



## Entwicklung geologischer Modelle

BGR CHRISTA II Team



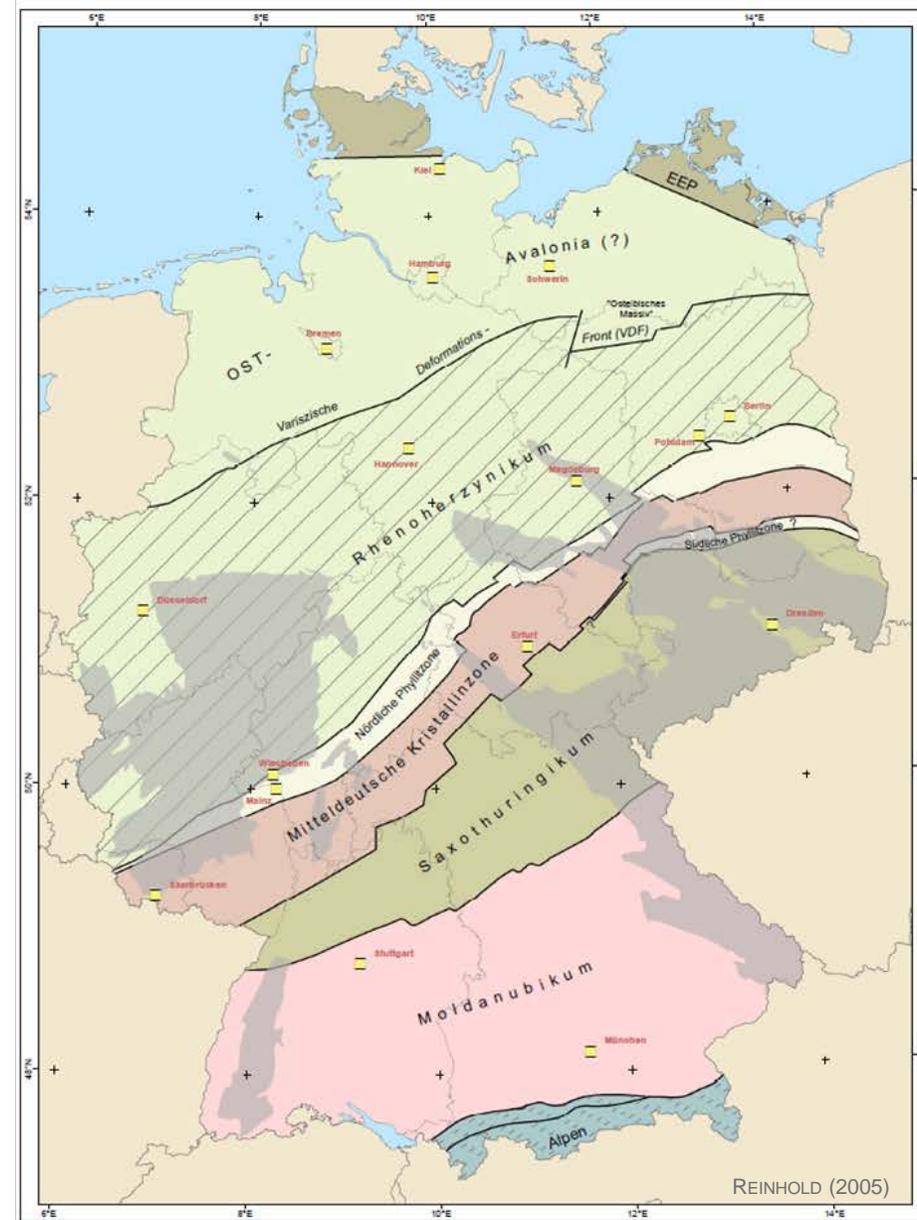
## Vorhabenbeschreibung:

AP 2: Geologie deutscher Kristallinkomplexe, Modelle und Datenbasis (Federführung BGR)

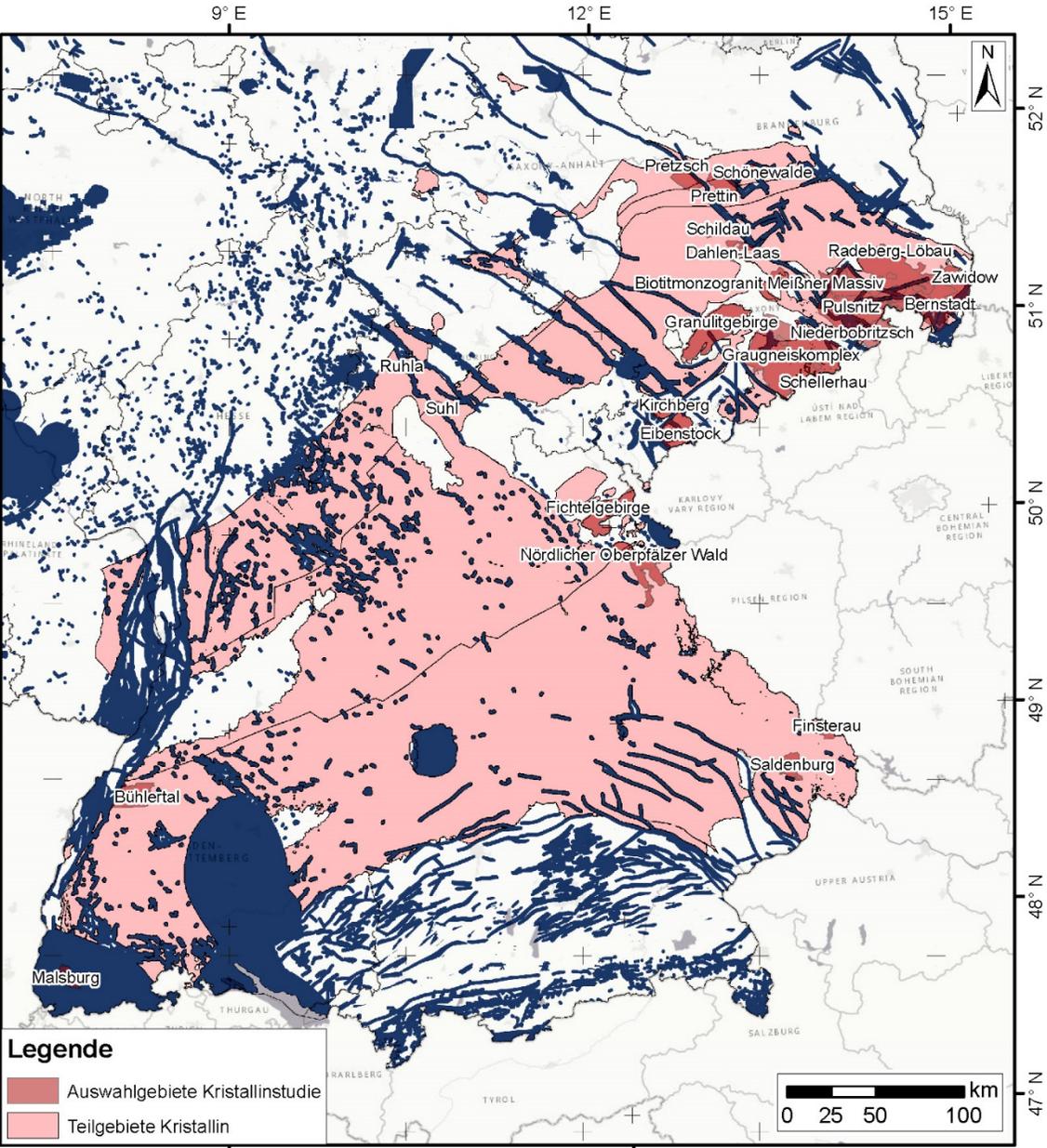
- Task 2.1 Geologisches Modell für den Konfigurationstyp „multipler ewG“ (mewG)
  - Erstellung eines standortunabhängigen generischen geologischen 3D-Modells mit einer für Deutschland typischen und plausiblen geologischen Standortbeschreibung, innerhalb derer sich ein „multipler ewG“ ausweisen ließe.
- Task 2.2 Datenermittlung
  - Zusammenstellung und Dokumentation verfügbarer Informationen aus der Literatur oder aus anderen Endlagerprojekten im Kristallin zu den generischen geologischen Einheiten
  - Auswertung der Daten für 3D-Modell (Parameterbestimmung für einzelne Einheiten)
  - geeignete Annahmen auf Basis von Erfahrungswerten bei Informationsdefiziten

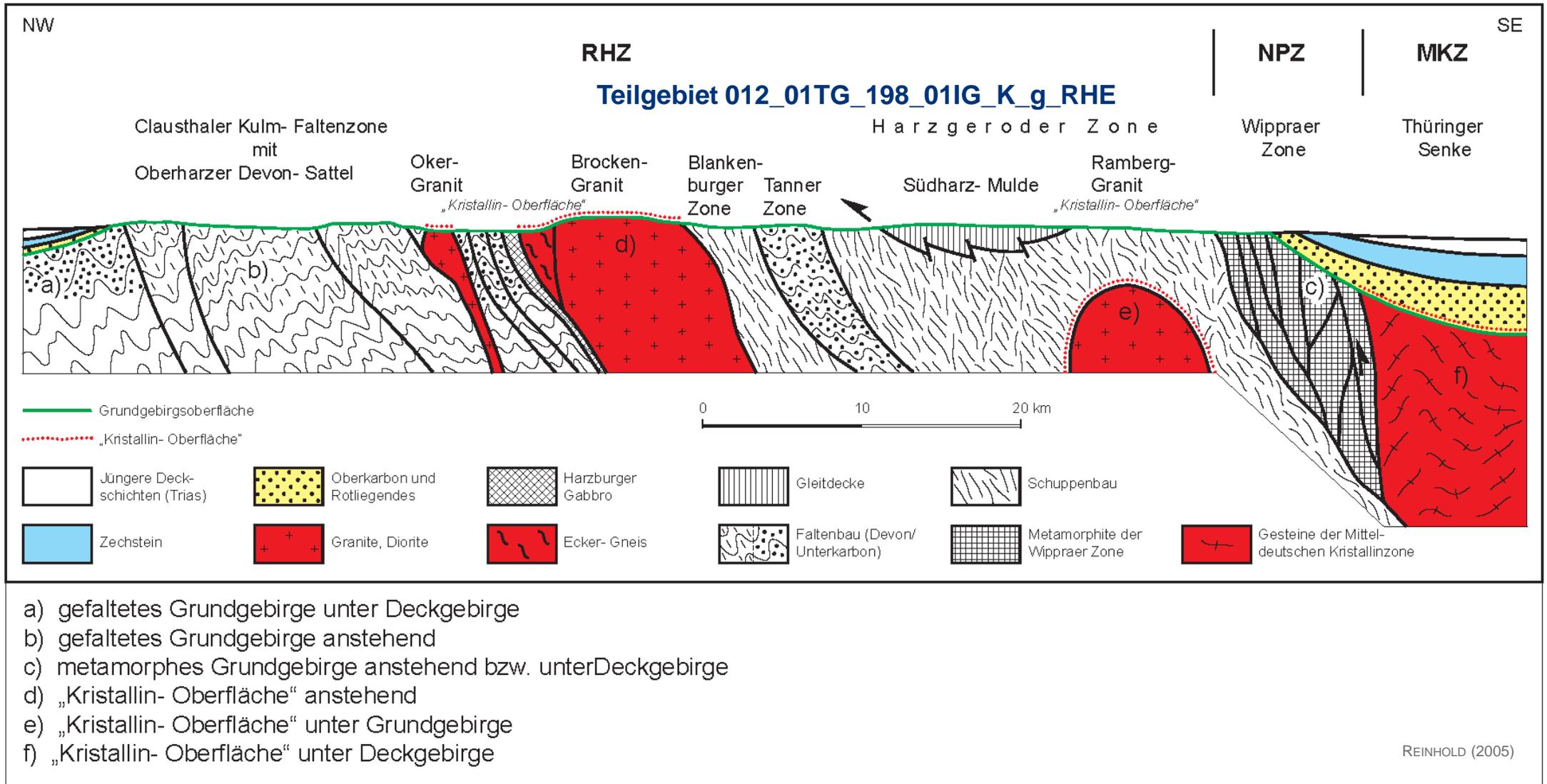
- Task 2.3 Geologisches Modell für den Konfigurationstyp „überlagernder ewG“ (üewG)
  - Erstellung eines standortunabhängigen generischen geologischen 3D-Modells mit einer für Deutschland typischen und plausiblen geologischen Standortbeschreibung, innerhalb derer sich ein „überlagernder ewG“ (Salz- oder Tonstein-Überdeckung) ausweisen ließe.
  - 3D-Modell mit nur einer der beiden Überdeckungsoptionen
- Task 2.4 Datenermittlung (Inhalt analog Task 2.2)

## Tektonostratigraphische Gliederung



# CHRISTA II







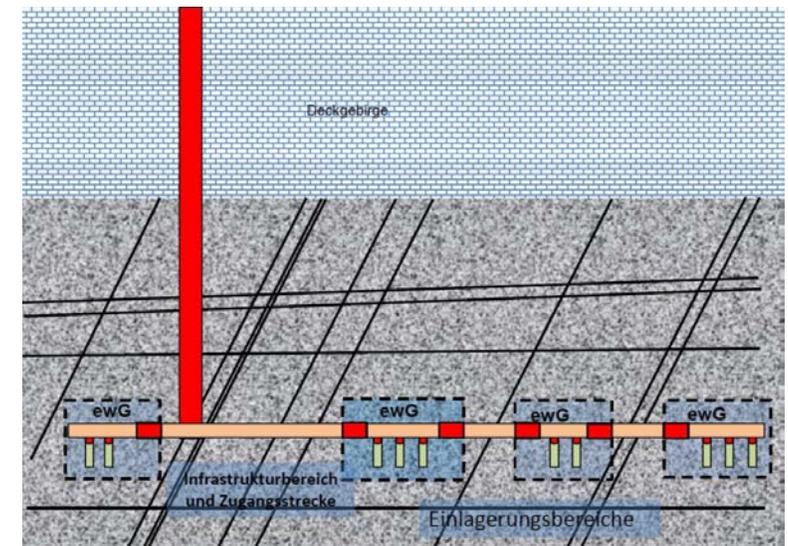
**Modell „multipler ewG“**

# CHRISTA II

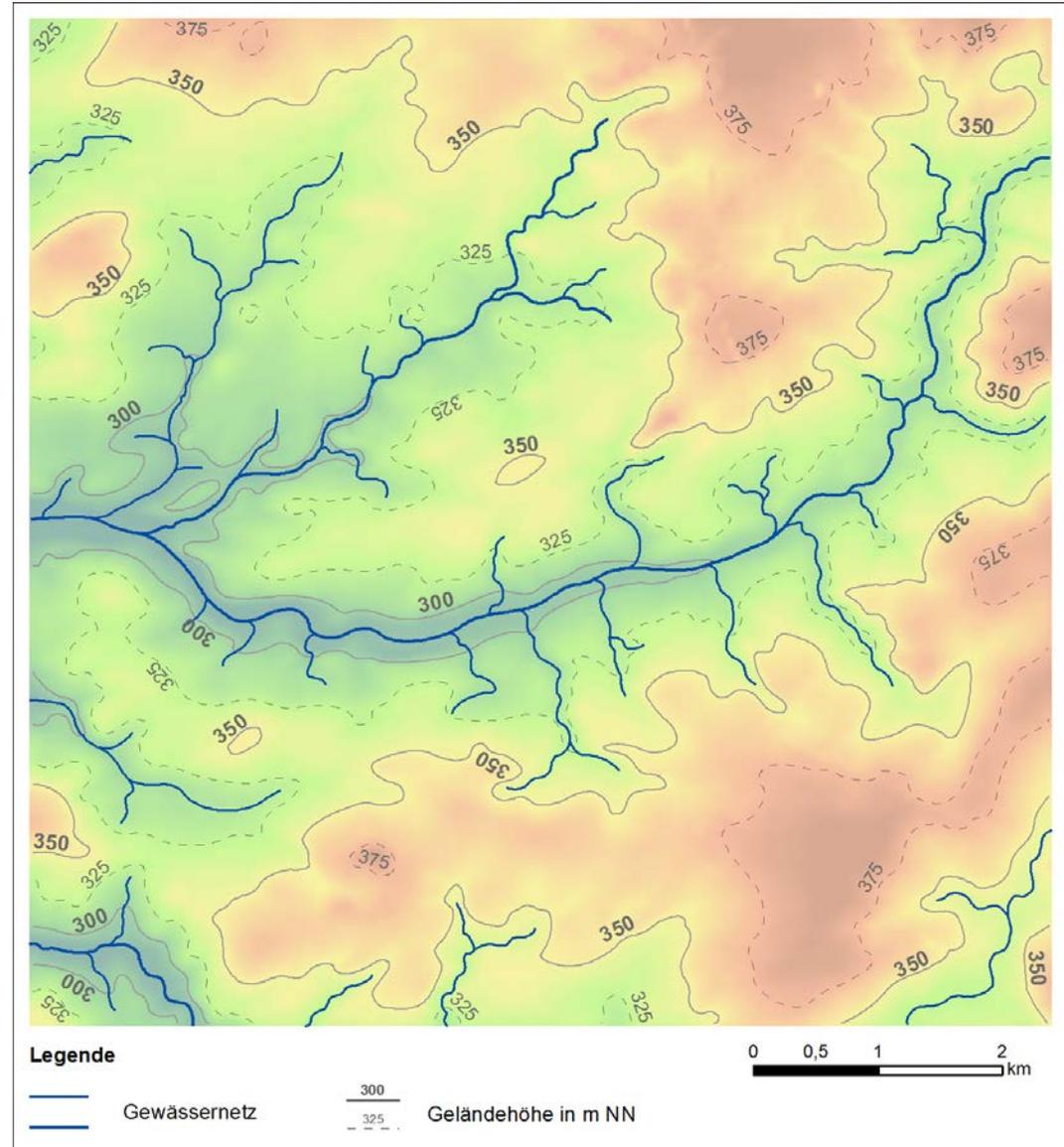
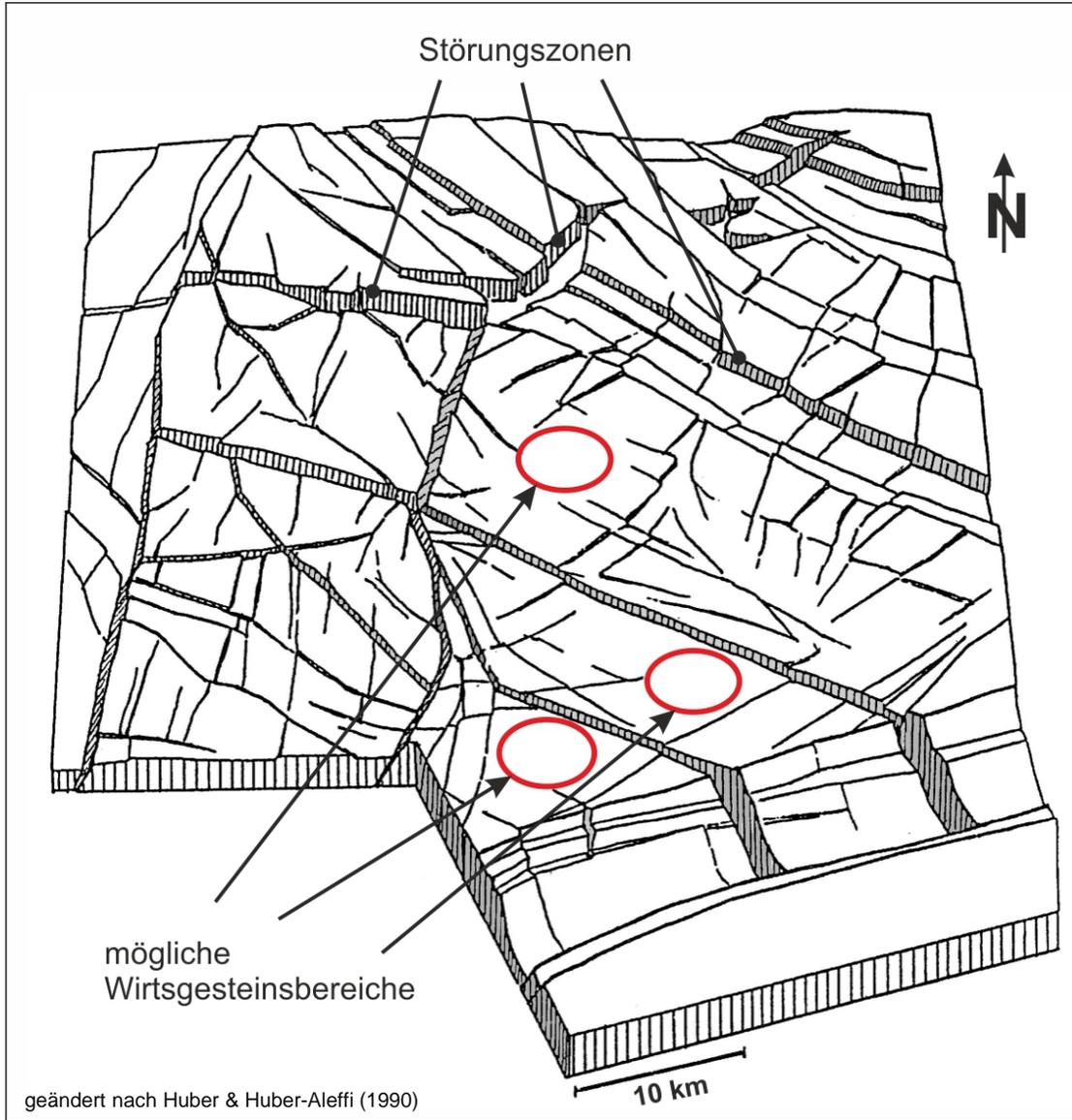
## Konzept „multipler ewG“ (mewG)

Festlegungen in KONEKD (Bertrams et al. 2017) zu Typ A(m):

- Einlagerungsbohrungen in Gesteinsblöcken mit einer Gebirgsdurchlässigkeit  $< 10^{-10}$  m/s gewährleistet (ewG).
- Die Einlagerungsbereiche werden in einer Teufenlage  $> 300$  m angeordnet (600 m Sohle im Modell).
- Das Endlagerbergwerk (insbesondere die Einlagerungsbereiche) wird in einer Kristallingesteinsformation mit wenigen hydraulisch leitenden Klüften errichtet.
- Die Einlagerungsbereiche weisen einen ausreichenden Sicherheitsabstand zu großen Störungssystemen sowie zu Schächten und Bohrungen auf.

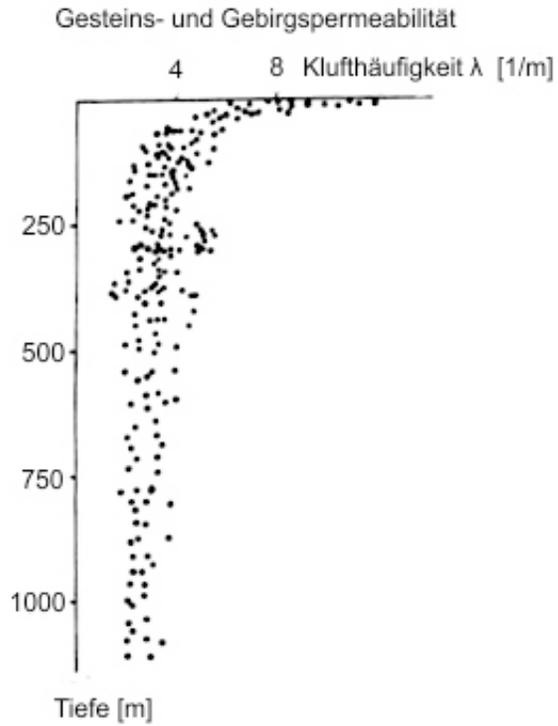


# CHRISTA II

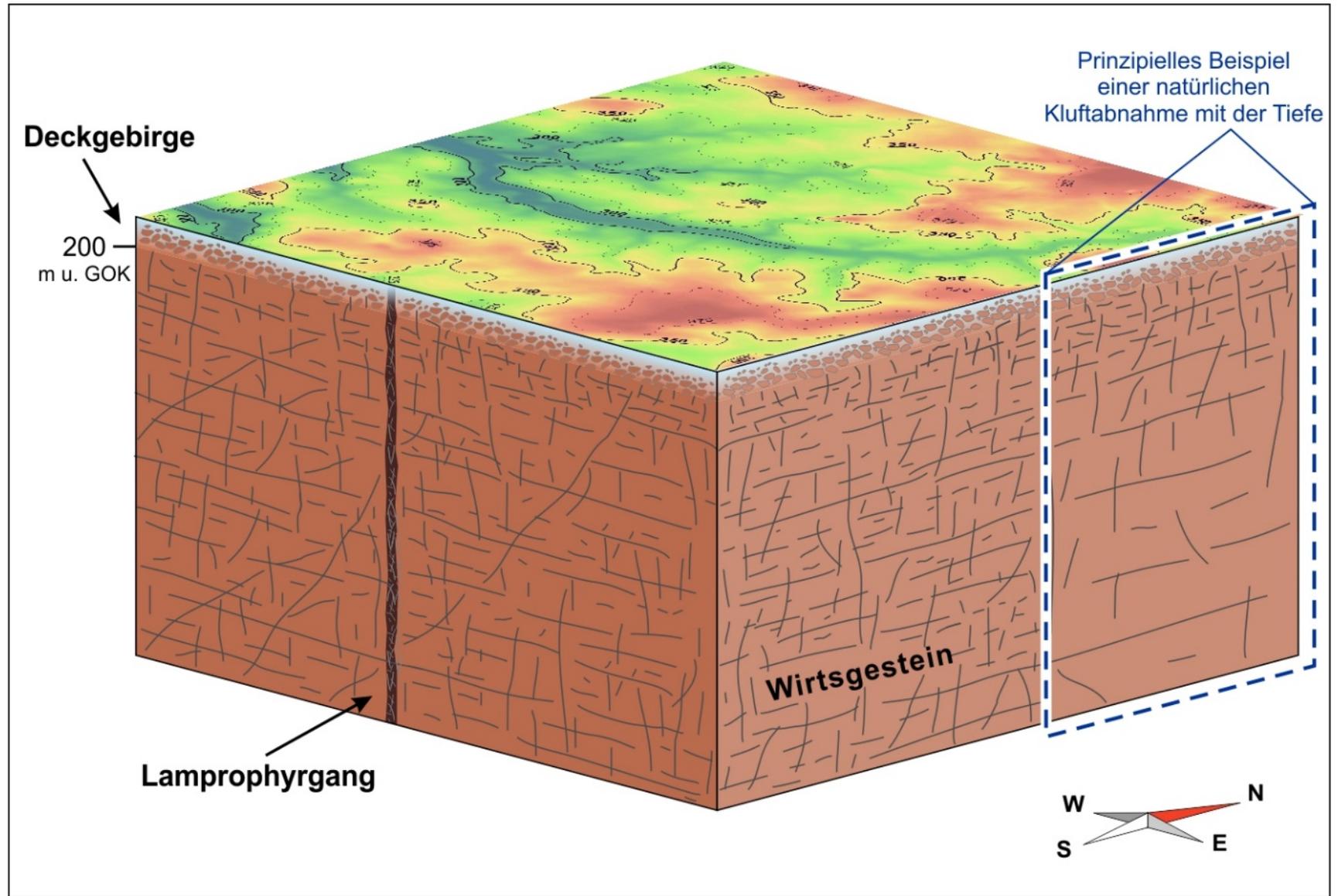


## Kluftsystem mewG

- Beim Kluftsystem werden drei Modellbereiche unterschieden:
  - ein mit hydraulisch leitfähigen Klüften engständig vernetztes oberflächennahes Kristallingestein (Deckgebirge ca. 200 m mächtig),
  - ein Lamprophyrgang (hydraulisch stark vernetzt) und
  - ein mit hydraulisch leitfähigen Klüften weitständig durchzogenes granitisches Wirtsgestein.
- Für das gesamte Wirtsgestein im Modell „multipler ewG“ wird angenommen, dass neben den hydraulisch wirksamen auch ein hoher Anteil hydraulisch unwirksamer Klüfte vorkommt.
- Die hydraulische Leitfähigkeit dieser Klüfte entspricht der der granitischen Gesteinsmatrix.



verändert nach Lee & Farmer (1993)



## Kluftsystem mewG

- Orthogonales Kluftsystem
- Kluftrichtungen mit Fisher-Verteilung modelliert.
- Kluftflächengenerierung mit verschiedenen statistischen Verteilungen (Power-Law, Lognormal, Exponential) ergab für das gesamte Kluftsystem nur geringe Änderungen in der räumlichen Verteilung.
- Die Variation der Kluftanzahl und der Klufterstreckung (Länge und Breite der Kluftflächen) sowie der festgelegte Medianwert hatten eine deutliche höhere Auswirkung auf die räumliche Kluftverteilung.

## Kluftsystem mewG

- Für das Modell „multipler ewG“ wurden daher Varianten mit unterschiedlicher Kluftanzahl (incl. Wichtung einzelner Kluftrichtungen und Kluftlängen) berechnet und eine ausgewählt.
- Kluftanzahl:
  - $n = 7000$  wurde festgelegt
  - Werte wurden so angepasst, dass sich noch ausreichend Abstand zwischen den Klüften befindet, um multiple ewG von der Größe des angestrebten „Referenz-ewG“ ausweisen zu können.
- Anzahl und Größe der ewG des Modells reichen aus, um die Einlagerung des gesamten Abfallvolumens zu ermöglichen.

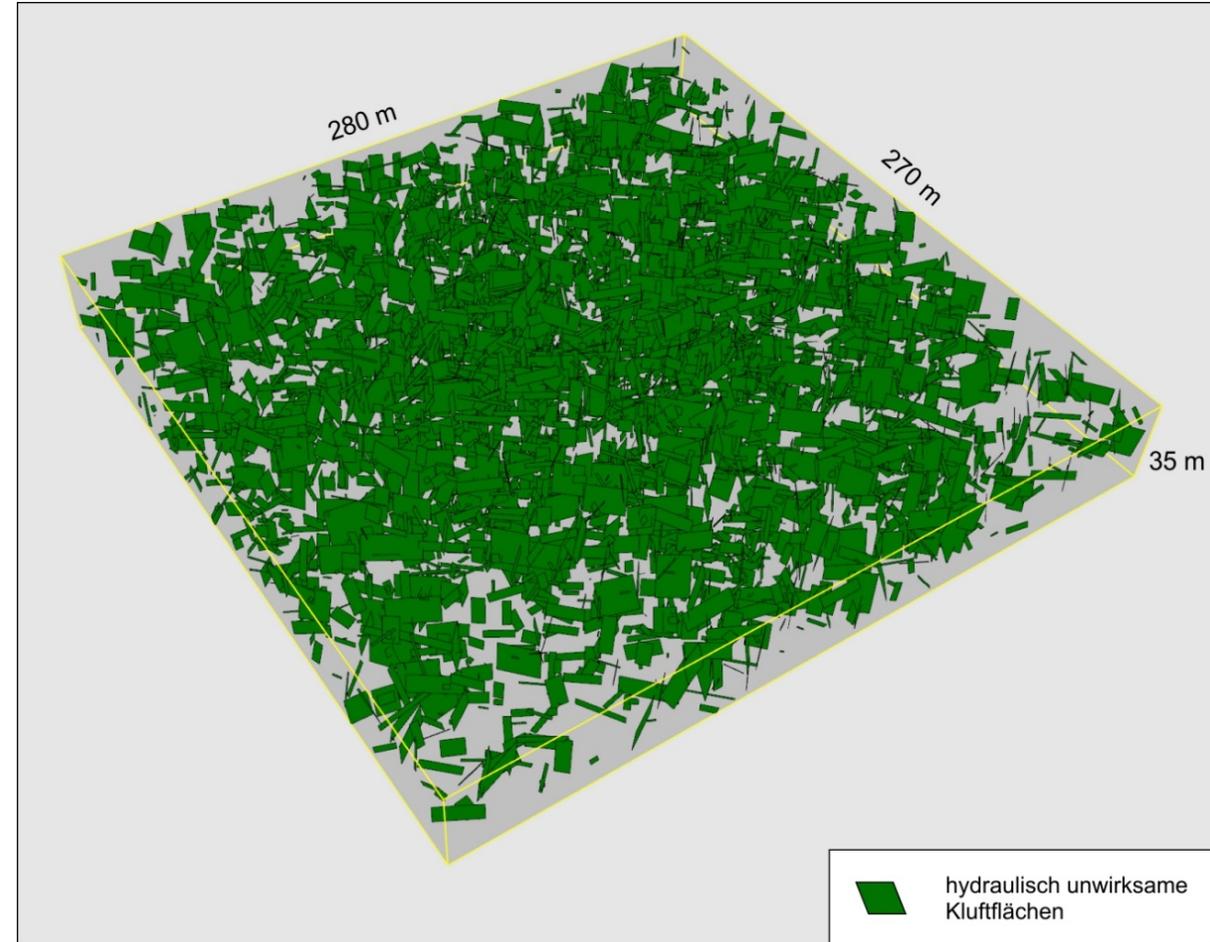
## Kluftsystem mewG

- Die im Modell “multipler ewG“ angenommenen Klüfte bilden nicht die in der Natur häufig zu beobachtenden zahlreichen kleinen vernetzten Klüfte ab.
- Eine Kluftfläche stellt vielmehr eine vereinfachte Zusammenfassung von Kluftscharen mit annähernd gleicher Ausrichtung dar.
- Dieses sogenannte „Upscaling verbundener Klüfte“ war aufgrund der Größe des Modellgebietes notwendig.
- Für Nahfeldbetrachtungen wurde ein „Referenz-ewG“ mit im Vergleich zum Gesamtmodell geringeren Kluftlängen definiert. (alle Klüfte hydraulisch unwirksam)
- 25 ewG werden insgesamt benötigt.

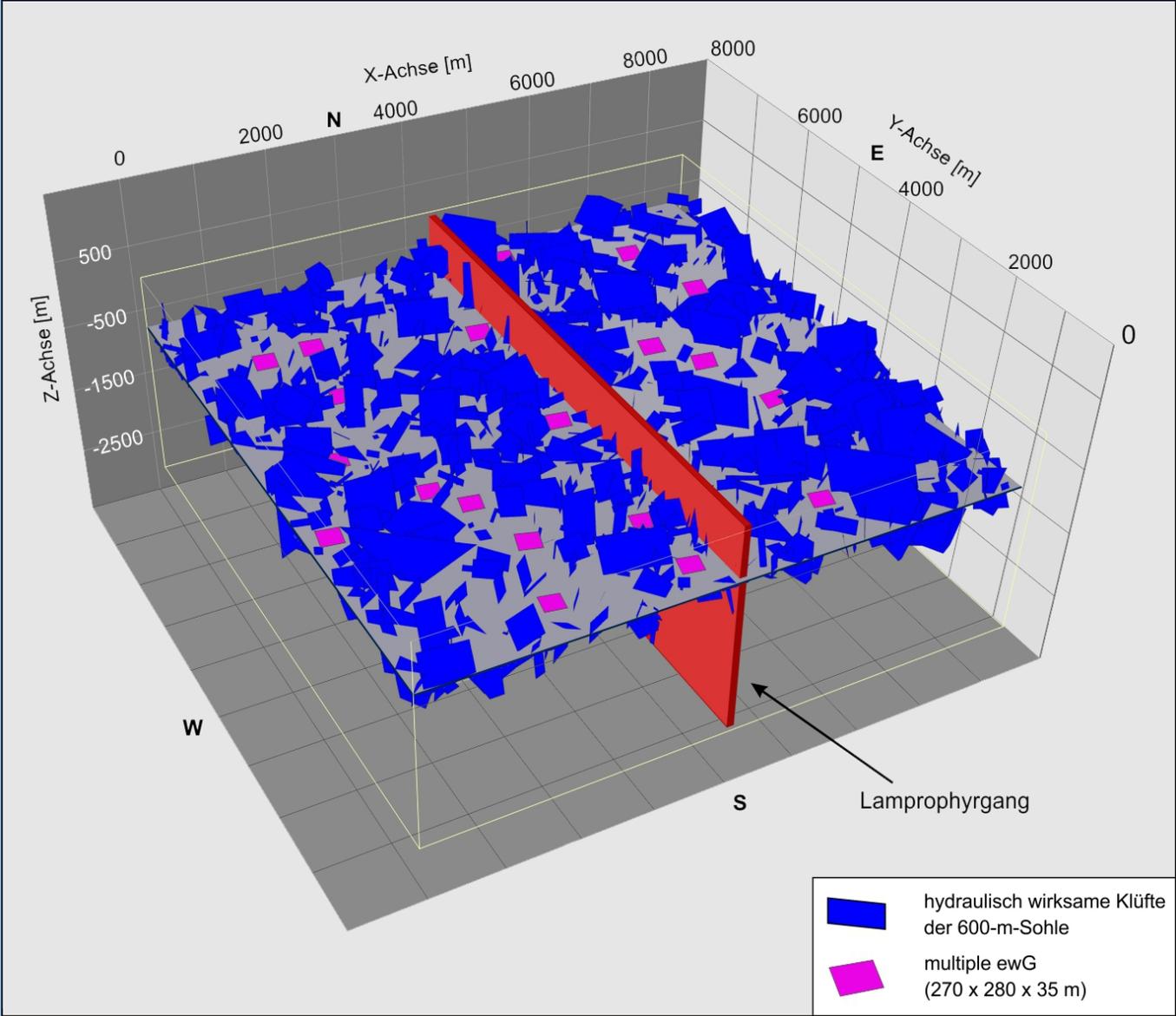
## Kluftsystem mewG

### Kluftlängen:

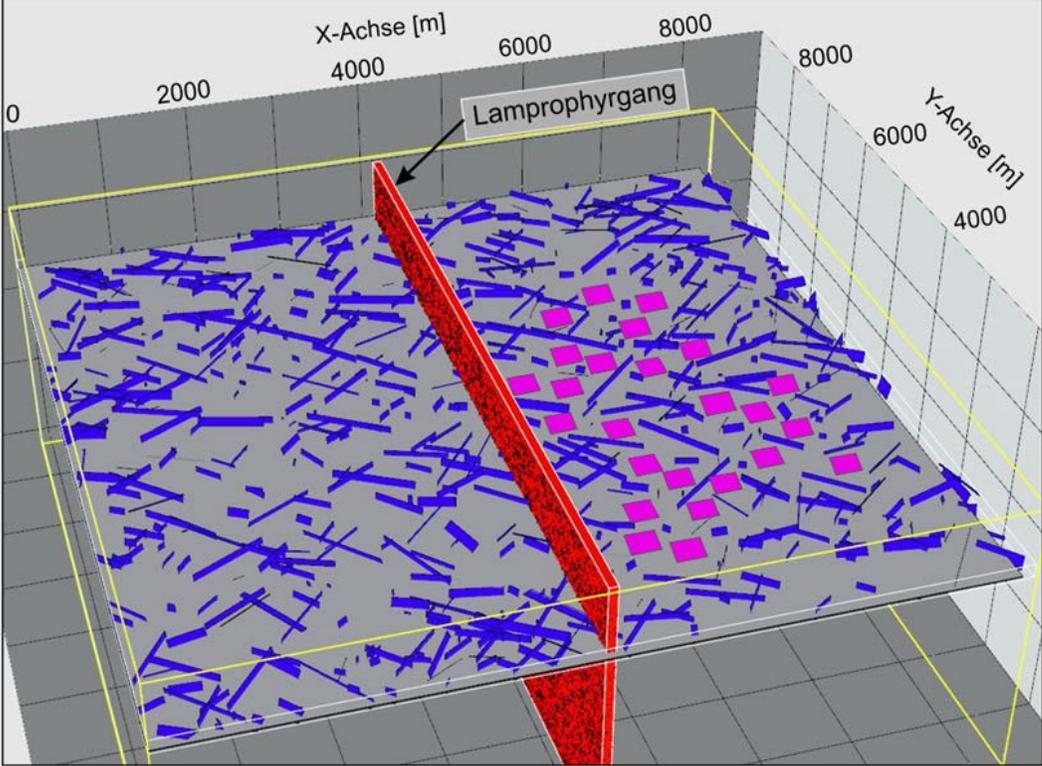
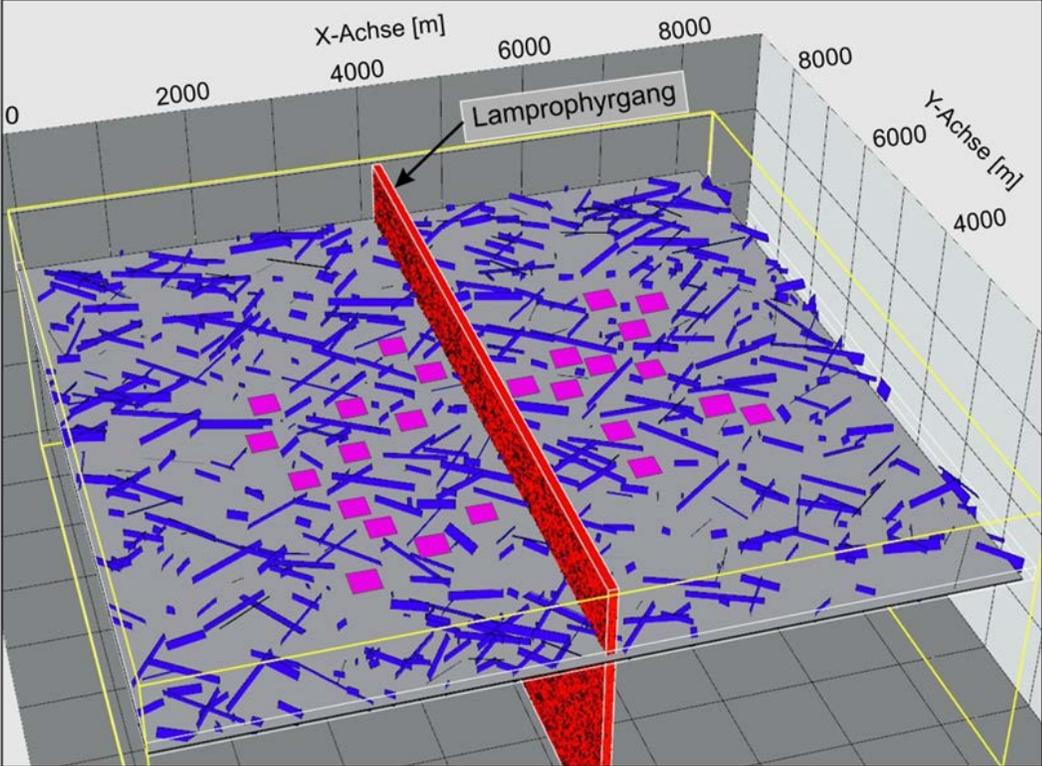
- Wirtsgestein – Kluftlängen von 10 bis 1.000 m
- Lamprophyrgang – Kluftlängen von 10 bis 100 m
- Deckgebirge – Kluftlängen von 10 bis 100 m
- Referenz-ewG – Kluftlängen von 0,5 bis 20 m

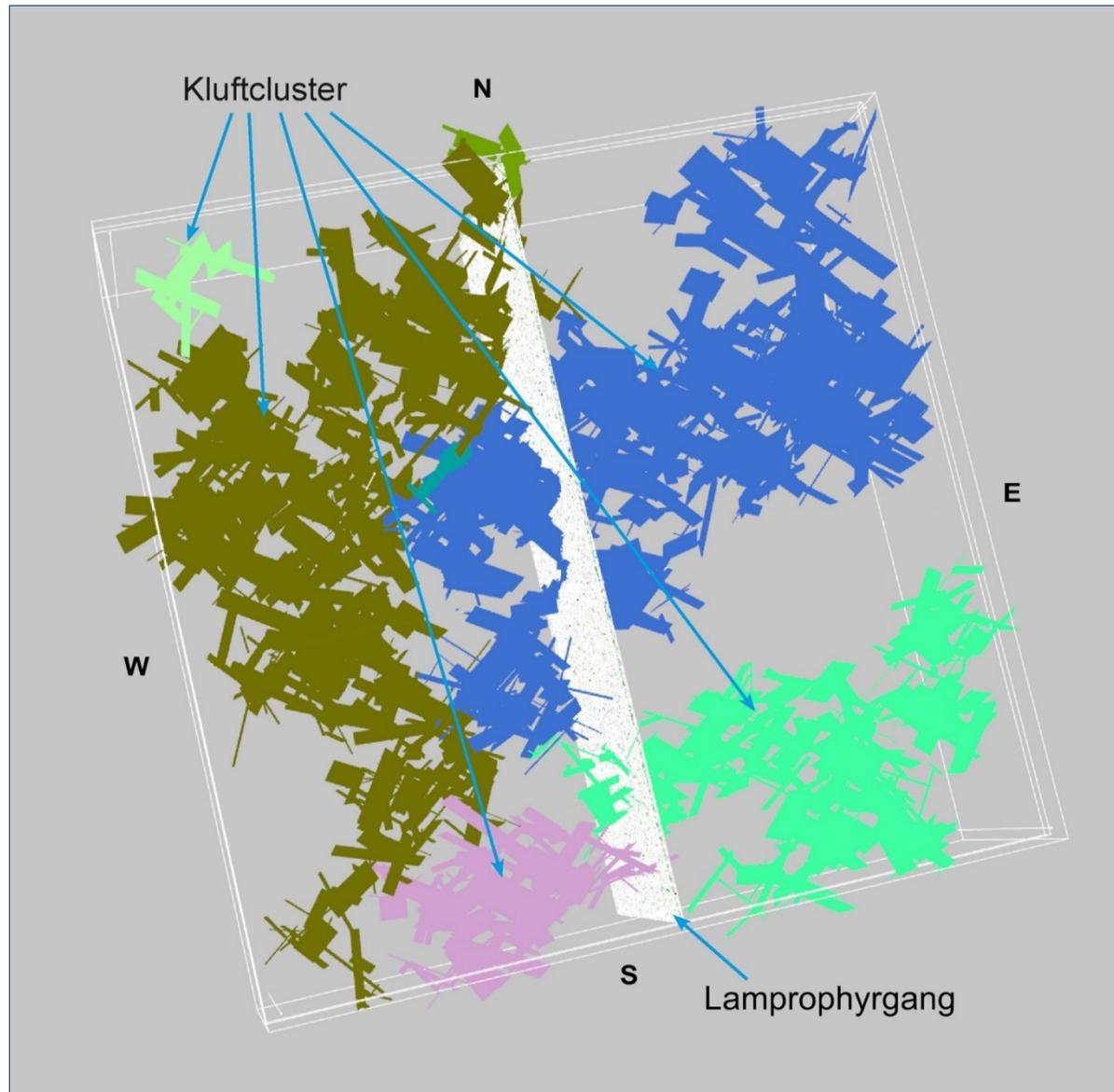


# CHRISTA II



Beispielhafte Varianten der ewG Verteilung





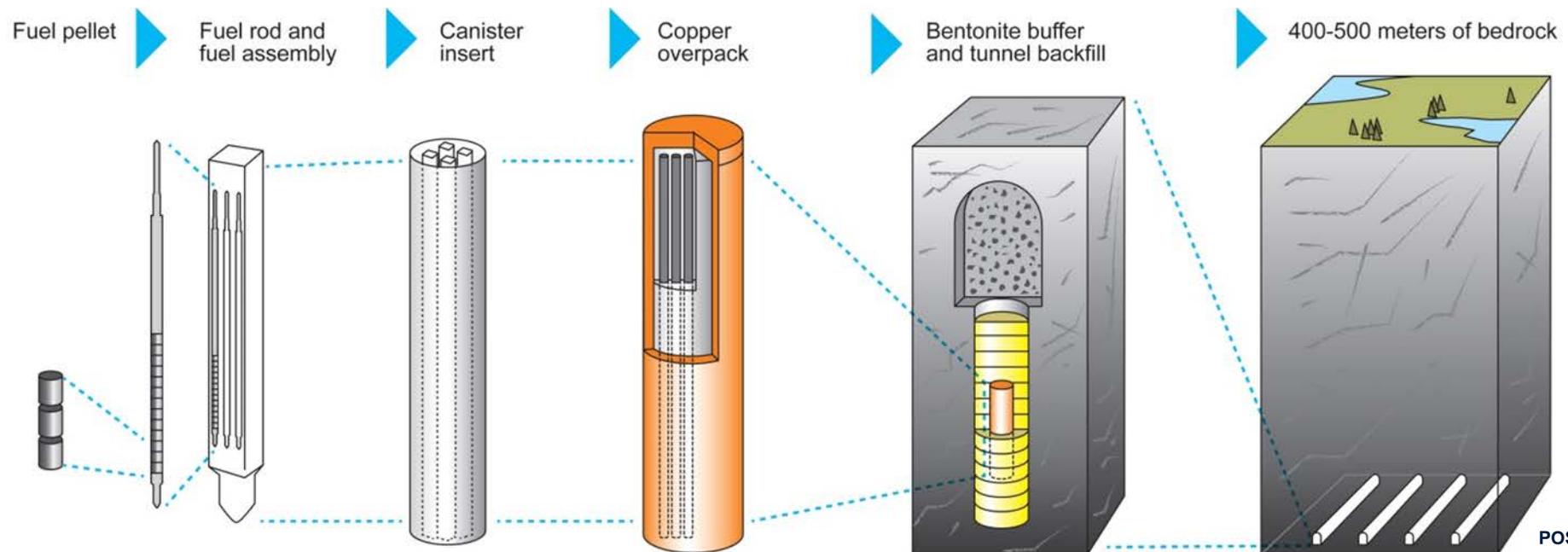
- Hydraulisch wirksame Einzelklüfte und gering vernetzte Klüfte ( $n < 4$ ) werden nicht dargestellt

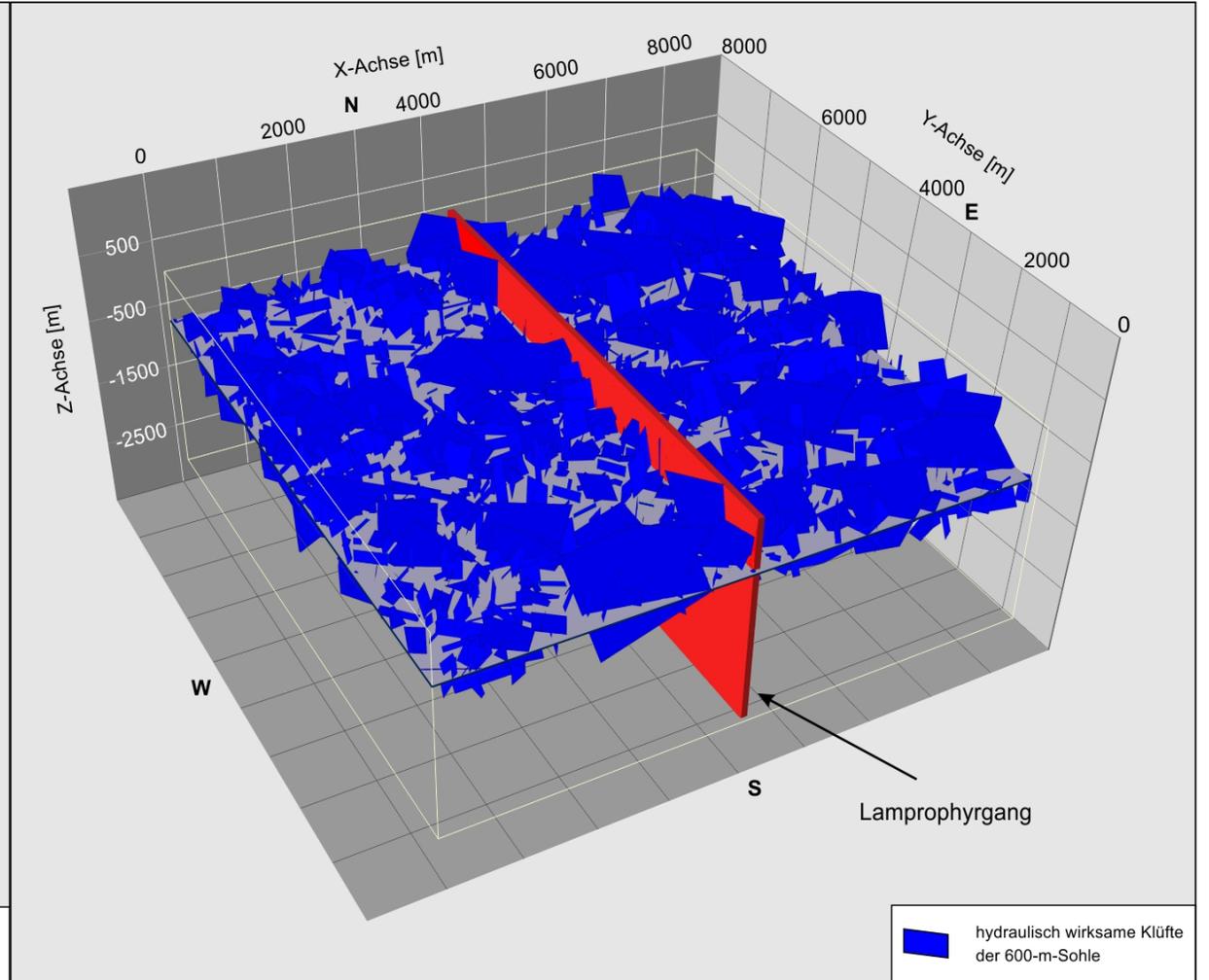
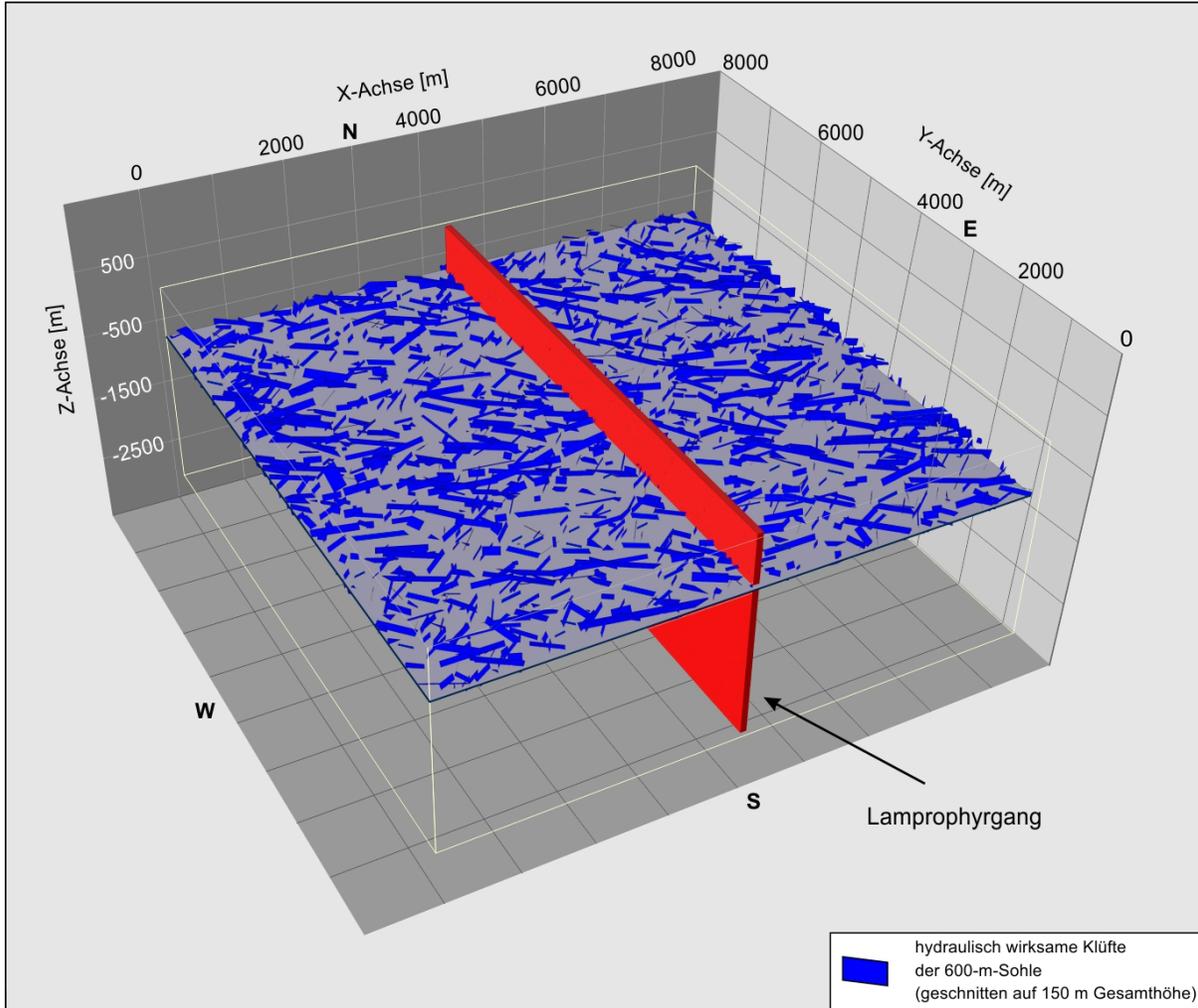


### Modell „modifiziertes KBS-3 System“

## Kluftsystem mKBS-3

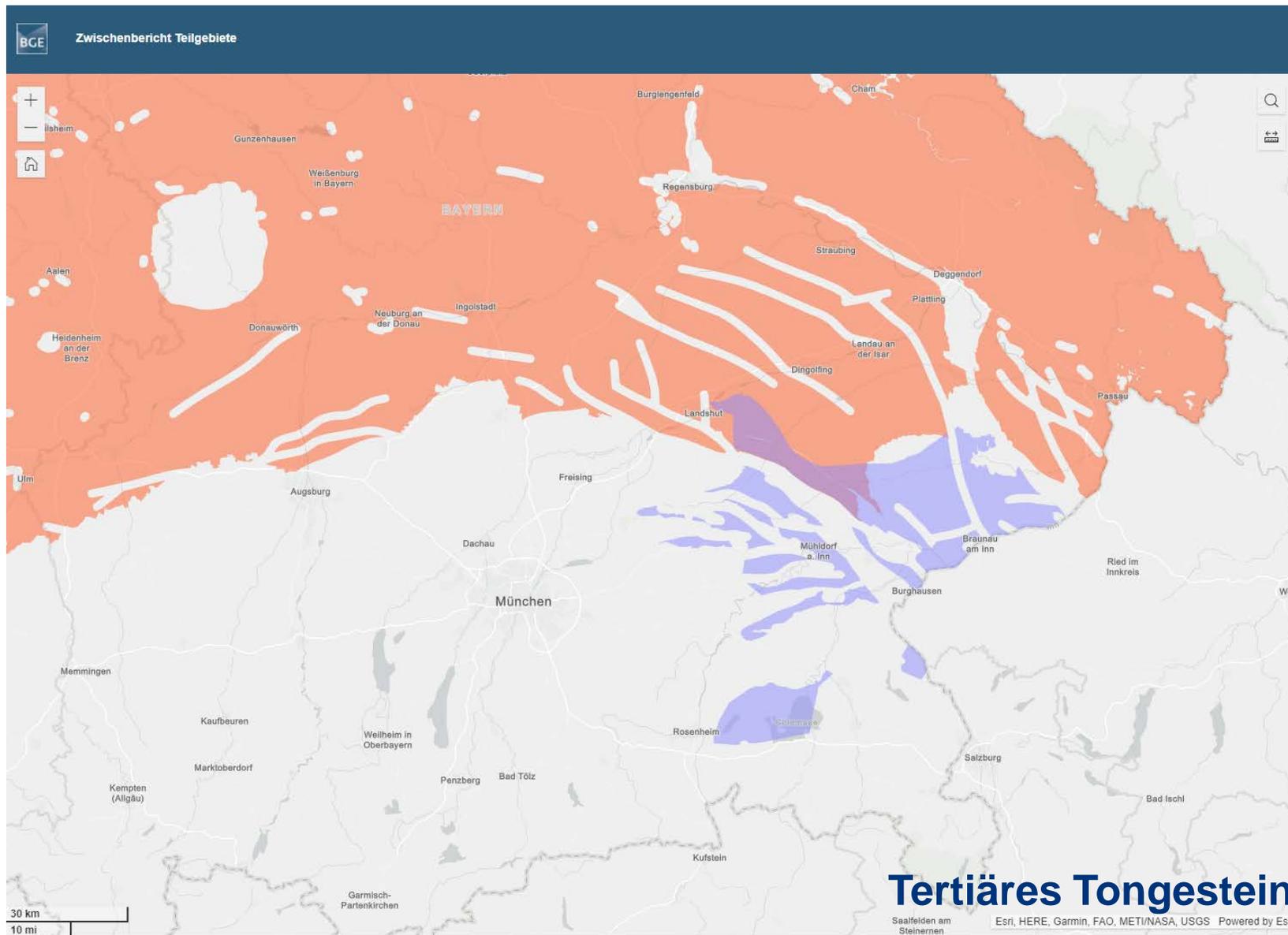
- in Anlehnung an mewG Modell (Deckgebirge, Lamprophyrgang, Wirtsgestein, ohne ewG)
- Kluftanzahl ( $n = 10.500$ ) bzw. Kluftdichte erlaubt keine Ausweisung von ausreichend Referenz-ewG
- Fast alle Klüfte sind in einem Cluster und hydraulisch miteinander vernetzt







**Modell „überlagernder ewG“**

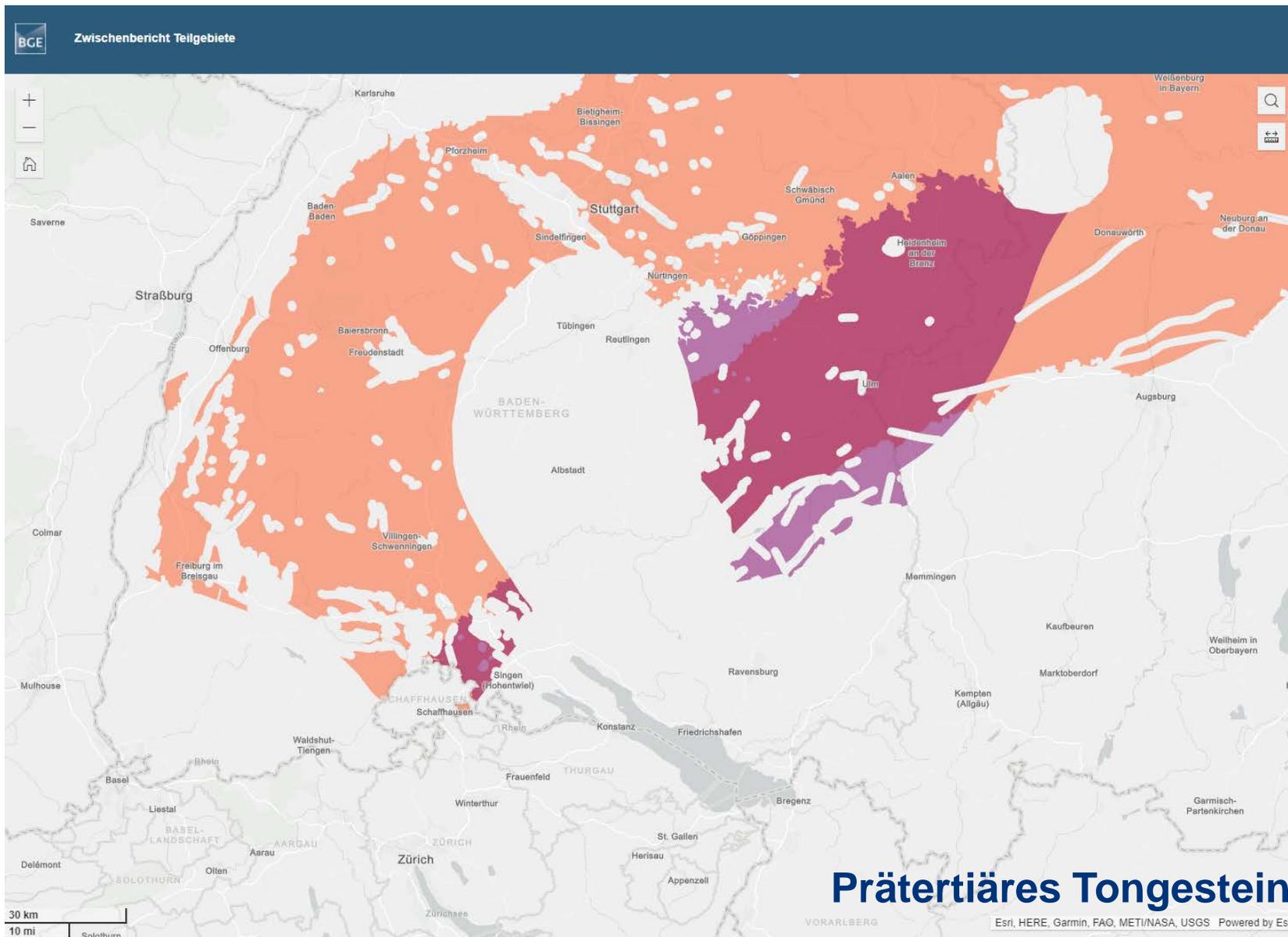


<https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>

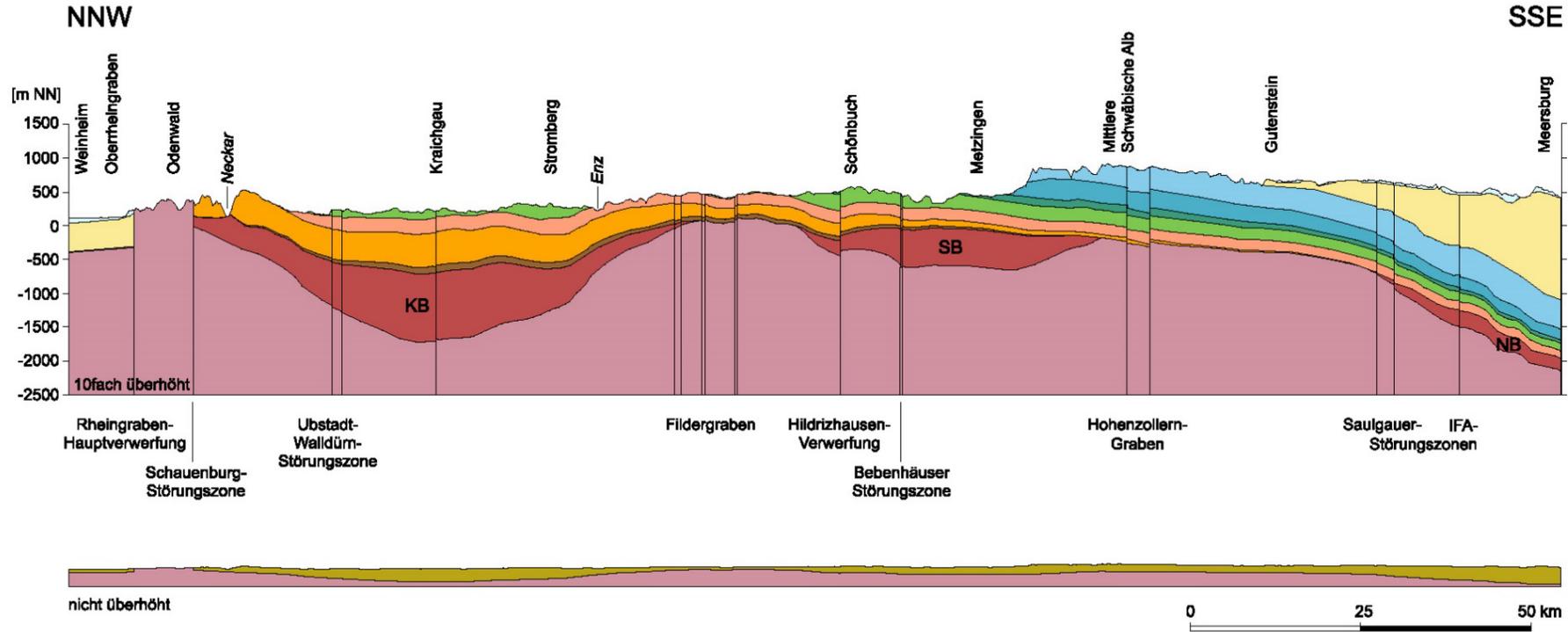


Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER



Profilschnitt 1: Odenwald — Bodensee



Legende (für Schnitt 10fach überhöht)

- Quartär
- Tertiär
- Oberjura
- Mitteljura
- Unterjura
- Keuper
- Muschelkalk
- Buntsandstein
- Zechstein
- Rotliegend
- Grundgebirge

Legende (für Schnitt nicht überhöht)

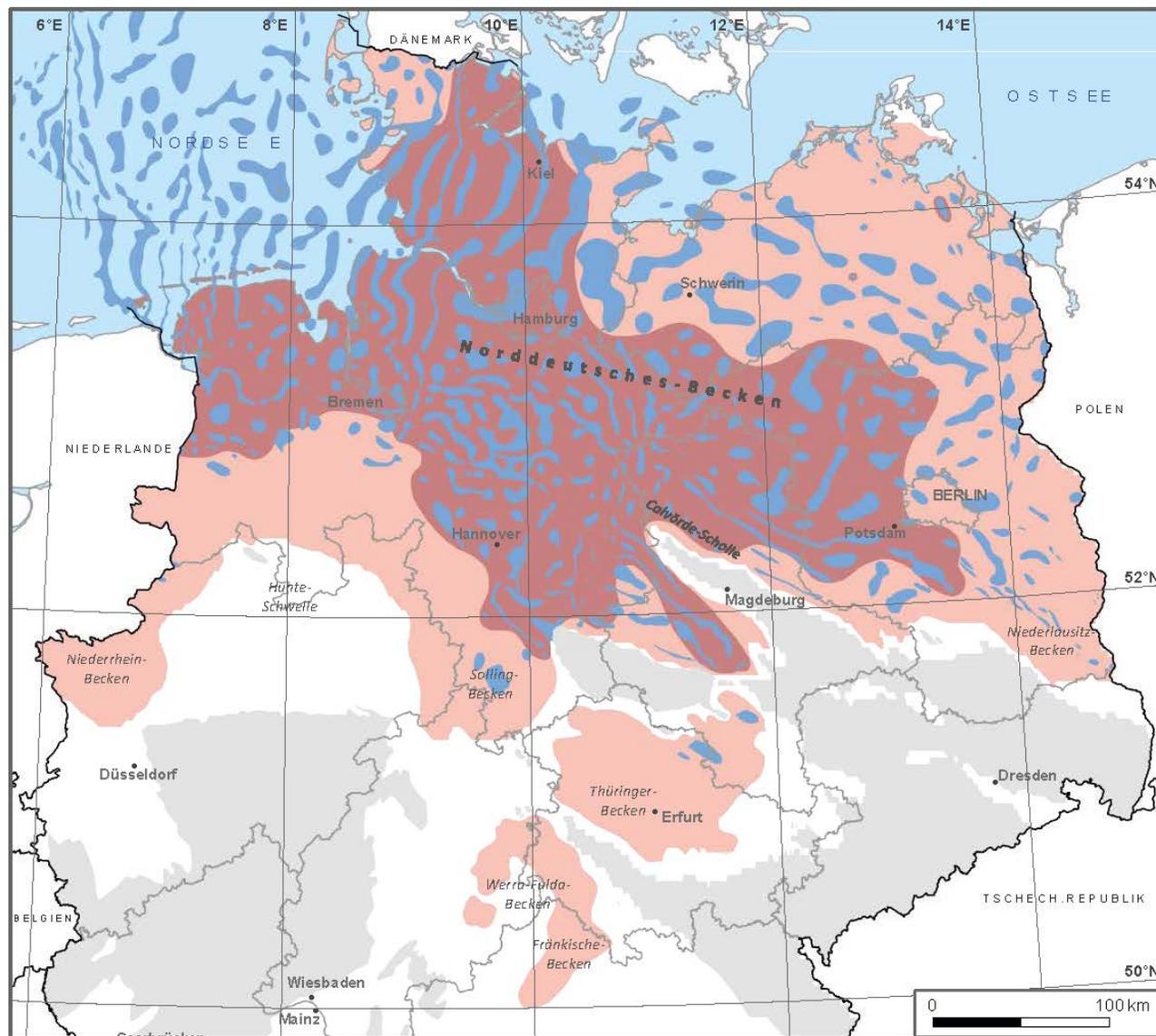
- Übergangsstockwerk und Tafeldeckgebirge
- Grundgebirge

- KB Kraichgau-Becken
- SB Schramberg-Becken
- NB Nordschweizer Becken
- IFA Illmensee-Fronhofen-Aulendorf-Störungszone



GEOZENTRUM HANNOVER

# CHRISTA II

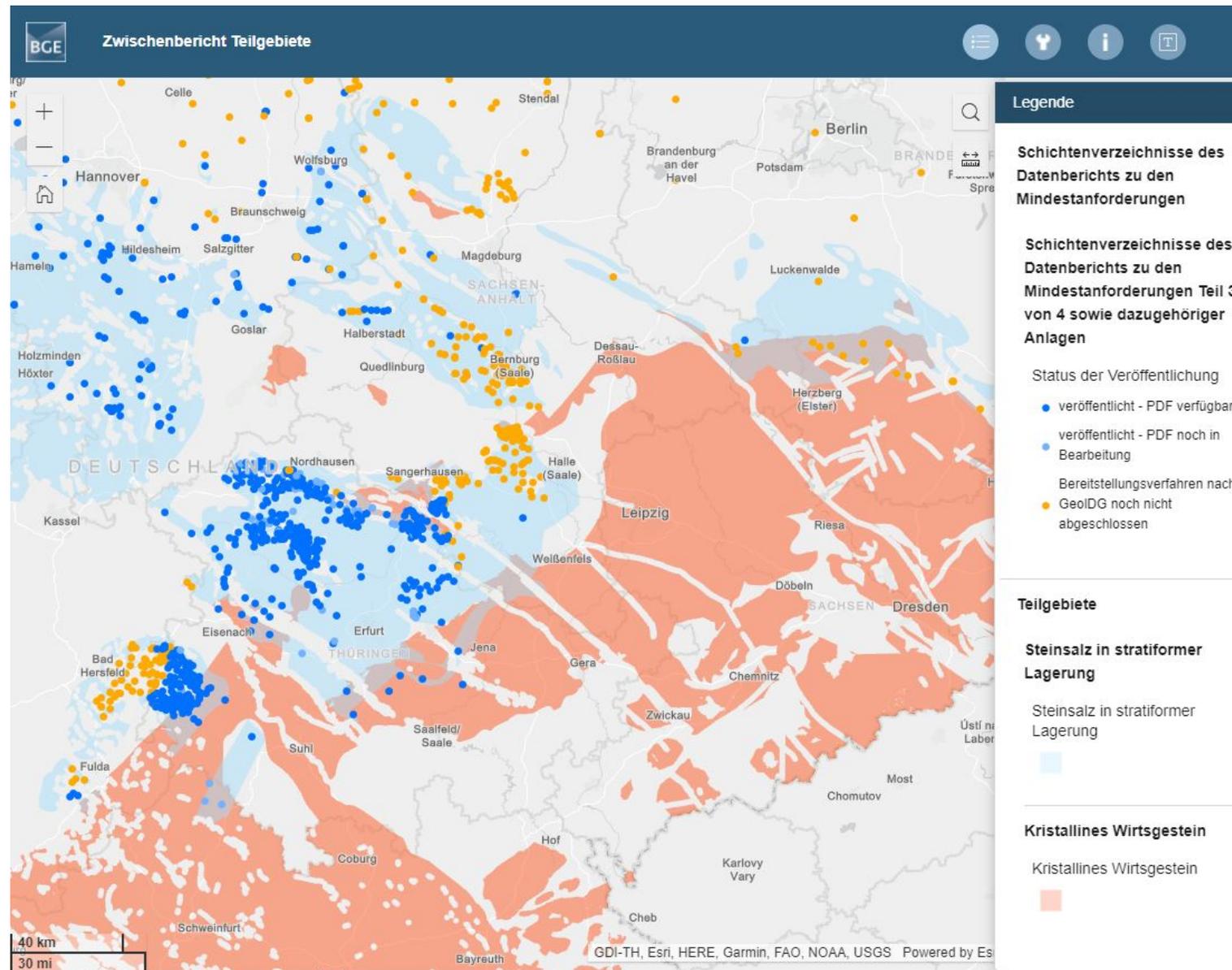


- Zechstein-Salinar
- Salzstrukturen des Zechstein-Salinar
- anstehendes magmatisches und metamorphes sowie gefaltetes sedimentäres Grundgebirge (z.T. unter känozoischer Bedeckung)
- Verbreitung der Zechstein-Diapire

verändert nach Reinhold et al. 2014



GEOZENTRUM HANNOVER



<https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>



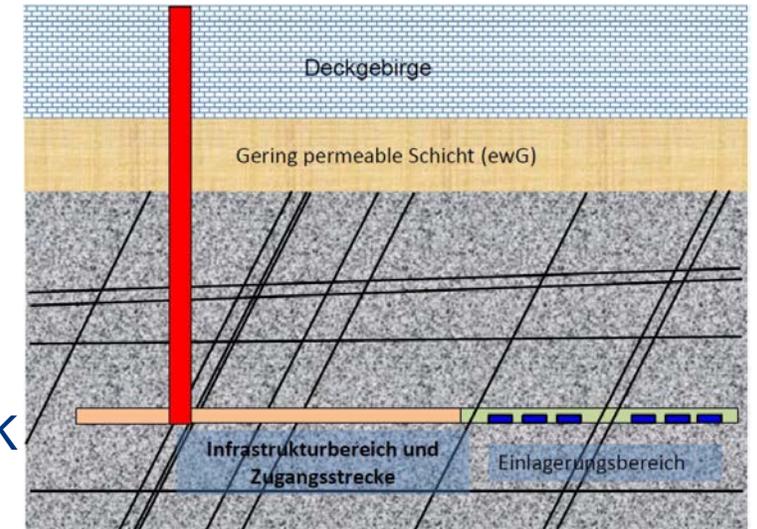
Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

# CHRISTA II

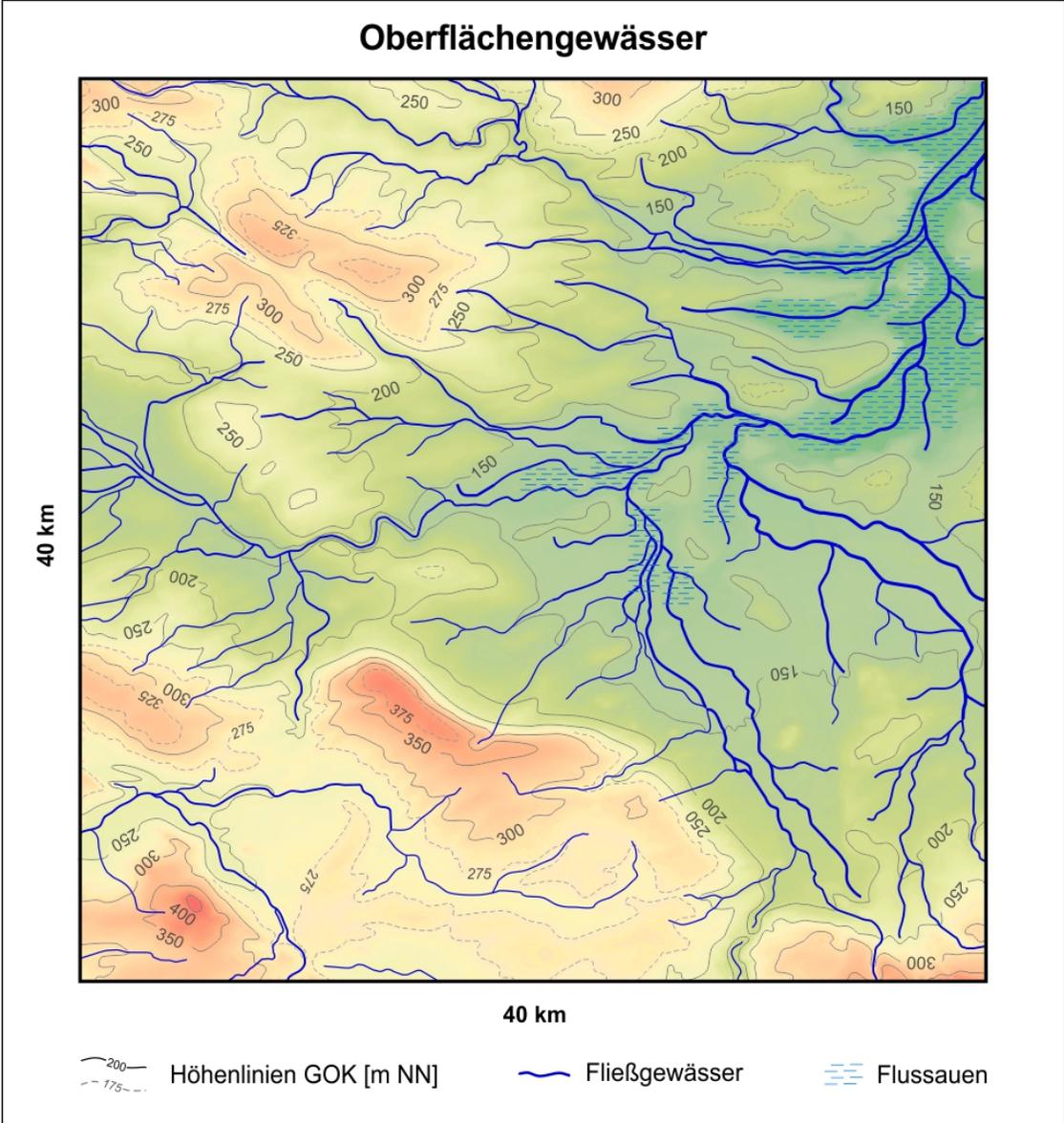
Festlegungen in KONEKD (Bertrams et al. 2017) zu Typ B(b)  
„überlagernder ewG“:

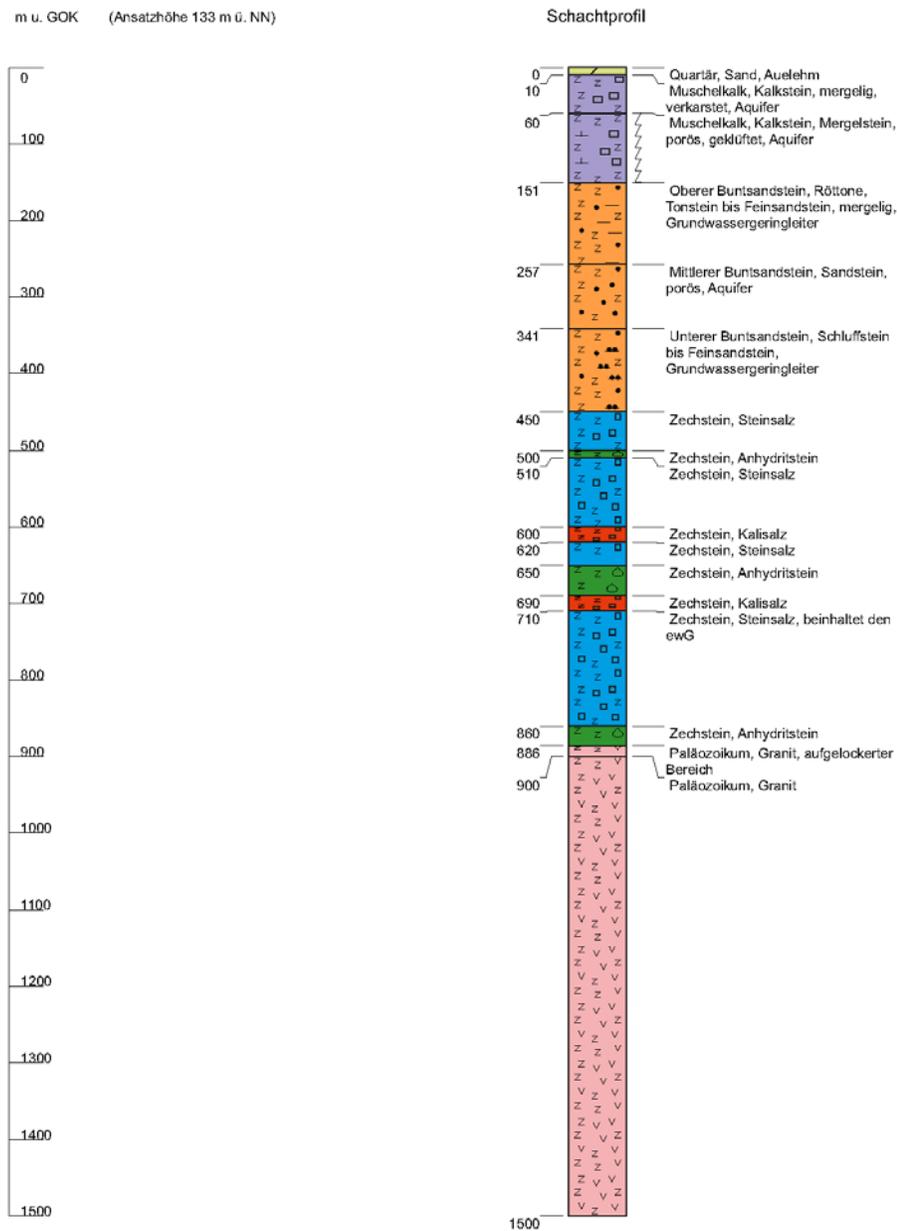
- Langzeitsicherer Einschluss wird durch einen Teil des Deckgebirges mit sehr geringer hydraulischer Leitfähigkeit gewährleistet (üewG).
- üewG und Schachtverschlüsse in einer Teufenlage von  $> 300$  m u. GOK (analog StandAG)
- Der Teil des Deckgebirges, der als üewG ausgewiesen wird, soll möglichst wenige hydraulisch wirksame Störungen aufweisen.
- Das kristalline Wirtsgestein soll insbesondere im Einlagerungsbereich nur wenige hydraulisch wirksame Störungen aufweisen.
- Mindestmächtigkeit des ewG  $> 100$  m (analog StandAG)



Zusammenfassend werden für das generische Modell folgende Annahmen getroffen:

- Modellgröße: 40 x 40 km horizontal, 3 km vertikal
- Es weist einen ausreichend großen Abstand zu regionalen Bruchzonen, größeren tektonischen Störungszonen und Einzelstörungen auf, so dass keine Einflüsse dieser Strukturen zu erwarten sind.
- Es liegt in einem Bereich mit granitischem kristallinen Basement unter einer Abfolge von permischen und triassischen Sedimentgesteinen.
- Das Barrieregestein aus Steinsalz befindet sich innerhalb einer Zechstein-Abfolge.
- Einlagerungsbereich in ca. 950 m u. NN





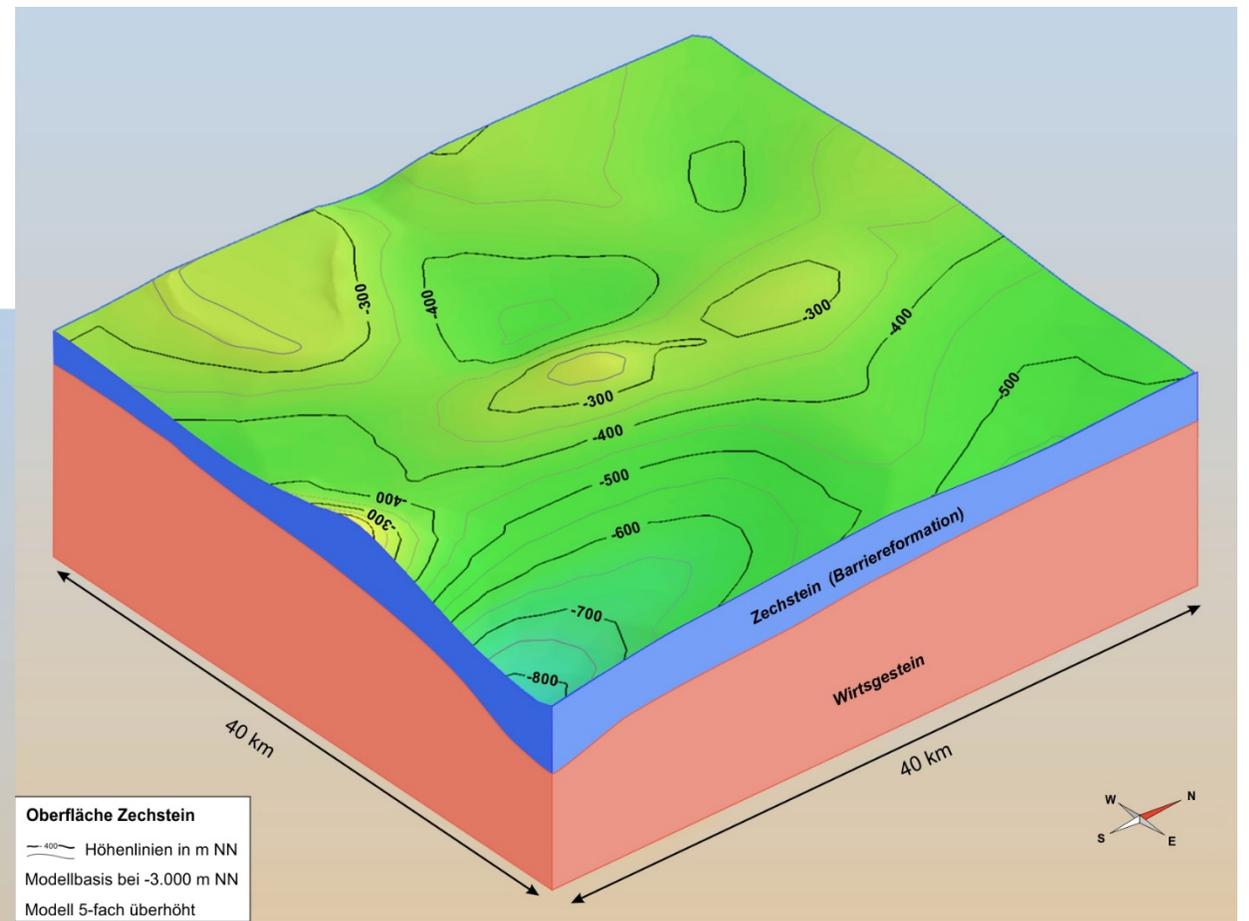
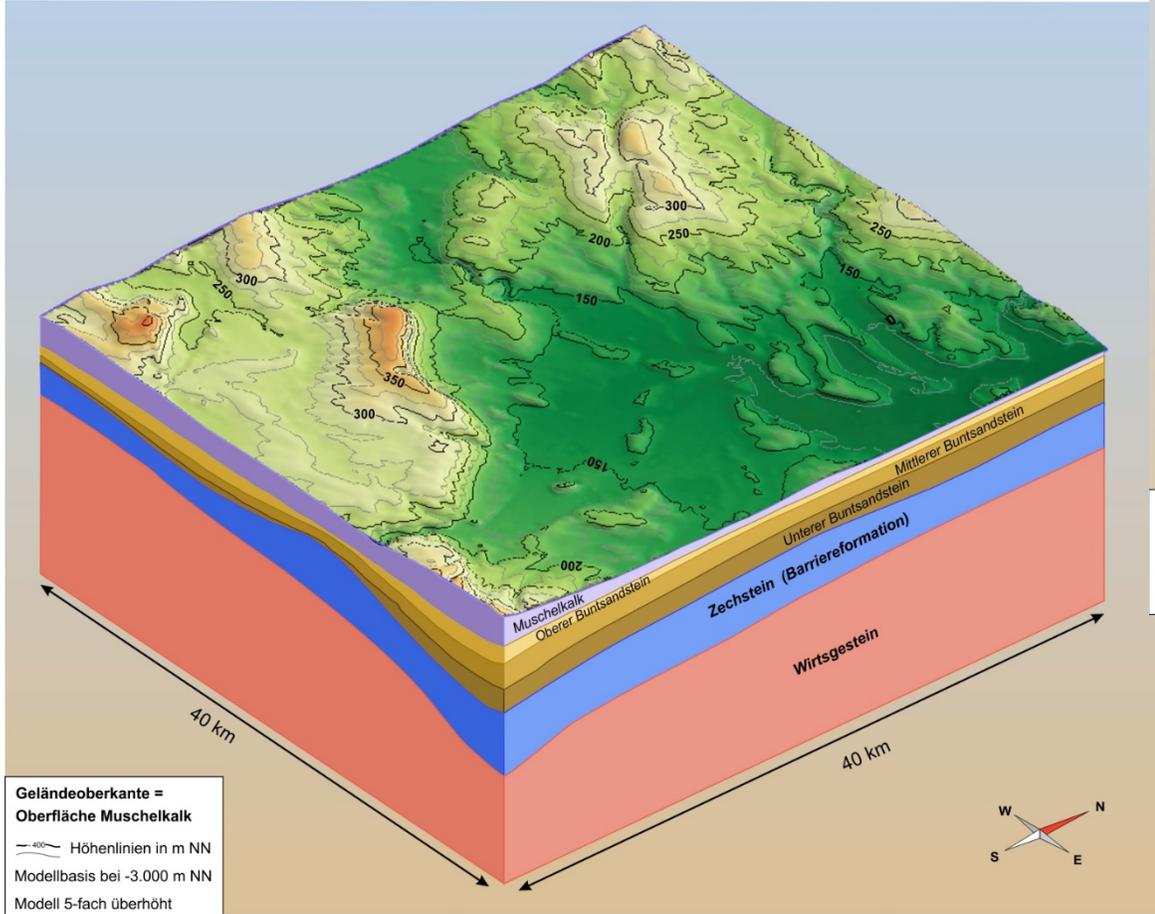
Modelleinheit	Lithologische Abfolge	Hohlraumtyp	Durchlässigkeit
Muschelkalk	quartäre Sande u. Auelehm, lokal in Flusstälern	Poren	[Symbol: vertikale gestrichelte Linien]
	Kalkstein, mergelig	Klüfte, Karst	
Oberer Buntsandstein	Kalkstein bis Mergelstein	Klüfte, Poren	[Symbol: diagonale gestrichelte Linien]
	Tonstein bis Feinsandstein, mergelig	Klüfte	
Mittlerer Buntsandstein	Ton- und Siltstein Wechselfolge, leicht sandig	Klüfte	[Symbol: horizontale gestrichelte Linien]
	Mittel- bis Grobsandsteine	Klüfte, Poren	
Unterer Buntsandstein	Tonstein, Schluffstein bis Feinsandstein, Einschaltungen von Mittel- bis Grobsandstein	Klüfte, z. T. Poren	[Symbol: diagonale gestrichelte Linien]
	Steinsalz		
Zechstein (Barriereformation)	Wechselfolge aus Anhydritstein, Kalisalz und Steinsalz in unterschiedlichen Mächtigkeiten	z. T. Klüfte	[Symbol: diagonale gestrichelte Linien]
	Steinsalz (Bereich des überlagernden ewG)		
	Anhydritstein, geringmächtig	Klüfte	
Wirtsgestein	Granit bis Granodiorit	Klüfte	sehr variabel

### Hydraulische Eigenschaften

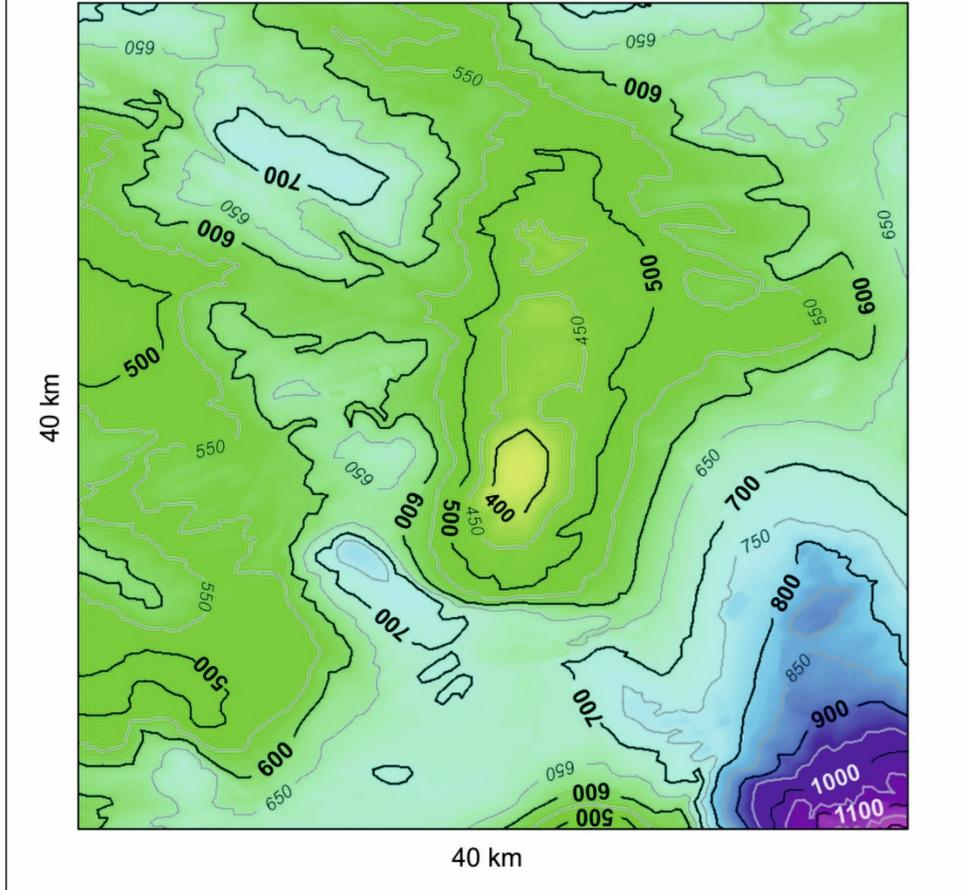
Durchlässigkeit	Grundwasserleiter				Grundwassergeringleiter			
	sehr hoch	hoch	mittel	mäßig	gering	sehr gering	äußerst gering	)*
	[Symbol: vertikale gestrichelte Linien]	[Symbol: diagonale gestrichelte Linien]	[Symbol: horizontale gestrichelte Linien]	[Symbol: diagonale gestrichelte Linien]	[Symbol: diagonale gestrichelte Linien]	[Symbol: horizontale gestrichelte Linien]	[Symbol: diagonale gestrichelte Linien]	[Symbol: diagonale gestrichelte Linien]
k <sub>r</sub> -Wert Grenzen [m/s]	>10 <sup>-2</sup>	>10 <sup>-3</sup> – 10 <sup>-2</sup>	>10 <sup>-4</sup> – 10 <sup>-3</sup>	>10 <sup>-5</sup> – 10 <sup>-4</sup>	>10 <sup>-7</sup> – 10 <sup>-5</sup>	>10 <sup>-9</sup> – 10 <sup>-7</sup>	≤ 10 <sup>-9</sup>	<10 <sup>-10</sup>

)\* Gesteine mit Durchlässigkeiten <10<sup>-10</sup> erfüllen die Mindestanforderung § 23 Absatz 5, Punkt 1 nach StandAG (2017) und sind deshalb gesondert gekennzeichnet

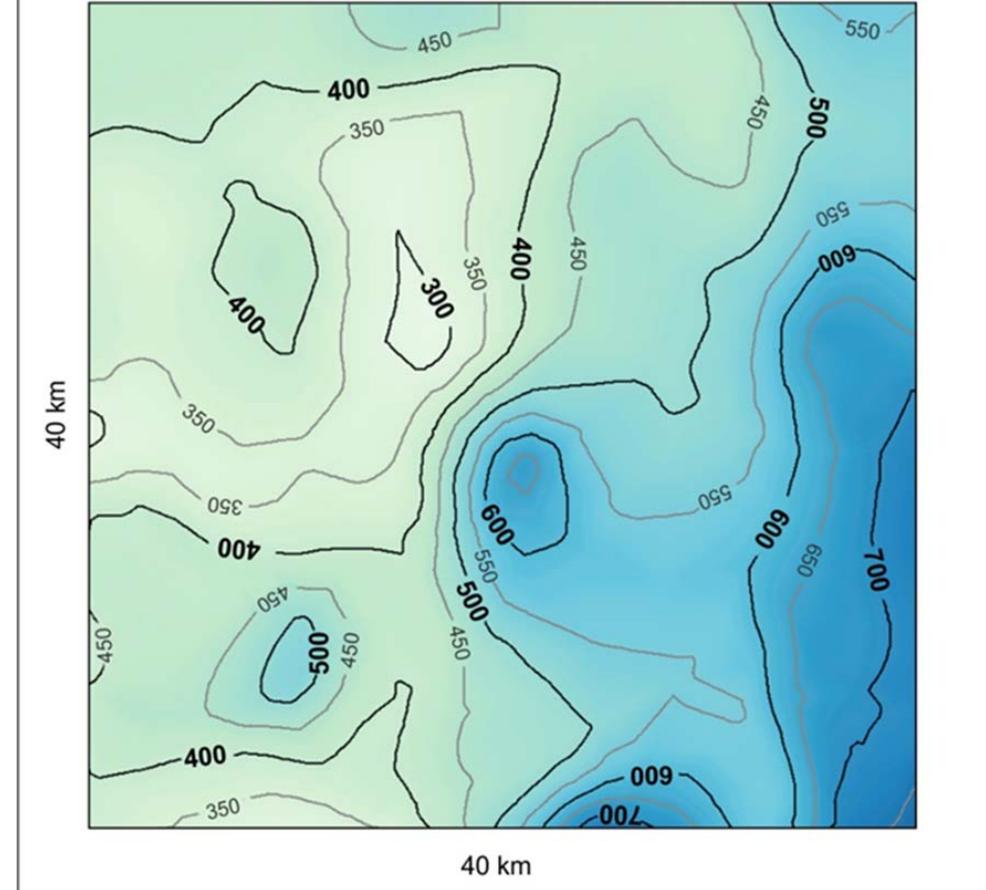
# CHRISTA II



Oberfläche Zechstein (Barriereformation) [m u. GOK]

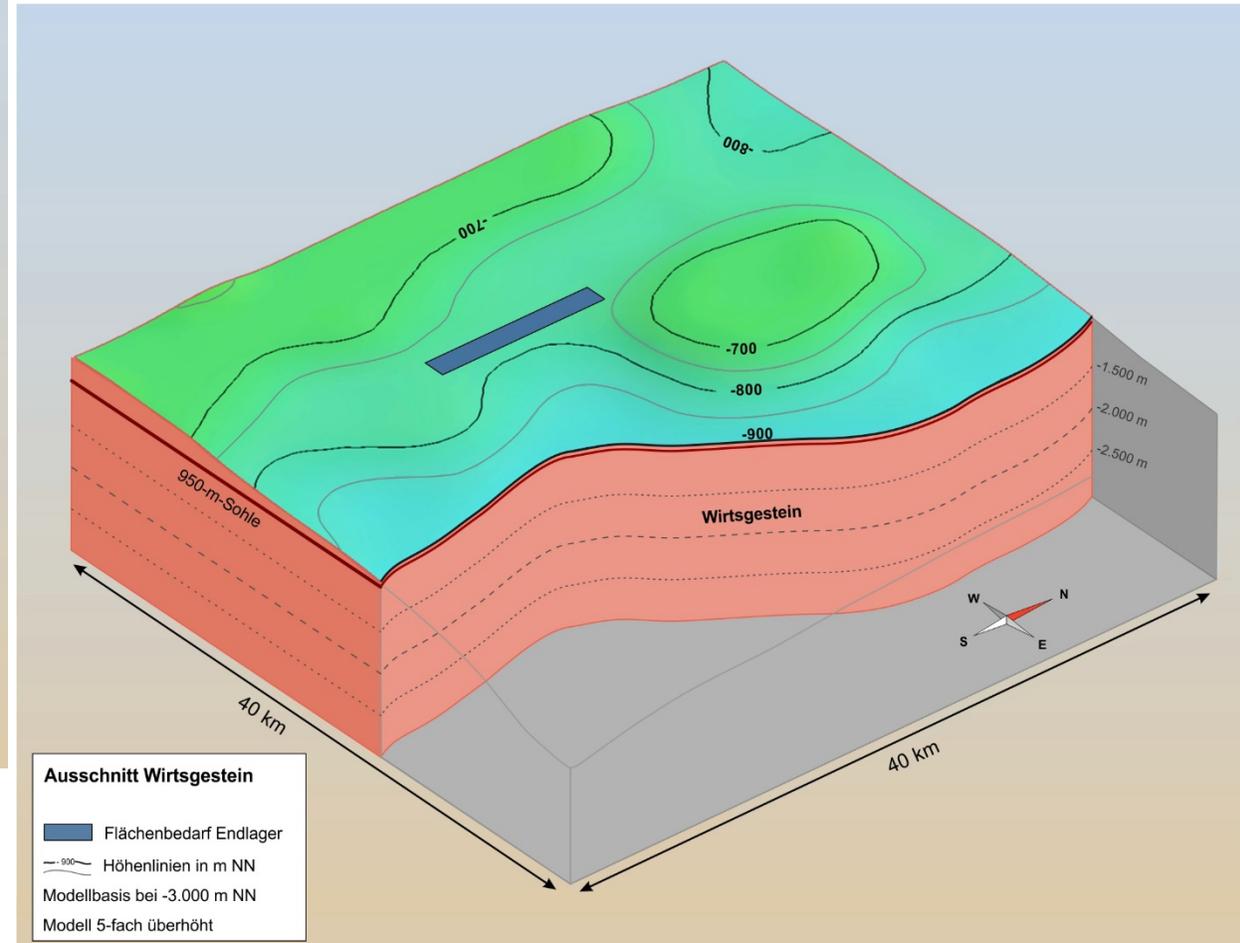
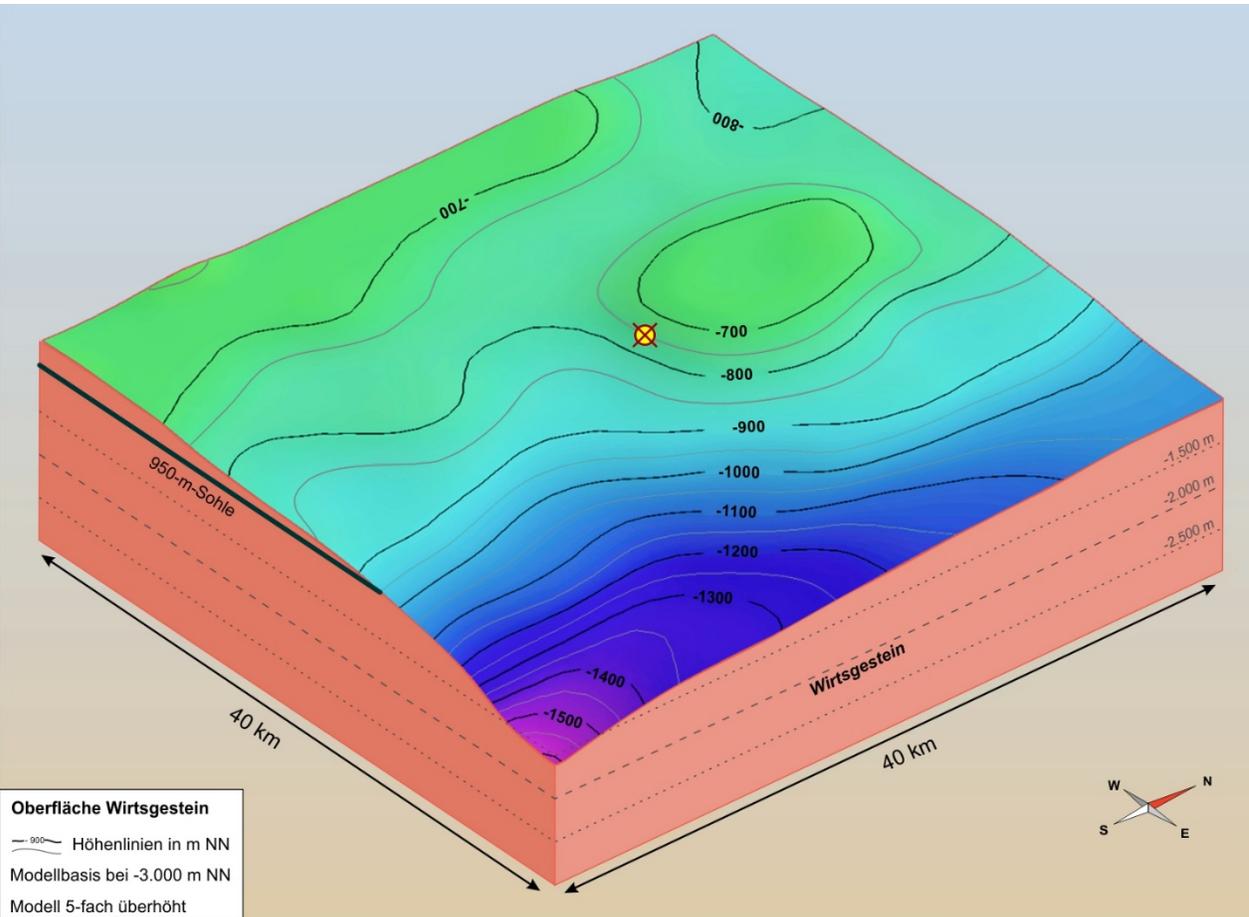


Mächtigkeit Zechstein (Barriereformation) [m]



- Oberfläche üewG mindestens 300 m u. GOK
- Gesteinsbereich, der den üewG aufnehmen soll, muss mindestens 100 m mächtig sein.

# CHRISTA II



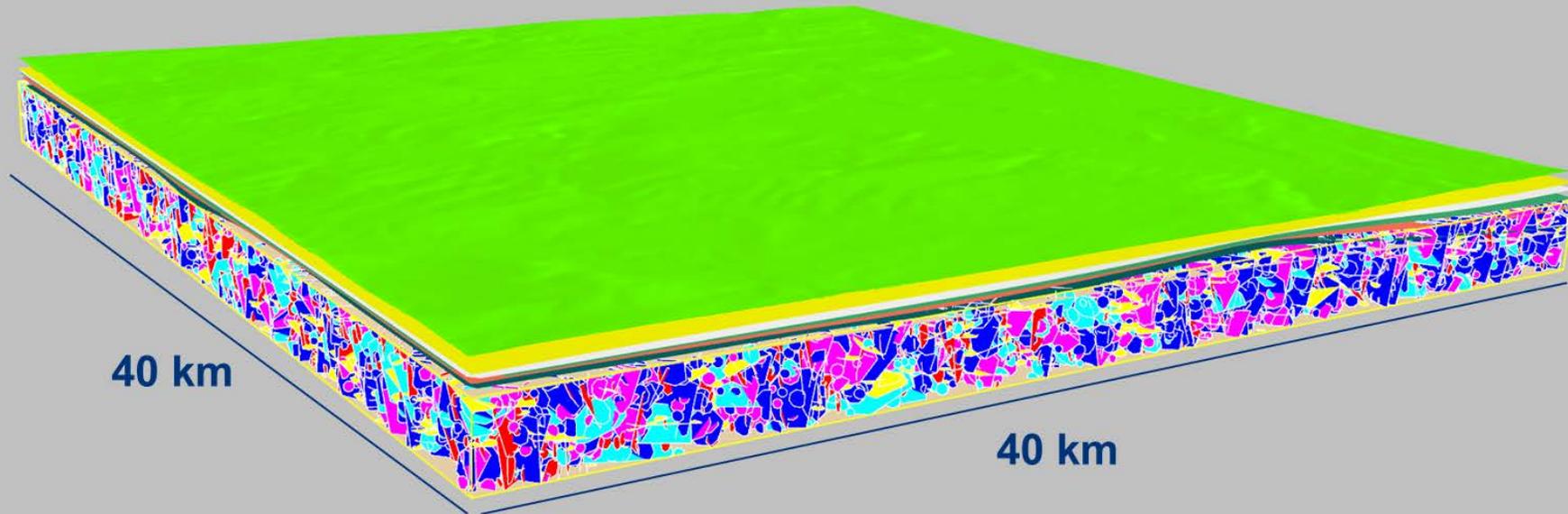
## Kluftsystem:

- Am Top wird im kristallinen Grundgebirge ein ca. 20 m mächtiger Bereich angenommen, der stärker von Verwitterungsprozessen beeinflusst wurde und engständiger geklüftet ist.
- Aufgrund der Tiefenlage (Auflast) und Nähe zur Barriereformation wird dort, keine stark erhöhte Anzahl hydraulisch wirksamer Klüfte erwartet.
- Darunter wird für das Modell „überlagernder ewG“ ein geringer geklüftetes Kristallingestein angenommen.
- Im Modell werden nur die hydraulisch wirksamen Klüfte im Wirtsgestein dargestellt.
- In einem konservativen Ansatz wird analog mewG/mKBS-3 von einer tiefenunabhängigen gleichbleibend dichten Kluftverteilung ausgegangen.

## Kluftsystem:

- Orthogonales Kluftsystem (analog mewG/mKBS-3)
- Kluftanzahl: ca. 90000 Klüfte werden dargestellt
- Kluftlängen in einem ausgewählten Intervall von 10 bis 1000 m
- Kluftverteilung: Wurde mit der oft verwendeten P32-Funktion (Frac Area/Volume) generiert.
- Kluftlänge: Die im Modell angenommenen Kluftlängen ergeben sich aus der kumulativen Länge einzelner miteinander vernetzter Kluftabschnitte
- Upscaling deterministischer verbundener Klüfte aufgrund des großen Modellgebietes notwendig.

## Kluftmodell überlagernder ewG



Z  
(N)  
X (E)



***Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!***

## Literatur:

- Bertrams, N., Herold, P., Herold, M., Krone, J., Lommertsheim, A., Prignitz, S. & Simo, E.K. (2017): Entwicklung eines technischen Konzeptes für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle und ausgediente Brennelemente im Kristallingestein in Deutschland - Abschlussbericht. DBE TEC: 240; Peine.
- Huber, M. & Huber-Aleffi, A. (1990): Zur Tektonik des Südschwarzwaldes - NTB 90-03. NAGRA: 170 S.; Baden.
- Lee, C.H. & Farmer, I.W. (1993): Fluid flow in discontinuous rocks. 1; (Springer Netherlands).
- Posiva Oy (2021): Image Gallery, <https://www.posiva.fi/en/index/media/material.html> [abgerufen am 14.03.2020].
- Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2021): LGRB-Kartenviewer, <https://maps.lgrb-bw.de/> [abgerufen am 14.06.2021]
- Reinhold, K. (2005): Tiefenlage der Kristallin-Oberfläche in Deutschland. BGR, Abschlussbericht. F+E Endlagerung: 89; Hannover, Berlin.
- Reinhold, K., Hammer, J. & Pusch, M. (2014): Verbreitung, Zusammensetzung und geologische Lagerungsverhältnisse flach lagernder Steinsalzfolgen in Deutschland. BGR: 98 S.; Hannover.