

## Teil 2: Diskussion von übergeordneten Aspekten

- Umgang mit Ungewissheiten inkl. betrachtete Szenarien
- Regulatorische Aspekte
  - Sicherheitskonzept
  - Nachweiszeitraum
  - Radiologischer Bewertungsmaßstab

## Betrachtungssystem Endlager

- Großes Untersuchungsgebiet
- Technische und natürliche Komponenten
- Langer Betrachtungszeitraum
- Vielfältige Eigenschaften, Ereignisse und Prozesse
  - heterogene Systemeigenschaften, räumlich/zeitlich variabel
  - viele, voneinander abhängige Einflussfaktoren
  - komplexes Wechselspiel
- Wie kann man für ein solches System die zukünftige Entwicklung beschreiben?
- Wie kann man die damit verbundenen Ungewissheiten berücksichtigen?

# Umgang mit Ungewissheiten

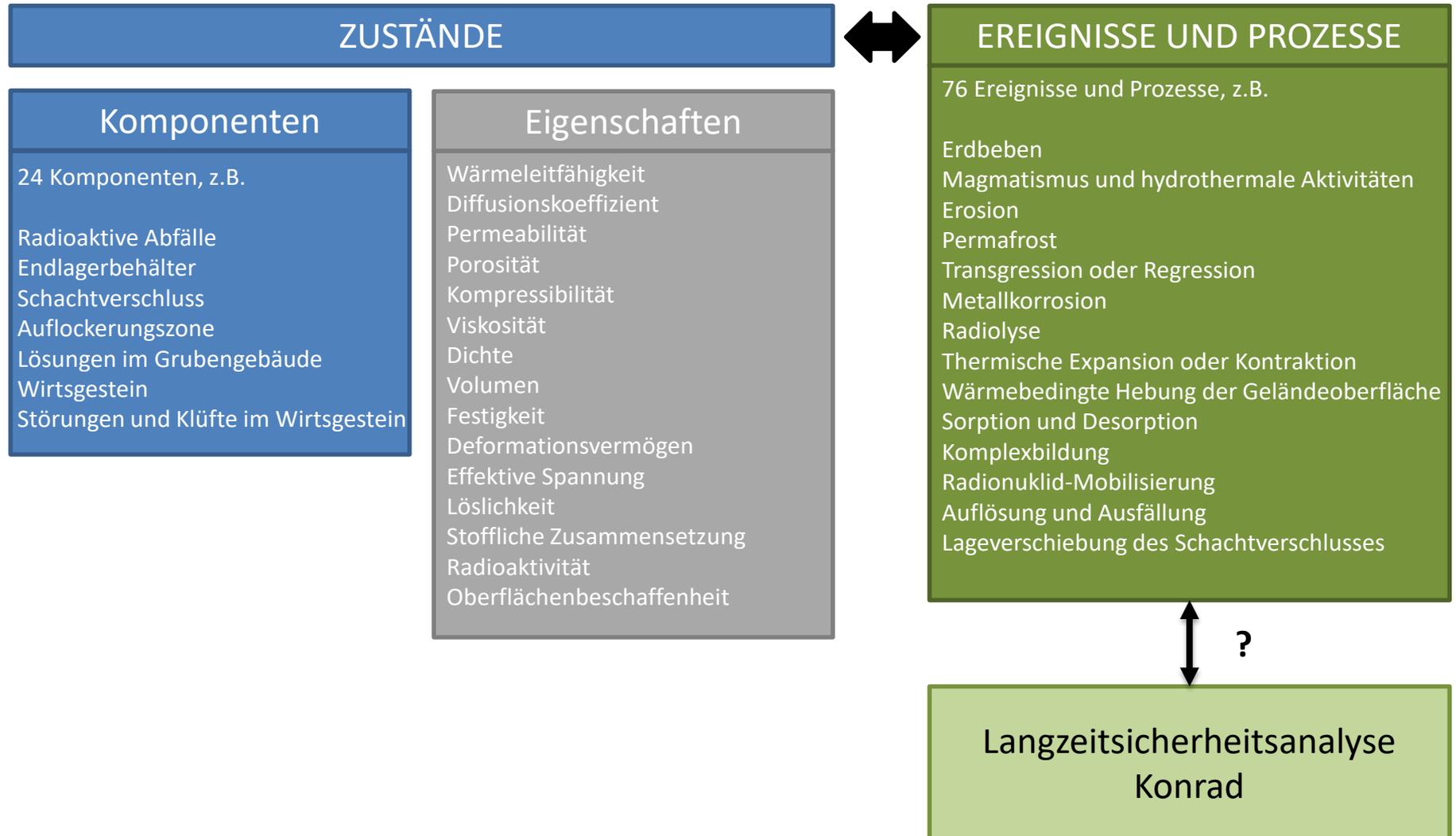
- Ungewissheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklung
  - Begrenzte Möglichkeiten, die Entwicklung eines Endlagersystems über lange Zeiträume zu beschreiben
    - Entwicklung von Szenarien
  
- Modellungsgewissheiten
  - Begrenzter Kenntnisstand über
    - die natürlichen oder geotechnischen Barrieren,
    - im Endlagersystem ablaufende Prozesse,
    - die Standorteigenschaften
  - Abbildung und Abstraktion in den Codes
    - Einsatz mehrerer unterschiedlicher Modelle, Benchmarks, Überführung in Parameterungewissheiten
  
- Daten- und Parameterungewissheiten
  - Ungewissheiten bezüglich notwendiger Eingabedaten der verwendeten Modelle
    - deterministische und probabilistische Parameterstudien

## Ableitung von Szenarien: Stand von W&T

- Top-Down
  - Beschreibung möglicher Entwicklungen des Endlagersystems anhand von Sicherheitsfunktionen
  - Betrachtung der dadurch hervorgerufenen Einwirkungen (Ereignisse, Prozesse) auf das Endlager
- Bottom-Up
  - Identifizierung der Zustände, Ereignisse, Prozesse (FEP) und ihrer Wechselwirkungen im Endlagersystem
  - Kombination der FEP zu möglichen Entwicklungen des Endlagersystems
- Keine Konflikt zwischen Bottom-Up und Top-Down, Mischung von beiden Ansätzen heute üblich, um möglichst umfassend zu sein (IGSC Scenario Development Workshop 2015)
- Vollständigkeit der Szenarien kann prinzipiell nicht nachgewiesen werden
- Verwendung eines allgemein akzeptierten Satzes von FEP

# FEP-Katalog

## Beispiel: ANSICHT (FKZ 02E11061)



## Vergleich der für das Endlager Konrad berücksichtigten Prozesse mit dem FEP-Katalog aus dem FuE-Vorhaben ANSICHT

- Gute Übereinstimmung zwischen FEP aus dem Vorhaben ANSICHT (FKZ 02E11061) und der Langzeitsicherheitsanalyse für das Endlager Konrad
- Folgende Aspekte wurden im Vorhaben Konrad nicht / nicht umfassend behandelt:

### ➤ Radionuklidtransport in der Gasphase

### ➤ Einfluss von Kolloiden

#### ➤ Funktionalität der Behälter\*

#### ➤ Funktionalität des Versatzes und Streckenausbaus\*

#### ➤ Funktionalität des Schachtverschlusses

- Nachweis am Ende der Betriebsphase laut PFB gefordert

#### ➤ Zündfähige Gasgemische\*

#### ➤ Alteration/Diagenese des Wirtsgesteins/Nebengesteins\*

\* Keine Sicherheitsrelevanz für die Langzeitsicherheitsanalyse Konrad

# Umgang mit Ungewissheiten im PFB für das Endlager Konrad

- Szenariungewissheiten
  - Top-Down-Ansatz im weiteren Sinne
  - Keine „Vollständigkeitsprüfung“  
siehe auch Stellungnahme 2013 der Entsorgungskommission (ESK) zum Langzeitsicherheitsnachweis für das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)
- Modellungewissheiten
  - Überführung in Parameterungewissheiten (z.B. Behälterstandzeiten)
  - Einsatz verschiedener Modelle
  - Vorgehen entspricht dem Stand von W&T
- Daten- und Parameterungewissheiten
  - Es wurden Deltas bezüglich der betrachteten Ungewissheiten in der Analyse der Unterlagen identifiziert
  - Stark abstrahierte lineare Modelle erlauben Bewertung der Auswirkung der Ungewissheit der Parameterwerte auf das Modellergebnis durch einfache Abschätzungen
  - Durchführung einer probabilistischen Analyse zur Bewertung der Sicherheitsrelevanz von zusätzlichen Ungewissheiten wird für die durchgeführte Langzeitsicherheitsanalyse als nicht erforderlich eingestuft

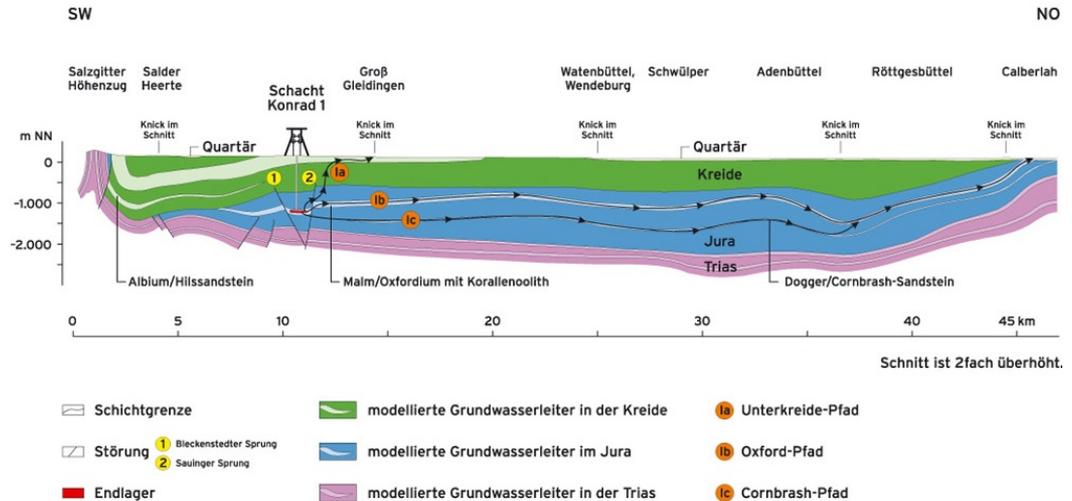
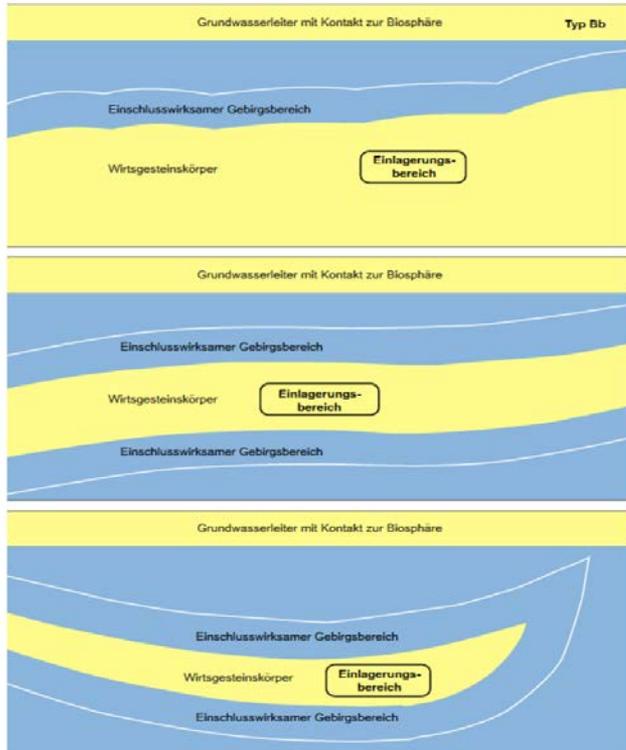
## Teil 2: Diskussion von übergeordneten Aspekten

- Umgang mit Ungewissheiten inkl. betrachtete Szenarien
- Regulatorische Aspekte
  - Sicherheitskonzept
  - Nachweiszeitraum
  - Radiologischer Bewertungsmaßstab

## Sicherheitskonzept

- AtG 2017 §1: *Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen*
- Isolation der Radionuklide von der Biosphäre
- PFB: langfristige Isolation der Abfälle von der Biosphäre soll durch die geologischen Barrieren gewährleistet werden, die die Wirtsgesteinsformation über- und unterlagern (vor allem die Unterkreide)
  
- Gedanke des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) in den Sicherheitsanforderungen (BMU 2010) und im Standortauswahlgesetz (StandAG):
  - *Als Einschluss wird eine Sicherheitsfunktion des Endlagersystems bezeichnet, die dadurch charakterisiert ist, dass die radioaktiven Abfälle in einem definierten Gebirgsbereich so eingeschlossen sind, dass sie im wesentlichen am Einlagerungsort verbleiben und allenfalls geringe definierte Stoffmengen diesen Gebirgsbereich verlassen.*
  - *Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist der Teil des Endlagersystems, der im Zusammenwirken mit den technischen Verschlüssen (Schachtverschlüsse [...]) den Einschluss der Abfälle sicherstellt.“*

# Sicherheitsfunktion Einschluss und Konzept des ewG beim Endlager Konrad



Quelle: BfS

*Ein ewG-Konzept ist hinsichtlich der Wirtgesteinstypen prinzipiell anwendbar für geeignete Steinsalz- und Tonsteinformationen und auch für Kristallinformationen mit geringer Gebirgsdurchlässigkeit. Dabei sind je nach örtlicher Situation auch Endlagerkonzepte denkbar, (...), bei denen nicht das Wirtgestein sondern überlagernde Schichten den sicheren Einschluss gewährleisten.*

Quelle: Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (2016)

## Ausschlusskriterien StandAG

StandAG §22:	Für Endlager Konrad gilt:
Keine <b>großräumigen Vertikalbewegungen</b> von mehr als 1 mm pro Jahr	Die Hebungsgeschwindigkeit beträgt maximal 0,1 mm pro Jahr
Keine <b>aktiven Störungszonen</b> jünger als 34 Millionen Jahre	Wesentlichen Störungen stammen aus der Trias, dem Jura und der Kreide
Kein <b>negativer Einfluss aus bergbaulicher Tätigkeit</b>	Erkundungen durch Bohrungen über einem der Spülversatzfelder zeigen keine Auswirkungen auf die Barrierschichten
Keine örtliche <b>seismische Gefährdung</b> größer als in Erdbebenzone 1	Region liegt außerhalb solcher Erdbebenzonen
Keine quartäre und zu erwartende zukünftige <b>vulkanische Aktivität</b>	Die Voraussetzungen für eine Intrusion magmatischer Körper sind nicht gegeben
Abwesenheit <b>junger Grundwässer</b>	Isotopenuntersuchungen: Verweilzeiten von Millionen Jahren

## Mindestanforderungen StandAG

StandAG §23:	Für Endlager Konrad gilt:
Die Gebirgsdurchlässigkeit im ewG beträgt weniger als $10^{-10}$ m/s; die Erfüllung des Kriteriums kann auch durch den Einlagerungsbereich überlagernde Schichten nachgewiesen werden	Barrieregesteine haben eine hydraulischen Durchlässigkeit zwischen $10^{-12}$ und $10^{-10}$ m/s
Der Gebirgsbereich, der den ewG aufnehmen soll, muss mindestens 100 Meter mächtig sein	Barrieregesteine haben eine Mächtigkeit von mindestens 170 m
die Oberfläche eines ewG muss mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegen.	Die Barrieregesteine liegen in einer Tiefe größer als 300 m
Ein ausreichend ausgedehnter Gebirgsbereich zur Aufnahme des Endlagers	erfüllt
Erhalt der Barrierewirkung über einen Zeitraum von einer Million Jahre	Langzeitprognose Konrad / Norddeutschland

## Bewertung Sicherheitskonzept Konrad

- Das Sicherheitskonzept für das Endlager Konrad verfolgt eine langfristige Isolation der Radionuklide von der Biosphäre durch eine geologische Barriere und entspricht damit dem Stand von W&T
- Eine Auseinandersetzung mit dem Konzept des ewG und eine Anlehnung der Nachweisführung an diesen Grundgedanken wird gemäß der Stellungnahme der ESK zum Endlager Morsleben als Stand von W&T angesehen
- Die Übertragung des ewG-Gedanken für den Sicherheitsnachweis für das Endlager Konrad ist gemäß den Anforderungen des StandAG möglich
- Daher wird das Fehlen der Ausweisung eines ewG für das Endlager Konrad nicht als sicherheitsrelevantes Delta zum Stand von W&T angesehen

## Nachweiszeitraum

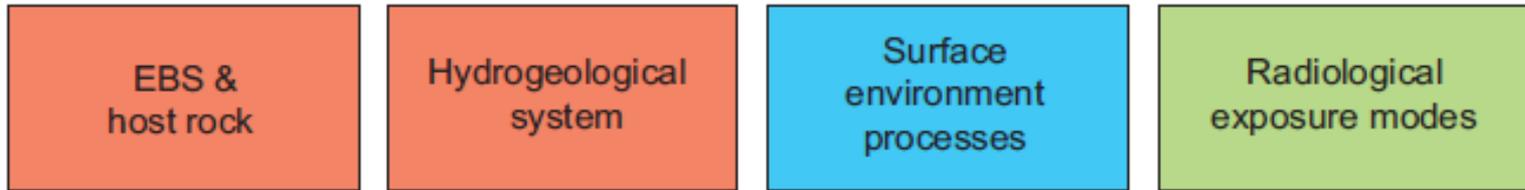
- Der Nachweiszeitraum ist der Zeitraum, für den die Langzeitsicherheit eines Endlagers nachzuweisen ist.
- Der Nachweiszeitraum für heutige Genehmigungsverfahren ist eine wichtige regulatorische Randbedingung für den Langzeitsicherheitsnachweis
- In den Sicherheitskriterien des BMI (1983) wird kein Nachweiszeitraum angegeben
- Der Nachweiszeitraum für das Endlager Konrad wurde im PFB nicht begrenzt:  
*Durch die geowissenschaftliche Langzeitprognose [...] wird qualitativ nachgewiesen, dass für den erforderlichen Isolationszeitraum von bis zu mehreren  $10^5$  Jahren keine wesentlichen Veränderungen der für den Radionuklidtransport bedeutsamen Parameter zu erwarten sind, so dass die derzeitigen geologischen und hydraulischen Barriereigenschaften und die Potentialverhältnisse weitgehend erhalten bleiben bzw. nicht signifikant im Hinblick auf eine Schadstofffreisetzung verändert werden. Insoweit ist es auch gerechtfertigt, den deterministischen Modellrechnungen in der Geosphäre die derzeitigen Standortgegebenheiten zugrunde zu legen. Vor diesem Hintergrund wäre auch eine Begrenzung des Nachweiszeitraumes auf 10.000 Jahre nicht begründbar und wurde deshalb nicht durchgeführt.*

## Nachweiszeitraum

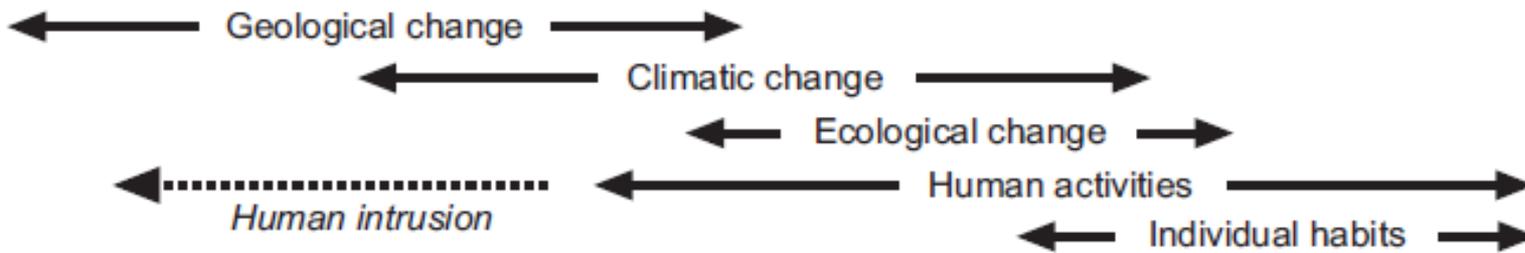
- Grenzen der Vorhersagbarkeit
  - Sicherheitsanalysen geben nur einen Sicherheitsindikator über die zukünftige Entwicklung des Endlagers
  - Keine Prognose der tatsächlichen zukünftigen Strahlenexposition der Bevölkerung

# Nachweiszeitraum: Grenzen der Vorhersagbarkeit

Elements to be represented



Changes acting on these elements



Quelle: NAGRA 2002 (nach NEA 1999)

## Nachweiszeitraum

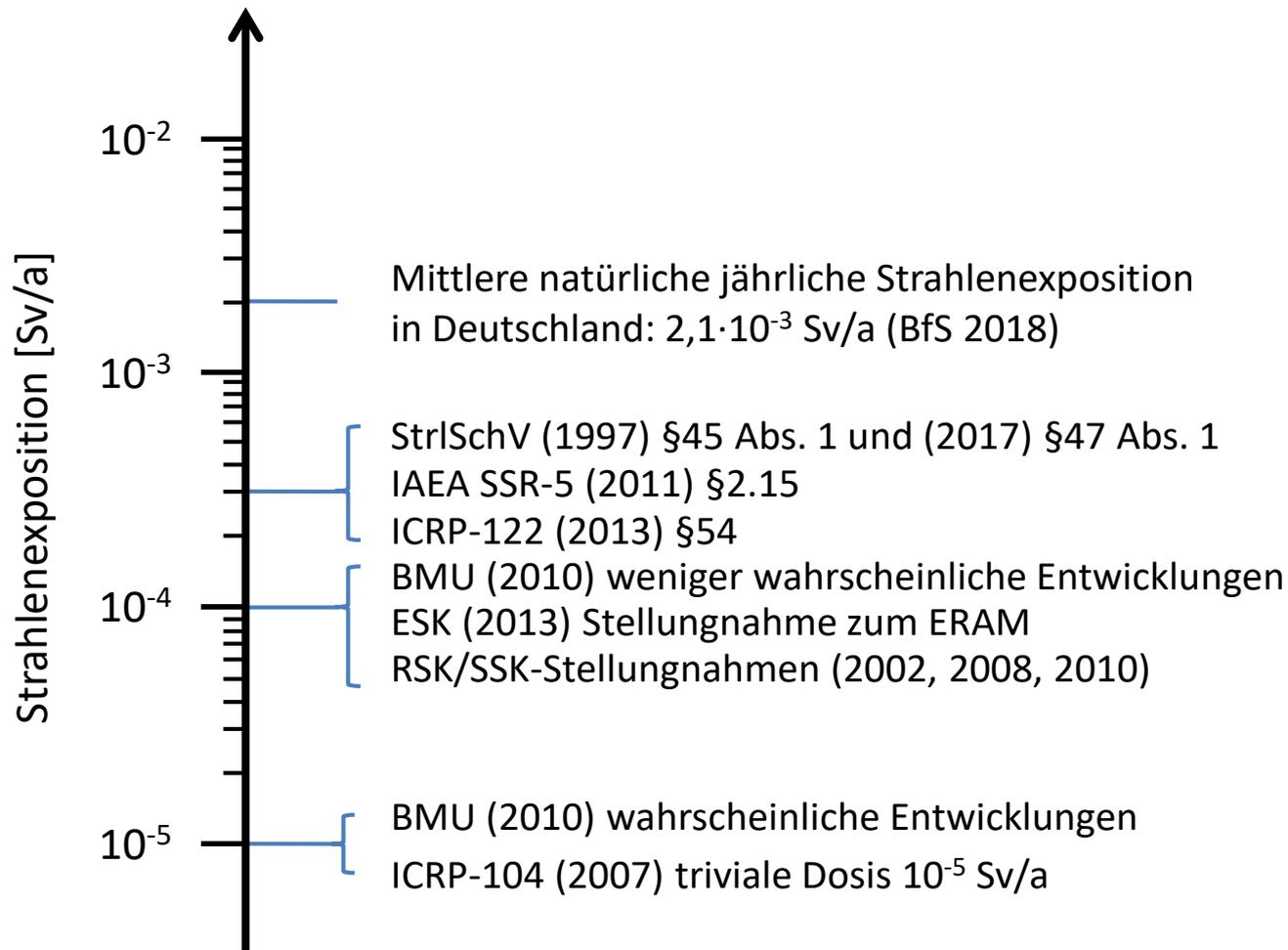
- Grenzen der Vorhersagbarkeit
  - Sicherheitsanalysen geben nur einen Sicherheitsindikator über die zukünftige Entwicklung des Endlagers
  - Keine Prognose der tatsächlichen zukünftigen Strahlenexposition der Bevölkerung
  
- Für wärmeentwickelnde Abfälle ist ein Nachweiszeitraum von 1 Million Jahren auf Grund der Sicherheitsanforderungen (BMU 2010) und StandAG Stand von W&T
  
- Da im PFB keine Beschränkung des Nachweiszeitraums erfolgt
  - Kein sicherheitsrelevantes Delta
  
- Für Zeiträume größer 1 Million Jahre sollte auf Aussagen, die einen hohen Detaillierungsgrad angeben, auf Grund der Ungewissheiten verzichtet werden
  - Einsatz spezieller Indikatoren

## Radiologischer Bewertungsmaßstab

- Planfeststellungsbeschluss (PFB)
  - *Die Basis der Bewertung der Langzeitsicherheit waren die zum Zeitpunkt der Feststellung gültigen gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerke, z.B. Atomgesetz, StrlSchV, Sicherheitskriterien. In ihnen sind die Schutzziele und Bewertungsgrößen, an Hand derer die Sicherheit des Endlagers zu messen ist, dargelegt.*
  - *Weiterhin wurden die internationalen Regeln und Empfehlungen der IAEA und ICRP beachtet.*
  - *Als radiologischer Bewertungsmaßstab wurde die Individualdosis von 0,3 mSv/a über den gesamten betrachteten Zeitraum der Nachbetriebsphase zu Grunde gelegt.*

# Radiologischer Bewertungsmaßstab

## Nationale und internationale Vorgaben und Empfehlungen



## Radiologischer Bewertungsmaßstab

- Der radiologische Bewertungsmaßstab des PFB von  $3 \cdot 10^{-4}$  Sv/a entspricht weiterhin dem Stand der regulatorischen Grundlage nach der StrlSchV
- Ein Wert von  $1 \cdot 10^{-4}$  Sv/a ist auf Grund der wissenschaftlichen Diskussion als Stand von W&T für ein Endlager mit vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen anzusehen.

# **Zusammenfassung und Empfehlung für weiterführende Untersuchungen**

## Zusammenfassung

- Analyse der umfangreichen Unterlagen in einem strukturierten Top-Down-Verfahren durch 44 Formblätter auf den Stand von W&T zu den Themengebieten
  - Langzeitsicherheitsanalyse
  - Kritikalität in der Nachbetriebsphase
  - Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins
- Umgang mit Ungewissheiten → betrachtete Szenarien  
„Vollständigkeitsüberprüfung“ der Langzeitsicherheitsanalyse
- Diskussion von übergeordneten regulatorischen und sicherheitsrelevanten Aspekten
  - Radiologischer Bewertungsmaßstab
  - Sicherheitskonzept
  - Nachweiszeitraum

## Zusammenfassung

Potenziell sicherheitsrelevante Deltas können 5 Aspekten zugeordnet werden:

1. Bewertung des Radionuklidtransports in der Gasphase
2. Überprüfung des Unterkreideszenarios
3. Einfluss von Kolloiden auf den Transport gelöster Radionuklide
4. Neuberechnung der Dosiskonversionsfaktoren
5. Vervollständigung des Nachweises zur Kritikalität in der Nachbetriebsphase

## Empfehlung für weiterführende Untersuchungen

- 5 Aspekte sollten quantitativ bewertet werden
  
- Mögliche Vorgehensweisen
  - Vorgehensweise **Einzelbewertung**
    - Nur die 5 Aspekte werden einzeln bewertet und der Einfluss auf die potenzielle Strahlenexposition bestimmt
    - Verwendung der Ansätze der im PFB verwendeten Langzeitsicherheitsanalyse
    - Kein Abbau der identifizierten Konservativitäten möglich
  - Vorgehensweise **Gesamtbewertung**
    - Umfassende neue Langzeitsicherheitsanalyse
    - Abbau identifizierter Konservativitäten
    - Bewertung der Ungewissheiten und Robustheit des Systems

**Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit!**