

Fachkonferenz Teilgebiete

Datum: 07.08.2021
Dok.-Nr.: FKT_Bt3_027



Präsentationen der ergänzenden Gesprächs- und Informationsformate zum 3. Beratungstermin am 5. August 2021

Nr.	Inhalt	Seite
1	„Basiswissen Endlagersuche“, Präsentation von Antje Schünemann, Steffen Drees (BASE)	2
2	„Endlagersuche – Wie geht das?“, Präsentation von Dagmar Dehmer, Dr. Christoph Löwer (BGE mbH)	26
3	„Rat der jungen Generation“, Präsentation von Anastasia Gutte, Vincent Erdmann, Lukas Fachtan, Farras Fathi, Marcus Frenzel, Fynn Sauerwein und Tilman Ziel (Junge Generation)	48
4	„Zeitplanung“, Titelfolie des Workshops von Ralf Hasford, Lukas Fachtan u.a.	61
5	„Die Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung“, Präsentation von V. Brendler, K.-J. Röhlig, T. Popp, N. Müller-Hoppe/ N. Bertrams/ P. Herold aus der Reihe „Standortauswahl und Endlagersicherheit: Vier Themen, vier Gespräche.“ (DAEF)	63
6	„Langzeitsicherheit von Endlagern in Kristallin-, Salz- und Tongesteinen: Wie erreichen, wie demonstrieren?“, Präsentation von Prof. K.-J. Röhlig aus der Reihe „Standortauswahl und Endlagersicherheit: Vier Themen, vier Gespräche.“ (DAEF)	89
7	„Salzgestein in stratiformer („flacher“) Lagerung/ Barrierenintegrität - Relevanz für den Standortvergleich“, Präsentation von Till Popp, Ralf-Michael Günther aus der Reihe „Standortauswahl und Endlagersicherheit: Vier Themen, vier Gespräche.“ (DAEF)	118
8	„Verfüll- und Verschlusskonzepte im Salz (an Beispielen für steile und flache Lagerung)“, Präsentation von N. Müller-Hoeppe, N. Bertrams, P. Herold aus der Reihe „Standortauswahl und Endlagersicherheit: Vier Themen, vier Gespräche.“ (DAEF)	145

Endlagersuche: BASISWISSEN

**Antje Schünemann, BASE
Steffen Drees, BASE**

3. Beratungstermin der Fachkonferenz Teilgebiete, 05.08.2021



**Bundesamt
für die Sicherheit
der nuklearen Entsorgung**



SO KOMMEN SIE
ZU WORT

- Bitte schalten Sie Ihr Mikro aus, Video gerne an
- Sie haben eine Frage oder einen Kommentar?
 - Nutzen sie den Chat für schriftliche Fragen oder Kommentare
 - Möchten Sie einen Redebeitrag anmelden, schreiben sie bitte ein* (Sternchen) in den Chat
- Wir rufen Sie der Reihe nach auf.



Ablauf



Bundesamt
für die Sicherheit
der nuklearen Entsorgung

- **Hintergrund der Endlagersuche**
- **Standortauswahlverfahren – Überblick**
- **Standortauswahlverfahren – Beteiligung**

HINTERGRUND DER ENDLAGERSUCHE



DAS MOMENTUM



© Digital Globe

Fukushima

2011

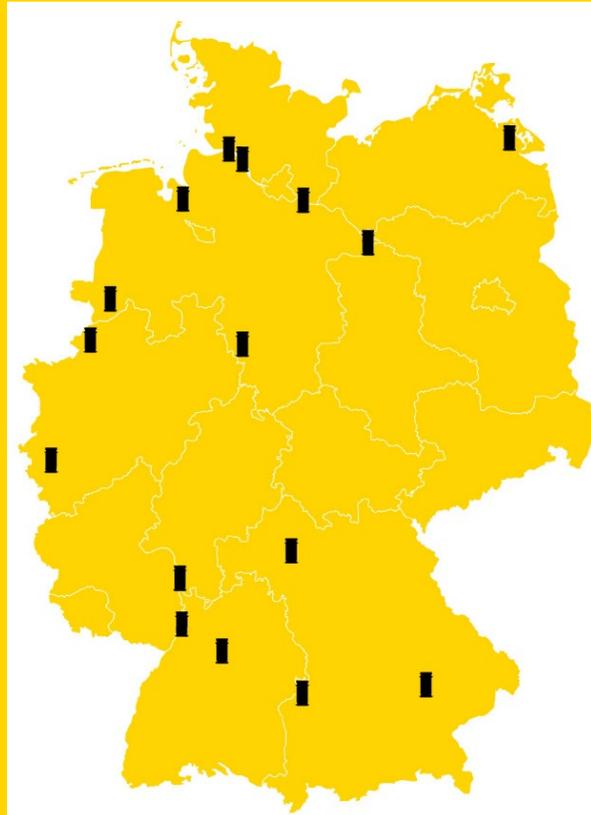
Atomausstieg



© Deutscher Bundestag / Marc-Steffen Unger



DAS PROBLEM



Hochradioaktive Abfälle in
bis zu **1.900**
sogenannten Castor-Behältern

Link zur interaktiven Karte:
<https://www.base.bund.de/karte-zwischenlagerung/index.html#/>





DER WEG ZUM KONSENS

- | | |
|--------------------|---|
| 2013 | Verabschiedung des Standortauswahlgesetzes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle („StandAG“) |
| 2014 - 2016 | Endlagerkommission |
| 2017 | Novelliertes Standortauswahlgesetz und Beginn der Endlagersuche |





DAS ZIEL

- ... einen dauerhaft sicheren Standort in Deutschland finden.**
- ... den Betrieb der Zwischenlager so kurz wie möglich halten.**
- ... die Antwort auf die Endlagerfrage nicht auf morgen verschieben.**
- ... vergessen zu können – und trotzdem sicher sein.**



**STANDORT-
AUSWAHLVERFAHREN -
ÜBERBLICK**



GRUNDZÜGE DES VERFAHRENS

Anforderungen an das Suchverfahren:

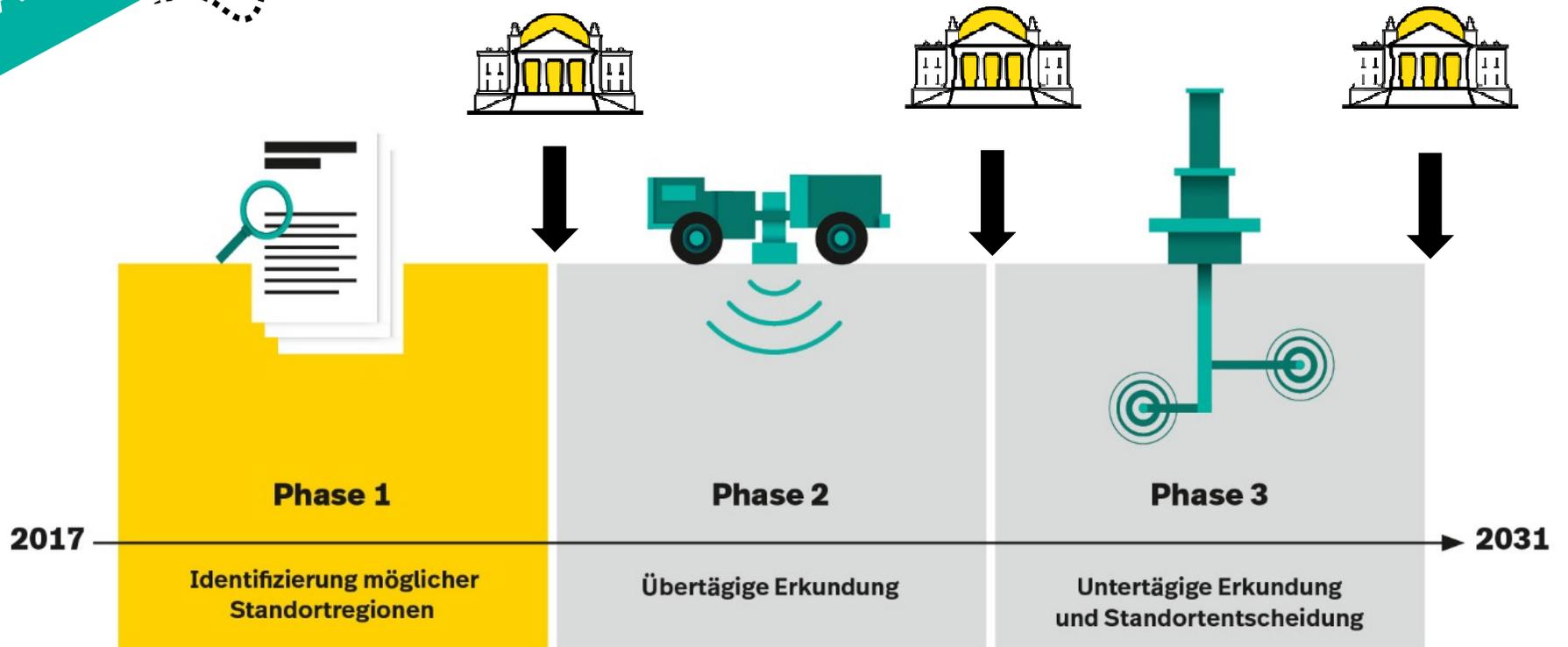
- Bestmögliche Sicherheit
- Ergebnisoffen
- Vergleichend und wissenschaftsbasiert
- Transparent, partizipativ, lernend



DIE AKTEURE



ABLAUF DES SUCHVERFAHRENS



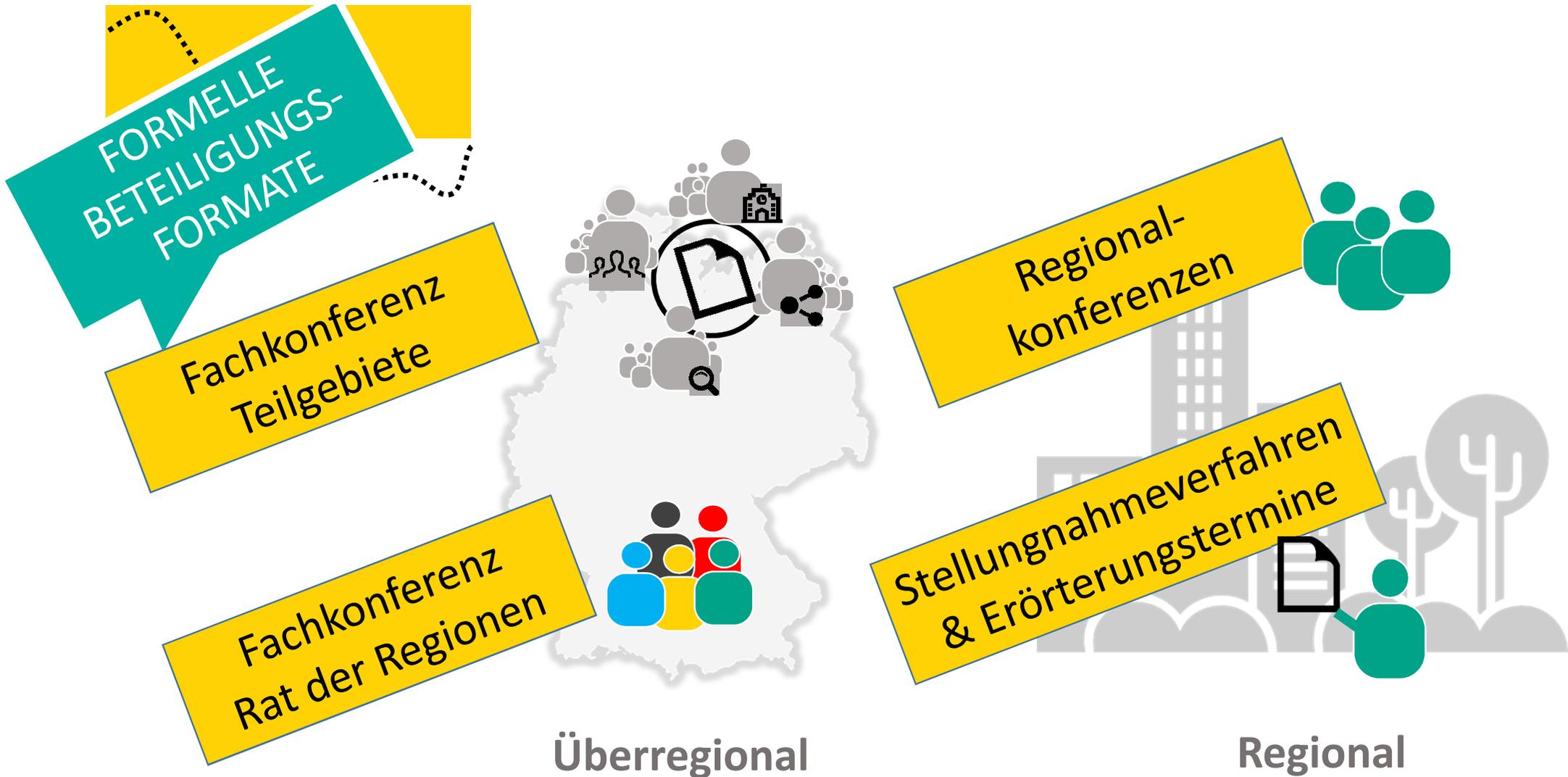
WO STEHEN WIR
HEUTE?

Phase 1 – Wo stehen wir heute?



**STANDORT-
AUSWAHLVERFAHREN -
BETEILIGUNG**







REGIONAL-KONFERENZEN

Die Regionalkonferenzen

- werden mit dem **Vorschlag der Standortregionen** zur übertägigen Erkundung in jeder Standortregion eingerichtet,
- **begleiten das Verfahren langfristig**
- ermöglichen eine **kontinuierliche und umfassende Beteiligung** der Öffentlichkeit in den betroffenen Regionen.



REGIONAL- KONFERENZEN

**Die Regionalkonferenzen setzen sich
zusammen aus ...**

- ... einer Vollversammlung,
- ... einem Vertretungskreis



**DIE REGIONAL-
KONFERENZEN...**



... können sich wissenschaftlicher Expertise bedienen



... werden von eigenen Geschäftsstellen unterstützt



... können Nachprüfaufträge stellen



... geben Stellungnahmen ab



... entwickeln Konzepte zur Regionalentwicklung



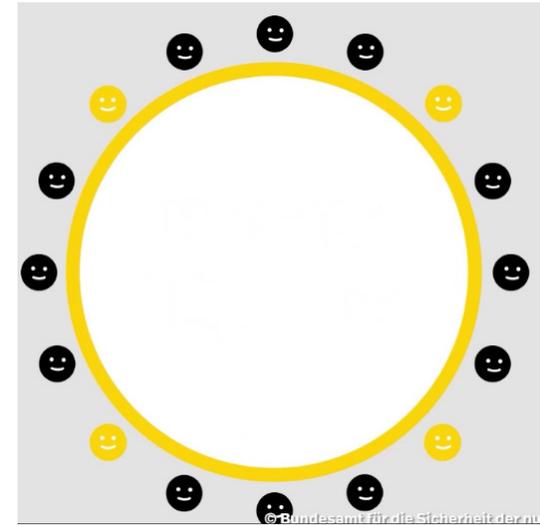
... können eigene Öffentlichkeitsarbeit und -beteiligung durchführen



RAT DER REGIONEN

Der Rat der Regionen setzt sich zusammen aus ...

- ... Vertreter*innen der Regionalkonferenzen
- ... Vertreter*innen aus Gemeinden der Zwischenlagerstandorte



Aufgaben ...

- ... überregionaler Austausch und Entwicklung überregionaler Perspektiven
- ... Ausgleich widerstreitender Interessen der Standortregionen
- ... Erfahrungsaustausch und Kompetenzaufbau



Stellungnahmeverfahren und Erörterungstermine

- ... bekannt aus „klassischen“ Planungsverfahren
- ... richten sich an Öffentlichkeit und Träger öffentlicher Belange
- ... finden in jeder Phase des Verfahrens statt



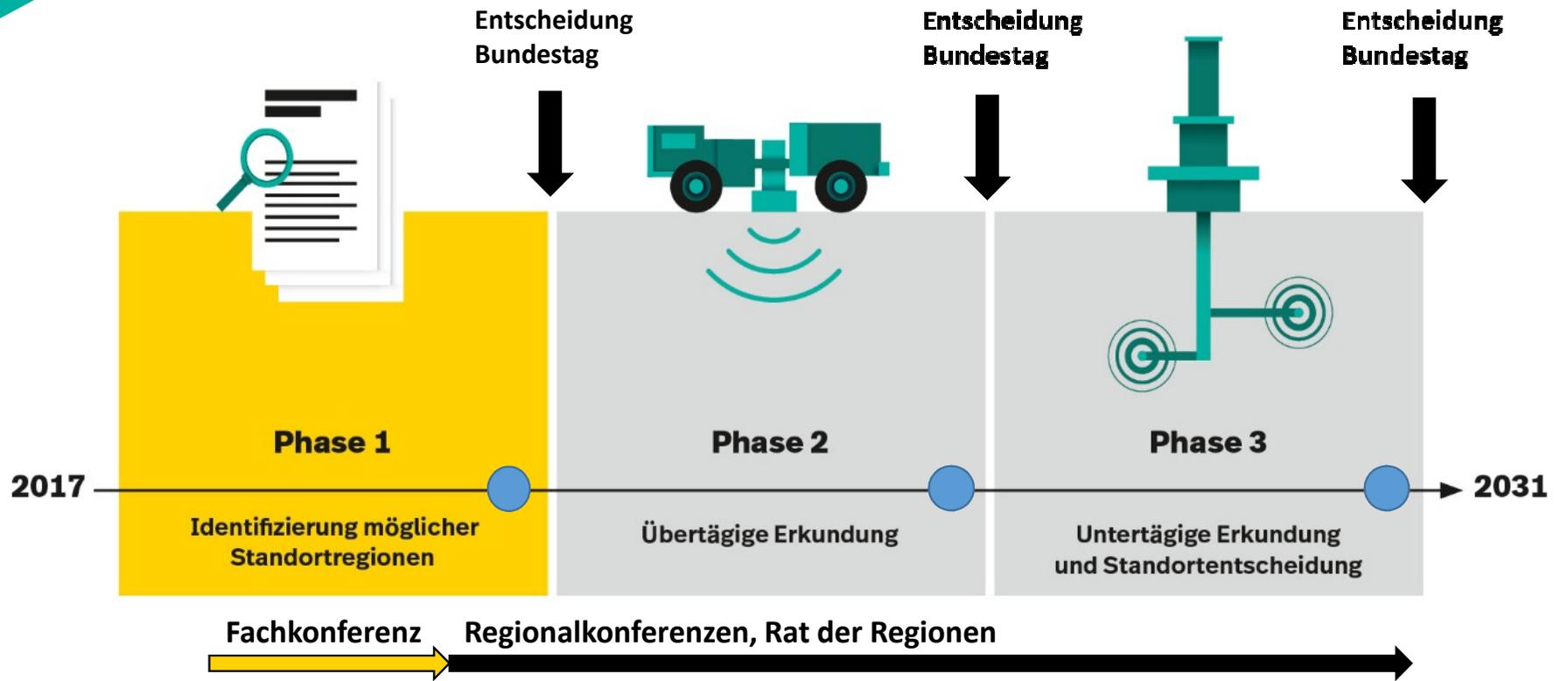


- Das Standortauswahlgesetz schafft Spielraum für weitere Beteiligungsformate

- Beispiele für informelle Beteiligungsangebote des BASE:
 - Jugendworkshops
 - Dialog mit Kommunen
 - Statuskonferenz
 - Forschungssymposium



BETEILIGUNG IM SUCHVERFAHREN



● = Stellungnahmeverfahren / Erörterungstermine



Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung



Wir freuen uns
auf Ihre Fragen.



WEITERE INFOS

Die zentrale Infoplattform:

www.endlagersuche-infoplattform.de

Hier finden Sie auch die [Endlagersuche-App](#) und die [virtuelle Ausstellung](#).

Weiterführende Infos:

www.base.bund.de

www.bge.de

www.nationales-begleitgremium.de





BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

ENDLAGERSUCHE – WIE GEHT DAS?

Ergänzendes Format zum
3. Beratungstermin der Fachkonferenz Teilgebiete

DAGMAR DEHMER, DR. CHRISTOPH LÖWER

05. August 2021

ENDLAGERSUCHE

Der Weg zum Zwischenbericht
Teilgebiete in den Schritt 2 der
Phase I – von Gebieten zur
Methodenentwicklung zu
Standortregionen

01

DAS PROBLEM, DAS ZIEL, DIE DATEN

02

DER WEG ZUM ZWISCHENBERICHT TEILGEBIETE

03

GEBIETE ZUR METHODENENTWICKLUNG

04

WIE GEHT ES WEITER?

RADIOAKTIVE ABFALLSTOFFE IN DEUTSCHLAND

Hochradioaktive Abfälle:

- Ende 2022 rund 1.900 Castoren
- ca. 10.500 Tonnen (rund 27.000m³ = ca. 5 %) aus Brennelementen und der Wiederaufarbeitung
- 99 % der Radioaktivität



Quelle: Gesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ)



Quelle: BGE

Schwach- und Mittelradioaktive Abfälle:

- 303.000 m³ Einlagerungskapazität im Endlager Konrad ab 2027 vor allem aus AKW-Rückbau
- ca. 200.000 m³ aus der Asse – offen
- bis zu 100.000 m³ sonstige – offen

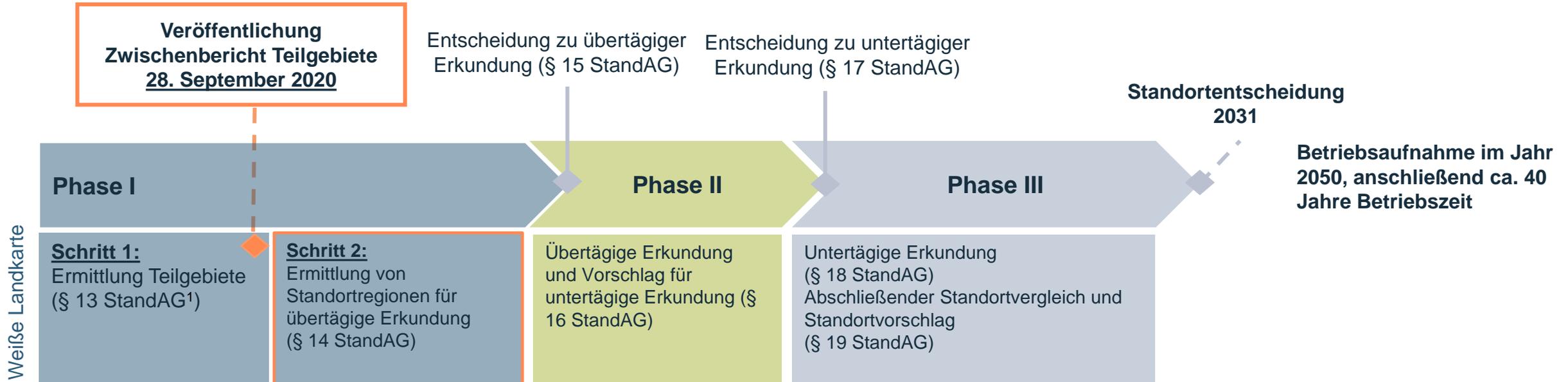
GRUNDPRINZIPIEN DES STANDORTAUSWAHLVERFAHRENS



- Standort in der Bundesrepublik Deutschland
- tiefengeologische Lagerung
- bestmögliche Sicherheit für einen Zeitraum von 1 Million Jahren
- Rückholbarkeit während des Betriebes
- Bergbarkeit für 500 Jahre nach Verschluss des Bergwerkes
- wissenschaftsbasiertes und transparentes Auswahlverfahren
- selbsthinterfragendes Verfahren und lernende Organisation

Quelle: BGE

PHASEN DES STANDORTAUSWAHLVERFAHRENS



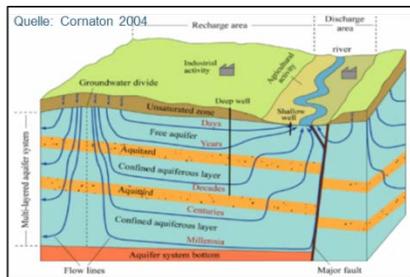
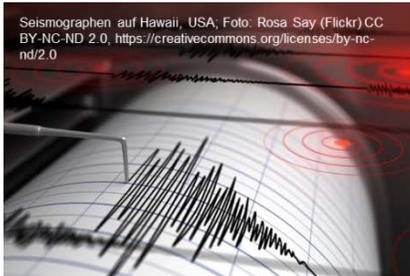
- 1.1 Anwendung der Ausschlusskriterien
- 1.2 Anwendung der Mindestanforderungen
- 1.3 Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
Planungswissenschaftliche Abwägungskriterien

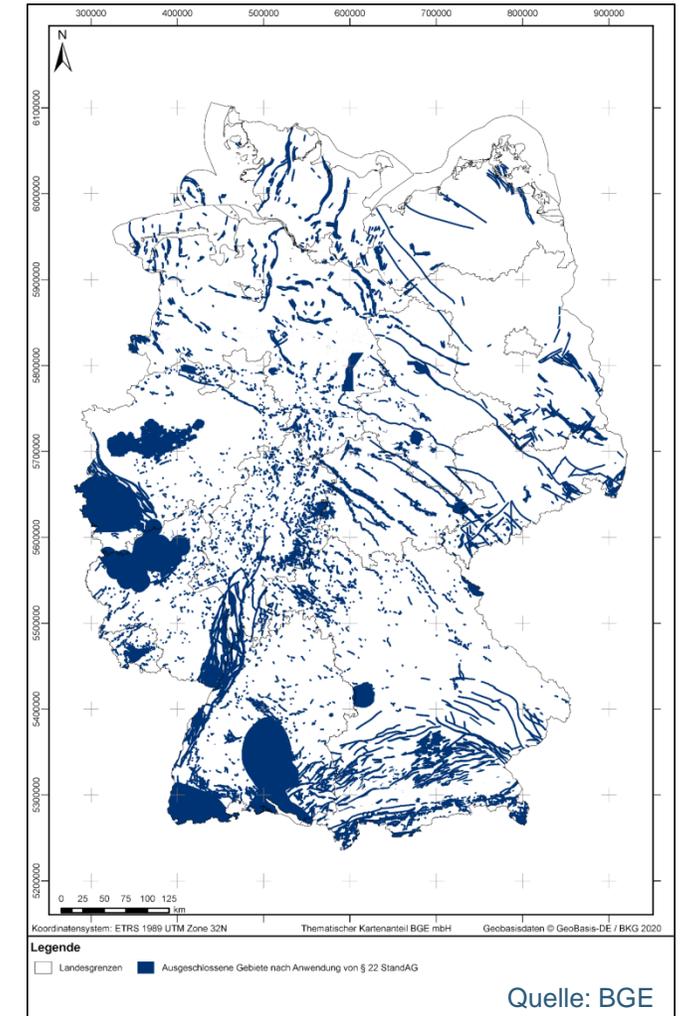
Quelle: BGE

¹Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760) geändert worden ist

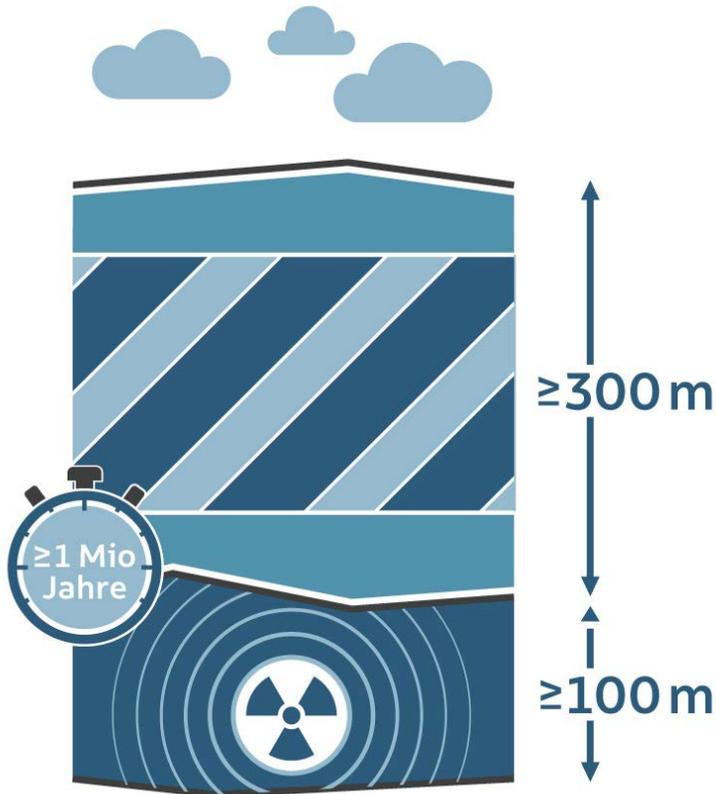
AUSSCHLUSSKRITERIEN



- Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit
- aktive Störungszonen
- seismische Aktivität
- großräumige Vertikalbewegungen
- Grundwasseralter
- vulkanische Aktivität

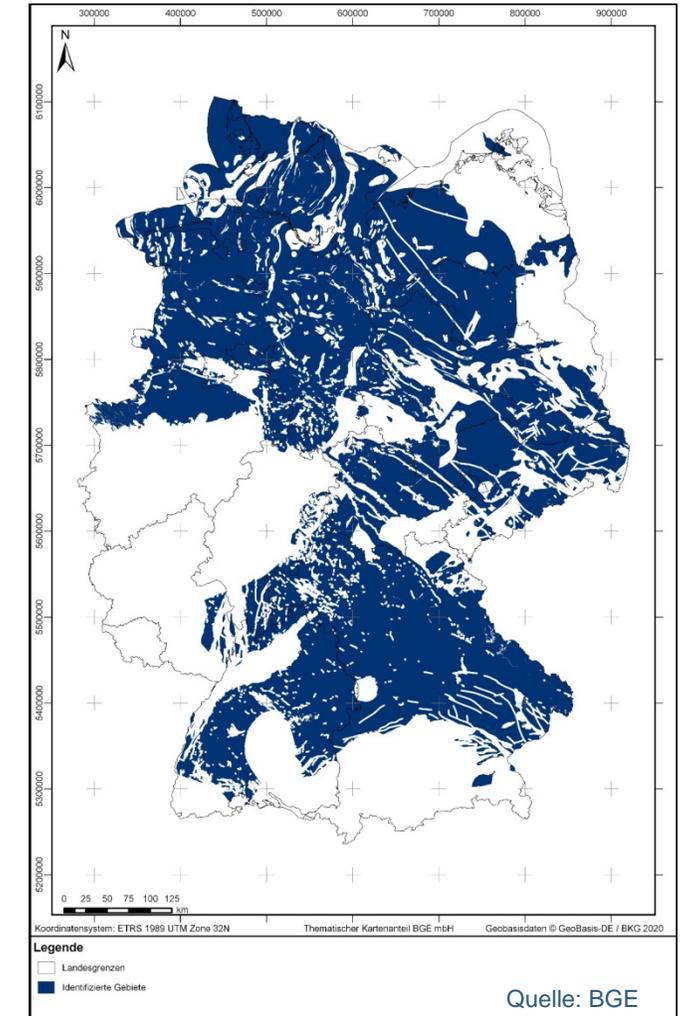


MINDESTANFORDERUNGEN¹



- **geringe Gebirgsdurchlässigkeit**
- **Mächtigkeit mindestens 100 Meter** (Ausnahme Kristallingestein)
- Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss **mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche** liegen.
- **geeignete Ausdehnung** in Fläche und Höhe
- **Erhalt der Barrierewirkung für 1 Million Jahre**

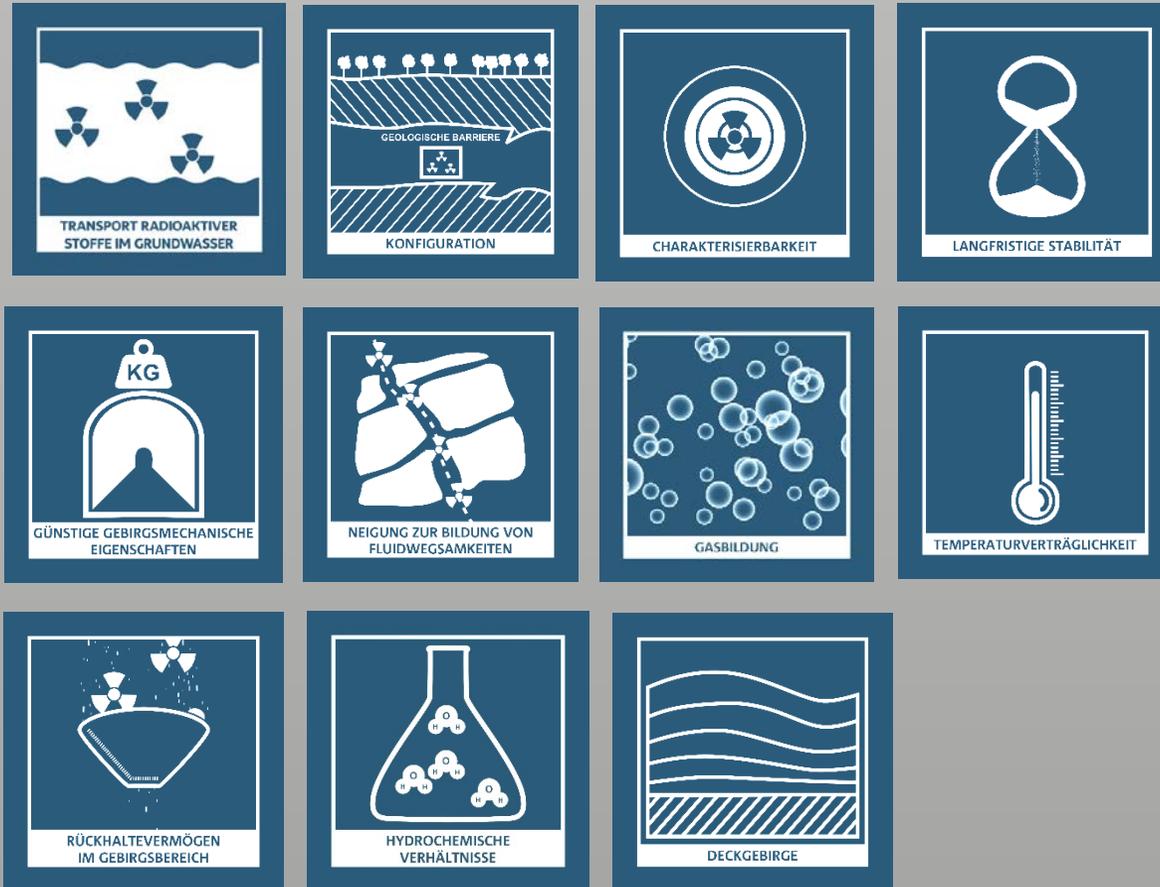
Quelle: BGE



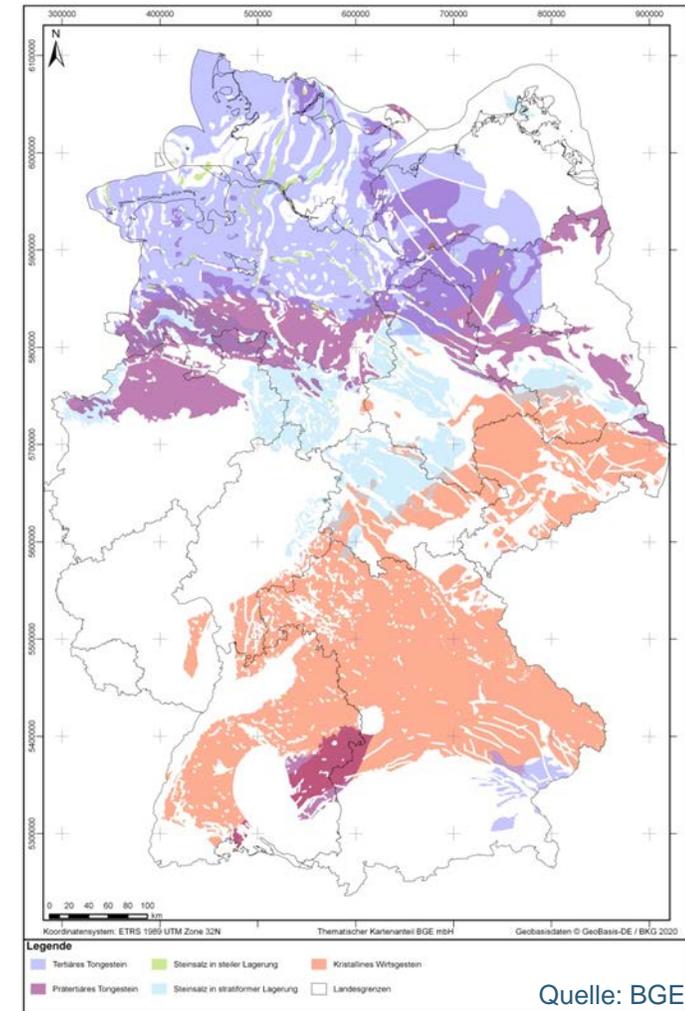
Quelle: BGE

¹Für Salzgestein in steiler Lagerung und Kristallingestein gelten besondere Anforderungen

GEOWISSENSCHAFTLICHE ABWÄGUNGSKRITERIEN



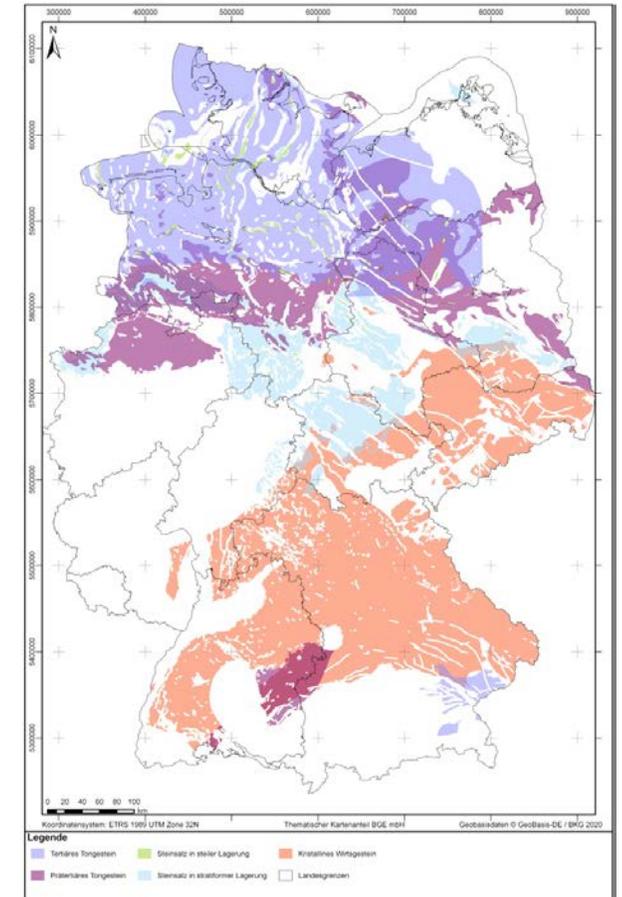
Quelle: BGE



Quelle: BGE

ERGEBNISSE ZWISCHENBERICHT TEILGEBIETE

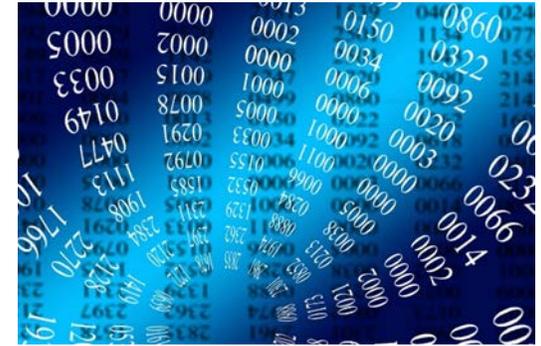
Wirtsgestein	Anzahl identifizierte Gebiete	Anzahl Teilgebiete	Fläche Teilgebiete In km ²
Tongestein	12	9	129 639
Steinsalz, davon			
• stratiforme Lagerung	23	14	28 415
• steile Lagerung	139	60	2 034
Steinsalz gesamt	162	74	30 450
kristallines Wirtsgestein	7	7	80 786
<u>gesamt</u>	<u>181</u>	<u>90</u>	<u>240 874</u>
Anteil an Bundesfläche			rd. 54 %



Quelle: BGE

DATEN & METHODIK FÜR PHASE I

- **Datenabfragen** bei den Bundes- und Landesbehörden laufen seit 2017
- **Methoden** zur Anwendung von Kriterien und Anforderungen wurden anhand der konkreten Datenlagen schrittweise weiterentwickelt und online konsultiert
- **Datengrundlagen** für die Suchkriterien können zum Beispiel sein: Geologische 3D-Modelle, tektonische Karten, Lage von Bohrungen und Bergwerken inkl. Schichtenverzeichnisse, Daten zu seismischer Aktivität, Hebungen und Vulkanismus, vereinzelt zu Grundwasseralter, zahlreiche Literaturquellen
- Grundlage für die **Veröffentlichung** der geologischen Daten ist das Geologiedatengesetz¹
- Die **Datenverfügbarkeit** schreitet voran. Die Geologischen Modelle der Länder sind vollständig veröffentlicht und über einen 3D-Viewer zugänglich. 87 Prozent der Daten zu Ausschlusskriterien und 61 Prozent der Daten zu Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind veröffentlicht.



Quelle: Pixabay

¹Geologiedatengesetz vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S.1387)

KOMMUNIKATION – DISKUSSION – BETEILIGUNG

- **Veröffentlichung am 28. September 2020 per PK und www.bge.de → erledigt**
Dokumente, Erklär-Videos, FAQ;
- **Hotline** 05171/543-9000;  teilgebiete@bge.de;
- **Vorstellung** der Ergebnisse des Zwischenberichts Teilgebiete :
 - 17.10.2020 in Kassel **Auftaktveranstaltung zur Fachkonferenz Teilgebiete → erledigt**
 - 26.10.- 06.11.2020 **Online-Sprechstunden** zu jedem Teilgebiet → **erledigt**
 - im Anschluss: auf Einladung **Vorstellung in den Teilgebieten → laufend**
- Start der **gesetzlichen Öffentlichkeitsbeteiligung: Fachkonferenz Teilgebiete**
 - drei Termine am **4.-7. Februar, 10.-13. Juni → erledigt; 6./7. August 2021**
 - **BGE berücksichtigt Ergebnisse bei den Vorschlägen über die Standortregionen**

FACHKONFERENZ TEILGEBIETE UND IHRE ERGEBNISSE

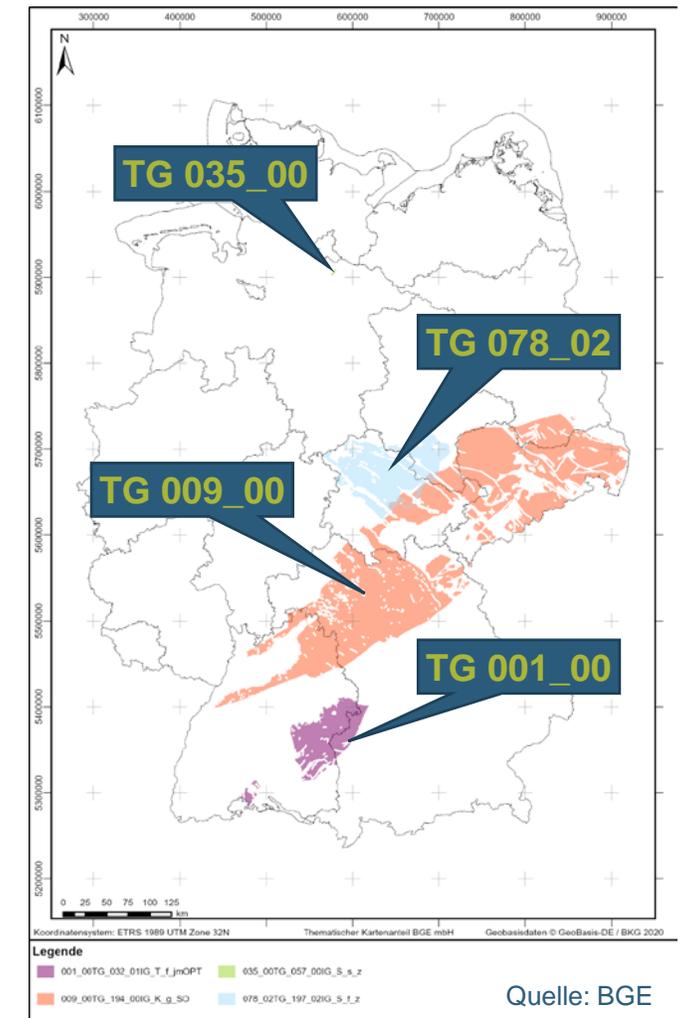
- 3. Beratungstermin Fachkonferenz Teilgebiete: 6.-7. August 2021, Auftakt Oktober 2020, 1. Termin Februar, 2. Termin Juni 2021
- Kernergebnisse:** Unverständnis über die Ausweisung der Teilgebiete, Unverständnis über das Auswahlverfahren als Ganzes, Unzufriedenheit mit der Größe und dem Umfang der Teilgebiete, Geologische Landesdienste kritisieren insbesondere, dass Daten noch nicht ausgewertet worden sind, die im Schritt 2 ausgewertet werden
- Stellungnahmen der Geologischen Dienste und andere Hinweise werden bei Schritt 2 berücksichtigt. Teilweise beschleunigt das die Arbeiten, teilweise auch nicht



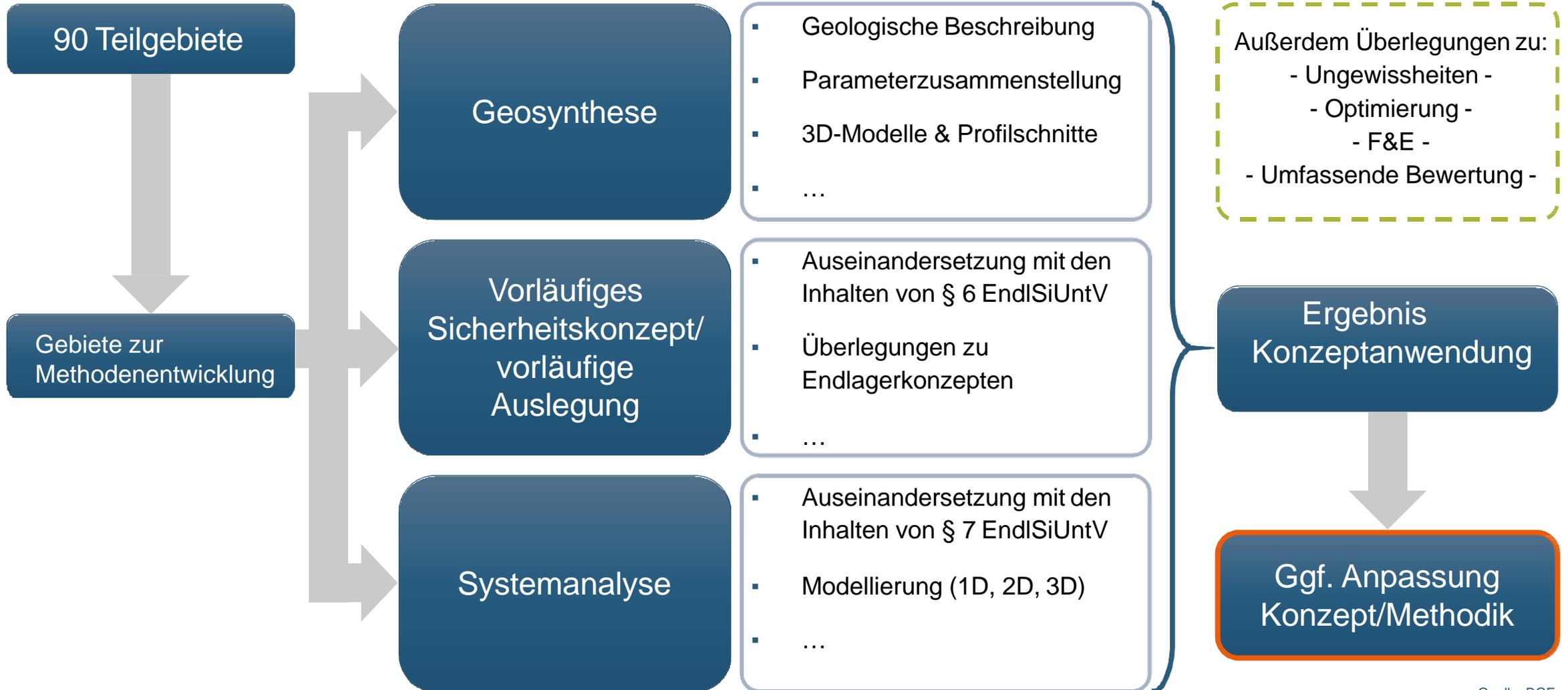
ID	Thema	Thema	Thema	Thema
01	01_01	01_01	01_01	01_01
02	02_01	02_01	02_01	02_01
03	03_01	03_01	03_01	03_01
04	04_01	04_01	04_01	04_01
05	05_01	05_01	05_01	05_01
06	06_01	06_01	06_01	06_01
07	07_01	07_01	07_01	07_01
08	08_01	08_01	08_01	08_01
09	09_01	09_01	09_01	09_01
10	10_01	10_01	10_01	10_01
11	11_01	11_01	11_01	11_01
12	12_01	12_01	12_01	12_01
13	13_01	13_01	13_01	13_01
14	14_01	14_01	14_01	14_01
15	15_01	15_01	15_01	15_01
16	16_01	16_01	16_01	16_01
17	17_01	17_01	17_01	17_01
18	18_01	18_01	18_01	18_01
19	19_01	19_01	19_01	19_01
20	20_01	20_01	20_01	20_01
21	21_01	21_01	21_01	21_01
22	22_01	22_01	22_01	22_01
23	23_01	23_01	23_01	23_01
24	24_01	24_01	24_01	24_01
25	25_01	25_01	25_01	25_01
26	26_01	26_01	26_01	26_01
27	27_01	27_01	27_01	27_01
28	28_01	28_01	28_01	28_01
29	29_01	29_01	29_01	29_01
30	30_01	30_01	30_01	30_01
31	31_01	31_01	31_01	31_01
32	32_01	32_01	32_01	32_01
33	33_01	33_01	33_01	33_01
34	34_01	34_01	34_01	34_01
35	35_01	35_01	35_01	35_01
36	36_01	36_01	36_01	36_01
37	37_01	37_01	37_01	37_01
38	38_01	38_01	38_01	38_01
39	39_01	39_01	39_01	39_01
40	40_01	40_01	40_01	40_01
41	41_01	41_01	41_01	41_01
42	42_01	42_01	42_01	42_01
43	43_01	43_01	43_01	43_01
44	44_01	44_01	44_01	44_01
45	45_01	45_01	45_01	45_01
46	46_01	46_01	46_01	46_01
47	47_01	47_01	47_01	47_01
48	48_01	48_01	48_01	48_01
49	49_01	49_01	49_01	49_01
50	50_01	50_01	50_01	50_01
51	51_01	51_01	51_01	51_01
52	52_01	52_01	52_01	52_01
53	53_01	53_01	53_01	53_01
54	54_01	54_01	54_01	54_01
55	55_01	55_01	55_01	55_01
56	56_01	56_01	56_01	56_01
57	57_01	57_01	57_01	57_01
58	58_01	58_01	58_01	58_01
59	59_01	59_01	59_01	59_01
60	60_01	60_01	60_01	60_01
61	61_01	61_01	61_01	61_01
62	62_01	62_01	62_01	62_01
63	63_01	63_01	63_01	63_01
64	64_01	64_01	64_01	64_01
65	65_01	65_01	65_01	65_01
66	66_01	66_01	66_01	66_01
67	67_01	67_01	67_01	67_01
68	68_01	68_01	68_01	68_01
69	69_01	69_01	69_01	69_01
70	70_01	70_01	70_01	70_01
71	71_01	71_01	71_01	71_01
72	72_01	72_01	72_01	72_01
73	73_01	73_01	73_01	73_01
74	74_01	74_01	74_01	74_01
75	75_01	75_01	75_01	75_01
76	76_01	76_01	76_01	76_01
77	77_01	77_01	77_01	77_01
78	78_01	78_01	78_01	78_01
79	79_01	79_01	79_01	79_01
80	80_01	80_01	80_01	80_01
81	81_01	81_01	81_01	81_01
82	82_01	82_01	82_01	82_01
83	83_01	83_01	83_01	83_01
84	84_01	84_01	84_01	84_01
85	85_01	85_01	85_01	85_01
86	86_01	86_01	86_01	86_01
87	87_01	87_01	87_01	87_01
88	88_01	88_01	88_01	88_01
89	89_01	89_01	89_01	89_01
90	90_01	90_01	90_01	90_01
91	91_01	91_01	91_01	91_01
92	92_01	92_01	92_01	92_01
93	93_01	93_01	93_01	93_01
94	94_01	94_01	94_01	94_01
95	95_01	95_01	95_01	95_01
96	96_01	96_01	96_01	96_01
97	97_01	97_01	97_01	97_01
98	98_01	98_01	98_01	98_01
99	99_01	99_01	99_01	99_01
100	100_01	100_01	100_01	100_01

METHODENENTWICKLUNG FÜR DIE REPRÄSENTATIVEN VORLÄUFIGEN SICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN

- Für die Anwendung der neuartigen repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) werden Methoden in vier Teilgebieten entwickelt und erprobt ([Link: Steckbriefe zu den vier Gebieten zur Methodenentwicklung](#))
- Diese Methoden bilden die Grundlage für die Durchführung der rvSU in allen ermittelten 90 Teilgebieten
- Zentral für das Portfolio der Gebiete zur Methodenentwicklung waren:
 - Jedes Wirtsgestein sollte vertreten sein
 - Teilgebiete mit heterogener Datenverfügbarkeit,
 - große Variabilität z. B. hinsichtlich der Größe und der geologischen Komplexität
- Methode wird am Ende nur den Rahmen vorgeben. Die Durchführung der rvSU erfolgt teilgebietsspezifisch in allen 90 Teilgebieten
- Die Entwicklung der Methoden an realen Gebieten ist zwingend erforderlich
- Die Auswahl zum Gebiet zur Methodenentwicklung ist keine Vorfestlegung für die Standortregionen. Sie trifft keine Aussage über die potentielle Eignung



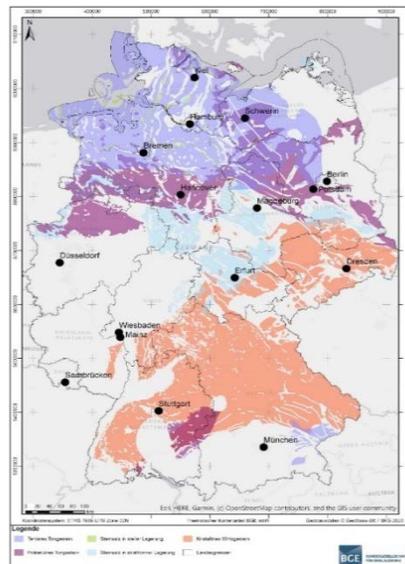
Konzeptanwendungen der Methoden



WIE GEHT ES WEITER?

Schritt 1, Phase I

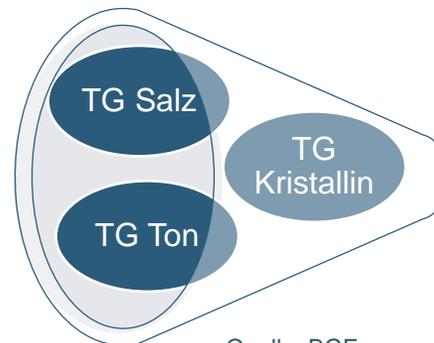
Teilgebiete aus Zwischenbericht



Quelle: BGE

90 Teilgebiete Fläche (TG) ca. 54 % der BRD

- 1) repräsentative vorl. Sicherheitsuntersuchungen (§ 27 StandAG)
- 2) geoWK (§ 24 StandAG)
- 3) planWK (§ 25 StandAG)



Quelle: BGE

Schritt 2, Phase I

- 1) Prüfung durch das BASE (§ 15 StandAG und
- 2) Einberufung und Beteiligung der Regionalkonferenzen (§ 10 StandAG)
- 3) Durchführung von Stellungnahme-Verfahren und Erörterungsterminen (§ 7 StandAG)
- 4) Befassung und Beschlussfassung BuReg
- 5) Befassung und Beschlussfassung BT und BR



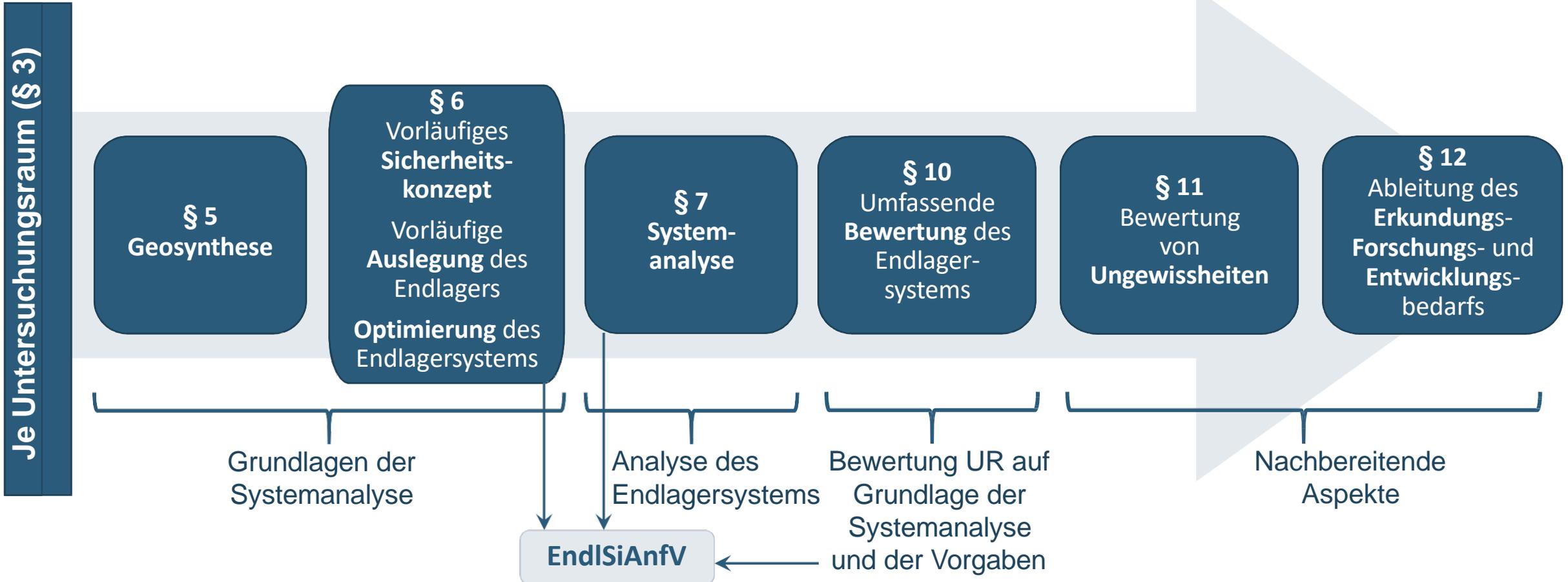
Quelle: BGE

Standortregionen + standortbezogene Erkundungsprogramme

¹geoWK: geowissenschaftliche Abwägungskriterien
²planWK: planungswissenschaftliche Abwägungskriterien
³BuReg: Bundesregierung
⁴BT: Bundestag
⁵BR: Bundesregierung

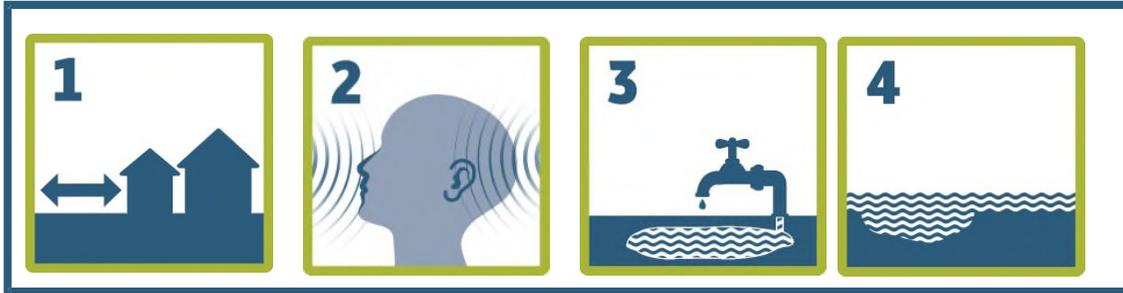
GESETZLICHE GRUNDLAGE

Struktur der rvSU nach EndlSiUntV



Planungswissenschaftliche Abwägungskriterien

Anlage 12 (zu § 25) StandAG



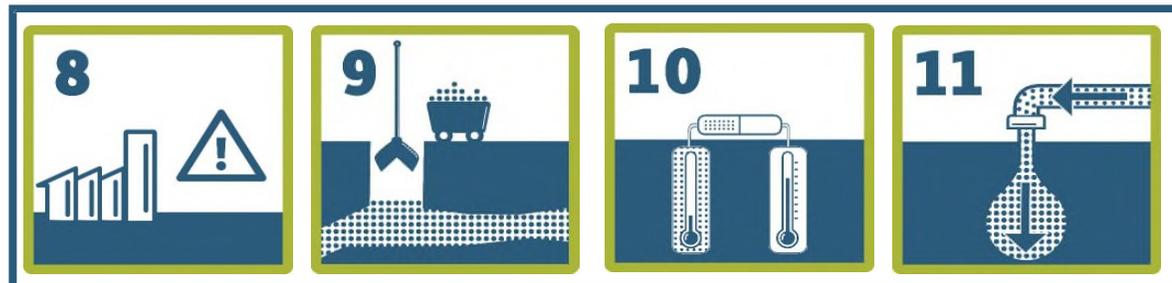
Gewichtungsgruppe 1 (stärkste Gewichtung)

- Schutz des Menschen und der menschlichen Gesundheit¹



Gewichtungsgruppe 2 (zweitstärkste Gewichtung)

- Schutz einzigartiger Natur- und Kulturgüter vor irreversiblen Beeinträchtigungen¹



Gewichtungsgruppe 3 (geringste Gewichtung)

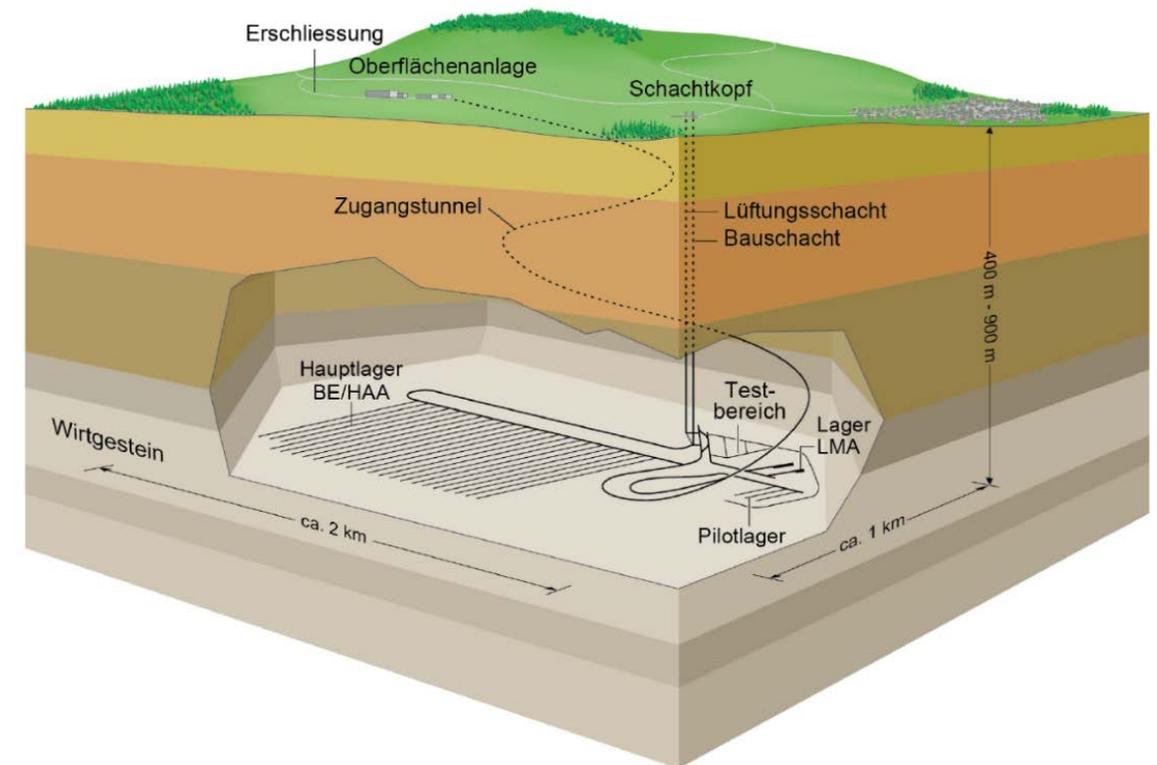
- Sonstige konkurrierende Nutzungen und Infrastruktur¹

Quelle: BGE

¹ K-Drs. 268: Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe Berlin, 5. Juli 2016

KOMPONENTEN EINES ENDLAGERS (AUSZUG)

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



Beispiel: Darstellung einer möglichen Auslegung des Endlagers für hochradioaktive Abfälle in der Schweiz¹

¹ Nagra (2011): Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung - Genereller Bericht. Technischer Bericht 11-01. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra). Wettingen, Schweiz

SIE WOLLEN NOCH EINMAL NACHLESEN?

- **Die Interaktive Einführung** zur Erstellung des Zwischenberichts und zu allen Kriterien und Anforderungen finden Sie hier:
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/storymap-vollbild/>
- **Ihre Fragen und unserer Antworten** finden sie hier:
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/fragen-und-antworten/>
- Den **Zwischenbericht Teilgebiete** mit allen Unterlagen und Anlagen finden Sie hier:
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/zwischenbericht-teilgebiete/>
- Eine **eigene Seite zu jedem Teilgebiet** finden Sie hier:
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/liste-aller-teilgebiete/>
- Eine **interaktive Karte** mit allen Teilgebieten und identifizierten Gebieten, ausgeschlossenen Gebieten und entscheidungserheblichen Schichtenverzeichnissen finden Sie hier:
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>. Eine Einführung in die Nutzung der Kartenwerke finden Sie hier: <https://www.youtube.com/watch?v=H59xp535AHc>
- Die **Steckbriefe für die Gebiete zur Methodenentwicklung** finden Sie hier:
<https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2021/7/619-endlagersuche/>

INTERNETANGEBOTE DER INSTITUTIONEN

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit:
<https://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/endlagerprojekte/standortauswahlverfahren-endlager/verlauf-standortauswahl-endlager-hochradioaktiver-abfaelle/>
- Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE):
https://www.base.bund.de/DE/home/home_node.html
- Nationales Begleitgremium: https://www.nationales-begleitgremium.de/DE/Home/home_node.html
- BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung: <https://bgz.de/>
- Fonds zur Finanzierung der nuklearen Entsorgung: <https://www.kenfo.de/start>
- Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE):
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>



BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

DAGMAR DEHMER

Bereichsleiterin Unternehmenskommunikation
und Öffentlichkeitsarbeit

DR. CHRISTOPH LÖWER

Leiter des Verbindungsbüros Berlin

www.bge.de

www.einblicke.de



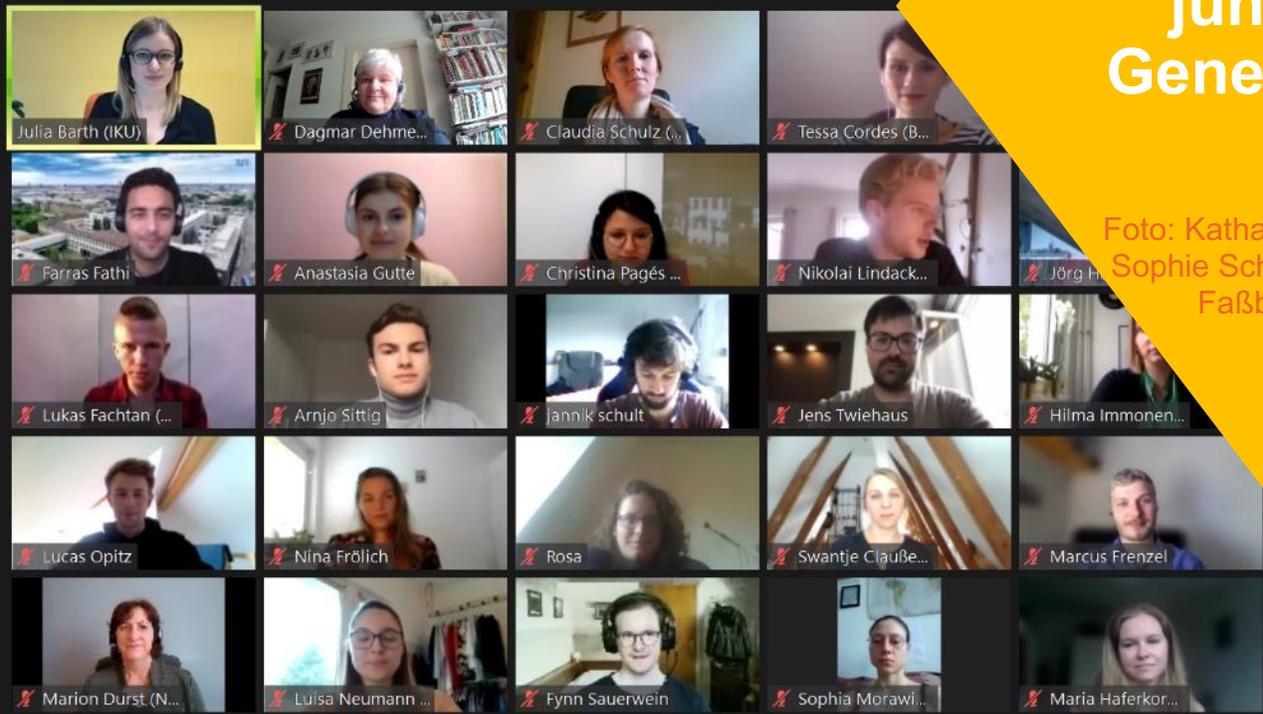
@die_BGE

Kontakt: dialog@bge.de



Rat der jungen Generation

Foto: Katharina Scheer, Sophie Scholz, Svenja Faßbinder



10. - 12. Juni 2021

stermin

Fach-konferenz

Teilgebiete

Was erwartet euch?

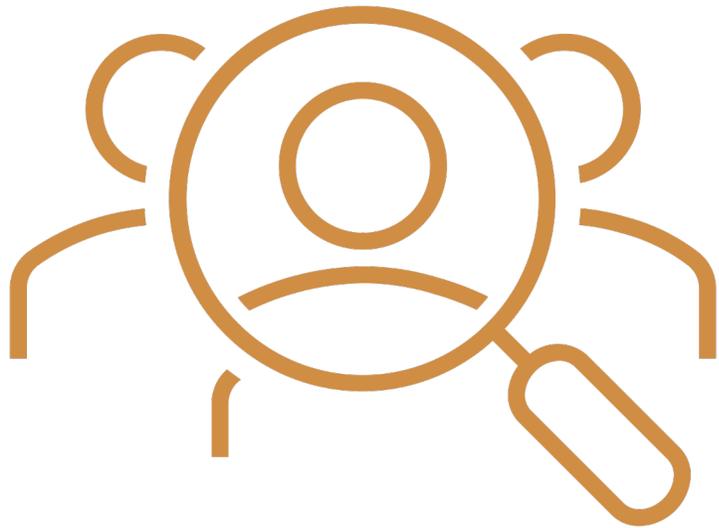


Wer sind wir?

Rückblick - Was bisher geschah!

Was haben wir vor?

Gemeinsamer Austausch

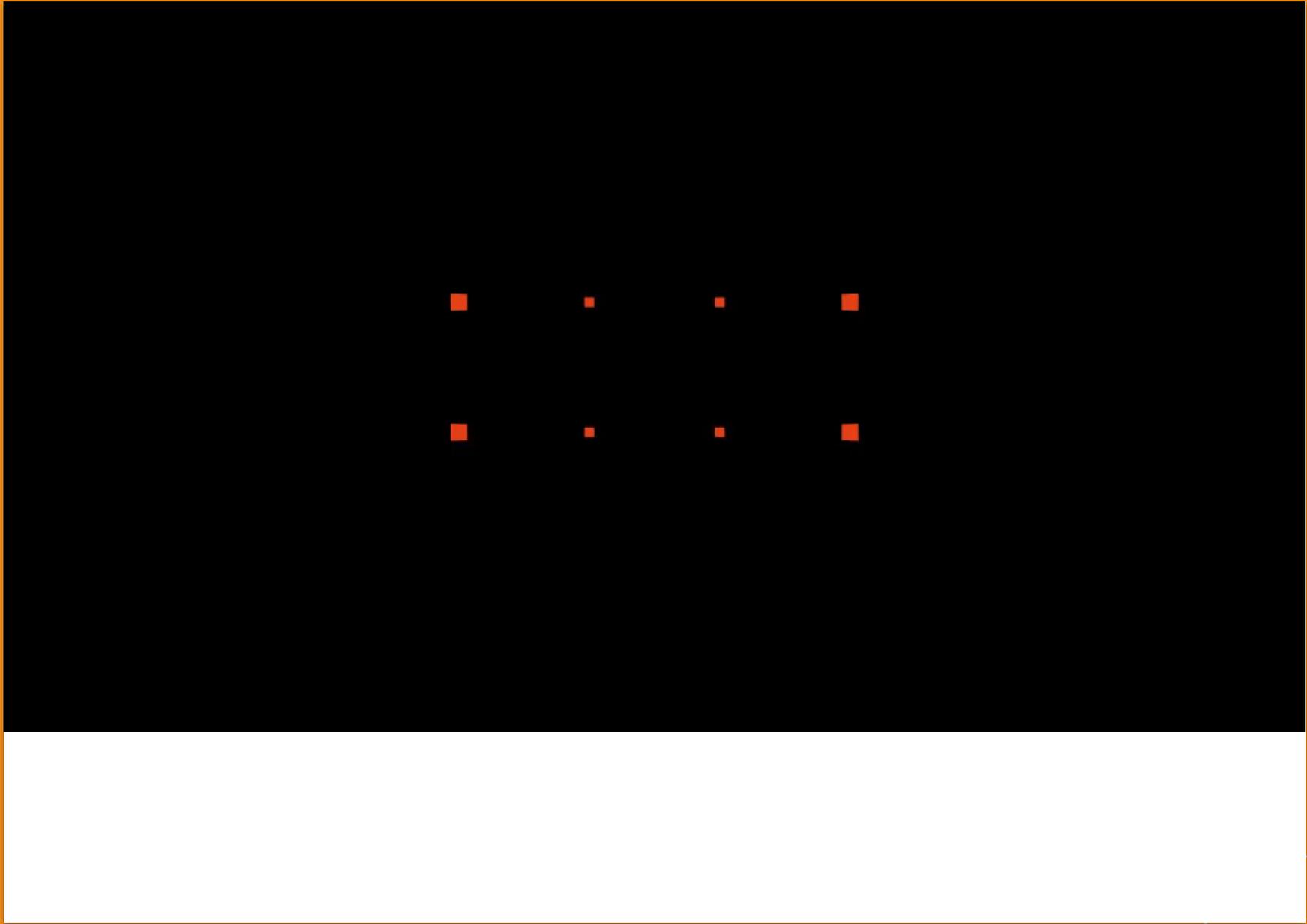


Wer sind wir?

- ▶ Woher kommen wir?
- ▶ Was machen wir?
- ▶ Wie sind wir auf das Standortauswahlverfahren aufmerksam geworden?

Rückblick - Was bisher geschah!







10. Mai
Infopaket
„Gut zu wissen“
mit Shary Reeves

Wir haben Vertreter*innen der jungen Generation gefragt: Welche Informationen braucht ihr, um bei der Endlagersuche mitreden zu können? Die Ergebnisse dieser Abfrage stehen am 10. Mai im Vordergrund. Expert*innen geben Einblicke in die komplexe Endlagersuche und stellen sich der Diskussion. Der Termin eignet sich daher ideal für einen Einstieg in das Thema „Endlagerung hochradioaktiver Abfälle“.



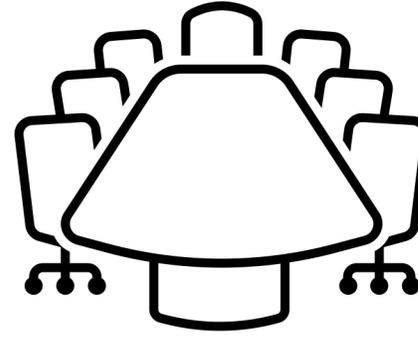
17. Mai
Das Mitmachpaket
„Wie kann ich konkret mitreden?“

Dieser Abend widmet sich dem Thema Beteiligung: Wer kann wobei mitmachen? Wie können sich junge Leute in die Endlagersuche einbringen? Und was ist eigentlich die Fachkonferenz Teilgebiete? Wir geben hier Raum für grundlegende Informationen und Diskussionen zum Thema und wollen von Euch u.a. wissen, wie Beteiligungsformate für junge Menschen attraktiv gestaltet werden können.

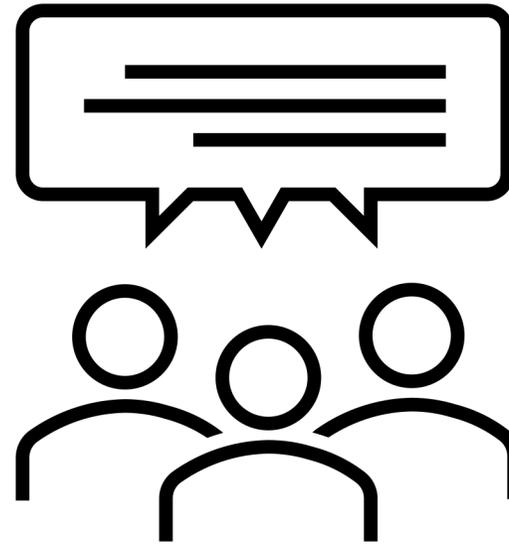


31. Mai
Endlager-Planspiel
„Was wird hier gespielt?“

Zur Endlagersuche gibt es viele Sichtweisen und Meinungen. Sie unter einen Hut zu bringen und allesamt zu berücksichtigen ist wichtig für eine gute Lösung. Am 31. Mai wollen wir mit euch ein Experiment wagen: Beim digitalen Rollenspiel zum Endlager schlüpfen wir in unterschiedliche Rollen und diskutieren aus dem Blickwinkel der anderen.



Was haben wir vor?



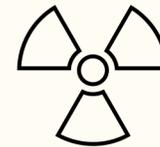
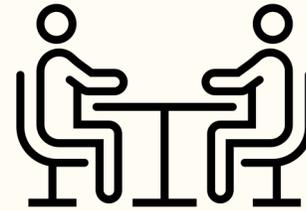
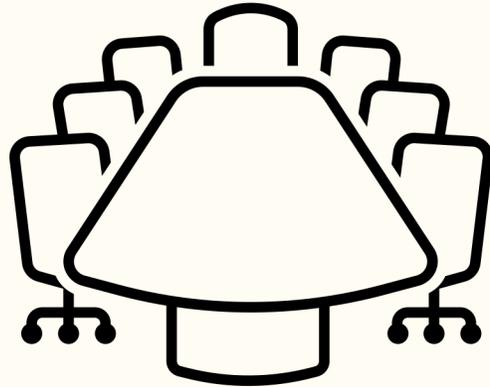
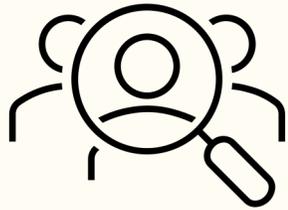
Warum ist der Rat wichtig?

- ▶ Die bisherigen Beteiligungsformate für die Einbindung der jungen Generation waren erste gute Ansätze, reichen aber aus Sicht junger Menschen bei Weitem nicht aus, um den Zielen, Ansprüchen und Vorstellungen junger Menschen gerecht zu werden
- ▶ Junge Menschen wollen auch zuerst einmal unter sich beraten, bevor sie nach außen in die Öffentlichkeit treten, dafür ist ein Rat der jungen Generation wichtig

Warum ist der Rat wichtig?

- ▶ Die junge Generation benötigt eigene Formate, um ihrer Stimme Gewicht und Geltung im Standortauswahlverfahren geben zu können.
- ▶ Der Rat der jungen Generation ist ein Beteiligungsformat, das dem Grundsatz „von jungen Menschen für junge Menschen“ folgt.
- ▶ Durch den Rat der jungen Generation soll für Generationengerechtigkeit im Endlagersuchprozess gesorgt werden.

Austausch 😊



Austausch 😊

- ▶ Welche Rolle haben für Sie/euch bisher junge Menschen im Standortauswahlverfahren?
- ▶ Wie fanden Sie/fandet ihr die bisherigen Angebote zur Beteiligung der jungen Generation?
- ▶ Welche Rolle ist wünschenswert oder notwendig?
- ▶ Mit welchen Aspekten soll sich Ihrer/eurer Meinung nach der „Rat der jungen Generation“ zukünftig unbedingt auseinandersetzen?

Wir bedanken uns für den konstruktiven
Austausch und bitten um Ihre
Unterstützung für unseren Antrag.

Gezeichnet: Die „junge Generation“

Anastasia Gutte

Farras Fathi

Fynn Sauerwein

Lukas Fachtan

Marcus Frenzel

Tilman Ziel

Vincent Erdmann

Habt ihr Fragen oder wollt euch mit
engagieren:

▶ rdjg-endlagersuche@gmx.de

Wir würden uns darüber freuen 😊

Zeit- planung

18 Uhr

„Initiative der jungen Generation“ mit der Vorstellung Ihres Antrags: Einrichtung des Rates der jungen Generation und Austausch im Plenum

19 Uhr

Podiumsdiskussion
„Storytelling und/oder Fakten der Endlagersuche?
Das Wissen an die nachfolgenden Generationen weitergeben“

20 Uhr

Diskussion aller Teilnehmer:innen

21 Uhr

Ende der Veranstaltung

Moderation: Ralf Hasford

Podiumsdiskussion

Lukas Fachtan

Student | Bürgervertreter / Vertreter der jungen Generation im Nationales Begleitgremium (NBG) 2018 – 2021

**Anastasia Gutte
Farras Fathi**

Initiator:in des Rat der Jungen Generation

Gabi Haas

Sprecherin des Gorleben Archiv e.V.

**Dr. Christoph
Pistner**

Bereichsleiter Nukleartechnik und Anlagensicherheit Öko-Institut e.V.

**Dr. Detlev
Möller**

Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) | Fachgebietsleiter in der Forschungsabteilung mit Zuständigkeit u. a. für die Langzeitdokumentation)

**Manuel
Wilmanns**

(BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH | Abteilungsleiter Infostellen und Informationsmanagement)

Moderation: Ralf Hasford

Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF): „Standortauswahl und Endlagersicherheit: Vier Themen, vier Gespräche.“

Fachkonferenz Teilgebiete, 5. August 2021, online

V. Brendler, K.-J. Röhlig, T. Popp, N. Müller-Hoppe / N. Bertrams / P. Herold



Die Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF)

- Unabhängige Arbeitsgemeinschaft, gegründet Januar 2013, ehrenamtliche Tätigkeit
- 14 Forschungseinrichtungen (Natur-, Ingenieur- und Sozialwissenschaften)
- 8 ständige Gäste (Institutionen des Bundes und der Länder)
- Weiterentwicklung von Expertise, auch zu wissenschaftlichen Fragestellungen des Standortauswahlverfahrens
- Weiterentwicklung und Vertiefung der Zusammenarbeit
- Beratungsangebot



www.endlagerforschung.de

- Lernendes Verfahren im Standortauswahlverfahren: Empfehlungen und Angebote der DAEF
- Standortauswahl für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle: Empfehlungen der DAEF zu Rolle und Methodik der im Standortauswahlgesetz vorgesehenen Sicherheitsuntersuchungen
- Partizipation im Standortauswahlverfahren für ein Endlager
- DAEF-Kurzstellungnahme zur Veröffentlichung »Deformation-assisted fluid percolation in rock salt«
- DAEF-Kurzstellungnahme zur Idee der »Endlagerung [...] in bis zu 5000 m tiefen vertikalen Bohrlöchern von über Tage«
- Naturwissenschaftlich-technische und sozialwissenschaftliche Aspekte eines Standortauswahlverfahrens
- In Bearbeitung: Salzgruskompaktion, Betonkorrosion



1. Vortrag: Grundlagen und Anwendungen der Radiochemie

- Referent
 - Vinzenz Brendler, Helmholtz-Zentrum Dresden – Rossendorf e.V., Institut für Ressourcenökologie
 - www.hzdr.de
- Gliederung
 - Inventar der radioaktiven Abfälle
 - Strahlungsarten & Zerfallsketten
 - Nachweismethoden
 - Radioaktive Tracer / Radioanalytik
 - Rückhalte-mechanismen

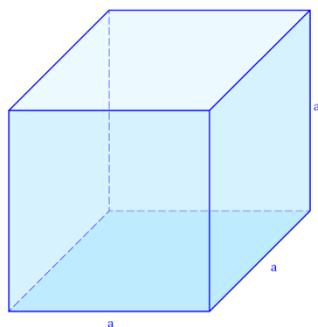
Radioaktive Abfälle: Mengen

Hochradioaktiver Gesamtabfall aus Kernkraftenerzeugung: ca. **17.000 t** abgebrannte Brennelemente

- a) 10.445 t zur direkten Endlagerung
- b) 3.735 Glaskokillen mit hochaktivem Abfall (HAW) und 4.244 Kokillen mit Prozessabfällen aus der Wiederaufbereitung in La Hague (F), Sellafield (GB), Cadarache (F) und Mol (BE), sowie Karlsruhe

Schwach- und mittelradioaktiver Abfall: ca. **300.000 m³** kontaminierter Bauschutt, Leitungen, Armaturen, Strahlenquellen aus der Medizin

Wärmeentwickelnde Abfälle machen weniger als 10 % des Gesamtvolumens aus, enthalten aber 99% der Radioaktivität.



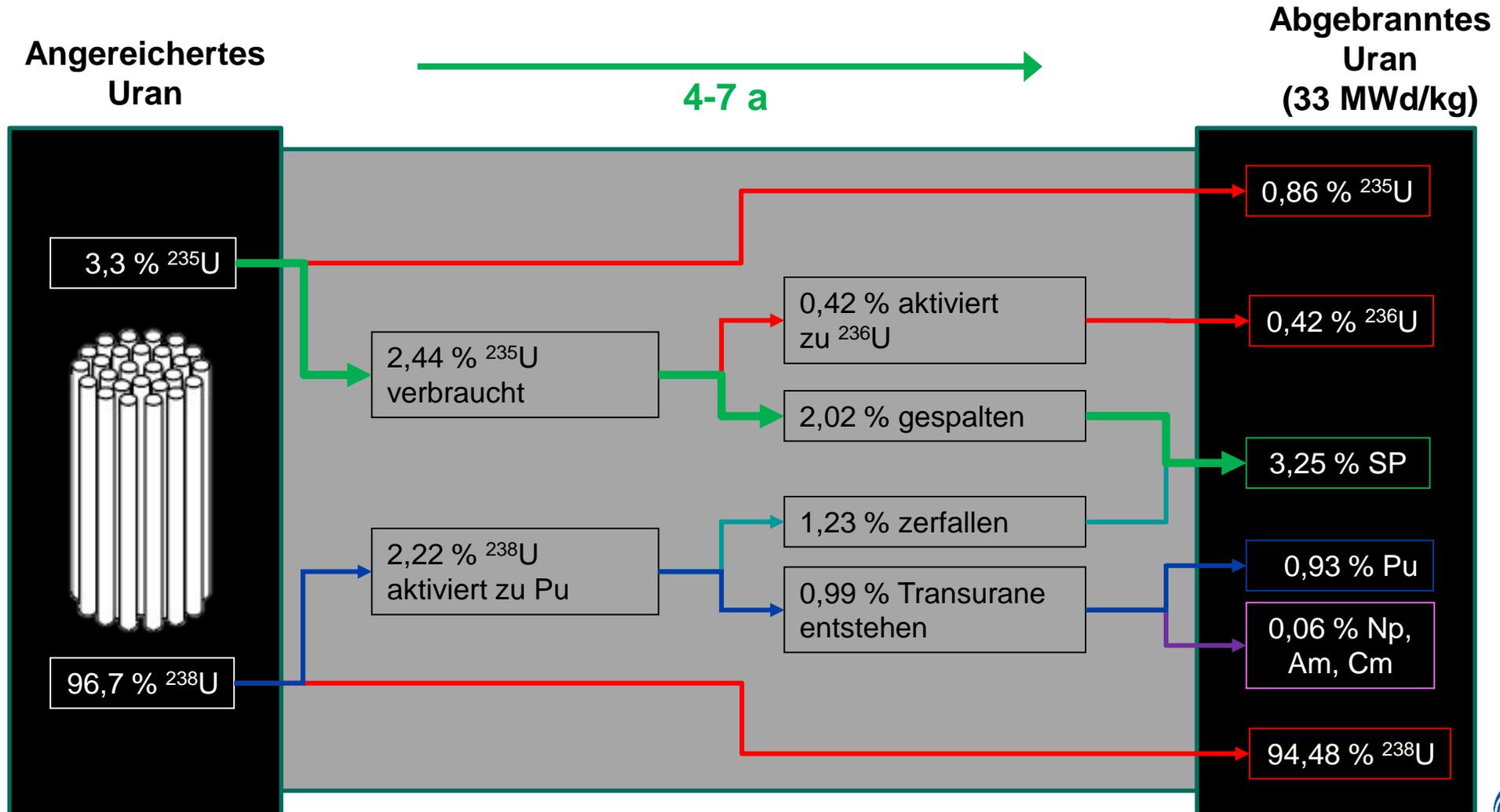
= Würfel mit Kantenlänge 67 m !



Quelle: RESUS - Empfehlungen zur sicherheitsgerichteten Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien des StandAG (Synthesebericht), GRS-567, 2020.

Erlwein-Gasometer in Dresden-Reick
Quelle: *Wikimedia*

Was passiert mit dem Kernbrennstoff?



Quelle: abgewandelt nach spektrum.de / Lexikon der Physik

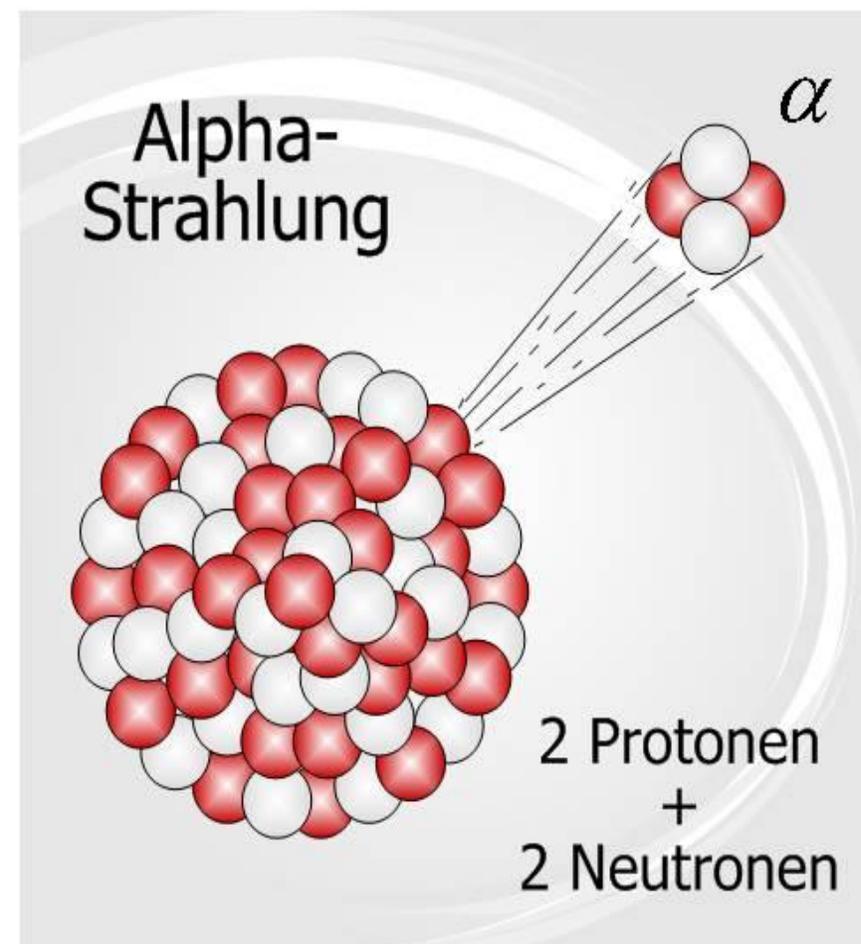
Inventar eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle, geordnet nach höchster Radiotoxizität nach 1000 a

- Kernbrennstoffe (Uran und Plutonium)
 - U-234, U-235, U-238, Pu-239
- Spaltprodukte
 - γ -Strahler: Sb-126, I-129, Cs-135
 - β -Strahler: Se-79, Zr-93, Tc-99, Sm-151
- Aktivierungsprodukte
 - C-14, Cl-36, Ni-59, Ni-63, Nb-94, Mo-93, Ho-165m
 - Ra-223, Ra-225, Ac-227, Pa-233
 - U-233, U-236, Np-237, Np-239, Pu-238, Pu-240...242
 - Am-241...243, Cm-242, Cm-245, Cm-246

Quellen: Nagra NTB 14-04 – Miram14 Studie / PSI TM-44-18-03

α-Strahlung

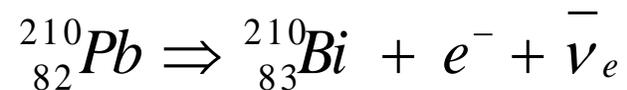
- 2 Protonen + 2 Neutronen (${}^4_2\text{He}$)
- Nukleonenzahl verringert sich um 4
- Ordnungszahl verringert sich um 2
- Reichweite
 - Luft: wenige cm (${}^{210}\text{Po}$: 4 cm)
 - Flüssigkeiten & Feststoffe: wenige μm (abhängig von der Dichte)



Quelle: FZ Jülich - Glossar Strahlenschutz

β-Strahlung

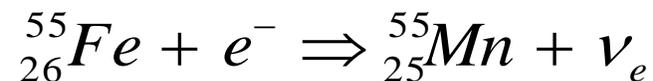
- β⁻ - Strahlung: Elektronen



- β⁺ - Strahlung: Positronen



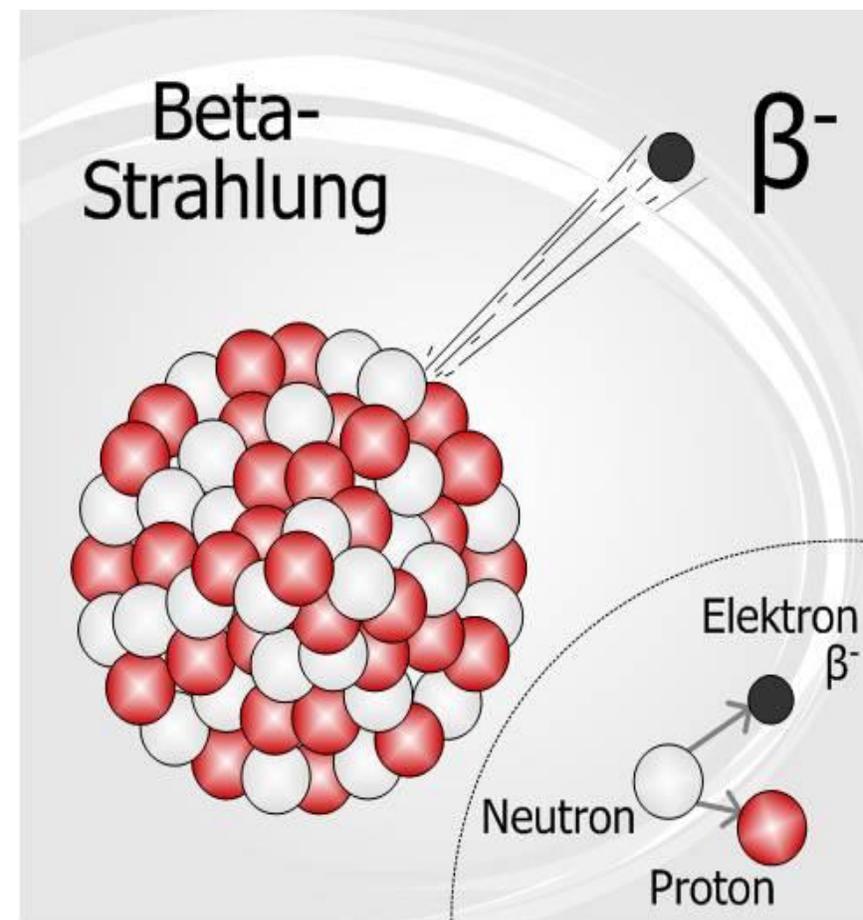
- Elektroneneinfang (EC) aus innerem Orbital



- Nukleonenzahl bleibt gleich, Ordnungszahl:

- erhöht sich um 1 (β⁻)
- verringert sich um 1 (β⁺, EC)

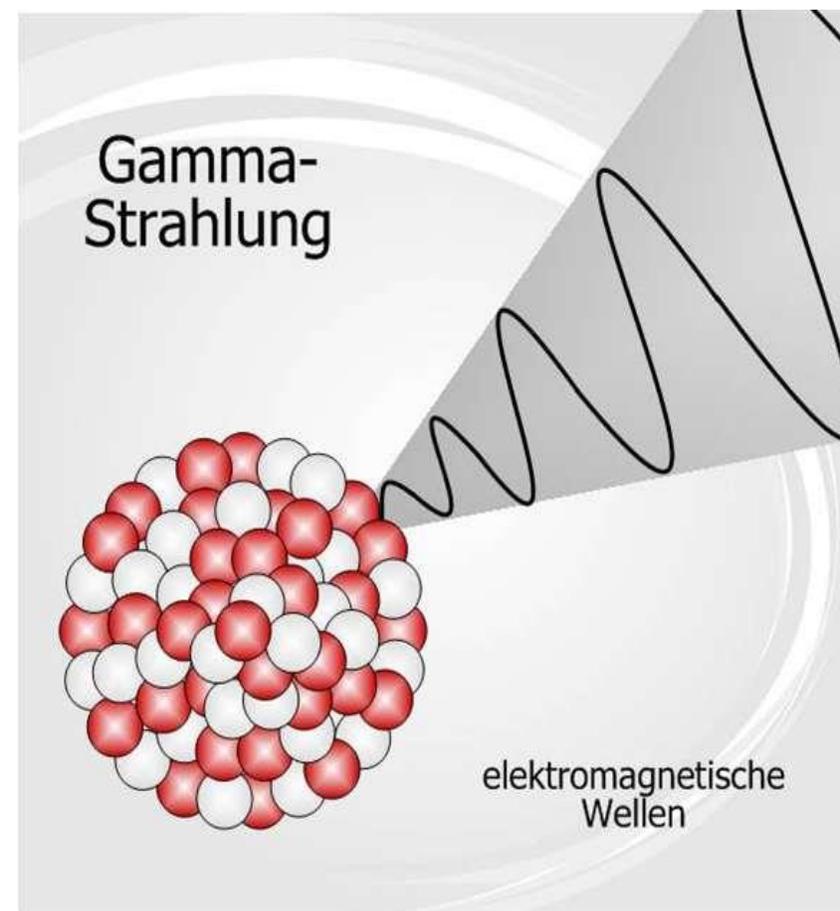
- Reichweite wenige cm bis 1 m (Energieabhängig), Abschirmung mit Plexiglas: 2 Größenordnungen



Quelle: FZ Jülich - Glossar Strahlenschutz

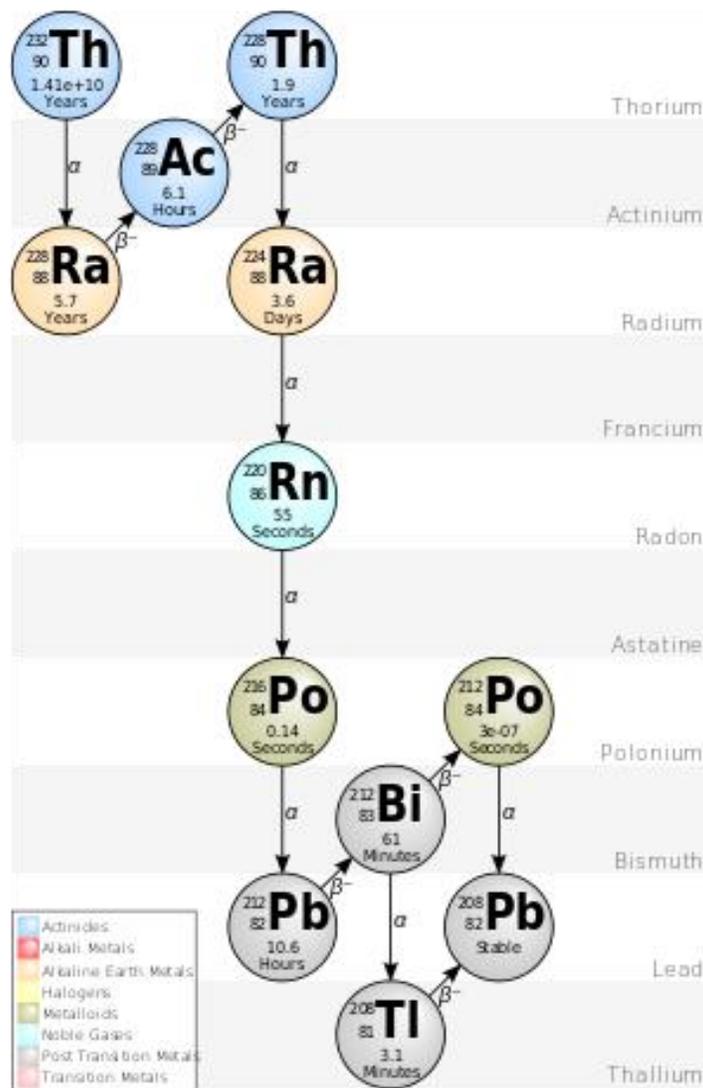
γ -Strahlung

- Durchdringendste elektromagnetische Strahlung
- Entstehung beim Zerfall der Atomkerne vieler radioaktiver Nuklide
- Reichweite
 - Feststoffe: cm bis m (abhängig von Dichte und γ -Energie)
 - Abschirmung: Blei, Uran, Schwerbeton



Quelle: FZ Jülich - Glossar Strahlenschutz

Zerfallsreihen: Beispiel Thorium



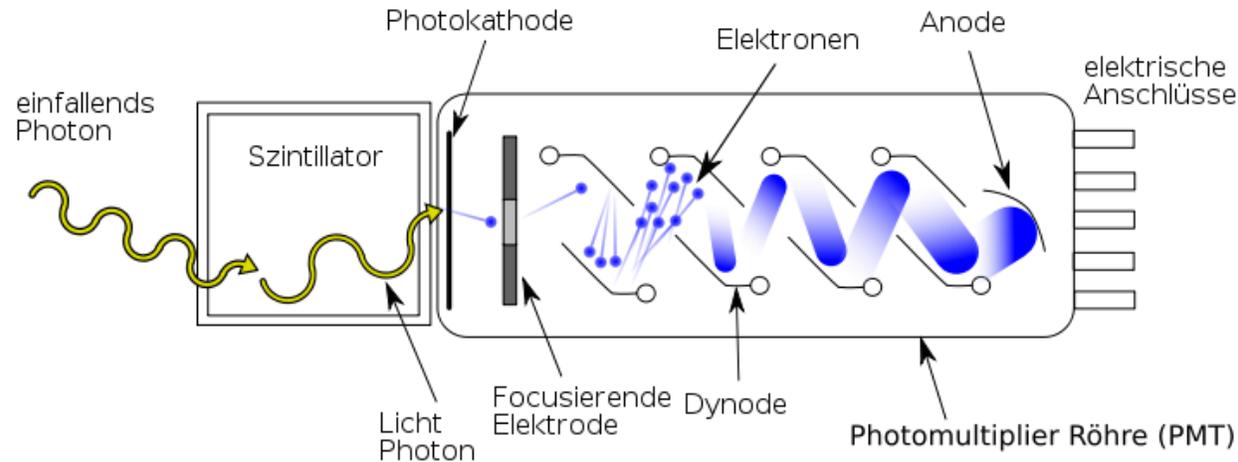
- Natürlich vorkommende (primordiale) Radionuklide aus den vier Zerfallsreihen:
 - Uran
 - Protactinium
 - Thorium
 - Actinium
 - Radium
 - Francium
 - Radon
 - Polonium
 - Wismut
 - *Blei*
 - *Thallium*

Quelle: Wikipedia

- Grundlage der Detektion einzelner Teilchen: Verhalten von Atomen und Molekülen bei der Absorption von Energien aus der Kernstrahlung in Materie.
- Ein Kernteilchen, welches in einen Detektor eintritt, erzeugt Ionisation und Anregung. Beide können nachgewiesen werden.
- Detektoren auf der Grundlage einer Erzeugung geladener Teilchen sind entweder mit **Gas gefüllt** oder fest, meist **Halbleiter-Kristalle**.
- Wenn eine Anregung zu Fluoreszenz führt sprechen wir von **Szintillation**. Das emittierte Licht kann über lichtempfindliche Sensoren erfasst werden.

Beispiel: Szintillations-Detektoren

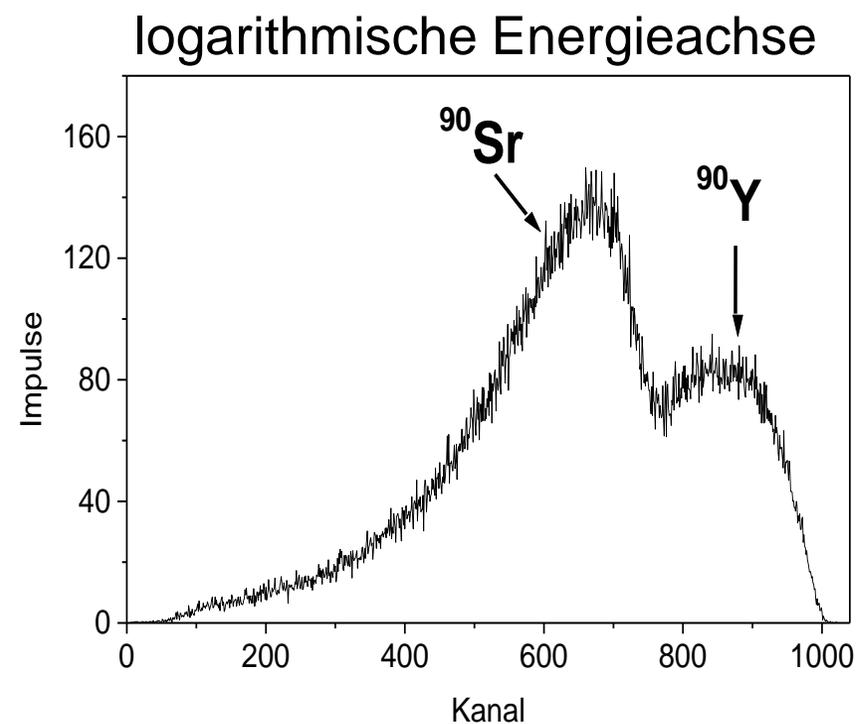
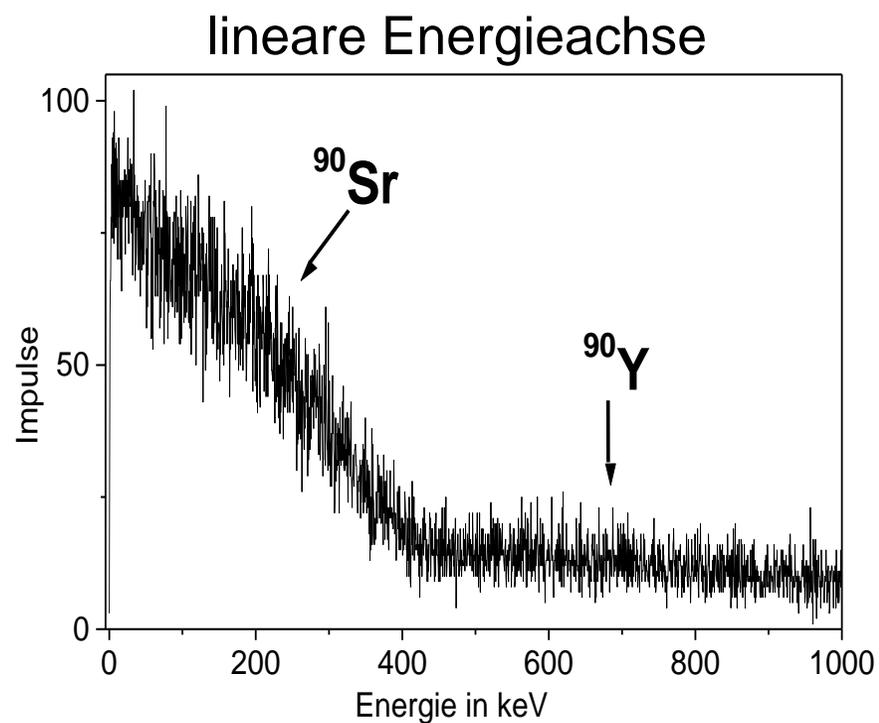
- Szintillator: Material welches bei Anregung durch ionisierende Strahlung luminesziert.



- Während der Szintillationszählung wird ein starker Lichtpuls produziert und dieses Signal dann in einen Spannungspuls gewandelt.
- Zwei Arten von Szintillatoren sind üblich: Anorganische Kristalle (fest) und organische Szintillatoren (flüssig).
- In der Flüssig-Szintillation werden „Wellenlängenschieber“ eingesetzt zur Verbesserung der Detektion.

Beispiel: Reine β -Spektren (hohe Energie)

^{90}Sr : 546,0 keV maximale β -Energie,
Tochter ^{90}Y : 2280,1 keV maximale β -Energie



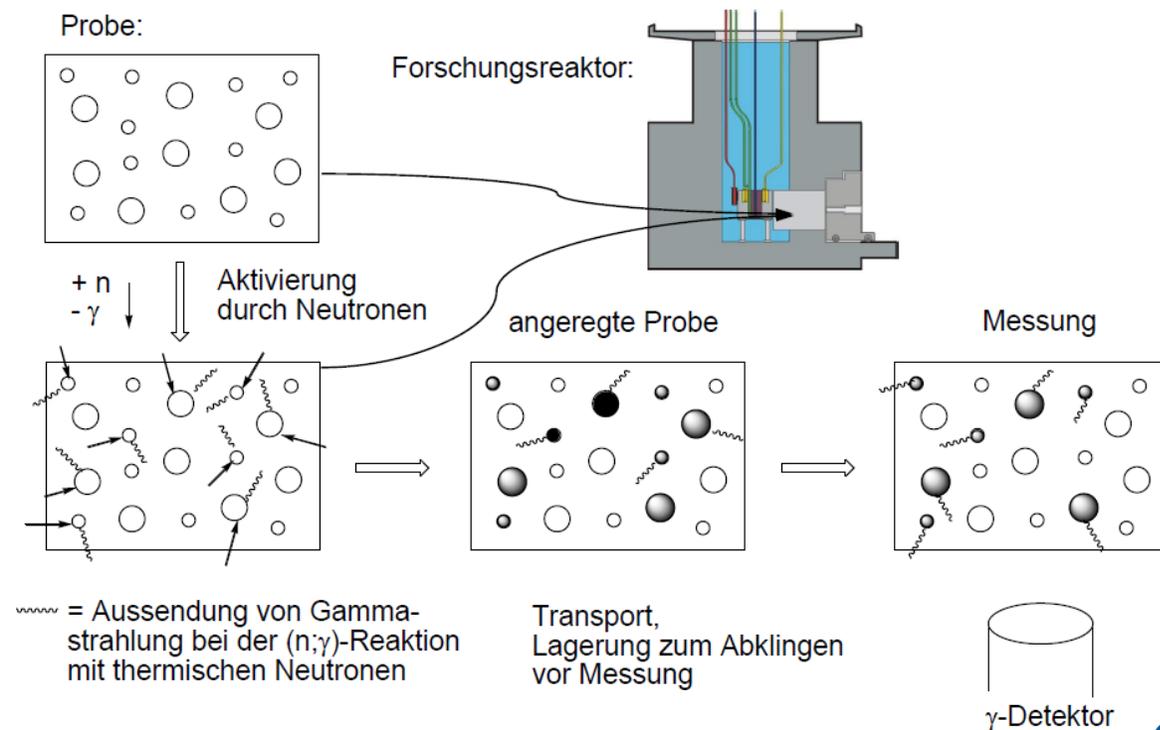
1. Aktivierung der Probe mit Neutronen

- Beschuss der Probe mit thermischen Neutronen
- Umwandlung stabiles Nuklid in radioaktives Nuklid mit unterschiedlicher OZ nach



2. Messung mittels γ -Spektrometrie

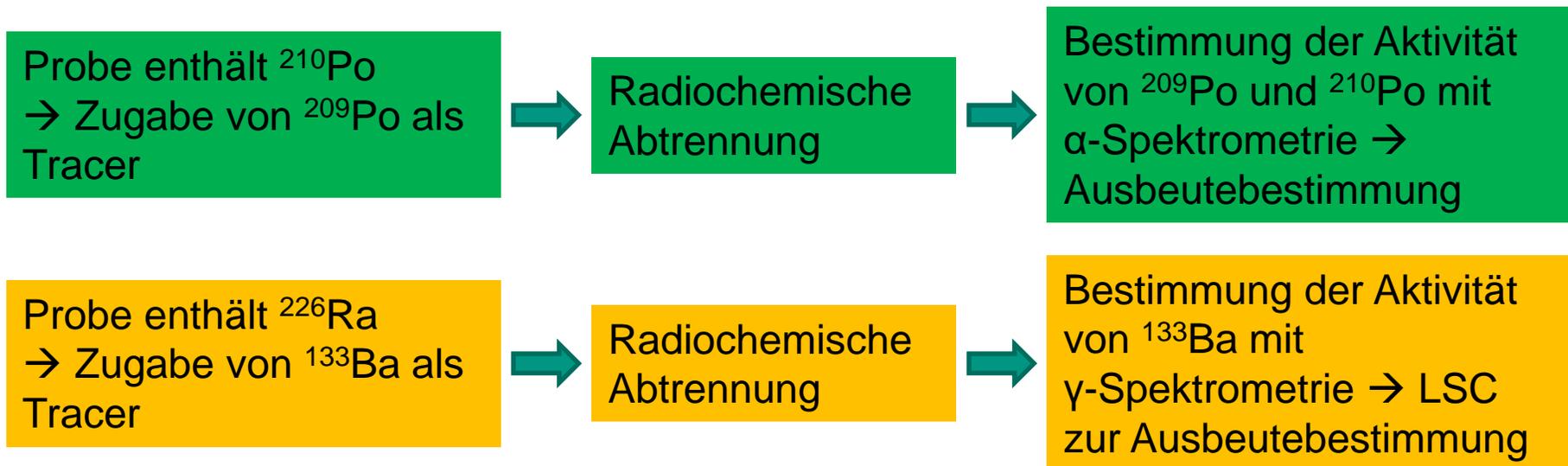
- Messung der induzierten Radioaktivität
- Intensität abhängig von der Konzentration der Elements



Quelle: <http://www.labor-buheitel.de/NAA/NAA.htm>

Radioanalytik: Ausbeutebestimmung über radioaktive Tracer

- Zugabe einer bekannten Aktivität (A_0) eines radioaktiven Isotops zur originalen Probe.
 - isotop oder nicht-isotop
- Messung der Tracer-Aktivität (A) nach radiochemischer Abtrennung.



Physiko-chemische Rückhaltemechanismen & Gegenspieler

Der sichere Einschluss wird möglich durch:

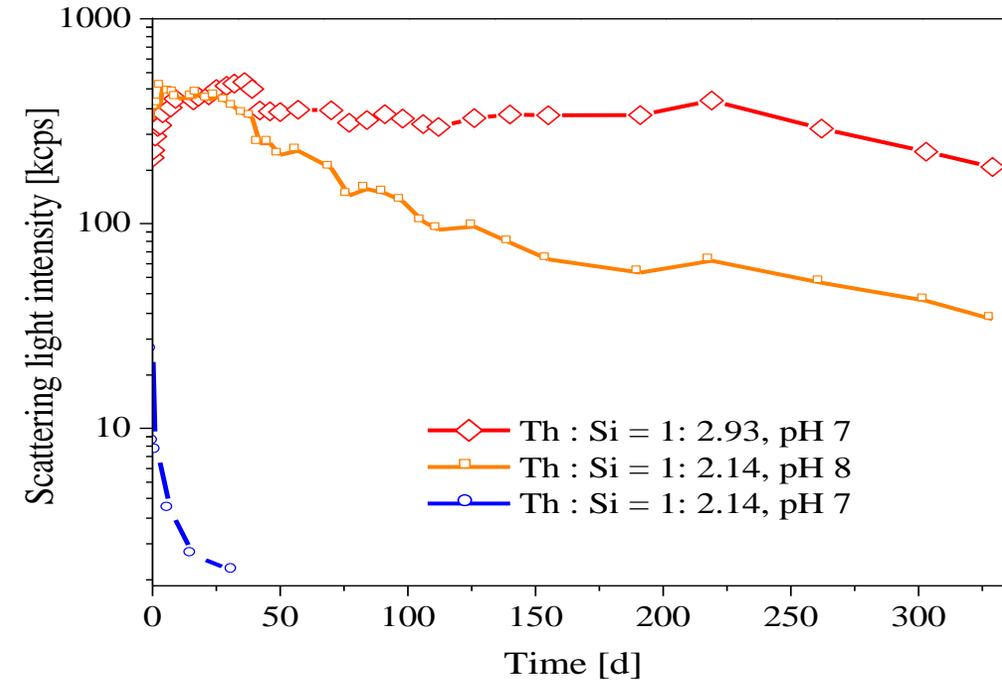
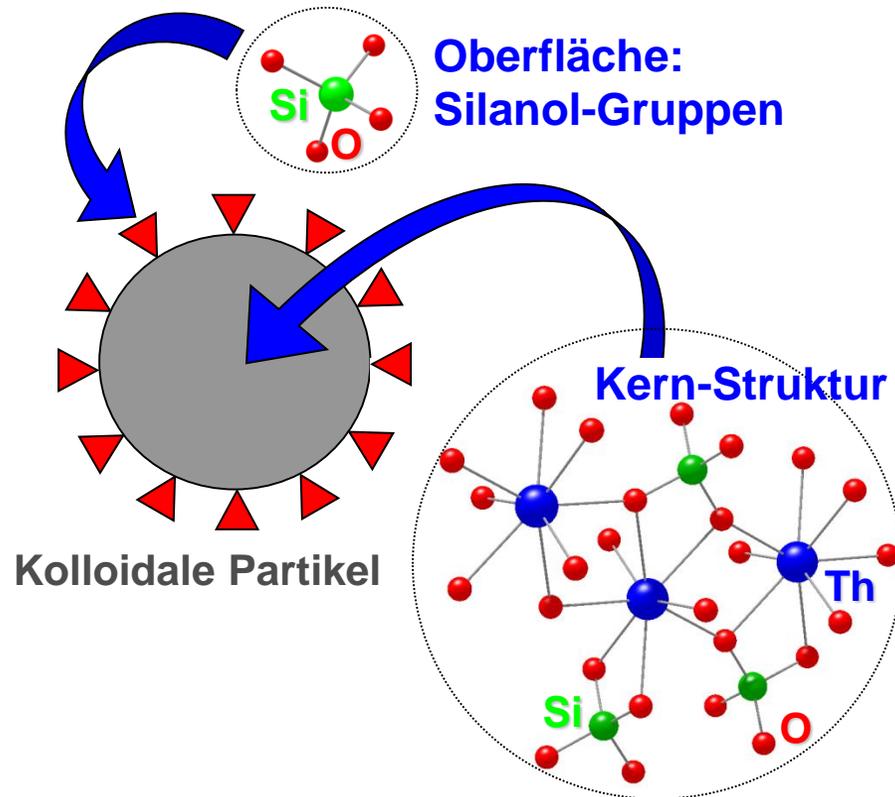
- Sorption an Mineraloberflächen im Wirtsgestein und an technischen Komponenten
- Ausfällung von schwerlöslichen Festphasen (vor allem bei hochgeladenen Kationen), vorrangig als Mischkristall
- Einbau (diffusiv oder durch Oberflächendynamik) in vorhandene Festphasen
- Dissipation (Ausbreitung führt zu Verringerung der lokalen Konzentration)

Die Mobilität von Schadstoffen wird erhöht u.a. durch:

- Korrosion / Bruch von Barrieren
- Bildung von Kolloiden
- Bildung von wasserlöslichen Komplexen
- Schaffung neuer Wegsamkeiten durch chemische und physikalische Prozesse
- Anionische Verbindungen (geringere Sorption)

Thorium – Einfluss von Silikaten

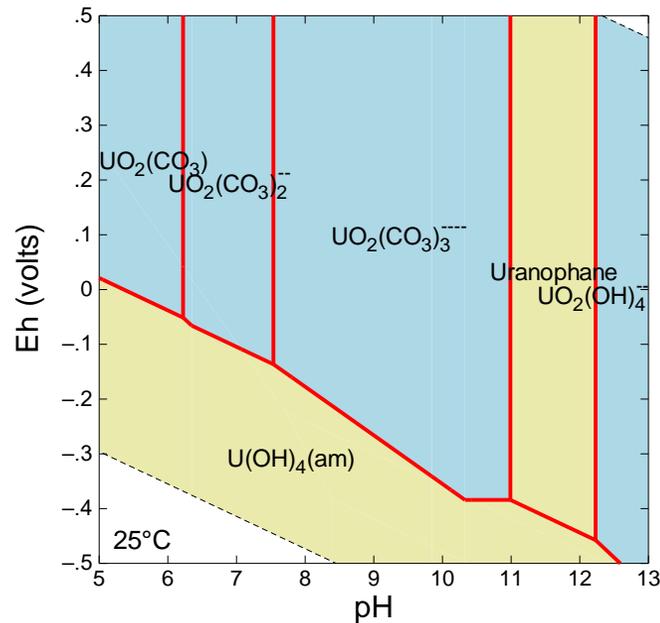
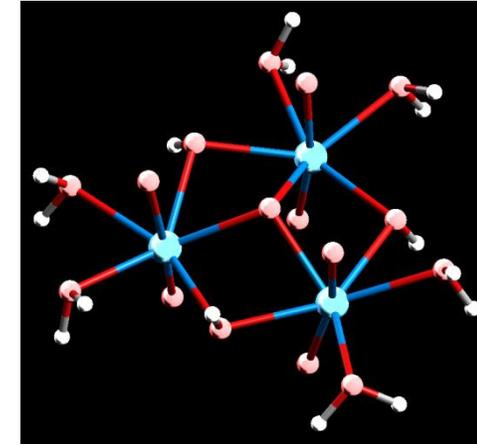
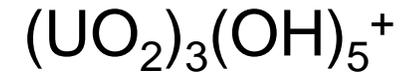
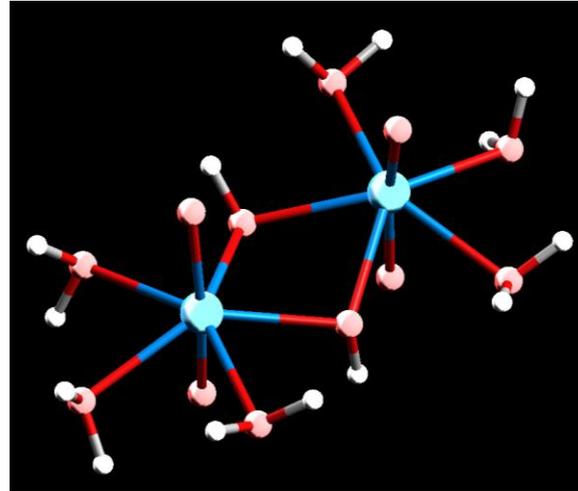
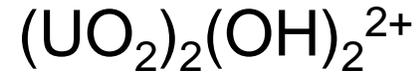
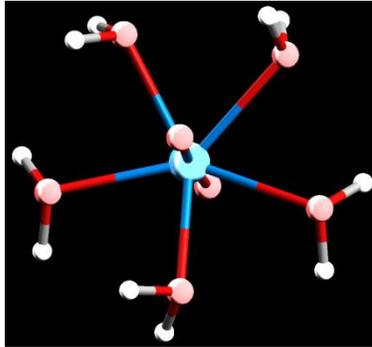
- Stabilität der Kolloide steigt mit wachsendem Si/Th Verhältnis und pH
- Partikel werden über negative Oberflächenladung stabilisiert



Strukturelle Aspekte:

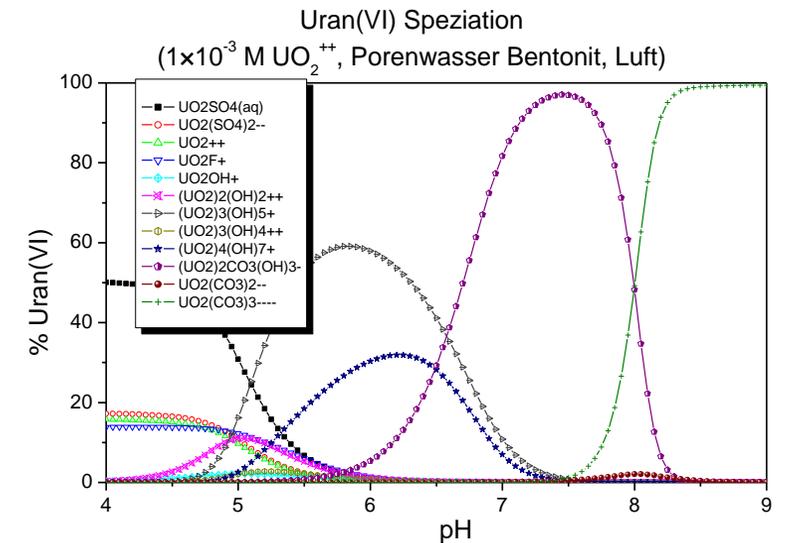
- Innere Struktur ist gestörtes Th-O-Si Netz
- Anreicherung von Silanol-Gruppen an Kolloid-Oberfläche ergibt negative Ladungen

Uran - 3D-Strukturen wässriger Hydroxide

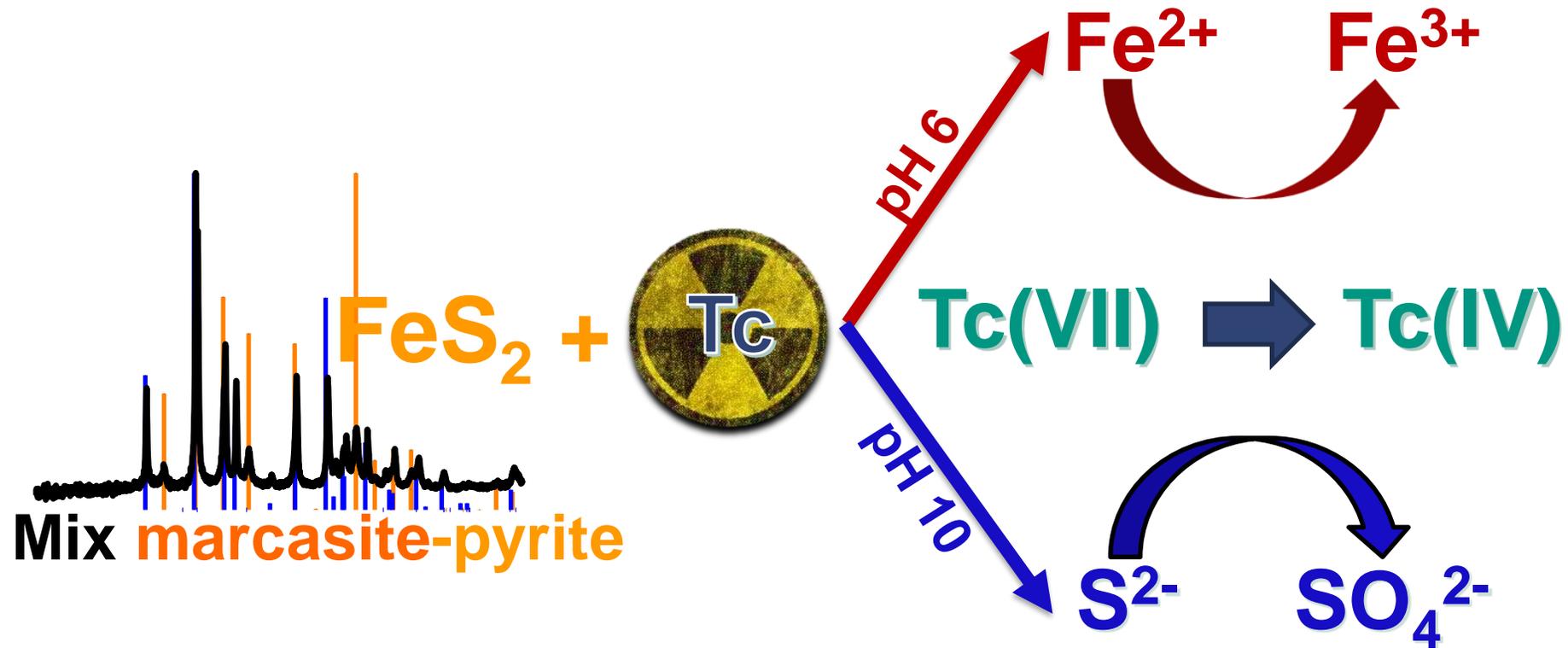


Liefert Aussagen zu:

- chemische Stabilität
- Größe
- Ladungsverteilung

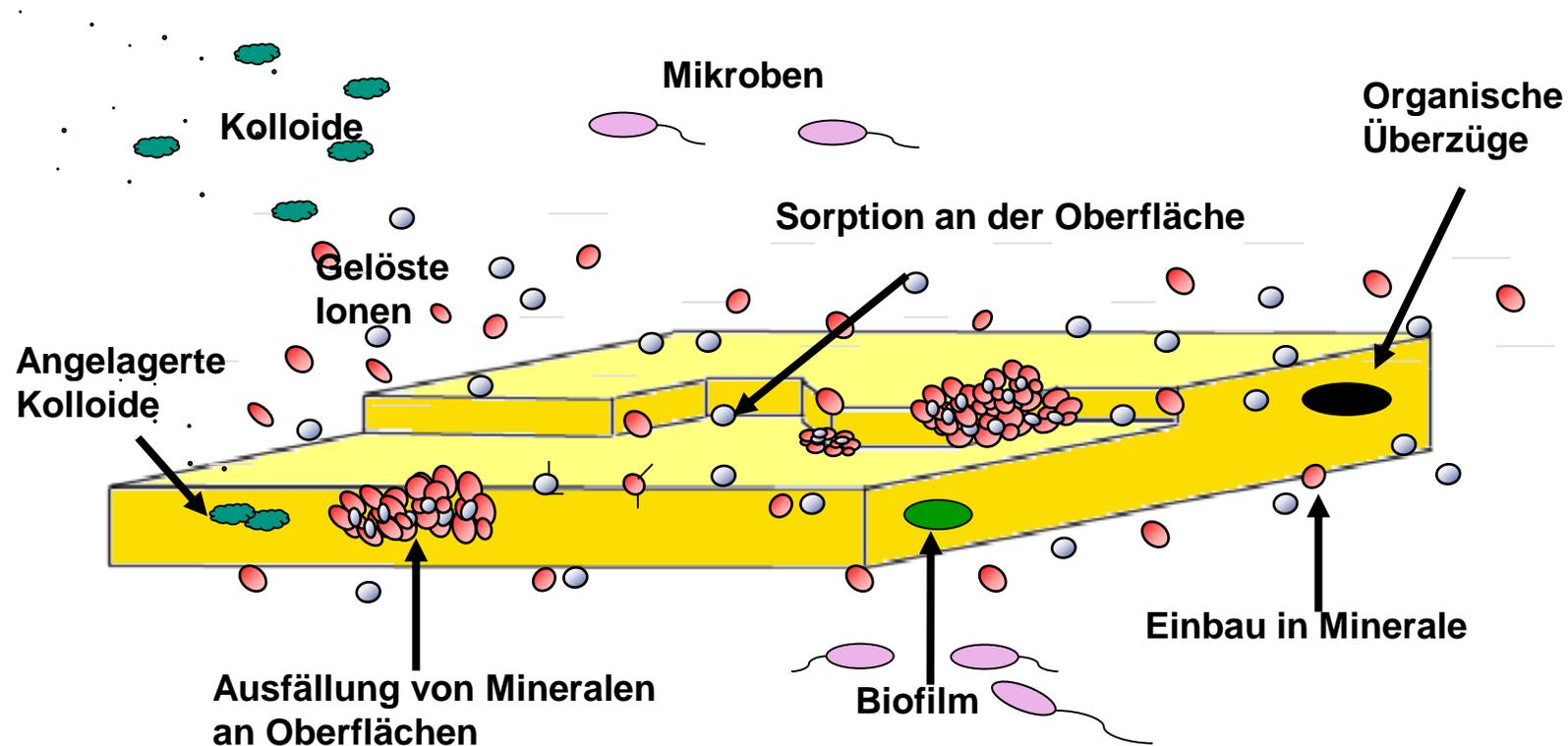


Technetium: Rückhaltung in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt

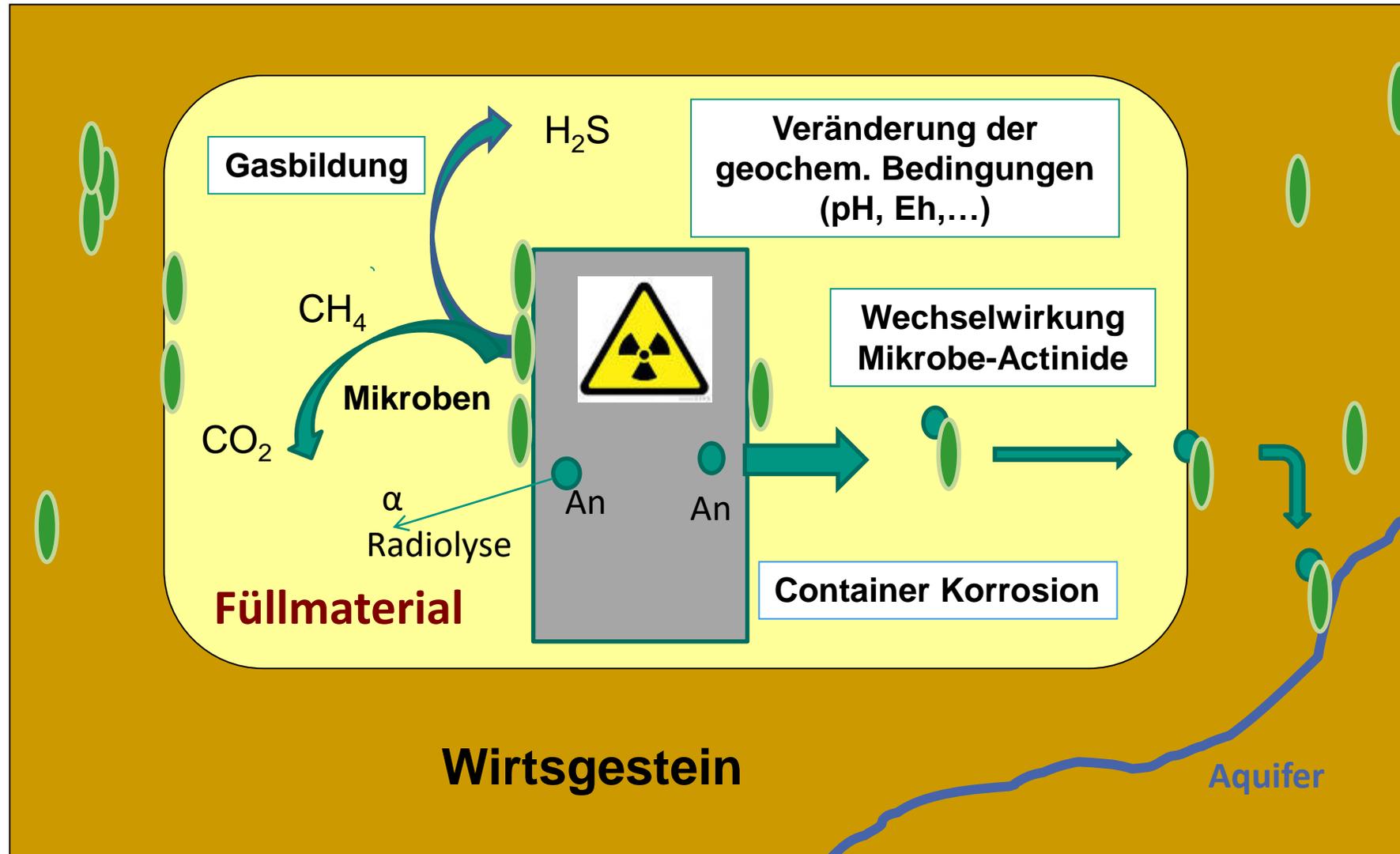


- Rückhaltung durch Sorption für Tc(VII) gering
- Rückhaltung durch Ausfällung für Tc(IV) sehr hoch

Wechselwirkungen an der Grenze zwischen Gestein und Wasser



Mikrobiologische Prozesse mit Relevanz für ein Endlager



Danksagung

- Nina Huittinen
- Frank Bok
- Cordula Nebelung
- Andrea Cherkouk
- Harald Foerstendorf
- Ronja Bodesheimer

... und Ihnen allen ganz herzlichen Dank für die Aufmerksamkeit !



DAEF: Vier Themen, vier Gespräche

2. Langzeitsicherheit von Endlagern in Kristallin-, Salz- und Tongesteinen:
Wie erreichen, wie demonstrieren?

Klaus-Jürgen Röhlig,
Institut für Endlagerforschung

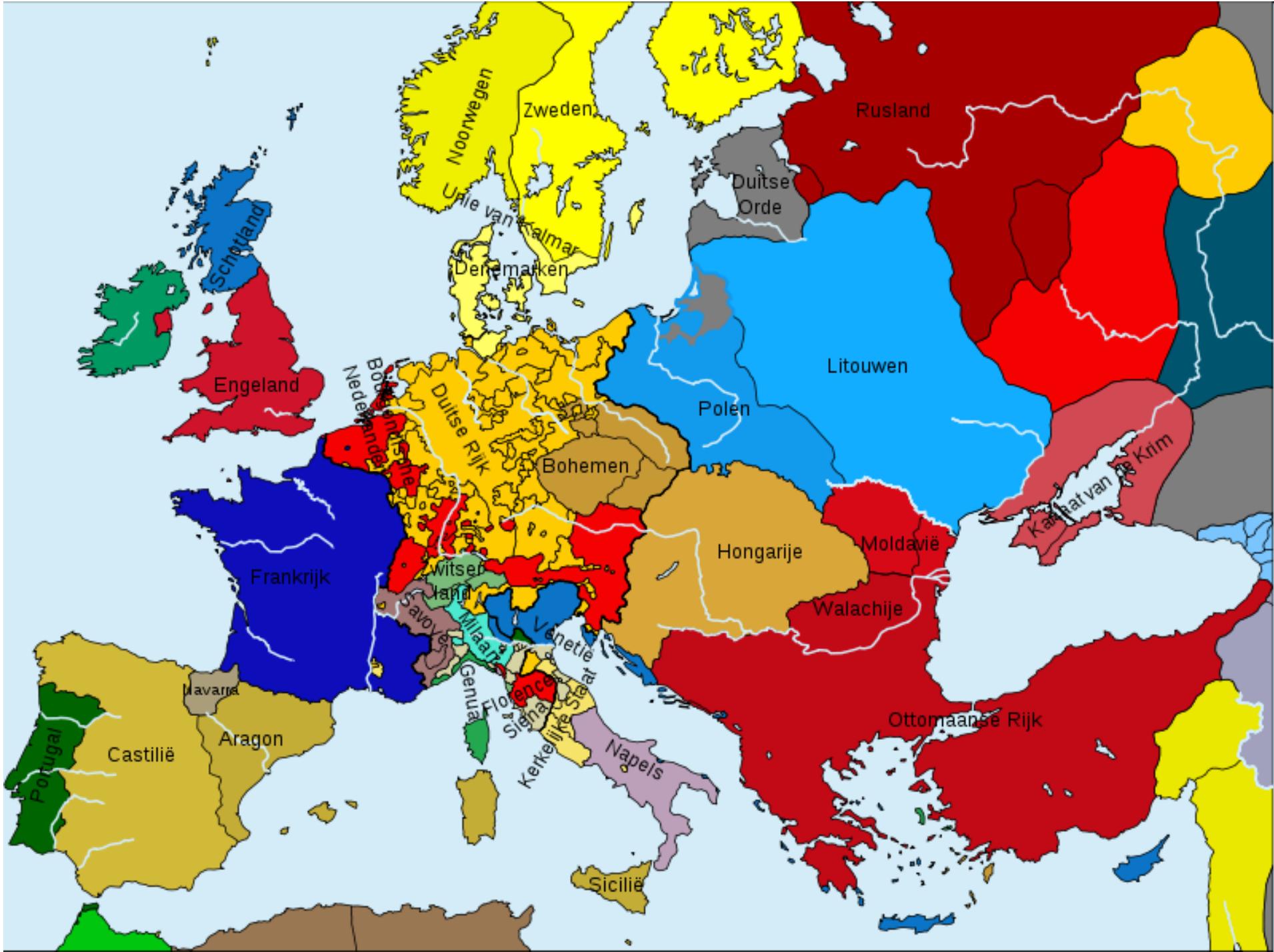
Fachkonferenz Teilgebiete
Online, 05.08.2021



Endlagerung: Idee und Prinzipien

- Schutz des Menschen und der zugänglichen Umwelt vor schädlichen Wirkungen, insbesondere durch ionisierende Strahlung bzw. radioaktives Material
- Es geht um Abfall, daher ist eine Rückholung nicht beabsichtigt („Entsorgung“). Das heißt aber nicht notwendigerweise, dass Rückholung unmöglich ist.
- Die z. T. langen Halbwertszeiten verbieten ein „Abwarten“ / „Abklingen lassen“, also so genannte „Zerfallslagerung“.
- Die hohen Gehalte an radioaktiven / radiotoxischen Materialien verbieten „verdünnen und verteilen“, wir müssen also „konzentrieren und einschließen“.
- Dieser Einschluss soll deutlich länger funktionieren, als wir Überwachung / Wartung / Reparatur gewährleisten können ...

Europa vor 500 Jahren



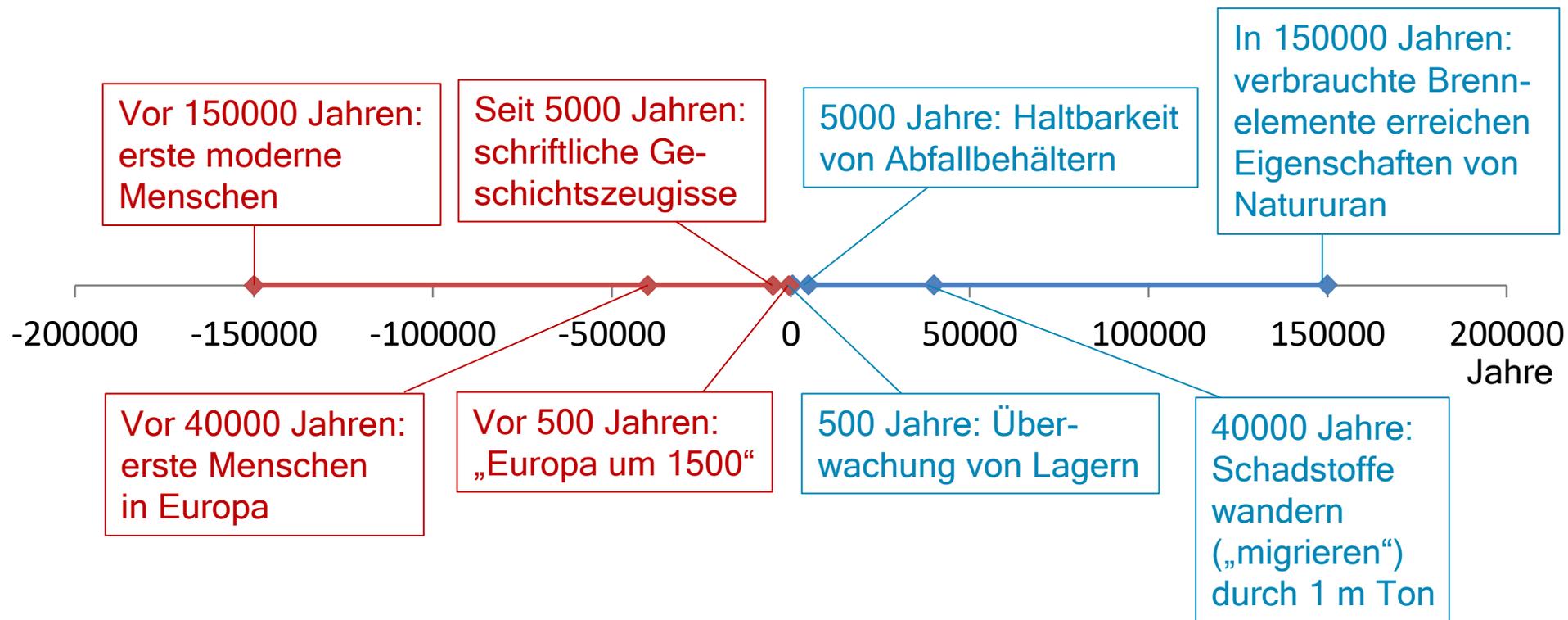
unverändert von
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe1500.svg>
Titel: „Europese staten rond 1500“
Lizenz unter
https://commons.wikimedia.org/wiki/Commons:GNU_Free_Documentation_License_version_1.2

Zeitskalen

Vergangenheit

JETZT

Zukunft



Endlagerung: Idee und Prinzipien (2)

- Dieser Einschluss soll deutlich länger funktionieren, als wir Überwachung / Wartung / Reparatur gewährleisten können ...
- Daher liegt es nahe, sich Systeme nutzbar zu machen, die über lange Zeiten stabil bleiben (können) → Geosysteme
 - Alter von „Endlager-relevanten“ Steinsalz- und Tonsteinformationen: Mehrere 100 Millionen Jahre
 - Alter des fennoskandischen / baltischen Schildes: Mehrere Milliarden Jahre
- Sicherheit über lange Zeiträume, die kein späteres menschliches Zutun erfordert („passive Sicherheit“ / „Wartungsfreiheit“ / „Nachsorgefreiheit“)
- Nutzung eines Systems geologischer, geotechnischer und technischer Barrieren

Von Ideen und Prinzipien zur Standortauswahl: Was brauchen wir?

- Die Abfälle sollen bleiben, wo sie sind → Einschluss
 - Geringe (**Tongestein**) oder praktisch keine (**Steinsalz**) Durchlässigkeit für Flüssigkeiten und Gase
 - Kristallingestein „an sich“ ist auch praktisch undurchlässig, meist aber geklüftet!
- Falls sich doch (z. B. aufgrund von Behälterversagen) Schadstoffe in Bewegung setzen (z. B. mit dem Grundwasser), soll dies möglichst langsam geschehen → Rückhaltung
 - Keine (**Steinsalz**) oder sehr langsame (**Tongestein**) Grundwasserbewegung
 - Gutes Sorptionsverhalten (Schadstoffe bleiben am Gestein „kleben“): Insbes. **Tongestein**
- Das alles (und mehr) soll lange so bleiben, wie es ist → Integrität
 - Ausschlusskriterien des StandAG → „Langweilige“ regionale geologische Situation
- Wir müssen auch in der Lage sein, das Endlager zu bauen → Bergbauliche Machbarkeit
 - Günstige gebirgsmechanische Verhältnisse (**Steinsalz**, **Kristallingestein**)



Sicherheitskonzept und Sicherheitsfunktionen

„Hauptfunktionen“:

- Kristallines Hartgestein (Granit / Gneis, KBS-3 - Schweden/Finnland):
 - langfristiger ($>10^5$ Jahre) Einschluss im Kupfer-ummantelten Behälter
 - Stabilisierung (chemisch / mechanisch) und Rückhaltung durch Bentonitpuffer (quellfähiges Tonmaterial)
- Ton / Tonstein:
 - Einschluss (einige 100 Jahre) durch Behälter (Tonstein - Frankreich/Schweiz) bzw. Supercontainer (plastischer Ton - Belgien)
 - dann Rückhaltung durch Wirtsgestein und Verschlüsse
- Steinsalz:
 - langfristiger (10^6 Jahre) Einschluss durch Wirtsgestein und Verschlüsse / kompaktierten Versatz

Sicherheitskonzept: Ausgehend von den „Hauptfunktionen“ ...

... wird das Konzept verfeinert. Leitgedanken und Zielsetzungen (Beispiel Steinsalz):

- möglichst weitgehender Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem definierten Gebirgsbereich (ewG)
- Einschluss der radioaktiven Abfälle vorrangig dadurch erreichen, dass Zutritt von Lösungen zu den Abfällen verhindert oder zumindest stark begrenzt wird
- Daraus werden konkrete Maßnahmen abgeleitet, z. B.
 - Hohlräume klein halten, gebirgsschonend auffahren
 - Nur in weitgehend homogenen Salzbereichen arbeiten
 - Sicherheitsabstände zu ungünstigen Bereichen
 - Verschlussbauwerke mit vorgegebenem hydraulischem Widerstand
 - Verfüllstrategie (Salzgrus)
 - ...



Langzeitsicherheit: Wie demonstrieren?

- Letztlich bedeutet dies: Zeigen, dass das Sicherheitskonzept funktioniert wie geplant
- Wir „testen“ das Konzept unter Belastungssituationen (Szenarien)
- Dies ist auch schon Teil der Entwicklung des Sicherheitskonzepts - es taugt nur etwas, wenn es auch „unter Last“ funktioniert. Sicherheitskonzept und Demonstration interagieren also.

Vorgehensweise

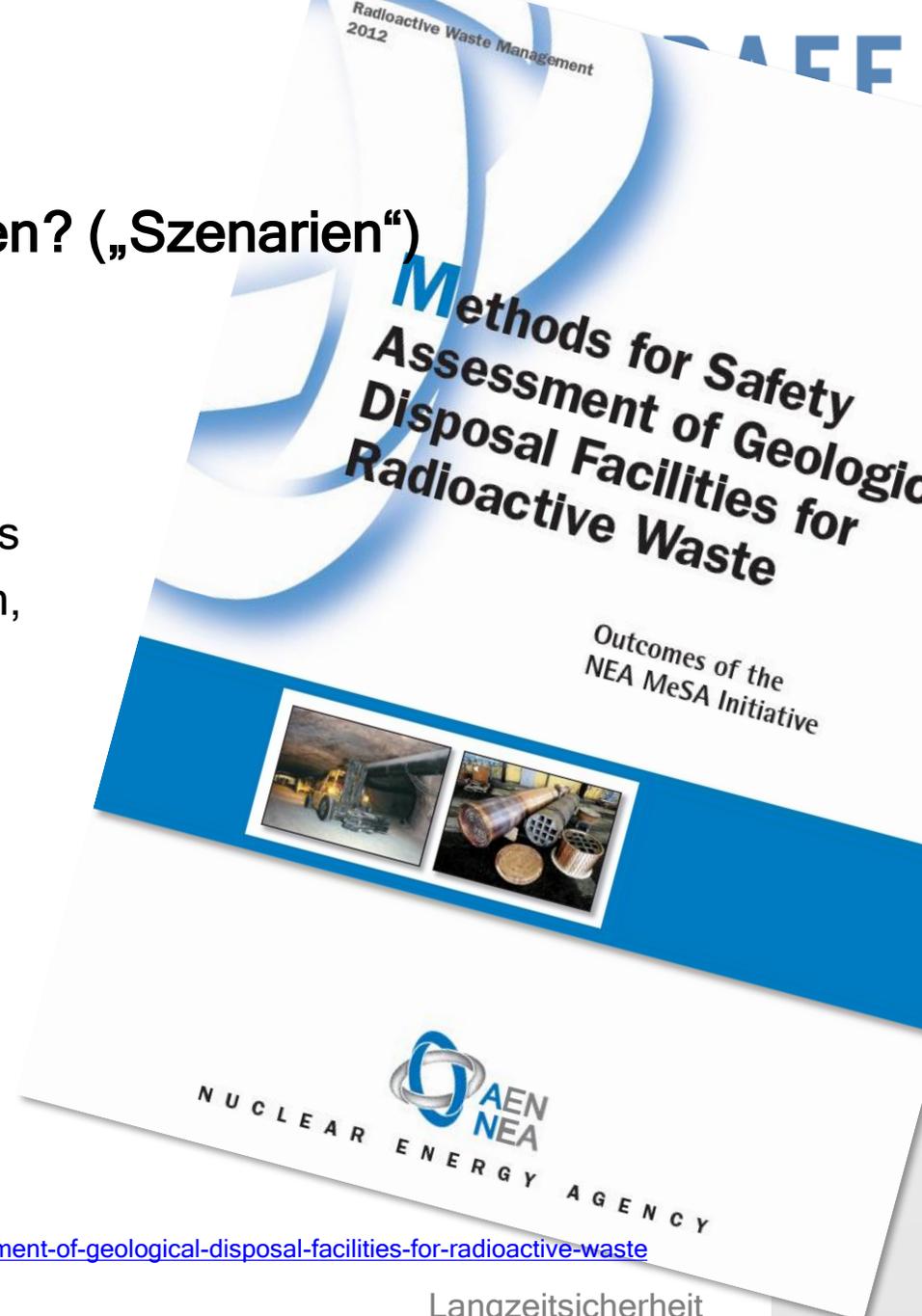
- Abfall: Was, wieviel?
 - Prinzipien und Regeln (z. B. Sicherheitsanforderungen)
 - Geologie: Wie ist der Standort beschaffen, wie wird er sich entwickeln? („Geosynthese“)
- ↓
- Konzepte und technische Umsetzung (inkl. sichere(r) Errichtung / Betrieb / Verschluss)
- ↓
- Wie kann sich das System entwickeln („Szenarien“)?
 - Wie werden die Barrieren funktionieren („Integrität“)? Könnten Schadstoffe freigesetzt werden? Wie viele? → Argumente, Computersimulationen
 - Was ist bekannt, was (noch?) nicht?
- ↓
- Synthese:
Können Anforderungen eingehalten werden? Wie ist weiter vorzugehen?
Was ist noch zu klären / zu verbessern (Standorterkundung, Forschung, Entwicklung)?
- 

Wie wird sich das System entwickeln, was wird passieren? („Szenarien“)

- Uns interessieren zwei Aspekte:
 - Phänomene und Prozesse (THMC) *)
 - Bedeutung für die Sicherheit - das Funktionieren des Systems
- Und wir wollen das Zusammenspiel beider Aspekte systematisch, nachvollziehbar und transparent untersuchen ...
- ... und so zu einem „guten“, also
 - wissenschaftlich fundierten und
 - sicherheitstechnisch abdeckendem Satz von Szenarien zu gelangen.

*) thermisch/hydraulisch/mechanisch/chemisch

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14608/methods-for-safety-assessment-of-geological-disposal-facilities-for-radioactive-waste



Dafür gibt es eine Vielzahl von Methoden

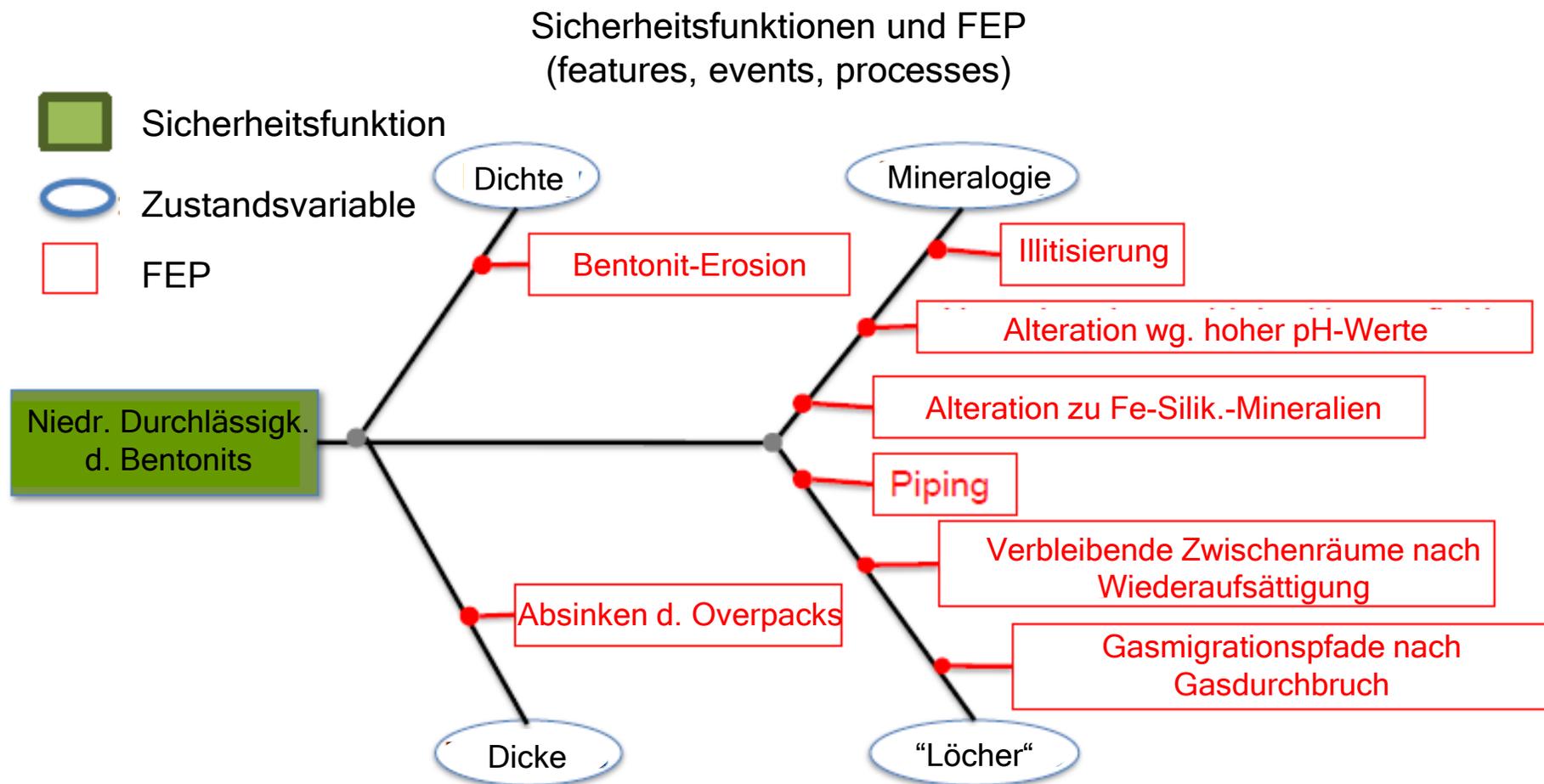
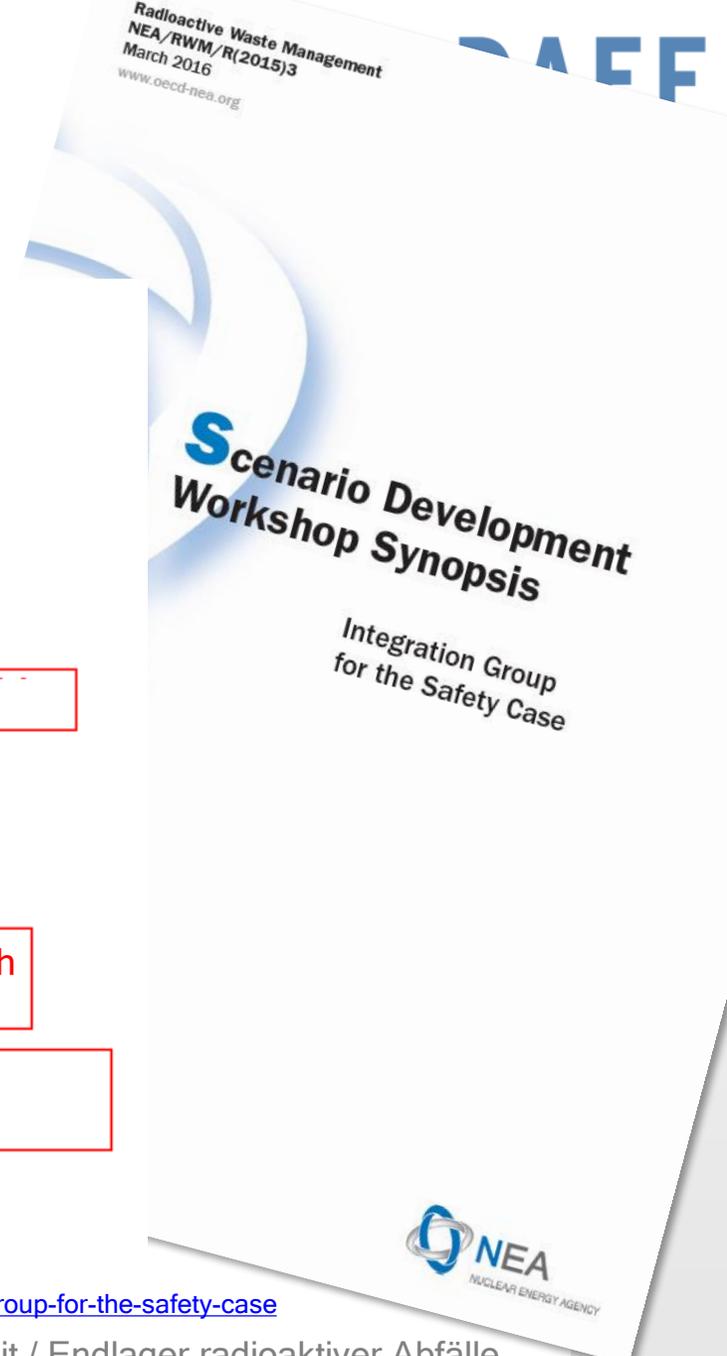


Abb. verändert nach https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_19690/scenario-development-workshop-synopsis-integration-group-for-the-safety-case



Drei Szenarien, jedes beeinträchtigt eine Sicherheitsfunktion

Erinnerung:

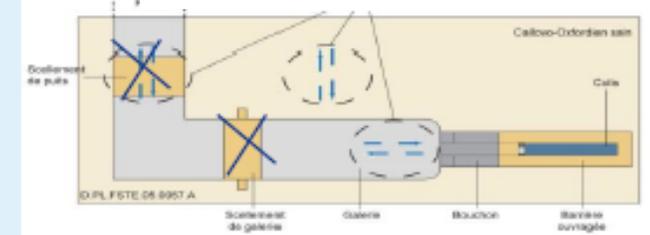
- Uns interessieren zwei Aspekte:
 - Phänomene und Prozesse (THMC)
 - Bedeutung für die Sicherheit - das Funktionieren des Systems
- Und wir wollen das Zusammenspiel beider Aspekte systematisch, nachvollziehbar und transparent untersuchen ...
- ... und so zu einem „guten“, also
 - wissenschaftlich fundierten und
 - sicherheitstechnisch abdeckendem Satz von Szenarien zu gelangen.

Versagen der Schacht-
und Streckenverschlüsse

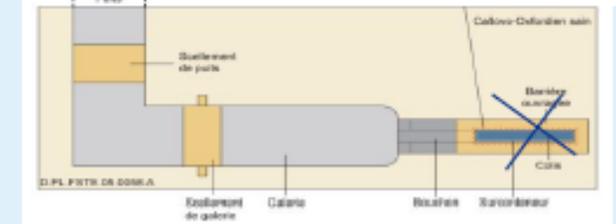
Frühzeitiges Versagen
der Behälter

Durchbohren des Wirtsgesteins

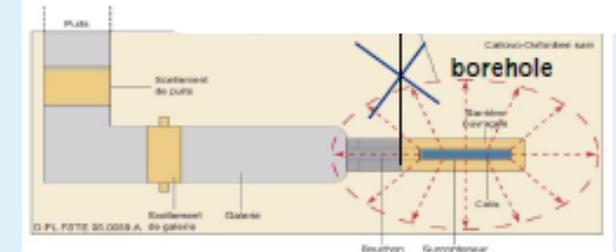
Wasserbewegung verhindern



Schadstoffe einschließen



Schadstoffe zurückhalten



Szenarien (Entwicklungen): Die wichtigste Botschaft

- Wir sagen nicht die Zukunft voraus, sondern ...
- ... wir testen das System gegen mögliche „Lastfälle“.
- Diese sollen die realen Möglichkeiten abdecken, aber keines der Szenarien wird „genau so“ eintreten.

- Sicherheitsnachweise im Tunnelbau oder im Bauwesen verfahren nach demselben Prinzip.
- Allerdings sind dort die Betrachtungszeiträume deutlich kürzer ...

- Daher ist es besonders wichtig, ...
 - dass wir einfache, möglichst homogene, gut charakterisierbare, gut prognostizierbare, „langweilige“ Geosysteme suchen,
 - in diese möglichst robuste technische Systeme „einbauen“,
 - Und möglichst mit sich ergänzenden Funktionen und Sicherheitsreserven arbeiten.

Keep it stupidly simple (KISS)!



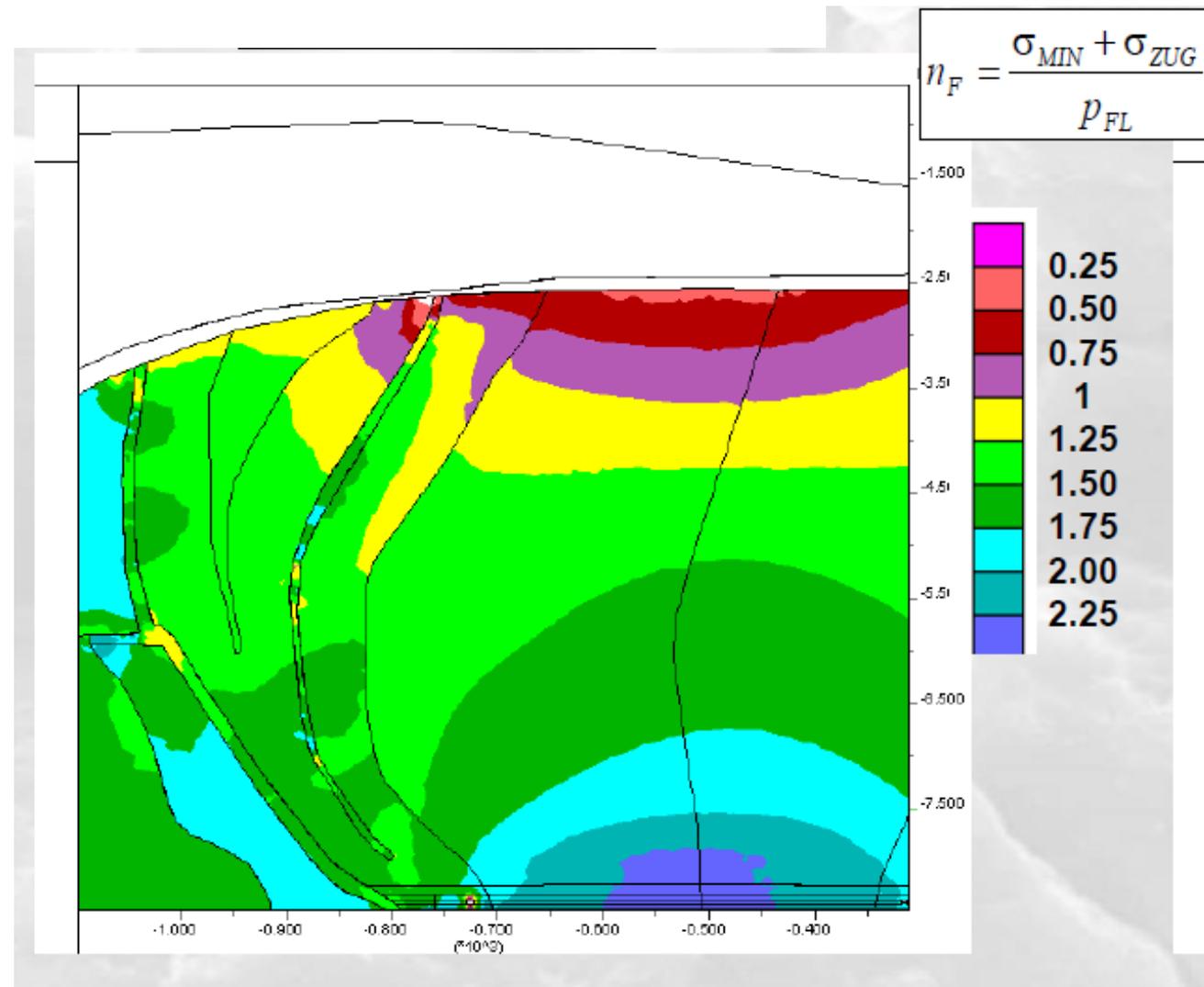
Und man kann mit den Szenarien „spielen“

Stresstests, „what-if“-Szenarien, z. B.

- Parameterwerte jenseits des physikalisch Plausiblen / Möglichen (hohe Diffusionskonstanten, Grundwassergeschwindigkeiten, ...)
- Gedankliches „Weglassen“ von Barrieren
- ...

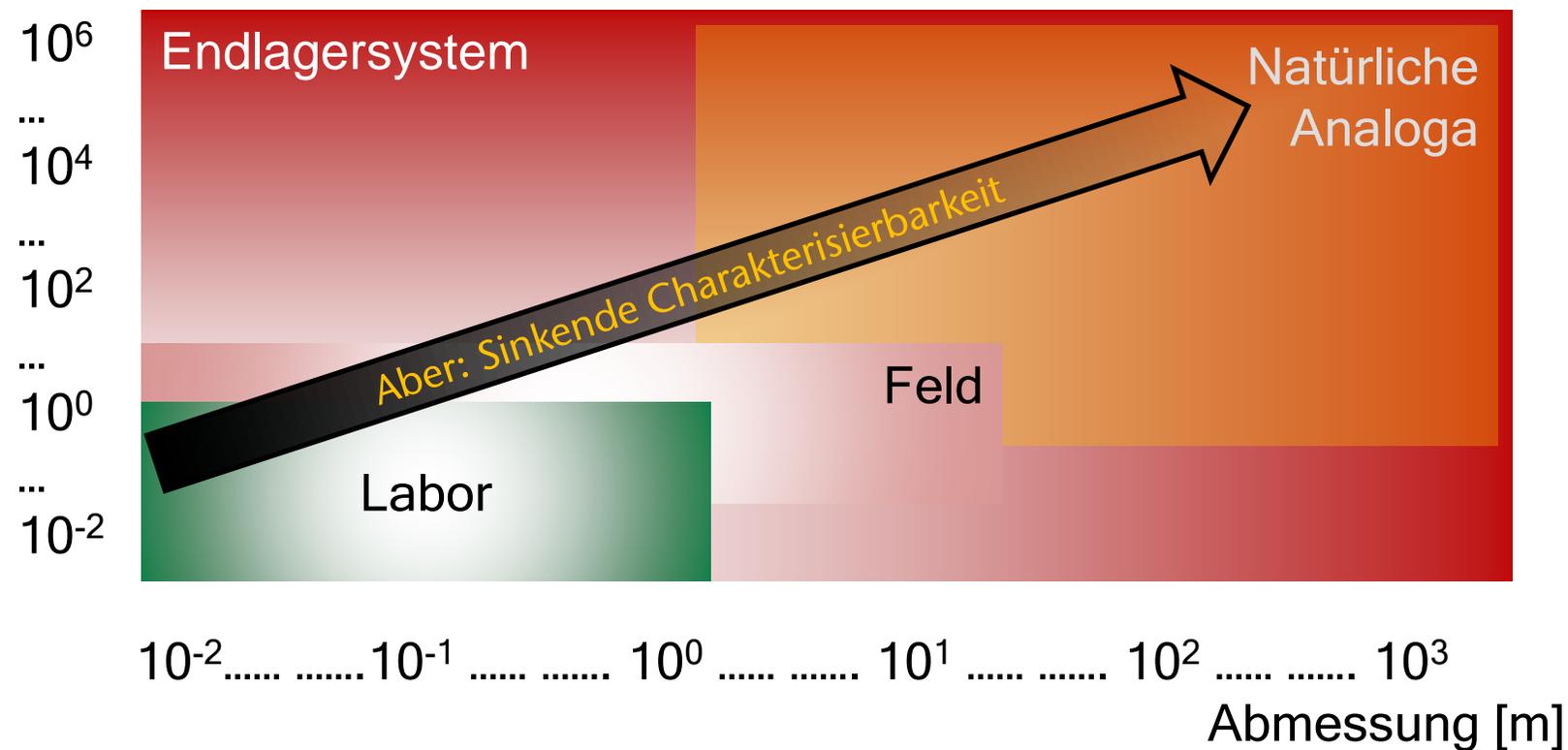
Modellrechnungen

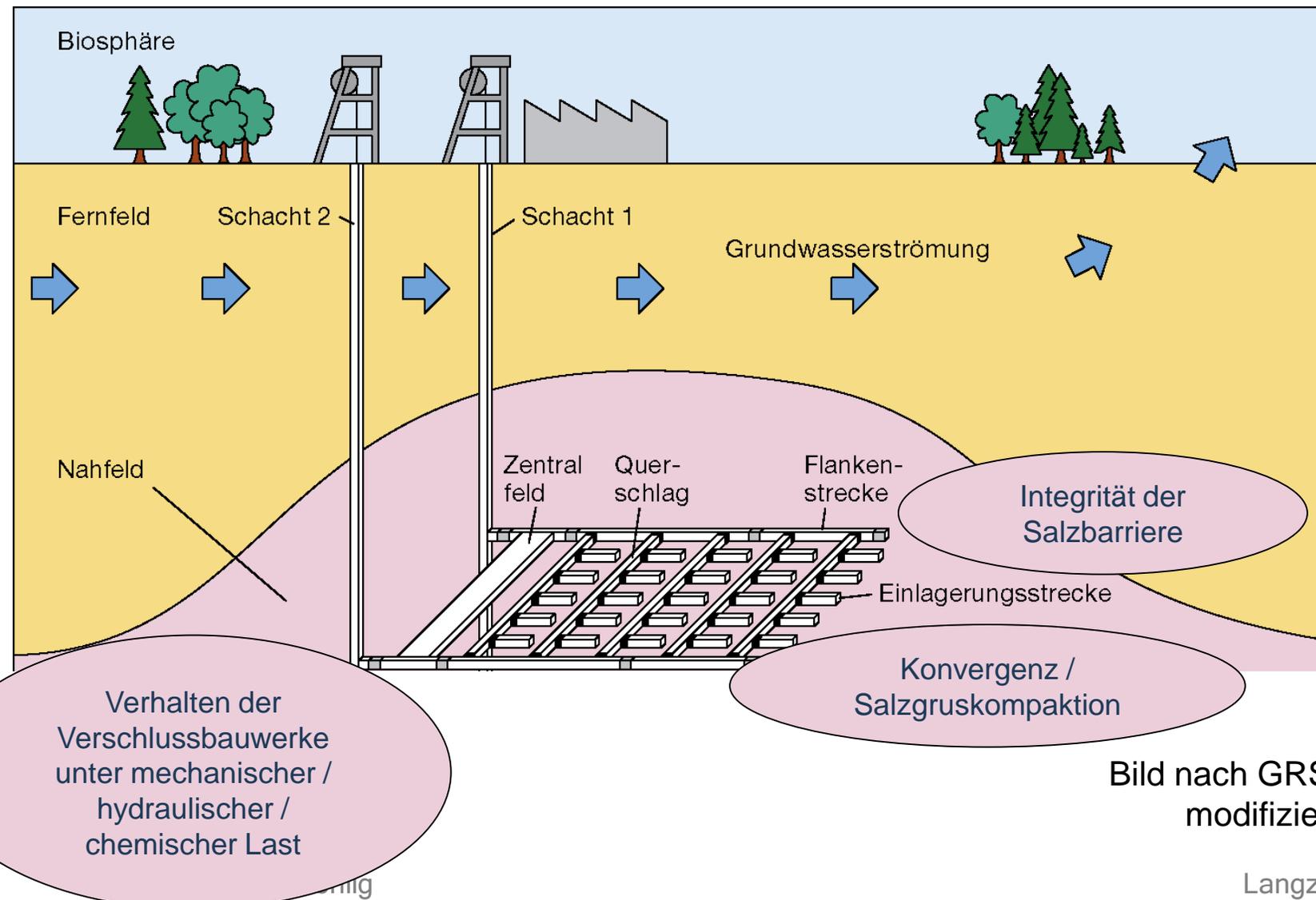
- Wissenschaftliches „Handwerkszeug“
- Verstehen, Entwicklungsmöglichkeiten aufzeigen
- Rechnungen können betreffen:
 - Das System als Ganzes oder Teilsysteme
 - Einzelne oder kombinierte / interagierende Effekte
 - (Sehr) unterschiedliche Zeiträume
 - Barrierenintegrität oder Schadstofftransport
- In den Naturwissenschaften werden Theorien und Modelle meist an der Realität getestet,...
- zur Vorhersage neuer Effekte genutzt ...
- und ggf. auch falsifiziert (K. Popper)



Modelle testen, Vertrauen entwickeln

Zeit [a]





Szenario: Erwartete Entwicklung

- Verschlussbauwerke wirken über gewissen Zeitraum
- Fließen des Salzes
- Konvergenz der Hohlräume
- Verdichtung des Salzgrusversatzes

➤ **Einschluss**

Bild nach GRS,
modifiziert

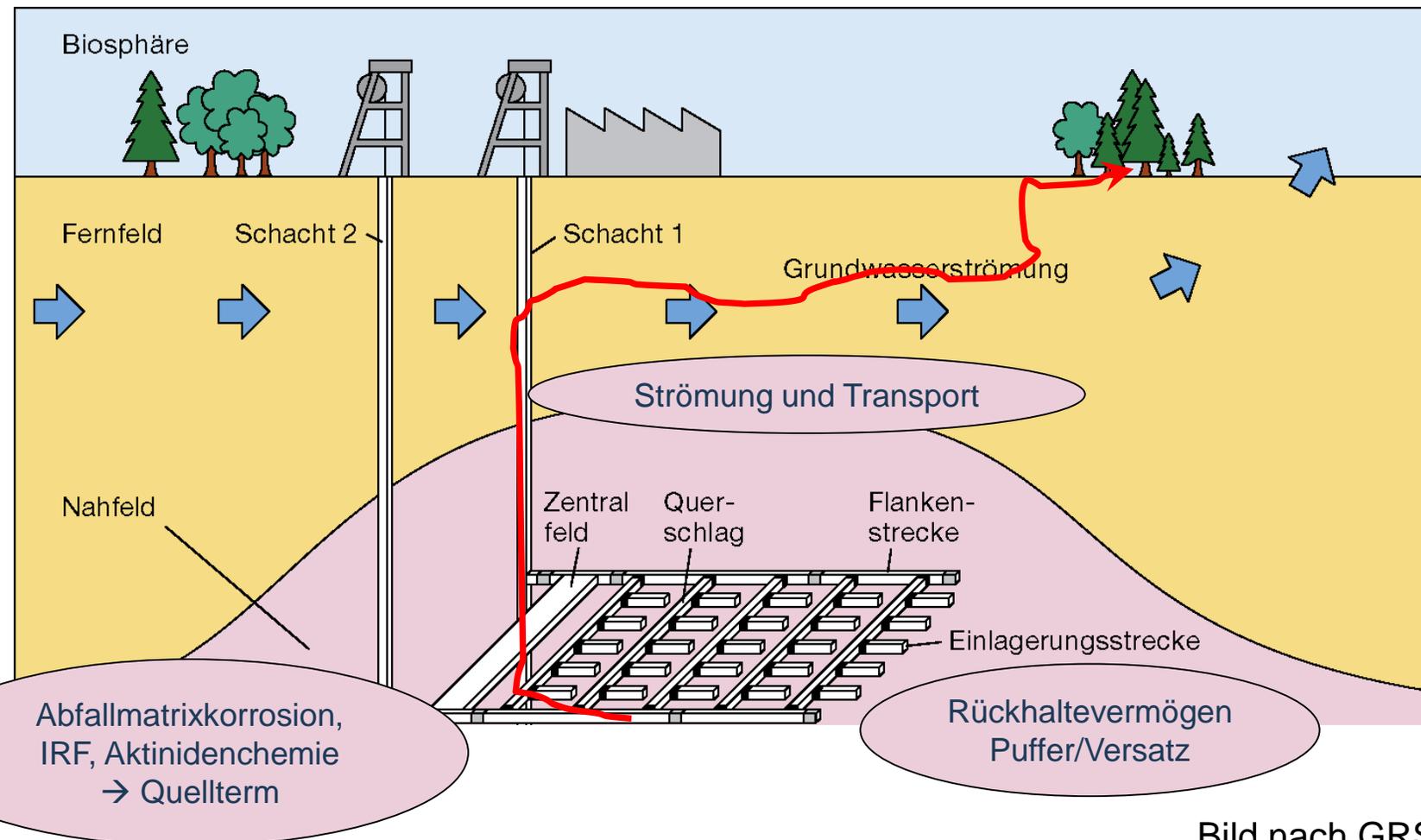


Bild nach GRS, modifiziert

Szenario:

Alternative Entwicklung

- Vorzeitiges Versagen Verschlussbauwerk / Endpermeabilität
- Salzgrus wird nicht (rechtzeitig) erreicht:

- Laugenzutritt
- Lösung
- Laugenaustritt

➤ Radionuklidmigration

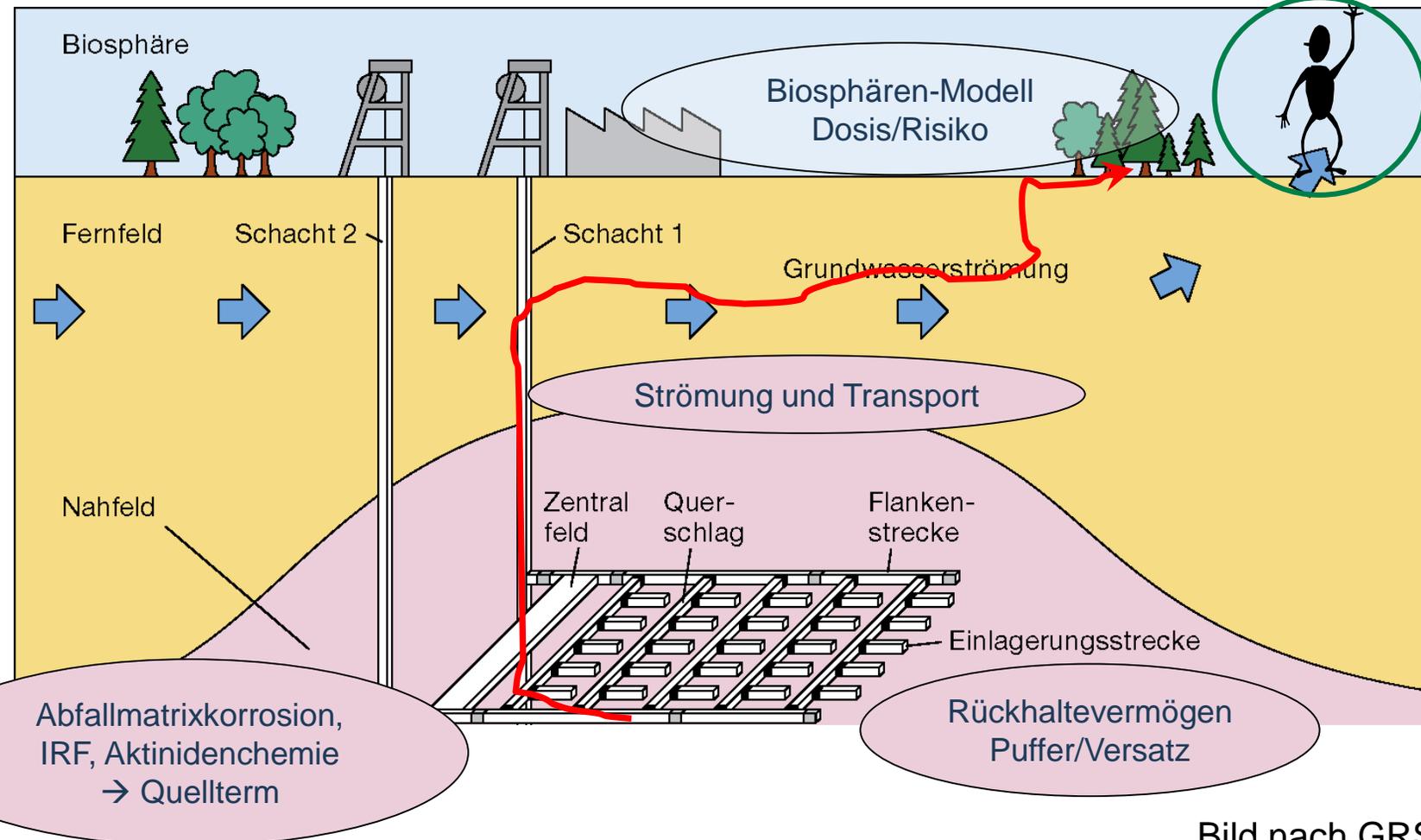


Bild nach GRS, modifiziert

Modellierung

Dosis
(Individualrisiko)

Radionuklidströme &
-konzentrationen
im zugänglichen
Grundwasser,
Brunnen, Gewässer
...

Radionuklidströme &
-konzentrationen
im Endlager



Also u. a.:

„Berechnung“ (besser: Abschätzung) potenzieller effektiver Individualdosen:
Grundlage sind insbesondere Annahmen zum menschlichen Verhalten.

„Wird der Fischer tatsächlich den kontaminierten Fisch fangen, und am Abend zusammen mit dem Gemüse essen, das seine Frau aus dem Garten geerntet hat, der mit kontaminiertem Grundwasser bewässert wurde? In 10381 Jahren? Oder doch erst ein Jahr später?“

Daher:

- Wichtig ist, die Barrierenintegrität und damit die „Einschlussleistung“ zu belegen.
- Die Dosis-Abschätzung trägt die Qualität eines Indikators: „Was würde es unter heutigen Bedingungen schlimmstenfalls (oder in noch „schlimmeren“ Fällen) bedeuten, wenn Radionuklidmenge X in der Biosphäre ankommt“?
- Aber: Wir können belegen, dass für die Szenarien diese Menge X klein bleibt.

Sachverhalte, die sich einer solchen Herangehensweise entziehen

- Am schwierigsten: Mensch und Gesellschaft.
Wir wissen nicht, wie in der Zukunft mit dem Endlager „umgegangen“ wird.
 - Terrorismus, Diebstahl, ...
 - „Vergessen“ des Lagers und/oder des Gefahrenpotentials und Handlungen wie z. B.
 - Erkundungsbohrungen
 - Bergbau
 - ...
 - Sich-selbst-Überlassen des Lagers (wann?)
- Natürlich tun wir, was wir können, um diesen Problemen zu begegnen
 - Platzierung im tiefen Untergrund
 - Archivierung, Markierung, ...
 - Kernmaterialüberwachung
 - Umwelt- und Tiefenlagerüberwachung

ABER...



ABER ...

- Wir stoßen hier an die Grenzen dessen, was sich prognostizieren oder auch nur ahnen lässt
- Die Szenarien, mit denen wir uns hier befassen, beruhen immer (auch) auf Vereinbarungen / Konventionen, z. B. ...
 - Welchen Stand / welche Entwicklung von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft unterstelle ich?
 - Welche Generation („heute“ oder „dann“) ist verantwortlich?
 - Welches Schutzniveau fordere ich für solche Szenarien?
 - Welche Priorität hat der Schutz bzgl. solcher anthropogen ausgelöster Szenarien im Vergleich zu dem bzgl. der systematisch abgeleiteten geogen / technogen ausgelösten?

Fazit: Was geht, was geht nicht?

- Wir sind in der Lage, langlebige Geosysteme zu nutzen.
- Geotechnische / technische Komponenten: Wir nutzen Vorteile und kompensieren Nachteile.
- Wichtige Prinzipien:
 - Einfachheit
 - Robustheit
 - Sich ergänzende Sicherheitsfunktionen
 - Sicherheitsreserven
- Wir können Szenarien ableiten, mit denen wir das Funktionieren „testen“.
- Dies erfolgt auch über die Grenzen des Plausiblen hinaus („what if“)
- Computer-Modelle auf wissenschaftlicher Basis können uns das Funktionieren der Barrieren für „Lastfälle“ (Szenarien) belegen. Das geht „unten“ solider als „oben“. Die berechnete Dosis ist daher „nur“ ein Indikator.
- Ein Problem: „unknown unknowns“ → Je robuster, desto besser
- Noch ein Problem: Menschliches Eindringen



Danke für die Aufmerksamkeit!
Haben Sie Fragen, Kritiken, Kommentare?

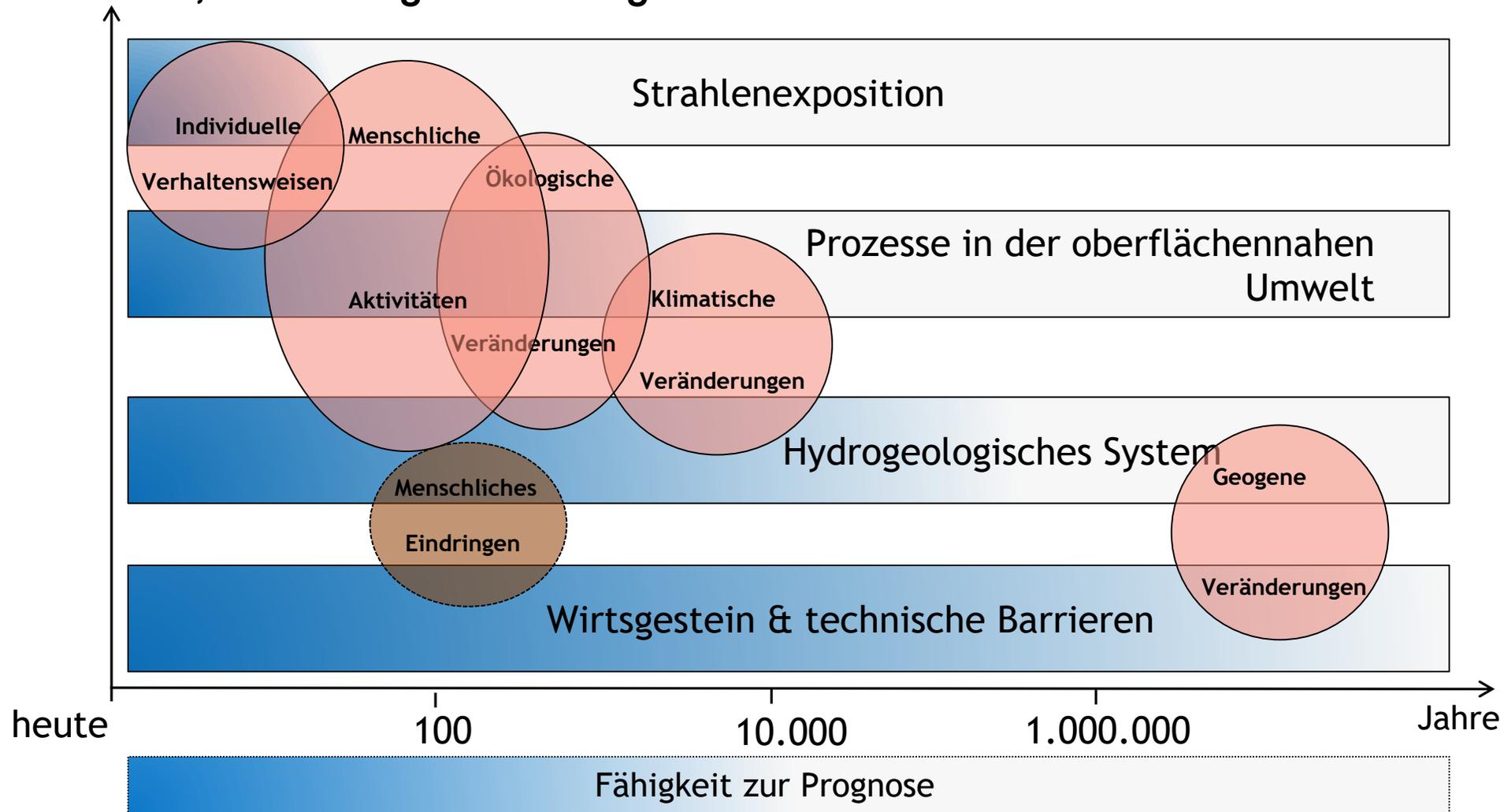


„Gestuft“ Ansatz der IAEA („graded approach“)

- Mit steigendem Aktivitätsgehalt und steigender Lebensdauer der Abfälle: Steigende Anforderungen an die Schutzfunktionen des Systems (vulgo u. a.: Je gefährlicher, desto tiefer)
- Es gibt daher Deponien, Endlager an der Erdoberfläche, in einigen Dutzend, in einigen hundert Metern Tiefe ...
- ... aber dies gilt NICHT für Deutschland: Alle radioaktiven Abfälle, die nicht freigegeben werden (können), sollen in tiefe (geologische) Endlager (einige 100 m Tiefe) gelangen
- Dies ist der international empfohlene Ansatz insbesondere für hochaktive Abfälle



Zeiträume, Einwirkungen und Prognostizierbarkeit





Hypothetisches menschliches Eindringen: Aus der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG)

<https://www.grs.de/vorlaeufige-sicherheitsanalyse-gorleben-vsg>

„... dass die Optimierungsmöglichkeiten generell stark begrenzt sind. Die Ursachen liegen vor allem darin, dass weder die Motivation und die technischen Möglichkeiten zum Eindringen noch die Art und Weise, wie Eindringende auf Anomalien oder Auffälligkeiten reagieren, belastbar prognostiziert werden können. Aufgrund des Fehlens klarer Randbedingungen sind weiterhin quantitative Beurteilungen der Wirksamkeit der Maßnahmen im Hinblick auf die Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. der radiologischen Auswirkungen völlig spekulativ, weshalb die Ergebnisse entsprechender radiologischer Konsequenzenanalysen den Charakter der Beliebigkeit aufweisen würden.“

Salzgestein in stratiformer („flacher“) Lagerung

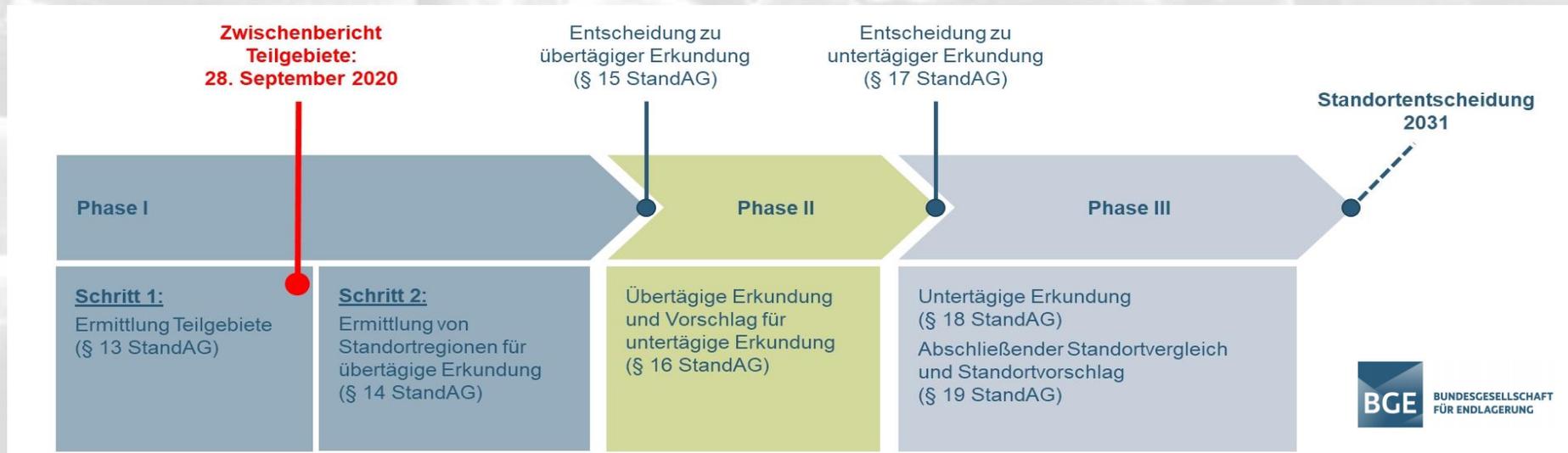
Barrierenintegrität - Relevanz für den Standortvergleich)

Fachkonferenz Teilgebiete, Standortauswahl und Endlagersicherheit: 04. Februar, 2021

Till Popp, Ralf-Michael Günther

Institut für Gebirgsmechanik GmbH
02479 Leipzig, Friederikenstrasse 60
till.popp@ifg-leipzig.de

Schritte im Standortauswahlverfahren



➤ Zielstellungen des Vortrags

- (1) Darstellung der Eigenschaften und des Potentials stratiform-lagernder Salzformationen auf Basis von IfG-Erfahrungen
- (2) Vorstellung der Methodik zum geomechanischen Integritäts-Nachweis sowie vorläufige Ergebnisse

Leipzig - Gelände des stillgelegten Braunkohlentiefbaus Dölitz



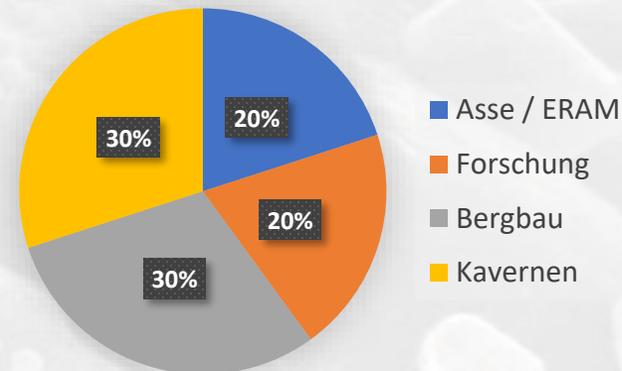
Gebäude „Kaue“ – geomechanisches Labor



Gebäude „Südwerkbunker“ – Modellierung

- Gegründet 1990 von Mitarbeitern der Abteilung Salzmechanik des ehemaligen Institutes für Bergbausicherheit der Deutschen Demokratischen Republik (DDR)
- Expertise aus über vier Jahrzehnten angewandter Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der Geomechanik, insbesondere der Salzmechanik
- Ca. 30 Mitarbeiter, viele Physiker, Geowissenschaftler, Bau- & Bergbauingenieure
- ca. 60 Projekte pro Jahr

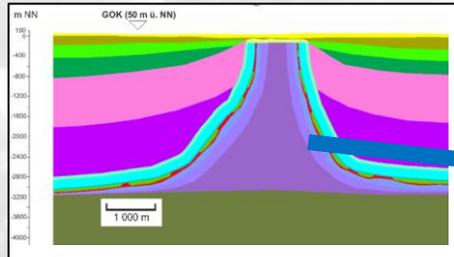
Arbeitsschwerpunkte



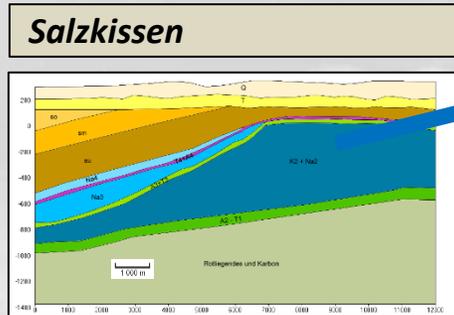
Zechstein Salzformationen – geolog. Randbedingungen

Strukturen

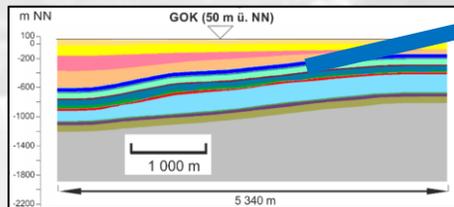
Salzstöcke – Steile Lag.



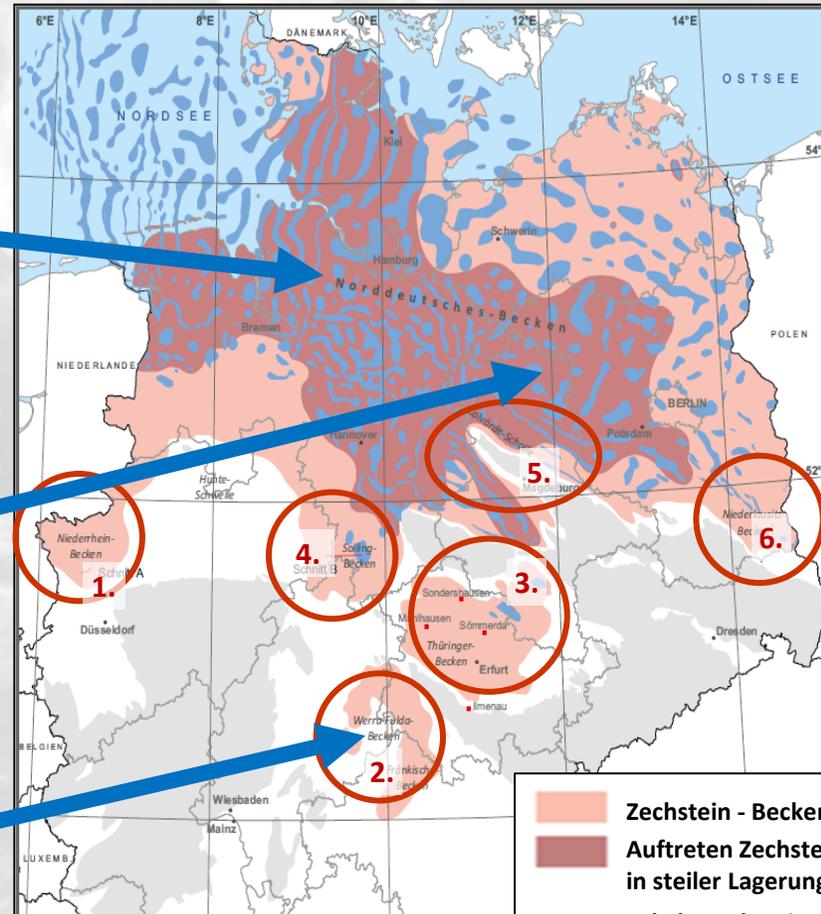
Stratiforme Lagerung



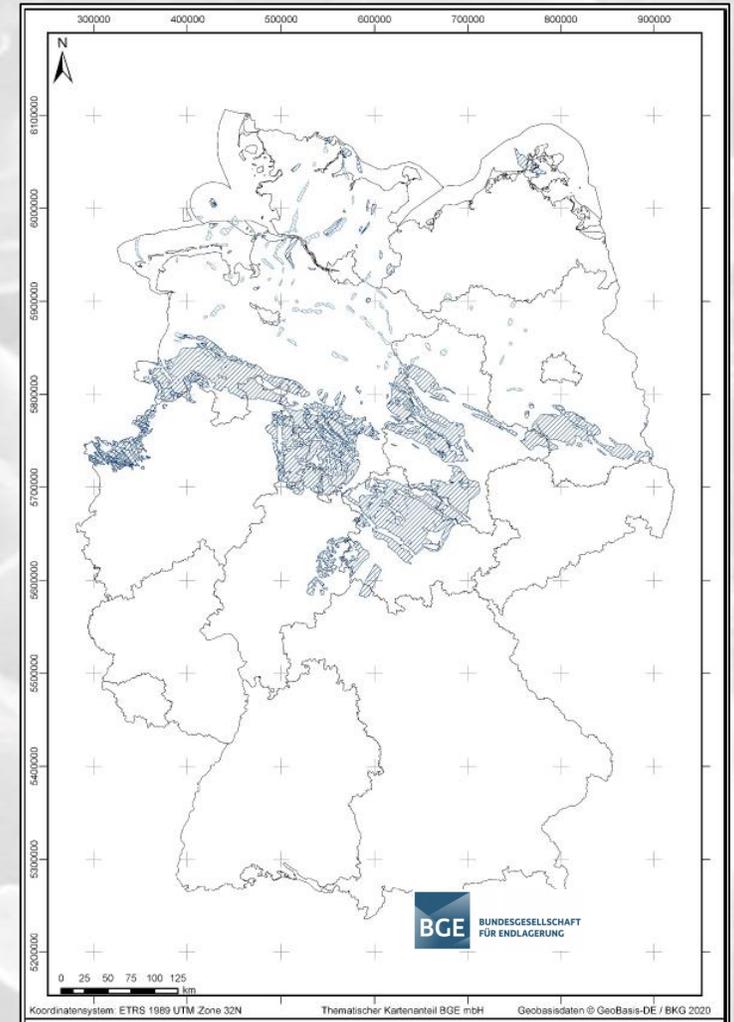
Flache Lagerung



Regionale Verteilung



BGE-Teilgebiete Salz



Subtypen – Stratiforme Lagerung

Salzformation: Typ „Flache Lagerung“



⇒ Gekennzeichnet durch weitgehend homogene, ungestörte Lagerungsbedingungen

Salzformation: Typ „Salzkissen“

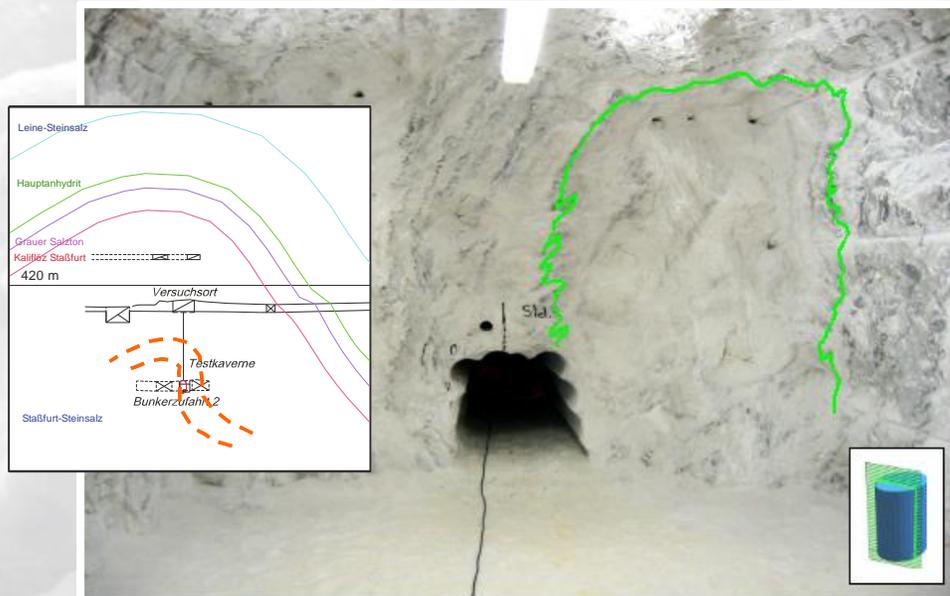


Entstehung

- ⇒ Salzabwanderung infolge Dichte-Unterschiede (Salz/Deckgebirge)
- ⇒ Kissenbildung: Akkumulation infolge der Mobilität vor allem der Staßfurt-Formation)
- ⇒ Kein Durchdringen des Deckgebirges

Grube Bernburg

“Grönaer Sattel - Testkaverne” – Steinsalz z2NA



- In Salzkissen sind halokinetische Strukturbildungen im 1er – 10er - Meter-Bereich möglich.
- **Bewertung auf Basis vorliegender Erfahrungen als unkritisch.**

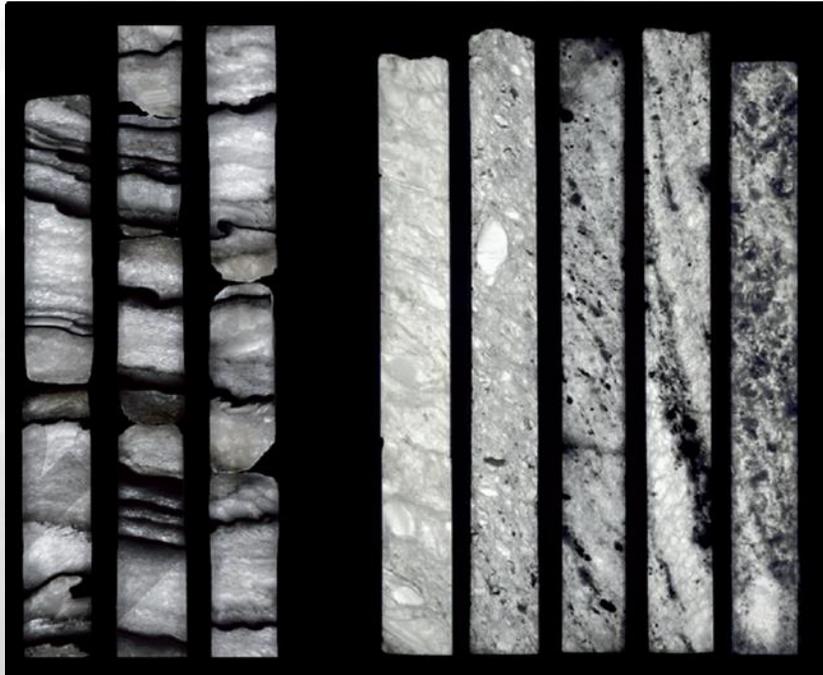
Grube Teutschenthal

“Neue Werkstatt” – Staßfurt Kalilager z2SF



Quelle: IfG

Zechstein Salzformationen – Eigenschaften



**Staßfurt-Hauptsalz,
Teutschenthal Mine**

**Staßfurt-Hauptsalz,
Gorleben Salt dome**

Polished Core Slices (1m length – transmission light)

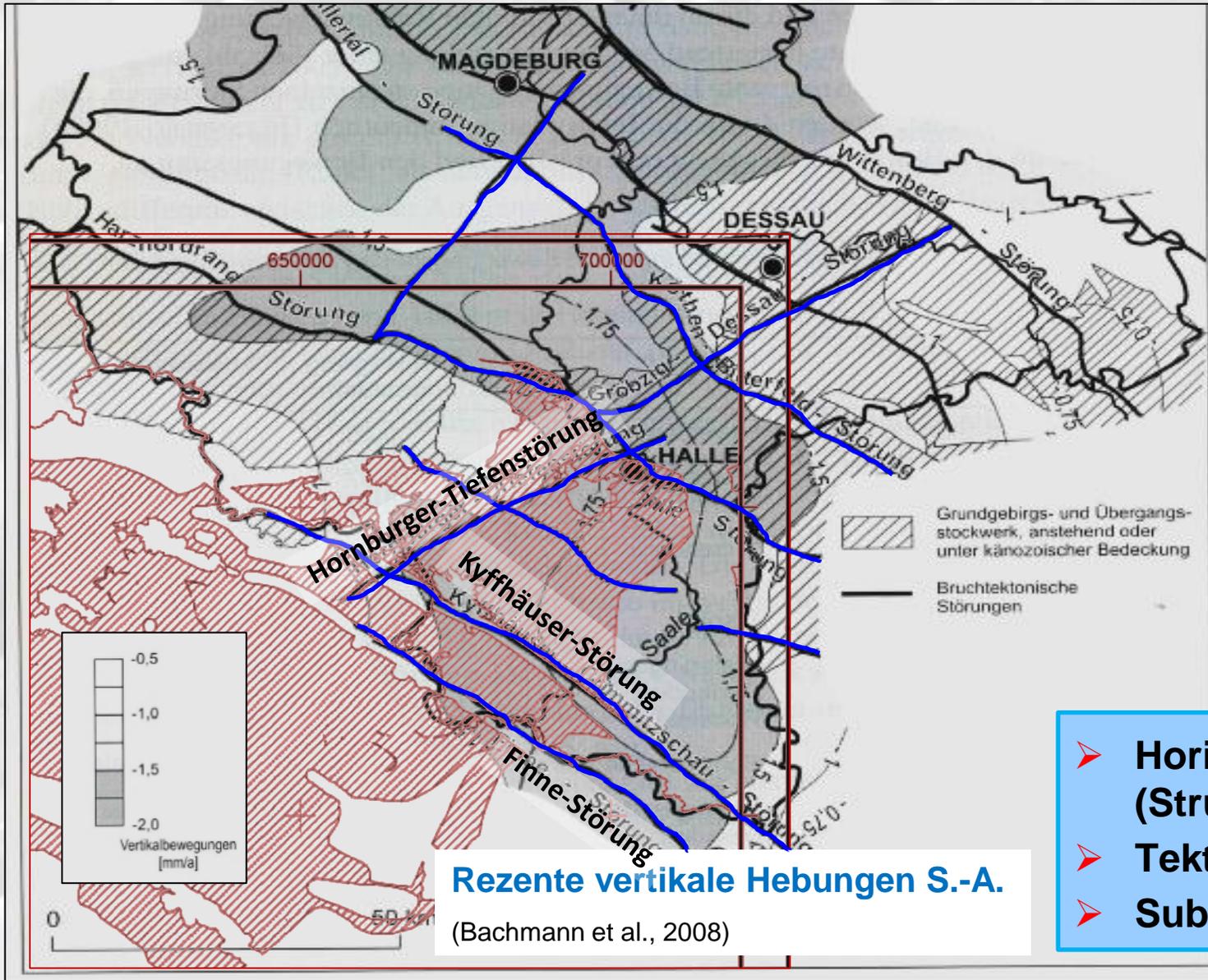
**Bedded salt vs. domal salt
Textural characteristics**

Quelle: BGR

Eigenschaft	Stratiforme Lagerung		Steile Lagerung / Salzstock
	Flach gelagertes Salz	Salzkissen	
Subtyp	Flach gelagertes Salz	Salzkissen	
Laterale Ausdehnung	Groß	Ausreichend	Ausreichend
Mächtigkeit	Begrenzt	Signifikant	Groß
Geologie / Gleichförmigkeit	Einfach / homogen	Lateral inhomogen	Komplex
	<ul style="list-style-type: none"> • Salz mit Anhydrit/Ton-Lagen • Salzton / Anhy – Einschaltung. • Kalilager 		<ul style="list-style-type: none"> • Homogenisierte Salzpartien • Steilsteh. Kalilager
Deckgebirge	<ul style="list-style-type: none"> • Häufig intaktes Deckgebirge mit überlagerndem Tonstein • In den unteren Partien trocken 		<ul style="list-style-type: none"> • Gestört • Zumeist wasserführend
Geomech.-hydraul. Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Steinsalz ist dicht</i> ➤ <i>Mechanisch /hydraulische Schwächeflächen (Interfaces)</i> ➤ <i>Geringe HM-Datenbasis</i> 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Steinsalz ist dicht</i> ➤ <i>Lokale Anhydr-Ton-Interfaces möglich</i> ➤ <i>Viele HM – Daten</i>
Fluidtransport Szenarien	<ul style="list-style-type: none"> • Etwas höhere Wassergehalte • ± Flach liegende Schichtung ➤ <i>Kein vertikaler Stofftransport</i> ➤ <i>Strukturänder: Auslaugungsbereiche / Randsenken</i> 		<ul style="list-style-type: none"> • Steil stehende Schichten: ➤ <i>Szenario “geklüfteter Hauptanhydrit”</i> ➤ <i>Selektive Auflösung steiles Kalilager</i>

Quelle: IfG

Räumliche Charakterisierbarkeit – Neotektonische Beeinflussungen



Ausschnitt:

Teilgebiet 078_02TG_197_02IG_S_f_z

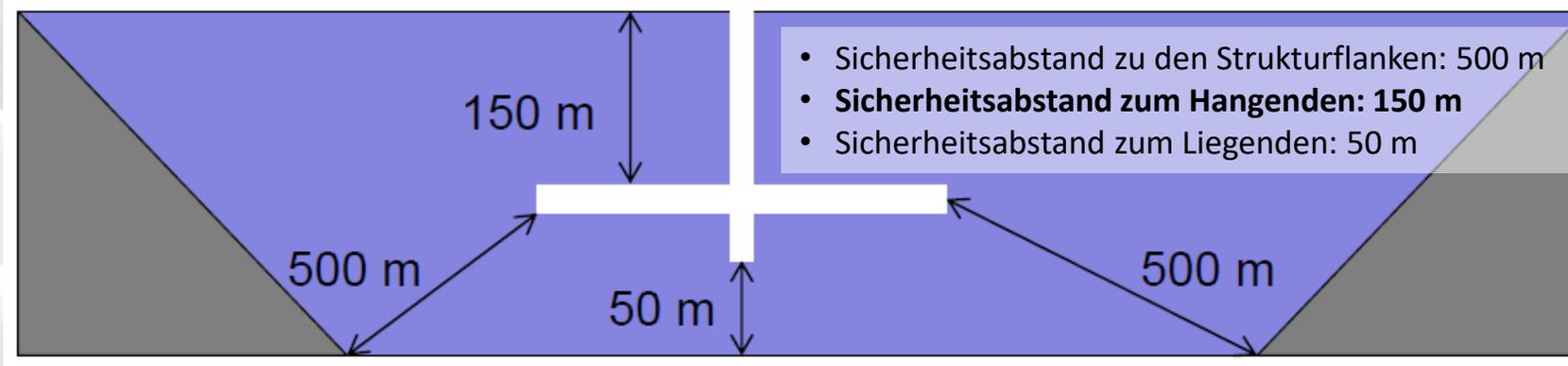
**Unterteilgebiet = Saale-Becken
(„Hallesches Kalisalzgebiet“)**



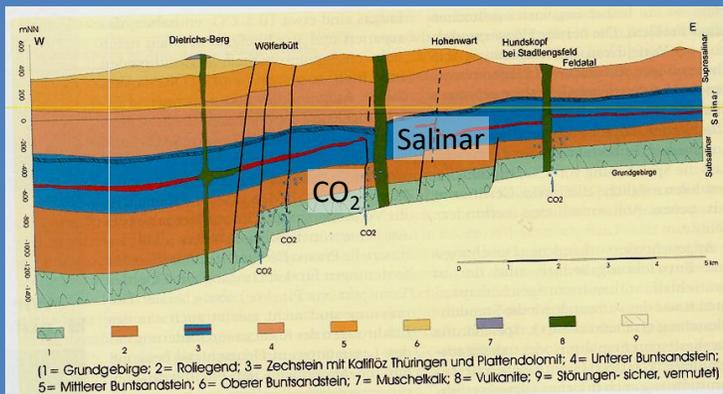
Gesamtfläche: 6151 km²

- **Horizontale Krustenbewegung = Felderung (Strukturbegrenzung)**
- **Tektonische Prozesse in der Lagerstätte**
- **Subrosion im Bereich von Störungszonen**

Sicherheitsabstände – Empfehlungen aus Bergbau / natürlichen Analoga



Quelle: KOSINA - DBE-TEC



➤ Eine Salzbarriere von ≥ 30 m im Liegenden ist ausreichend (IfG, 2010)

Das Fallbeispiel Merkers belegt, dass die salinare Liegendbarriere (≥ 30 m Steinsalz) gegenüber dem CO_2 -Gasdruck von ca. 7,5 MPa im Subsalinar dicht ist.

Nach den vorliegenden Erfahrungen sind unverritzte Gebiete bereits bei ca. 200 m Breite gegen ein Durchdringen von Salzlösungen ausreichend. Als Beweis dafür sollen die gegen ein Durchdringen von Salzlösungen ausreichend sicheren Pfeiler zwischen den Gruben Friedrichshall und Ludwig II mit 164 m bis 180 m, Plömnitz-Friedenshall mit 200 m, Friedenshall-Bernburg/Gröna und Neu-Staßfurt I/III- Neu-Staßfurt IV mit ca. 470 m sowie Aschersleben III-V mit ca. 500 m genannt werden.

Quelle: Schwandt (1990)

Stratiforme Salzformationen – Nutzung für UTD oder UTV



4 Untertage-Deponien (UTD)
10 Gruben mit Versatzmaßnahmen (UTV)

Gesetzlicher Rahmen für die Verbringung Umweltgefährdender Abfälle nach Untertage, u.a.:

- Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG
- Deponieverordnung (2009)
- Versatzverordnung (2002)

➤ Konzept „dichter Einschluss“

- Die regionale Verteilung und die hydro-mech. Eigenschaften der Salzformationen können unterschiedlich sein.
- Nutzung der vorhandenen Erkenntnisse und Erfahrungen

Datenfundus – Beispiel GTS-Teutschenthal

❖ Qualifizierte Datenbasis

- Ca. 150 Einzelberichte seit 1990:
 - Regionale Geologie, z.B. Erosion, Tektonik
 - Aufbau der Lagerstätte
 - Geomechanische Laboruntersuchungen
 - In situ-Untersuchungen (z.B. Geo-Hydraulik)
- BMWi-Forschungsvorhaben
 - (z.B. geotechn. Verschlüsse, Erkundung)

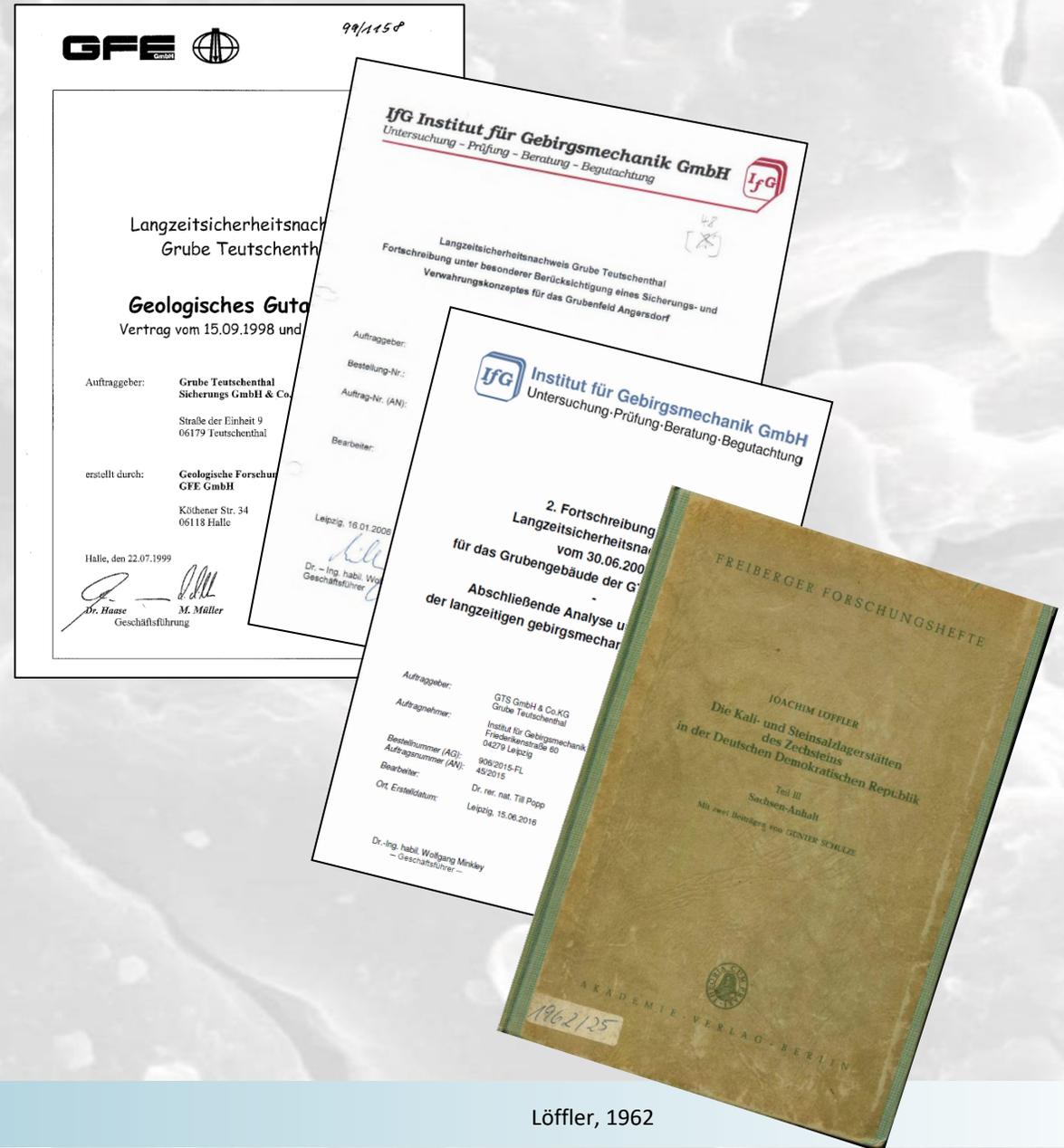
❖ Nachweis der Langzeitsicherheit:

- Bewertung der geologischen Barrieren
- Geomechanische Integritätsanalyse
- Langzeit-Szenarien-Analyse

❖ Ein geotechnisches Sicherheits- und Schließungskonzept,

basierend

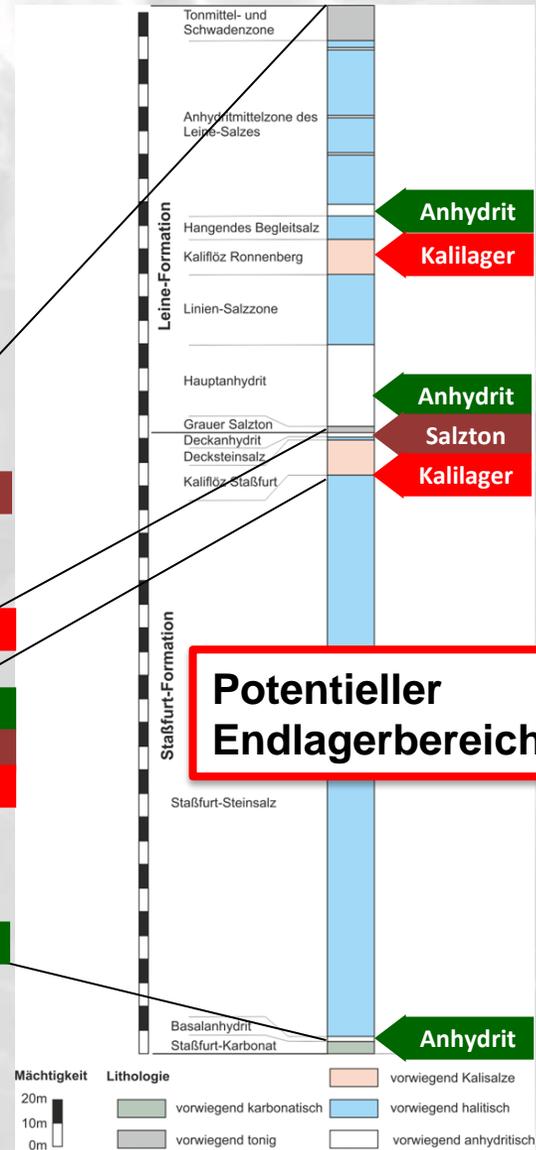
- auf der geologischen, hydro-geologischen Situation und den Abfalldaten
- Bergbaulichen Situation (**Schächte!**)



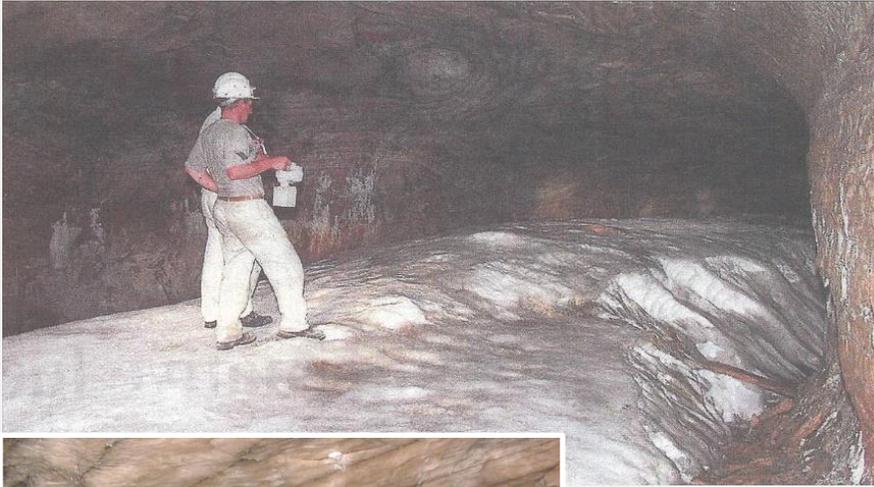
Stratiforme Lagerung (Ostdeutschland): Geol. Normalprofil - Zechstein

Deckgebirge	q t sm su	Quartär Tertiär mittlerer Buntsandstein unterer Buntsandstein
Ohre-Folge	z5	Ohre-Sedimente
Aller-Folge	z4NA z4RT-z4PA	Aller-Steinsalz Roter Salzton/Pegmatitanhydrit
Leine-Folge	z3SS-TM z3AM z3RO z3NA z3HA z3GT	Schwadensalz/Tonmittelsalz Anhydritmittelsalz Kaliflöz Ronnenberg Leine-Steinsalz Hauptanhydrit Grauer Salzton
Staßfurt-Folge	z2SF	Kaliflöz Staßfurt
	z2NA	Staßfurt-Steinsalz
Liegendes	z_Anhydrit z_Karbonat	Einlagerungshorizont
	Sandstein	

Quelle: KOSINA



- **Lithologische Heterogenität innerhalb der Lagerstätte**
- **Unterschiedliche Eigenschaften der verschiedenen Salzgesteine**
 - Steinsalz
 - Salztone
 - Anhydrit



2005
Salzgrube "Unterbreizbach"

**Gas-Akkumulationen im Salz aufgrund des
tertiären Rhön-Vulkanismus**

⇒ **CO₂- Gletscher nach einem
untertägigem Gas-Ausbruch**

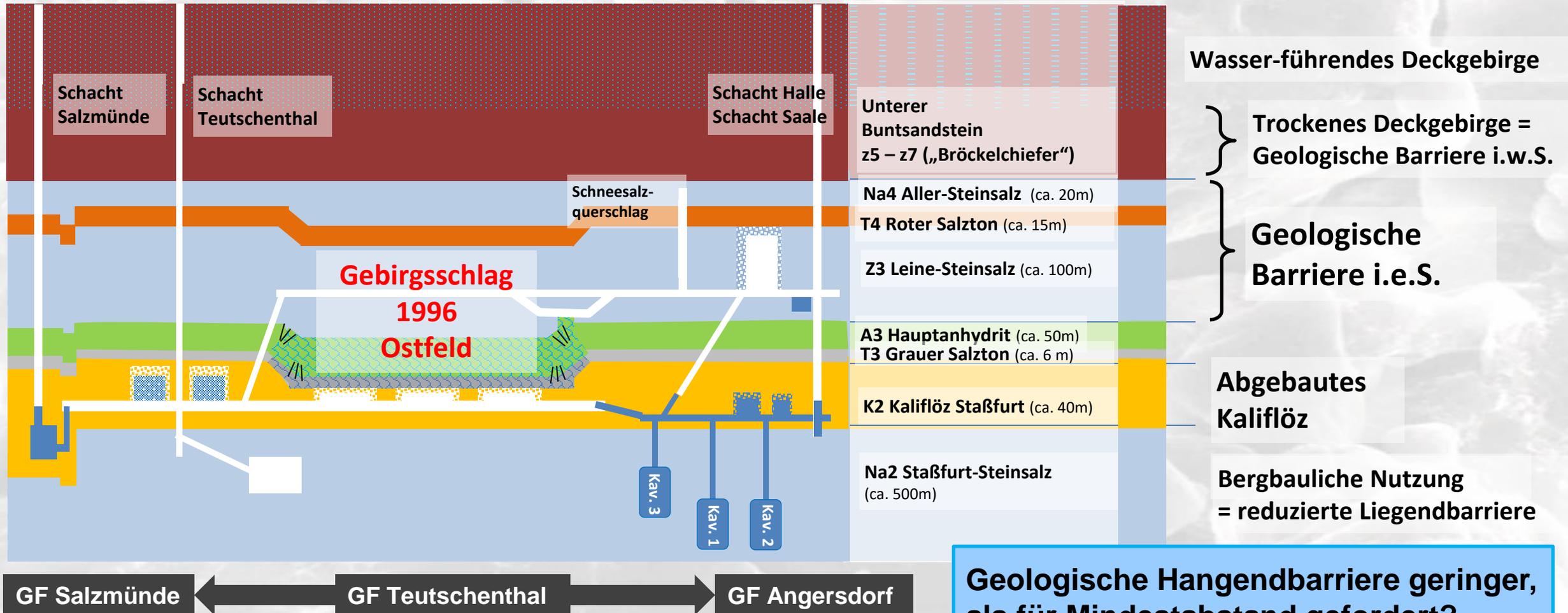
➤ **Schlussfolgerungen**

- ❖ *Auf der Basis natürlicher Analoga und praktischer Erfahrungen der Gas-speicherung in Salzkavernen kann gefolgert werden, **dass das ungeschädigte Salzgestein dicht ist, aber***
- ❖ **Steinsalz ist das bevorzugte Wirtsgestein**

Welche Konsequenzen resultieren

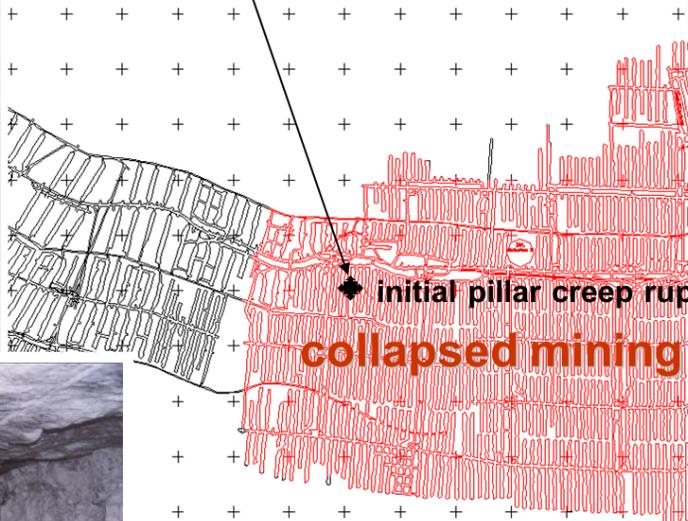
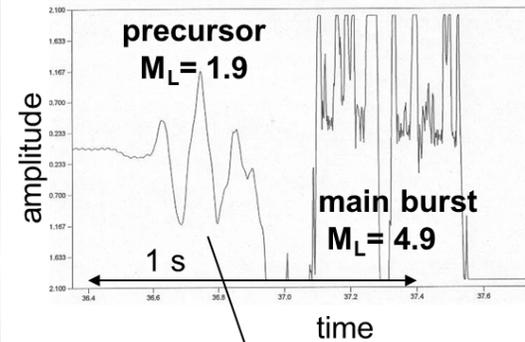
- aus der lithologischen Heterogenität für die Standortauswahl?
 - ➔ **Eigenschaften der anderen Salzgesteine**
- Wie robust sind die Salzgesteine gegen halokinetische oder tektonische Beanspruchungen
 - ➔ **Mindestmächtigkeiten / Materialkontraste**

Referenzbeispiel Grube Teutschenthal: Geologische Barriere / Aufschlussverhältnisse

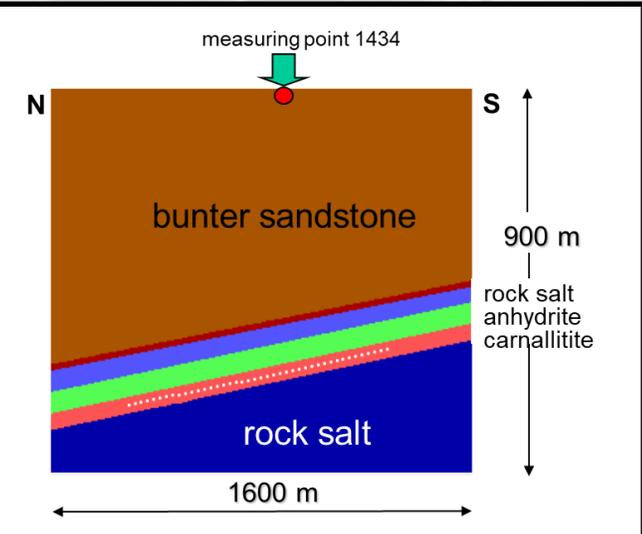
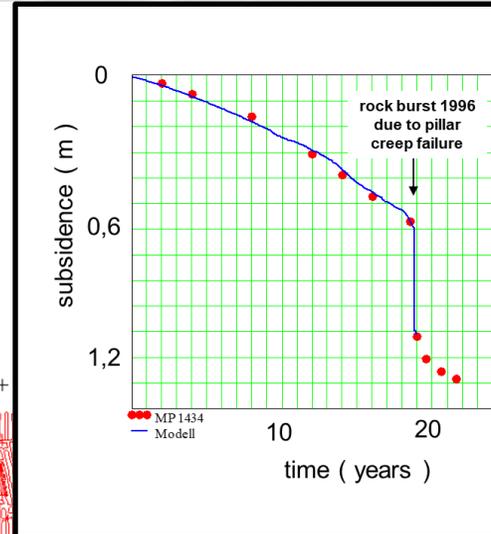


Geologische Hangenbarriere geringer, als für Mindestabstand gefordert?

- *Warum hat sie beim Gebirgsschlag 1996 nicht versagt?*



pillar width: 12 m
 room height: 5 m
 width to height ratio: 2.4
 gallery/drift width: 13 m



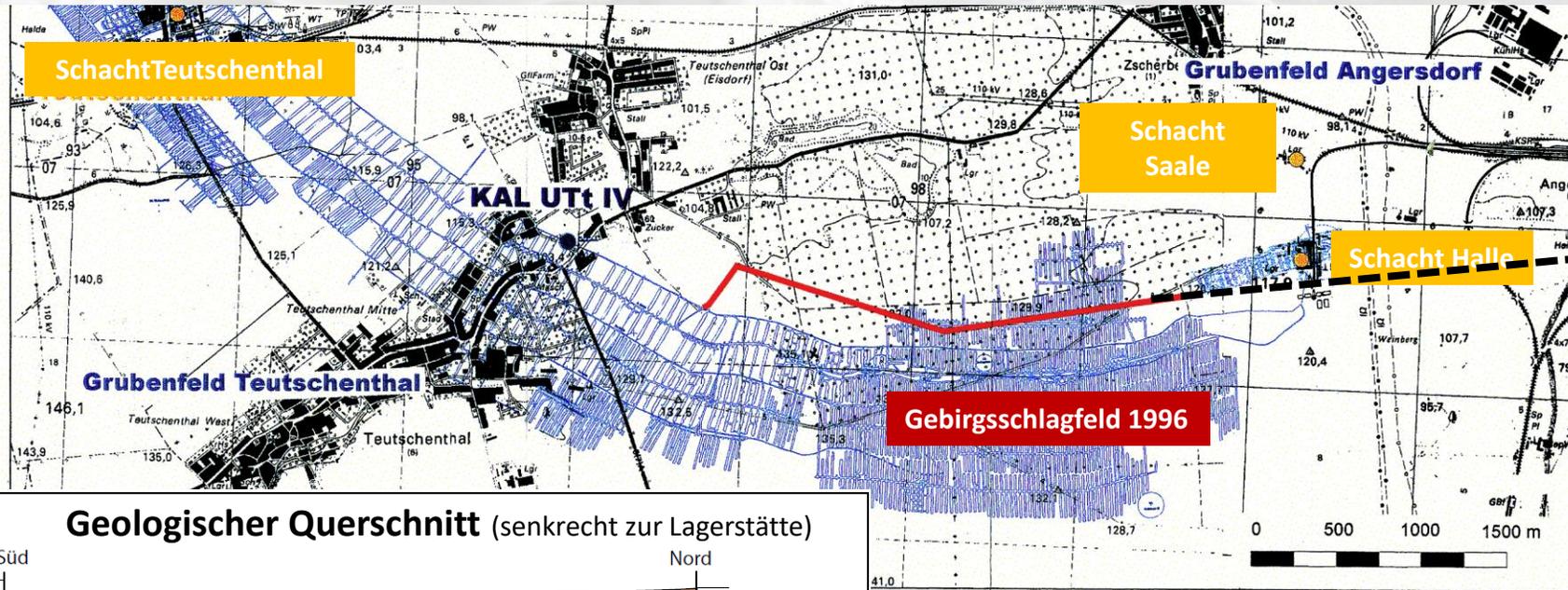
Der Gebirgsschlag war prognostiziert worden (Dr. Minkley, IfG):

- Ereignis unmittelbar bevorstehend, Lokalmagnitude: $M_L \sim 5$
- ➔ **Beleg für die Zuverlässigkeit der Prognosetools**

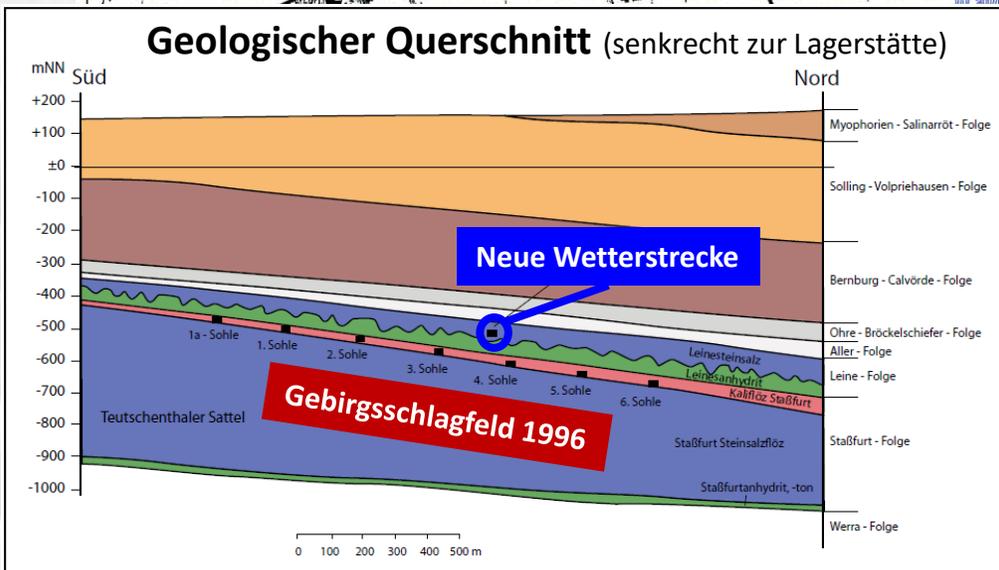
Nach dem Ereignis kam es nicht zu einem Lösungszutritt in die Grube, obwohl das Minimalspannungskriterium verletzt war.

- ➔ Untersuchung der Barriere Steinsalz nach diesem dynamischen Ereignis (Schädigungszustand ?)
- ➔ Relevanz des Roten Salztons

Aufschluss der Leine-Steinsalzbarriere – Teutschenthal Gebirgsschlag 1996



- Oberhalb des Gebirgsschlagfeldes 1996
- Ca. 3 km lang
- Querschnitt: 18,2 m²



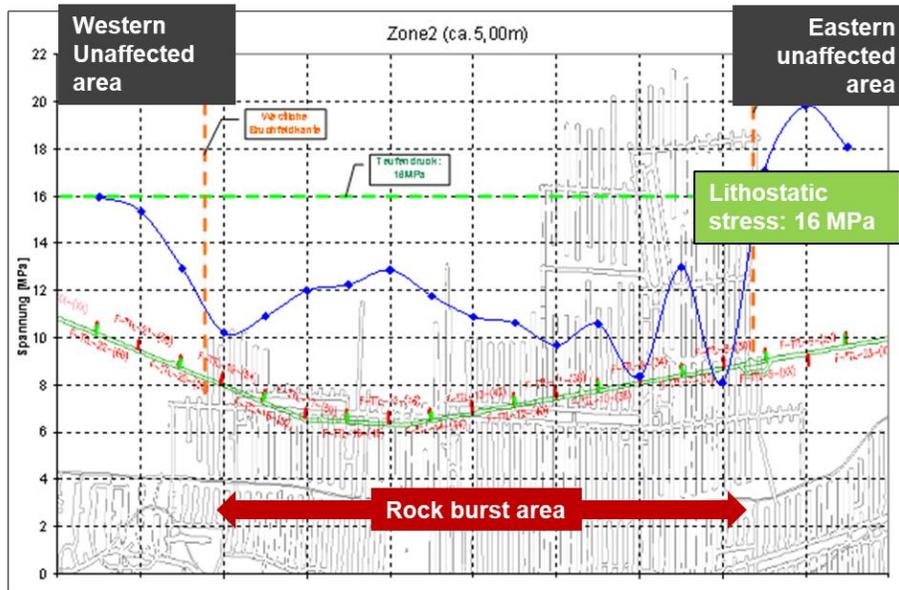
Einzigartiger Aufschluss der dynamisch beanspruchten Steinsalzbarriere oberhalb des Gebirgsschlagfeldes 1996

Quelle: Minkley et al., 2010

Aufschluss der Leine-Steinsalzbarriere – Teutschenthal Gebirgsschlag 1996

Verteilung der kleinsten Hauptspannung (σ_{\min})

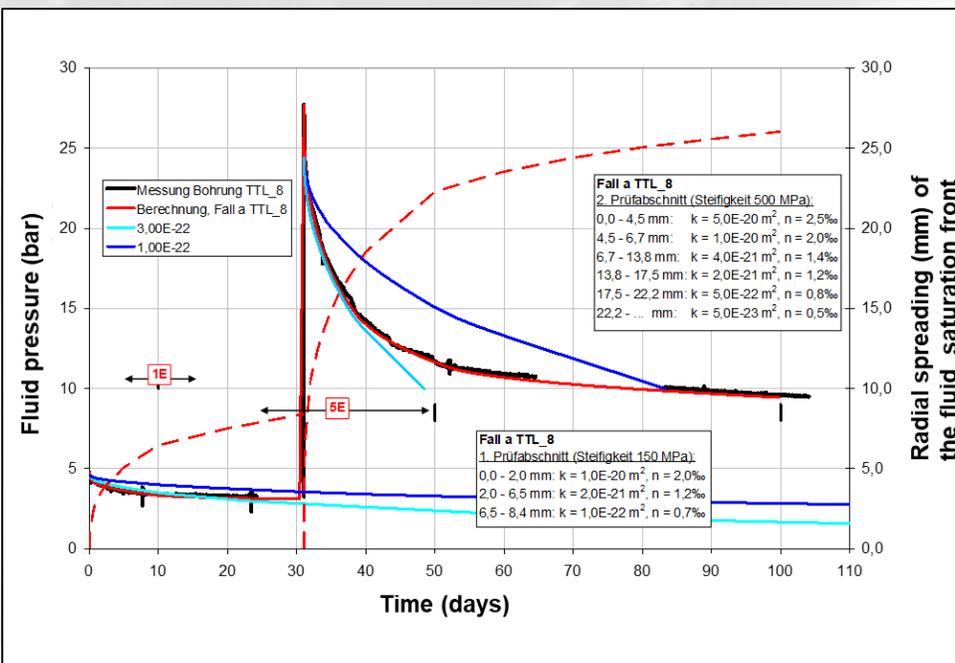
Hydrofrac-Tests in Horizontalbohrungen entlang der Wetterstrecke im Leine-Steinsalz



- Signifikante Entlastung der Barriere (ca. 30%)
- ☺ Ausserhalb des Bruchfeldes geringe Einwirkungen
- ☺ Wiederherstellung der Einspannung (Kriechen)

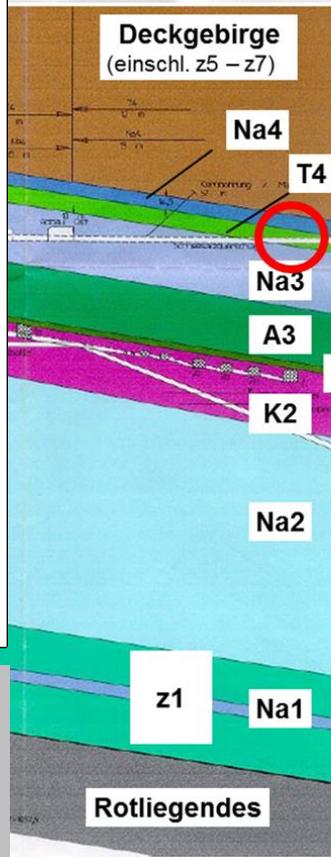
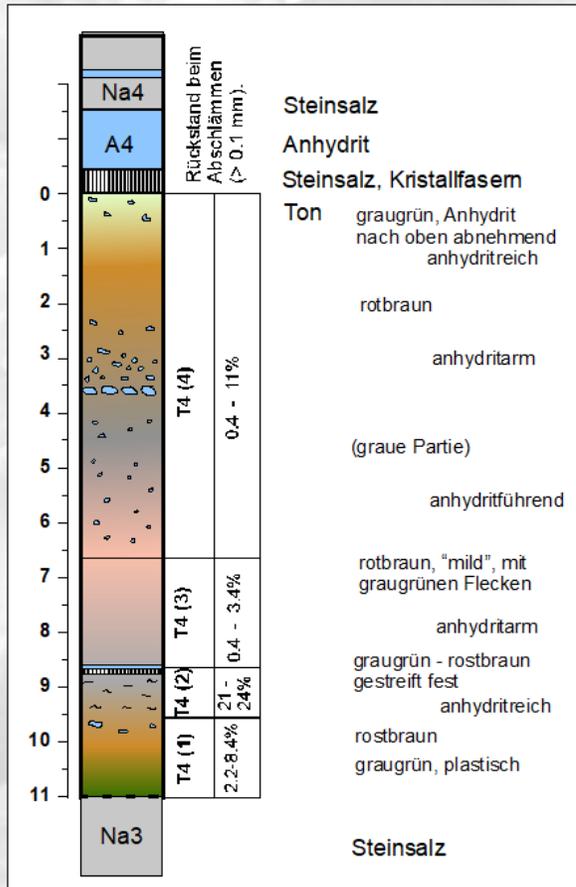
Hydraulische Integrität der dynamisch entlasteten Salzbarriere

Pulstests in lösungserfüllten >10m-langen Bohrlöchern mit numerischer Auswertung der Druckabfallkurven



- Permeabilität des Leine-Steinsalzes: $\sim 10^{-22} \text{ m}^2$
- ☺ Hydraulische Integrität der Salzbarriere nachgewiesen
 → Dynamische Ereignisse, wie z.B. Erdbeben, sind bei ausreichender Salz-mächtigkeit der Barriere unkritisch

Warum hat die Geologische Barriere (i.e.S.) nicht versagt?



Durch den Gebirgsschlag 1996 ist der **Extremfall** der Schutzschichtbeanspruchung eingetreten:

- Maximale Amplitude: $M_L = 4,9$
- Absenkung – Oberfl.: 0,5 m

„Das dennoch die Wahrscheinlichkeit für eine durchgängige Schutz-Schichtverletzung äußerst gering ist, ergibt sich aus dem Vorhandensein des **Roten Salztone** (Allerton), der höhere Beanspruchungsgrenzwerte aufweist.“ (IfG, 1997)

Roter Salztone (2003 / 2019)

- Nach in situ und Labortests eine für Tonsteine zu erwartende **niedrige Permeabilität** ($10^{-17} \text{ m}^2 - 10^{-19} \text{ m}^2$).
- Bei Verletzung des **Minimalspannungskriteriums um mehrere MPa kein Aufreißen** → Hydrofrac- oder hydraul. Rissbildung im Salztone unwahrscheinlich
- **Selbstabdichtung** (Kolmation) bestätigt
- Geringes "Quellvermögen" (Bildung von Gips)
- Bei Befeuchtung ein relativ hohes plastisches Verformungsvermögen
- Unter den in-situ-Belastungszuständen innerhalb des Schutzschichtpaketes kriecht der Salztone schneller als Steinsalz.
- **Bei Verformungen oberhalb der Dilatanzgrenze nicht notwendigerweise Permeabilitätszunahme**

Zusammensetzung:

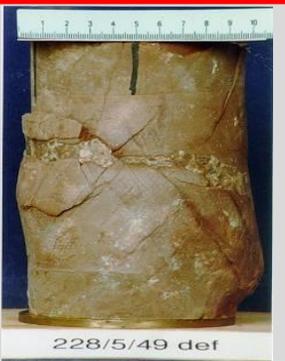
- 54 % Tonminerale
- 22 % Quarz
- 15 % Anhydrit

Accessoryen (Gips; Halit, Hematite)

Zwischenfazit: Stratiforme Salzformationen → natürliches Multibarrierensystem

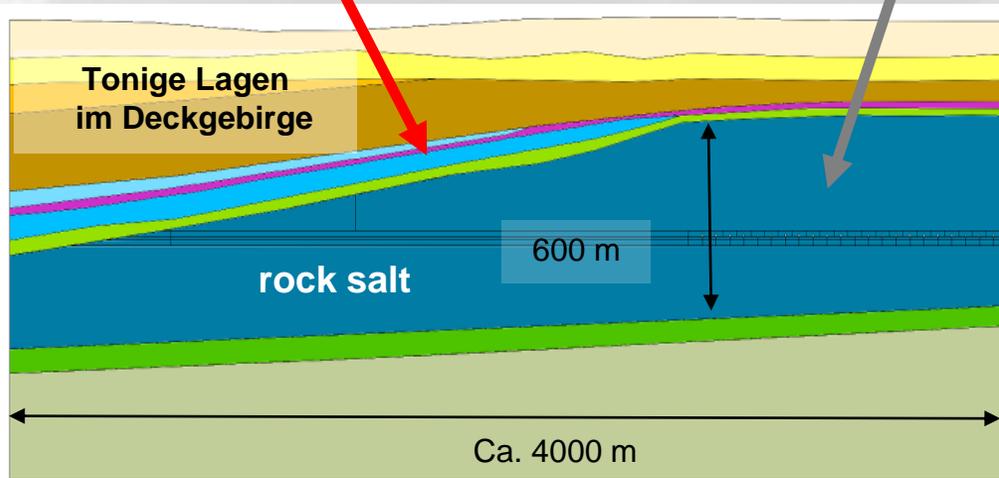
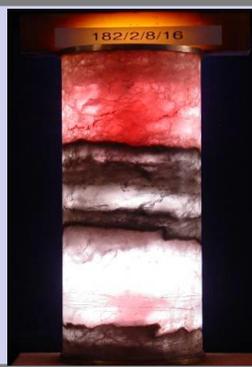
Roter Salzton (T4)

Toneinschlaltungen im Salz bis ca. >15 m Mächtigkeit



Geschichtetes Steinsalz

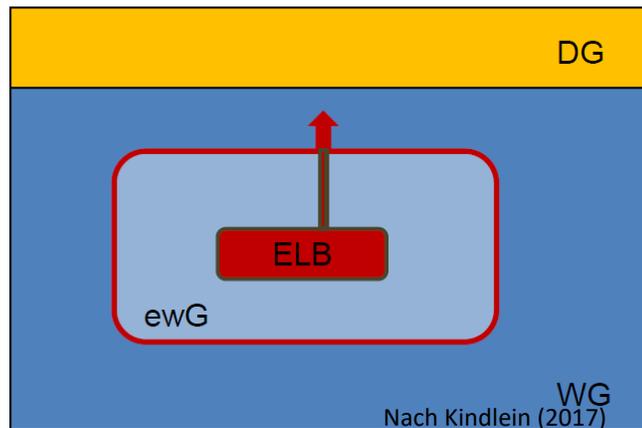
Mit AnhydritTon-Einlagerungen



Quelle: Minkley et al. (2010)

- ☺ Gute Prognosemöglichkeit wegen ± gleichförmiger Geologie
- ☺ Umfangreiche Erfahrungen / Datenbasis aus bergbaulicher Nutzung sowie als UTD/UTV
- ☺ Lithologische Einschaltungen, wie Anhydrit, Salztone und Kalisalz, **sind als geologische Barriere wirksam**
- ☺ Salztone und Schichteinlagerungen behindern vertikalen Stofftransport (Lösungszutritt bzw. Schadstoffaustritt) ⇒ **natürliches Multi-Barrieren-Konzept**
- ☺ Trockenes Deckgebirge (su, z5 – z7) ⇒ zu überprüfen
- ☹ **Bereiche unter Subrosionsflächen im Deckgebirge (mit Ablaugung des Na⁴) sind zu vermeiden**

➤ **Das geschichtete Salzgebirge bietet Vorteile für das Sicherheits- und Nachweiskonzept ..**



„vereinfachte“ radiologische Langzeitaussage
(→ BMUB Sicherheitsanforderungen /BMU 10/)

DG	Deckgebirge
WG	Wirtsgestein
ewG	Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
	Schachtverschluss
ELB	Einlagerungsbereich
	Gebirgsbereich mit sicherheitsrelevanter Barrierefunktion
	Gebirgsbereich ohne sicherheitsrelevante Barrierefunktion

- Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist der Teil des → Endlagersystems, der im Zusammenwirken mit den technischen Verschlüssen (Schachtverschlüsse, Kammerabschlussbauwerke, Dammbauwerke, Versatz, ...) den → Einschluss der Abfälle sicherstellt.

➤ Konzept „Sicherer Einschluss“

- Die Festlegung des ewG erfolgt im Ergebnis der geomechanischen Integritätsbewertung

Integritätsverlust des Barrieregesteins Salz

- Permeabilität innerhalb einer Salzbarriere entsteht nur unter speziellen mechanischen oder hydraulischen Randbedingungen, wenn sich als mikro-physikalischer Prozess (Perkolation) vernetzte Wegsamkeiten ausbilden, nach Überschreitung einer kritischen Schwelle:
- Diese korrespondiert nach BMU (2010):
 - (1) unter deviatorischen Bedingungen mit der

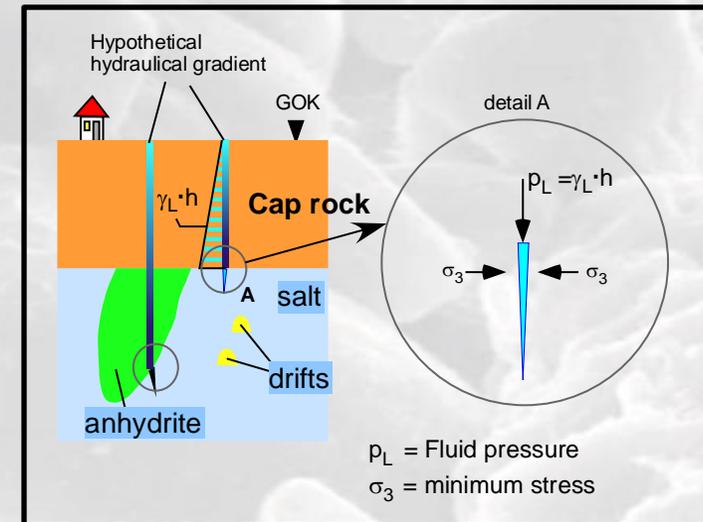
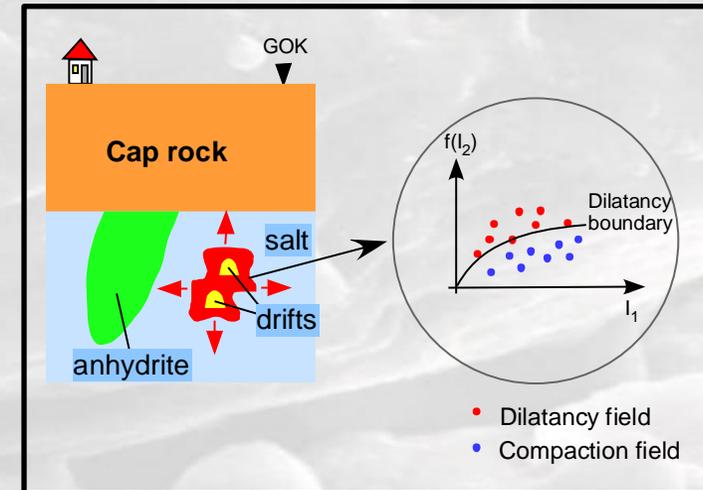
Dilatanzgrenze und

- (2) unter erhöhten Fluidrücken mit dem

Minimalspannungs- oder Fluiddruckkriterium

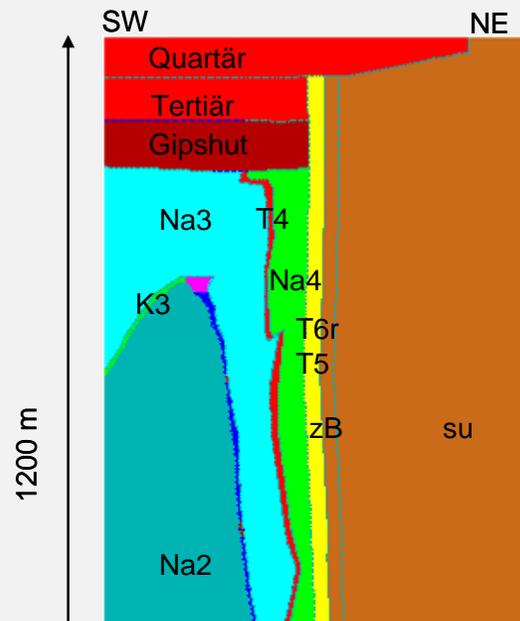
⇒ **Nachweis einer ausreichenden nicht-beeinflussten Salzbarriere = Integrität ewG**

- **DGGT-Empfehlung des AK 3.8 „Geotechnik in der Endlagerung radioaktiver Abfälle“!**

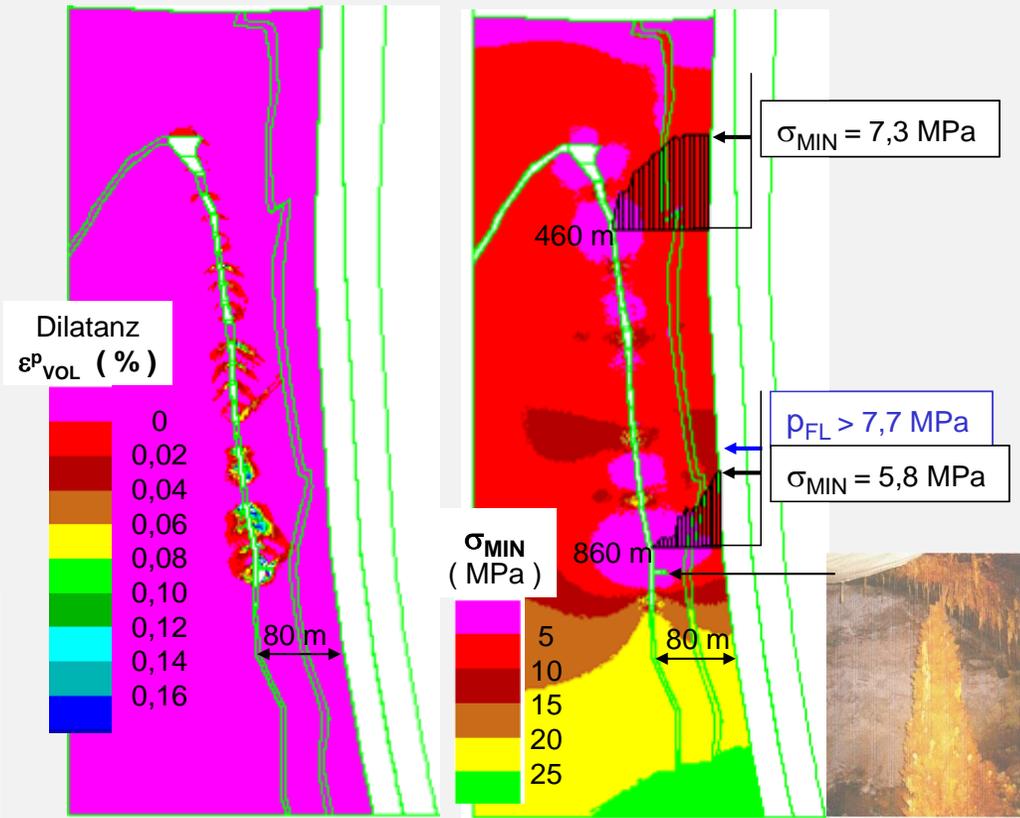


Verletzung des Minimalspannungskriteriums \Rightarrow

Eintritt von Wasser in das aktive Kalibergwerk in einer Tiefe von 850 m



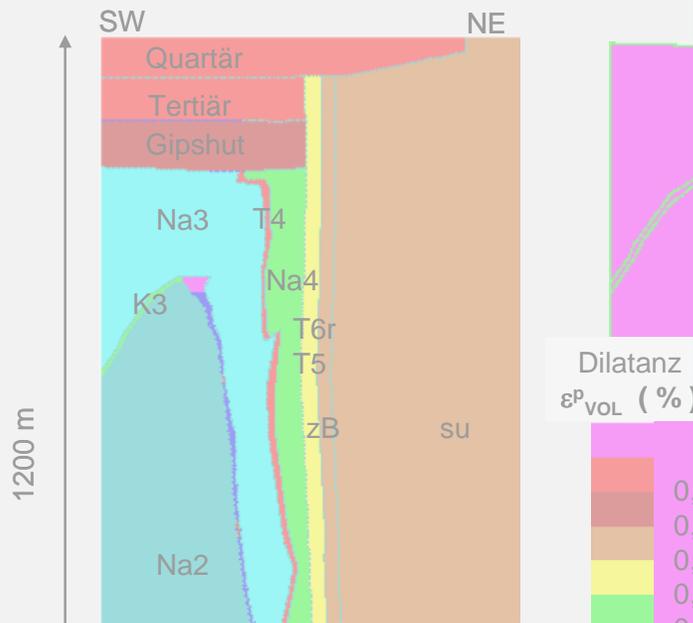
Geomechanische Modellrechnungen demonstrieren den Intergritätsverlust der ca. 80m mächtigen Barriere





Verletzung des Minimalspannungskriteriums \Rightarrow

Eintritt von Wasser in das alpine Kalibergwerk bei einer Tiefe von 950 m



Geomechanische Modellrechnungen demonstrieren den Integritätsverlust der ca. 80m mächtigen Barriere

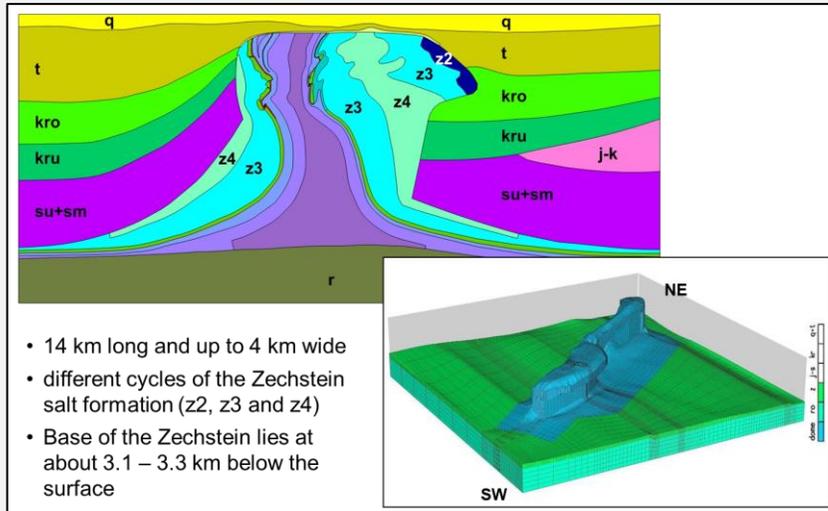
- Das “Verstehen” (über eine die Rückrechnung) von Versagensfällen (z.B. für das Bergwerk Asse) erlaubt eine Validierung der Zuverlässigkeit von Langzeit-Modellrechnungen, aber
 - (1) Konventionelle Salzbergwerke sind nicht als langzeit-sichere Endlager konzipiert!
 - (2) Obwohl man so einen “Unfall” für ein reales Endlager ausschließen kann, muss die Integrität einer ausreichenden geologischen Barriere für alle wirkenden Belastungen nachgewiesen werden.

vSG – Steile Lagerung

Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Salzstock
Gorleben - BMU-FKZ: UM10A03200

(Projekt-Laufzeit: 07/2010 – 02/2013).

Partner: GRS, BGR, DBE-TEC, ISTec, IfG, KIT, NSE, Uni Frankfurt,
TU Clausthal



Zwei Haupt-Einlagerungsvarianten:

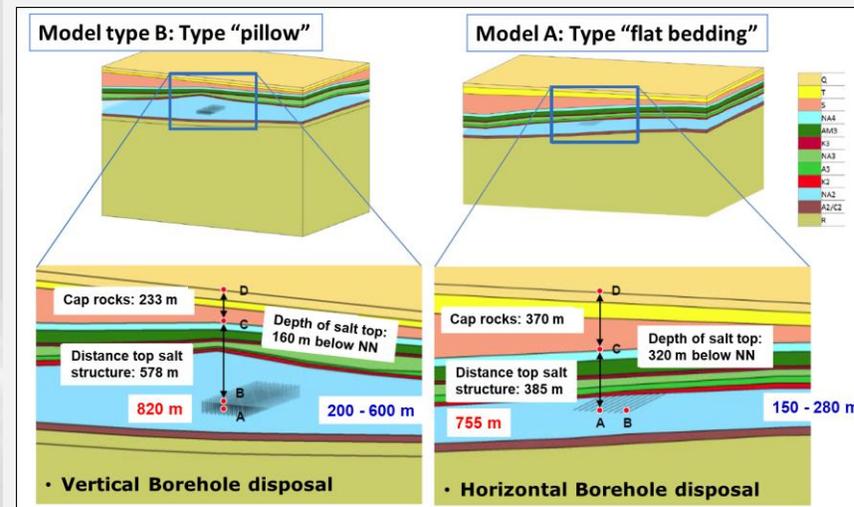
- **Streckeneinlagerung:** Einlagerung von Abfallbehältern in horizontalen Strecken
- **Bohrloch-Einlagerung:** Einlagerung von Abfall-Behältern in vertikalen, bis zu 300 m tiefen Bohrlöchern

KOSINA – Stratiforme Lagerung

Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager
für Wärme-erzeugende Abfälle in stratiformen
Salzformationen in Deutschland BMWi-FKZ 02E1140

(Projekt-Laufzeit: 07/2015 – 04/2018)

Partner: GRS, BGR, DBE-TEC, IfG



Haupt-Einlagerungsvarianten:

- **Streckeneinlagerung:** Einlagerung von POLLUX® Abfallbehältern in horizontalen Strecken
- **Horizontale Bohrloch-Einlagerung**
- **Vertikale Bohrloch-Einlagerung**

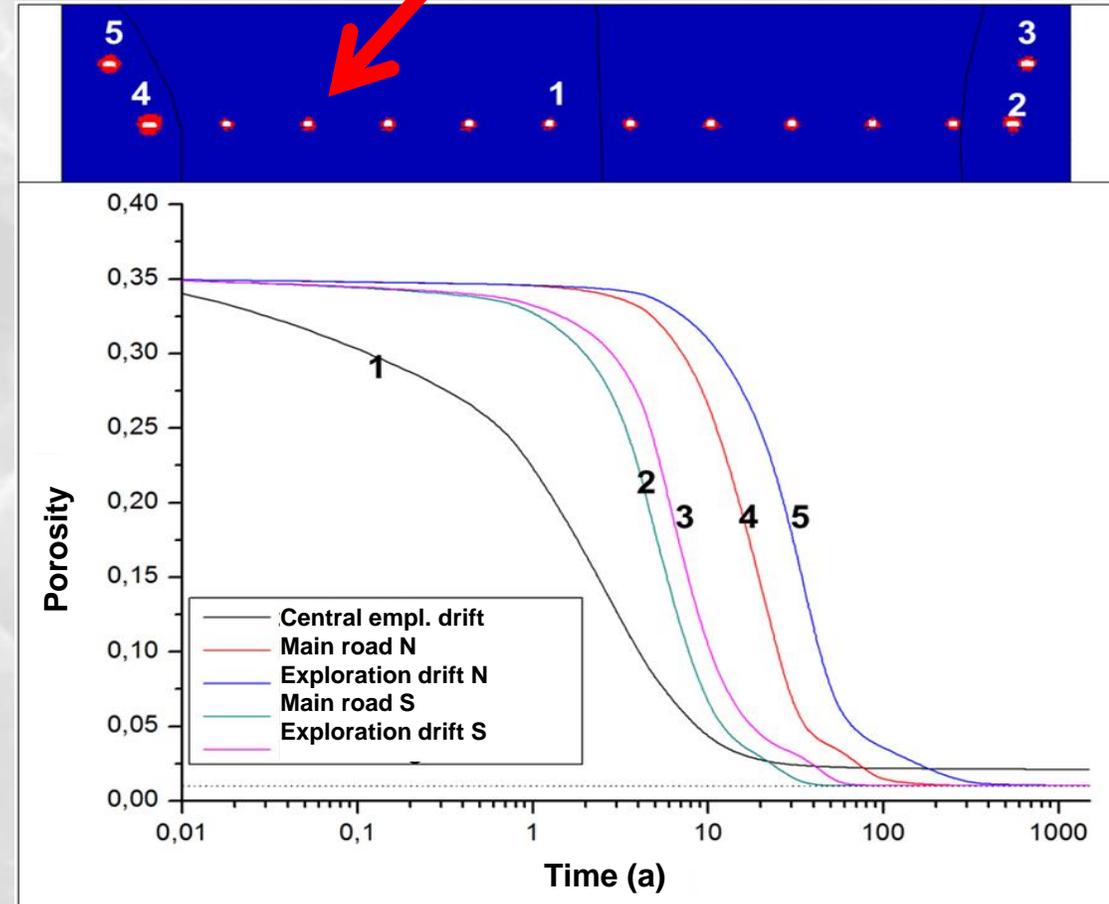
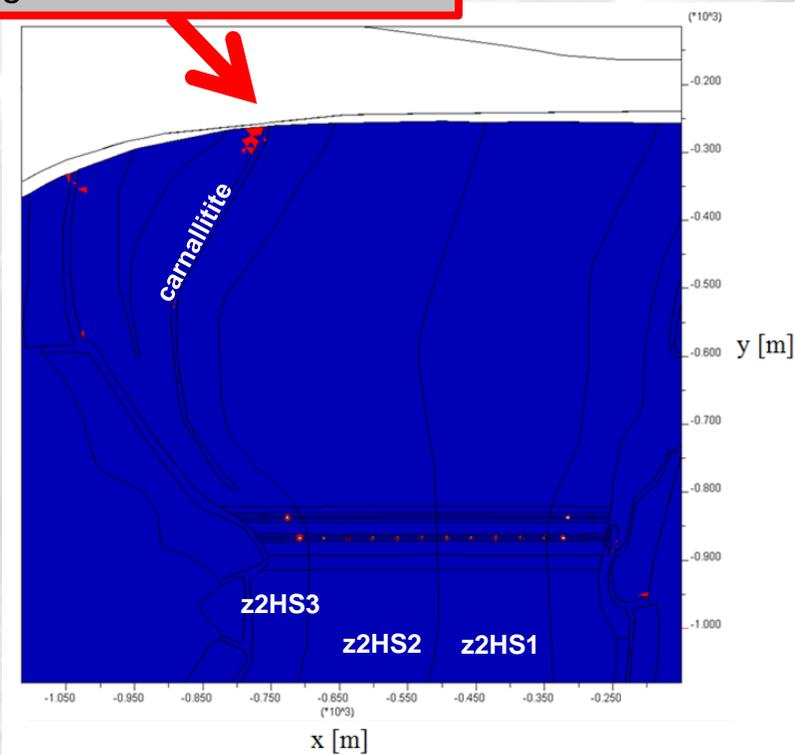
Referenzfall vSG (Streckenlagerung) – Prüfung Dilatanzkriterium

Fern-Feld:

Lokale dilatante Zone nahe dem Salzstock-Top, i.a. aufgrund der lithologischen Materialkontraste

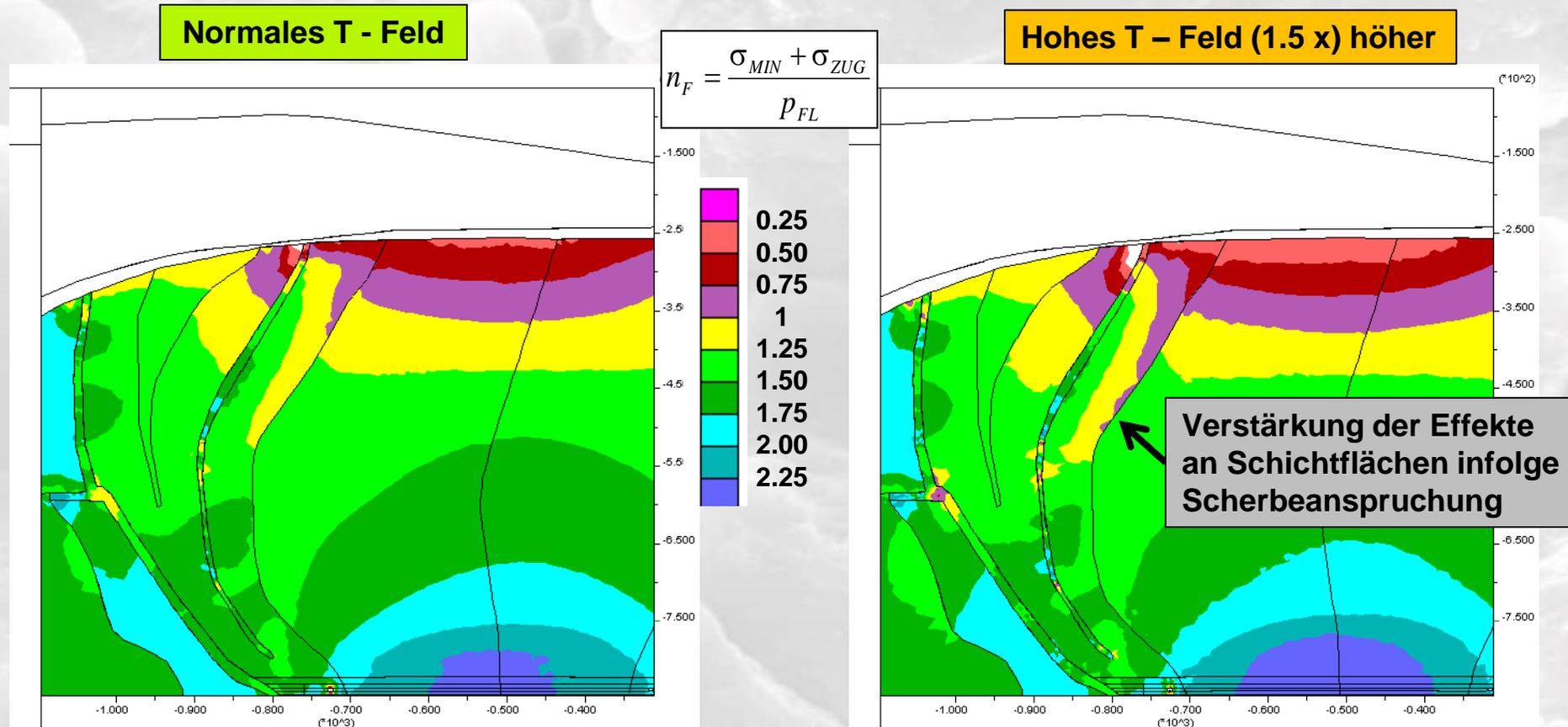
1000 nach Einlagerung

Nahfeld: Auflockerungszonen um die Hohlräume, aber geringe Ausdehnung infolge des Versatzes mit Salzgrus



⇒ Dilatanz nur im Nahfeld für Verschlussbauwerke relevant
⇒ Im Fernfeld ohne Bedeutung

Minimalspannungskriterium



30 Jahre nach Einlagerung

Eignung stratiformer Salzformationen

- **Stratiforme Salzformationen, insbesondere Salzkissen**, bieten ein aussichtsreiches Potential als möglicher Endlagerstandort:
 - Gute geologische Prognosemöglichkeiten
 - Umfangreiche Erfahrungen / Datenbasis aus bergbaulicher Nutzung sowie als UTD/UTV

- ✓ Lithologische Einschaltungen, wie Anhydrit, Salztone und Kalisalz, **sind als geologische Barriere wirksam**, solange sie
 - ❖ geomechanisch eingespannt sind,
 - ❖ Ausreichende Sicherheitsabstände zu den Struktur-grenzen (z.B. Subrosionsbereiche) existieren.
- ✓ Salztone und Schichteinlagerungen behindern den vertikalen Stofftransport (Lösungszutritt bzw. Schadstoffaustritt) → **Multi-Barrieren-Konzept**
- ✓ Günstiges Deckgebirge (su, z5 – z7): **trocken** (⇒ Standortabhängig)

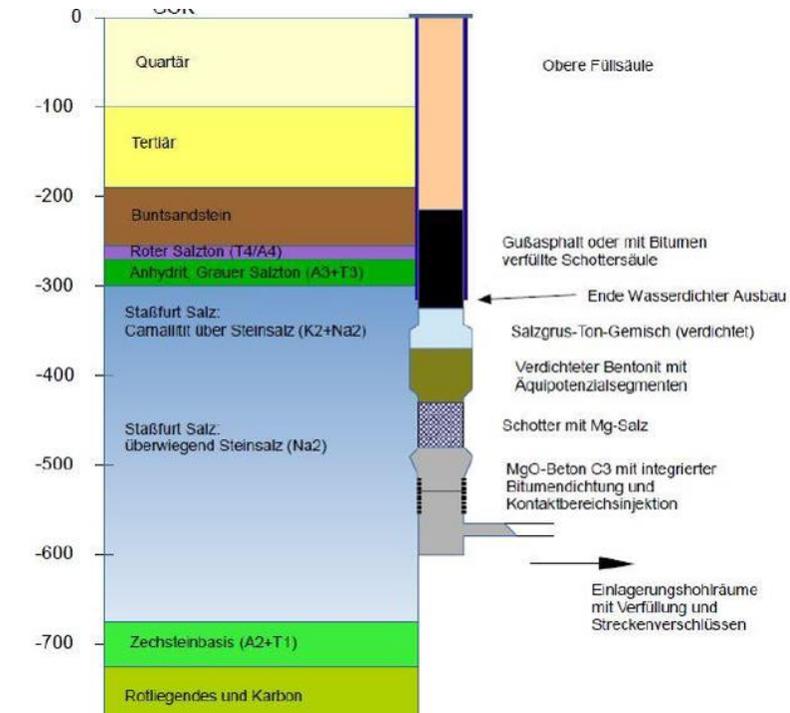
Iststand Numerische Integritätsanalyse

- Die **Geomechanische Integritätsanalyse** ist integraler Bestandteil einer vorläufigen Langzeitsicherheitsanalyse:
 - Vorgehensweise mit Minimalspannungs- und Dilatanzkriterium ist akzeptiert
 - Sicherheitsabstände liegen aus technischen Analoga (Bergbau) vor
 - Stoffgesetze (z.B. IfG-GS) und numerische Tools (z.B. FLAC) sind validiert

- ✓ Vorläufiger Integritätsnachweis mit Hilfe der aktuell vorhandenen Daten und Rechentools für ausgewiesene Teilgebiete führbar (Beispiel KOSINA).

Wichtige Abwägungskriterien für Standortauswahl:

- Größe und Mächtigkeit ungeschädigter Barrierebereiche → Barrierepfeiler >> Sicherheitsabstände (vert./horiz.)
- Ausschluss von Bereichen unter Subrosionszonen bzw. Im Bereich von Störungszonen
- Vertikale Salz-Multi-Barriere (mit Ton-Einlagerungen)



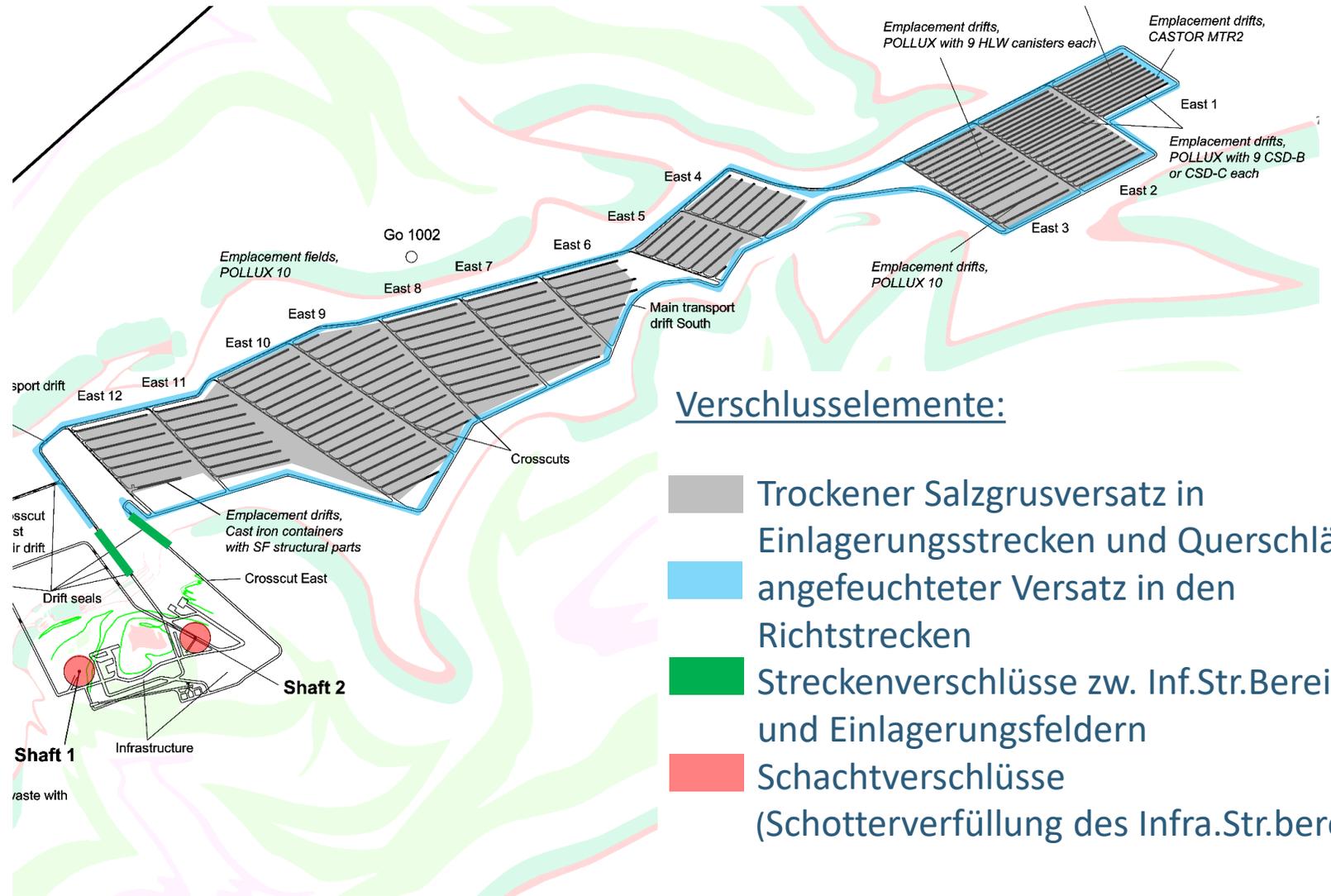
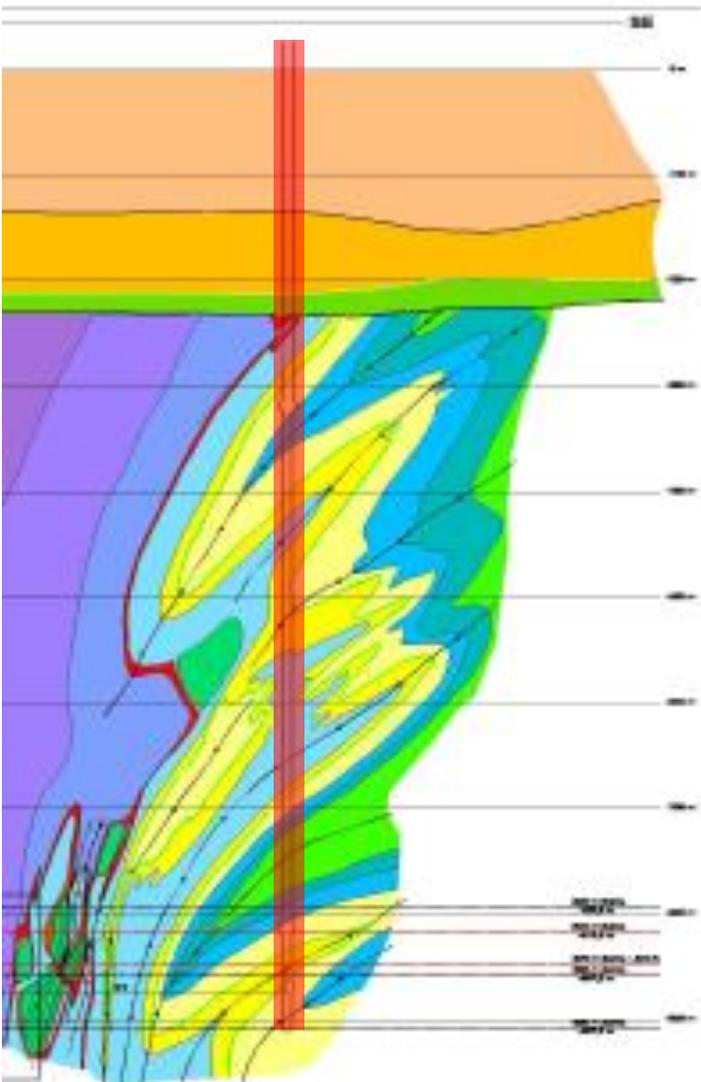
Verfüll- und Verschlusskonzepte im Salz (an Beispielen für steile und flache Lagerung)

N. Müller-Hoeppe, N. Bertrams, P. Herold

Inhalt des Vortrages

1. VuV-Konzept am Beispiel VSG
2. Salzgrusversatz
3. Strecken- und Schachtverschlüsse
4. Stand der Technik - Gussasphaltdichtungen
5. Schachtverschlüsse - Weiterentwicklungen

Elemente des VuV-Konzeptes



Verschlusselemente:

- Trockener Salzgrusversatz in Einlagerungsstrecken und Querschlägen
- angefeuchteter Versatz in den Richtstrecken
- Streckenverschlüsse zw. Inf.Str.Bereich und Einlagerungsfeldern
- Schachtverschlüsse (Schotterverfüllung des Infra.Str.bereichs)

Salzgrusversatz –Anforderungen

Langfristig:

- mechanisch die natürliche geologische Barriere stabilisieren
- die Zerfallswärme von den wärmeentwickelnden Abfällen in das Wirtsgestein ableiten
- das Hohlräumvolumen in Grubenräumen reduzieren
- eine hohe Anfangsdichte haben und firstbündig einbaubar sein
- langfristig eine Dichtfunktion wie das Wirtsgestein übernehmen

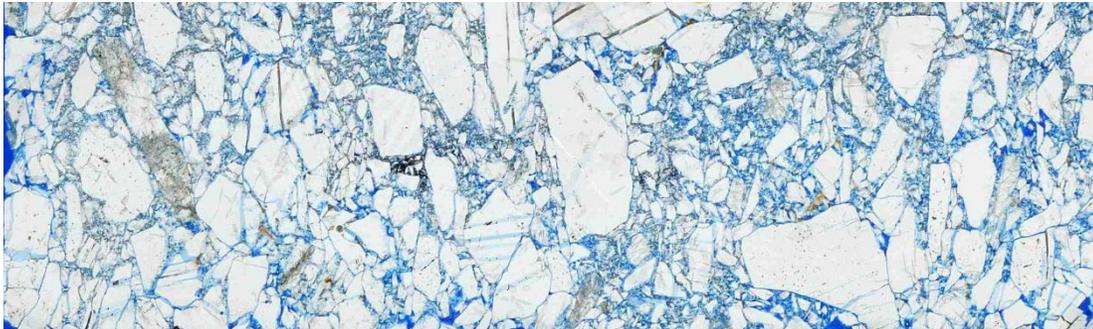
In der Betriebsphase:

- Abschirmung
- Feuer- und Explosionsschutz (verhindert Ausbreitung)

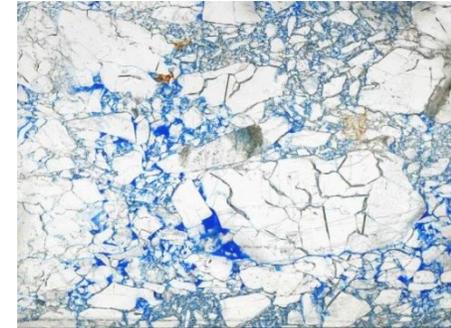
Salzgrusversatz – Eigenschaften

- Durchlässigkeit des kompaktierten Versatzes vergleichbar mit der Durchlässigkeit des Gebirges
- Kompaktion innerhalb von 1.000 Jahren weitgehend abgeschlossen (Porosität von ca. 35% auf <1%)

051/8 (z2HS, 100°C, Porenzahl=0,057)



102/1 (z2HS + Feuchtluft, RT 33°C, Porenzahl=0,043)

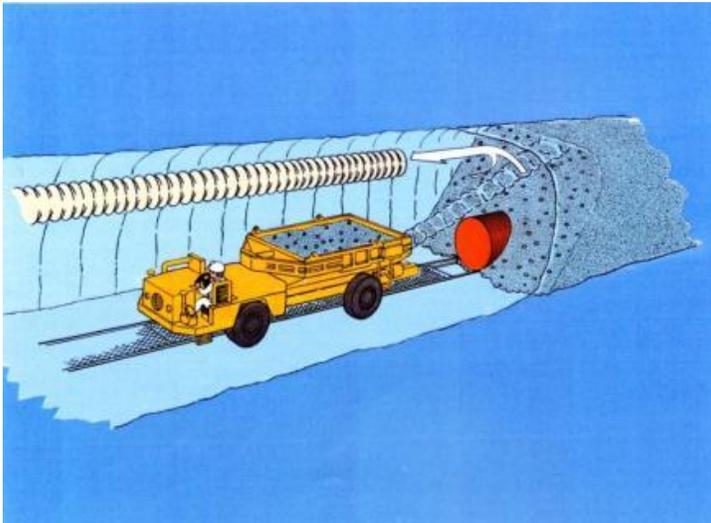


056/5 (z2HS + 1,2% Lsg, 100°C, Porenzahl=0,026)



Salzgrusversatz – technische Ausführung

- Arteigenes Material aus der Auffahrung (Haufwerk) wird aufbereitet (gebrochen) und als Versatzmaterial genutzt
- Trocken bedeutet mit natürlichem Feuchtegehalt von ca. 0,02 Gew.-%
- Unterschiedliche Einbautechnologien verfügbar
- Schleuderversatz großtechnisch in Demonstrationsversuchen erprobt



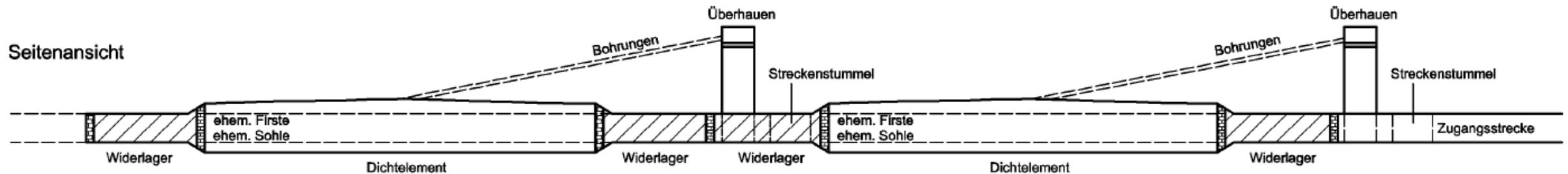
Salzgrusversatz – in den Richtstrecken

- Anfeuchten des Materials (bis 0,6 Gew.-% NaCl-Lösung) um Kompaktion zu beschleunigen
- Kompaktion als Funktion des Drucks und der Temperatur läuft in den „kälteren“ Bereichen am Rande des Grubengebäudes langsamer ab
- Um Feuchtemigration hin zu den Einlagerungsfeldern zu unterbinden wurden an den Enden der Querschläge zunächst 10 m lange Dämme aus MgO-Beton vorgesehen
- Weiterentwicklungen (z.B. KOSINA/RESUS) verzichten auf Anfeuchtung in den Richtstrecken um Ungewissheiten zum Verbleib der Lösung zu reduzieren → gezielte Auswahl von Bereichen, in denen angefeuchteter Salzgrusversatz eingebracht wird

Streckenverschlüsse und Schachtverschlüsse - Anforderungen

- Strecken- und Schachtverschlüsse gewährleisten im Verbund mit dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich den Einschluss der Abfälle in dem Zeitraum, in dem der Salzgrusversatz seine Dichtwirkung noch nicht entfaltet
- Funktionszeitraum 50.000 Jahre, entspricht Zeitraum ca. bis zur nächsten Eiszeit, über den die Prognose weitgehend stabiler hydrogeologischer Verhältnisse möglich ist
- Möglichst dicht
- Streckenverschluss als Redundanz zum Schachtverschluss

Streckenverschlüsse – Technische Ausführung



- Widerlager und Dichtfunktion in verschiedenen Elementen getrennt
- Dichtelemente aus MgO-Beton (Referenzmaterial A1)
- Konturnachschnitt im Bereich der Dichtelemente
- Widerlager innerhalb des Streckenprofils, ohne zusätzliche Verzahnung
- Schalungsmauern für die Errichtung der Widerlager
- Betonage der Dichtelemente in Einem, aus der Mitte heraus
- Ausbreitverhalten des MgO-Betons bis 25 m gesichert → Dichtelement 50 m lang
- Redundante Ausführung – zwei Dichtelemente mit je zwei Widerlagern

Schachtverschlüsse - Anforderungen

- Sicherheitsanforderungen/EndlSiAnfV
- Sicherheits- und Nachweiskonzept
- (Aus den technischen Funktionsnachweisen)
- (Standortspezifische Randbedingungen)
- Sonstige Vorgaben

Schachtverschlüsse - Sicherheitsanforderungen

- Der Schachtverschluss ist in seiner Bedeutung für die Sicherheit des Endlagers im Zusammenspiel mit den anderen Barrieren (z. B. Streckenverschlüsse) zu bewerten (z. B. für die Festlegung des Wirkungszeitraums).
- Soweit notwendig müssen sofort wirksame Barrieren den Einschluss der Abfälle für den Zeitraum übernehmen, in dem die volle Wirksamkeit der langfristig wirksamen Barrieren noch nicht gegeben ist.
- Innerhalb des Schachtverschlusses soll möglichst Redundanz und Diversität berücksichtigt werden z. B. durch Verwendung mehrerer Dichtelemente mit diversitären Materialien.
- Falls für geotechnische Barrieren keine anerkannten Regeln der Technik vorliegen, muss deren Herstellung, Errichtung und Funktion grundsätzlich erprobt sein.
- Prozessanalyse der Einwirkungen auf Schachtverschluss.
- Zum Nachweis der Bauwerksintegrität sind die maßgeblichen Beanspruchungszustände und Eigenschaften der Baustoffe zu untersuchen. Die hinreichende Belastbarkeit und Alterungsbeständigkeit dieser Baustoffe ist für den Zeitraum nachzuweisen, für den die Funktionstüchtigkeit der Bauwerke gegeben sein muss.
- Eventuelle Anforderungen aus einer Analyse von abweichenden Szenarien sind zu identifizieren und zu berücksichtigen.

Schachtverschlüsse - Sicherheits- und Nachweiskonzept

- Maximaler Wirkungszeitraum 50.000 Jahre (nächste Eiszeit).
- Der Schachtverschluss muss solange hinreichend dicht sein, bis der hydraulische Widerstand des kompaktierenden Salzgrusversatzes groß genug ist. Daraus resultiert die hydraulische Anforderung, dass der sich einstellende Volumenstrom so gering sein muss, dass die zutretende Lösung den Salzgrusversatz in den Zugangsstrecken erst nach 1000 Jahren erreicht.
- Berücksichtigung der standortspezifisch zu erwartenden und abweichenden Szenarien mit den ihnen zu Grunde liegenden FEP (Features, Events, Processes) im Hinblick auf den radiologischen Nachweis der Einschlussfunktion des Endlagersystems. Daraus eventuell (zusätzlich) resultierende Anforderungen an Funktionselemente der Schachtverschlüsse sind zu berücksichtigen (Optimierung).

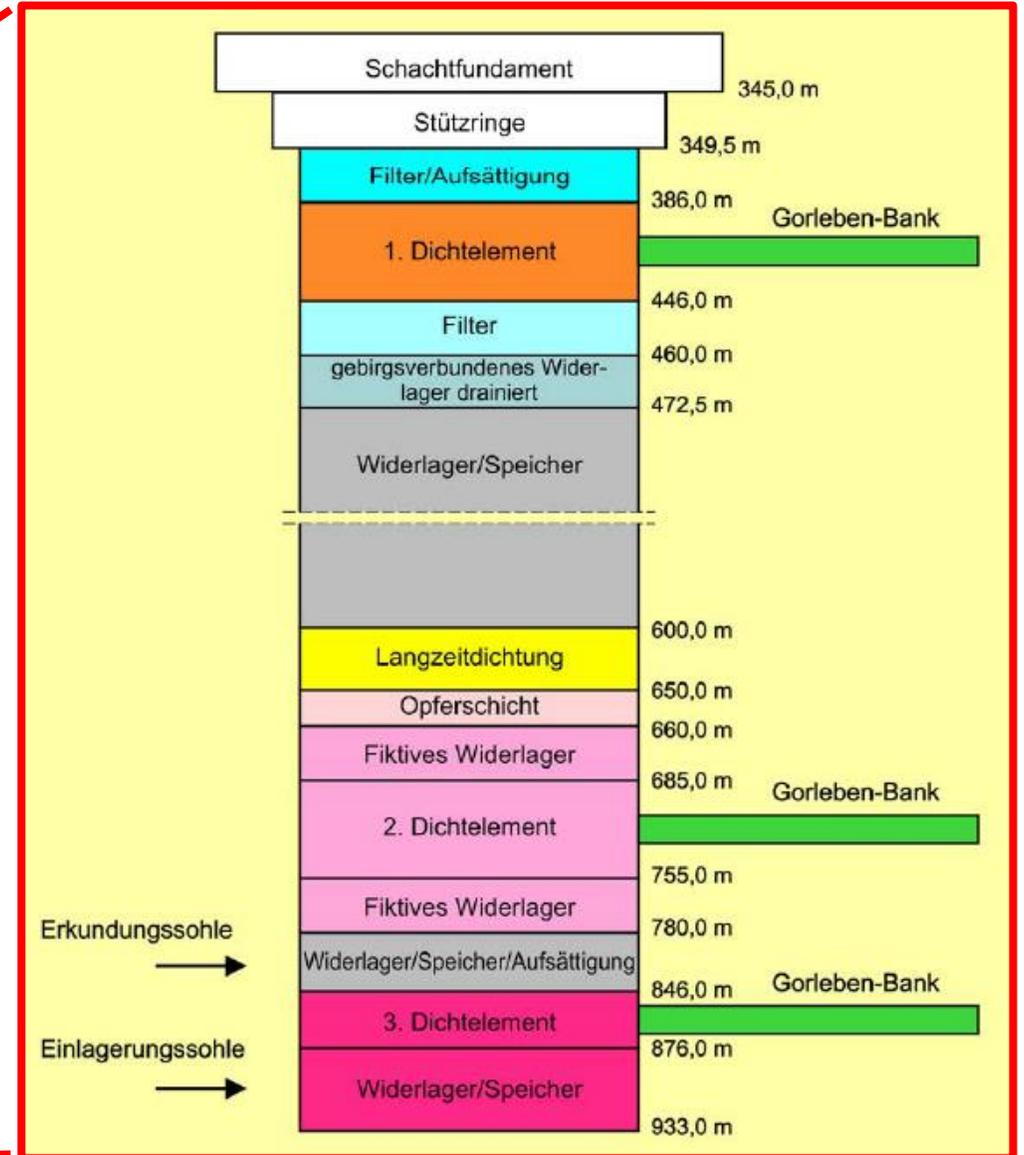
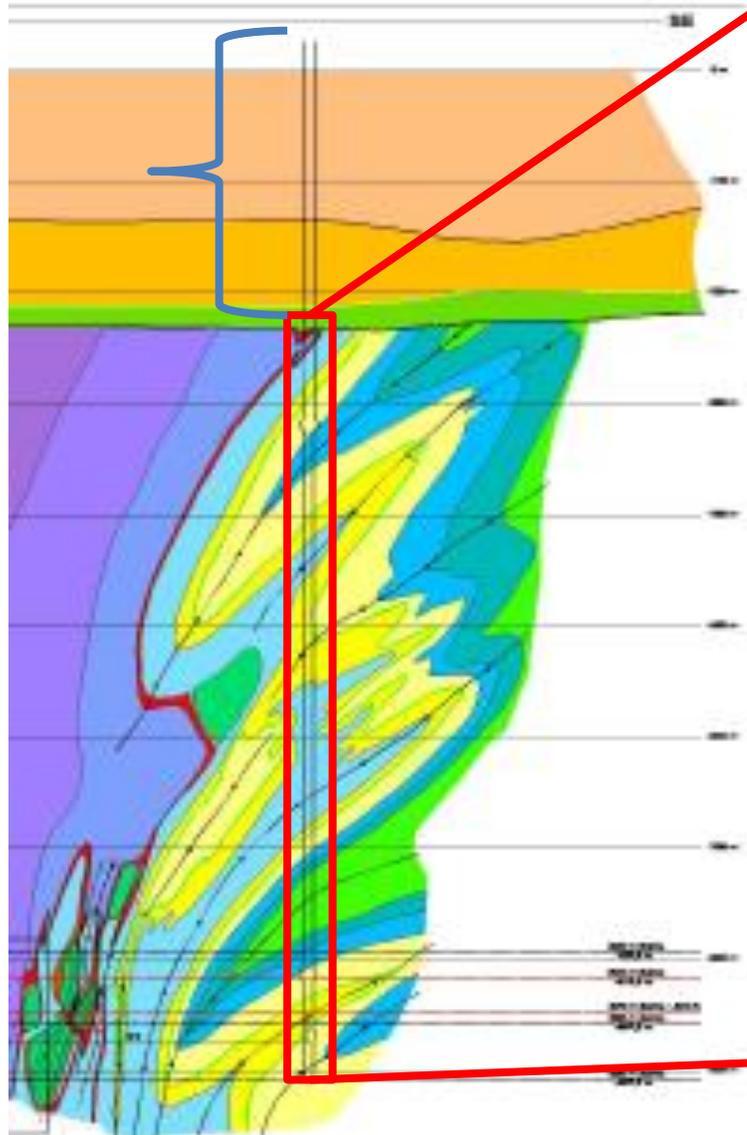
Schachtverschlüsse – Sonstige Vorgaben

(z.B. bergbehördliche Vorgaben – Verfüllung von Tagesschächten)

- Schächte sind nach der Stilllegung vollständig zu verfüllen.
- Vor der Verfüllung sollten Schachteinbauten vollständig entfernt werden, soweit das arbeitssicherheitlich vertretbar ist.
- Vorhandener wasserdichter Ausbau im Bereich von Grundwasserleitern wird nicht demontiert.
- In Verschlusshorizontalen wird der Ausbau entfernt, um Umläufigkeiten zu verhindern.
- In Verschlusshorizontalen wird die Auflockerungszone im Schachtstoß entfernt.
- Die Sohlenabgänge werden gegen das Auslaufen der Füllsäule gesichert und z. B. mit kohäsivem Füllgut abgedämmt.
- Dichtelemente aus nicht quellfähigem Material (z. B. Salz- oder Sorelbeton) innerhalb des Schachtes müssen direkten und festen Kontakt zum Gebirge haben.
- Der Einbau der Verfüllsäulen erfolgt im trockenen Milieu

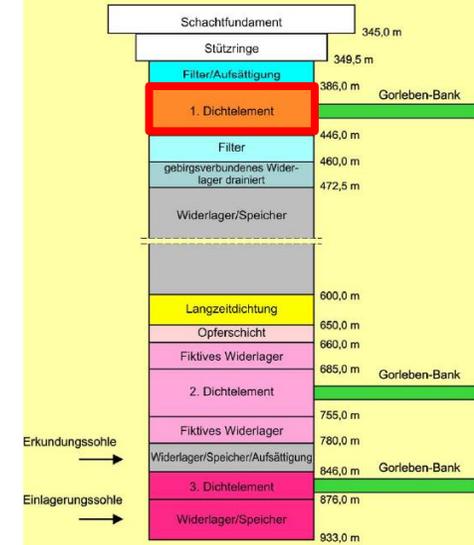
Schachtverschlüsse

- Vollverfüllung mit setzungsarmen Lockergestein
- Wasserdichter Ausbau im Deckgebirge mit unbestimmter Funktionsdauer bleibt erhalten
- Keine Trennung von Aquiferen vorgesehen da quasi nur ein Aquifer vorhanden



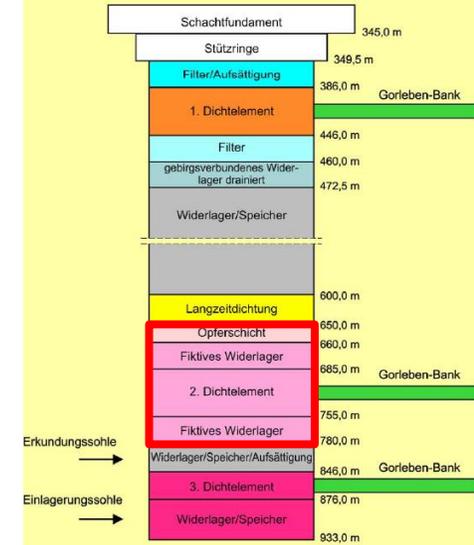
1. Dichtelement - Bentonit

- Binäres Gemisch aus Pellet und losem Bentonit
- Mit dem FuE-Vorhaben Salzdetfuth ist großtechnische Machbarkeit demonstriert
- Quellverhalten bei Lösungszutritt im Bereich geringer Teufenlagen und damit niedriger Teufendrucke wirkt günstig auf die nach dem Nachschnitt vorhandene Rest-Auflockerungszone
- Bentonit hat eine hohe Ionenaustauschkapazität, so dass davon ausgegangen werden kann, dass bei zutretender Deckgebirgslösung organische Stoffe aus dem Deckgebirge ausgefiltert werden.
- Ca-Bentonitv (Typ Salzdetfurth, Handelsname Calcigel) als Referenzmaterial



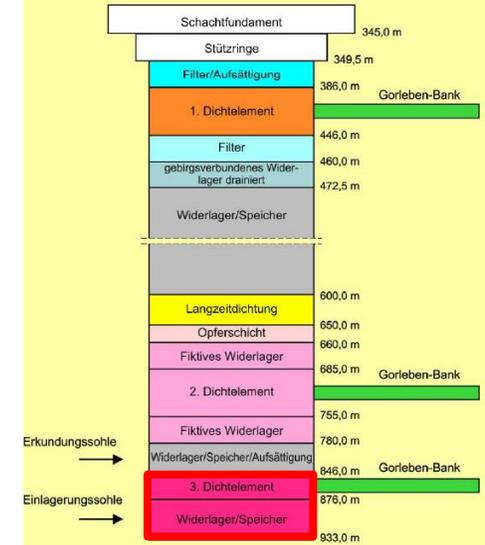
2. Dichtelement - Salzbeton

- Salzbeton und Salzmörtel mit Zement als Bindemittel im FuE-vorhaben Asse Vordamm und im Versuchsbauwerk ERAM großtechnisch angewendet
- Aufgrund seiner Dichtheit ein diversitäres Material zum Bentonit, allerdings ohne Quellvermögen
- Spezifische Standortbedingungen führen deckgebirgsseitig zu einem praktisch unbegrenzten Angebot anstehender Salzlösung (NaCl gesättigt, aber eher arm an Magnesium und Sulfaten)
- kohäsiv mit der Schachtkontur verbundenes Dichtelement aus Salzbeton kann auch Widerlagerfunktion ausüben (Trennung in Dichtelement und fiktives Widerlager)
- Referenzmaterial Type Asse



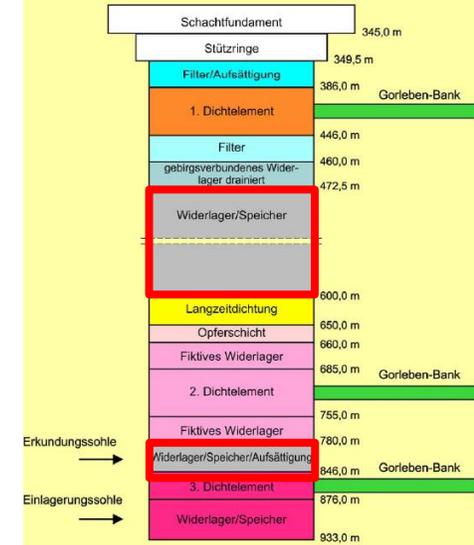
3. Dichtelement – MgO-Beton

- Sorelbeton mit MgO als Bindemittel in den Strömungsbarrieren der Schachtanlage Asse II großtechnisch angewendet
- MgO-Beton langzeitstabil gegenüber Mg-reichen Lösungen (Mg⁺⁺-Anreicherung)
- kohäsiv mit der Schachtkontur verbundenes Dichtelement aus Sorelbeton kann auch Widerlagerfunktion ausüben
- Diversitäres Material zum Bentonit und Salzbeton
- Referenzmaterial A1



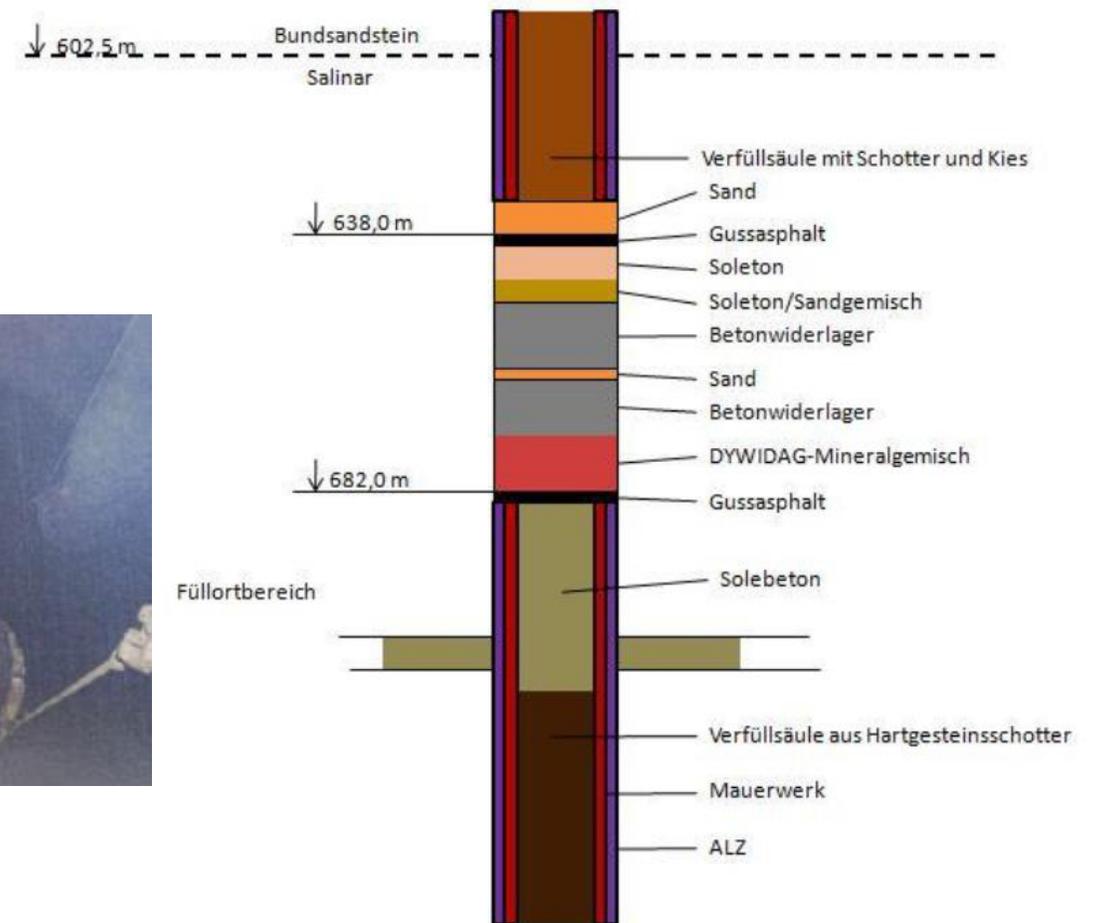
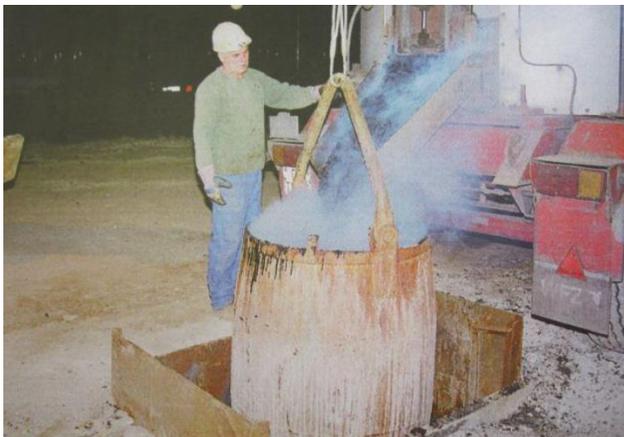
Setzungsstabile Schotterssäulen

- Vollverfüllung des Schachtes
- Können als Widerlager kohäsionsloser Dichtelemente (z.B. Bentonit) dienen
- Speichervolumen für zutretende Lösungen und damit Verzögerung im Druckaufbau
- Einbau über Falleitung gebräuchlich
- Einbau über Kübel denkbar (aber langsam)
- Verfüllung des Porenraumes mit MgO (z.B. Brucit) als Puffer/Aufsättigung für MgO-Dichtelemente möglich (standortspezifisch)



Stand der Technik – Gussasphaltdichtungen

- Handelsüblicher Gussasphalt als redundantes und diversitäres Verschlusselement bei der Verwahrung konventioneller Bergwerksschächte



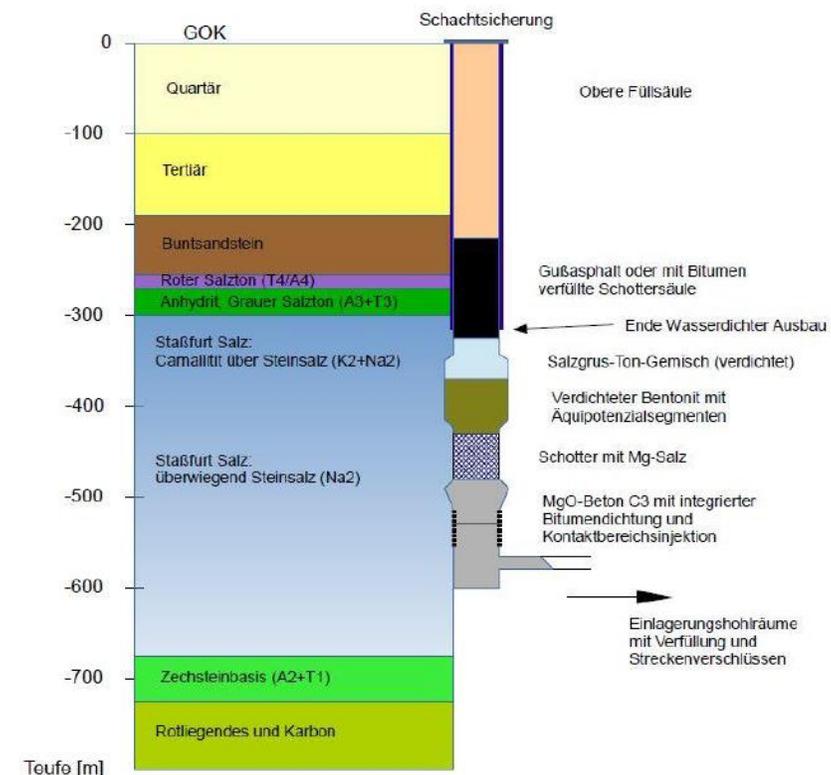
Schachtverschlüsse – Weiterentwicklungen

- Bitumen – natürlicher Rohstoff oder schwerflüssige Rückstände der Erdöldestillation als ein Gemisch aus verschiedensten Kohlenwasserstoffen
- Asphalt - Gemisch aus Bitumen und Gesteinskörnungen
 - In situ Erprobung bitumenverfüllter Schottersäulen im ERAM



Herold, 2020

- Generische Schachtverschlusskonzepte für flachlagernde Salzformationen (ELSA II)



Salzgrus-Ton-Gemisch

- Salzgrus als Langzeitdichtung lässt sich im Schacht besser verdichten als in der Strecke
- Durch Optimierung soll eine möglichst hohe Einbaudichte bzw. geringe Startporosität erreicht werden
- Denkbar sind:
 - Materialgemische mit optimierter Korngrößenverteilung und optimalem Wassergehalt, wie z. B. Salzgrus-Ton-Gemische,
 - Einsatz von gepressten Salzformsteinen,
 - Einsatz von geschnittenen Salzsteinen/Salzblöcken (Vorhaben „Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken“ TU Clausthal),
 - Einsatz von Mehrkomponentensystemen aus Presslingen unterschiedlicher Größe und einer Feinfraktion aus Salzgrus mit Tonmehl (vergleichbar zum binären Bentonitgemisch)

Quellen

Müller-Hoeppe, N.; Buhmann, D.; Czaikowski, O.; Engelhardt, H.-J.; Herbert, H.-J.; Lerch, C.; Linkamp, M.; Wieczorek, K.; Xie, M. (2012) Integrität geotechnischer Barrieren Teil 1 Vorbemessung Bericht zum Arbeitspaket 9.2, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-287

Müller-Hoeppe, N.; Breustedt, M.; Wolf, J.; Czaikowski, O.; Wieczorek, K. (2012) Integrität geotechnischer Barrieren Teil 2 Vertiefte Nachweisführung Bericht zum Arbeitspaket 9.2, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben, GRS-288

Czaikowski, O.; Friedenber, L.; Wieczorek, K.; Müller-Hoeppe, N.; Lerch, C.; Eickemeier, R.; Laurich, B.; Liu, W.; Stührenberg, D.; Svensson, K.; Zemke, K.; Lüdeling, C.; Popp, T.; Bean, J.; Mills, M.; Reedlunn, B.; Düsterloh, U.; Lerche, S.; Zhao, J. (2020) KOMPASS - Compaction of crushed Salt for the safe Containment, GRS-608

Kröhn, K.-P.; Stührenberg, D.; Jobmann, M.; Heemann, U.; Czaikowski, O.; Wieczorek, K.; Müller, C.; Zhang, C. L.; Moog, H.; Schirmer, S.; Friedenber, L.: Mechanical and hydraulic behaviour of compacting crushed salt at low porosities – REOPERM Phase 2, GRS-450

T. Rothfuchs, O. Czaikowski, L. Hartwig, K. Hellwald, M. Komischke, R. Miehe, Ch.-L. Zhang (2012) Self-Sealing Barriers of Sand/Bentonite-Mixtures in a Clay Repository, GRS-302

BGE (2018) https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Asse/Wesentliche_Unterlagen/Stabilisierung_und_Notfallplanung/Studien_und_Gutachten/20180810_Asse_Nachweis_der_Langzeitbestaendigkeit_fuer_den_Sorelbaustoff_der_Rezeptur_A1.pdf

Kreienmeyer M., Schröpfer T., Bauer J., Stielow B., Wollrath J., Ranft M. (2016) Experiences from an in-situ test site for a sealing element in shafts and vertical excavations in rock salt, DOPAS Workshop

Wilsnack, T.; Sitz, P.; Heinemann, K.-H.; Rumphorst, K.; Hunstock, F. (2008) Flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schächten, Kali und Steinsalz, Heft 3/2008

Breidung (2002) Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdettfurth Schacht II - Abschlussbericht, K+S AG, Kassel

Kudla, W. et al. (2020) Zusammenfassender Abschlussbericht ELSA 2, **in Erstellung, Veröffentlichung etwa April/Mai 2021**

Herold, P.; Gruner, M.; Jobmann, M.; Kudla, W.; Müller, C. (2020) ELSA Phase 2 Teilbericht zum Arbeitspaket 1 - Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse im Ton- und Salzgestein, BGE TEC 2020-11 **in Erstellung, Veröffentlichung zusammen mit ZAB**

Übersicht

2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020

VSG

Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben

GRS+BGR/BGE TEC/TUC/IfG/ISTec/KIT-INE/RWTH/Uni F, gefördert durch BMU

ELSA (I +II)

Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle, Phase II: Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen

Verbundvorhaben TUBAF/BGE TEC, gefördert durch BMWi/PTKA

KOSINA

Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzsichten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes

Verbundvorhaben BGE TEC /GRS/BGR, gefördert durch BMWi/PTKA

RESUS

Grundlagenentwicklung für repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen und zur sicherheitsgerichteten Abwägung von Teilgebieten mit besonders günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle

GRS (mit BGE TEC und BGR), im Auftrag der BGE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

