

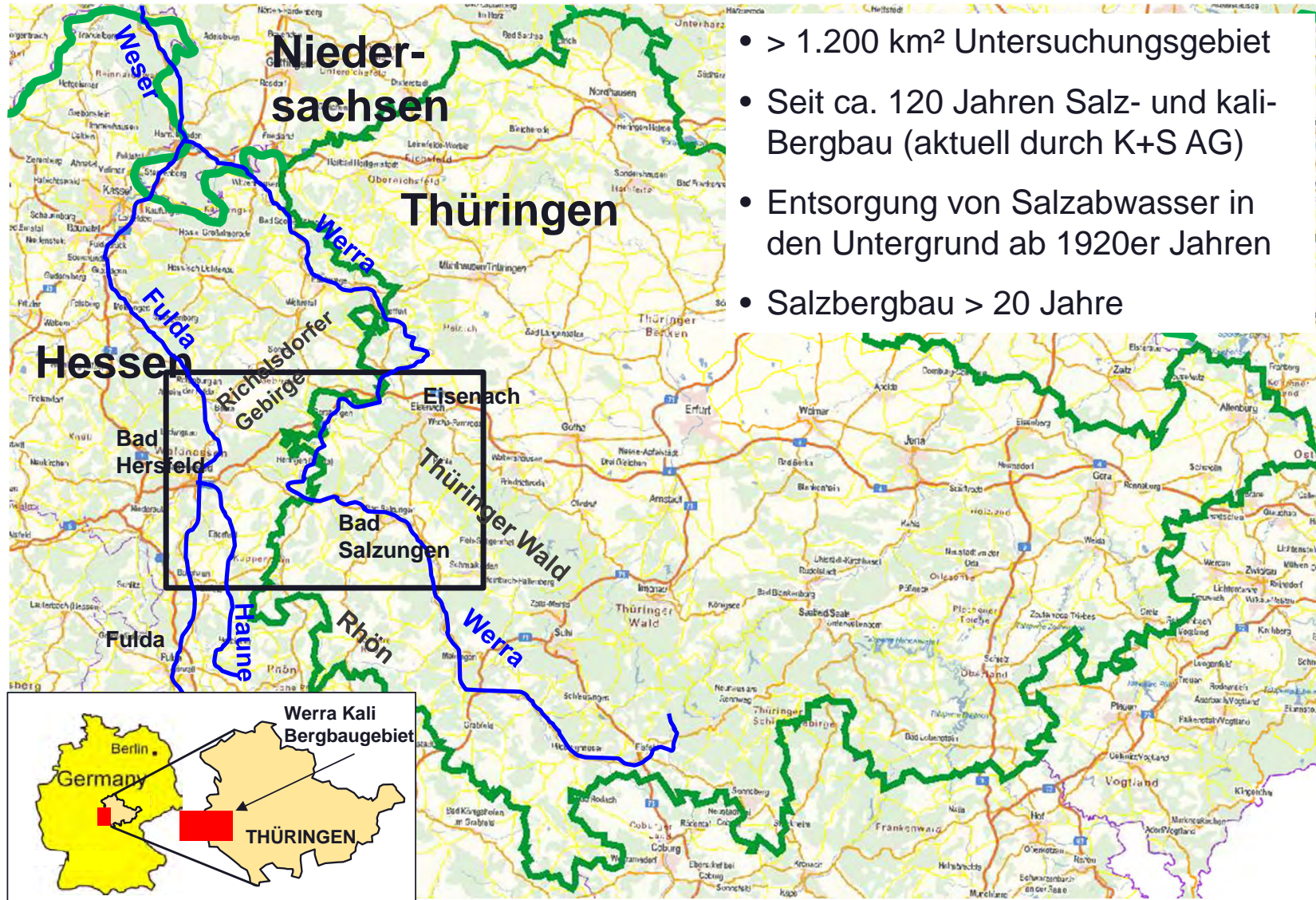
# Modellierung der Wechselwirkungen zwischen hochmineralisierten Haldenwässern und aufsteigenden Versenkwässern im Werra-Kaligebiet

03.09.2030, Kassel

Christian Zimmermann<sup>1</sup>, Jörn Geletneky<sup>2</sup>, Christoph König<sup>1</sup>, Katrin Brömme<sup>1</sup>

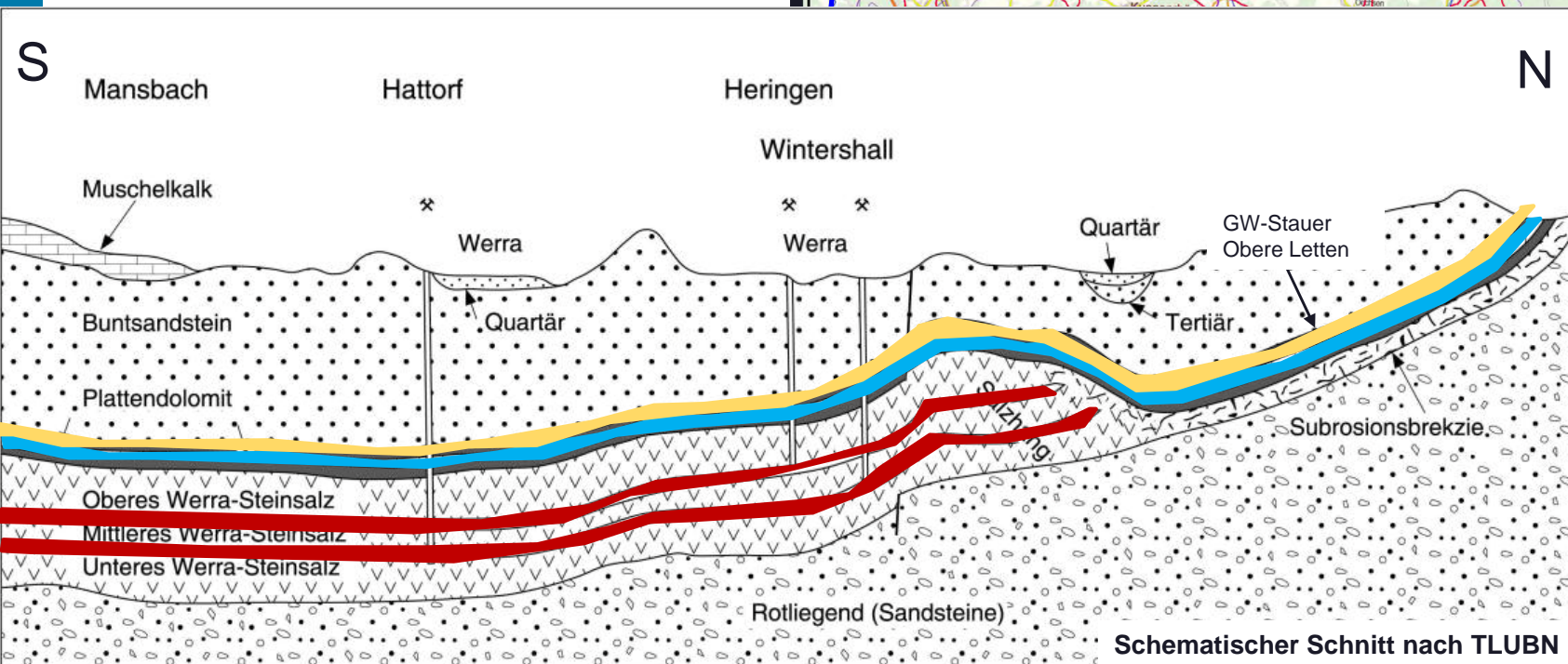
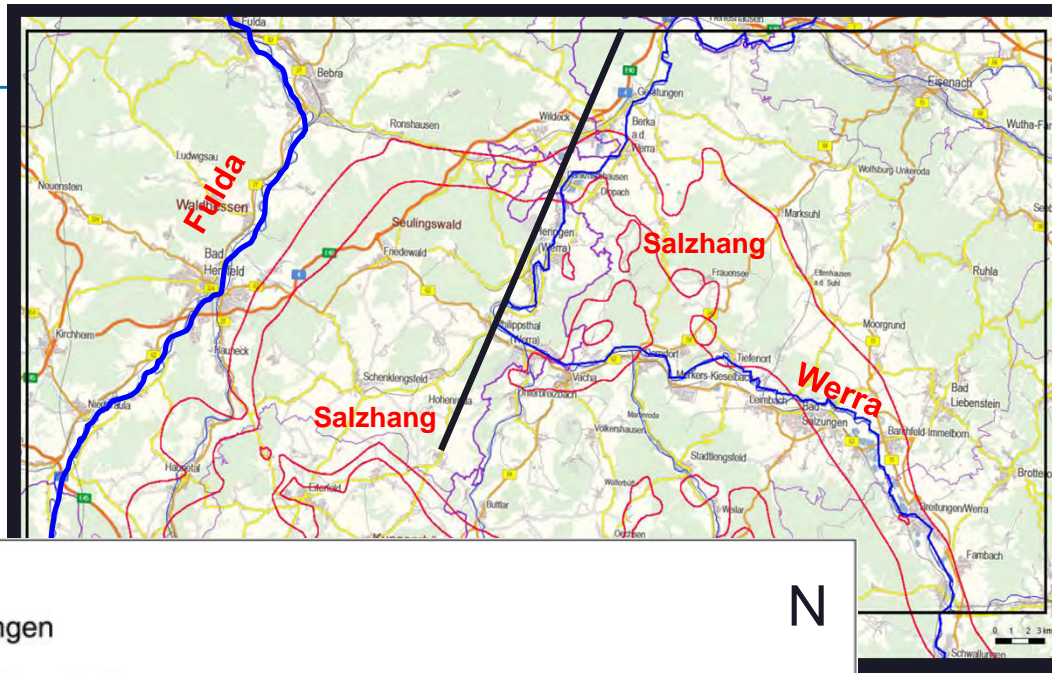
<sup>1</sup> delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten

<sup>2</sup> Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN)



## Fragestellung

- Salzhaltige Abwässer aus der Produktion werden in den Untergrund eingeleitet



- Was sind die Auswirkungen?

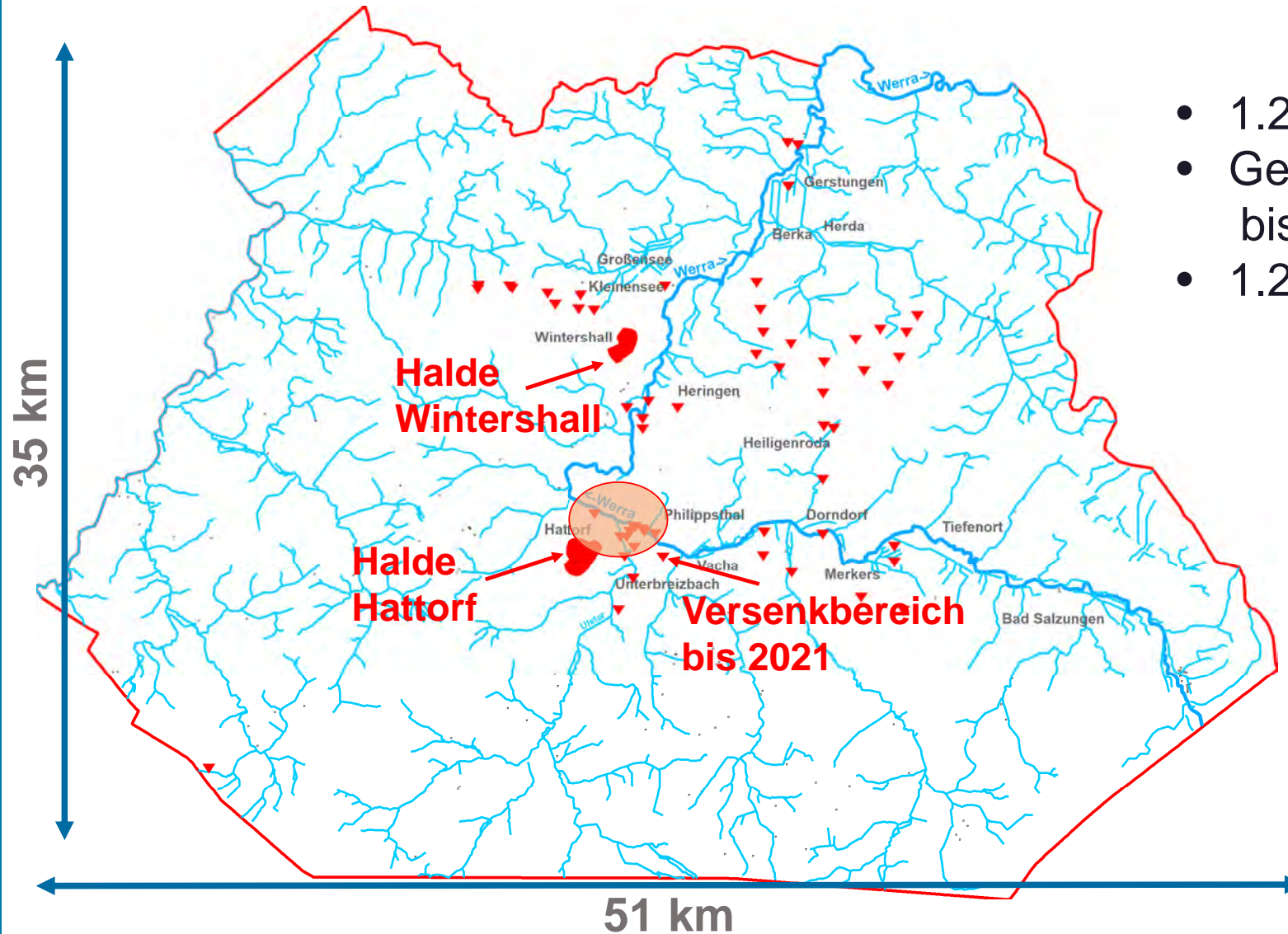
Schematischer Schnitt nach TLUBN



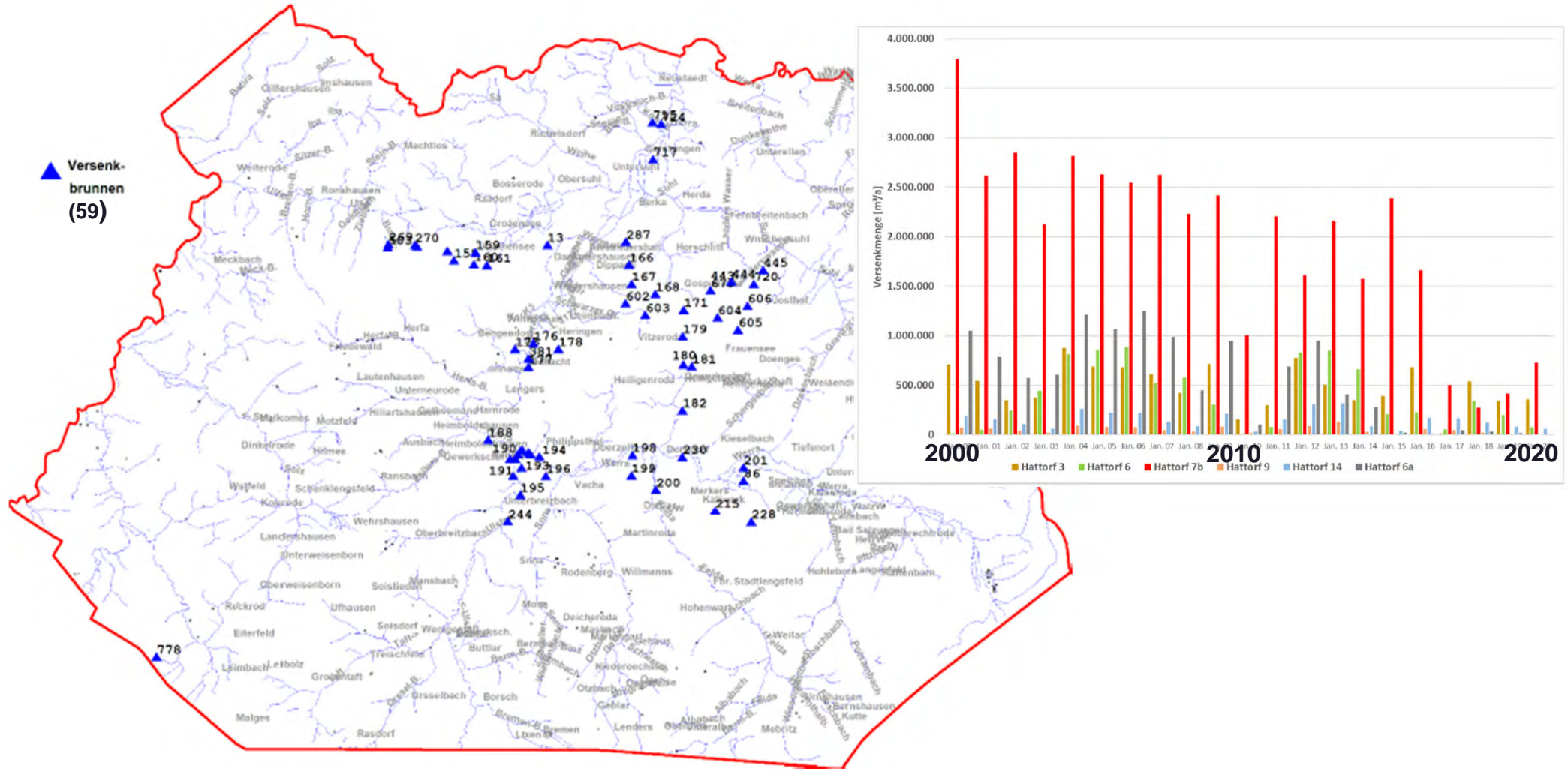
- Einträge in die Werraue
- Gesamtkonzentration Versenkwasser:  
> 350 g/l,  
Dichte 1,2 g/cm<sup>3</sup>
- Austretendes GW:  
> 180 g/l,  
Dichte 1,1 g/cm<sup>3</sup>
- Zum Vergleich:  
Meerwasser: 35 g/l

### **Erstellung eines numerischen 3D-Modells, das in der Lage ist:**

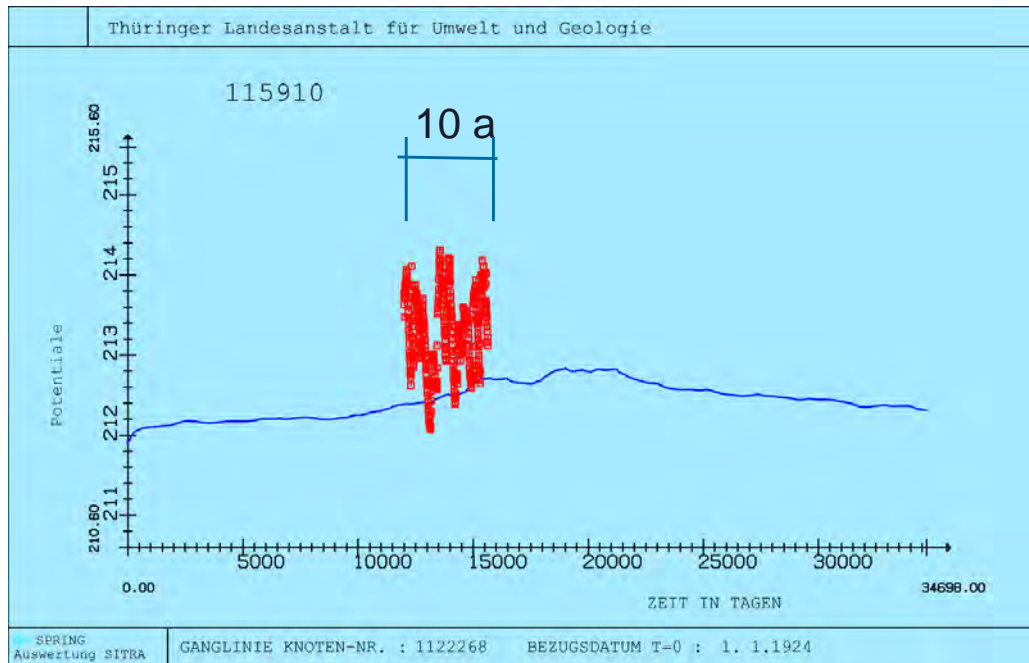
- die Geschichte der anthropogenen Salzwassereinspeisung ab 1925 instationär wiederzugeben
- die regionale und lokale Wasserbilanz zu berücksichtigen
- aussagekräftige Prognosen und Vorhersageszenarien zu berechnen
- eine Grundlage für lokale Modelle zu bilden
- regionale und lokale Grundwasserleiter – Strömung/Transport seit 1925 abzubilden
- Sicherheit für Wassergewinnungsgebiete zu analysieren
- Auswirkungen von geologischen Störungs- und Subrosionszonen sowie von Rückstandshalden auf die Grundwasserströmung- und transport zu untersuchen



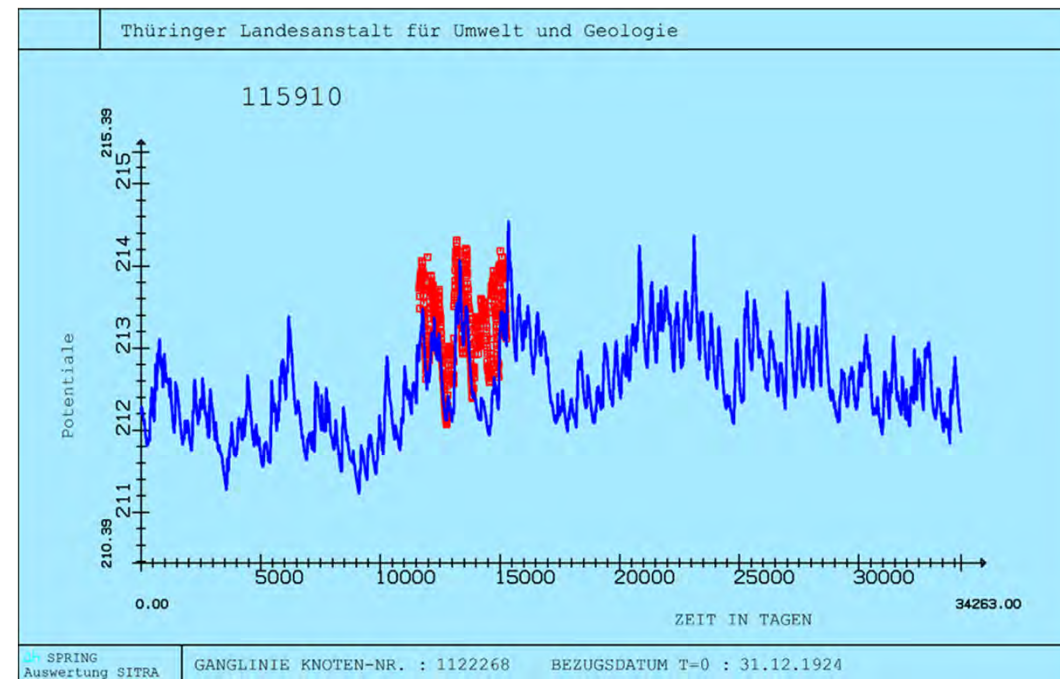
- 1.200 km<sup>2</sup> Fläche
- Gesamtmodellmächtigkeit bis 1.400 m
- 1.200 km Vorfluter



## Grundwasserneubildung stationär

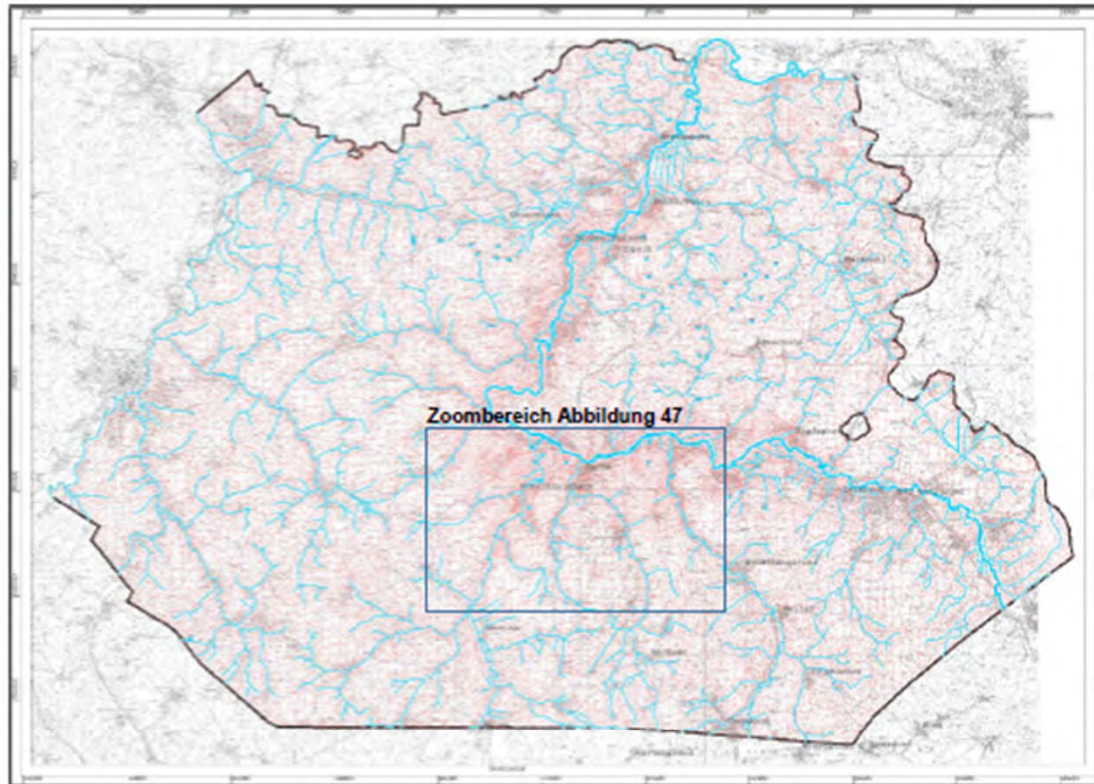


## Grundwasserneubildung instationär RUBINFLUX



Zepp et al., Implizite Berechnung der Grundwasserneubildung (RUBINFLUX) im instationären Grundwasserströmungsmodell SPRING. Eine neue Methodik für regionale, räumlich hochaufgelöste Anwendungen, Grundwasser- Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2017) 22:113-126





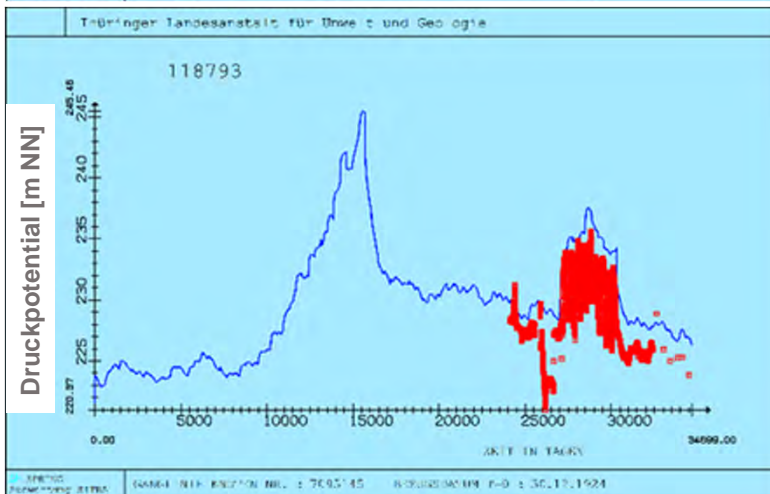
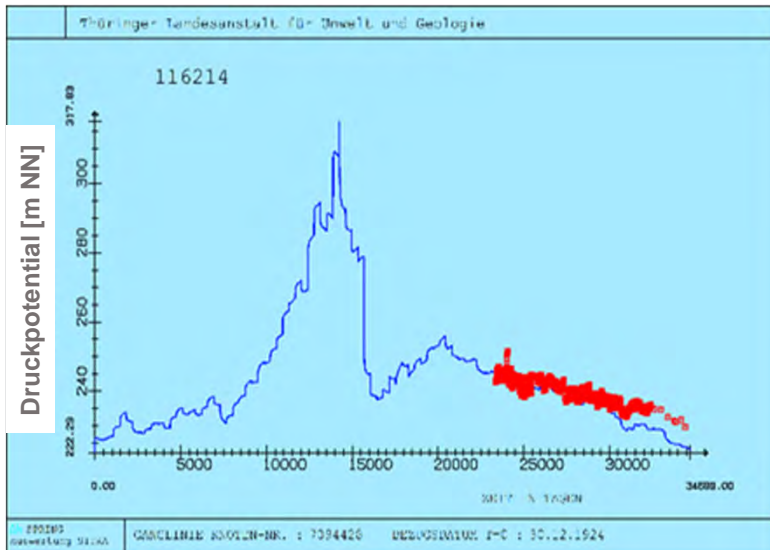
## Horizontale Diskretisierung:

**63.000 Knoten, 81.500 Elemente  
pro Schicht**

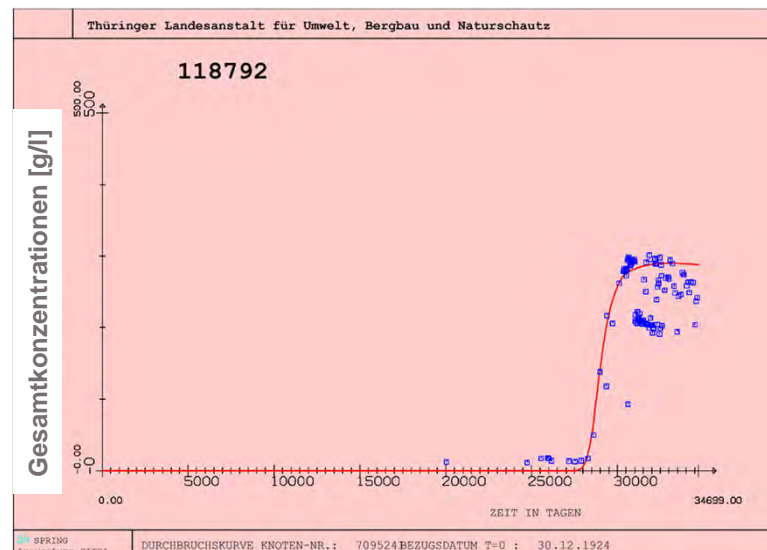
**In Aufstiegsbereichen Abstand  
Knoten 20-50 m, sonst 100-400 m**



## Modellkalibrierung GW-Strömung



## Modellkalibrierung Stofftransport

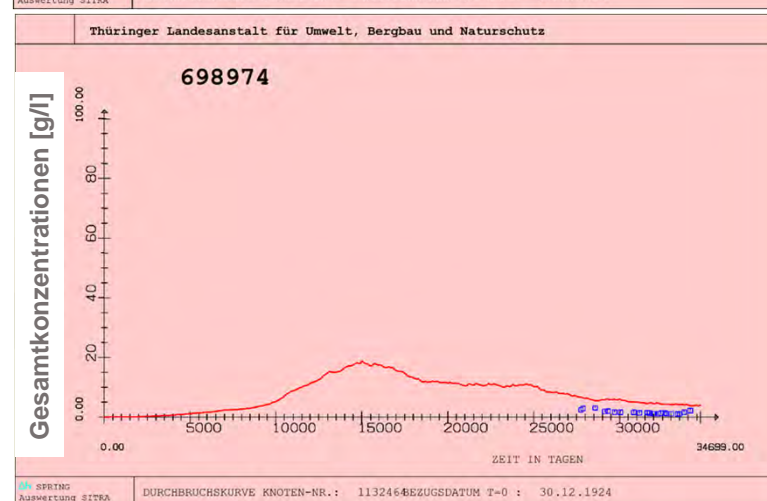


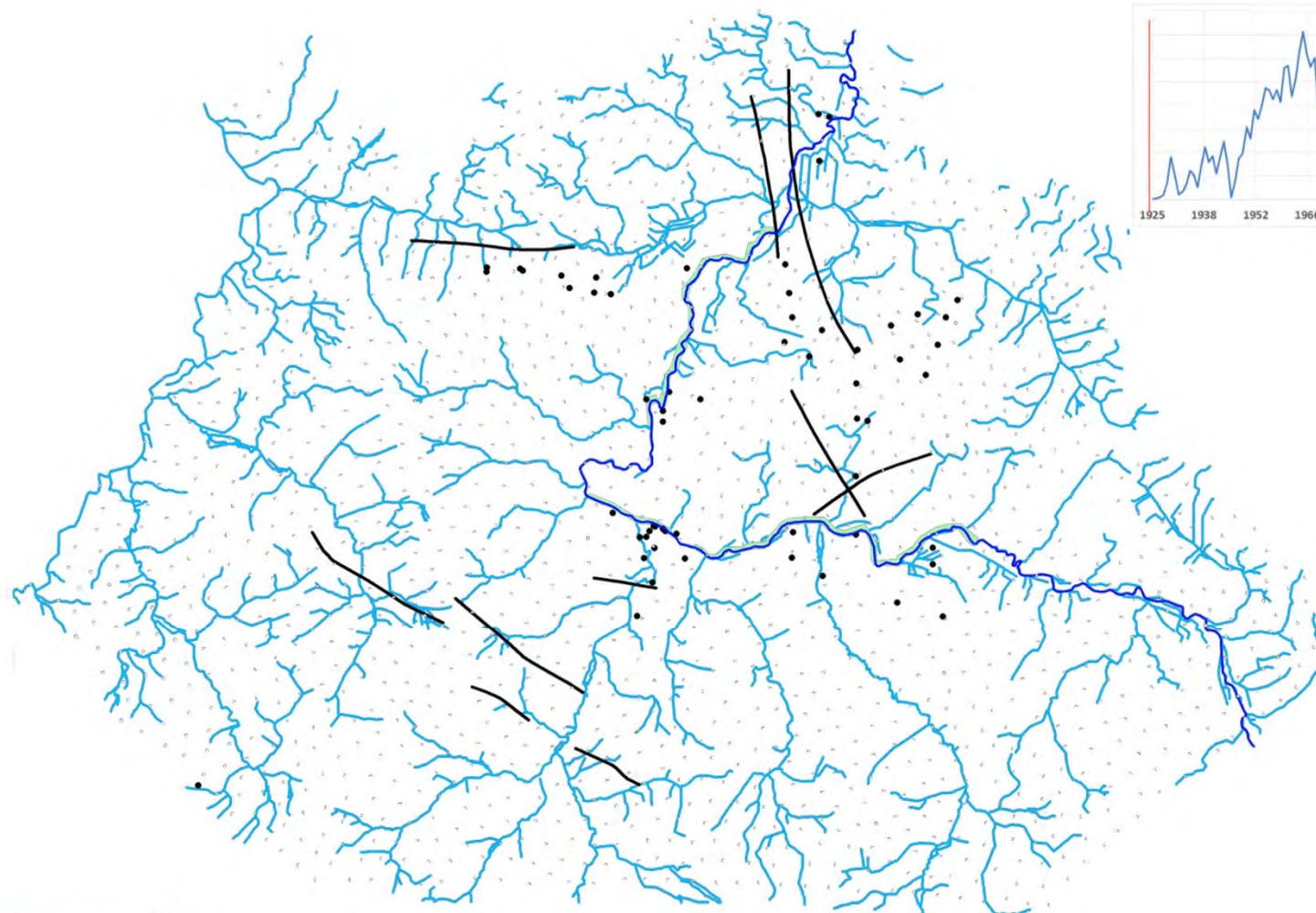
### Druckpotentiale

- 248 GWM
- 540.000 Messwerte

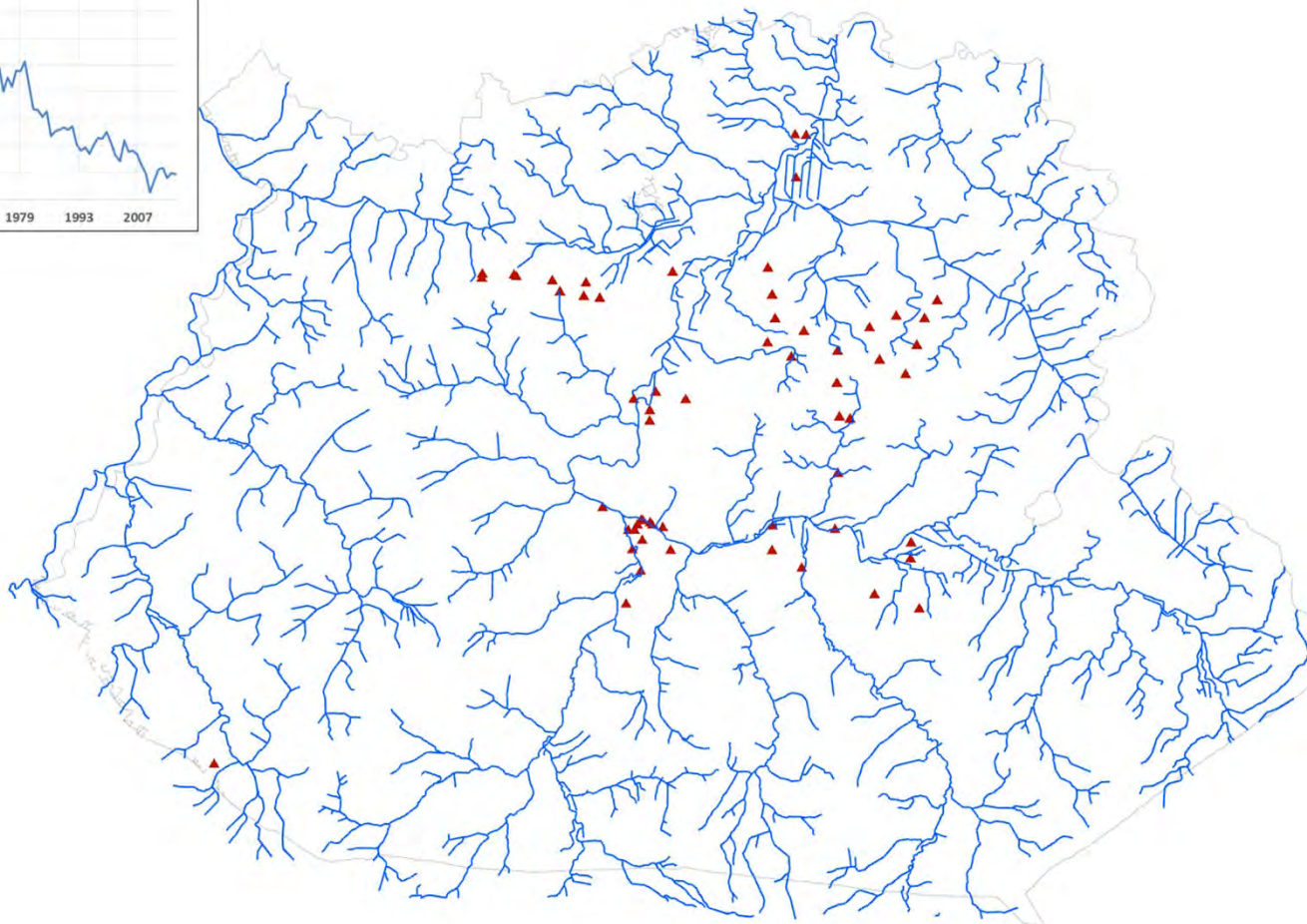
### GW-Beschaffenheit

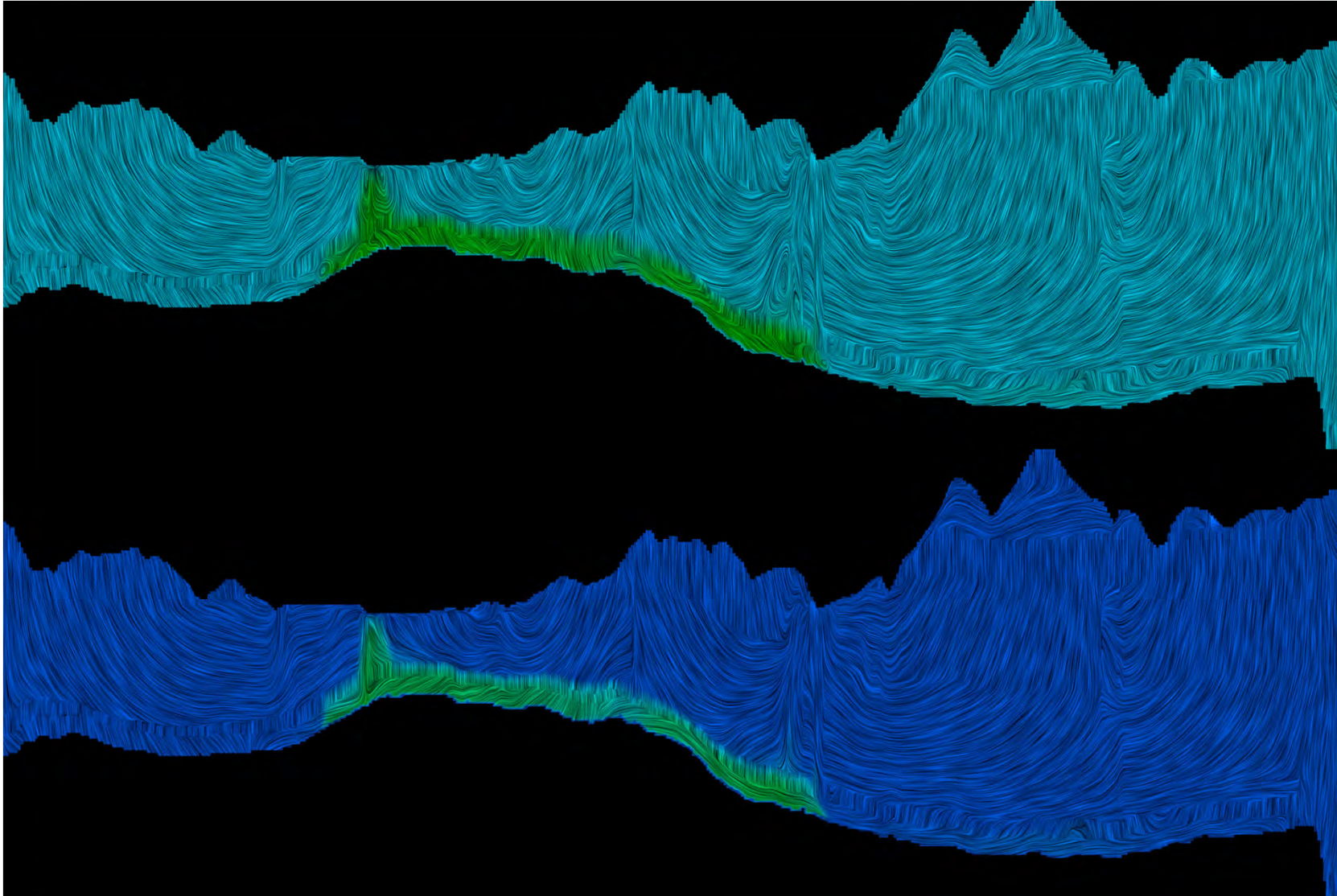
- 263 GWM
- 16.000 Messwerte





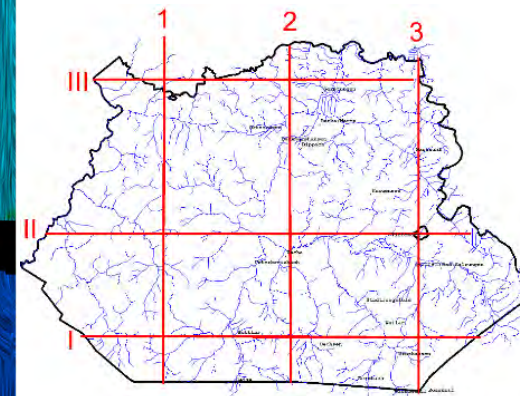
# Nachrechnung des Versenkzeitraums – Unterer Buntsandstein (su)





## Schnitt 2

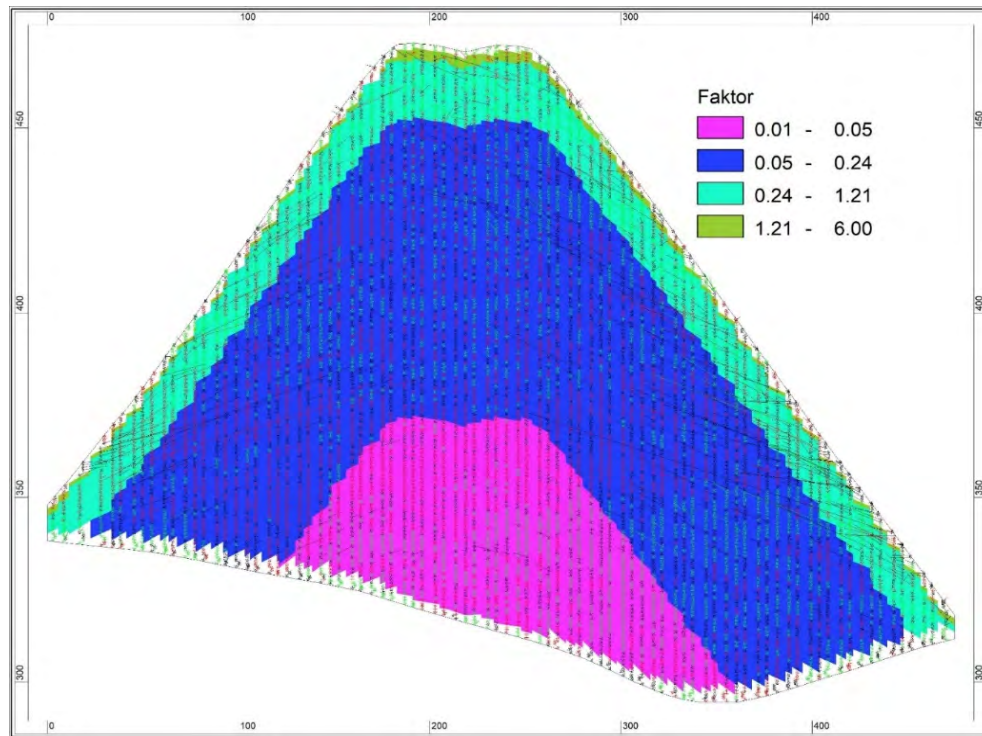
Berechnung mit Dichteinfluss



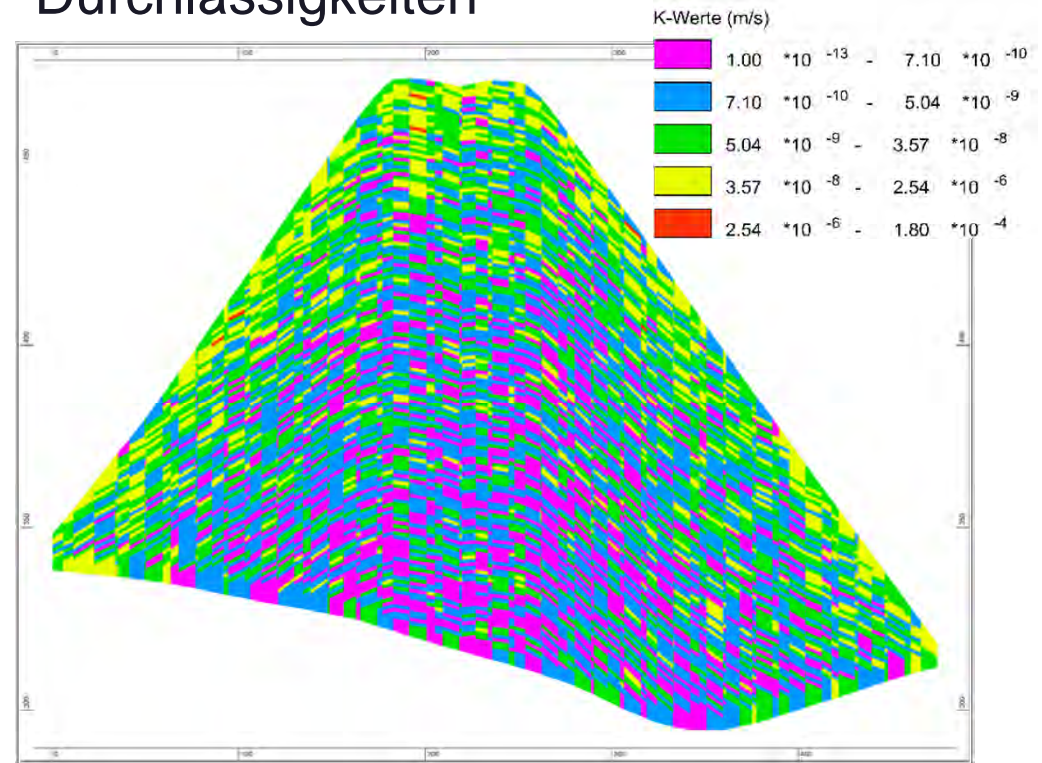
Berechnung ohne Dichteinfluss  
„Tracer“



## Berücksichtigung der Auflast



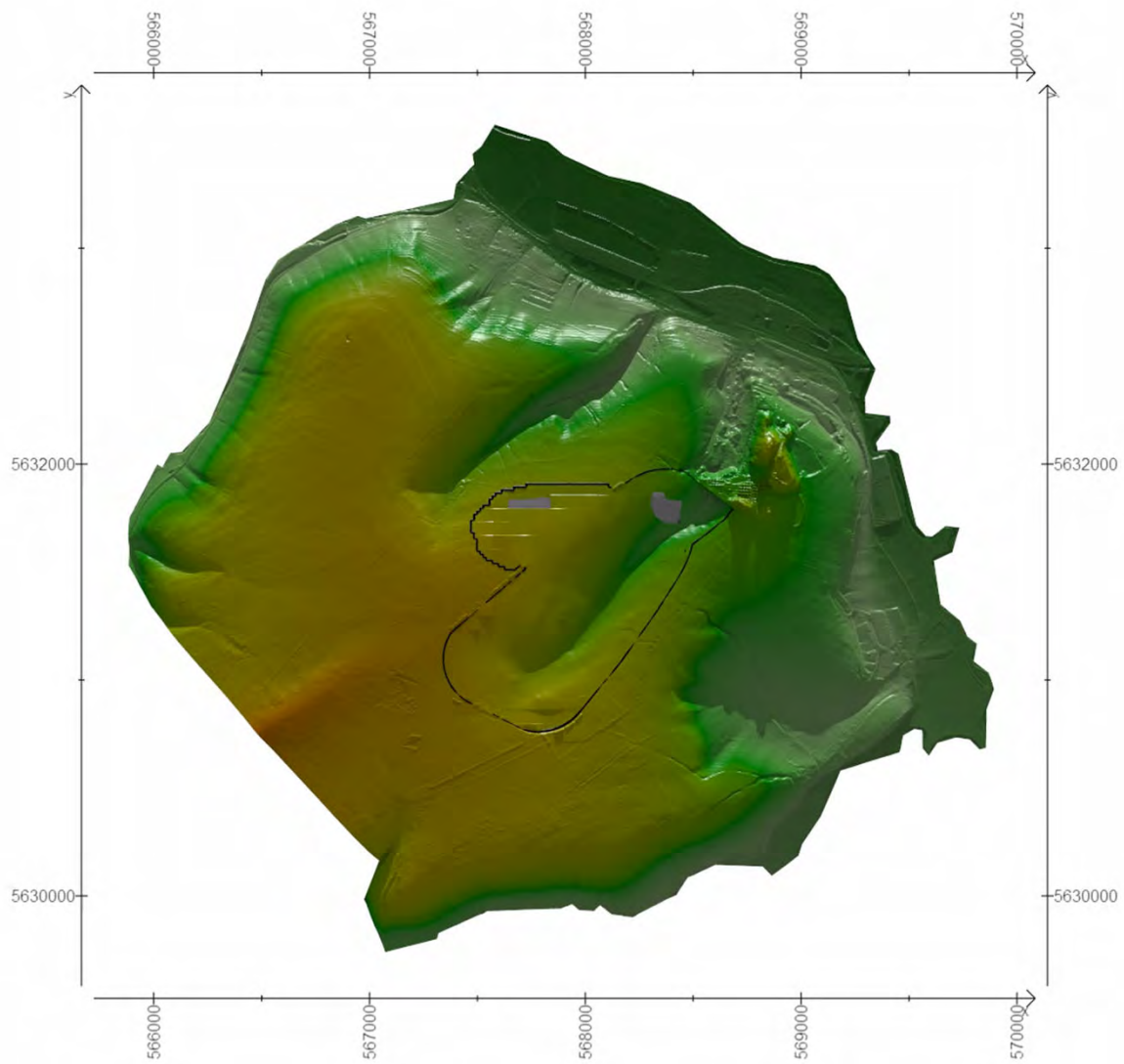
## Stochastische Generierung der Durchlässigkeiten



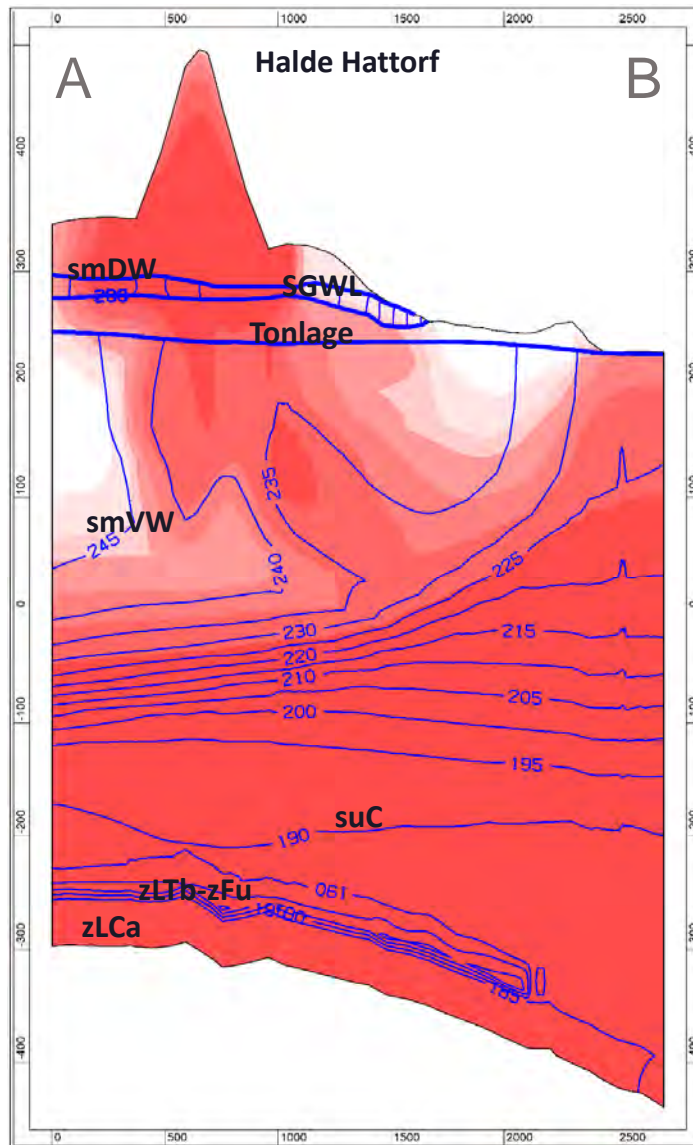
Werte für die Durchlässigkeit, berechnete Sickerwassermengen für Regionalmodell  
Variation der Durchlässigkeit des Haldenkörpers

# Integration Halde Hattorf- Aufhaltung

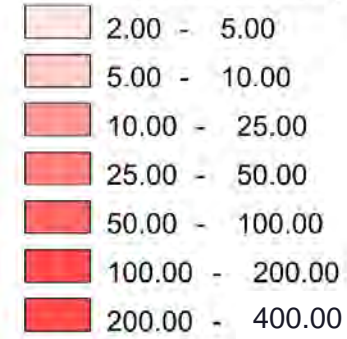
Time: 0.0000





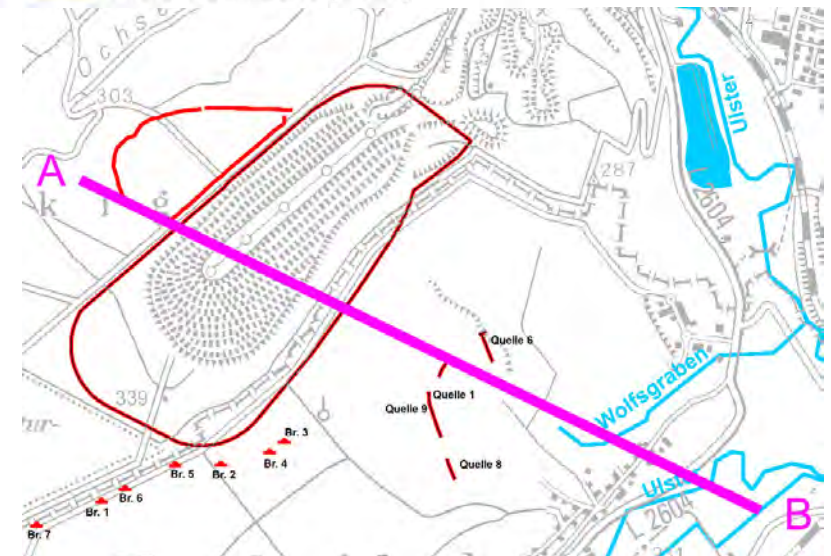


Gesamtkonzentrationen [g/l]



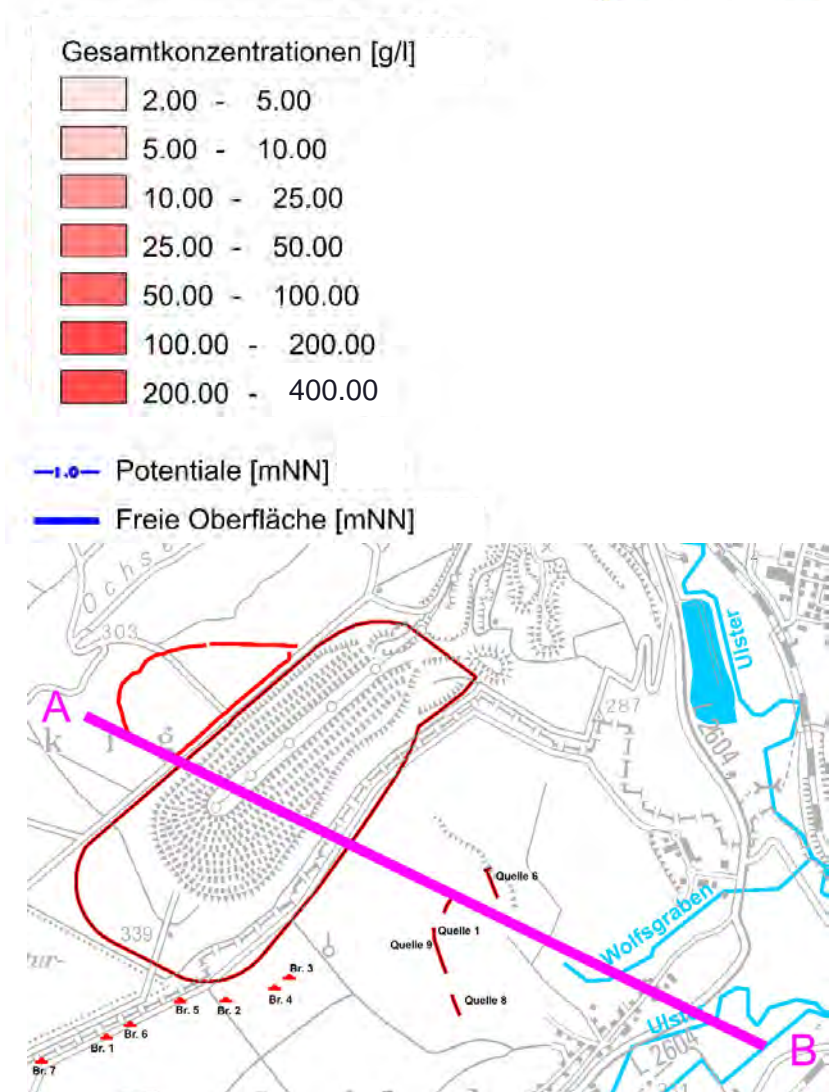
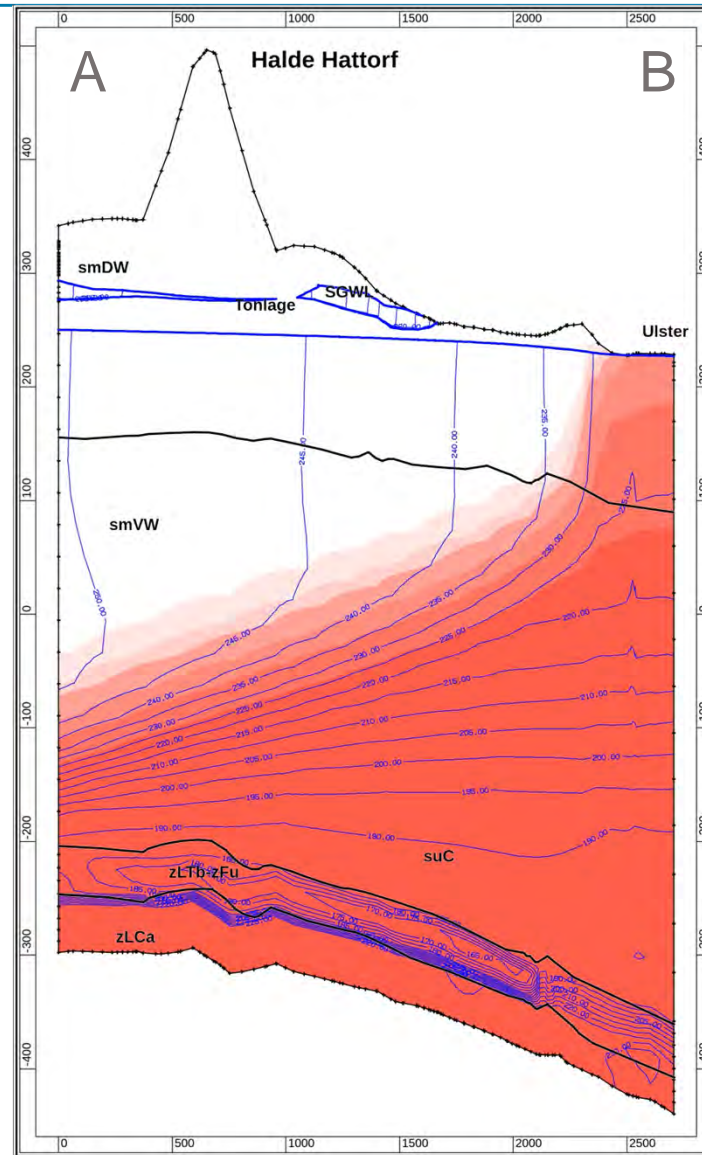
—•— Potentiale [mNN]

— Freie Oberfläche [mNN]

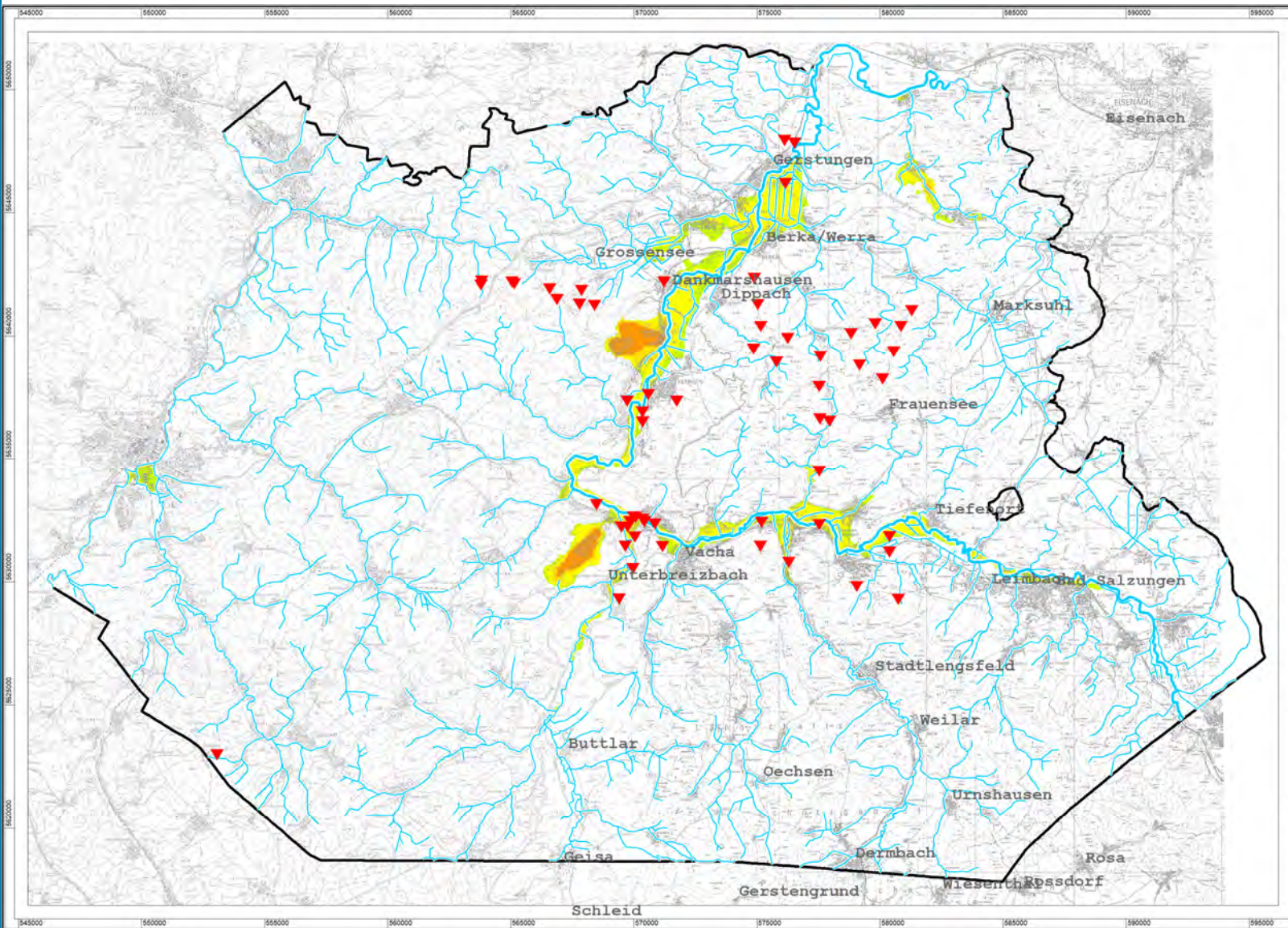


# Animation Halde Hattorf- Versenkwässer/Haldenwässer

- Beginn: 1970
- Ende: 2022



# Prognoseberechnung bis 2050



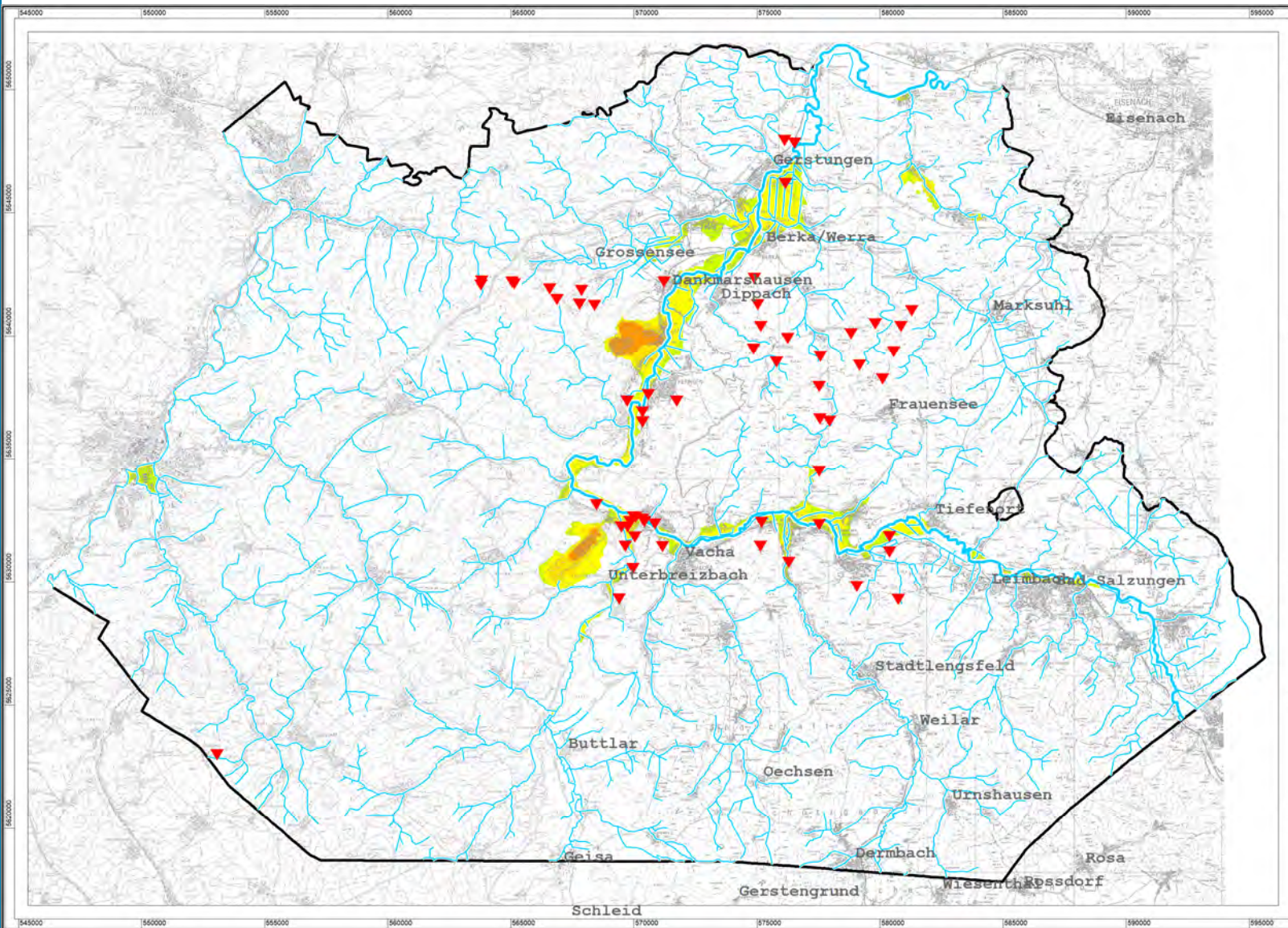
Gesamtkonzentrationen [g/l]

- 5.00 - 10.00
- 10.00 - 50.00
- 50.00 - 100.00
- 100.00 - 400.00

- Gewässer
- Versenkbrunnen

Ergebnis-  
konzentration  
2021 im sm

# Prognoseberechnung bis 2050



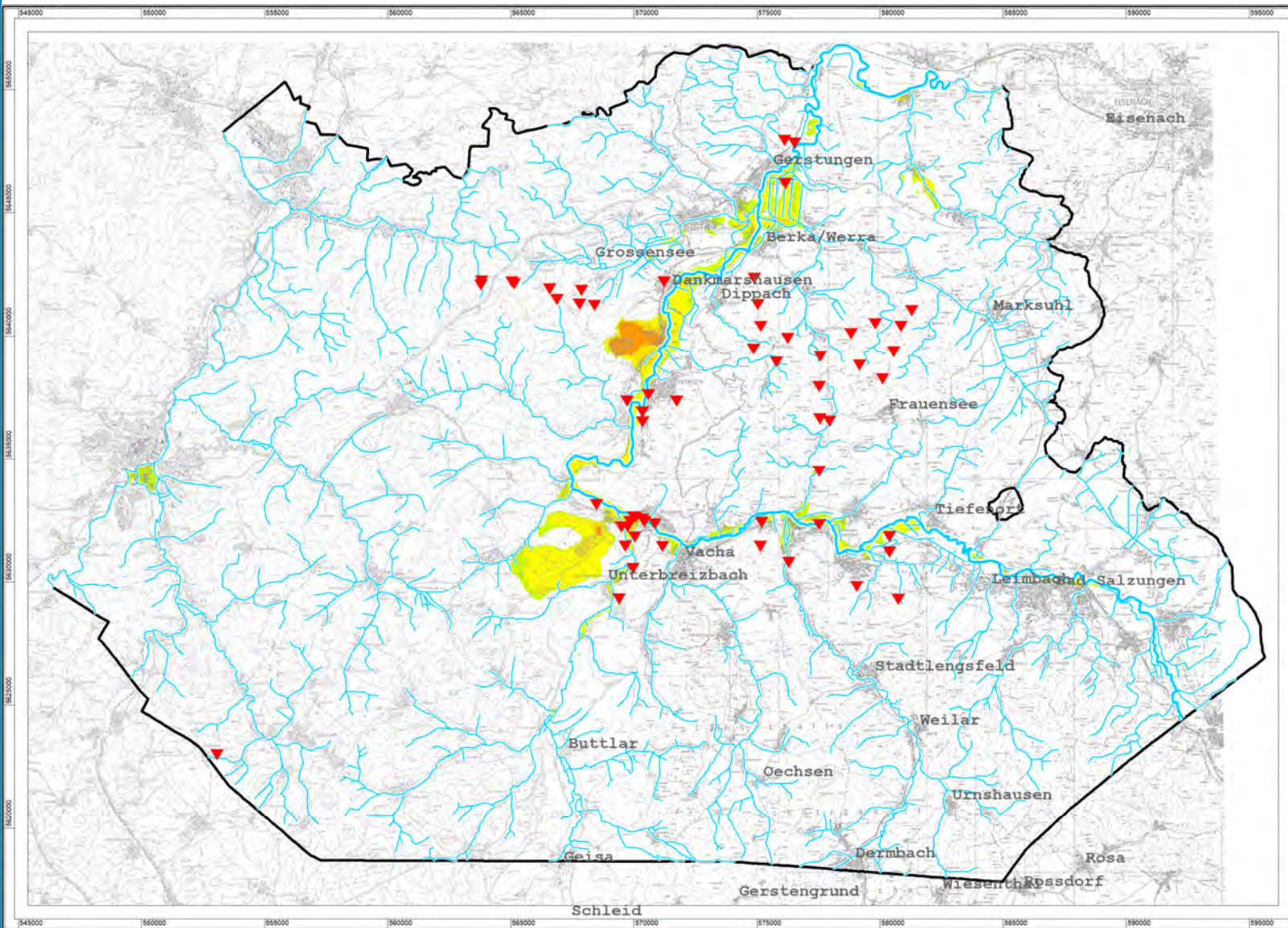
Gesamtkonzentrationen [g/l]

- 5.00 - 10.00
- 10.00 - 50.00
- 50.00 - 100.00
- 100.00 - 400.00

- Gewässer
- Versenkbrunnen

Ergebnis-  
konzentration  
2027 im sm

# Prognoseberechnung bis 2050



Gesamtkonzentrationen [g/l]

- 5.00 - 10.00
- 10.00 - 50.00
- 50.00 - 100.00
- 100.00 - 400.00

- Gewässer
- Versenkbrunnen

Ergebnis-  
konzentration  
2050 im sm

- Großraummodell
  - 1,27 Mio. Modellknoten bei 60 vertikalen Modellschichten
  - ca. 1.200 km Vorflutlänge, Geländehöhen aus dem aktuellen DGM 5
  - Komplexe Geologie, Gesamtmodellmächtigkeit bis 1.400 m
  - Instationäre Grundwasserneubildung (10-Tage-Schritte)
  - Nachrechnung des Versenkgeschehens von 1925 bis 2021, 71.880 Zeitschritte, Rechenzeit 2,3 Tage
  - Berechneter geogener Anfangszustand
  - Kalibrierung und Sensitivitätsrechnung der Strömung und der Dichteverteilung
- Integration mit Haldenmodell Hattorf
  - Instationäre Stoffausbreitung im Untergrund der Halde Hattorf ab Schüttungsbeginn
  - Interaktion mit aufsteigenden Versenkwässern
  - Prognoserechnung bis zum Jahr 2050
- Geplant: Integration mit Haldenmodell Wintershall

