

NBG-Sachverständige

Dr. Jürgen Grötsch

Prof. Jan Behrmann

Mag. Magdalena Bottig

Prof. Peter Grathwohl

Prof. Michael Weber

# Gutachten zur Weiterentwicklung der Methodik für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU)

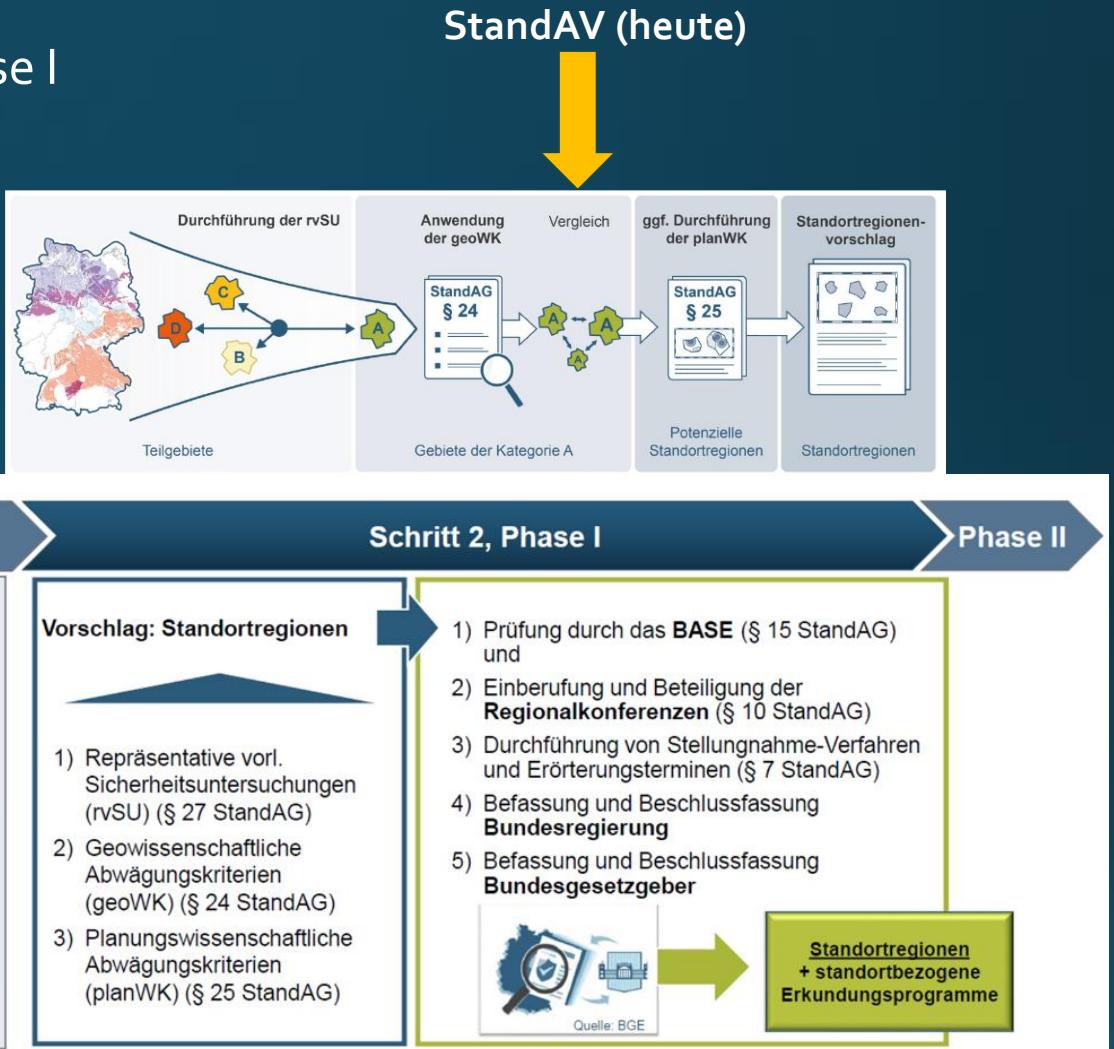
4. Forum Endlagersuche

Hannover Congress Centre & Online

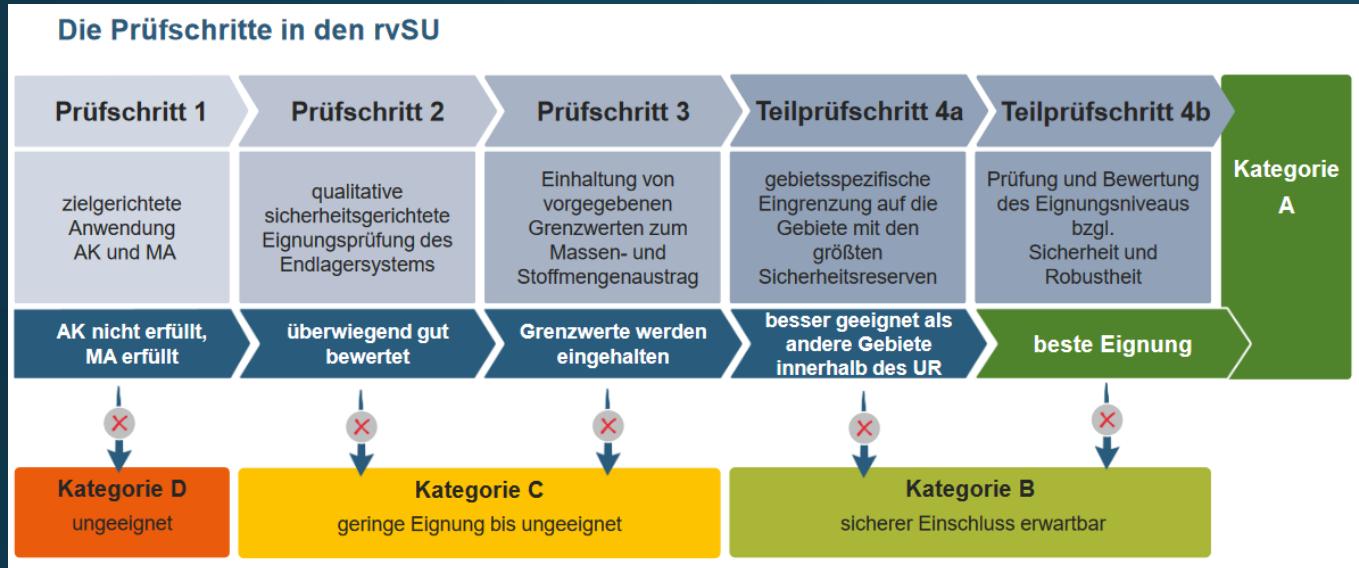
22.11.2025

# Wo stehen wir jetzt?

- **Status Standortauswahlverfahren:** Schritt 2 Phase I
- **Ziel:** Identifikation und Charakterisierung von Homogenbereichen im Wirtsgesteinskörper.



# rvSU – Wie funktioniert das?



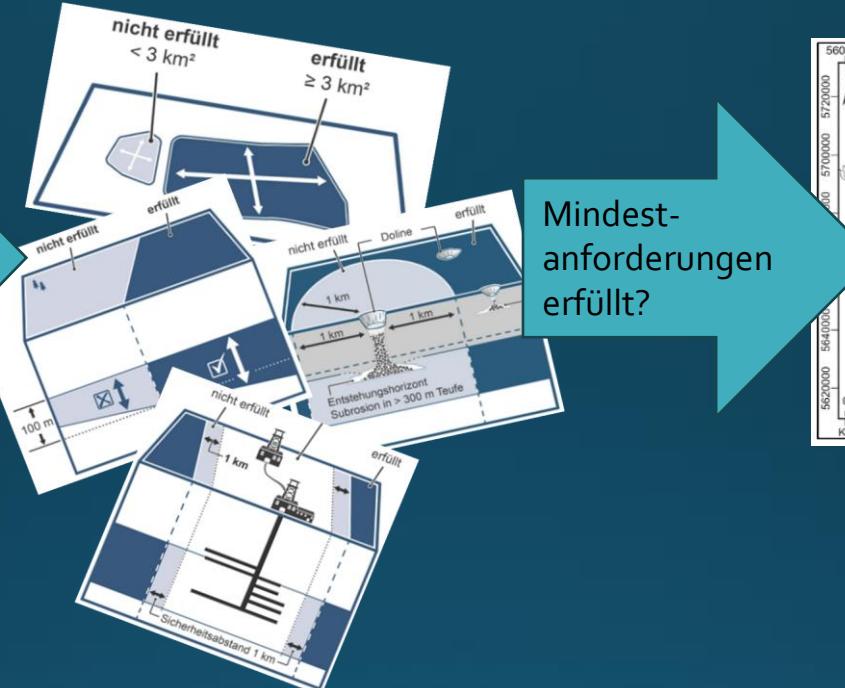
Die Kriterien werden zunehmend detaillierter

„die Hürde wird höher“

Quelle: BGE

# 3. Kriterienentwicklung

# Kriterien – Entwicklung und Anwendung



# Kriterienentwicklung - 1

1. Kriterienbasierter Bewertungsansatz ermöglicht **systematische, reproduzierbare und transparente** Vorgehensweise für alle Gebiete
2. **Regulatorische Vorgaben** zuerst (StandAG)
3. Von **grundlegender** hin zu **detaillierter** Charakterisierung der Gebiete
4. Nur noch Kriterien, die **Potential zur Einengung** haben
5. Definition von **Kriterien per Wirtsgestein per Prüfschritt** (BGE, 2024)
  - **PS 1:** AK und MA ..... ~ 10 Kriterien ..... nicht erfüllt ..... Kategorie D
6. **Umsetzbarkeit** (z.B. Datenlage), Test der **Praktikabilität** durch Anwendung, noch nicht als **Steckbriefe** veröffentlicht - insgesamt guter Ansatz
7. **Hauptgruppen** von Kriterien



## 4 Hauptgruppen von Kriterien für alle WG:

1. Einschlusseigenschaften des Wirtsgesteins
2. Langfristige Stabilität und Integrität
3. Räumliche Charakterisierbarkeit und Zuverlässigkeit der Sicherheitsaussage
4. Betriebssicherheit und technische Realisierbarkeit

# Kriterienentwicklung - 2

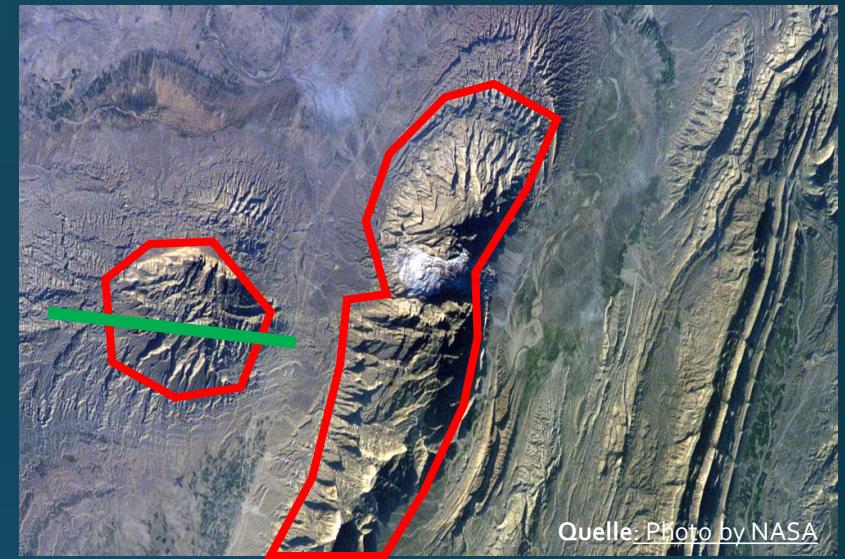
8. Bewertungen mit **Schwellenwerten - quantitativ**, in Zahlen fassbar
  - z.B. Barrieremächtigkeit Tongestein [m]
  - z.B. Maximale Tiefenlage [m]
  - z.B. Mindestflächenbedarf im Granit = 6 km<sup>2</sup>
  - z.B. Radionuklidtransportweite  $l_m$  oder  $l_{m-geo}$
9. Bewertung mit **semi-quantitativen Einschätzungen** (siehe Tabelle)
  - z.B. „Ungünstige tektonische Gesamtsituation“
10. Bewertung mit **verbalargumentativen** Begründungen
11. In **PS 4** sollen Entscheidungsschwellen „gebietspezifisch in Workshops“ definiert werden
12. Angepasste und neue Kriterien
  - z.B. Indikator „Mikrobielle Prozesse“ wird nun im rvSU-Kriterium für „sedimentäres organisches Material“ genutzt
  - z.B. Kriterium zum Internbau von Steinsalz in steiler Lagerung hat noch Entwicklungspotentiale

Semi-quantitative Kriterienbewertung
Ausgezeichnet
Sehr gut
Gut
Befriedigend
Mangelhaft

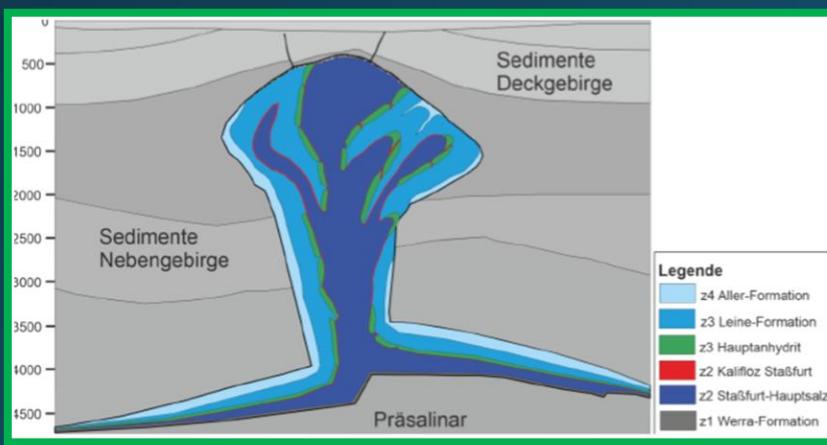
## 4. Wirtsgesteinsspezifische Kriterienkataloge

# Was ist wichtig im Salz Steil? - 2

- Beispiel: Zagros, Iran
- Salz an der Oberfläche
- Salzstrukturen – Diapire oder Wälle
- Fläche des WbB muß gross genug sein
- „Fläche“ führt zu signifikanter Reduktion der Diapire
- Internbau



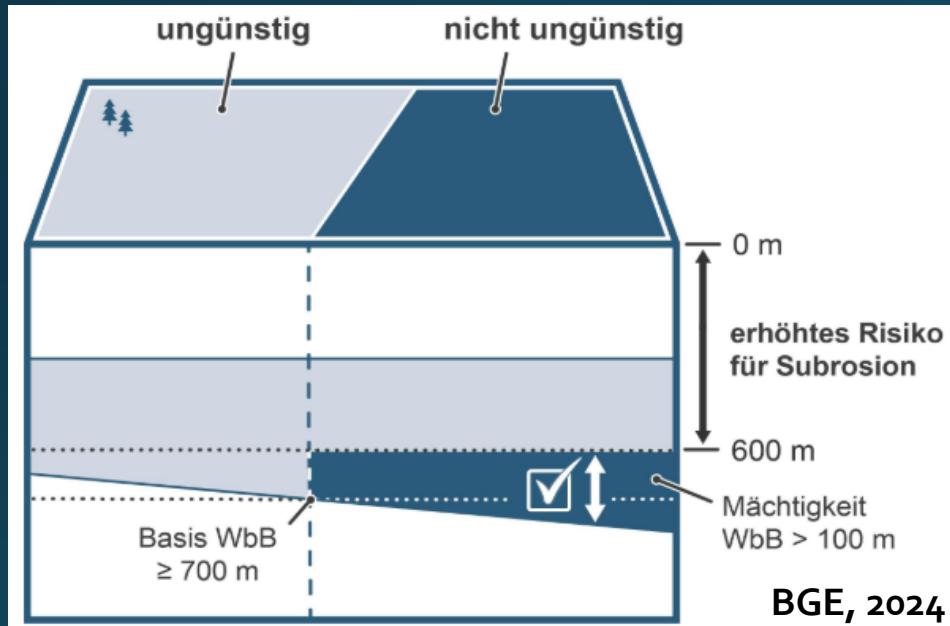
Quelle: Photo by NASA



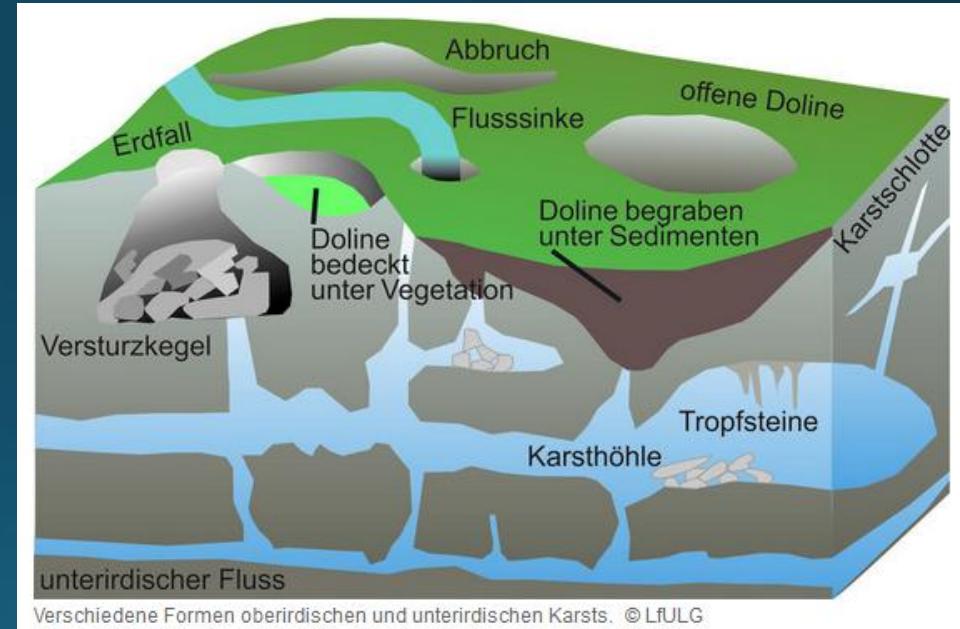
Bewertung des Diapirs	Gesamtfläche Diapir (km <sup>2</sup> )	Fläche WbB (km <sup>2</sup> )
Günstig	> 25	> 9
Bedingt günstig	16 - 25	6 - 9
Weniger günstig	6 - 16	3 - 6
Ausschluss	< 6	< 3

# Was ist wichtig im Salz Flach?

- Gültig für alle WG: ausreichende **Tiefenlage & Mächtigkeit**, gute räumliche Charakterisierbarkeit hinsichtlich **Homogenität der Gesteinsabfolge** (z.B. Zyklizität im Salz) und **Tektonik**
- Besonderheit Salz: **Subrosion**: Bereichsweise (Auf-)Lösung von löslichen Gesteinen (Salze, Karbonatgesteine)



Kriterium "ungünstige Tiefenlage hinsichtlich Subrosion":  
Risiko bis 600 m Tiefe erhöht  
*Tiefer zirkulierende Wässer in der Regel bereits hoch mineralisiert, wenig Lösungspotenzial*



Resultat: über- und unterirdische Geländeformen (Hohlräume) --> Risiko für Sicherheit des Endlagers (*Schädigung des Wirtsgesteinsbereiches selbst oder über/ unterlagernde Schichten*)

# Was ist wichtig im Kristallin?

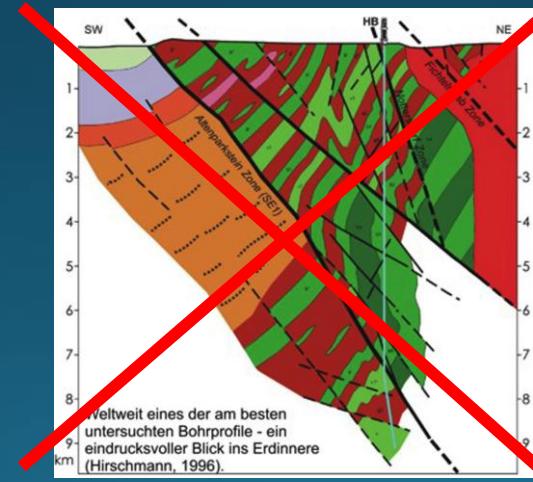
- Kriterienkataloge für PS 1 und 2 entwickelt (teilweise publiziert, oder interne Arbeitsstände)
- Kriterienkataloge für PS 4a und 4b entwickelt (als interne Arbeitsstände dokumentiert)
- rvSU PS 1 und 2 weitgehend durchgeführt (Kategorien D, C; Arbeitsstände November 2025)
- Große Massive von **Granit/Granodiorit** verbleiben in der weiteren Prüfung (>> potenzielle A-Gebiete)

**Migmatit:** - deformiert, inhomogen, geometrisch schwer charakterisierbar



[www.steinrein.com](http://www.steinrein.com)

**Hochgradige Metamorphe:** heterogen, komplex, tektonisiert



[www.geozentrum-ktb.de](http://www.geozentrum-ktb.de)

**Granit:** - undeformiert, homogen geometrisch charakterisierbar,

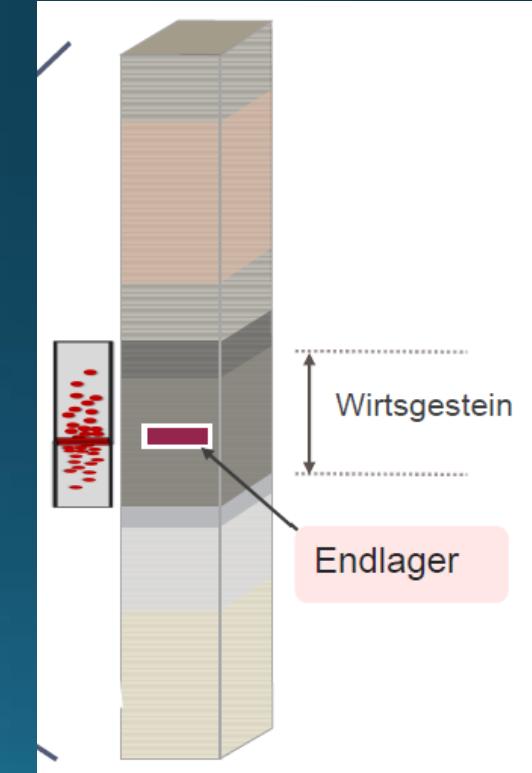
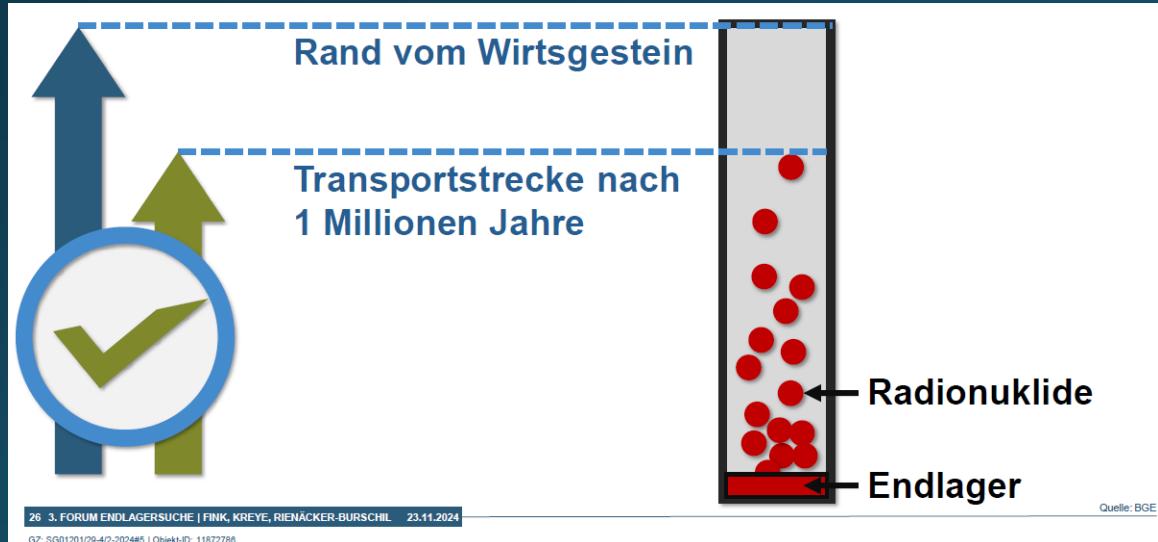


[www.vfmg-weiden.de](http://www.vfmg-weiden.de)

# Was ist wichtig im Ton?

- **Prüfschritt 3** nummerische **Transportberechnungen**
- **Kennzahl ( $I_M$ )** zur Einhaltung der Grenzwerte innerhalb des Wirtsgesteins
- **Kennzahl ( $I_{M-Geo}$ )** zur quantitativen Bewertung der Mächtigkeit des Wirtsgesteins in Prüfschritt 4
- Quantitative **Berechnungen** der Transportlängen sind fachlich nachvollziehbar
- Zur räumlichen **Einengung** der Gebiete geeignet

Hauptgruppen	Kriterien
	Beinflussung der Barrierefunktion -Risiko durch Grundwasserbewegungen
	Diffusionsbestimmende Eigenschaften (diffusiver Transport)
1-Einschluss eigenschaften des Wirtsgesteins	Risiko hydroatisch wirksamer Einschätzungen im WbB
	Selbstabdichtungsvermögen
	Quantitative Bewertung der Eigenschaften des WbB hinsichtlich des Massen- und Stoffmengenaustauschs
	Sorptionseigenschaften und Rückhaltevermögen gegenüber Radionukliden
	Auflösungszone
2-Langfristige Stabilität und Integrität (Erhalt der Barrierefunktion)	Migmatismus
	Sedimentäres organisches Material
	Tiefelage hinsichtlich des Einflusses subglazialer Rinnen
	Tiefelage hinsichtlich Erosion
	Verhalten des Wirtsgesteins gegenüber Gasdruck
	Geophysikalische Charakterisierbarkeit
3-Räumliche Charakterisierbarkeit und Zuverlässigkeit der Sicherheitsausage	Räumliche Variabilität der Gesteine im WbB
	Tektonische Überprüfung
	Einfluss von Parametervariationen auf den Massen- und Stoffmengenaustausch
4-Betriebssicherheit und technische Realisierbarkeit	Grundsätzliche Möglichkeit des sicheren Betriebs und Bewertung von Einwirkungen von außen auf die übertragenen Anlagen
	Flächenbedarf und Flächengeometrie
	Gebirgsmechanischer Machbarkeitsgrad
	Gebirgstemperatur



# Kriterien und Kriterienkataloge - Status

- **Große Fortschritte** bei der rvSU in allen WGs seit Herbst 2024 erkennbar.
- Steckbriefe mit Herleitung und Beschreibung sollen zusammen mit Arbeitsständen der Bearbeitung der Teilgebiete im **Nov. 2025** veröffentlicht werden.
- Die Kriterien und die fachliche Herleitung von Wertungsgruppen sind **fachlich nachvollziehbar**.

## PS 1 und 2:

- Die rvSU- Kriterienkataloge der WGs werden sich nicht wesentlich ändern.
- Die rvSU-Kriterien haben die fachliche Qualitätssicherung durchlaufen (meist externe) und sind getestet an Gebieten in allen Wirtsgesteinen – **starke Reduktion von Gebietsflächen**.

## PS 3:

- **Nur im Ton** anwendbar, praktisch immer erfüllt, kein Ausschluss, möglicherweise nochmals in PS 4a&b.

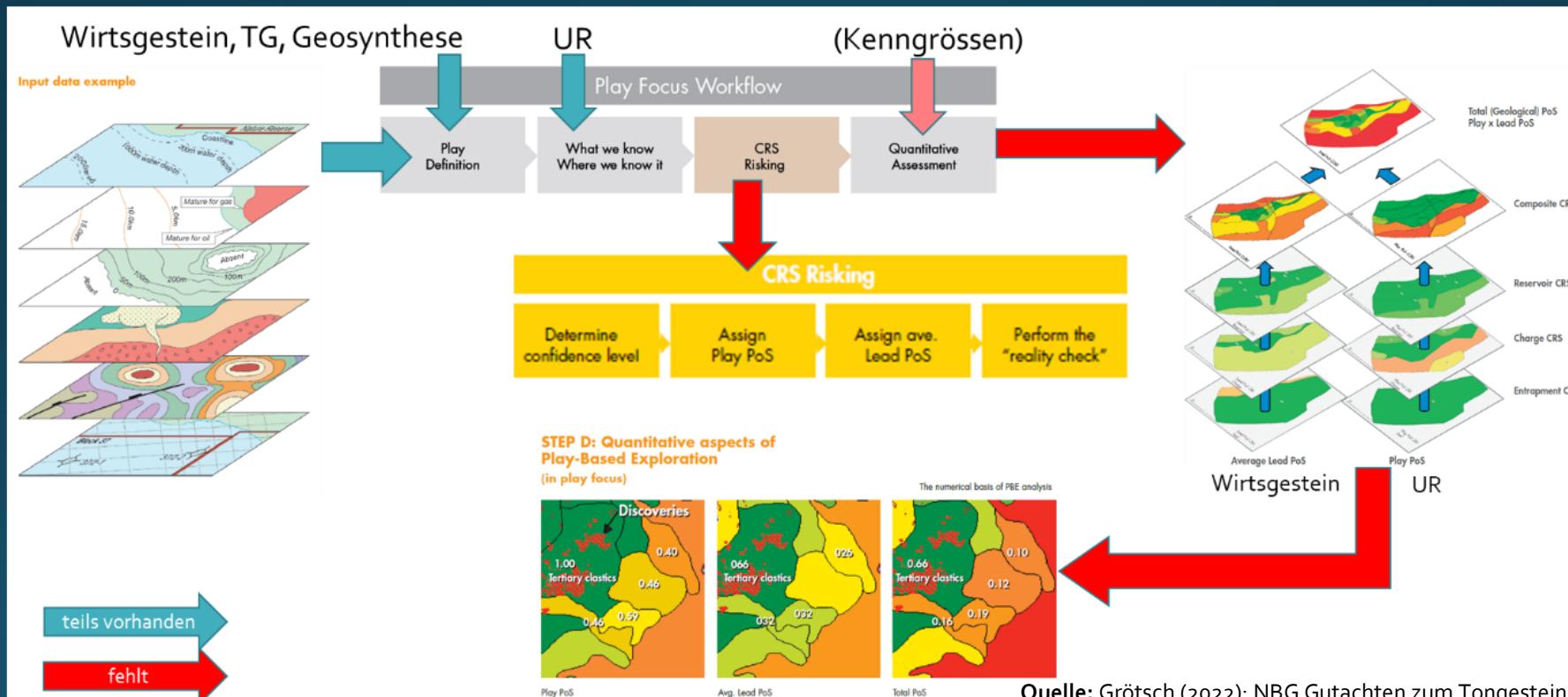
## PS 4:

- Die rvSU-Kriterien sind teils noch in der Entwicklung.
- Ausarbeitung der rvSU-Kriterien im PS 4 sind als interne Arbeitsdokumentation vorhanden.

# 5. Workflow und Integration

# Workflow – Multi-Kriterien-Karten

- BGE entwickelt quantitativen Workflow - ähnlich „Play-based Exploration“ in der Kohlenwasserstoffindustrie
- PS 4a: Lokalspezifische Kriterien im **INTERSECT-Tool** der BGE – erlaubt Vergleichbarkeit innerhalb von WG
- Überlagerung von Karten zu Kombinierten Multi-Kriterienkarten

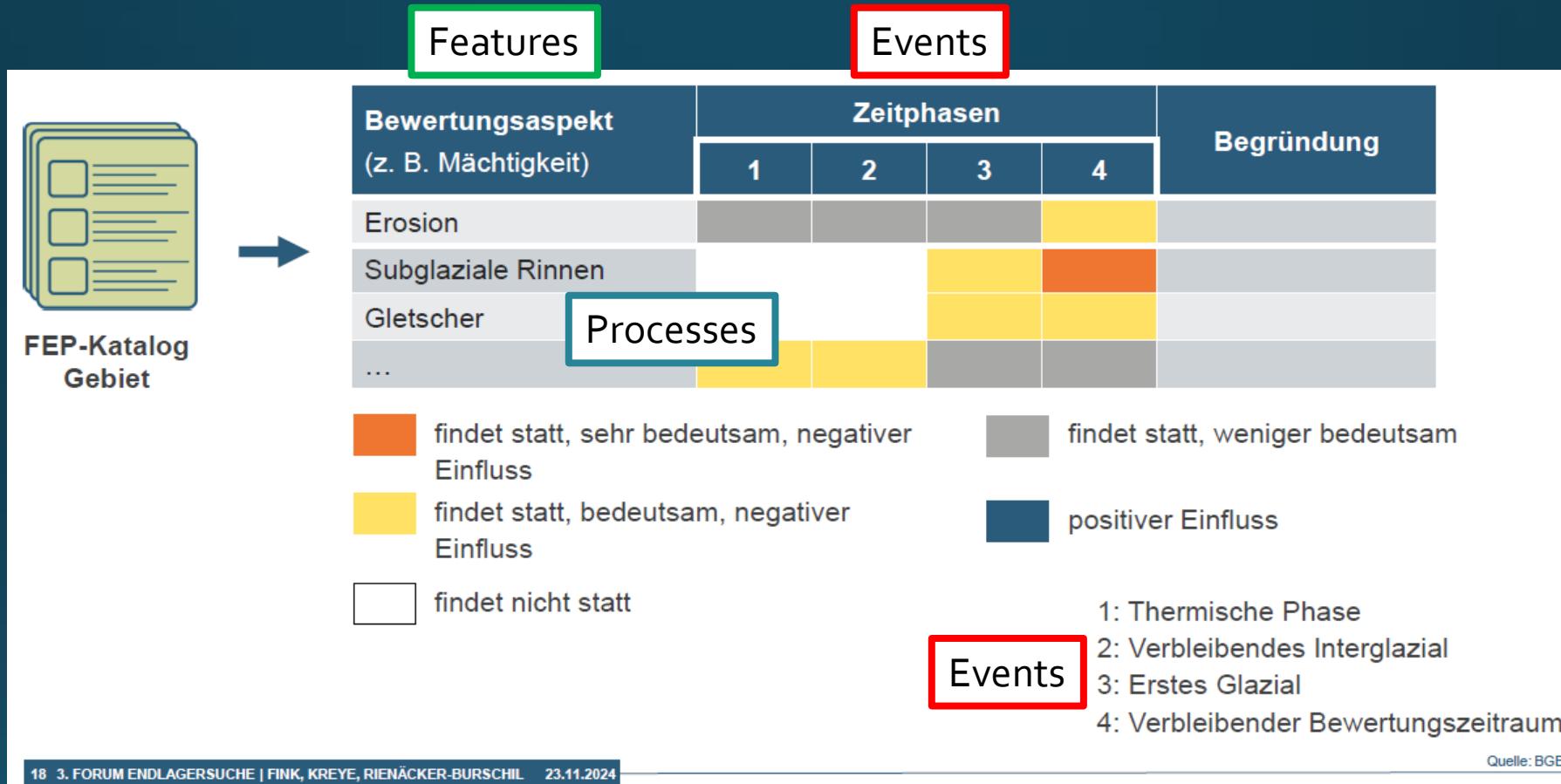


# PS 4b – Was ist die EVENT-Methode?

Semi-quantitative Kriterienbewertung
Ausgezeichnet
Sehr gut
Gut
Befriedigend
Mangelhaft

- **Jedes Kriterium** erhält **Wertungsgruppe** von „ausgezeichnet“ bis „mangelhaft“
- **Gewichtung** eines Kriteriums auf die Wirtsgesteinsbewertung ist unterschiedlich
- **Aggregierung** der Bewertung der einzelnen Kriterien zu einer Gesamtbewertung in PS 4b
- Erfolgt **verbalargumentativ** auf Basis einer qualitativen (EVENT-Methode) und quantitativen (z.B. Modellierung Radionuklidtransport)
- **Analyse von Stärken und Schwächen** des Gebietes
- Zusätzlich werden die **Ungewissheiten** betrachtet – ähnlich SWOT-Analyse

# Features, Events and Processes (FEP)



**Beispiel** – Die Mächtigkeit des Wirtsgesteins kann durch wiederholte Gletschererosion reduziert werden. Die FEP-Methode schätzt ein, wie bedeutsam das für die Sicherheit des Endlagers ist.

# 6. Qualitätssicherung

# Qualitätssicherung

## 1. Interne Qualitätssicherung

- **Wirtsgesteins-Koordinatoren** innerhalb der Abteilung BGE-Standortsuche
- Prüfschritte haben **Prüfpläne** mit Ampel und Zustimmungsprotokollen
- Digital Dokumentation im **VERS-Tool**

## 2. Externe Qualitätssicherung

- F&E-Projekte und Studien von externen Forschungs-Institutionen
- Spezielle Gutachten der BGR
- Gutachten der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS)
- Gutachten im Auftrag des BASE
- Austausch mit Fachberatern\*innen, Beratern\*innen und Juristen\*innen
- Einbeziehung von externen Partnern\*innen in den BGE-Review-Prozess

## 3. Geologisches Risikomanagement - neu

- Aspekte die nicht in den Kriterienkatalogen berücksichtigt sind
- z.B. Risiko der Migration von Fluiden und Gasen in Steinsalz

# 7. Verwendung der F&E-Projekte

# Verwendung der F&E-Projekte

Enge und wünschenswerte Verbindung zwischen:

- **rvSU-Kriterien** und ihrer Entwicklung, sowie
- den Zielen, der Durchführung und den Ergebnissen der von der BGE beauftragten **F&E Projekte**

## Themenfeld 2 „Geowissenschaftliche Fragestellungen“

Geologische und klimatische Prozesse, Eigenschaften der Wirtsgesteine

Internbau in steilen Salzstrukturen  
(BGR 2024; Kriterien in PS2&4)

Quantifizierung subglazialer Erosion  
(Uni Aarhus, LUH 2025; Kriterien in PS2)

Atlas mineralogische- und petrophysikalische Eigenschaften Kristallin  
(TUD A 2023; Kriterien in PS2, 3, 4)

## Themenfeld 4 "Durchführung von Sicherheitsuntersuchungen"

Anforderungen an die Langzeitsicherheit und die betriebliche Sicherheit

Parameter für Freisetzung, Sorption und Transport von Radionukliden  
(KIT, HZDR, FZJ 2025; Kriterien in PS3)

Ungewissheiten und Robustheit hinsichtlich Sicherheit eines Endlagers  
(LUH & 11 Partner 2025; Kriterien in PS3, 4)

# 8. Schlussfolgerungen

# Schlussfolgerungen

1. Die für die einzelnen Prüfschritte definierten **Kriterien** sind inzwischen hinreichend entwickelt.
2. **Kriterienkataloge** für jedes Wirtsgestein sind eine gute Grundlage für die Arbeitsabläufe. Dokumentation fehlt noch.
3. rvSU-Prüfschritte 1 und 2 erlauben inzwischen eine **deutliche Reduktion der verbleibenden Gebiete**.
4. **Fokus** ist jetzt auf Prüfschritten 4a und 4b, d.h. Eingrenzung von Gebieten mit den größten Sicherheitsreserven.
5. Potenzielle **Kategorie A-Gebiete** in allen Wirtsgesteinen deutlich erkennbar - **Ziel Ende 2027** ist möglich.
6. **Workflows** erlauben die **Integration** und den späteren transparenten **Vergleich** von Kategorie A-Gebieten.
7. **Qualitätssicherung** durch Wirtsgesteinskoordinatoren moderiert und durch Software dokumentiert.
8. **Geologisches Risikoregister** wird aufgebaut - für bis jetzt noch nicht erfasste Aspekte.
9. **Forschungs- und Entwicklungsarbeiten** von externen Einrichtungen unterstützend ausgeführt - Notwendigkeit.
10. **Empfehlungen:** Geodatenmanagement in Deutschland, gemeinsame Ressourcennutzung mit SGD, Standardisierung von Terminologie, Wassereinbrüchen und Internbau im Salz Stein, zeitnahe Dokumentationen .....

# Fragen & Antworten