

# **Workshop zur Phase 1 der ÜSiKo Sicherheit in der Nachbetriebsphase**

André Rübel, Jens Wolf

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)  
gGmbH

23.01.2019

Braunschweig

# ÜsiKo

- Überprüfung der **sicherheitstechnischen** Anforderungen des Endlagers **Konrad** nach dem Stand von Wissenschaft und Technik
  
- Phase 1 der ÜsiKo: Ermittlung des Überprüfungsbedarfs
  
- Teilprojekt: Überprüfung der sicherheitsrelevanten Anforderungen zur
  1. Langzeitsicherheit
  2. Kritikalität in der Nachbetriebsphase
  3. Thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins
  
- Konsortium der Bearbeiter
  - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
  - AF-Consult Switzerland Ltd.
  - DMT GmbH & Co. KG

## Leitfragen in der 1. Phase der ÜSiKo

- Identifikation aller Punkte, für die sich durch den Fortschritt in Wissenschaft und Technik (W&T) ein sicherheitsrelevanter Überprüfungsbedarf ergibt

1986 ← 2002 → 2018

- Existieren bezüglich des Vorgehens im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Deltas zum heutigen Stand von W&T?



[Roehreseer - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, commons.wikimedia.org]



## Leitfragen in der 1. Phase der ÜSiKo

- Identifikation aller Punkte für die sich durch den Fortschritt in Wissenschaft und Technik (W&T) ein sicherheitsrelevanter Überprüfungsbedarf ergibt

1986 ← 2002 → 2018

- Existieren bezüglich des Vorgehens im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Deltas zum heutigen Stand von W&T?
  - Auf Grund der langen Zeitspanne sind Deltas zu erwarten
- Sind diese Deltas sicherheitsrelevant, das heißt, können sie den Bewertungsmaßstab für die Sicherheit des Endlagers negativ beeinflussen?
  - Anspruch der Langzeitsicherheitsanalyse: Durch konservative Annahmen sollten Ungewissheiten im Hinblick auf die Sicherheitsaussage abgedeckt sein
- Falls es sicherheitsrelevante Deltas gibt, welche Aspekte der Sicherheitsanalysen bedürfen einer Überarbeitung, um den Stand von W&T abzubilden?

# Aufteilung des Vortrags

## Teil 1: Analyse der Verfahrensunterlagen

- Verfahren zur Analyse der Verfahrensunterlagen
- Strukturierte Analyse der Unterlagen anhand von Formblättern
  1. Langzeitsicherheit
  2. Kritikalität in der Nachbetriebsphase
  3. Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

## Teil 2: Diskussion von übergeordneten Aspekten

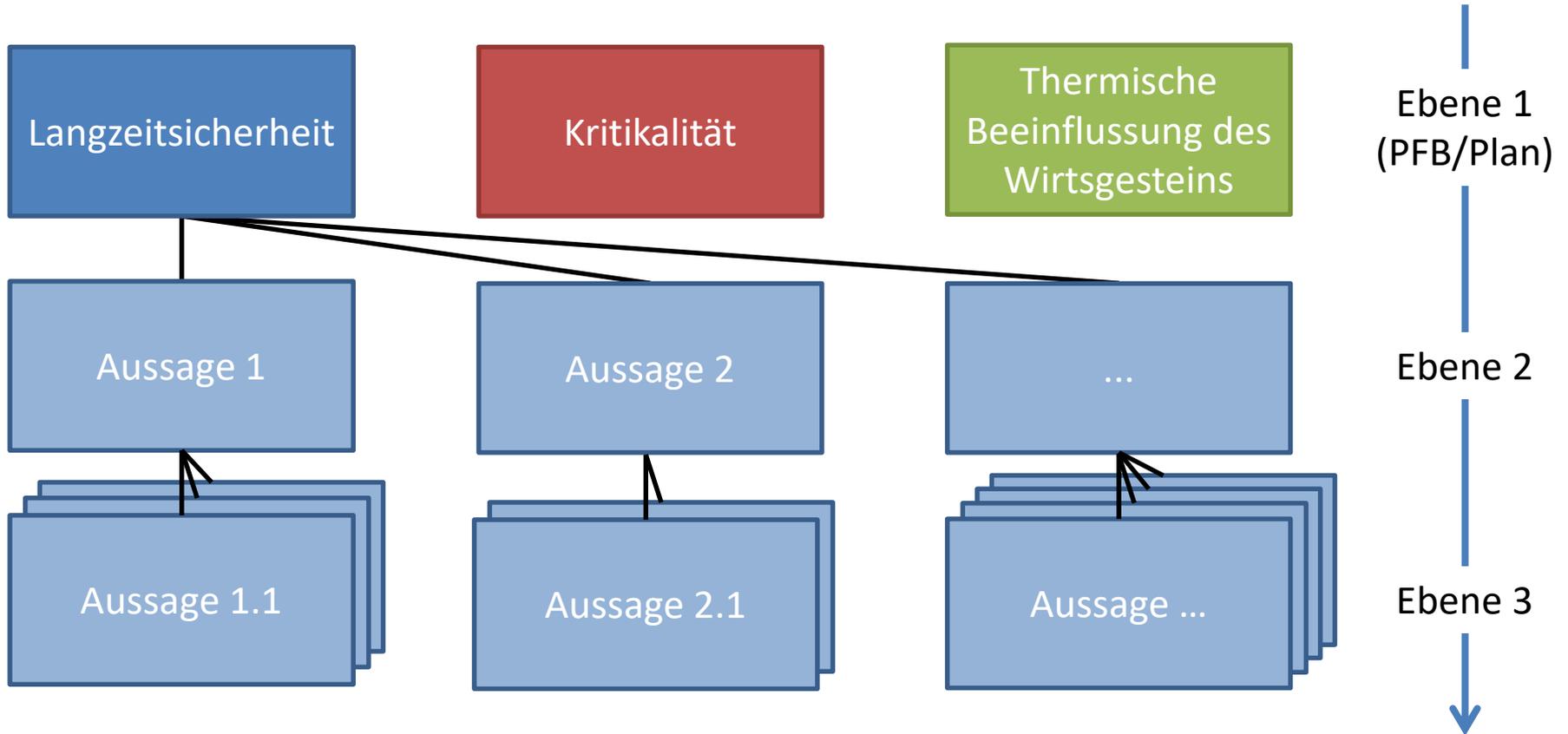
- Umgang mit Ungewissheiten inkl. betrachtete Szenarien
- Sicherheitskonzept
- Nachweiszeitraum
- Radiologischer Bewertungsmaßstab

Zusammenfassung und Empfehlung für weiterführende Untersuchungen

# Verfahren zur Analyse der Verfahrensunterlagen

- Verfahrensunterlagen
  - Insgesamt etwa 315 Berichte mit ca. 25 000 Seiten
    - Plan: Antragsunterlage des Antragsstellers BfS (1990)
    - Über 270 erläuternde Unterlagen (EU): z.B. Langzeitsicherheitsanalyse (1986)
    - Planfeststellungsbeschluss (PFB): Genehmigungsunterlage des Niedersächsischen Umweltministeriums (2002)
    - Ca. 40 Gutachten für die Genehmigungsbehörde: z.B. TÜV Hannover, NLfB
  
- Vollständige Analyse der gesamten Unterlagen ist in der ÜsiKo nicht möglich
  - Strukturierter Ansatz
  - Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit des Vorgehens
  - Top-Down Ansatz beginnend mit den Aussagen im PFB und Plan unter Verwendung von Formblättern

# Hierarchische Top-Down Analyse der Verfahrensunterlagen



# Analyse der Verfahrensunterlagen und deren Dokumentation

## Ein Formblatt für jede Aussage/Information

<p><b>Nummer:</b></p> <p>1</p> <p>Anzahl der Dokumente in der nächsten Ebene: 0</p> <p>Die Dokumentnummer hat genau so viele Stellen, wie die Nummer der Ebene der sie angehört, z. B. 2.2.3 für ein Dokument der dritten Ebene. Die Anzahl Dokumente wird angegeben, sobald die nächste Ebene vollständig beschrieben wurde und dient vor allem der Kontrolle der Vollständigkeit der Unterlagen. Der Dokumentname enthält die Dokumentnummer.</p> <hr/> <p><b>Titel:</b></p> <p>Kurzer Titel der Aussage, Name des Prozesses, Art der Daten etc.</p> <hr/> <p><b>Ursprungsdokument(e):</b></p> <p><b>Hauptdokument: P 1</b></p> <p><b>Unterstützende Dokumente:</b></p> <p>Nummer des Dokuments entsprechend der Dokumentenliste der Planunterlagen, das den Ursprung für die begutachtete Aussage ist. Falls weitere Dokumente begutachtet wurden, um die Aussage zu prüfen, diese aber nicht in einer Unterebene aufgeführt werden, so sind diese ebenfalls hier aufzuführen.</p> <hr/> <p><b>Beschreibung der Aussagen:</b></p> <p>Kurze Zusammenfassung der Aussagen auf dieser Ebene und, falls keine weiteren Unterebenen mehr betrachtet wurden, auch die Aussagen eventueller anderer mitberücksichtigter Quelldokumente, z.B. Messdaten, Beschreibungen der Geologie usw.</p> <hr/> <p><b>Eingehende standortspezifische Informationen:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Abhängig von standortspezifischen Informationen zu den Abfällen</p> <p><input type="checkbox"/> Abhängig von standortspezifischen Informationen zum Grubengebäude</p> <p>Es ist anzukreuzen, ob die Aussage von standortspezifischen Informationen über die Abfälle oder das Endlagerbergwerk abhängt, die sich verändern können. Gegebenenfalls einen Text einfügen zur Beschreibung welche Abhängigkeit besteht.</p>	<p><b>Bewertung der Gültigkeit der Information:</b></p> <p>Wählen Sie ein Element aus.</p> <p>Wählen Sie ein Element aus.</p> <p>Bewertung, ob die Aussage belegt ist, entsprechend Auswahlfeld.</p> <p>Auswahl der Art des Deltas aus der Liste, oder Auswahl des leeren Feldes, wenn kein Delta Gegebenenfalls einen Text einfügen zur Beschreibung des Deltas zum Stand von Wissenschaft und Technik.</p> <hr/> <p><b>Empfehlung zum Umgang mit dem Delta:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Weitere Untersuchungen werden empfohlen</p> <p>(Nur auszufüllen, falls eine Lücke im Stand von Wissenschaft und Technik identifiziert wurde)</p> <p>Falls möglich eine Bewertung der Relevanz des Deltas im Hinblick auf die Sicherheit und eine dadurch begründete Empfehlung des weiteren Umgangs. Ankreuzen, falls zu weiteren Arbeiten geraten wird.</p> <hr/> <p><b>Literatur:</b></p> <p>(Falls notwendig, Zitate externer Literatur, die nicht aus dem Verfahren stammt und verwendet wird, um die vorgenommene Bewertung zu belegen)</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Analyse der Verfahrensunterlagen und deren Dokumentation

Ein Formblatt für jede Aussage/Information

- Eindeutige Nummer
- Titel
- Verweis zur Quelle der Information
- Kurze Zusammenfassung der Aussage
- Bewertung der Gültigkeit der Information
- Entspricht Stand von W&T ↔ Delta zum Stand von W&T identifiziert?
- Gegebenenfalls:
  - Kategorisierung des Deltas
  - Beschreibung und Begründung des Deltas
  - Einschätzung und Begründung zur Sicherheitsrelevanz des Deltas
    - Keine quantitativen Analysen in der ersten Phase der ÜsiKo
    - Im Zweifelsfall ist ein Delta als potenziell sicherheitsrelevant zu betrachten
  - Empfehlung des Umgangs mit dem vorliegenden Delta

Insgesamt 44 Formblätter in 3 Ebenen

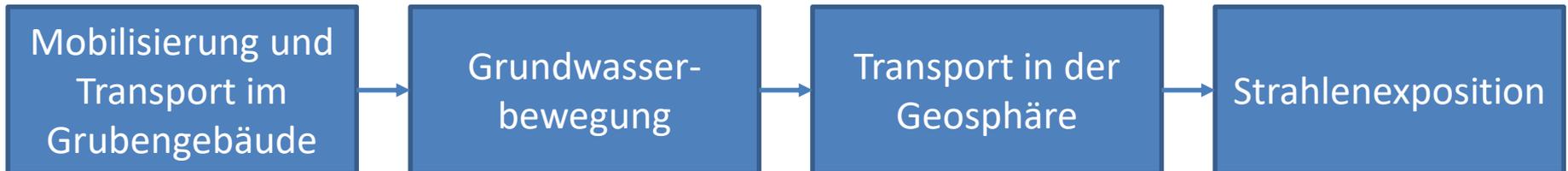
## Mögliche Kategorien der Deltas

- Überprüfung der Aussagen in den Verfahrensunterlagen
  1. Delta bezüglich der Folgerichtigkeit eines Argumentationsschrittes
  2. Delta bezüglich der Konservativität von Annahmen
  3. Sonstige Deltas hinsichtlich der Verfahrensunterlagen
- Stand von W&T im Hinblick auf das grundsätzliche Vorgehen bei der Bewertung
  4. Delta bezüglich berücksichtigter Szenarien
  5. Delta bezüglich berücksichtigter Prozesse
  6. Delta bezüglich der Würdigung von Modell- und Parameterungewissheiten
  7. Neue Entwicklungen betreffend Analysemethoden
  8. Neue Entwicklungen betreffend Analysewerkzeugen
- Neue Daten und sonstige Informationen
  9. zum Standort
  10. zu vergleichbaren Standorten
  11. zu standortunabhängigen Daten
  12. zum Prozessverständnis

## Analyse der Unterlagen

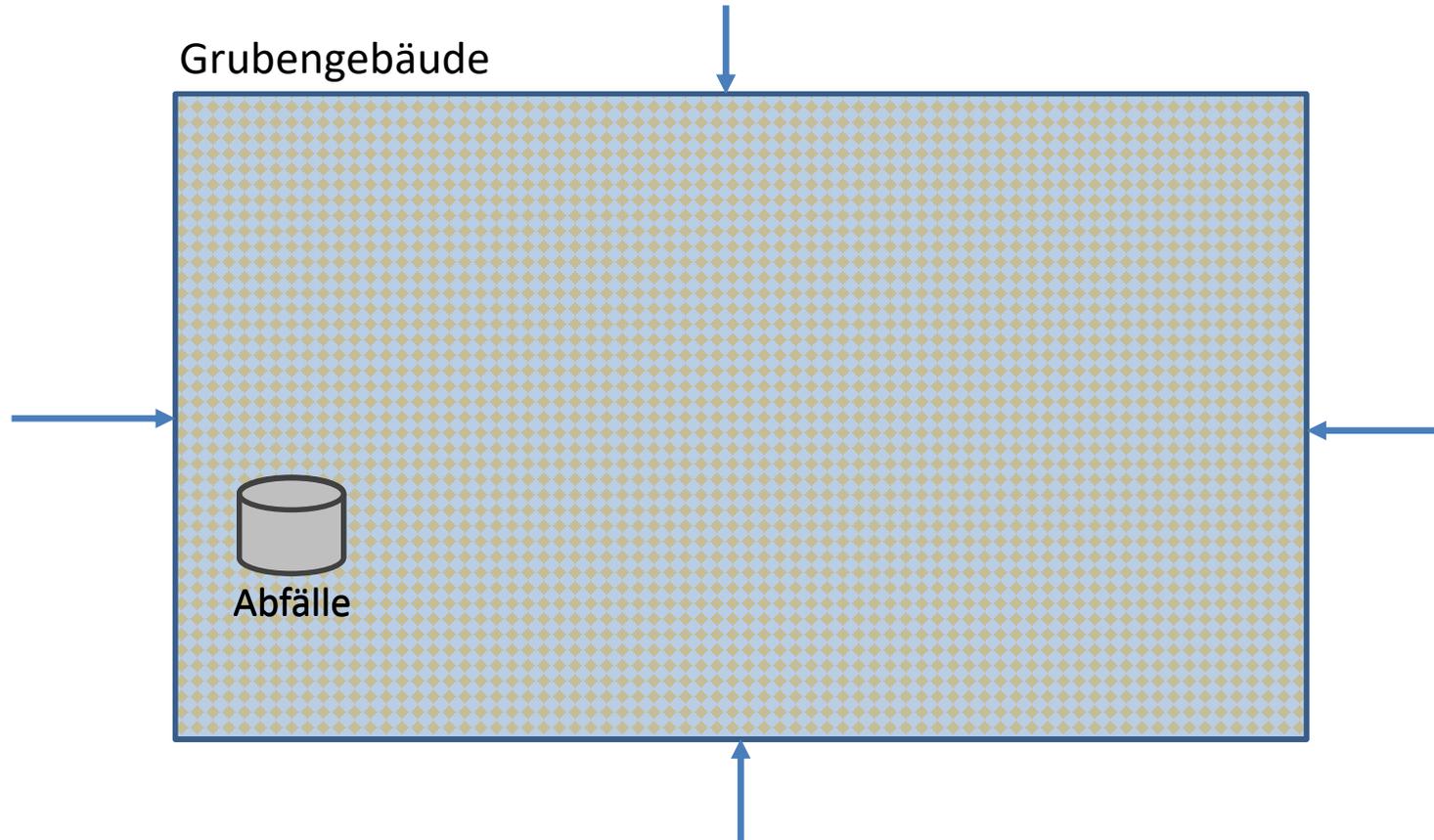
- Themenbereich 1: Langzeitsicherheit
  - Unterteilung nach den Bearbeitungsschritten in der Langzeitsicherheitsanalyse
  - Entspricht jeweils einem Unterkapitel im Planfeststellungsbeschluss

Szenarien (Teil 2 des Vortrags)

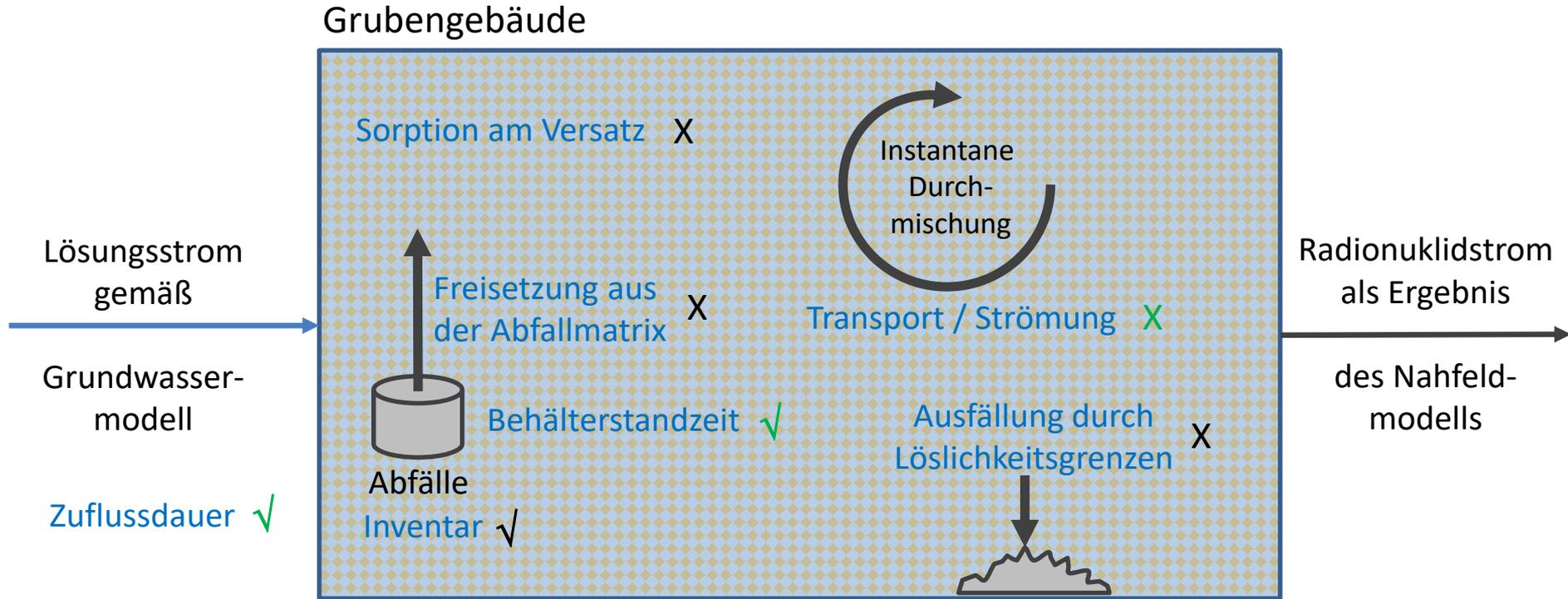


- Themenbereich 2: Kritikalität in der Nachbetriebsphase
- Themenbereich 3: Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

# Mobilisierung und Transport im Grubengebäude



# Mobilisierung und Transport im Grubengebäude

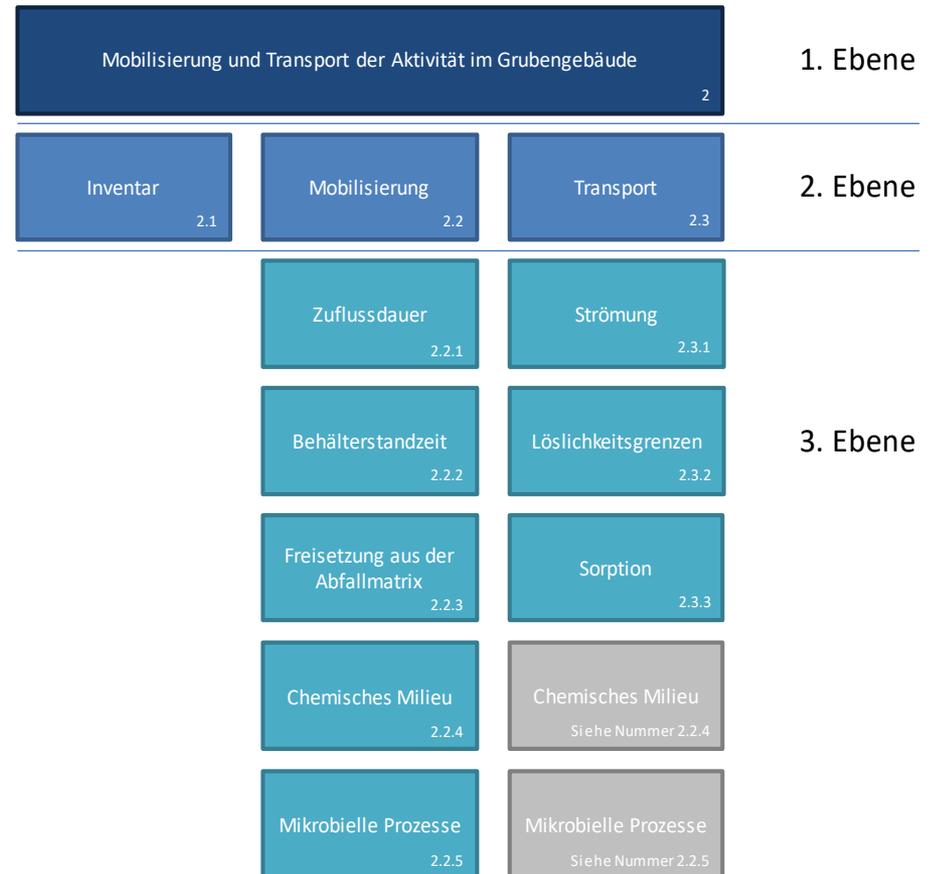


- Aspekt der Langzeitsicherheitsanalyse...
- ✓ ...entspricht Stand von W&T
  - X ...beinhaltet Delta zum Stand von W&T
  - X** ...beinhaltet potenziell sicherheitsrelevantes Delta
  - ✓ ...entspricht Stand von W&T mit ausgewiesener Konservativität
  - X ...beinhaltet Delta mit ausgewiesener Konservativität

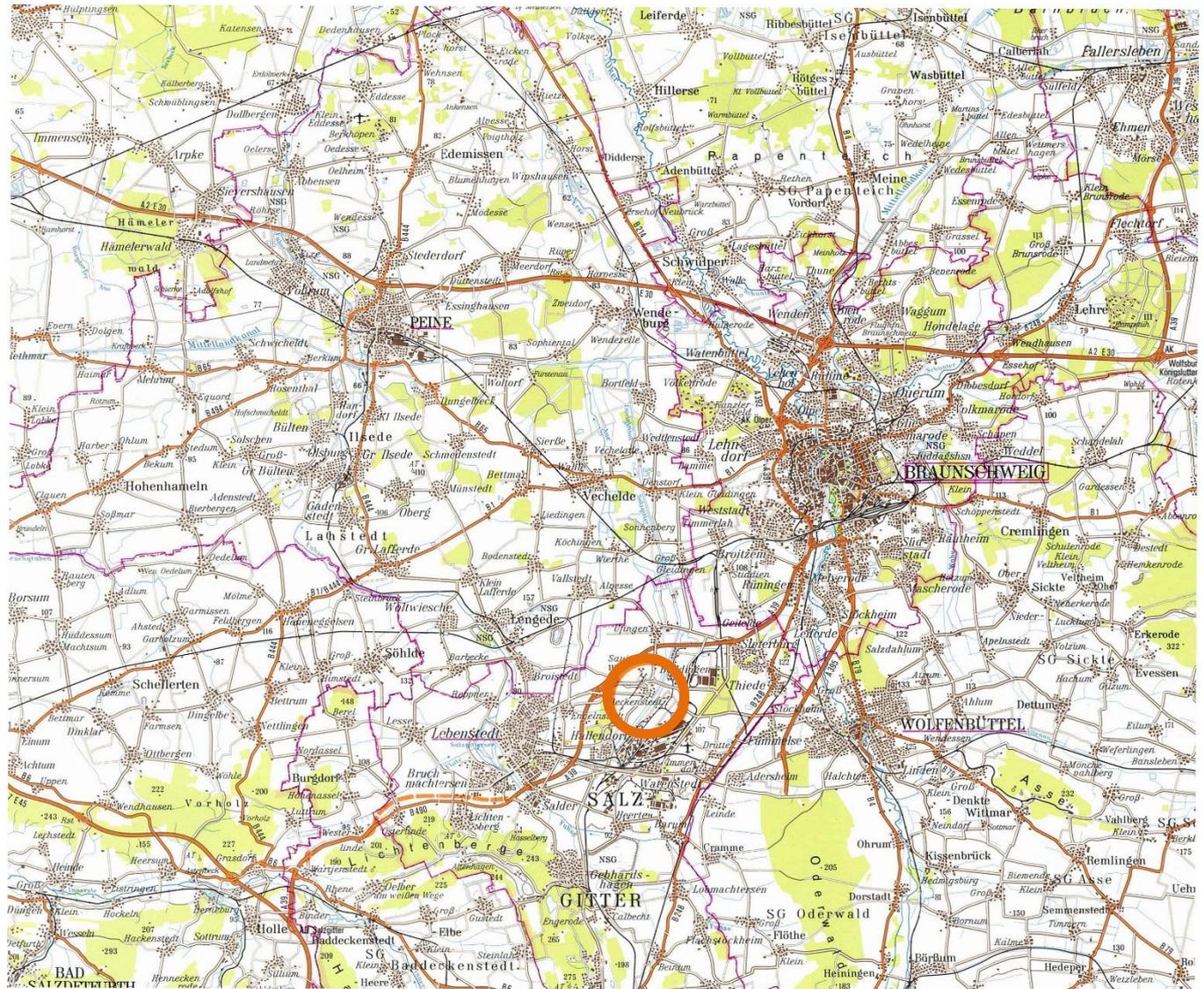
- Chemisches Milieu ✓
- Mikrobielle Prozesse ✓
- Kolloidtransport X
- Transport in der Gasphase **X**

# Mobilisierung und Transport im Grubengebäude: Zusammenfassung

- Prozesse im Grubengebäude haben nur geringen Einfluss auf die potentielle zukünftige Strahlenexposition in der Biosphäre
  
- 12 Teilaspekte
  
- 1 sicherheitsrelevantes Delta
  - Freisetzung von Radionukliden über den Gaspfad



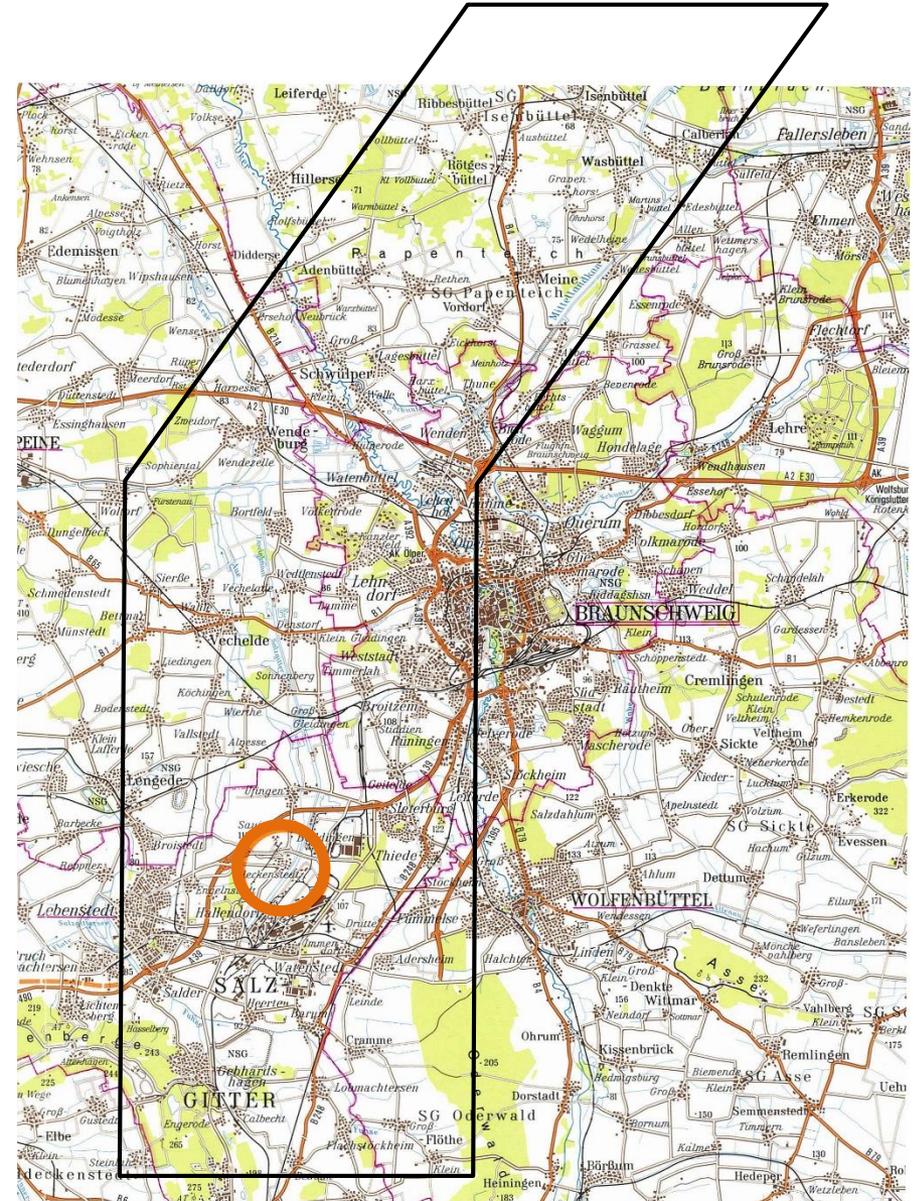
# Grundwasserbewegung



# Grundwasserbewegung

Basis ist das geologische Modell

- Geowissenschaftliche Erkundung
  - Im Grubengebäude
  - Abteufen von Bohrung K101
  - Reflexionsseismik
  - Bohrlochprofile alter Bohrungen

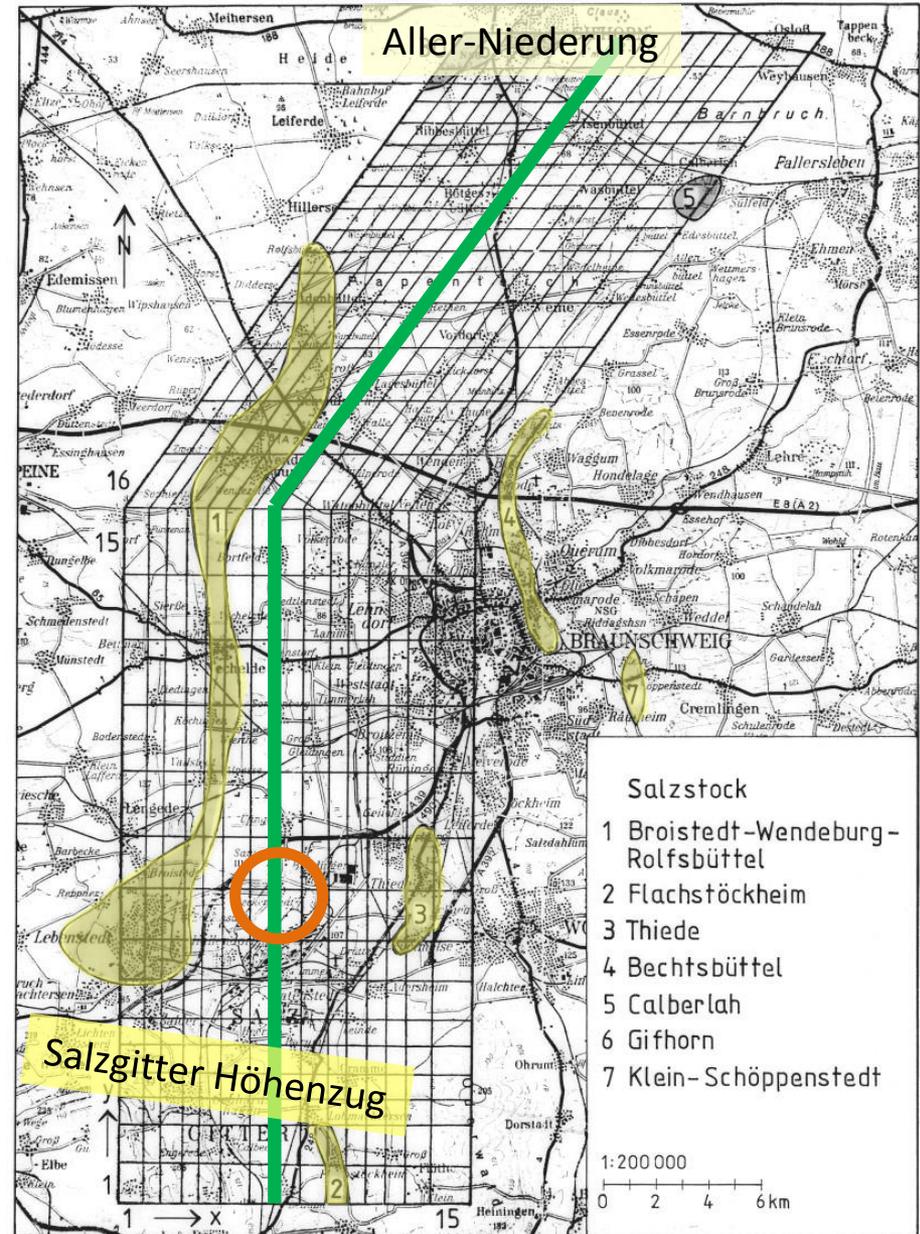


# Grundwasserbewegung

Basis ist das geologische Modell

- Geowissenschaftliche Erkundung
  - Im Grubengebäude
  - Abteufen von Bohrung K101
  - Reflexionsseismik
  - Bohrlochprofile alter Bohrungen
- Beschreibung von 15 x 30 Schnitten
- Begutachtung durch NLFb mit zusätzlichen eigenen Daten
- Es liegen keine neuen relevanten Daten seit der Erkundung vor
- Grundwasserbewegung gut definiert
- Detaillierungsgrad der Informationen erscheint ausreichend für die getroffenen Schlussfolgerungen

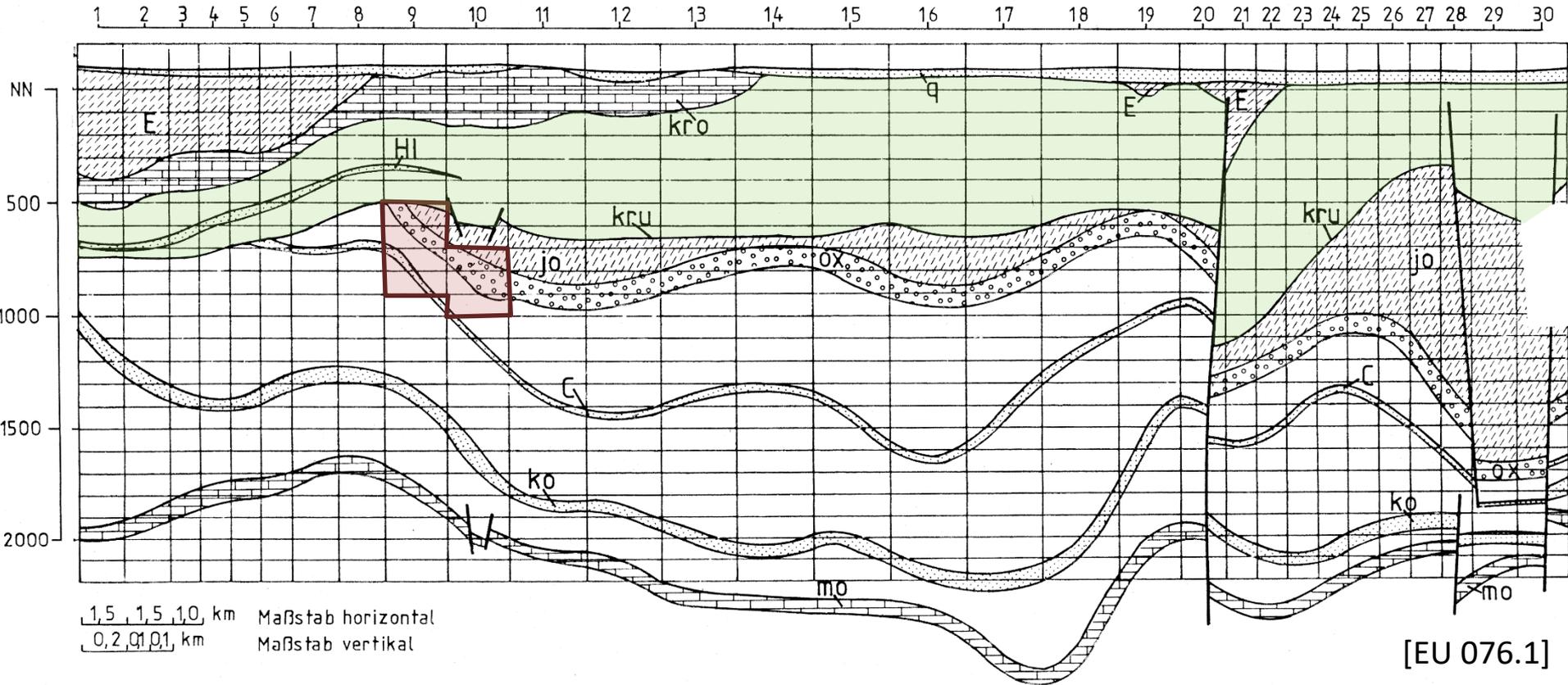
Geologisches Modell



# Grundwasserbewegung: Geologisches Modell

Schnitt Nummer 8

Y - Block Nr



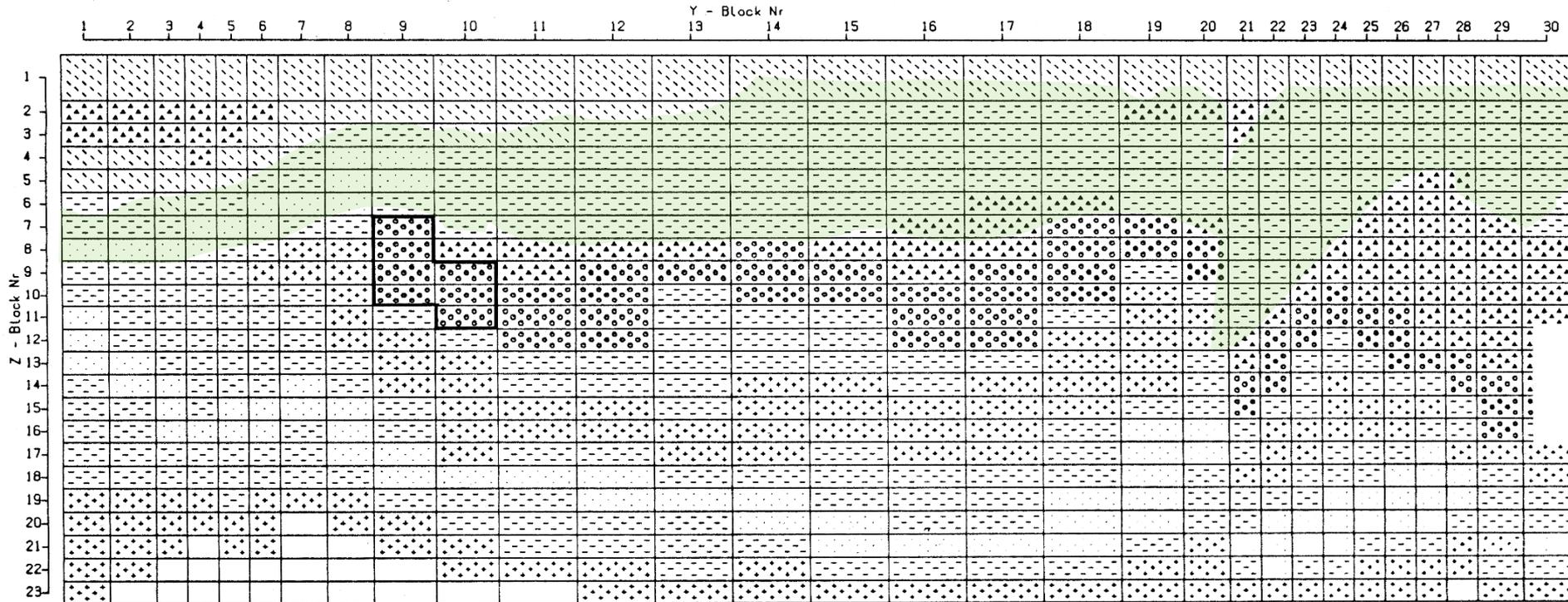
2 Varianten zur Betrachtung der Ungewissheiten:  
 Unterschiedliche Durchlässigkeit der Unterkreidetone (kru)

Variante 1: höhere Durchlässigkeit ( $k_f = 10^{-10}$  m/s)

Variante 2: geringere Durchlässigkeit ( $k_f = 10^{-12}$  m/s)

q	Quartär	jo	Oberer Jura
t	Tertiär	ox	Oxford
E	Emscher Mergel	C	Cornbrash
kro	Oberkreide	ko	Räth
HI	Hilssandstein	mo	Oberer Muschelkalk
kru	Unterkreide		

# Grundwasserbewegung: Numerisches Modell



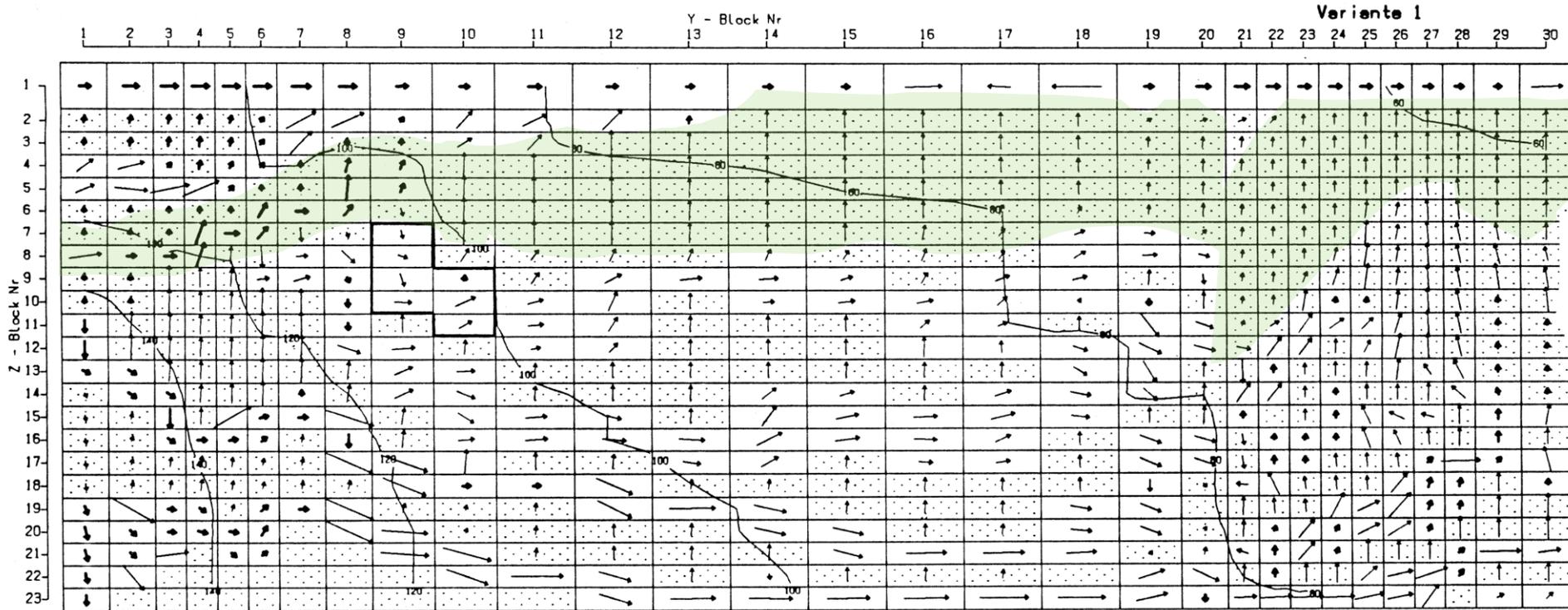
[EU 076.1]

- Umsetzung des geologischen Modells in das numerische 3D Modell
- Jedem Gittervolumen wird eine zeitlich konstante Permeabilität zugeordnet

Hydrogeologisches Modell X

# Grundwasserbewegung: Geschwindigkeitsfeld und Druckverteilung

Variante 1: höhere Durchlässigkeit der Unterkreidetone

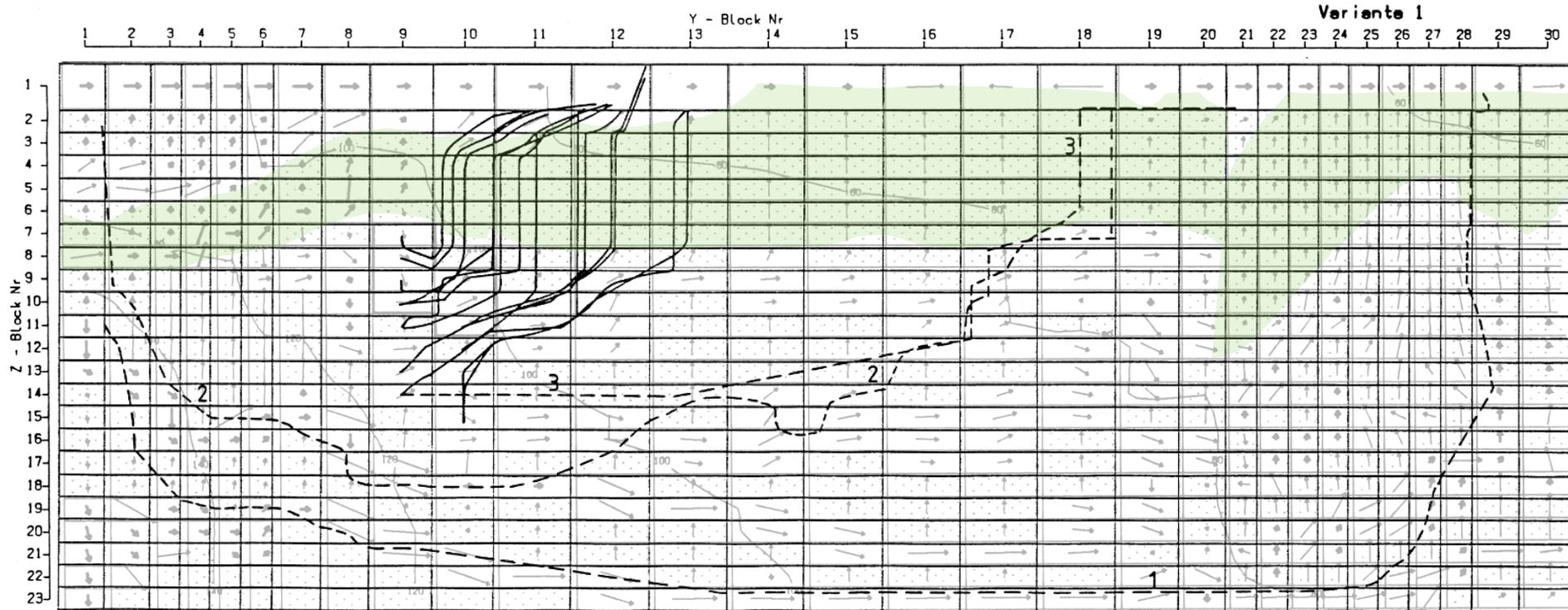


[EU 076.1]

- Druckverteilung ohne Berücksichtigung der Dichte des Grundwassers
- Pfeile zeigen Strömungsrichtung und Geschwindigkeit an
  - Berücksichtigung der Dichte würde zu deutlich geringeren Geschwindigkeiten führen
- Ergebnisse wurden mit denen von vier anderen Rechenprogrammen verglichen

# Grundwasserbewegung: Fließpfade (Particle Tracking)

Variante 1: höhere Durchlässigkeit der Unterkreidetone

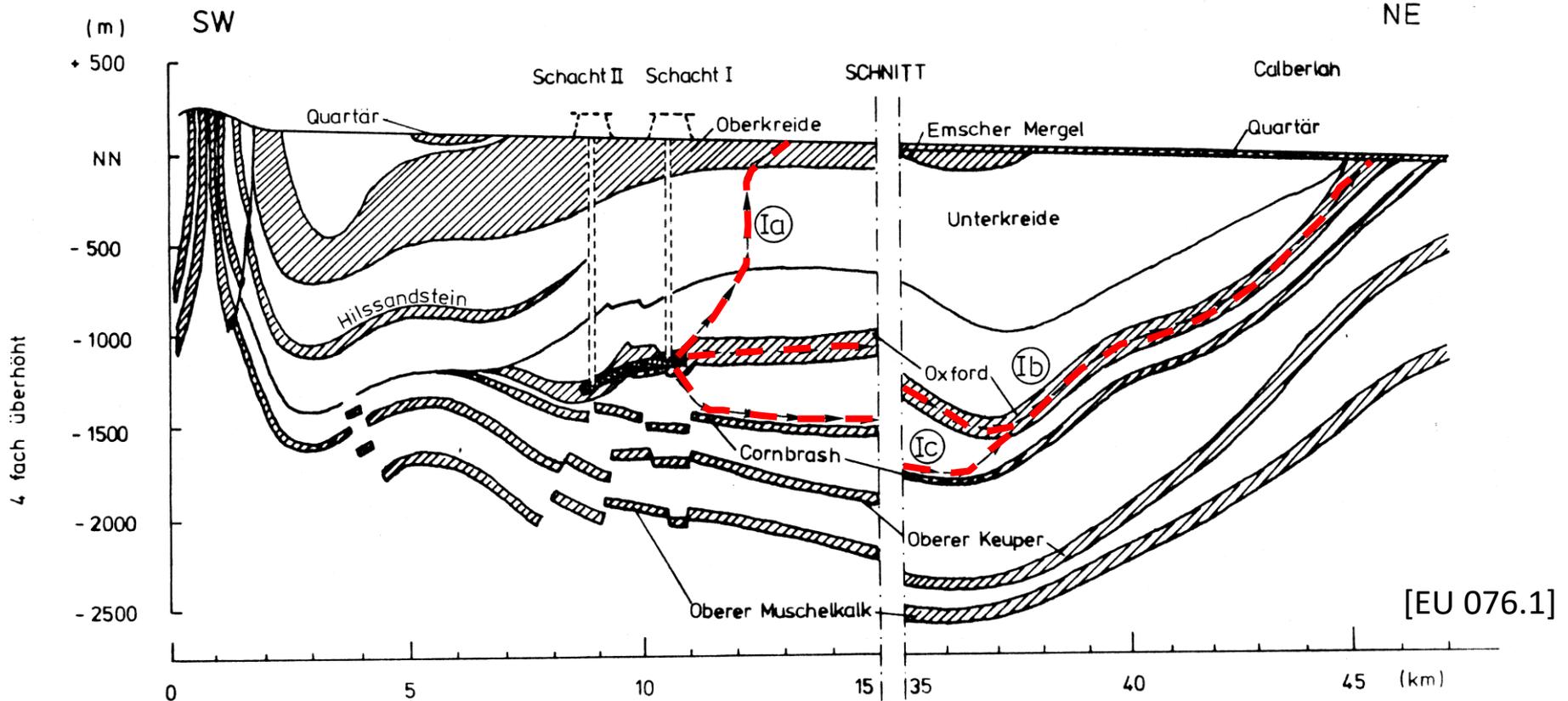


[EU 076.1]

- Particle Tracking
- Verfolgung der Bewegung eines Stoff ohne Wechselwirkung mit den Gesteinen

Stromlinien → Transport in der Geosphäre

# Grundwasserbewegung: Hauptfließpfade

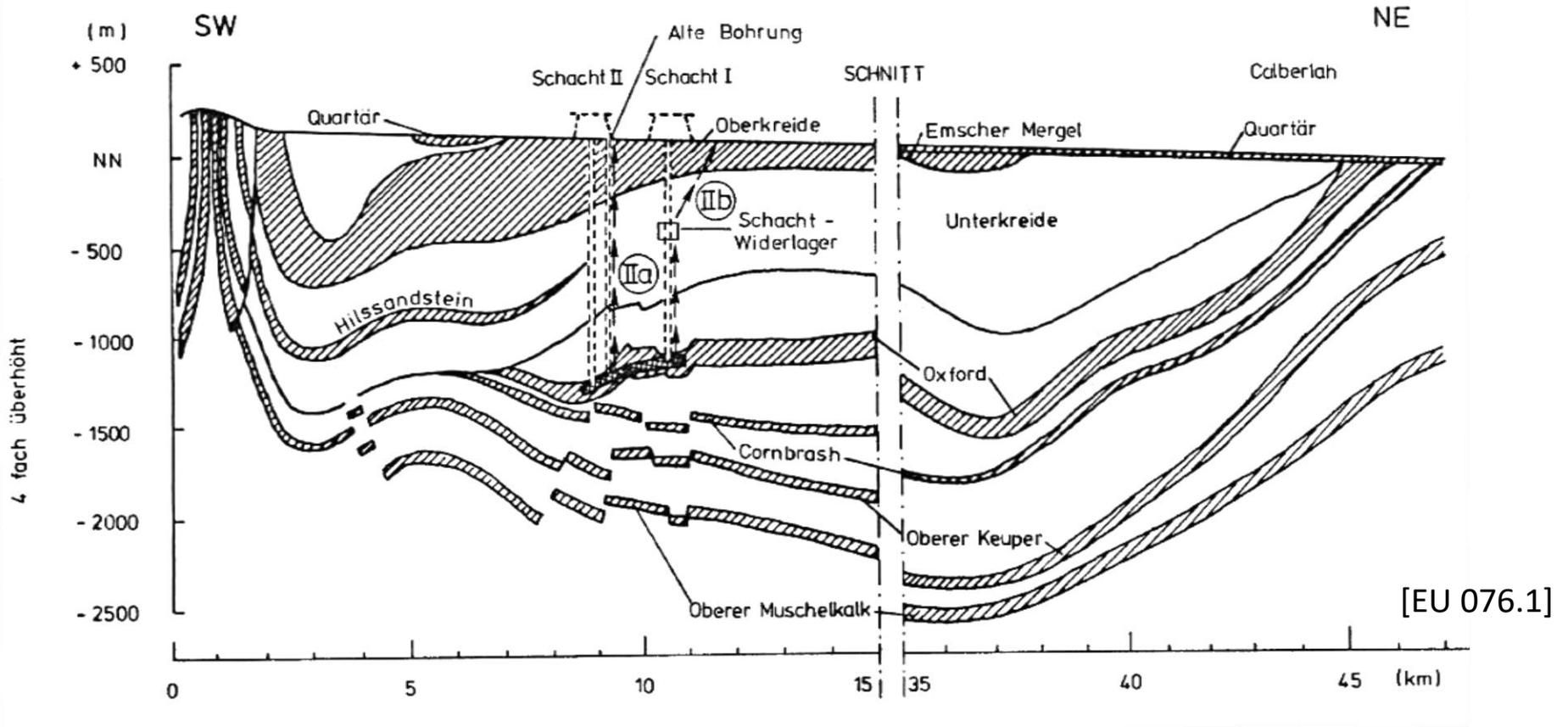


Pfad	Fließdauer im Modell
1a: Unterkreide-Pfad:	430 000
1b: Oxford-Pfad:	300 000
1c: Cornbrash-Pfad:	1 100 000

Modellierungen der BGR mit einem 2D-Salzwassermodell und die Grundwasseralter weisen auf wesentlich längere Fließdauer hin

Modellrechnungen ,großräumige Grundwasserströmung' ✓

# Grundwasserbewegung: Einfluss von Schächten und Bohrungen



- Betrachtung von Schächten und Bohrungen mit zeitlich konstanten Parametern

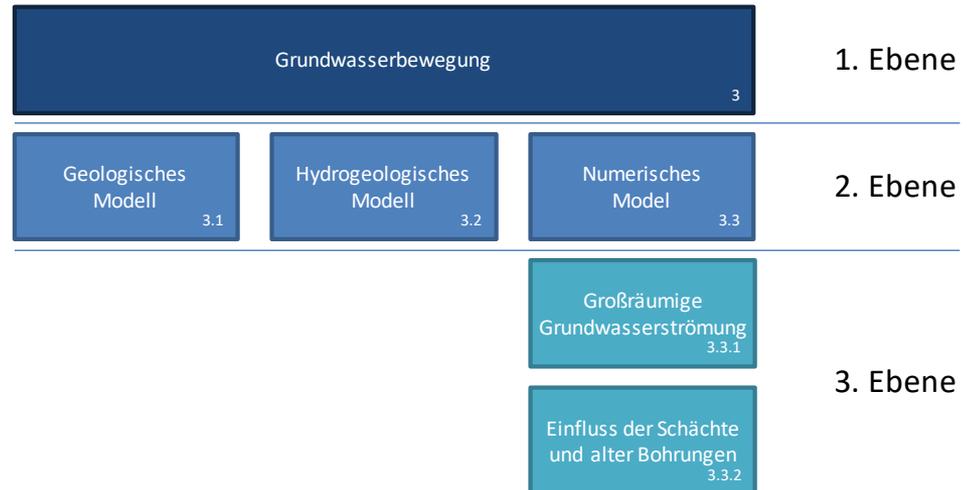
Modellrechnungen zum Einfluss von Schächten und Bohrungen X

# Grundwasserbewegung: Zusammenfassung

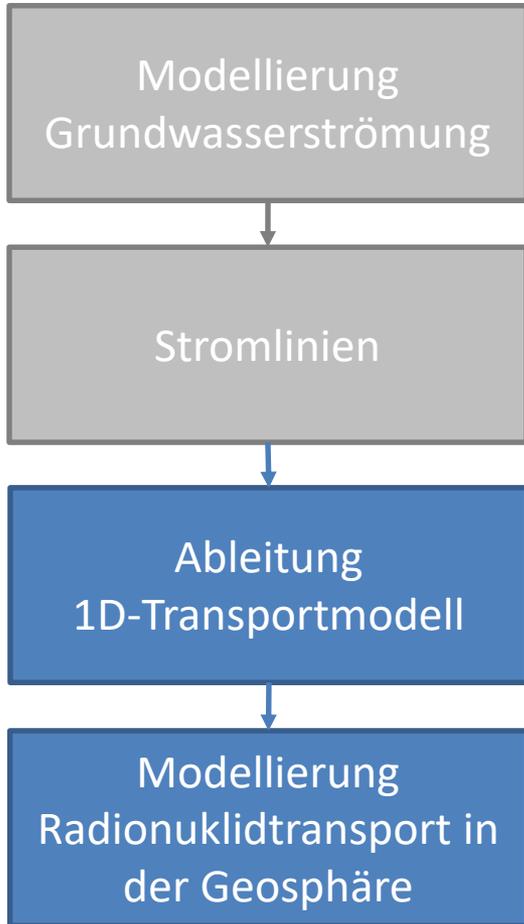
- Berücksichtigung von unterschiedlichen hydrogeologischen Modellen
- Modellierung mit fünf voneinander unabhängigen Grundwassermodellen
  - 4 Süßwassermodelle, ein Salzwassermodell
  - Unterschiedliche Struktur, Komplexität, Numerik
  - Vergleichbare Ergebnisse
  - Die Zahl und Diversität der eingesetzten geologischen / numerischen Modelle stärkt das Vertrauen in die Wissensbasis und die berechneten Ergebnisse

- 6 Teilaspekte

- Kein sicherheitsrelevantes Delta



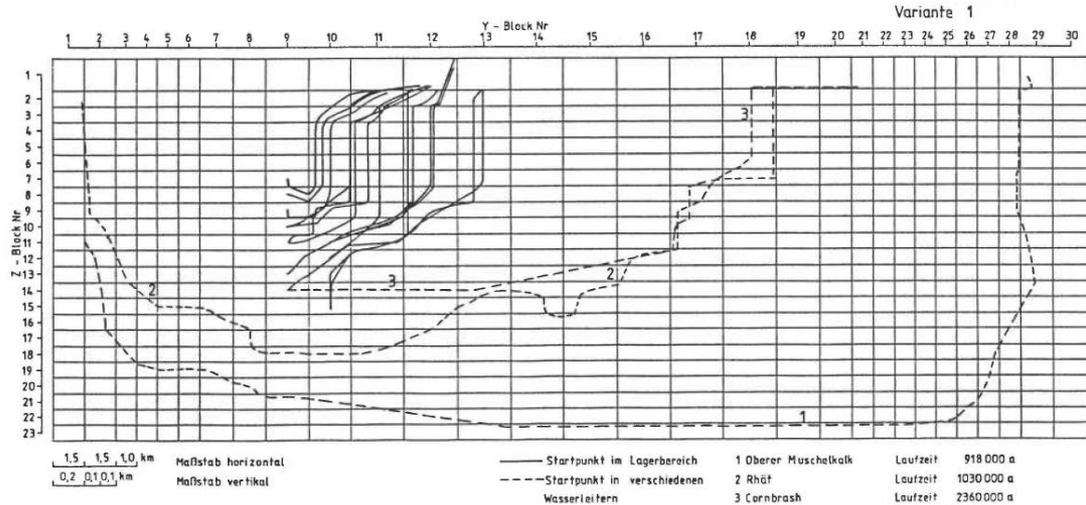
# Transport in der Geosphäre: Modell Unterkreide-Pfad



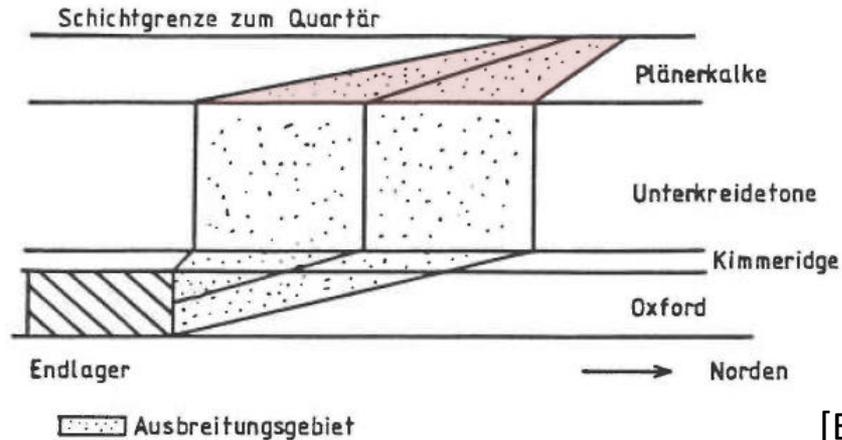
1D-Transportmodell ✓

Wahl der Stromlinien ✗

Delta gilt nur für Unterkreidepfad

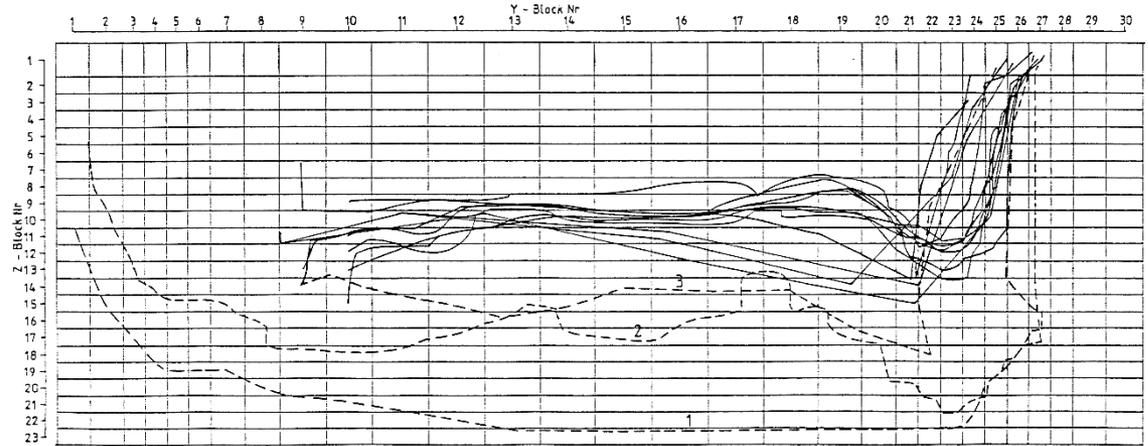
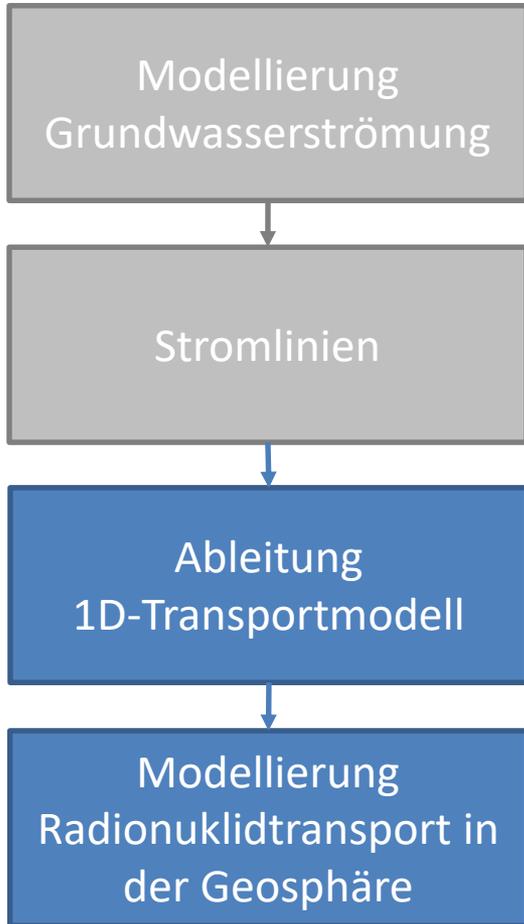


[EU 076.1]

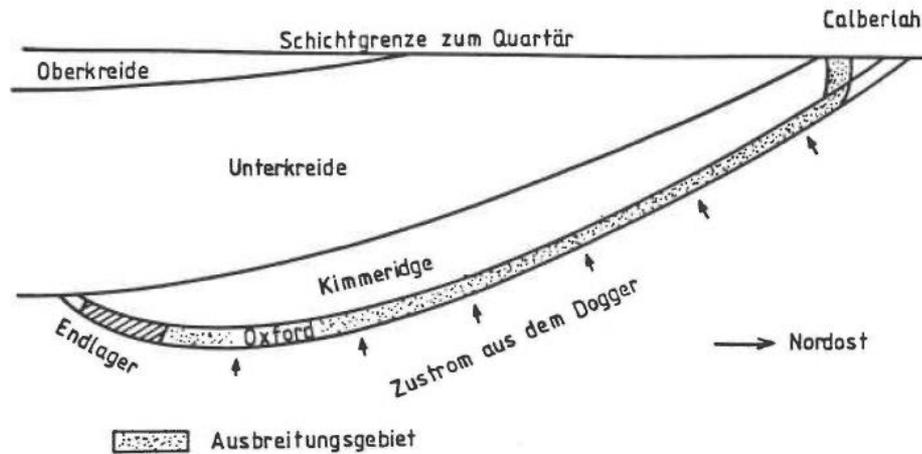


[EU 076.1]

# Transport in der Geosphäre: Modell Oxford-Pfad



[EU 076.1]

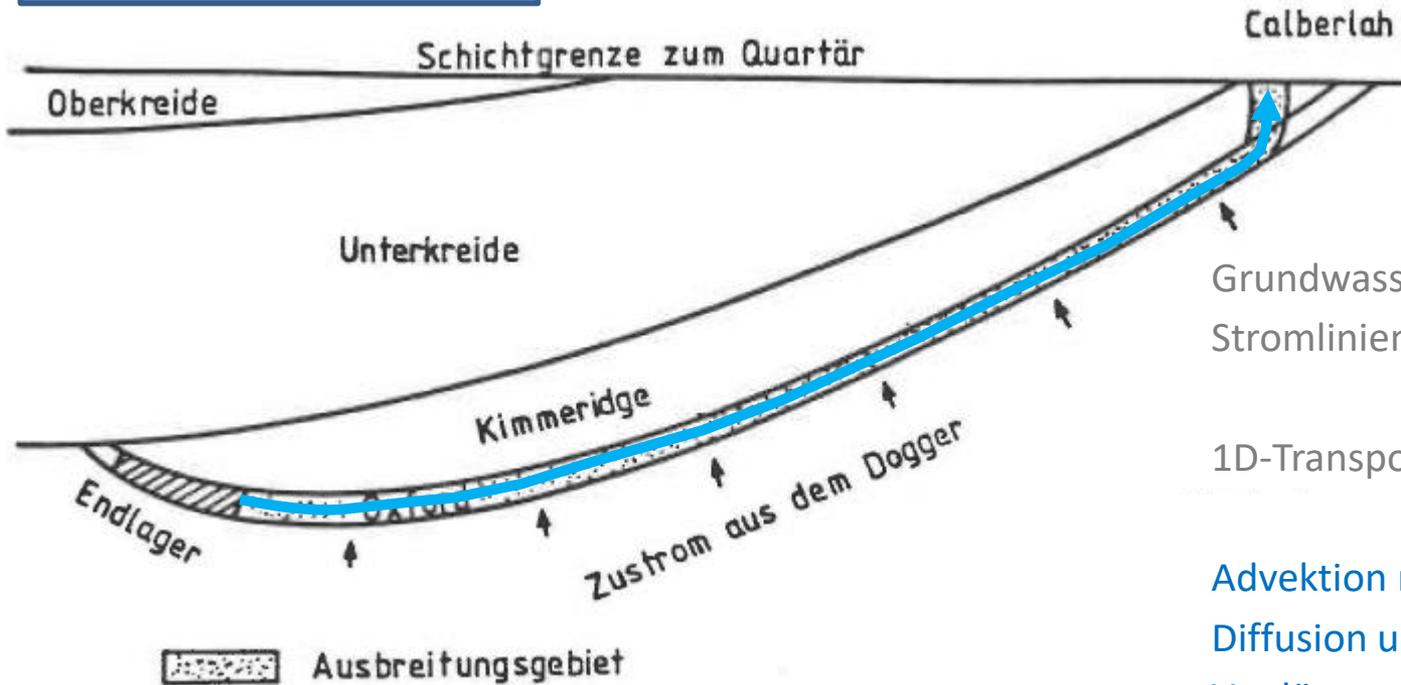


[EU 076.1]

- 1D-Transportmodell ✓
- Wahl der Stromlinien ✓

# Transport in der Geosphäre: Betrachtete Prozesse

Modellierung  
Radionuklidtransport in  
der Geosphäre



- Grundwasserströmung ✓
- Stromlinien Unterkreidepfad ✗
- Oxford-Pfad ✓
- 1D-Transportmodell ✓
- Advektion mit der Strömung ✓
- Diffusion und Dispersion ✗
- Verdünnung ✓
- Sorption Unterkreide-Pfad ✗
- Oxford-Pfad ✓
- Kolloidtransport ✗
- Transport in der Gasphase ✗

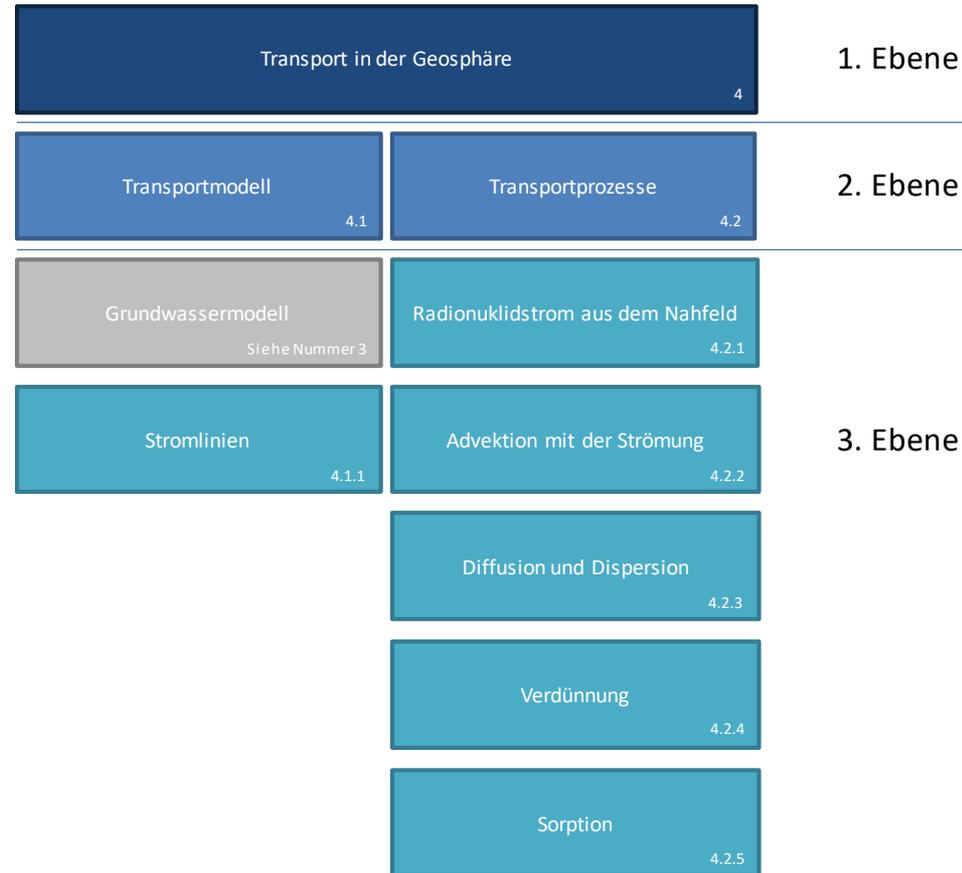
# Transport in der Geosphäre: Zusammenfassung

- Modellierung des Transports auf zwei Ausbreitungspfaden mit 1D-Modell

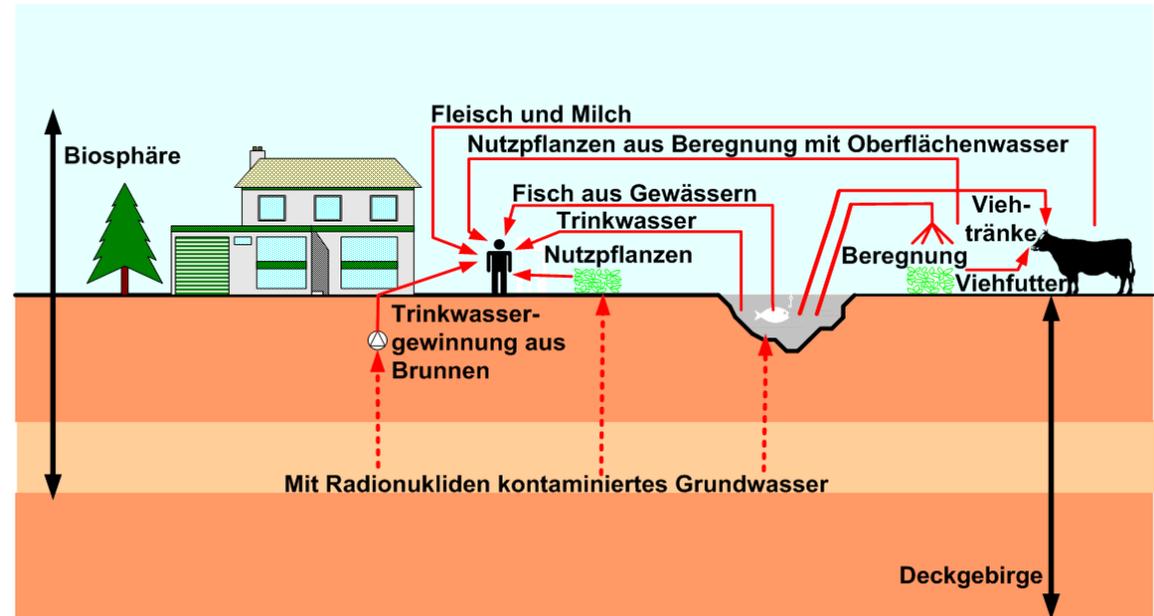
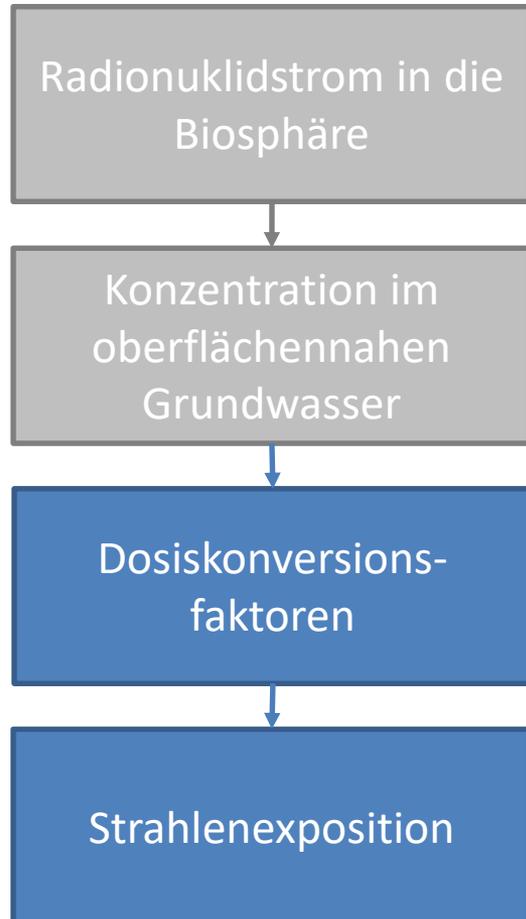
- 9 Teilaspekte

- 5 sicherheitsrelevante Deltas

- 2 fehlende Prozesse  
Kolloidtransport  
Transport in der Gasphase
- 3 offene Fragen im Unterkreide-Pfad  
bezüglich der Diffusion,  
Stromlinien und der Sorption



# Strahlenexposition

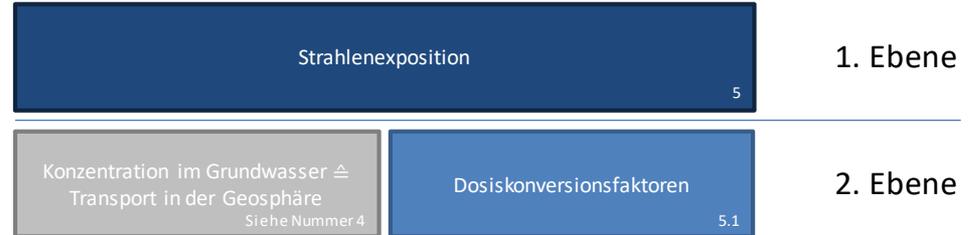


## Dosiskonversionsfaktoren X

- Umrechnung von Konzentration in eine Dosis
- Berechnungsvorschrift gemäß der AVV zur StrlSchV
  - Prinzipielles Vorgehen und Pfade unverändert
  - Details der Regelung haben sich geändert
  - Neuberechnung notwendig
  - Sicherheitsrelevantes Delta

## Strahlenexposition: Zusammenfassung

- 2 Teilaspekte
- 1 sicherheitsrelevantes Delta
  - Neuberechnung der Dosiskonversionsfaktoren



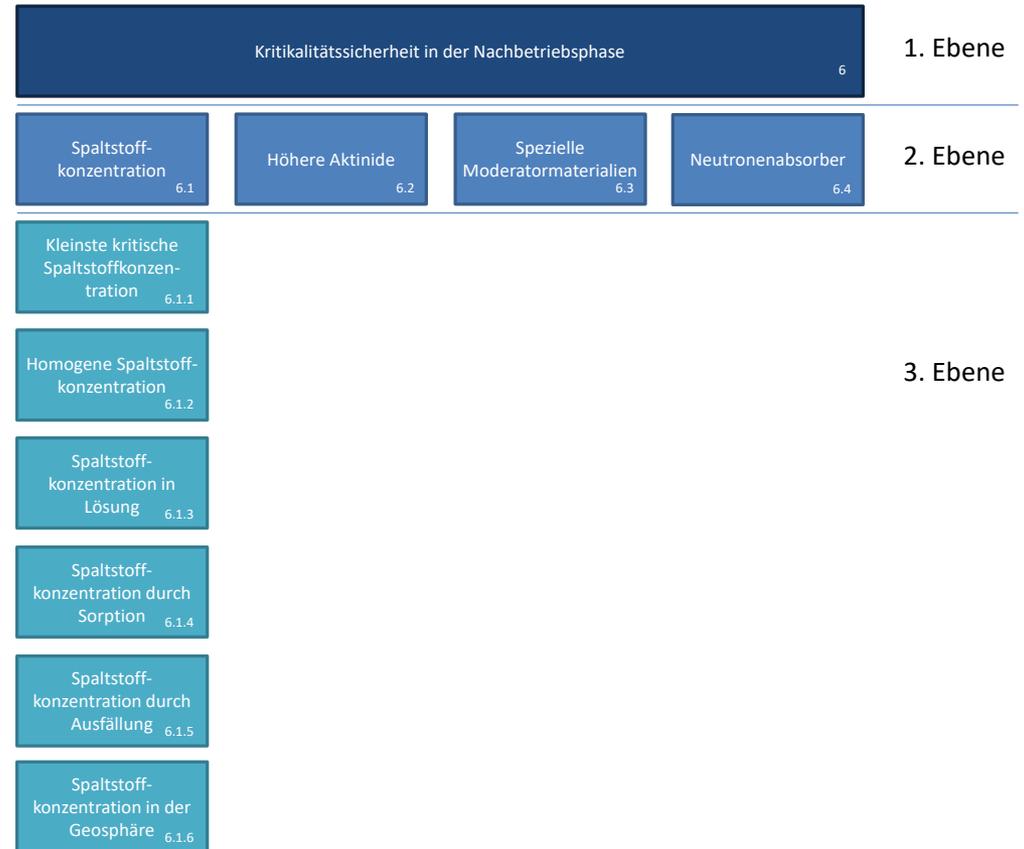
- Auf Grund des Deltas der Strahlenexposition und der unterschiedlichen gefundenen Deltas im Themengebiet Langzeitsicherheitsanalyse ist zu erwarten, dass sich die errechneten Dosiswerte im Fall einer Neuberechnung ändern werden

## Themenbereich 2: Kritikalität in der Nachbetriebsphase

- Kritikalität heißt, dass eine sich selbsterhaltende Kettenreaktion stattfindet
- Restmengen an spaltbaren Stoffen im Abfall können ausgelaugt werden und sich möglicherweise ansammeln
- Nachweis durch Vergleich der entstehenden Spaltstoffkonzentrationen mit der für eine kritische Anordnung benötigten Konzentration
  - Kritische Spaltstoffkonzentration ist abhängig vom Moderatormaterial
  - Prinzipiell kann eine große Anzahl Aktinide kritische Ansammlungen bilden
    - Np-237, Pu-238, Pu-239, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-247, Cf-249, Cf-251
  - Für die Nachbetriebsphase des Endlagers Konrad erfolgt der Nachweis stellvertretend für Pu-239 mit Wasser als Moderator X
- Kritische Ansammlungen können in verschiedenen Phasen entstehen
  - gelöst in der Lösung
  - sorbiert auf Oberflächen
  - ausgefällt in einer Festphase
  - In den Verfahrensunterlagen gibt es nur Untersuchungen zu kritischen Ansammlungen in der Lösung und auf Sorptionsoberflächen X

# Themenbereich 2: Kritikalität in der Nachbetriebsphase

- 11 Teilaspekte



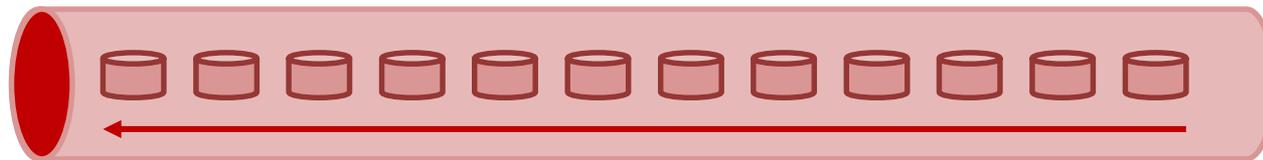
## Themenbereich 2: Kritikalität in der Nachbetriebsphase

- 11 Teilaspekte
  
- Es wurden vier sicherheitsrelevante Deltas identifiziert
  - Nachweis der Kritikalitätssicherheit für alle höheren Aktinide
  - Nachweis der Kritikalitätssicherheit bei der Anwesenheit spezieller Moderatormaterialien
  - Betrachtung einer möglichen Akkumulation von Spaltstoffen aufgrund von Ausfällung
    - im Grubengebäude
    - in der Geosphäre

## Themenbereich 3: Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

- Im Endlager Konrad ist ausschließlich die Endlagerung von Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vorgesehen
- Eine wesentliche Erhöhung der Temperatur soll vermieden werden
  - Stabilität des Grubengebäudes während der Betriebsphase
  - Keine Berücksichtigung von Temperaturabhängigkeiten in der Langzeitsicherheitsanalyse
- Die zulässige Temperaturerhöhung wird im PFB so festgelegt, dass während der Betriebsphase und bis zu einem Zeitraum von 100 000 Jahren am Stoß der Einlagerungskammern die Temperatur um maximal 3 Kelvin zunehmen soll.

$$\Delta T < 3K$$



- Festlegung der maximalen Aktivität bestimmter für die Wärmeproduktion relevanter Radionuklide

## Themenbereich 3: Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

- Modellierung der Wärmeausbreitung im Nachweis
  - Wärmeleistung der radioaktiven Abfälle
  - Eindimensionales Modells
  - Zeitlich konstante Parameter
  - Superposition mehrerer Strecken für späte Zeiten
- 3 Teilaspekte
- Keine sicherheitsrelevanten Deltas identifiziert



## **Teil 2: Diskussion von weiteren übergeordneten Aspekten**

