

**Wissenschaftliche Berichte
FZKA-PTE Nr. 21**

Entsorgungsforschung

**13. Projektstatusgespräch zu
BMWi-geförderten FuE-Projekten
zur Entsorgung radioaktiver Abfälle**

20.-21.06.2018, Karlsruhe, KIT Campus Nord

**Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Entsorgung**



Herausgeber:
Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Entsorgung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Internet: www.ptka.kit.edu

März 2020



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

Vorwort

Mit dem dreizehnten Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Projekten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle wurde am 20. und 21. Juni 2018 im Karlsruher Institut für Technologie (Campus Nord) die Veranstaltungsreihe fortgeführt. Die auf der Grundlage des Förderkonzepts „Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (2015 - 2018)“ durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekte sind der nicht standortbezogenen, anwendungsorientierten Grundlagenforschung zur Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle zuzuordnen. Diese Forschung soll im Sinne der Vorsorgeforschung des Bundes zu fundierten wissenschaftlich-technischen Kenntnissen führen, die Voraussetzung und Grundlage dafür sind, dass die Sicherheit komplexer Endlagersysteme beurteilt und über lange Zeiträume nachgewiesen werden kann.

Auf Basis des derzeitigen Förderkonzepts des BMWi werden gegenwärtig zahlreiche Projekte durchgeführt. Neben den bereits langjährig realisierten Forschungsaktivitäten zur Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz werden auch Forschungsvorhaben zu den Wirtsgesteinsoptionen Tongestein und Kristallin mit stärkerer und nun vergleichbarer Gewichtung bearbeitet; ergänzt durch Aktivitäten, die wirtsgesteinsübergreifende Aspekte eines Endlagers als Bergwerkslösung sowie sozio-technische Fragestellungen mit Endlagerbezug behandeln. Ebenfalls wird im Rahmen der Forschungsförderung des BMWi dem Kompetenzerhalt und der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ein herausragender Stellenwert beigemessen. Denn derzeit erfolgt ein Generationenwechsel, der jetzt und zukünftig einen zunehmenden Bedarf an erstklassig ausgebildeten Personen erzeugt.

Am ersten Veranstaltungstag lag ein Schwerpunkt der Vorträge im Bereich der internationalen Zusammenarbeit mit der Schweiz zu Forschungsaktivitäten im Tongestein, ergänzt durch Informationen zum Stand des schweizerischen „Sachplan Geologische Tiefenlager“. Weiterhin wurden Forschungsvorhaben zu sozio-technischen Aspekten und Untersuchungen zu Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten präsentiert. Am zweiten Veranstaltungstag wurden aktuelle FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Kristallin- und Salzgestein sowie aktuelle Verbundprojekte mit geochemischen Schwerpunkt vorgestellt.

Im vorliegenden Materialienband sind die Beiträge des 13. Projektstatusgesprächs zu BMWi-geförderten FuE-Projekten der Entsorgungsforschung zusammengefasst. Soweit die Autoren schriftliche Zusammenfassungen bereitgestellt haben, sind diese in den Materialienband aufgenommen worden.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Entsorgung

Dr. H. Bittdorf
Dipl.-Ing. M. Bühler
Dr. H. Pitterich
Dr. M. Stacheder
Dr. W. Steininger
Dr. S. Stumpf

Der vorliegende Materialienband dient der aktuellen Unterrichtung der auf dem Gebiet der Entsorgung radioaktiver Abfälle arbeitenden Institutionen und der zuständigen Behörden. Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren. Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Eine auszugsweise oder vollständige Vervielfältigung ist erlaubt, wenn die Zustimmung der betroffenen Autoren vorliegt.

**Berichte und Publikationen zu
Projektstatusgesprächen, Kolloquien und Fachgesprächen
sind über die Internetseite**

www.ptka.kit.edu/ptka-alt/wte/551.php

des PTKA zu finden.

Inhaltsverzeichnis

Veranstaltungsprogramm	1
K. Wieczorek (GRS gGmbH); K. Schuster (BGR).....	3
<i>Forschungsarbeiten von BGR und GRS im internationalen Felslabor Mont Terri – Ergebnisse und zukünftige Experimente</i>	
K. Emmerich (KIT-CMM)	19
<i>Verbundprojekt: Sandwich-Vorprojekt – Ziele, Design und Scoping Calculations für ein In-situ-Experiment zu einem hydraulischen Sandwich-Schachtverschluss in Mont Terri</i>	
Ph. Senn (Nagra)	43
<i>Sachplan geologische Tiefenlager der Schweiz - Stand der Dinge und Ausblick</i>	
S. Kuppler (KIT-ITAS).....	63
<i>Bürgerbeteiligung, Konflikt und Verfahren. Zur Entstehung des Sachplans Geologische Tiefenlager in der Schweiz</i>	
P. Hocke (KIT-ITAS).....	82
<i>Zwischen Technik und Gesellschaft: Wer gestaltet das Endlager? Erste Zwischenergebnisse aus SOTEC-radio</i>	
H.-M. Schmidt (KIT-IIP)	100
<i>Eine experimentelle Analyse der Verhandlungen um ein Endlager für radioaktiven Abfall</i>	
M. Stuke (GRS gGmbH).....	130
<i>Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung</i>	
H. Völzke (BAM).....	144
<i>Langzeitverhalten von sicherheitsrelevanten Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe</i>	
M. Jobmann (BGETEC).....	164
<i>Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzepts für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRISTA II)</i>	
N. Bertrams (BGETEC)	182
<i>Entwürfe von Endlagerkonzepten im Kristallingestein in Deutschland</i>	
T. Rosenzweig (TU Bergakademie Freiberg).....	201
<i>Ergebnisse des Forschungsprojektes CREATIEF – Chancen und Risiken der Endlagerung von hochradioaktiven Abfallstoffen in sehr tiefen Bohrlöchern</i>	

A. Meleshyn (GRS gGmbH)	226
<i>Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren: Einfluss der Temperatur, der Mineralstruktur und der mikrobiellen Aktivität</i>	
T. Reich & F. Rieder (Johannes Gutenberg-Universität Mainz)	249
<i>Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen – Aktuelle Ergebnisse des Verbundprojektes GRaZ</i>	
E. Simo (BGETEC); M. Knauth (IfG GmbH)	280
<i>Auslegung und Sicherheitsnachweiskonzept eines HAW-Endlagers in flach lagernden Salzformationen - das Projekt KOSINA</i>	
S. Pötzsch (TU Bergakademie Freiberg)	301
<i>Entwicklung und In-situ-Erprobung eines langzeitbeständigen, matrixstabilisierten Versatzmaterials auf Steinsalz-Polyhalitbasis</i>	
Anhang	
W. Brewitz (TU Braunschweig)	330
<i>Gedanken zur Internationalität der Endlagerforschung</i>	

Anmeldung

Anmeldeformular:

<http://www.ptka.kit.edu/wte/146.php>



Um Anmeldung bis zum 01.06.2018 wird gebeten.

Die Teilnahme ist kostenlos.

Veranstaltungsort

Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU)

KIT - Campus-Nord -

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Hinweise zur Anreise:

<http://www.fortbildung.kit.edu/informationen.php>



Stand: 23.04.2018

Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle

Information

Organisation:



PTKA
Projektträger Karlsruhe

Karlsruher Institut für Technologie

Projektträger Karlsruhe (PTKA) - Entsorgung

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

KIT Campus Nord

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Ansprechpartner:

Dr. Holger Bittendorf

Telefon: 0721 608 25792

E-Mail: holger.bittendorf@kit.edu

Dipl.-Ing. Michael Bühler

Telefon: 0721 608 24844

E-Mail: michael.buehler@kit.edu

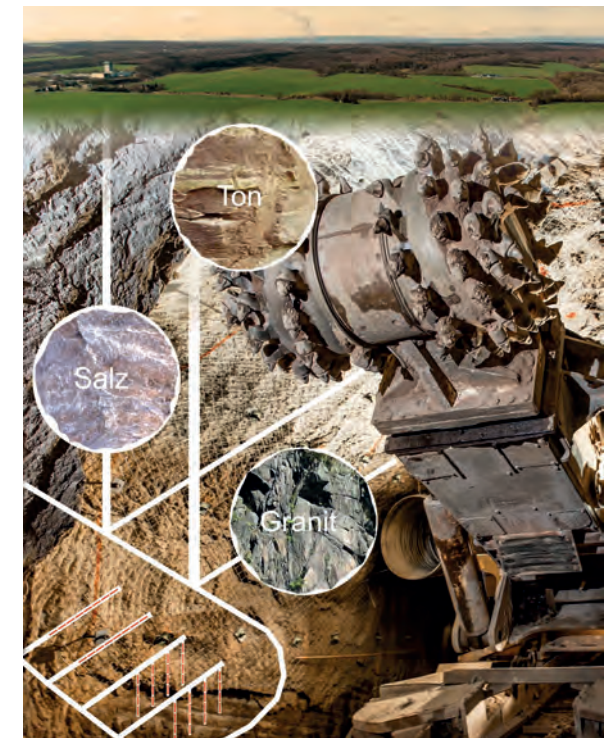
Projektträger für das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

13. Projektstatusgespräch

zu BMWi-geförderten FuE-Projekten zur
Entsorgung radioaktiver Abfälle



Karlsruhe
20.06. - 21.06.2018

Programm

Mittwoch, 20. Juni 2018

13:00 Begrüßung

Tonforschung – International (CH)

13:15 Forschungsarbeiten von BGR und GRS im internationalen Felslabor Mont Terri – Ergebnisse und zukünftige Experimente
K. Wieczorek (GRS gGmbH); K. Schuster (BGR)

13:40 Verbundprojekt: Sandwich-Vorprojekt – Ziele, Design und Scoping Calculations für ein In-situ-Experiment zu einem hydraulischen Sandwich-Schachtverschluss in Mont Terri
K. Emmerich (KIT-CMM)

14:05 Sachplan geologische Tiefenlager der Schweiz – Stand der Dinge und Ausblick
Ph. Senn (Nagra)

14:30 Diskussion

14:45 Kaffeepause

Soziotechnische Begleitforschung

15:15 Bürgerbeteiligung, Konflikt und Verfahren – Zur Entstehung des Sachplans Geologische Tiefenlager in der Schweiz
S. Kuppler (KIT-ITAS)

15:40 Zwischen Technik und Gesellschaft: Wer gestaltet das Endlager? Erste Zwischenergebnisse aus SOTEC-radio
P. Hocke (KIT-ITAS)

16:05 Eine experimentelle Analyse der Verhandlungen um ein Endlager für radioaktiven Abfall
H.-M. Schmidt (KIT-IIP)

16:30 Diskussion

FuE zu Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeit

16:45 Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung
M. Stuke (GRS gGmbH)

17:10 Langzeitverhalten von sicherheitsrelevanten Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe
H. Völzke (BAM)

17:35 Diskussion

18:00 Empfang

21:00 Bustransfer zu den Hotels in Karlsruhe

Programm

Donnerstag, 21. Juni 2018

FuE zum Wirtsgestein Kristallin

09:00 Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzepts für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland (CHRISTA II)
M. Jobmann (DBE Technology GmbH)

09:25 Entwürfe von Endlagerkonzepten im Kristallingestein in Deutschland
N. Bertrams (DBE Technology GmbH)

09:50 Ergebnisse des Forschungsprojektes CREATIEF – Chancen und Risiken der Endlagerung von hochradioaktiven Abfallstoffen in sehr tiefen Bohrlöchern
T. Rosenzweig (TU Bergakademie Freiberg)

10:15 Diskussion

FuE zur Geochemie

10:30 Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren: Einfluss der Temperatur, der Mineralstruktur und der mikrobiellen Aktivität
A. Meleshyn (GRS gGmbH)

10:55 Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen – Aktuelle Ergebnisse des Verbundprojektes GRaZ
T. Reich (Johannes Gutenberg-Universität Mainz)

11:35 Diskussion

11:45 Mittags-Imbiss vom Buffet

FuE zum Wirtsgestein Salz

13:00 Auslegung und Sicherheitsnachweiskonzept eines HAW-Endlagers in flach lagernden Salzformationen - das Projekt KOSINA
E. Simo (DBE Technology GmbH);
M. Knauth (IfG GmbH)

13:25 Entwicklung und In-situ-Erprobung eines langzeitbeständigen, matrixstabilisierten Versatzmaterials auf Steinsalz-Polyhalitbasis
S. Pötzsch (TU Bergakademie Freiberg)

13:50 Diskussion

14:00 Schlusswort

14:15 Bustransfer zum Hauptbahnhof Karlsruhe



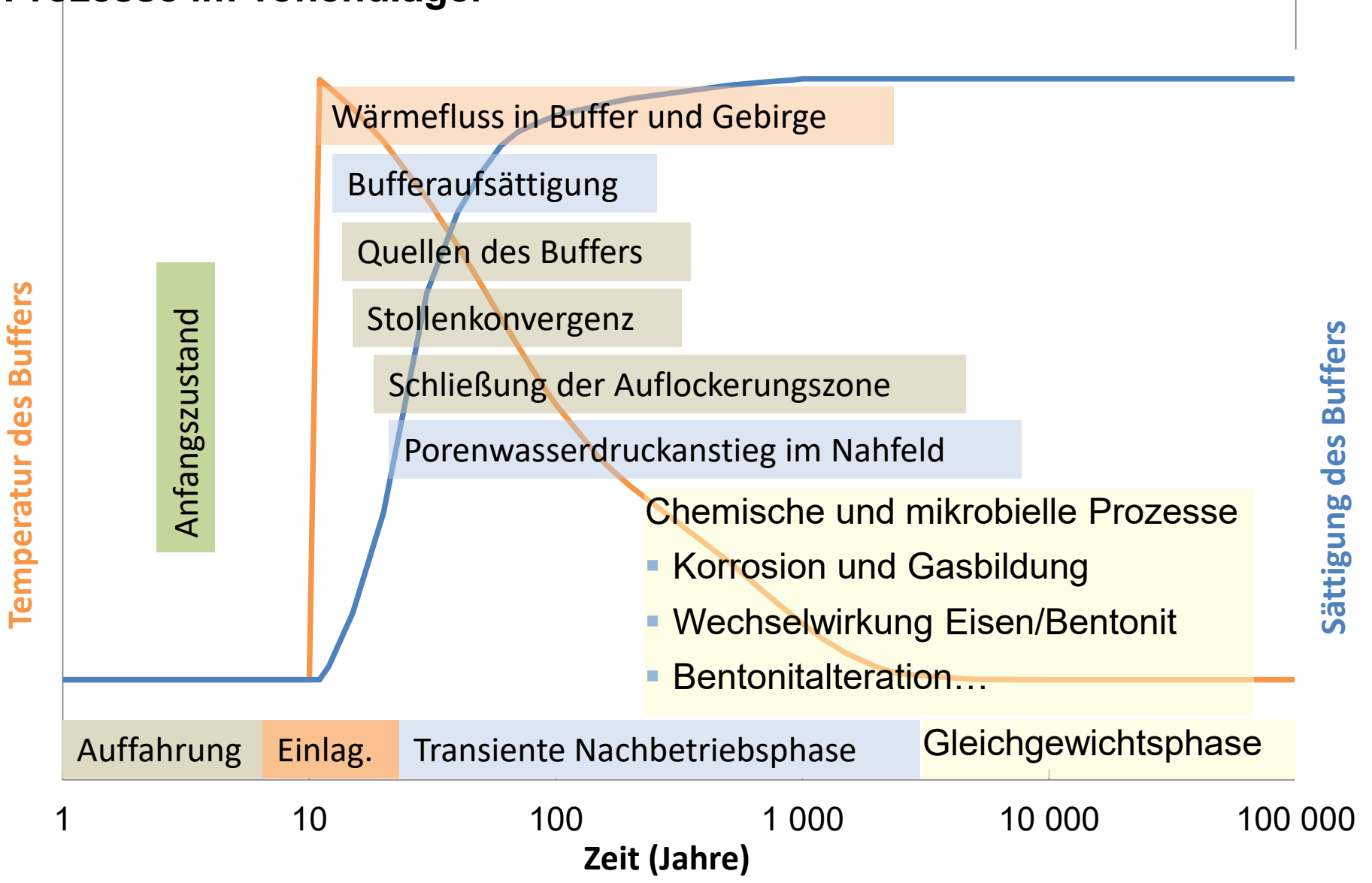
Forschungsarbeiten von BGR und GRS im internationalen Felslabor Mont Terri

Ergebnisse und zukünftige Experimente

Kristof Schuster, Klaus Wieczorek

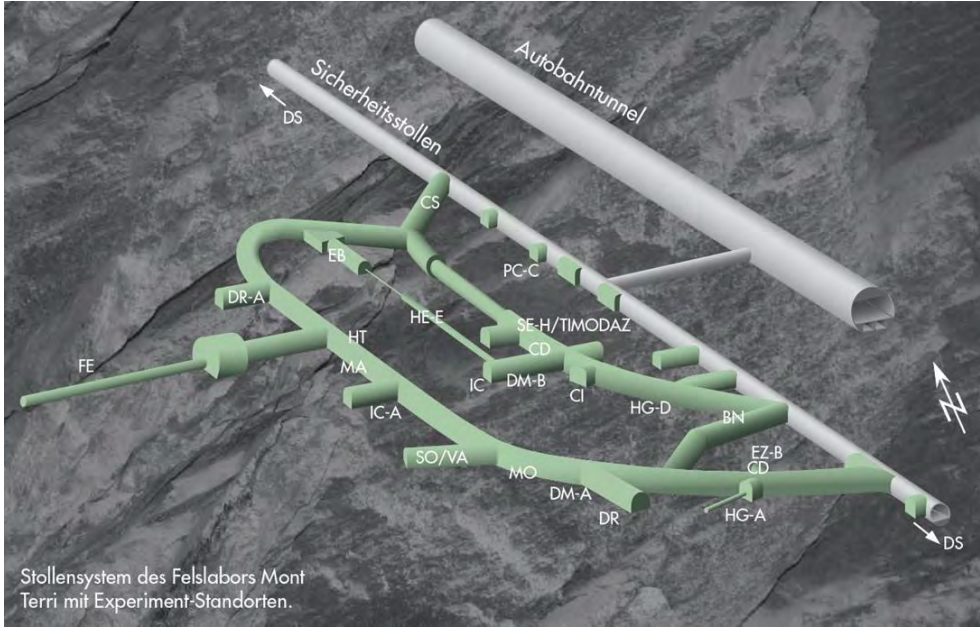
13. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Projekten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle
Karlsruhe, 20. – 21. Juni 2018

Prozesse im Tonendlager



Motivation der Untersuchungen von BGR und GRS

- Vertiefung des Prozessverständnisses
- Qualifikation von Modellen
- Datengewinnung
- Erprobung und Optimierung von Methoden und Messtechniken



- Wissenserwerb durch internationale Zusammenarbeit im Mont Terri Konsortium
- Know-how-Transfer auf Tonsteinformationen in Deutschland
- Schaffung von Entscheidungsgrundlagen für die Vorgehensweise in Deutschland

Projektpartner im Mont Terri Felslabor

19 Organisationen aus 9 Ländern



nagra, swisstopo, ENSI



nwmo
NUCLEAR WASTE
MANAGEMENT
ORGANIZATION



BGR

GRS

HELMHOLTZ
SPITZENFORSCHUNG FÜR
GROSSE HERAUSFORDERUNGEN



enresa



ANDRA
La maîtrise des déchets radioactifs

TOTAL

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



Radioactive Waste
Management

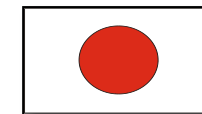


Chevron



SCK•CEN
SCHRIJVEREN BIJ VERKEEREN/ BGR
CENTRE D'ÉTUDE DU COMPLEXE NUCLÉAIRE

FANC



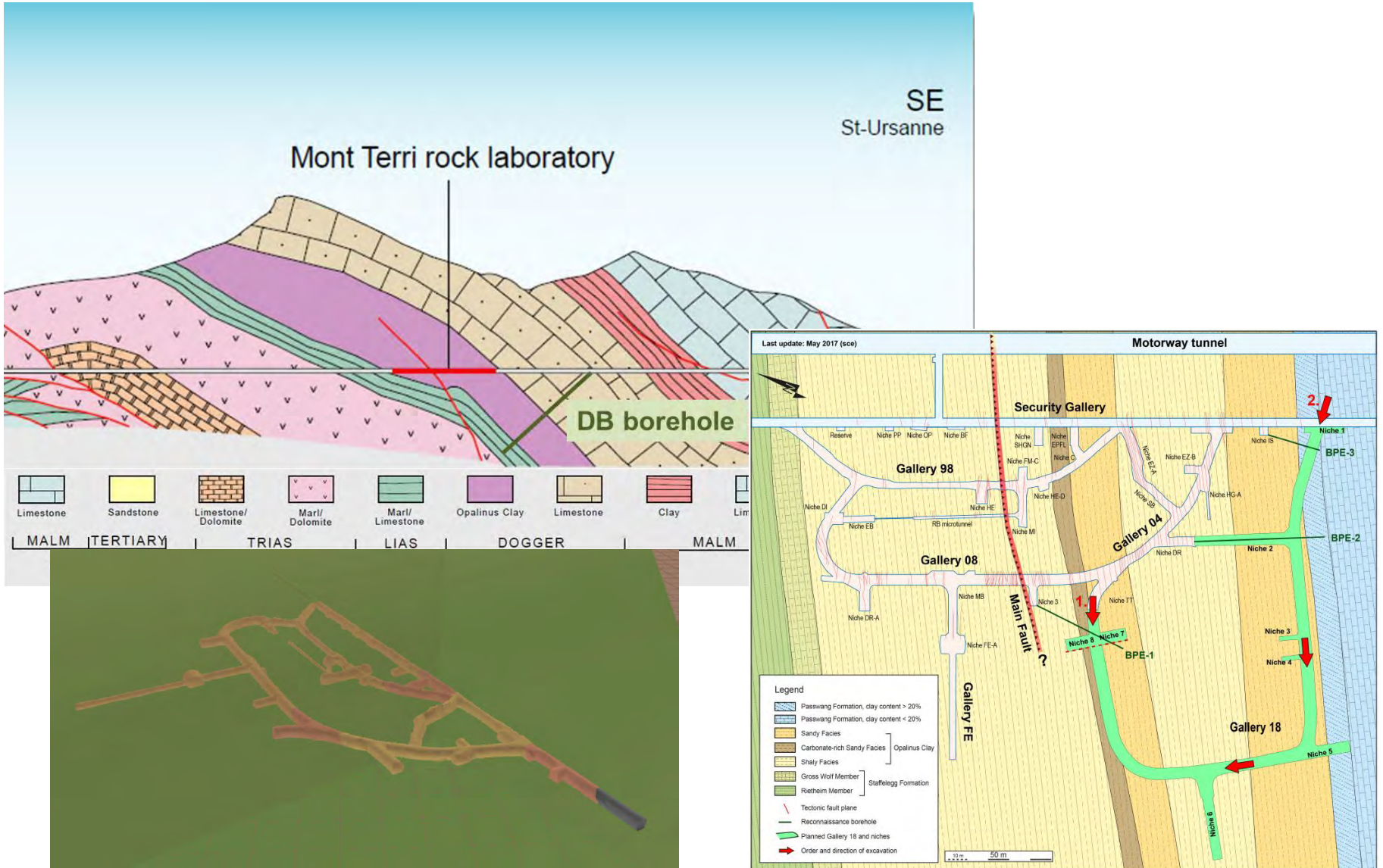
IR

OBAYASHI

JAEA

Übersicht über Geologie und experimentelles Programm: Bossart et al. 2017

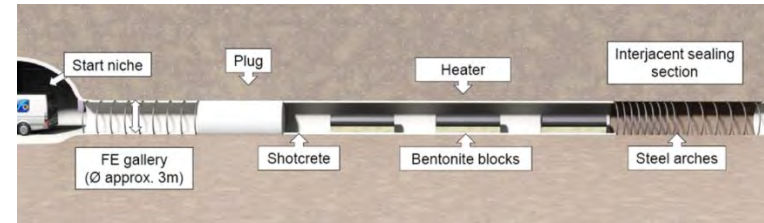
Mont Terri Geologie



Arbeitsschwerpunkte von BGR und GRS

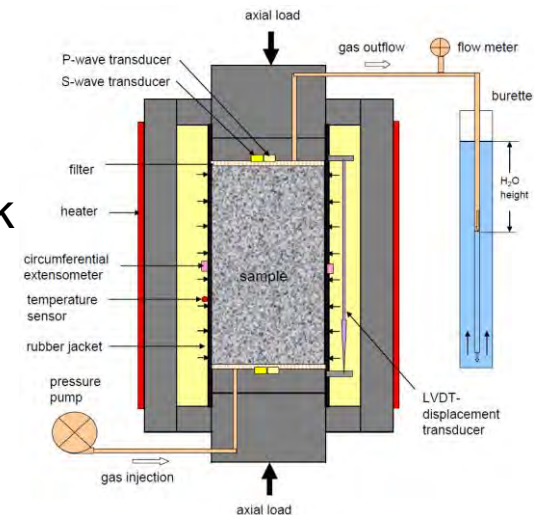
Untersuchung der Wechselwirkung zwischen wärmeproduzierendem Abfall, Verschlussmaterialien und Wirtsgestein in gemeinschaftlichen Großversuchen

- Einlagerungsexperiment nach dem Schweizer Einlagerungskonzept im 1:1 Maßstab (FE)
Hydromechanische Simulation des EBS (EB)
- **Erhitzerexperiment im 1:2 Maßstab (HE-E)**
- Schachtverschluss nach dem Sandwich-Prinzip



Charakterisierung des Opalinustons

- **Methodische Entwicklungen**, Geophysik, Geotechnik
- **In-situ-Experimente** zum mechanisch-hydraulisch gekoppelten Verhalten
- **Laboruntersuchungen**, insbesondere zur Charakterisierung des sandigen Fazies

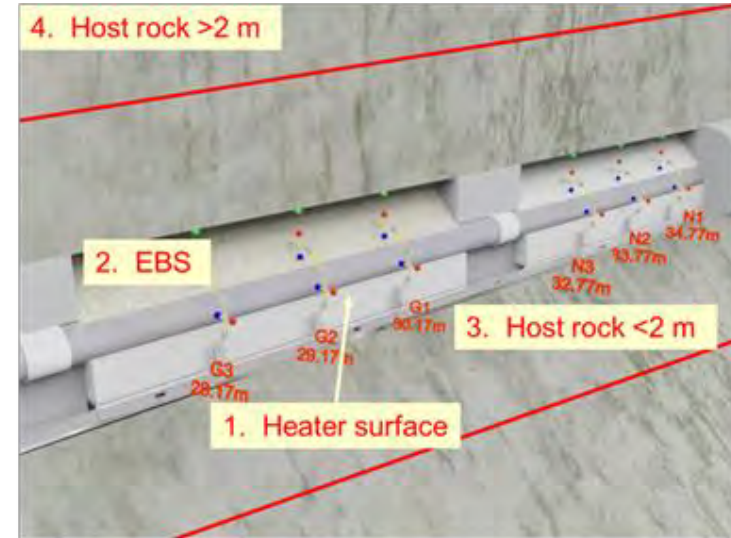


Das HE-E Experiment

- **Erhitzerexperiment im Maßstab 1:2** (Schweizer Endlagerkonzept, Tunnel mit 1.3 m Durchmesser)
- Zwei symmetrische Bereiche (2 Buffermaterialien: Bentonit-Pellets und Sand-Bentonit)
- Natürliche Aufsättigung des Buffers
- Start: Juni 2011, maximale Temperatur 140 °C

- **Versuchsziel: Untersuchung der Frühphase nach Einlagerung mit Schwerpunkt Wärmeausbreitung**
 - integrale Wärmeleitfähigkeit des Buffers (upscaling)
 - daraus resultierende Temperaturverteilung
 - Sättigungs- und Porendruckentwicklung in Buffer und umgebendem Gestein

- Bis Februar 2014 Teil des EU-Projekts PEBS, seitdem Weiterführung im Konsortium BGR/Enresa/GRS/Nagra/Obayashi



Modellsimulation des HE-E Experiments

Ziele

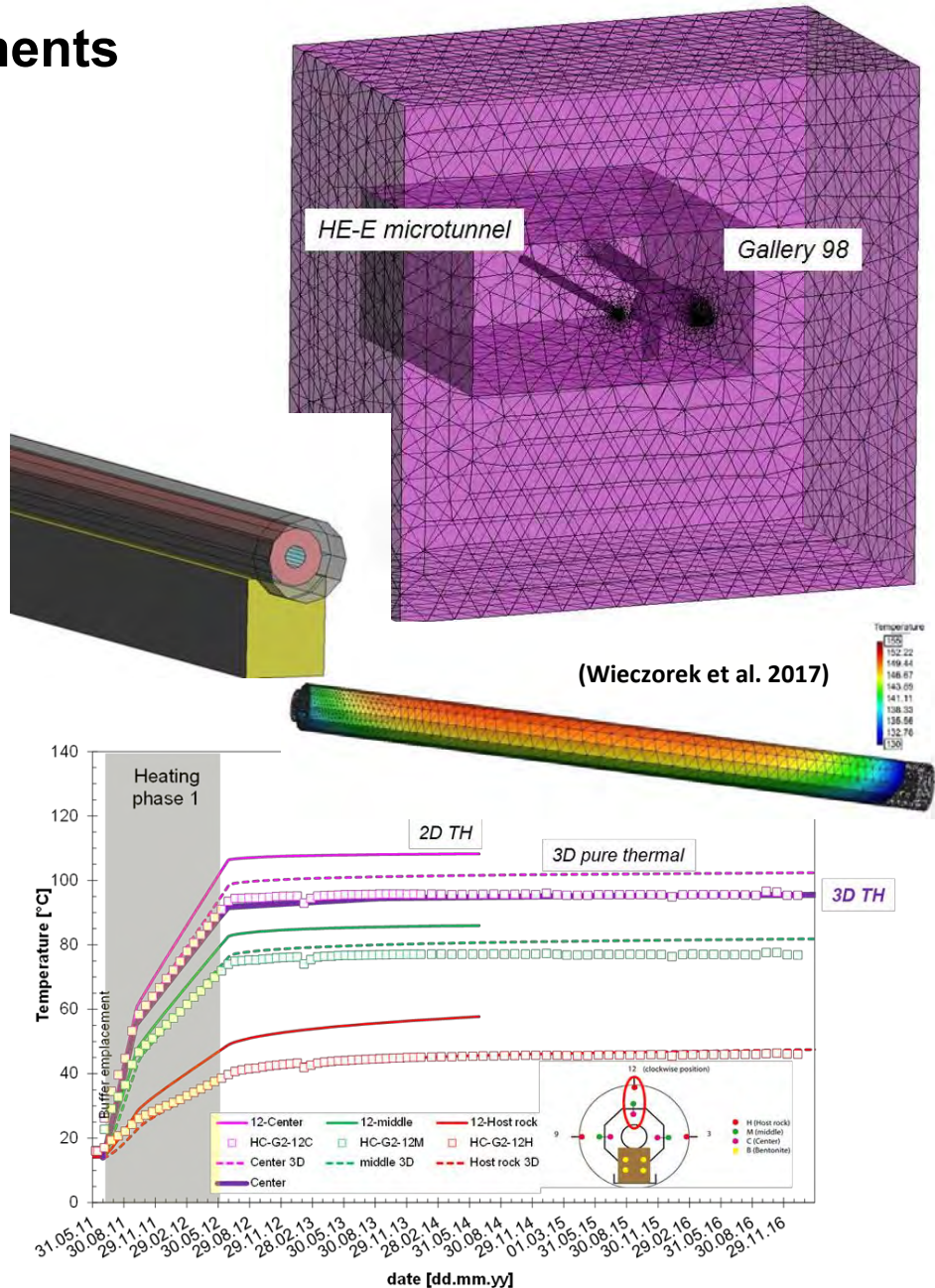
- Generierung eines realistischen und detaillierten Modells des HE-E (Mit Hilfe von VIRTUS)
- Simulation des Experiments mit zunehmender Komplexität (T, TH, THM)

Modell

- Hohlraummodell aus Laserscan-Daten
- Realistischer Aufbau der Erhitzer zur Abbildung von Temperaturvariationen auf der Verrohrung

Simulationen

- Ebenes 2D-Modell (frühere Berechnung)
- 3D, rein thermisch
- 3D, TH gekoppelt
- 3D THM in Vorbereitung

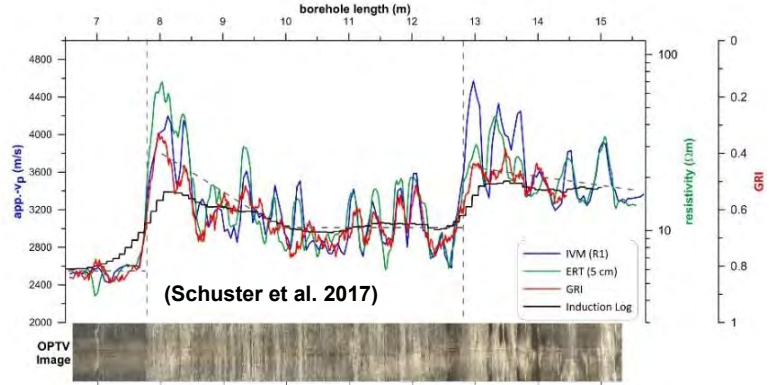


Geophysikalische Charakterisierung - MSM & ERT

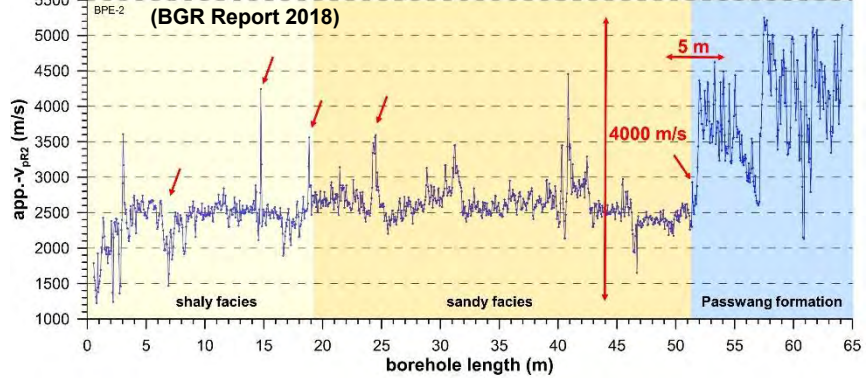
Miniseismische und geoelektrische Methoden-Entwicklungen (MSM & ERT)

- Fokus: hohe räumliche und zeitliche Auflösung sowie Reproduzierbarkeit
- Optische Bohrlochwand Inspektionen
- Dynamisch - elastische und seismische Parameter
- Geoelektrische spezifische Widerstände
- Seismische und Widerstands - Anisotropie
- Kleinskalige Heterogenitäten / Variationen
- EDZ / EdZ & BdZ – Eigenschaften
- Riss – Detektion
- Störungszonen
- Lokale Spannungsfeld Richtungen
- Langzeit – Monitoring von Verschlussbauwerken (EBS - host rock & bentonite)
- „Versöhnung“ statischer & dynamischer Module

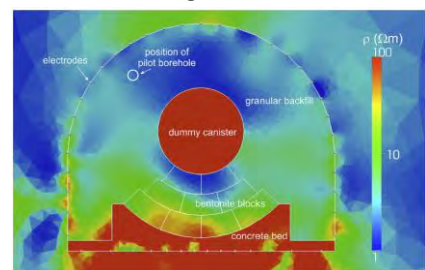
Vergleich MSM – ERT – GRI – OPTV



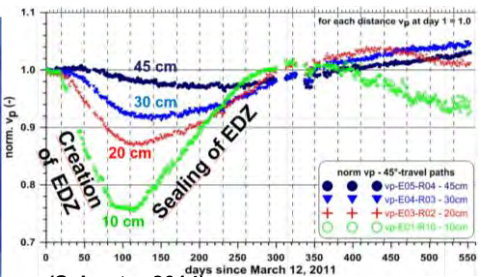
MSM – Tunnel-Vorerkundung - Laborerweiterung



ERT – Monitoring: Verschlussbauwerk



MSM – Monitoring: EDZ - Entwicklung

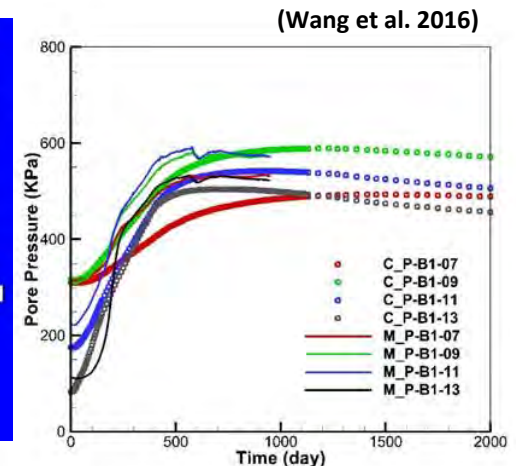
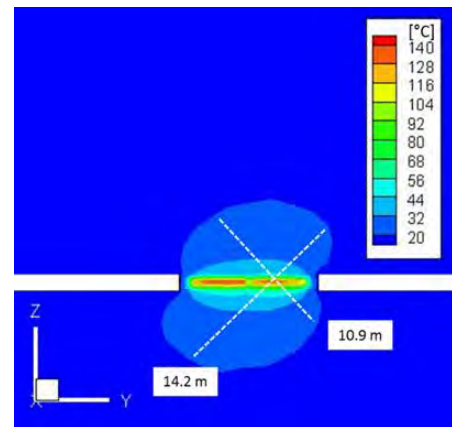
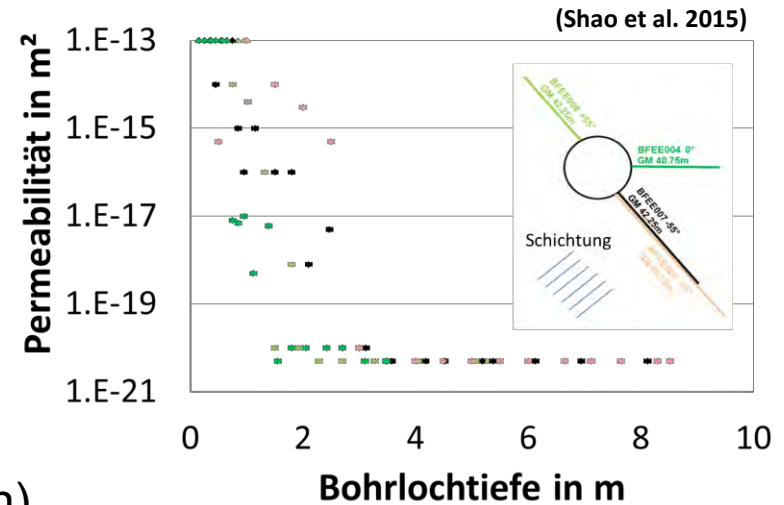


Hydraulische Charakterisierung des Opalinustons

Aufgaben und Zielsetzungen

- Permeabilitätsverteilung im Nahbereich
- Permeabilität Tongestein
- Hydraulische Anisotropie
- Charakterisierung von Wetspots
- Gasmigration
- Interface (geotechn. und geologische Barrieren)
- HM-Kopplung (Mine-by Experimente)
- THM-Kopplung (Erhitzer-Experimente)
- Entwicklung der In-situ-Messtechnik
- Code-Entwicklung und Anwendungen

Ergebnisse



Untersuchung der sandigen Fazies des Opalinustons im Labor (LT-A)

Spannungsabhängigkeit und Anisotropie des E-Moduls

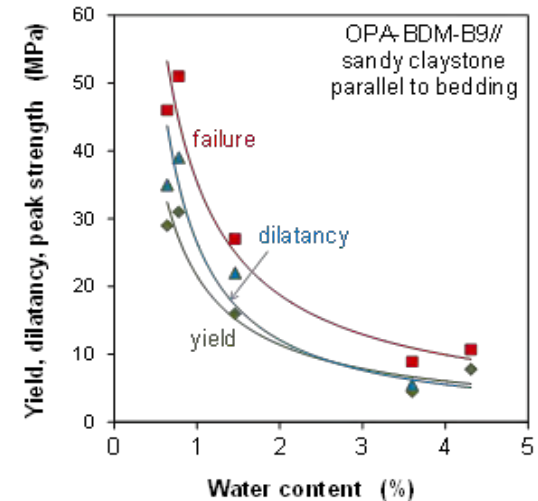
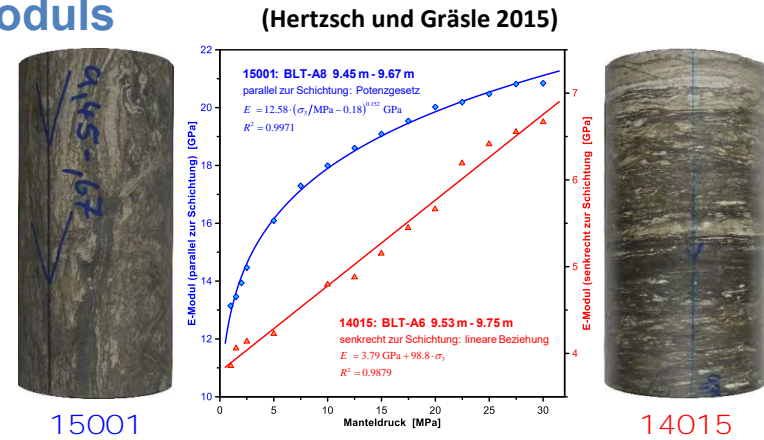
- Abhängigkeit des E-Moduls vom Stützdruck
- Anisotropie betrifft die Größe des E-Modul und die Art der Spannungsabhängigkeit (linear / Potenzgesetz)

Kapillardruck-Sättigungsfunktion

Deviatorisches Spannungs-Dehnungsverhalten und induzierte Permeabilitätsänderung

- Plastifizierung
- Dilatanzgrenze
- Versagen

Untersuchung der HM-Kopplung in komplexen, gesättigten Triaxialtests

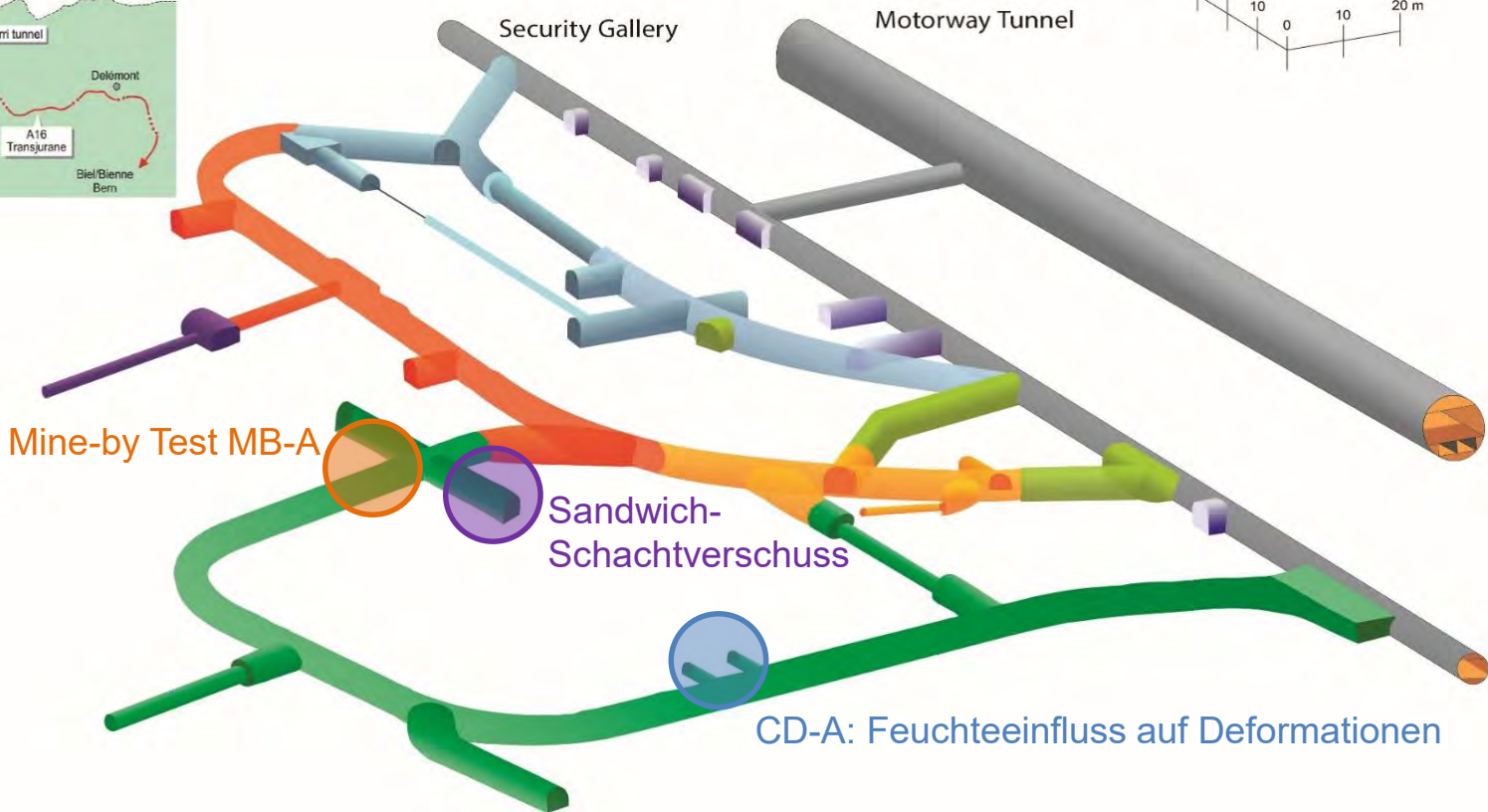
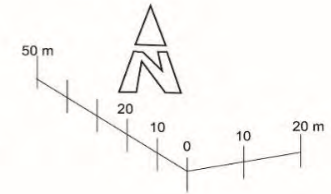


(Zhang et al. 2017)

Erweiterung des Felslabor 2018 – 2019



Rock Laboratory Mont Terri



Construction Phases
Rock Laboratory

- 2018
- 2012
- 2008
- 2004
- 2003
- 1998
- 1996

MB-A Experiment: Hydromechanische Charakterisierung der sandigen Fazies

Erfassung geomechanischer und geohydraulischer Änderungen im Opalinuston
als Folge der Streckenauffahrung

Gemessen werden:

- Porenwasserdruckänderungen
- Spannungsänderungen
- Verformungen

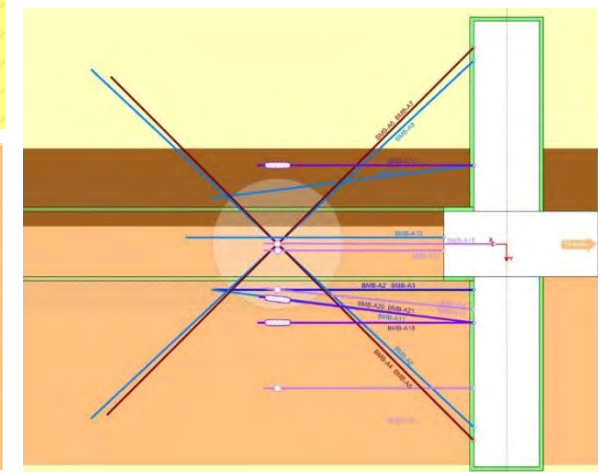
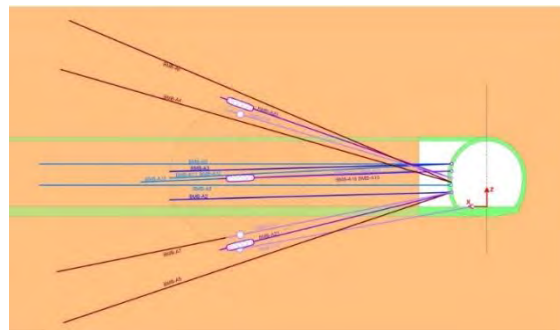
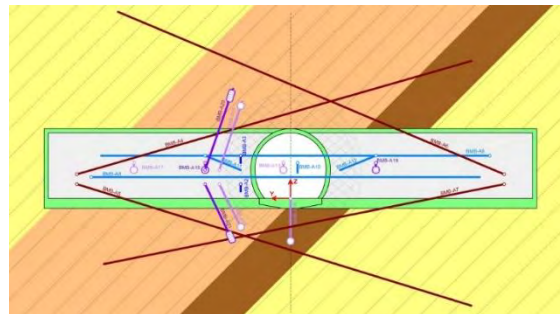
Abschätzung der zu erwartenden
Zustandsänderungen durch
prädiktive Berechnungen

Bereitstellung der Messdaten
für numerische Berechnungen

Fertigstellung der Nischen
Ende Mai 2018

Bohrungen und Instrumentierung
Juni bis August 2018

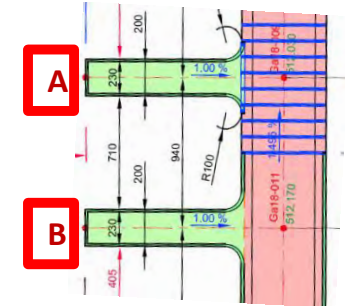
Auffahrung Abschnitt MB-A
Januar 2019



CD-A Experiment: Einfluss von Feuchte auf zyklische und Langzeit-Deformationen

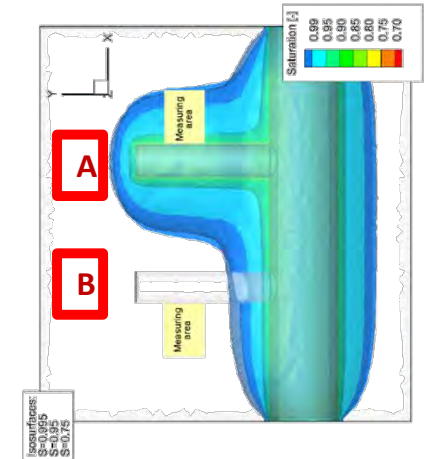
Motivation

- Welchen Einfluss hat die Auffahrung und Bewetterung auf den Tonstein?
- Welchen Einfluss hat Entsättigung auf das mechanische Verhalten?



Experiment

- Zwei Nischen ohne Spritzbeton:
 - A: „normal“ bewettert -> zyklische Entsättigung
 - B: hohe Luftfeuchtigkeit -> Vermeidung von Entsättigung
- Langzeitmessungen (Deformation, Porenwasserdruck, Sättigung, ERT, NMR,..)
- Numerische Analysen



Vorberechnung (OGS):
entsättigte Zone
nach 15 Jahren

Vielen Dank!

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

GRS-Arbeiten betreut vom



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

unter FKZ 02E11304

Ebenfalls vielen Dank an die **Mont Terri Projektpartner!**

Referenzen zu den in der Präsentation gezeigten Ergebnissen, z. T. frei zugängliche online-Versionen:

BGR-Report 2018 (demnächst online): https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Neuerscheinungen/neuerscheinungen_node.html

Bossart, P., F. Bernier, J. Birkholzer, C. Bruggeman, P. Connolly, S. Dewonck, M. Fukaya, M. Herfort, M. Jensen, J.-M. Matray, J.C. Mayor, A. Moeri, T. Oyama, K. Schuster, N. Shigeta, T. Vietor, K. Wiczorek (2017): Mont Terri rock laboratory, 20 years of research: introduction, site characteristics and overview of experiments. Swiss Journal of Geosciences, 110.

Furche, M. & Schuster, K (2014): EB-Experiment - Geoelectrical monitoring of dismantling operation
https://www.pebs-eu.de/PEBS/EN/Downloads/D2_19.pdf;jsessionid=4D8931357576F984872B9D8A4F80FAEE.1_cid292?_blob=publicationFile&v=4

Hertzsch J-M, Gräsle W (2015): Dependency of the elastic modulus of Opalinus clay on the confining pressure. – 2nd EAGE Workshop on Geomechanics and Energy, 13.-15.10.2015, Celle, Germany. doi: 10.3997 / 2214-4609.201414315,
<http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=83025>.

Hua Shao, Benjamin Paul, Xuerui Wang, Jürgen Hesser, Jens Becker, Benoit Garitte, Herwig Müller (2016): The influence of different supports on the properties of the excavation damaged zone along the FE tunnel in the Mont Terri Underground Rock Laboratory in Radioactive Waste Confinement: Clays in Natural and Engineered Barriers Norris et al. (Editors). Geological Society, London, Special Publications, 443, <http://doi.org/10.1144/SP443.18>

Schuster, K. (2014): HE-E Experiment - Seismic data report on EDZ and EBS evolution (HE-E)
https://www.pebs-eu.de/PEBS/EN/Downloads/D2_2_10.pdf;jsessionid=4D8931357576F984872B9D8A4F80FAEE.1_cid292?_blob=publicationFile&v=2

Schuster, K., Amann, F., Yong, S., Bossart, P., Connolly, P. (2017): High-resolution mini-seismic methods applied in the Mont Terri rock laboratory (Switzerland). Swiss J. Geosci. 110, 213-231, doi:10.1007/s00015-016-0241-4, open access: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00015-016-0241-4>

Xuerui Wang, Hua Shao, Jürgen Hesser, Olaf Kolditz (2016); Analysis of the THM behaviour in a clay-based engineered barrier system (EBS): modelling of the HE-E experiment (Mont Terri URL), Environmental Earth Sciences, Springer Verlag, <http://DOI> 10.1007/s12665-016-6116-1

Wiczorek, K., I. Gaus, J.C. Mayor, K. Schuster, J.-L. García-Sineriz, T. Sakaki (2017): In-situ experiments on bentonite-based buffer and sealing materials at the Mont Terri rock laboratory (Switzerland). Swiss Journal of Geosciences, 110.

Wiczorek, K., O. Czaikowski, L. Friedenberg (2017): Three-Dimensional Simulation of the HE-E Heater Experiment Performed at the Mont Terri Rock Laboratory (Switzerland). Poster, The 7th International Conference on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, Davos, Switzerland, 24-27 September 2017.

Zhang, C.-L., Czaikowski, O., Wiczorek, K., Kaufhold, A., Laurich, B., Gräsle, W. (2017): Investigations of the Hydro-Mechanical Behaviour of the Sandy Facies of Opalinus Clay. The 7th International Conference on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, Davos, Switzerland, 24-27 September 2017.

SANDWICH-VP: Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip – Vorprojekt

Katja Emmerich, Rainer Schuhmann (KIT-CMM)
Klaus Wiczorek (GRS)

Neben dem Wirtsgestein kommt geotechnischen Barrieren wie Schacht- oder Streckenverschlüssen in Endlagern eine besondere Bedeutung zu.

Ein vielversprechendes Konzept ist das vom KIT entwickelte Sandwich-System, bei dem das hydraulische Dichtelement aus Wechsellagen aus Bentonit zur Abdichtung und hydraulisch leitenden Potentialausgleichsschichten (Äquipotenzialsegmente – ES) besteht. Experimente im Technikumsmaßstab zum Nachweis der Funktion sind erfolgreich durchgeführt worden. Der nächste Schritt ist ein großmaßstäbliches Experiment unter Einbeziehung des Wirtsgesteins, bei dem unter Demonstration der Einbautechnik zu prüfen ist, ob die erwarteten Vorzüge des Sandwich-Systems zum Tragen kommen und die Dichtfunktion großmaßstäblich erreicht wird.

Das Sandwich-Vorprojekt ist ein Verbundprojekt von KIT und GRS mit Beteiligung nationaler Partner (BGR) und internationaler Partner (Swisstopo, ENRESA, NAGRA) sowie in enger Kooperation mit dem ENSI. Im 2. Projektjahr werden sich außerdem NWMO und RWA beteiligen. Das Ziel des Sandwich-Vorprojekts besteht in der Planung eines großmaßstäblichen in-situ Experiments zum Verschluss eines Experimentalschachtes im Mont Terri Felslabor (CH).

Für die Erarbeitung des Projektplanes für das in-situ Experiment ist das Vorprojekt in 9 Arbeitspakete aufgeteilt. Im AP1 wurde zunächst der Kenntnisstand zu in-situ Schachtverschlussexperimenten zusammengefasst. Im AP2 werden die Ziele des in-situ Experimentes detailliert formuliert. Das in-situ Experiment soll in der Nische 7 der Erweiterung (Gallery 18) des Mont Terri Felslabors in der sandigen Fazies des Opalinustons (AP3) durchgeführt werden. Die Nische wurde mit einer feierlichen Zeremonie im Juni 2018 eröffnet.



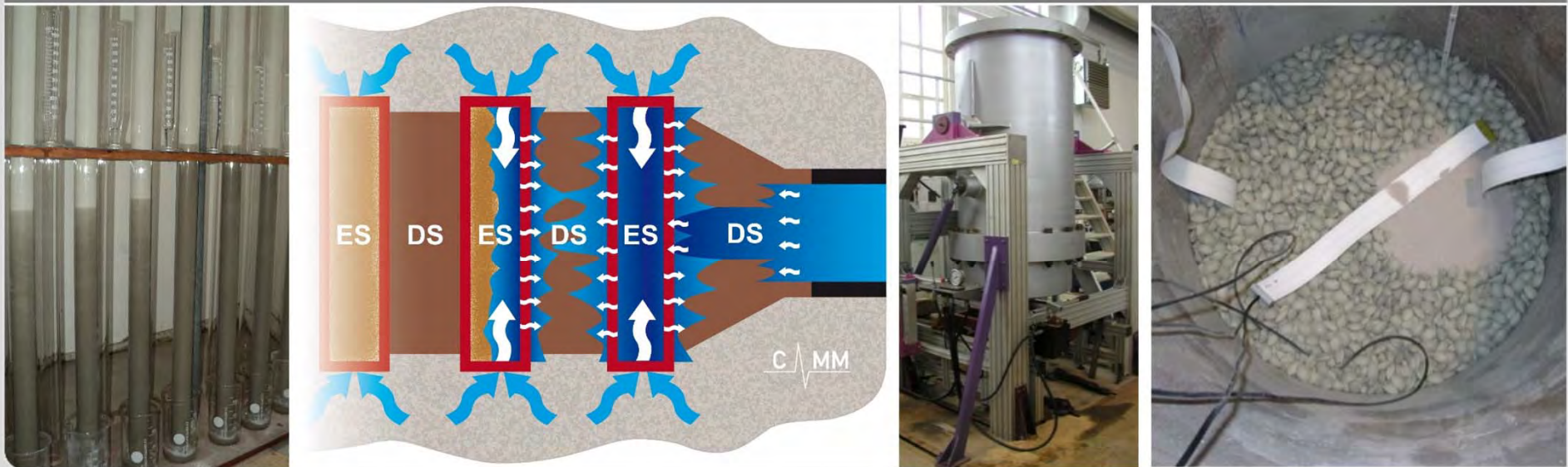
Aktuell werden im AP4 Materialien für die ES und DS weiterentwickelt. Dazu werden neben mineralogischen/geotechnischen Laboruntersuchungen Minisandwichversuche sowie der HTV-6 mit Pearson Wasser durchgeführt. Die Materialparameter fließen notwendigerweise in die Versuchsauslegung, die Auslegungsrechnungen, die Planung der Schachterstellung sowie die Instrumentierungsplanung (AP5-AP8) ein. Das Ergebnis des AP9 wird der Projektplan sein.

Verbundprojekt: Sandwich-VP

Objectives, design and scoping calculations of an *in-situ* experiment on a Sandwich shaft sealing system for shafts in the Mont Terri rock laboratory

Katja Emmerich

13. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Arbeiten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle



Co-operation and funding

SW-A: Planning and technical preparatory work for a large-scale Sandwich seal experiment

SANDWICH – VP (SANDWICH pre-project)

KIT (CMM), GRS, IfG, IBeWa, SSKG, TUBAF

BGR, swisstopo, ENRESA, Ciemat, Amberg, NAGRA
NWMO, RWM/NDA

SW-B: Scoping calculations for a large-scale Sandwich seal experiment

GRS, BGR, ENSI

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

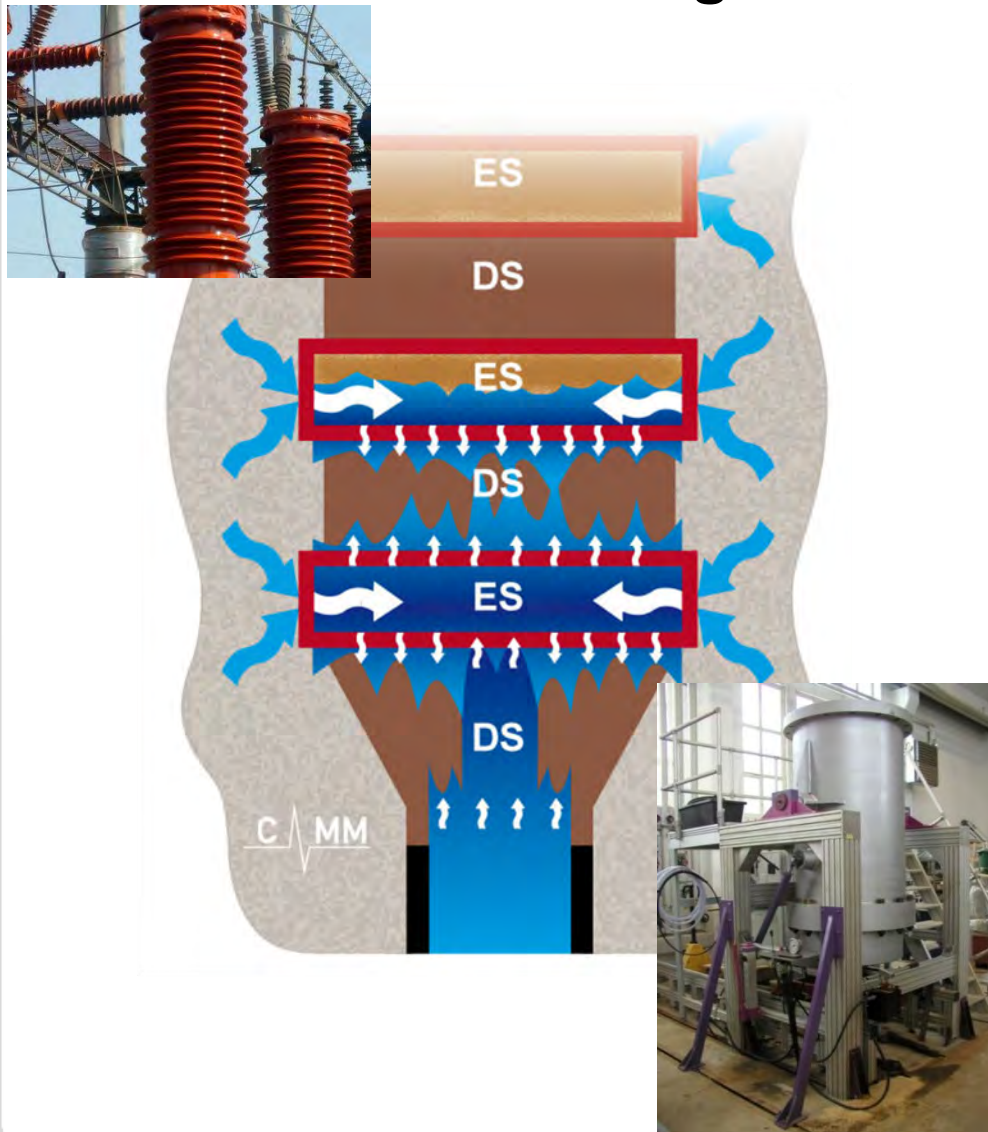
on the basis of a decision
by the German Bundestag

MANAGED BY

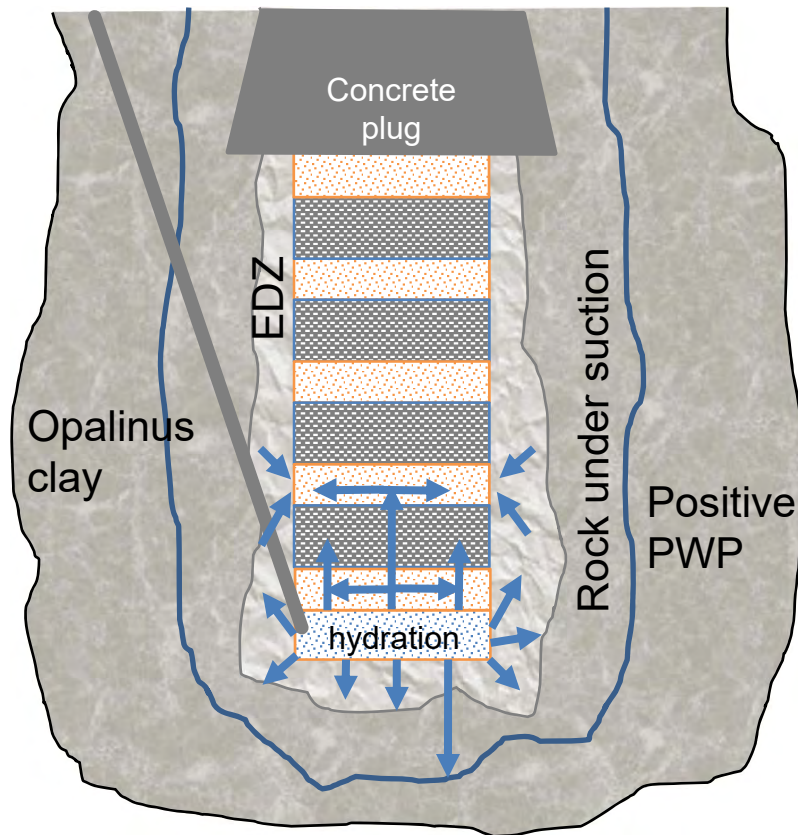


PTKA
Project Management Agency Karlsruhe
Karlsruhe Institute of Technology

The Sandwich sealing

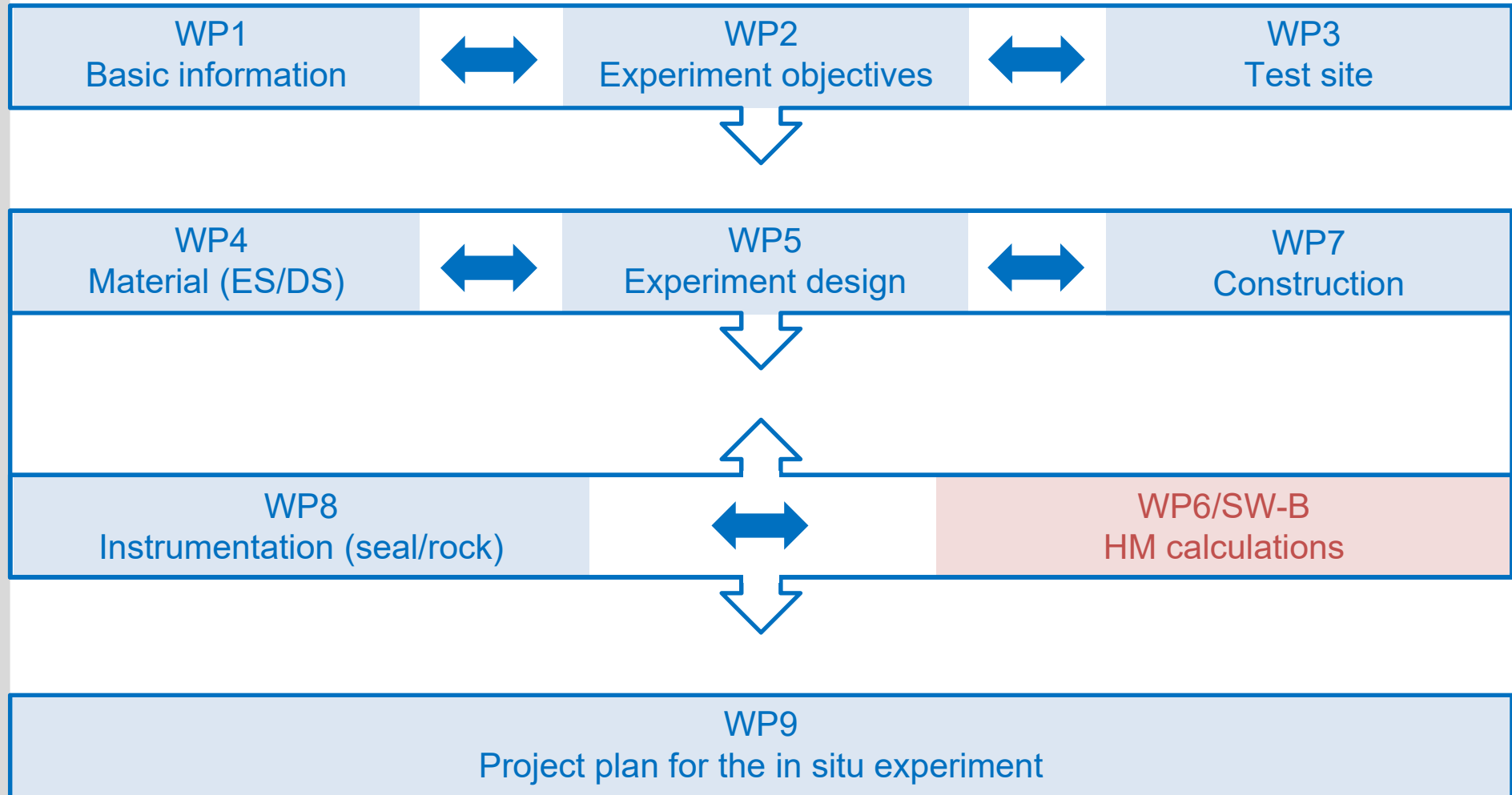


Aim of the Sandwich-VP



Planning of a large scale *in-situ* experiment on a Sandwich sealing system for shafts, including dimensioning, boundary conditions and instrumentation in clay host rock

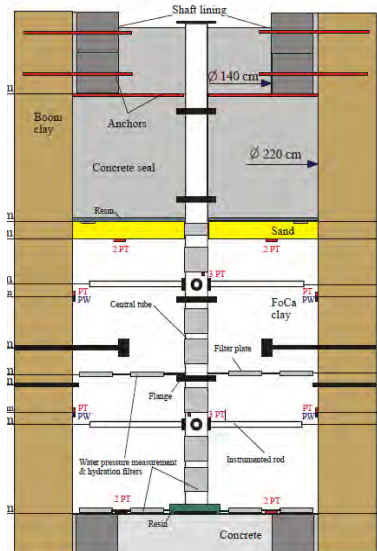
Work packages



WP1 Basic information

RESEAL

HADES URL, Mol, Belgium

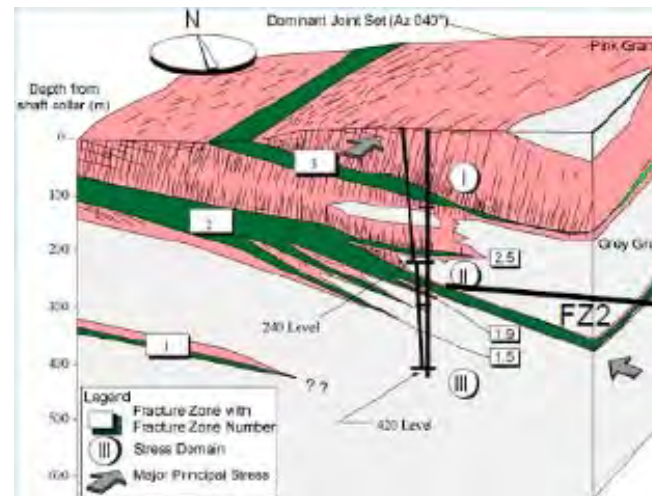


146 Sensors in
8.4 m³ bentonite

56% saturation
after 6 a

ESP

Canadian URL (Whiteshell Laboratory,
Manitoba, Winnipeg)

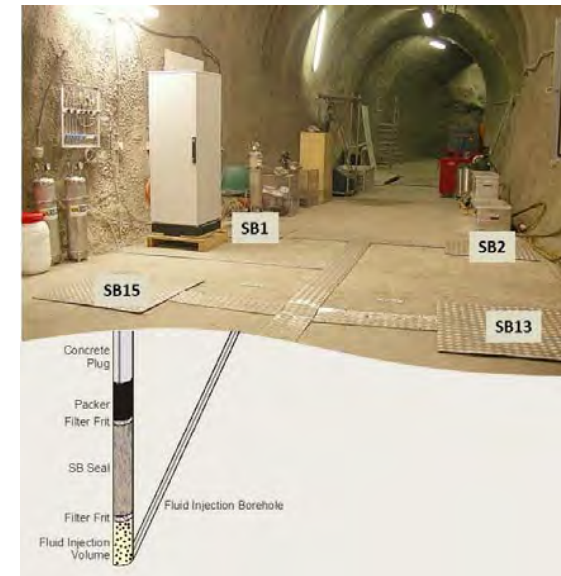


100 Sensors in
109 m³ bentonite

100% saturation
after 11 a

SB

Mont Terri RL, Switzerland



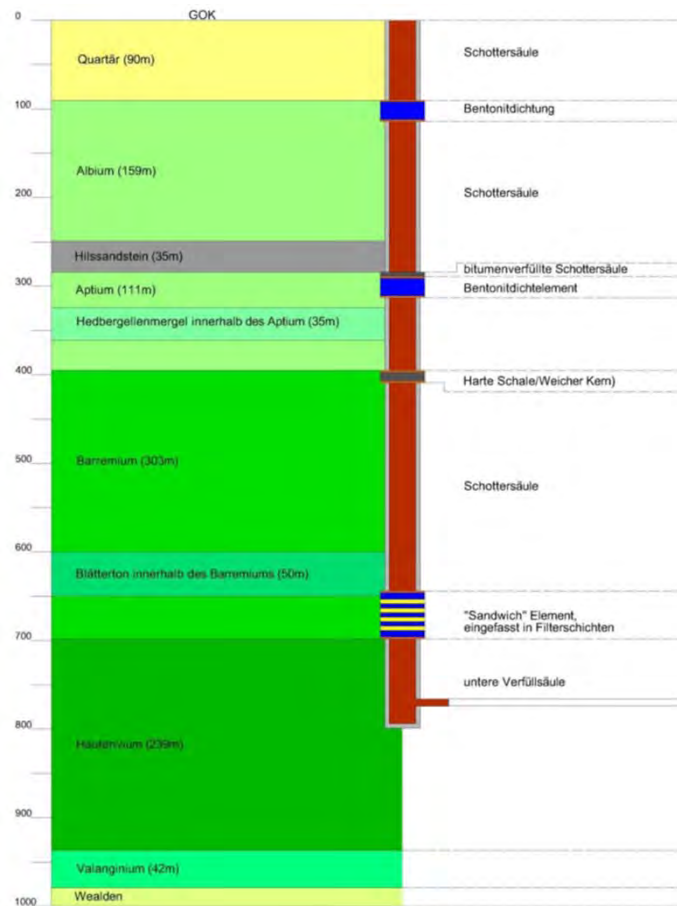
Few sensors in seal
and adjacent rock

seal bypass

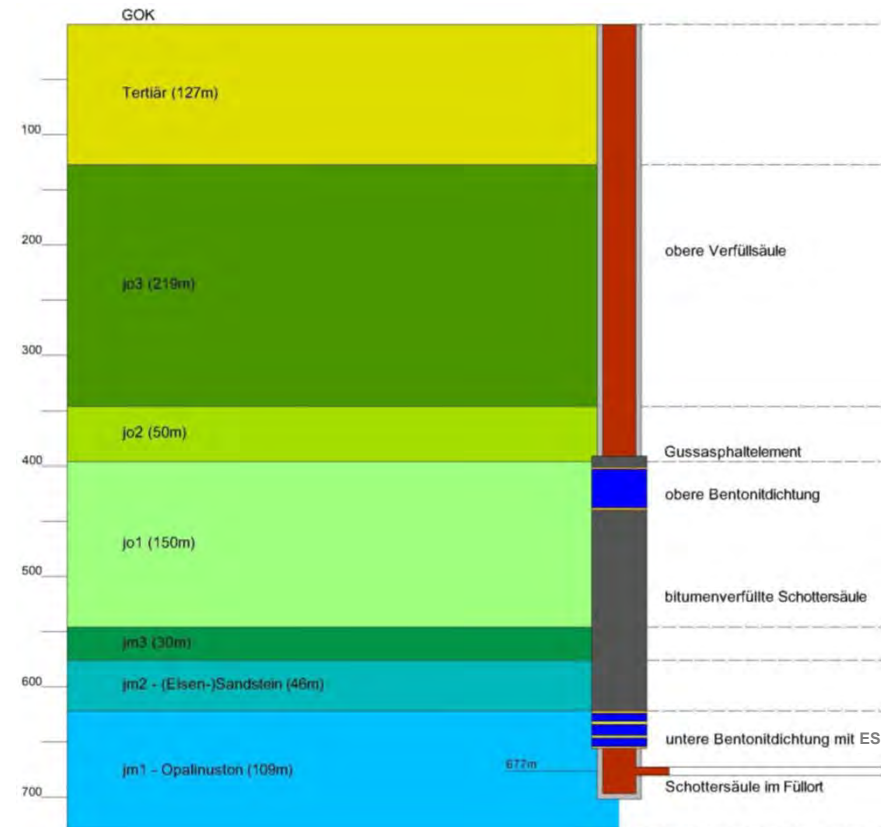
WP1 Requirements for shaft seals

Projects: AnSichT and ELSA

North



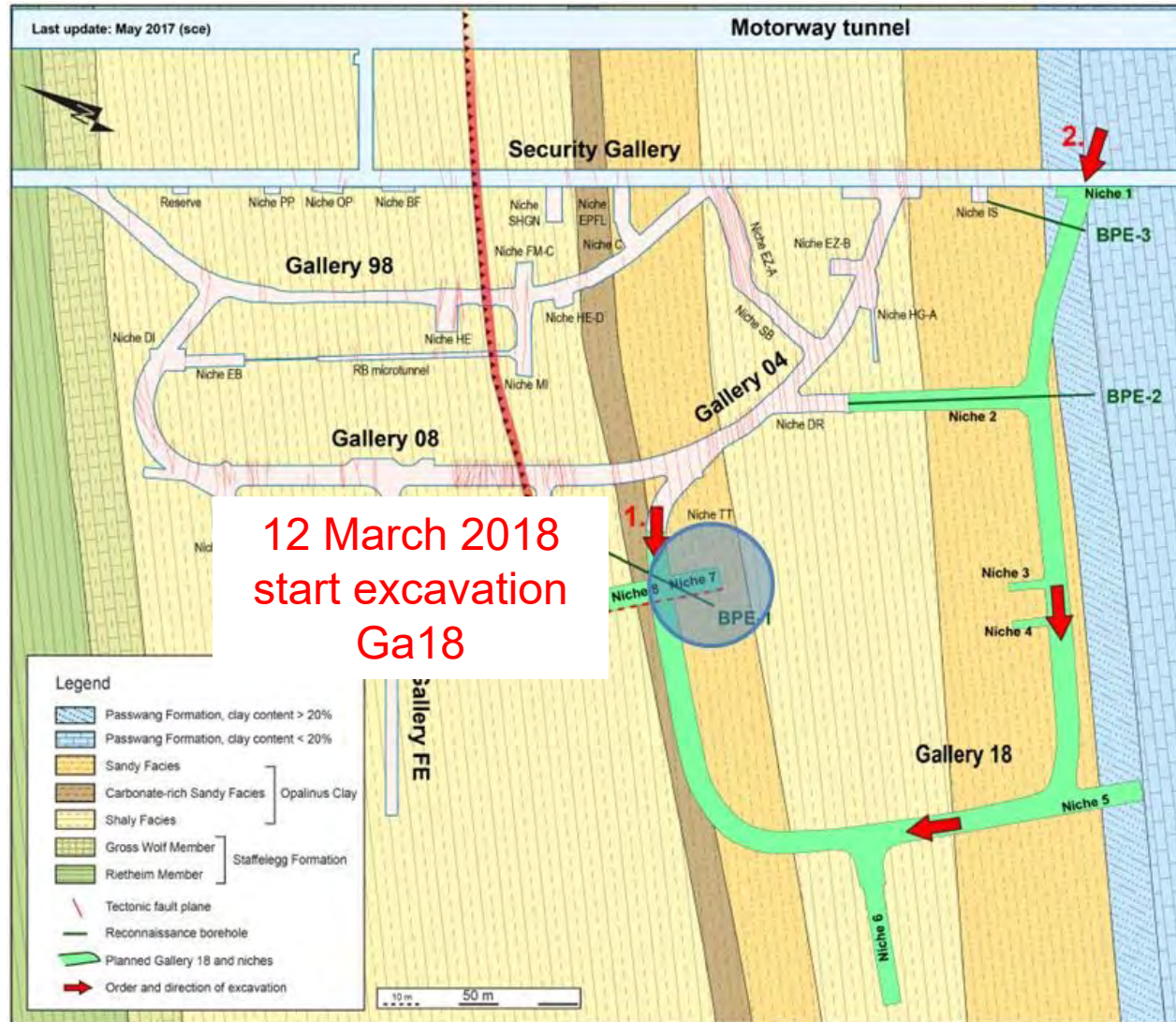
South



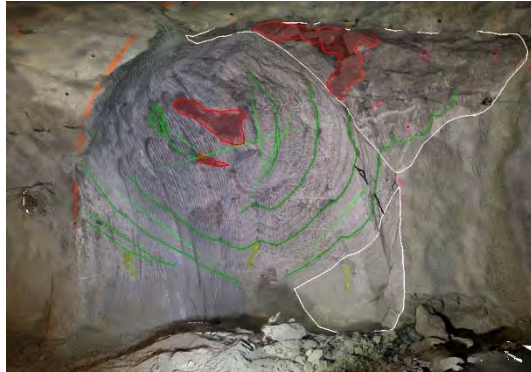
WP2 Objectives of the *in-situ* experiment

1. Feasibility of installation
 - a) Scale transition (Semitechnical scale to large scale but not full scale)
 - b) Meeting requirements of large scale (e.g. workplace safety)
 - c) Hydration system
 - d) Compaction of DS and ES around sensors
2. Investigation of the saturation process
 - a) Hydration of the seal by injection
 - b) Re-saturation of the host rock
 - c) Interaction of the EDZ with the equipotential and sealing layers
3. Qualification of measurement and monitoring techniques (instrumentation)
 - a) Cable vs. wireless data transmission
 - b) Multiparameter monitoring (fibre-optics)
 - c) Durability
4. Assessment of sealing effectiveness (later stage of the experiment)
5. Evaluation and validation (2nd experimental shaft)

WP3 Test site – Gallery 18, Niche 7



WP3 Test site – Gallery 18, Niche 7



Week 14 (2 - 8 April 18)
Start excavation niche 7
6 April 18 NM 1.5 m

Continuous mapping of excavation face, walls
and floor; Fossil inspection



Week 16
Excavation niche 7 finished
NM 17.5 m (NM 20.0 m from Ga18 axis)

Week 17 invar convergence measurements



Week 21 (21 - 27 May 18)
Niche 7 finished with concrete floor

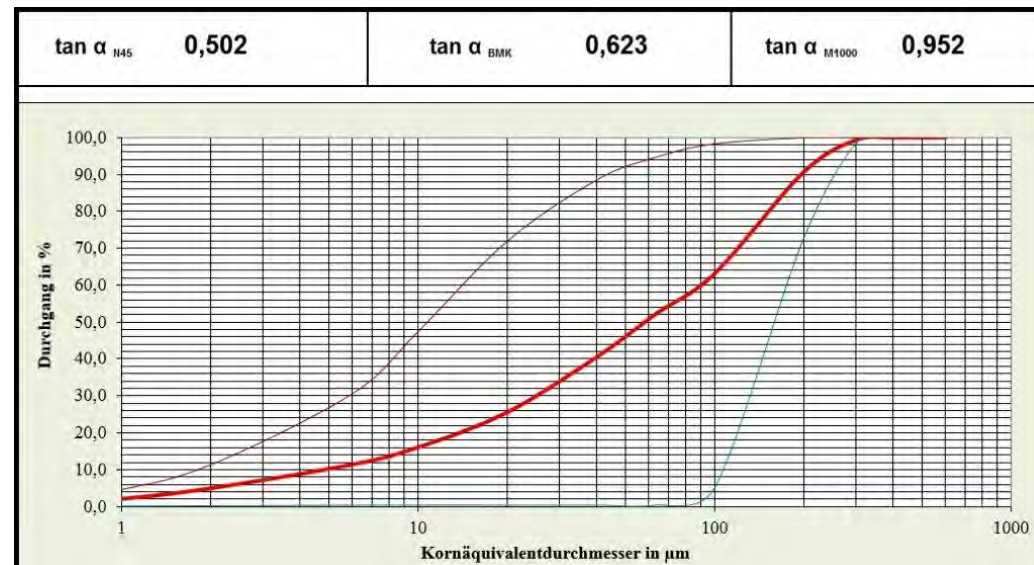
WP4 ES materials



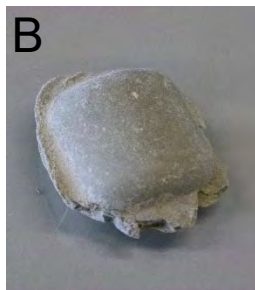
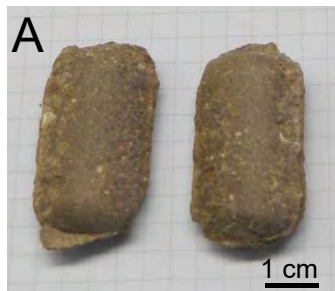
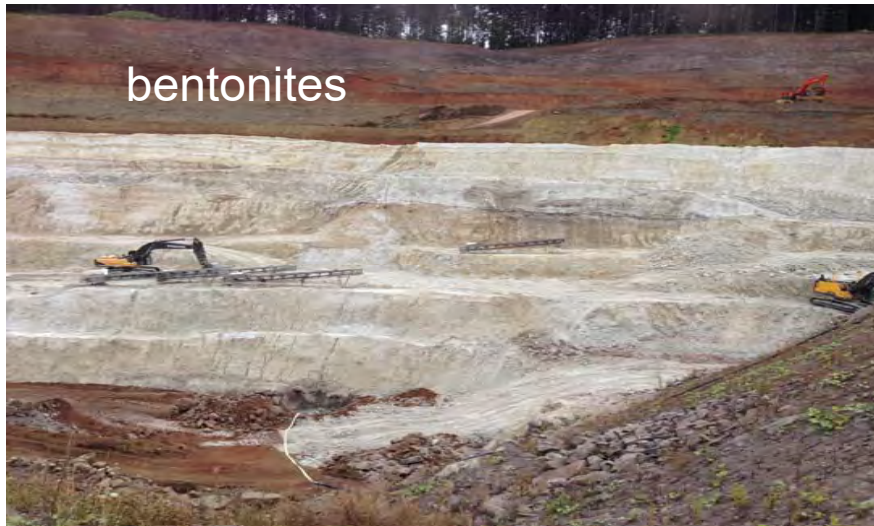
- Capillary properties: $pF > 2.5$
- Rising height > 300 cm
- Hydraulic conductivity: $k_f > 10^{-5}$ cm/s (silty sand)
- Mechanical stability

- Easy processing and low number of components
- Available in large quantities over a long time range

RRSB net



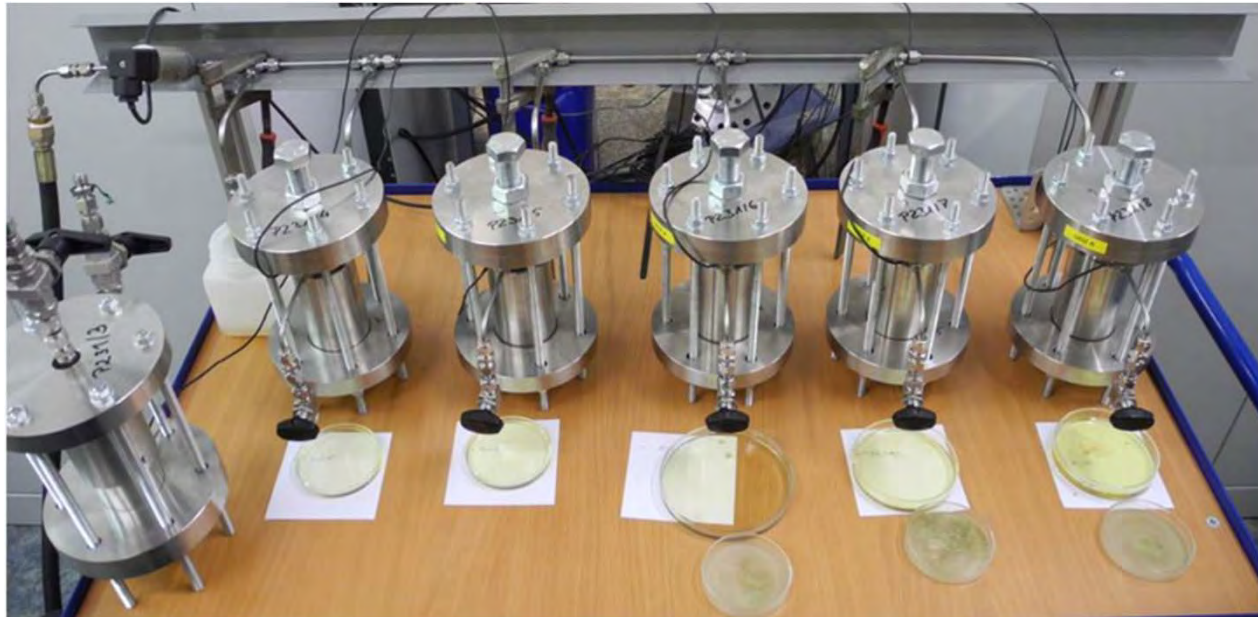
WP4 DS materials



- Availability
- Swelling pressure
- Smectite content, Interlayer cation
- Water content
- Compactibility
- Dry density ($\rho_d \approx 1.9 - 2.0 \text{ g/cm}^3$)
- Self compactibility of binary mixture



WP4 DS materials – swelling pressure

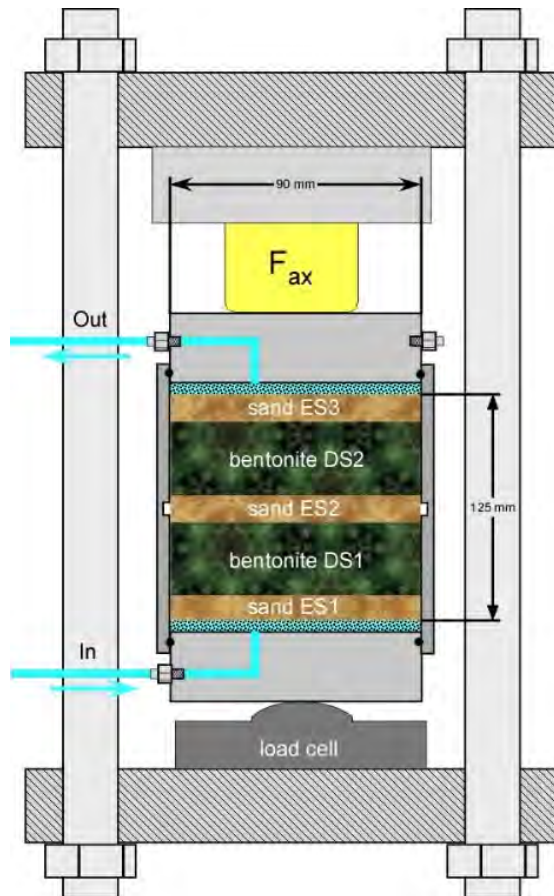


$w_{GT} \approx 10 - 13\%$
 Tap water

	ρ_d [g/cm ³]	EMDD [g/cm ³]	p_s [MPa]
Calcigel (B)	1.55	1.22	2.21
	1.60	1.27	3.68
D3 Ruppach (A)	1.50	1.40	3.78

WP4 MiniSandwich

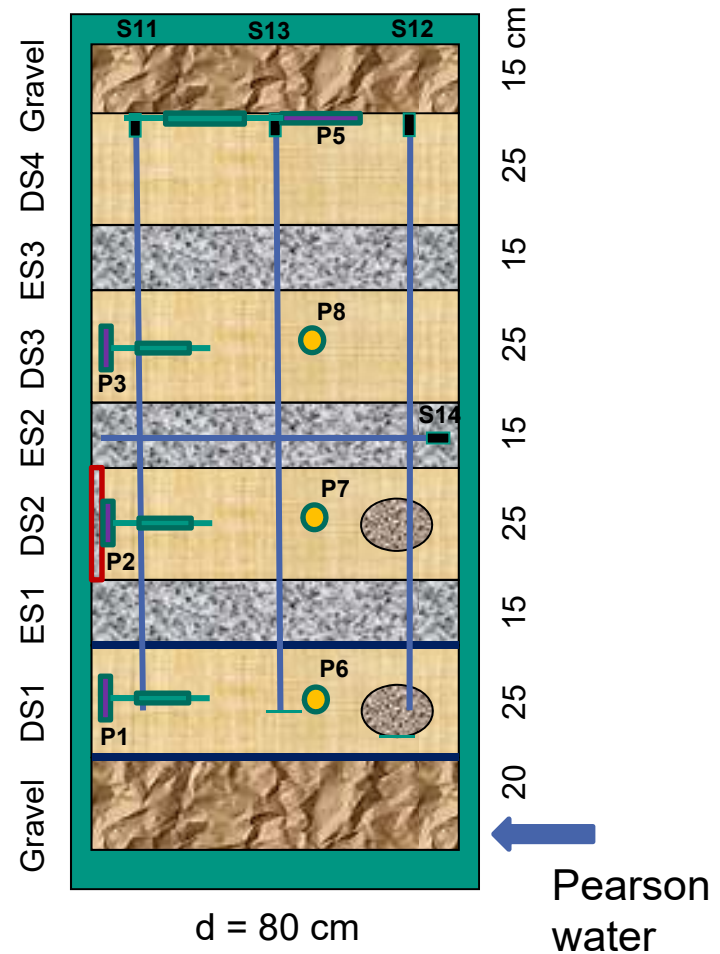
Oedometer stage



Fluid: Pearson water (NAGRA NAB 12-54)

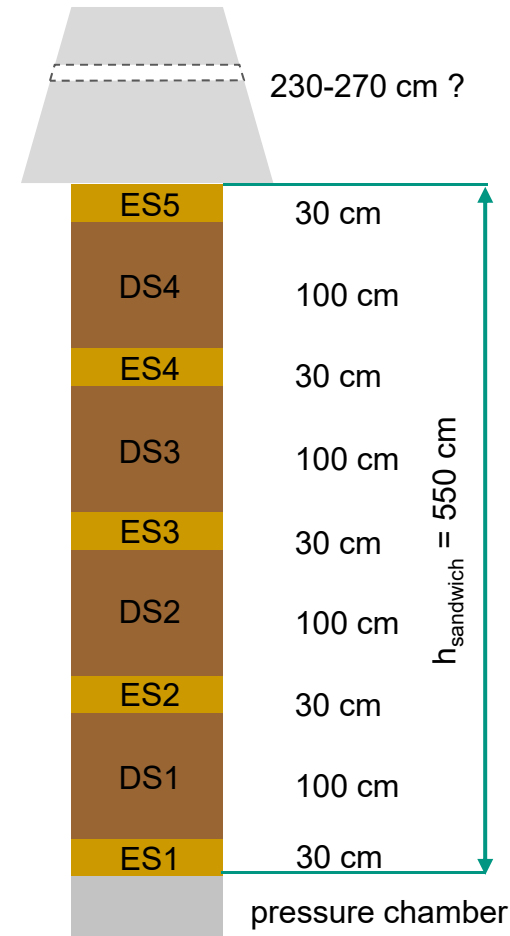
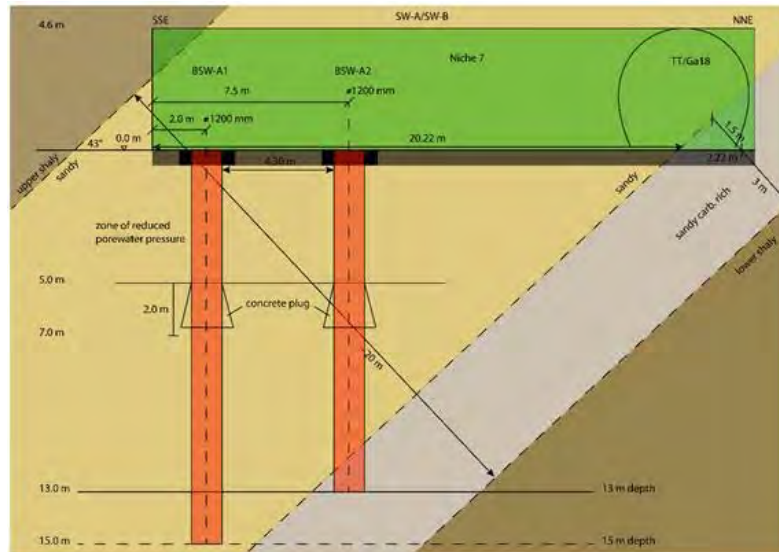
Cell		7	8
W _{GT} of Calcigel	[%]	3.7	10.2
Dry density bentonite	[g/cm ³]	1.54	1.54
Gas permeability	[m ²]	$6.2 \cdot 10^{-14}$	$4.5 \cdot 10^{-14}$
Swelling pressure	[MPa]	2.1	1.1
Fluid permeability	[m ²]	$1.7 \cdot 10^{-18}$	$2.6 \cdot 10^{-18}$
Fluid inflow saturation calc.	[ml]	310	260
Fluid inflow meas.	[ml]	Not yet achieved	

WP4 Semi-technical scale experiment HTV-6



Spherical pressure sensors, Glötzl soil pressure sensor / Plate load sensors, TDR sensors

WP5 Exp. Design – Main experimental shaft

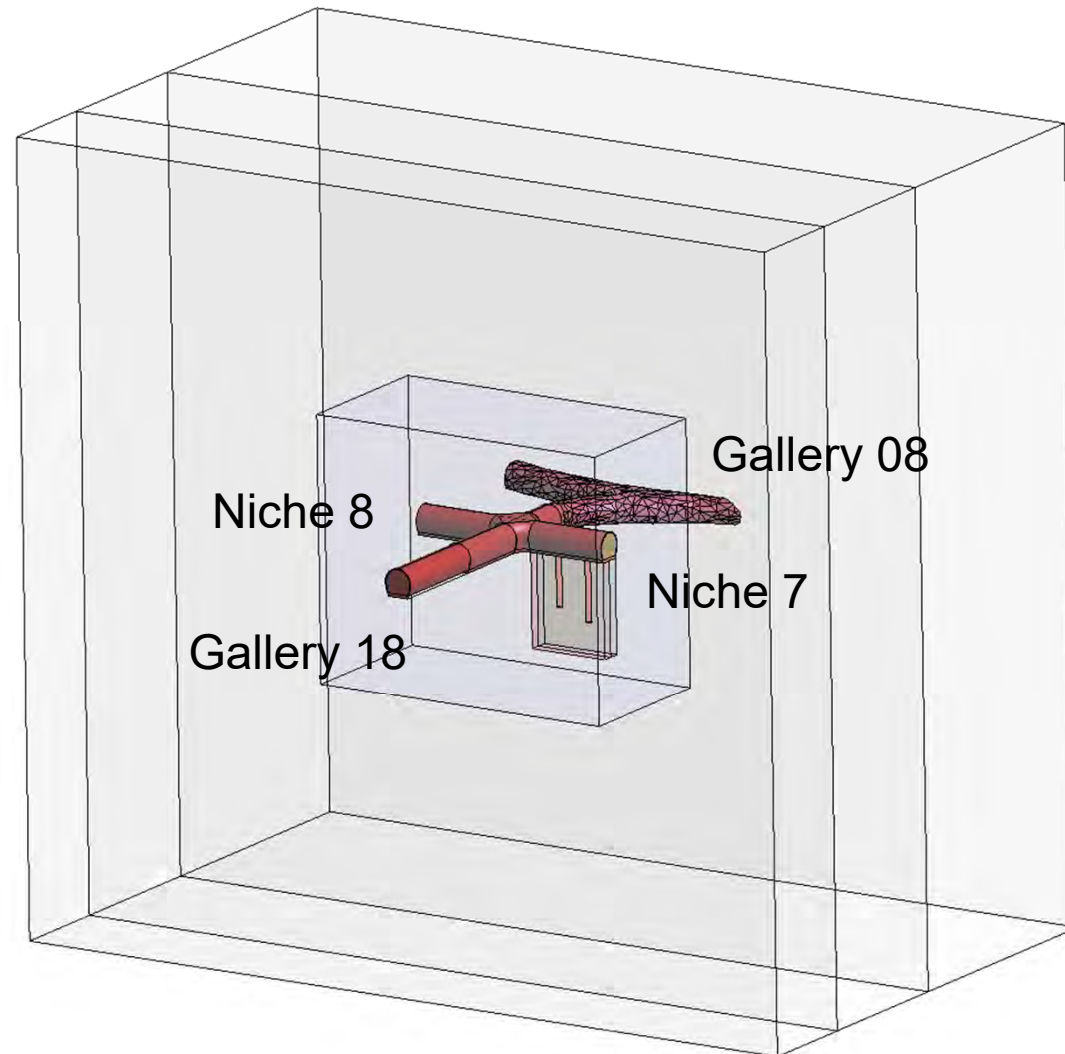


d = 120 cm

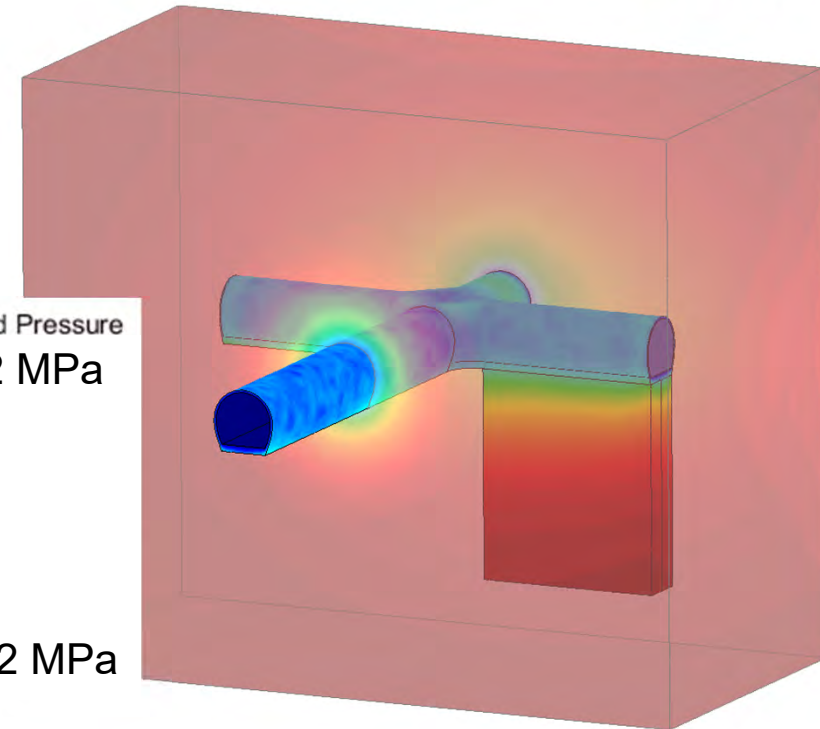
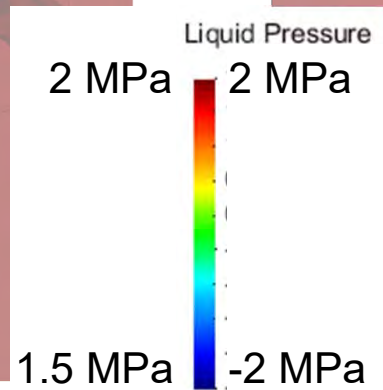
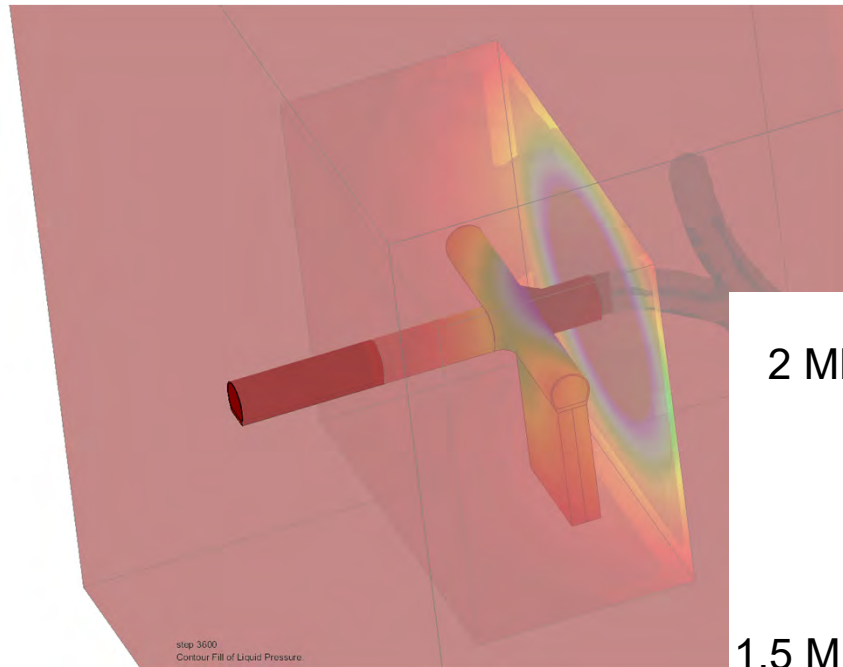
WP6 Scoping calculations - excavation

First step:

Hydraulic properties of
homogeneous Opalinus
clay (sandy facies)



WP6 Scoping calculations - excavation



Prior excavation niche 7 and niche 8
Pore pressure slightly reduced

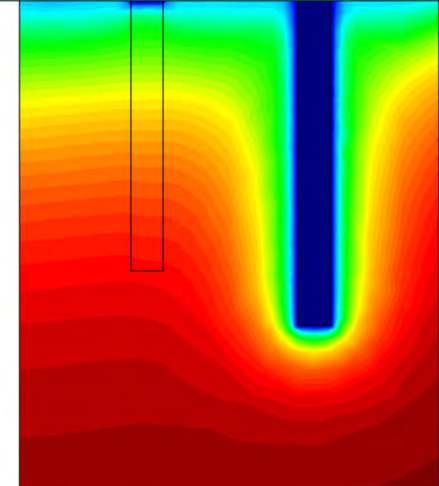
Prior to experimental shaft sinking
Ventilation of gallery 18 and niche 7



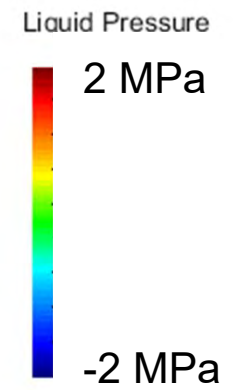
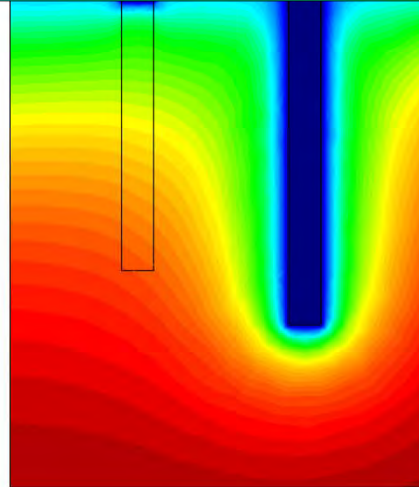
WP6 Scoping calculations - excavation



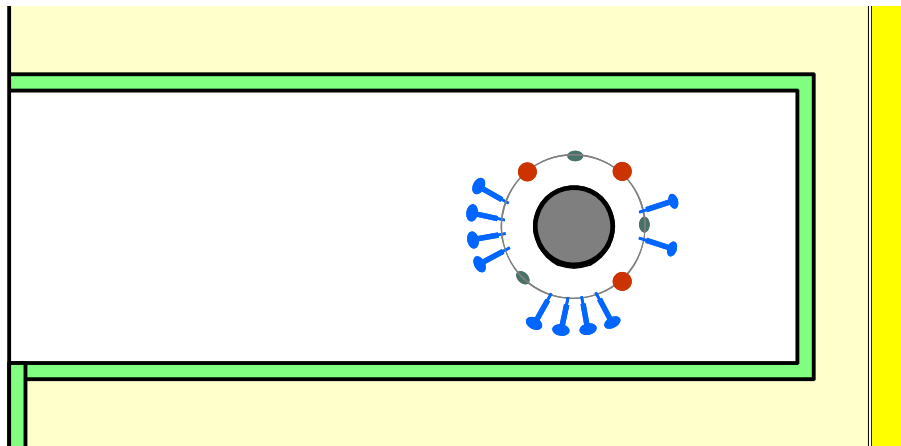
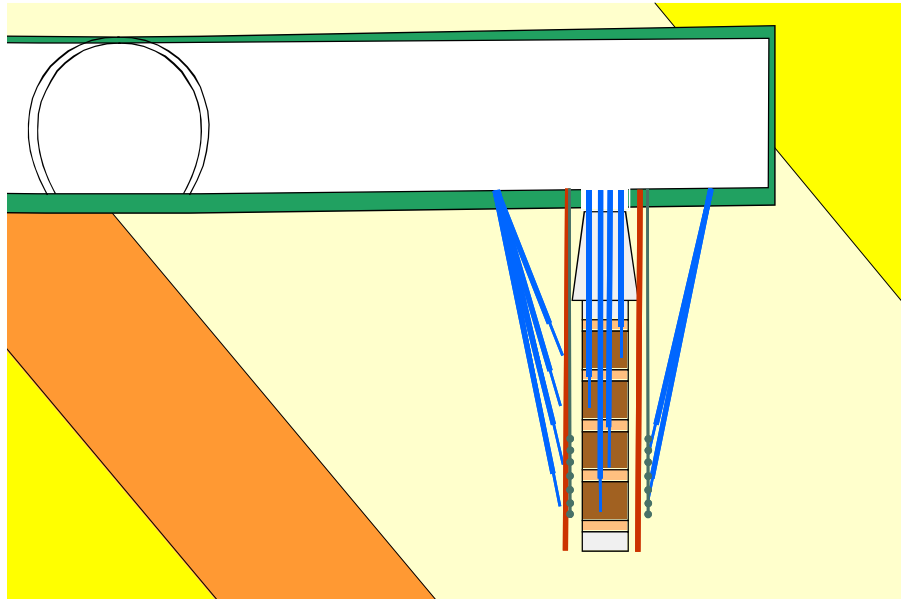
after 3 month shaft ventilation
suction at r_{shaft}



after 12 month shaft ventilation
suction at d_{shaft}



WP8 Instrumentation – Rock mass



EDZ - Miniseismic

2 or 3 boreholes due to bedding orientation

Permeability measurements

Determination of initial conditions

Pore pressure

||, \perp , to bedding

Radial stresses (swelling pressure)

3 pressure cells in each DS and ES level and
pressure chamber

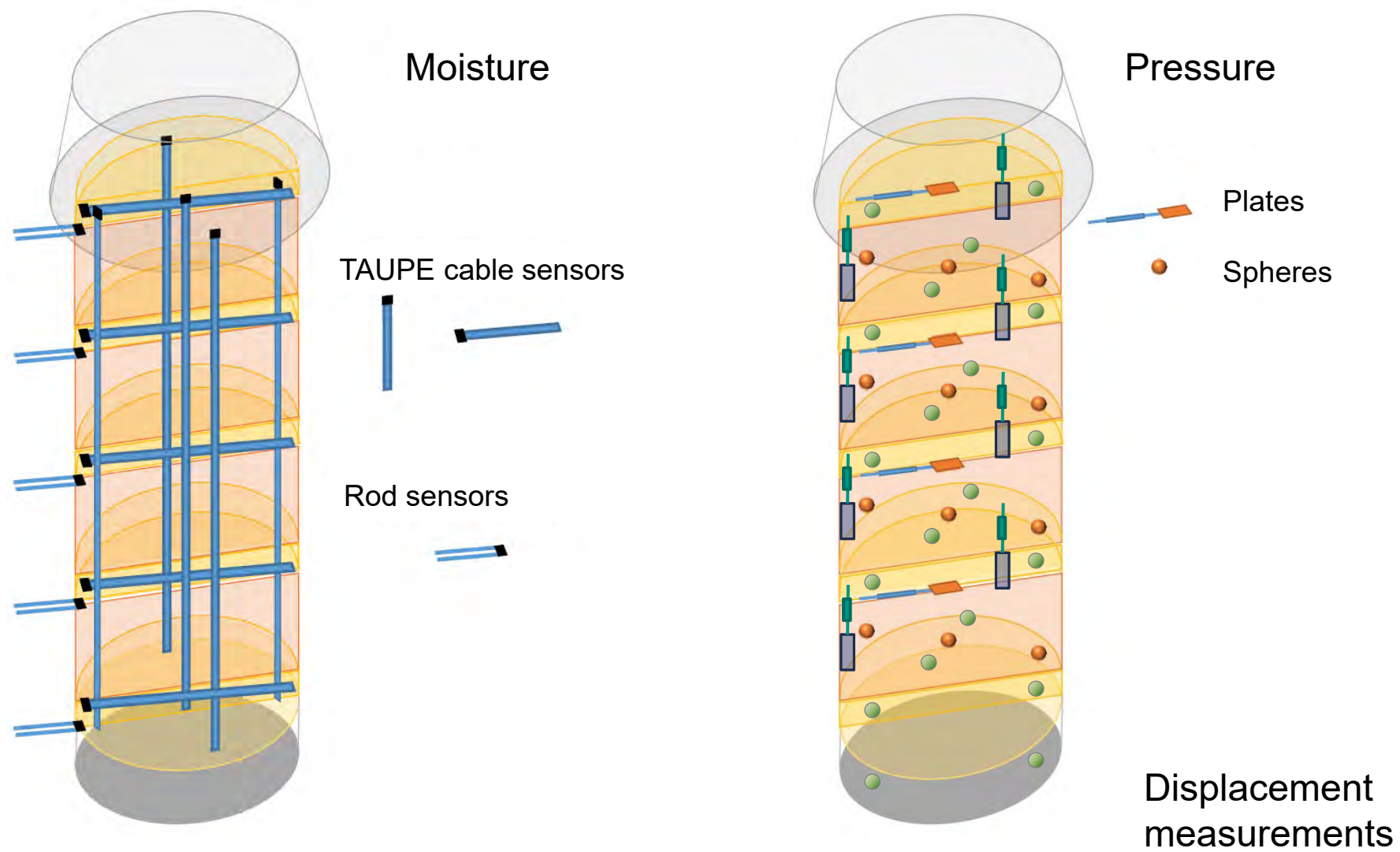
one borehole each (||, \perp , 45° to bedding)

Rock stress measurements

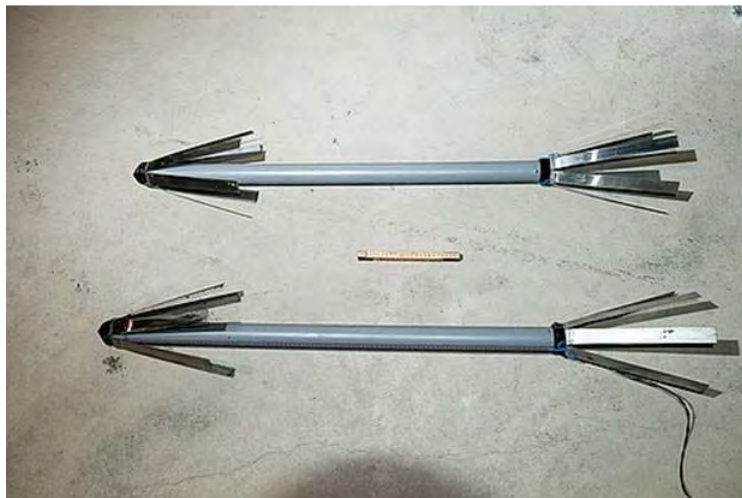
central pilot borehole

measurements in different depths

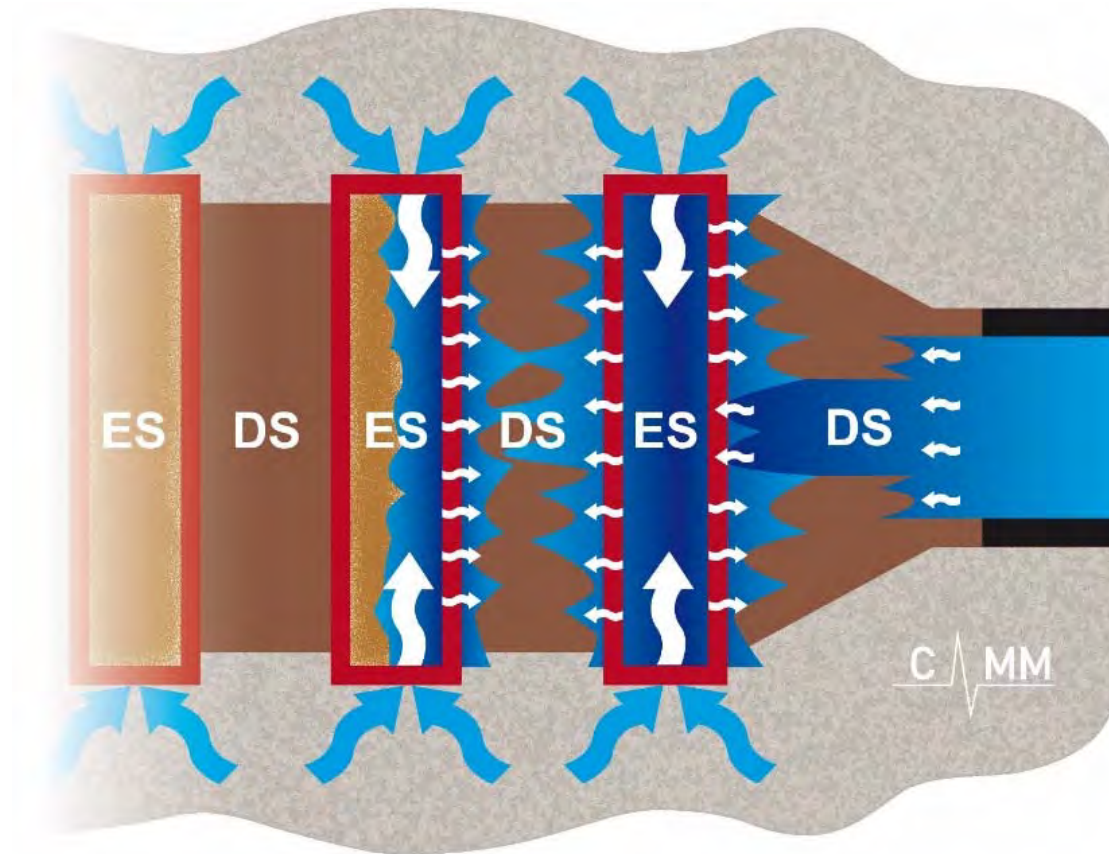
WP8 Instrumentation – Sandwich sealing



WP8 Instrumentation – Wireless transmission



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !





Sachplan geologische Tiefenlager der Schweiz – Stand der Dinge / Ausblick

PTKA / 13. Projektgespräch
Philipp Senn, Nagra

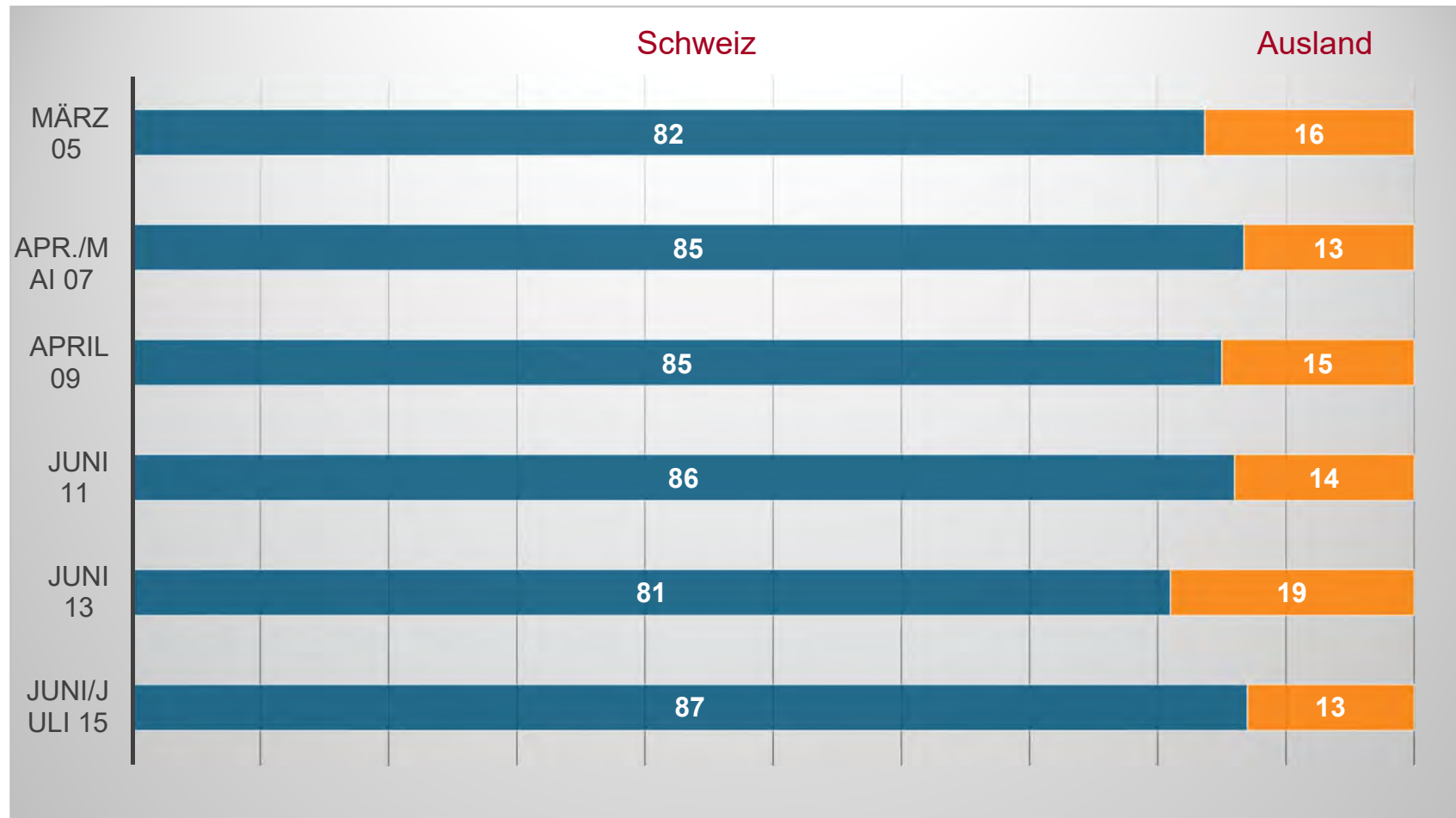
nagra.

Einführung



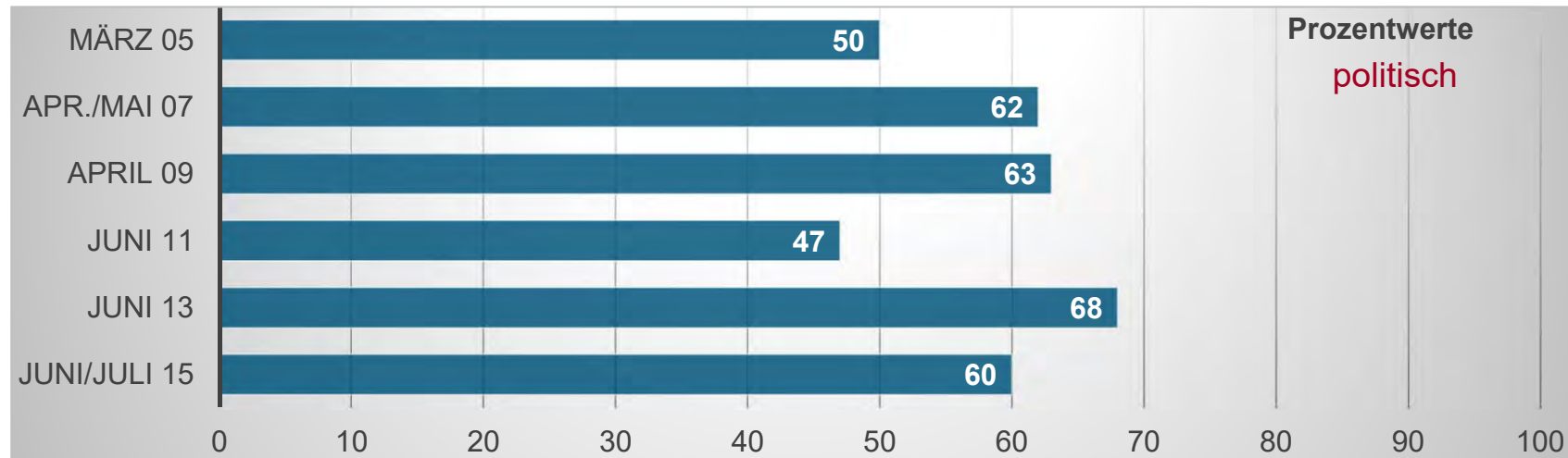
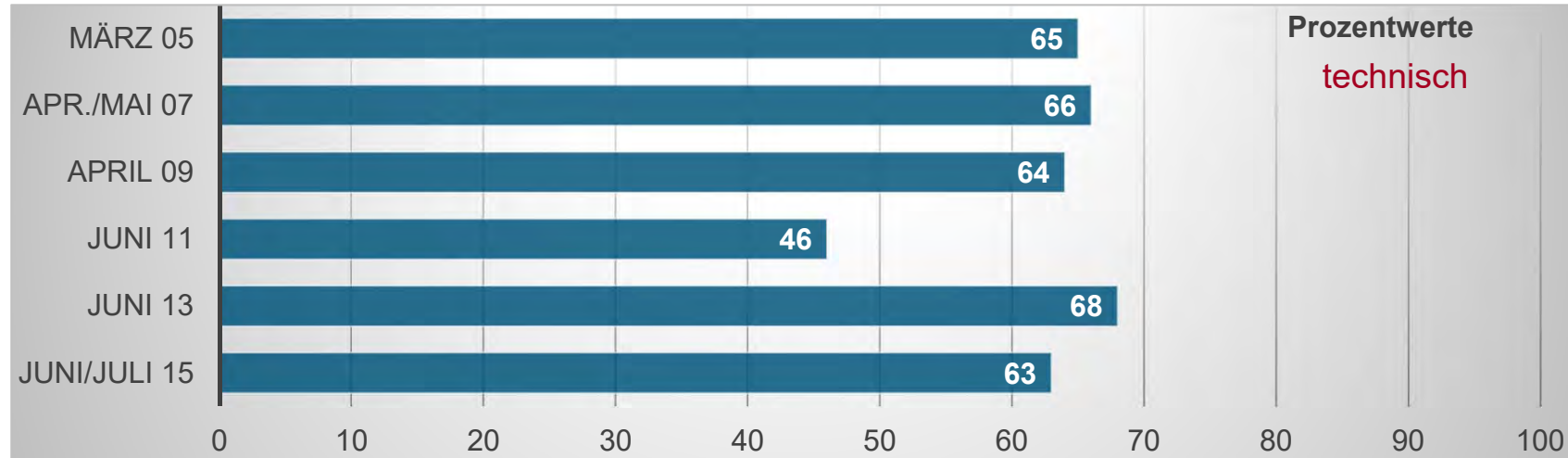
Meinungsumfrage

- Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz oder im Ausland?



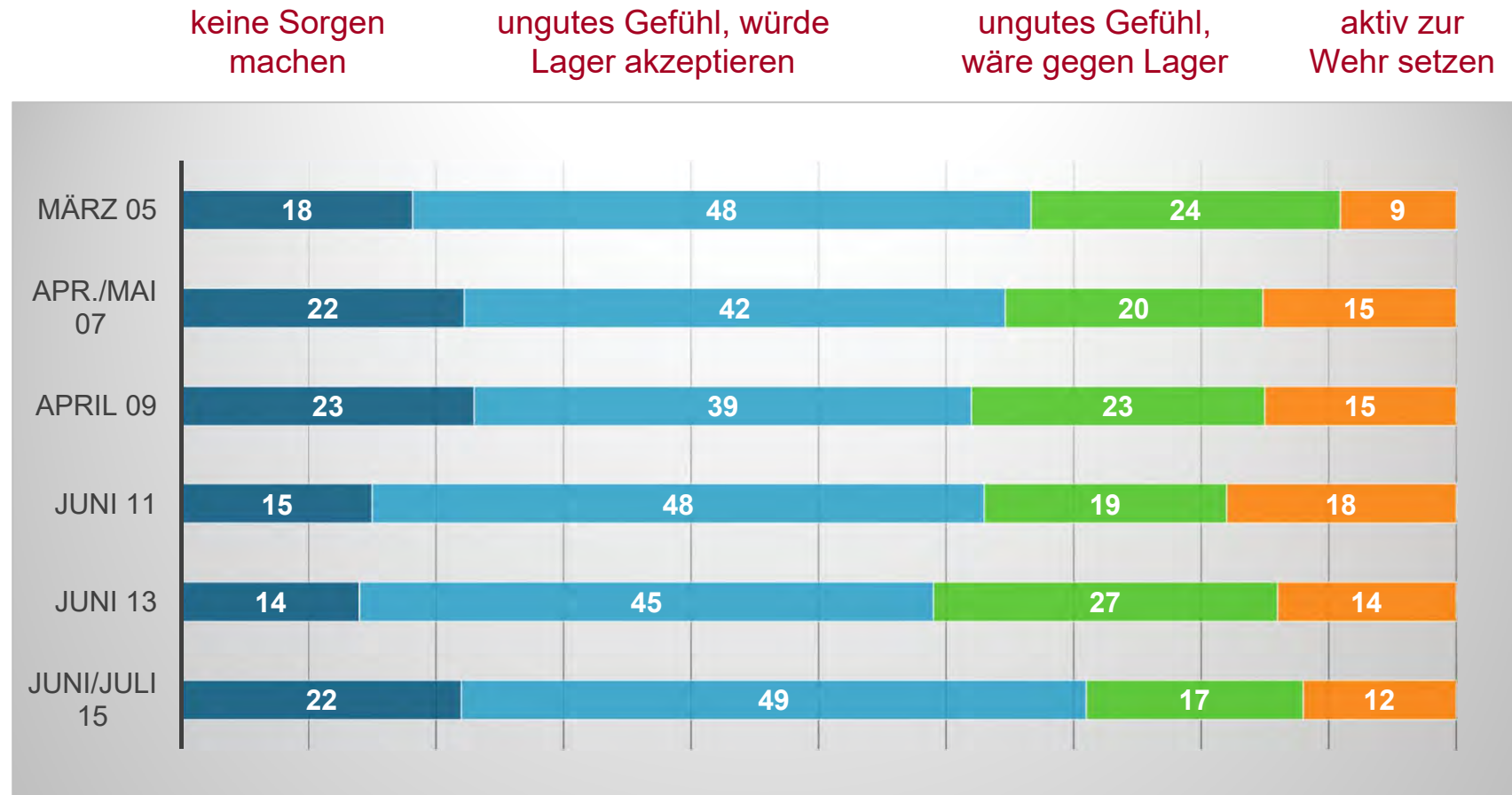
Meinungsumfrage

- Technische und politische Lösbarkeit der Entsorgung gegeben?



Meinungsumfrage

- Gefühl bei Realisierung Tiefenlager in der Nähe des Wohnortes?



Meinungsumfrage



Gesetzliche Rahmenbedingungen

Kernenergiegesetz (KEG)

732.1

vom 21. März 2003 (Stand am 1. Januar 2018)

*Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft,
gestützt auf Artikel 90 der Bundesverfassung¹,
nach Einsicht in die Botschaft des Bundesrates vom 28. Februar 2001²,
beschliesst:*

1. Kapitel: Allgemeine Bestimmungen

Art. 1 Gegenstand und Zweck

Dieses Gesetz regelt die friedliche Nutzung der Kernenergie. Es bezweckt insbesondere den Schutz von Mensch und Umwelt vor ihren Gefahren.

Art. 2 Geltungsbereich

¹ Dieses Gesetz gilt für:

- a. nukleare Güter;
- b. Kernanlagen;
- c. radioaktive Abfälle:
 1. die in Kernanlagen anfallen, oder
 2. die nach Artikel 27 Absatz 1 des Strahlenschutzgesetzes vom 22. März 1991³ (StSG) abgeliefert worden sind.

Kernenergieverordnung (KEV)

732.11

vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Januar 2018)

*Der Schweizerische Bundesrat,
gestützt auf Artikel 101 Absatz 1 des Kernenergiegesetzes vom
21. März 2003¹ (KEG),
verordnet:*

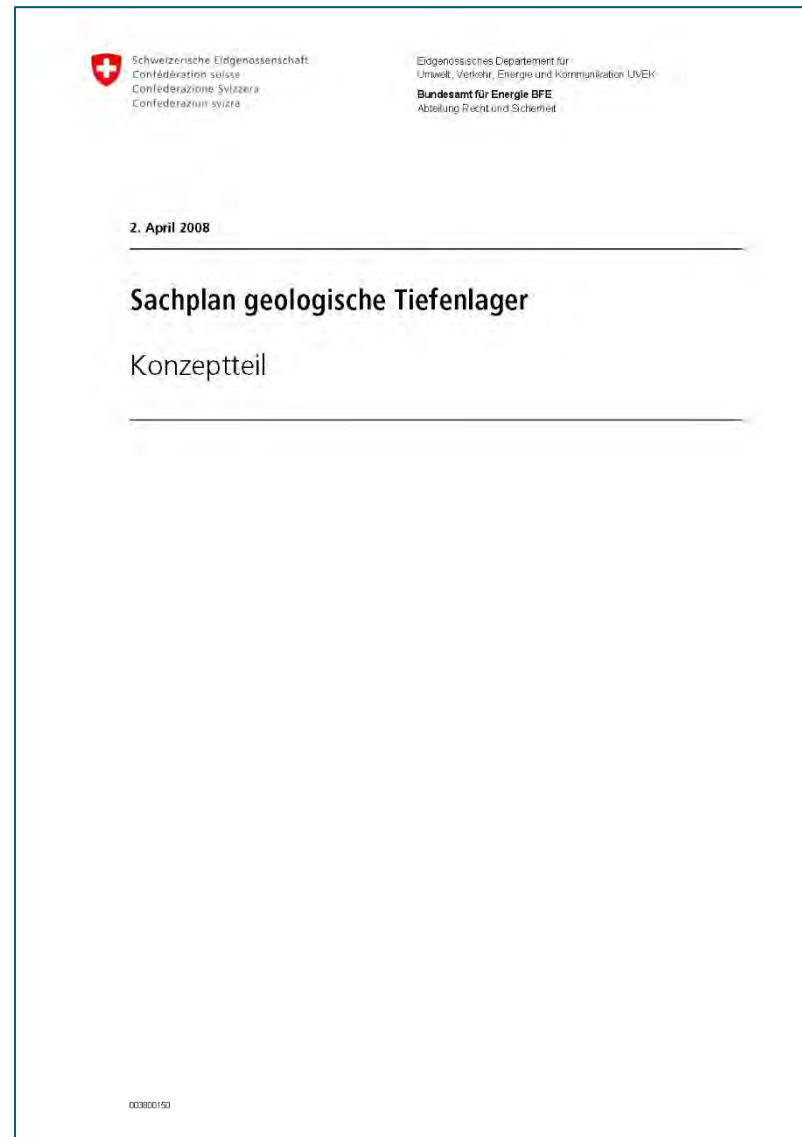
1. Kapitel: Allgemeine Bestimmungen

Art. 1² Geltungsbereich für Kernmaterialien

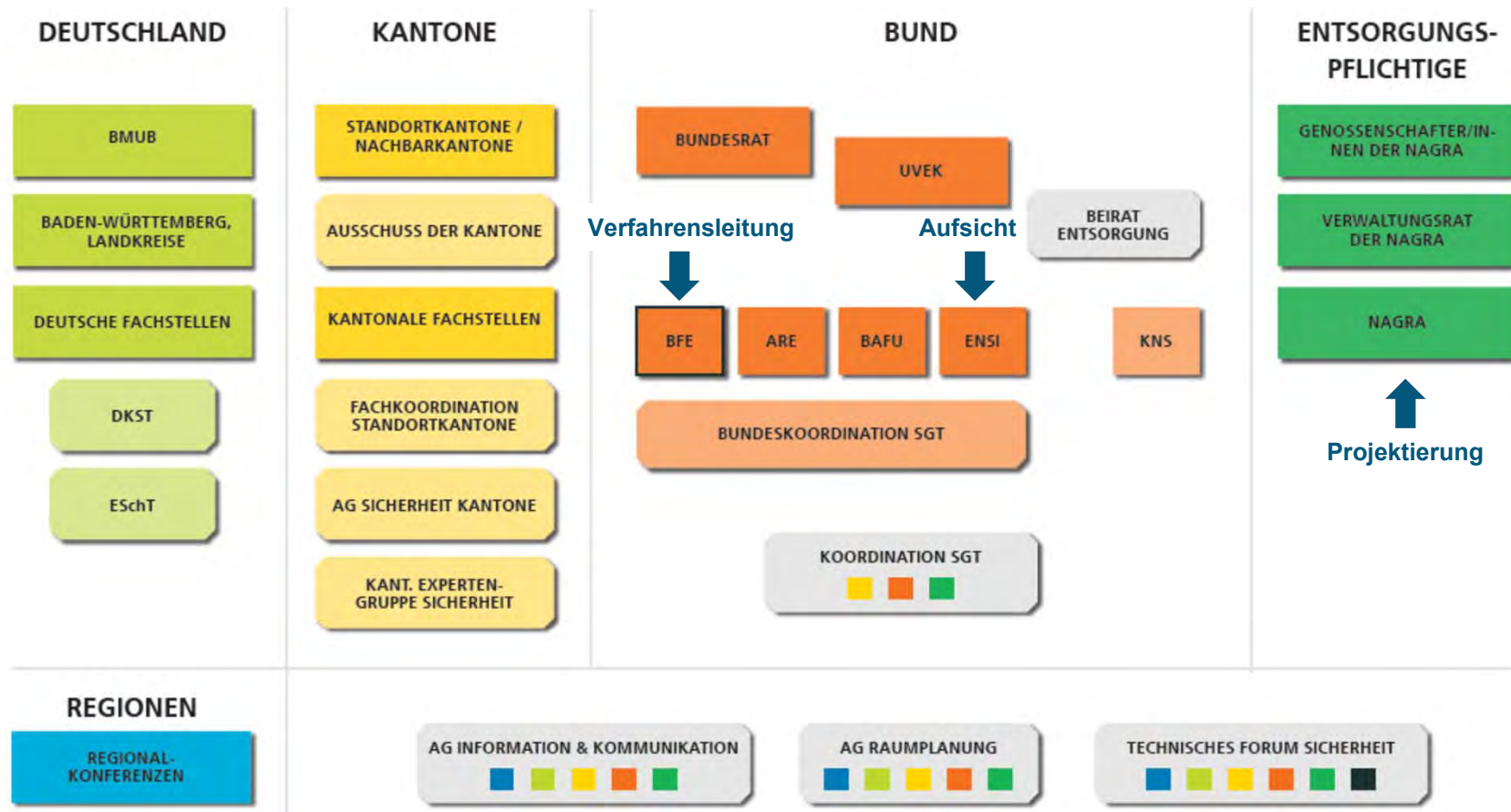
¹ Als Kernmaterialien gelten:

- a. die Ausgangsmaterialien:
 1. Natururan, d.h. Uran mit der in der Natur auftretenden Isotopenmischung,
 2. angereichertes Uran, d.h. Uran, das einen geringeren Anteil an Uran-235 hat als Natururan,
 3. Thorium,
 4. die Stoffe nach den Ziffern 1–3 in Form von Metall, Legierungen, chemischen Verbindungen oder Konzentraten sowie andere Materialien, welche einen oder mehrere der oben genannten Stoffe in einer von der Internationalen Atomenergie-Organisation bezeichneten Konzentration oder höher enthalten;

Sachplan geologische Tiefenlager – Standortwahl



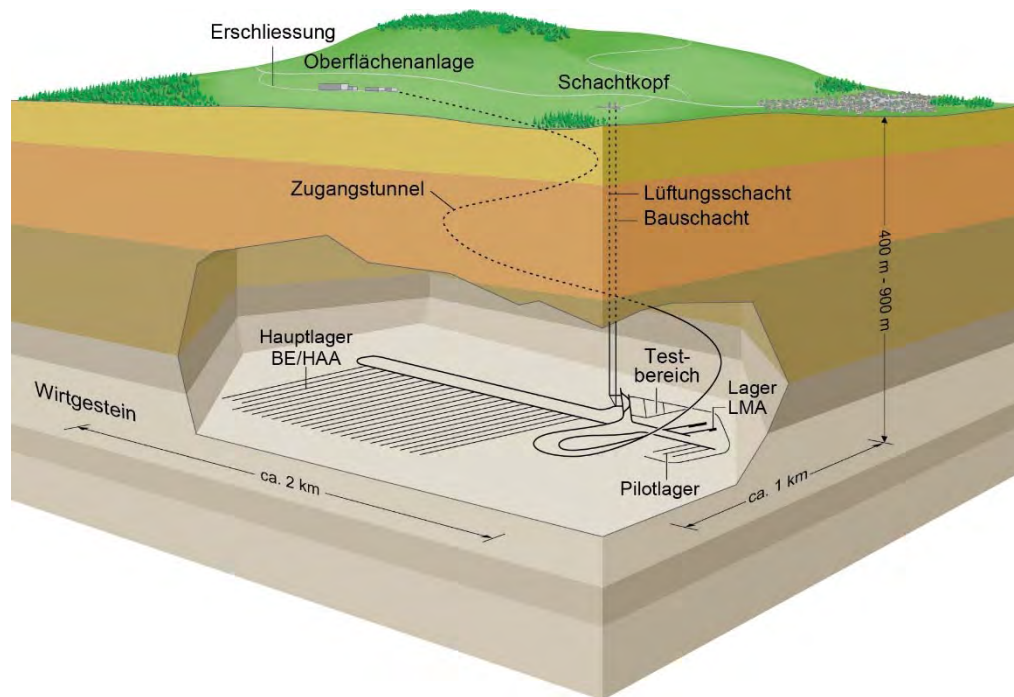
Sachplan geologische Tiefenlager – Akteure



Quelle Darstellung: BFE

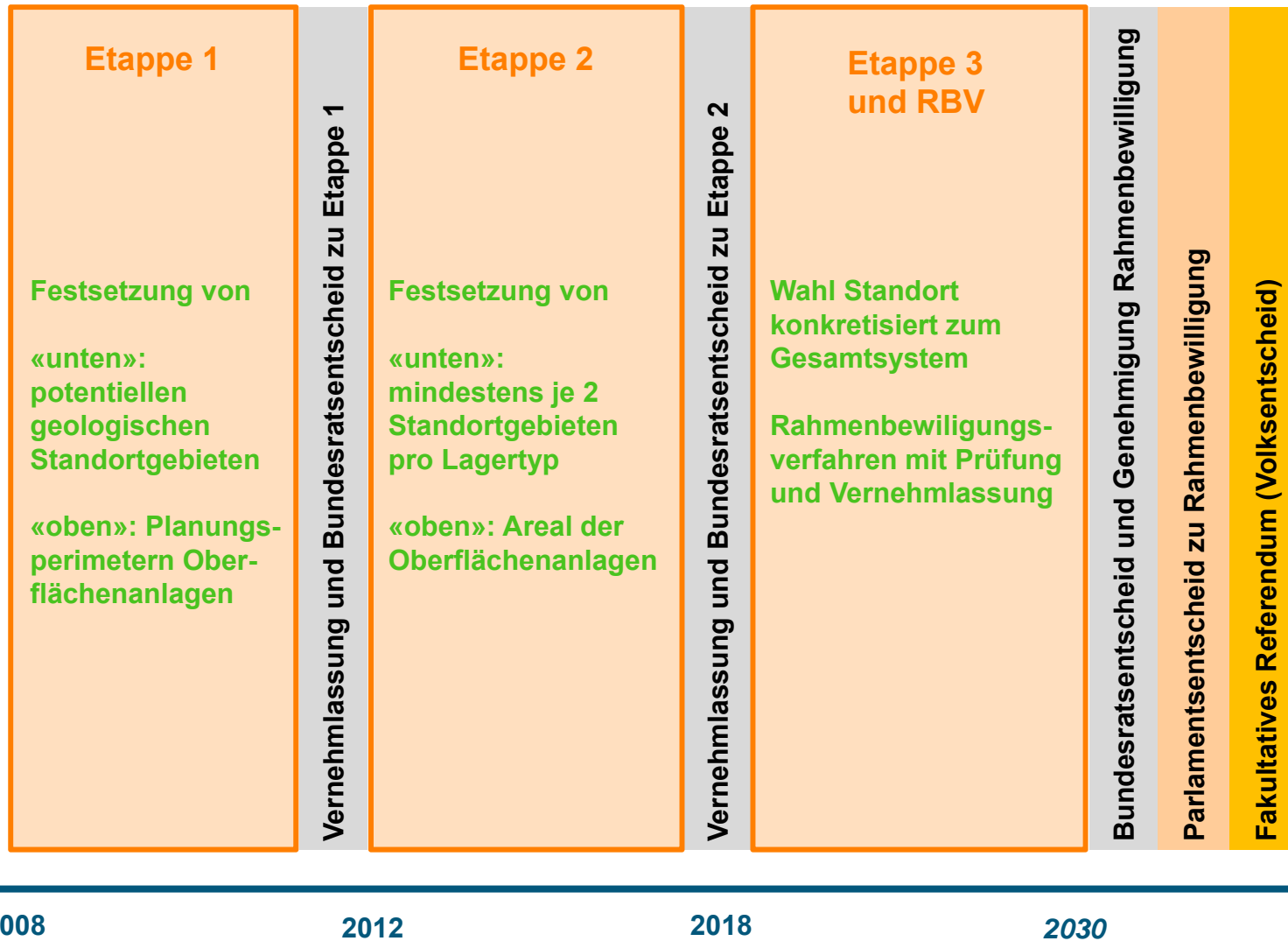
Sachplan geologische Tiefenlager – Standortwahl

- Anlagen an der **Erdoberfläche**: Bezüglich räumlicher Anordnung, Erschliessung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur besteht **Flexibilität** für «Diskussion mit den Regionen»



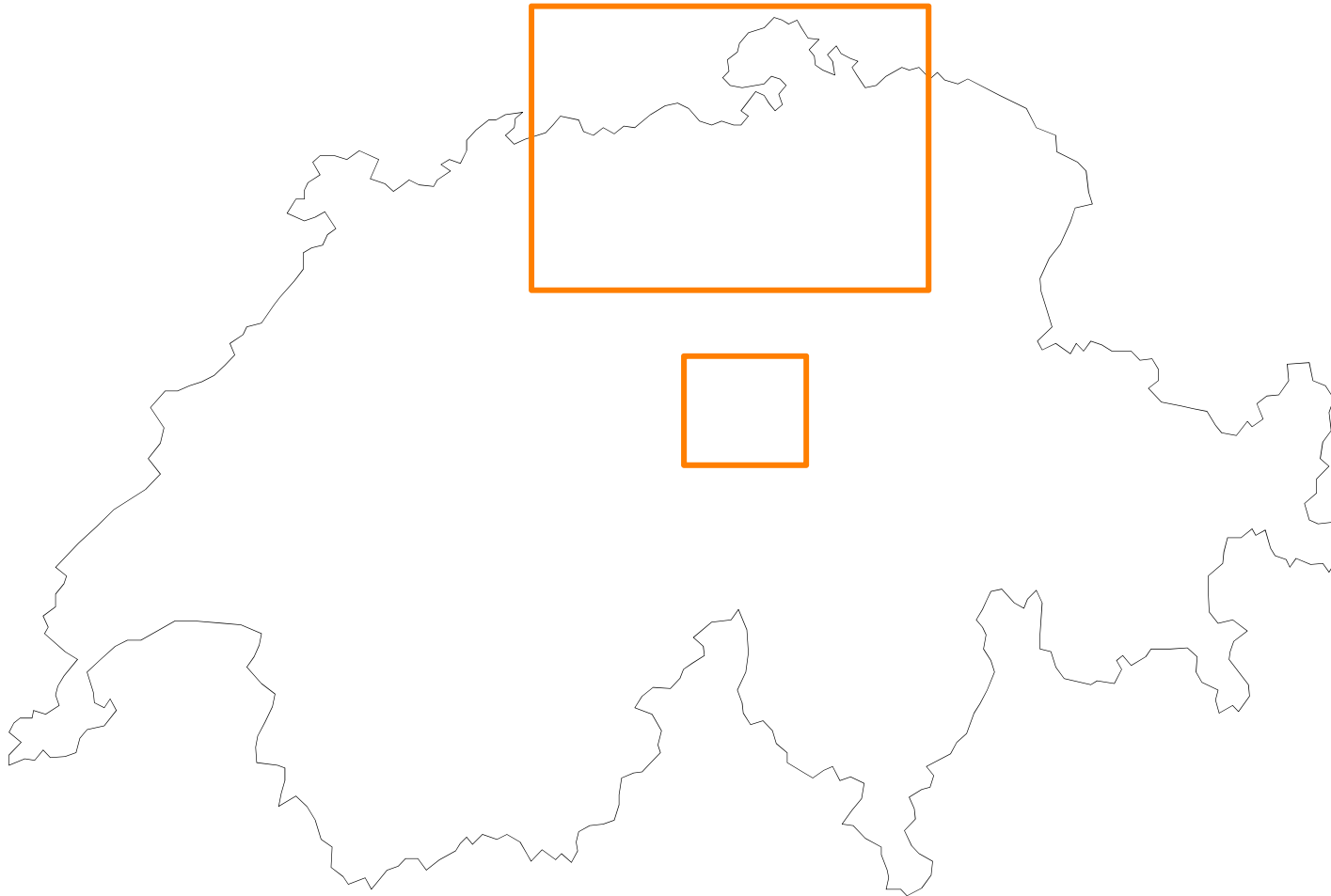
- Anlagenteile im **geologischen Untergrund**: Kriterien zur Sicherheit und technischer Machbarkeit («Expertendiskussion»)

Sachplan geologische Tiefenlager – Standortwahl

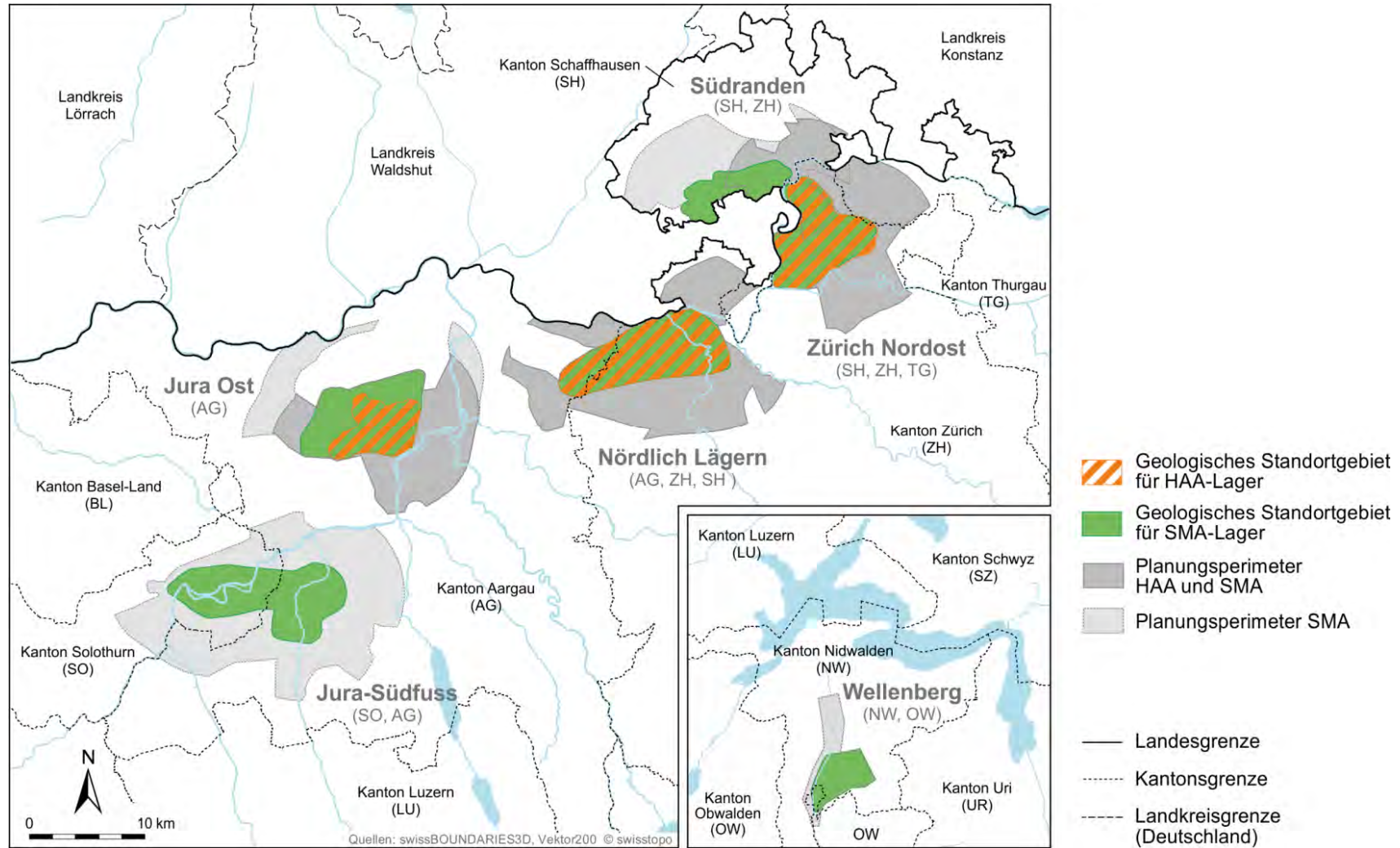


Ausgangspunkt: «Weisse Karte Schweiz»

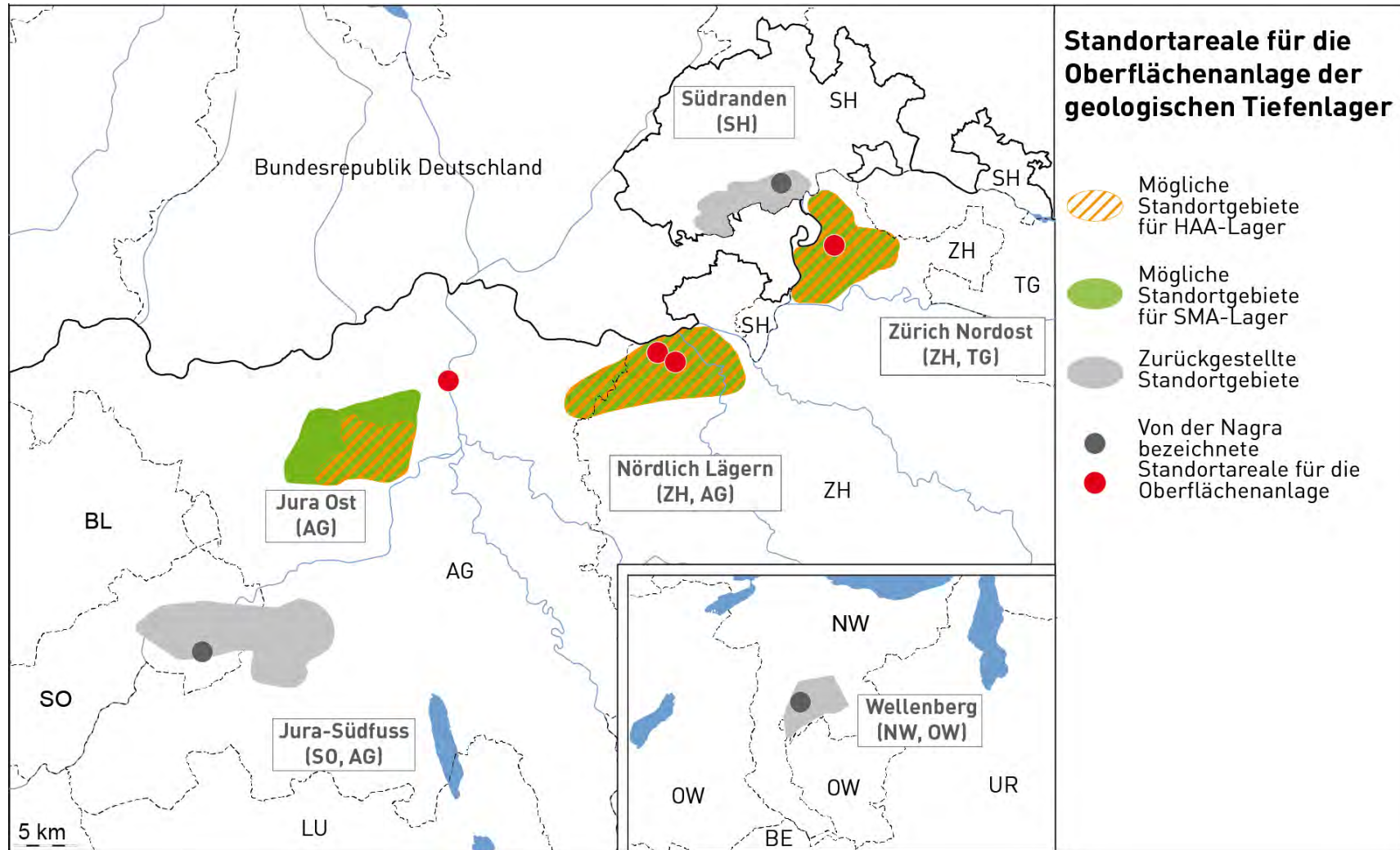
Auswahlkriterien: Sicherheit und technische Machbarkeit



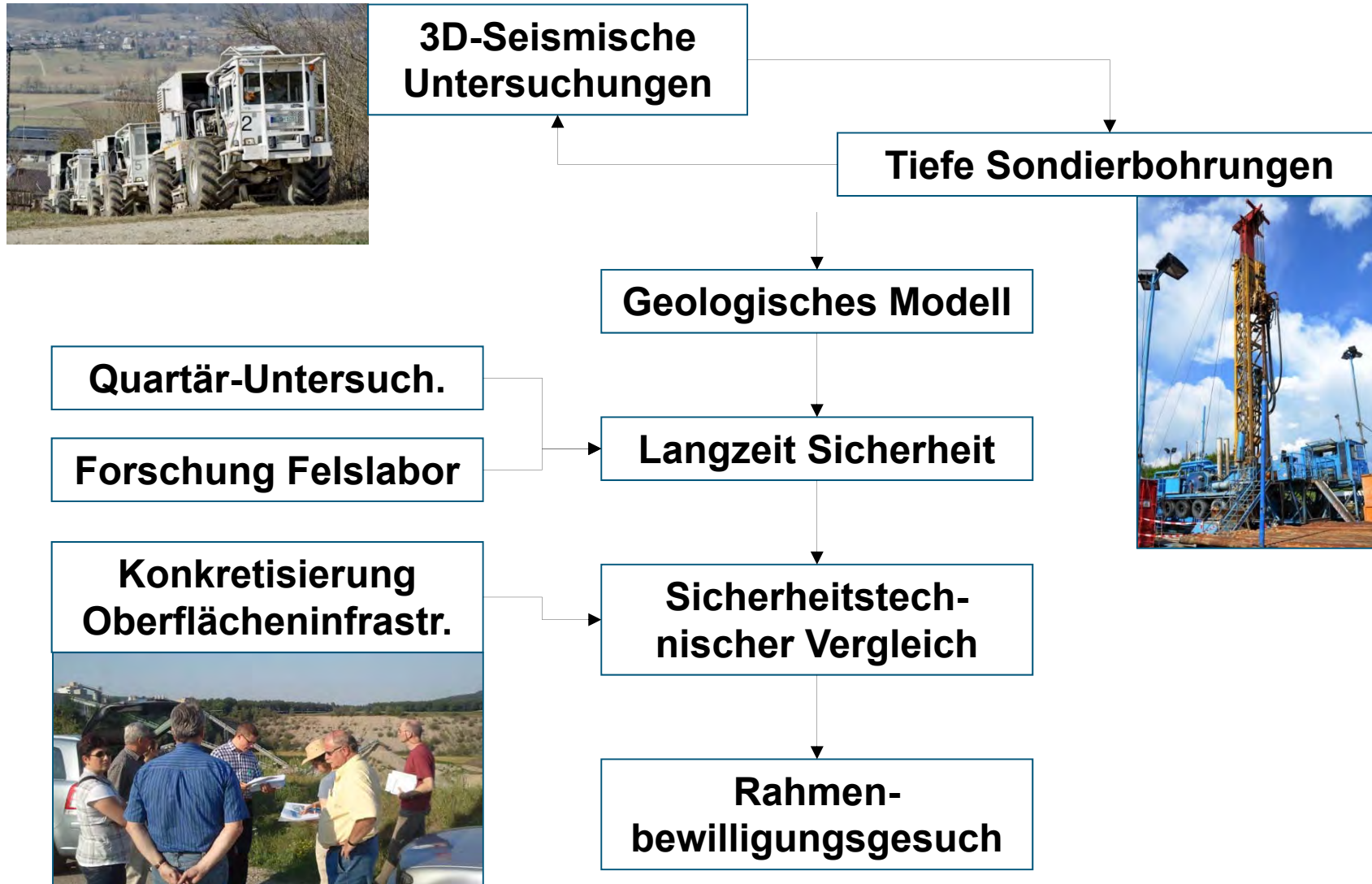
Resultat Etappe 1: Geologische Standortgebiete



Voraussichtliches Resultat Etappe 2



Wichtige Elemente für Etappe 3 und Standortwahl



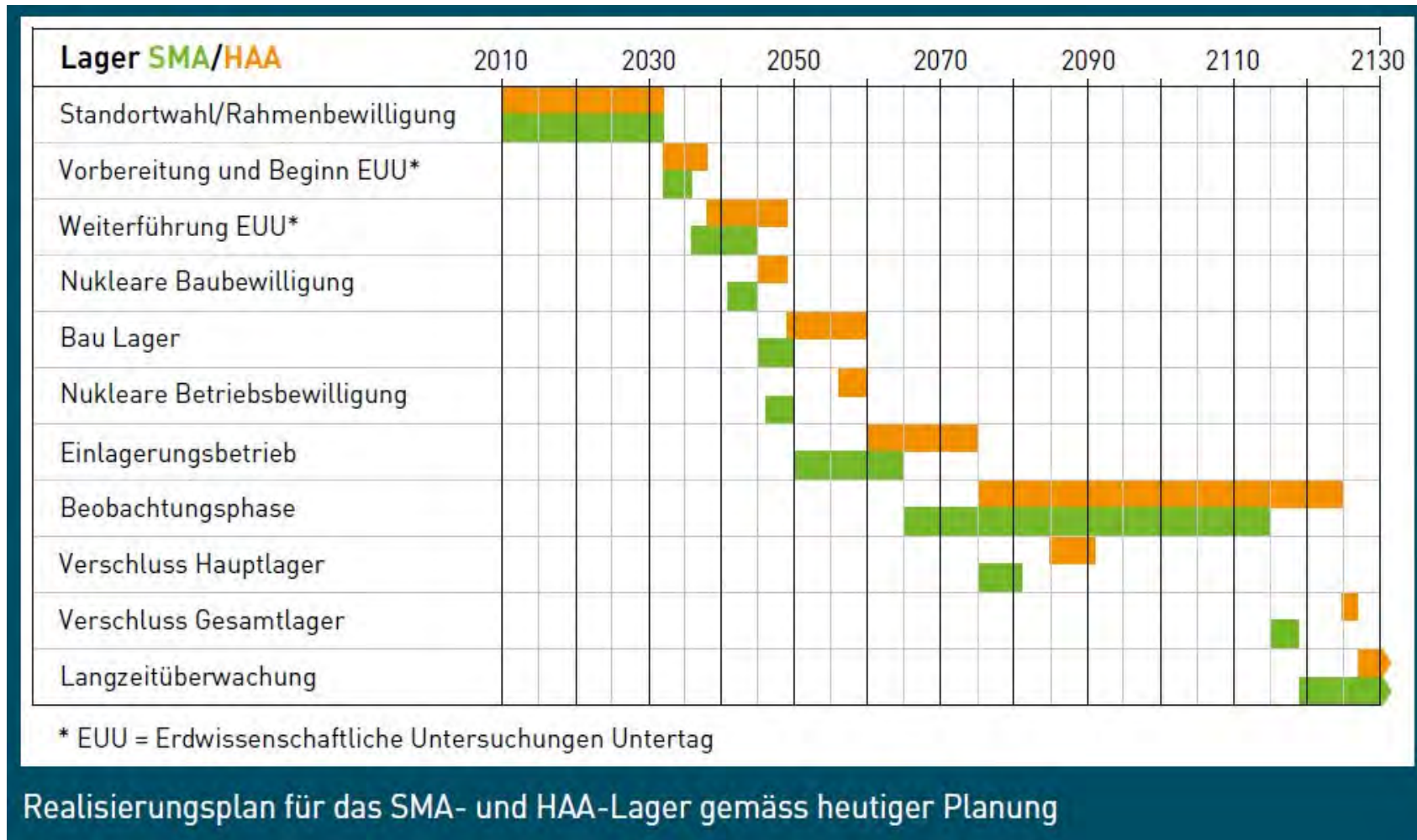
Kernenergierechtliche Rahmenbewilligung

Die Rahmenbewilligung stellt einen politischen Standort- und Konzeptentscheid dar, also «den Rahmen für das Projekt», also:

- Standortwahl
- Anlage in den Grundzügen
- (mit weiteren Dokumentationen zur umweltrechtlichen, raumplanerischen und sicherheitstechnischen Festlegung)

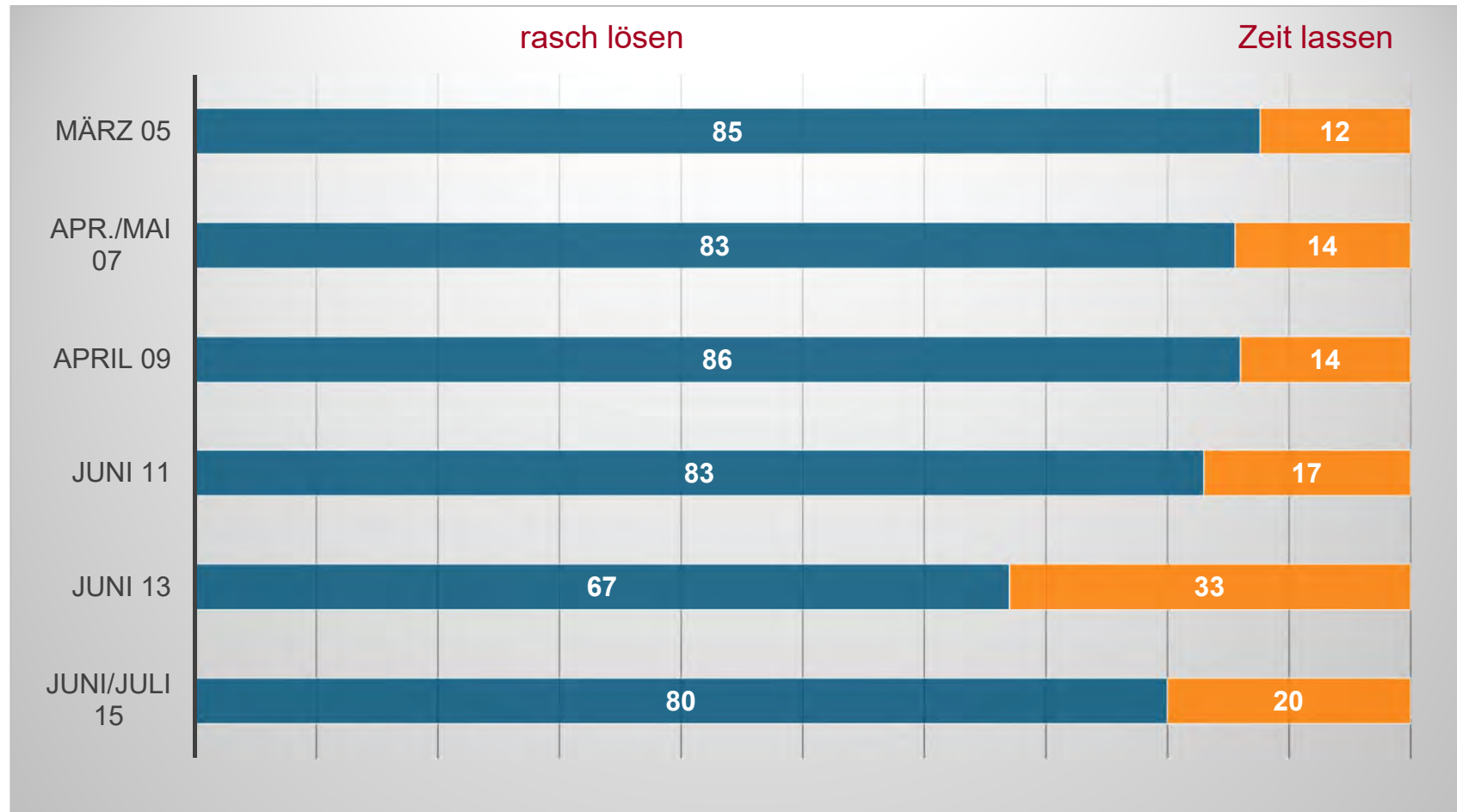
Es besteht kein Anspruch auf die Erteilung einer Bewilligung (im Gegensatz z.B. zu einer Baubewilligung).

Zeitplan Realisierung Tiefenlager



Zeitplan Realisierung Tiefenlager

- Meinungsumfrage: Entsorgung rasch lösen oder Zeit lassen?



Weiterführende Informationen

- Websites Hauptakteure
 - [BFE](#) – Radioaktive Abfälle
 - [ENSI](#) – Aufsicht Entsorgung
 - [Nagra](#)
- Link Gesetze
 - [Kernenergiegesetz](#)
 - [Kernenergieverordnung](#)
- Link Sachplan geologische Tiefenlager
 - [PDF-Version Dokument](#)
 - [Weitere Unterlagen BFE](#)



besten dank
für ihre aufmerksamkei
nagra.

Bürgerbeteiligung, Konflikt und Verfahren – Zur Entstehung des Sachplans Geologische Tiefenlager in der Schweiz

Vortrag im Rahmen des 13. Projektstatusgesprächs, Karlsruhe, 20.06.2018
Dr. Sophie Kuppler

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)



- Hintergrund
- Theoretisch-konzeptioneller Ansatz
- Empirischer Ansatz
- Ausgewählte Ergebnisse
- Hypothesen

- **Ausgangslage:** Entscheidungsblockade in der Endlagerpolitik: Mehrfache Ablehnung von Erkundungsarbeiten im Wellenberg (zuletzt 2002). Neustrukturierung der Entscheidungsfindungsstrukturen

- Start der Ausarbeitung des Sachplans 2006, Beginn der Implementierung 2008

- Erstmals klare Regelung des Auswahlverfahrens für einen Endlagerstandort



- **Forschungslücke:** Wie können diese Veränderungen wissenschaftlich-theoretisch beschrieben werden? Welche Änderungen bezüglich der Entscheidungsblockade können empirisch beobachtet werden und was fördert oder hemmt solche Wandlungsprozesse?

- **Kontext:** politisierter Konflikt, Langzeitherausforderung (Abfall und Verfahren)

Bürgerbeteiligung in der Startphase

- **Bürgerbeteiligung:** Umsetzung mehrerer, teilweise in der formalen Schweizer Entscheidungsfindung ungewöhnlicher, Beteiligungselemente in der Ausarbeitung des Sachplans

- Fokusgruppen, Informationsveranstaltungen, informeller Dialog mit ausgewählten Bürgern, Anhörungen
 - Ziel: Verbesserung des Sachplans und Integration von Schlüsselakteuren in der Vorbereitung, um die Akzeptanz zu erhöhen

- Technisches Forum Sicherheit: Expertengremium mit Mitgliedern unterschiedlichsten Hintergrunds (Industrie, Behörden, lokale Bürgervertreter)
 - Aufgabe: Auf technische und naturwissenschaftliche Fragen der interessierten Öffentlichkeit eingehen und diese beantworten

Theoretischer Ansatz

- **Definition zweier Idealtypen** basierend auf (Endlager-) Governance-Literatur (insb. Haus 2010; Grande 2012; Mayntz 2004, 2009):
 - *Endlager-Management*: Technische Aufgabe, die Regulierungen unterliegt; Implementierung durch Experten
 - *Deliberative Endlager-Governance*: Einbezug verschiedener kollektiver Akteure; qualitativ hochwertige Interaktion („Deliberation“)

- **Analytischer Fokus**: Verfahrensfragen; Arten der Interaktion zwischen kollektiven Akteuren in einem gesellschaftlichen Konflikt; Vorbereitung von Entscheidungsfindung in politischen Prozessen und öffentlichem Diskurs

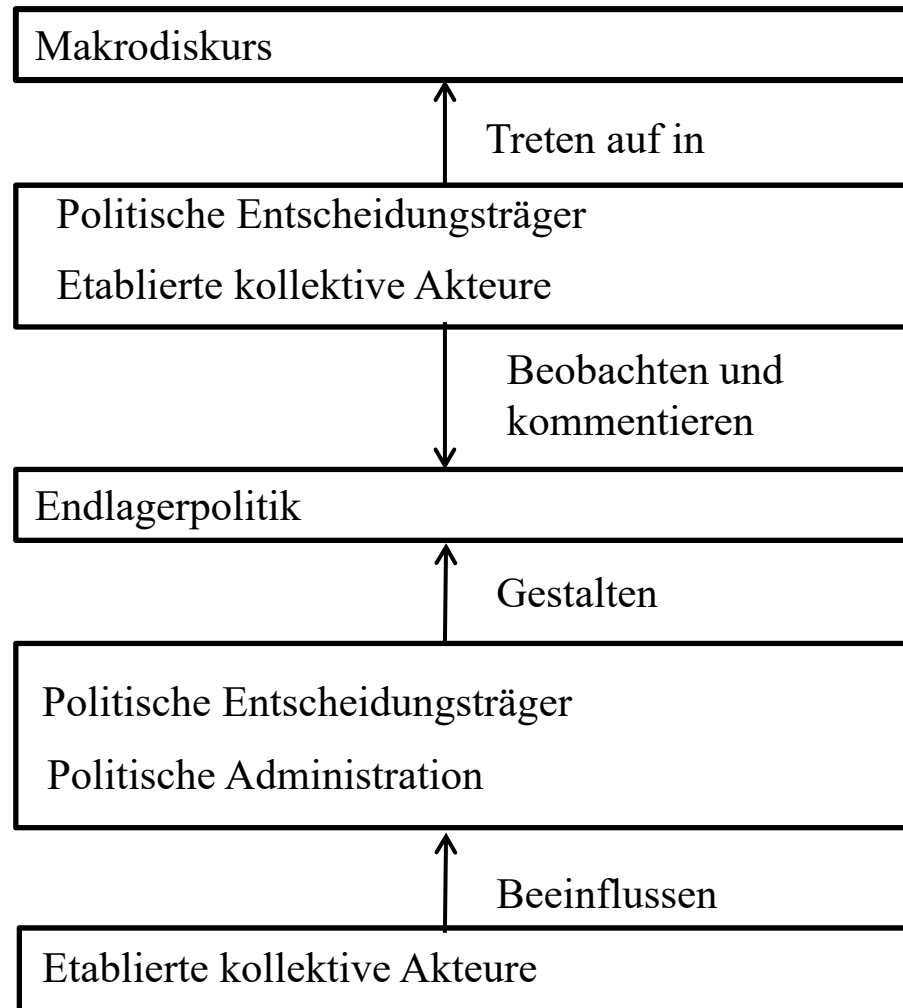
Charakterisierung der Idealtypen

Kriterium	Endlager-Management	Deliberative Endlager-Governance
<i>Form des Governance-Netzwerks</i>	Starke Rolle für Behörden, Entscheidungsfindung durch etablierte politische Akteure, inkl. ausgewählter Experten	Verbindung formeller und informeller Strukturen in einem institutionalisierten Netzwerk
<i>Pluralität</i>	gering	hoch
<i>Input-Legitimität</i>	Wird als gegeben angesehen	Wird in der Öffentlichkeit diskutiert
<i>Output-Legitimität</i>	Effizienz	Effizienz und Erreichen einer „guten Lösung“
<i>Deliberation</i>	Kein relevantes Kriterium	Deliberative Gesprächsgrundsätze werden eingehalten

Theoretisch-konzeptioneller Ansatz

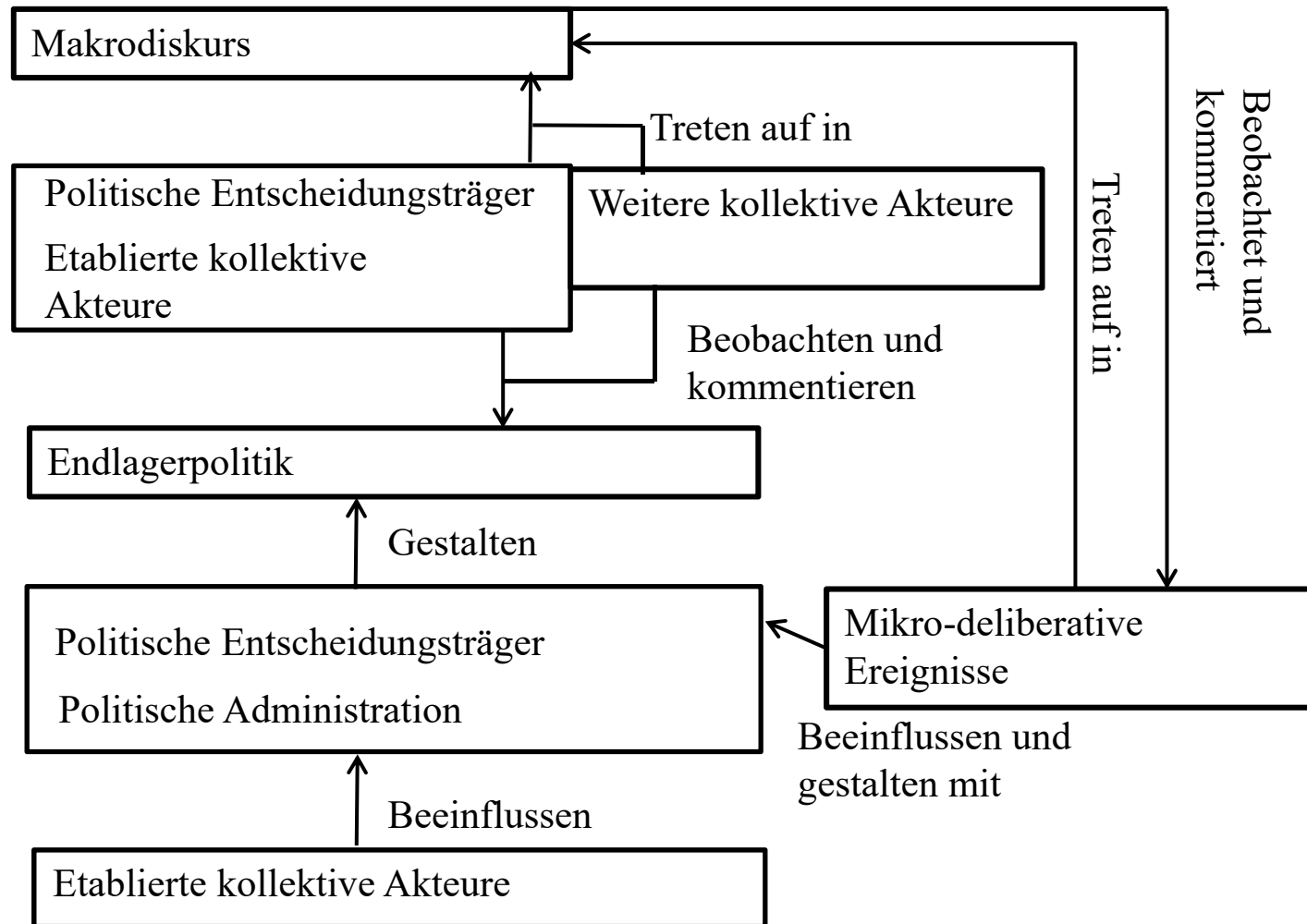
Die zwei Idealtypen (1)

Endlager-Management



Die zwei Idealtypen (2)

Deliberative Endlager-Governance



Aufbau der Empirie

- Fallstudienbasierter Ländervergleich mit Zeitreihendaten

	Medienanalyse	Experteninterviews
Erkenntnisinteresse	Analyse öffentlicher Diskurs über Endlagerpolitik	Analyse politische Prozesse
Stichprobe	Jeder 2. Monat	Ausgewählte dialogbereite Vertreter verschiedener kollektiver Akteure
Anzahl	526 Zeitungsartikel	10 Interviews
Analyseschema	Theoriegeleitete qualitative Inhaltsanalyse (Gläser & Laudel 2004; Früh 2011), quantifizierende Analyse, separate Auswertung Diskurs und Handlungsebene	

Generelle Beobachtungen zur Medienberichterstattung

- Anlässe der medialen Berichterstattung:
 - Politische Ereignisse (z.B. innerparteiliche Uneinigheiten über Positionierungen);
 - Schweiz: zentrale Verfahrensschritte

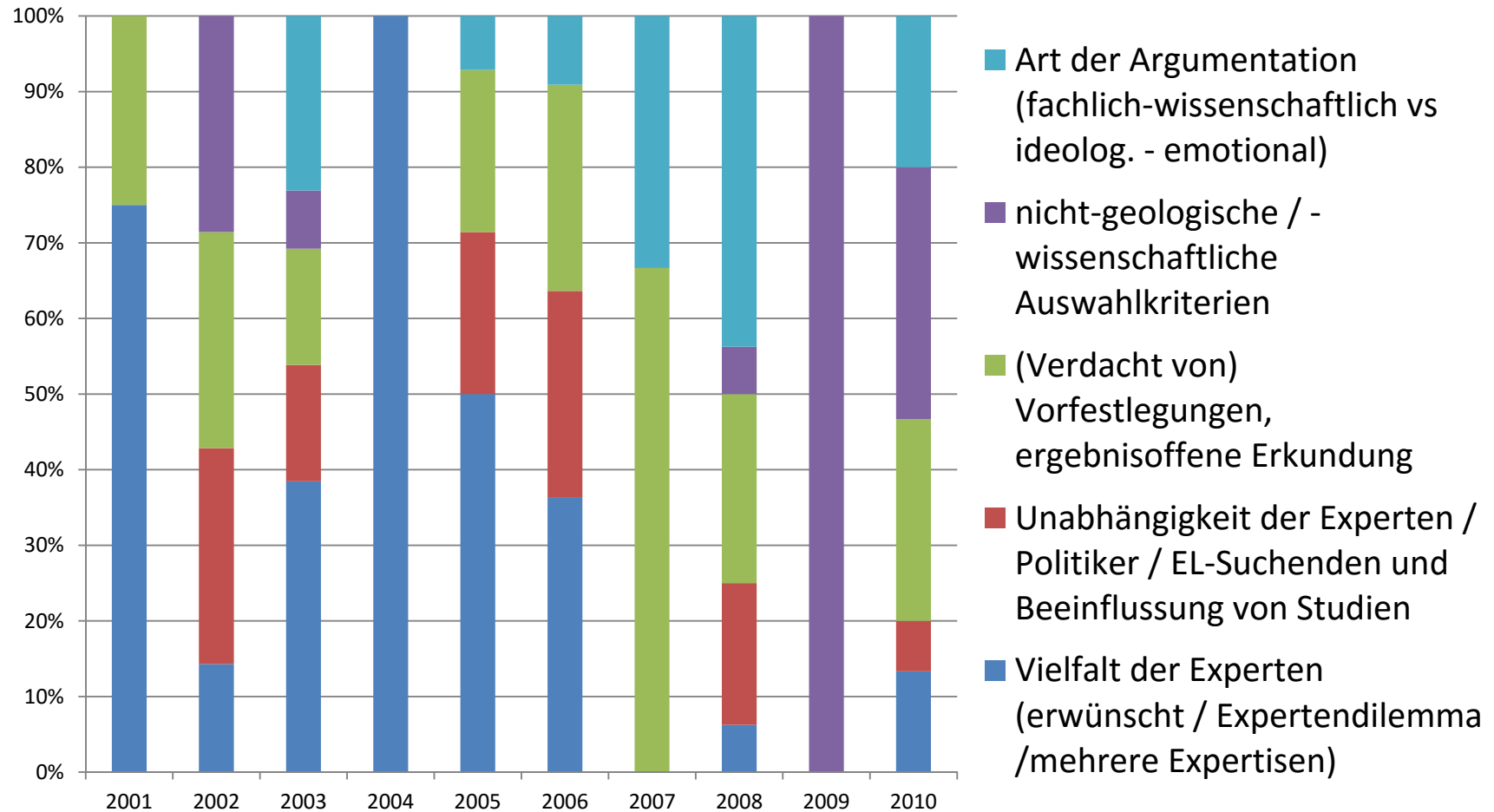
- Schweiz: wenig konfliktorientiert, sachorientierte Kritik
 - Sonderform: Ratsberichte aus Nationalrat und Zürcher Kantonsrat
 - ABER: keine eigene Aufarbeitung der Problematik, Orientierung an bestehenden Anlässen und Ideen

Wie lässt sich das Schweizer Verfahren charakterisieren?

Kriterium	
Form des Governance-Netzwerks	Designänderungen im Sachplan, verschiedene neue Arbeitsgruppen, Zusammenarbeit Bund / Region
Pluralität	Kontinuierlich erhöhte Pluralität, aber inhaltlich stark begrenzt (sozio-ökonomisch)
Input-Legitimität	Stark inhaltlich eingeschränkte Debatte Wandel in der Definition eines guten Standortauswahlverfahrens
Output-Legitimität	Verfahrensgeprägte Definition eines guten Ergebnisses Auswahlverfahren mit erhöhter Transparenz; Öffentlichkeit hilft, Fehler aufzudecken
Deliberation	Kontinuierliche Erhöhung der Bereitschaft, in Deliberation einzutreten

Umsetzung zentraler Aspekte von deliberativer Endlager-Governance mit gleichzeitig starken Elementen des Endlager-Managements

Fördernder Faktor Politische Debatte (1)



Debatten über (Un-)Abhängigkeit des wissenschaftlichen Dialogs

Fördernder Faktor Politische Debatte (2)

Schweiz

- Hans Issler (Nagra-Präsident, TA 25.09.2002):
„Ob Benken tatsächlich Standortgemeinde eines Endlagers werde, müsse die Politik entscheiden, die Nagra liefere nur die geologische Einschätzung.“
- „[...] ich bin Wissenschaftler, ich bin im Prinzip darauf getrimmt meine Emotionen irgendwo weit im Kellerbereich zu halten und die ganze Sache nur sachlich anzugehen. Und ich kann nicht davon ausgehen, dass Leute das genau gleich tun. Insbesondere, weil ich ja etwas bringe, mit dem ich nachher vielleicht zu Hause nichts zu tun habe. Also ich bring die ja emotionell auf die Palme und in dem Sinne finde ich das alles OK“ (Regierungsbehörde 1 CH).

Fördernder Faktor Politische Debatte (3)

- „Safety First“ als leitendes Prinzip, aber Raum für politische Debatte wird anerkannt
- Teilweise Anerkennung des Expertendilemmas in CH in der öffentlichen Debatte

Fördernder Faktor Transparenz

- Früher Einbezug verschiedenster Akteure in die Ausarbeitung des Sachplanverfahrens
- Dokumente werden zugänglich gemacht
- Regionale Beteiligungsgremien (Regionalkonferenzen) können sich externe Expertise hinzuziehen

- ABER: Herausforderung für involvierte Stakeholder und Öffentlichkeit, sich durch tausende von Seiten wissenschaftlicher Dokumente zu arbeiten
- Zur Verfügung stellen von Dokumenten ist nicht ausreichend, die Empfänger müssen auch befähigt werden, mit diesen umzugehen
- Gleichzeitig darf der Arbeitsaufwand für die Bereitsteller nicht überhand nehmen
 - es bedarf eines Arbeitskompromisses für Transparenz

Fördernder Faktor Flexibilität

- Ursprünglich: Strenge Trennung zwischen untertägig und obertägig im Verfahren
- Öffentlichkeit darf nur bei Fragen zu obertägigen Anlagen und sozio-ökonomischem Entwicklungspotential der Regionen mitsprechen
- Bedarf der interessierten Öffentlichkeit, sich mit untertägiger Sicherheit auseinandersetzen zu können
- BFE reagiert durch einrichten einer „Fachgruppe Sicherheit“ in den Regionalkonferenzen

→ es bedarf einer institutionellen Flexibilität, die gleichzeitig den Rahmen des Verfahrens wahrt

Hypothesen

- Die Langzeitherausforderung erfordert dynamische Prozesse der Gestaltung von Entscheidungsfindungsverfahren, in denen institutionelle Lernprozesse stattfinden.
- Es besteht ein Mangel an adäquaten Verfahren, um über Werte, die in den Entsorgungskonflikt eingebracht werden, hinreichend komplex zu diskutieren.
- Die Schwierigkeit, einen angemessenen Umgang mit Unsicherheiten wissenschaftlichen Wissens und der politischen Dimension technischer Probleme zu finden,
 - ist insbesondere angesichts der Langzeitherausforderung konfliktfördernd.
 - erfordert institutionalisierte Räume des Austauschs zwischen verschiedenen kollektiven Akteuren, wie beispielsweise plural besetzte Begleitgremien
- Trotz der unterschiedlichen politischen Kulturen können andere Länder auf Ebene der grundsätzlichen Verfahrensmerkmale etwas lernen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

sophie.kuppler@kit.edu

Literatur

- Haus, M. 2010. *Transformation des Regierens und Herausforderungen der Institutionenpolitik*. Baden-Baden: Nomos.
- Grande, E. 2012. Governance-Forschung in der Governance-Falle?: – Eine kritische Bestandsaufnahme. *Politische Vierteljahresschrift* 53/4: 565–592.
- Mayntz, R. 2004. Governance im modernen Staat. In: *Governance - Regieren in komplexen Regelsystemen*. Herausgegeben von A. Benz. Wiesbaden: VS Verlag. 65–76.
- Mayntz, R. 2009. Von politischer Steuerung zu Governance? In: *Über Governance. Institutionen und Prozesse politischer Regelung*. Herausgegeben von R. Mayntz. Frankfurt / Main: Campus. 105–120.

Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit soziotechnischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle (SOTEC-radio, 2017-2020)

Zwischen Technik und Gesellschaft: Wer gestaltet das Endlager?

Erste Zwischenergebnisse aus SOTEC-radio

Dr. Peter Hocke für das SOTEC-radio-Team (hocke@kit.edu)
(Dr. A. Brunnengräber, B. Kallenbach-Herbert, Dr. S. Kuppler)

13. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten
FuE-Arbeiten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle
20.6.2018, Projektträger Karlsruhe

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

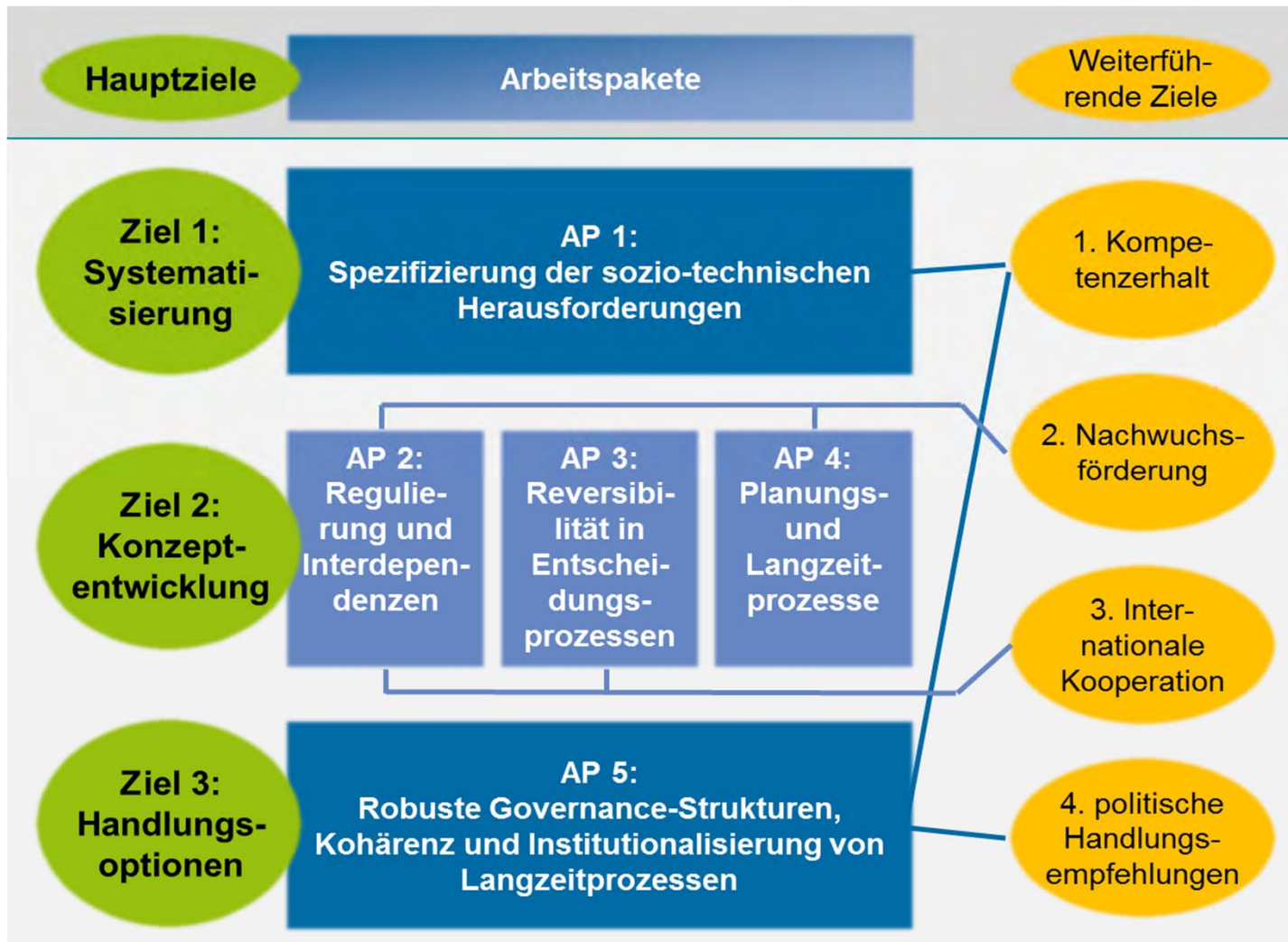
1. Einführung
2. Systematisierung: Begriffe, STS und Abkehr von der Linearität
3. Der integrative Blick
 - 3a. Ausgangspunkt in Science and Technology Studies (STS)
 - 3b. Multiperspektivische Annäherung
4. Zwischenergebnisse
5. Ausblick
6. Projektpartner und -förderung
7. Ausgewählte Literatur

Doku ohne backups (mit siehe v1,5 public / v.1.5, 11.7.18
Hocke 2018e PPP SOTEC-radio_Projekträger-KA.pppx

1. Einführung: Worum geht es?

- Entsorgung nuklearer Abfälle als „soziotechnischer Prozess“
- Welche Unterthemen?
 - soziale Prozesse
 - technische Notwendigkeiten & Gestalten von Technologie
 - Entwickeln von Vorschlägen zur Umsetzung strategischer Ziele, die auf das „Gemeinwohl“ und die Isolation von HAW abzielen
 - Gegenwartsanalyse
- FuE-Bereich 5.2 „Methodik der Behandlung soziotechnischer Fragestellungen“ des BMWi-Förderkonzepts „Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, 2015-2018“, S. 46f

1-2 Das Gesamt-Projekt SOTEC-radio: Ziele und Arbeitspakete



1-3 Die akademische Aufgabe

- Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen
 - technologischen Anforderungen
(z.B. Bergwerk, Abfallbehälter, technische Barriere, Entsorgungs-Infrastruktur...) und
 - sozialen Prozessen u. Kontextstrukturen
(z.B. soziale Rahmenbedingungen, politische und rechtliche Entscheidungen, gesellschaftliche Erwartungen...)
- Entwicklung von „Konzepten und Maßnahmen zum Umgang mit diesen soziotechnischen Herausforderungen“ bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle

2. Systematisierung, STS und Abkehr von der Linearität



- Begriffe zur Eingrenzung des Gegenstandes „soziotechnisches System“
 - > Möglich durch Rekurs auf wissenschaftliche Teildisziplin mit inhaltlicher Nachbarschaft zur Technikfolgenabschätzung
- „Science and Technology Studies“ (STS) als eine Disziplin in den Sozialwissenschaften, seit 30 a etabliert
- Überwinden des linearen Modells
 - > Wirkmächtige Vorstellungen vom linearen und „verteilten Handeln“
 - > Zuerst entwickeln Ingenieure das technische System und anschließend wird es an Menschen und das „Soziale“ angepasst.
- STS-Forschung verlässt diese Linearität.

2-2 Input Science-and-Technology-Studies

Was ist ein „technisches System“?

1) In den einschlägigen Diskussionen werden sehr unterschiedliche technische Systeme beleuchtet.

2) Thematische Beispiele: der Dieselmotor, die Steuerungssysteme im Luftverkehr, das Energiesystem, aber auch das Fahrrad (Knie 1994; Weyer 2008, Büscher / Schippl 2013, Bijker 1995, ders. 2017)

Eine mögliche Unterscheidung (SOTEC-radio nach Lösch 2012)

_ Infrastrukturtechniken (z.B. Mobilitätssysteme, Telefonnetz)

_ Alltagstechnik (z.B. Auto)

_ „Enabling technologies“ (wie Biotechniken, die wiederum auf Entwicklungslinien wie Herzschrittmacher, Reproduktionstechnologien etc. abzielen)

→ Abfallentsorgung mit ihren Anlagen ist eine Infrastrukturtechnik.

3. Der integrative Blick



3-1 Ausgangspunkt in Anlehnung an STS

- **Soziotechnisches System zur „Abfall-Entsorgung“**
Abfall-Management einer nicht ungefährlichen Abfallart
(Handlungsnotwendigkeit besteht technisch + sozial)
- **Das Endlager-System kann als „soziotechnisches Ensemble“ (Bijker) verstanden werden**
Zwischenergebnis: (a.) Netzwerk mit wechselseitigen Interaktionen; (b.) ein Ensemble, das durch „soziale und technische Verbindungen“ zusammenhält (Bijker et al. 1995: S. 273).
- **Fragestellung zielt immer auf die „Gestaltung“ des Gegenstandes durch unterschiedlichste Akteure**
(primär Netzwerke, die interaktiv und gestaltend, aber auch weitere kollektive Akteure z.B. aus Wirtschaft, Politik, Stakeholder, interessierter Öffentlichkeit)

3-2 Multiperspektivische Annäherung

- (Nukleare) Abfall-Entsorgung findet in einem sozio-technischen, funktional differenzierten Ensemble statt
Sonderfall auch wieder keiner, Stabilisieren oder Aufbrechen / Umgestalten von Pfadabhängigkeiten
- Auskunft zu den Interaktionsprozessen gibt die Theorie(-geschichte) und die AP1-Empirie
- Die Empirie von SOTEC-radio findet in den 3 APs statt (Regulierung, Reversibilität und Planungsprozesse)
- Theorie und Empirie sind gleichzeitig wichtig
Der Begriff „soziotechnisch“ und die dahinterstehenden Interaktionen und Prozesse sind nicht selbsterklärend.

3-3 Theorie(-geschichte) und Empirie

- Getragen von einschlägiger, bei RWM noch schwach entwickelter Forschung zu soziotechnischen Prozessen
- Theoriegeschichte der Vorstellungen zum Verhältnis „Technik und Gesellschaft“
Ogburn 1922 über Schelsky zur „Innovationsforschung“ und CTA (s. Hocke 2016, Lösch 2012)
- Technikgestaltung als „wechselseitiger Prozess“
Heute State of the Art!
- „Daten und Methoden“ meint den systematisierenden Dreischritt der TA: Literatur, Datenerhebung, Überprüfen.



3-4 Empirie in AP1

Methodisches Vorgehen:



1. Systematische Literaturrecherche & -auswertung



2. Leitfaden-Interviews



3. Interdisziplinärer Workshop (mit Experten und “konstruktiven” Stakeholdern)

4. Zwischenergebnisse

- Technikgestaltung findet aktuell und auch bei der nuklearen Entsorgung in **Netzwerken** statt.
Hochdynamische Interaktionen, unterschiedlichste Einflussnahmen, kontextspezifisch, kein spezifischer Schlüsselakteur.
- F&E als Entwicklung hin auf ein technisches Produkt (hier: technisches Artefakt Entsorgungsbergwerk)
Artefakte mit umgebender Infrastruktur und einem soziotechnischen Regime sowie umgebende Infrastrukturen (mit ihren Handlungsträgern), aber auch einer „Umwelt“ (Umwelt funktional differenziert; mit Teilsystemen, deren Eigenlogiken und kollektiven Akteuren)
- Sozialwissenschaftliche Gegenwartsanalysen als unverzichtbarer Kontext („Anthropozän“, „Flüchtige Moderne“ bei Z. Baumann)

4-2 (Zwischenergebnis)

- Der **Normalfall**: „Interventionen“ aus der Umwelt ...
(Teilsystemen, die die technische Anlagenstruktur umgeben) und ...
Dispute sind nicht ungewöhnlich, eher der Normalfall.

4-3 Maßnahmenvorschläge für bessere Reflexion – Hinweise aus AP1-Interviews

Räume für interdisziplinären Austausch schaffen

Stärkere disziplinenübergreifende Ausrichtung bereits in der Lehre



Politikwissenschaftliche Theorien weiterentwickeln. Hilfreich ist die Analyse von realen komplexen Prozessen.

Vermeiden, dass die eine oder andere Seite Überhand gewinnt

Erfahrungen aus dem ENTRIA Projekt nutzen

Neugier für die Fragen anderer Disziplinen schaffen, gegenseitiges Verständnis herstellen

5. Ausblick in Thesen

- Wenig geläufige Begriffe wie ‚soziotechnische Ensembles‘ u. ‚technisches Regime‘ eröffnen präzisere „**Vorstellungswelten**“ für F&E.
- Erkennbar werden nicht unauflösbare Sachzwänge, sondern **Gestaltungsräume** durch die Analyse soziotechnischer Prozesse.
(Gestaltungsräume sind möglich, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind)
- „**Denken in Alternativen**“ (Grunwald 2012) eröffnet diese Gestaltungsräume.

5-2 (These 4 sowie nächste Arbeiten)

- **Dialogkultur** statt **Debattenkultur** ist aussichtsreich, ... so die Sozialwissenschaften.
Paradigmenwechsel ist alles andere als trivial, positive „Phantasie“ notwendig, wie deutsche Entsorgungspolitik zu gestalten ist – trotz Haltepunkten & Partialinteressen. Hohe Anforderungen an staatlich-administrativen Prozess.
- **Ausrichtung der weiteren Arbeiten:**
Analyse der AP 2 bis 4 / zwei Beispiele
 - a) soziotechnische Prozesse der Technikgestaltung bei Analogien wie Verkehrssystemen & Windkraft;
 - b) Long-term Governance und Monitoring bei Staudämmen.

6. Projektpartner und -förderung



Beate Kallenbach-Herbert
Bettina Brohmann
Brigitte Schulda
Roman Seidl



Sophie Kuppler
Peter Hocke
Elske Bechthold



Achim Brunnengräber
Ana María Isidoro Losada
Rosaria Di Nucci
Dörte Themann

Laufzeit: 04/2017-04/2020

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen 02E11547A-C

Förderkonzept des BMWi (2015-2018)
„Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle“

7. Ausgewählte Literatur

Bijker, Wiebe E. (1997): Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs. Toward a Theory of Socio-technical Change. Cambridge/MA: MIT Press.

Bijker, Wiebe (2017): Constructing Worlds. Reflections on Science, Technology and Democracy (and a Plea for Bold Modesty). In: Engaging STS 3, S. 315–331.

Grunwald, Armin (2012): Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten. Berlin, Heidelberg: Springer (acatech Impuls).

Hocke P. (2016): Technik oder Gesellschaft? Atommüll als sozio-technische Herausforderung begreifen. In: Achim Brunnengräber (Hg.): Problemfälle Endlager. Baden-Baden: edition sigma, S. 77–96.

Lösch, Andreas (2012): Techniksoziologie. In: Sabine Maasen et al. (Hg.): Handbuch Wissenschaftssoziologie. Wiesbaden: Springer VS, S. 251–264.

Weyer, Johannes (2008): Mixed Governance – Das Zusammenspiel von menschlichen Entscheidern und autonomer Technik im Luftverkehr der Zukunft. In: Günter Voß/Ingo Matuschek (Hg.), Luft-Schichten. Arbeit, Organisation und Technik im Luftverkehr, Berlin: edition sigma, S. 188–208.

Eine experimentelle Analyse der Verhandlungen um ein Endlager für radioaktive Abfälle (EXPANDER)

Hanns-Maximilian Schmidt, Dr. Marcus Wiens, Prof. Dr. Frank Schultmann

Forschungsgruppe Risikomanagement
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)



Inhalt

1. Forschungsfragen und -design
2. Ausgewählte Ergebnisse der Interviews
3. Mediendatenanalyse
4. Ökonomische Experimente
5. Ausblick

Bis heute ist das Problem der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland nicht gelöst

- Die Endlagerung (hoch-)radioaktiven Abfalls stellt ein besonderes Problem **ultralanglebiger Investitionen** dar:

- Zahlreiche **Stakeholder** involviert
- **Mehrere potentielle Standorte**
- **Besondere Gefährdung** im Falle eines Unfalls
- **Stigmatisierung** durch Unfälle in anderen Industriestaaten (Fukushima etc.)
- **Risikopräferenz** über die Zeit
- **Art der Diskontierung**



Kernkraftwerk Obrigheim, seit 2005 abgeschaltet

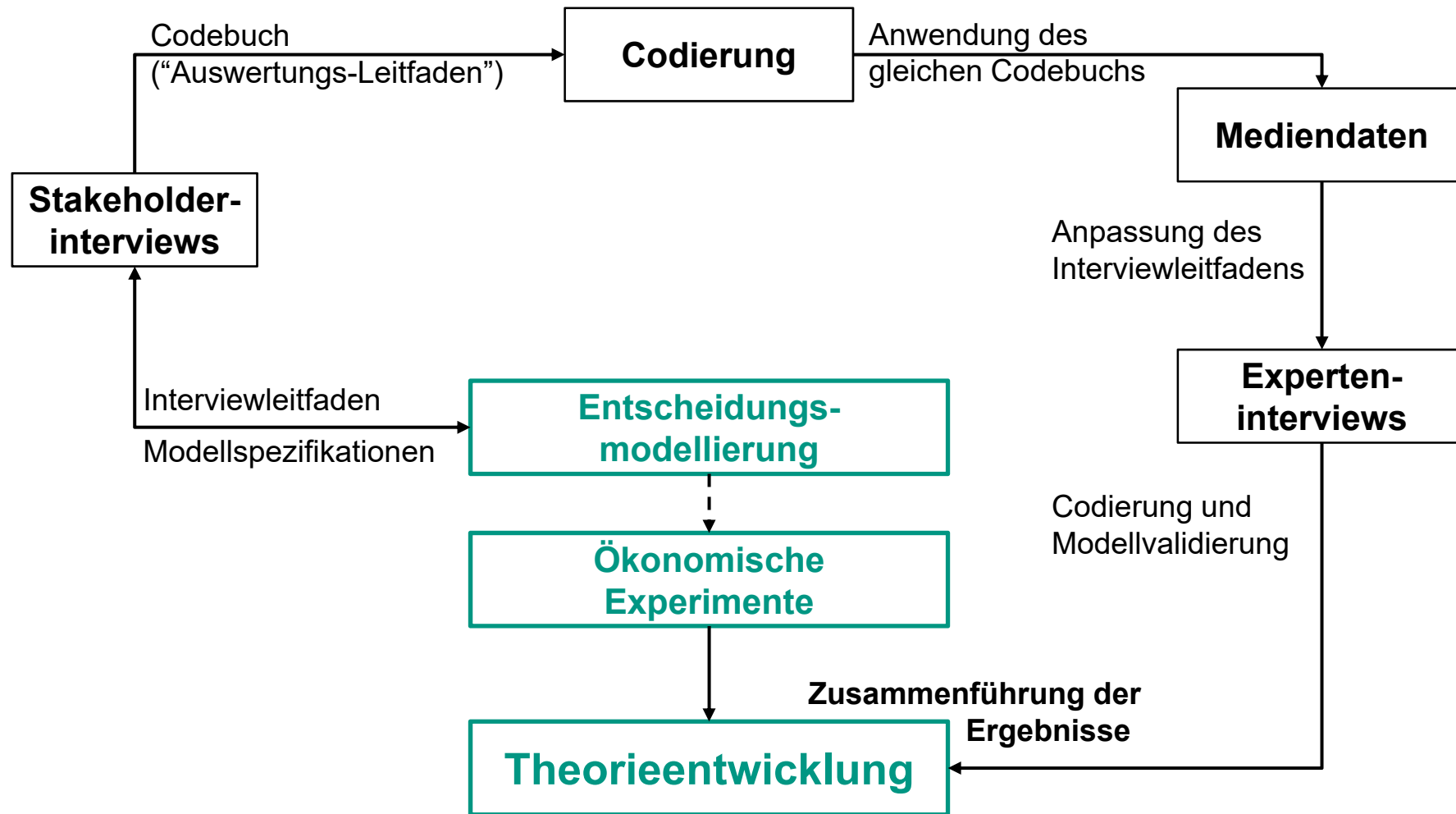
Forschungsfragen

- Welche **Herausforderungen** beobachten oder beschreiben die am Prozess beteiligten **Akteure**? Welche Erwartungen haben sie bzgl. der **Prozessgestaltung**?

- Welche (kontextspezifischen) **Effekte** erschweren die Konsensfindung?
 - Fairness, Kommunikation, Informationsasymmetrien, Risikowahrnehmung etc.

- Gibt es **Mechanismen**, die zur Lösung beitragen können?
 - Design des Prozesses, Ausstattungen der Akteure

Forschungsdesign



INTERVIEWERGEBNISSE

Befragte und Inhalte der Befragung

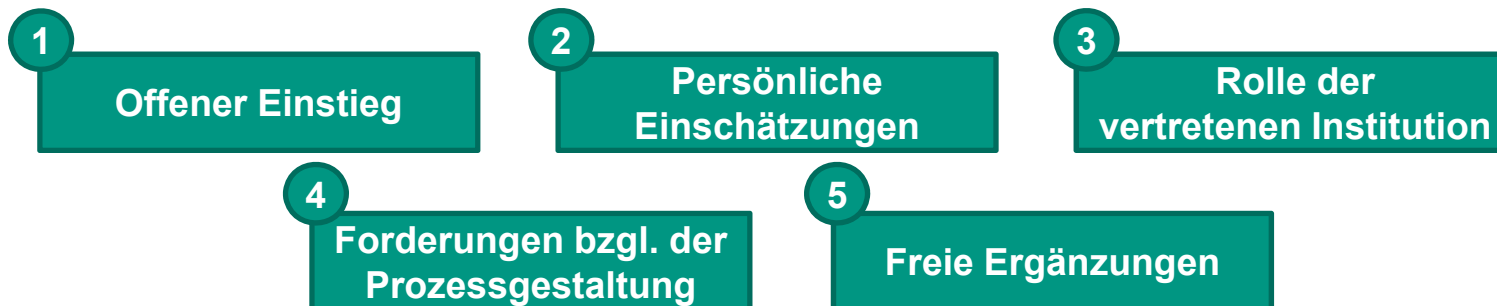
- **Phase 1: I/2016** – Stakeholdergruppen aus **Endlagerkommission**

- EVU - 8 Befragte
- (Ingenieurs-) Wissenschaft - 5 Befragte
- Politische Parteien (ausgewählte Vertreter) - 5 Befragte
- Gewerkschaften - 2 Befragte

- **Phase 2: II/2016** – Betroffene / organisierte **Bürgerinnen und Bürger**

- NGO - 3 Befragte

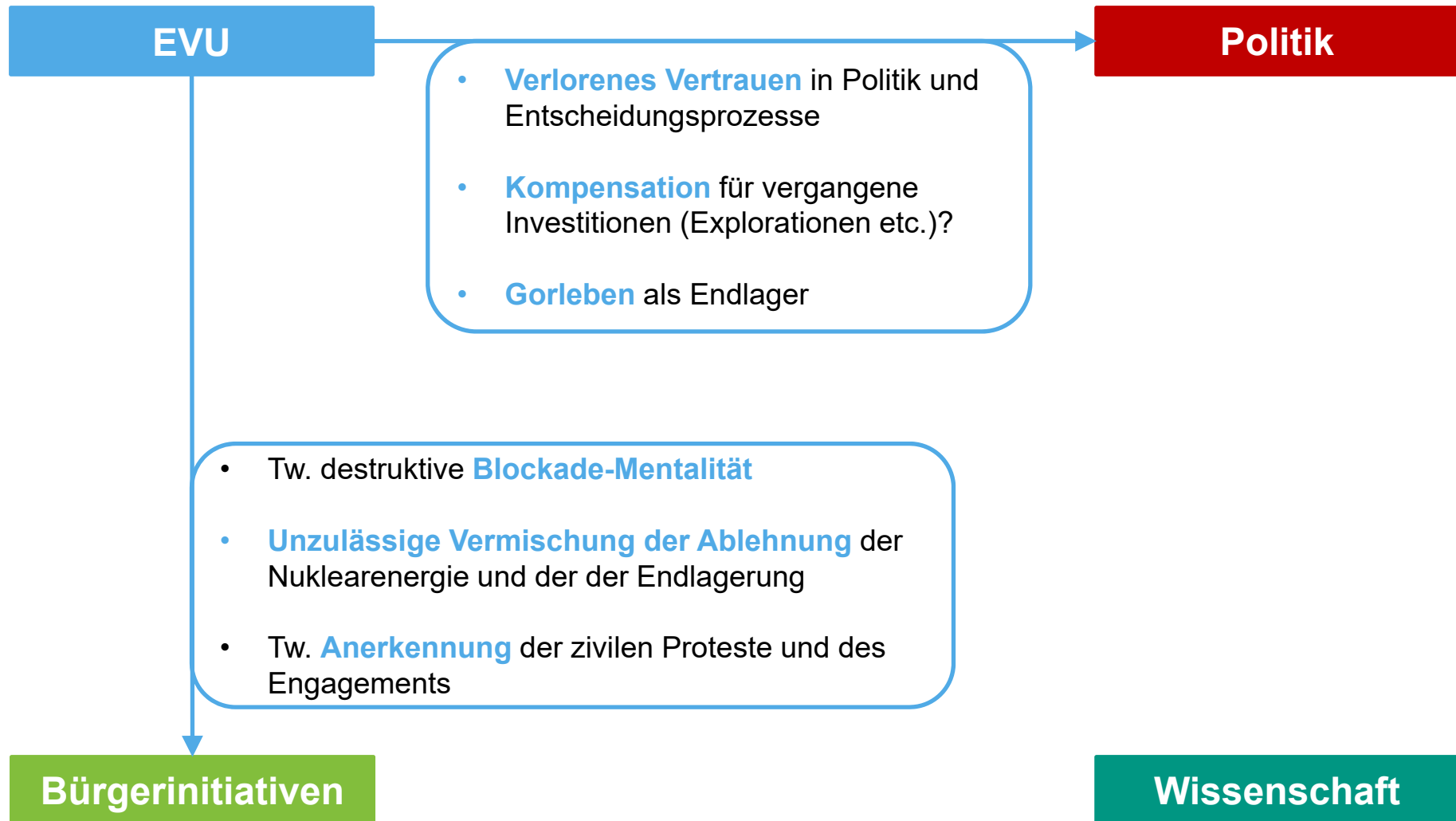
- **Themen:**



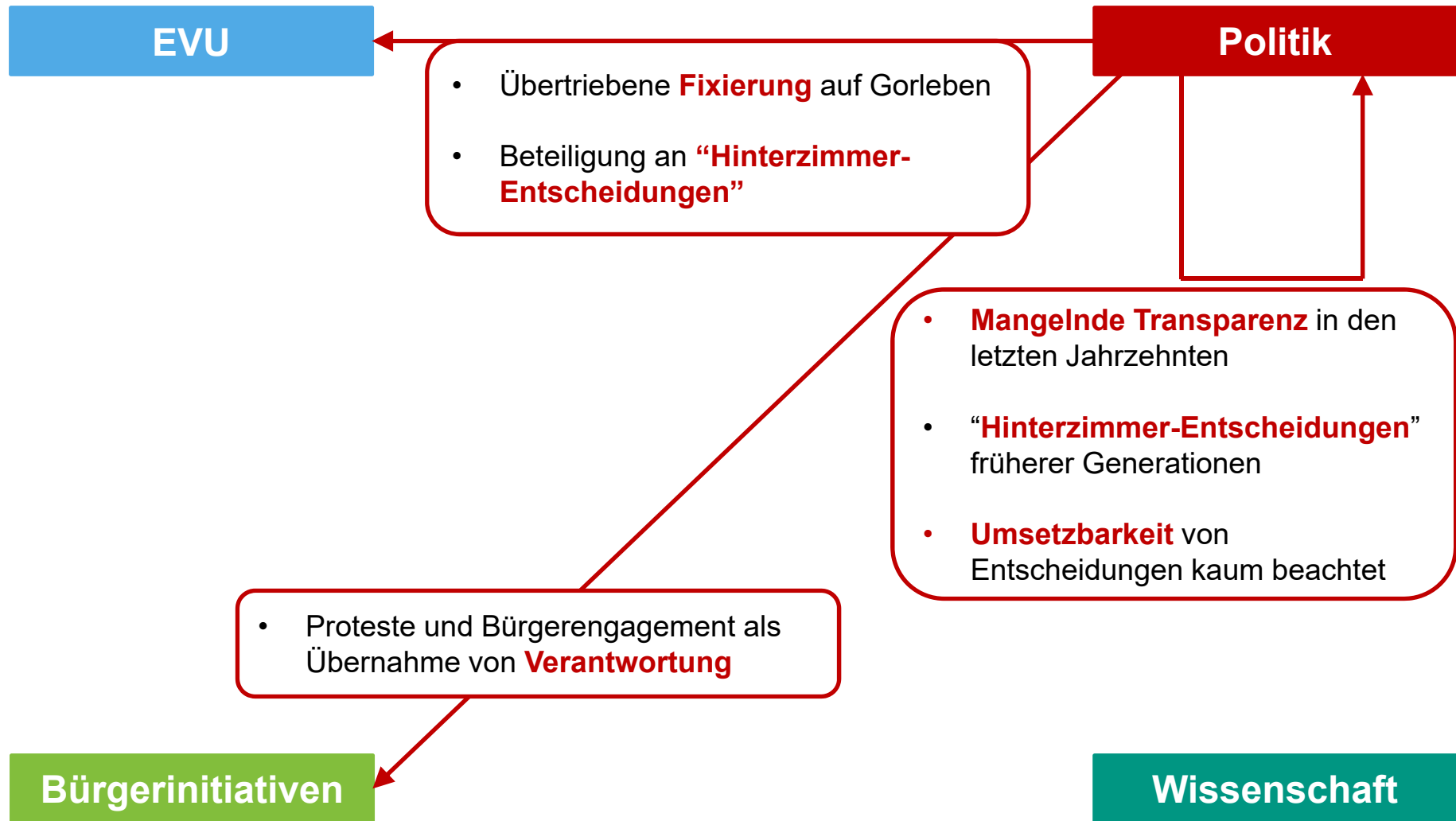
- **Phase 3: I/2018** – Validierung der Ergebnisse in **Expertengesprächen**

- Gesellschaft, NGO, Ingenieure, Behörden, Schweiz - je 1 Befragter

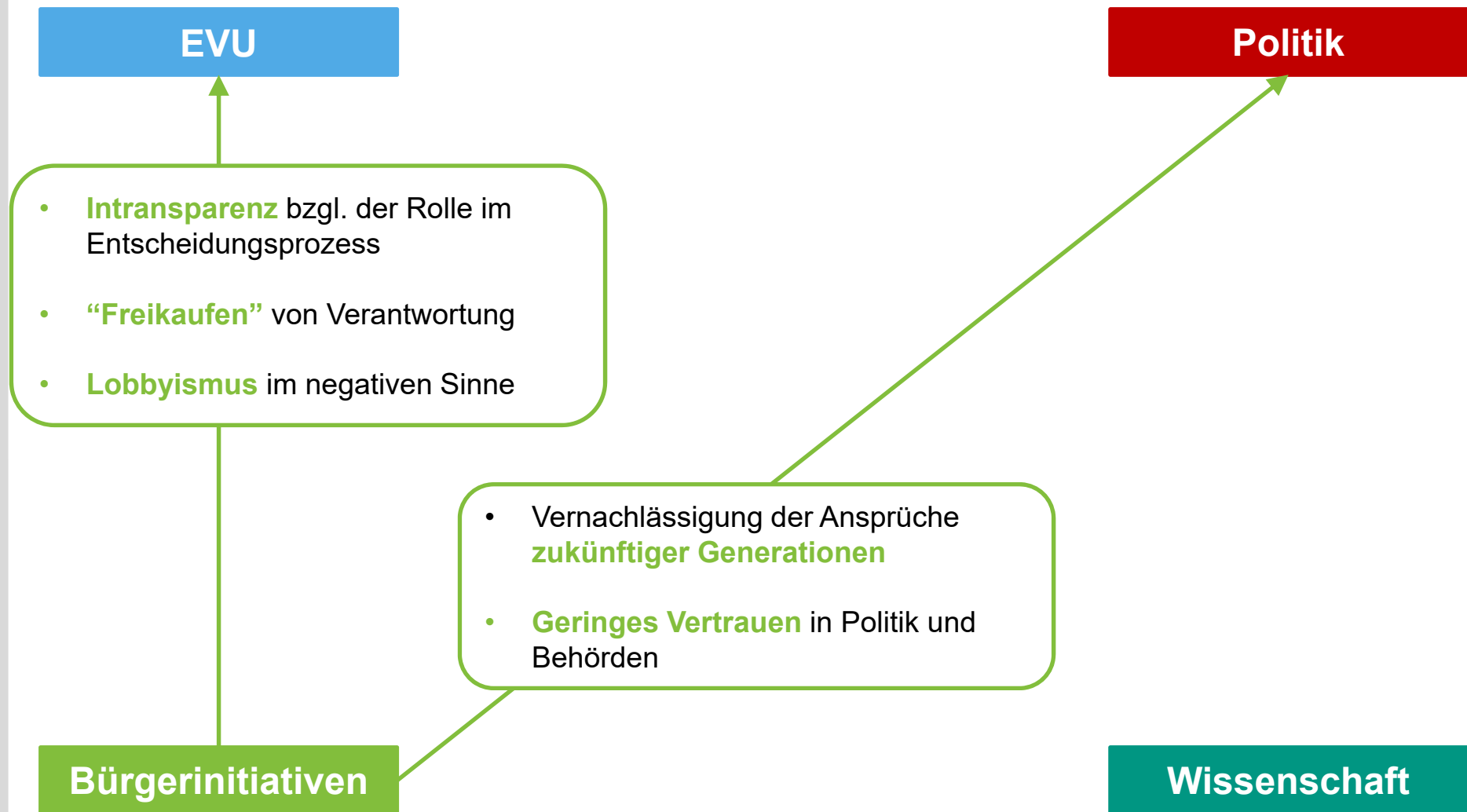
Konfliktlinien gemäß der Interviewergebnisse



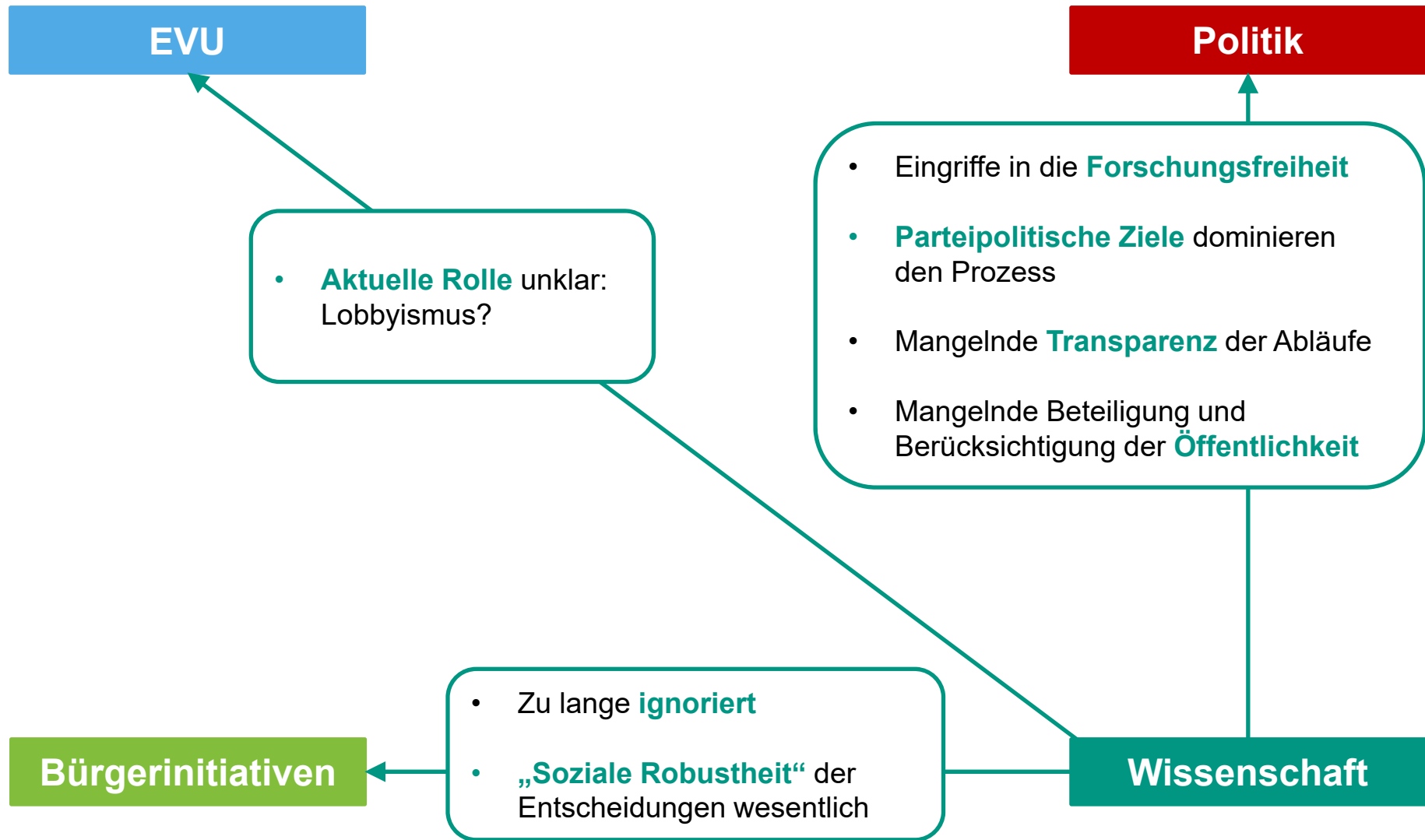
Konfliktlinien gemäß der Interviewergebnisse



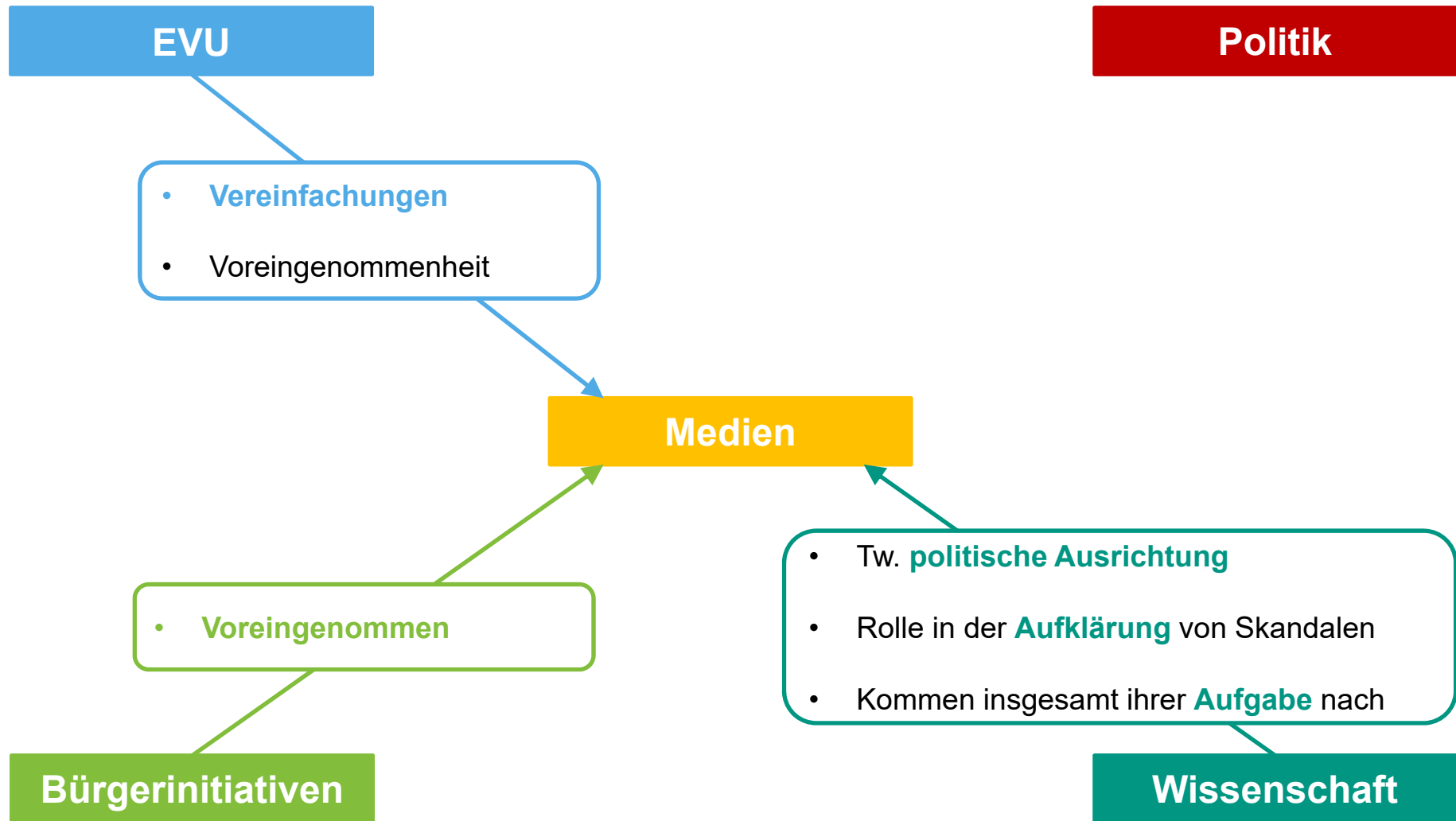
Konfliktlinien gemäß der Interviewergebnisse



Konfliktlinien gemäß der Interviewergebnisse

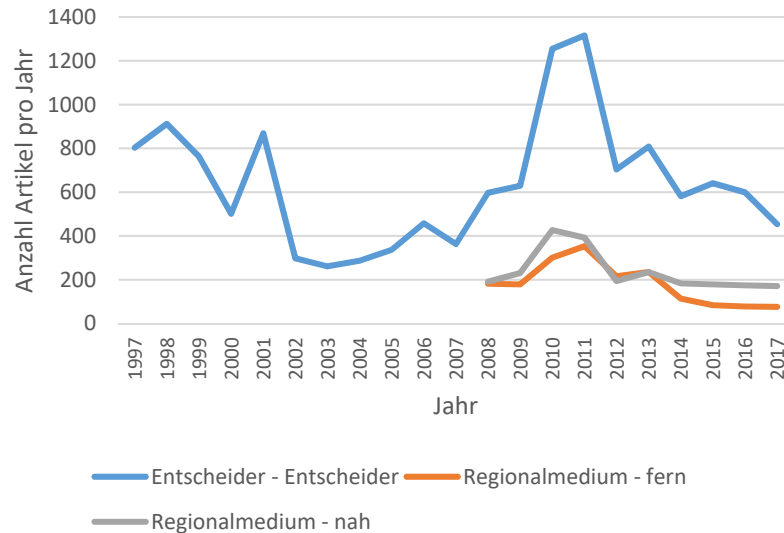


Konfliktlinien gemäß der Interviewergebnisse



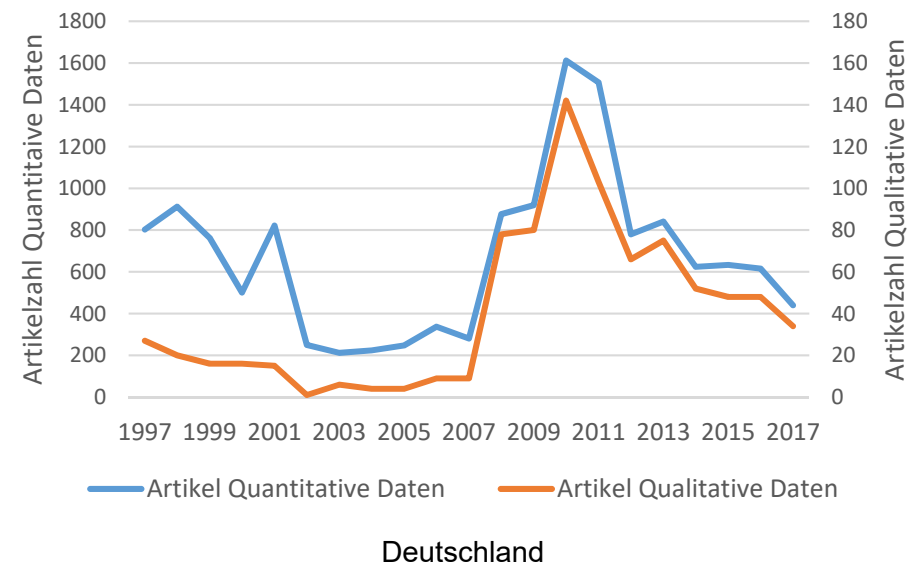
MEDIENDATENANALYSE

Eine Datenbankabfrage ergab 27.000 relevante Artikel in DE, FR & CH – daraus wurden 10 % gezogen und codiert

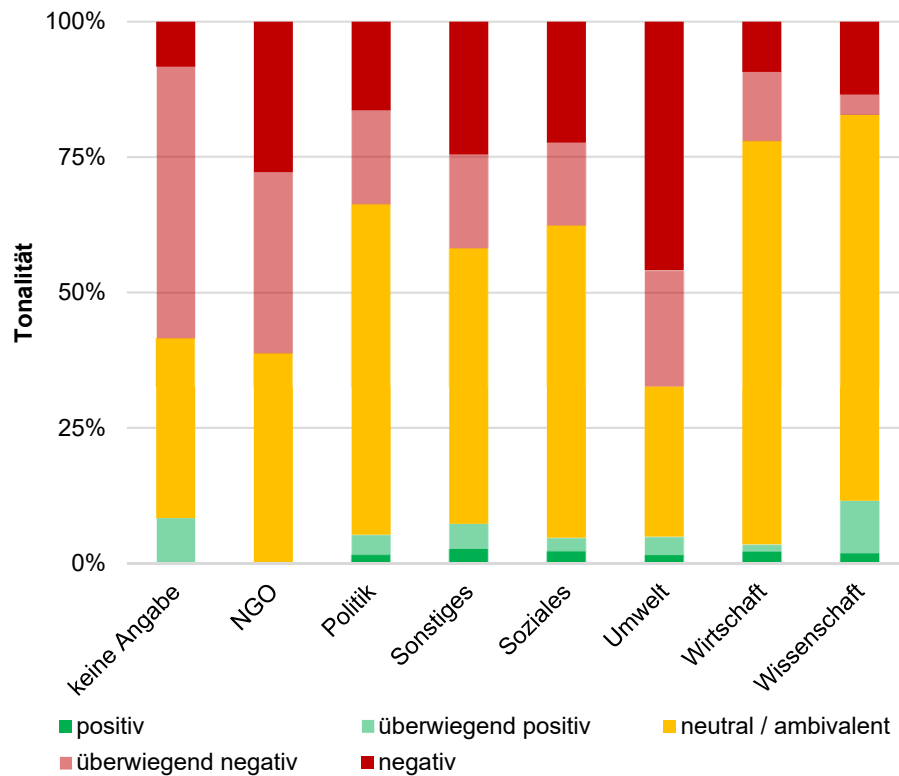


- Stichproben:
- Insgesamt: 2.700 Artikel
- DE: 1.125 Artikel
- FR: 997 Artikel
- CH: 1.029 Artikel
- Zeitraum: 1997 (2008) – 2017
- Medienauswahl: überregional & regional (nah und fern)

- Ziehung nach Schlagworten
 - Castor, Atommüll, radioaktive* Müll / Abfall, Gorleben, Endlager etc.
 - Anfang der 0er-Jahre nur geringe Stichprobenumfänge



Die sog. Gesamttonalität einzelner Artikel wird anhand wertender Vokabeln ermittelt – sie ist überwiegend negativ



- Aufteilung in **Ober- und Unterthemen**

- **Oberthemen:**

- NGO, Politik, Soziales, Umwelt, Wirtschaft, Wissenschaft, sonstiges

- **Unterthemen:**

- Sicherheit, Transparenz, Fairness, Akzeptanz...

- Einflüsse anderer Ereignisse

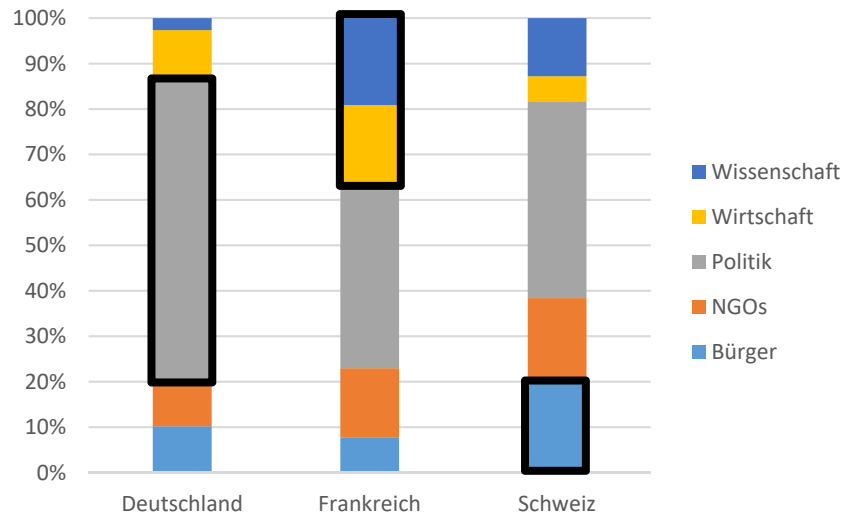
- Gesteinsarten

- Akteure, Partizipationsmöglichkeiten

- ...

- **Detailgrad** reduziert teilweise die Datenbasis stark

Die Sprecheranteile im Ländervergleich unterscheiden sich voneinander

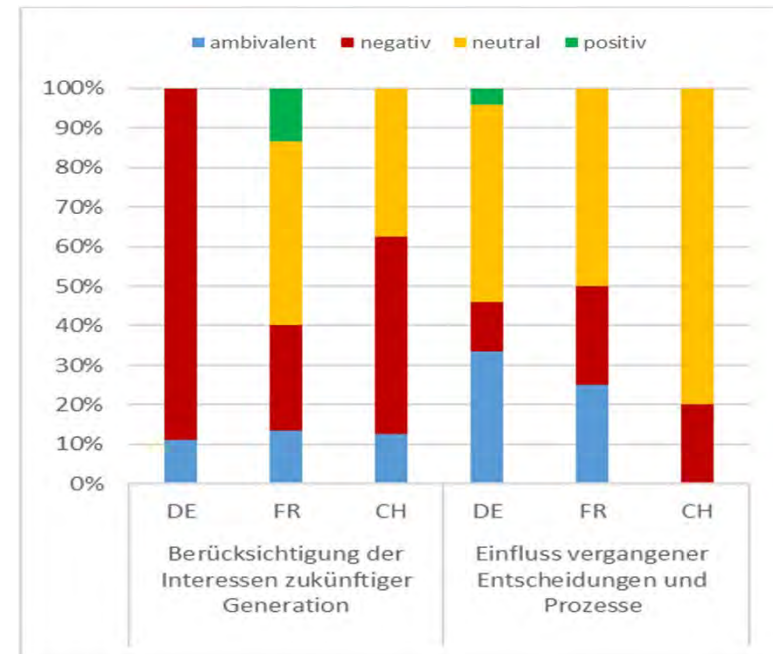


Sprecheranteile in den Stichproben

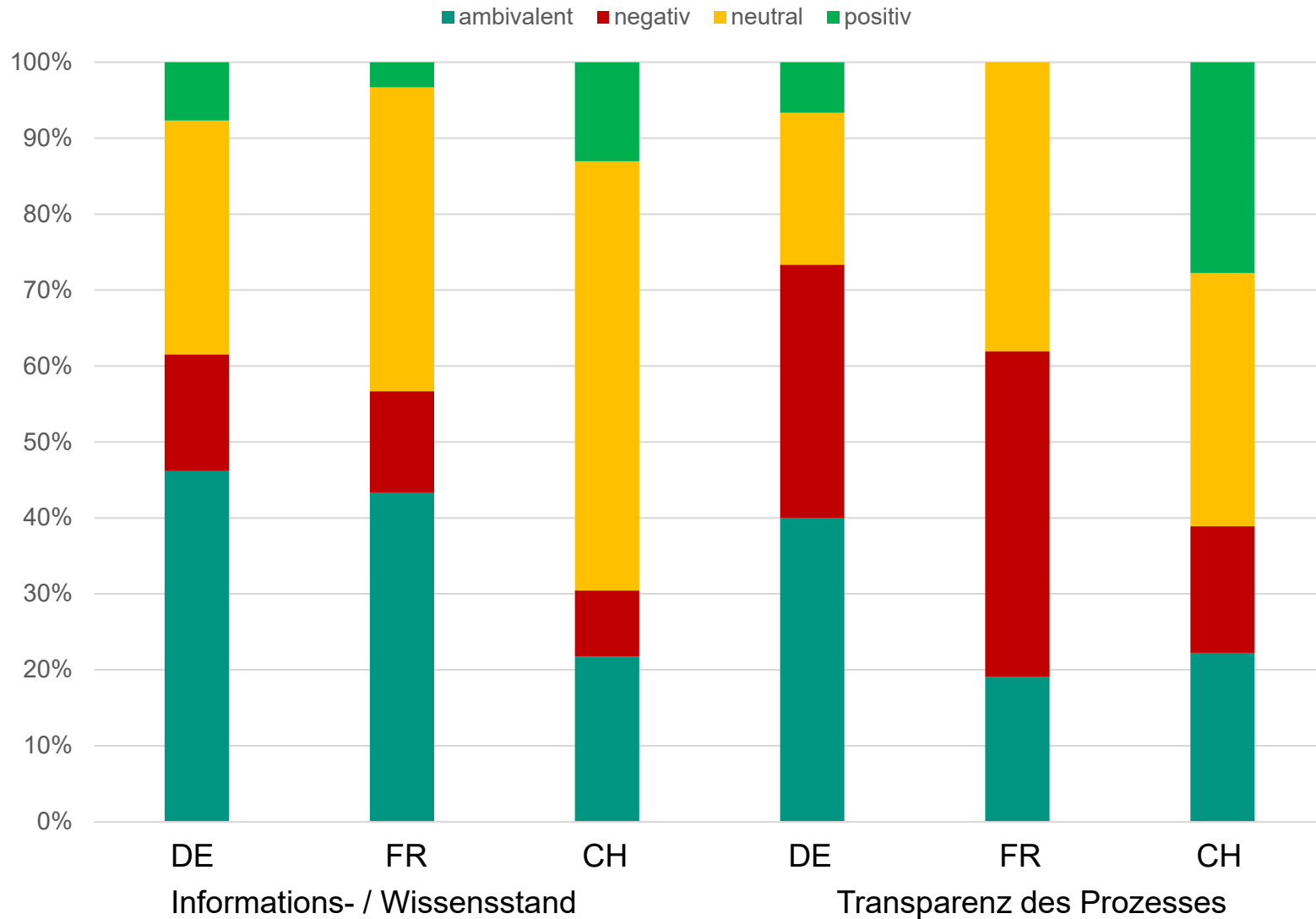
- DE: überwiegend Politik
- FR: höchste Anteile Wirtschaft & Wissenschaft
- CH: höchster Anteil Bürgerinnen und Bürger

Auf Themenebene:

- Die Berücksichtigung der Interessen **zukünftiger Generationen** werden in dt. Medien extrem kritisch betrachtet
- Zu berücksichtigen: unterschiedlicher Stand der **Standortauswahlverfahren**



Der schweizerische Ansatz wird bzgl. Wissensstand und Transparenz kaum negativ dargestellt



Zusammenfassung der vorläufigen Ergebnisse der Mediendatenanalyse



Hypothese	D	FR	CH	Gesamt
Länder unterscheiden sich anhand der Inhalte der Berichterstattung	-	-	-	✓
Tonalität: tendenziell negativ	✓	✓	✓	✓
Länderunterschiede bzgl. Tonalität	-	-	-	✓
Regionaler Bezug → höhere mediale Aufmerksamkeit	-	✓	✓	✓
Regionaler Bezug → Inhalte der Berichterstattung	-	✓	✓	✓
Regionaler Bezug → negativer Tonalität	-	✗	✓	(✓)
Fukushima-Daichii → Anstieg Berichterstattung	✓	✗	✓	(✓)
Fukushima-Daichii → Sicherheitsaspekte	✗	✓	✓	(✓)

ÖKONOMISCHE EXPERIMENTE

Multilaterale Verhandlungsspiele sind seit einigen Jahren im Fokus experimenteller Analysen

- Erste Definition zurückgehend auf Ariel Rubinstein (1982):

*Two individuals have before them **several possible contractual agreements**. Both have interests in reaching **agreement** but their interests are **not entirely identical**. What “will” be the agreed contract, assuming that both parties behave rationally?*

- Ausgangspunkt für eigenes Modell:

Multilaterale Verhandlungen zur Kostenteilung

Experimentelle Wirtschaftsforschung hilft dabei, die Schlüsselemente einer Verhandlung gezielt zu analysieren

- Vorgehen
 - Bestimmung eines **Designs** (Mechanismus)
 - Menschliche Probanden interagieren am **Computer**
 - **Monetäre Anreize** werden geschaffen
- Umsetzung im KD2lab des KIT
- Breites Anwendungsfeld
 - **Öffentliche Güter**
 - Marktregeln (Preisabsprachen)
 - Marktdesign (Auktionen, CO2-Börsen)
 - Entscheidungstheorie, effiziente Mechanismen (Organspenden)
- Ein klassisches Experimentdesign ist zunächst **kontextfrei**



In einem 3-Spieler-Design verhandeln die Gruppen über die Verteilung kostenverursachender Güter



- 100 Geldeinheiten (GE) von Beginn an
- Entspricht 2 €

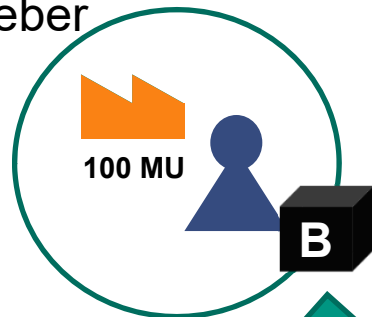


Standort



- Lagerung einer Einheit verursacht Kosten
- Nur lagernde Spieler tragen Kosten

Vorschlaggeber



Schlägt einen Spieler (oder sich selbst) für die Aufnahme vor



Antwortender 1

Zahlt für die Aufnahme



Antwortender 2



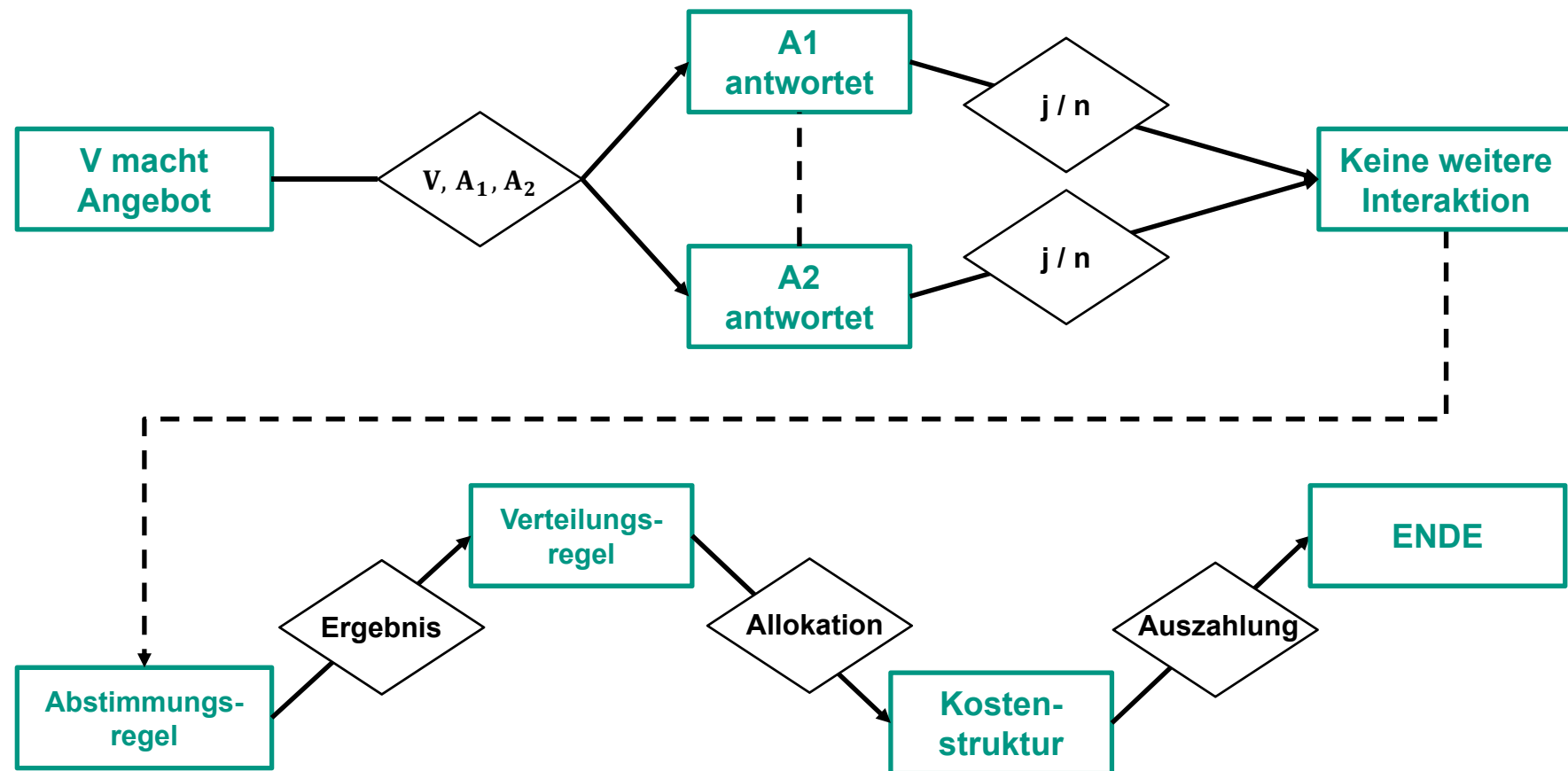
Hohe Kosten



Niedrige Kosten

Experimentablauf

- 3 Spieler, 2 Rollen: Vorschlaggeber V, Antwortende A_1 und A_2
- Anfangsausstattung: 100 GE (2 €)
- Aufnehmende Spieler zahlen für jede Einheit



Die Vorstellung von “Fairness” unterscheidet sich klar zwischen den Rollen – auch bei Rollenwechsel der Spieler



Zusammenfassung: das Projekt EXPANDER führt unterschiedliche Daten zusammen

■ Qualitative Daten – kontextspezifisch

Stakeholder-Interviews

- Konsens über **mislungene Entscheidungsprozesse**
- Offene Konflikte zwischen den Stakeholdern
- Hoffnung auf echten **Neustart** (Stand: 2016)

Mediendaten

- **Negative Tonalität** in der dt. Berichterstattung
- **Politische Themen** dominieren deutsche Medien
- Schweizerische Prozess wird als **transparent** und **offen** geschildert

Experten-Interviews

- Kritik und Einordnung der **Relevanz** des Modells
- Neuordnung der Behörden ("**Checks & Balances**")
- Regionalität und **erweitertes NIMBY-Problem**
- Schaden durch **Prozesshistorie**

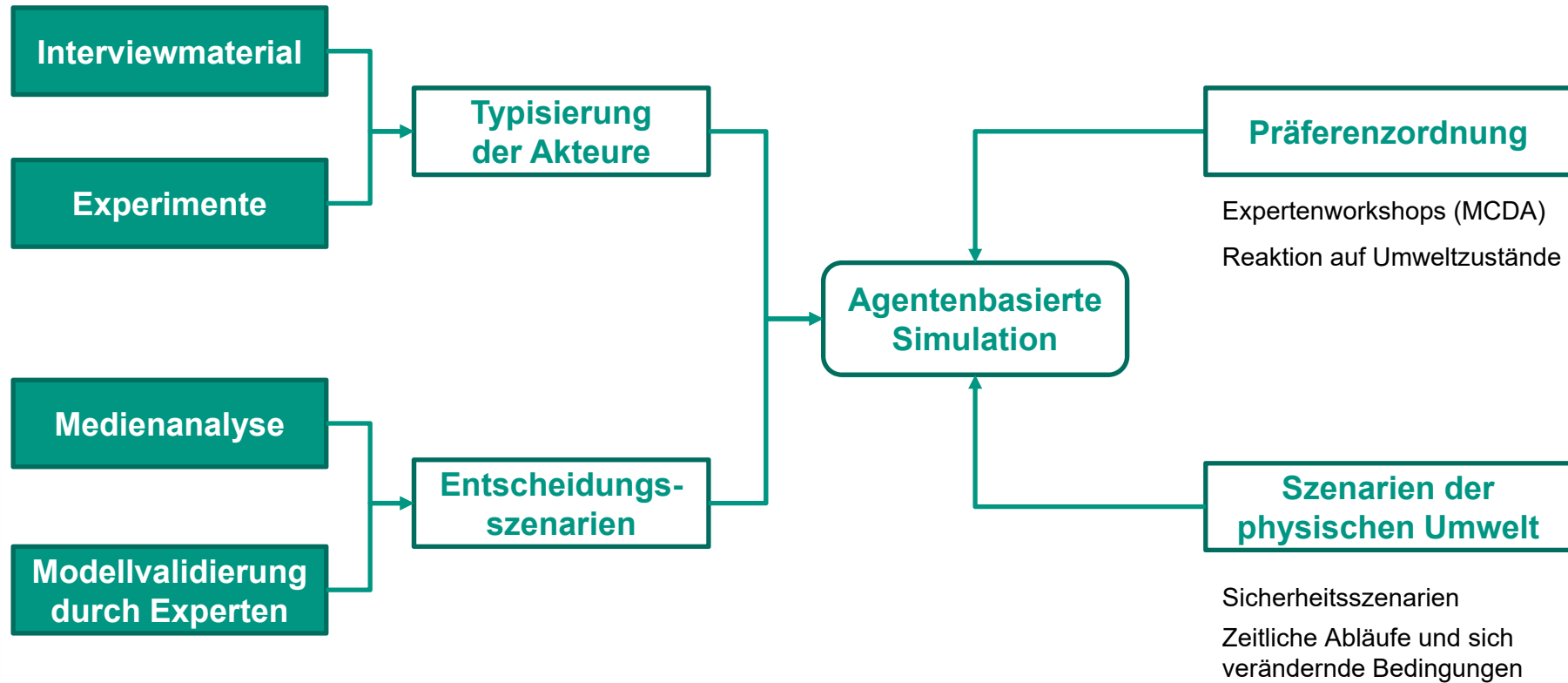
■ Quantitative Daten – kontextfrei

Ökon. Experimente

- Das Verständnis **fairer Lösungen** bzgl. des Vorschlaggeber-Anteils variiert zwischen den Rollen
- Globale Fairness-Regeln:
 - die Antwortenden müssen **gleichbehandelt** werden
 - "Bestechung" wird idR. **sanktioniert**

AUSBLICK

Mögliche Weiterverwendung der Daten zur agentenbasierten Modellierung und Simulation



Eine agentenbasierte Modellierung und Simulation als Anknüpfungspunkt für weitere Forschung

■ Agentenbasierte Modelle:

- **Computergestützte** Abbildung individueller Entscheidungen und...
- deren Relevanz für das **gesamte System**
- Berücksichtigung der **Heterogenität** der Entscheider
- Simulation unter Berücksichtigung unterschiedlicher **Szenarien**

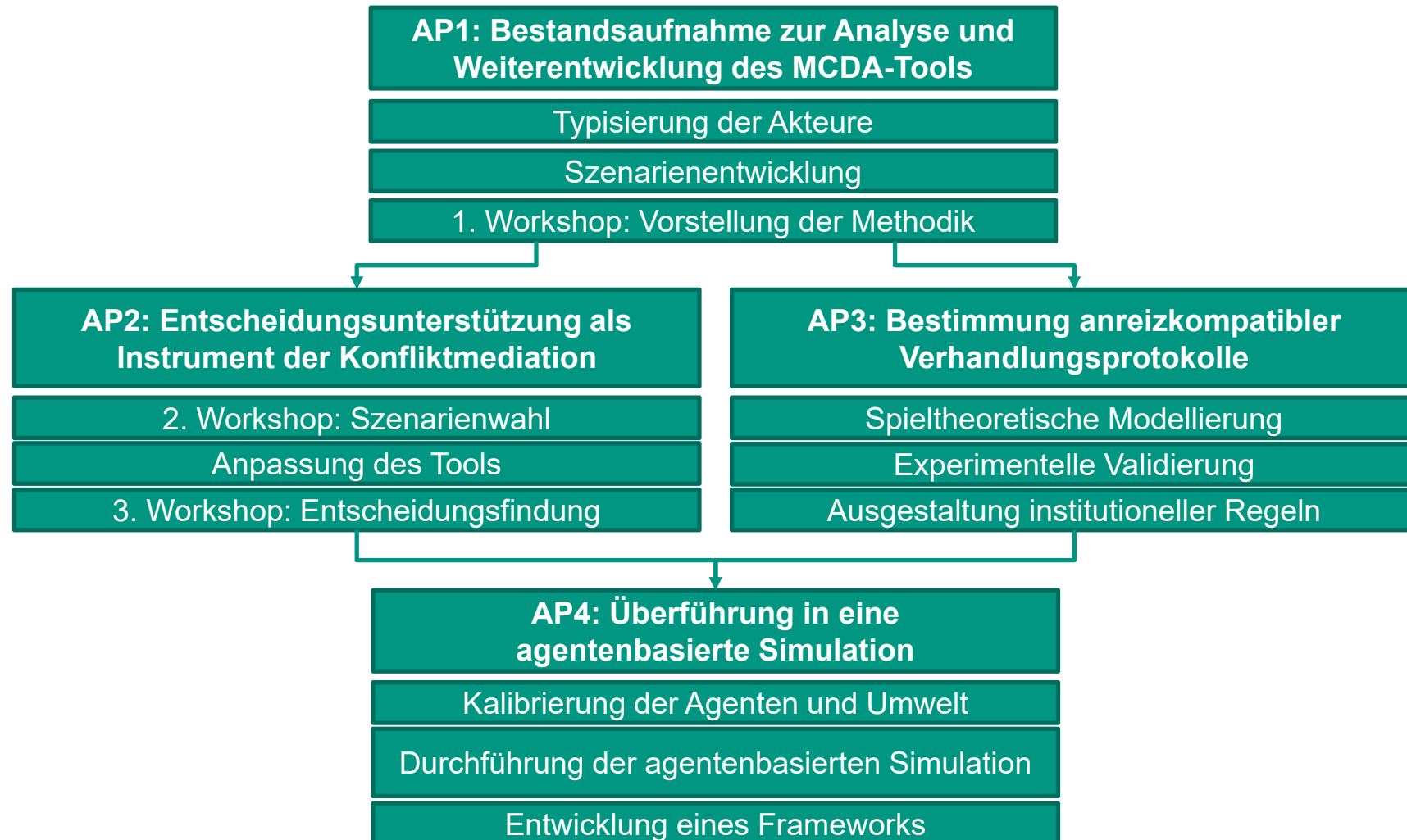
■ Variablenbelegung:

- **Physische Szenarien:** Umweltbedingungen und techn. Systeme
- **Akteure:** Individuelles Wertesystem und Verhalten
- **Interaktion** (Diskurs): Konflikte, Kompromisse, Konsens

■ Ziel:

- Abbildung der Endlagersuche als Kopplung des **Entscheidungsprozesses individueller Akteure und Gruppen** und der **physischen und sozialen Umwelt**
- Analyse der **Wechselwirkungen** und Identifikation möglicher **Ausgänge**

Eine agentenbasierte Modellierung und Simulation als Anknüpfungspunkt für weitere Forschung



VIELEN DANK!

Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung

RS1552 -BREZL

Dr. Maik Stuke, GRS


20. Juni 2018

13. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Arbeiten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle


Inhalt

- Förderschwerpunkt des BMWi
- Motivation
- BREZL: Ziele und Arbeitsprogramm
- Überblick ausgewählter Ergebnisse
- Stand des Vorhabens und Ausblick

Förderschwerpunkt



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

**Forschung zur
Entsorgung radioaktiver Abfälle**
Förderkonzept des BMWi (2015-2018)

herausgegeben durch

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Referat IIA5 „Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung, Uranbergbausanierung“
und

Projektträger Karlsruhe – Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)
Karlsruher Institut für Technologie

Februar 2015

Seite 44



- 44 -

5. FuE-Inhalte

In diesem Kapitel erfolgt eine Übersicht über konkrete FuE-Themen, die in den aufgeführten FuE-Bereichen und FuE-Feldern bearbeitet werden sollen.

Die sechs FuE-Bereiche, als Schlüsselthemen und erste Gliederungsebene der FuE-Maßnahmen, spannen den Bogen von abfall- und zwischenlagerbezogenen Aktivitäten über methodische Fragen der Auswahl, des Konzeptes und des Sicherheitsnachweises für Endlager bis hin zu Maßnahmen der Kernmaterialüberwachung. Die FuE-Felder als zweite Gliederungsebene differenzieren und strukturieren die FuE-Bereiche. Die FuE-Themen, als höchste Detaillierungsstufe, stellen übergreifende Vorschläge zur Formulierung möglicher FuE-Vorhaben dar.

FuE-Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter

Vor dem Hintergrund der aus heutiger Sicht vermutlich verlängerten Zwischenlagerung Wärme entwickelnder Abfälle bis zur Bereitstellung eines Endlagers, fördert das BMWi die Schaffung bzw. die kontinuierliche Weiterentwicklung wissenschaftlicher Grundlagen zur Bewertung des Langzeitverhaltens von Behältern und Abfällen unter lagerspezifischen Beanspruchungsbedingungen und bei nachfolgenden Transporten im Vorfeld der Endlagerung. So soll zur Erhöhung der Sicherheit während der verlängerten Zwischenlagerung und nachfolgender Transporte sowie zur Erweiterung des Kenntnisstandes zum Zustand der Abfälle und Behälter im Vorfeld der Endlagerung beigetragen werden. Im Fokus stehen die Untersuchung von Alterungseffekten und Schädigungsmechanismen sowie die Bereitstellung entsprechend angepasster Analyse- und Bewertungsmethoden. Auch FuE Aktivitäten zur Bereitstellung von Methoden zur kontinuierlichen Zustandsüberwachung werden gefördert. Zusätzlich können Arbeiten zum Umgang mit beschädigten Brennelementen, zur Reconditionierung der Abfälle oder Beiträge zur Weiterentwicklung des Alterungsmanagements Gegenstand der Förderung sein.
(von PT-GRS fachlich/administrativ betreut)

FuE-Feld 1.1 Abfälle

- Langzeitverhalten zwischengelagerter Abfälle bei deutlich längerer Zwischenlagerung (z.B. Integrität bestrahlter Brennelemente)
- Reconditionierung (z.B. bezüglich beschädigter Brennelemente)

FuE-Feld 1.2 Behälter

- Auswirkung verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Transport- und Lagerbehälter (z. B. Integrität und Dichtheit der Behälter, Überwachung des Behälterzustandes, Handhabbarkeit, Transportfähigkeit)

FuE-Feld 1.3 Gesamtsystem Zwischenlager

- Methodik des Alterungsmanagements und Entwicklung von Verfahren zum Monitoring während verlängerter Zwischenlagerzeiten
- Störfall-/Sicherheitsanalysen

FuE-Bereich 2: Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl

Das BMWi fördert die Erarbeitung bzw. die fortlaufende Verbesserung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Auswahl von Endlagerstandorten. Dazu zählen innovative Methoden der Standorterkundung sowie Verfahren und Methoden zur Charakterisierung des an potenziellen Standorten vorzufindenden Geosystems. Auch grundlegende methodische Arbeiten zur Schaffung der wissenschaftlichen Basis eines Standortvergleichs können gefördert werden. Der eigentliche Standortvergleich und die Standortauswahl liegen nicht im Zuständigkeitsbereich des BMWi; somit erfolgt keine Förderung von Aktivitäten mit unmittelbarem Bezug zu diesen standortbezogenen Verfahren.

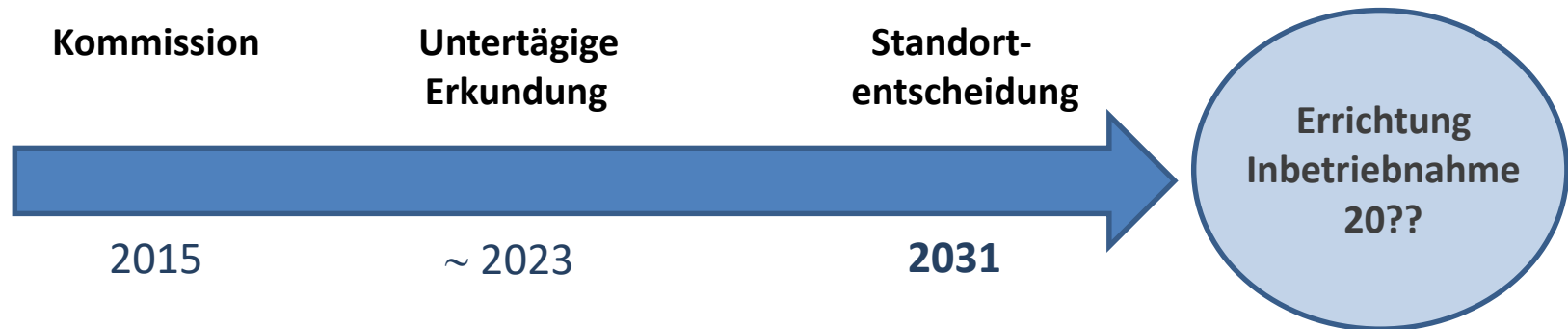
FuE-Feld 2.1 Erkundungsmethoden

- Geologisch-mineralogische Methoden zur Standorterkundung
- Geophysikalische Methoden zur Standorterkundung

Motivation:

Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente

- Genehmigungen der Transportbehälterlager i.d.R. für **40 Jahre ab der ersten Einlagerung**
 - TBL Gorleben bis 2034; SZL individuell, z. B. Lingen bis 2042
- **Standortauswahlgesetz** (StandAG) vom 27.06.2013



- Bestehende Sicherheitsnachweise sind für 40 Jahre geführt ✓
- **Weltweit keine praktischen Erfahrungen** mit der Zwischenlagerung und dem Transport für Zeiträume, die wesentlich über die in Deutschland vorliegenden hinausgehen

Motivation:

Herausforderungen der verlängerten Zwischenlagerung

ESK-Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern (10.06.2013)

„Ist dieser Zeitraum (40 Jahre) absehbar nicht ausreichend, sind geeignete zusätzliche Nachweise (z. B. zum Langzeitverhalten von Werkstoffen und Komponenten der Behälter und Inventare unter den lagerspezifischen Beanspruchungsbedingungen) zu erbringen.“

Erweiterung der technischen Basis in Bezug auf

- Physikalische Randbedingungen
- Materialverhalten
- Alterungseffekte
 - Strahlungsinduzierte Schäden
 - Korrosion
 - Änderung der Materialeigenschaften
- Nicht direkt zugängliche Komponenten, z.B. [Hüllrohre](#)

Motivation:

Brennstabhüllrohre während der verlängerten Zwischenlagerung

- **Hüllrohre** werden stetig thermisch und mechanisch belastet
 - Strahlung
 - Nachzerfallsleistung
 - Vorherrschender Innendruck
(Druckbeaufschlagung, freigesetzte Spaltgase, Helium)
- Versprödung durch Strahlung und Wasserstoffeinlagerungen
- Verformung durch Kriechen
- Herabsetzung der Duktilität des Hüllrohres bei Temperaturabnahme
- Langzeitfolgen des Trocknungsprozesses
- **Mögliche Konsequenzen** (v.a. Transport und Konditionierung)
 - Verlust der Dichtheit der Hüllrohre
 - Verlust der mechanischen Integrität der Hüllrohre



RS1552 - BREZL

RS1552 - Langzeitverhalten zwischengelagerter Brennelemente bei deutlich längerer Zwischenlagerung

- Laufzeitbeginn: 01.04.2017
- Laufzeitende: 31.03.2020
- Auftraggeber: BMWi / Ref. II A 6
- Unterauftrag: TÜV-Nord Ensys GmbH & Co. KG

Relevante Fragen:

- Wie lassen sich detaillierte Temperaturfelder beladener TLBs berechnen?
- Wie lässt sich das thermo-mechanische Verhalten der Brennstabhüllrohre beschreiben?
- Wie lassen sich sicherheitsrelevante Größen ableiten?

Projektziele BREZL

- Beschreibung der für die längerfristige Zwischenlagerung **relevanten Phänomene**
- Entwicklung und Qualifizierung einer **Nachweismethodik**, mit der alle für die Integrität der Brennstabhüllrohre relevanten Phänomene für den Zeitraum der Zwischenlagerung ab vierzig Jahre beschrieben werden können
- Abbrand-, Inventar- und Zerfallsberechnungen zur Bestimmung der Nachzerfallsleistungen, Alphaaktivitäten, Spaltgasmengen u. ä. für **UO₂- und MOX-Brennstoffe**;
- Entwicklung und Implementierung von geeigneten **Behältermodellen** zur Analyse der Temperaturen von Brennelementen und Brennstäben sowie des resultierenden **Temperaturfeldes innerhalb des jeweiligen Behälters**;
- Entwicklung und Implementierung eines **Modells zur Bestimmung der Hydridlöslichkeit** in Zirkonium unter Berücksichtigung der lokalen thermischen und mechanischen Randbedingungen, sowie der **Gestalt von Zirkoniumhydrid-Ausscheidungen** und deren **Reorientierungsraten**;
- Entwicklung und Implementierung eines Modells zum **Hüllrohrkriechen** bei radial orientierten Zirkoniumhydriden, und von mechanischen Modellen zur Bestimmung des temperaturabhängigen **Hüllrohrinnendrucks** und der **Umfangsspannung** des Hüllrohrs in der Langzeitphase;
- Entwicklung und Implementierung eines Modells zur **Bestimmung der Sprödbruch-Übergangstemperatur (DBTT) bei Hydridreorientierung**, sowie Vergleich der Ergebnisse mit geeigneten experimentellen Daten zum Riss- und Bruchverhalten der Brennstabhüllrohre.

Arbeitspakete BREZL

AP1: Temperaturfeldberechnung

- 1.1 Bestimmung der Nachzerfallsleistung (Q4 2018)
- 1.2 Temperaturfeldberechnung im Behälterinnenraum (Q3 2019)

AP2: Brennstabverhalten

- 2.1 Zirkoniumhydride und Wasserstoff-Festkörperlöslichkeit (Q1 2018)
- 2.2 Gestalt der Hydridausscheidung, Hydridreorientierung (Q3 2019)
- 2.3 Hüllrohrkriechen bei radial orientierten Hydriden (Q3 2019)
- 2.4 Sprödbruch-Übergangstemperatur (Q1 2020)

AP3: Erstellung von Datenbanken und Schnittstellen

- 3.1 Erstellung und Pflege einer Datenbasis
- 3.2 Schnittstellen zwischen Berechnungsprogrammen

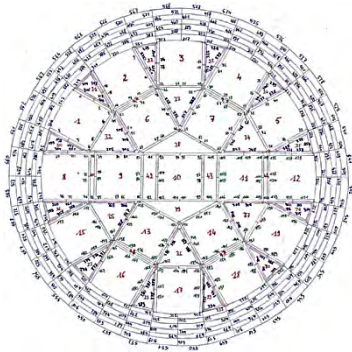
AP4: Verfolgung aktueller Forschungsarbeiten

AP5: Projektmanagement und Controlling

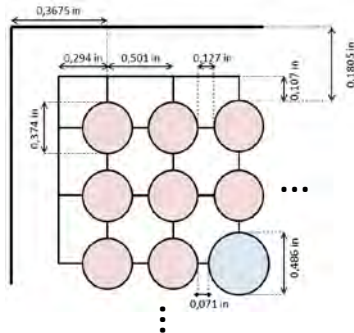
AP1: Temperaturfelder



Quelle: GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH



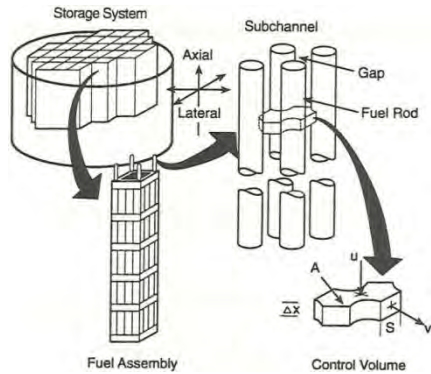
Quelle: nuclear-power.net



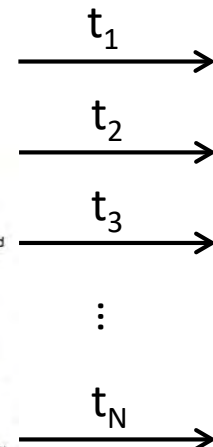
Berechnung Nachzerfallsleistung
(SCALE, Motive, Kenorest)

COBRA-SFS

Thermal-hydraulic analysis code for spent fuel storage and transportation casks

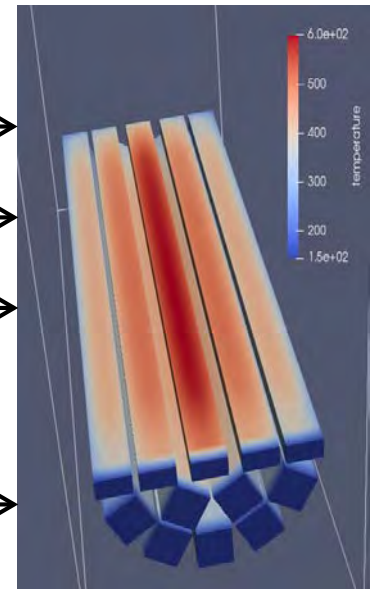


Credit: T.Michener et al., PNNL-24841

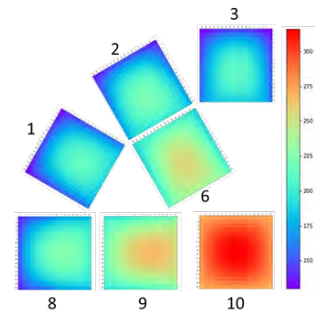


ParaView

Zeitlich aufgelöste 3D-Bilder



Hüllrohrtemperaturen
163 cm vom unteren Ende.



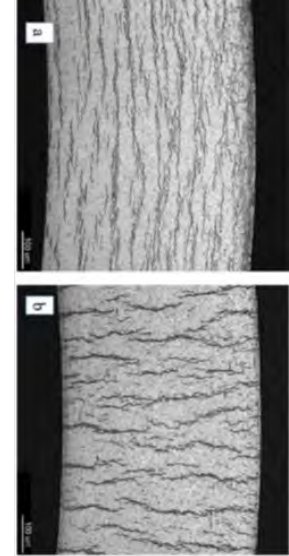
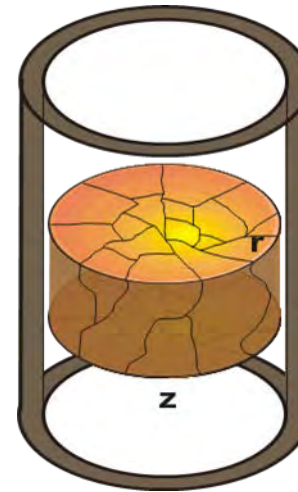
AP2: Brennstabverhalten

TESPA-ROD:

Temperature, Strain and Pressure Analysis of a fuel ROD

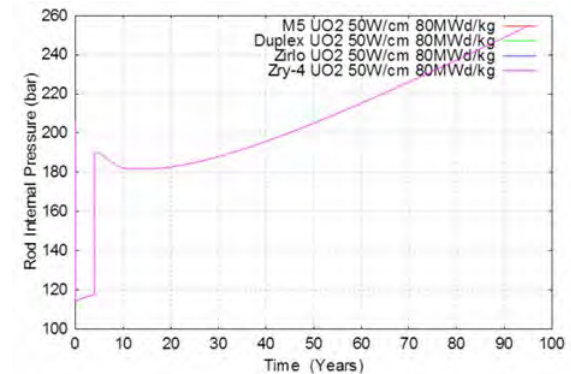
Eingabegrößen:

- Brennstoff:
Typ, Dichte, Abbrand, Pu-Gehalt, Gd-Gehalt, optionale Nachzerfallswärme (DIN 25463) oder Leistungsentwicklung, axiale Leistungsverteilung
- Hüllrohr:
Material, Korrosion (ZrO_2 , H Gehalt), Kühlmitteltemperatur, -Druck, internes Hüllrohr-Kühlmittel Wärmeleitungsmodell oder optionale HTC-Koeffizienten



Simulation:

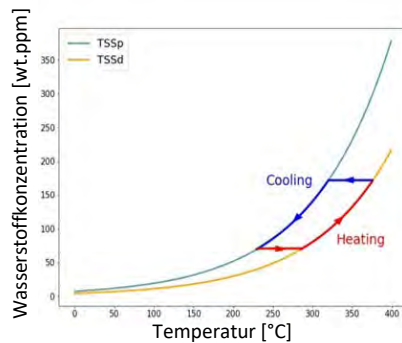
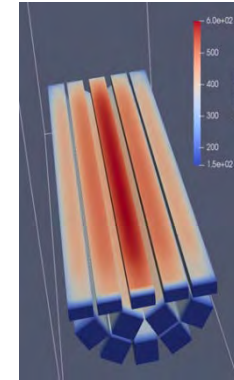
- 1.5-D , Einzelstab
- radial, transiente Temperaturverteilung, Brennstoffschwellen,
- umläufige Stress- und Belastungsverteilung
- axial, Hydriddiffusion
- Spaltgasfreisetzung, Innendruck
- Nil-ductility, Ballooning und Bruch



AP3: Datenbanken und Schnittstellen

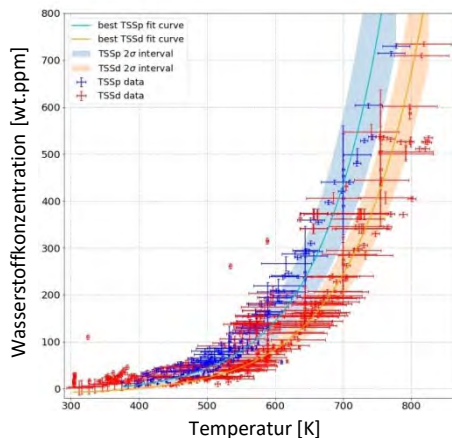
Aufbau einer konsistenten Rechenkette für eine gegebene Behälterladung:

- Abbranddaten in HDF5-Format
- Kopplung von Temperaturberechnungen aus AP1 und mechanischer Modellierung aus AP2
- 3-dim Visualisierung der Endergebnisse in ParaView



Integrität bestrahlter Zr-basierter Brennstabhüllrohre abhängig von **Hydrid-Ausfällung**, die wiederum eng mit der **Löslichkeit von Wasserstoff** verbunden.

Wasserstoff, der in Zr-Legierungen eingeführt wird, führt zu einer **freien Wasserstoffspezies**. Diese können **Zr-Hydride** bilden, die während des **Trocknens / Lagerns** erneut orientiert werden könnten.



→ TSSd-TSSp Datenbank:

- 48 Experimentserien von 1960 bis 2015
- bestrahlte und nicht-bestrahlte Proben,
- verschiedene Zr-Materialien,
- verschiedene Messtechniken,
- mehr als 650 experimentelle TSS-Datenpunkte.

Zusammenfassung und Ausblick

- Bearbeitungsstand des Projektes nach Plan
 - Vorstellung und Diskussion bisheriger Ergebnisse auf Konferenzen, Tagungen, etc.
 - Weiter- und Neuentwicklung von Rechenmodellen
 - Erarbeitung einer Vergleichsrechnung zum mechanischen Hüllrohrverhalten mit dem TÜV-Nord ENSYS
- Einige wichtige neue Fragen, besonders zum Wasserstoff- / Hydridverhalten

Im Rahmen des Projektes:

- Promotion in Kooperation mit der TUM
- Abschlussarbeit in Kooperation mit CEA / ENSTA-Paris Tech ✓
- Praktikant ✓

Veröffentlichungen:

- *“Safety of long-term dry storage in Germany - Challenges and Perspectives”*; F. Boldt, K.Hummelsheim, M. Péridis, F. Rowold, M.Stuke; Proc.EUROSAFE2017
- *“TESPA-ROD code prediction of the fuel rod behaviour during long-term storage”*; H.-G.Sonnenburg, Proc.AMNT2018

Eingereichte Artikel:

- *“Influence of kinetic effects on terminal solid solubility of hydrogen in zirconium alloys”*; P.Kaufholz, M.Stuke, F.Boldt, M.Péridis , J.Nuc.Mat.; arXiv:1805.00529
- *“GRS Research on Safety of Extended Dry Storage of Spent Nuclear Fuel”*; M.Stuke, F.Rowold, K.Hummelsheim, H.-G.Sonnenburg, F.Boldt, M.Péridis, P.Kaufholz; Kerntechnik
- *“Open questions on the road to reliable predictions on Safety of Extended Dry Storage of Spent Nuclear Fuel”*; M.Stuke, F.Rowold, K.Hummelsheim, M.Péridis, P.Kaufholz; Kerntechnik
- *“Detailed temperature fields in loaded dry storage casks”*; M.Péridis, R.Kilger, M.Sonnenkalb, J.Stewering, M.Stuke; Proc.NuMat2018
- *“Statistical analysis of experimental data on terminal solid solubility of hydrogen in Zr-Alloys”*; F.Boldt, B.Grimaldi, P.Kaufholz, M.Péridis, M.Stuke; Proc.NuMat2018

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

RS1552 -BREZL

Dr. Maik Stuke, GRS
maik.stuke@grs.de

20.06.2018

LANGZEITVERHALTEN VON SICHERHEITSRELEVANTEN KOMPONENTEN VON TRANSPORT- UND LAGERBEHÄLTERN FÜR RADIOAKTIVE STOFFE

T. Grelle, A. Kömmling, J. Horn, D. Wolff, M. Jaunich, H. Völzke (alle BAM)
E. Subramani, S. Wießner (alle TU Dresden)

13. BMWi Projektstatusgespräch Entsorgung radioaktiver Abfälle
Karlsruhe, 20.-21.06.2018

Einordnung der Projekte **LaMEP** und **StrukElast** in das Förderkonzept des BMWi

Förderkonzept: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle
– Förderkonzept des BMWi (2015-2018)

FuE Bereich 1: Auswirkung verlängerter Zwischenlagerzeiten
auf Abfälle und Behälter

Projektträger: Projektträger Karlsruhe Wassertechnologie und Entsorgung
(PTKA-WTE)
für den FuE Bereich 1 liegt die Federführung bei der
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH
(PT GRS)

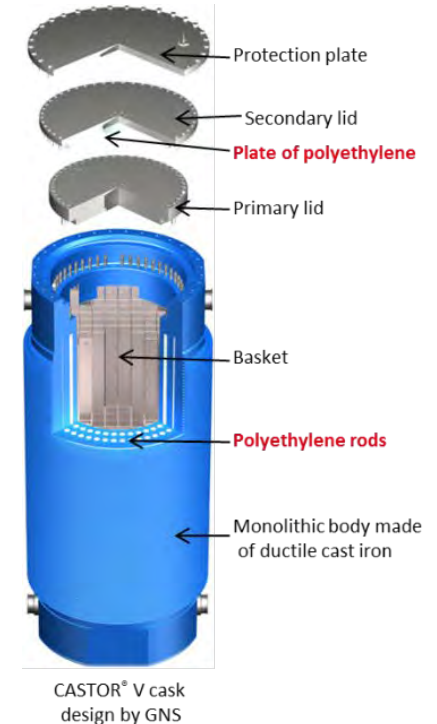
Überblick Projektdaten

LaMEP und StrukElast

Projektbeginn:	01.10.2015
Projektdauer:	initial 3 Jahre, jedoch kostenneutral verlängert bis 30.04.2019
Berichtsintervall:	6 Monate
Förderkennzeichen:	1501509 (LaMEP) 1501510 (StrukElast)
Struktur:	Kooperation außerhalb eines geförderten Verbundes durch Kooperationsvertrag zwischen TUD und BAM

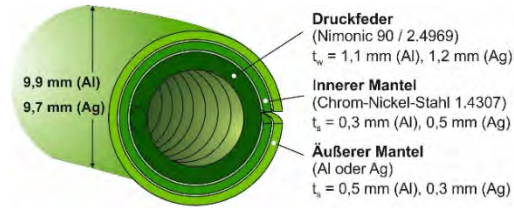
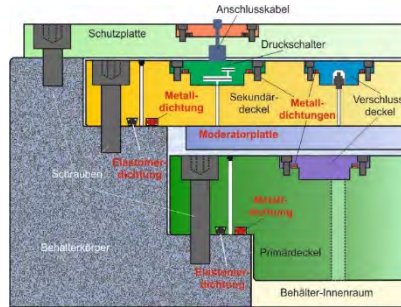
Untersuchung der Auswirkungen einer verlängerten Zwischenlagerung für sicherheitsrelevante Behälterkomponenten und Beschreibung des Alterungsverhaltens sowie dessen sicherheitstechnische Bedeutung

- Bedeutung der Einflussparameter
- Herleitung/Validierung von Alterungsmodellen
- Abschätzung der sicherheitstechnischen Relevanz



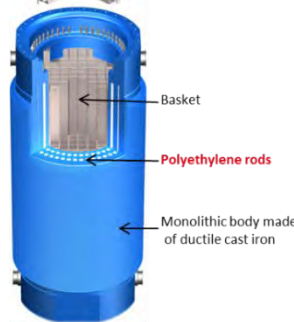
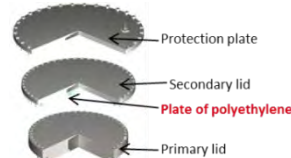
Sicherheitsrelevante Behälterkomponenten

Untersuchungsschwerpunkte (1/2)

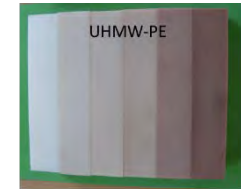


Metalldichtungen (Primärdichtungen)

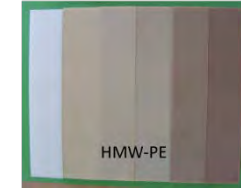
- Langzeituntersuchungen zu verbleibender Rückstellkraft, nutzbarer Rückstellung, Leckagerate
- Werkstoffuntersuchungen
- Beschreibung des zeit- und temperaturabhängigen Dichtungsverhaltens



CASTOR® V cask
design by GNS



0 50 100 200 400 600 kGy

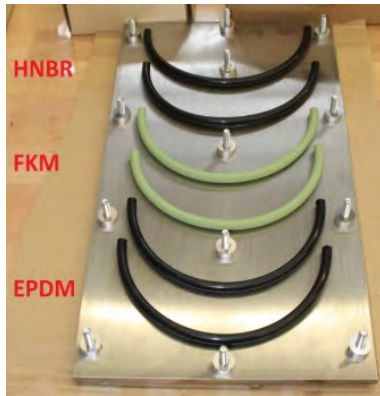


Polyethylen (Neutronen-Abschirmung)

- Radiologische Probenalterung
- Thermische Probenalterung
- Ermittlung des Alterungseinflusses auf das Werkstoffverhalten
- Apparatur zur Bestimmung des thermischen Ausdehnungsverhaltens an bauteilähnlichen Komponenten

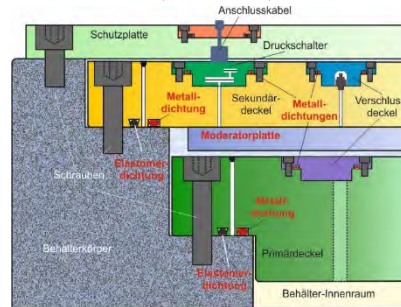
Sicherheitsrelevante Behälterkomponenten

Untersuchungsschwerpunkte (2/2)



Elastomerdichtungen (BAM)

- Probenalterung, auch an Modellsystemen
- Beschreibung von zeit- und temperaturabhängiger Eigenschaftsänderung
- Erstellung von Modellen zur Beschreibung des Alterungsverhaltens



Elastomer-dichtung

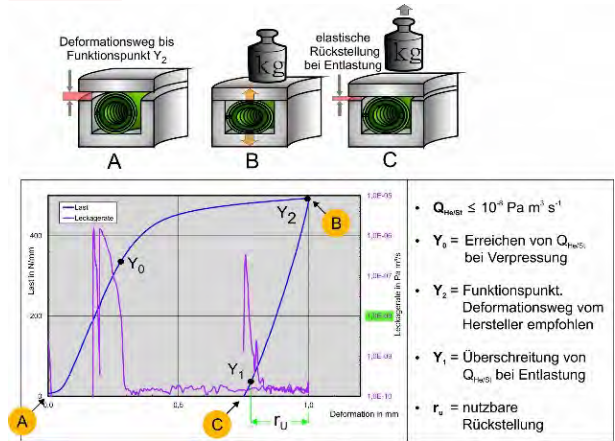
Behälter für schwach und mittel aktive Abfälle
Quelle: www.gns.de; zugegriffen am 01.03.2017



Elastomerdichtungen (TUD)

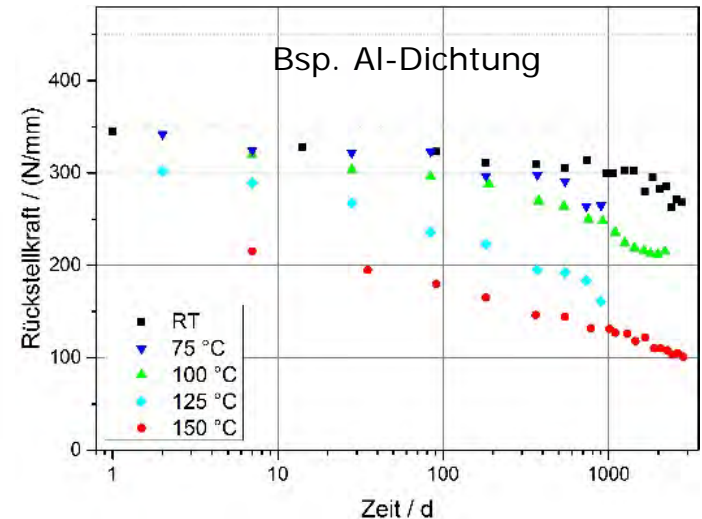
- Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen
- Auswirkung von Rezepturparametern
- Änderung von Strukturparametern durch Alterung

LaMEP: Anwendungsnahe Langzeituntersuchungen an Metaldichtungen

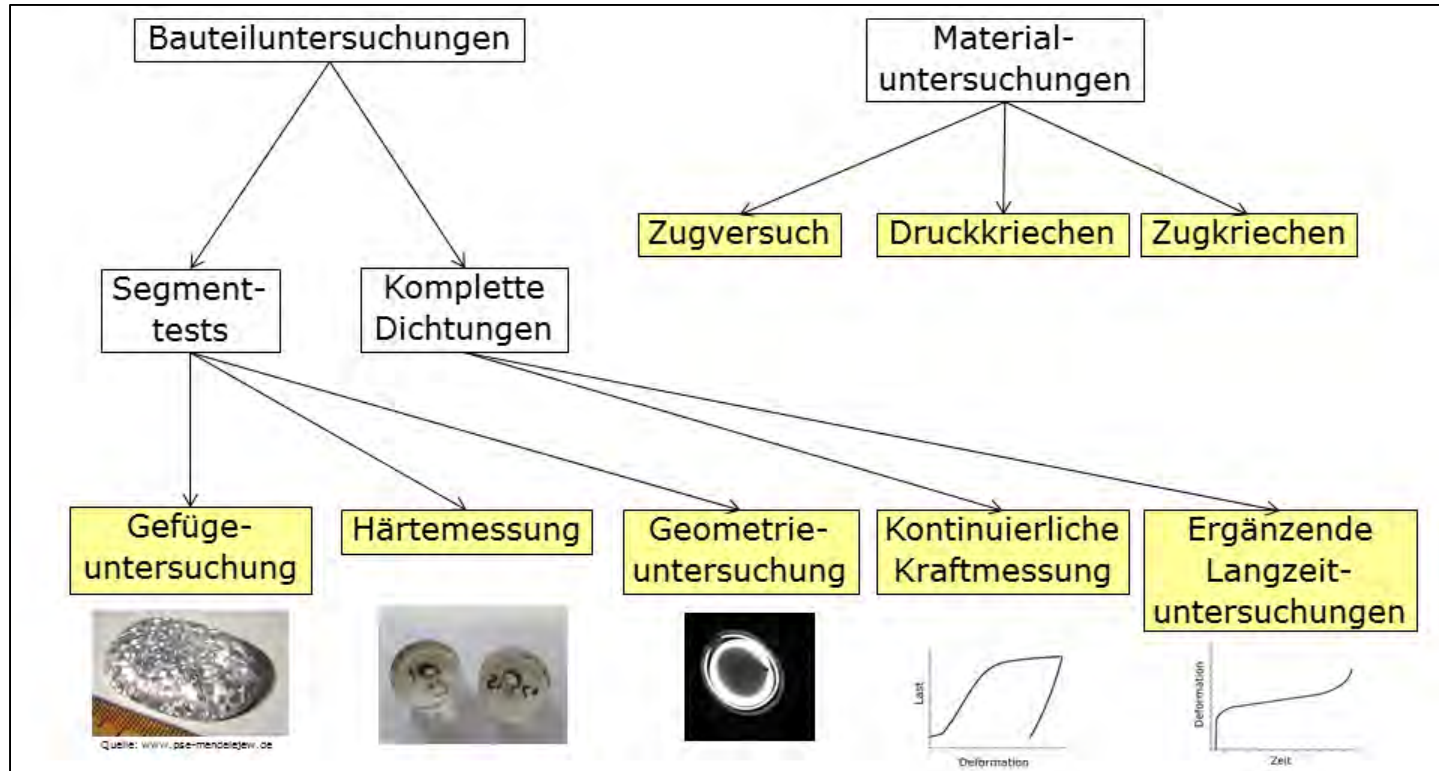


- Temperaturabhängige Alterung von Federkern-Metaldichtungen mit äußerer Aluminium- und Silberummantelung
- Regelmäßige Messung von verbleibender Rückstellkraft, nutzbarer Rückstellung und Leckagerate

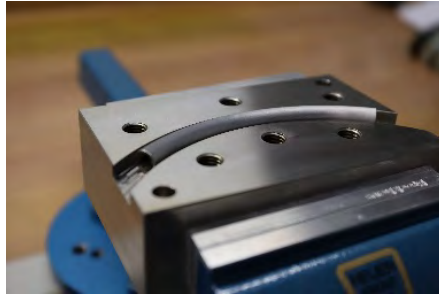
Zeit- und temperaturabhängige Verringerung von Rückstellkraft und nutzbarer Rückstellung
Wesentlicher Grund: Verringerung der Dicke des äußeren Mantels durch Kriechdeformation



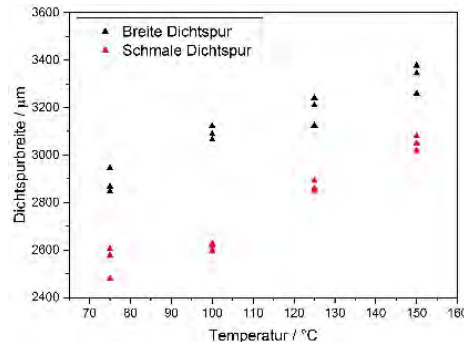
LaMEP: Bauteil- und Material- untersuchungen an Metaldichtungen



LaMEP: Segmentuntersuchungen an Metaldichtungen



Segmentflansch mit Dichtungsabschnitt [1]



Dichtspurbreite nach Alterung von 30 Tagen [1]

- Alterung von Dichtungssegmenten (Aluminium) bei Temperaturen von 23 °C, 75 °C, 100 °C, 125 °C, 150 °C über 3 Tage bis 300 Tage
- Gefüge-, Härte- und Geometrieuntersuchungen

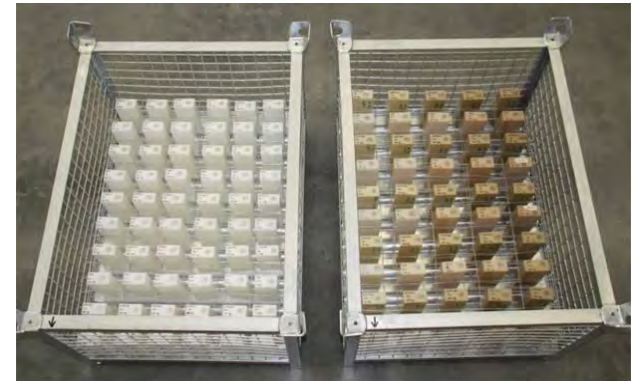
- Mikroskopische Untersuchung der Geometrieänderungen (z.B. Dichtspurbreite)
→ Dichtspur wird breiter bei höheren Temperaturen
→ Ausgeprägter Breitenunterschied auf unterschiedlichen Dichtungsseiten

[1]: T. Grelle et al., Investigation of the time and temperature dependent behavior of metal seals in radioactive waste containers, accepted for the Proceedings of the ASME 2018 Pressure Vessels and Piping Conference 2018

- ❑ Gammabestrahlung mit ^{60}Co -Quelle (Synergy Health GmbH, Radeberg)
 - an Luft
 - Dosen von 50 kGy bis zu 600 kGy

- ❑ Thermische Alterung bei 125 °C für eine Dauer von 30 Tagen bis zu 5 Jahren

- ❑ Belastung der Proben:
 - Variante I: 1. Bestrahlung → 2. thermische Alterung
 - Variante II: 1. thermische Alterung → 2. Bestrahlung
 - Variante III: Bestrahlung bei erhöhten Temperaturen



LaMEP: Apparatur zur Messung der thermischen Ausdehnung von Polyethylen im Bauteilmaßstab

- Parallele Messung der thermischen Ausdehnung in XYZ-Richtung
- Würfelförmige Proben (60, 80 und 100 mm Kantenlänge)
- Ausdehnung wird mit Hilfe von Wegrastern bestimmt

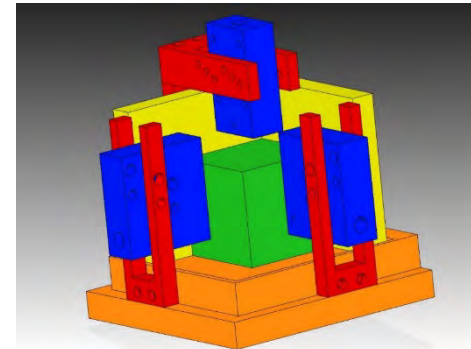
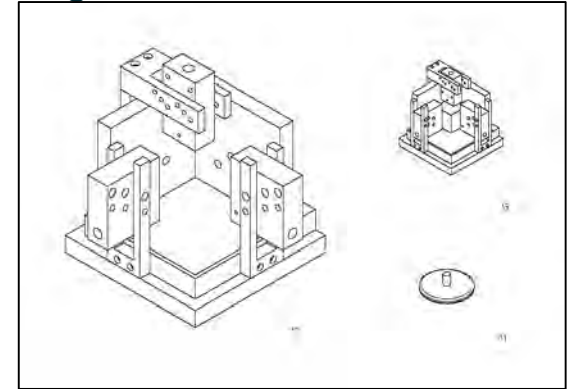
Vorteile:

- Temperaturstabilität
- hohe Lebensdauer
- kompakte Bauform

- Vergleich mit Ergebnissen aus der Thermisch-Mechanischen Analyse (TMA) (Probenwürfel mit 4 mm Kantenlänge)

Vorteile:

- Messung im Bauteilmaßstab
- gleichzeitige Messung in drei Raumrichtungen

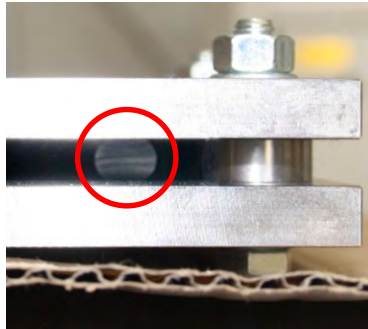


LaMEP: Alterungsansatz für die Elastomerdichtungen

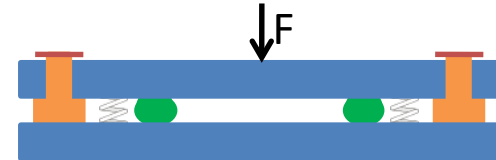
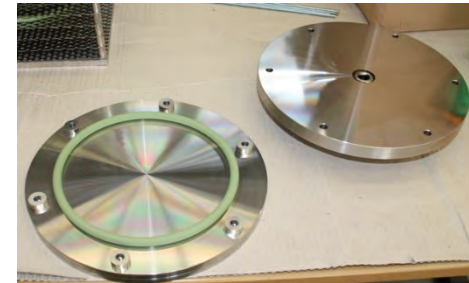
Unverpresst auf Lochblechregalen



Verpresst um 25% zwischen Platten



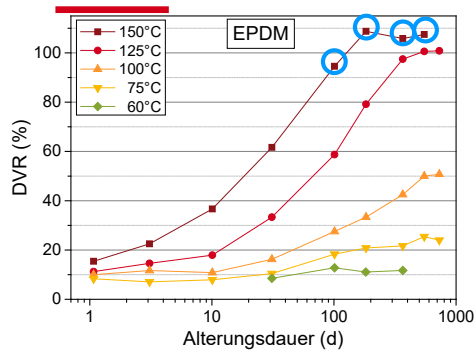
Verpresst um 25% in Flanschen für Leckageratenmessungen



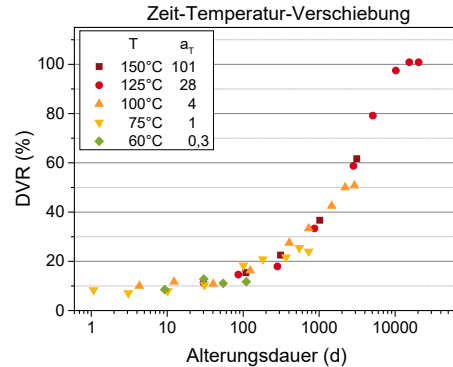
Ziele/Fragen:

- Wie ändern sich Eigenschaften/Materialverhalten während der Alterung?
- Welche Degradationsmechanismen sind dafür verantwortlich?
- Was ist ein geeignetes Lebensdauerkriterium und wie kann es bestimmt werden (partielle Entlastung)?
- Wie kann die Lebensdauer mit ausreichender Genauigkeit extrapoliert werden?

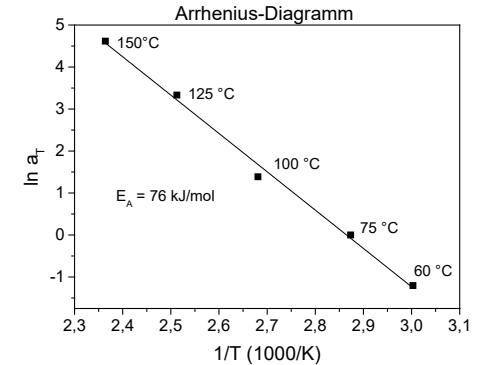
LaMEP: Lebensdauer vorhersage von EPDM aus Druckverformungsrest-Daten



Druckverformungsrest-Daten
blaue Kreise
Proben mit inhomogener Alterung



Zeit-Temperatur-Verschiebung (ZTV)
zu Masterkurve für 75°C



Arrhenius-Diagramm der
Verschiebefaktoren ($\ln a_T$) vs. $1/T$

Beispiel:

- Laut ZTV wird ein **Druckverformungsrest (DVR) von ca. 80%** (bei eine EPDM-Dichtung auch im dynamischen Test noch dicht war) **bei 60°C nach etwa 50 Jahren** erreicht (Fehler von bis zu $\pm 20\%$ sind zu berücksichtigen)

Vergleichbare Lebensdauerkriterien müssen für andere Materialien bestimmt werden

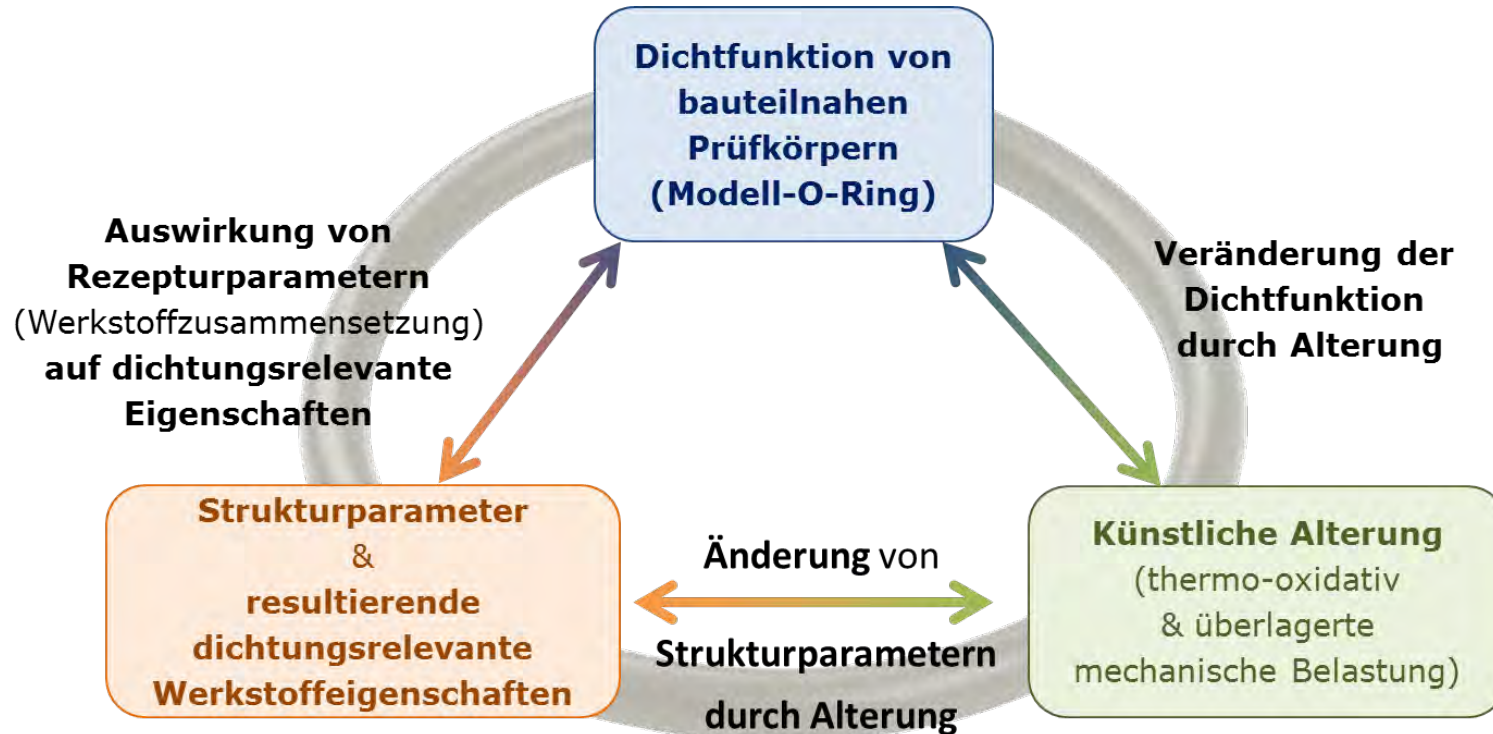
- Lebensdauer von HNBR für ein beispielhaftes Kriterium von 80% DVR: etwa 4 Jahre bei 60°C
- Lebensdauer von FKM für den höchsten bisher erreichten DVR (65%): etwa 80 Jahre bei 60°C



Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen von Elastomerdichtungswerkstoffen als sicherheitsrelevante Komponenten von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe

- Auswirkung von Rezepturparametern der Elastomersysteme auf dichtungsrelevante Werkstoffeigenschaften
- Herstellung von Modellelastomersystemen
- Herleitung von Strukturparametern aus Rezepturparametern
- Änderung von Strukturparametern durch Alterung
- Herleitung von Modellen zur Beschreibung von Struktur-Eigenschafts-Funktionsbeziehungen

Das Vorhaben StrukElast Strategie und Interaktion mit LaMEP

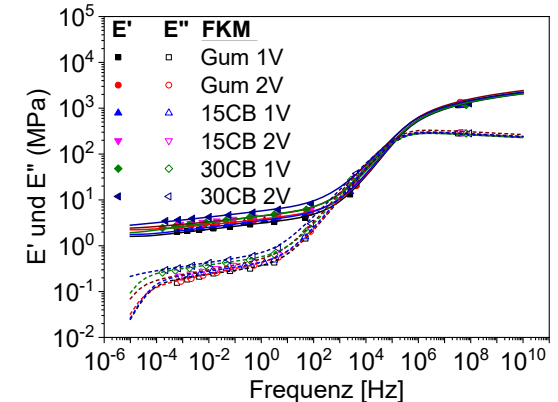
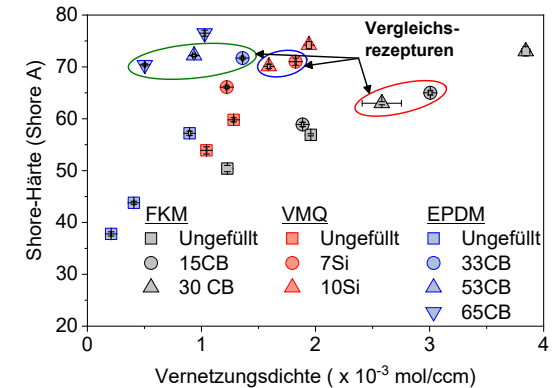


Elastomer-Werkstoffvariation & resultierende mechan.-strukt. Eigenschaften



Herstellung definierter Modell-Elastomerwerkstoffe mit gleicher Zielhärte unter Variation wesentlicher Rezepturparameter (Polymerart, Verstärkungsfüllstoffgehalt, Vernetzungsmitteltyp und -menge)

- Mechanisch-physikalische Basis-Charakterisierung
- Spannungsrelaxation und dynamisch-mechanische Analyse sowie Masterkurvenbildung
- Charakterisierung der Netzwerkdichte als wesentlicher Strukturparameter
- Korrelation zwischen Relaxationsverhaltens und Masterkurven mit geeigneten Modellen

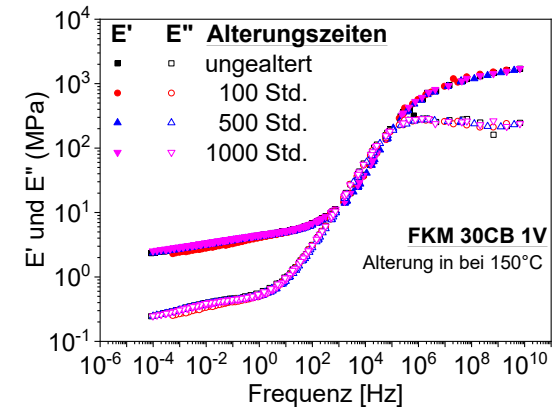
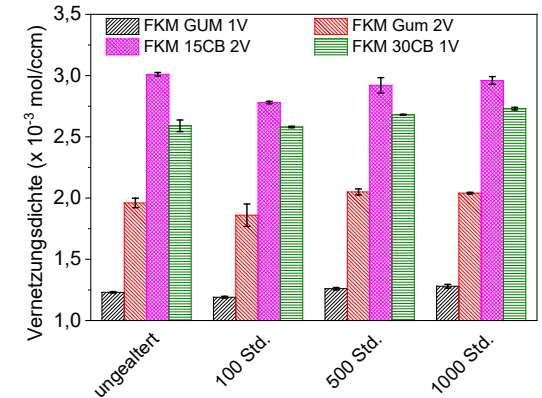


Alterungseinfluss auf dichtungsrelevante Werkstoffeigenschaften



Definierte beschleunigte Alterung (150°C)

- Mechanisch-physikalische Basischarakterisierung
 - Spannungsrelaxation und dynamisch-mechanische Analyse/Masterkurvenbildung
 - Charakterisierung der Netzwerkdichte als wesentlicher Strukturparameter
 - Korrelation zwischen Relaxationsverhaltens und Masterkurven mit geeigneten Modellen
- Alterungsinduzierte Veränderung **struktureller und dichtungsrelevanter mechanischer Werkstoffeigenschaften**
- Abhängig vom Polymertyp **starke** Unterschiede nach Alterung, **die sich in** Spannungsrelaxation, Polymerkettendynamik **und** Netzwerkdichte manifestieren



Metалldichtungen

- Dichtungsversuche mit unterschiedlichen Dichtungstypen (Al, Ag, versch. Torusdurchmesser) laufend
- Segmentversuche bis 100 Tage abgeschlossen, bis 300 Tage laufend
- Kriechversuche an Ummantelungswerkstoffen laufend

Polyethylen

- Thermische Alterung bis 3 Jahre bei 125 °C
- Bestrahlung thermisch gealterter Proben

Elastomerdichtungen

- Alterung bis 3 Jahre bei vier Temperaturen
- Modellelastomere erzeugt
- Dichtungen für Bauteilversuche hergestellt
- Untersuchungen an VMQ-Dichtungen (Silikon) laufend

Ausstehende Arbeiten

- Vervollständigung einer experimentellen Vorrichtung zur kontinuierlichen Kraftmessung
- Rechnerische Ansätze zur Prognose des Langzeitverhaltens
- Bestrahlung bei erhöhten Temperaturen
- Bestimmung des thermischen Ausdehnungsverhaltens im Bauteilmaßstab
- Rechnerische Ansätze zur Prognose des Langzeitverhaltens
- Korrelation verschiedener Werkstoffeigenschaften

Publikationen im Rahmen der Projekte (Auswahl)

- A. Kömmling, M. Jaunich, D. Wolff, Effects of heterogeneous aging in compressed HNBR and EPDM O-ring seals, Polym. Degrad. Stab., 126 (2016) 39-46.
- A. Kömmling, M. Jaunich, D. Wolff, Revealing effects of chain scission during ageing of EPDM rubber using relaxation and recovery experiment, Polymer Testing 56 (2016) p. 261-268.
- E. Subramani Bhagavatheswaran, S. Wießner, Matthias Jaunich, Dietmar Wolff, Aging study and electrical resistance based stress-monitoring of rubber seals, 192nd Technical meeting of the ACS Rubber Division 2017, Cleveland, OH, USA
- T. Grelle, D. Wolff, U. Probst, M. Jaunich, H. Völzke, Material investigation and long-term sealing behavior of Helicoflex® metal seals used in containers for spent nuclear fuel, Waste Management Symposia 2017, Phoenix, Az, USA
- T. Grelle, D. Wolff, U. Probst, M. Jaunich, H. Völzke, Investigation programme for evaluation and prediction of the long-term behaviour of Helicoflex® metal seals, 48th Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT 2017), Berlin, Germany
- A. Kömmling, M. Jaunich, P. Pourmand, D. Wolff, U.W. Gedde, Influence of Ageing on Sealability of Elastomeric O-Rings, Macromol. Symp., 373 (2017).
- M. Jaunich, A. Kömmling, D. Wolff, Investigations of elastomeric seals – Low temperature performance and aging behavior, in: W. Grellmann, B. Langer (Eds.) Deformation and Fracture Behaviour of Polymer Materials, Springer Verlag, 2017, pp. 431-443.
- A. Kömmling, E. Chatzigianakis, J. Beckmann, V. Wachtendorf, K. von der Ehe, U. Braun, M. Jaunich, U. Schade, D. Wolff, Discoloration Effects of High-Dose gamma-Irradiation and Long-Term Thermal Aging of (U) HMW-PE, Int. J. Polym. Sci. (2017).
- A. Kömmling, K. von der Ehe, D. Wolff, M. Jaunich, Effect of high-dose gamma irradiation on (U)HMWPE neutron shielding materials, Radiat. Phys. Chem., 142 (2018) 29-33.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die dieser Präsentation zugrunde liegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter den Förderkennzeichen 1501509 und 1501510 gefördert.

FuE Projekt CHRISTA-II: Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein HAW-Endlager in Kristallingestein in Deutschland

Im Rahmen des Projektes CHRISTA-II wird ein Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein Endlager für wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle in Kristallingestein in Deutschland entwickelt. In diesem Zusammenhang werden für Deutschland plausible standortunabhängige generische geologische Modelle unter Federführung des Projektpartners BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) entwickelt. Diese Modelle spiegeln die unterschiedlichen Typen eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) wieder, die im Rahmen der Voruntersuchung im Projekt CHRISTA als erfolgsversprechend identifiziert wurden.

Es lassen sich zwei ewG-Typen unterscheiden:

- Typ "**multipler ewG**": Hierbei werden mehrere kleinere ewG ausgewiesen, die in gering geklüfteten Gesteinsblöcken positioniert werden (Abb. 1 links).
- Typ "**überlagernder ewG**": Hierbei wird die Einschlussfunktion durch überlagernde Sedimentgesteine mit geringer hydraulischer Durchlässigkeit (z.B. Salze, Tone) und dem Schacht- oder Rampenverschluss gewährleistet (Abb. 1 rechts).

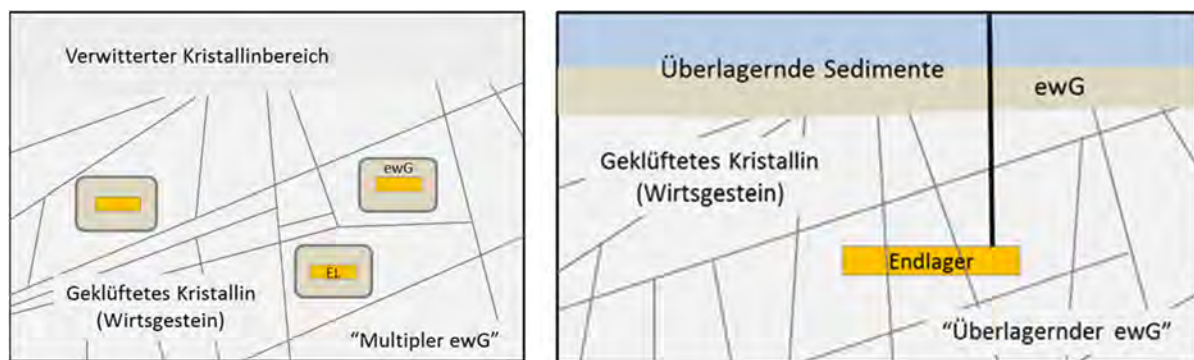


Abb. 1: Prinzipskizze für den ewG-Typ 'Multipler ewG' (links) und den Typ 'Überlagernder ewG' (rechts).

Darüber hinaus wäre noch ein drittes Konzept denkbar, dass keinerlei Kredit von der Einschlusswirksamkeit des Gebirge nimmt, sondern lediglich durch technische und geotechnische Barriere charakterisiert ist.

Darüber hinaus wird ein generischer FEP-Katalog für Kristallingesteine in Deutschland entwickelt, auf dessen Basis in einer späteren Phase sowohl ein Referenzszenarium als auch Alternativszenarien zur Endlagerentwicklung abgeleitet werden können. Kernelemente eines Nachweiskonzeptes sind die Nachweise zur Barrierenintegrität und die radiologische Analyse. Im Rahmen des Projektes erfolgt eine Konzeption und beispielhafte Durchführung von Integritätsanalysen sowohl für die geologische als auch die geotechnischen Barrieren sowie die Berechnung radiologischer Sicherheitsindikatoren für die zu betrachtenden ewG-Typen. Zum Nachweis der Integrität werden die in den Sicherheitsanforderungen qualitativ definierten Integritätskriterien soweit quantifiziert, dass ein rechnerischer Nachweis anhand konkreter Zahlenwerte erfolgen kann. Aus jetziger Sicht werden die Ergebnisse Mitte 2020 vorliegen.

Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Kristallingestein in Deutschland

CHRISTA-II

(01.09.2017 - 30.08.2020)

M. Jobmann, M. Beushausen, V. Burlaka, J. Flügge, B. Frenzel, A. Lommerzheim, J. Maßmann, S. Mrugalla, C. Müller, U. Noseck, A. Rübel, E. Simo, J. Sönneke, L. Stark, A. Weitkamp, J. Wolf

Projektförderung:



Projektbetreuung:



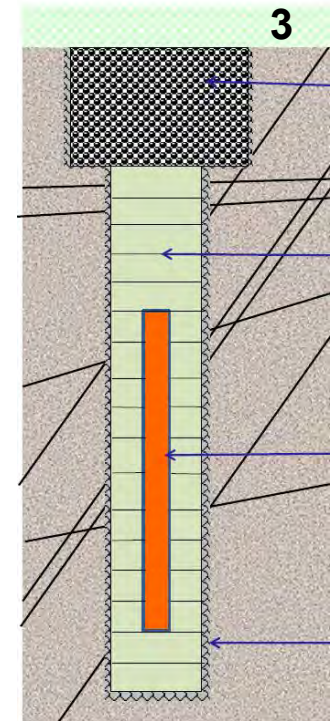
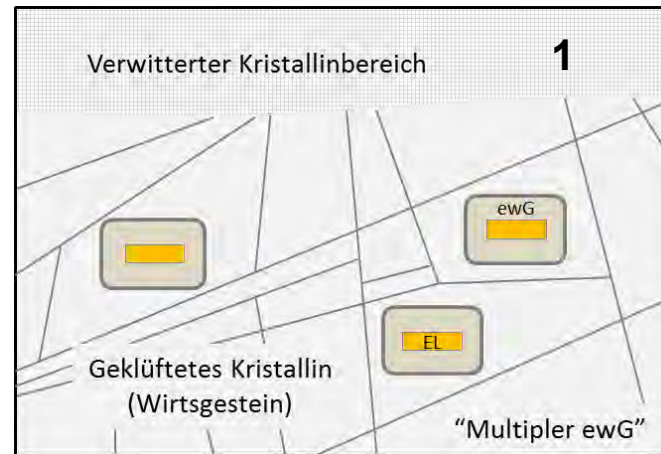
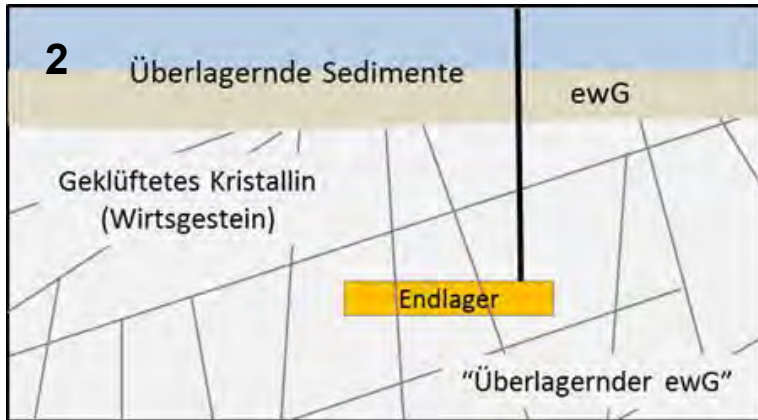
Durchführung:



Zielsetzung



1. Multipler ewG
2. überlagernder ewG
3. Mod. KBS-3 Konzept



Multipler ewG

§ 23 Mindestanforderungen (5) 2.

Der Gebirgsbereich, der den ewG aufnehmen soll, muss mindestens 100 Meter mächtig sein; bei Gesteinskörpern des Wirtsgesteins **Kristallin** mit geringerer Mächtigkeit kann der Nachweis ... auch über das Zusammenwirken des Wirtsgesteins mit geotechnischen und technischen Barrieren geführt werden; **eine Unterteilung in mehrere solcher Gebirgsbereiche innerhalb eines Endlagersystems ist zulässig.**

Überlagernder ewG

§ 23 Mindestanforderungen (5) 1.

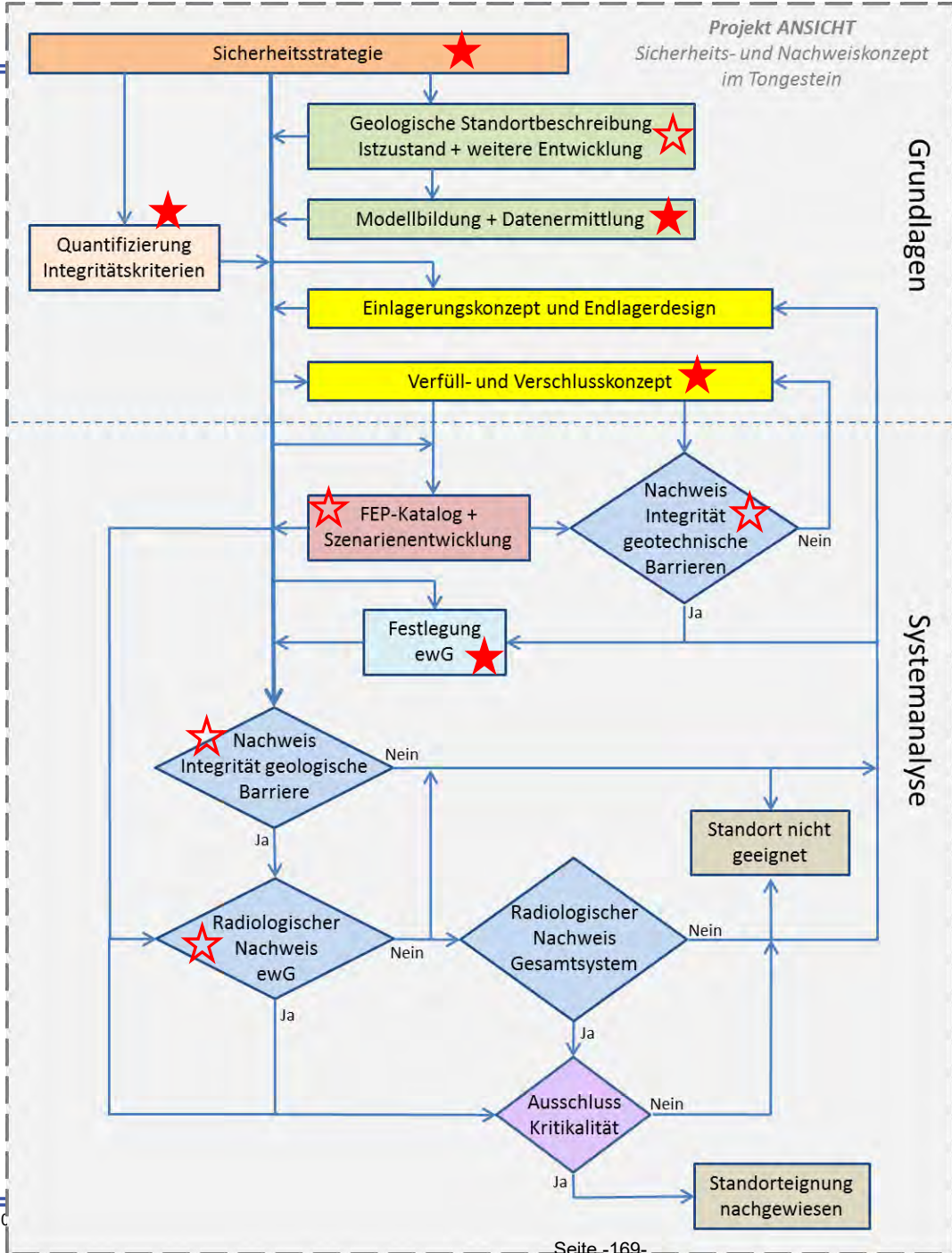
In einem ewG muss die Gebirgsdurchlässigkeit k_f weniger als 10^{-10} m/s betragen; ... **die Erfüllung des Kriteriums kann auch durch den Einlagerungsbereich überlagernde Schichten nachgewiesen werden;**

Modifiziertes KBS-3 Konzept

§ 23 Mindestanforderungen (1, 4)

... Für das Wirtsgestein Kristallingestein ist ... für den sicheren Einschluss ein alternatives Konzept zu einem ewG möglich, das deutlich höhere Anforderungen an die Langzeitintegrität des Behälters stellt.

Ist in einem Gebiet absehbar, dass kein ewG ausgewiesen werden kann, es sich aber für ein wesentlich auf technischen oder geotechnischen Barrieren beruhendes Endlagersystem eignet, muss ... **der Nachweis geführt werden, dass die technischen und geotechnischen Barrieren den sicheren Einschluss der Radionuklide für eine Million Jahre gewährleisten können.**



CHRISTA II

- ★ wird bearbeitet
- ★ wird teilweise bearbeitet

Sicherheits- und Nachweiskonzept im Kristallingestein

Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes sind die aktuellen Sicherheitsanforderungen und das StandAG, aus denen sich die **Sicherheitsstrategie** ableitet, die in diesem AP beschrieben wird.

In der Sicherheitsstrategie werden neben den Zielsetzungen auch

- **planerische Festlegungen** und
- **technische Maßnahmen**

in allgemeiner Form angesprochen, die dann in weiteren Konzeptmodulen im Detail entwickelt und beschrieben werden.

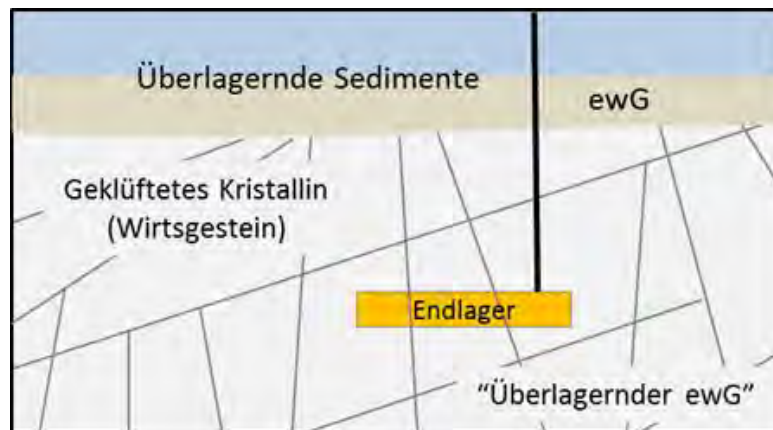
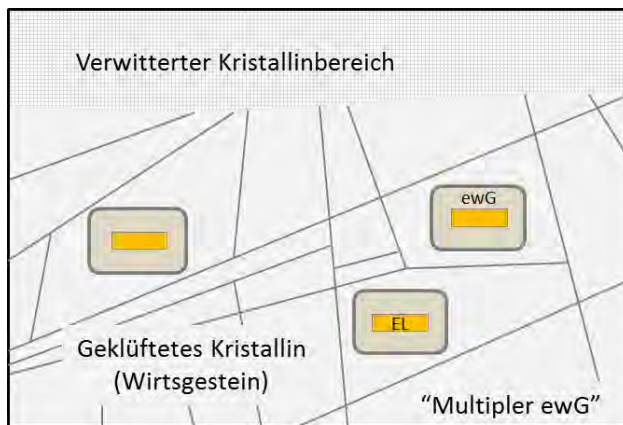
Stand: Bericht zur Sicherheitsstrategie ist im Entwurf erstellt

Geologie deutscher Kristallinkomplexe, Modelle und Datenbasis

Erstellung eines standortunabhängigen generischen **geologischen 3D-Modells** mit einer für Deutschland typischen und plausiblen geologischen Situation, innerhalb derer sich

- a) ein „**multipler ewG**“ ausweisen ließe sowie
- b) ein „**überlagernder ewG**“ ausweisen ließe

Datenermittlung zur Erstellung plausibler **Referenzdatensätze** für die verschiedenen Modelle



Erstellung generischer FEP-Kataloge

Die generischen **FEP-Kataloge** werden einen ersten Überblick über diejenigen Prozesse geben, die im Rahmen eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes im Kristallin mit den verschiedenen ewG-Typen in Deutschland zu betrachten sind.

Zusammenarbeit mit den tschechischen Kollegen von SURAO

- SURAO ist auch an der Erstellung eines FEP-Kataloges für Kristallin interessiert
- Die Kristallingesteine in Tschechien haben eine vergleichbare Entwicklungsgeschichte mit vielen Standorten in Deutschland.

Gemeinsamer FEP-Workshop Prag (29.05.2018)

Vereinbarung: FEP-Benchmark am Beispiel „Wirtsgestein“

Konzeption und beispielhafte Durchführung von Integritätsanalysen

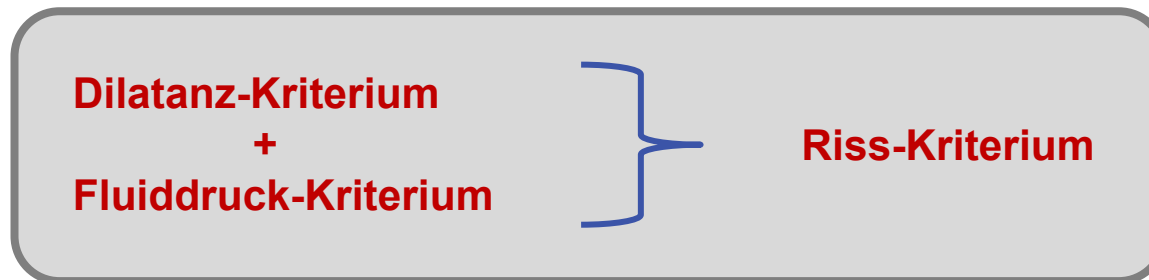
4.1 *Ableitung quantitativer Integritätskriterien*

Zum Nachweis der Integrität der geologischen Barriere bzw. des ewG ist es zunächst erforderlich, die in den Sicherheitsanforderungen **qualitativ** definierten Integritätskriterien soweit zu konkretisieren bzw. zu **quantifizieren**, dass ein rechnerischer Nachweis anhand konkreter Zahlenwerte im Rahmen des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes erfolgen kann.

== Kriterien (SA § 7.2.1) ==

Die zu erwartenden Beanspruchungen dürfen die Dilatanzfestigkeiten der Gesteinsformationen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs außerhalb der Auflockerungszonen nicht überschreiten (**Dilatanz-Kriterium**)

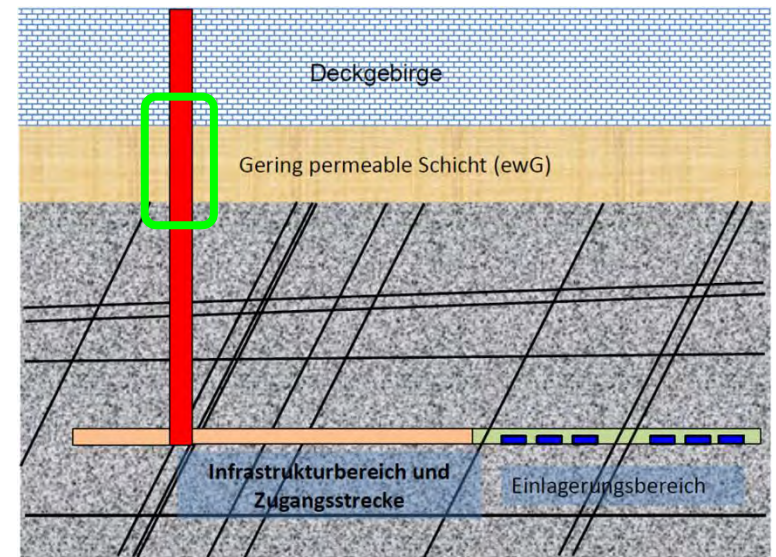
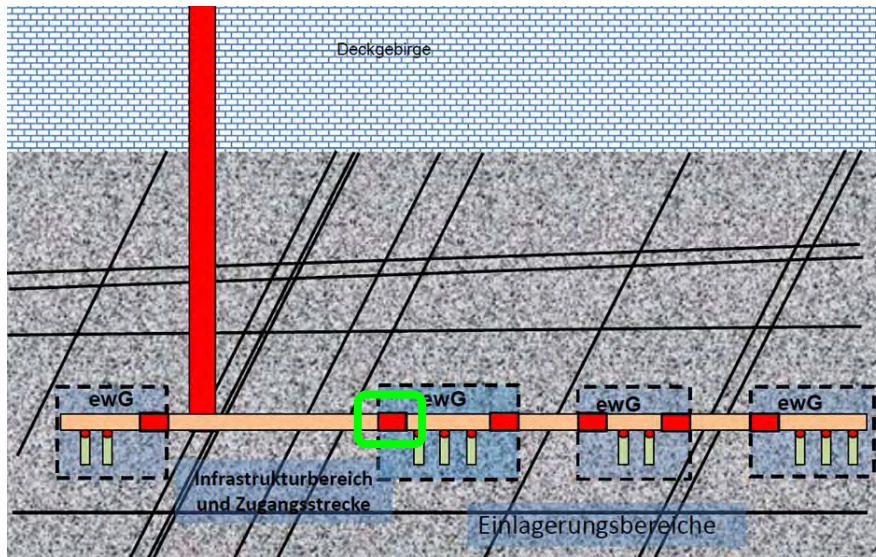
Die zu erwartenden Fluiddrücke dürfen die Fluiddruckbelastbarkeiten der Gesteinsformationen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht in einer Weise überschreiten, die zu einem erhöhten Zutritt von Grundwässern in diesen einschlusswirksamen Gebirgsbereich führt. (**Fluiddruck-Kriterium**)

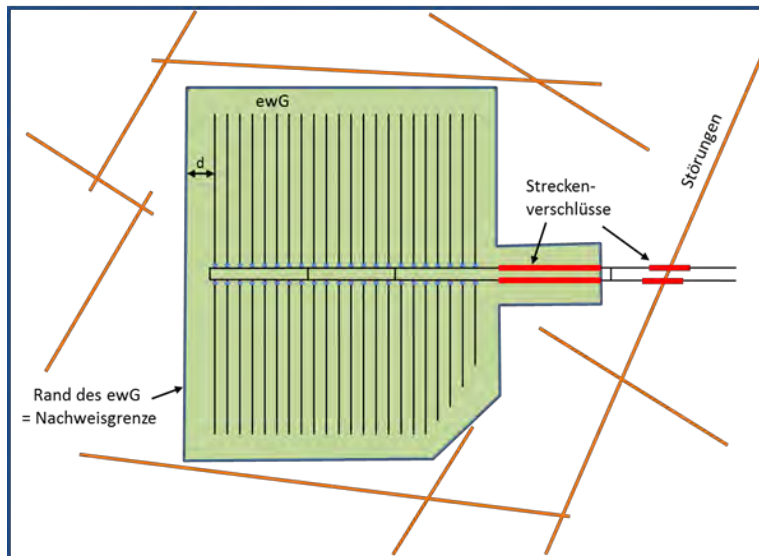
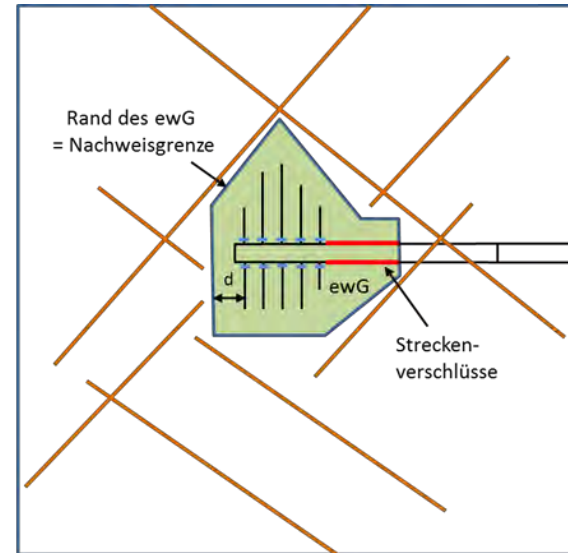
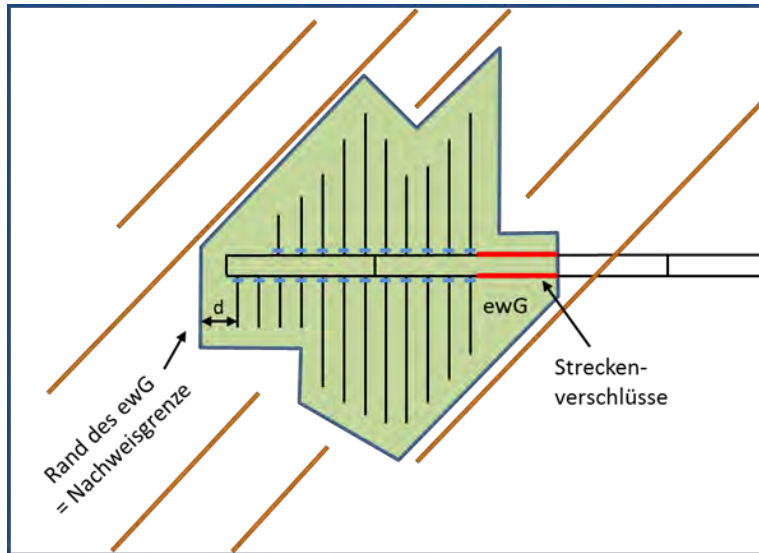


Konzeption und beispielhafte Durchführung von Integritätsanalysen

4.2 Beispielhafte Integritätsanalysen zum Typ

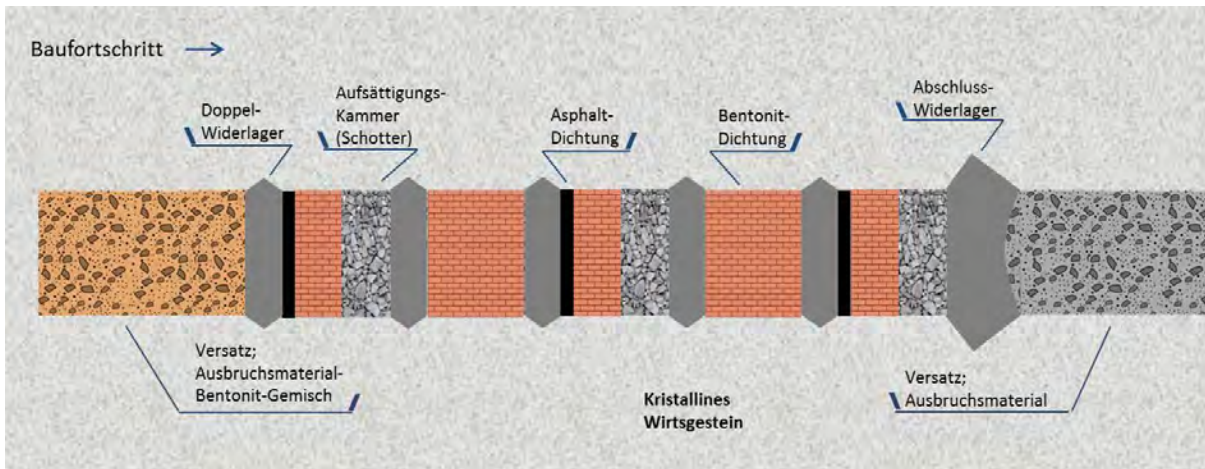
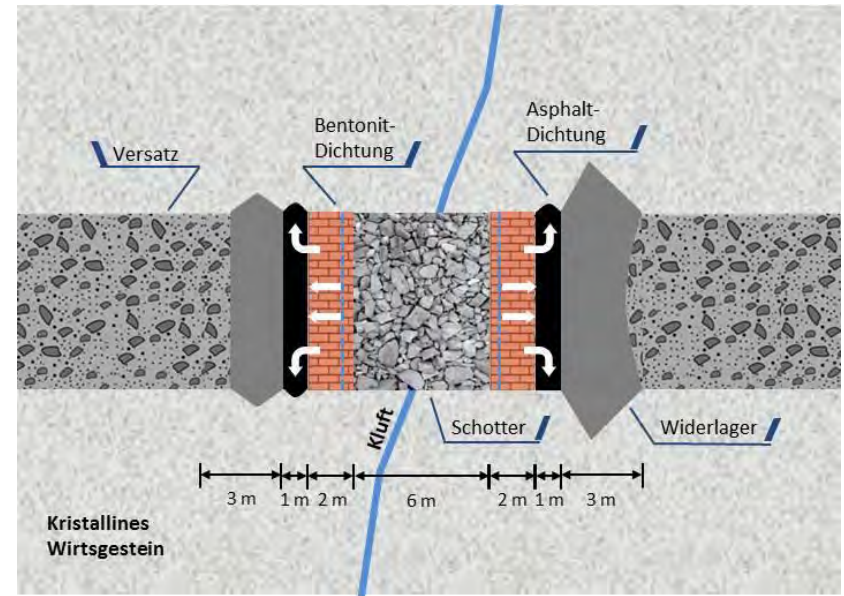
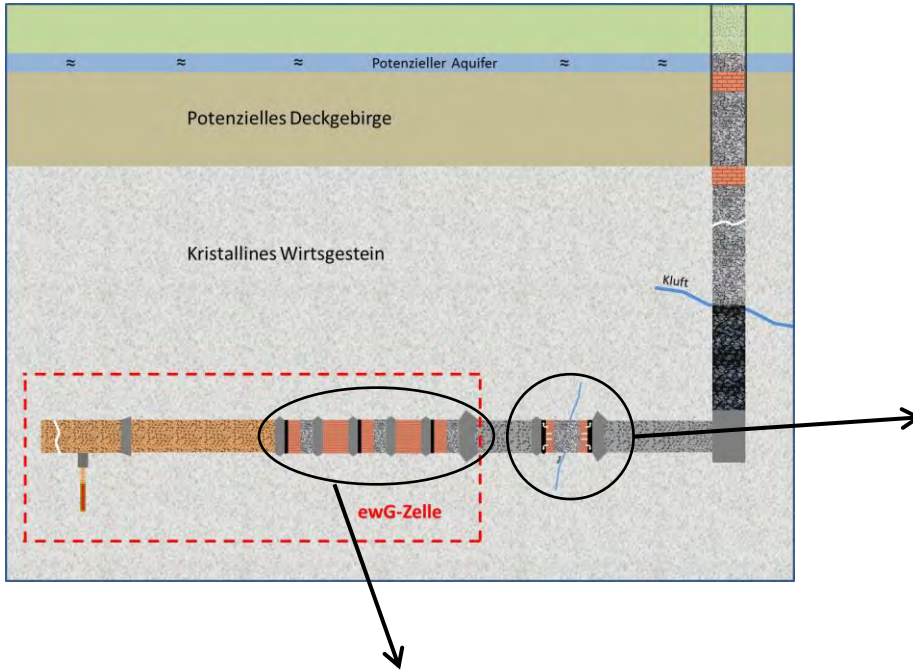
- A) „multipler ewG“ (geologische und geotechnische Barrieren)
- B) „überlagernder ewG“ (geologische und geotechnische Barrieren)





Größe der ewG ist abhängig von der vorgefundenen Geologie bzw. dem Störungssystem

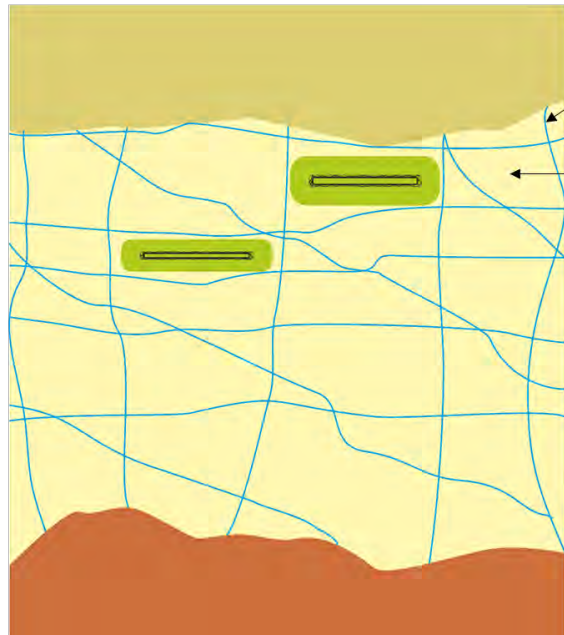
Verschlussmodule



Erste Entwürfe

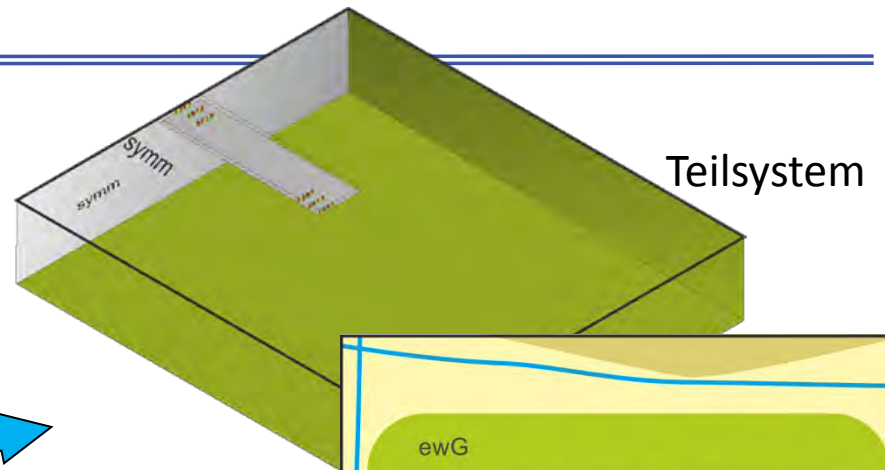
Modellierungskonzept

Gesamtsystem

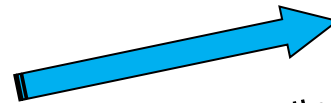


Kluftnetzwerk

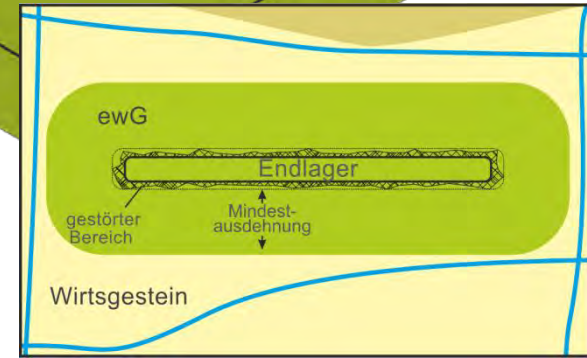
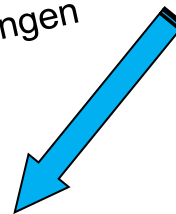
Matrix



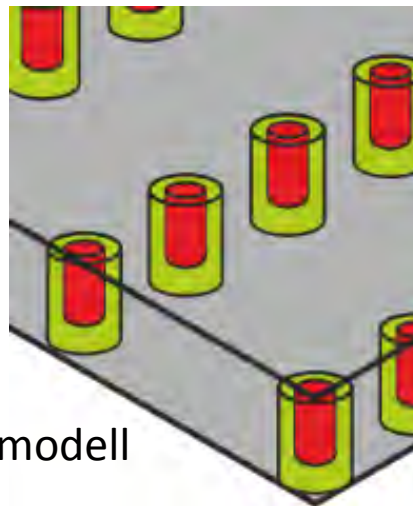
Teilsystem



Randbedingungen

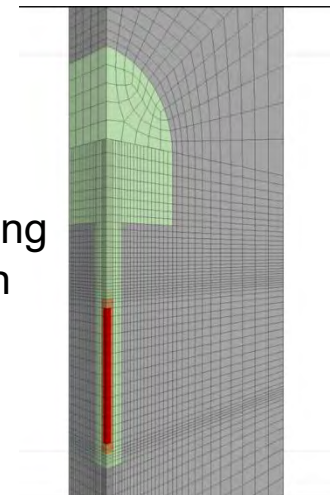


BGR (Maßmann 2018)



Nahfeldmodell

Modellbildung
begonnen



Konzeption und beispielhafte Berechnung radiologischer Sicherheitsindikatoren

5.1 *Methodik zur vereinfachten rad. Langzeitaussage*

Übertragung und ggf. Anpassung der Methodik zur vereinfachten rad. Langzeitaussage am Rande des ewG für die Typen „multipler ewG“ und „überlagernder ewG“.

5.2 *Sicherheitsindikatoren zum multiplen ewG*

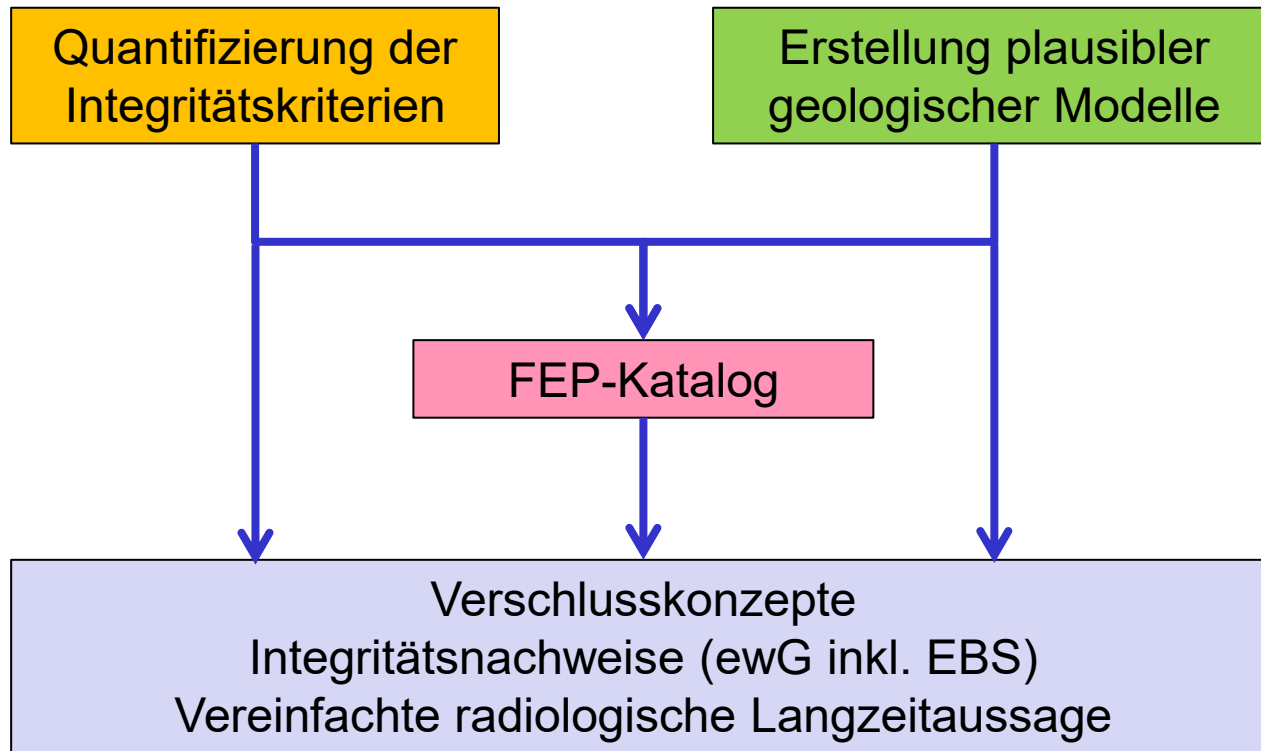
Berechnung radiologischer Sicherheitsindikatoren zum Nachweis der Geringfügigkeit der Freisetzung an den Rändern des „multiplen ewG“. Ggf. Anpassung vorhandener Berechnungstools zur gleichzeitigen Handhabung mehrerer ewG.

5.3 *Sicherheitsindikatoren zum überlagernden ewG*

Berechnung radiologischer Sicherheitsindikatoren zum Nachweis der Geringfügigkeit der Freisetzung am Rand des „überlagernden ewG“.

== Zusammenfassung (Schwerpunkte CHRISTA-II) ==

Entwicklung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein Endlager im Kristallin



Technisches Endlagerkonzept



im folgenden Vortrag

Projekt: CHRISTA-II (01.09.2017 - 30.08.2020)

Projektförderung:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Projektbetreuung:



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

Durchführung:



Entwürfe von Endlagerkonzepten im Kristallingestein in Deutschland

Niklas Bertrams

DBE TECHNOLOGY GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine, Germany

Abstract

Der Vortrag stellte das Vorhaben mit dem Akronym KONEKD („Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgehende Brennelemente in Kristallingestein in Deutschland“) vor, das im September 2017 abgeschlossen wurde.

In diesem Vorhaben wurden folgende Teilziele verfolgt:

1. Der Stand von Wissenschaft und Technik zur Herstellung von Schächten, Rampen, Strecken und Einlagerungsbohrungen im Kristallin sollte zusammengestellt und hinsichtlich eventuell noch notwendigem FuE-Bedarf bewertet werden.
2. Auf Basis generischer geologischer Daten sollte ein technisches Endlagerkonzept in modellhafter Struktur und Aufbau entwickelt werden.
3. Die erforderlichen Zeitdauern und Kosten für Planung, Herstellung und Betrieb eines solchen Endlagers im Kristallin sollten abgeschätzt werden.

In KONEKD wurden drei Endlagerkonzepte erarbeitet. Die drei Konzepte basieren auf unterschiedlichen Ansätzen zur Herstellung des Einschlusses der Abfälle für den Nachweiszeitraum von einer Million Jahre.

Diese drei Ansätze wurden schon im Bericht der Endlagerkommission im Jahr 2016 genannt:

- Im modifizierten KBS-3 Konzept wird die maßgebliche Einschlussfunktion einer technischen Barriere zugeordnet.
- Im Konzept des multiplen ewG soll die Einschlusswirkung durch eine aufeinander folgende Kombination von Wirtsgesteinseigenschaften und technischen Barrieren erreicht werden.
- Im Konzept mit überlagerndem ewG wird die maßgebliche Einschlussfunktion einer geologischen Barriere zugeordnet.

Für alle Konzepte wurden schließlich Grubengebäude entworfen, in denen die entsprechenden Abfallgebände für das gesamte Abfallmengengerüst unter Berücksichtigung einer maximalen Auslegungstemperatur von 100 °C Platz finden. Als Referenzmethode für das Auffahren der Grubenbaue wurde Bohren und Sprengen aufgrund der Flexibilität in unterschiedlichen Gesteinen und in der Streckenführung sowohl für das Abteufen von Schächten und Rampen als auch für den Streckenvortrieb ausgewählt. Vor allem Gebirgsanker und Spritzbeton kommen als Ausbaumaterialien zum Einsatz, die je nach Standfestigkeit des Gebirges

in unterschiedlicher Art und Menge ausgewählt werden können. Voraussetzung für die Entwicklung der Querschnitte der einzelnen Grubenbaue waren im Wesentlichen die Vortriebs-technik und die zum Grubenbau gehörigen technischen Einrichtungen, insbesondere die Technologie zum Transport und zur Einlagerung von Abfallgebinden sowie zum Transport von Personal und Material. Die Transporttechnologien für Abfallgebinde basieren auf dem Stand der Technik und umfassen Schachtförderanlagen, Zahnradbahnen und Seilbahnen in Rampen und Wendeln sowie elektrische Grubenlokomotiven für den horizontalen Strecken-transport. Die Einlagerungstechnik orientiert sich ebenfalls an bekannten Lösungen für die vertikale Bohrlochlagerung und Streckenlagerung. Die schließlich entworfenen Querschnitte der Grubenbaue werden nicht alle zugleich in einem Endlagerkonzept Verwendung finden. Stattdessen können sie in Zukunft als eine Art Baukasten dienen, um den Planungsprozess zu beschleunigen. Die Zusammenstellung verschiedener Grubenbautypen zu Grubengebäuden wurde exemplarisch für alle drei Einlagerungskonzepte durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass der Flächenbedarf unter Tage für die Streckenlagerung im Konzept des überlagernden ewG (ca. 7,5 km²) ungefähr doppelt so hoch ausfällt wie für die beiden anderen Konzepte. Gerade im Konzept des überlagernden ewG ist zur Verringerung des Flächenbedarfs eine Erhöhung der Auslegungstemperatur denkbar, da der temperaturempfindliche Bentonitbuffer keine langzeitrelevante Einschlussfunktion übernimmt.

Bei der Zeit- und Kostenschätzung für Endlager entsprechend der drei Konzepte wurde angenommen, dass eine Standortfestlegung vorliegt. Neben Bau, Betrieb und Verschluss der Endlager wurde ebenfalls der Bau, Betrieb und Rückbau einer Konditionierungsanlage betrachtet. Für beide Anlagen wurden auf Basis von Planungen der SKB 10 Jahre für die Genehmigung, 10 Jahre für den Bau und 40 Jahre für den Betrieb angenommen. Der Verschluss des Endlagers wurde mit etwa 18 Jahre abgeschätzt, der Rückbau der Konditionierungsanlage mit 8 Jahren. Als Methode der Kostenschätzung wurde ein Bottom-up Ansatz im Sinne der Summierung von Einzelkosten aufgrund der Vielzahl von Unsicherheiten und aufgrund der geringen Planungstiefe der Endlagerkonzepte als zu fehlerbehaftet verworfen. Stattdessen basiert die Schätzung, wie von der IAEA empfohlen, auf Analogschlüssen zu Kostenschätzungen eines weiter fortgeschrittenen Endlagerprogramms, in diesem Vorhaben dem der SKB. Zunächst wurden die Angaben der SKB auf die nationalen Randbedingungen in Deutschland hin normiert. Im ersten Schritt erfolgte hierbei eine Rückrechnung der Kosten der SKB auf den Zeitpunkt der Standortentscheidung in Schweden. Weiterhin sind die Abfallmengen in Schweden geringer als in Deutschland. Demnach wurden Kosten, die von der Menge der Abfallgebinde abhängen, entsprechend hochgerechnet. Im letzten Schritt der Normierung fand eine Anpassung der Kosten an das nationale Kostenniveau der Kernenergiebranche statt. Erst dann wurden Differenzbetrachtungen angestellt, die die Unterschiede der in diesem Vorhaben entwickelten Konzepte zu denen des schwedischen KBS-3-Konzepts in Kosten abbilden. Die wesentlichen Parameter sind die Anzahl der Endlagerbehälter, der Bentonitbedarf und das Ausbruchvolumen je Abfallgebinde. Die ermittelten Gesamtkosten für Konditionierung und Endlagerung ergeben ca. 16 (multipler ewG), 16,8 (modifiziertes KBS-3-Konzept) und 18,4 (überlagernder ewG) Milliarden € mit der Preisbasis Januar 2016.

Entwürfe von Endlagerkonzepten im Kristallingestein in Deutschland

„KONEKD“
(01.08.2016 - 30.09.2017)

Niklas Bertrams, Philipp Herold, Maxi Herold, Jürgen Krone, Andree Lommerzheim, Sabine Prignitz, Eric Simo Kuate

DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine



13. Projektstatusgespräch

20.06. - 21.06.2018



„Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente in Kristallingestein in Deutschland“

Erstes Teilziel:

Der Stand von Wissenschaft und Technik zur Herstellung von Schächten, Rampen, Strecken und Einlagerungsbohrungen im Kristallin soll zusammengestellt und hinsichtlich eventuell noch notwendigem FuE-Bedarf bewertet werden.

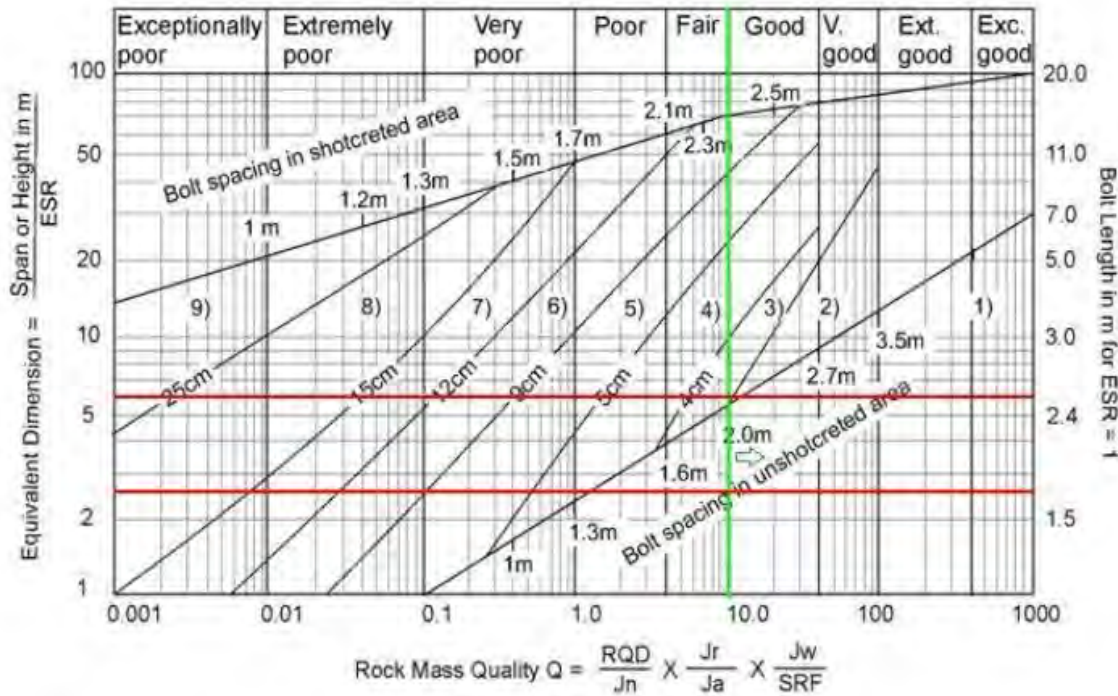
Zweites Teilziel:

Auf Basis generischer geologischer Daten soll ein technisches Endlagerkonzept in modellhafter Struktur und Aufbau entwickelt werden.

Drittes Teilziel:

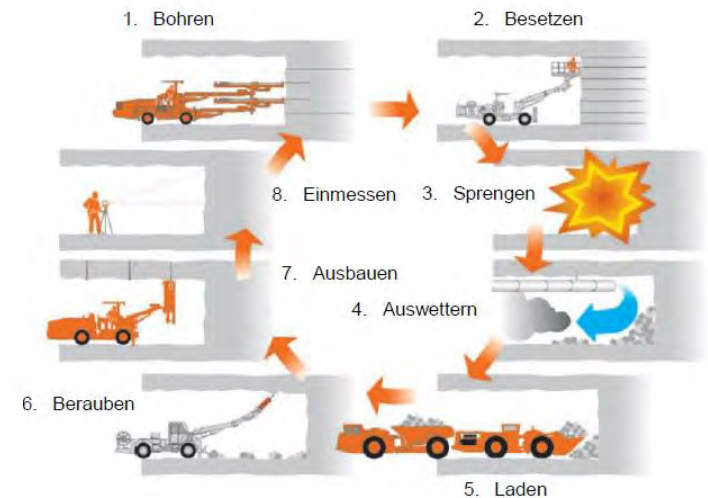
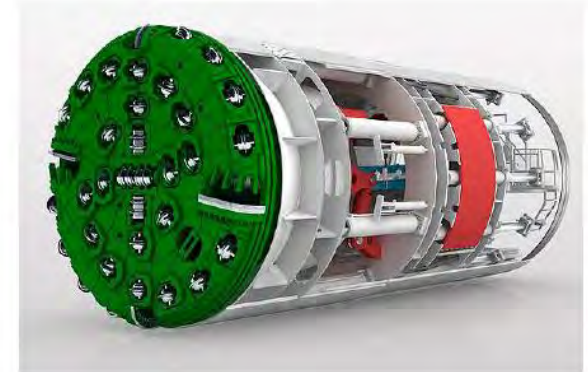
Die erforderlichen Zeitdauern und Kosten für Planung, Herstellung und Betrieb eines solchen Endlagers im Kristallin sollen abgeschätzt werden.

Standsicherheit und Vortriebstechnik



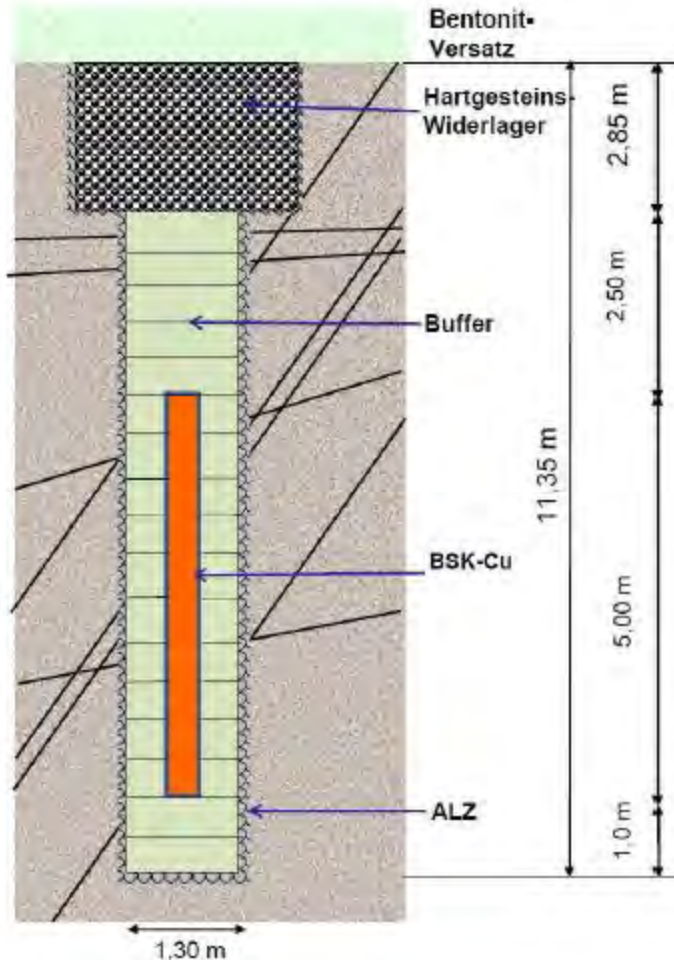
REINFORCEMENT CATEGORIES

- | | |
|---|--|
| 1) Unsupported | 6) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 9 - 12cm, Sfr+B |
| 2) Spot bolting, sb | 7) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 12 - 15cm, Sfr+B |
| 3) Systematic bolting, B | 8) Fiber reinforced shotcrete > 15cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting, Sfr, RRS+B |
| 4) Systematic bolting (and unreinforced shotcrete, 4-10cm, B(+S)) | 9) Cast concrete lining, CCA |
| 5) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 5-9cm, Sfr+B | |



Einlagerungskonzepte – Mod. KBS-3 Konzept

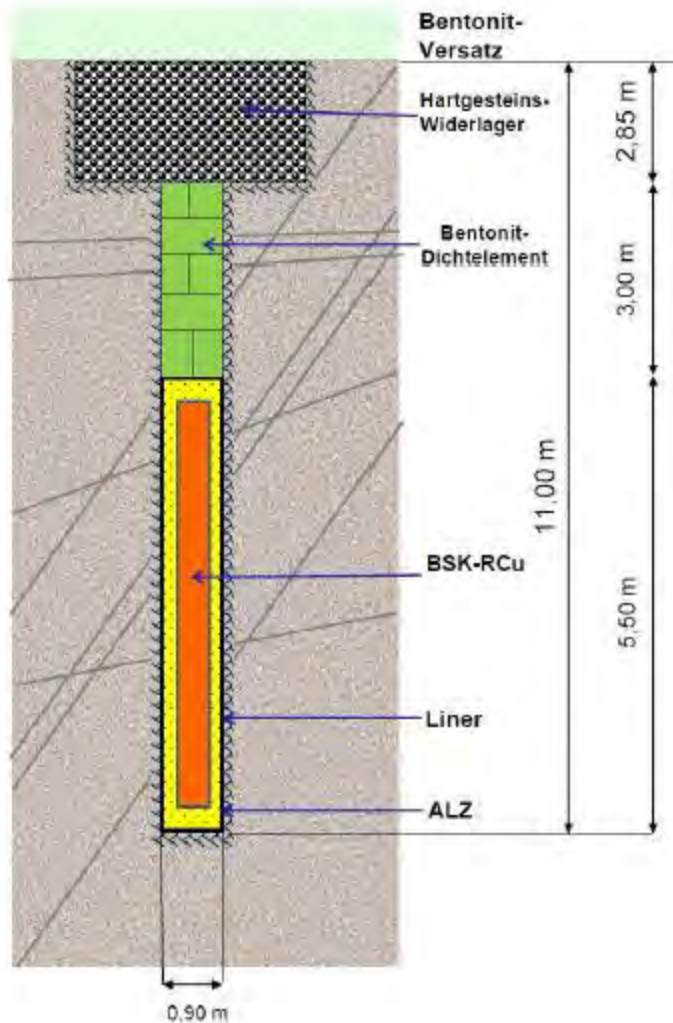
Wesentliche Merkmale



- BSK als Innenbehälter (MOX- BE)
- Behälter (BSK-Cu) mit 5 cm Kupferhülle
- Hartgesteinswiderlager als Bohrlochverschluss
- Barrieren (Behälter/Buffer) im gesamten Nachweiszeitraum einschlusswirksam

Einlagerungskonzepte – Multipler ewG

Wesentliche Merkmale

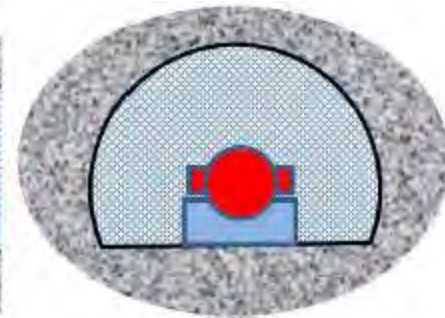


- hohe Anforderungen an das Wirtsgestein (Stabilität, Permeabilität)
- Behälter (BSK-RCu) mit 5 mm Kupferhülle als Teil des Barrierensystems
- Bohrlochverrohrung zum Schutz der Kupferschicht der Kokille
- Sandverfüllung zur Lagestabilität
- den ewG durchörternde Strecken werden mit Streckenverschlüssen langzeitsicher verschlossen

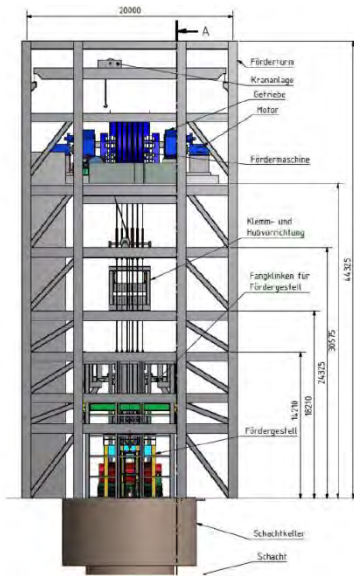
Einlagerungskonzepte – überlagernder ewG

wesentliche Merkmale

- keine Barrierewirkung des Wirtsgesteins
- untertätige Verfüllung zur Gewährleistung der Bergbarkeit
- Einschlusswirksamkeit durch Schacht- oder Rampenverschlüsse, die den ewG durchhörtern, für den gesamten Nachweiszeitraum

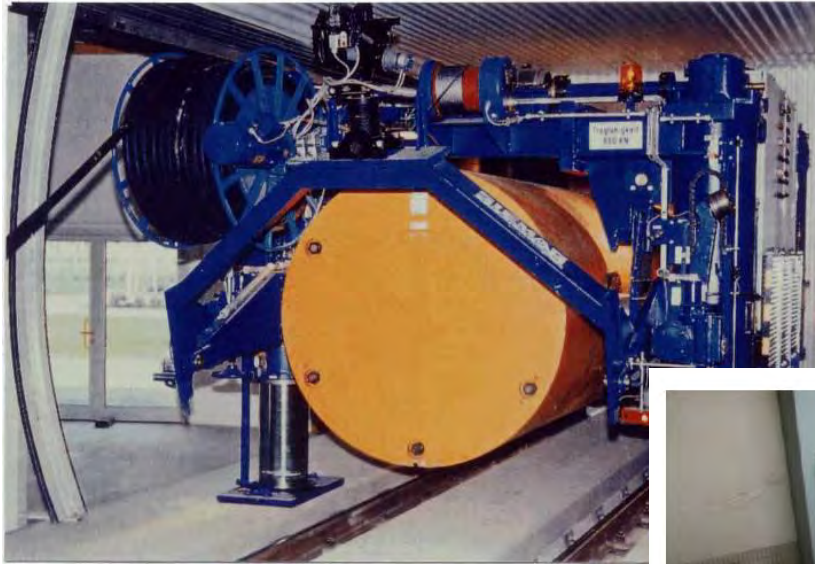


Transporttechnik – betrachtete Optionen



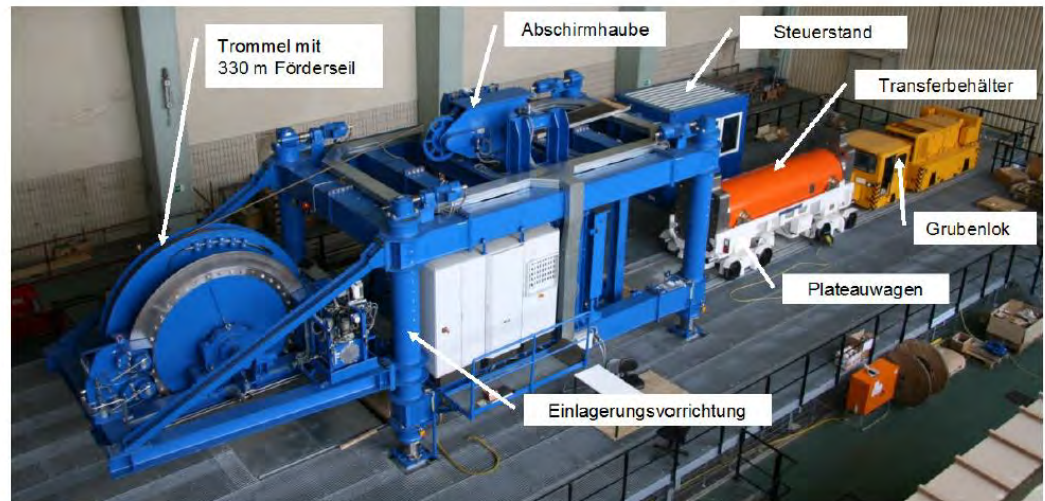
Transport von Abfallgebinden	Konventionelle Transporte (Personal, Material, Abraum)
------------------------------	--

Tageszugänge	Schacht	Schachtförderanlage	Schachtförderanlage
	Rampe	Seilbahn, Zahnradbahn	Seilbahn/Zahnradbahn/ Automobile Fördertechnik
Strecken unter Tage		Gleisgebundener Transport (Grubenlok)	Automobile Fördertechnik
Vertikale Grubenbaue unter Tage	Blindschacht	Schachtförderanlage	Schachtförderanlage
	Rampe	Seilbahn, Zahnradbahn	Seilbahn/Zahnradbahn/ Automobile Fördertechnik



Streckenlagerung von
POLLUX® Behältern

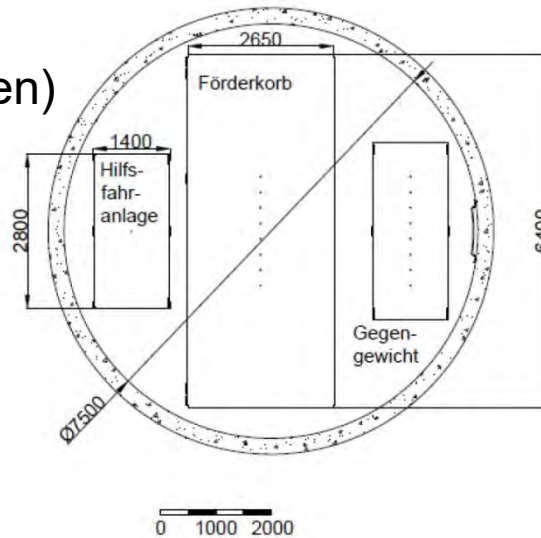
vertikale Bohrlochlagerung von
BSK-Cu (Mod. KBS-3 Konzept)
und
BSK-RCu (überlagernder ewG)



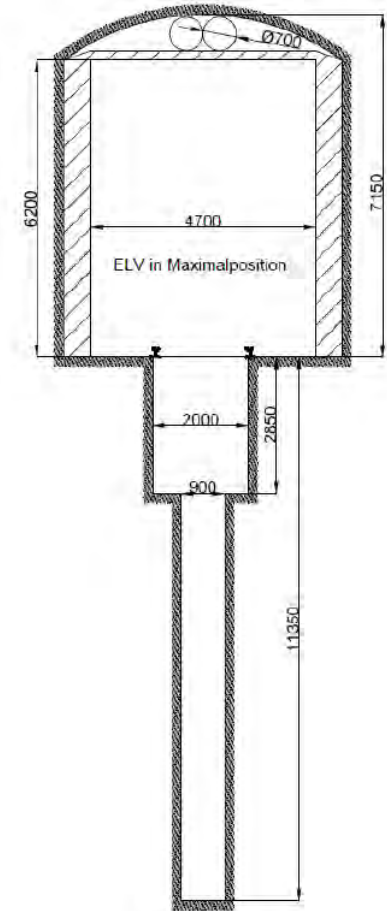
→ Konstruktive Anpassungen für die vertikale Bohrlochlagerung notwendig

Grubenbaue (Beispiele)

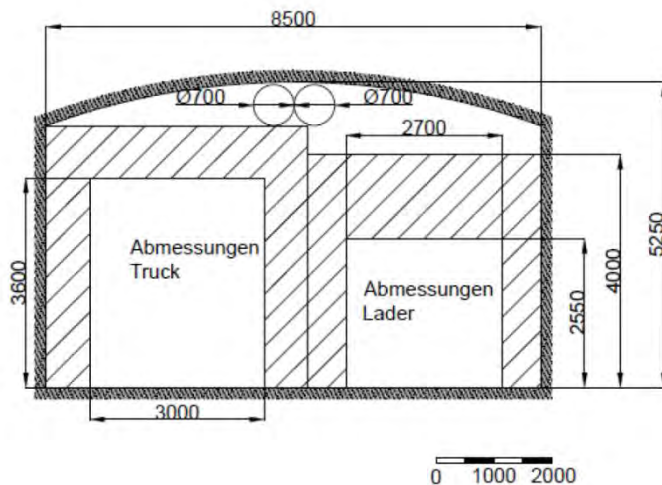
Schachtscheibe
(Transport von Abfallgebinden)



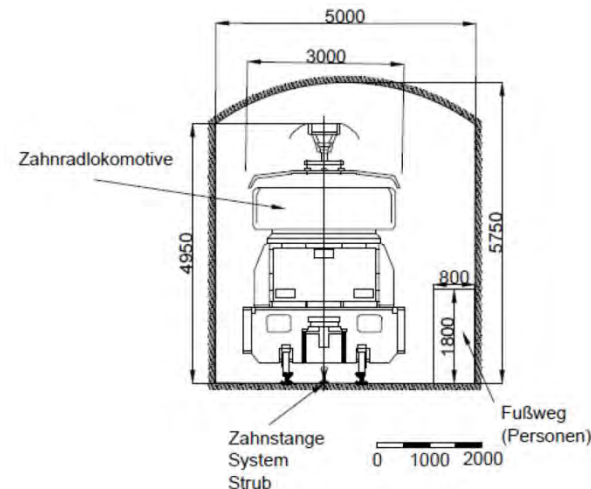
Bohrlochbeschickungsstrecke



Strecke für Materialtransport



Zahnradbahn in Rampe



Verfüll- und Verschlusskonzept

Einschluss durch	Mod. KBS-3 Konzept	Multipler ewG	Überlagernder ewG
Abfallgebinde	Einschlusswirksam für 1 Mio. Jahre	Teil des redundant-diversitären Barrierensystems	Bergbarkeit
Buffer	Schutz des Abfallgebindes für 1 Mio. Jahre	-	Strömungsbarriere zur Sicherstellung der Bergbarkeit
Widerlager	Fixierung des Buffers für 1 Mio. Jahre	Fixierung des Bohrlochverschlusses für 1 Mio. Jahre	-
Bohrlochverschluss	-	Teil des redundant-diversitären Barrierensystems	-
Streckenverschluss	Strömungsbarriere während Betriebsphase	Teil des redundant-diversitären Barrierensystems	-
Verfüllmaterial	Strömungsbarriere für 1 Mio. Jahre	Strömungsbarriere für 1 Mio. Jahre	Nur stützender Versatz
Schacht-/Rampenverschluss	Strömungsbarriere, Schutz des untertägigen Verfüll- und Verschlussystems für die ersten 50.000 Jahre	Strömungsbarriere, Schutz des untertägigen Verfüll- und Verschlussystems für die ersten 50.000 Jahre	Redundant- diversitäres Barrierensystem im Schacht- bzw. Rampenverschluss

Grubengebäude – Mod. KBS-3 Konzept

Flächenbedarf

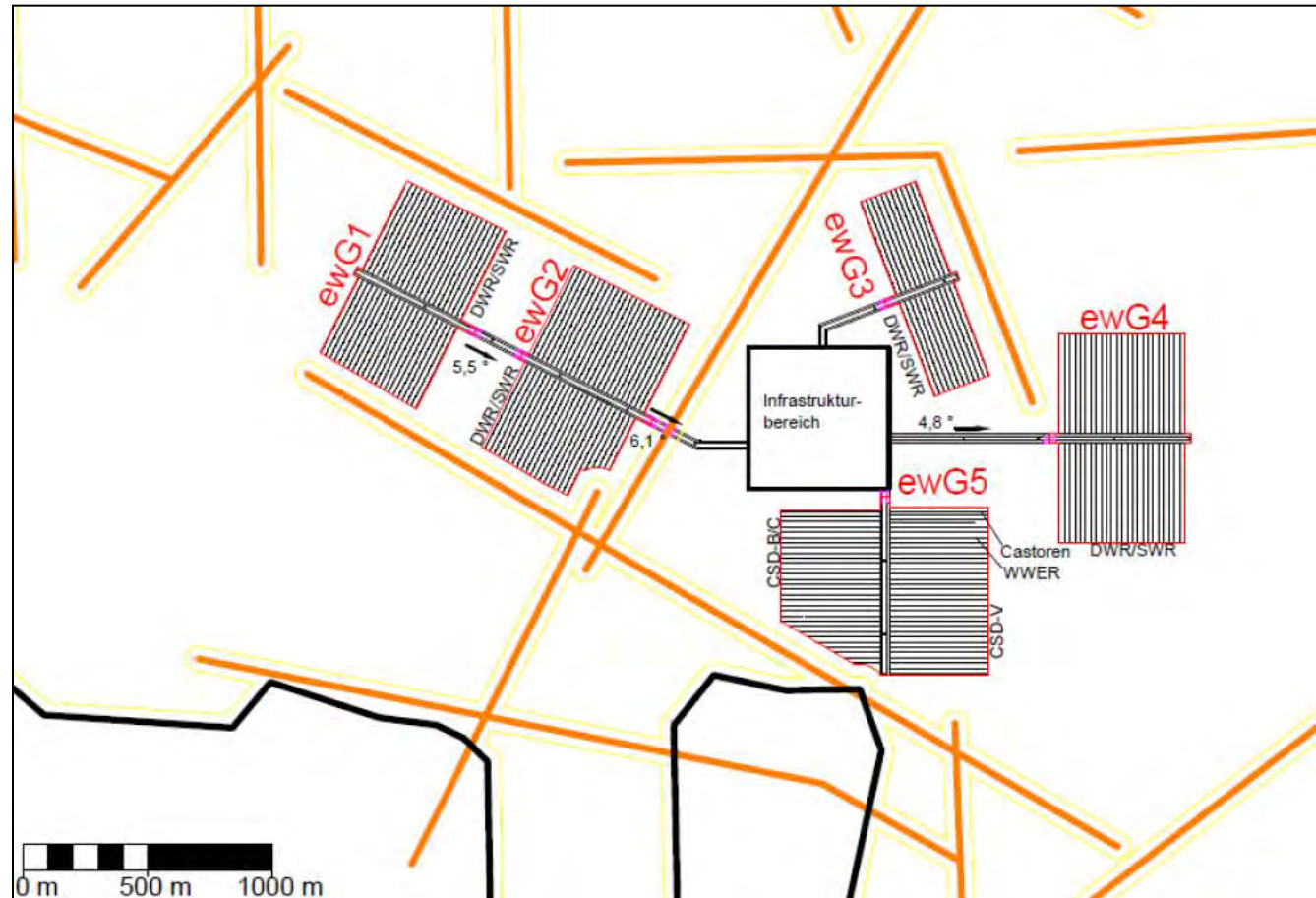
2,8 km²



Grubengebäude – Multipler ewG

Flächenbedarf

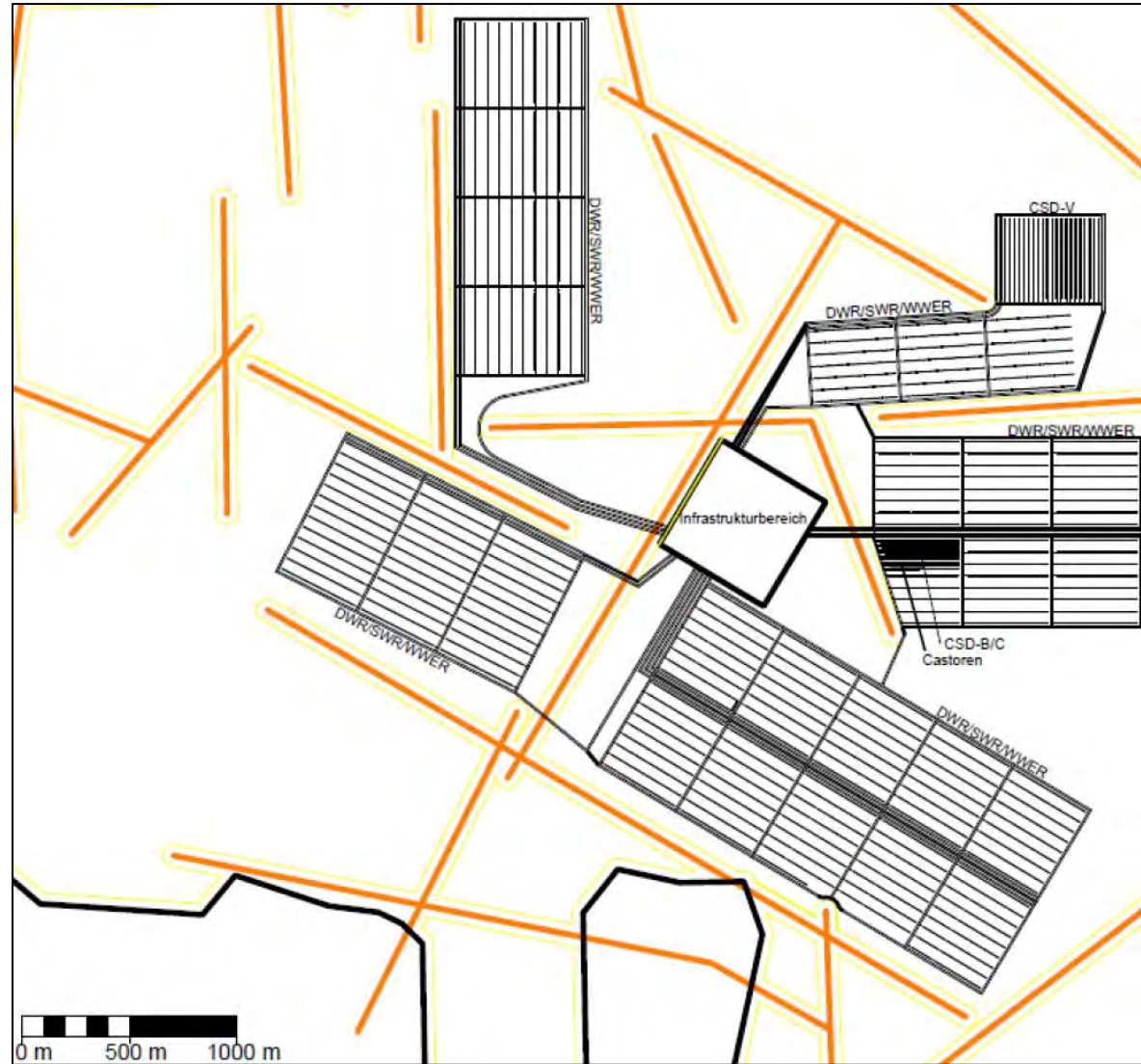
3,5 km²



Grubengebäude – Überlagernder ewG

Flächenbedarf

7,4 km²



== Kostenschätzung (ab Standortauswahl) ==

Methode: Analogschlüsse zu weiter fortgeschrittenen Endlagerprojekten (IAEA Empfehlung)

Referenz: SKB (Zeitplan bezüglich Bau, Betrieb, Stilllegung etc. vergleichbar)

1. Rückrechnung der Kosten der SKB auf den Zeitpunkt der Standortentscheidung
2. Hochrechnung auf das deutsche Abfallmengengerüst
3. Anpassung an das deutsche Preisniveau in der Kernenergiebranche

→ Differenzbetrachtungen zu den drei Konzepten (u.a. Behälteranzahl, Hohlraumvolumen)

	Mod. KBS-3 Konzept	Multipler ewG	Überlagernder ewG
Summe (in Mio. €)	~16.800	~16.000	~18.400

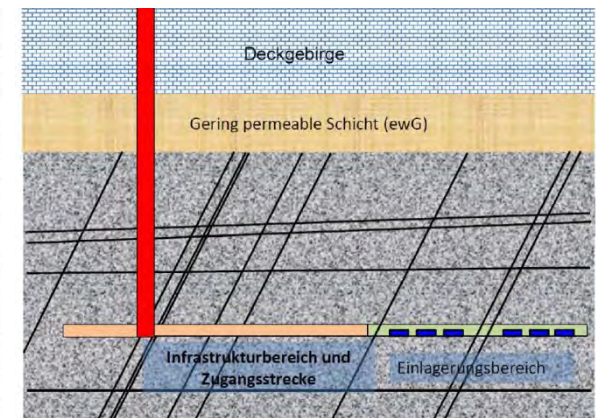
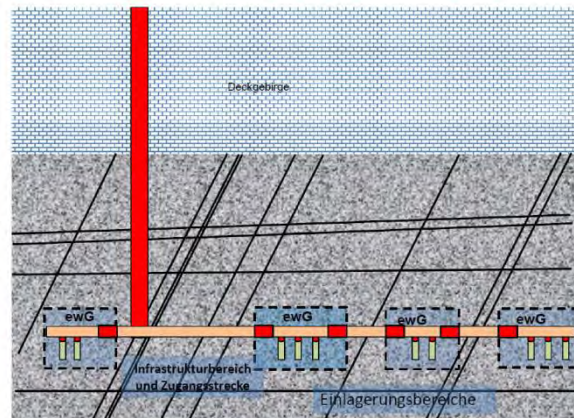
Preistreiber:

→ variable Kosten in Abhängigkeit von der Behälteranzahl (Konditionierung, Hohlraumvolumen, Versatz)

Zusammenfassung

3 technische Endlagerkonzepte im kristallinen Wirtsgestein

Mod. KBS-3 Konzept	Multipler ewG	Überlagernder ewG
Maßgebliche Einschlussfunktion durch eine technische Barriere	Maßgebliche Einschlussfunktion durch eine Kombination von Gebirge und (geo-) technischen Barrieren	Maßgebliche Einschlussfunktion durch eine geologische Barriere
Abfallgebinde, Buffer	Gebirge, Streckenverschlüsse, Abfallgebinde	Gebirge, Schacht-/Rampenverschlüsse
Kostenschätzung: 16 – 18,4 Mrd. €		



DBE TECHNOLOGY GmbH

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit.**



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

Ergebnisse des Forschungsprojektes CREATIEF – Chancen und Risiken der Endlagerung von hochradioaktiven Abfallstoffen in sehr tiefen Bohrlöchern

T. Rosenzweig¹⁾, W. Kudla¹⁾, C. Dieterichs²⁾, M. Reich²⁾, M. Herold³⁾, W. Bollingerfehr³⁾

1) TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau

2) TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau

3) DBE TECHNOLOGY GmbH

Die Endlagerung von hoch radioaktiven, Wärme entwickelnden Abfällen und / oder ausgedienten Brennelementen in Bohrlöchern mit einer Tiefe von 3 000 m bis 5 000 m ist eine Entsorgungsoption, die von der Endlagerkommission auf Grund der in den letzten Jahren in den USA laufenden Diskussion thematisiert wurde. Zu dieser Entsorgungsoption gibt es Vorüberlegungen bzw. Konzepte in Schweden und den USA sowie in Deutschland von der GRS. In diesem Forschungsvorhaben wurde die Option „Endlagerung in tiefen Bohrlöchern“ weiter mit folgenden drei Zielen untersucht:

- 1) Analyse und Beschreibung der in vorhandenen Forschungsberichten / Studien getroffenen Annahmen und Randbedingungen,
- 2) Beschreibung der wesentlichen Eckpunkte bei einer Endlagerung in tiefen Bohrlöchern und Aufzeigen eines möglichen Verbesserungspotentials,
- 3) konzeptionelle Gesamtbewertung von Chancen und Risiken der Endlagerung in tiefen Bohrlöchern.

Im Zuge der Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurden zwei geologische Profile definiert, die als Referenz für mögliche geologische Verhältnisse in Deutschland bei den weiteren Überlegungen zur Einlagerung dienen. Die Einlagerung erfolgt in 3 000 m bis 5 000 m im voraussichtlich klüftigen Kristallingestein. Auch bei der Endlagerung in tiefen Bohrlöchern muss nachgewiesen werden, dass Radionuklide nicht bzw. nur in ausreichend geringem Maße aus dem Einlagerungsbereich entweichen. Deshalb muss auch bei der Endlagerung in tiefen Bohrlöchern ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) definiert werden. Da die Einlagerung im wahrscheinlich klüftigen Kristallingestein erfolgt, kann ein ewG voraussichtlich nur in Form einer überlagernden Ton- oder Salzgesteinschicht ausgewiesen werden (Typ Bb gemäß AK End-Bericht). Die Ton- bzw. Salzschiefer muss so flächig verbreitet sein, dass auch bei einer Umströmung nach einer Million Jahre keine bzw. nur in ausreichend geringem Maße Radionuklide aus dem ewG entweichen (bzw. beim Typ Bb nach AkEnd den flächig verbreiteten ewG umströmen). Insbesondere im Bereich der Ton- bzw. Salzschiefer müssen die Bohrlochdichtungen gesetzt werden.

Nach der Entwicklung der geologischen Profile wurde der Stand der Technik der konventionellen Tiefbohrtechnik der Öl- und Gasindustrie für die Bohrungen bis 5 000 m Tiefe mit möglichst großem Durchmesser im Kristallin untersucht. Nach derzeitigem Stand der Technik können Bohrungen bis zu einem Durchmesser von 17,5 Zoll (44,5 cm) in 5 000 m Tiefe im Kristallin hergestellt werden. Für noch größere Bohrungen müssten vor allem größere Rollenmeißel entwickelt werden. Alternativ müssten Bohrverfahren im Hartgestein (z. B. das Elektroimpulsverfahren) entwickelt bzw. weiterentwickelt werden. Ein Bohrdurchmesser von etwa 35,4 Zoll (90 cm), wie er im Bericht der GRS als sinnvoll angesehen wurde, lässt erwarten, dass die Anzahl der Bohrungen auf ein akzeptables Maß beschränkt werden kann (voraussichtlich 31 Stück). Allerdings ist dies mit dem derzeitigen Stand der Technik nicht umsetzbar. Die Anpassung der tiefbohrtechnischen Ausrüstung an Bohrungen im Hartgestein und mit wesentlich größeren Durchmessern als 17,5 Zoll (44,5 cm) in 5 000 m, wie sie zur Endlagerung erforderlich sein würden, wäre mit erheblichen Entwicklungs- und Testarbeiten verbunden. Die besonderen Herausforderungen bestehen darin, die erforderliche Anpresskraft auf die großkalibrigen Meißel bereitzustellen (Bohrstrangdesign), das Bohrloch kontinuierlich vom Bohrklein

zu reinigen (Leistungsfähigkeit der Pumpen), den schweren Bohrstrang zu handhaben (spezielle Tiefbohranlage entwickeln und bauen) und ein Bohrungsdesign zu entwickeln, welches mit einem minimalen Bohrungsdurchmesser im ersten Bohrungsabschnitt auskommt (Lean Casing oder Mono Bore Verfahren).

Auf Basis des einzulagernden Abfallmängengerüsts (ergibt sich aus dem Nationalen Entsorgungsprogramm für das Jahr 2022) wurden Betrachtungen zum Endlagerbehälter durchgeführt. Im Einlagerungsbereich sind Temperaturen zwischen etwa 100 °C und 160 °C zu erwarten. Die derzeit im StandAG geforderte Grenztemperatur von 100 °C an der Behälteraußenfläche kann bei einer Endlagerung in tiefen Bohrlöchern systembedingt nicht eingehalten werden. Der berücksichtigte Druck auf den Behälter ergibt sich aus der Auflast der gestapelten Behälter und dem hydrostatischen Druck der Flüssigkeitssäule (Bohrloch muss für Betrieb aus Stabilitätsgründen fluiderfüllt sein). Der Gebirgsdruck ist in dem Konzept nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass das Casing den Gebirgsdruck solange übernimmt, bis der Bohrlochverschluss vollständig in Funktion ist. Aus den genannten Anforderungen heraus wurden die Randbedingungen für einen Behälter abgeleitet und ein Behälter überschlägig bemessen. Danach werden die Behälter für ein 17,5 Zoll Bohrloch voraussichtlich 26,5 cm Außendurchmesser und 17,5 cm Innendurchmesser aufweisen. Für ein 35,4 Zoll Bohrloch ergeben sich der Außendurchmesser zu 63,5 cm und der Innendurchmesser zu 43,5 cm. Insgesamt wurden zwei Konzepte für eine Endlagerung in tiefen Bohrlöchern betrachtet:

➔ Konzept 1: Bohrdurchmesser 17,5 Zoll (44,5 cm) in 5 000 m Tiefe:

Setzt man einen maximalen Bohrdurchmesser von 17,5 Zoll an, ist auf Grund des notwendigen Casings und des erforderlichen Ringraums nur ein Behälteraußendurchmesser von 265 mm (Innendurchmesser: 175 mm) möglich. Die Länge des Behälters wurde zu 5,6 m angenommen. Die Anzahl der Behälter ist bei einer Ausnutzung des Innendurchmessers für die Einlagerung der Brennstäbe von 70 % bis 80 % bei etwa 23 000 bis 27 000 Behältern zu erwarten. Bei etwa 180 Behältern pro Bohrloch sind 130 bis 150 Bohrlöcher notwendig. Die beschriebenen Behälter sind dabei auf eine Stapelhöhe von ca. 1 000 m ausgelegt. Hier besteht Optimierungspotential. Der Vorteil des Konzeptes 1 ist es, dass keine Weiterentwicklung der Bohrtechnik notwendig ist und auf den Stand der Technik in der Tiefbohrtechnik zurückgegriffen werden kann. Das Konzept 1 hat jedoch den Nachteil, dass eine sehr große Anzahl an Bohrlöchern notwendig ist. Des Weiteren können beim Konzept 1 die schon verglasten und konditionierten hoch radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung nicht eingelagert werden, da der Behälter nur einen Innendurchmesser von 17,5 cm aufweist. Somit können hier nur die Brennstäbe von ausgedienten Brennelementen der Leistungsreaktoren eingelagert werden.

➔ Konzept 2: Bohrdurchmesser 35,4 Zoll (90 cm) in 5 000 m Tiefe

Beim Konzept 2 wurde von einem Bohrdurchmesser von 35,4 Zoll in 5 000 m Tiefe ausgegangen. Die Einlagerung erfolgt zwischen 3 000 m und 5 000 m Tiefe. Unter Berücksichtigung der Casing-Wandstärke und des notwendigen Ringraumes ist ein Behälteraußendurchmesser von 635 mm (Innendurchmesser: 435 mm) und eine Stapelhöhe von 2 000 m möglich. Die Behälterlänge beträgt 5,6 m. Unter diesen Prämissen sind insgesamt 11 000 Behälter erforderlich. Bei einer Einlagerung von 363 Behältern pro Bohrloch sind 31 Bohrlöcher notwendig. Der Vorteil des Konzeptes 2 ist, dass die Anzahl der Bohrlöcher mit 31 Stück erheblich geringer ist als im Konzept 1. Die Anzahl der Bohrlöcher scheint damit in einer umsetzbaren Größenordnung zu sein. Der Nachteil des Konzeptes 2 ist es, dass ohne eine erhebliche Weiterentwicklung der tiefbohrtechnischen Ausrüstung eine Umsetzung nicht möglich ist.

Abschließend wurden die Chancen und Risiken einer Endlagerung in tiefen Bohrlöchern abgewogen. Derzeit kann aus der Abwägung der Chancen und Risiken heraus keine Aussage getroffen werden, ob eine Endlagerung in tiefen Bohrlöchern eine sinnvolle Alternative zu einer Endlagerung in einem Bergwerk ist. Dazu sind zu viele Punkte offen, bei denen weitere, sehr umfangreiche und zeitaufwändige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfolgen müssen.



13. Projektstatusgespräch

Ergebnisse des Forschungsprojektes
**CREATIEF – Chancen und Risiken der
Endlagerung von hochradioaktiven
Abfallstoffen in sehr tiefen Bohrlöchern**

Dr.-Ing. Tino Rosenzweig, M.Sc.

Karlsruhe, 21.06.2018



Research Team und Co-Autoren

Prof. Matthias Reich

TU Bergakademie Freiberg

Dr. Christin Dieterichs

Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau

Prof. Wolfram Kudla

TU Bergakademie Freiberg

Dr. Tino Rosenzweig

Institut für Bergbau und Spezialtiefbau

Wilhelm Bollingerfehr

DBE TECHNOLOGY GmbH

Maxi Herold

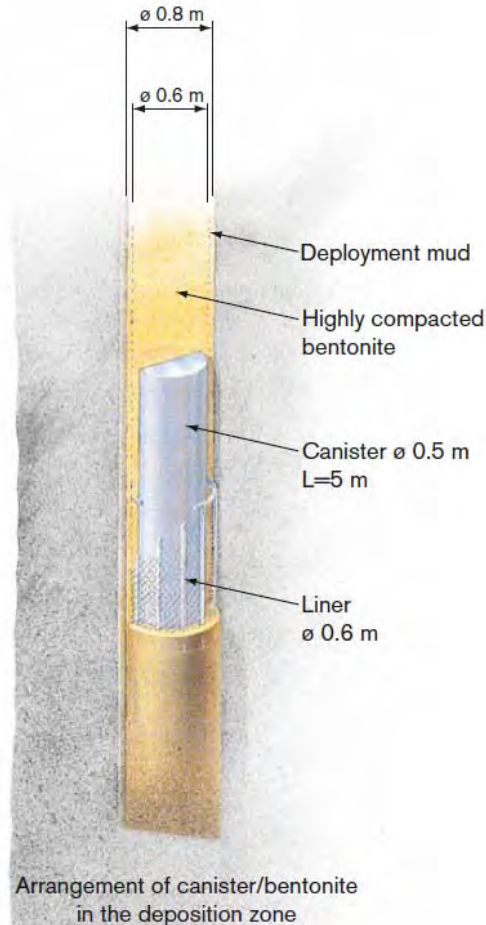
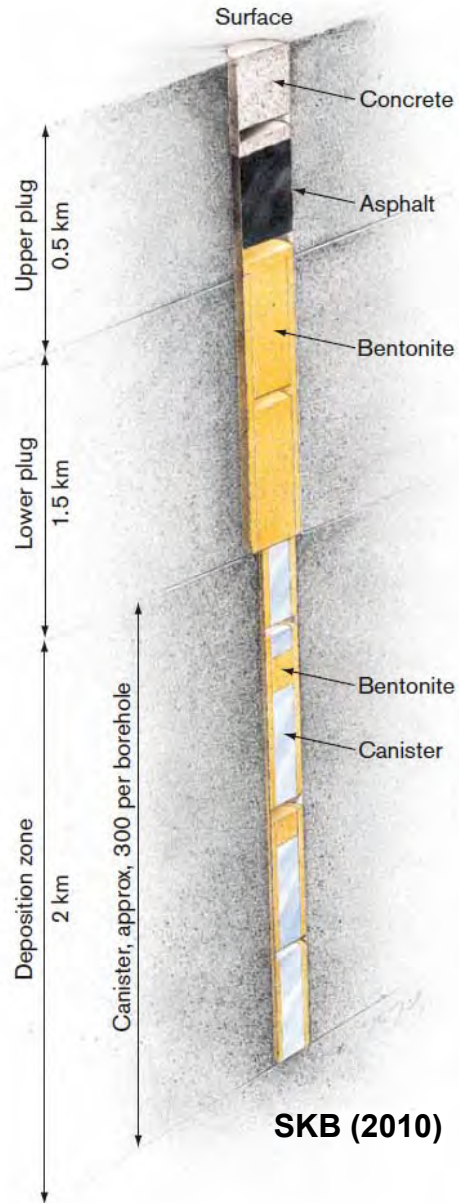
Bereich Forschung und Entwicklung



Inhalt

- 1) Was ist Endlagerung in sehr tiefen Bohrlöchern?**
- 2) Worin bestand der Inhalt des Forschungsprojektes?**
- 3) Ergebnisse des Forschungsprojektes**
- 4) Chancen & Risiken der Endlagerung in tiefen Bohrlöchern**
- 5) Zusammenfassung**

1) Was ist Endlagerung in sehr tiefen Bohrlöchern?

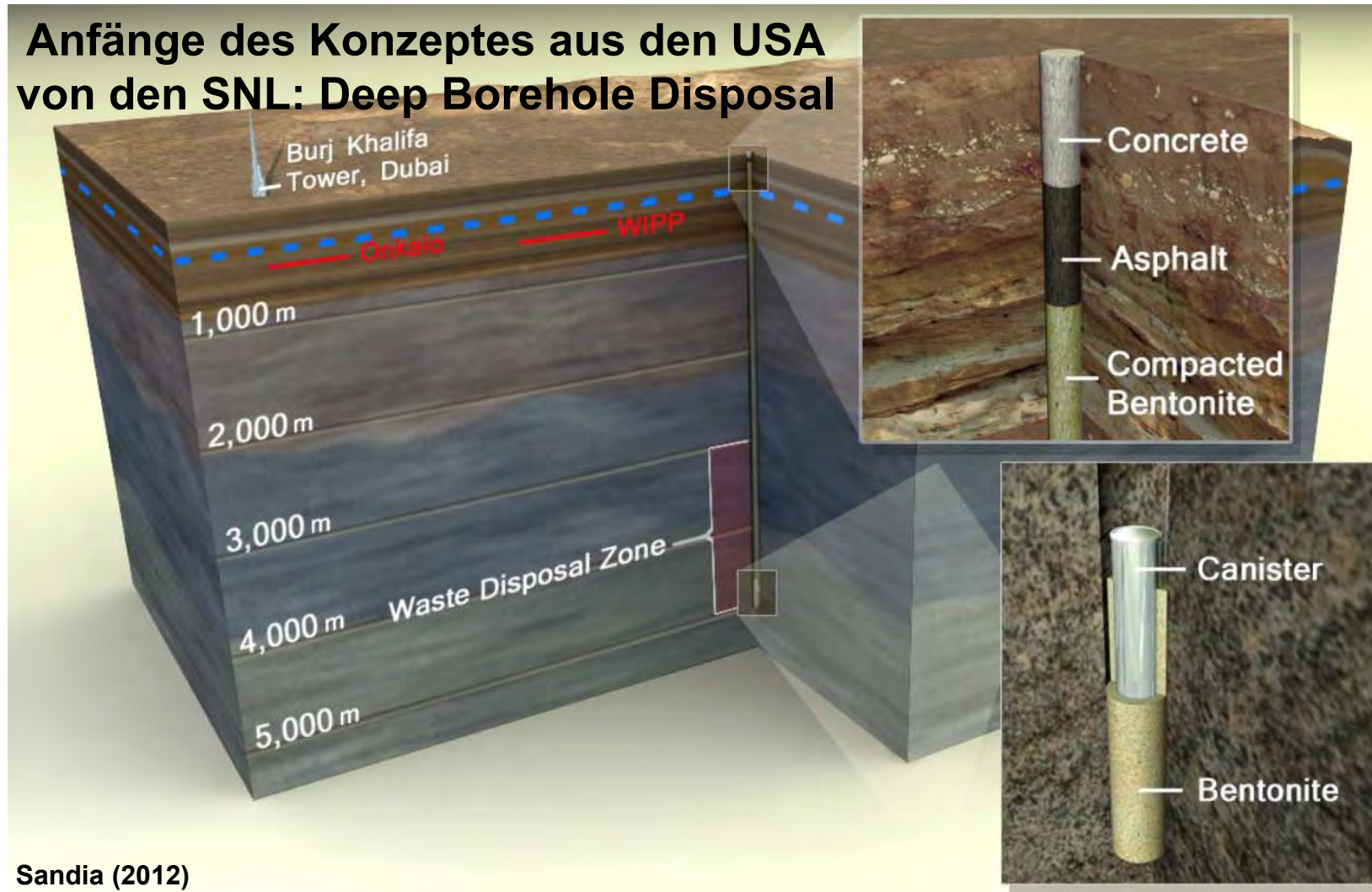


**Konzept aus
Schweden,

SKB: Very
Deep Holes**

1) Was ist Endlagerung in sehr tiefen Bohrlöchern?

Anfänge des Konzeptes aus den USA von den SNL: Deep Borehole Disposal



Sandia (2012)



1) Was ist Endlagerung in sehr tiefen Bohrlöchern?

Im Forschungsprojekt:

- dauerhafte Lagerung hoch radioaktiver, Wärme entwickelnder Abfälle und ausgedienter Brennelemente in 5000 m tiefen vertikalen Bohrlöchern
- Einlagerungsbereich: 3000 m bis 5000 m Tiefe im Kristallin ($T \approx 100...160^{\circ}\text{C}$)
- Verschlussstrecke: 3000 m bis 0 m (Geländeoberfläche)
- Überlagerung: Salz- und/oder Tonschichten

Angenommene Vorteile der tiefen Bohrlochlagerung:

- große Distanz zwischen Endlagerbehälter und Biosphäre
- lange Verschlussstrecke, damit sind theoretisch viele verschiedene überlagernde Schichten aus Salz und Ton möglich
- geringe Gebirgsdurchlässigkeit, hohe Salinität und reduzierende Bedingungen im Wirtsgestein



2) Worin bestand der Inhalt des Forschungsprojektes?

- **Analyse und Beschreibung der in Forschungsberichten getroffenen Annahmen und Randbedingungen**

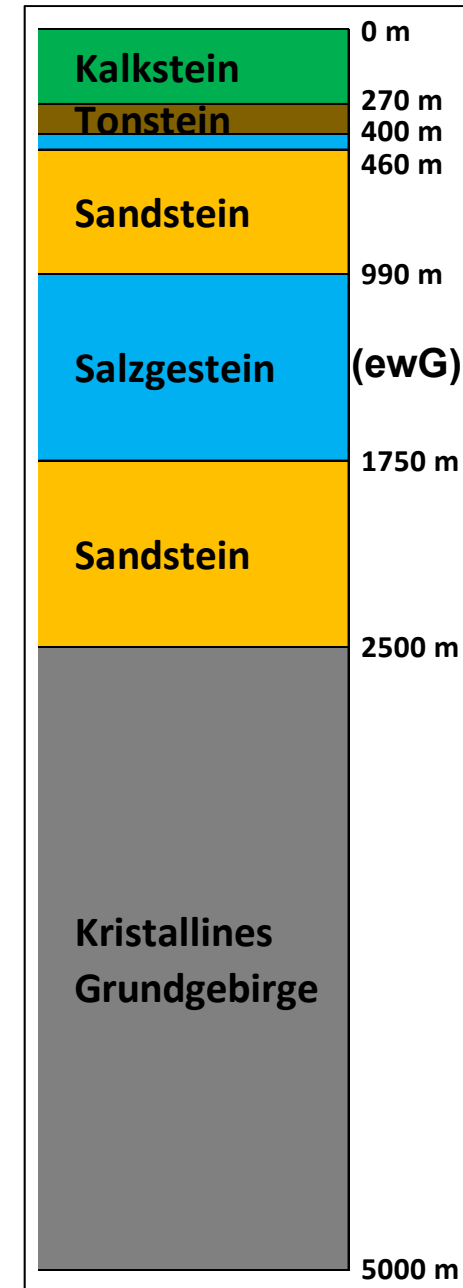
- **Analyse der Eckpunkte der Endlageroption „Tiefe Bohrlöcher“**
 - ➔ **Erkundungsverfahren bis 5000 m Tiefe**
 - ➔ **Bohrtechnik bis 5000 m Tiefe für die Einlagerungsbohrung**
 - ➔ **Konzeptionelle Varianten der Einlagerung im Stützfluid**
 - ➔ **Auswahl / Konzeption eines geeigneten Endlagerbehälters**
 - ➔ **Einlagerungs- und Rückholungstechnik** (Auszug)

- **Gesamtbewertung von Chancen und Risiken der Endlagerung in Tiefen Bohrlöchern**

3) Ergebnisse des Forschungsprojektes

Herangehensweise:

- Ermittlung des endzulagernden Inventars
(ist bekannt, da alle deutschen Kernkraftwerke bis Ende 2022 abgeschaltet werden)
- Erstellung eines generischen geologischen Profils als Basis für die Prüfung der bohrtechnischen Machbarkeit mit beginnendem kristallinen Grundgebirge ab 2500 m Tiefe



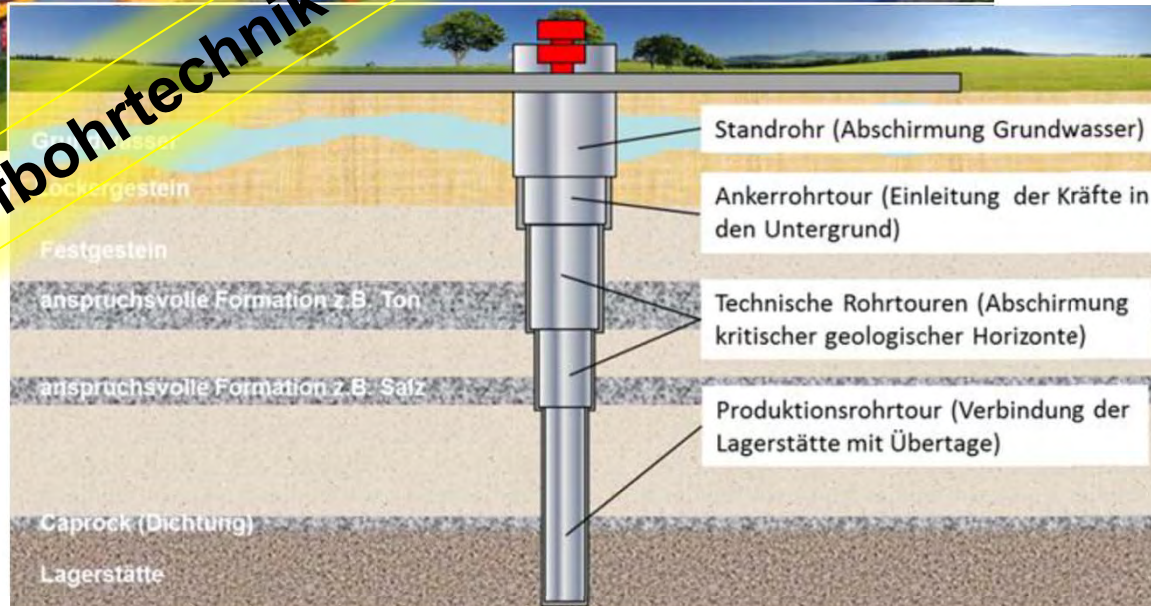
3) Ergebnisse des Forschungsprojektes



Ekologia (2017)



konventionelle Tiefbohrtechnik der Öl- und Gasindustrie



13. Projektstatusgespräch
Karlsruhe, 21.06.2018

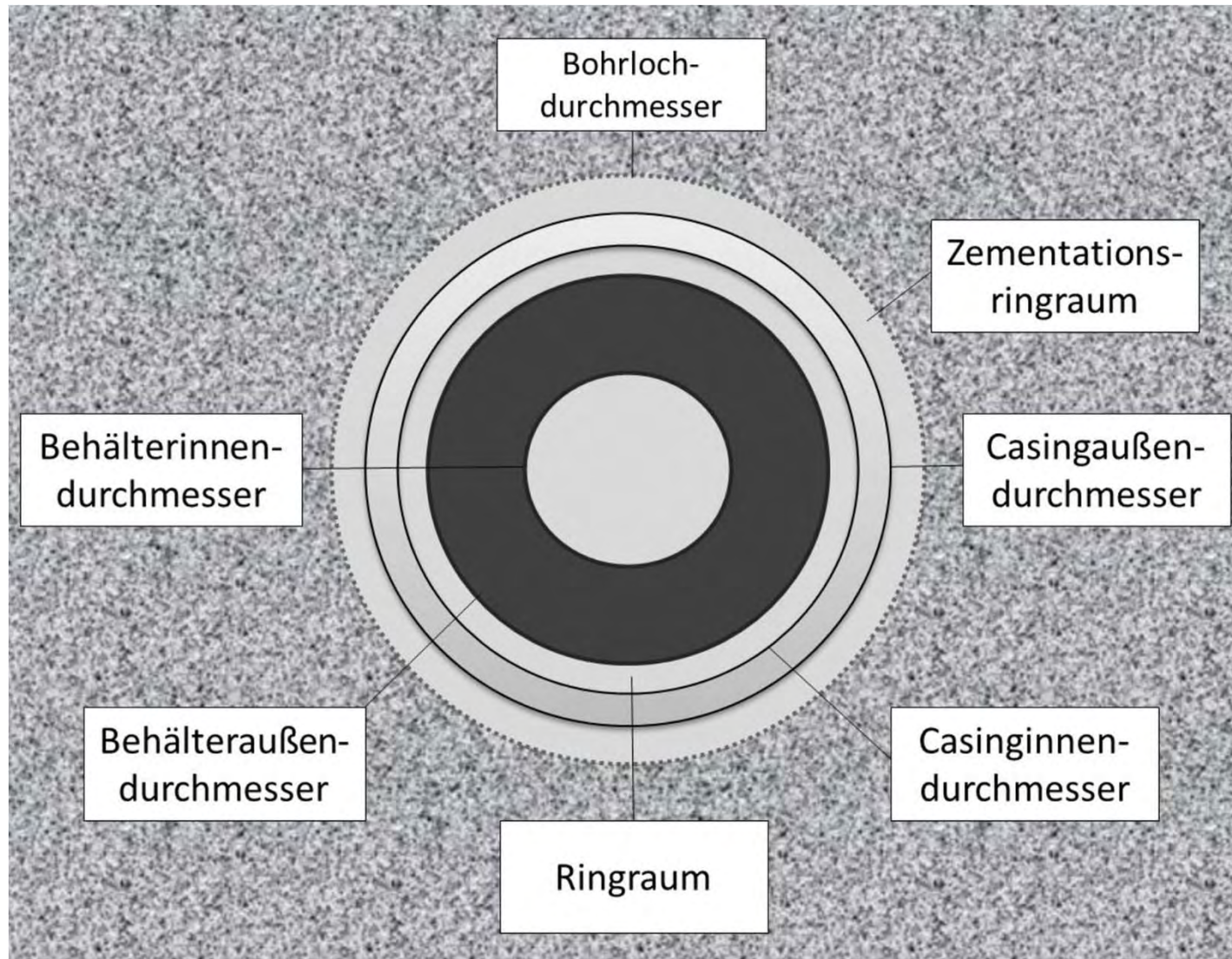
TU Bergakademie Freiberg | Institut für Bergbau und Spezialtiefbau
Dr.-Ing. Tino Rosenzweig, M.Sc. | Gustav-Zeuner-Straße 1a | 09599 Freiberg
Tel. 03731/39-3870 | Fax 03731/39-3581 | Tino.Rosenzweig@mabb.tu-freiberg.de



3) Ergebnisse des Forschungsprojektes

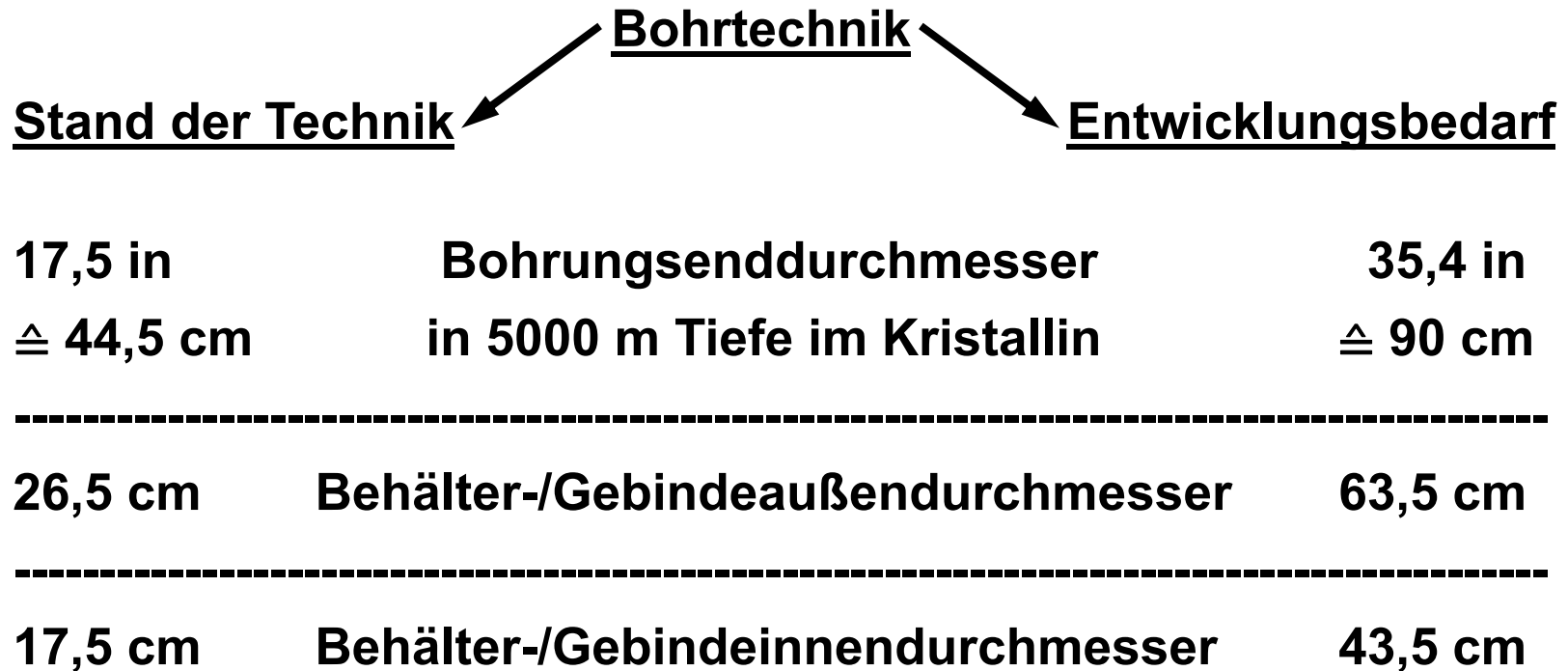


3) Ergebnisse des Forschungsprojektes



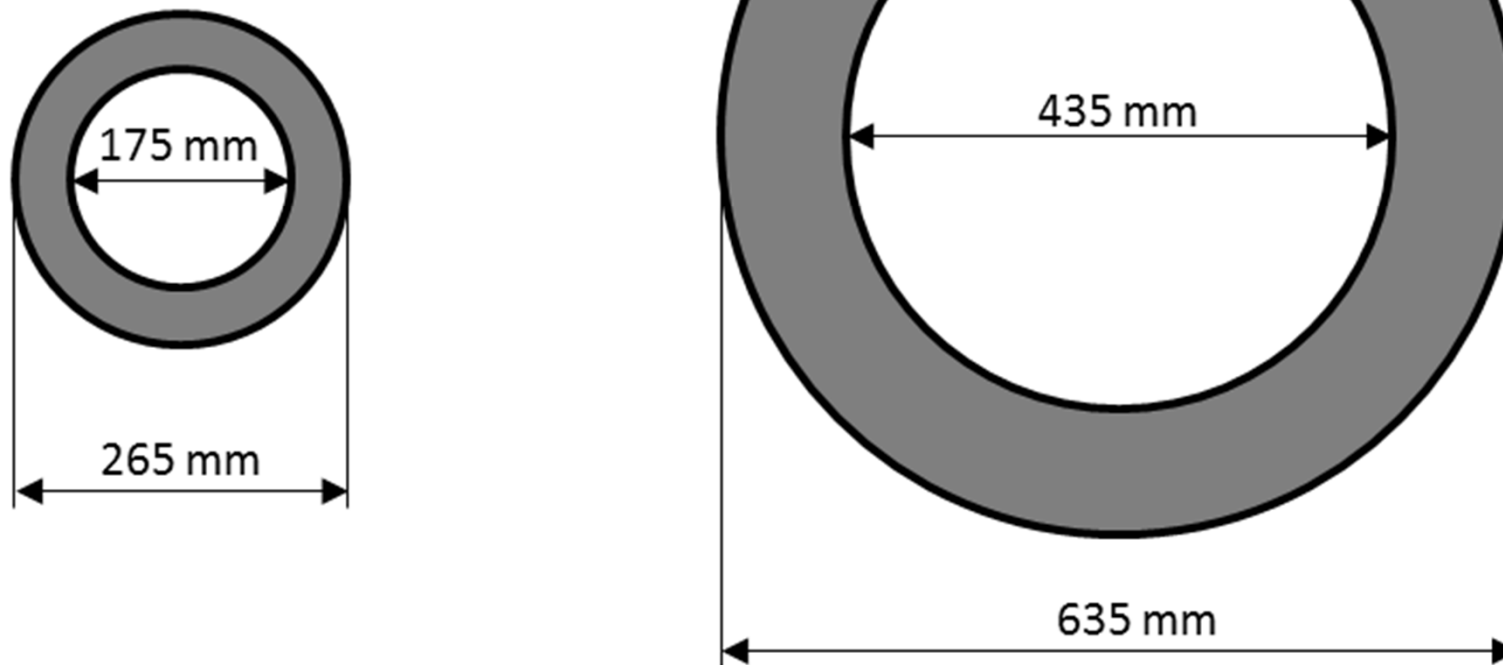


3) Ergebnisse des Forschungsprojektes

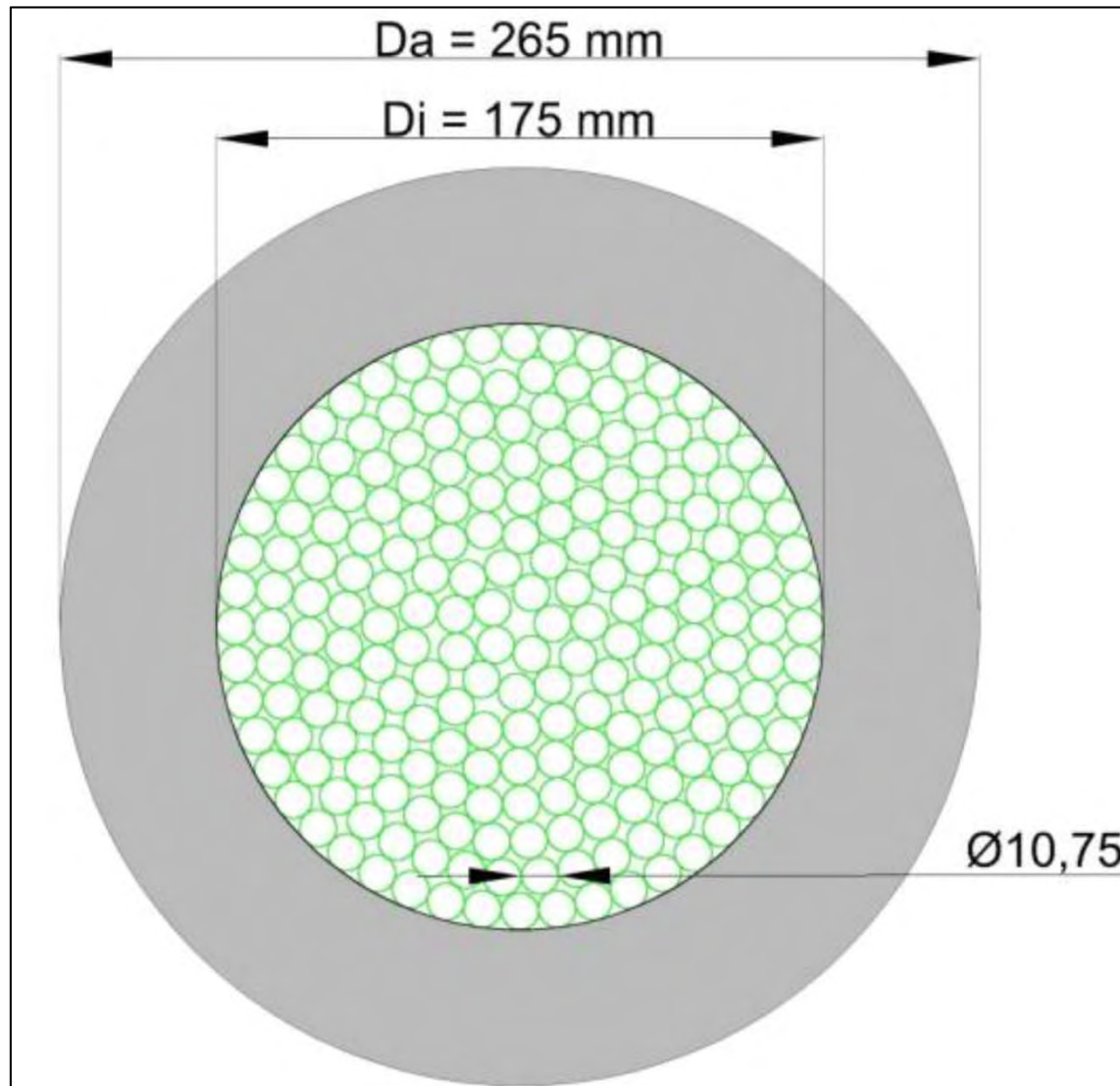


3) Ergebnisse des Forschungsprojektes

**Vergleich der Behälterinnen- und
Behälteraußendurchmesser:**



3) Ergebnisse des Forschungsprojektes

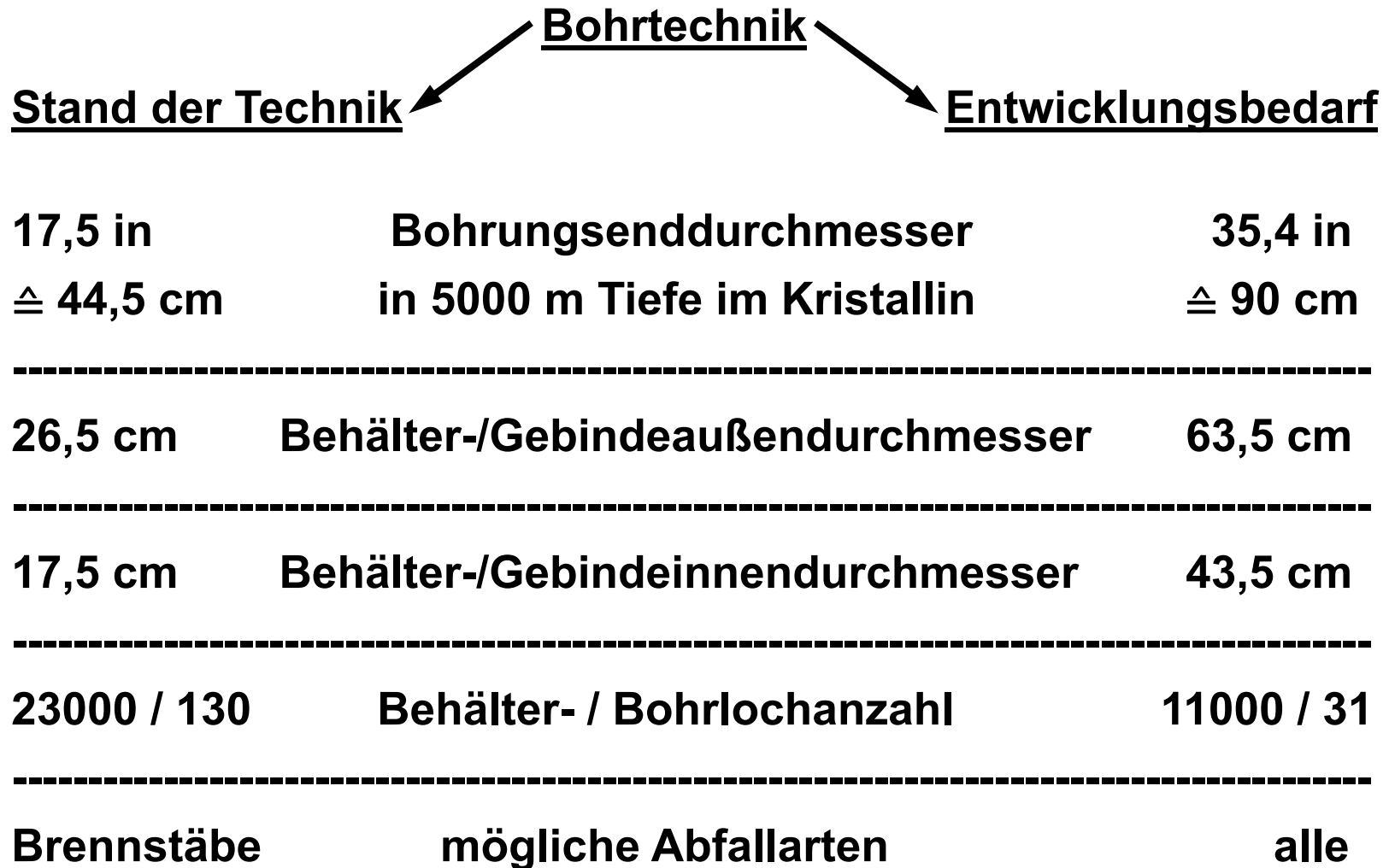


**Beladung des
Behälters für
das 44,5 cm
Bohrloch mit
Brennstäben
vom Typ DWR
16x16-20:

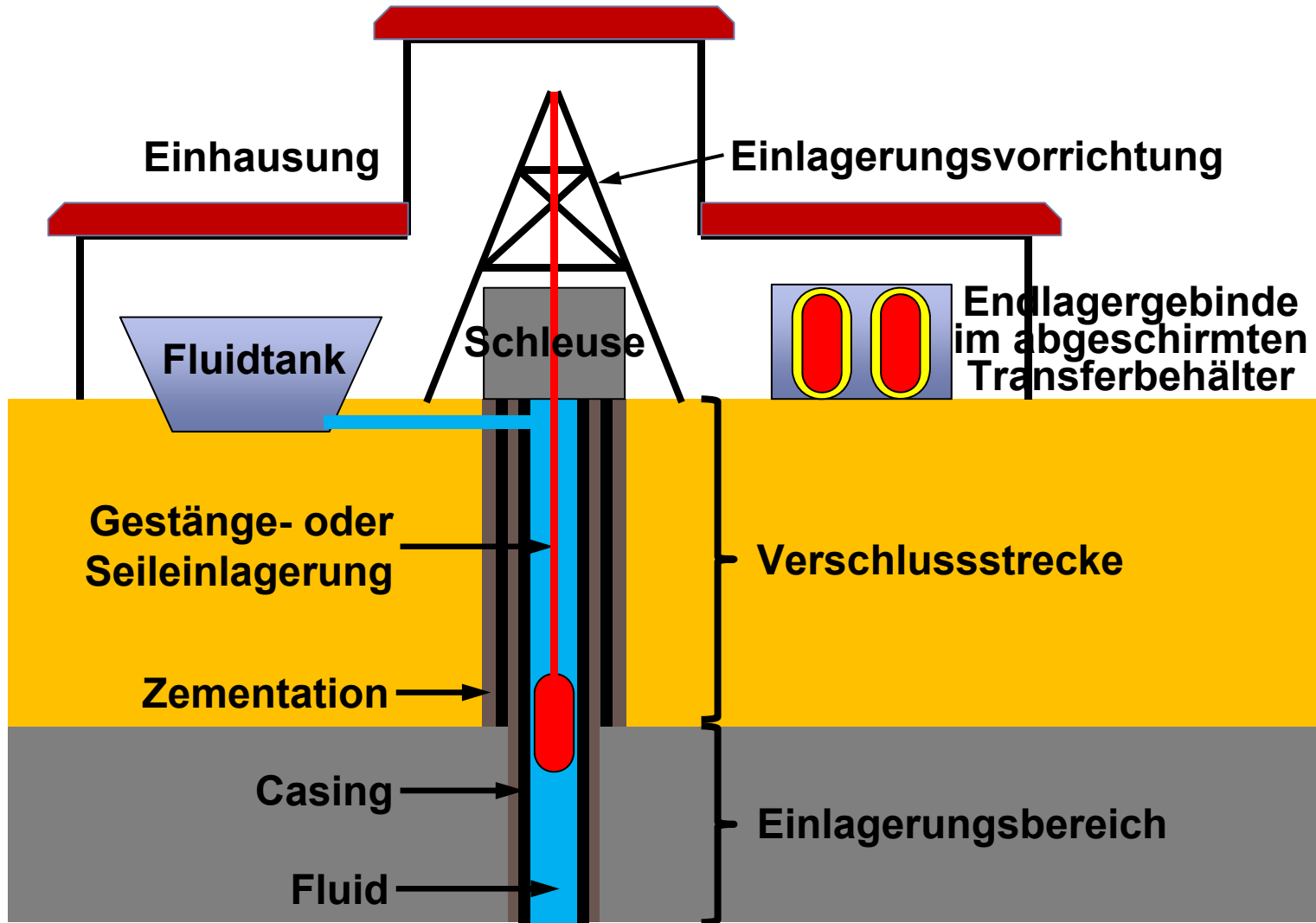
214
Brennstäbe
(Ausnutzungs-
grad: $\approx 81 \%$)**



3) Ergebnisse des Forschungsprojektes



3) Ergebnisse des Forschungsprojektes





4) Chancen & Risiken der Endlagerung in tiefen Bohrlöchern

Chancen / Vorteile / „Positivliste“:

- **17,5“ Bohrloch im Kristallin ist für die angestrebte Tiefe Stand der Technik (Meißel, Futterrohre, Technologien etc. sind vorhanden)**
- **geringeres Hohlräumvolumen gegenüber einem Bergwerk**
- **Einlagerung im Fluid scheint möglich (es müssen Strahlenschutzbedingungen wie Freimessen, Trocknen / Reinigen des aus dem Bohrloch kommenden Equipments, Überlauf für verdrängtes Fluid etc. beachtet werden)**
- **Bohrlochbetriebsfluid wirkt bei Einlagerung abschirmend (unabgeschirmter Behälter)**
- **Verschluss des Bohrloches im „Trockenen“ scheint möglich**
- **Verschluss des Bohrloches erfolgt direkt nach dem Beenden der Einlagerung der hochradioaktiven Abfallstoffe in einem Bohrloch**
- **geringe Handhabungszeit der Behälter durch Personal und stärker automatisierte Einlagerung der Abfälle im Vergleich zu einem Endlagerbergwerk**



4) Chancen & Risiken der Endlagerung in tiefen Bohrlöchern

Risiken / Nachteile / „Negativliste“:

- Bergung nach Verschluss des Bohrloches ist unmöglich
- ewG Typ Bb (nach AkEnd): Nachweis des sicheren Einschlusses ist am schwersten und mit den größten Unsicherheiten zu führen
- nicht alle Wärme entwickelnden, radioaktiven Abfälle (gemäß NaPro Abfallmengengerüst) können in 17,5“ Bohrloch eingelagert werden (WA-Abfälle)
- Erkundungsstand des geologischen Untergrundes ist mit zunehmender Teufe deutlich abnehmend und dessen Erkundung schwieriger
- zu erwartende Gebirgstemperaturen (100 - 160°C) sind systembedingt nicht mit der derzeitigen Gesetzeslage (100°C Kriterium) vereinbar
- Standort, der die Anforderungen an das generische geologische Profil erfüllt, ist schwer zu finden (mit Salz und/oder Ton überlagertes kristallines Wirtsge.)
- Rückholung der Behälter ist nur bis zum Verschluss des Bohrloches möglich
- Havariebewältigung: kein direkter, schneller Zugang zu den Behältern möglich



5) Zusammenfassung

- 1) **Nach derzeitigem Stand der Technik können Bohrungen bis zu einem Durchmesser von 17,5“ (44,5 cm) in 5000 m Tiefe im Kristallin hergestellt werden (größere Durchmesser: Forschungsbedarf). Allerdings wären für diese Endlagervariante mind. 130 Bohrungen notwendig, ohne dass alle Abfälle endgelagert werden können (Wiederaufarbeitungsabfälle).**

- 2) **Neu- und Weiterentwicklung in der Bohrtechnik, die Bohrdurchmesser von 90 cm in 5000 m Tiefe im Kristallin ermöglichen, müssten mit öffentlichen Mitteln gefördert werden (Industrie hat keinen Bedarf). Dadurch könnte die Bohrlochzahl auf 31 reduziert und alle Abfälle endgelagert werden.**



5) Zusammenfassung

- 3) Für eine Endlagerung in tiefen Bohrlöchern besteht in vielen Bereichen noch weiterer Forschungsbedarf (bspw. Erkundungsverfahren, Endlagerbehälter, Havariebewältigung) sowie die Notwendigkeit von in situ Tests (bspw. Bohrlochverschluss, Einlagerungs- / Rückholungstechnik).
- 4) Trotz weiterer Forschung erscheint eine Bergung der hochradioaktiven Abfälle bei einer Einlagerung in Tiefen Bohrlöchern über einen Zeitraum von bis zu 500 Jahren (auch zukünftig) aus heutiger Sicht nicht möglich.



5) Zusammenfassung

- 5) Da die Ausweisung eines ewGs vom Typ A nicht zu erwarten ist, bilden die überlagernden Schichten aus Salzgestein und/oder Tonstein den ewG (Typ Bb). Wie der Nachweis des sicheren Einschusses geführt werden könnte, ist unklar.
- 6) Ausblick: Sofern weitere Forschungsarbeiten zur Endlagerung in tiefen Bohrlöchern stattfinden, erscheint am ehesten sinnvoll, die Endlagerung von radioaktiven Abfallstoffen in tiefen Bohrlöchern in einem Salzstock im Rahmen von weiteren Forschungsarbeiten zu untersuchen, wodurch bereits einige „Risiken“ beseitigt werden können (bessere Wärmeableitung, dichter Bohrlochverschluss).



Quellen

- Ekologia (2017)** **EKOLOGIA: “Gaz łupkowy w Polsce: Na Pomorzu popłynął gaz z łupków”, URL: <<http://www.ekologia.pl/wiadomosci/energia/gaz-lupkowy-w-polsce-na-pomorzu-poplynal-gaz-z-lupkow,18576.html>>, abgerufen am 04.09.2017.**
- Sandia (2012)** **ARNOLD, Bill W.; VAUGHN, Palmer; MACKINNON, Robert; TILLMAN, Jack; NIELSON, Dennis; BRADY, Patrick V.; HALSEY, William; ALTMAN, Susan: “Research, Development, and Demonstration Roadmap for Deep Borehole Disposal”, Sandia National Laboratories, Albuquerque/Livermore, 2012.**
- SKB (2010)** **SKB: “Choice of method - evaluation of strategies and systems for disposal of spent nuclear fuel”, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2010.**



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

Verantwortung
für Generationen

Responsibility
for Generations

DBE-TEC
DBE TECHNOLOGY GmbH

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

TU Bergakademie Freiberg | Institut für Bergbau und Spezialtiefbau
Dr.-Ing. Tino Rosenzweig, M.Sc. | Gustav-Zeuner-Straße 1a | 09599 Freiberg
Tel. 03731/39-3870 | Fax 03731/39-3581 | Tino.Rosenzweig@mabb.tu-freiberg.de

Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren: Einfluss der Temperatur, der Mineralstruktur und der mikrobiellen Aktivität

T. Arnold,¹ A. Cherkouk,¹ G. Grathoff,² J. Kasbohm,² A. Kremleva,³
S. Krüger,³ N. Matschiavelli,¹ A. Meleshyn,⁴ C. Podlech,² L. Warr²

¹ HZDR, ² Uni Greifswald, ³ TU München, ⁴ GRS Braunschweig

21.06.2018

13. Projektstatusgespräch, Karlsruhe

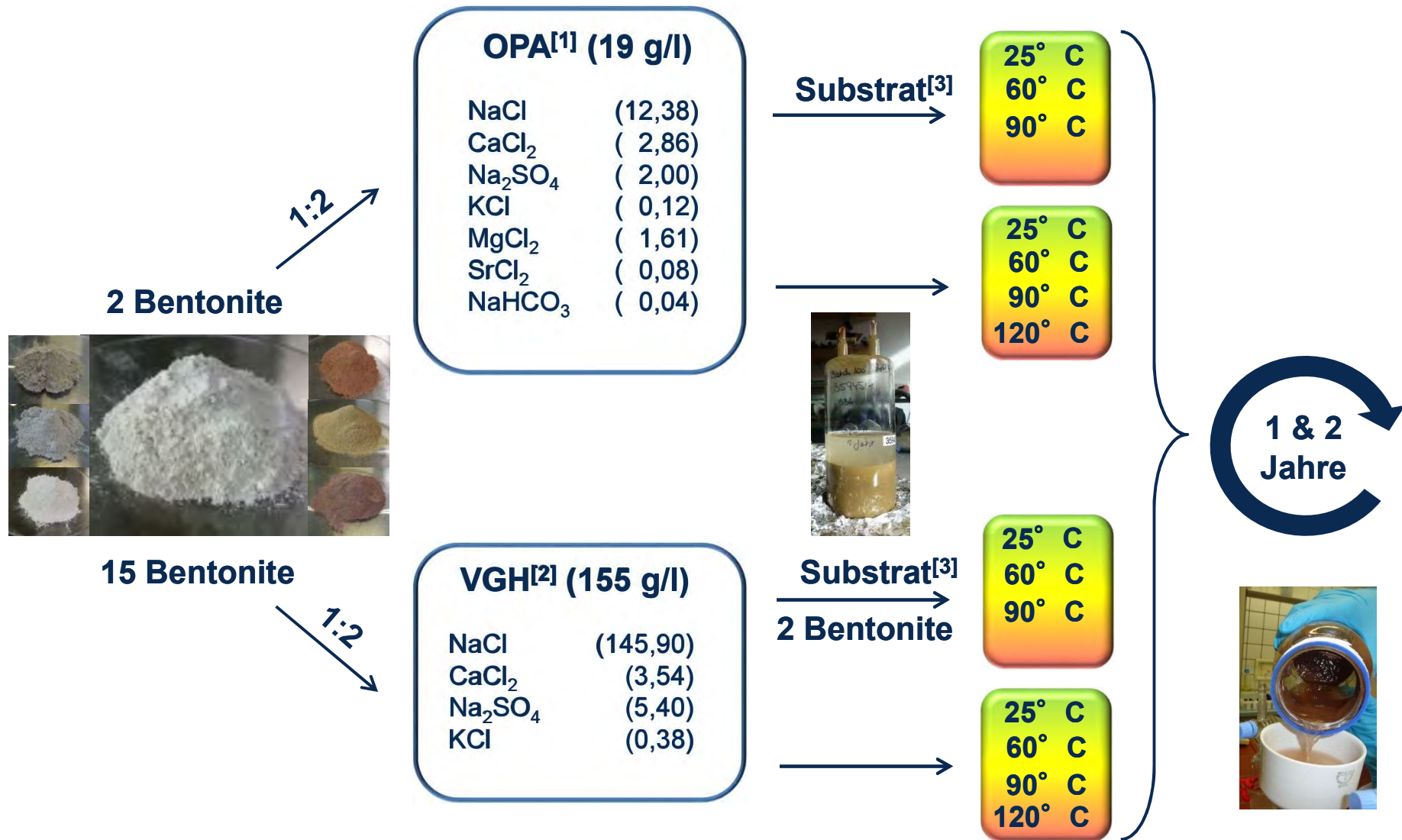
Projektlaufzeit: 01.2015 – 12.2018 / 02.2019 (BMW-FKZ: 02E11344)

Die Zielsetzungen des Vorhabens berühren den Förderschwerpunkt „6.1 Endlagersystem“ des BMW-Förderkonzeptes 2011–2014 mit dem FuE-Thema „Untersuchung und Auswahl geeigneter Verfüll- und Puffermaterialien für Endlager in Steinsalz und Tonstein, insbesondere hinsichtlich des Verhaltens gegenüber Gasen und Flüssigkeiten, sowie ihres Sorptionsverhaltens“.

Vorhabenziele:

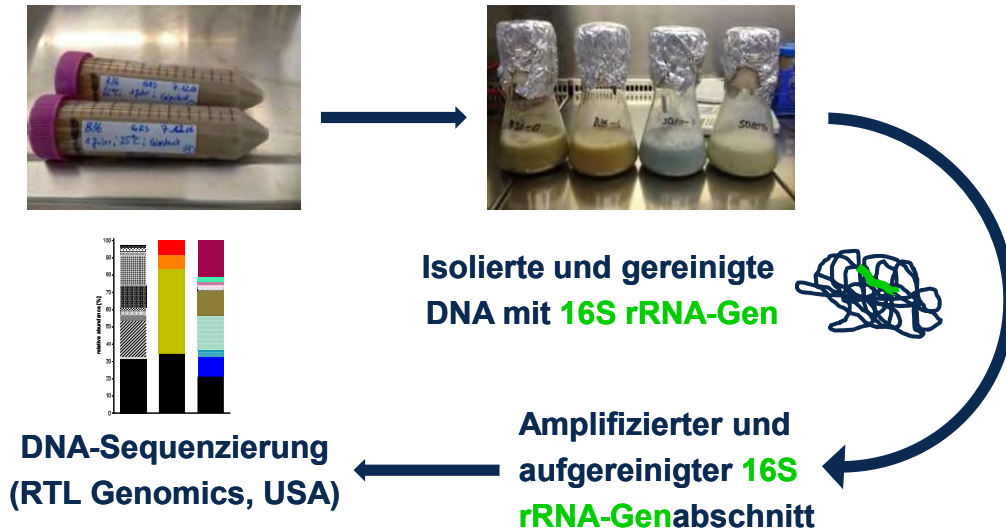
- Untersuchung der Umwandlungsmechanismen von Bentoniten als Funktion von Lösungszusammensetzung und Temperatur;
- Korrelierung der chemisch-mineralogischen Veränderungen der kompaktierten Bentonite mit Änderungen des Quelldrucks und der Permeabilität;
- Untersuchungen zum möglichen Einfluss von Bentonit-eigenen Mikroben;
- Ableitung von Kriterien zur Auswahl optimal geeigneter Bentonite für den Einsatz in Endlagern.

- GRS Braunschweig (Koordinator)
Batchversuche, Quelldruck/Permeabilität, Fe(II)/Fe(III), Gasfreisetzung
- Institut für Geographie und Geologie, Universität Greifswald
mineralogische Untersuchungen der Bentonite
- Institut für Ressourcenökologie, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
mikrobiologische Untersuchungen der Bentonite
- Theoretische Chemie, Technische Universität München
quantenchemische Berechnungen der Tonmineralstruktur



[1] Opalinustonporenlösung (OPA), relevant für Endlagerstandortmodell Süd
 [2] verdünnte Gipshuttlösung (VGH), relevant für Endlagerstandortmodell Nord
 [3] Lactat + Azetat + Methanol + Anthrachinon-2,6-disulfonat

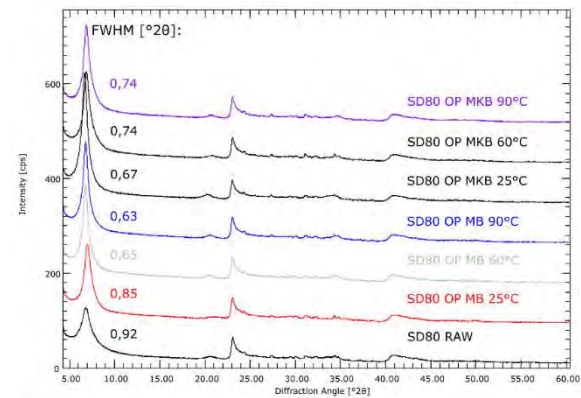
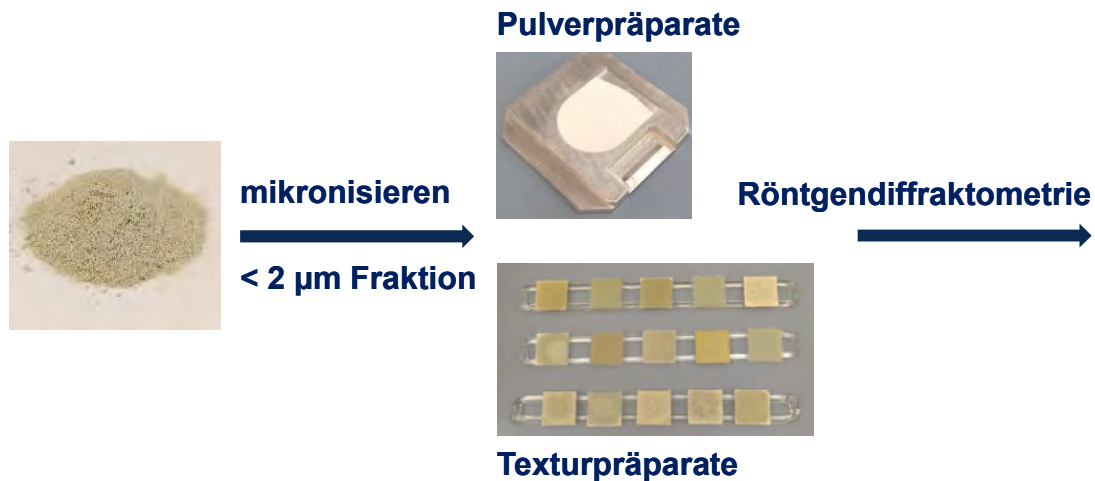
Analyse der mikrobiellen Diversität

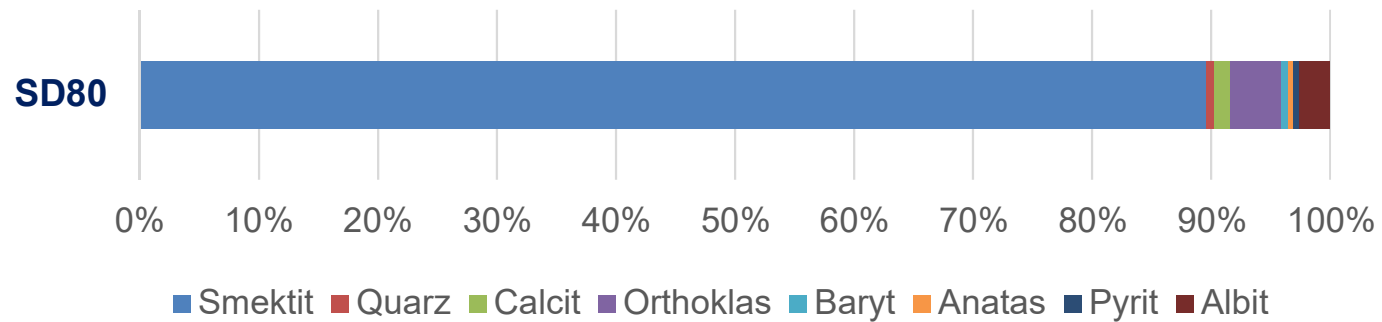
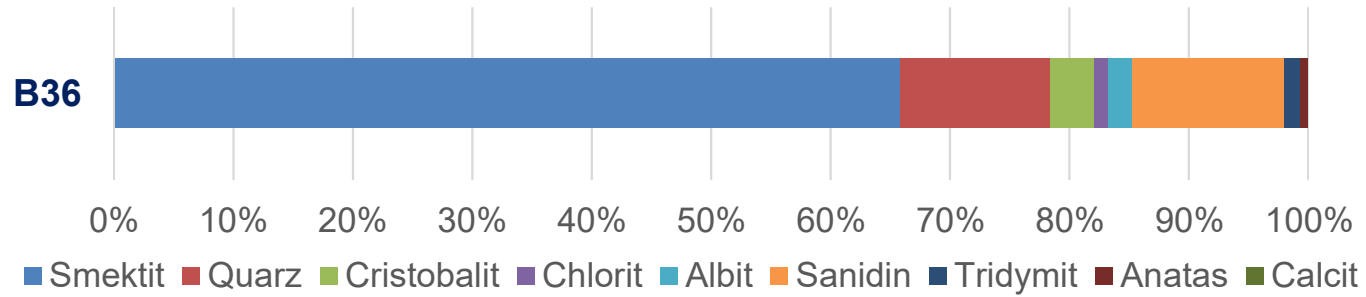


Quelldruck und Permeabilität



Tonmineralogische Analyse





25°C
60°C
90°C
120°C

VGH



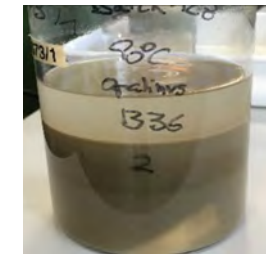
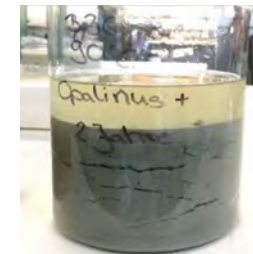
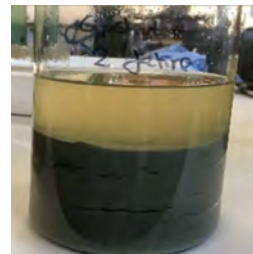
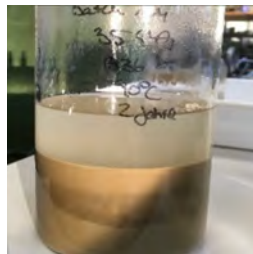
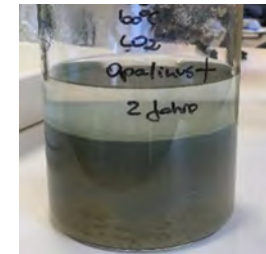
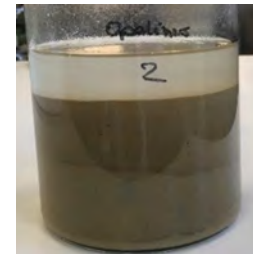
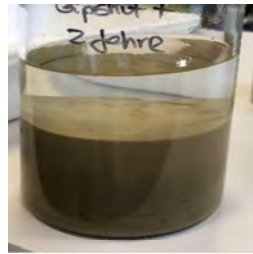
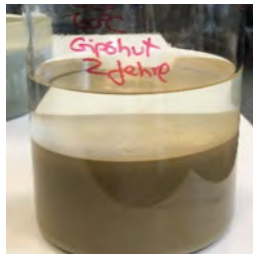
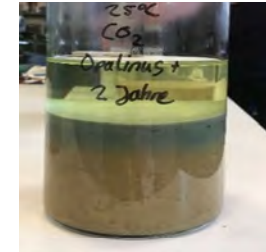
VGH + S



OPA

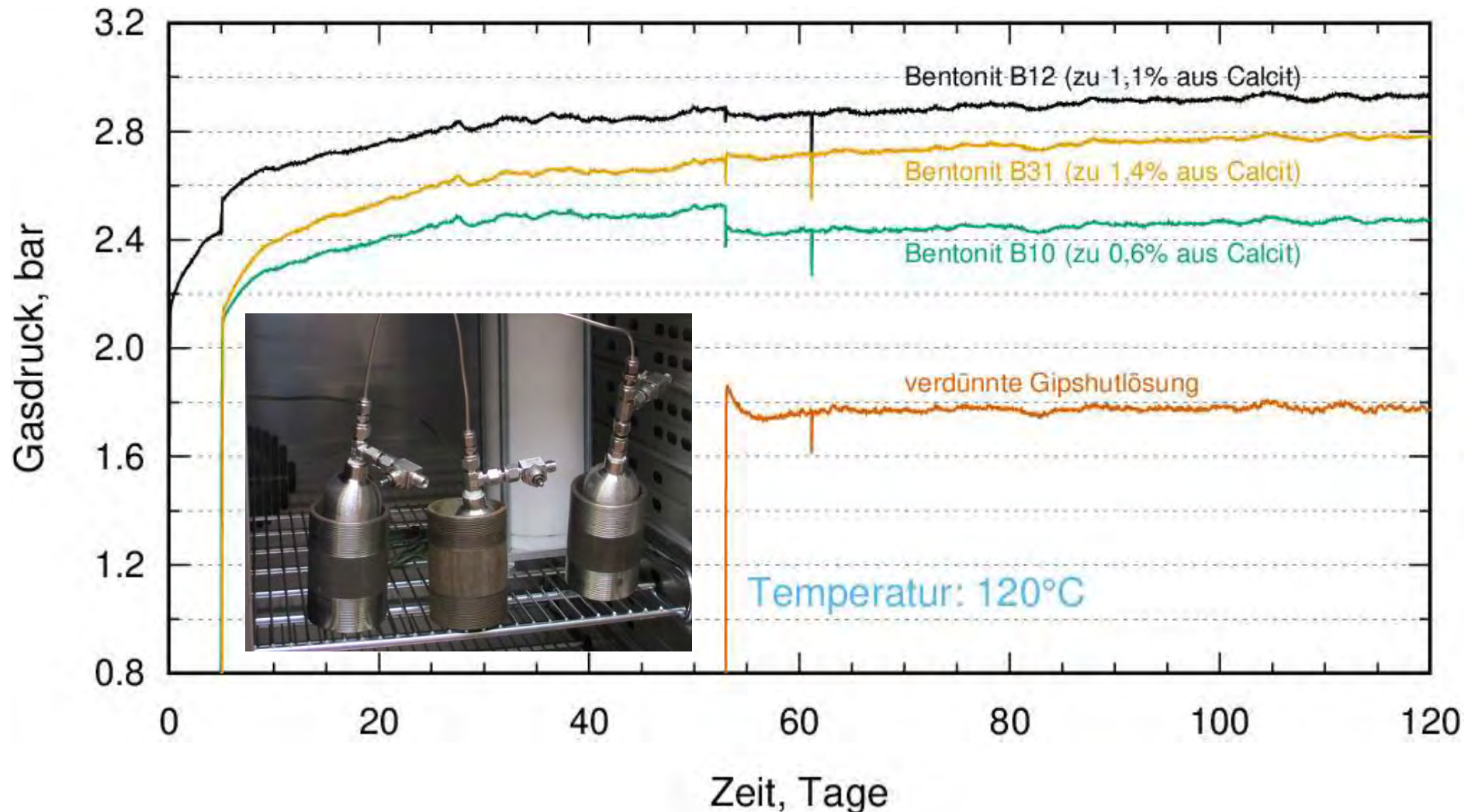


OPA + S

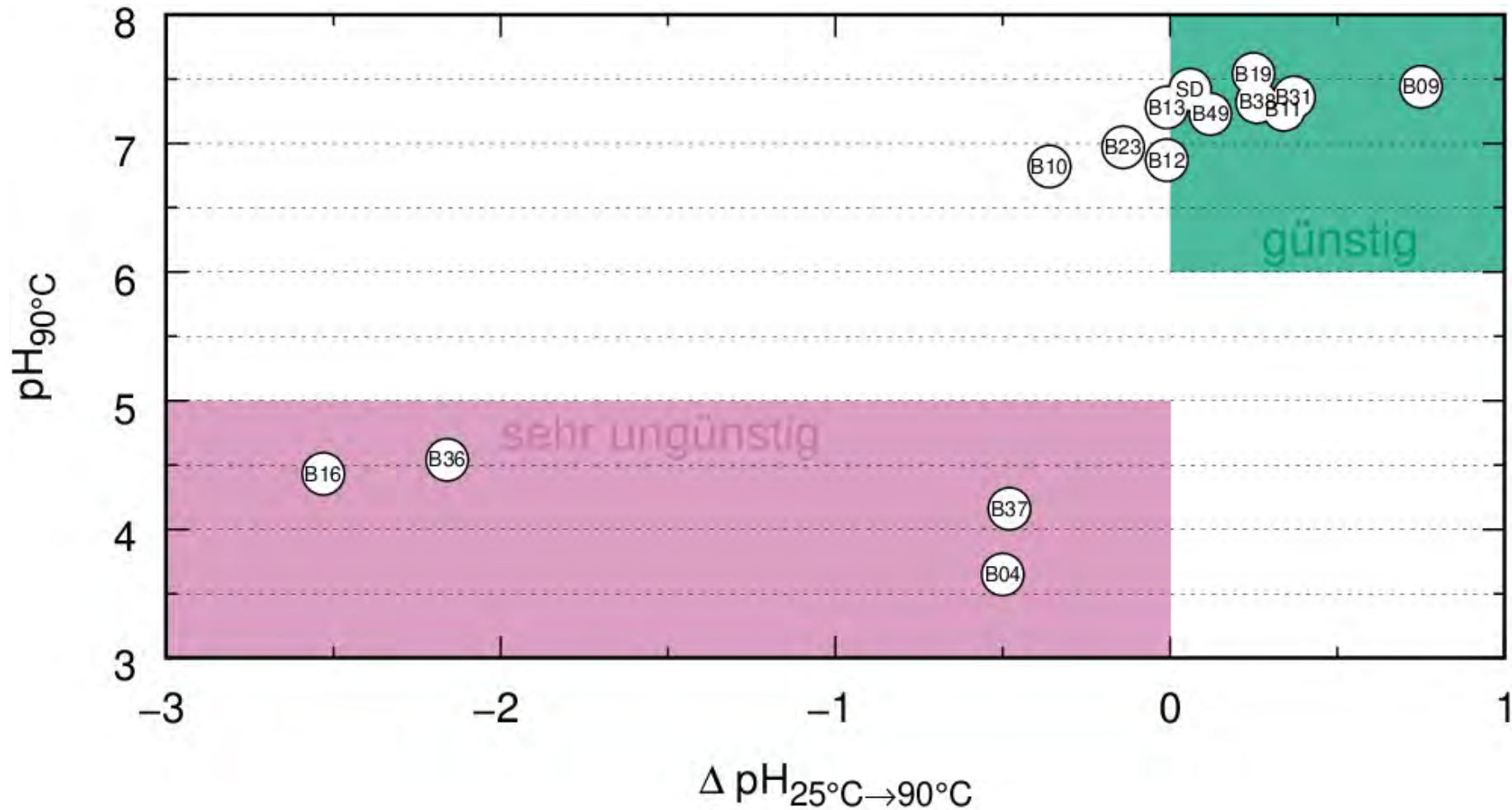


120°C

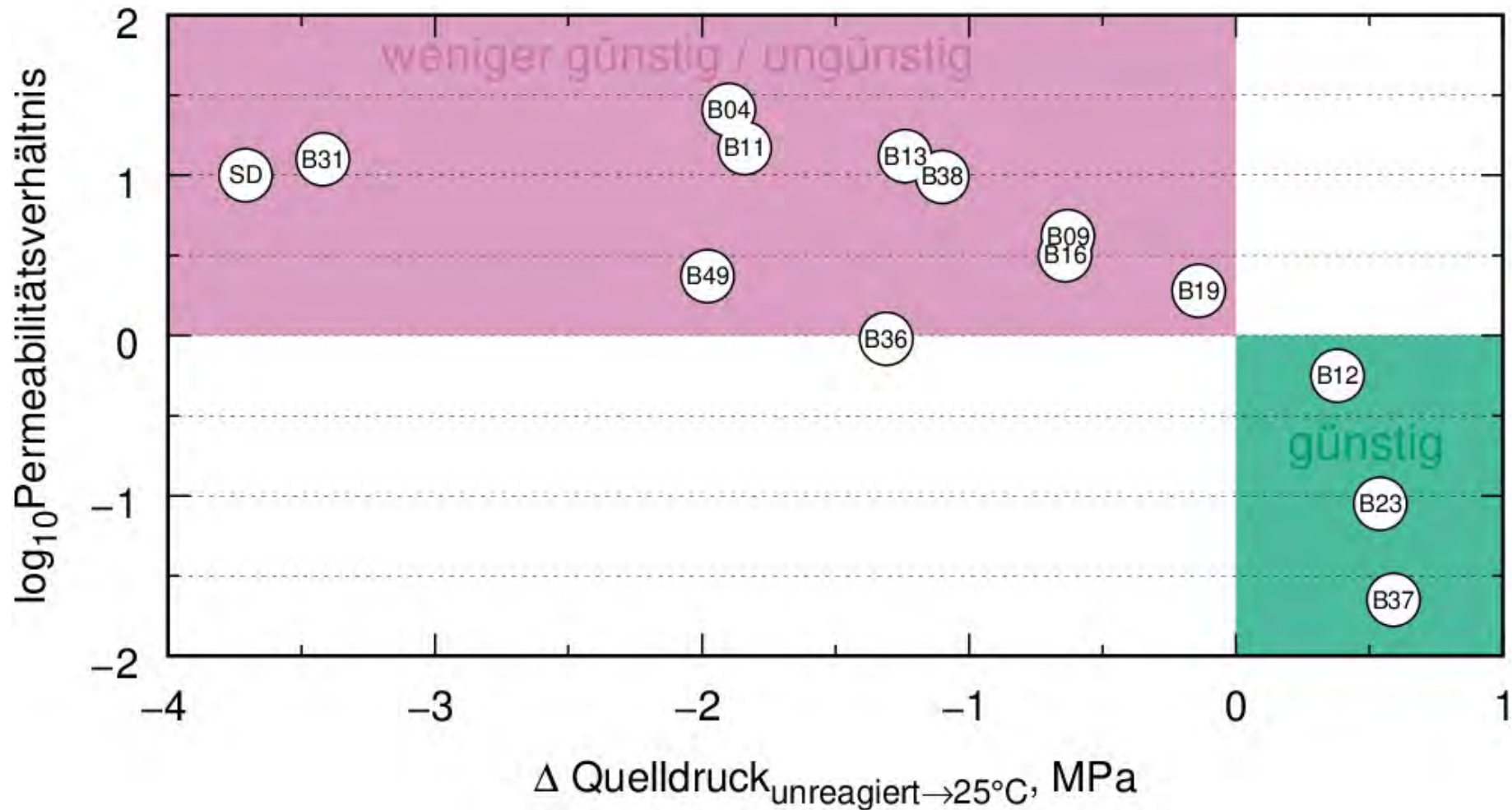




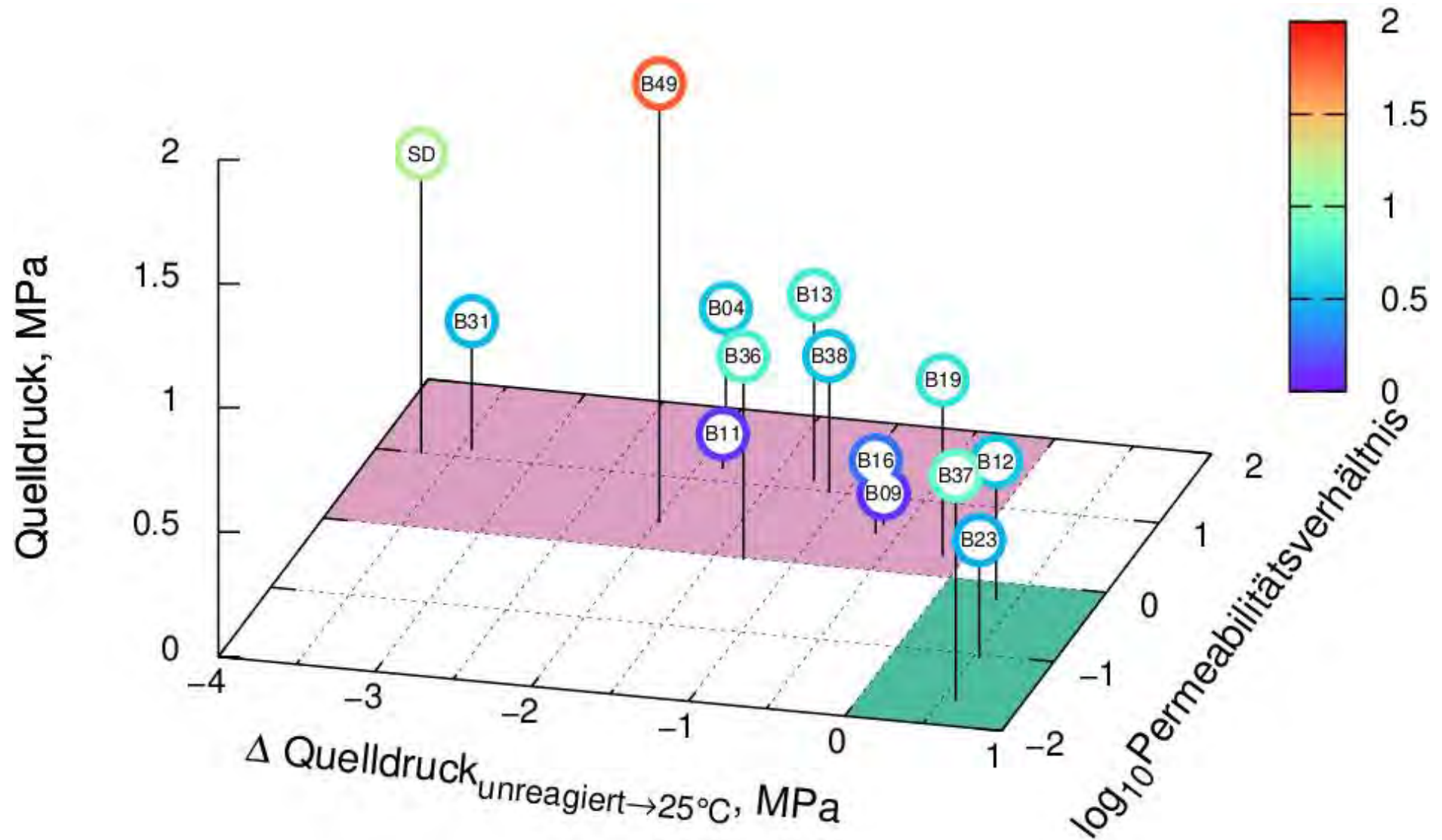
Zersetzung von 1,1 bis 2,1% der Masse der Calcit-haltigen Bentonite pro Jahr
Ungünstig hinsichtlich Integrität der Barriere und Radionuklidrückhaltung

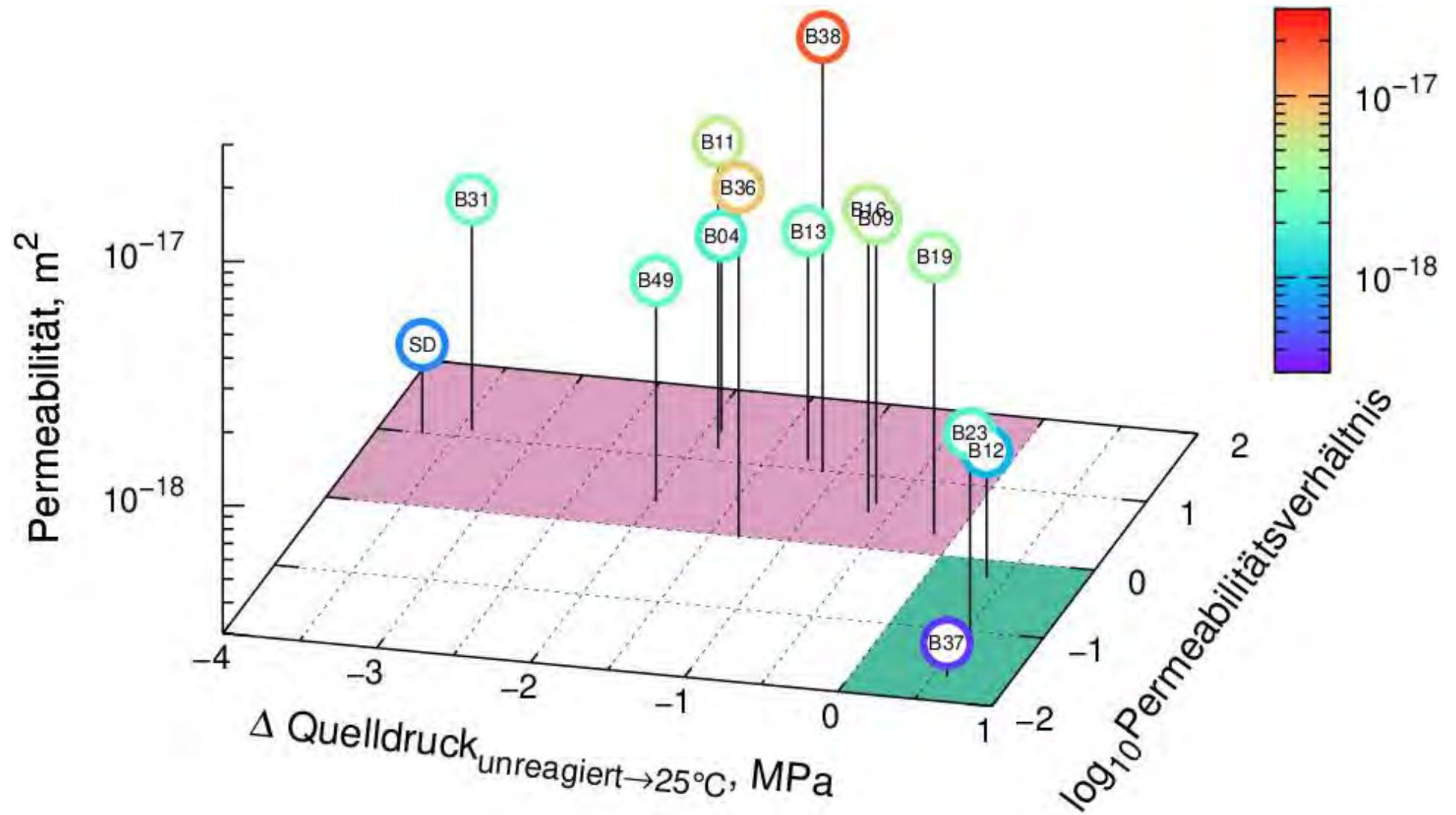


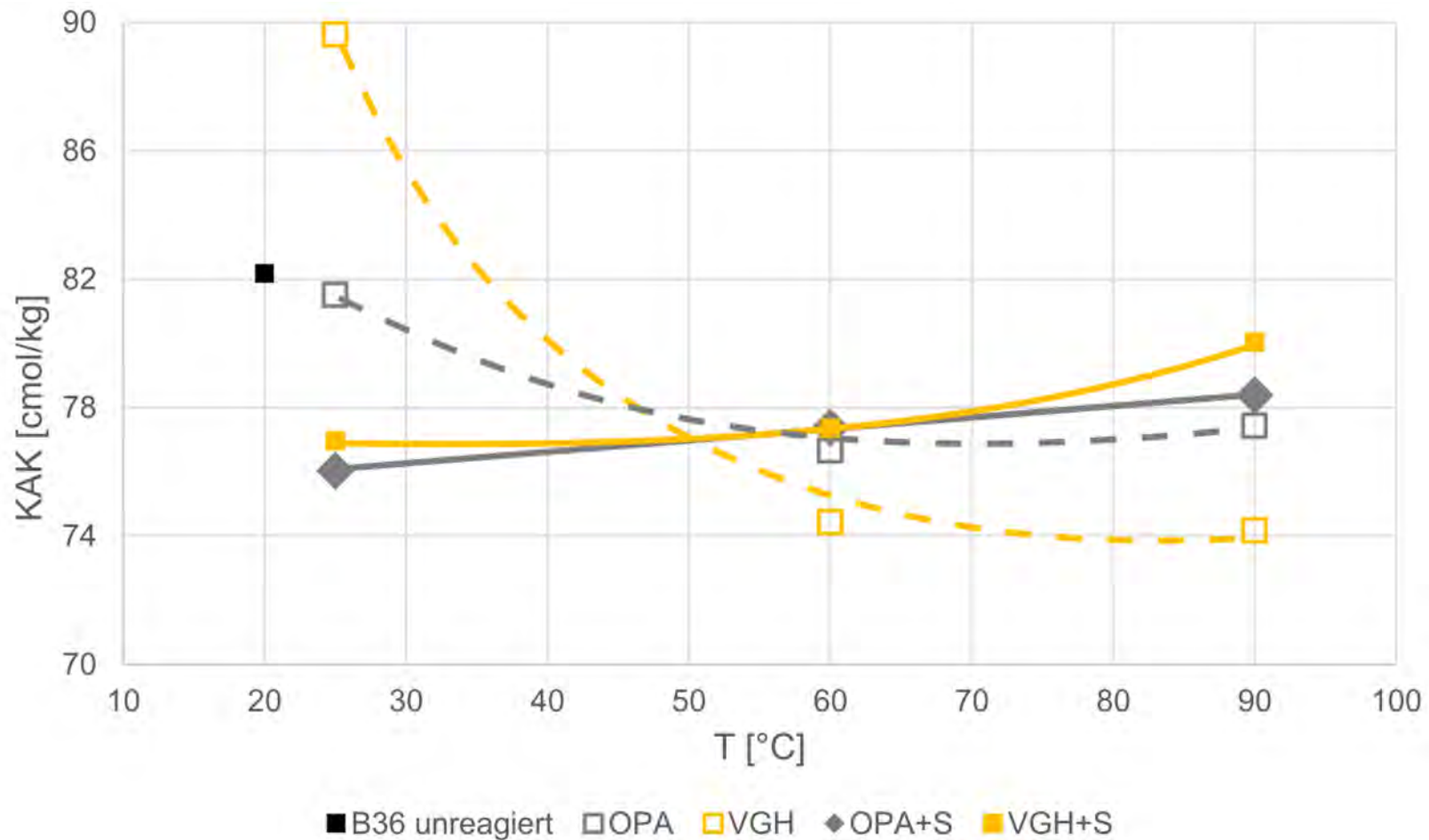
Günstig/ungünstig hinsichtlich Behälterkorrosion, Radionuklidfreisetzung und -transport



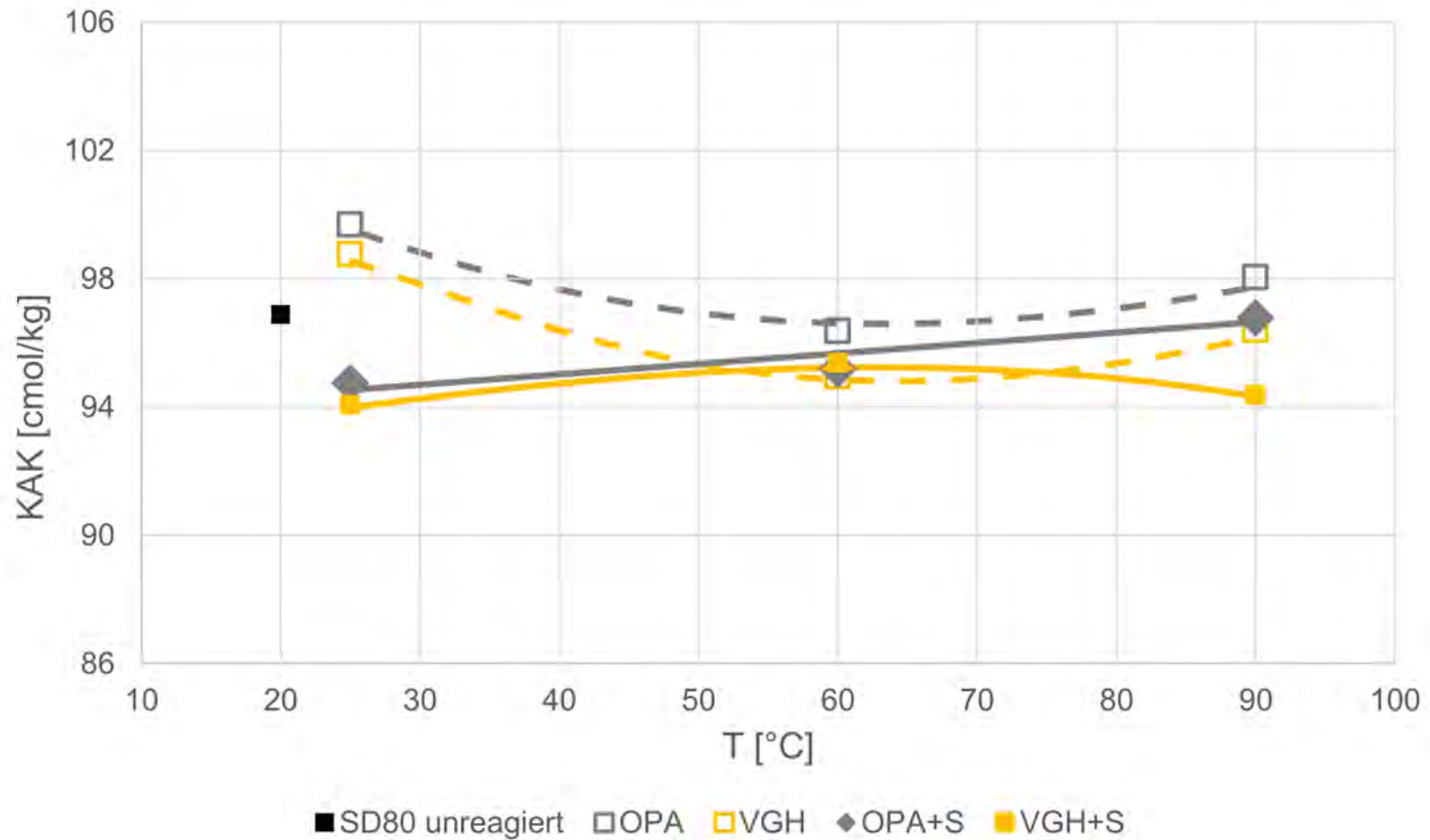
Günstig/ungünstig hinsichtlich Abdichtung, Stützdruck

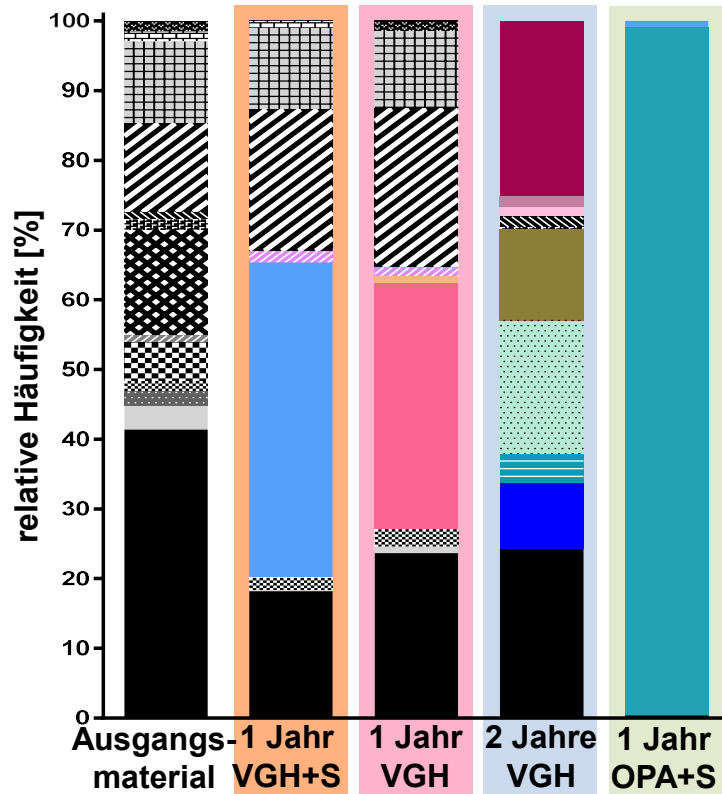




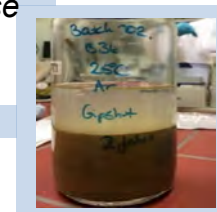
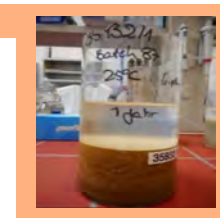
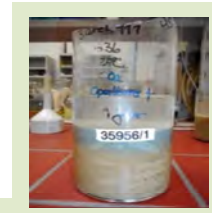


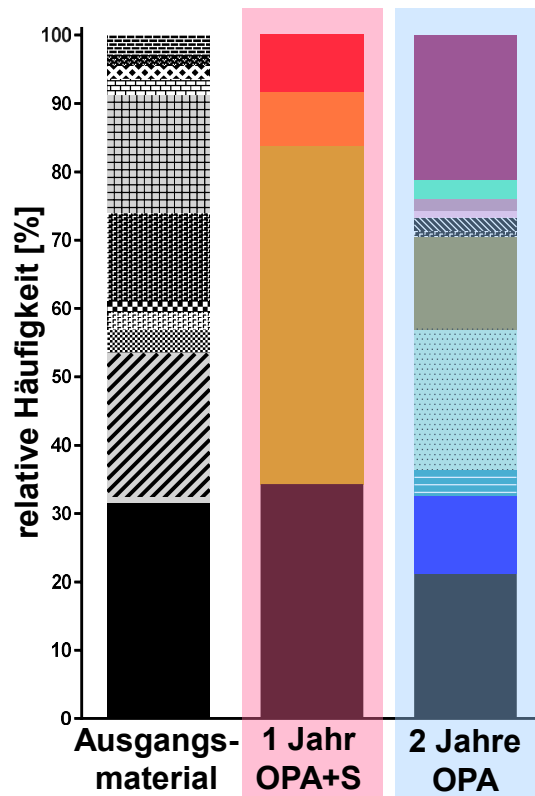
KAK-Rückgang ist **ungünstig** hinsichtlich Radionuklidrückhaltung



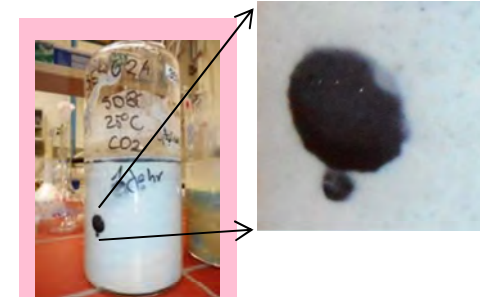


- Archaea
- Andere (nicht klassifiziert, unbekannt und/oder unter 1 %)
- kein Treffer
- *Aquabacterium citratiphilum*
- *Bacillus*
- *Bacillus oleronius*
- *Blastomonas*
- *Marinobacter*
- *Methylibium*
- *Methyloversatilis*
- *Paracoccus*
- *Paracraurococcus*
- *Perlucidibaca piscinae*
- *Phenylobacterium koreense*
- *Pseudonocardia*
- *Saccharopolyspora*
- *Sphingopyxis*





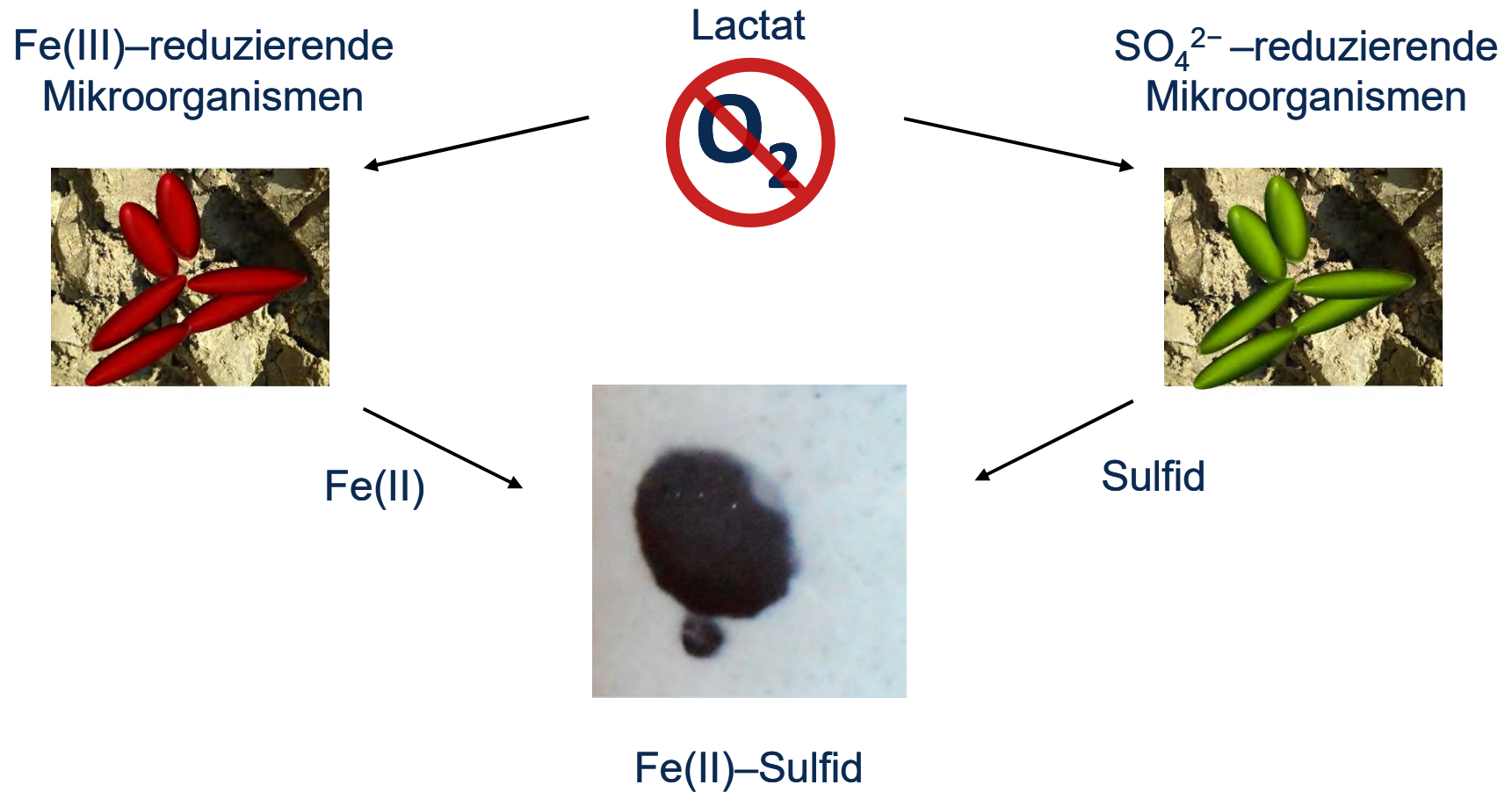
- Archaea
- Andere (nicht klassifiziert, unbekannt und/oder unter 1 %)
- kein Treffer
- *Aquabacterium citratiphilum*
- *Blastomonas*
- *Desulfitobacterium*
- *Desulfosporosinus*
- *Desulfotomaculum*
- *Methylibium*
- *Methyloversatilis*
- *Perucidibaca piscinae*
- *Phenylobacterium koreense*
- *Pseudomonas*
- *Sphingopyxis*



Sulfat-Reduzierer → H₂S



H₂S-Produktion ist **ungünstig** hinsichtlich Behälterkorrosion und Barrierestabilität

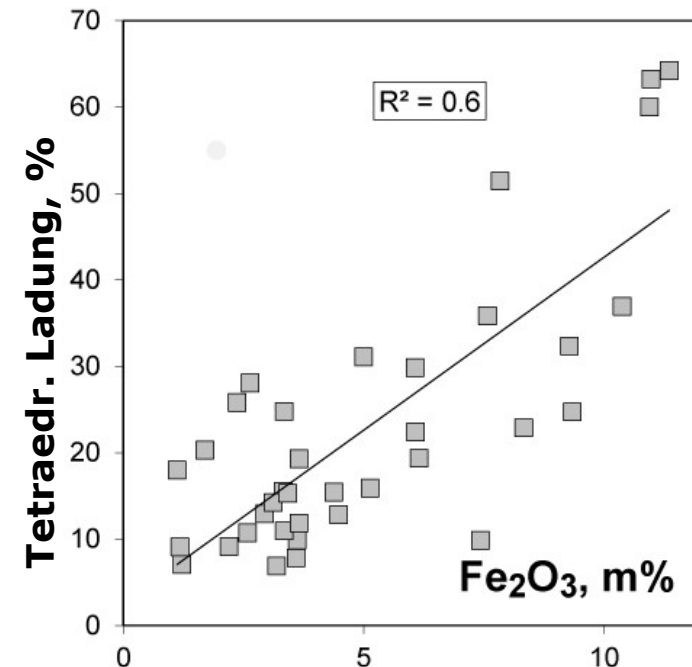


Berechnung von Eigenschaften von Tonmineralen auf atomarem Niveau

Bestimmung optimaler Strukturplätze für oktaedrisches Fe(III) durch die Berechnung der Al(III)→Fe(III) Austauschenergie (kJ/mol):

	$Q_{\text{Tetraedr.}}, \%$	1 Fe(III)	2 Fe(III)
Beidellit	100	3	2
Mix	50	0	3
Montmorillonit	0	8	9
Pyrophyllit	0	13	12

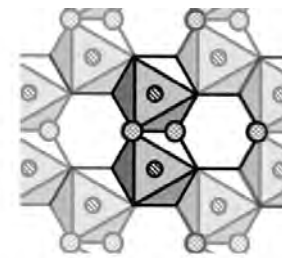
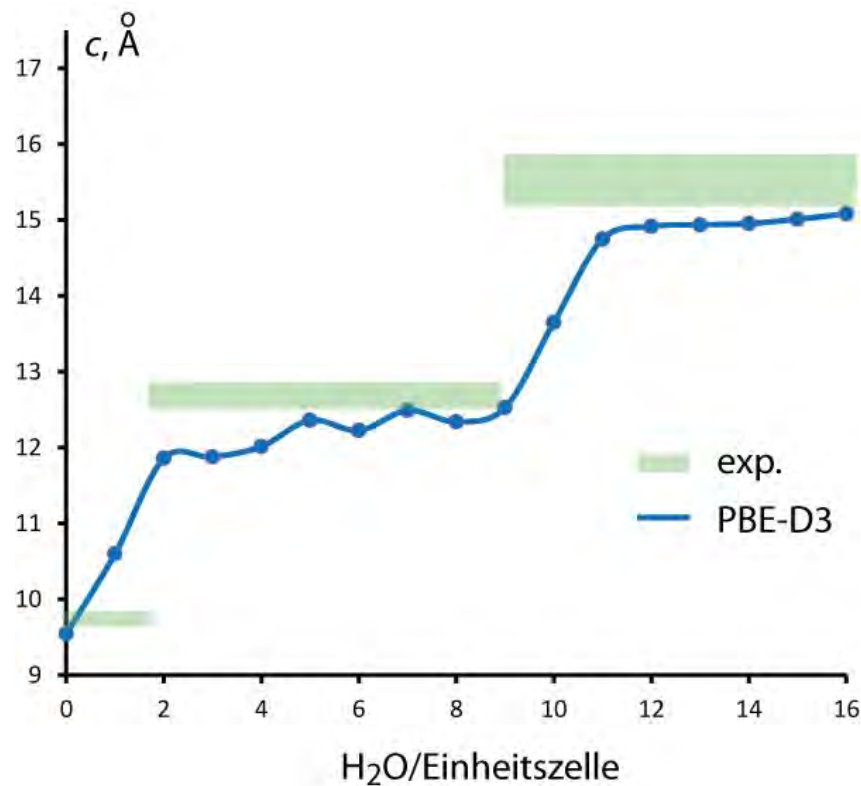
- Tetraedrische Ladung stabilisiert Fe(III)
- Theorie bestätigt und begründet gemessene Korrelation



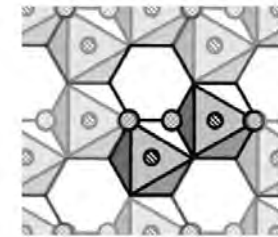
Kaufhold, Kremleva, Krüger et al. ACS Earth Space Chem. (2017)

- Diskrete **Wasserschichten** in Montmorillonit reproduziert

- Bevorzugte Struktur, **trans-** oder **cis-vakant**, reproduziert
- Korrelationen zwischen **Fe(III)-Gehalt**, **trans-** und **cis-vakanter** Struktur und tetraedrischer Ladung



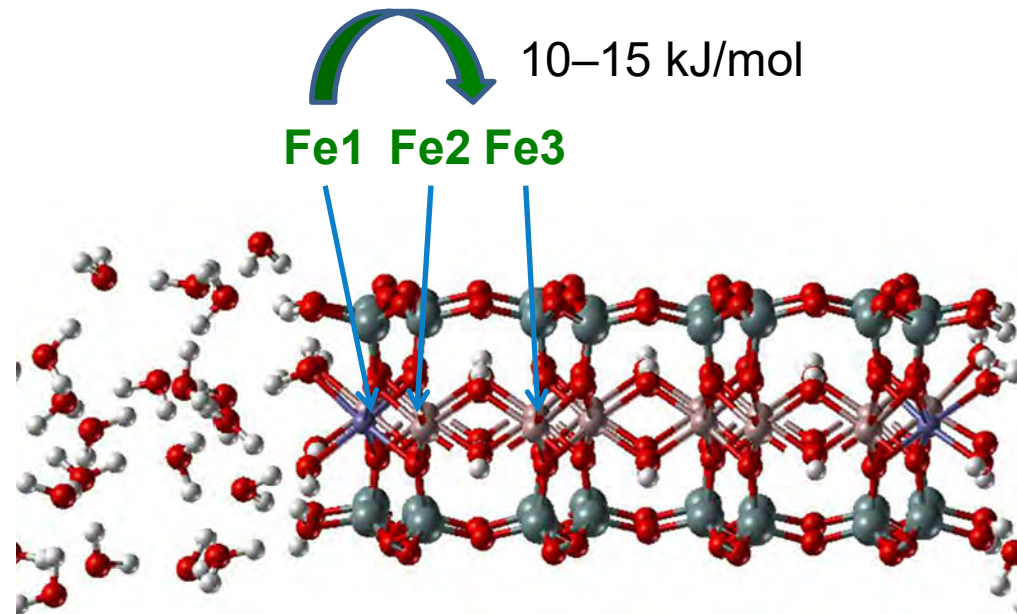
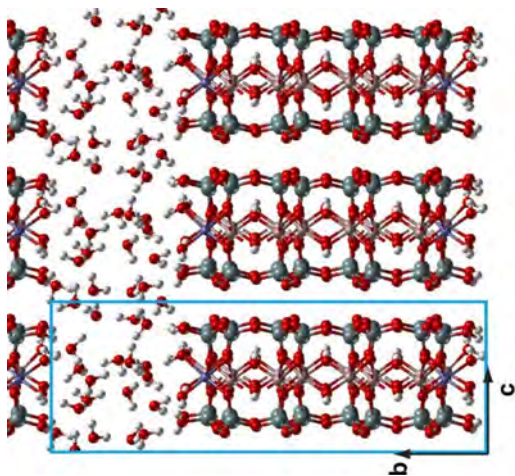
trans



cis

Fe(III) an Kantenfläche

- Oktaedrisches Fe(III) bevorzugt an der Oberfläche
- Fe(III) stabilisiert Oberfläche: Pyrophyllit, Montmorillonit > Beidellit
- Erwartet: Fe(III) verringert Löslichkeit



- Calcit zersetzt sich in Bentoniten bei höheren Temperaturen und setzt CO₂ frei
 - Pufferkapazität der Bentonite kann bei höheren Temperaturen verlorengehen
 - Salinare Lösung kann Quelldruck, Permeabilität und Kationenaustauschkapazität von Bentoniten in erheblichem Maße negativ beeinträchtigen
 - Bentonit-eigene Mikroben können (lokal) ungünstige Entwicklungen verursachen
 - Modellierungen geben Aufschluss über die Stabilität der Fe(III)-haltigen Tonminerale
-
- Quelldruck und Permeabilität für die bei höheren Temperaturen reagierten Bentonite
 - Restliche tonmineralogische Analysen
 - Auswertungen der ausstehenden DNA-Sequenzierungen
 - Fe(II)/Fe(III)-Gehalt in den mikrobiologisch untersuchten Bentoniten
 - Modellierungen von Fe(II) in Tonmineralen

Danksagung

BMWi und Projektträger (FKZ 02E11344)

Dr. S. Kaufhold (BGR, Hannover)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen – Aktuelle Ergebnisse des Verbundprojektes GRaZ

T. Reich, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Kernchemie

Der Vortrag gibt einen Überblick über das Verbundprojekt „Geochemische Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen“ (GRaZ), das der Aktiniden-Verbund, bestehend aus sechs universitären Einrichtungen und zwei Großforschungseinrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft seit 2015 bearbeitet. Die Untersuchungen beziehen sich auf das Endlagerstandortmodell NORD [1], dessen Verfüll- und Verschlusskonzept den Einsatz von Beton und Bentonit vorsieht. Durch Kontakt mit den Poren- und Formationswässern des norddeutschen Tongesteins, die mittlere bis hohe Ionenstärken aufweisen, kann es zur Korrosion des Betons und somit zu einer beträchtlichen Veränderung des geochemischen Milieus im Nahfeld des Endlagers kommen. In dem Verbundprojekt GRaZ wird die Radionuklidrückhaltung an Zement, Zementphasen, Bentonit sowie an Tongestein und Tonmineralien bei hyperalkalinen Bedingungen (pH 10–13) unter dem Einfluss von mittleren und hohen Ionenstärken (150 g/L) sowie von organischen Zementzusatzstoffen und Modellliganden untersucht. Ziel der Untersuchungen sind die Bereitstellung von umfassenden und abgesicherten thermodynamischen Daten für Datenbanken (z.B. THEREDA, NEA TDB) und die Entwicklung eines Prozessverständnisses für die Radionuklidmigration. Ein weiteres Ziel ist die Analyse, in wieweit die für niedrige Ionenstärken bekannten Ergebnisse auf höhere Ionenstärken übertragbar sind. Die für den Vortrag ausgewählten aktuellen Ergebnisse geben einen Überblick über

- Studien zur Rückhaltung von Europium, Thorium, Uran, Neptunium, Plutonium, Americium und Curium an Calcium-Silicat-Hydrat-Phasen als ein Hauptbestandteil von Zementstein und
- Untersuchungen zum Abbau des Zementzusatzstoffes Glenium® 51 sowie seine Komplexierung mit Europium.

Diese Übersicht wird ergänzt durch den anschließenden Vortrag von Felix Rieder, der im Rahmen seiner Promotion am KIT/INE den Einfluss von Zementadditiven auf die Löslichkeit und die Sorption von Radionukliden studiert. Die Nachwuchsförderung und der Kompetenzerhalt sind ein wichtiges Anliegen des Aktiniden-Verbundes. Durch die finanzielle Förderung des BMWi und die Unterstützung des PTKA konnten bisher elf Doktorandinnen bzw. Doktoranden sowie zwölf Postdocs im Verbundprojekt GRaZ tätig sein. Weiterhin wurden in 30 Bachelor-, Master- bzw. Diplomarbeiten Themen dieses Verbundprojektes bearbeitet.

Aus den bisher erzielten Ergebnissen der laufenden Projektphase wurden weitere wichtige Fragen abgeleitet, die der Verbund in einer achtzehnmonatigen Aufstockungsphase bearbeitet wird.

Literatur

1. A. Lommerzheim, M. Jobmann: Projekt ANSICHT – Endlagerkonzept sowie Verfüll- und Verschlusskonzept für das Endlagerstandortmodell NORD, DBE Technology GmbH, TEC-14-2015-TB, 2015.

Radionuklidrückhaltung an Zementalterationsphasen – Aktuelle Ergebnisse des Verbundprojektes GRaZ

T. Reich

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Kernchemie

13. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Projekten zur
Entsorgung radioaktiver Abfälle

Karlsruhe, 21.06.2018

• Gliederung

Zielsetzung

Angaben zum Projektverbund

Aktuelle Ergebnisse zur

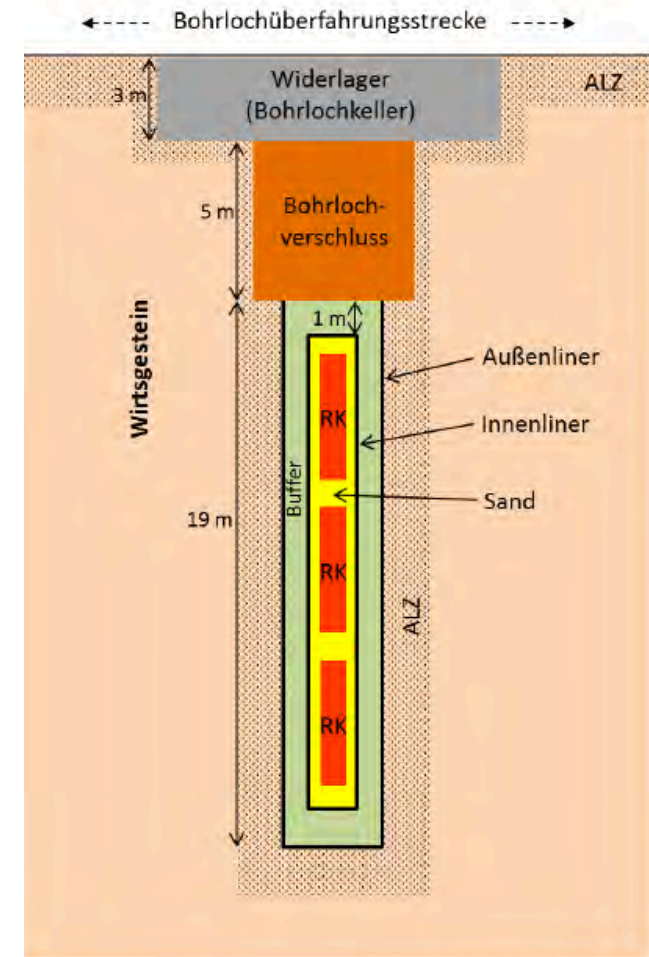
- Radionuklidrückhaltung an Calcium-Silicat-Hydrat-Phasen (CSH-Phasen)
- Wechselwirkung von Europium(III) mit einem Zementadditiv (Glenium® 51)

Zusammenfassung und Ausblick

• Zielsetzung

Standortmodell NORD für ein Endlager im norddeutschen Unterkreideton

- Einsatz von Beton und Bentonit in der geotechnischen Barriere
- Poren- und Formationswässer der norddeutschen Tonsteinvorkommen besitzen mittlere bis hohe Ionenstärke
- Korrosion des Betons durch Kontakt mit den Formationswässern
 - ➔Beträchtliche Beeinflussung des geochemischen Milieus im Nahfeld des Endlagers
 - ➔Beeinflussung des Rückhaltevermögens gegenüber Radionukliden



Quelle: DBE Technology, Techn. Bericht zum Projekt AnSichT, 2014

• Zielsetzung

Untersuchung der Radionuklidrückhaltung an

- Zement, Zementphasen,
- Bentonit und
- Tongestein und Tonminerale

in hyperalkalinen Bedingungen (pH 10 – 13) unter dem Einfluss von mittleren und hohen Ionenstärken (150 g/L) sowie von organischen Zementzusatzstoffen und Modellliganden

Ziele der Untersuchungen sind:

- Umfassende und abgesicherte thermodynamische Daten für Datenbanken (z.B. THEREDA, NEA TDB)
- Entwicklung eines Prozessverständnisses für die Radionuklidmigration
- Analyse der Übertragbarkeit der bei niedrigen Ionenstärken erhaltenen Ergebnisse auf höhere Ionenstärken

• Angaben zum Projektverbund

Partner des Projektverbundes

Universität Mainz, Inst. f. Kernchemie



Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Inst. f. Ressourcenökologie



Karlsruher Institut für Technologie, Inst. f. Nukleare Entsorgung



Universität des Saarlandes, Anorganische Chemie



TU München, Fachgebiet Theoretische Chemie



Universität Potsdam, Inst. f. Chemie / Phys. Chemie



TU Dresden, Sachgebiet Strahlenschutz, Professur Radiochemie

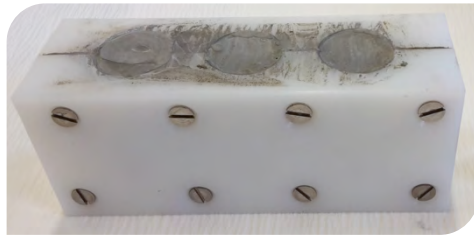


Universität Heidelberg, Phys.-Chem. Institut

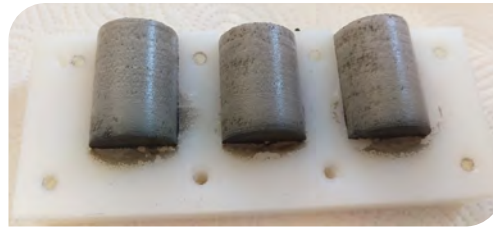


• Radionuklidrückhaltung an Zementphasen

Präparation und Zusammensetzung des Zementsteins



Einfüllen in Formen und Erhärten



Entformen nach 48 h

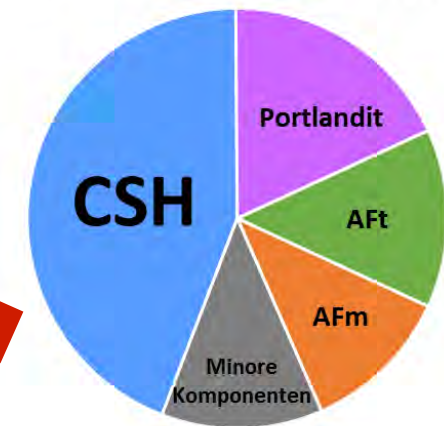


Anrühren des Zementleims



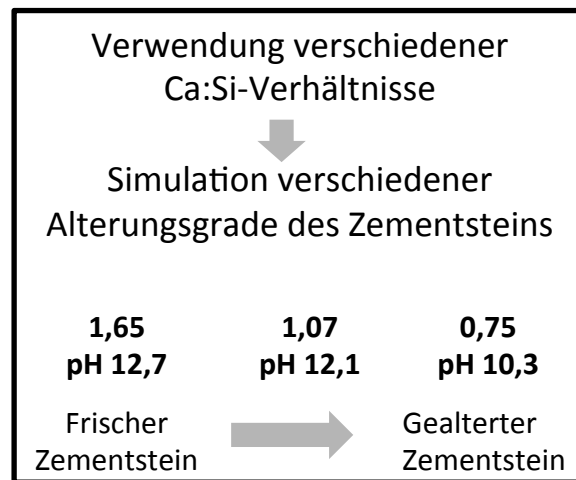
Aushärten im Wasserbad für mindestens 28 d

Zusammensetzung des Zementsteins (w/z = 0,5)



• Radionuklidrückhaltung an CSH-Phasen

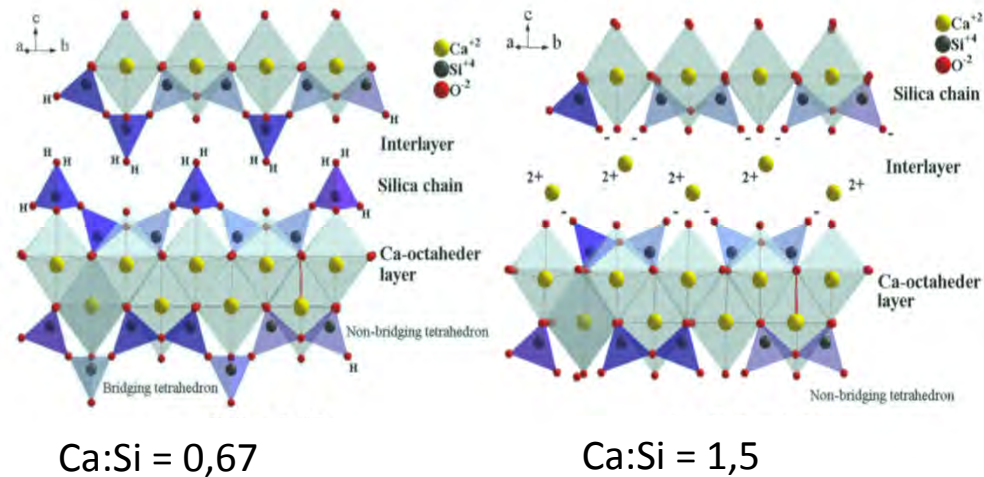
Präparation der CSH-Phasen



Einwaage von CaO und SiO₂ und Auffüllen mit MilliQ-Wasser

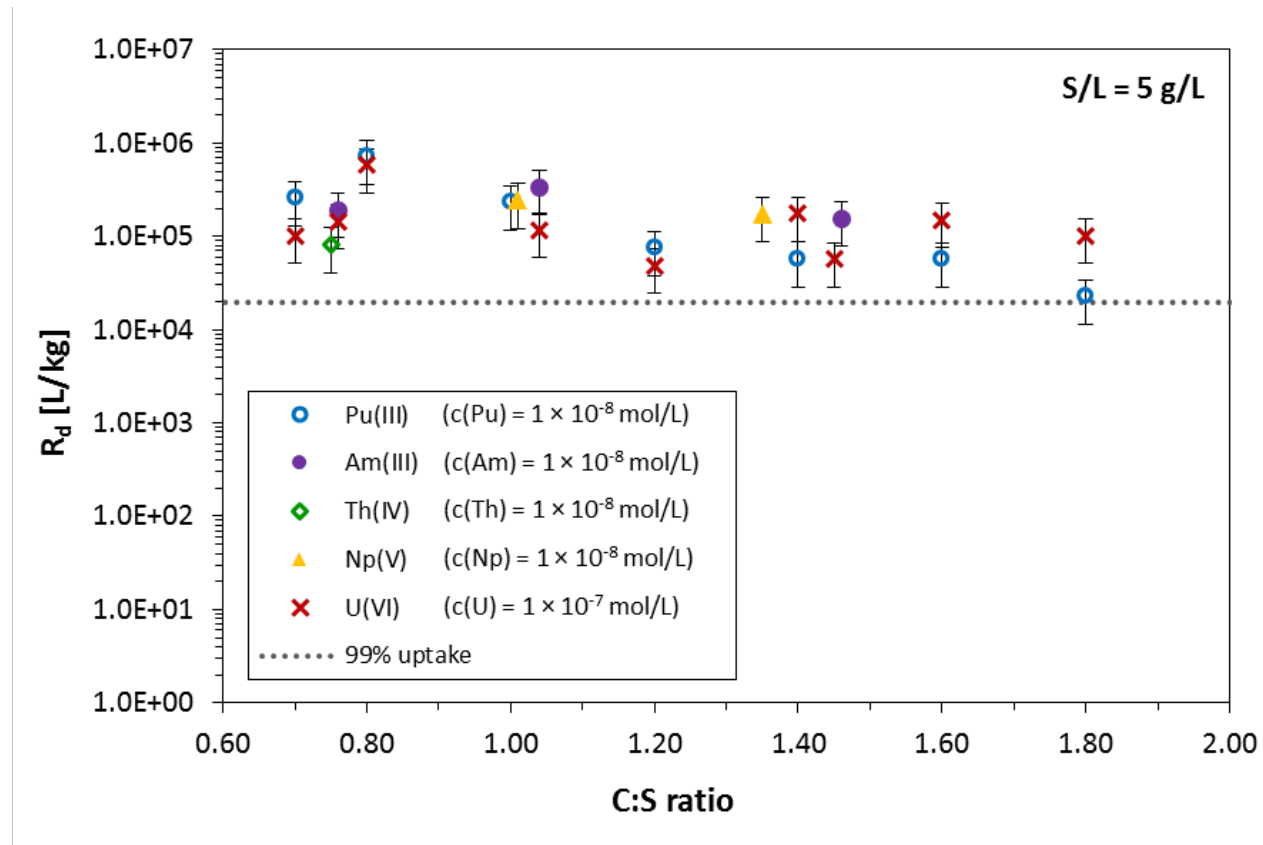


Schütteln im Überkopffrotator für 14 d



• Radionuklidrückhaltung an CSH-Phasen

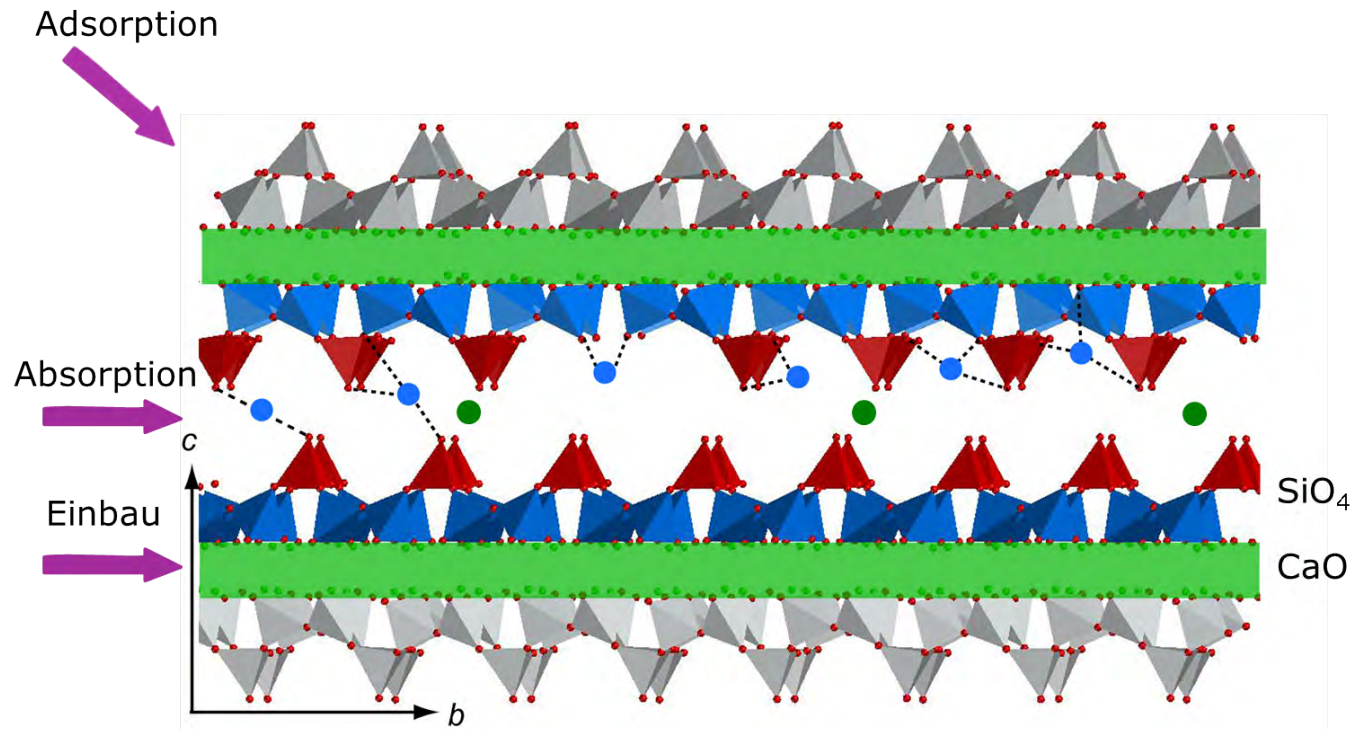
R_d -Werte für Pu(III), Am(III), Th(IV), Np(V), U(VI)



Nahezu vollständige Rückhaltung der Actiniden an den CSH-Phasen im alkalischen pH-Bereich (10 – 13)

• Radionuklidrückhaltung an CSH-Phasen

Strukturmodell Tobermorit



Mögliche Prozesse:

- Adsorption
- Absorption in der Zwischenschicht, verschiedene Plätze möglich
- Einbau in das Schichtgitter

• Radionuklidrückhaltung an CSH-Phasen

Quantenmechanische Modellierung für U(IV) und Vergleich mit EXAFS-Strukturparametern

An(IV)	Methode	An-O (Å)	An-Si (Å)	An-Ca (Å)
U	QM	2,30	3,00 – 3,65	3,50 – 4,35
Np*	EXAFS	2,30	3,60	4,20
Pu	EXAFS	2,28	3,17; 3,53	4,10 – 4,20

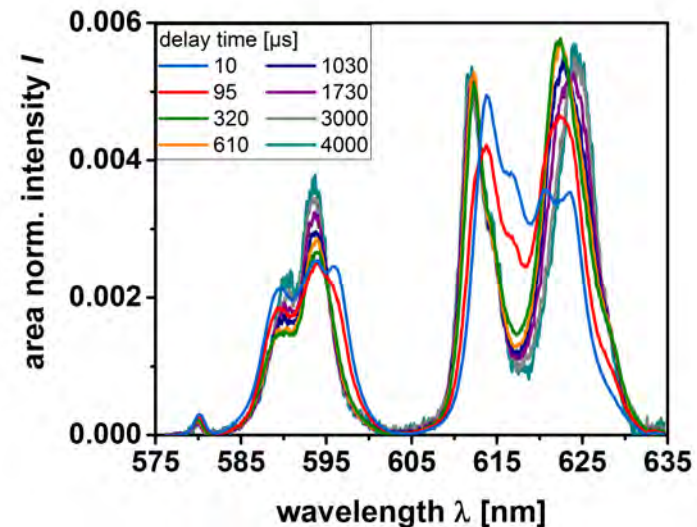
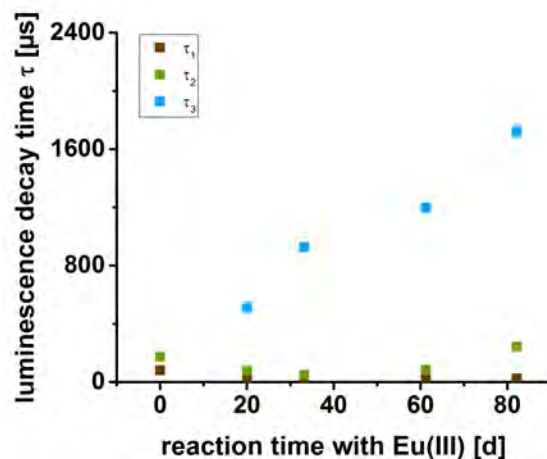
- Berechnete und gemessene Geometrieparameter sind gut vergleichbar
- Mehrere Spezies sind anzunehmen
- Hinweise auf Absorption in der Zwischenschicht

*) Gaona et al., Environ. Sci. Technol. 2011

• Radionuklidrückhaltung an CSH-Phasen

Sorption von Eu(III) an CSH-Phasen

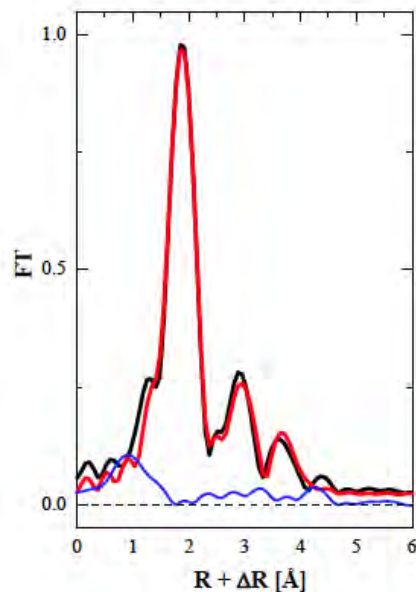
- Sorption von 9×10^{-4} M Eu(III) an CSH-Phasen (C/S = 0,7 und 1,3; pH 12) mit Tonporenwasser als Hintergrundelektrolyt als Funktion der Zeit
- Fluoreszenzabklingzeiten und TRANES weisen auf drei Eu-Spezies
- Mögliche Interpretation der Eu-Spezies:
 - $\text{Eu}(\text{OH})_3$
 - Eu in der Zwischenschicht
 - Eu eingebaut in die CaO-Schicht



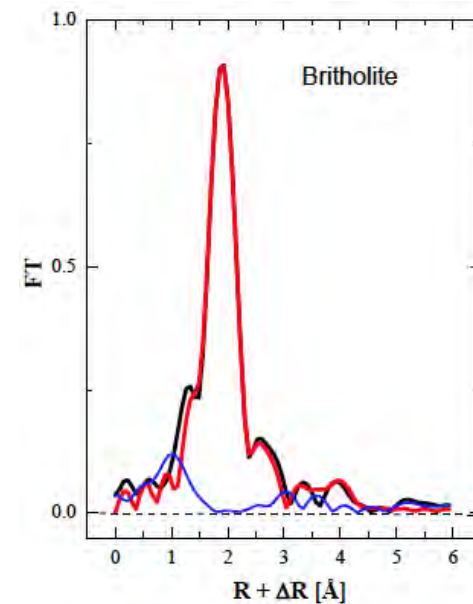
• Radionuklidrückhaltung an CSH-Phasen

Am-dotierte CSH-Phasen

- Synthese von CSH-Phasen ($C/S = 0,4 - 1,2$) in Gegenwart von 10^{-4} M Am(III)
- Existenz von zwei Am-Spezies aus den EXAFS-Spektren ermittelt
- Einbau von Am(III) in die CSH-Struktur



Am-O 2,41 Å
Am-Si 3,16 Å
Am-Si 3,66 Å
Am-Ca 4,19 Å



Am-O 2,44 Å
Am-Si 3,16 Å
Am-Si 3,87 Å
Am-Ca 4,48 Å

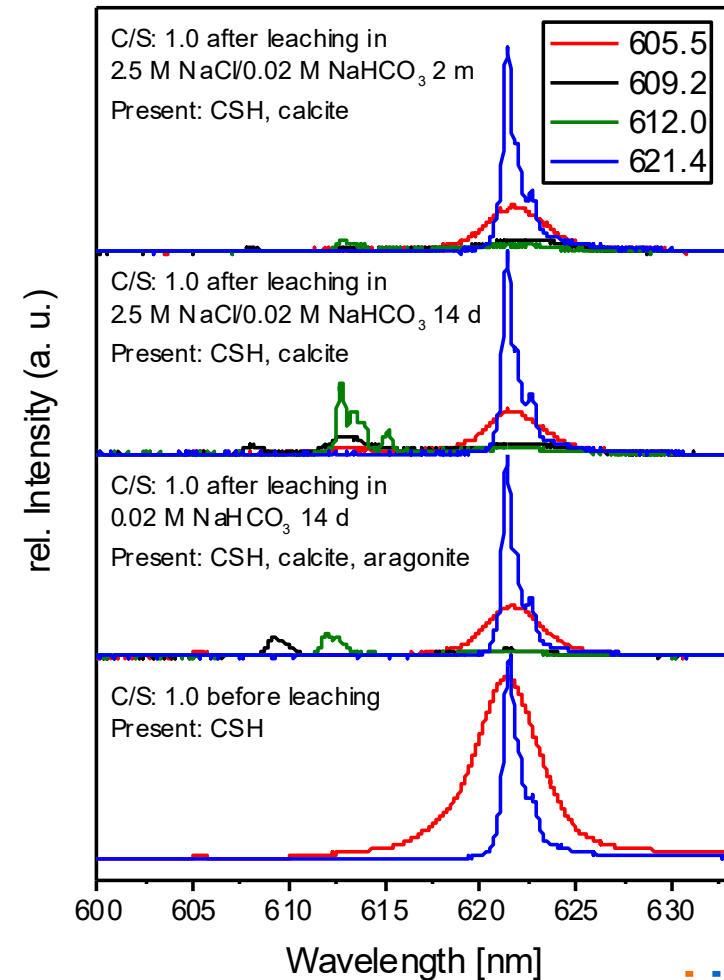
• Radionuklidrückhaltung an CSH-Phasen

Auslaugung von Cm(III) dotierten CSH-Phasen

- Synthese von CSH (C/S = 1,0; 2,0) in Gegenwart von 2,8 μM Cm(III)
- Auslaugung in 0,02 M NaHCO_3 in An- und Abwesenheit von 2,5 M NaCl
- Nach 14 bzw. 60 Tagen wurden weniger als 1 % des Cm(III) freigesetzt
- TRLFS-Messung der Cm-Spezies in den CSH-Phasen

Interpretation der TRLFS-Messung

- Der Einbau von Cm(III) in die CSH-Phase ist gegenüber dem Einbau in Calcit bevorzugt



• Einfluss von Zementzusatzstoffen

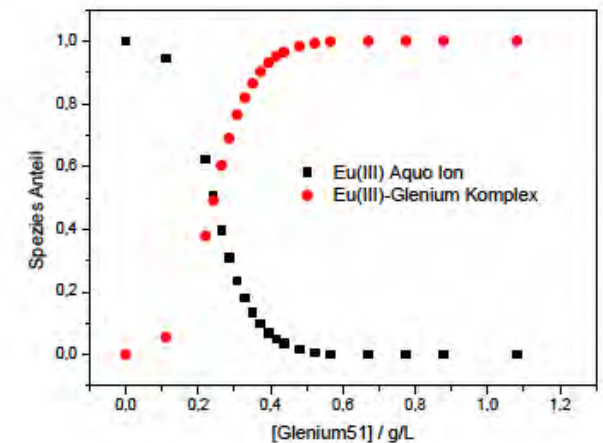
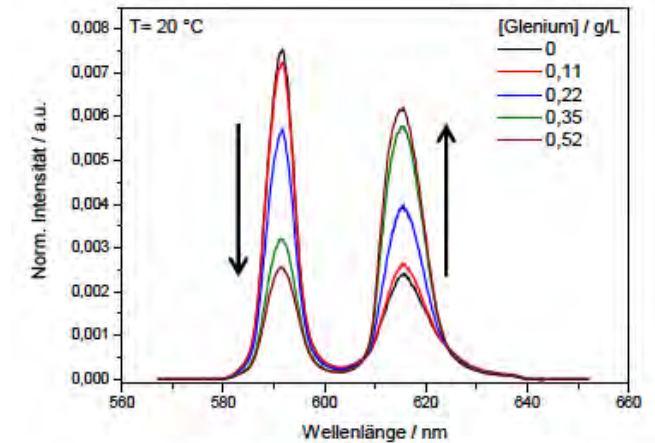
Komplexierung von Eu(III) mit Glenium® 51

- Zur Optimierung der Eigenschaften des Zements werden verschiedene organische Zementadditive zugegeben, z. B. Polycarboxylat-Fließmittel.
- Bestimmung thermodynamischer Konstanten für die Komplexbildung von Eu(III) mit Glenium® 51, einem kommerziellen Superplastifizierer:

$$\log \beta(20^\circ\text{C}) = 7,52 \pm 0,33$$

$$\Delta_r H_m = 2,7 \pm 13,3 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_r S_m = 152 \pm 42 \text{ kJ/mol}$$



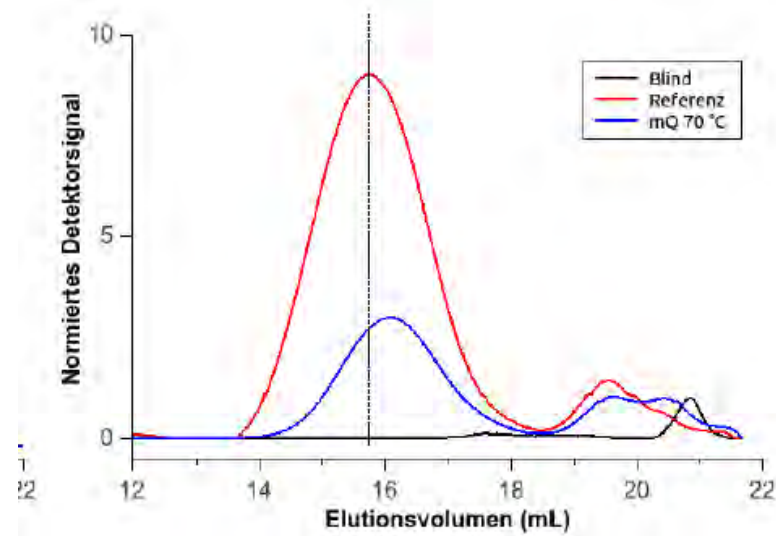
Fröhlich et al. Dalton Trans. 2017



• Einfluss von Zementzusatzstoffen

Zersetzung von Glenium[®] 51

- Kein Abbau von Glenium bei 25 °C in NaOH (pH 12,5)
- Size Exclusion Chromatography weist auf Abbau von Glenium bei 70 °C hin, sowohl in NaOH als auch in MilliQ-Wasser

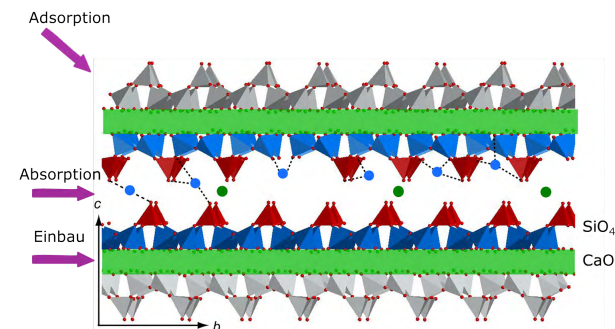


➔ Untersuchung des Einflusses dieser Abbauprodukte sowie geeigneter Modellliganden auf die Radionuklidrückhaltung notwendig

• Radionuklidrückhaltung an CSH-Phasen

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

- Starke Rückhaltung ($R_d \geq 2 \times 10^4$ L/kg) der Actiniden – unabhängig von deren Oxidationszustand – an CSH-Phasen
 - Spektroskopische und quantenmechanische Untersuchungen weisen auf mehrere Wechselwirkungsprozesse der drei- und vierwertigen Actiniden mit CSH-Phasen hin:
 - Adsorption
 - Absorption in der Zwischenschicht
 - Einbau in die CaO-Schicht
 - Geringe Freisetzung von Cm(III) bei Auslaugungsexperimenten beobachtet
- ➔ CSH-Phasen spielen eine wichtige Rolle bei der Rückhaltung von Radionukliden an Zementphasen



- Wichtiges Ziel des BMWi und von GRaZ

Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt

Seit 2015

Bachelor/Master/Diplom: 30

Doktoranden/innen: 11

Post-Docs: 12

Konferenzbeiträge: 40

Nachfolgend Vortrag von Felix Rieder
Nachwuchswissenschaftler am KIT-INE

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

Rückhaltung von Radionukliden unter dem Einfluss von Zementadditiven: Löslichkeits- und Sorptionsstudien

F. Rieder, N. Adam, K. Hinz, M. Trumm, X. Gaona, T. Rabung, C. Marquardt, M. Altmaier, P. Panak, H. Geckeis

Institut für Nukleare Entsorgung

• Danksagung

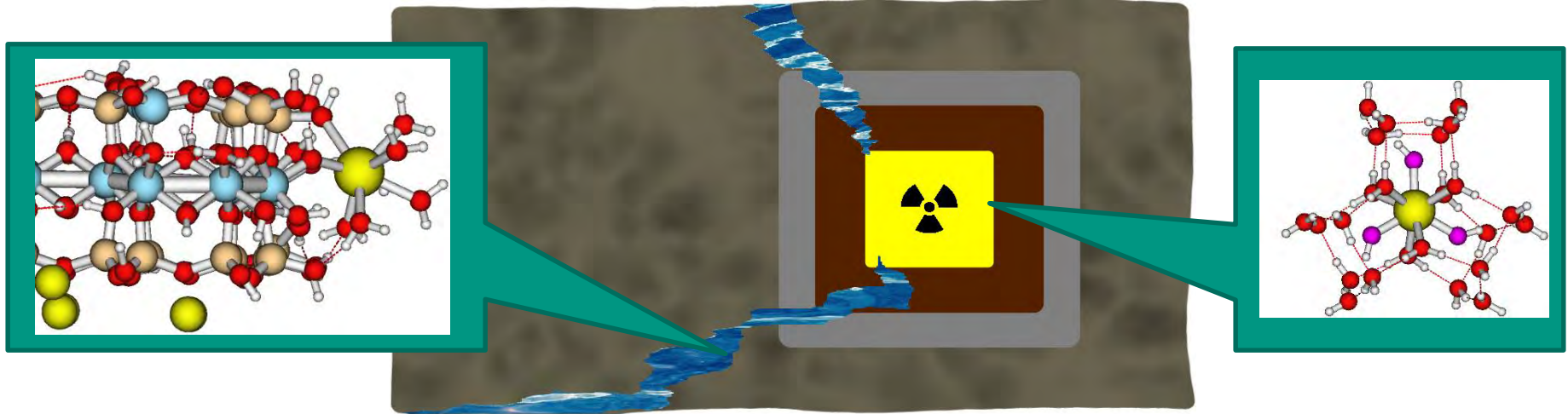
Herzlichen Dank für die Unterstützung durch

- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- Projektträger Karlsruhe
- Verbund- und Kooperationspartner

Rückhaltung von Radionukliden unter dem Einfluss von Zementadditiven: Löslichkeits- und Sorptionsstudien

F. Rieder, N. Adam, K. Hinz, M. Trumm, X. Gaona, T. Rabung, C. Marquardt, M. Altmaier, P. Panak, H. Geckeis

Institut für Nukleare Entsorgung

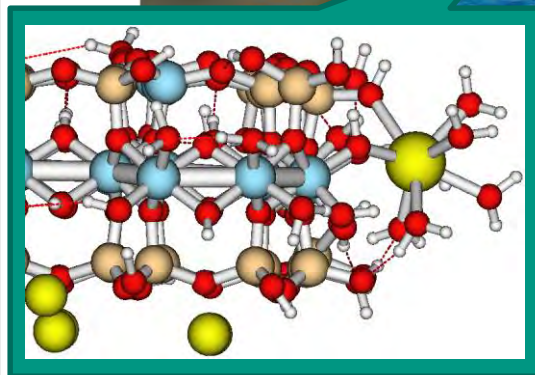
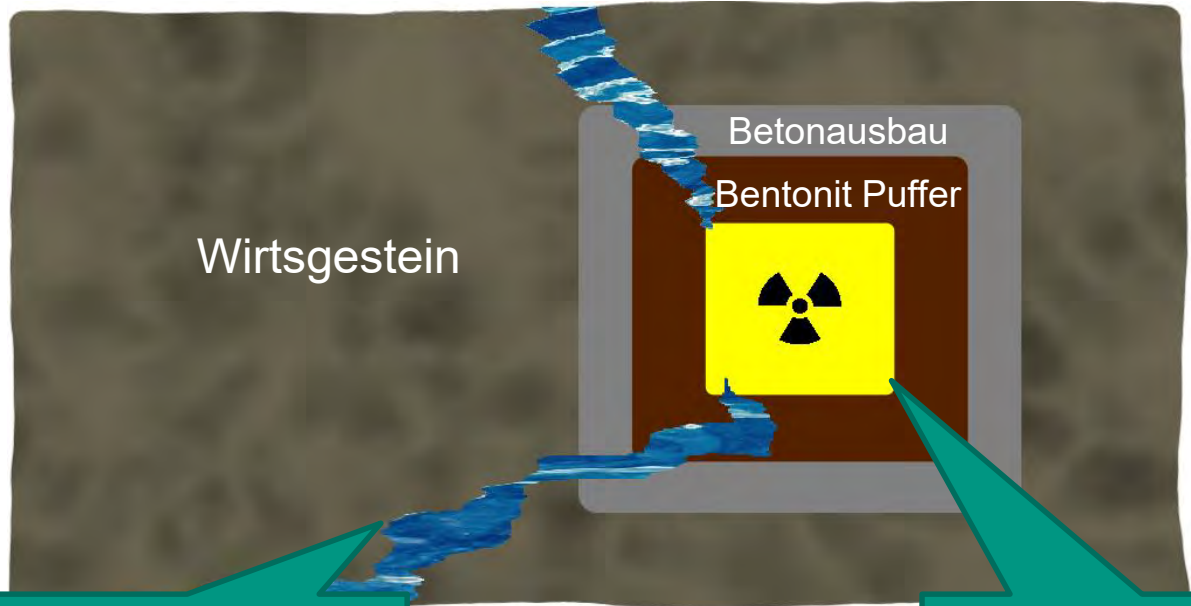
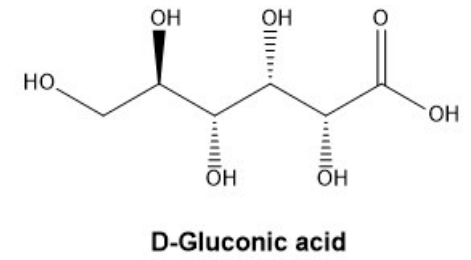


Inhalt

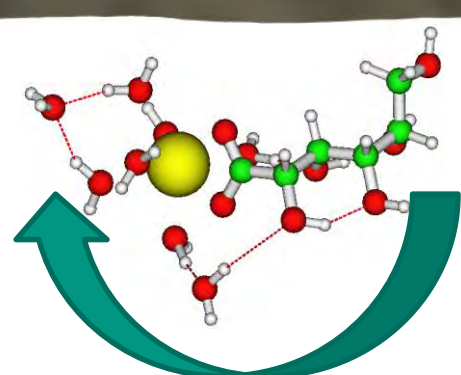
- Kontext der Untersuchungen
- Löslichkeitsstudien
 - Nd(III)-Löslichkeit in Anwesenheit von Gluconat
- Sorptionsstudien
 - Sorption von Eu(III) an Tonmineralien in Anwesenheit von Gluconat
- Zusammenfassung

Kontext der Untersuchungen

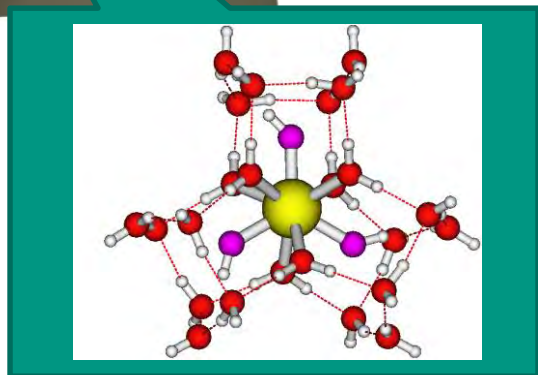
Gluconat:
Repräsentant /
Modell für
Zementadditive.



Sorption



Komplexierung

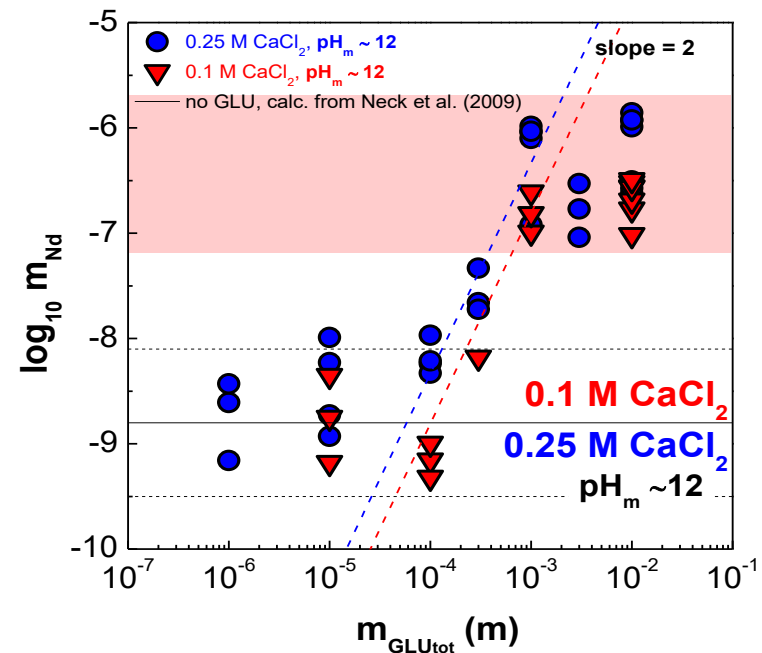
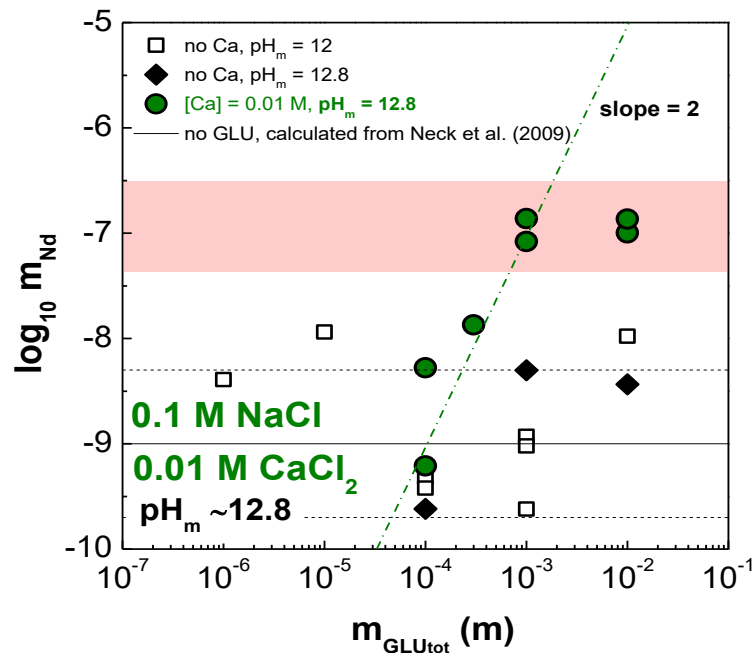


Löslichkeit

Kontext >> Löslichkeitsstudie >> Sorptionsstudie >> Zusammenfassung

Experimentelle Bedingungen

Festphase	$\text{Nd}(\text{OH})_{3(\text{am})}$
Konzentrationsreihe	$[\text{GLU}] = 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-2} \text{ M}$
	$[\text{NaCl}] = 0.1 \text{ M}$ $[\text{CaCl}_2] = 0.1, 0.25 \text{ M}$
Elektrolyt	$\text{pH}_m = 12.8 \text{ (NaCl)}$ $\text{pH}_m = 12 \text{ (CaCl}_2\text{)}$
Phasenseparation	10 kD Filter
Analytik	ICP-MS



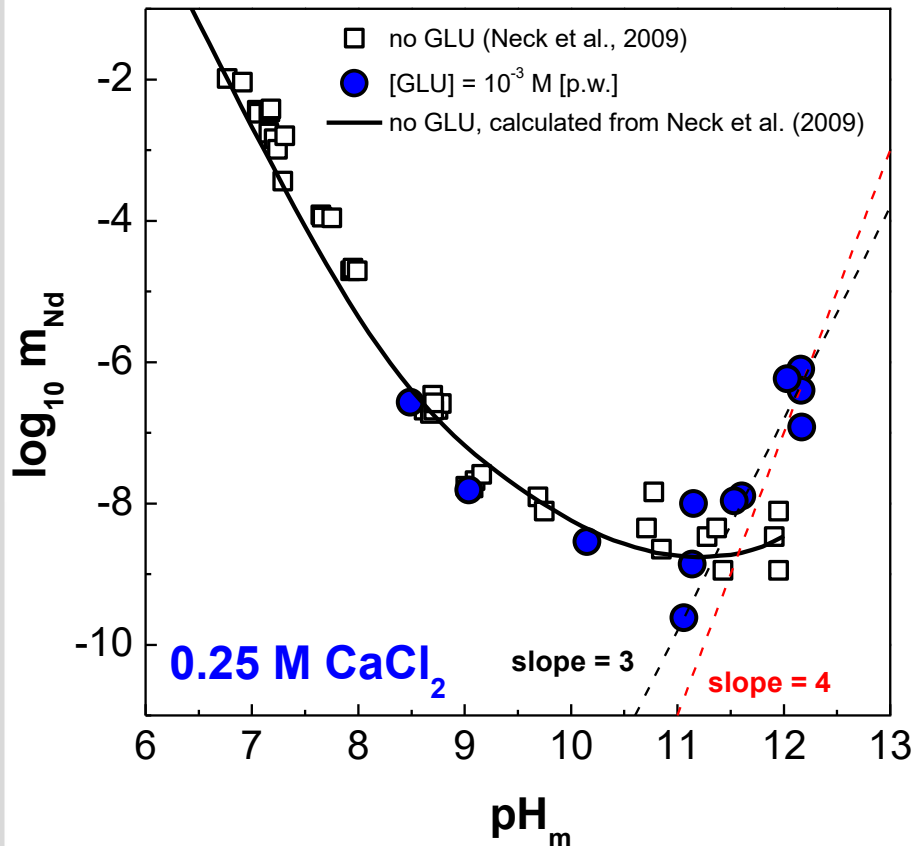
- Deutlicher Anstieg der Nd(III) Löslichkeit mit steigender Gluconat Konzentration ab [GLU] $\sim 10^{-4}$ M
- Bildung einer Ca-Nd-Gluconat Festphase wurde mittels TOC-Messung ausgeschlossen.

Rojo, Gaona et al. (in prep. 2018)

Löslichkeitsstudie – pH-Abhängigkeit

Experimentelle Bedingungen	
Festphase	$\text{Nd}(\text{OH})_{3(\text{am})}$
Ligand	$[\text{GLU}] = 1 \cdot 10^{-3} \text{ M}$
Elektrolyt	$[\text{CaCl}_2] = 0.1, 0.25 \text{ M}$
	$\text{pH}_m = 7 - 12.3$
Phasenseparation	10 kD Filter
Analytik	ICP-MS

Löslichkeitsstudie – pH-Abhängigkeit



Rojo, Gaona et al. (in prep. 2018)

- Bei $pH = 7-11$ kein Einfluss von Gluconat auf die Löslichkeit von Nd(III)
- Ab $pH > 11$ signifikante Erhöhung der Löslichkeit von Nd(III) im $CaCl_2$ Elektrolytsystem
- Mögliches Auftreten quaternärer Spezies bei hohen pH-Werten.
 (In Analogie zu $CaTh(OH)_4(GLU)_{2(aq)}$ Spezies, Gaona et al. 2008)

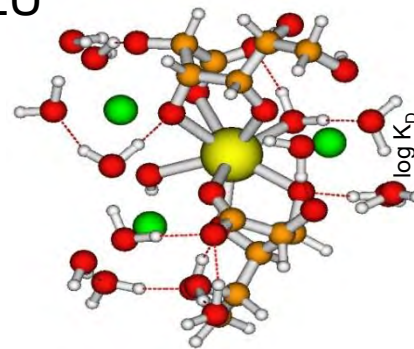
Batch Experimente Eu(III)-Sorptions an Tonmineralien

Experimentelle Bedingungen	
Eu ¹⁵²	2·10 ⁻⁸ mol/L
Ton	1 g/L Na-IdP-2 / Na-SWy-2
Ligand	0.01 M Na/Ca-Gluconat
Elektrolyt	0.1, 1, 3 M NaCl 0.06, 0.6, 2 M CaCl ₂
Konzentrationsreihe	1·10 ⁻⁴ - 1·10 ⁻² M Gluconat
Sorptionszeit	4 d
Phasenseparation	1 h, 600.000 g
γ-Counting	3 h

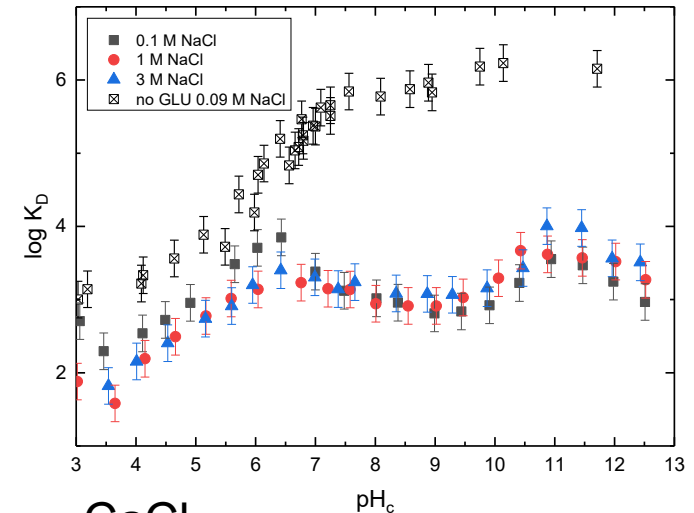
Motivation > Löslichkeitsstudie > **Sorptionsstudie** > Zusammenfassung

Eu(III)-Sorption an Montmorillonit in Anwesenheit von GLU

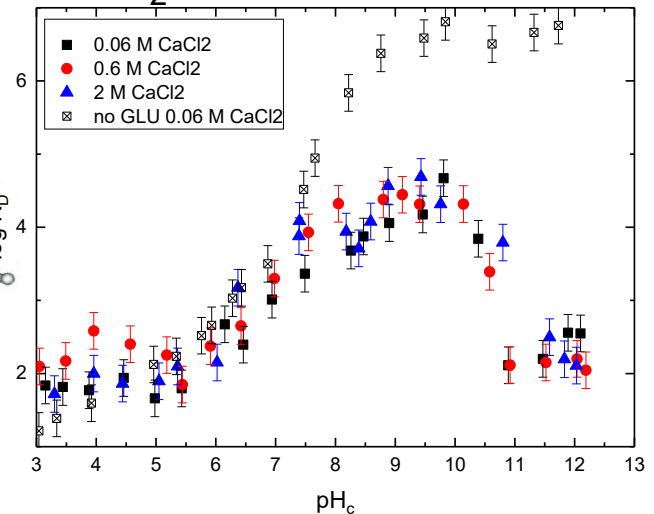
- Signifikanter Rückgang der Sorption um 2-3 Größenordnungen!
- CaCl₂-Lösung: Bei pH > 11 weiterer Rückgang der Sorption (durch Bildung stabiler Ca-OH-Nd-GLU Spezies?)
- Erste DFT Rechnungen weisen auf stabile quaternäre Ca-OH-Nd-GLU Spezies hin.
- Keine Ionenstärkenabhängigkeit



NaCl

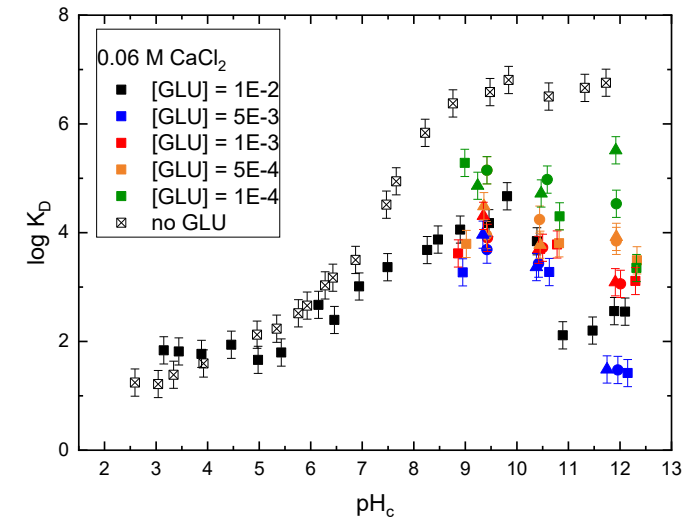
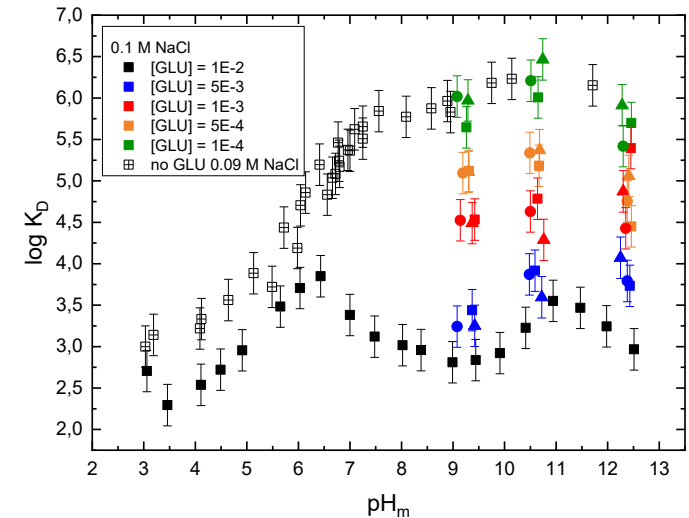


CaCl₂



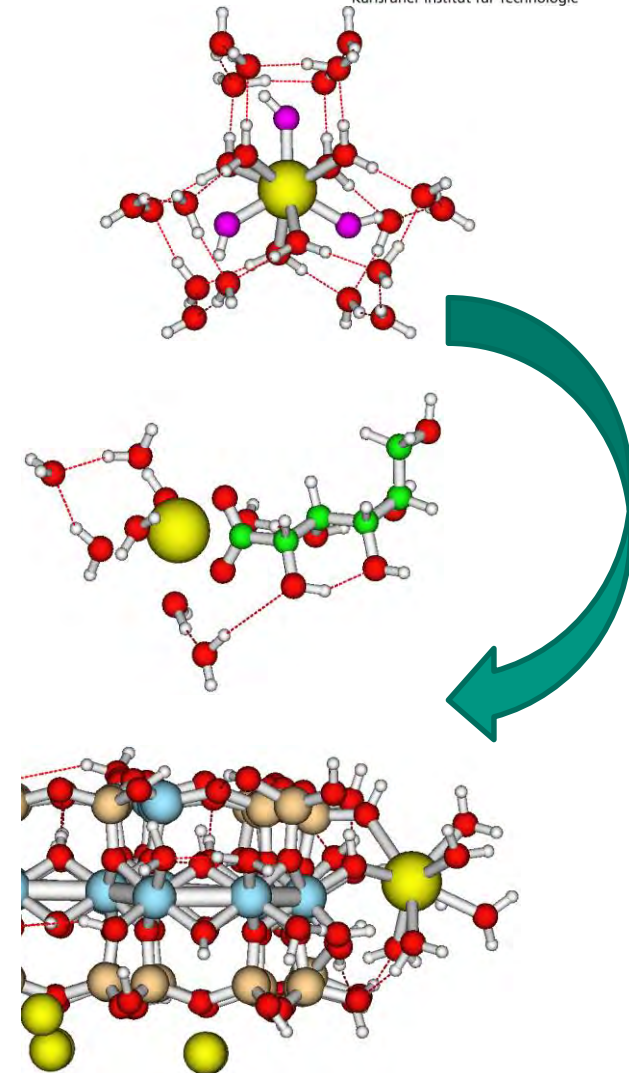
Sorptionsstudie unter Variation der Ligandenkonzentration:

- NaCl-Lösung:
 - Abnahme der Sorption mit steigender GLU-Konzentration
 - Bei $[GLU] \leq 1 \cdot 10^{-4}$ M kein signifikanter Einfluss auf Sorption
 - Maximaler Sorptionsabfall bei $[GLU] = 1 \cdot 10^{-2}$ M
- $CaCl_2$ -Lösung
 - Starke Streuung, Trends weniger klar.
 - Weitere Untersuchungen stehen aus.
- Keine Ionenstärkenabhängigkeit



Zusammenfassung

- Deutlicher Anstieg der Löslichkeit in Anwesenheit von Gluconat bei hohen pH-Werten.
- Rückhaltung trivalenter Ln/An bei $\text{pH} > 7$ durch Sorption an Tonmineralien in Anwesenheit von Gluconat deutlich erniedrigt ($[\text{GLU}] > 1 \cdot 10^{-4} \text{ M}$).
- Kein Einfluss der Ionenstärke auf die Sorption.
- Gute Übereinstimmung zwischen Löslichkeits- und Sorptionsexperimenten.
- Signifikanter Einfluss auf Löslichkeit und Sorption bei $\text{pH} > 11$ vermutlich durch Bildung quaternärer Ca-OH-GLU-An(III)-Komplexe.



Vielen Dank

13. Projektstatusgespräch

Auslegung und Sicherheits-/Nachweiskonzept eines HAW-Endlagers in flach lagernden Salzformationen: das Projekt KOSINA

Eric Simo – Markus Knauth

Karlsruhe

21.06.2018

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

BETREUT VOM



PTKA
Projektträger Karlsruhe

Karlsruher Institut für Technologie

== Gliederung ==

- **Motivation und Zielsetzung**
- **Generische geologische Modelle**
- **Endlagerplanung**
- **Analyse der radiologischen Konsequenzen**
- **Integrität der geologischen Barriere**

Motivation

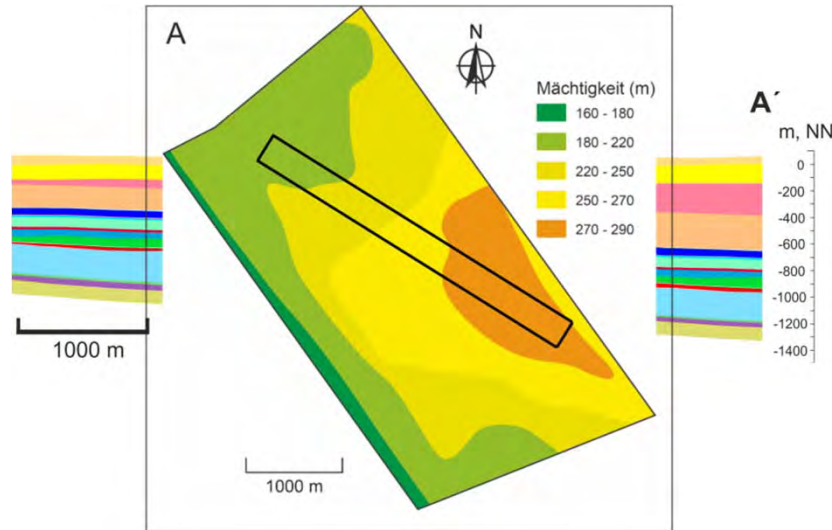
- **Gemäß Standortauswahlgesetz (StandAG, Juli 2013): Untersuchung aller in Deutschland in Frage kommenden Wirtsgesteine für ein HAW-Endlager**
- **Auch die in Deutschland existierenden flach lagernden Salzvorkommen**
- **Sicherheits- und Nachweiskonzept (SiNaKo) für ein HAW-Endlager in Steinsalz (Typ: steile Lagerung) verfügbar**
- **Deshalb generische Endlagerkonzepte und SiNaKo für flach lagernde Salzstrukturen entwickeln (Typ: flache Lagerung und Typ: Salzkissen)**
 - **Finanziert durch BMWi/PTKA**
 - **Projektpartner: BGR, GRS, IfG, DBE TECHNOLOGY (P-Leitung)**

== Zielsetzung ==

- **Erstes Teilziel:**
Herleitung von generischen geologischen Modellen inklusive Modellparameter
- **Zweites Teilziel:**
Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes
- **Drittes Teilziel:**
Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein Endlager
- **Viertes Teilziel:**
Nachweis der Integrität der geologischen Barriere (Integritätsnachweis) und radiologische Konsequenzenanalyse
- **Fünftes Teilziel:**
Schaffung von wissenschaftlich-technischen Grundlagen

Generische geologische Modelle

Salzformation: Typ „Flache Lagerung“

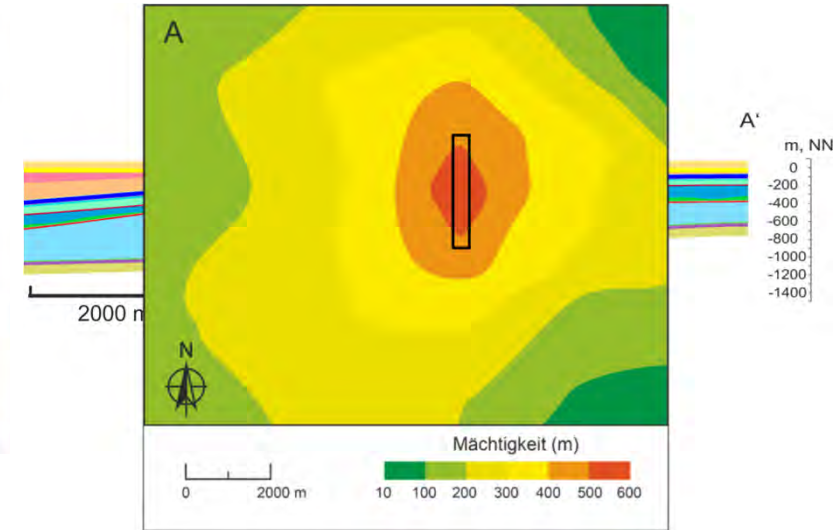


Entstehung: weitgehend ungestörte Lagerungsbedingungen

Gewählte Einlagerungsvarianten:

1. Streckenlagerung von POLLUX®-Behältern
2. Horizontale Bohrlochlagerung von Brennstabkokillen

Salzformation: Typ „Salzkissen“

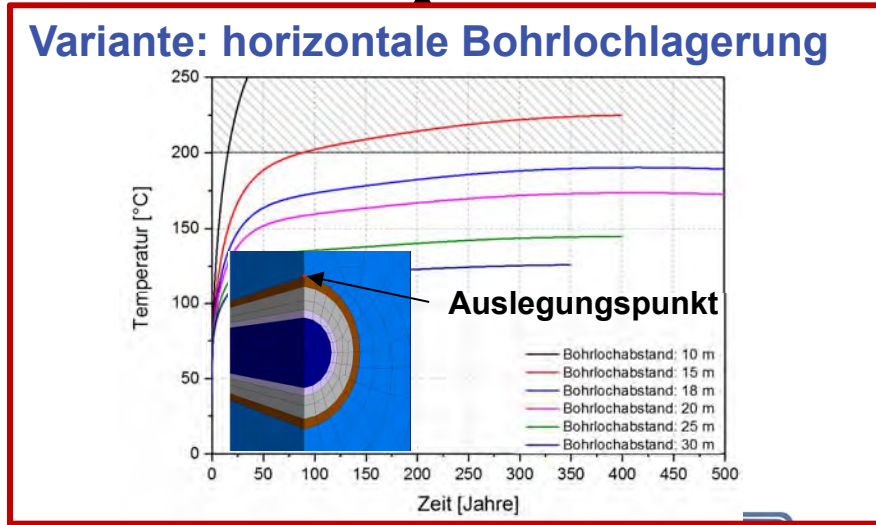
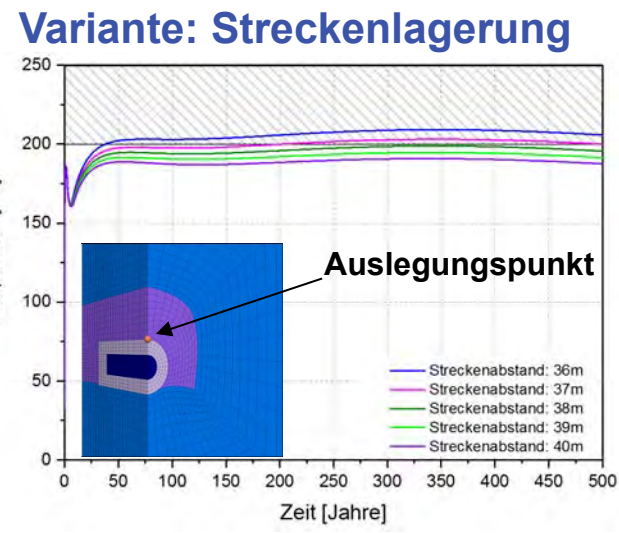
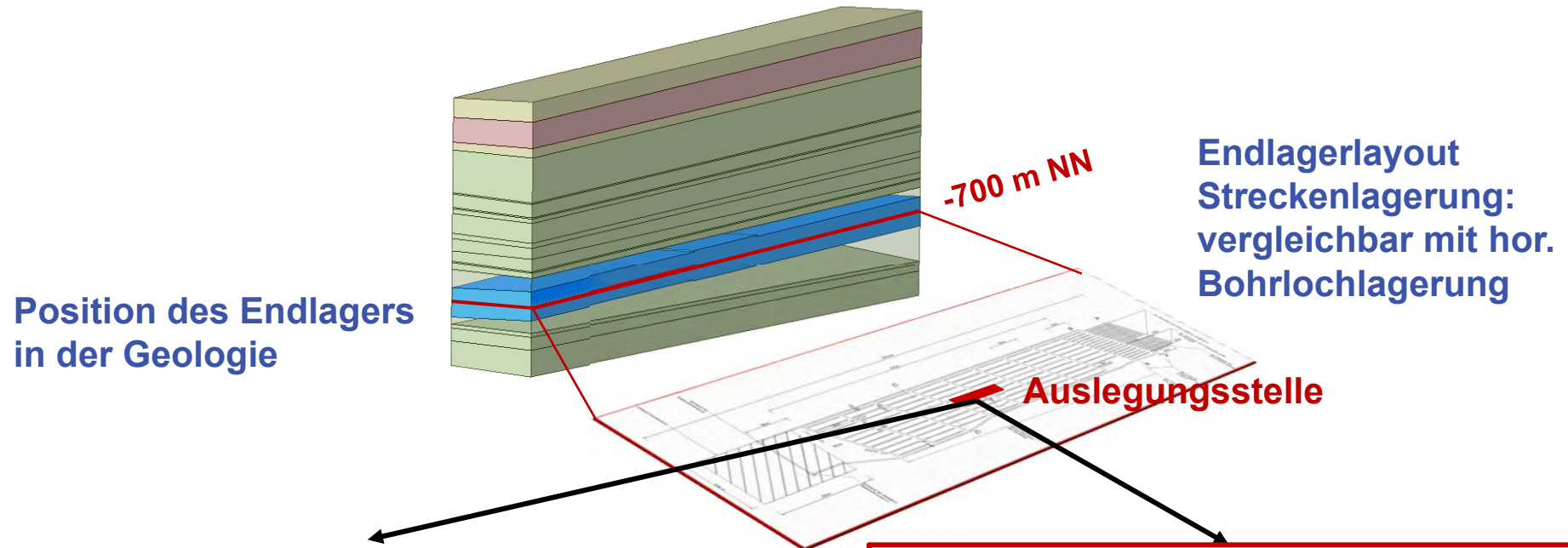


Entstehung: Salzabwanderung infolge Dichte-Unterschiede

Gewählte Einlagerungsvarianten:

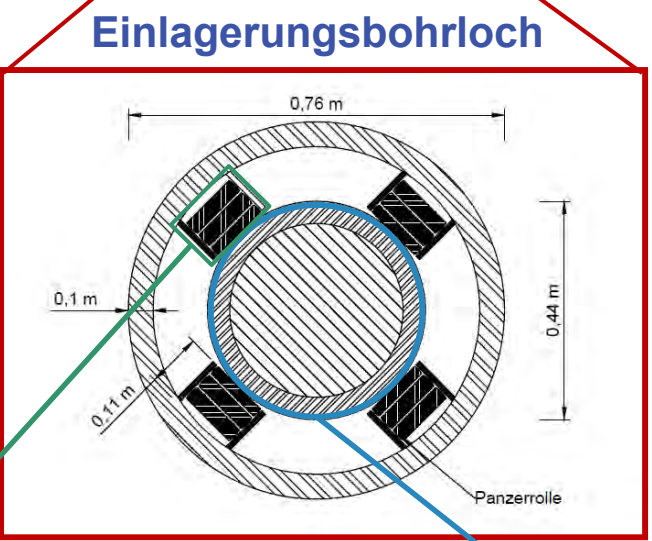
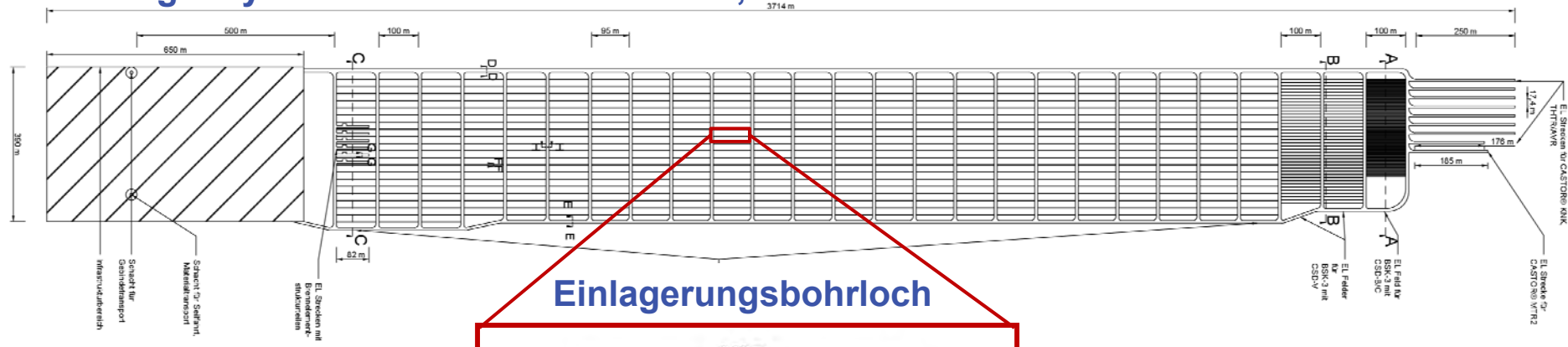
3. Vertikale Bohrlochlagerung von Brennstabkokillen
4. Direkte Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern

Thermische Auslegung: Typ „flache Lagerung“



Endlagerplanung: horizontale Bohrlochlagerung

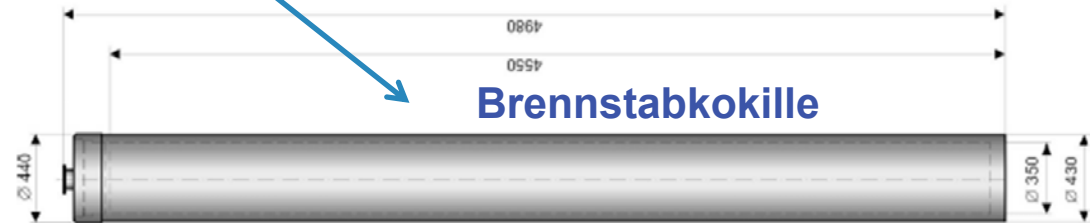
Endlagerlayout: Bohrlochabstand: 18 m, Behälterabstand: 0 m



Panzerrollen

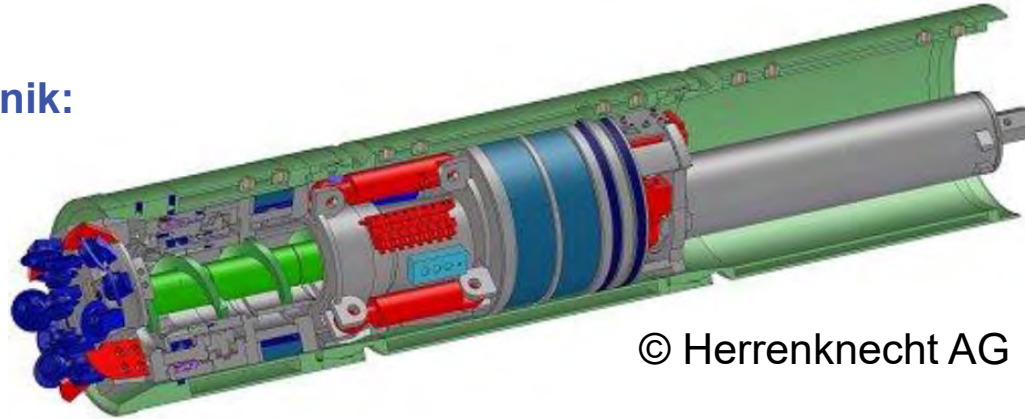


Brennstabkokille



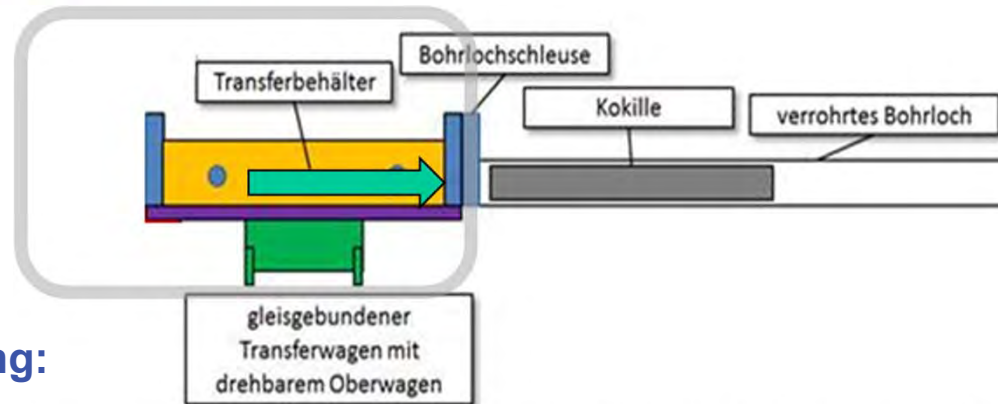
Einlagerungstechnik: horizontale Bohrlochlagerung

Bohrtechnik:

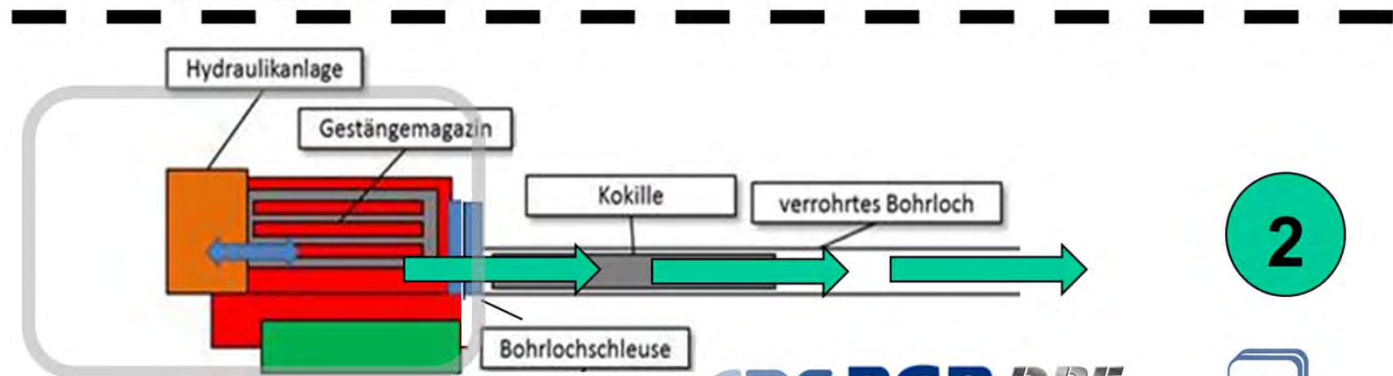


© Herrenknecht AG

Einlagerungsvorrichtung:



1



2

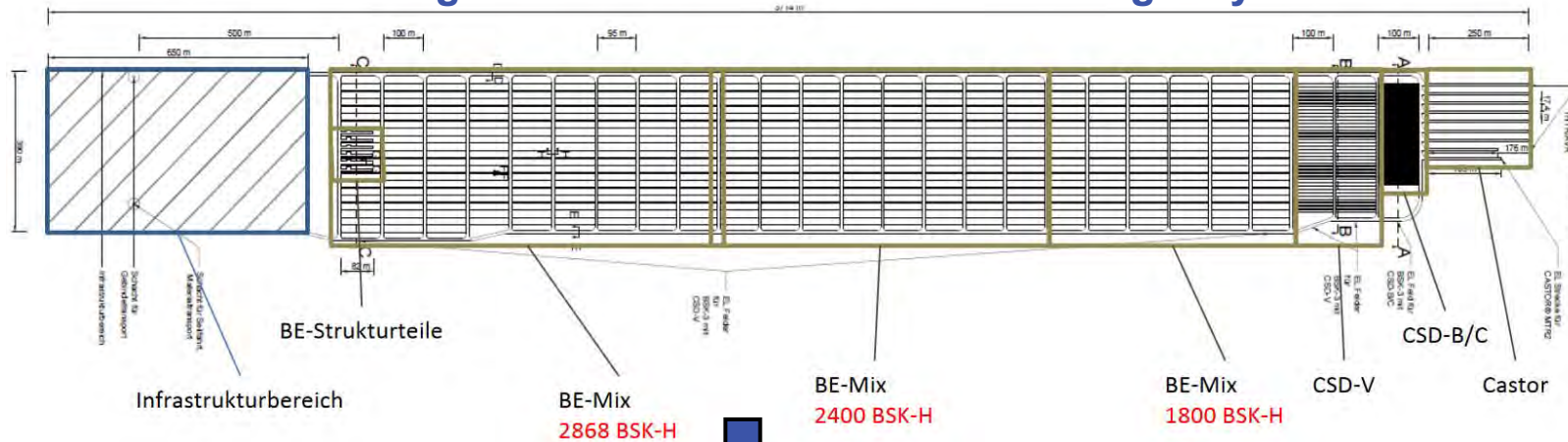
== Analyse der radiologischen Konsequenzen ==

- **Numerische Analyse des Langzeitverhaltens eines Endlagers im Hinblick auf die radiologischen Konsequenzen (GRS)**
 - **Ausbreitungsrechnung von Radionukliden**
- **Modellannahmen für die Variante „horizontale Bohrlochlagerung“:**
 - **Referenzszenarium:**
 - **Bohrlochverschluss verhindert dauerhaft Lösungskontakt der Abfälle**
 - **Gasbildung in den (trockenen) Bohrlöchern ist vernachlässigbar gering**
 - **Kein Radionuklidaustrag in die Biosphäre aus Einlagerungsbohrlöchern**
 - **Versagensszenarium:**
 - **Bohrlochverschlüsse nicht dauerhaft dicht (Versagen nach 50.000 a)**
 - **Lösungskontakt der Abfälle in den Bohrlöchern: Konvergenz / Diffusion**

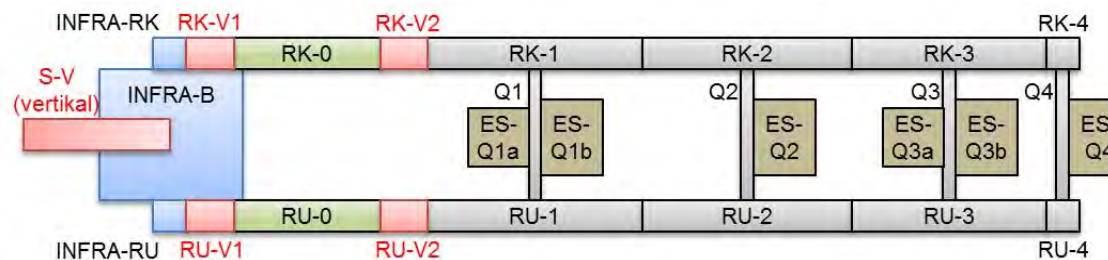
— Analyse der radiologischen Konsequenzen —

- Modellierung der Einlagerungsvariante „horizontale Bohrlochlagerung“

Zusammenfassung von Bereichen anhand des Endlagerlayouts:

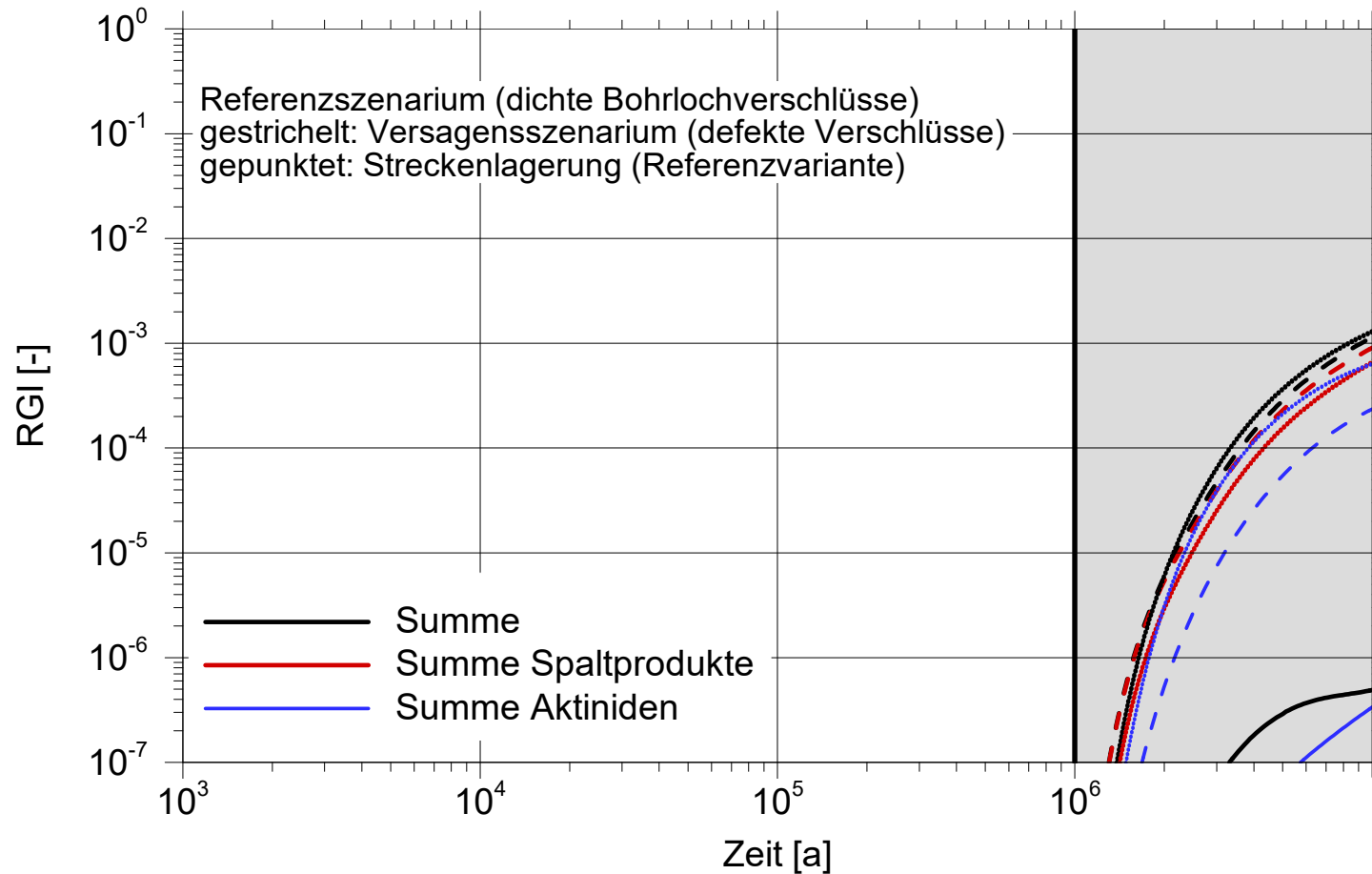


Erstellung / Ableitung eines LOPOS-Segmentstrukturmodells



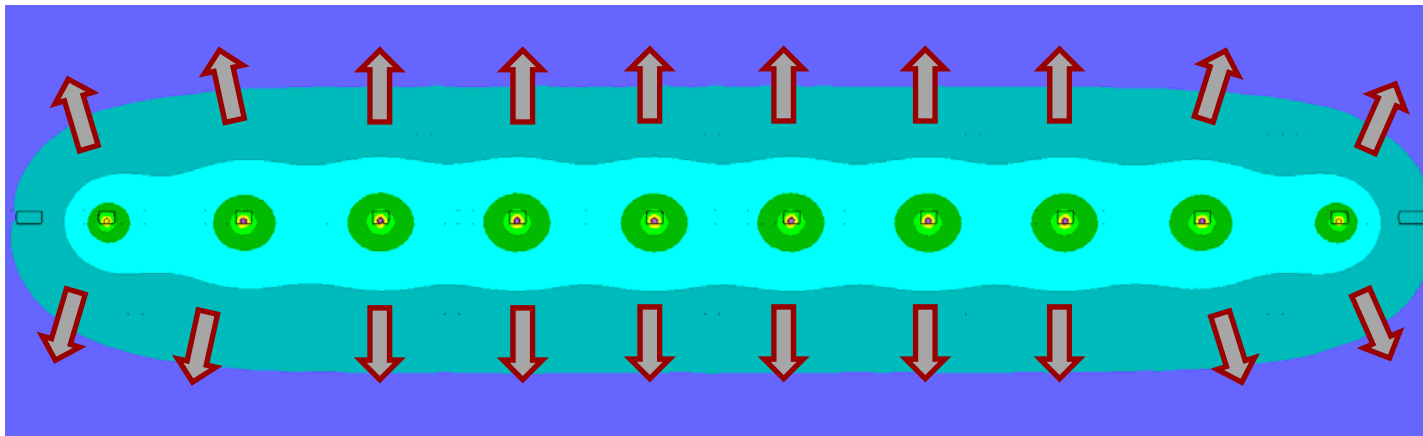
RGI - Index

- Bewertung der Konsequenzen anhand des Indikators RGI (Radiologischer Geringfügigkeitsindex)
- Radiologische Konsequenz (RGI) für die „horizontale Bohrlochlagerung“:



Integrität der geologischen Barriere

- Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle führt zur thermischen Expansion im Salzgestein
- Frage: Bleibt die Integrität der Barriere auch bei den hierdurch induzierten gebirgsmechanischen Belastungen erhalten?



Integrität der geologischen Barriere

- Numerische Modelle von BGR und IfG mit verschiedenen Stoffgesetzen, Modelldimensionen und Berechnungsmethoden
- Bewertung der Integrität der geologischen Barriere mithilfe von :
 - Dilatanzkriterium
 - Minimalspannungskriterium



- Großräumige Fernfeldmodelle
- Vollständig 3D
- Verschmierte (gemittelte) Wärmequellen
- Kontinuumsmechanische Berechnung

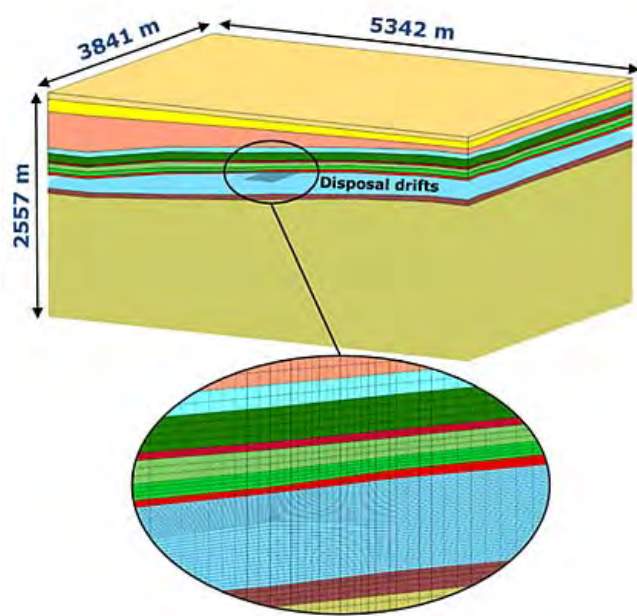


- 2D-/3D-Scheibenmodelle
- Explizite Berücksichtigung von Behältern, Einlagerungsstrecken etc.
- Diskontinuumsmechanische Berechnung
- Thermo-hydro-mechanisch gekoppelt

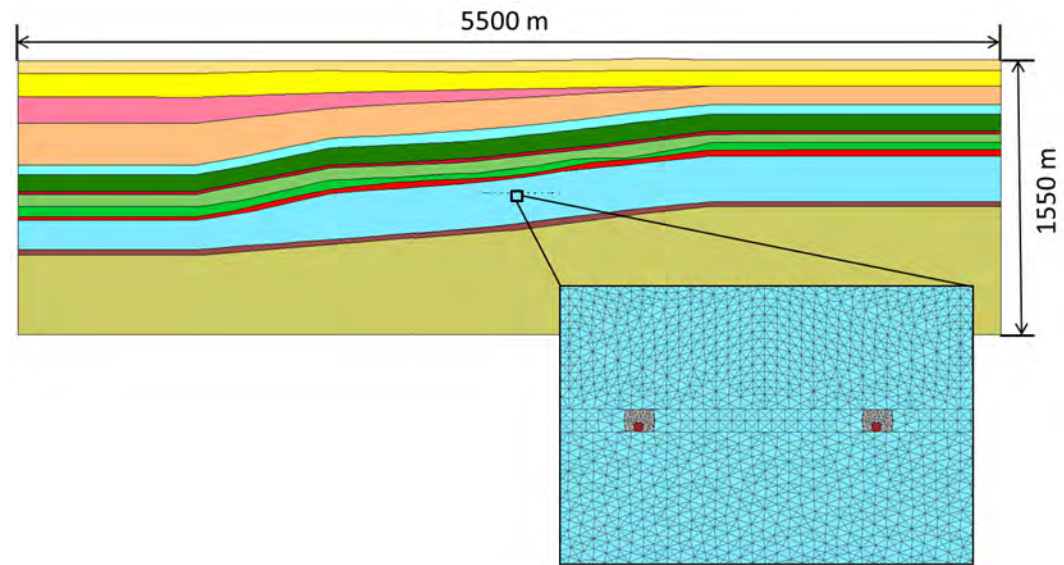
→ Gegenseitige Überprüfung und Vergleich unterschiedlicher Methoden

Integrität der geologischen Barriere

Numerische Modelle am Beispiel der Streckenlagerung von POLLUX® - Behältern (Typ „flache Lagerung“):

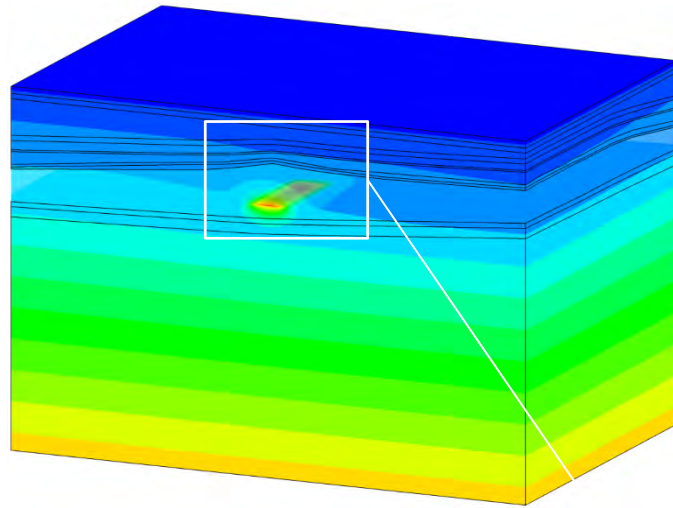


3D-Modell



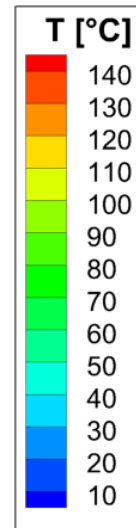
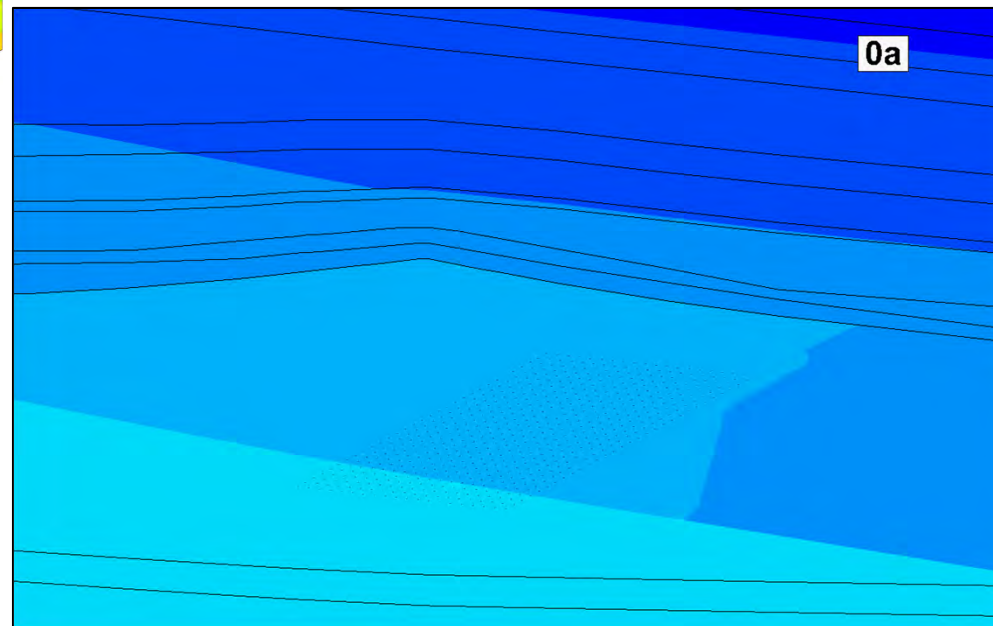
2D-Modell

Integrität der geologischen Barriere

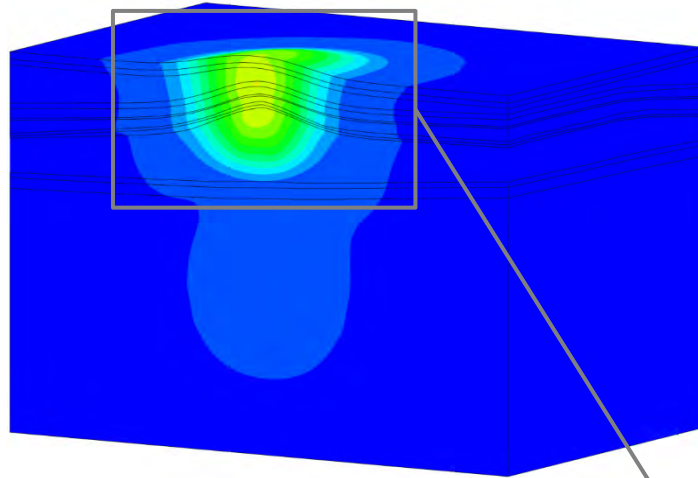


100 Jahre nach
Einlagerung

Temperaturentwicklung am Beispiel
„direkte Endlagerung von TLB im
Salzkissen“

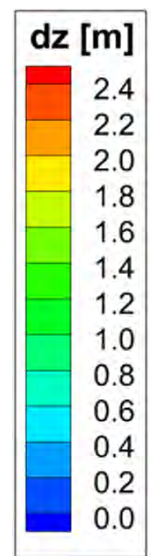
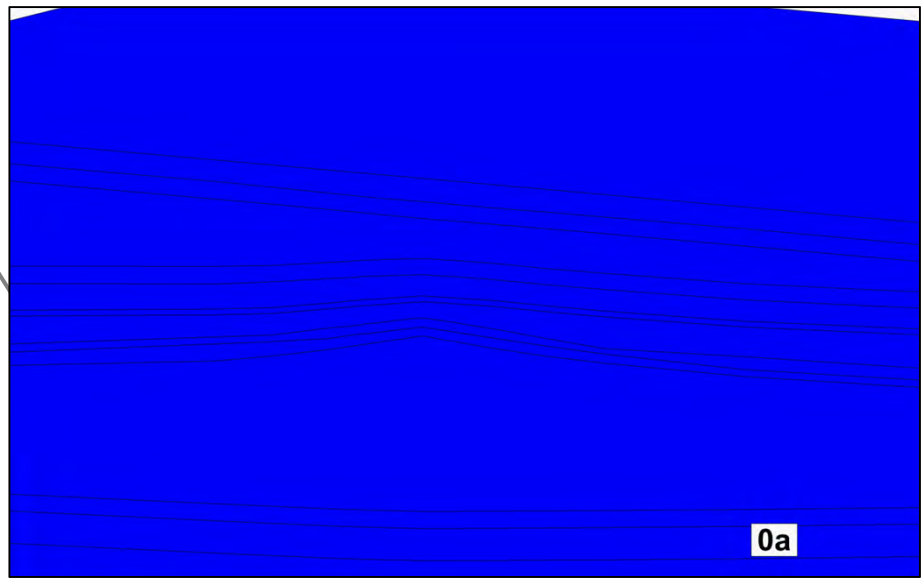


Integrität der geologischen Barriere



1000 Jahre nach
Einlagerung

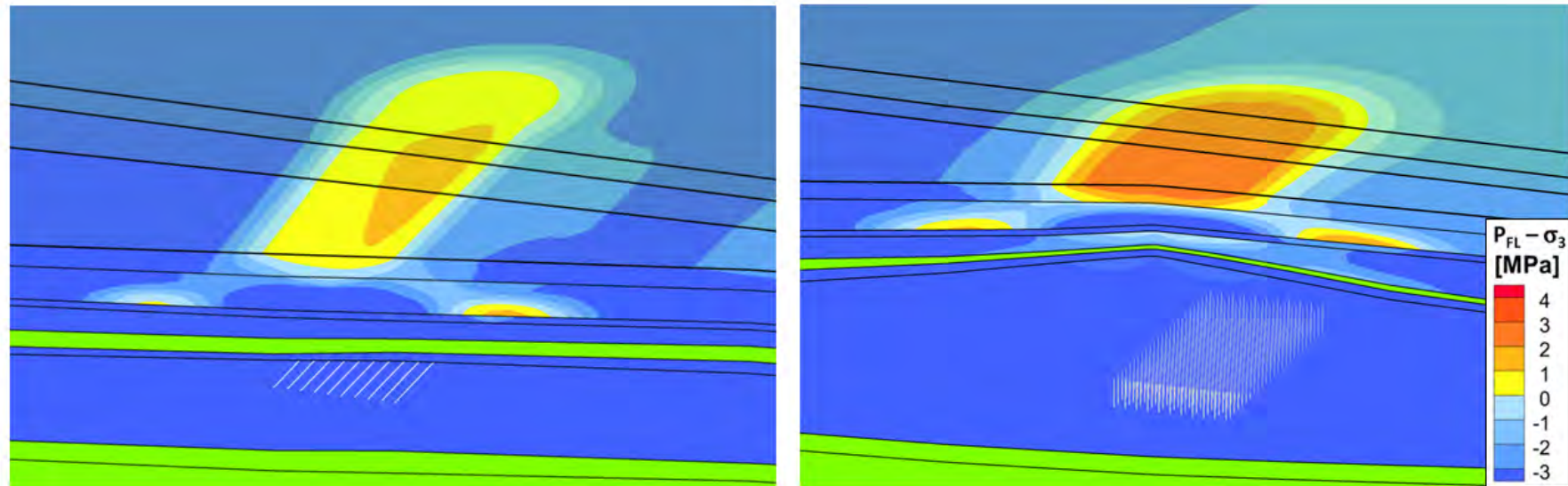
Hebungsentwicklung am Beispiel „direkte
Endlagerung von TLB im Salzkissen“



Verformung (100x überhöht)

Integrität der geologischen Barriere

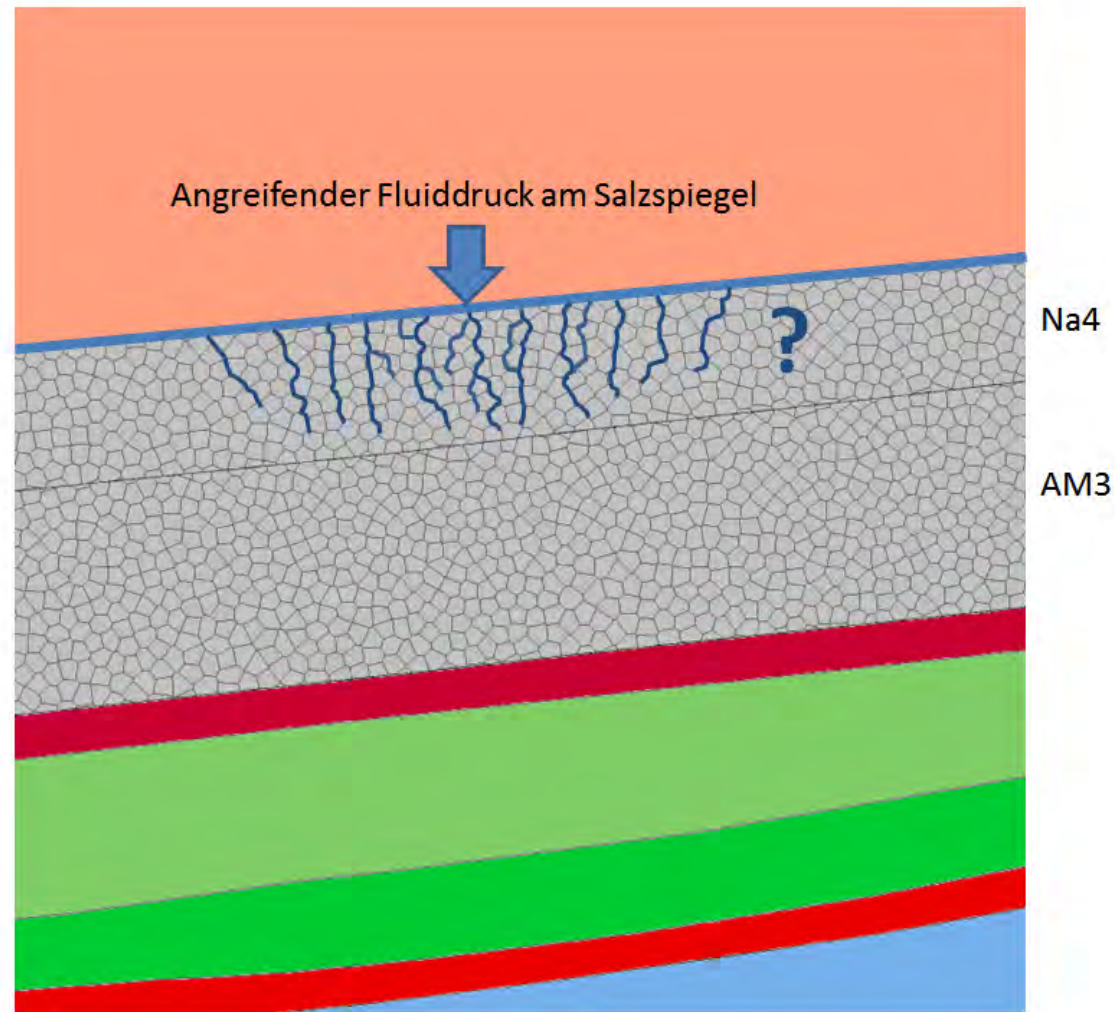
Minimalspannungskriterium (nach ca. 50 Jahren) für Streckenlagerung in flacher Lagerung (links) und vertikale Bohrlochlagerung im Salzkissen (rechts).



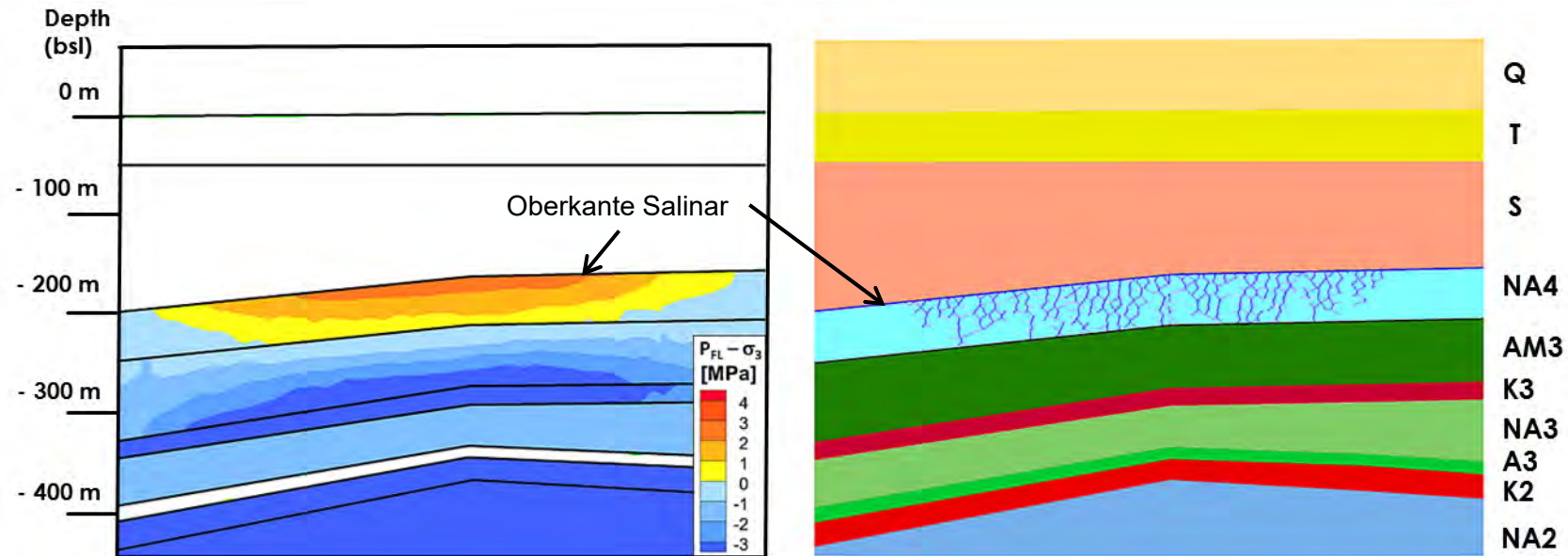
- Verletzung des Minimalspannungskriteriums am Salzspiegel
- Zeitlich begrenzt, Eindringtiefe max. 60 m
- Zu jedem Zeitpunkt stets > 300 m ungestörter Barriere verbleibend

→ Integrität der Gesamtbarriere bleibt erhalten

Integrität der geologischen Barriere



Integrität der geologischen Barriere



- **Hebungsinduzierte temporäre Verletzung des MSK in einem eingeschränkten Bereich am Salzspiegel**
- **Gekoppelte Diskontinuumsmechanische Simulation bestätigt den Verletzungsbereich des Minimalspannungskriteriums**
- **Vorwiegende Reduktion der Horizontalspannung führt zu vertikal orientierter Fluidperkolation an Oberkante des Salinars**
- **Auch hier stets verbleibende ungestörte Barriere > 300 m**

Fazit

- ❑ **Grundlagen und Anforderungen zur Endlagerkonzeptentwicklung erarbeitet :**
 - **Grundlagen für Umsetzung des StandAG**

- ❑ **Generische geologische Modelle entwickelt :**
 - **Typ „flache Lagerung“ und Typ „Salzkissen“**

- ❑ **Design und Planung von Endlagern für 4 verschiedene Einlagerungsvarianten:**
 - **Technische Machbarkeit eines Endlagers in flach lagernden Salzformationen konnte gezeigt werden**

- ❑ **Nachweis der Integrität der Salzbarriere geführt:**
 - **Die geologische Barriere bleibt in allen Fällen erhalten, stets > 300 m ungestört**

- ❑ **Durchführung von radiologischen Konsequenzenanalysen:**
 - **Sicherer Einschluss ($RGI \ll 1$) im Nachweiszeitraum (1 Mio Jahre) und darüber hinaus bestätigt!**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

Entwicklung und in situ-Erprobung eines langzeitbeständigen, matrixstabilisierten Versatzmaterials auf Steinsalz-Polyhalitbasis

FuE-Vorhaben
Gefügestabilisierter Salzgrusversatz - Phase 2 (**GESAV II**)
FKZ 02E11557

S. Pöttsch, M. Pannach, Dr. D. Freyer, Dr. T. Popp, Dr. M. Gruner, Prof. H. Mischo

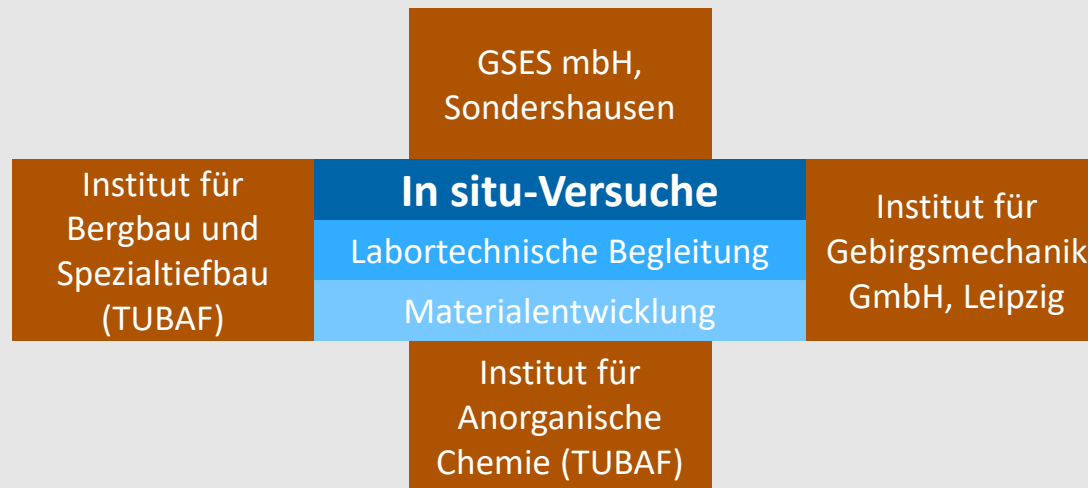


AGENDA

- 1 Besonderheiten des GESAV-Materials
- 2 Entwicklung eines langzeitbeständigen Salzbinders
- 3 Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen
- 4 In situ-Versuchsort in der Grube „Glückauf“ Sondershausen
- 5 Versuchsergebnisse
- 6 Zusammenfassung und Ausblick



FORSCHUNGSVORHABEN GESAV I UND II



Autoren:

Dipl.-Ing. Stefan Pöttsch¹; Dipl.-Nat. Melanie Pannach²; Dr. rer. nat. Daniela Freyer²;
Dr. rer. nat. Till Popp³; Dr. M. Gruner¹; Prof. Dr.-Ing. Helmut Mischo¹

¹ Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, TU Bergakademie Freiberg

² Institut für Anorganische Chemie, TU Bergakademie Freiberg

³ Institut für Gebirgsmechanik mbH, Leipzig

TU Bergakademie Freiberg | Institut für Bergbau und Spezialtiefbau | Fuchsmühlenweg 9; 09599 Freiberg | Telefonnummer: 03731 / 39-2060 |

Vortragende: Melanie Pannach, Stefan Pöttsch | 13. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Projekten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle | 21.06.2018

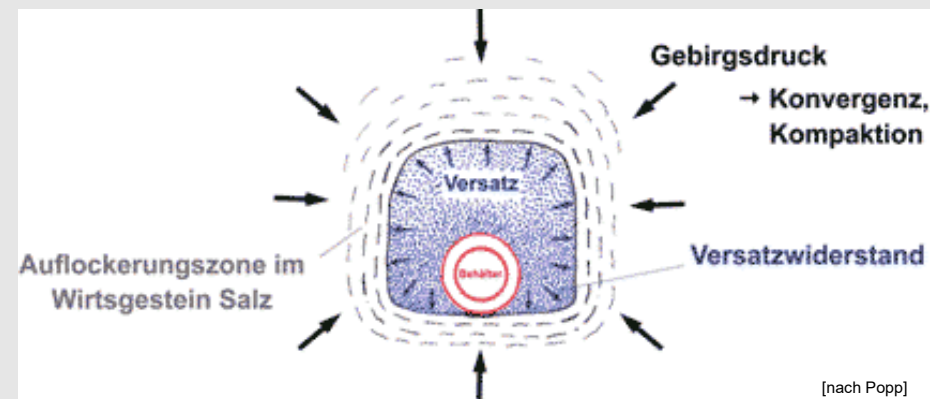
1 Besonderheiten des GESAV-Materials

VERSATZ IN EINEM ENDLAGER FÜR RADIOAKTIVE ABFÄLLE

- Auffahrungen in einer Steinsalzformation:
 - Konvergenz, Auflockerungszone
 - Rissbildung, potentielle Fluidwegsamkeiten

- Einbringen von Vollversatz in Einlagerungsbereiche, während/nach Einlagerung:
 - Verfüllung des offenen Primärhohlraums (Auffahrung)
 - Stabilisierung der geologischen Barriere/ Reduzierung Konvergenz (Minimierung Bildung von Sekundärhohlräumen: ALZ)

- **Keine Kurzzeitdichtwirkung, aber langfristig dicht wie Salzgebirge**





1 Besonderheiten des GESAV-Materials

VERSATZMATERIALIEN IM SALINAR

Salzgrus (trocken oder angefeuchtet)

- + arteigen
- + technisch einfacher Einbau
- keine sofortige Tragfähigkeit
- hohe Anfangsporosität

Salinare Baustoffe

- + keine Setzungen
- + niedrige Anfangsporosität
- aufwendiger Einbau
- hoher Bindemittelbedarf

GESAV-Material

- arteigen
- frühzeitige Gebirgsstabilisierung
- vorteilhafte Porositätsentwicklung
- geringer Flüssigkeitsgehalt (< 4 M.-%)
- hoher Einbaufortschritt

2 Entwicklung eines langzeitbeständigen Salzbinders

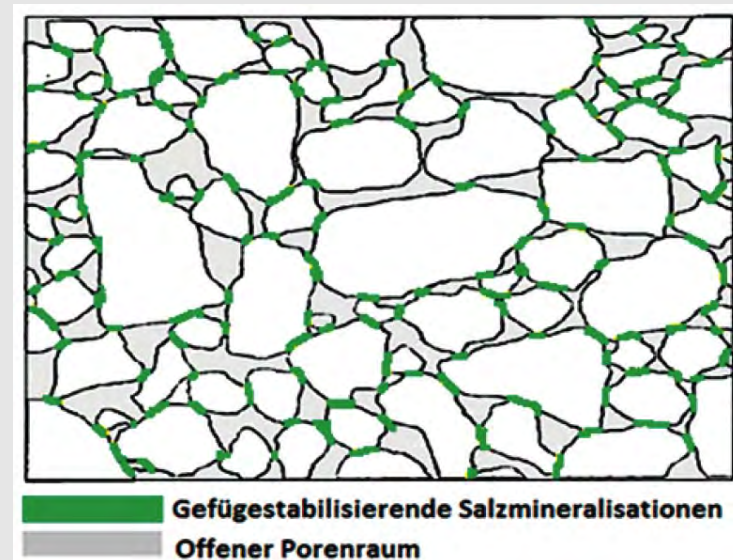
CHARAKTERISIERUNG DES SALZBINDERS

Konventionelle Baustoffe

- Hydratation nach Zugabe von Anmachwasser (z. B. Zement)
- Ausbildung einer geschlossenen Matrix aus Zuschlagstoffen und Bindemittel

Salzbinder - GESAV

- Salzmineralneubildung (Polyhalit) als Salzbrücke zwischen Steinsalzgruskörnern
- Polyhalit ist Bestandteil (bis ca. 5 %) von Steinsalz (damit arteigen bzw. thermodynamisch stabile Phase im System der ozeanischen Salze → langzeitbeständig)
- Gefügestabilisierung, keine Hohlräumeausfüllung zwischen Zuschlag



2 Entwicklung eines langzeitbeständigen Salzbinders

BILDUNGSREAKTIONEN GESAV

Ausgangsprodukte

- Salzgrus
- Kieserit $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
ESTA® Kieserit, K+S Kali GmbH
- Bassanit $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$
Tech. β -Halbhydrat, Knauf Gips KG
- Arkanit K_2SO_4
Tech. Magnesiumsulfat, K+S Kali GmbH
- Lösung $\text{MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$, ca. 5-molal
Tech. Magnesiumchloridlösung,
DEUSA International GmbH

Salzbinderkomponenten

Salzbinderphase Polyhalit:



K_2SO_4 -
Komponente

MgSO_4 -
Komponente

CaSO_4 -
Komponente

„Wasser“ bzw. Lösungs-
Komponente



2 Entwicklung eines langzeitbeständigen Salzbinders

AUSWAHL DER KOMPONENTEN FÜR DEN SALZBINDER

- nach Abbinde- bzw. Kristallisationsversuchen zur **stöchiometrischen**

Polyhalitbildung: $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$

1 α -Halbhydrat

2 β -Halbhydrat

3 $MgSO_4 \cdot 1.25 H_2O$

4 $MgSO_4 \cdot H_2O$, techn. Kieserit

5 Arkanit: K_2SO_4

Reaktionstest-Raster:

[5	3	1]	- Wasser
	5	3	2		- ges. NaCl-Lösung
	5	4	1		- 5 molale $MgCl_2$ -Lösung
	5	4	2		
					25 °C, 40 °C

1 mol K_2SO_4 : 1 mol $MgSO_4$: 2 mol $CaSO_4$ + Lösung

BILDUNGSREAKTIONEN

Ausgangsprodukte

- Salzgrus
- Kieserit $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
ESTA® Kieserit, K+S Kali GmbH
- Bassanit $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$
Tech. β -Halbhydrat, Knauf Gips KG
- Arkanit K_2SO_4
Tech. Magnesiumsulfat, K+S Kali GmbH
- Lösung $\text{MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$, ca. 5-molal
Tech. Magnesiumchloridlösung,
DEUSA International GmbH

Salzbinderkomponenten

Kristallisation

von Polyhalit

über Syngenit: $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Kainit: $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2,75\text{H}_2\text{O}$

Primärkristallinat

Sekundärkristallinat

(→ Frühfestigkeit)

(→ Endfestigkeit)

Tage - Wochen

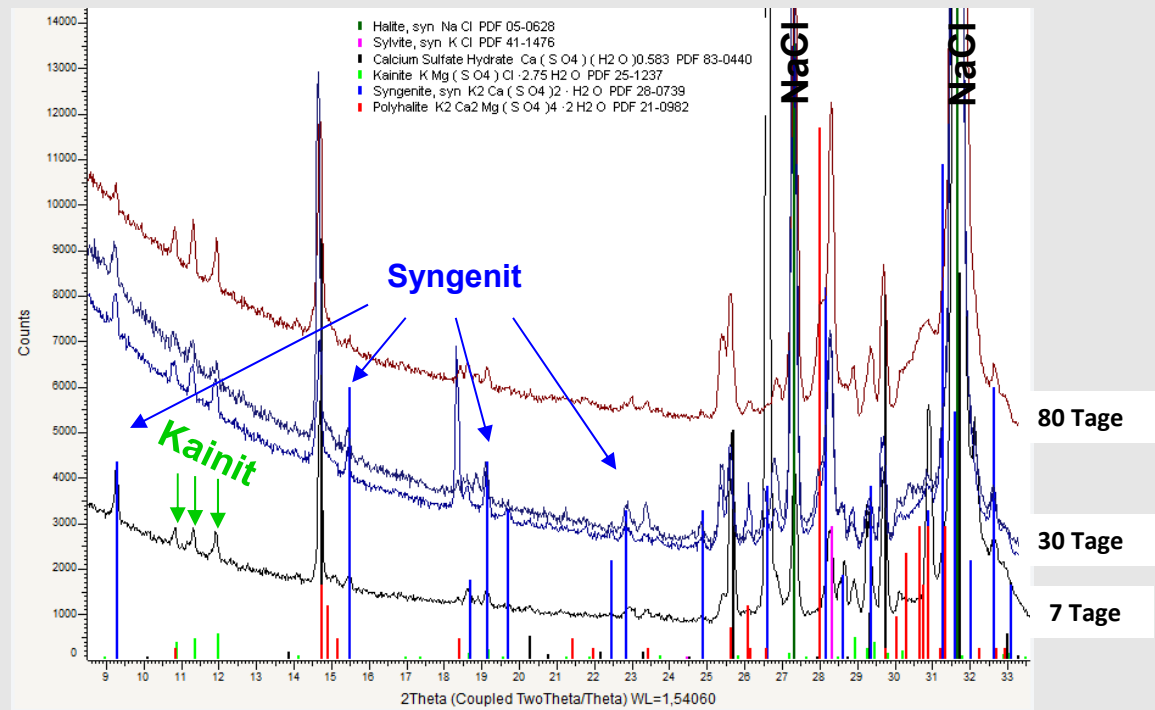
Wochen - Monate

2 Entwicklung eines langzeitbeständigen Salzbinders

GESAV-Probe



Zeitabhängige Phasenbestandsentwicklung (Röntgendiffraktometrie)

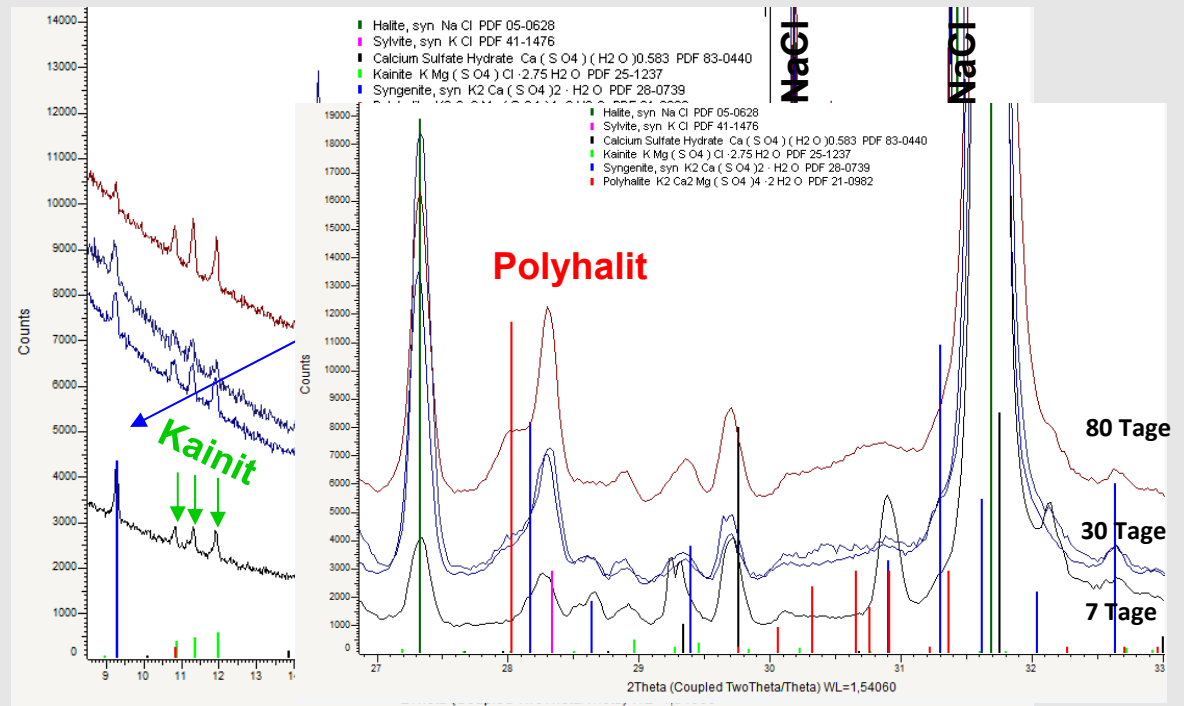


2 Entwicklung eines langzeitbeständigen Salzbinders

GESAV-Probe

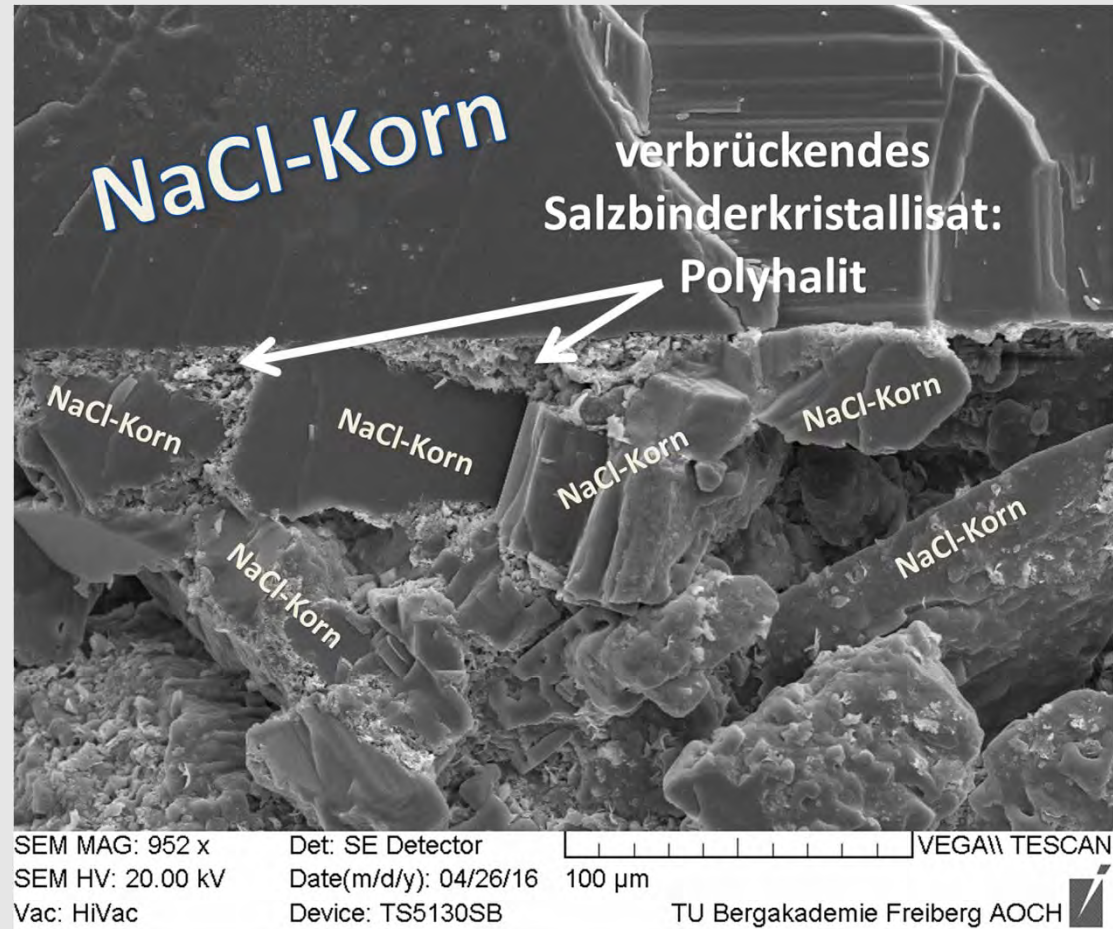


Zeitabhängige Phasenbestandsentwicklung (Röntgendiffraktometrie)



2 Entwicklung eines langzeitbeständigen Salzbinders

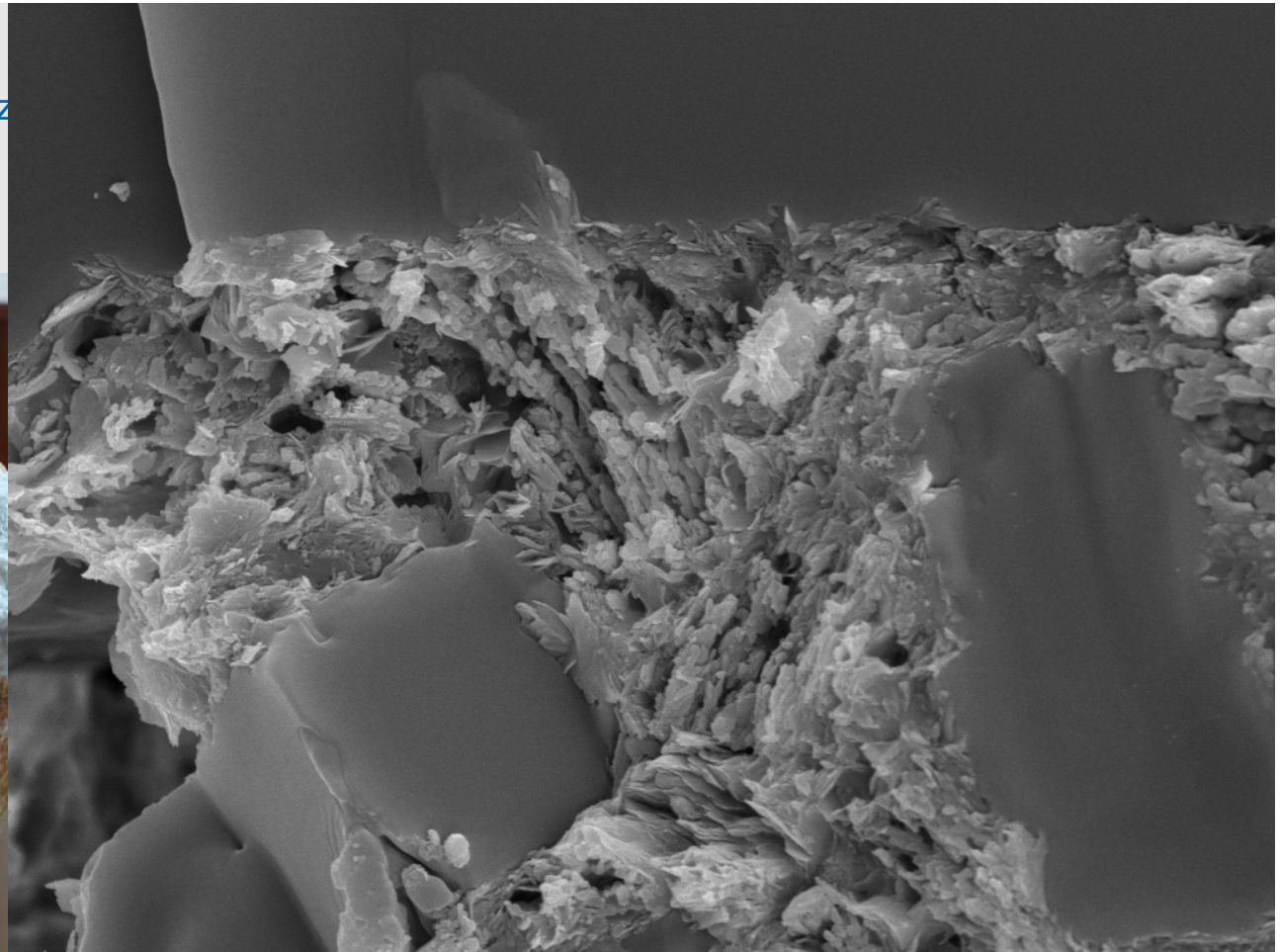
GESAV-Probe





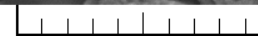
2 Entwicklung eines langz

GESAV-Probe



SEM MAG: 5.97 kx
SEM HV: 20.00 kV
Vac: HiVac

Det: SE Detector
Date(m/d/y): 04/26/16
Device: TS5130SB



10 μ m

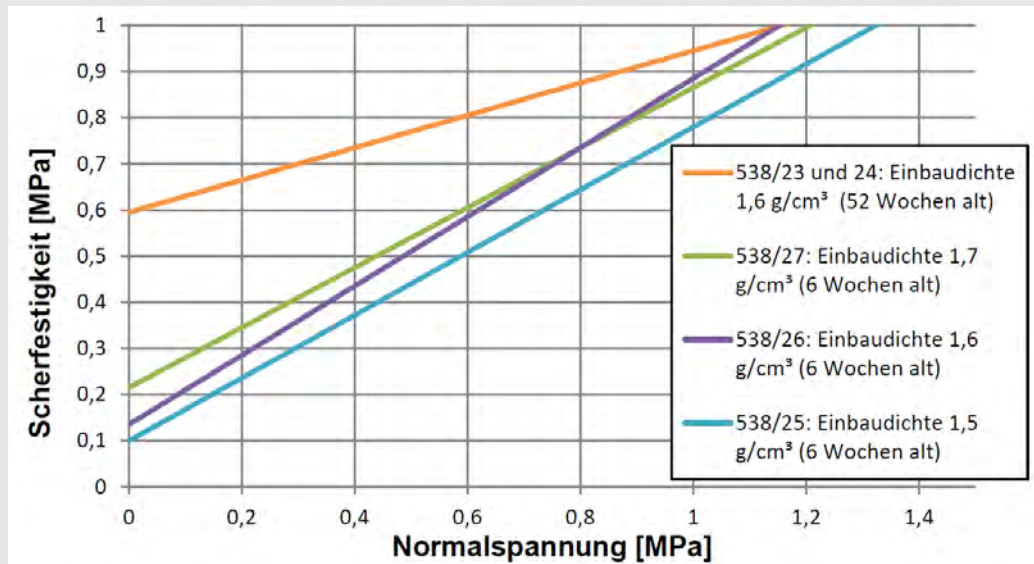
VEGAM TESCAN

TU Bergakademie Freiberg AOCH



3 Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN



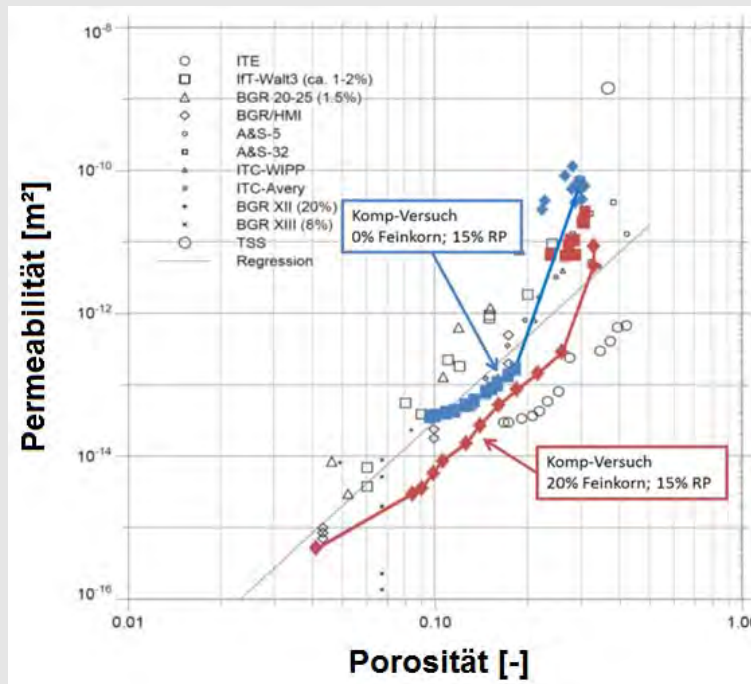
(Früh-)Scherfestigkeit:
 $\tau = 0,10 \dots 0,22 \text{ MPa}$

(End-)Scherfestigkeit:
 $\tau = 0,60 \text{ MPa}$

Innere Reibung:
 $\varphi = 33 \dots 34^\circ$

3 Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen

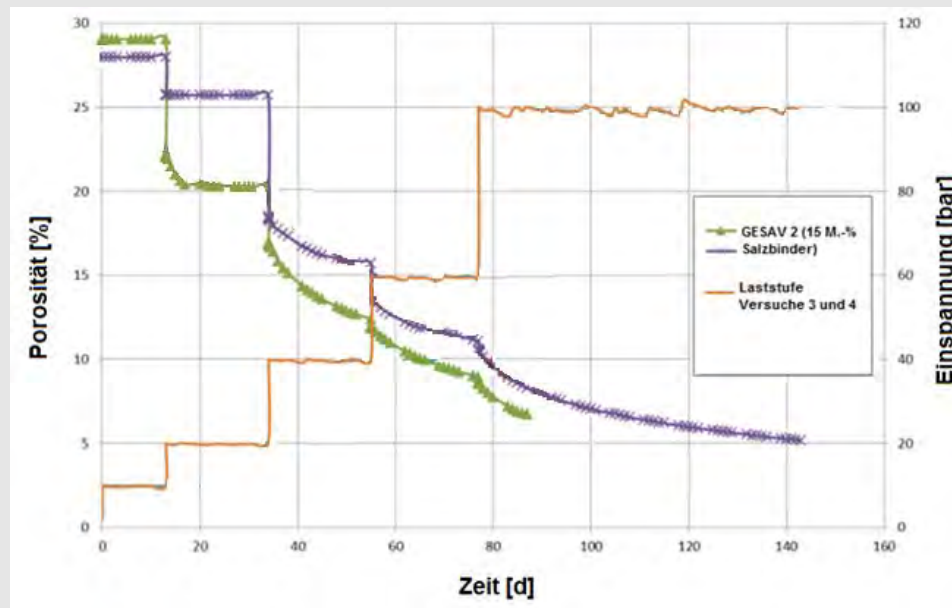
POROSITÄT-PERMEABILITÄTS-BEZIEHUNG



- Porosität und Permeabilität im oberen Bereich der bekannten Salzgrusmaterialien im Einbauzustand
- Überdurchschnittlich hohe Permeabilitätsabnahme bei einer Kompaktion
- Positive hydraulische Dichtwirkung des Versatzmaterials kann prognostiziert werden

3 Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen

KOMPAKTIONS- UND KRIECHVERHALTEN



- Proben mit 15 M-% Salzbinde zeigen ein optimiertes Kriechverhalten
- Zu Beginn Ausbildung von statischen Plateaus bis zum Überschreiten von 1 MPa bzw. 2 MPa
- Stetige Porositätsabnahme bis in geringe Porositätsbereiche



4 In situ-Versuchsort in der Grube „Glückauf“ Sondershausen

GRUBE „GLÜCKAUF“ SONDRERSHAUSEN – GSES mbH

Geschäftsfelder:

- Versatz (Sturz-, Spül-, Pump-, Stapel- und Schleuderversatz)
- Untertagedeponie der Klasse IV
- Steinsalzabbau im Staßfurt-Steinsalz (Na₂)
- Haldenbewirtschaftung

GSES mbH im FuE-Vorhaben GESAV II:

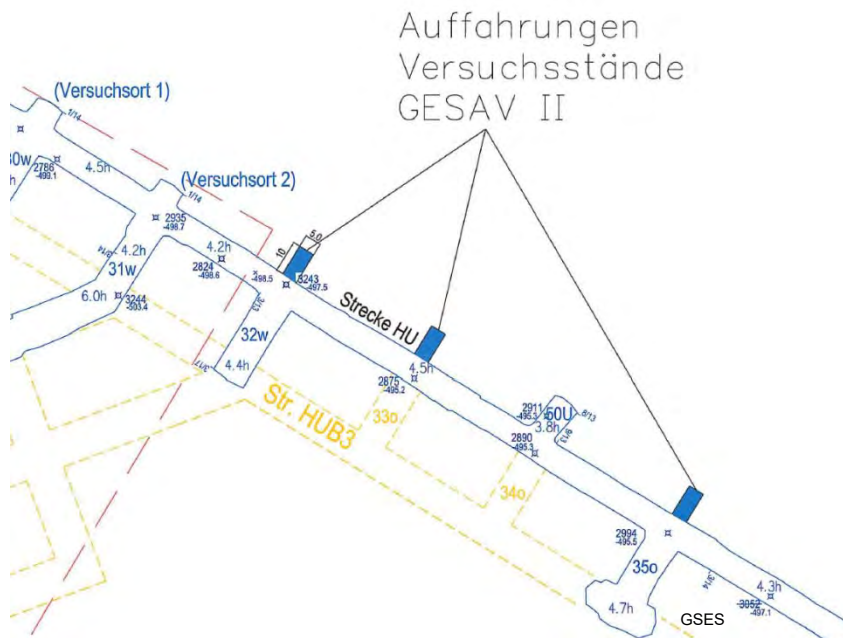
- Lieferung der Salzgruskomponenten
- Bereitstellung der Versatztechnologien
- Bereitstellung der Versuchskammern





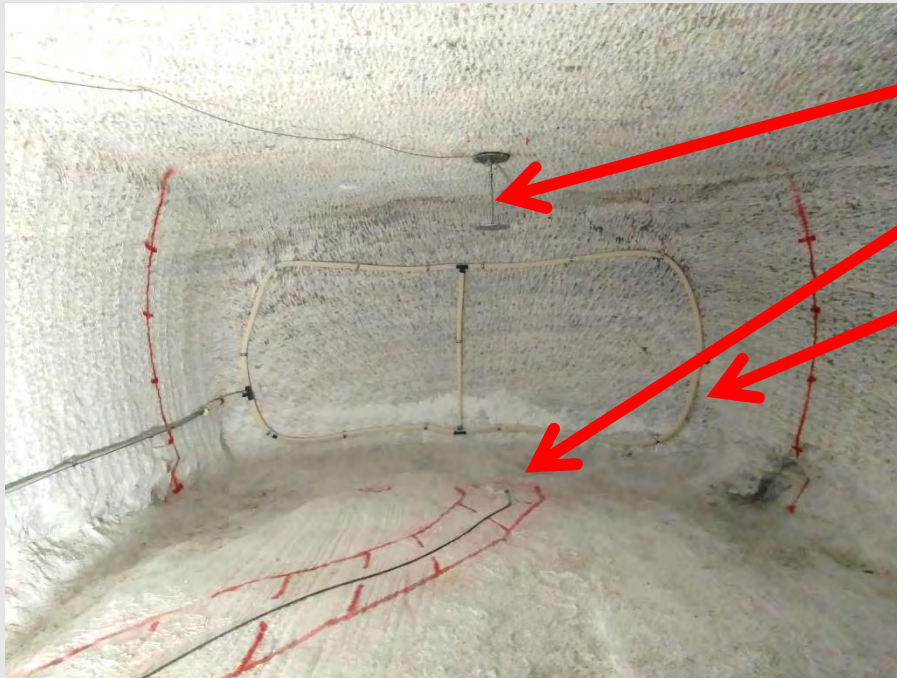
4 In situ-Versuchsort in der Grube „Glückauf“ Sondershausen

VERSUCHSÖRTER



TU Bergakademie Freiberg | Institut für Bergbau und Spezialtiefbau | Fuchsmühlenweg 9; 09599 Freiberg | Telefonnummer: 03731 / 39-2060 |
Vortragende: Melanie Pannach, Stefan Pötzsch | 13. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Projekten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle | 21.06.2018

MESSTECHNIK



Setzungsmesseinrichtung

Erddruckmesseinrichtung

Durchströmungsvorrichtung

Nicht zu sehen:

- Temperatur- und Feuchtesensoren
- 3D-Laserscans
- Konvergenzmessung

BLASVERSATZ

- Langjährige Erfahrung im deutschen Bergbau
- Adaption von Maschinenteknik aus der Beton-Trockenspritzen
- Rückprall- und Entmischungproblematik

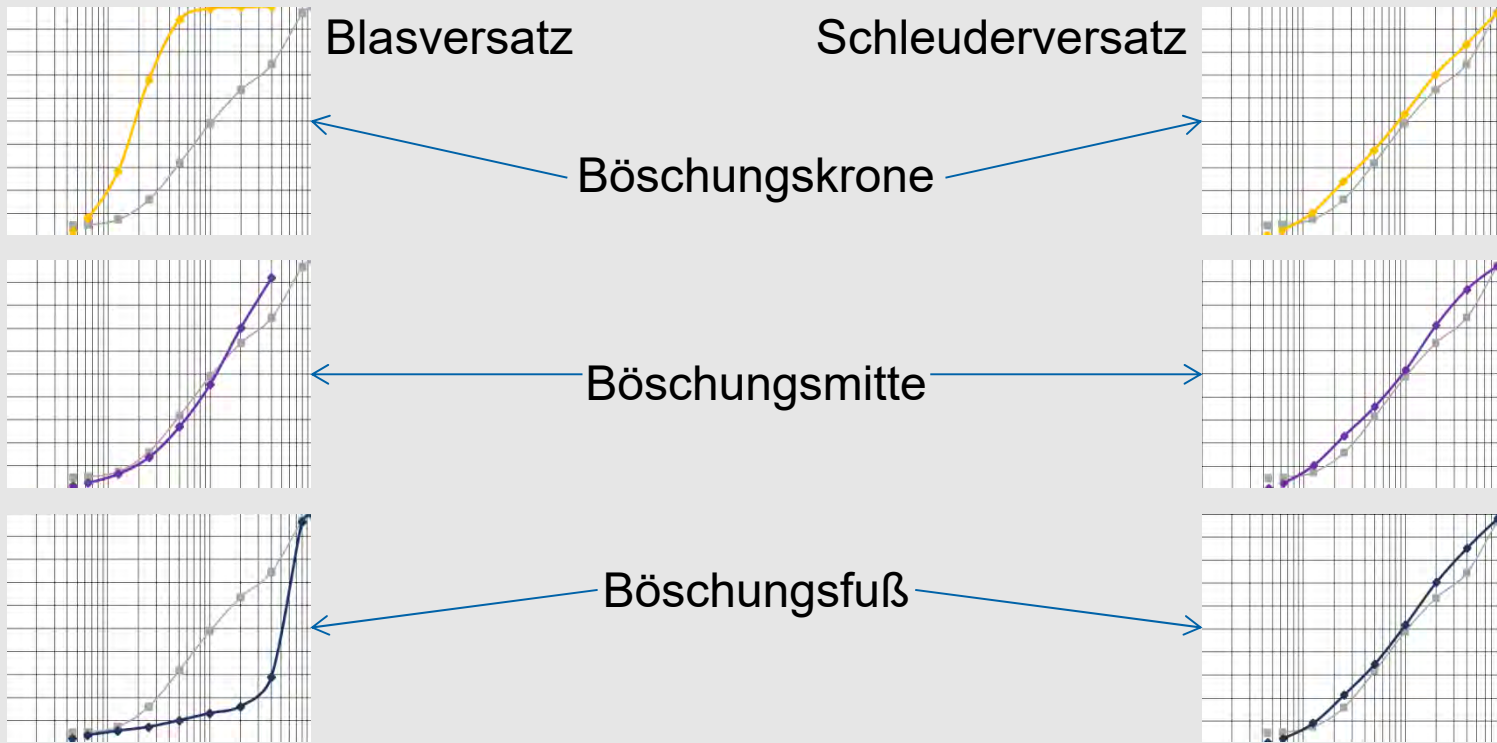


SCHLEUDERVERSATZ

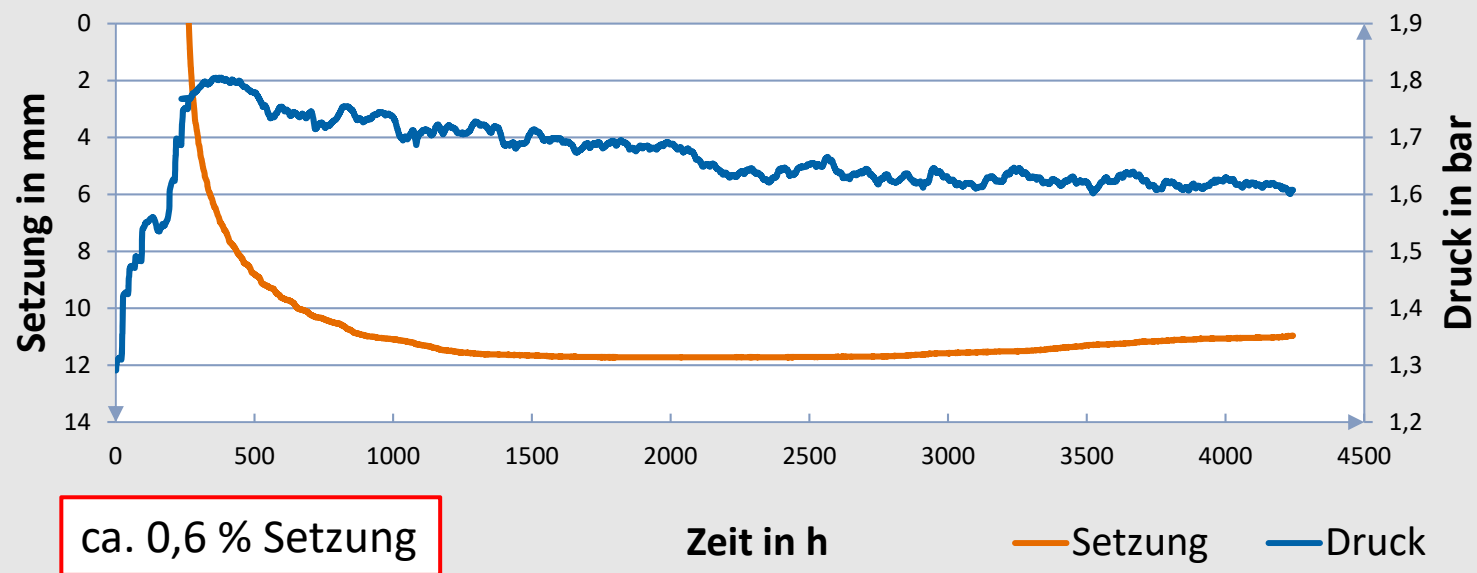
- Standardverfahren im deutschen Entsorgungsbergbau
- Einsatz von adaptierten Schneefräsen
- Erstmaliger Einsatz beim Versetzen von vollständigen Streckenquerschnitten



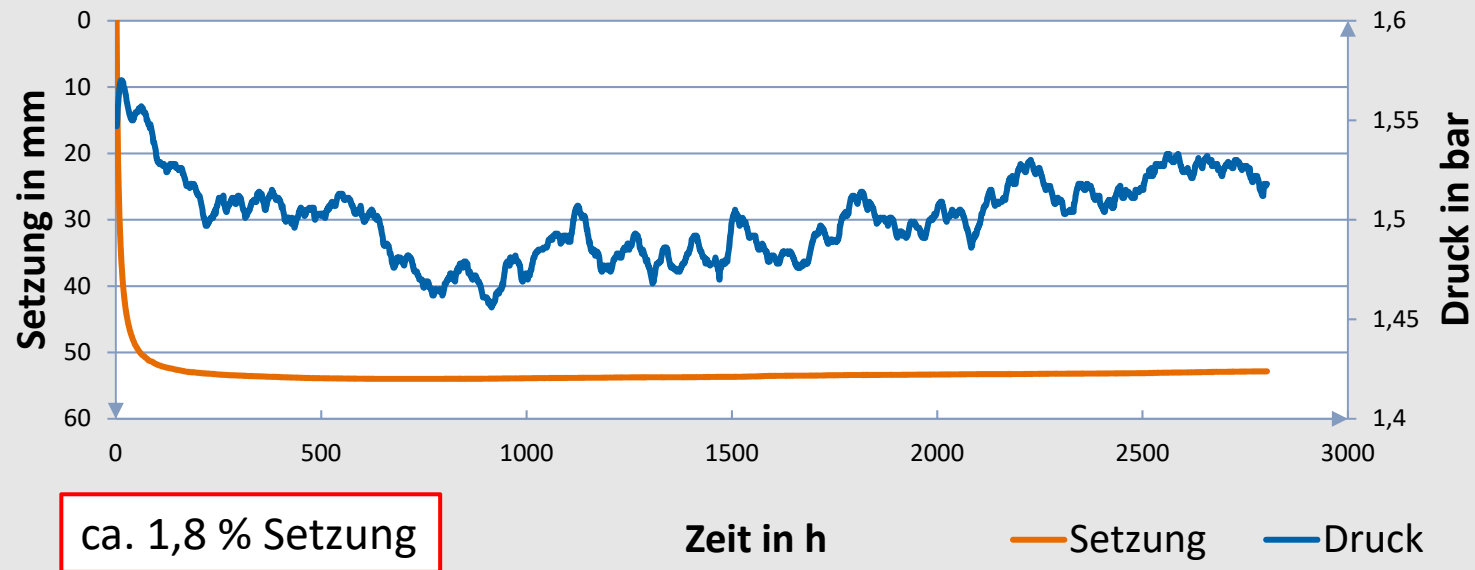
KORNVERTEILUNG IM EINBAUZUSTAND



SETZUNG-DRUCK-VERLAUF BLASVERSATZ

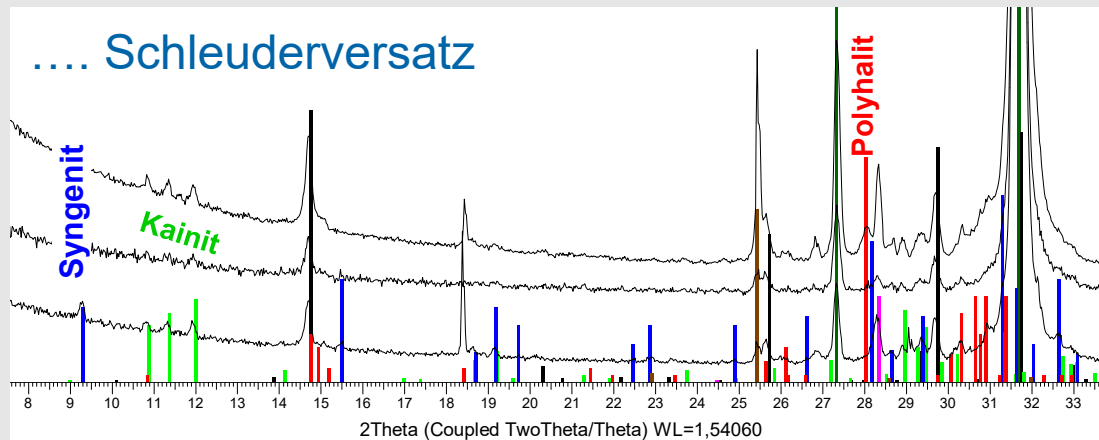


SETZUNG-DRUCK-VERLAUF SCHLEUDERVERSATZ



POLYHALITBILDUNG

... wird an **in situ** Proben durch zeitabhängige Messungen verfolgt und unabhängig von der Art der Einbringung/Versatzart **nachgewiesen**



... nach 4 Monaten
 ... nach 2 Monaten
 eingebrachtes GESAV-Material



6 Zusammenfassung und Ausblick

AUSBLICK

Bestehende Versatzkörper

- in situ-Ermittlung der Permeabilität
- Probenahme für Laboruntersuchungen am IfG

Versatzverfahren

- Entwicklung von hybriden Einbauverfahren (statisch-dynamisch)
 - Erhöhung der Einbaudichte
 - Schließen des Firstspalts
- Geometrische Optimierung des Schleuderversatzverfahrens
 - Anwendung von Schleudermaschinen mit liegendem Rad



6 Zusammenfassung und Ausblick

ZUSAMMENFASSUNG

- Entwicklung eines gefügestabilisierten Salzgrusversatzmaterials
- Gefügestabilisierung durch Polyhalitbrückenbildung an Salzgrusmatrix
- Labortechnische Prüfung des entwickelten und patentierten Versatzmaterials

- Untersuchung von Versatzverfahren zum optimalen Einbau des GESAV-Materials
- Polyhalit unabhängig vom Verfahren in situ nachgewiesen
- Setzung von max. 1,8 % durch Gefügestabilisierung

GESAV 1

GESAV 2



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



Glück Auf!

TU Bergakademie Freiberg | Institut für Bergbau und Spezialtiefbau | Fuchsmühlenweg 9; 09599 Freiberg | Telefonnummer: 03731 / 39-2060 |
Vortragende: Melanie Pannach, Stefan Pötzsch | 13. Projektstatusgespräch zu BMWi-geförderten FuE-Projekten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle | 21.06.2018

Anhang

GEDANKEN ZUR INTERNATIONALITÄT DER ENDLAGERFORSCHUNG



Prof. Dr. Wernt Brewitz
TU Braunschweig

Deutsche Wissenschaftler besuchen Forschungseinrichtungen in China

中德放射性废物处置研讨会
CHINESE-GERMAN WORKSHOP ON RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL
May 28-31, 2007, Beijing, China



„Role Model“ für einen PT in China

