

## Grundlage für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) sind die identifizierten Gebiete

- Identifizierte Gebiete sind nicht durch Ausschlusskriterien (AK) betroffen und erfüllen die Mindestanforderungen (MA).

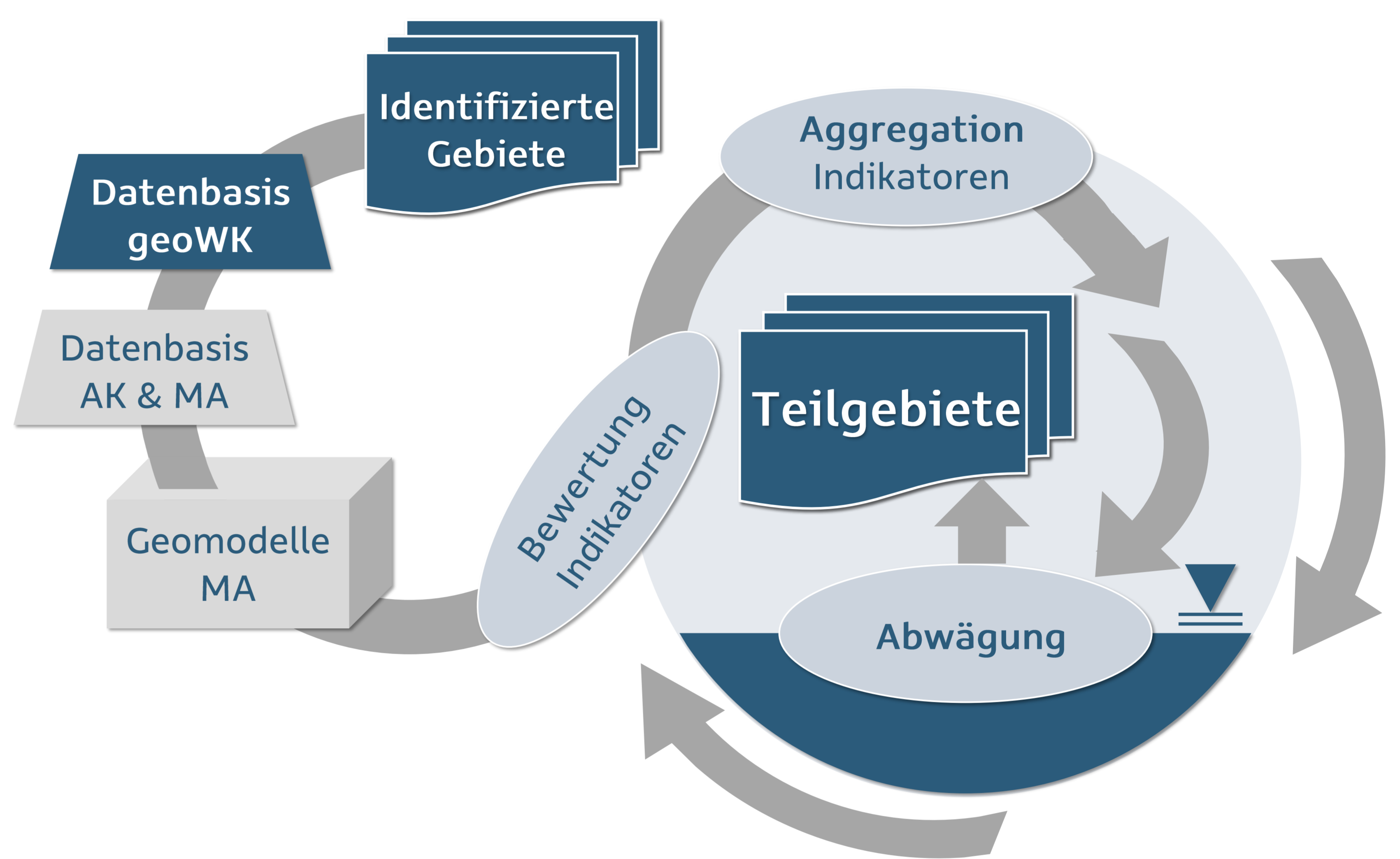


- Aus den identifizierten Gebieten ermittelt der Vorhabenträger durch Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24 die Teilgebiete, die sich auf Basis der Abwägung als günstig erweisen (§ 13 StandAG).

## Konzeptionelles Vorgehen für die Anwendung der geoWK

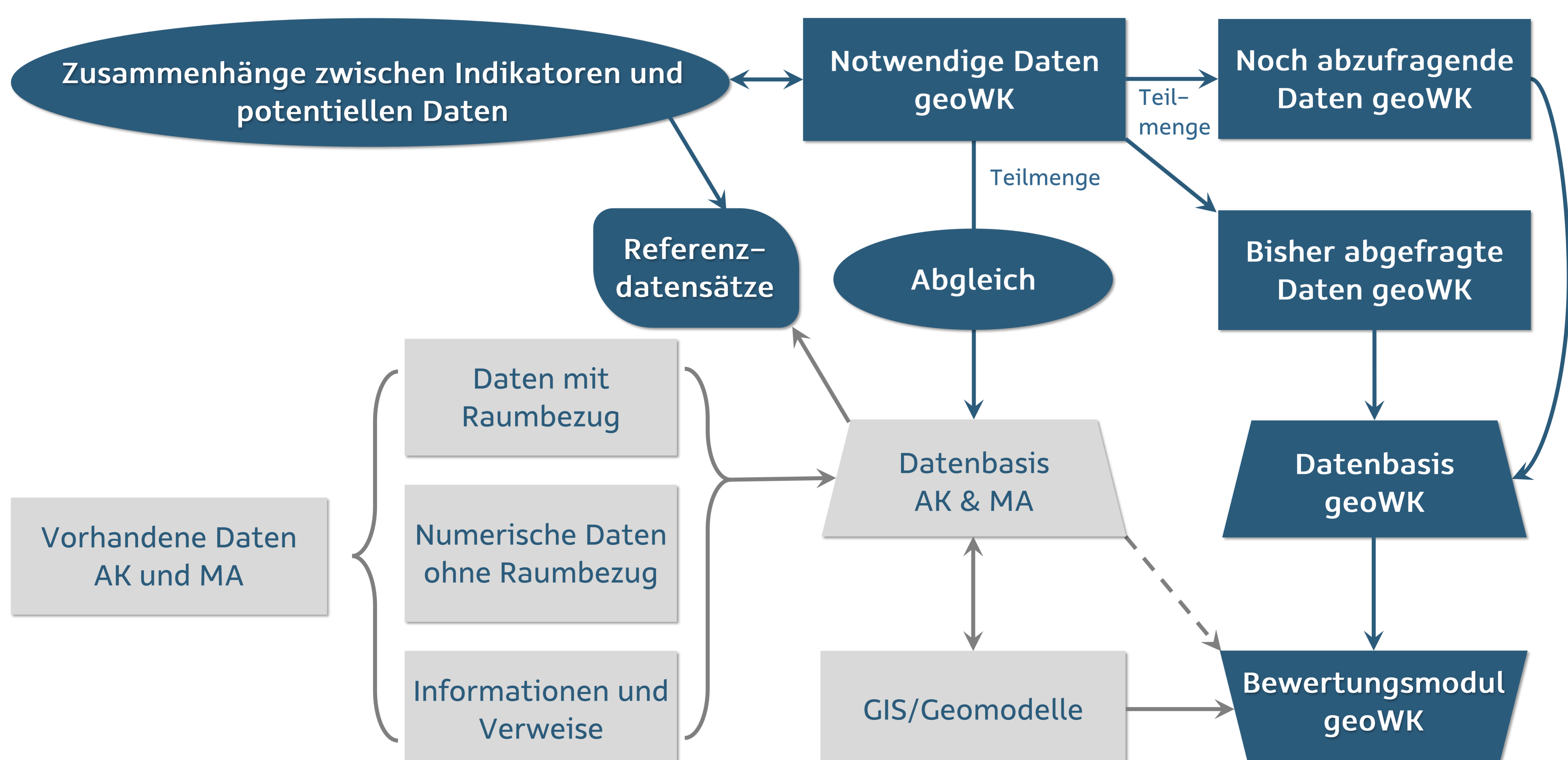


- Für jedes identifizierte Gebiet wird eine Bewertung der Indikatoren vorgenommen. Diese Bewertung wird jeweils verbalargumentativ begründet. In der Bewertung werden auch Aussagen über die Quantität und Qualität der Datengrundlage gemacht.
- Nach der Indikatorenbewertung erfolgt eine Aggregation der Kriterien, um pro identifiziertes Gebiet eine integrative Bewertung zu erhalten. Die Aggregation zu der abschließenden Bewertung des identifizierten Gebiets erfolgt verbalargumentativ.
- Aus der integrativen Bewertung resultiert eine Abwägung der identifizierten Gebiete. Diese Abwägung dient als Grundlage für die Ermittlung der Teilgebiete.



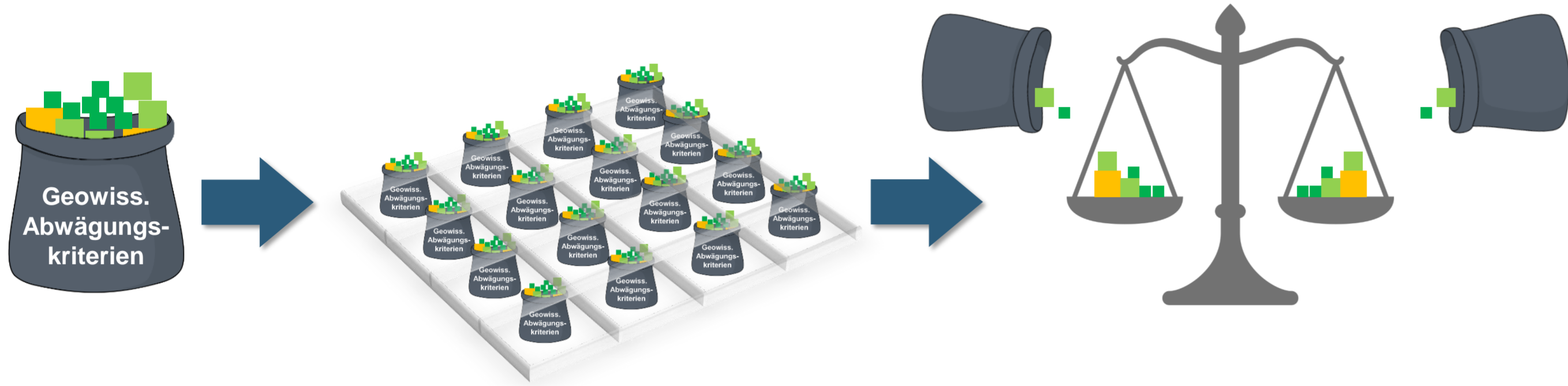
## Prozessierung der Eingangsdaten für die Anwendung der geoWK

- Einige Indikatoren können direkt, manche müssen indirekt aus Daten abgeleitet werden. Aus diesem Grund wird zunächst für jeden Indikator ein (oder mehrere) Datentyp(en) zugeordnet.
- Einige geoWK wurden im August 2019 bereits bei den Bundes- und Landesbehörden abgefragt.
- Weitere Datenabfragen werden ggf. noch erfolgen.
- Als Grundlage für die erste Anwendung der Methodik für die Aggregation wird außerdem ein Referenzdatensatz für die geoWK erstellt.

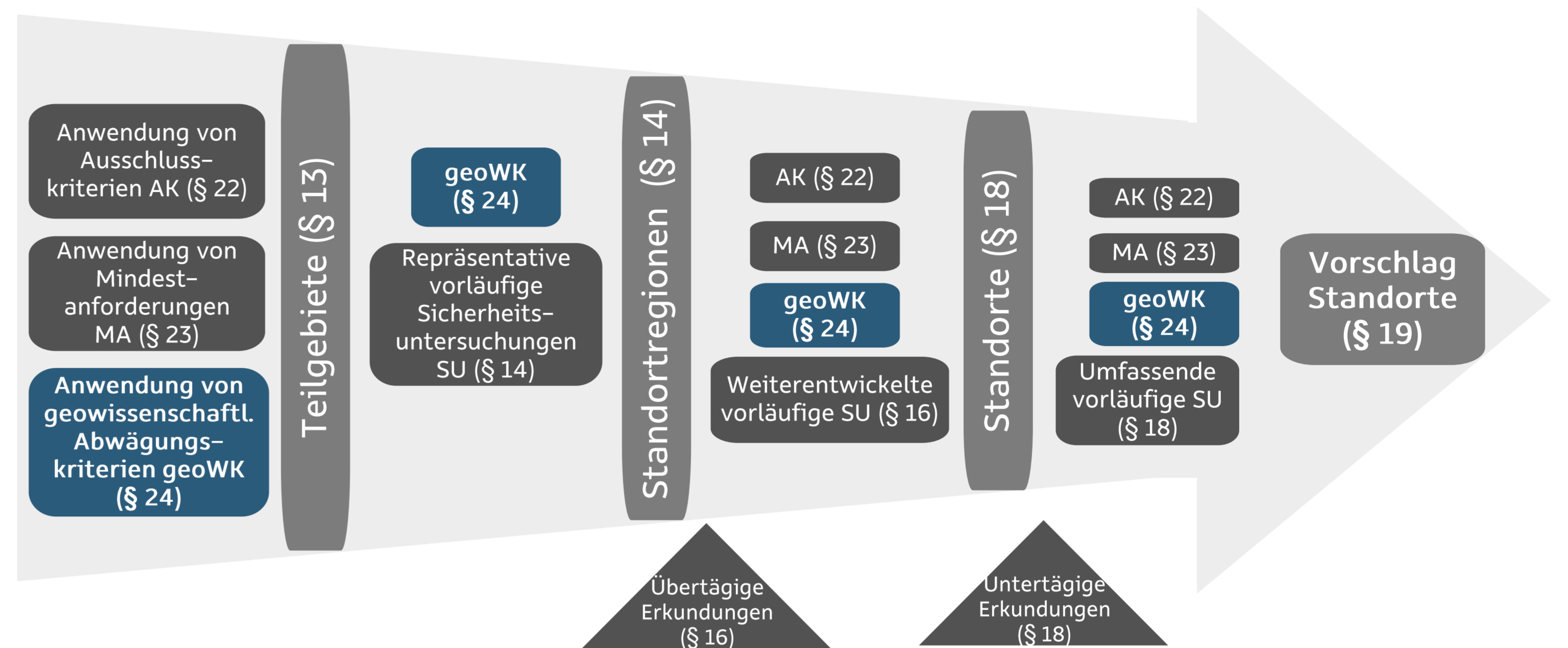


## Abwägungsprozess durch geoWK

- Anhand der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) wird jeweils bewertet, ob in einem Gebiet eine günstige geologische Gesamtsituation vorliegt.
- Die Bewertung ergibt sich aus der sicherheitsgerichteten Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien.
- Die Kriterien dienen dabei als Bewertungsmaßstab.



## Zeitliche Einordnung der geoWK im Standortauswahlverfahren nach StandAG



## Systematik der geoWK

### Kriteriengruppe 1 – Erreichbare Qualität des Einschusses und zu erwartende Robustheit des Nachweises

**Krit. 1**  
Radionuklid-Transport durch GW-Bewegung im ewG

**Krit. 2**  
Konfiguration der Gesteinskörper

**Krit. 3**  
Räumliche Charakterisierbarkeit

**Krit. 4**  
Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse

### Kriteriengruppe 2 – Absicherung des Isolationsvermögens

**Krit. 5**  
Günstige gebirgsmechanische Eigenschaften

**Krit. 6**  
Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten

### Kriteriengruppe 3 – Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften

**Krit. 7**  
Gasbildung

**Krit. 8**  
Temperaturverträglichkeit

**Krit. 9**  
Rückhaltevermögen im ewG

**Krit. 10**  
Hydrochem. Verhältnisse

**Krit. 11**  
Schutz des ewG durch Deckgebirge

- 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 ohne Wertungsgruppen

### Kriterium

Bewertungsrel. Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator	Wertungsgruppen
Bewertungsrel. Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator	Wertungsgruppen
Bewertungsrel. Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator	Wertungsgruppen

## Begriffsbestimmungen

- geoWK: Geowissenschaftliche Abwägungskriterien.
- AK: Ausschlusskriterien.
- MA: Mindestanforderungen.
- Identifiziertes Gebiet: Gebiet, das nicht durch Ausschlusskriterien betroffen ist und die Mindestanforderungen erfüllt.
- Integrative Bewertung: Zusammengefasste Bewertung.
- Aggregation: Methodik für eine zusammengefasste Bewertung auf Grundlage vieler Einzelbewertungen.

## Anwendung der Mindestanforderungen § 23 StandAG

Die BGE wendet hierzu auf die ihr von den zuständigen Behörden des Bundes und der Länder zur Verfügung zu stellenden geologischen Daten für das gesamte Bundesgebiet zunächst die geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien nach § 22 und auf das verbleibende Gebiet die Mindestanforderungen nach § 23 an. Aus den identifizierten Gebieten ermittelt die BGE durch Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24 die Teilgebiete, die sich auf Basis der Abwägung als günstig erweisen.

### Bearbeitungsschritte abgeleitet aus § 23 Stand AG

Schritt 1	Minimale Teufe des ewG	Auswahl von Gebieten mit Wirtsgesteinsvorkommen zwischen 300 m bis 1500 m u. GOK
Schritt 2	Mächtigkeit des ewG	Auswahl von Wirtsgesteinen mit mehr als 100 m Mächtigkeit (Ausnahme Kristallin)
Schritt 3	Fläche des Endlagers	Ausweisung der Eignung bezogen auf den Flächenbedarf eines Endlagers
Schritt 4	Erhalt der Barrierewirkung	Prüfung der Integrität des ewG

### Datengrundlage

3D-Geomodelle

**Bohrdaten:**

Schichtenverzeichnisse, Bohrakten, Logs

Thematische Karten & Literatur

### Datenaufbereitung

**Homogenisierung:**

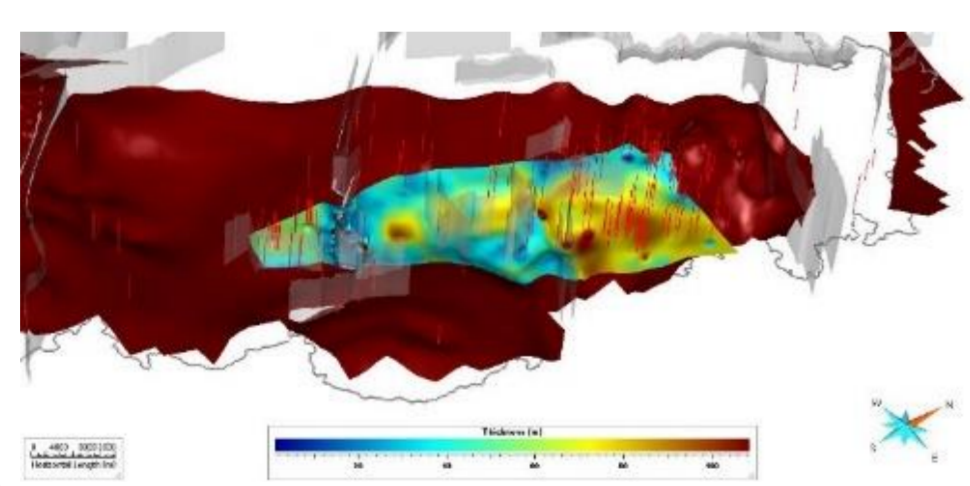
Koordinatensysteme  
Bezugshöhen  
Geologische Schlüssel  
Geologische Marker für die Modellierung  
etc.

**Nutzbarmachung:**

Digitalisierung analoger Daten  
Vektorisierung  
Georeferenzierung

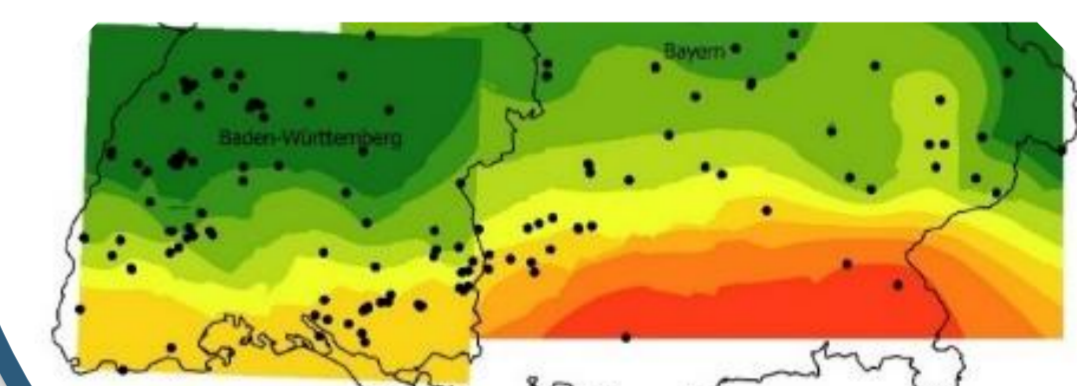
### Modellierung & Visualisierung

3D-Geomodelle  
(SKUA-GOCAD)



**Pilotprojekte:**  
Tongestein, Steinsalz in stratiformer Lagerung, Endlagerrelevantes Kristallingestein

2D-Kartenmodelle  
(ArcGIS Pro)



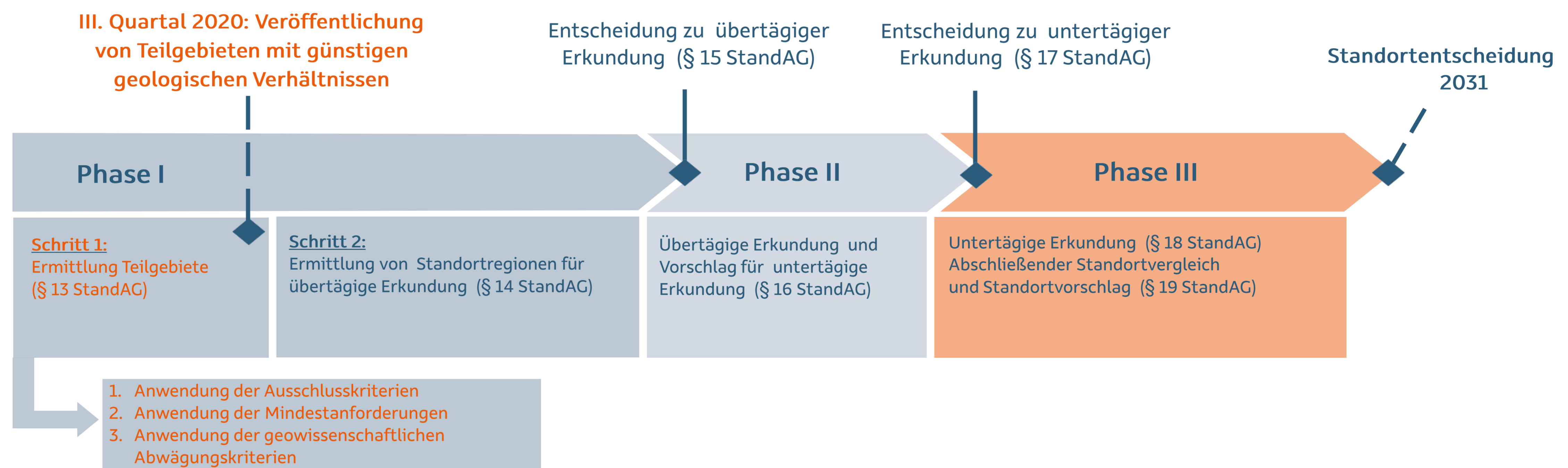
### Stolpersteine



- Big Data
- Fehlende, unvollständige bzw. verzögerte Datenlieferungen
- Homogenisierung und digitale Umwandlung der gelieferten Daten
- Detaillierte Petrographie fehlt
- Aufbau Infrastruktur

## § 13 Ermittlung von Teilgebieten

Für die Ermittlung von Teilgebieten hat die Bundesgesellschaft für Endlagerung unter Anwendung der in den §§ 22 bis 24 festgelegten geowissenschaftlichen Anforderungen und Kriterien Teilgebiete zu ermitteln, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Aktuell befindet sich die Bundesgesellschaft für Endlagerung im ersten Schritt der Phase I.



## Randbedingungen der Mindestanforderungen § 23

Gebiete, in denen kein Ausschlusskriterium nach § 22 StandAG erfüllt ist, sind nur als Endlagerstandort geeignet, wenn sämtliche Mindestanforderungen erfüllt sind.

### 1. Gebirgsdurchlässigkeit

In einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) muss die **Gebirgsdurchlässigkeit  $k_f$  weniger als  $10^{-10}$  m/s** betragen.

Die Erfüllung des Kriteriums kann auch durch den Einlagerungsbereich **überlagernde Schichten** nachgewiesen werden.

### 2. Mächtigkeit des ewG

Der Gebirgsbereich, der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen soll, muss **mindestens 100 m mächtig** sein (Sonderregelungen für Kristallingestein und einen multiplen ewG).

### 3. Minimale Tiefe des ewG

Die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss **mindestens 300 m unter der Geländeoberfläche** liegen.

### 4. Fläche des Endlagers

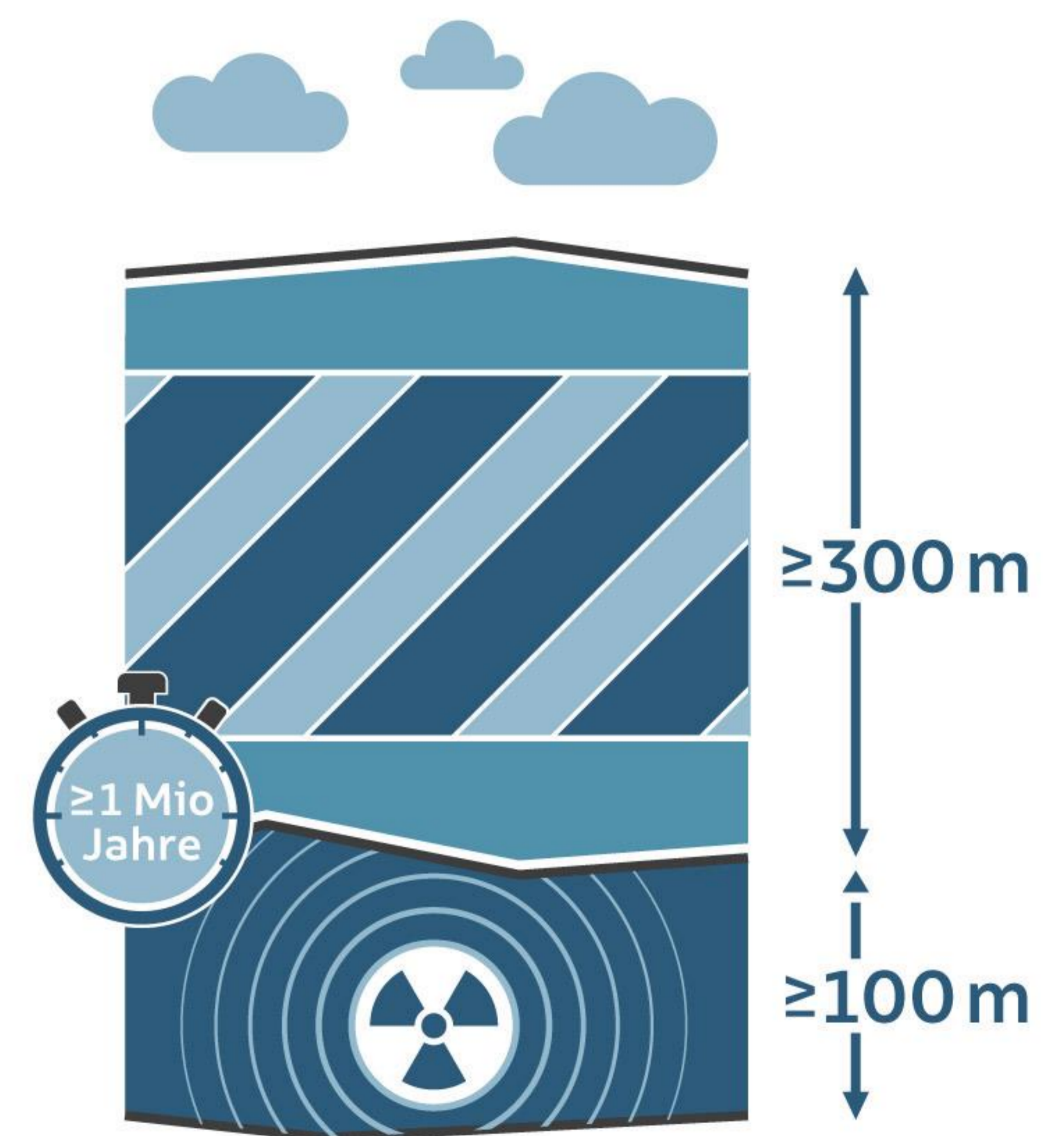
Ein einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine **Realisierung des Endlagers** ermöglicht.

Eingeschlossen sind Flächen, die z.B. für die Realisierung von Maßnahmen zur Rückholung von Abfallbehältern erforderlich sind und verfügbar gehalten werden müssen.

### 5. Erhalt der Barrierewirkung

Es dürfen **keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen**, welche die **Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches** zweifelhaft erscheinen lassen.

Der Erhalt der Barrierewirkung muss für **eine Million Jahre** gesichert sein.



Graphische Darstellung der Mindestanforderungen an den Endlagerstandort für radioaktive Abfälle nach § 23 StandAG.

## Begriffsbestimmungen

#### • Einlagerungsbereich:

Der räumliche Bereich des Gebirges, in den die radioaktiven Abfälle eingelagert werden sollen.

#### • Einschlusswirksamer Gebirgsbereich:

Der Teil eines Gebirges, der bei Endlagersystemen, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, im Zusammenwirken mit den technischen und geotechnischen Verschlüssen den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem Endlager gewährleistet.

#### • Geologische Barrieren:

Geologische Einheiten, die eine Ausbreitung von Radionukliden be- oder verhindern.

#### • Technische und Geotechnische Barrieren:

Künstlich erstellte Einheiten, die eine Ausbreitung von Radionukliden be- oder verhindern.

#### • Identifizierte Gebiete:

Gebiete, welche alle Mindestanforderungen nach § 23 erfüllen und in denen kein Ausschlusskriterium nach § 22 greift.

## 1. Gesetzliche Grundlage

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; vorhandene alte Bohrungen dürfen die Barrieren eines Endlagers, die den sicheren Einschluss gewährleisten, in ihrer Einschlussfunktion nachweislich nicht beeinträchtigen;

22 Absatz 2 Nummer 3 StandAG

Da für den Ausschluss von Bohrungen und Bergwerken eine unterschiedliche Herangehensweise erforderlich ist, stellen wir die jeweiligen Ausschlussmethoden getrennt vor.

- Nachweis für nicht beeinträchtigte Barriereigenschaften des Umgebungsgestein für Nichtberücksichtigung nötig (vgl. Bundestag-Drucksache 18/11398, S. 68)
  - Dieser Nachweis ist für alle gelieferten Bohrungen zeitlich nicht möglich.
- Lokale Änderungen im Spannungsfeld und Permeabilitätsveränderungen führen zu einer dauerhaften Schädigung des Gebirges.
  - Einwirkungsbereich in Abhängigkeit des gebohrten Durchmessers: etwa ein Meter (Zoback, 2007; Gudmundsson, 2011).
  - Dieser kann durch multiple Tests während des Bohrvorgangs, hydraulischer oder chemischer Stimulation oder lange Offenhaltung durch Förderung o. ä. deutlich größer sein.

## 3. Ausschlussmethodik

- Für die Endlagersuche ausgeschlossen werden alle Bohrungen, die in den endlagerrelevanten Bereich (> 300 m) hinein abgeteuft wurden.
- Um auch den erweiterten Schädigungsbereich zu berücksichtigen, wird ein Sicherheitsabstand von 25 m um den gesamten Bohrfad herum ausgeschlossen.
- Dieser Sicherheitsabstand berücksichtigt auch die Lageungenauigkeit, die sich aus Koordinatengenauigkeit des Bohransatzpunktes und der unterschiedlichen Qualität der Ablenkmessungen des Bohrfades zusammensetzt.
  - Diese 25 m sind eine erste, konservative Abschätzung des Schädigungsbereichs.
  - Im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens wird eine genauere Betrachtung von Bohrungen, die in den Teilgebieten liegen, vorgenommen.
  - Durch Informationsgewinn würde sich das auszuschließende Volumen um den Bohrfad entsprechend vergrößern.

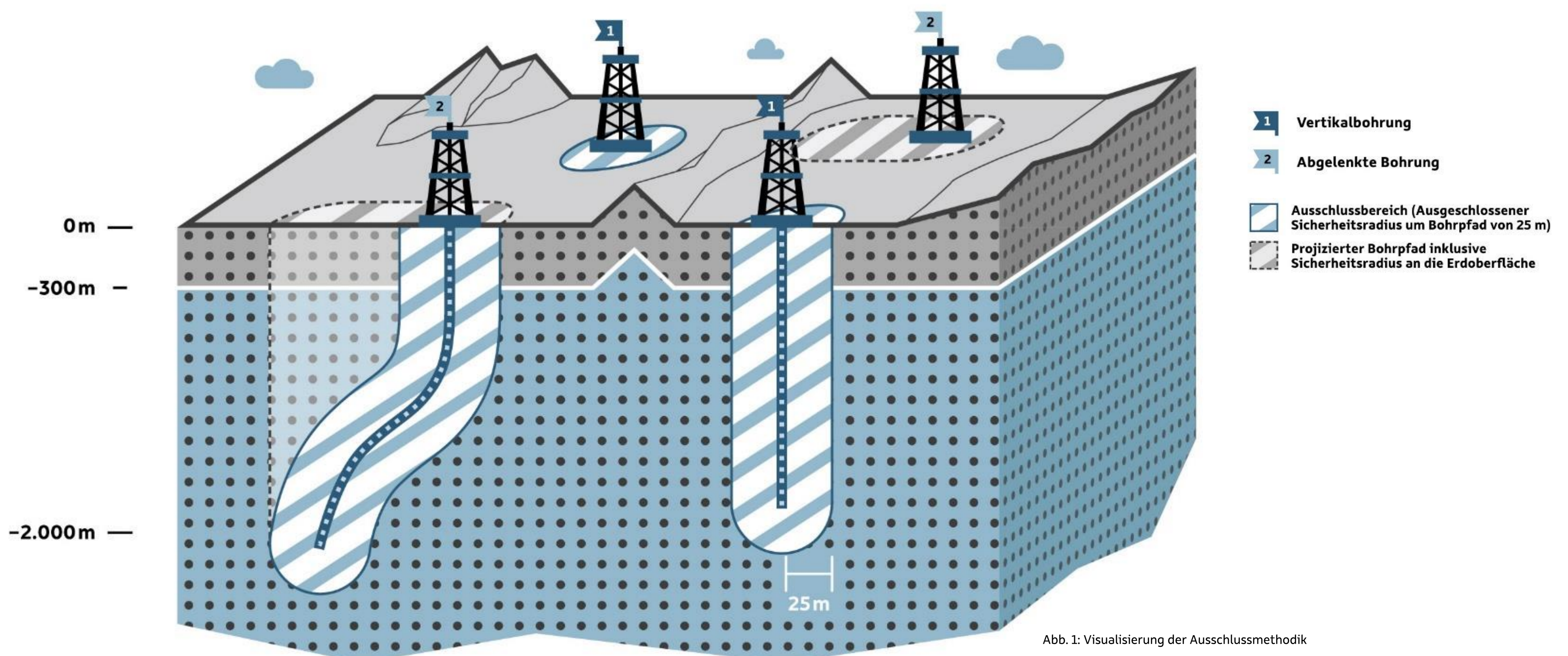


Abb. 1: Visualisierung der Ausschlussmethodik

## 2. Datenabfrage und -lieferungen

Die BGE hat für Bohrungen folgende Daten abgefragt:

- Bohransatz- und -endpunkt (Koordinaten x, y, z)
- Bohrlochlänge und -verlauf (inkl. Koordinaten)
- Bohrlochbezeichnung und Zustand („verfüllt“, „unverfüllt“, „in Betrieb“)
- Angaben zu besonderen Vorkommnissen (Havarien, Fracs, etc.)

Die gelieferten Informationen reichen von den Bohransatzkoordinaten bis zum kompletten Bohrfad mit Ablenkdaten (Abb. 1).

Bohrungen ohne Ablenkdaten	Bohrungen mit geliefertem oder ermittelbarem Bohrfad	Bohrungen mit einem einzigen gemittelten Einfallswinkel-/ Einfallswinkel-Wert
Ca. 80 %	Ca. 15 %	Ca. 5 %
Vertikale Bohrungen	Extrapolation des Bohrfades	Vorgehen in Diskussion

Insgesamt ca. 170.000 Bohrungen; Großteil < 300 m

- Dennoch mehrere zehntausend Bohrungen, die ausgeschlossen werden
- Aufwändige Homogenisierung der Attribute und Sortierung nach Teufe notwendig

## 4. Visualisierung

1. Bei einer annähernd vertikalen Bohrung, die den gesamten endlagerrelevanten Bereich durchteuft, wird der Bohransatzpunkt mit einem Radius von 25 m als ausgeschlossen dargestellt.
2. Bei annähernd vertikalen Bohrungen, die den endlagerrelevanten Bereich nicht komplett durchteufen oder bei Bohrungen mit einem abgelenkten Bohrverlauf wird der Bohrfad samt 25 m Ausschlussradius an die Oberfläche projiziert und dort in einer gesonderten Kategorie markiert. Diese zeigt, dass im Untergrund ein ausgeschlossenes 3D-Objekt vorhanden ist, der Ausschlussbereich allerdings an keiner Stelle für den gesamten endlagerrelevanten Teufenbereich gilt.

## 5. Literatur

- Drucksache des Deutschen Bundestages 18/11398 vom 07.03.2017: Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze.
- Gudmundsson, A., 2011. Rock Fractures in Geological Processes. Cambridge University Press, New York.
- Zoback, M.D., 2007. Reservoir Geomechanics. Cambridge University Press, New York.
- Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 16 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist.

## 1. Gesetzliche Grundlage

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 Endlagerbereiches zu besorgen sind; vorhandene alte Bohrungen dürfen die Barrieren eines Endlagers, die den sicheren Einschluss gewährleisten, in ihrer Einschlussfunktion nachweislich nicht beeinträchtigen.

§ 22 Absatz 2 Nummer 3 StandAG

Da für den Ausschluss von Bohrungen und Bergwerken eine unterschiedliche Herangehensweise erforderlich ist, werden die jeweiligen Ausschlussmethoden getrennt vorgestellt.

Aus gebirgsmechanischer Sicht bedingt die Auffahrung eines Hohlraumes immer Veränderungen des umliegenden Gebirges. Diese werden, vom Hohlraum ausgehend, typischerweise unterschieden in: bruchhafte Verformung, Auflockerung (Mikrorisse), beeinflusster Gebirgsspannungszustand und beeinflusstes Porendruckfeld. Folglich bedingt grundsätzlich jede bergbauliche Aktivität eine, für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle, negative Beeinflussung des umliegenden Gebirgsbereiches.

Nach der gesetzlichen Grundlage muss demzufolge jede in Deutschland erfolgte bergbauliche Tätigkeit erfasst und analysiert werden.

## 3. Ausschlussmethodik

Vorarbeit: Homogenisierung aller erhaltenen Datensätze und Einpflegen in eine Datenbank

- Ermittlung der größten lateralen Erstreckung auf Basis digital vorliegender Risswerke und Georeferenzierung (Herstellung Raumbezug, Abb. 2)
- Projektion der größten lateralen Erstreckung der bergbaulichen Tätigkeit bis an die Erdoberfläche (Abb. 3)
- Ermittlung der maximalen Teufe (durch z.B. Schächte, tiefste Sohle) jeder bergbaulichen Tätigkeit (Abb. 3)
- Der nun dreidimensional darstellbare Körper repräsentiert die vereinfachte Geometrie des Bergwerks (Abb. 4)
- Ergänzung des Einwirkungsbereichs der bergbaulichen Tätigkeit auf das umliegende Gebirge. Die eingefärbte Ellipse repräsentiert den an die Erdoberfläche projizierten Ausschlussbereich, der vertikal über den gesamten Teufenbereich des potenziellen Endlagers fortgesetzt wird (Abb. 5)

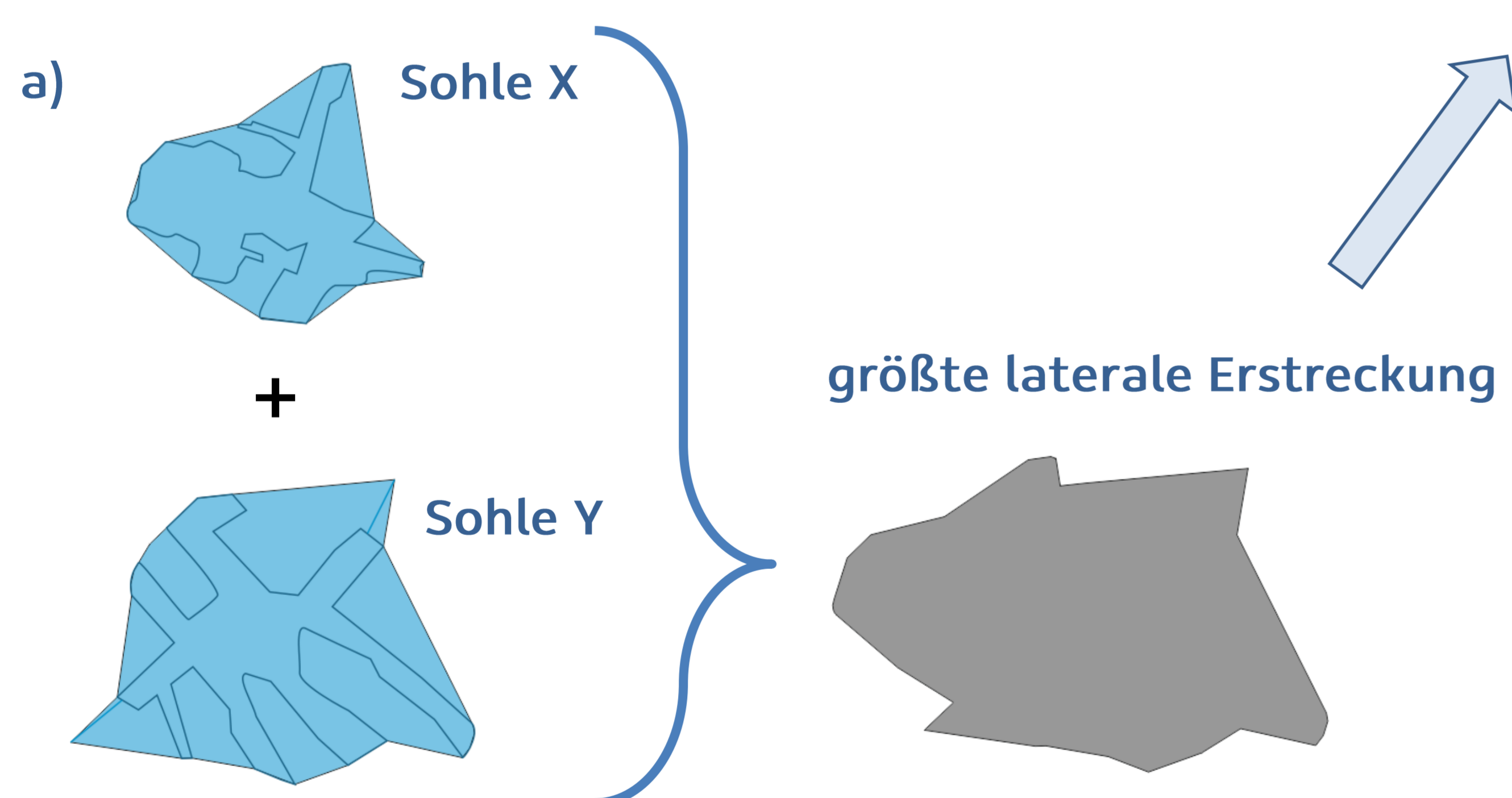


Abb. 2. Graphische Darstellung der Ausschlussmethodik: Schritt a)

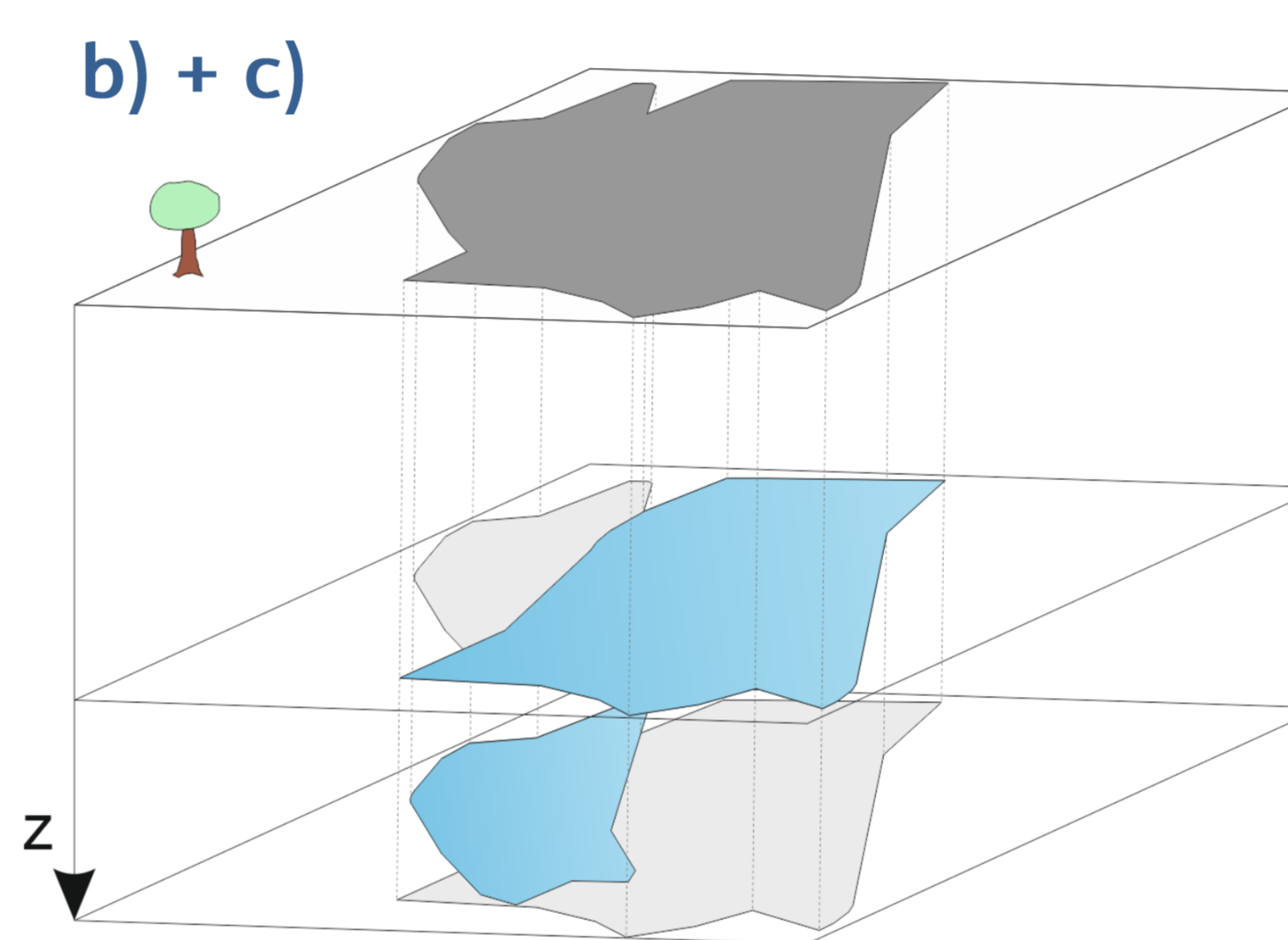


Abb. 3. Graphische Darstellung der Ausschlussmethodik: Schritte b) und c)

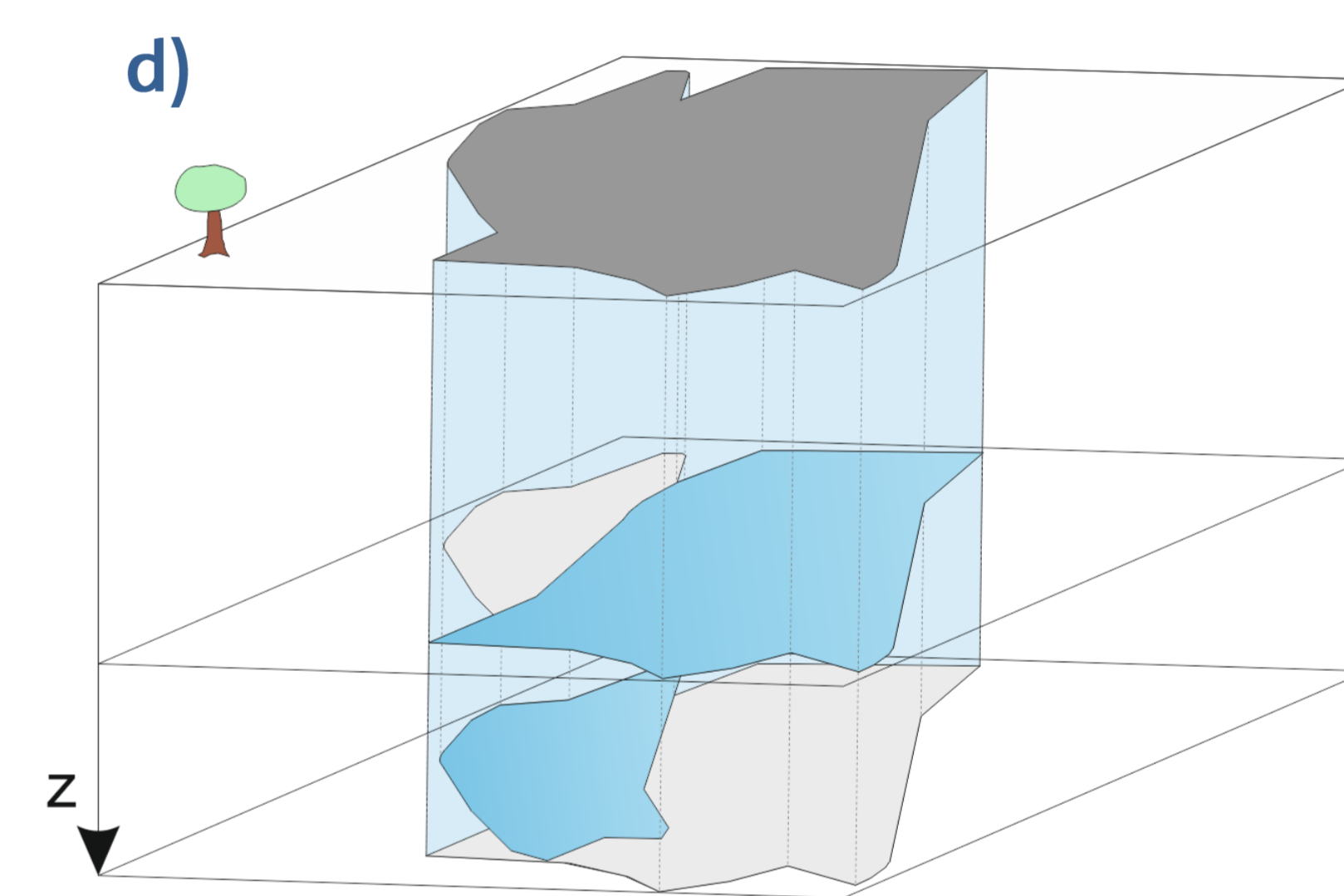


Abb. 4. Graphische Darstellung der Ausschlussmethodik: Schritt d)

## 2. Anwendungsbereich

Die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) muss für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle mindestens 300 m unter der Geländeoberfläche liegen (§ 23 StandAG). Somit sind bergbauliche Aktivitäten für einen Ausschluss im Sinne des StandAG erst dann relevant, sobald der den Bergbau umgebende Einwirkungsbereich 300 m oder tiefer unter die Geländeoberkante reicht.

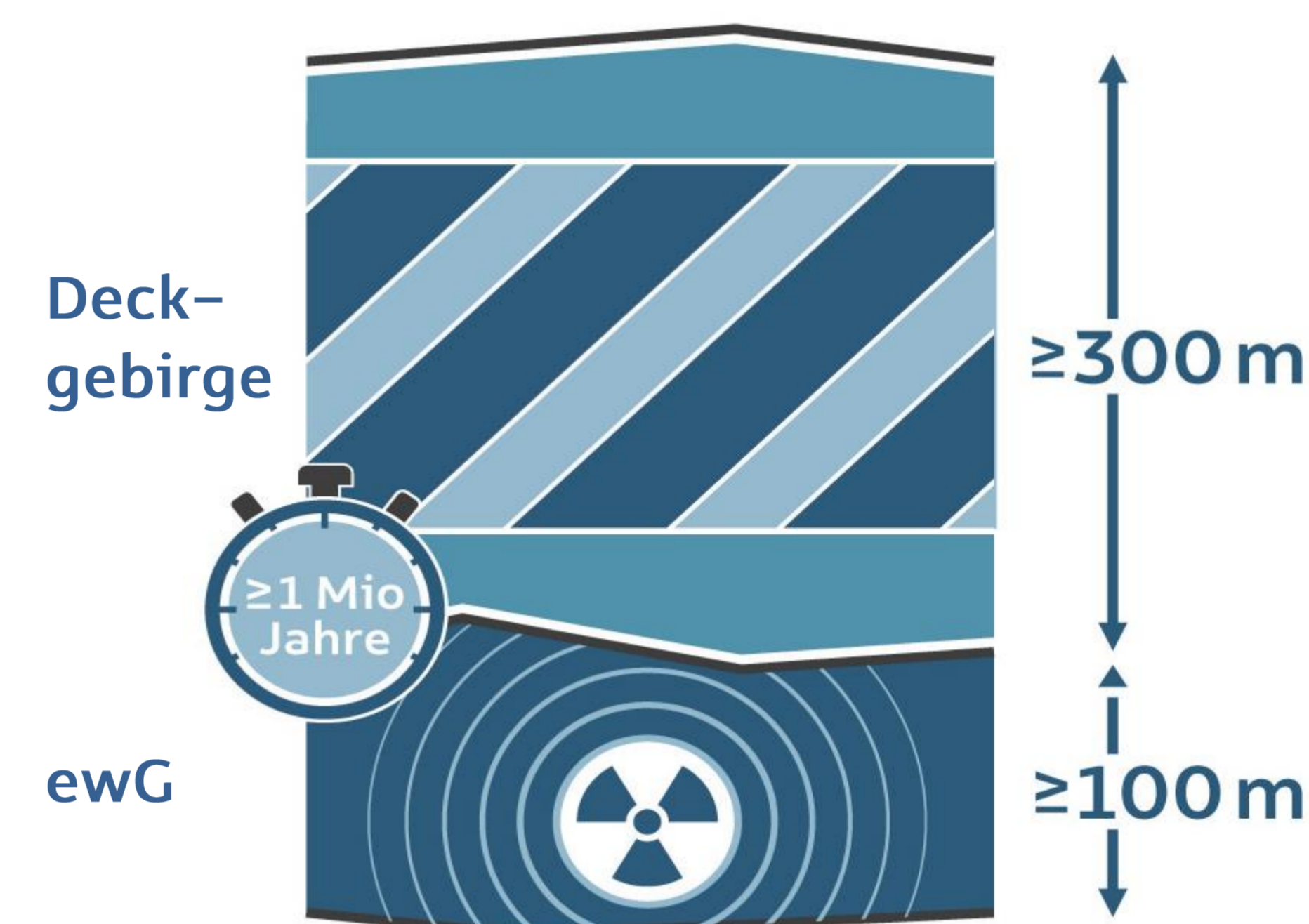


Abb. 1. Graphische Darstellung der Mindestanforderungen an ein Endlager für hochradioaktiven Abfall nach § 23 StandAG.

## 4. Einwirkungsbereich

Das Aufgabenfeld der Behörden bezieht sich, entgegen der gebirgsmechanischen Klassifikation (siehe 1. Gesetzliche Grundlage), vorrangig auf die bergbaulichen Auswirkungen an der Tagesoberfläche im Sinne des Schutzgedankens der Bevölkerung vor potenziellen Bergschäden.

Die bundesweit einheitlich geltende Bergverordnung über Einwirkungsbereiche definiert den durch bergbauliche Tätigkeit möglichen Bereich der Bergschadensvermutung an der Tagesoberfläche nach § 120 BBergG. Für aktive Bergbaubetriebe soll diese Bergverordnung herangezogen werden und die Festlegung des Einwirkungsbereichs mit Hilfe des Nullrandes erfolgen. Dieser wird vertikal über den gesamten Teufenbereich des potenziellen Endlagers fortgesetzt (Abb. 5).

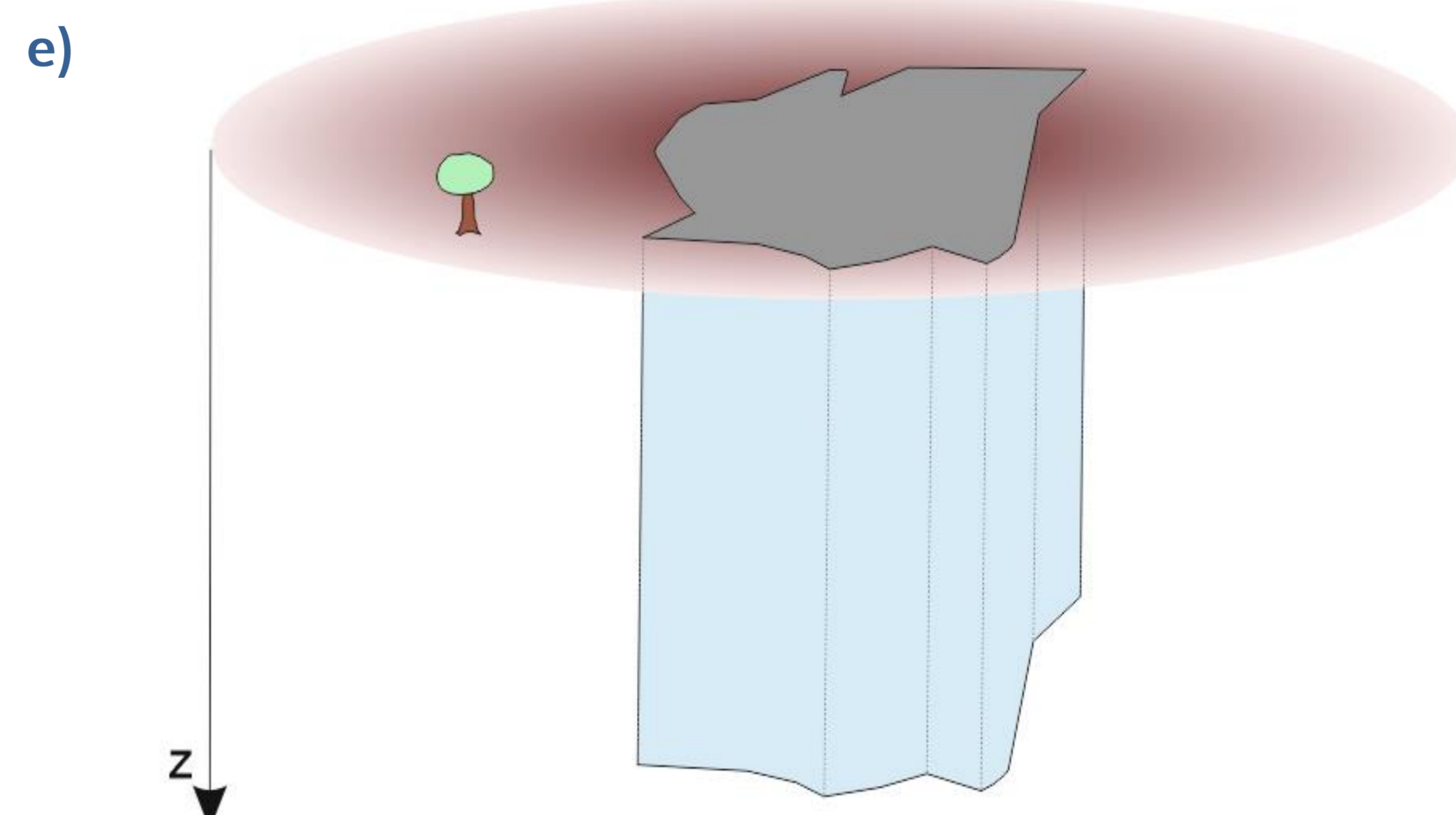


Abb. 5. Graphische Darstellung des Einwirkungsbereichs sowie der Ausschlussmethodik: Schritt e)

## 5. Ausblick

- Homogenisierung der bundesweit erhaltenen Datensätze für eine einheitliche Anwendbarkeit der Ausschlussmethodik „bergbauliche Tätigkeit“
- Qualität und Vollständigkeit der Datenlage zum Altbergbau in Deutschland
- Festlegung/Definition einer einheitlichen Einwirkungsbereichsgrenze für alle nach StandAG auszuschließenden bergbaulichen Tätigkeiten
- Bearbeitung der Fragestellung zur Errichtung eines Endlagers für hochradioaktive Abfallstoffe unterhalb einer bergbaulichen Tätigkeit, deren Einwirkungsbereich tiefer 300 m reicht oder Ausschluss über die gesamte potenzielle Endlagerteufe
- Digitalisierung relevanter analoger Dokumente im Zuge der Datenbeschaffung

### Literatur:

Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 16 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist.