

ROLLE DER
**SICHERHEITS-
UNTERSUCHUNGEN**
IN DER SCHWEIZ

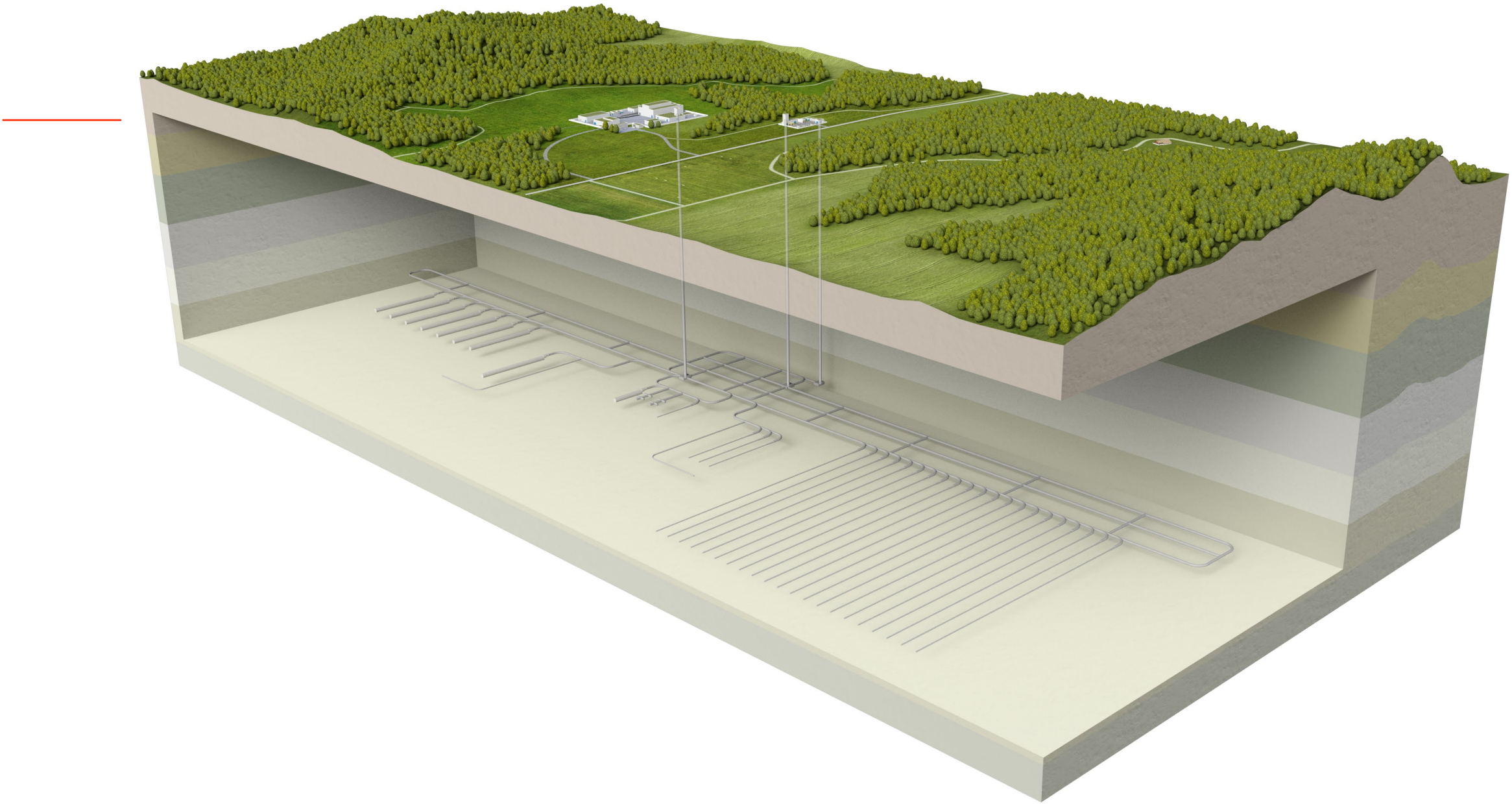
Loccum, 25.6.2022

Tim Vietor

nagra ●

DIE ABFÄLLE: 12200 BRENNELEMENTE, 700 STK GLASKOKILLEN

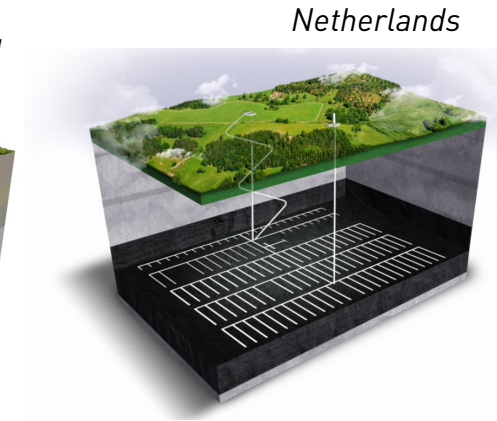
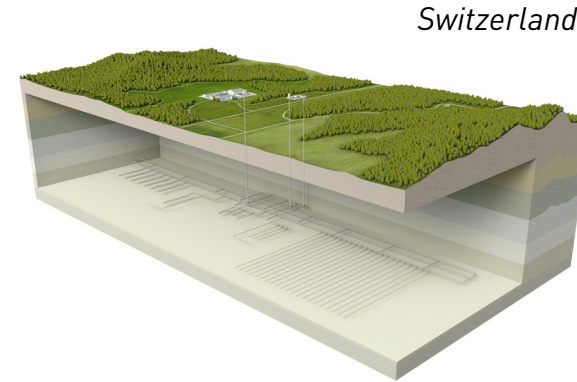
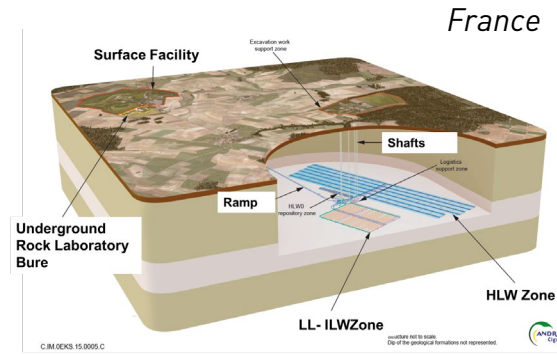
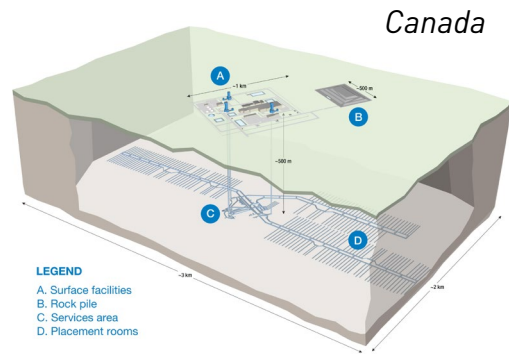




SCHLÜSSELASPEKTE DES SCHWEIZER VERFAHRENS

- Standortwahl **optimiert Beitrag der Geologie**
- **Weisse Karte** → sicherheitstechnisch bestgeeignetes Standortgebiet
- Sicherheitsgerichtete Einengung in erster Etappe: nur noch **Tonstein** dabei
- sehr **gut geeignete Gebiete** mit geringen Unterschieden
- Fokus der Untersuchungen in der letzten Etappe auf Unterschiede
- Nachweis von Unterschieden auf der Basis von komplexen **Berechnungen** ist kein einfacher Weg ← Datenbasis, Annahmen, Konzeptualisierung, Parameter, Bewertungsmetriken
- Sicherheitsrelevante **Beobachtungen** (wie natürlich Tracer) überzeugen oft mehr

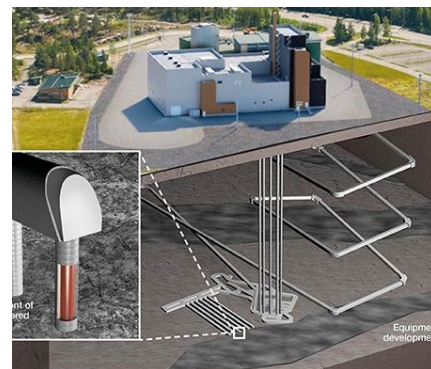
GEOLOGISCHE TIEFENLAGERUNG – WIR SIND NICHT ALLEIN



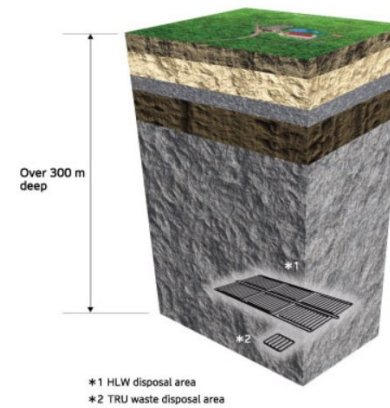
Sweden



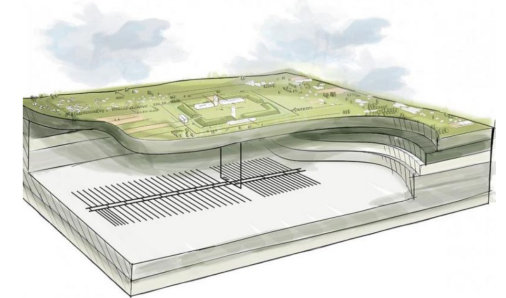
Finland

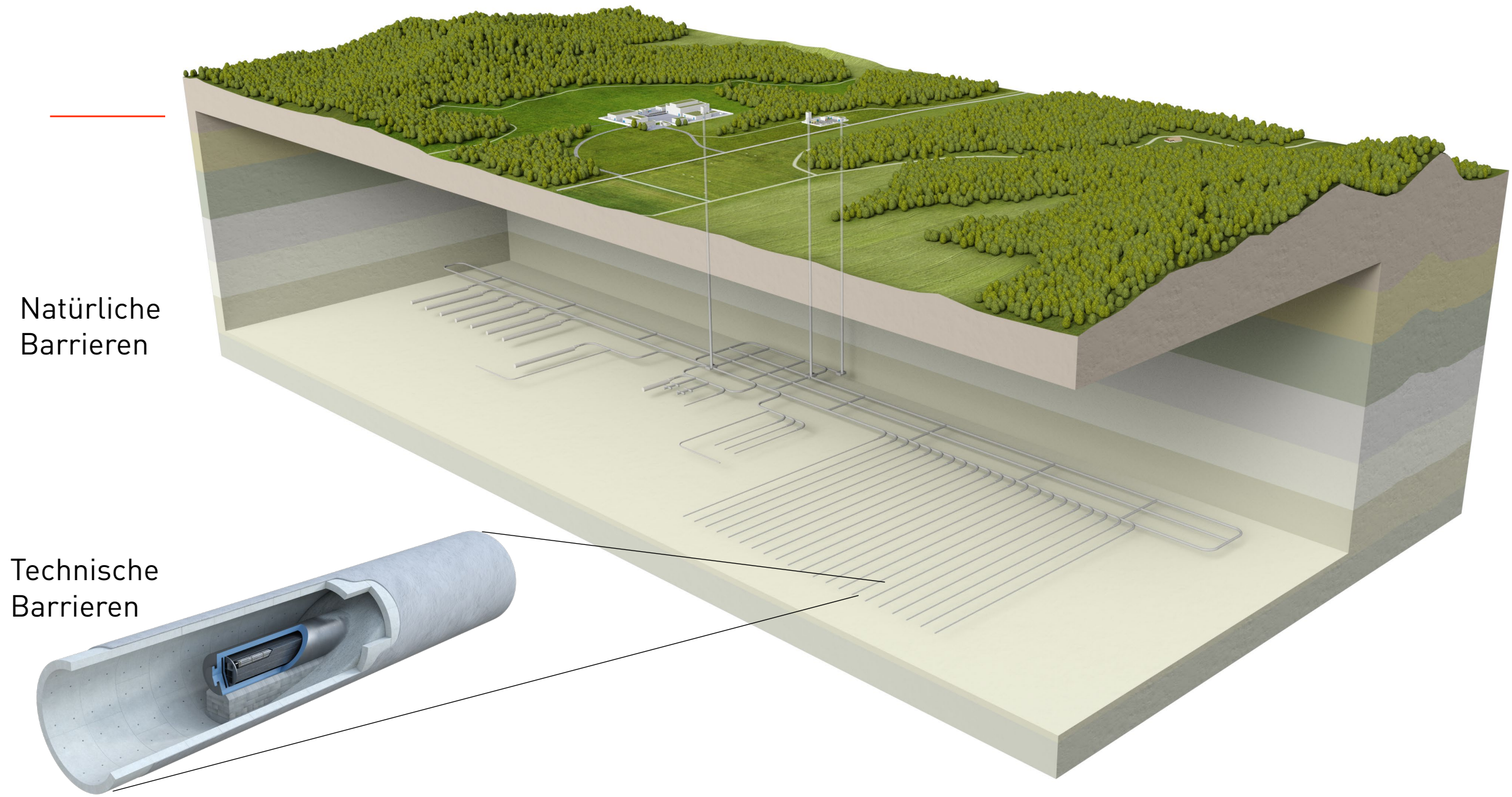


Japan



Belgium

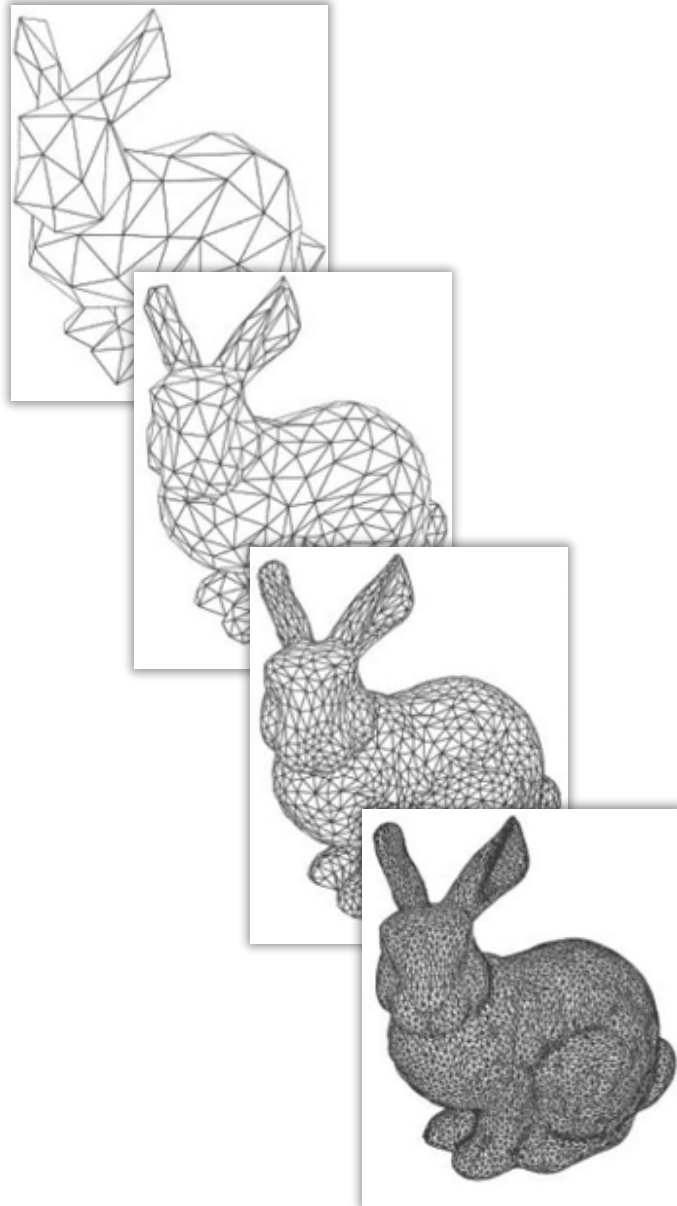




Natürliche
Barrieren

Technische
Barrieren

VORGEHEN DER SCHWEIZ



Tiefenlager für radioaktive Abfälle der Schweiz:

- kontinuierliche Optimierung
- stufengerechte Untersuchungen
- schrittweise Festlegungen

ZWEI GROSSE ABSCHNITTE DER UMSETZUNG



1- Standortwahl: Wo ist das Lager am besten anzuordnen?

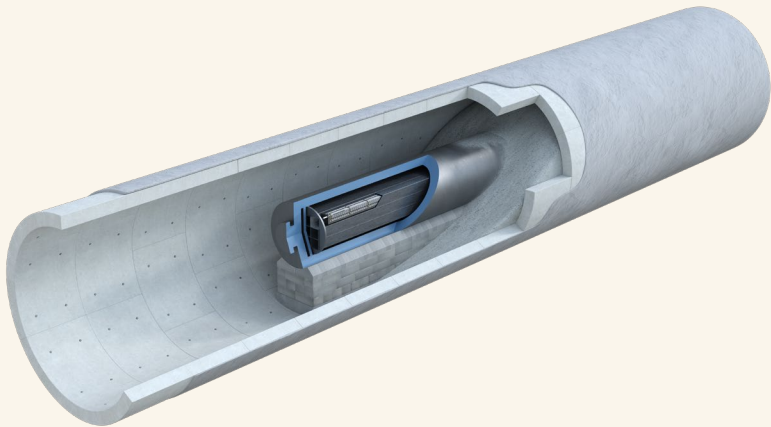
Schrittweise Auswahl geeigneter Regionen → Optimierung natürliche Barrieren

Orientierende **Sicherheitsuntersuchungen als Beurteilungsgrundlage**

2- Realisierung: Wie muss das Lager hier aussehen?

Anpassungen der Anordnung und Auslegung an die Gegebenheiten am Standort → Optimierung technische Barrieren

Wiederholung der Sicherheitsuntersuchungen zu wichtigen Realisierungsschritten



STANDORTWAHL IN ETAPPEN

Wo ist das Lager am besten anzuordnen? → natürliche Barrieren

Sicherheitsuntersuchungen in der Standortwahl (Sachplanverfahren):

BFE veröffentlicht Kriterien für die Standortwahl z.B. Ausdehnung und Eigenschaften der Barrieren, Verlässlichkeit der geologischen Aussagen, bautechnische Machbarkeit

Für jede der 3 Etappen:

- **ENSI detailliert Vorgaben** z.B. zur Datenbasis, Detaillierungsgrad des Projektes, Rolle der Sicherheitsuntersuchungen ← lernendes Verfahren
- **NAGRA** erhebt Daten, definiert Anforderungen und führt **Sicherheitstechnischen Vergleich** durch
- **ENSI prüft** Vorgehen der NAGRA

STANDORTWAHL - KRITERIEN DES SACHPLAN

Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit

Kriteriengruppe	Kriterien
1. Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches	1.1 Räumliche Ausdehnung 1.2 Hydraulische Barrierenwirkung 1.3 Geochemische Bedingungen 1.4 Freisetzungspfade
2. Langzeitstabilität	2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften 2.2 Erosion 2.3 Lagerbedingte Einflüsse 2.4 Nutzungskonflikte
3. Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine 3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse 3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
4. Bautechnische Eignung	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung

UMSETZUNG IN ETAPPE 1

Schritte zur Identifikation und Bewertung geeigneter Standortgebiete

1. (Abfallzuteilung) ← wg. SMA
2. **Sicherheitskonzept** (vorläufige Auslegung technischer Barrieren)
3. Geeignete Grossräume
4. Geeignete Wirtgesteine
5. Geeignete Konfigurationen

Vorgaben Sachplan: Einengung in Schritten

- 1 Zuteilung der Abfälle auf die beiden Lager
- 2 Sicherheitskonzept → Anforderungen an Geologie
- 3 Geeignete geologische Grossräume
- 4 Geeignete Wirtgesteine
- 5 Geologische Standortgebiete

Die geologische Grundlagen dazu sind vorhanden

ETAPPE 1 - SICHERHEITSKONZEPT

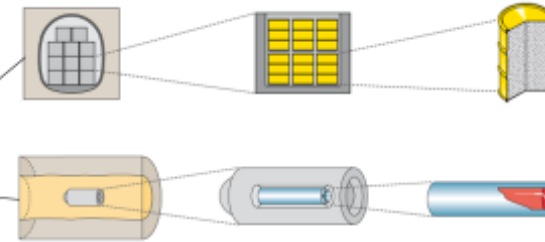
- **Vorläufiges Konzept:**
Beiträge der Barrieren
- **Quantitative Anforderungen**
an die geologische Barriere ableiten
- Z.B. **Mächtigkeit**, Tiefenlage,
Ausdehnung, hydraulische
Durchlässigkeit

Sicherheitskonzept & Anforderungen

2



- System mit **mehrfachen Sicherheitsbarrieren**,
abgestimmt auf **zugeteilte Abfälle**
- **Anforderungen an Geologie**
 - Isolation der Abfälle vom menschlichen Lebensraum
(Tiefenlage, Nutzungskonflikte etc.)
 - Beschränkung der Freisetzung radioaktiver Stoffe
(Durchlässigkeit, chemische Bedingungen etc.)
 - Gewährleistung der erforderlichen **Langzeitstabilität**
(Dauer, Erosion, Tiefenlage, Erdbeben etc.)



SMA-Lager

HAA-Lager

ETAPPE 1 - ORIENTIERENDE SICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN

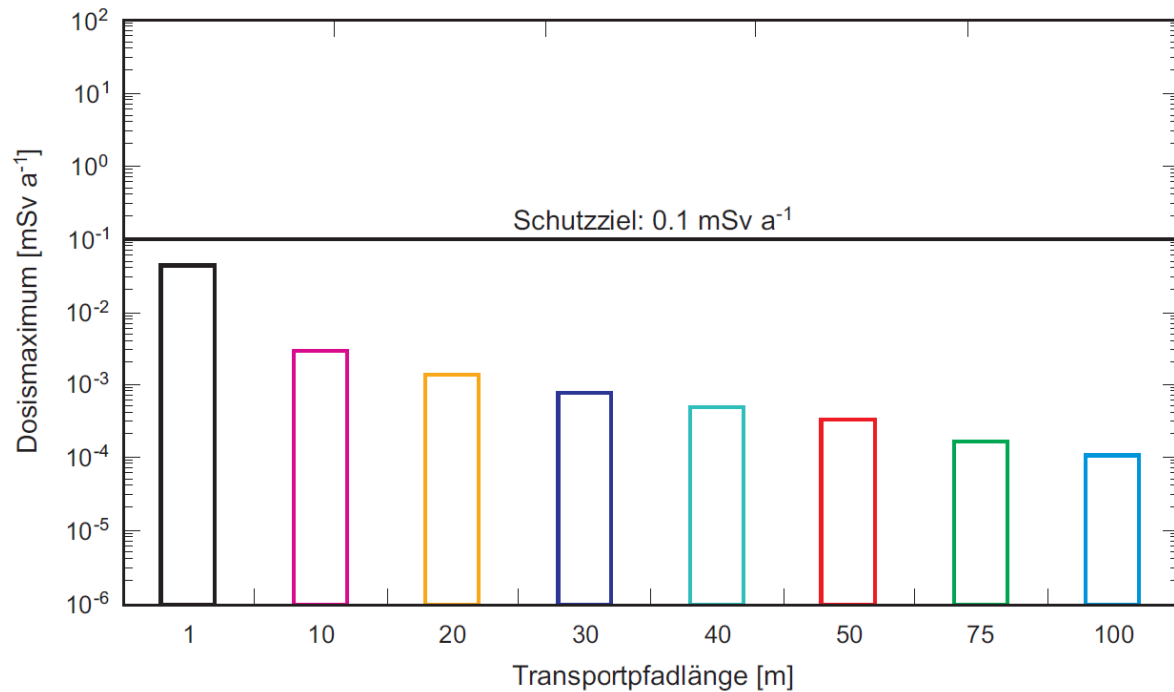


Fig. A5.3-1: Einfluss der Transportpfadlänge auf die berechneten Dosismaxima für ein HAA-Lager (BE) in einem homogen-porösen Wirtgestein für $K = 10^{-13}$ m/s.

Inventar: BE, $i = 1$ m/m, $K = 10^{-13}$ m/s.

Beispiel **Mächtigkeit des Wirtgesteins**

Zusätzliche Dosis reduziert sich bei Transportpfadlänge > 40 m nicht mehr relevant.

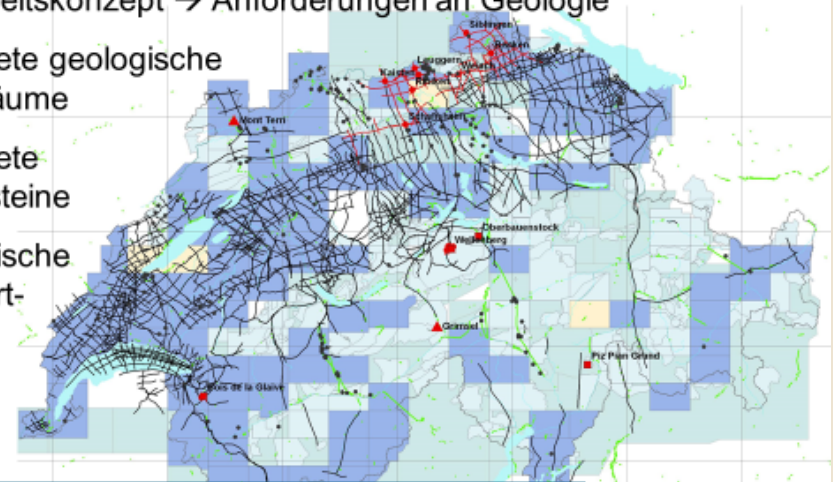
UMSETZUNG IN ETAPPE 1

Schritte zur Identifikation und Bewertung geeigneter Standortgebiete

1. (Abfallzuteilung) ← wg. SMA
2. Sicherheitskonzept (vorläufige Auslegung technischer Barrieren)
3. **Geeignete Grossräume**
4. **Geeignete Wirtgesteine**
5. **Geeignete Konfigurationen**

Vorgaben Sachplan: Einengung in Schritten

- ① Zuteilung der Abfälle auf die beiden Lager
- ② Sicherheitskonzept → Anforderungen an Geologie
- ③ Geeignete geologische Grossräume
- ④ Geeignete Wirtgesteine
- ⑤ Geologische Standortgebiete



Die geologische Grundlagen dazu sind vorhanden

ETAPPE 1 – GEEIGNETE GROSSRÄUME

Sachplan:

- Grossräumige **Erosion** (Kriterium 2.2);
- **Langzeitstabilität**: differenzielle Bewegungen, neotektonische Aktivität und Seismizität (K 2.1);
- **Prognostizierbarkeit** der möglichen Langzeitveränderungen (K 3.3);
- **Grossräumige geologisch-tektonische Komplexität** und Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse (K 3.2).

Eignung Grossräume?

3

Räumliche Verhältnisse und ihre Explorierbarkeit Langzeitstabilität

SMA-Lager (100'000 Jahre)

- ganze Schweiz möglich
- geometrische Komplexität in Alpen und Faltenjura erhöht

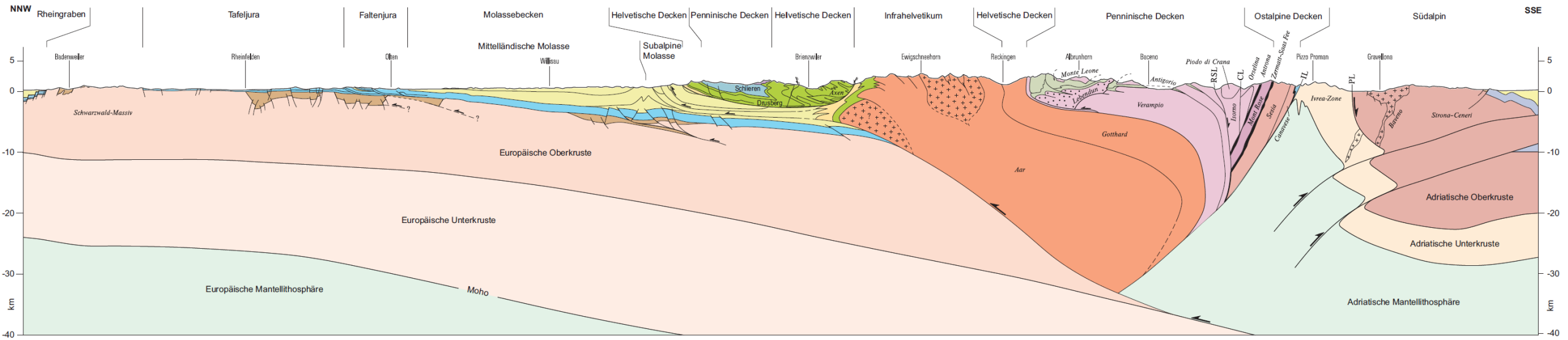


HAA-Lager (1 Million Jahre)

- Mittelland und östlicher Tafeljura möglich
- Alpen und Faltenjura ausgeschlossen (Langzeitstabilität, Komplexität)



Zentraltraverse



Vorland

- Tertiär
- Mesozoikum
- Permokarbontröge
- Kristallines Grundgebirge

Helvetikum

- Tertiär
- Mesozoikum
- Kristallines Grundgebirge
- Europäische Unterkruste
- Mantellithosphäre

Nordpenninisch/Walliser Trog

- Mesozoikum
- Kristallin/Kont. Kruste

Mittelpenninisch/Briançonnais-Schwelle

- Mesozoikum
- Kristallin/Kont. Kruste

Südpenninisch/Piemontesisch-ligurischer Ozean

- Mesozoikum
- Ozeanische Kruste

Ostalpin/Südalpin

- Tertiär
- Mesozoikum
- Kristallines Grundgebirge
- Adriatische Unterkruste
- Mantellithosphäre

- PL: Pogallo-Linie
- IL: Insubrische Linie
- CL: Centovalli-Linie
- RSL: Rhone-Simplon-Linie

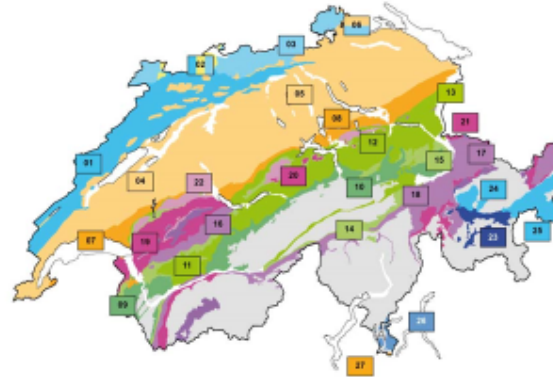


ETAPPE 1 – GEEIGNETE WIRTGESTEINE

Sachplan:

- **Mächtigkeit**, laterale **Ausdehnung** und Verbreitung **in geeigneter Tiefenlage** (K1.1)
- **Hydraulische Barrierenwirkung** (K1.2)
- Geologisch-tektonische Komplexität, **Charakterisierbarkeit der Wirtgesteinseigenschaften** und Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse (K 3.1 und 3.2)
- ...

Welche Wirtgesteine?



SMA	HAA	Gesteinsinhalt	Geologische Identifikation	Lithologie	Aquifer
				W	E
		Karbonatgesteine Formationen	QUARTÄR		
		Sandstein-Formationen vor der	TERTIÄR	OSM	
		Permo-carbonif. Schichten der			
		Pläne Serie			
		Erzger Gabbros der Trias	USM		
		Klassen-Älger-Formationen			
		Lias-Lias (Mittlerer)	Eocän		
		Spätmiozän (Ostl.) / Tertiäres / Paläogen			
		Älteres Tertiäres	Obere		
		Mälzengruben-Formationen (Ostl.)			
		Tempelbacher Schichten (Ostl.)	MARM		
		Effinger Schichten (Ostl.) / Tertiäres			
		Effinger Ton und Tonsteine à Dufour	Obere		
		Basalt-Ton und Tonsteine à Dufour			
		Tonsteine-Älger der Balmuccia	Mittlere		
		Gröden			
		Mergel-Formationen des Helvetikum	Untere		
		Pfynsch-Formationen			
		Ältere Silurpermianische GSS	Obere		
		Melch-Schichten			
		Formationen à Gresson	Mittlere		
		Brändsch/Mergel-Formationen			
		Ältere Silurpermianische GSS	DOGGER		
		Ältere Silurpermianische GSS			
		Ältere Silurpermianische GSS	Untere		
		Ältere Silurpermianische GSS			
		Ältere Silurpermianische GSS	LAS		
		Ältere Silurpermianische GSS	KEUPER		
		Ältere Silurpermianische GSS	MUSCHEL-KALK		
		Ältere Silurpermianische GSS			
		Ältere Silurpermianische GSS	Obere		
		Ältere Silurpermianische GSS	Mittlere		
		Ältere Silurpermianische GSS	Untere		
		Ältere Silurpermianische GSS	BRUNTSANDSTEIN		
		Ältere Silurpermianische GSS	PERMIOKARBON		
		Ältere Silurpermianische GSS	KRYSTALLIN		

Vorauswahl von 26 Wirtgesteinen:

- **HAA-Lager**: Opalinuston
- **SMA-Lager**: Opalinuston, 'Brauner Dogger', Effinger Schichten, Mergel-Formationen des Helvetikums (Alpen)

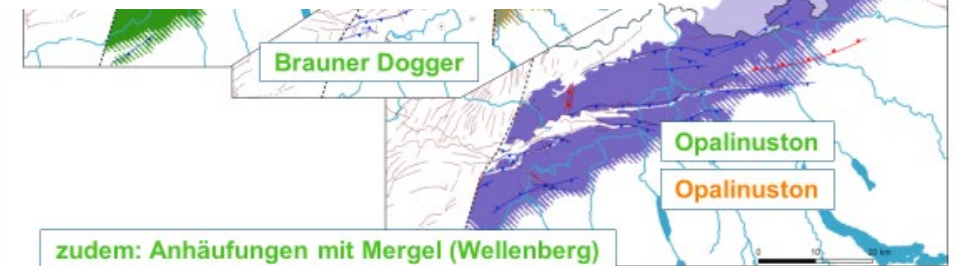
Beispiel: Sammelpprofil Nordschweiz

7

Folienmodul/Februar09

Auswahl Standortgebiete nach SGT

nagra



zudem: Anhäufungen mit Mergel (Wellenberg)

9

Folienmodul/Februar09

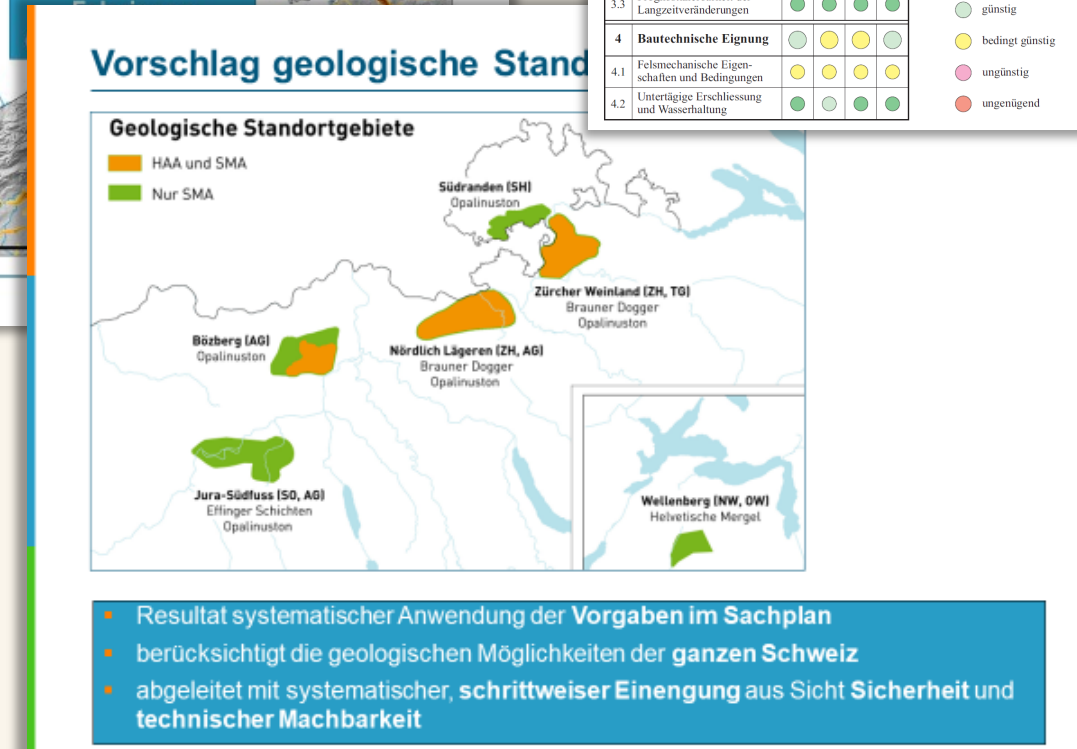
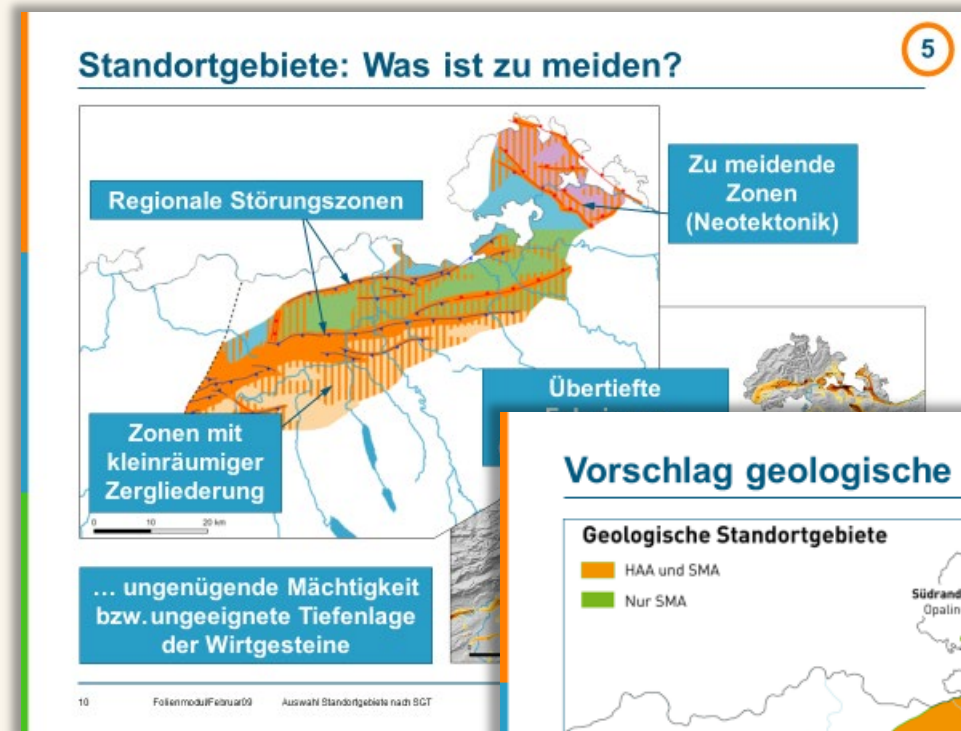
Auswahl Standortgebiete nach SGT

nagra

ETAPPE 1 – GEEIGNETE KONFIGURATIONEN

Sachplan

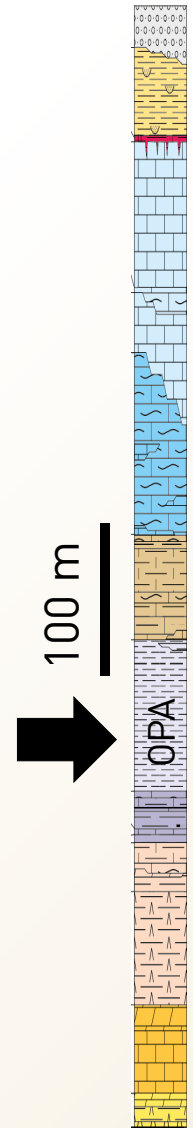
- Alle Kriterien
- Sicherheitstechnische Bewertung
- Sehr geeignet/ geeignet/bedingt geeignet/weniger geeignet)
- Zusammenzug Bewertungen



Gesamtbewertung sowie Kriterien und Kriterien (SGT Tab.1)	OPA			
	HAA-OPA-TJ	HAA-OPA-VZ-O	HAA-OPA-VZ-M	HAA-OPA-VZ-W
Gesamtbewertung für bevorzugte Bereiche	P	P	P	P
1 Eigenschaften des WG/EG	P	P	P	P
1.1 Räumliche Ausdehnung	P	P	P	P
1.2 Hydraulische Barrierewirkung	P	P	P	P
1.3 Geochemische Bedingungen	P	P	P	P
1.4 Freisetzungspfade	P	P	P	P
2 Langzeitstabilität	P	P	P	P
2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften	P	P	P	P
2.2 Erosion	P	P	P	P
2.3 Lagerbedingte Einflüsse	P	P	P	P
2.4 Nutzungskonflikte	P	P	P	P
3 Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	P	P	P	P
3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine	P	P	P	P
3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse	P	P	P	P
3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen	P	P	P	P
4 Bautechnische Eignung	P	P	P	P
4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen	P	P	P	P
4.2 Untertägige Erschließung und Wasserhaltung	P	P	P	P

P prioritärer Bereich
 ● sehr günstig
 ● günstig
 ● bedingt günstig
 ● ungünstig
 ● ungenügend

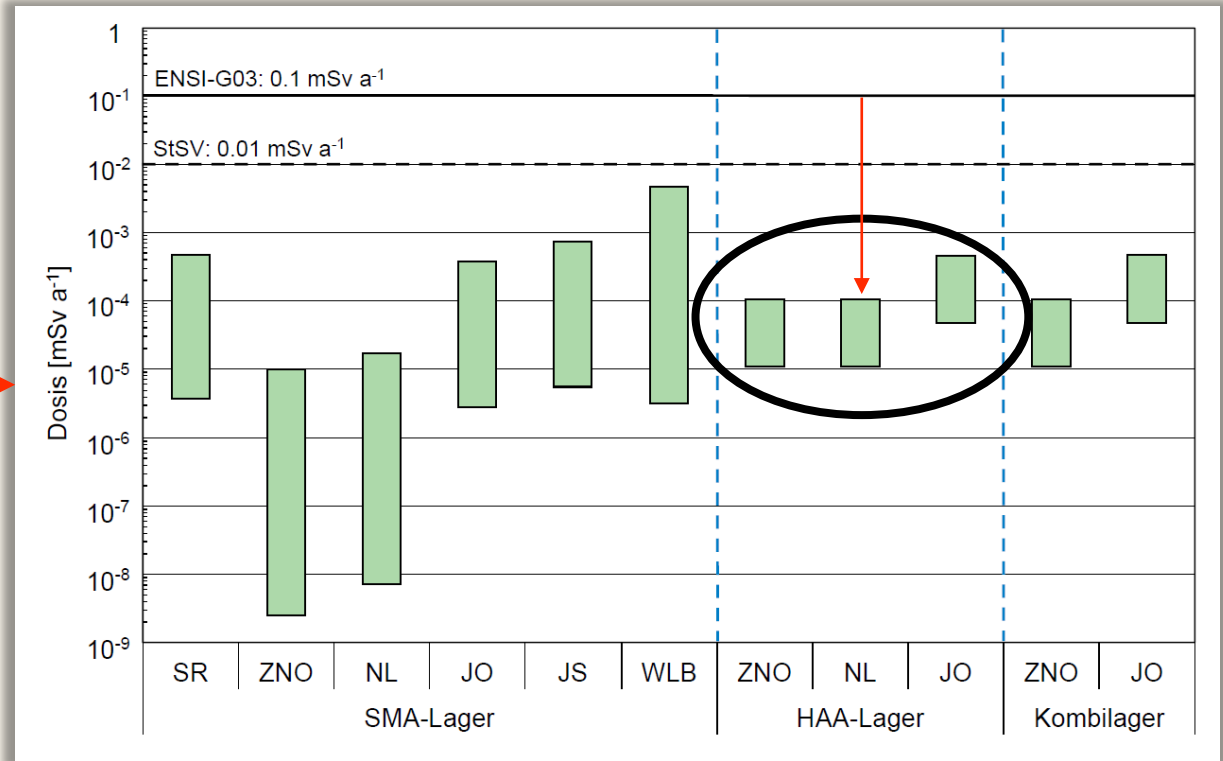
• Resultat systematischer Anwendung der Vorgaben im Sachplan
 • berücksichtigt die geologischen Möglichkeiten der ganzen Schweiz
 • abgeleitet mit systematischer, schrittweiser Einengung aus Sicht Sicherheit und technischer Machbarkeit



VORGEHEN IN ETAPPE 2

Auswahl von min. 2 Standortgebieten

- **Dosis-Schutzkriterium** nicht erfüllt?
- **Dosisberechnungen** zeigen eindeutig reduzierte Eignung?
- **Gesamtbewertung** schlechter als «geeignet» ?
- belastbare **eindeutige Nachteile** gegenüber anderen Standortgebieten anhand der Kriterien?



EINDEUTIGE QUALITATIVE NACHTEILE PLATZANGEBOT?

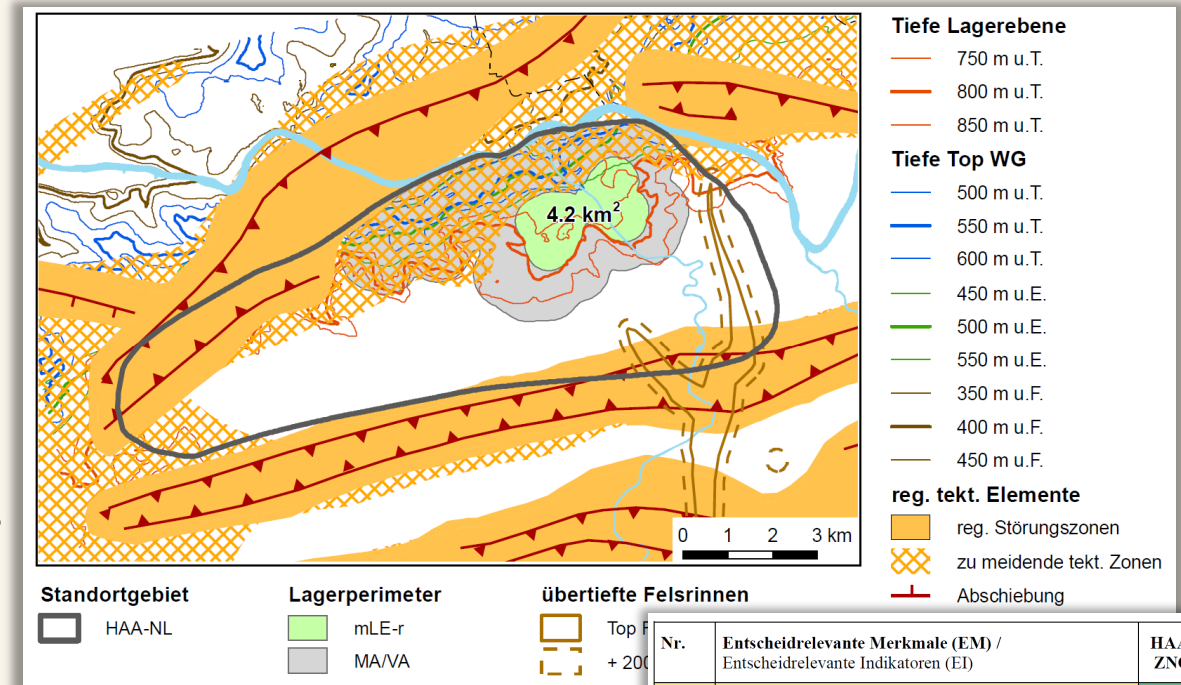
Datensituation in Etappe 2: zusätzliche geometrische Informationen aus 2D Seismik, keine Bohrungen

Qualitative Bewertung

1. Anforderungen aus konzeptuellen **Annahmen** abgeleitet
2. Einengung **Platzangebot** mit Anforderungen / Standortgebiet
3. Platzangebot als **eindeutiger Nachteil?**
4. Vorschlag von **2 Gebieten für HAA**

nicht akzeptiert durch Behörden:

- keine ausreichende Datenbasis
- Annahmen nicht ausreichend begründet
- 3 Gebiete mitnehmen in Etappe 3



ETAPPE 3: SICHERHEITSRELEVANTE BEOBACHTUNGEN

- Strategie zur Erhebung sicherheitsrelevanter potenziell unterscheidender Beobachtungsdaten
- 3D Seismik: Ausdehnung geeigneter Zonen in der Tiefe
- Bohrungen: Repräsentative Informationen aus der Vergangenheit

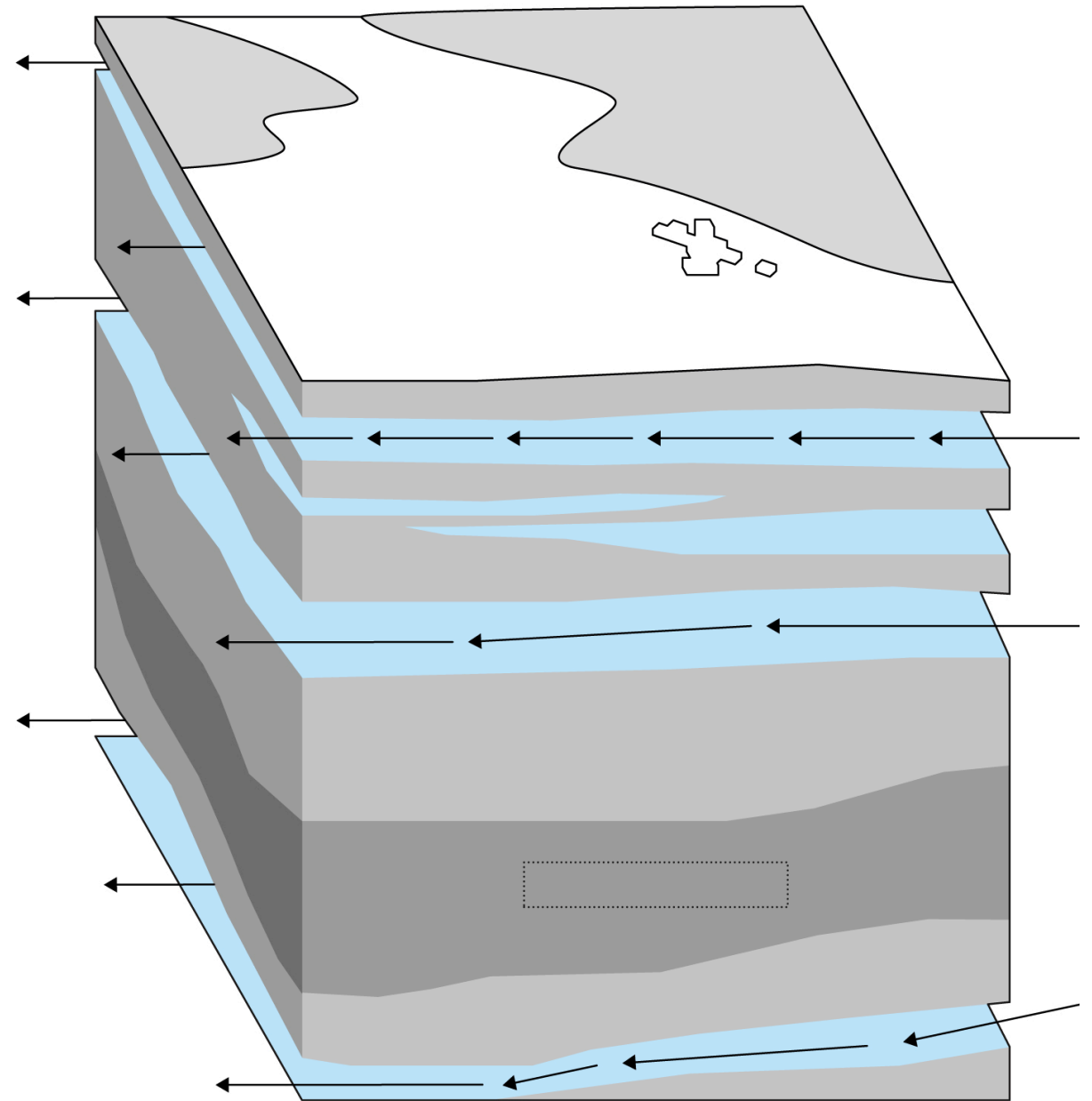
TRACERPROFILE

Natürliche Tracer im
Grundwasser

Werden in Grundwasserleitern
mittransportiert

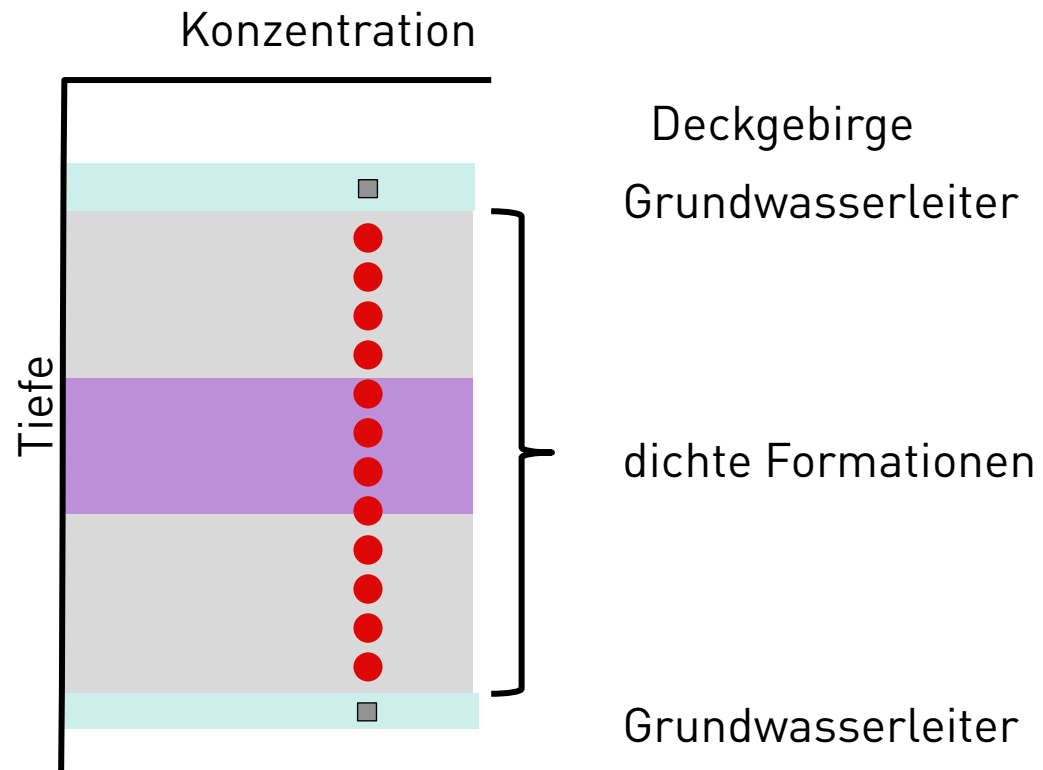
«Fingerabdruck» des
Grundwassers

Bei sehr dichten Gesteinen ohne
Grundwasserfluss sehr
langsamer Transport (nur
Diffusion)

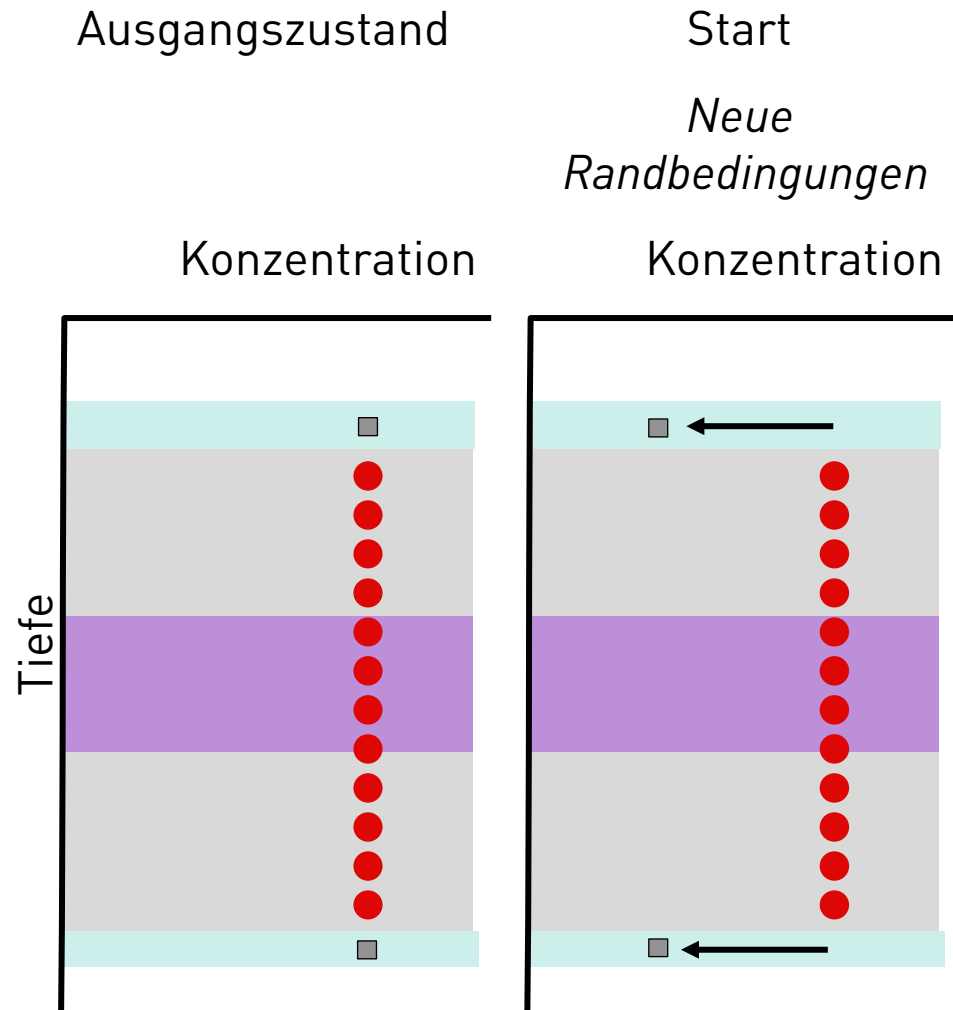


ENTWICKLUNG DER TRACERPROFILE

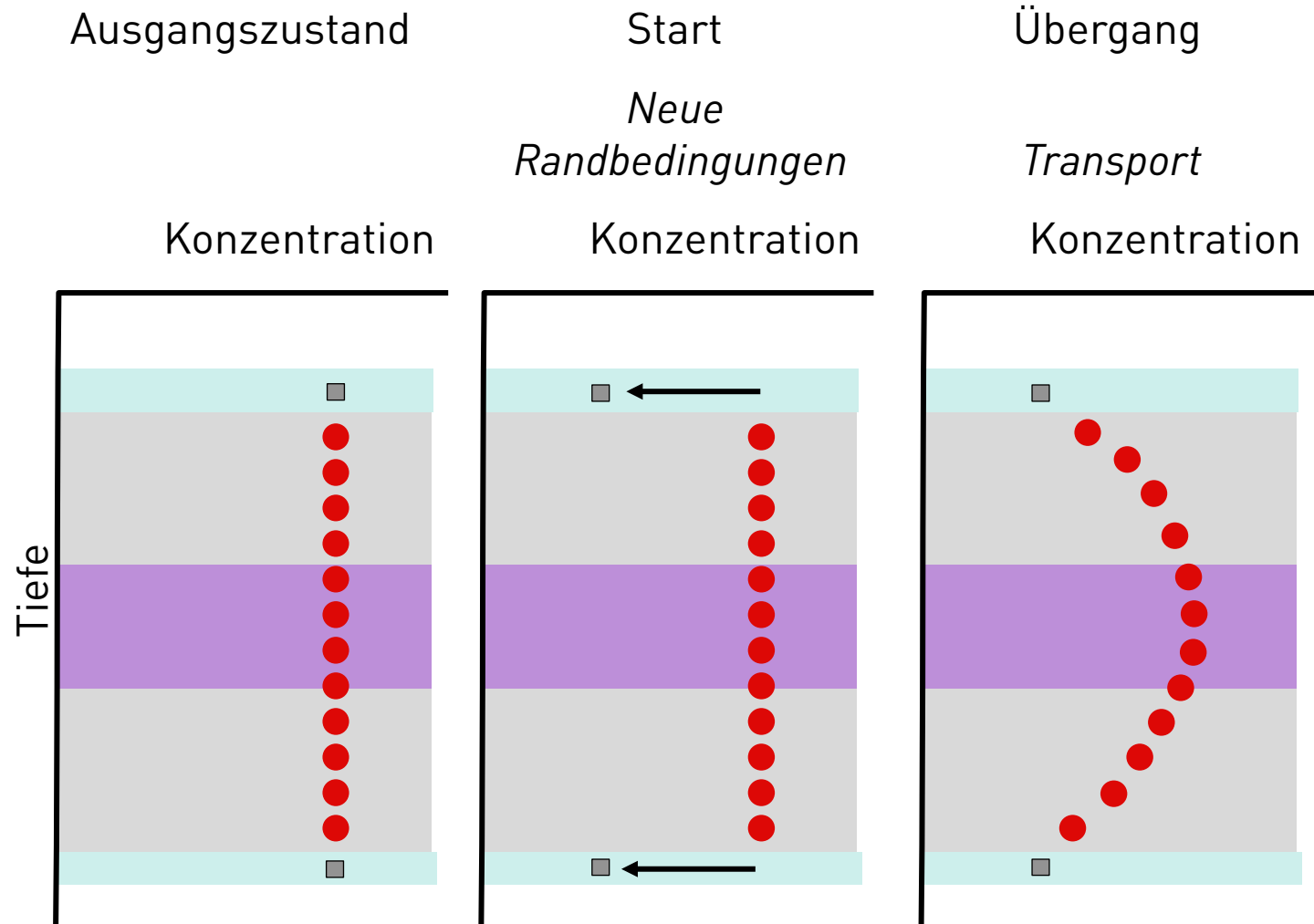
Ausgangszustand



ENTWICKLUNG DER TRACERPROFILE

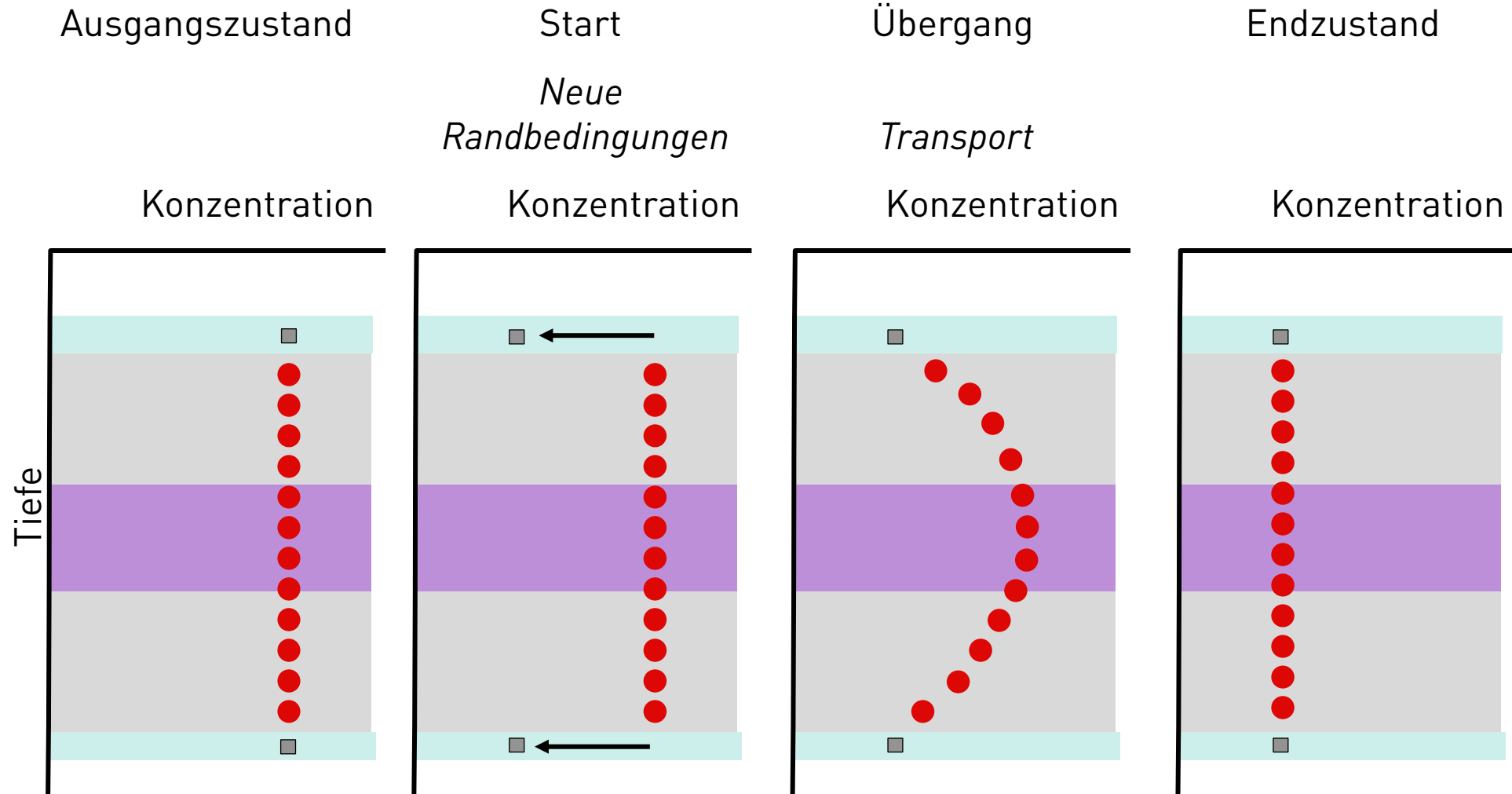


ENTWICKLUNG DER TRACERPROFILE

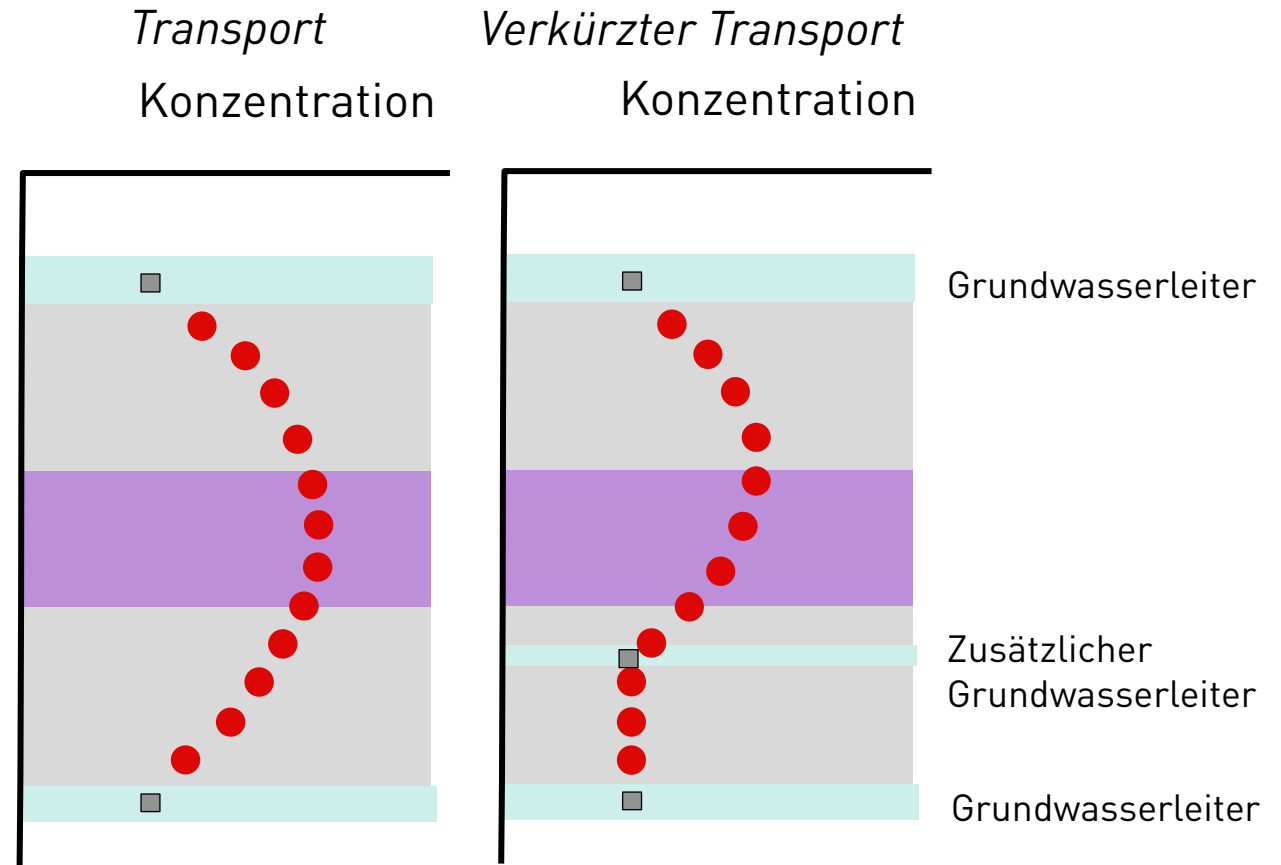


Kurvenform: Zeit sowie Verteilung von Diffusionskoeffizient und Porenvolumen

ENTWICKLUNG DER TRACERPROFILE



ENTWICKLUNG DER TRACERPROFILE



LANGSAMER TRANSPORT IN TONSTEINEN

Natürliche **Tracer** im Grundwasser

Werden in Grundwasserleitern transportiert

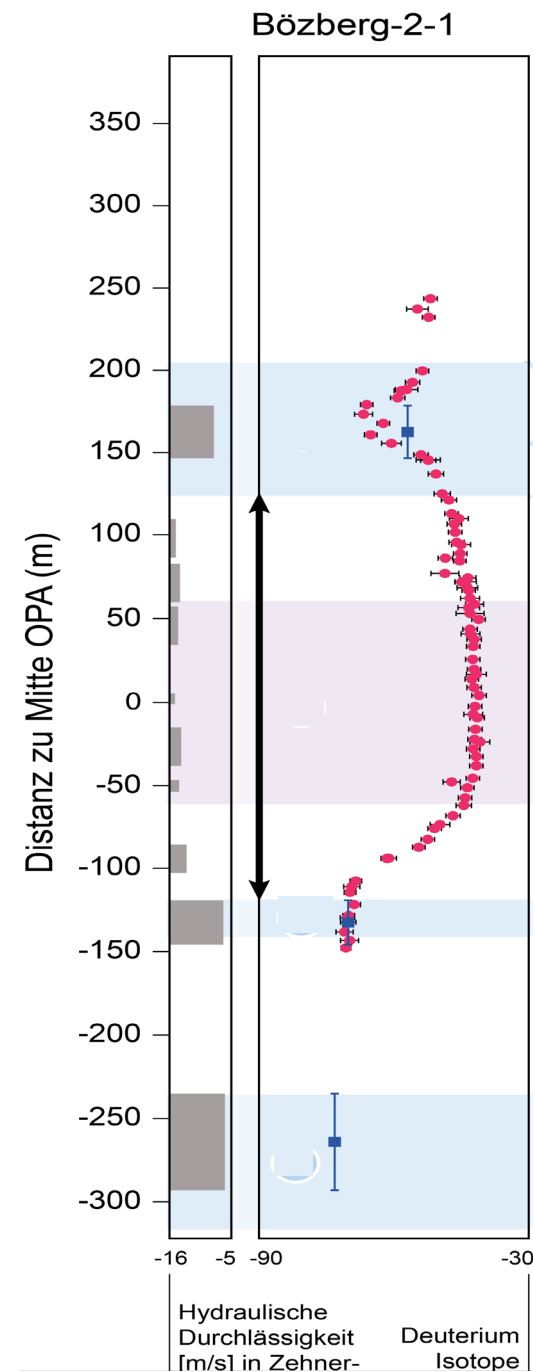
Austausch mit Tongesteinen über 100 tausende bis 5 Mio Jahre Zeitskala

→ Rückhaltung funktioniert

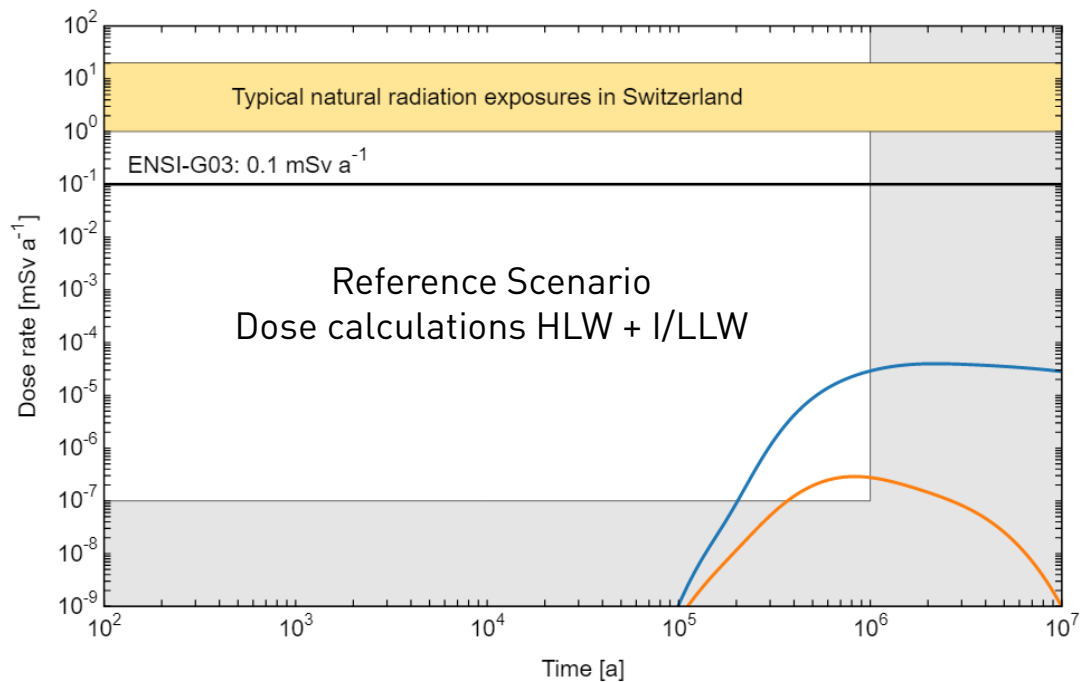
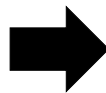
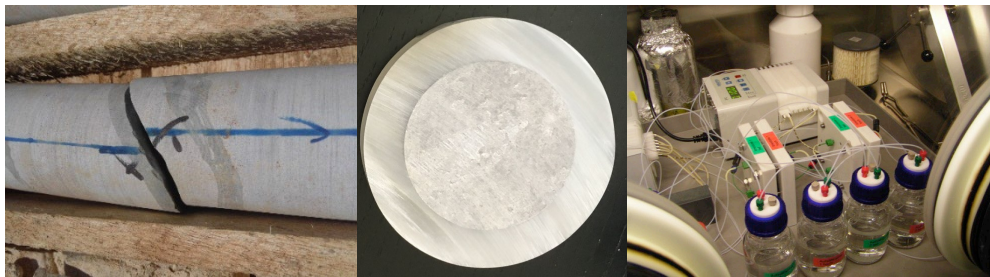
→ Natur hat schon ein Experiment gemacht

→ Daten liegen für alle Bohrungen vor

→ Wichtige Vergleichsgrundlage



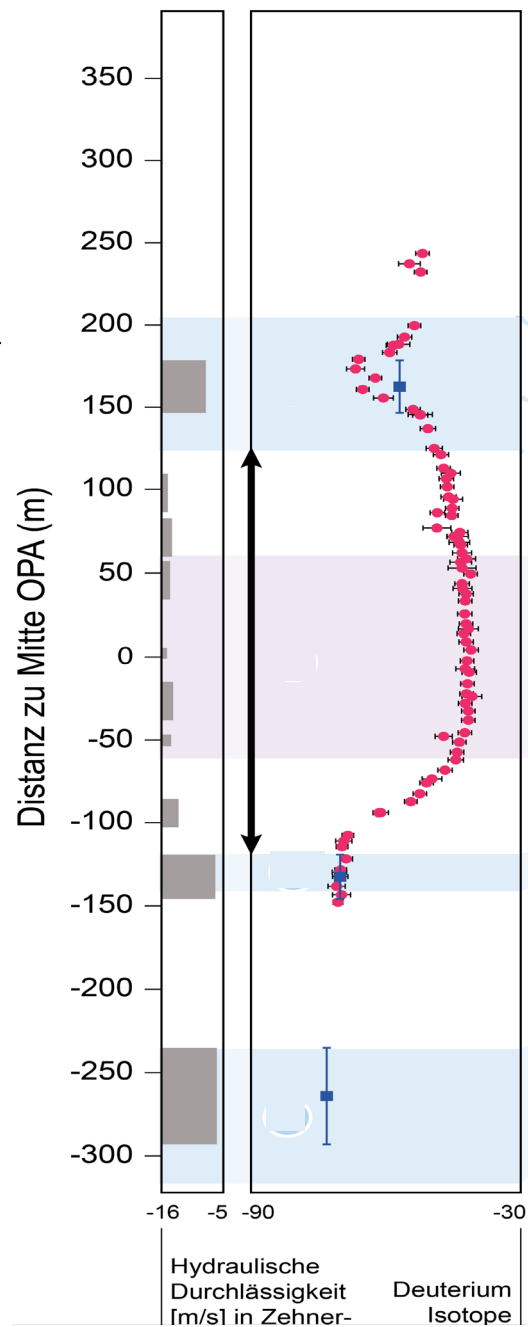
VERGANGENHEIT ZUR EICHUNG DER PROGNOSEN



BE+HAA

SMA/ATA

Bözberg-2-1



Hydraulische Durchlässigkeit [m/s] in Zehner-

Deuterium Isotope

SCHLÜSSELASPEKTE DES SCHWEIZER VERFAHRENS

- Standortwahl **optimiert Beitrag der Geologie**
- **Weisse Karte** → sicherheitstechnisch bestgeeignetes Standortgebiet
- Sicherheitsgerichtete Einengung in erster Etappe: nur noch **Tonstein** dabei
- sehr **gut geeignete Gebiete** mit geringen Unterschieden
- Fokus der Untersuchungen in der letzten Etappe auf Unterschiede
- Nachweis von Unterschieden auf der Basis von komplexen **Berechnungen** ist kein einfacher Weg ← Datenbasis, Annahmen, Konzeptualisierung, Parameter, Bewertungsmetriken
- Sicherheitsrelevante **Beobachtungen** (wie natürlich Tracer) überzeugen oft mehr