



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

FuE AKTIVITÄTEN DER BGE

Tage der Standortauswahl 2022

A. GÖBEL, GRUPPE FORSCHUNG & ENTWICKLUNG STANDORTAUSWAHL (FEW-FE.1)

Aachen, 10.06.2022

FuE AKTIVITÄTEN DER BGE

Gliederung



01

ÜBERBLICK ÜBER DIE FuE AKTIVITÄTEN DER BGE

02

FuE VORHABEN IM BEREICH STANDORTAUSWAHL

03

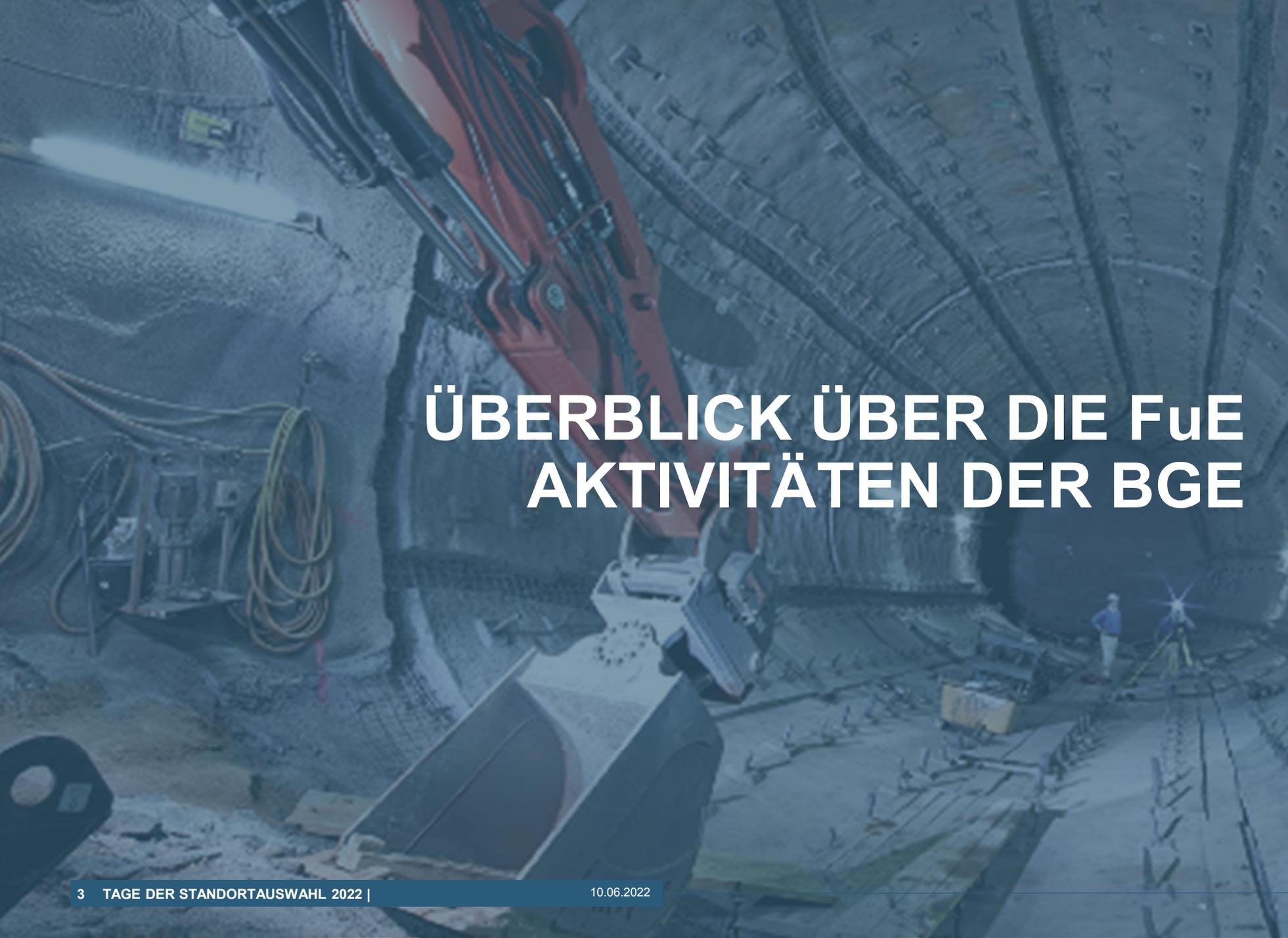
IGD-TP VORHABEN LOMIR

04

BGE AKTIVITÄTEN IN UNTERTAGELABOREN

05

UTL GRIMSEL VORHABEN HOTBENT



ÜBERBLICK ÜBER DIE FuE AKTIVITÄTEN DER BGE

01

FuE AKTIVITÄTEN DER BGE

FuE AKTIVITÄTEN FÜR LAUFENDE ENDLAGERPROJEKTE

- Fokus auf ingenieurwissenschaftlich-technische Fragestellungen
- Forschungsschwerpunkte:
 - Rückholtechnik
 - Optimierung (Sicherheit und Technologie)
 - Verfüllung- und Verschlusskonzepte



Quelle: BGE

FuE AKTIVITÄTEN FÜR DAS STANDORTAUSWAHLVERFAHREN

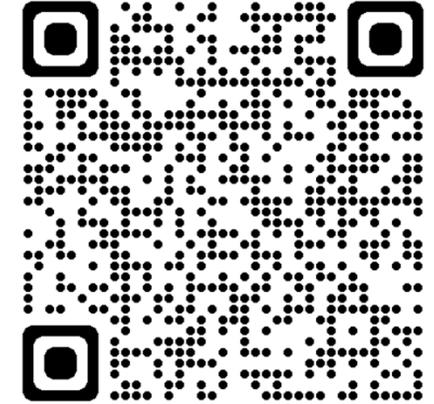
- Wissenschaftliche Grundlagen für das Standortauswahlverfahren laut StandAG
- Fünf Forschungsfelder:
 - Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften
 - Geowissenschaftliche Fragestellungen
 - Endlagerplanung
 - Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
 - Transfer und Interaktivität zu soziotechnischen Fragen



www.bge.de/de/endlagersuche/forschung/

ART DER FuE AKTIVITÄTEN

- FuE Vorhaben der BGE
- Beteiligung an Experimenten in Untertagelaboren (UTL)
 - Mont Terri (Schweiz), Grimsel (Schweiz), Bedretto (Schweiz)
- Beteiligung an dem europäischen Forschungsprogramm European Joint Programme on Radioactive Waste Management (EURAD)
- FuE in internationalen Kooperationen: z.B. IGD-TP, DECOVALEX und bilaterale Kooperationsvereinbarungen mit internationalen Vorhabenträgern und Universitäten



Forschungsaufrufe der BGE

FuE AKTIVITÄTEN FÜR LAUFENDE ENDLAGERPROJEKTE

LAUFENDE FUE VORHABEN

- Rückholtechnik
- 3D Seismik - Optimierung und erstmalige Kombination zweier Methoden zur Auswertung seismischer Daten → Poster
- LOMIR - Long-term Monitoring of C-14 compounds released during corrosion of Irradiated metal (IGD-TP)

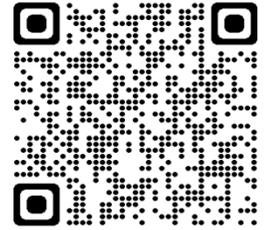
-
- Abgeschlossener Forschungsauftrag: Demonstrationsbauwerk für eine Streckenabdichtung im Anhydrit aus Magnesiabaustoff als Spritzbeton und Bitumen/Asphalt (DeSpriBi)



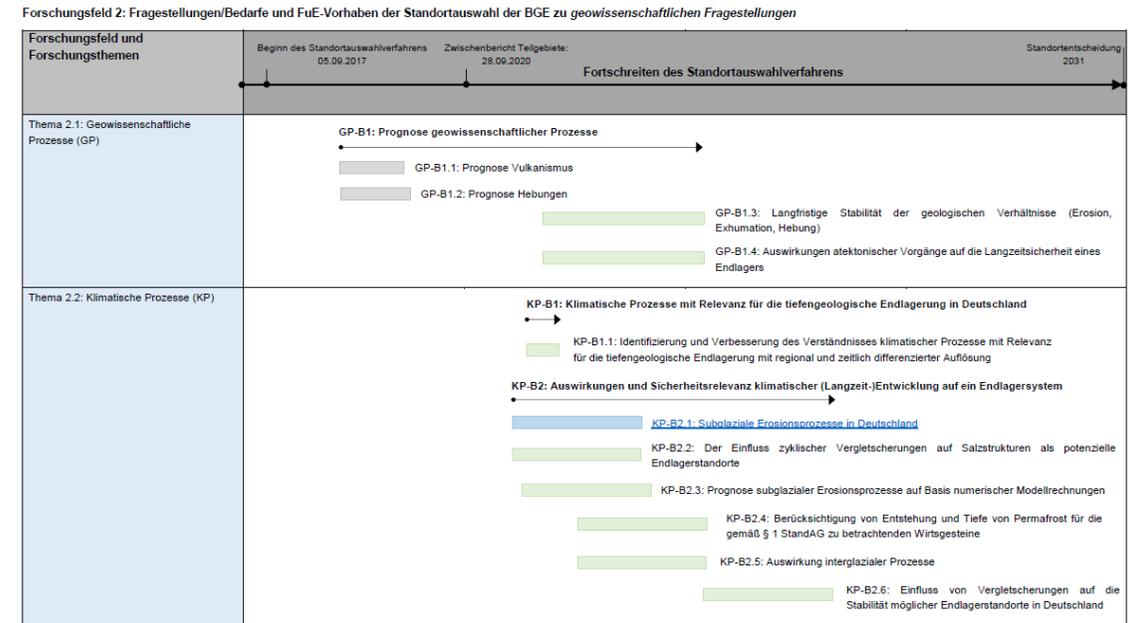
Quelle: BGE

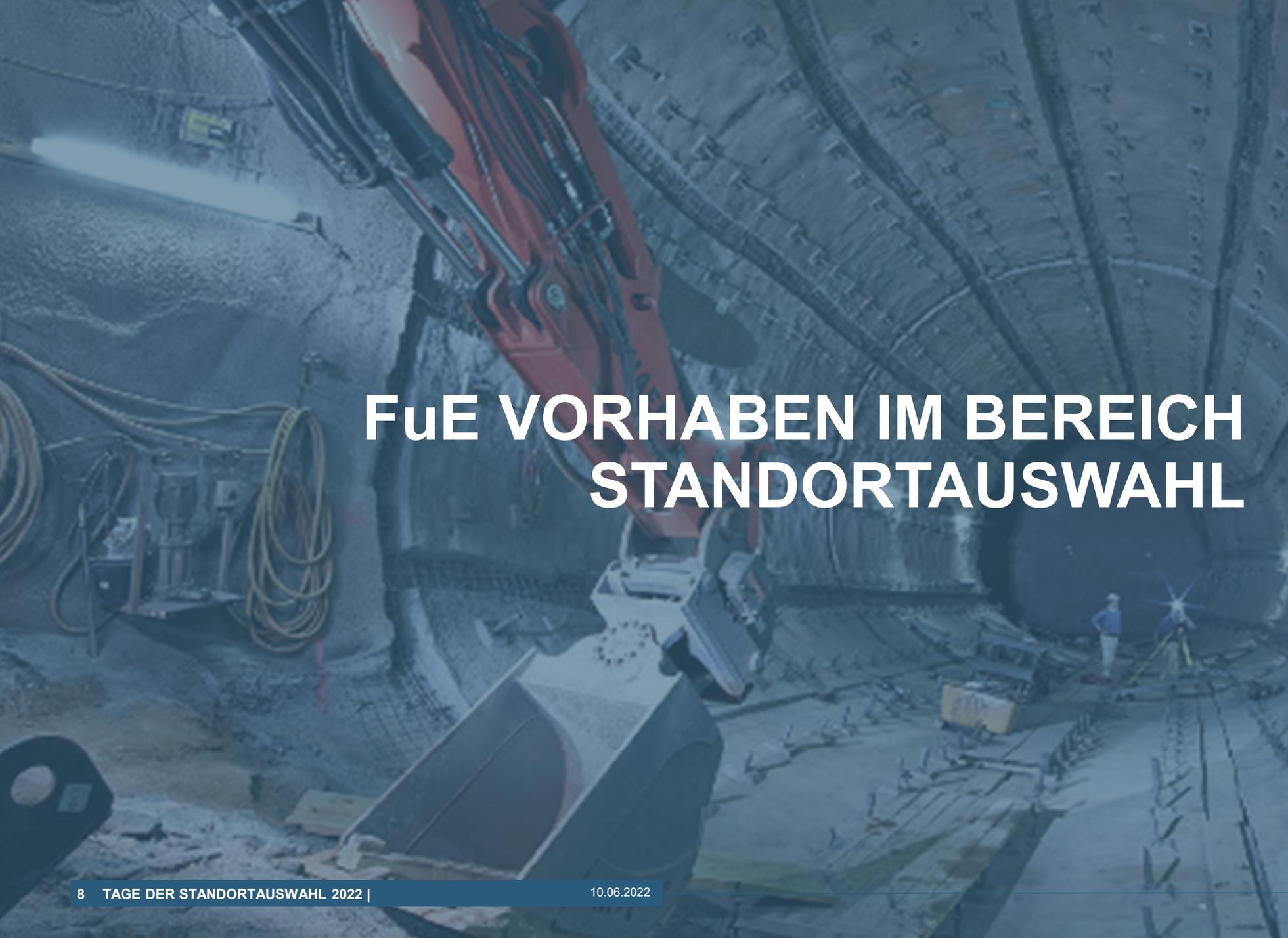
STANDORTAUSWAHL FORSCHUNGSAGENDA UND ROADMAP

- Identifizierung von FuE Fragestellungen und Bedarfen für Umsetzung des Standortauswahlverfahrens
- Priorisierung und zeitliche/thematische Einordnung von FuE Fragestellungen und Bedarfen in das Standortauswahlverfahren
- Zuordnung von FuE Fragestellungen und Bedarfen in 5 Forschungsfelder und untergeordneten Themen
- Veröffentlichte Fassung von August 2021
- Aktualisierung der Roadmap derzeit in Bearbeitung



Forschung und Entwicklung



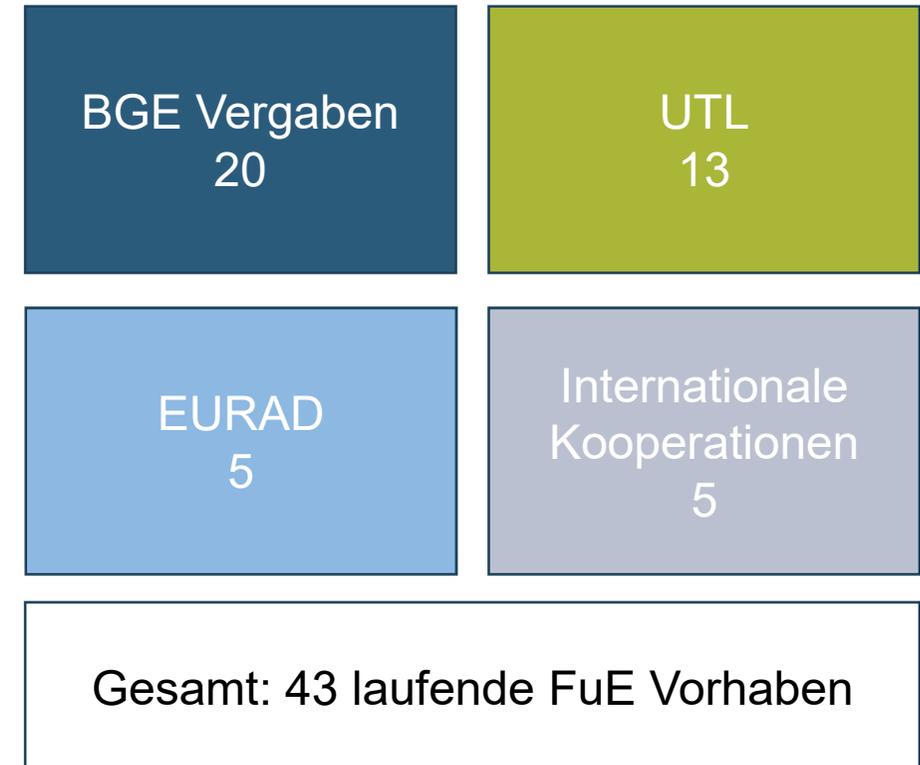


FuE VORHABEN IM BEREICH STANDORTAUSSWAHL

02

LAUFENDE FuE VORHABEN

- FuE Vorhaben im Rahmen von BGE Beauftragung
- Beteiligungen an UTL* Experimenten meist auch verknüpft mit einer Partnerschaft
- Beteiligung an Projekten im Rahmen des European Joint Programme on Radioactive Waste Management (EURAD)
- Beteiligung an Projekten in internationalen Kooperationen (IGD-TP, MICA)
→ Poster



* UTL = Untertagelabor

ABGESCHLOSSENE FuE VORHABEN IN DEN FORSCHUNGSFELDERN

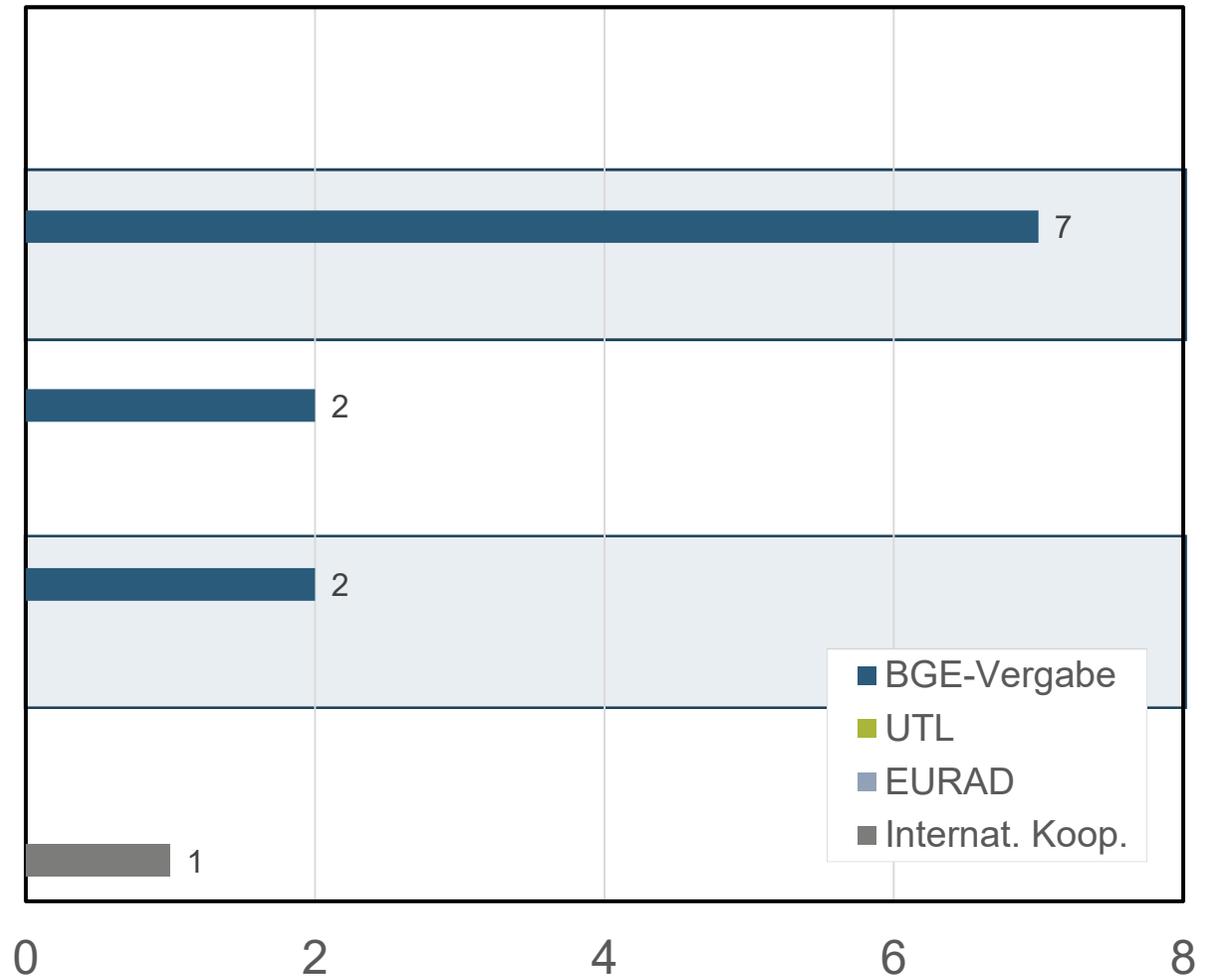
Forschungsfeld 1:
Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften

Forschungsfeld 2:
Geowissenschaftliche Fragestellungen

Forschungsfeld 3:
Endlagerplanung

Forschungsfeld 4:
Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

Forschungsfeld 5:
Transfer und Interaktivität zu soziotechnischen Fragen



LAUFENDE FuE VORHABEN IN DEN FORSCHUNGSFELDERN

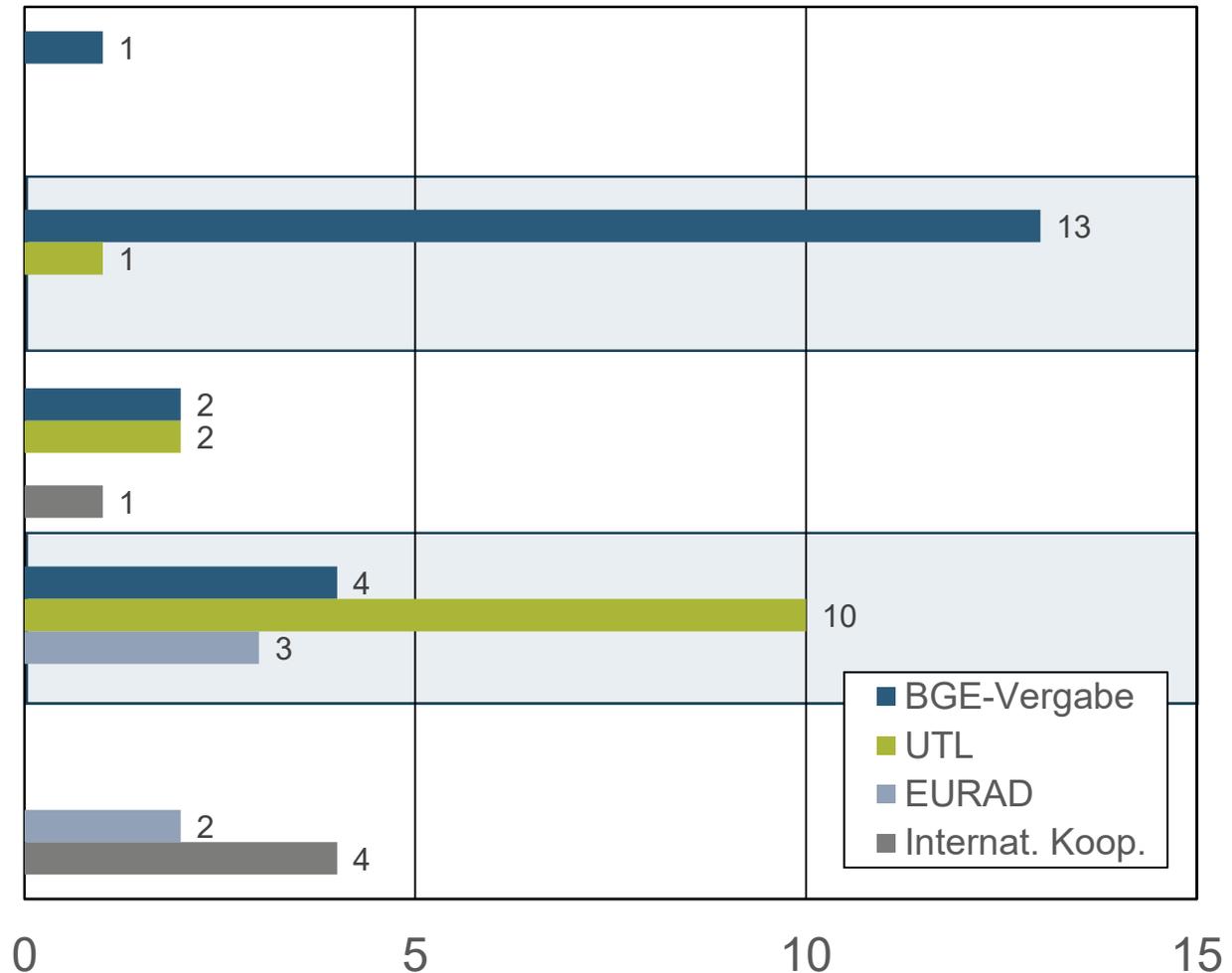
Forschungsfeld 1:
Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften

Forschungsfeld 2:
Geowissenschaftliche Fragestellungen

Forschungsfeld 3:
Endlagerplanung

Forschungsfeld 4:
Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

Forschungsfeld 5:
Transfer und Interaktivität zu soziotechnischen Fragen



BEISPIEL FORSCHUNGSFELD 2 - GEOWISSENSCHAFTLICHE FRAGESTELLUNGEN

Thema	Laufend	Abgeschlossen
<p>Thema 2.1 Geowissenschaftliche Prozesse</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifizierung und Prognose von Erosionsprozessen in Deutschland Vortrag Nr. 102 - Auswirkungen von Subrosion auf die Barrierewirkung des ewG und des Deckgebirges eines potentiellen Endlagerstandorts für hochradioaktive Abfälle Vortrag Nr. 123 	<ul style="list-style-type: none"> - Prognose Vulkanismus - Prognose Hebungen
<p>Thema 2.2: Klimatische Prozesse</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung subglazialer Erosionsprozesse bei Auswahl eines Standortes für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Suchtiefe) - Dynamische Modellierung subglazialer Schmelzwassererosion in vergangenen und zukünftigen Vergletscherungen (QUASI) - Auswirkungen von zyklischen Vergletscherungen auf Salzstrukturen als ein potentieller Endlagerstandort für hochradioaktive Abfälle 	

BEISPIEL FORSCHUNGSFELD 2 - GEOWISSENSCHAFTLICHE FRAGESTELLUNGEN

Thema	Laufend	Abgeschlossen
Thema 2.3: Kriterien und Anforderungen nach §§ 22 bis 24 StandAG	<ul style="list-style-type: none">- Neotektonische Aktivität in Mittel- und Süddeutschland- Weiterentwicklung geomechanisch-numerischer Modellierungen zur Charakterisierung des tektonischen Spannungszustandes für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland (SpannEnD 2.0)	<ul style="list-style-type: none">- Ausschlusskriterium Seismische Aktivität;- Ausschlusskriterium Aktive Störungszonen- Ausschlusskriterium Grundwasseralter- Vulkanische Gefährdung in Deutschland- Konzept zur generellen Vorgehensweise zur

BEISPIEL FORSCHUNGSFELD 3 – ENDLAGERPLANUNG

Thema	Laufend	Abgeschlossen
Thema 3.1: Behälterkonzept	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung von Endlagerbehälterkonzepten für die geologische Tiefenlagerung von hochradioaktiven Abfällen in kristallinem Wirtsgestein - Michigan International Copper Analogue (MICA) 	
Thema 3.2: Verfüll- und Verschlusskonzept	<ul style="list-style-type: none"> - Thermische Integrität von Ton und Tonsteinen– Experiment und gekoppelte THMC-Simulationen (THMC-Sim) - High Temperature Effects on Bentonite (Grimsel/HotBENT) - Erforschung der Auswirkungen bergbaulicher Aktivitäten in großen Tiefen auf die Integrität von Kristallingestein im Kontext der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (PRECODE) 	
Thema 3.3: Endlagerauslegung und Design		<ul style="list-style-type: none"> - Berechnung des teufenabhängigen Flächenbedarfs für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle für alle zu betrachtenden Wirtsgesteine - Entwicklung einer Vorgehensweise für die vorläufige Auslegung eines Endlagers



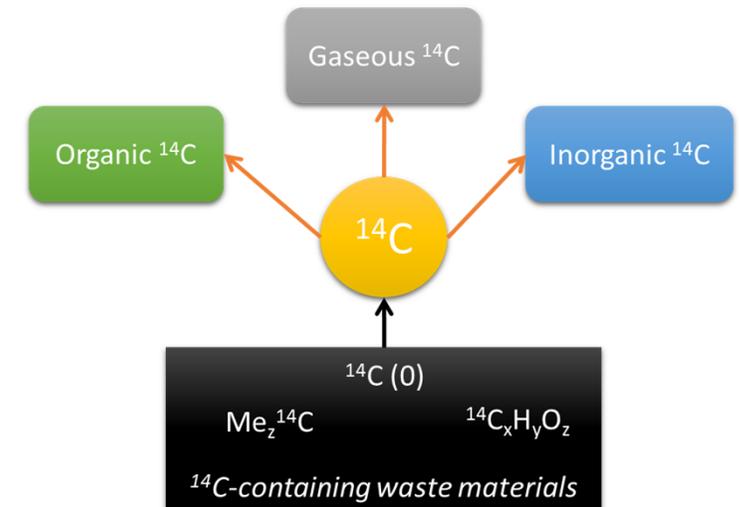
IGD-TP PROJEKT LOMIR

03

GRUNDLAGEN

Long-term Monitoring of C-14 compounds released during corrosion of Irradiated metal (LOMIR)

- Langzeit-Experiment zur Überwachung der **Freisetzung von ^{14}C** -haltigen organischen und anorganischen Kohlenstoffverbindungen während der **Korrosion von bestrahltem Stahl**, installiert am PSI seit 2016
- Für ein besseres Verständnis der gebildeten **Kohlenstoff-Spezies in Gas- und Flüssigphase** sowie der **Freisetzungsrates** im Verhältnis zum Korrosionsverlauf in einem **zementbasierten** Endlagersystem
- Das Experiment wird geleitet durch Nagra und PSI. Seit März 2022 sind auch BGE und SKB Partner des **IGD-TP** Projektes

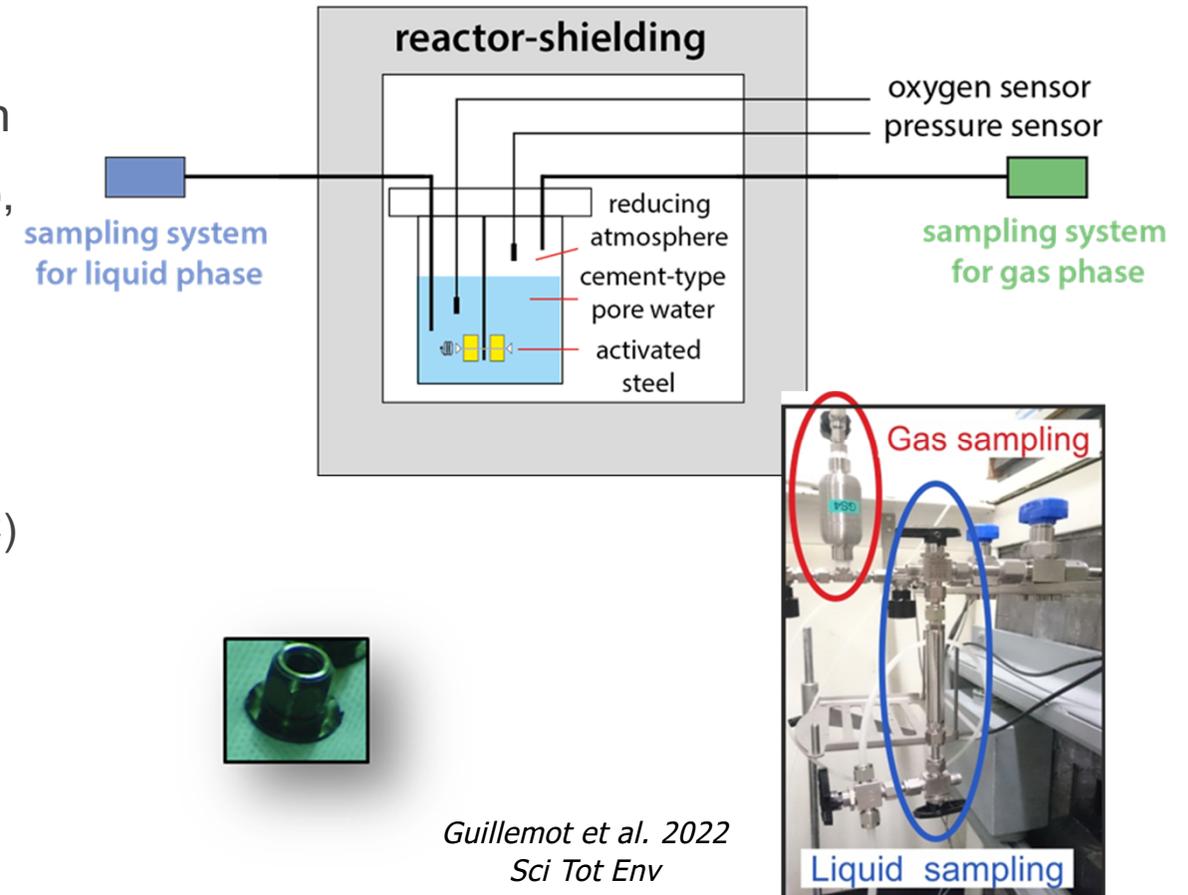


Guillemot et al. 2022
Sci Tot Env

EXPERIMENTAUFBAU

Long-term Monitoring of C-14 compounds released during corrosion of Irradiated metal (LOMIR)

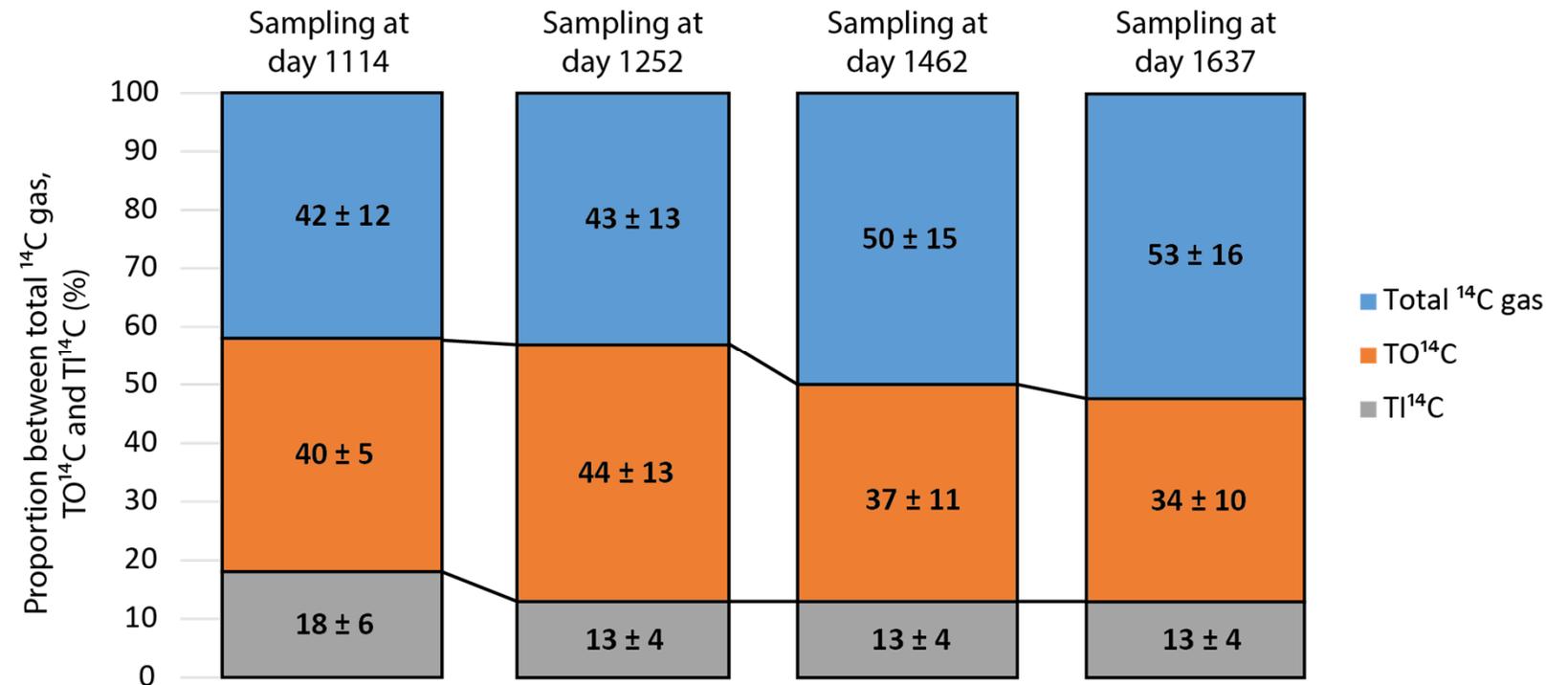
- Reaktor mit zwei radiologisch aktivierten Stahlmuttern
- Bedingungen: stark alkalisch (pH-Wert bis max. 12,5), reduzierend
- Probennahmesysteme für die Flüssig- und die Gasphase. Aktuell jährlich eine Probenentnahme
- Analytik:
 - Hochleistungs-Ionenaustauschchromatographie (HPIEC)
 - Gaschromatographie
 - Beschleuniger-Massenspektrometrie
 - verbindungsspezifische Radiokohlenstoffanalyse



AUSGEWÄHLTE ERSTE ERGEBNISSE

Verteilung der Karbonat-Spezies

- Nach drei Jahren Korrosion ist die Verteilung zwischen gelösten organischen und gasförmigen Verbindungen gleich. Mit der Zeit scheint der Anteil der gasförmigen ^{14}C -Verbindungen zuzunehmen

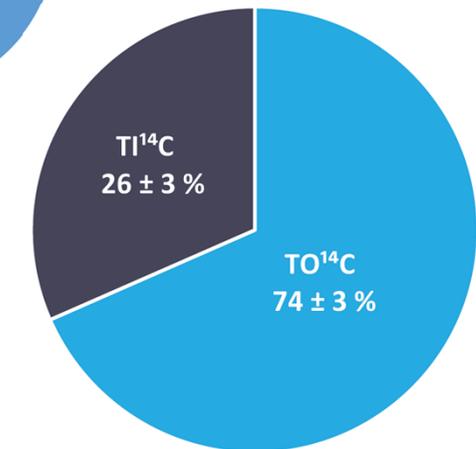
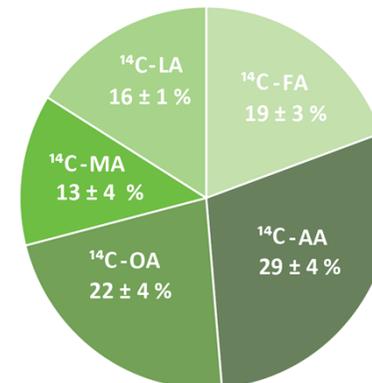
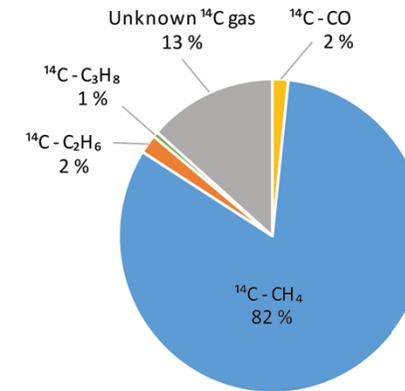


Guillemot et al. 2022
Sci Tot Env

AUSGEWÄHLTE ERSTE ERGEBNISSE

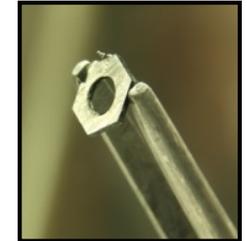
Speziationen in der Gas- und Flüssigphase

- Nach viereinhalb Jahren Korrosion wurden ^{14}C -Methan, Ethan, Propan und Kohlenmonoxid in der Gasphase nachgewiesen, wobei der größte Teil auf Methan entfiel. Etwa 13 % sind noch unbekannte ^{14}C -Gasspezies
- 25 % des ^{14}C als anorganische Stoffe in der Lösung vorhanden, während der größte Teil aus organischen Verbindungen bestand.
- Bei den Carbonsäuren wurden Ameisen-, Essig-, Malon-, Oxal- und Milchsäure identifiziert mit einer relativ gleichmäßigen Verteilung



Guillemot et al. 2022
Sci Tot Env

AUSBLICK



*Guillemot et al. 2022
Sci Tot Env*

- **Laufzeit: 2022 – 2024** (mit Option zur Verlängerung um zwei Jahre)
- Jährliche Probennahme und Bericht
- Beim Rückbau des Experiments Untersuchung der bestrahlten Stahlmuttern
- Aufgrund der langen Zeitskalen wegen des langsamen Entweichens von ^{14}C und der langsam fortschreitenden Korrosion ist die Zahl der bisher durchgeführten Experimente klein
- Die Fortführung der Experimente soll die Probenzahl erhöhen und damit die Datengrundlage verbessern. Damit sollen:
 - ein Anstieg des ^{14}C Gehalts in der Gasphase nachgewiesen werden
 - eine konstante Konzentration von wässrigen ^{14}C -führenden Komponenten nachgewiesen werden

A large-scale underground construction site, likely a tunnel or cavern. A prominent red excavator is positioned in the center-left, its arm extending towards the right. The walls and ceiling are reinforced with a complex network of steel beams and cables. In the background, a worker in a blue uniform is visible near a surveying instrument. The overall atmosphere is industrial and dimly lit, with a blue-tinted overlay.

BGE AKTIVITÄTEN IN UNTERTAGELABOREN

04

MONT TERRI (SCHWEIZ)

- Opalinuston
- 22 Partner aus Europa, Japan, Kanada, USA, UK und der Schweiz
- Experimente in Mont Terri seit 1996
- BGE Mitglied seit Juli 2020, derzeit BGE Beteiligung an 10 Experimenten:
 - Besseres Verständnis von Tongestein als Wirtsgestein
 - Kenntnisse zu technischen und geotechnischen Barrieren
 - Modellierung gekoppelter multi-physikalischer Prozesse
 - Übertragbarkeit der Geoinformationen



<https://www.mont-terri.ch/de/home.html>



GRIMSEL TEST SITE (SCHWEIZ)

- Kristallin
 - Ca. 450 m unter der Geländeoberkante, ca. 1 km Stollen
 - Nutzung seit 1984
 - Beitritt der BGE im Herbst 2021
- 
- Pressemitteilung
- Beteiligung der BGE an zwei laufenden Experimenten:
 - Colloid Formation and Migration (CFM)
 - High Temperature Effects on Bentonite Buffers (HotBENT)



<https://grimsel.com/gts-information/about-the-gts/grimsel-test-site-introduction>



HOTBENT: HIGH TEMPERATURE EFFECTS ON BENTONITE BUFFERS



- 10 Partnerorganisationen: Nagra (CH), NWS (UK), NUMO (JP), NWMO (CA), SURAO (CZ), USDoE (US), BGE (DE), BGR (DE), ENRESA (ES), Obayashi (JP)
- Wichtig für die Optimierung von Endlagern
- Ziel: Bewertung der derzeit akzeptierten Sicherheitsfunktionen → Untersuchung der Auswirkungen von hohen Temperaturen (bis zu 200°C an der Heizfläche) auf Bentonitbarrieren und deren Sicherheitsfunktionen.
- Die Experimente werden unter In-situ-Bedingungen durchgeführt
- Ein Experiment im Maßstab 1:1



<https://www.grimseil.com/gts-projects/hotbent-high-temperature-effects-on-bentonite-buffers/hotbent-site-preparation-work>



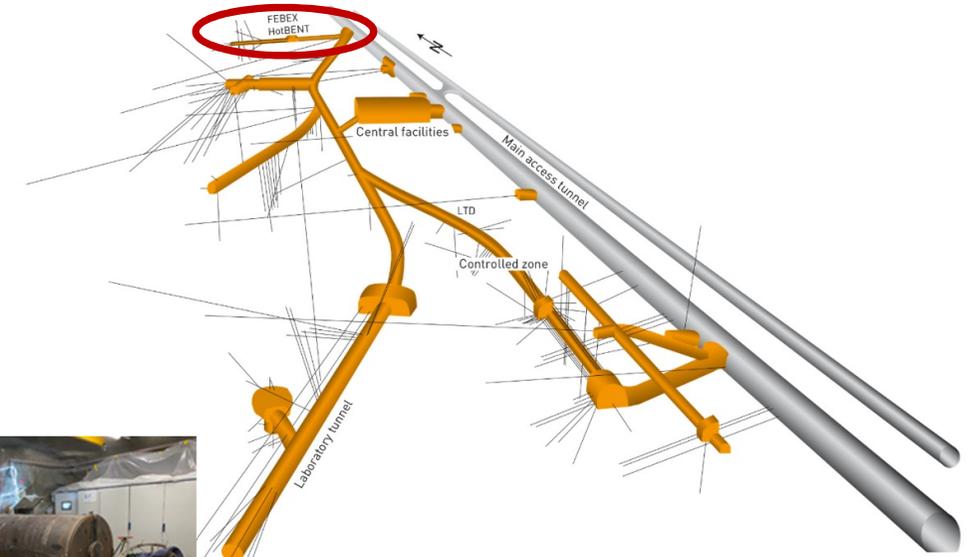
<https://www.grimseil.com/gts-projects/hotbent-high-temperature-effects-on-bentonite-buffers/hotbent-introduction>

EXPERIMENT STANDORT

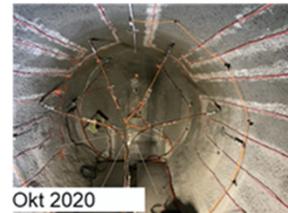


BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

HotBENT wurde in den gut charakterisierten
Stollen des abgeschlossenen FEBEX
Projektes eingebracht



<https://www.grimsel.com/gts-projects/hotbent-high-temperature-effects-on-bentonite-buffers/hotbent-introduction>

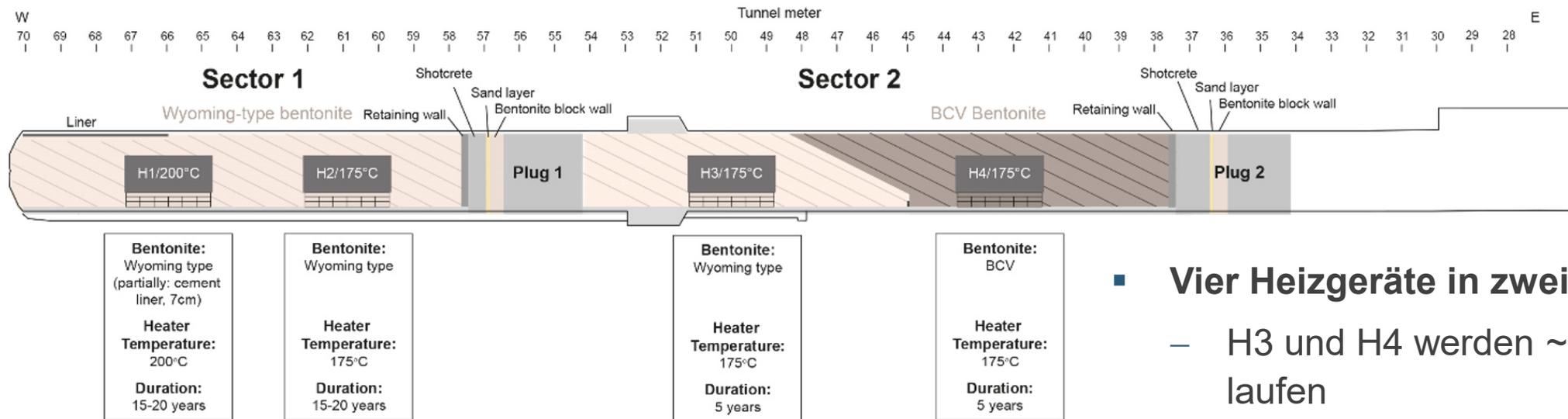


<https://www.grimsel.com/gts-projects/hotbent-high-temperature-effects-on-bentonite-buffers/hotbent-site-preparation-work>

EXPERIMENTAUFBAU



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG



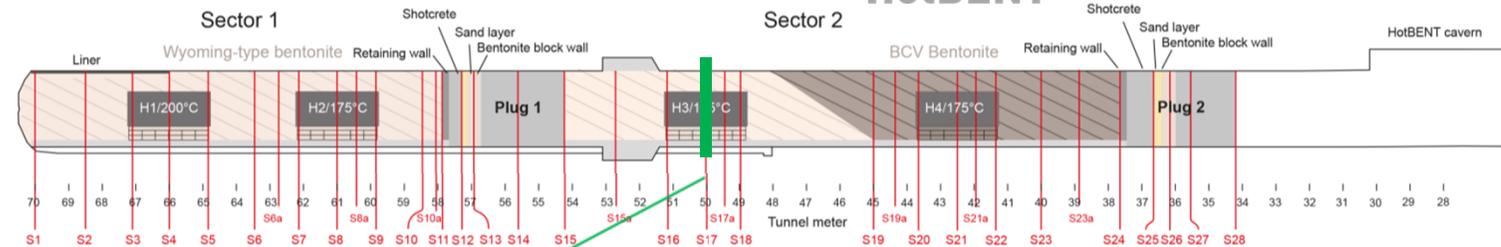
<https://www.grimse.com/gts-projects/hotbent-high-temperature-effects-on-bentonite-buffers/hotbent-introduction>

- **Vier Heizgeräte in zwei Sektoren:**
 - H3 und H4 werden ~5 Jahre lang laufen
 - H1 und H2 bis zu 20 Jahre
- **Zwei Bentonitarten:**
 - Wyoming
 - BCV

SENSOR INSTRUMENTIERUNG & MONITORING



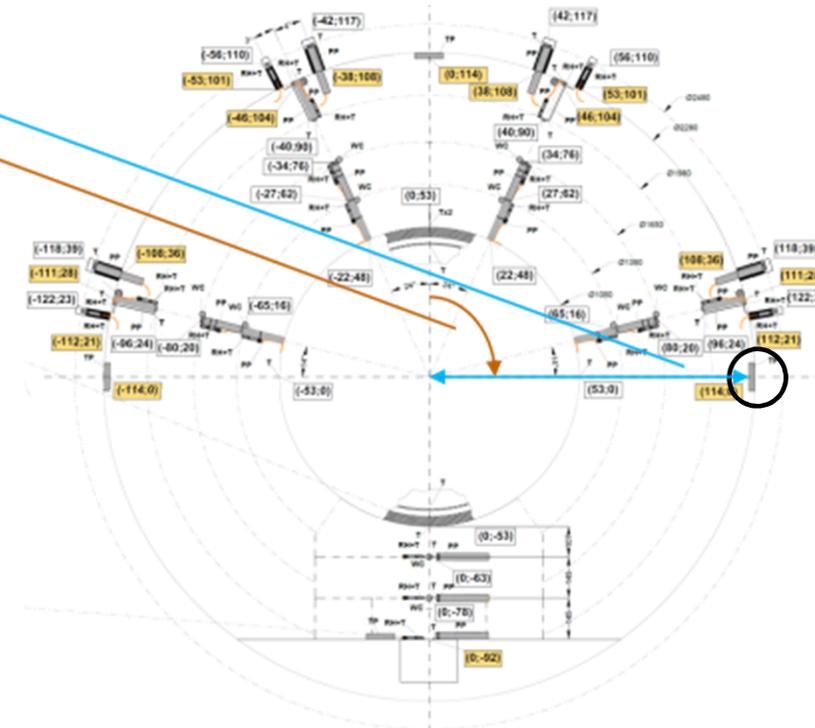
BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG



Gemessene Parameter und die Namenskonvention:

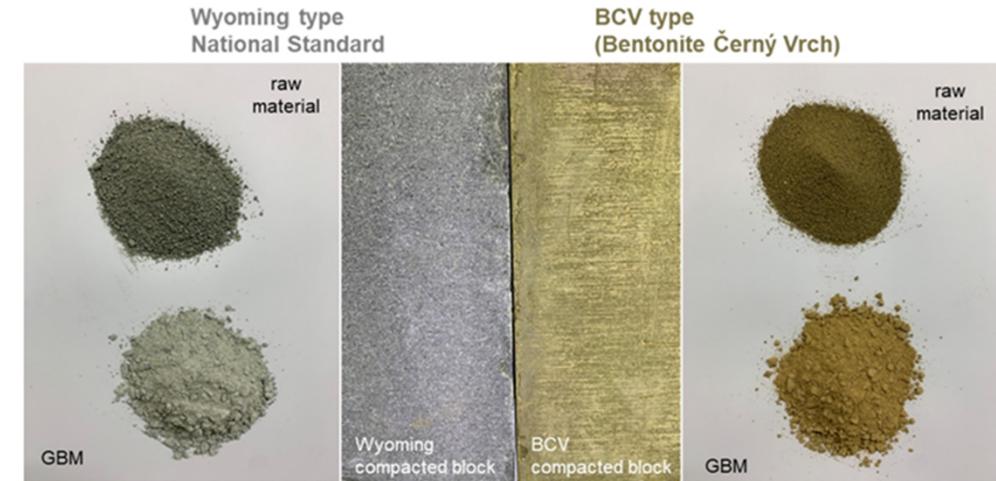
- Temperatur (Temperature: PT)
- Porendruck (Pore pressure: PP)
- Relative Feuchtigkeit (Relative humidity: RH)
- Wassergehalt (Water content (TDR): WC)
- Gesamtdruck (Total pressure: TP)
- Wärmeleitfähigkeit (Thermal conductivity: TC)
- Heizer-Verschiebung (Heater displacement: DH)
- Plug-Verschiebung (Plug displacement: DP)
- Sauerstoff (Oxygen: O2)

TP_02_5000_090_114



CHARAKTERISIERUNG VON BENTONITPROBEN

93 Proben wurden von Granulat-Bentonit-Material (GBM) genommen (70 **Wy** /23 **BCV**) um die Zusammensetzung zu bestimmen und auf die Homogenität zu prüfen (BGR, Veröffentlichung NAB 22-007 Mitte 2022)

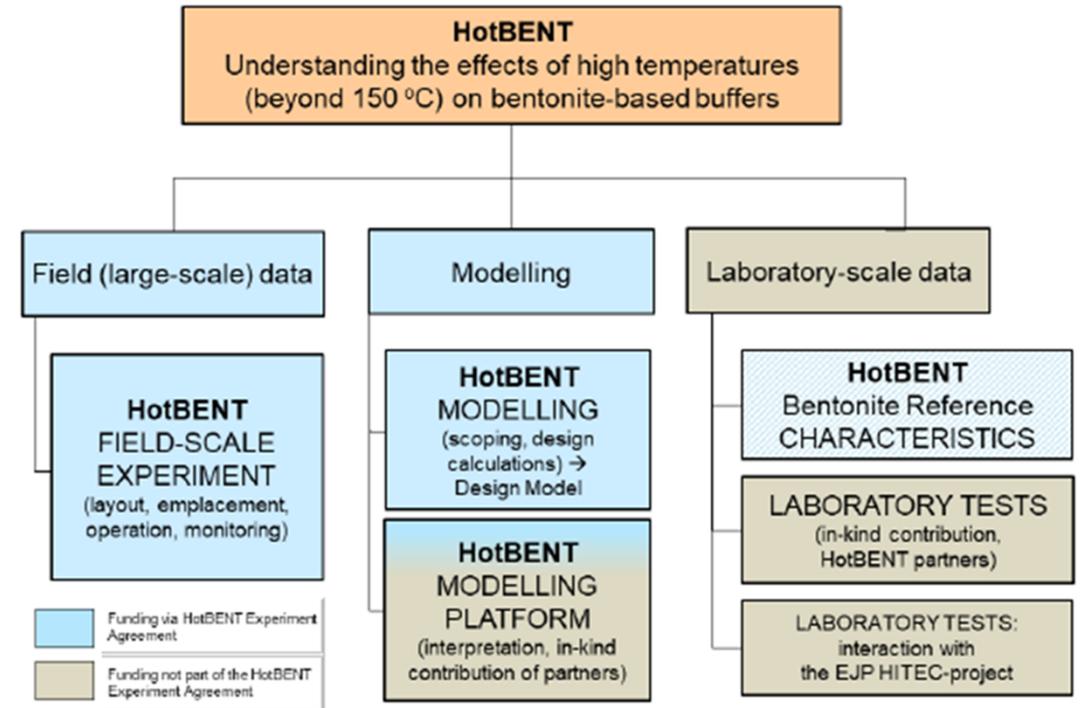


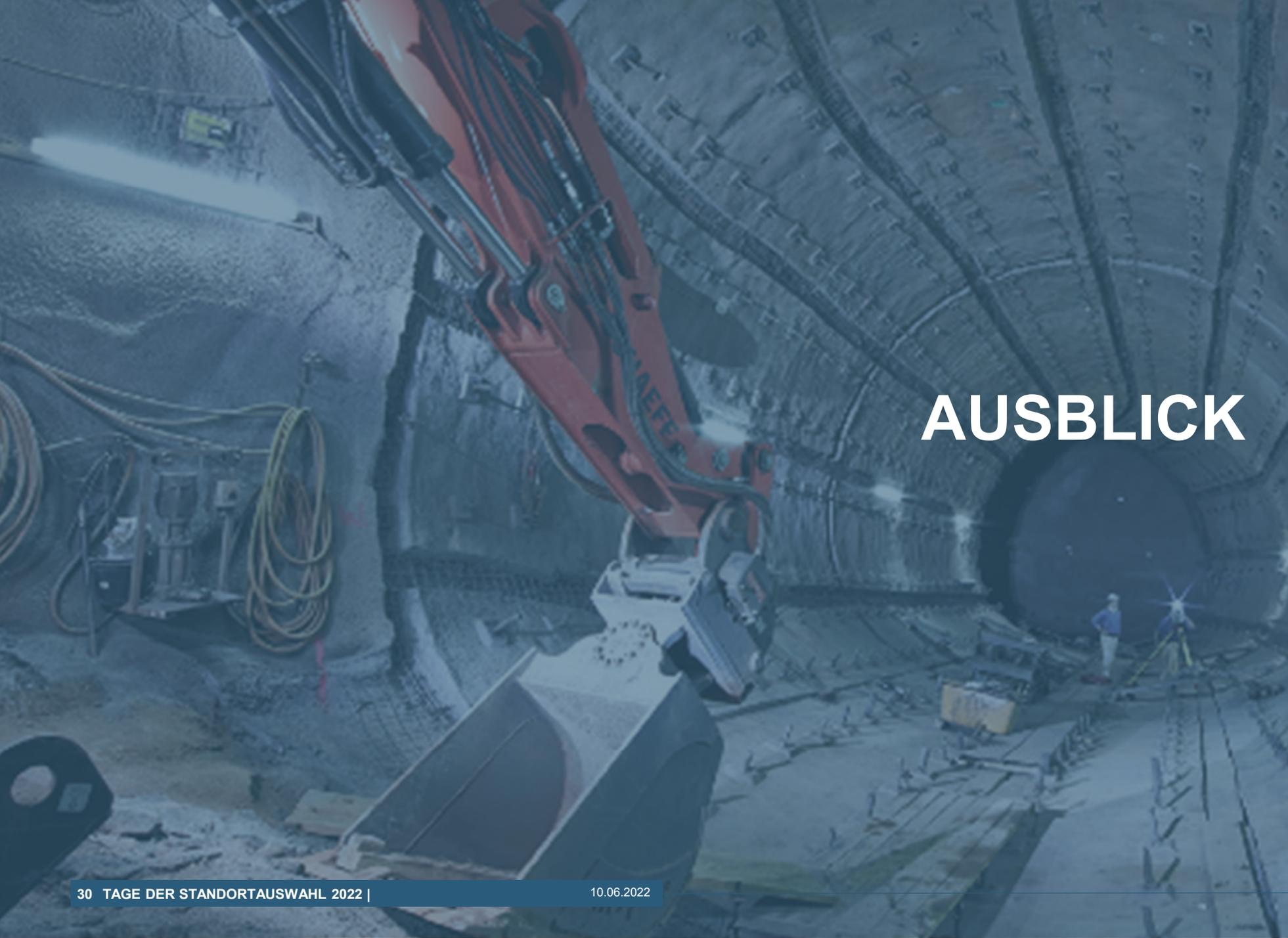
<https://www.grimsel.com/gts-projects/hotbent-high-temperature-effects-on-bentonite-buffers/hotbent-introduction>

	C_{total}	C_{org}	S_{total}	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO	CaO	Na₂O	K₂O	P₂O₅	SO₃	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
BCV	0.4	0.1	< 0.1	56.4	3.3	17.1	15.8	0.2	3.2	2.7	0.1	0.8	0.4	0.1	Ca-Bentonit
Standardabweichung	0.11	0.06		0.19	0.04	0.19	0.24	0.01	0.03	0.15	0.05	0.06	0.01	0.02	
WYOMING	0.2	0.1	0.2	68.3	0.2	20.2	4.3	0.0	1.8	1.3	2.9	0.7	0.1	0.4	Na-Bentonit
Standardabweichung	0.02	0.02	0.02	0.46	0.01	0.27	0.09	0.00	0.02	0.02	0.05	0.01	0.00	0.02	

OPTION BETEILIGUNG MODELLIERUNGSPLATTFORM

- Weiterentwicklung der numerischen Werkzeuge, um relevante **THM-Prozesse** des Tongesteins und der Bentonitbarrieren bei hohen Temperaturen (bis zu 200°C) im Rahmen des HotBENT-Experiments **modellieren** zu können
- Verknüpfung mit Modellierungen von THM-Prozessen im Rahmen anderer BGE Projekte (z.B. **Pionier**)





AUSBLICK

AUSBLICK

- Veröffentlichung der aktualisierten STA Roadmap
- Schwerpunktthemen / Forschungstreiber:
 - Behälterentwicklung
 - vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
 - Geosynthese / Standortcharakterisierung
 - Vorbereitung der Erkundungsmaßnahmen
 - Klimatische Prozesse
 - Digitalisierung / Digital Twins
- Internationale Kooperationen – auf dem Weg zu EURAD-2

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

ASTRID GÖBEL

Leiterin Gruppe Forschung & Entwicklung Standortauswahl

Standort Peine | Eschenstraße 55 | 31224

www.bge.de

www.einblicke.de

