



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Berlin, 14.11.2019, 2. Statuskonferenz Endlagerung

Wie ist der Stand bei der Ermittlung der Teilgebiete?

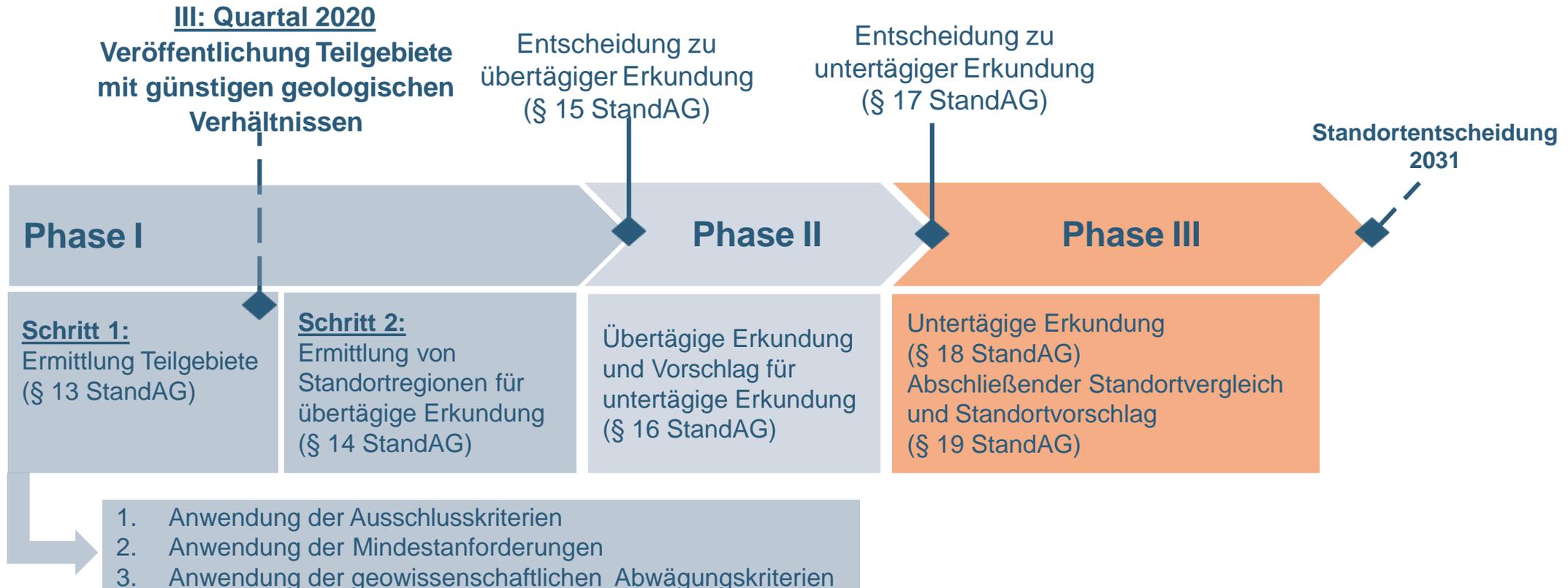
Dr. Jörg Tietze

- 15:30 Uhr – Einführung & Ausschlusskriterien
Genereller Verfahrensablauf, Grundsätze, Datenabfragen und -lieferungen, Anwendungsmethoden der einzelnen Ausschlusskriterien
- 16:15 Uhr - Mindestanforderungen
Datenabfragen und -lieferungen, Kristallinbegriff und Anwendungsmethoden
- 17:00 Uhr - Geowissenschaftliche Abwägungskriterien
Datenabfragen und -lieferungen, Kristallinbegriff und Anwendungsmethoden
- Zwischenbericht Teilgebiete

Einführung

Vortrag: 20 min. / Fragen, Antworten und Hinweise: 25 min.

Phasen der Standortauswahl



Wo wir stehen



Ausschlusskriterien

Verfahrensgrundsätze

- Gebiete, die ausgeschlossen wurden, können, auch bei aktualisierter Datenlage, nicht mehr in das Verfahren aufgenommen werden
- Alle Ausschlusskriterien werden unabhängig voneinander deutschlandweit angewendet

Datenabfragen und -lieferungen

- Datenabfragen für die Anwendung der Ausschlusskriterien starteten im August 2017
- Konkretisierung (Arbeitshilfe) im I. Quartal 2018
- Verschiedene aktualisierte Datenabfragen in 2018 und 2019 (z.B. atektonische Vorgänge, Bergbau)
- Datenmengen (Stand Oktober 2019):
 - Ca. 180 Datenlieferungen, davon 98 mit Daten zu den Ausschlusskriterien (ca. 50 %)
 - > 150 000 Dateien, > 100 Datenformate und > 500 GB
- Daten werden mit IDs versehen, homogenisiert und in Datenbanken gespeichert

(1) Ein Gebiet ist nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn mindestens eines der Ausschlusskriterien nach Absatz 2 in diesem Gebiet erfüllt ist.

(2) Die Ausschlusskriterien sind:

- 1. großräumige Vertikalbewegungen*
- 2. aktive Störungszonen*
- 3. Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit*
- 4. seismische Aktivität*
- 5. vulkanische Aktivität*
- 6. Grundwasseralter*

1. Großräumige Vertikalbewegungen



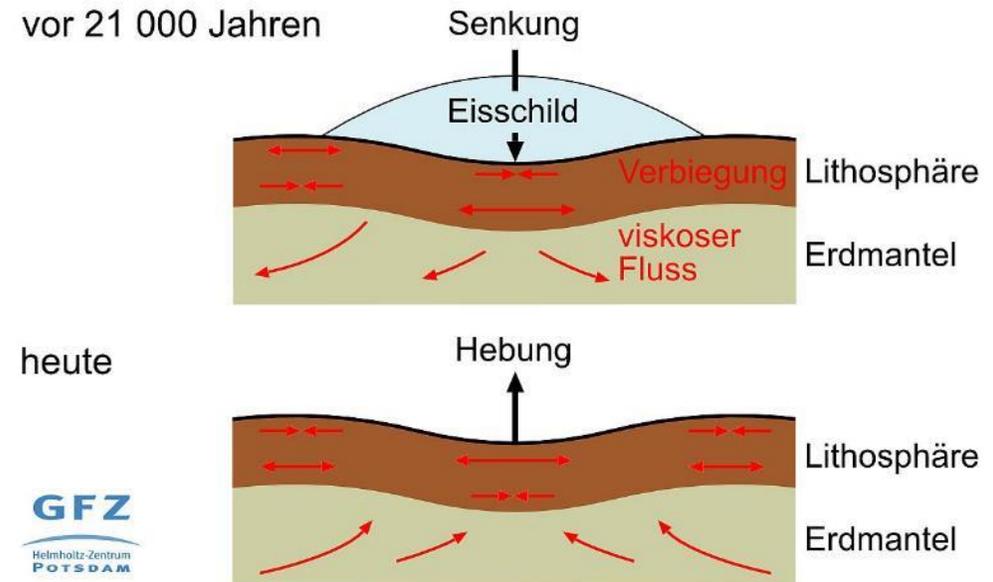
§ 22 (2) 1.

... es ist eine großräumige geogene Hebung von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zu erwarten ...

1. Großräumige Vertikalbewegungen

- Heterogene Datenlage, teils widersprüchlich, häufig Verweis auf Literatur, keine Angaben zur Prognose
- Eine Gesamtübersicht rezenter Hebungen in Deutschland wurde durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie zur Verfügung gestellt
- Bericht der BGR zur Prognosemöglichkeit liegt vor
- Ausschlussmethodik: Integration rezenter und über geologische Zeiträume wirkende Vertikalbewegungen und deren Ursachen in konsistente geodynamische Modellvorstellungen zur qualitativen Kategorisierung von Eintrittswahrscheinlichkeiten

Postglaziale Hebung: Eine von vielen möglichen Hebungsursachen



Quelle: Deutsches GeoForschungsZentrum

2. Aktive Störungszonen

§ 22 (2) 2. *aktive Störungszonen in den Gebirgsbereichen, die als Endlagerbereich in Betracht kommen, einschließlich eines abdeckenden Sicherheitsabstands, sind geologisch aktive Störungszonen vorhanden, die das Endlagersystem und seine Barrieren beeinträchtigen können;*

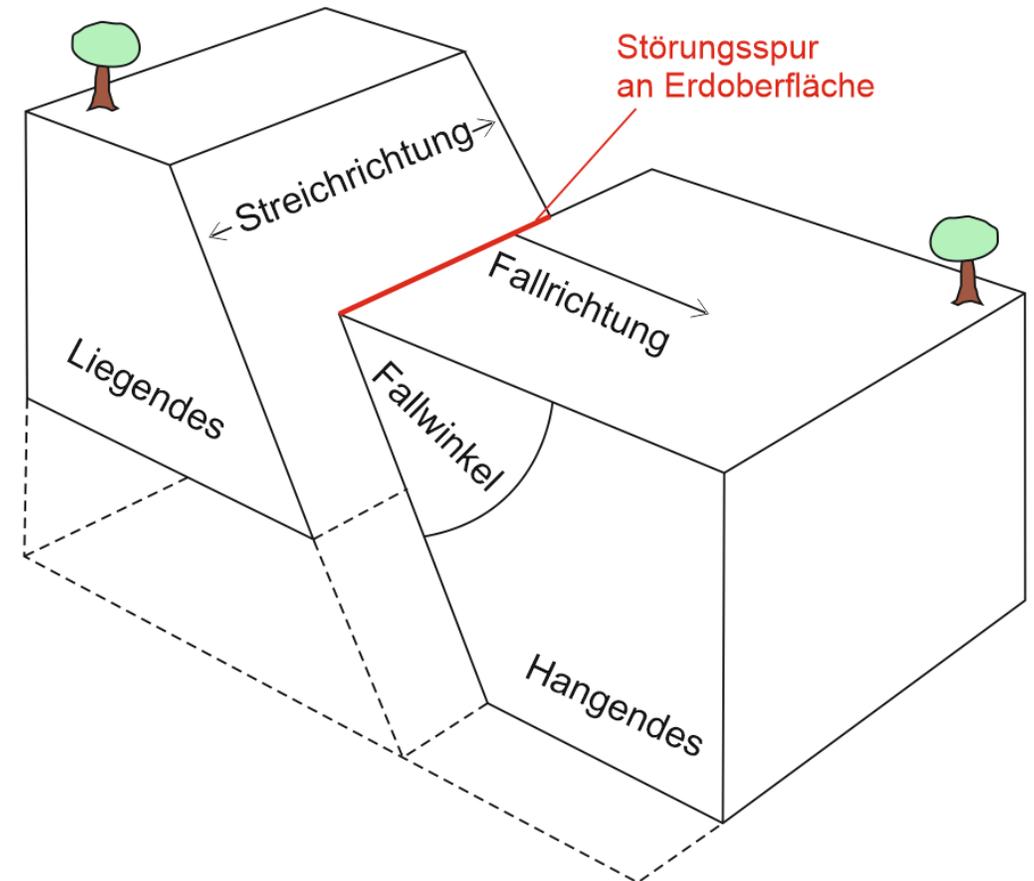
*Unter einer „aktiven Störungszone“ werden Brüche in den Gesteinsschichten der oberen Erdkruste wie Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz sowie ausgedehnte Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung, an denen nachweislich oder **mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute, also innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre, Bewegungen stattgefunden haben.***



Quelle: Simmon und Jesse 2013, NASA Earth Observatory images

2. Aktive Störungszonen

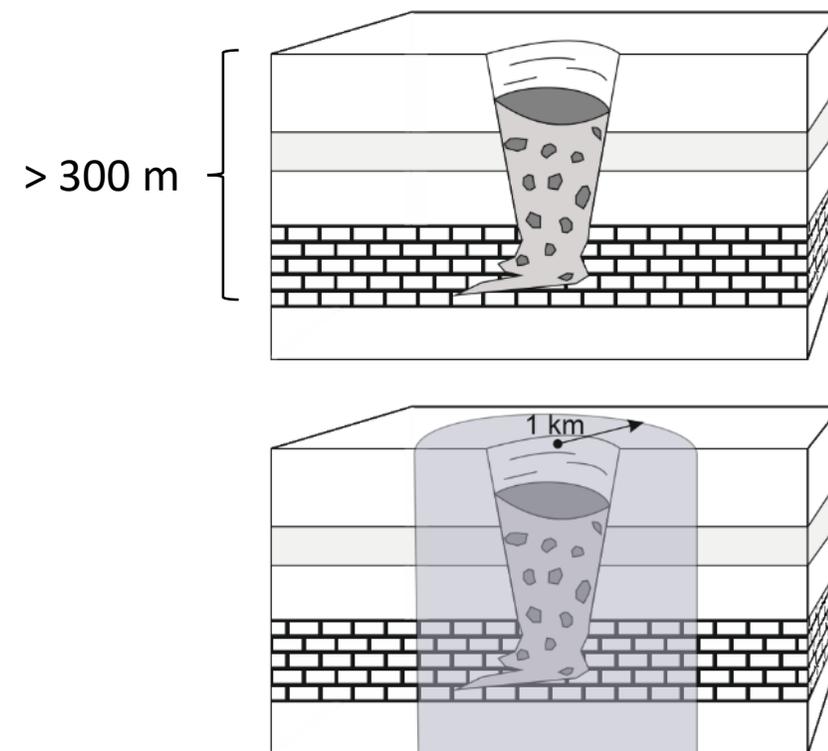
- Große, heterogene Datenmengen: ca. 750.000 Datensätze
- Ca. 9% der Störungszonen sind als „aktiv“ (jünger als 34 Mio. Jahre) eingestuft, ca. 87% der Störungszonen mit „Aktivität unbekannt“
- Hinreichende Informationen über die Raumlage (z.B. Fallrichtung und Fallwinkel, max. Tiefe) sind für weniger als 1% der Störungszonen übermittelt
- Datenquellen:
 - kartierte Störungsspuren aus geologischen Karten
 - an die Erdoberfläche projizierte Störungsspuren
 - aus 3D-Modellen exportierte Störungsflächen
 - Störungsspuren aus Dissertationen und Berichten



2. Atektonische Vorgänge

§ 22 (2) 2. „... Atektonische beziehungsweise aseismische Vorgänge [...] die zu ähnlichen Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen führen können, sind wie diese zu behandeln.“

- Hauptsächlich Angaben zu Erdfällen, Subrosionsgebieten, Karstgefährdungsgebieten, Deformation durch Gletscherüberfahung, Impaktereignissen (z.B. Nördlinger Ries)
- Angaben zur Entstehungstiefe sind nur in einzelnen Fällen vorhanden
- Ausschlussmethodik:
 - Vorgänge mit Entstehungstiefen > 300 m werden mit 1 km Sicherheitsabstand in allen endlagerrelevanten Tiefen ausgeschlossen.
 - Vorgänge mit Entstehungstiefen < 300 m werden nicht ausgeschlossen
 - Ermittlung von Entstehungstiefen mit Hilfe von 3D-Modellen in Vorbereitung





§ 22 (2) 3.

... das Gebirge ist durch gegenwärtige oder frühere bergbauliche Tätigkeit so geschädigt, dass daraus negative Einflüsse auf den Spannungszustand und die Permeabilität des Gebirges im Bereich eines vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs oder vorgesehenen Endlagerbereichs zu besorgen sind ...

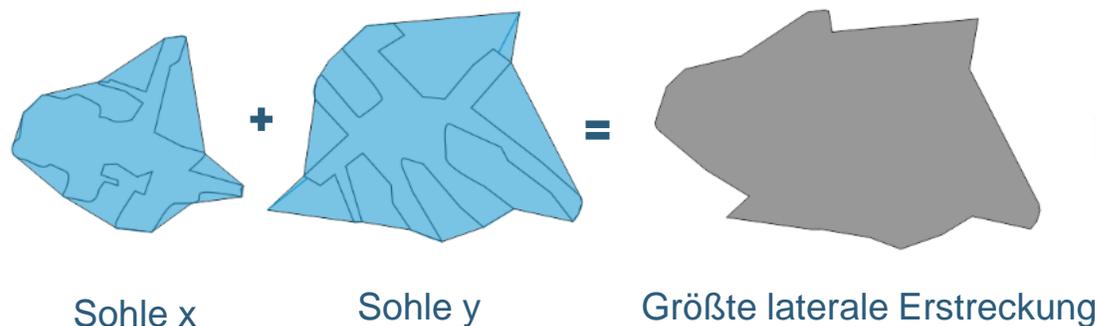
Quelle: BGE
Asse II – 725-m-Sohle

3a. Bergwerke – Ausschlussmethodik

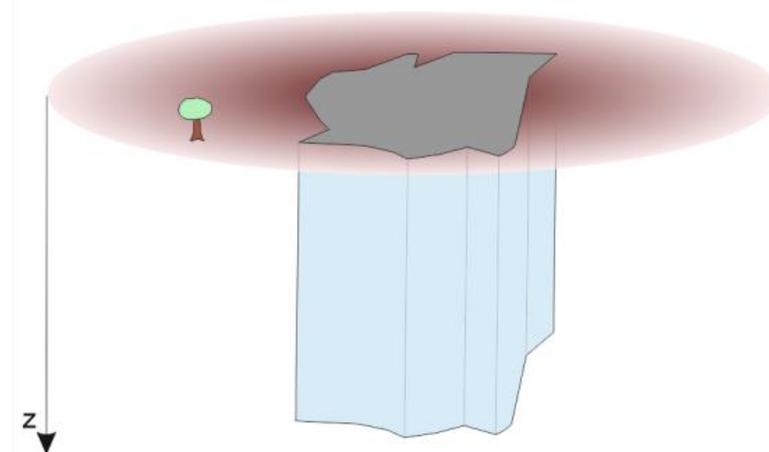
- Benötigte Mindestinformationen:

1. *Größte laterale Erstreckung des Bergwerks inkl. ausgewiesener Gebirgsschädigung*

2. *Maximale Teufe des Bergwerks*



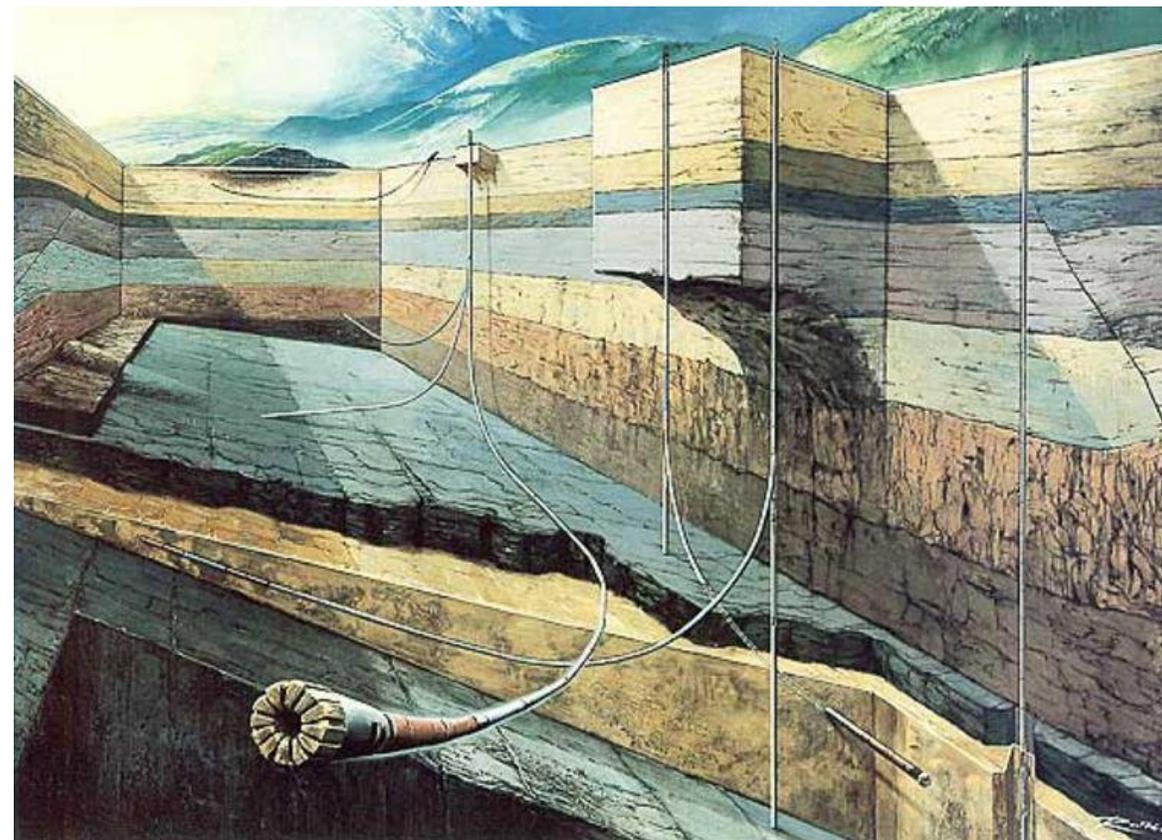
- Ergänzung des Einwirkungsbereichs der bergbaulichen Tätigkeit
- Modellierung eines dreidimensionalen Körpers, der die vereinfachte Geometrie des Ausschlusskörpers repräsentiert
- Anwendung mind. bei allen aktiven, unter Bergaufsicht stehenden, Bergbaubetriebe
- Herausforderungen:
 - Beschaffung von Untergrundinformationen
 - Einheitliche Ausweisung von Bereichen der Gebirgsschädigung



3b. Bohrungen

§ 22 (2) 3. „... vorhandene alte Bohrungen dürfen die Barrieren eines Endlagers, die den sicheren Einschluss gewährleisten, in ihrer Einschlussfunktion nachweislich nicht beeinträchtigen.“

- Große Datenmengen: mehrere zehntausend endlagerrelevante Bohrungen
- Aufwändige Homogenisierung aufgrund der heterogenen Datenqualität (v.a. Koordinaten, Bohransatzhöhen und Ablenkungsdaten)
- Häufig Konstruktion von Bohrpfeifen nötig



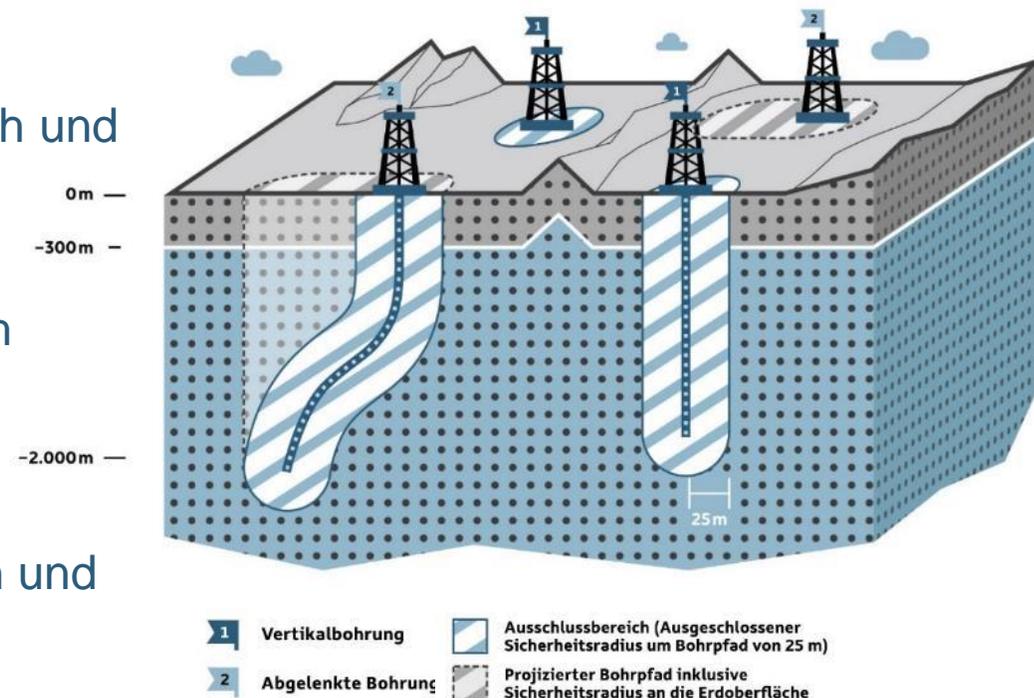
Quelle: <https://www.bveg.de/Erdgas/Technik-Standards/Aufsuchung-und-Bohren/Bohrtechnik>

3b. Bohrungen

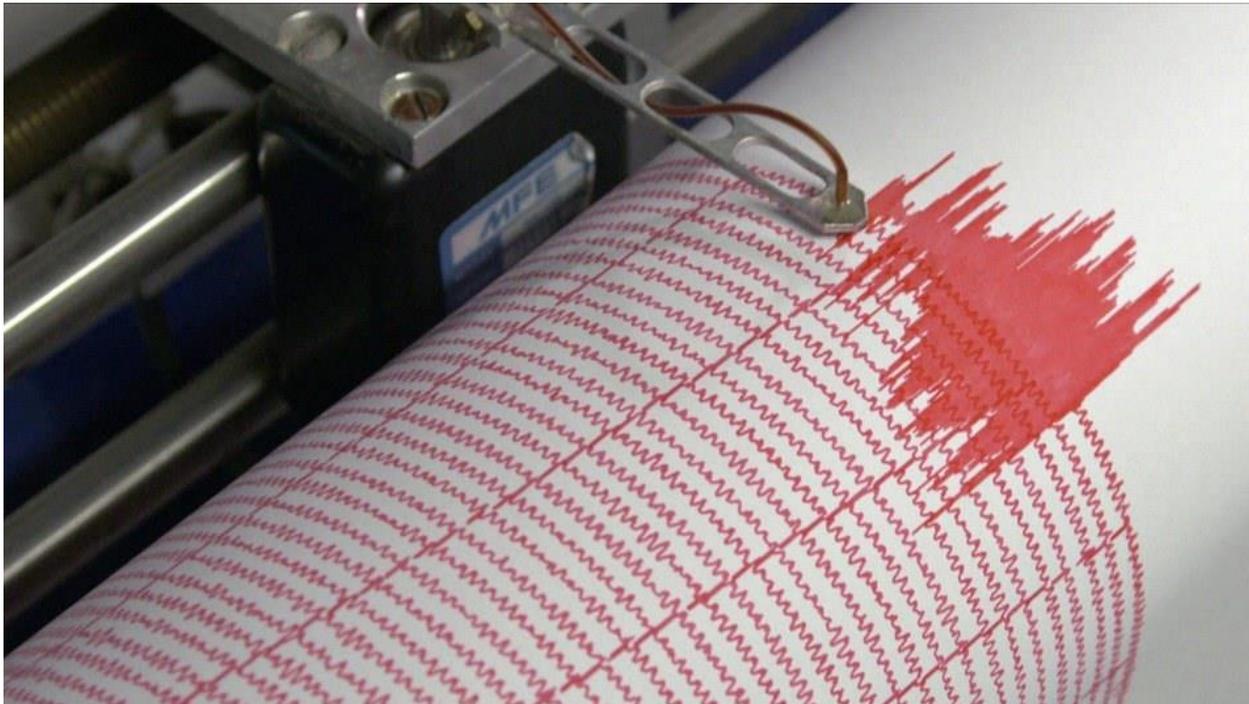
Aktuelle Ausschlussmethodik:

- Es wird ein Ausschlussradius von 25 m um den gesamten Bohrfad festgelegt (berücksichtigt den Schädigungsbereich und Lageungenauigkeiten).
- Zwei verschiedene Visualisierungsarten:
 1. Vertikalbohrungen, die den endlagerrelevanten Bereich komplett durchteufen, werden als ausgeschlossen dargestellt.
 2. für die Darstellung von Vertikalbohrungen, die den endlagerrelevanten Bereich nicht komplett durchteufen und abgelenkten Bohrungen wird der Bohrfad inkl. Ausschlussradius an die Oberfläche projiziert.

→ ausgeschlossenes 3D-Objekt im Untergrund, kein Ausschluss für den gesamten endlagerrelevanten Teufenbereich



4. Seismische Aktivität



Quelle: Bayerischer Rundfunk

§ 22 (2) 4.
*... die örtliche seismische Gefährdung
ist größer als in Erdbebenzone 1 nach
DIN EN 1998-1/NA 2011/-01 ...*

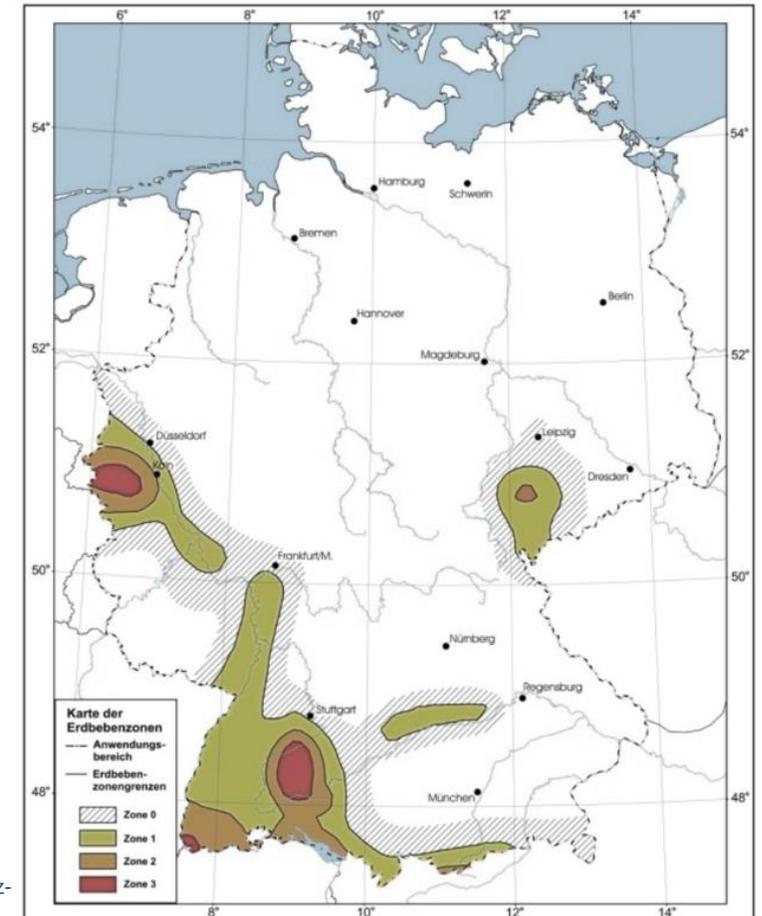
4. Seismische Aktivität

§ 22 (2) 4.
... die örtliche seismische Gefährdung ist größer als in
Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011/-01;

Datenlieferungen der Landes- und Bundesbehörden:

- Erdbebenzone 0 bis 3 (Polygone) aus der DIN EN 1998-1/NA: 2011-01
- Erdbebenereignisse (Punkte) aus den Erdbebenkatalogen der Länder

Quelle: Karte der Erdbebenzonen Deutschlands (<https://www.gfz-potsdam.de/din4149-erdbebenzonenabfrage/>)

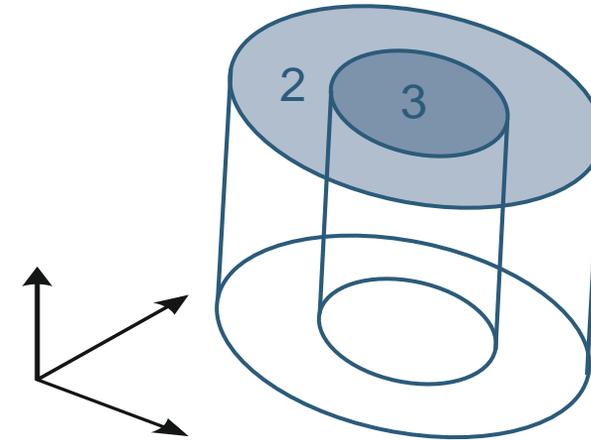


4. Seismische Aktivität

§ 22 (2) 4.
*... die örtliche seismische Gefährdung ist größer als in
Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011/-01;*

Ausschlussmethodik:

1. Auswahl der relevanten Datensätze
(Flächen mit Erdbebenzonen > 1)
2. Projektion der Flächen mit Erdbebenzonen 2
und 3 in endlagerrelevante Tiefen
3. Ausschluss des sich ergebenden
Volumenkörpers



Aktuell Überarbeitung des
Nationalen Anhangs der DIN
Übertragung der
Ausschlussmethodik auf neue DIN
in Arbeit

5. Vulkanische Aktivität



§ 22 (2) 5.

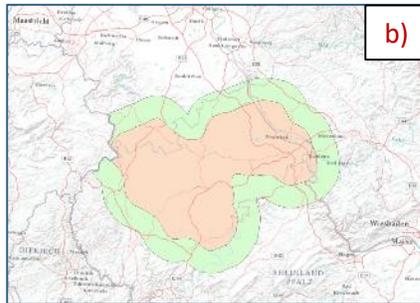
*... es liegt quartärer Vulkanismus vor
oder es ist zukünftig vulkanische
Aktivität zu erwarten ...*

Quelle: Taro Taylor edit by Richard Bartz - originally posted to
Flickr as End Of Days, CC BY 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6113476>

5. Vulkanische Aktivität

- **Status:** Heterogene Datenbasis, vereinzelt Angaben zu quartärem Vulkanismus
- Keine Angaben zur Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität

a)



b)

Prognosemöglichkeiten (May 2019)

- Erwartete Aktivität in Eifel und Vogtland
- Mögliche Aktivität in einigen tertiären Vulkanfeldern
- Vulkanische Aktivität in weiteren Gebieten nicht ausgeschlossen

Ausschreibung: Individueller Sicherheitsaufschlag auf Grundlage eines Forschungsprojektes

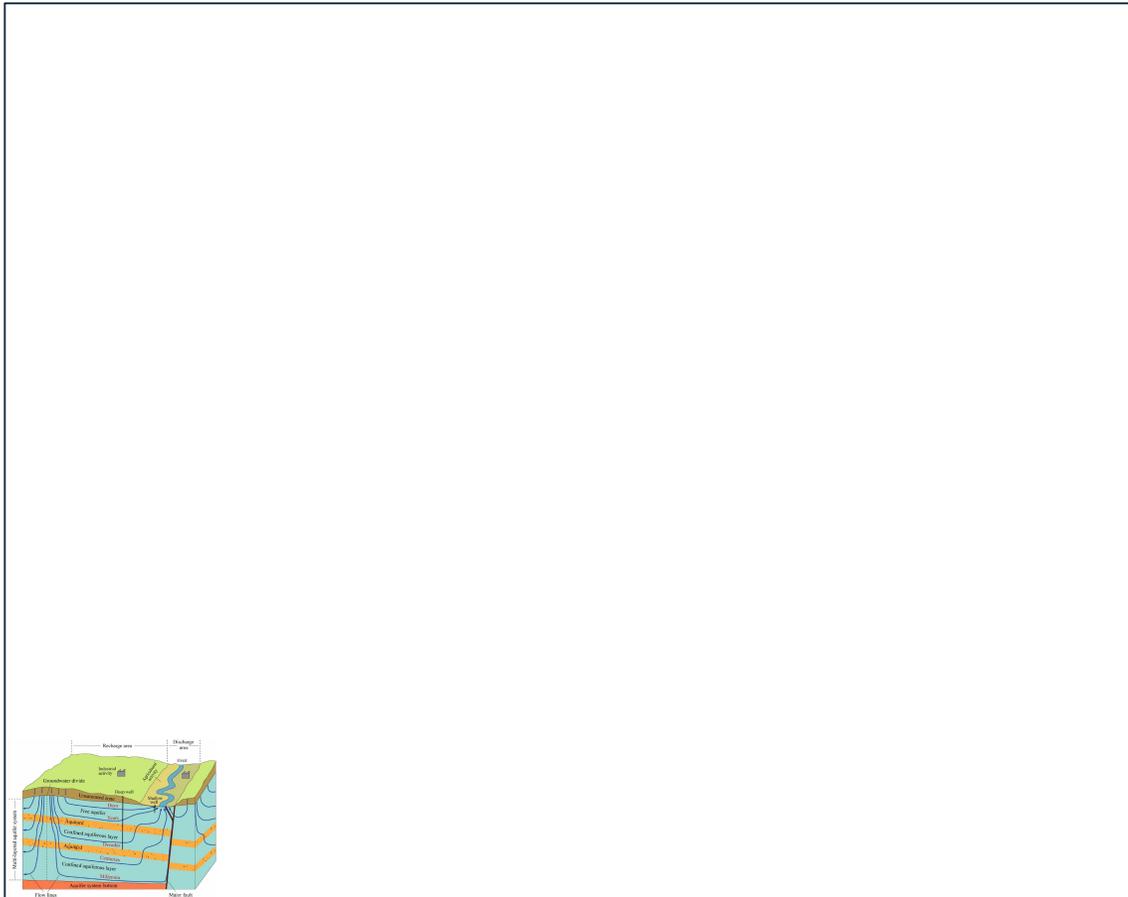
Aktuelle Ausschlussmethodik:

- Ausschluss von Bereichen mit Minimalradius von 10 km um Gebiete mit quartären In-situ-Vulkaniten bis in sämtliche endlagererlevanten Tiefen



Quelle: Hofbauer (2016): Vulkane in Deutschland, S. 10

6. Grundwasseralter

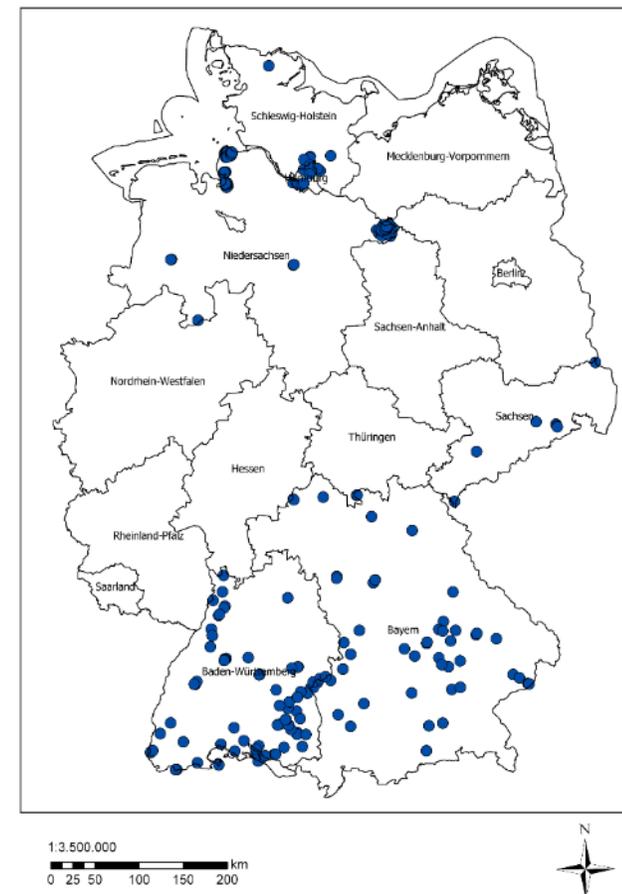


§ 22 (2) 6.

... in den Gebirgsbereichen, die als einschluss-wirksamer Gebirgsbereich (ewG) oder Einlagerungsbereich in Betracht kommen, sind junge Grundwässer nachgewiesen worden ...

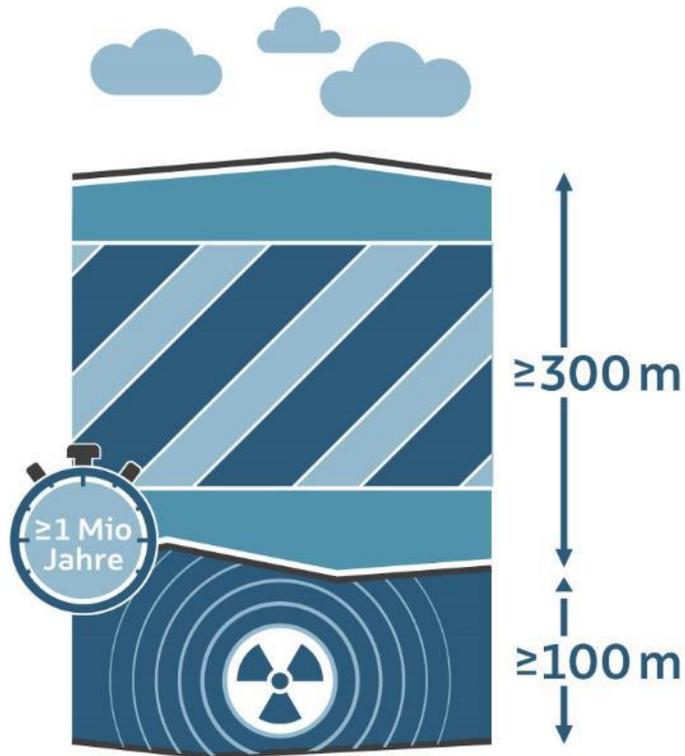
6. Grundwasseralter

- Als Bewertungsgrundlage kann die Konzentration der Isotope Tritium und Kohlenstoff-14 verwendet werden
- Tritium- und Kohlenstoff-14-Konzentrationen müssen Alter zugeordnet werden, welche validiert und ggf. durch weitere Hinweise überprüft werden müssen
- Anwendung des Kriteriums ist derzeit nicht möglich, da Kenntnis über die räumliche Ausdehnung des jeweiligen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches (ewG) erforderlich ist
- Zuarbeit BGR bis III. Quartal 2020



Mindestanforderungen

Vortrag: 20 min. / Fragen, Antworten und Hinweise: 25 min.



- **Geringe Gebirgsdurchlässigkeit**
- **Mächtigkeit mindestens 100 Meter** (Ausnahme Kristallin)
- Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) muss **mindestens 300 m unter der Geländeoberfläche** liegen²
- **Geeignete Flächenausdehnung**
- **Erhalt der Barrierewirkung für 1 Million Jahre**

¹ für Salzgestein in steiler Lagerung und Kristallin gelten besondere Anforderungen

² ggf. tiefer falls exogene Prozesse zu erwarten sind

Steinsalz



Quelle: Pixabay.com

Tonstein



Quelle: ETH Zürich

Kristallingestein



Quelle: Pixabay.com

03/2018: 1. Abfrage bei den Bundes- und Landesbehörden:

- Gebiete mit Wirtsgesteinen (Mächtigkeit >100 m) im Teufenbereich 300 m bis 2.000 m
- Lithologische bzw. stratigraphische Gliederung der unter a) identifizierten Gebiete
- Gebirgsdurchlässigkeitswerte der o.g. Gebiete/Formationen
- Tiefenlage der Quartärbasis

06/2019: 2. Abfrage bei den Bundes- und Landesbehörden:

- Bohrrakte inkl. Schichtenverzeichnisse
- Geophysikalische Bohrlochmessungen

2019: Abfrage der Geomodelle bei den Landesbehörden

Bearbeitung in geologischen 3D-Modellen

Datenbasis:

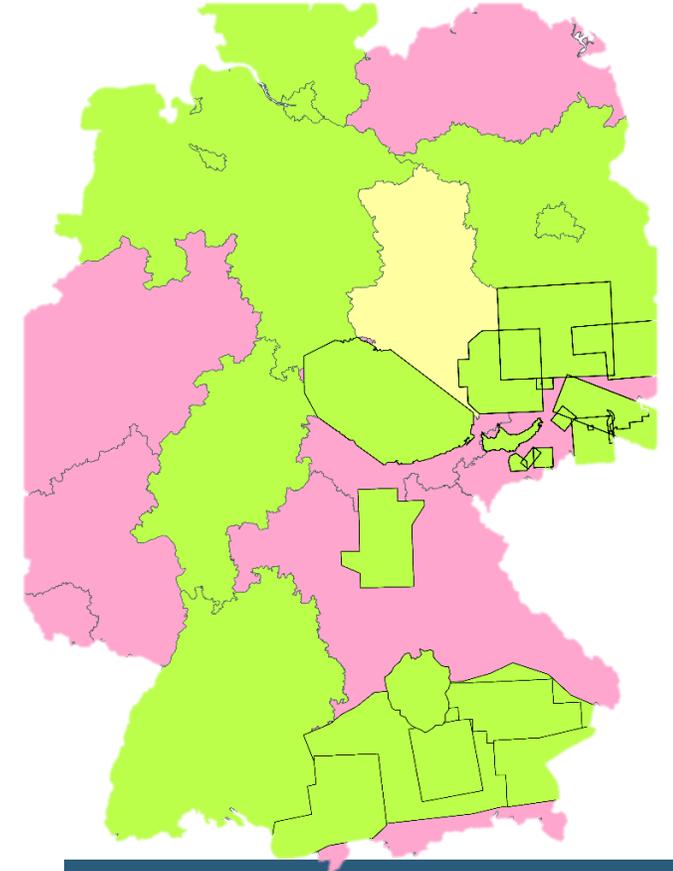
- geologische 3D-Modelle der Staatlichen Geologischen Dienste
- Bohrungen mit Schichtenverzeichnissen

Software:

- SKUA-GOCAD™ der Firma Paradigm®

Pilotprojekte:

- Überprüfung unserer Methodik in Gebieten mit etablierten Studien
 - Tonstein (Baden-Württemberg)
 - Steinsalz in stratiformer Lagerung (Hessen)
 - Kristallingestein



- Schritt 1: (minimale Teufe des ewG): Auswahl von Gebieten mit Wirtsgesteinsvorkommen zwischen > 300 m bis < 1500 m
- Schritt 2: (Mächtigkeit des ewG): Auswahl von Barrieregesteinen¹ mit mehr als 100 m Mächtigkeit (Ausnahme Kristallin)
- Schritt 3: (Fläche des Endlagers): Ausweisung der Nichteignung aufgrund zu kleiner Flächen bezogen auf den Flächenbedarf (siehe Begründung des StandAG²)
- Schritt 4: (Erhalt der Barrierewirkung): Prüfung der Integrität des ewG

Die notwendige Unterschreitung einer Gebirgsdurchlässigkeit von 10^{-10} m/s wurde bereits bei der Inventarisierung berücksichtigt. Eine detaillierte Berücksichtigung kann erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

¹vorerst nur Steinsalz, Tonstein oder Kristallingestein

² Steinsalz (3 km²), Kristallingestein (6 km²), Tonstein (10 km²)

Endlagerrelevantes Kristallingestein

Datengrundlage:

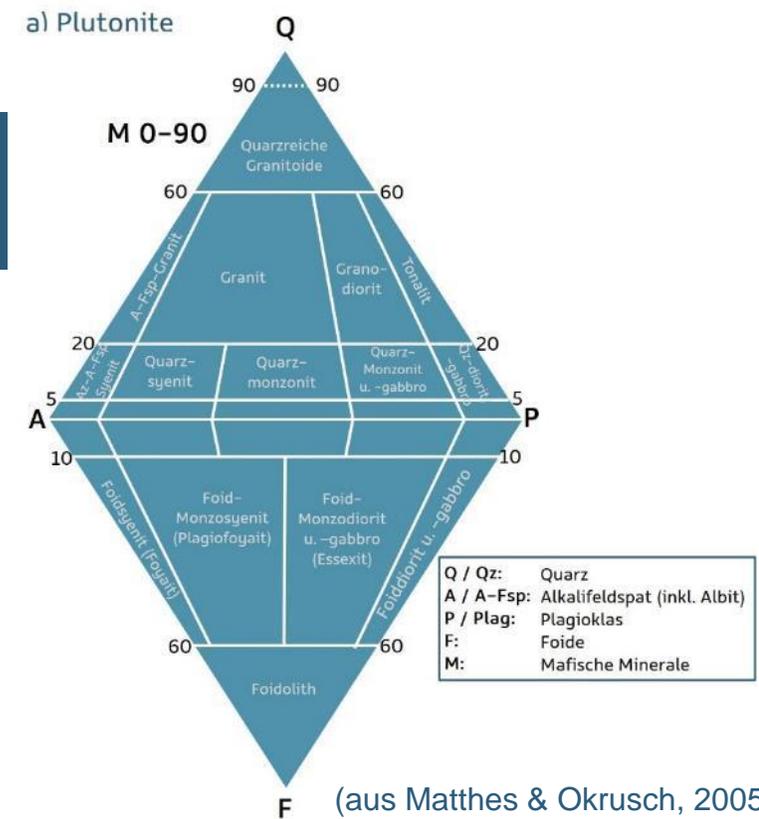
- 331 Bohrungen mit Schichtenverzeichnissen
- Geologische Übersichtskarte (GUEK 250)

Ausnahmeregelungen für die Mindestanforderungen:

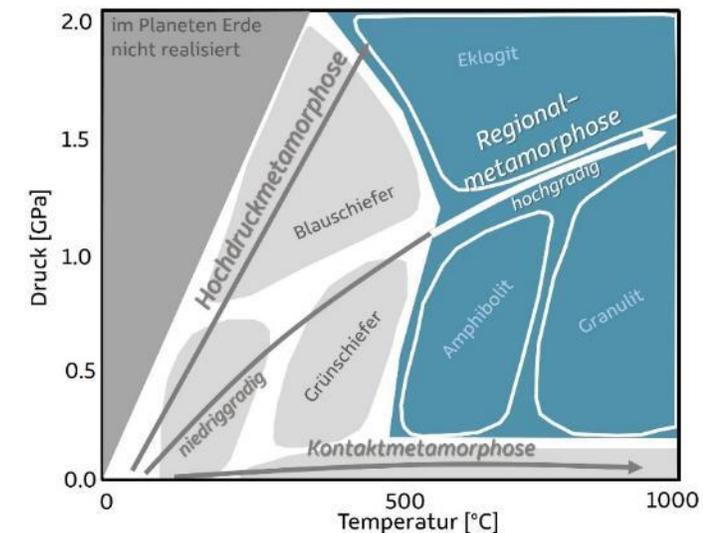
- geringere Mächtigkeit zulässig → Gewährleistung des sicheren Einschlusses durch (geo-)technische Barrieren

Begriffsbestimmung:

- Endlagerrelevantes Kristallingestein = Plutonite & hochgradig regionalmetamorphe Gesteine



b) Hochgradig regionalmetamorphe Gesteine



- Schritt 1: ist für das Gebiet flächendeckend ein oder mehrere AK erfüllt? Wenn ja, keine weitere Veranlassung
- Schritt 2: gibt es im Gebiet potentielle Wirtsgesteingesteine*?
- Schritt 3: wenn ja, Literatur- und Datensichtung und ggfs. Datenbeschaffung
- Schritt 4: wenn MA nicht erfüllt sind, keine weitere Veranlassung
- Schritt 5a: wenn MA erfüllt sind, Erstellung eines 3D-Modells auf Basis der Ergebnisse der Literatur- und Datensichtung oder
- Schritt 5b: wenn erforderliche Datendichte nicht vorhanden → Gebiete mit nicht hinreichenden Daten

Für ca. 20 % der Fläche Deutschlands ist kein 3D-Modell verfügbar (dies sind: Saarland, Rheinland-Pfalz, Südteil Sachsen-Anhalts, südwestliches Thüringen, kleine Bereiche Sachsens, Teile Bayerns)

MA: Mindestanforderungen; *vorerst nur Steinsalz, Tonstein oder Kristallingestein

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

Vortrag: 15 min. / Fragen, Antworten und Hinweise: bis 17:30 Uhr

§ 13 StandAG: „Aus den identifizierten Gebieten ermittelt der Vorhabenträger durch Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24 die Teilgebiete, die sich auf Basis der Abwägung als günstig erweisen.“

§ 24 StandAG: „Anhand geowissenschaftlicher Abwägungskriterien wird jeweils bewertet, ob in einem Gebiet eine günstige geologische Gesamtsituation vorliegt.“

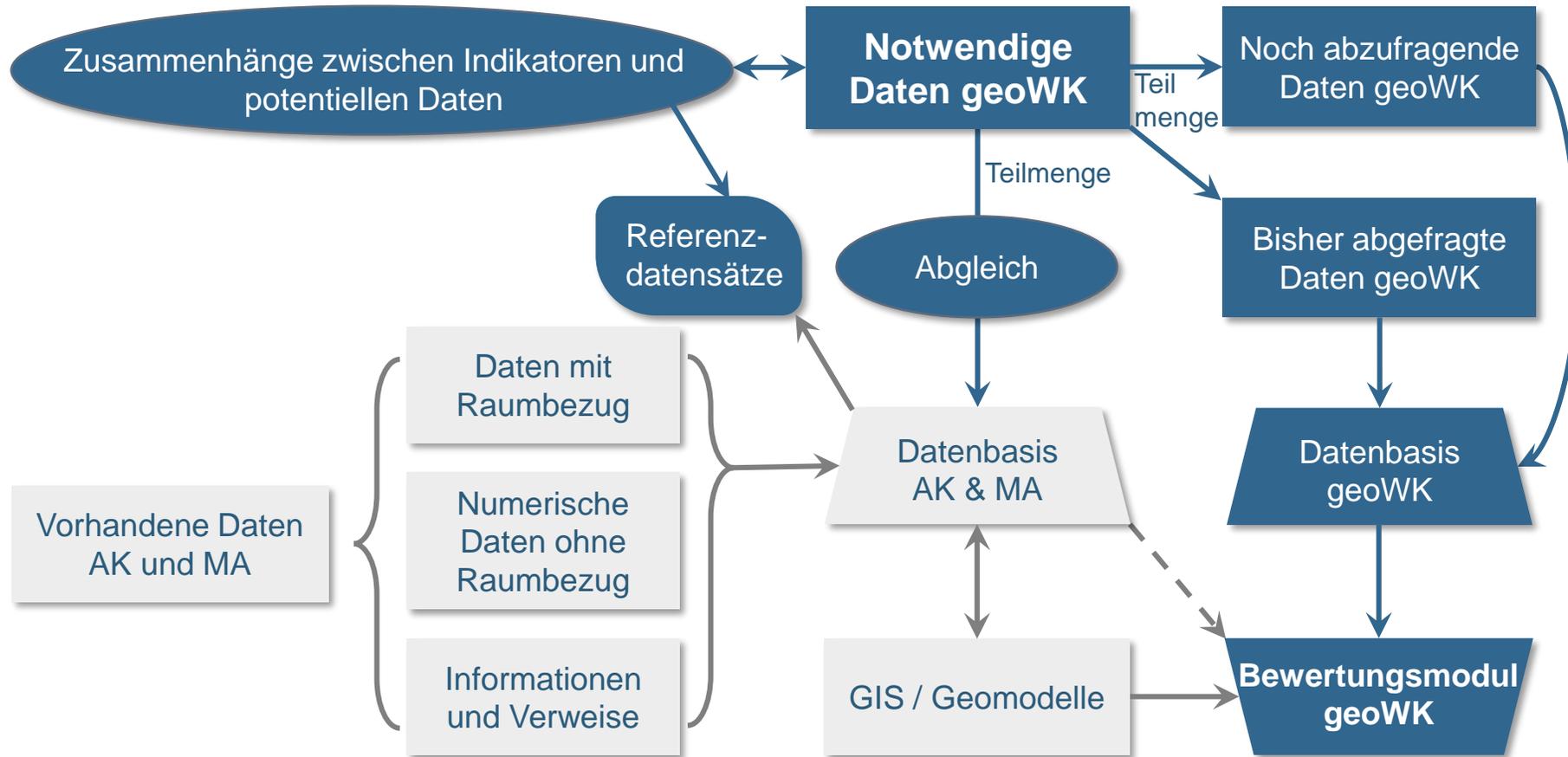
§ 24 StandAG: „Die günstige geologische Gesamtsituation ergibt sich nach einer sicherheitsgerichteten Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien“

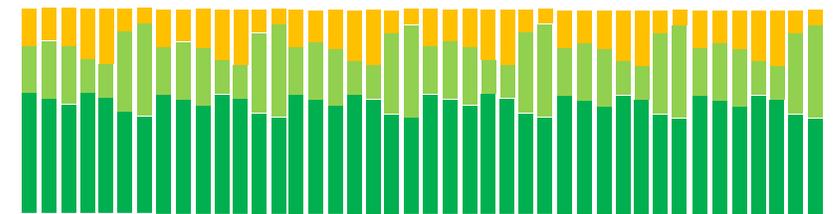
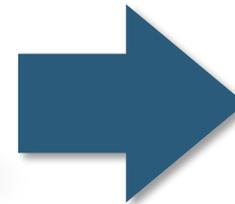
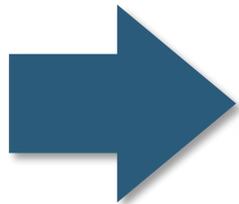
1. Alle dem geologischen Dienst **bekannt** **Störungen** des Landes (auch älter als 34 Mio. Jahre), ergänzend zur unserer früheren Abfrage der räumlichen Lage und Erstreckung neotektonischer Störungszonen, mit allen ggf. vorliegenden Zusatzinformationen bzgl. ihrer Geometrie (**Anlage 3 – räumliche Charakterisierbarkeit**)
2. **Geomechanische Eigenschaften** der Wirtsgesteine (bspw. Zug- und Scherfestigkeiten, Druckfestigkeit), zusätzlich wäre dabei eine Auflistung vorliegender hydraulischer in-situ Tests (bspw. Leak Off Tests) von besonderem Interesse (**Anlage 5 – gebirgsmechanische Eigenschaften**)
3. Angaben zur **Temperaturverträglichkeit** der Wirtsgesteine, hierbei begrenzt sich unsere Abfrage momentan auf Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Wärmeausdehnungskoeffizient und Dichte (**Anlage 8 – Temperaturverträglichkeit**)
4. Daten, vorzugsweise großmaßstäbliche Karten, der **hydrochemischen Eigenschaften** der Tiefenwässer, wobei wir die Abfrage momentan auf pH, Eh, TDS, Salinität und Karbonatgehalt, zusammen mit Fluiddruck und Temperaturangaben begrenzen (**Anlage 10 – hydrochemische Verhältnisse**)

Datenlieferungen

Bundesland	geliefert am
Berlin	09. September 2019
Mecklenburg-Vorpommern	20. September 2019
Niedersachsen	10. Oktober 2019
Rheinland-Pfalz	23. September 2019
Saarland	30. Oktober 2019
Sachsen	13. September 2019
Schleswig-Holstein	23. September 2019
Thüringen	12. September 2019

- Schriftliche Fristverlängerung: Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen
- Schriftliche Eingangsmeldung: Hamburg
- Keine schriftliche Rückmeldung: Brandenburg, Bremen, Hessen, Sachsen-Anhalt, BGR





Kriterienübersicht

Insgesamt gibt es:

- 3 Kriteriengruppen
- 11 Kriterien
- 20 Bewertungsrelevante Eigenschaften
- 40 Bewertungsgrößen/Indikatoren
- Bei zwei Kriterien Wertungsgruppe „ungünstig“ statt „weniger günstig“.
- Bei einigen Kriterien gibt es nur zwei Wertungsgruppen.
- Bei einigen Kriterien gibt es qualitative Beschreibungen für die Bewertung z.T. ohne Wertungsgruppen.

Kriterium			
1	Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator	Wertungsgruppen
2	Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator	Wertungsgruppen
		Bewertungsgröße bzw. Indikator	Wertungsgruppen
⋮	⋮	⋮	⋮
11	Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator	Wertungsgruppen

Kriteriengruppe 1

Krit. 1

RN-Transport durch GW-Bewegung im ewG

Krit. 2

Konfiguration der Gesteinskörper

Krit. 3

Räumliche Charakterisierbarkeit

Krit. 4

Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse

Kriteriengruppe 2

Krit. 5

Günstige gebirgsmechanische Eigenschaften

Krit. 6

Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten

Kriteriengruppe 3

Krit. 7

Gasbildung

Krit. 8

Temperaturverträglichkeit

Krit. 9

Rückhaltevermögen im ewG

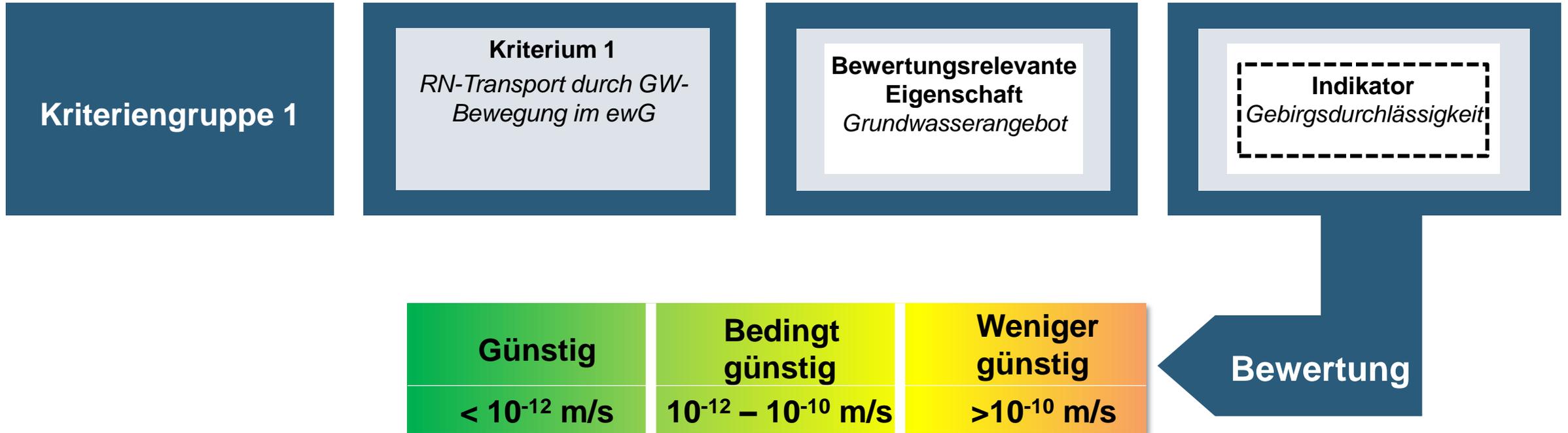
Krit. 10

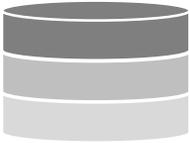
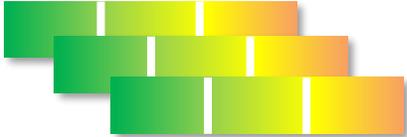
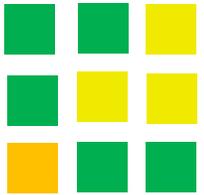
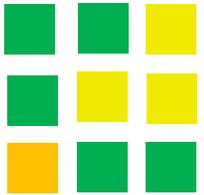
Hydrochem. Verhältnisse

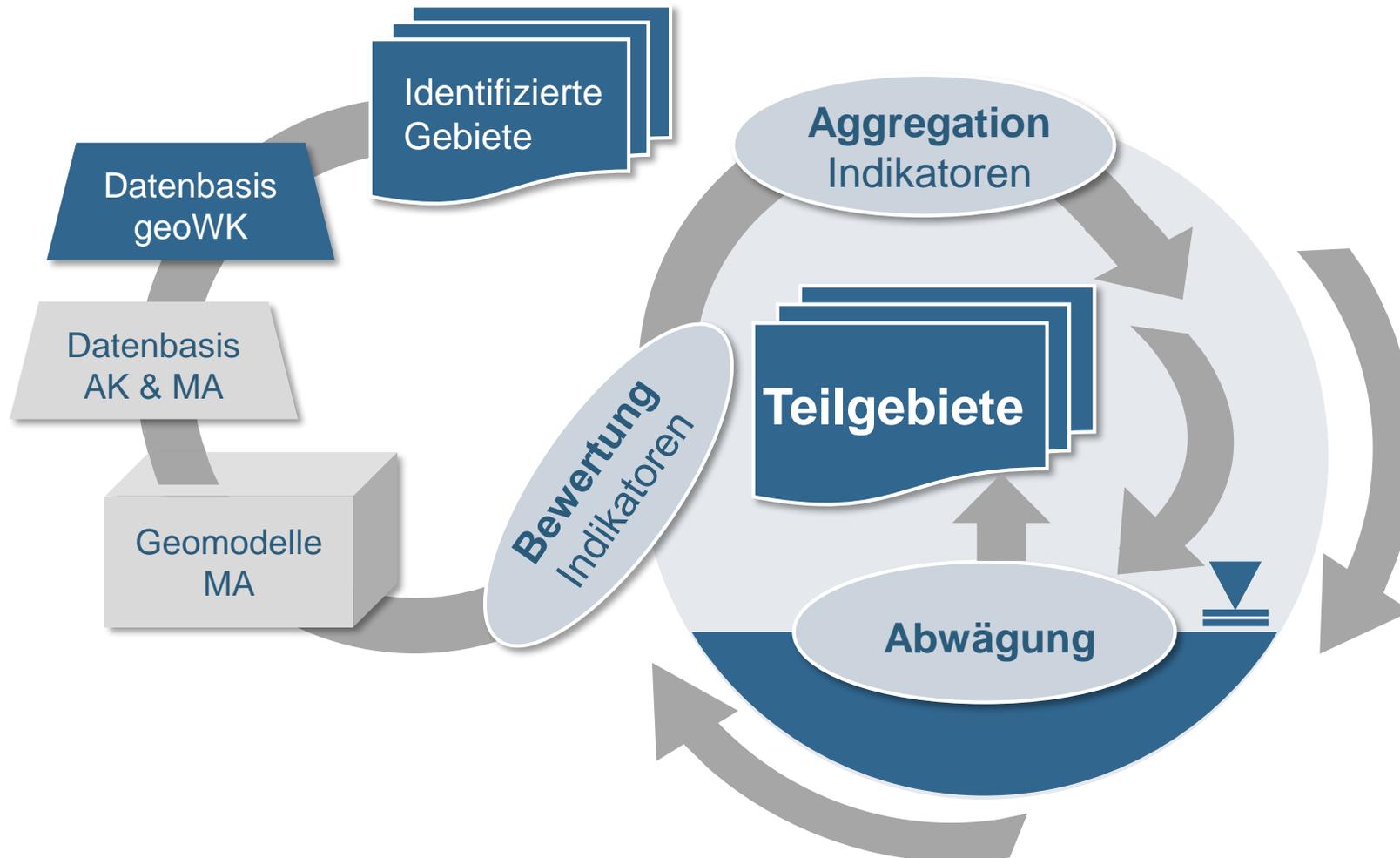
Krit. 11

Schutz des ewG durch Deckgebirge

Beispiel (1) für Wertungsgruppen der Indikatoren



- **Erfassen und Prüfen** → Unterschiedlicher Detaillierungsgrad im Laufe des Verfahrens
Unterschiedliche räumliche Quantität und Qualität der Daten
- **Prozessierung der Eingangsdaten** → Unterschiedliche Formate
Mögliche Unstimmigkeiten 
- **Bewertung der Indikatoren** → Entwicklung eines Bewertungsmoduls, das Gebietsexperten
interaktiv durch den Prozess der Datenvereinheitlichung und
verbalargumentativen Indikatorenbewertung führt 
- **Aggregation** → Anwendung des Bewertungsmoduls
Umgang mit Datenlücken 
- **Abwägung** → Zusammengefasste Kriterienbewertung auf Grundlage des
Bewertungsmoduls 
- **Abwägung** → Sicherheitsgerichtete Abwägung der
Kriterien für die identifizierten Gebiete 



Zwischenbericht Teilgebiete



AK: Ausschlusskriterien, MA: Mindestanforderungen, Geo.Abw.: geowissenschaftliche Abwägungskriterien

- **Zusammenfassung**
- **Einführung**
 - Veranlassung und Zielsetzung
 - Struktur Zwischenbericht Teilgebiete
 - Historie
 - Abgrenzung
- **Methoden**
 - Prinzipien zur Entwicklung der Ausschlussstechniken
 - Datengrundlage (Details im Bericht Datengrundlage und -verarbeitung)
 - AK großräumige Vertikalbewegungen
 - AK aktive Störungszonen
 - AK ...
- **Ergebnisse**
 - AK großräumige Vertikalbewegungen (Beschreibung und Kartendarstellung der ausgeschlossenen Flächen)
 - AK aktive Störungszonen
 - Gesamtübersicht (sämtliche ausgeschlossenen Flächen aller Aks)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Kontakt

Bundesgesellschaft für Endlagerung
mbH (BGE)

Eschenstr. 55

31224 Peine

+49 05171 43-0

dialog@bge.de

www.bge.de