

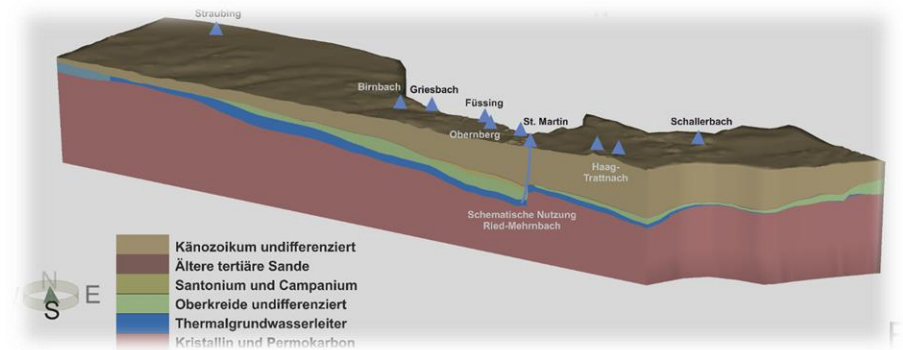
Das neue Strömungsmodell

zum niederbayerisch-oberösterreichischen
Thermalgrundwasserkörper

GeoSphere Austria

Stefan Hoyer

stefan.hoyer@geosphere.at

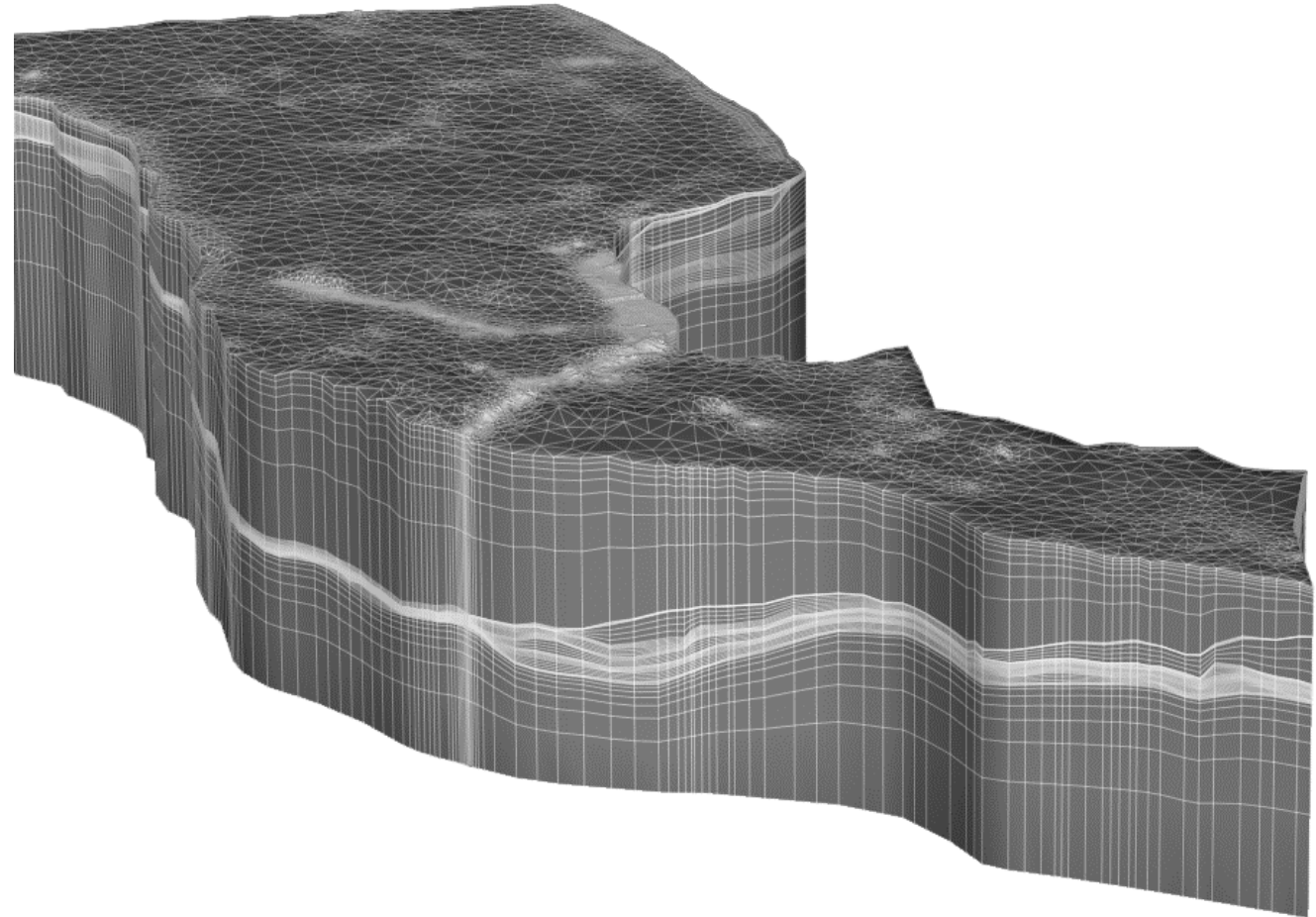


2. Oktober 2024

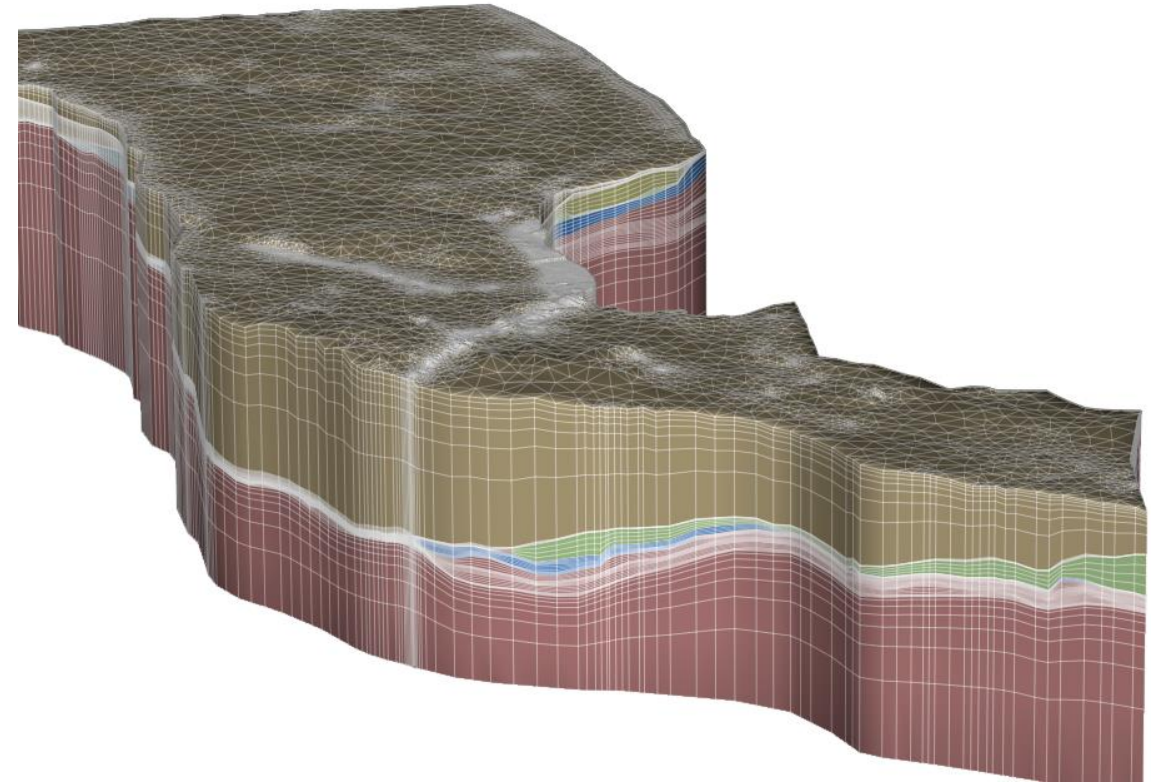
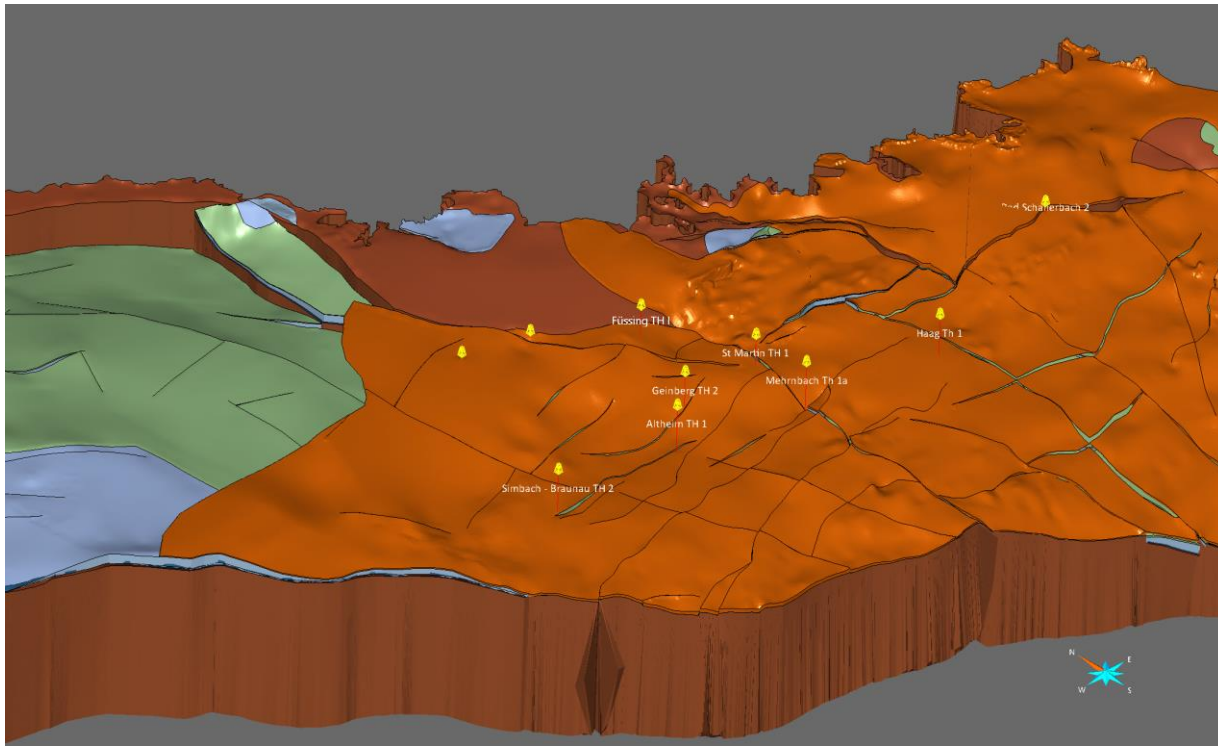
Steckbrief

- Software: FEFLOW 7.4 (Finite Elemente)
- „Layered mesh“ – Ansatz
- Erstreckung:
 - W-O: ca. 180 km
 - S-N: ca. 100 km
 - Fläche: ca. 7200 km²
 - z: von GOK bis -4500 m.ü.A.
- Diskretisierung:
 - 54 Layer zu je 38398 = ca. 2 Mio Elemente
 - Kleinstes Element: 2.6 m²
 - Größtes Element: 3.45 km²
- Physik:
 - Thermo-hydraulisch unidirektional gekoppelt

(sh. Tabelle 4 im Kurzbericht)



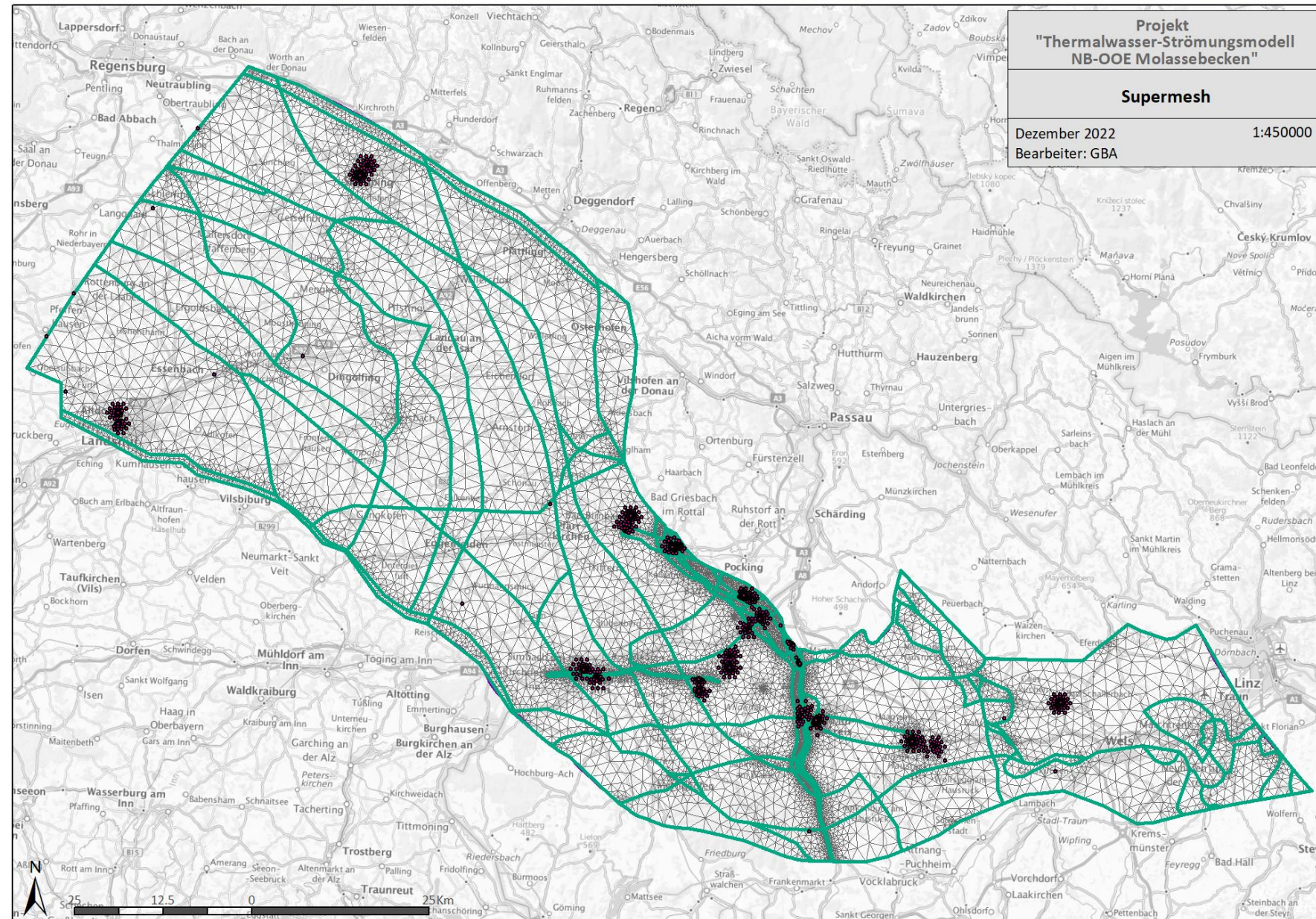
FEFLOW (R)



Modellaufbau

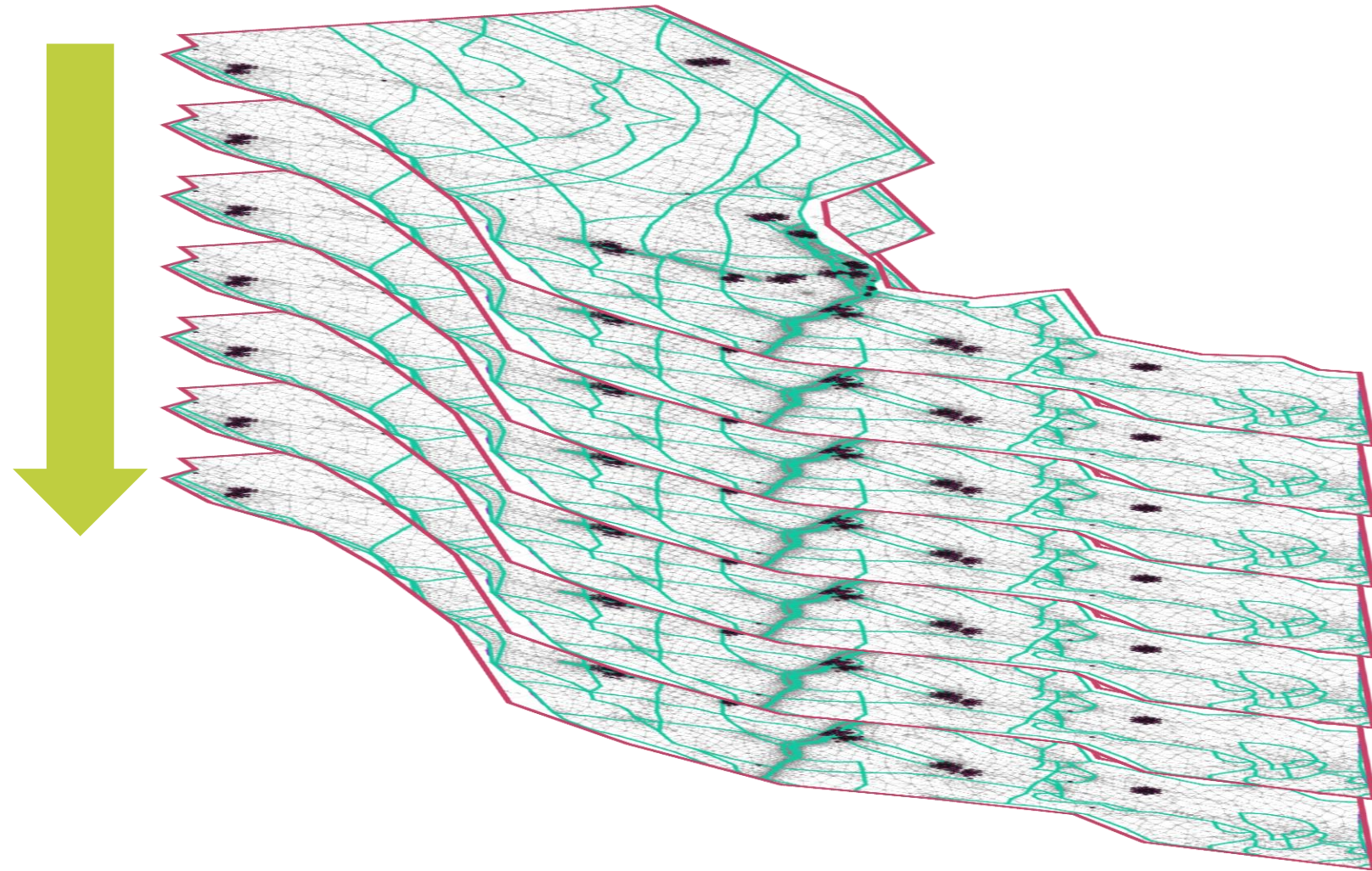
Vernetzung 2D (Rechengitter)

- Engmaschig rund um Nutzungen, Rieder Abbruch, Zerrüttungszone & Rampe
- relativ grob in der Fläche



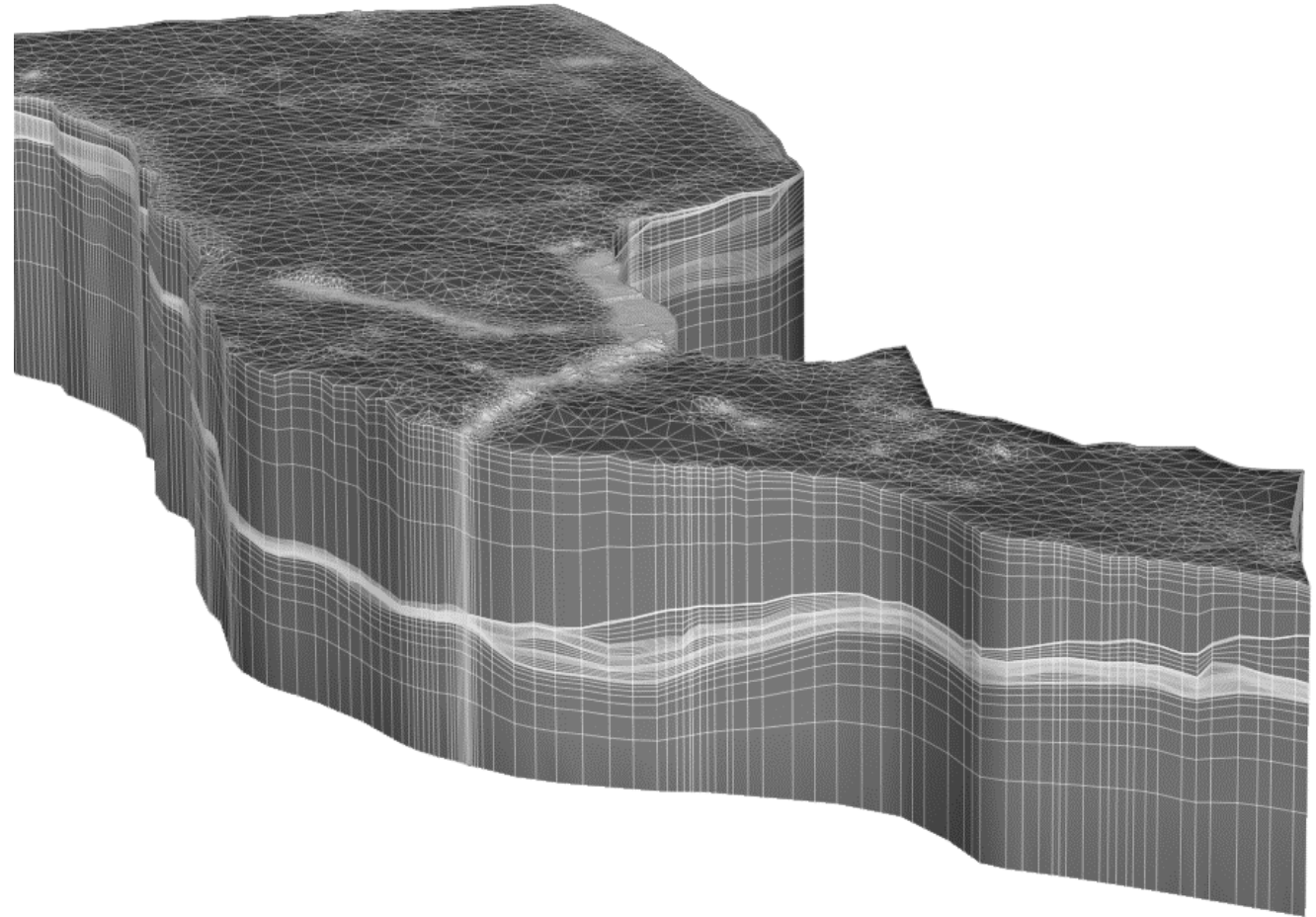
3D Modell

- 2D Netz wird mehrfach in z-Richtung kopiert



3D Modell

- 2D Netz wird in z-Richtung kopiert
- Mit Tiefeninformation versehen

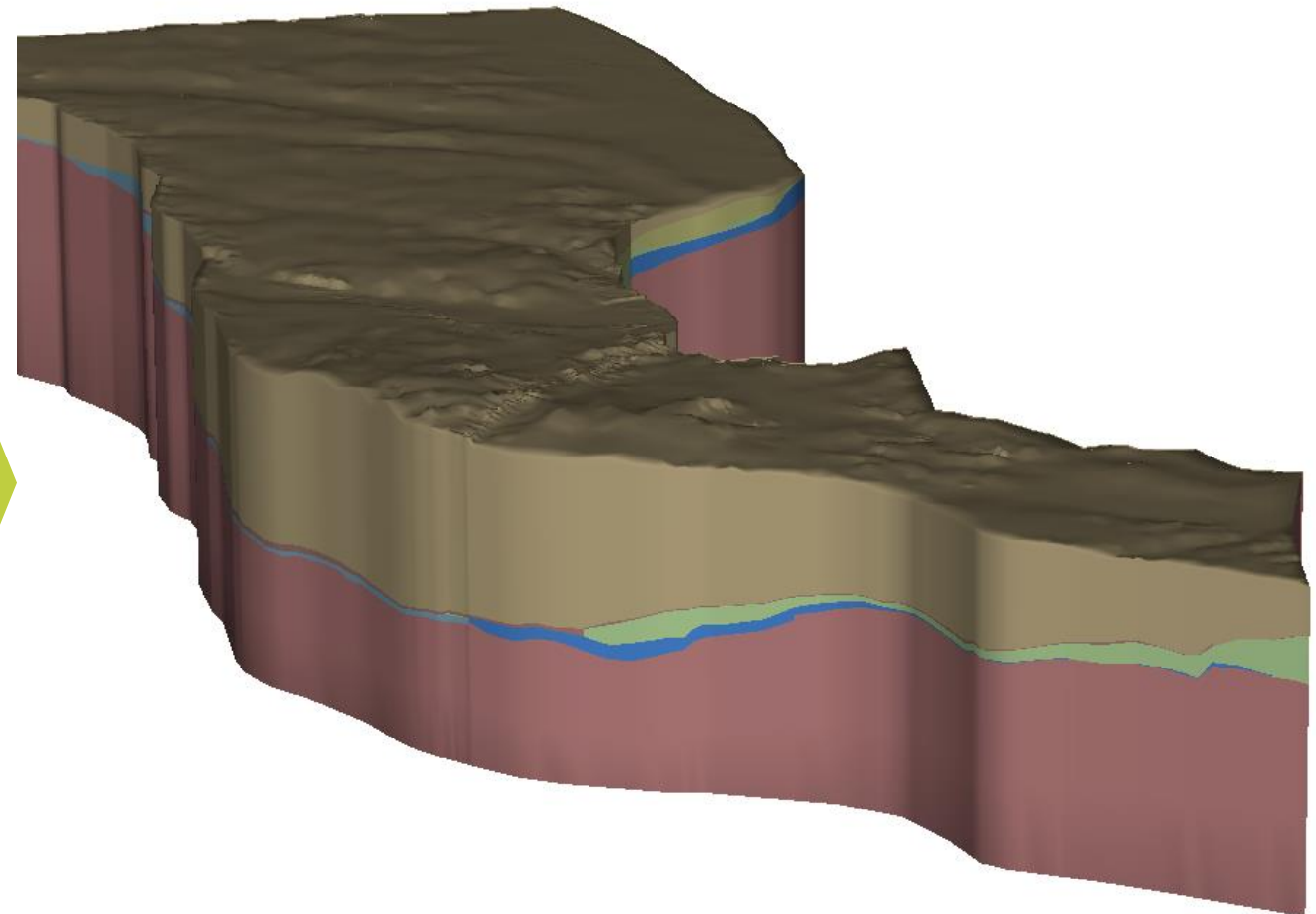


FEFLOW (R)

Modelleinheiten

Ära	Periode	Epoche	Alter [Ma]	Nomenklatur Modelleinheiten
Känozoikum	Quartär	Holozän	0,01	Känozoikum undifferenziert
		Pleistozän	2,6	
	Neogen	Pliozän	5,3	
		Miozän	23,0	
	Paläogen	Oligozän	33,9	Ältere tertiäre Sande
		Eozän	56,0	
Mesozoikum	Kreide	Oberkreide	66,0	Oberkreide undifferenziert
			72,0	
			83,6	
			86,3	
	Jura	Oberjura	93,9	Thermalgrundwasserleiter
			100,5	
			145,0	
			161,5	
		Mitteljura	174,7	Kristallin

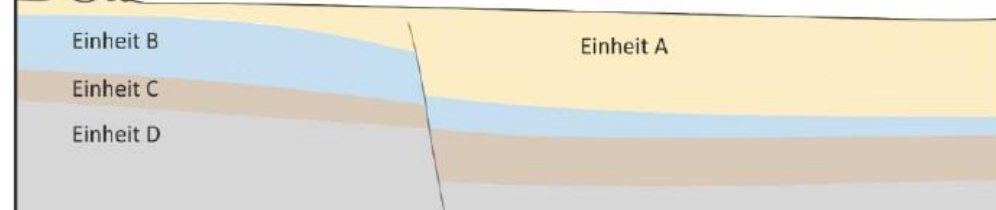
Zuweisen der Geologie
und
Hydrogeologischer
Parameter



FEFLOW (R)

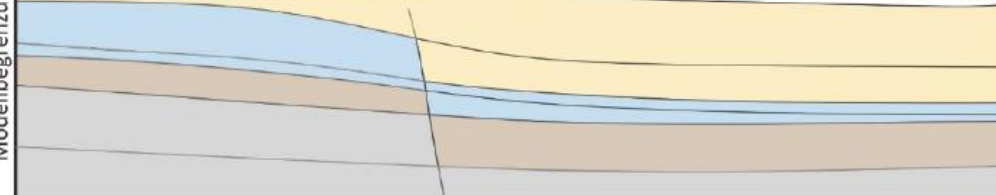
Situation B

Schema geologisches Modell



Prinzip: geometrische Abbildung einer Störung in Feflow durch Verwendung mehrerer Feflow-Slices

„S“ = Slice



Prinzip: Attributierung der Feflow-Layer durch die entsprechende hydrogeologische Einheit

„L“ = Layer

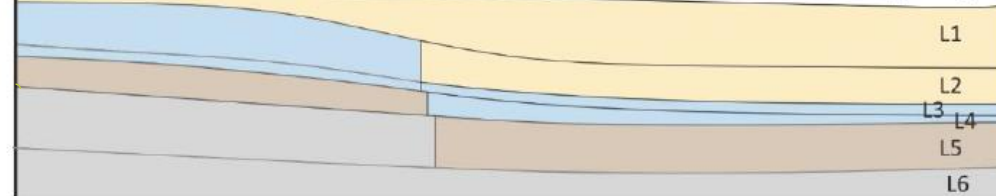
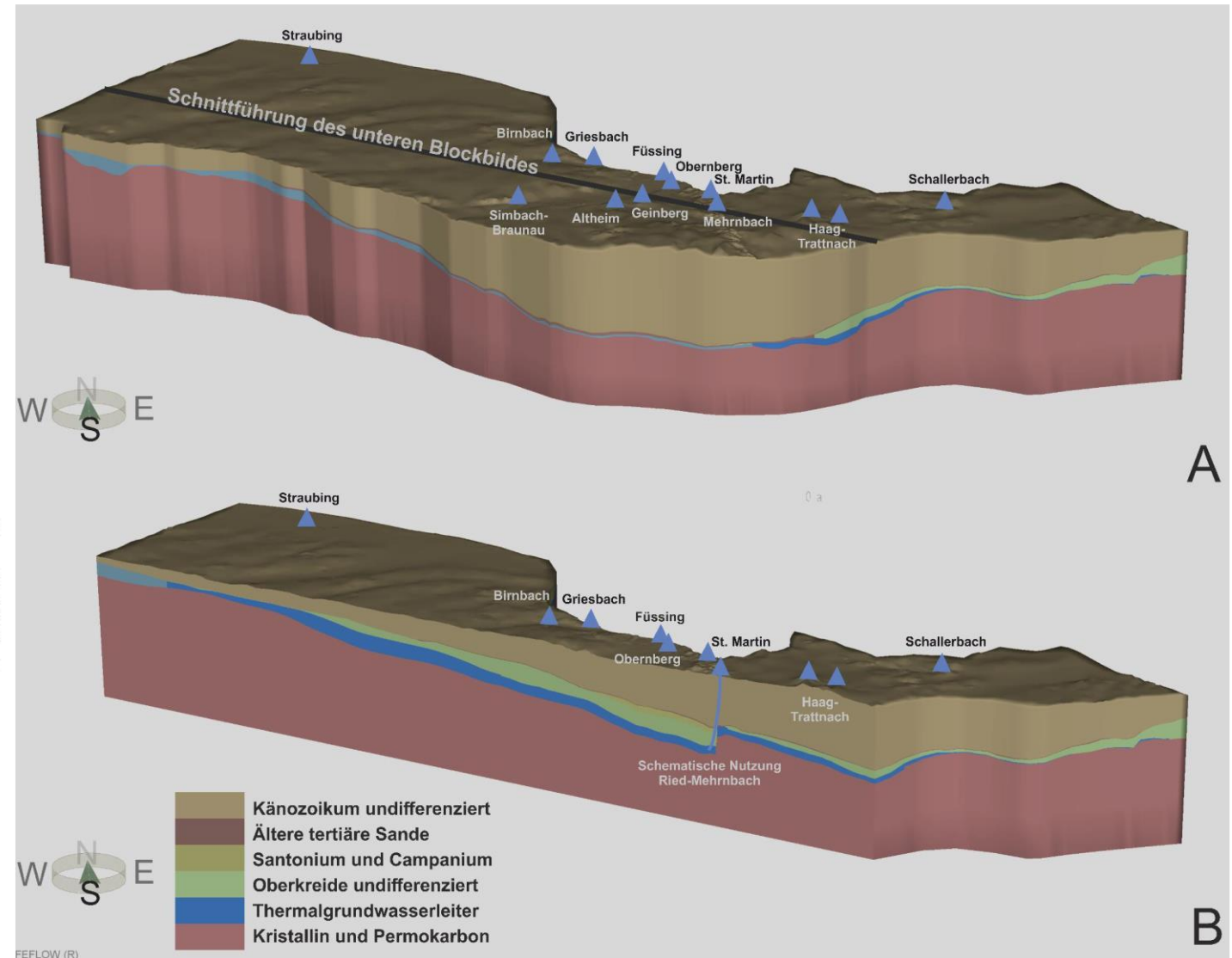
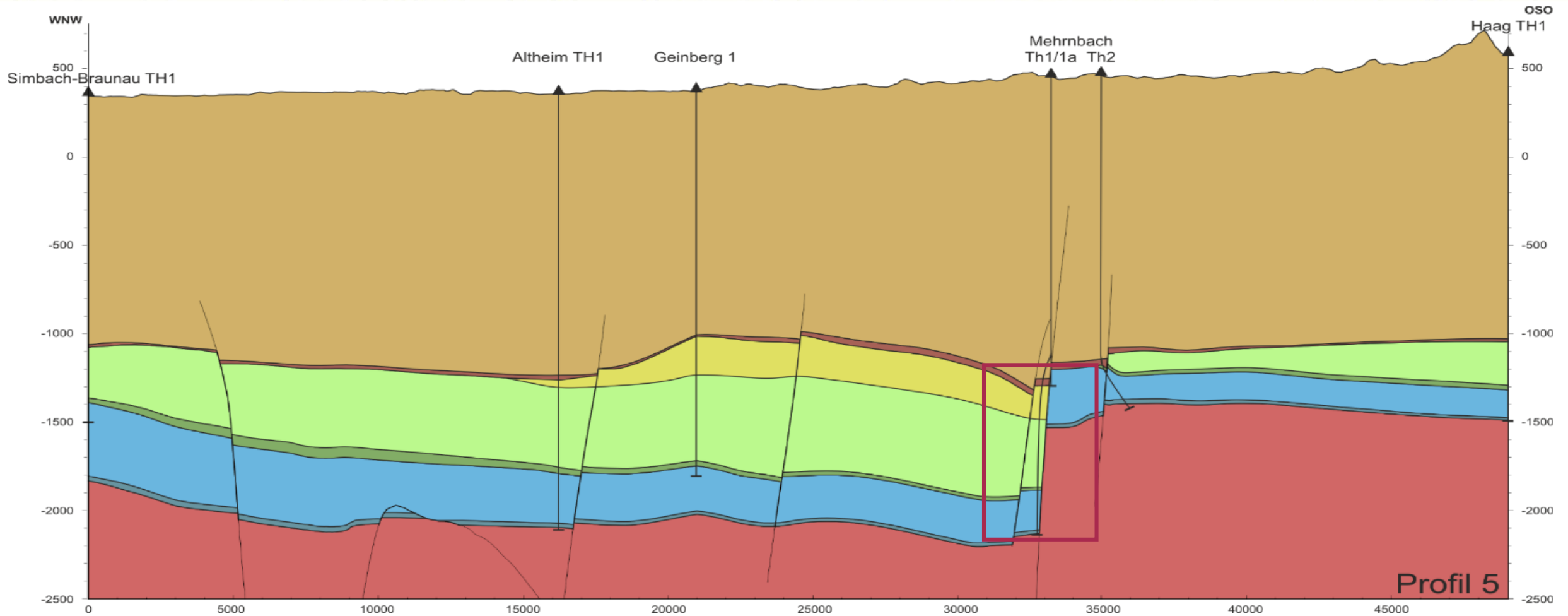


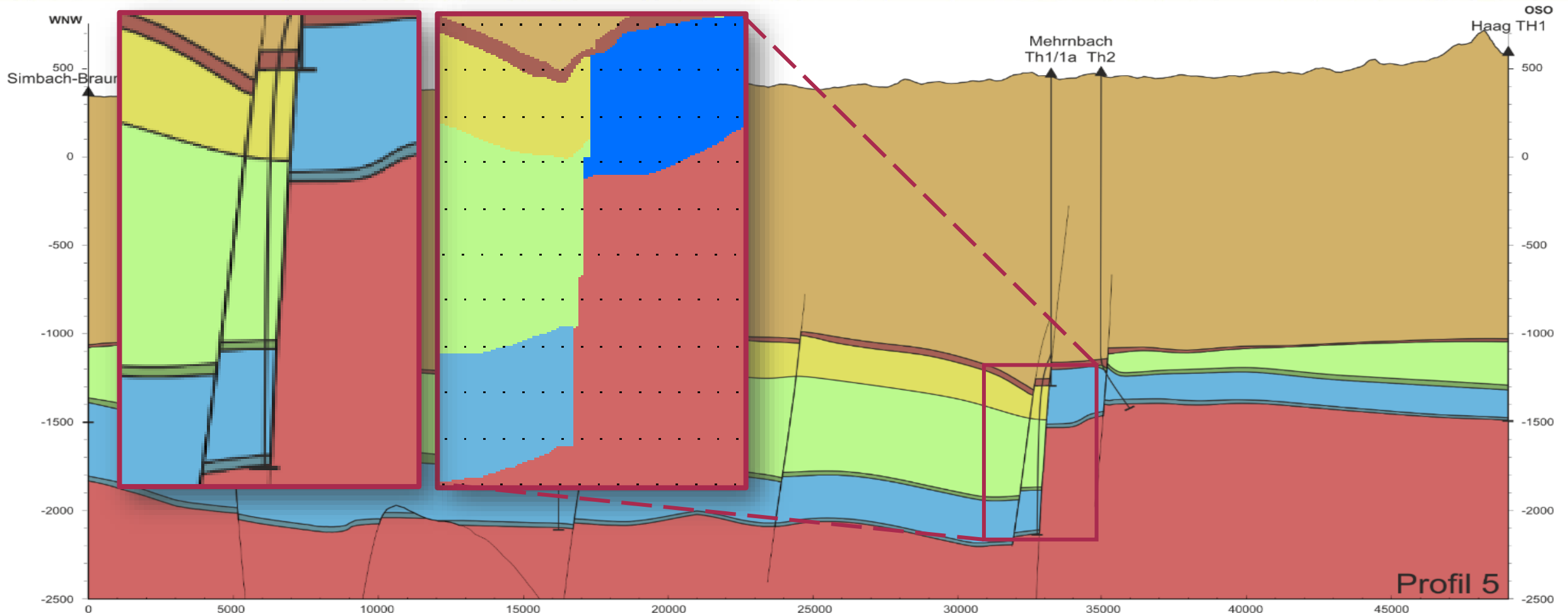
Abbildung 6: Prinzip der geometrischen Abbildung einer Störung im numerischen Thermalwassermodell.



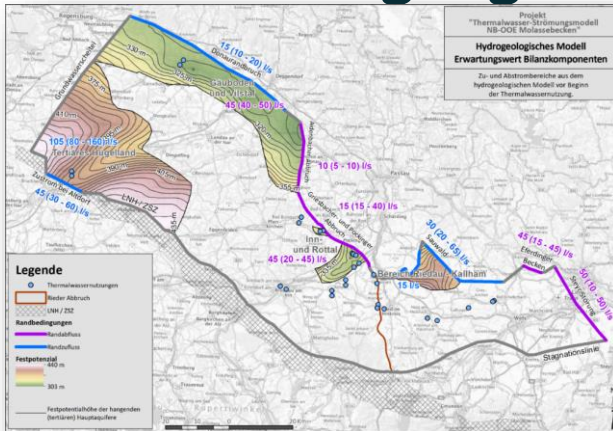
Geometrievergleich (Beispiel)



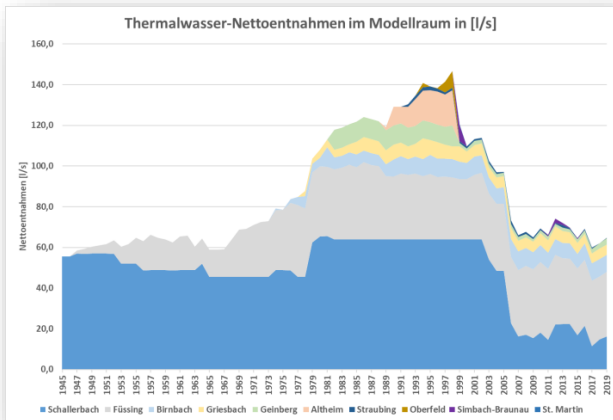
Geometrievergleich (Beispiel)



Randbedingungen

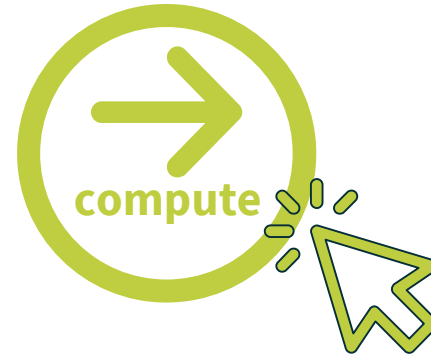


hydrogeologisches Modell



Produktionsgeschichte

Geometrie: ✓
Materialparameter: ✓
Randbedingungen: ✓



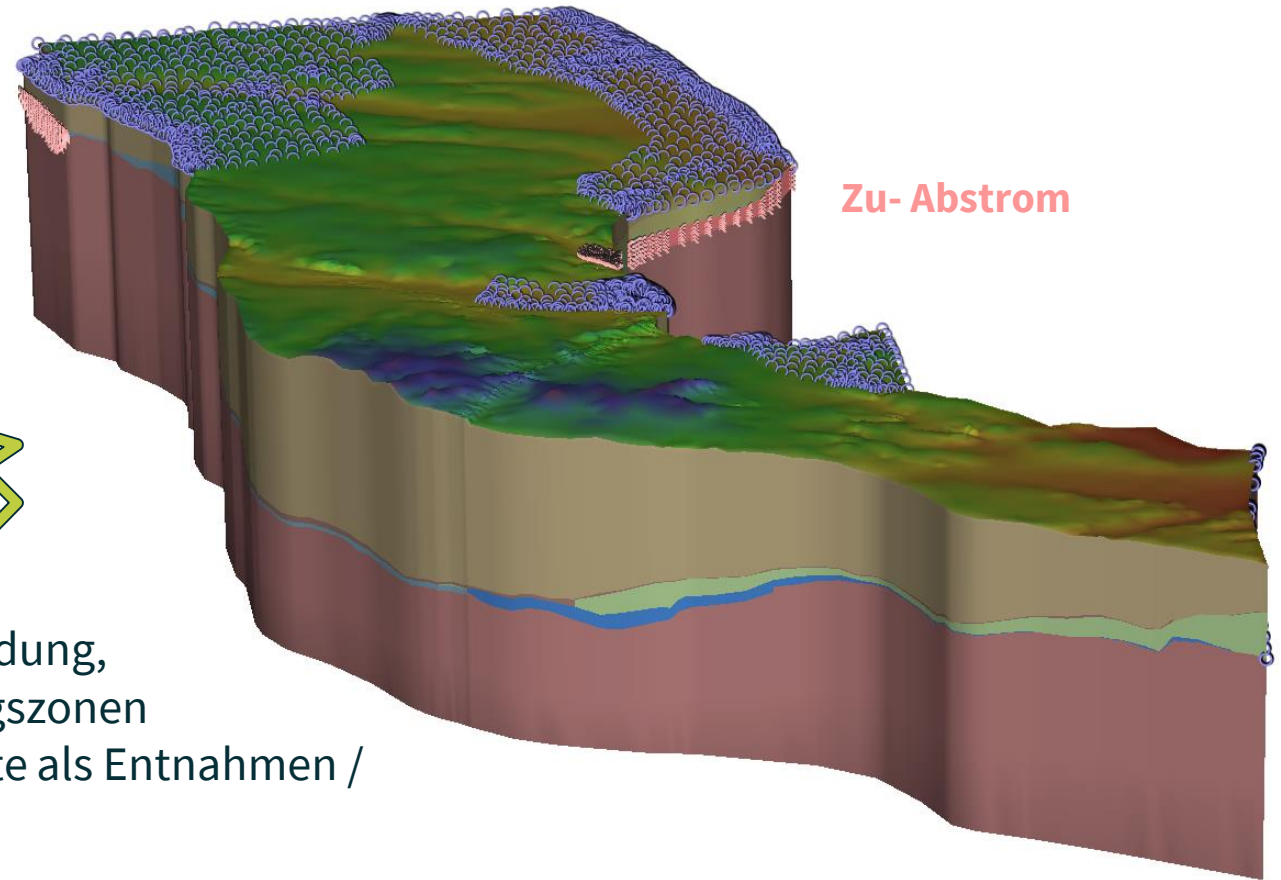
Randbedingungen:

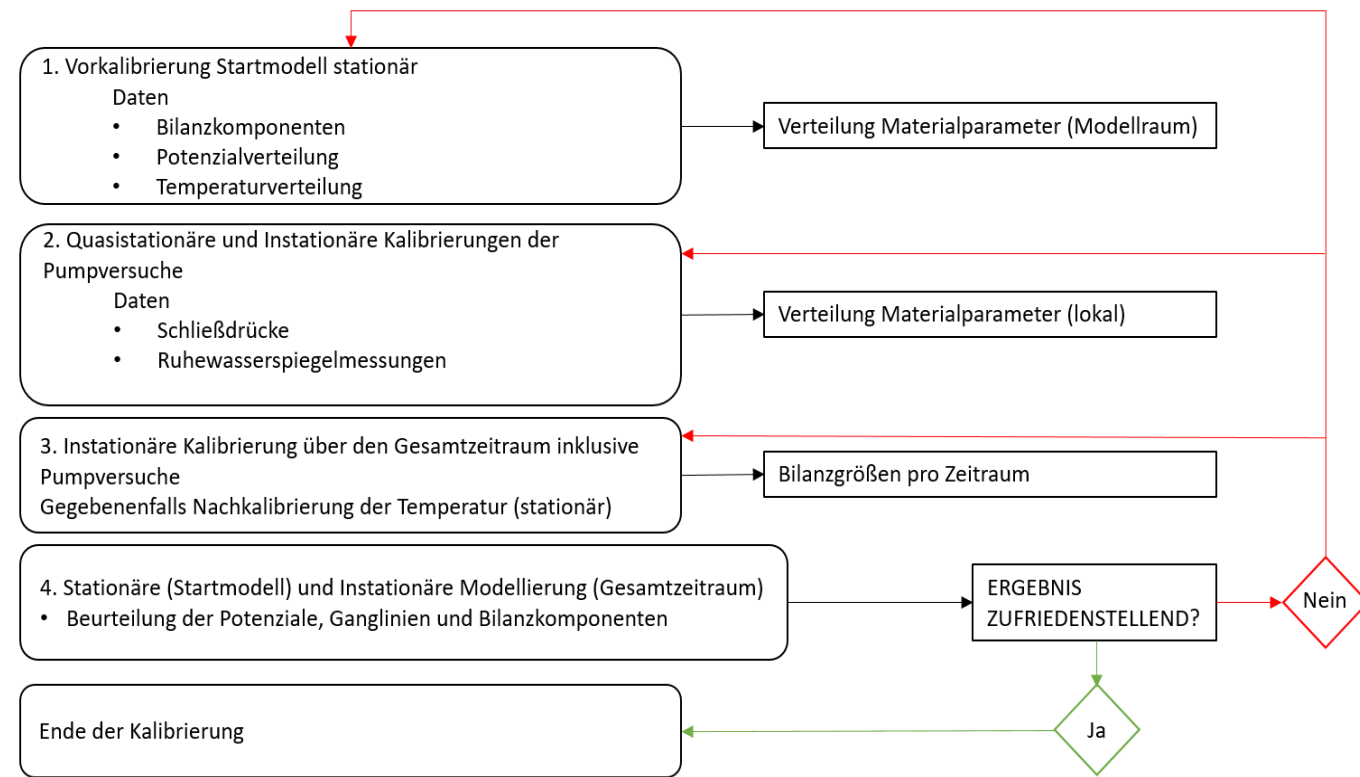
- definieren GW-Neubildung, Zu- und Aussickerungszonen
- Produktionsgeschichte als Entnahmen / Injektionen

- Thermische Randbedingungen: Definieren Temperatur

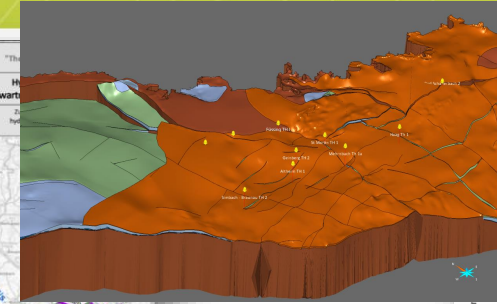
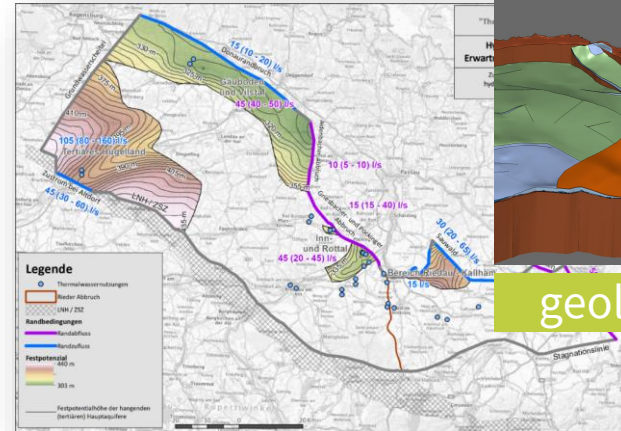
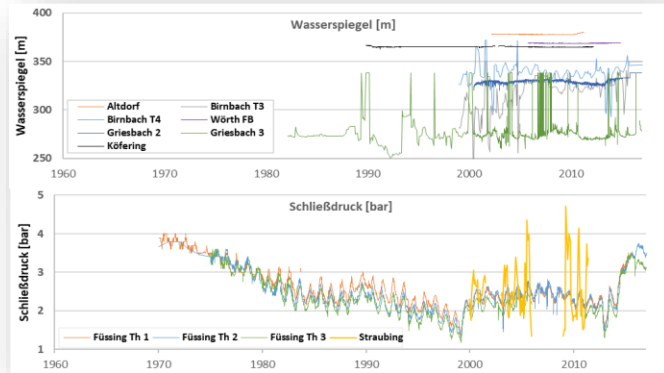
Festpotenzial

Zu- Abstrom



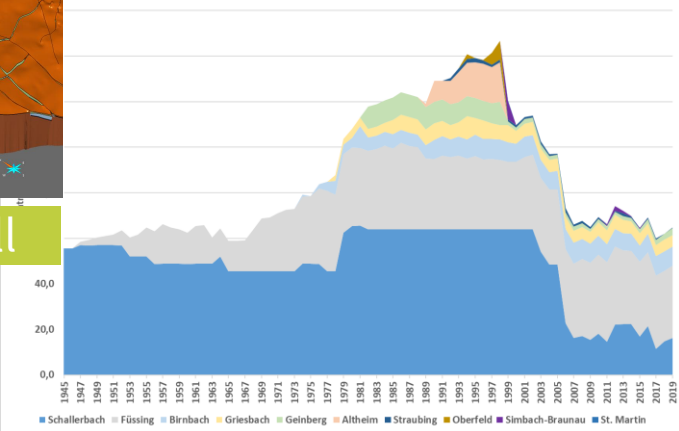


Modellkalibrierung - Kalibrierkonzept



geologisches Modell

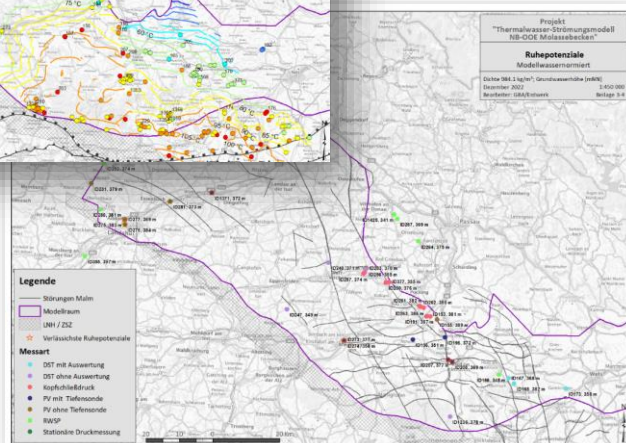
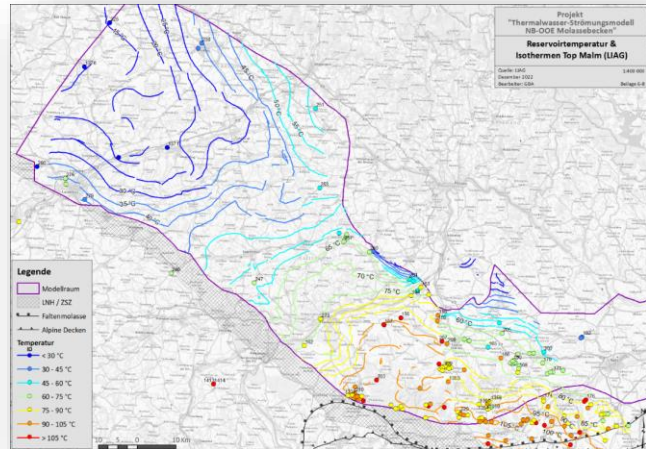
Thermalwasser-Nettoentnahmen im Modellraum in [l/s]



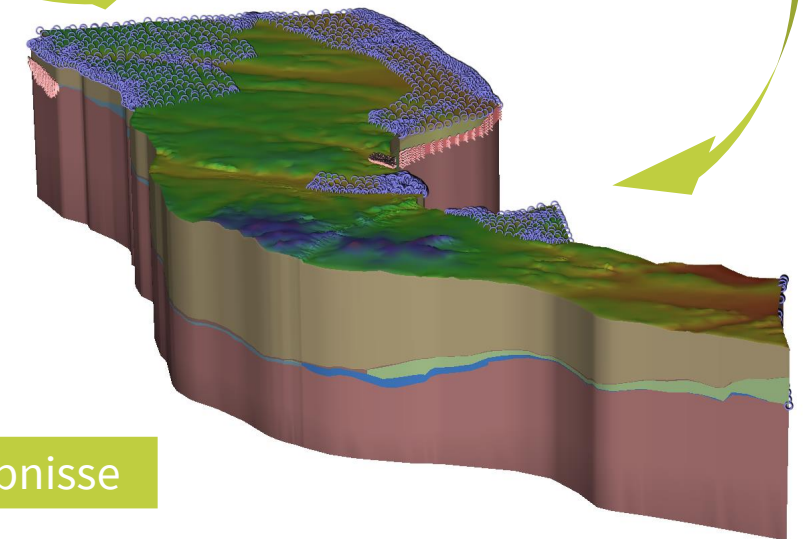
Produktionsgeschichte
und Randbedingungen

hydrogeologisches Modell

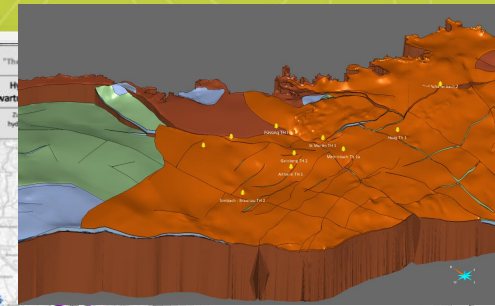
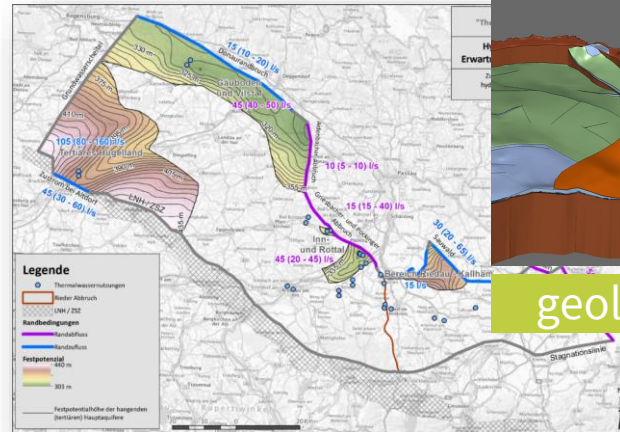
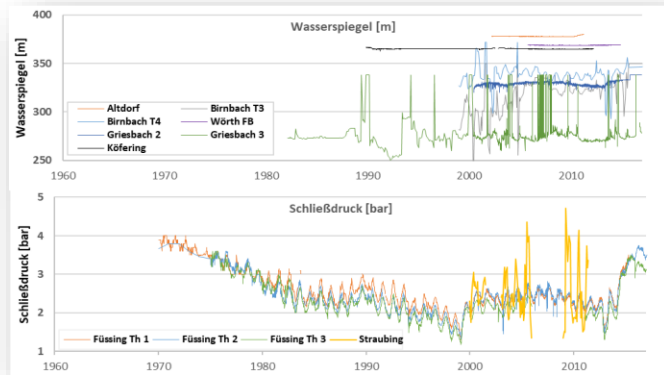
Messwerte



Modellergebnisse

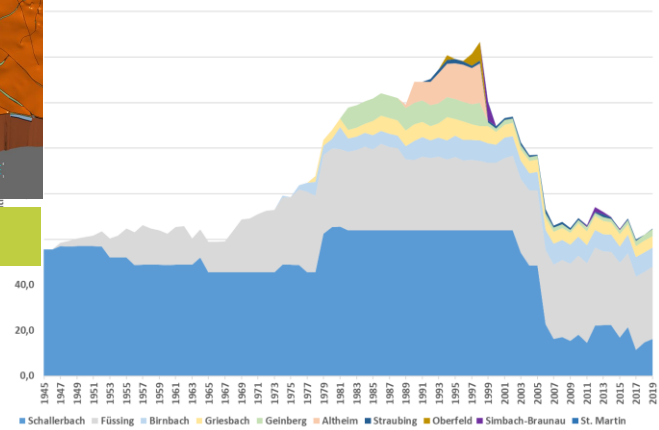


PEFLOW (R)

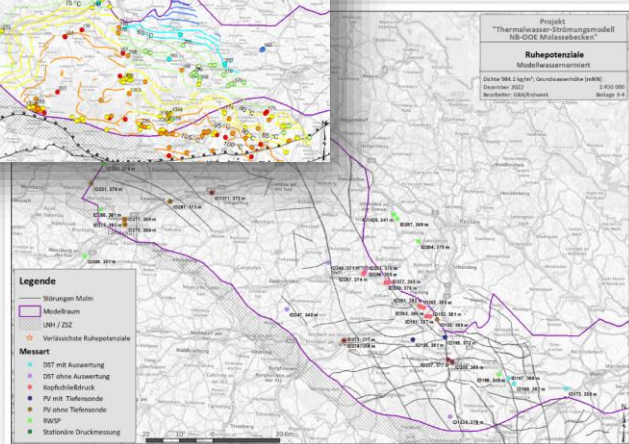
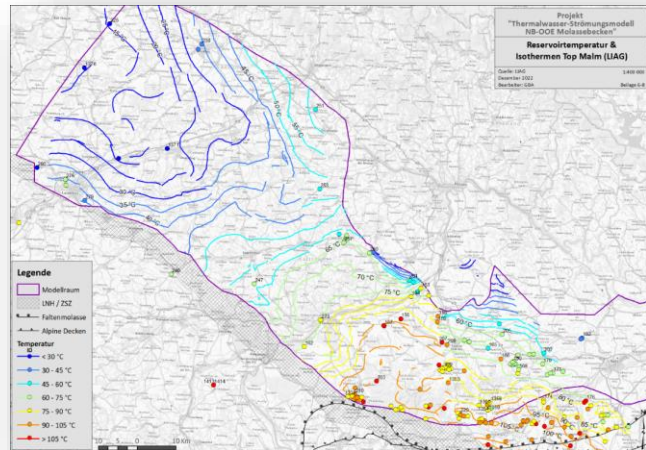


geologisches Modell

Thermalwasser-Nettoentnahmen im Modellraum in [l/s]



Produktionsgeschichte und Randbedingungen



Messwerte

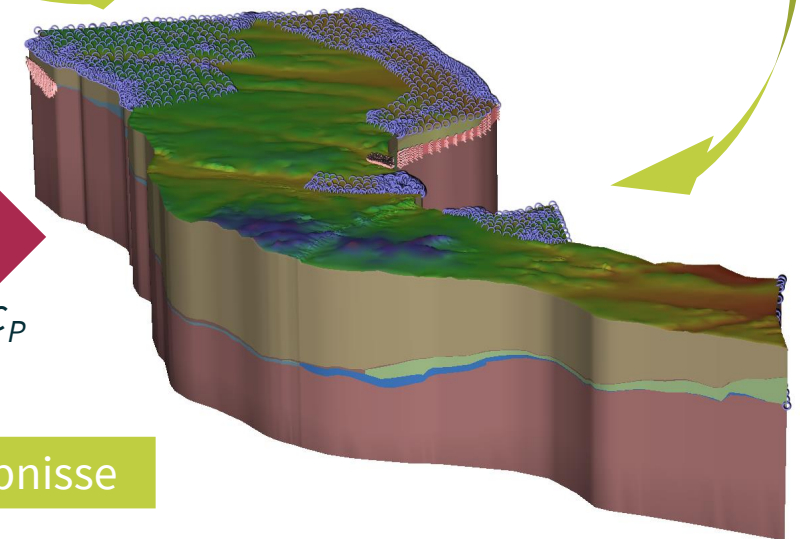
hydrogeologisches Modell



Parameter

$$kf, S, \emptyset, c_p$$

Modellergebnisse



Vorgaben

Messdaten

- Temperatur
 - Betriebsdaten
 - Pumpversuchen
 - BHT- und DST Messungen (KW-Industrie)
- Ruhewasserspiegel / Ruhepotenziale
- Langfristige Ganglinien
 - davon eine GW-Messstelle (Reichersberg 2)
 - Schließdruck- / Abstichmessungen
- Kurzfristige Reaktionsmessungen (aus PV)

Bilanzkomponenten aus HGM

Modellparameter

- Hydraulische Durchlässigkeit (k_F Wert)
- Wärmeleitfähigkeit
- (Randbedingungen)

Vorgaben

Messdaten

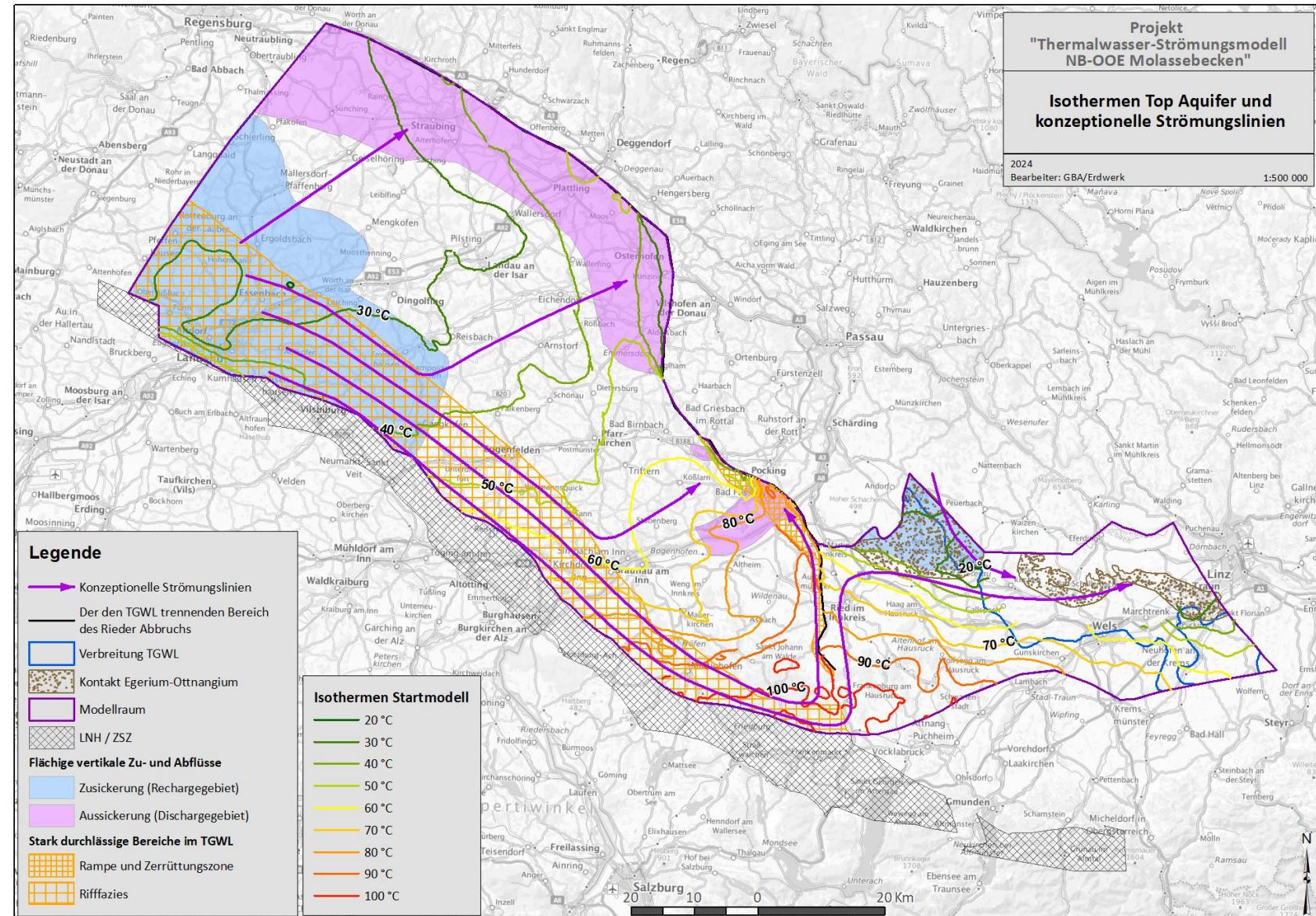
- **Temperatur**
 - **Betriebsdaten**
 - **Pumpversuchen**
 - **BHT- und DST Messungen (KW-Industrie)**
- Ruhewasserspiegel / Ruhepotenziale
- Langfristige Ganglinien
 - davon eine GW-Messstelle (Reichersberg 2)
 - Schließdruck- / Abstichmessungen
- Kurzfristige Reaktionsmessungen (aus PV)

Bilanzkomponenten aus HGM

Modellparameter

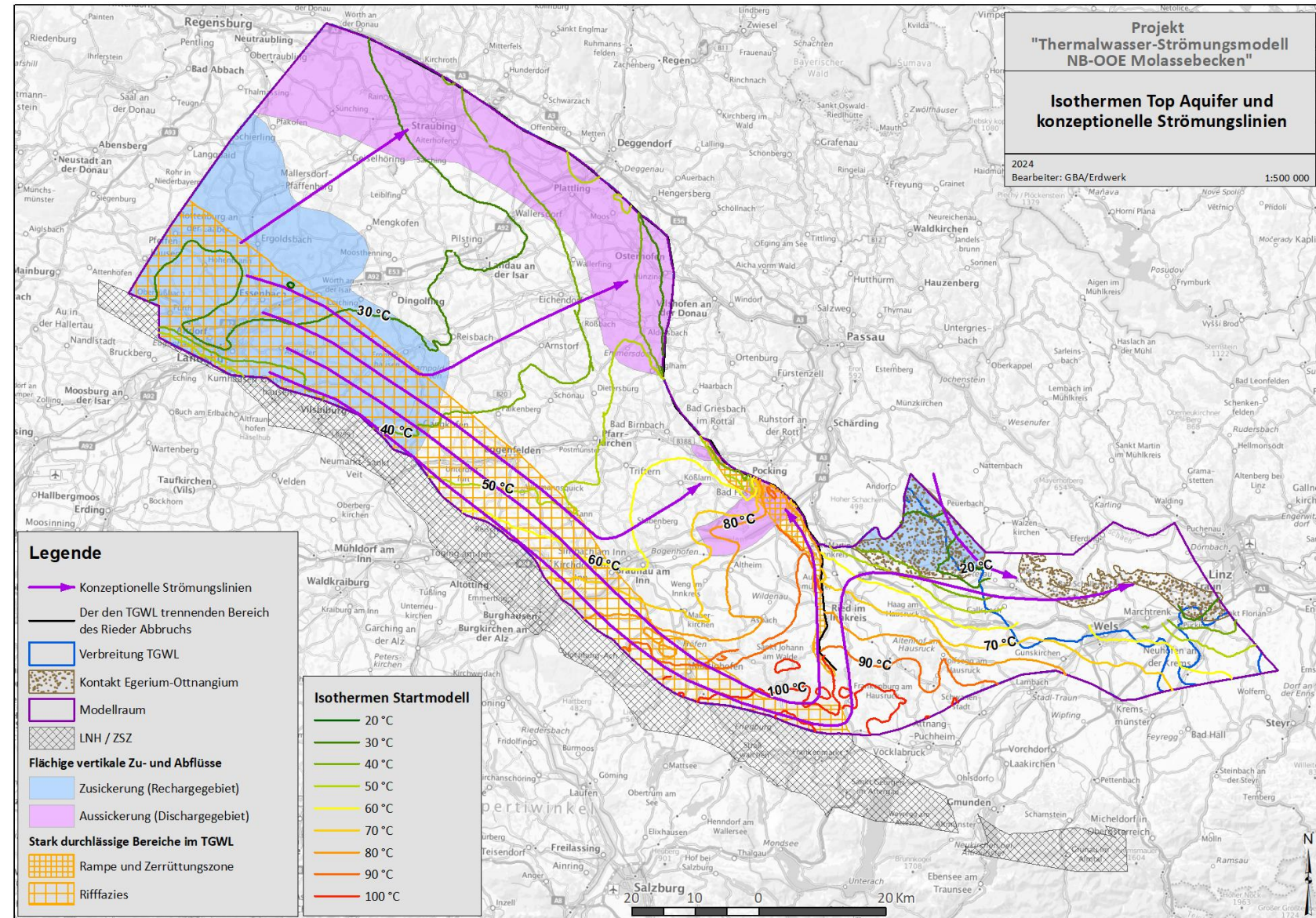
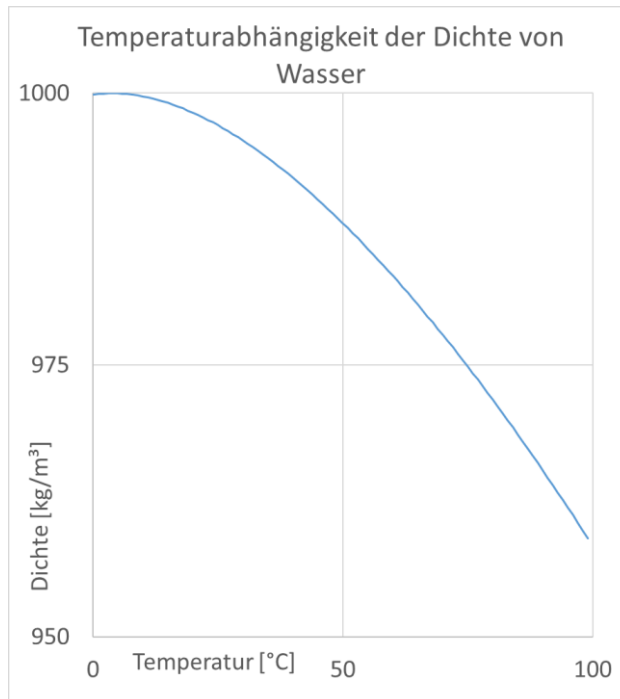
- Hydraulische Durchlässigkeit (k_F Wert)
- Wärmeleitfähigkeit
- (Randbedingungen)

Warum Temperaturkalibrierung?



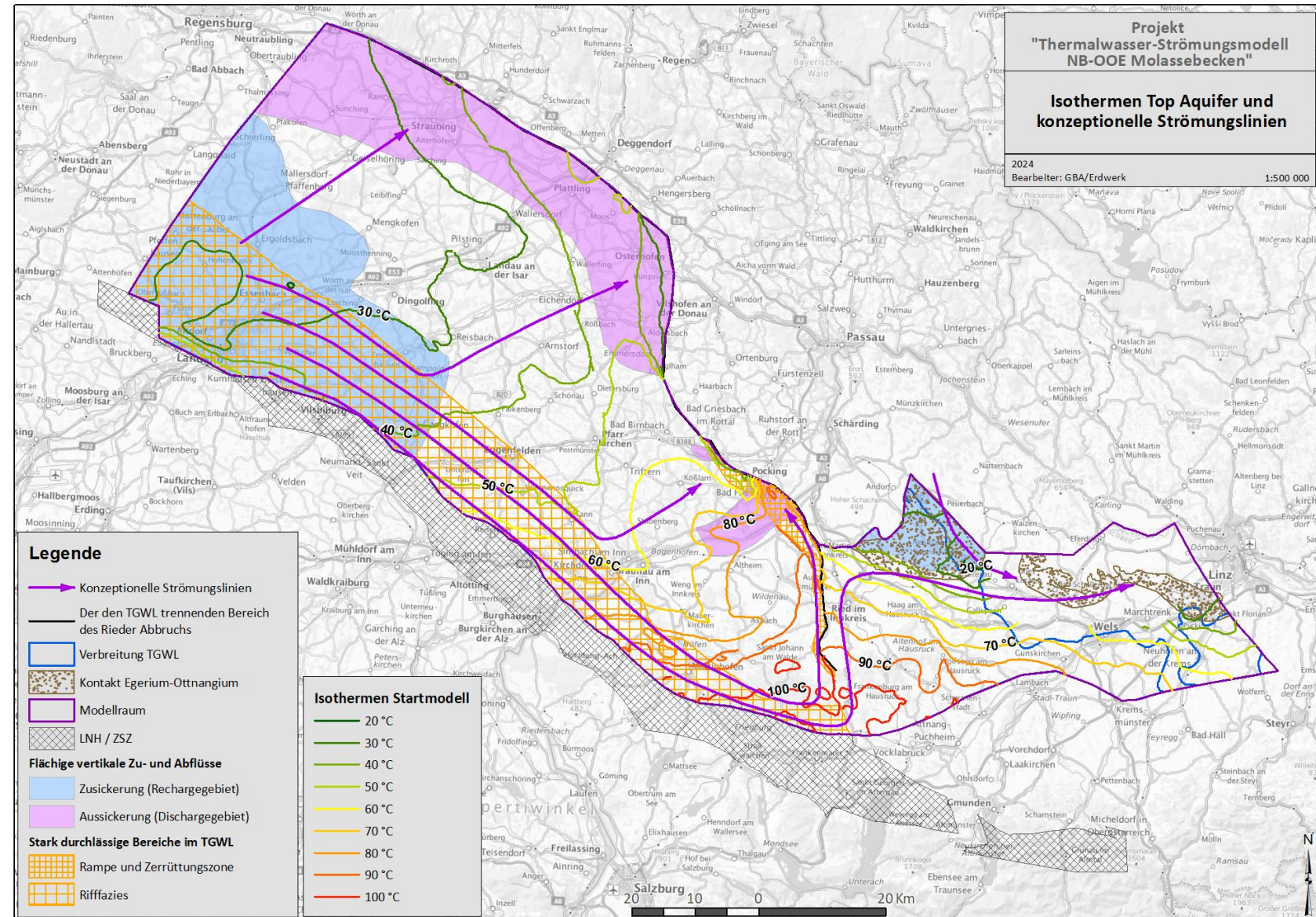
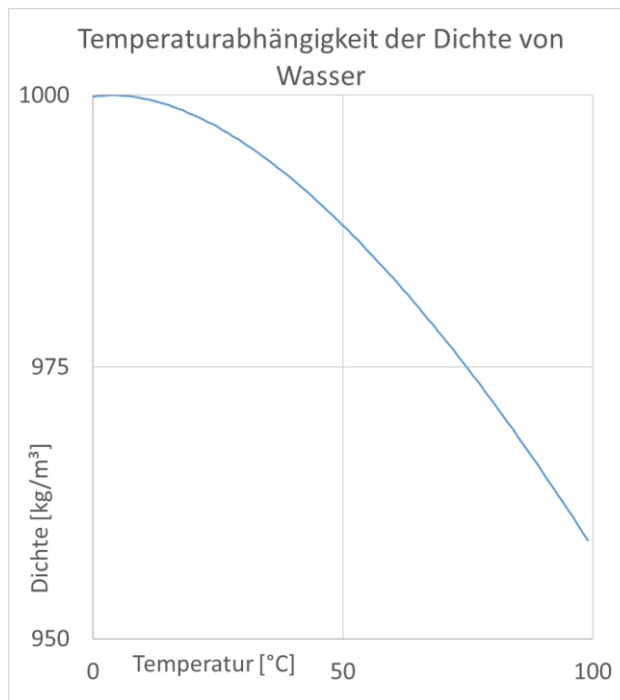
Warum Temperaturkalibrierung?

- Temperaturabhängigkeit der Dichte



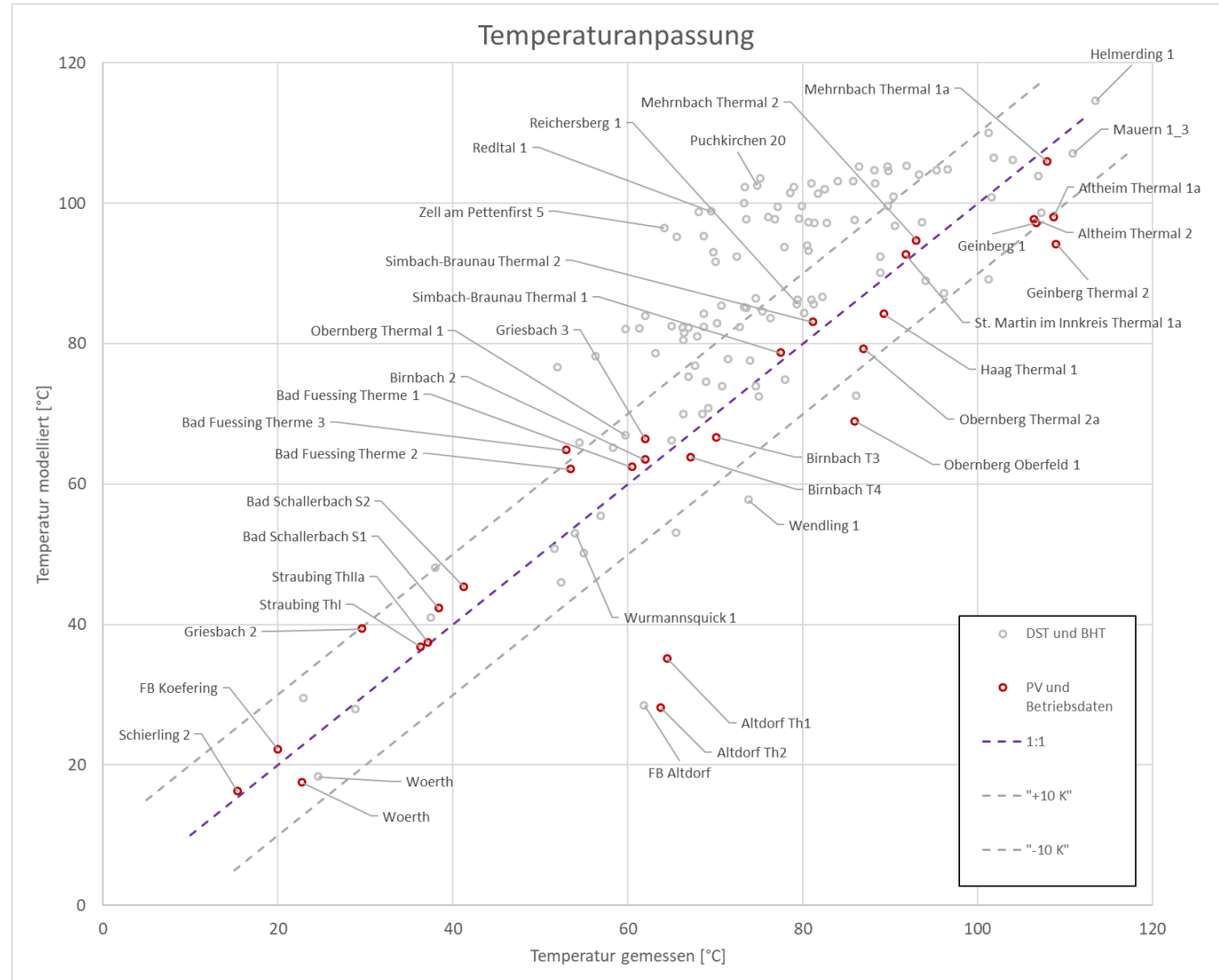
Warum Temperaturkalibrierung?

- Temperaturabhängigkeit der Dichte
- Auftriebseffekte
- Strömungsgeschehen und Bilanzkomponenten **auch Temperaturabhängig**



Warum Temperaturkalibrierung?

- Temperaturabhängigkeit der Dichte
- Auftriebseffekte
- Strömungsgeschehen und Bilanzkomponenten **auch Temperaturabhängig**



Vorgaben

Messdaten

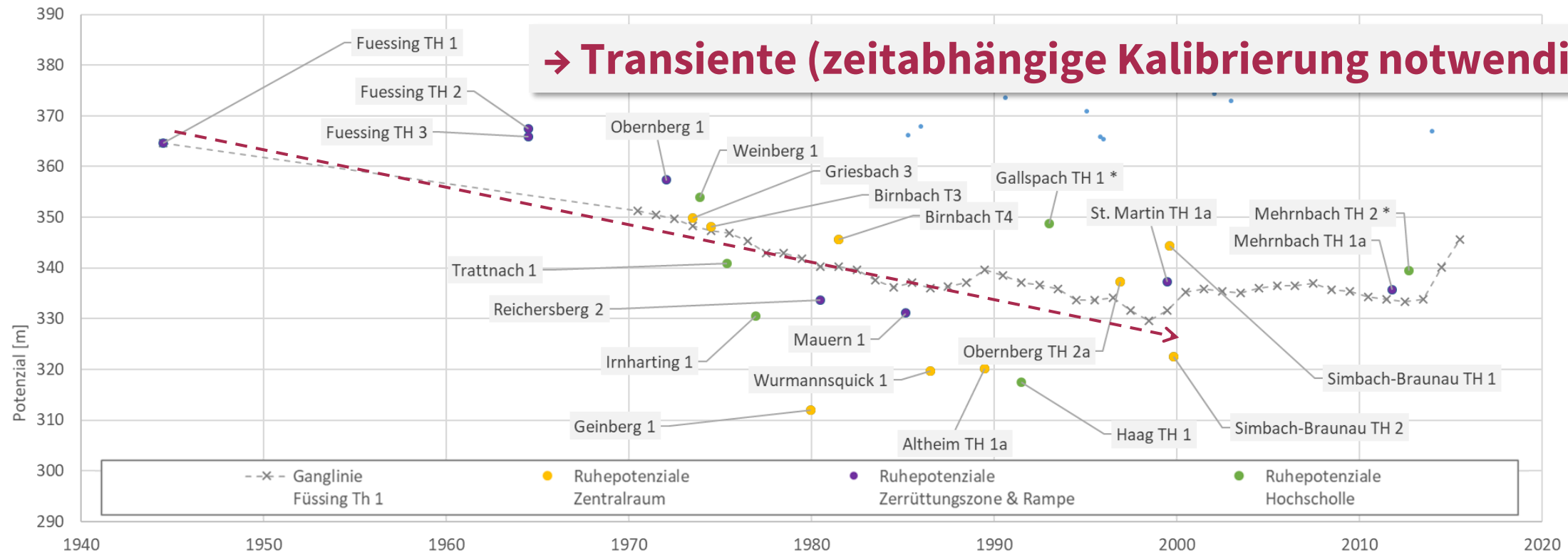
- Temperatur
 - Betriebsdaten
 - Pumpversuchen
 - BHT- und DST Messungen (KW-Industrie)
- ***Ruhewasserspiegel / Ruhepotenziale***
- Langfristige Ganglinien
 - davon eine GW-Messstelle (Reichersberg 2)
 - Schließdruck- / Abstichmessungen
- Kurzfristige Reaktionsmessungen (aus PV)

Bilanzkomponenten aus HGM

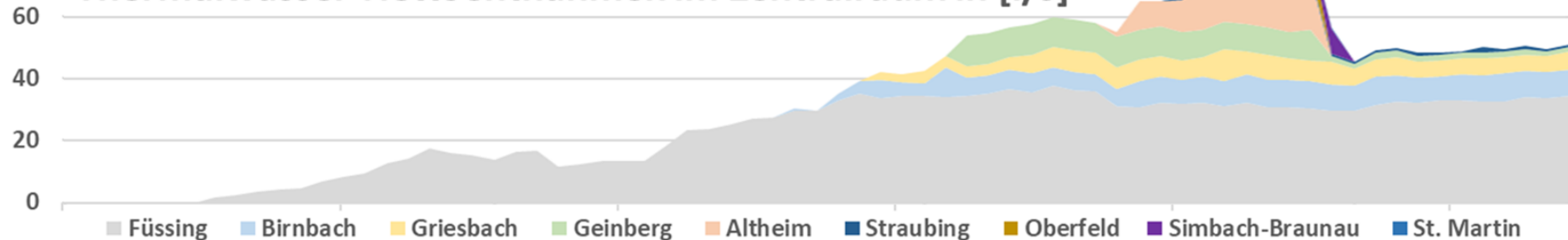
Modellparameter

- Hydraulische Durchlässigkeit (k_F Wert)
- Wärmeleitfähigkeit
- (Randbedingungen)

Kaltwassernormierte Ruhepotenziale im zeitlichen Verlauf



Thermalwasser-Nettoentnahmen im Zentralraum in [l/s]



Vorgaben

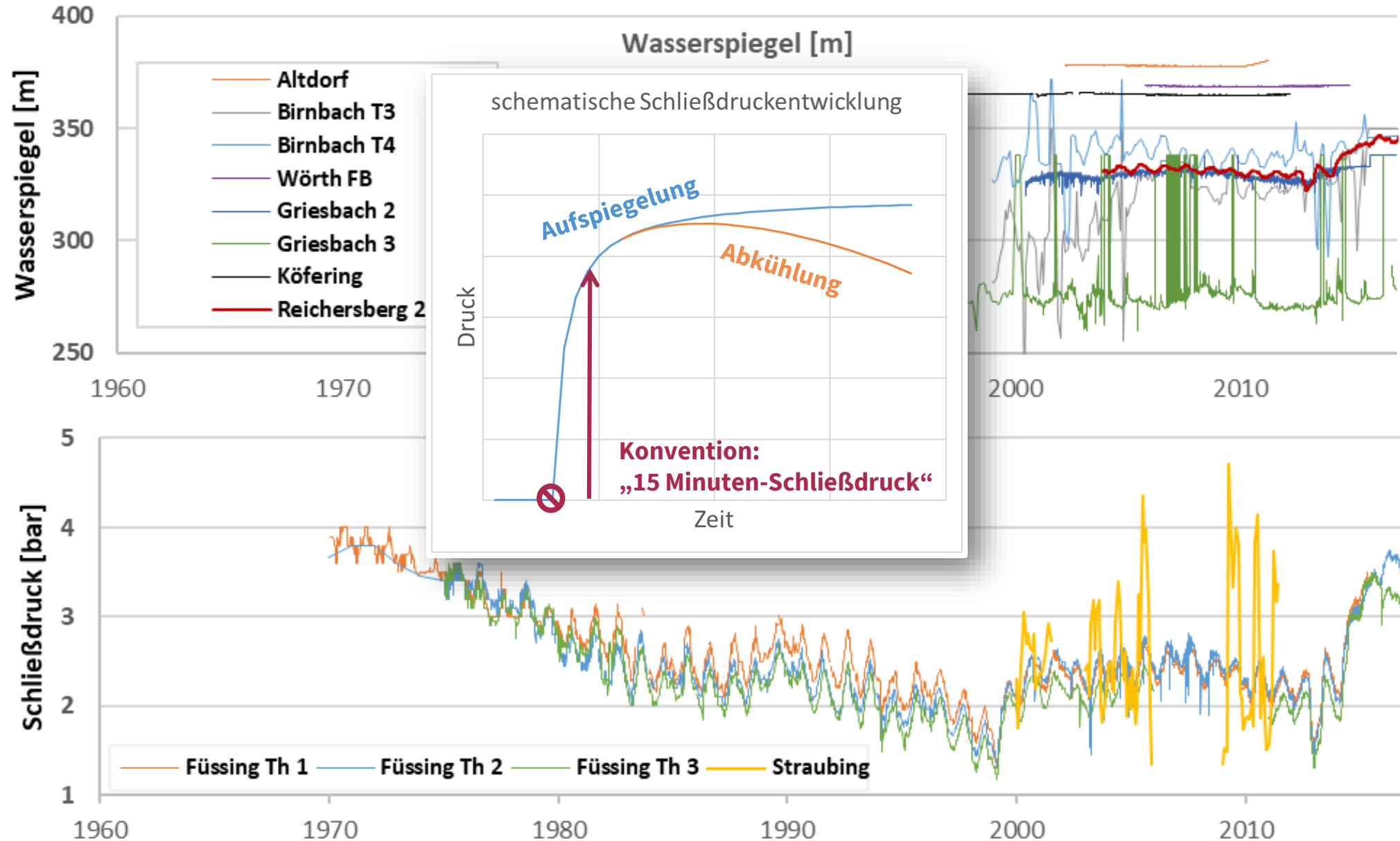
Messdaten

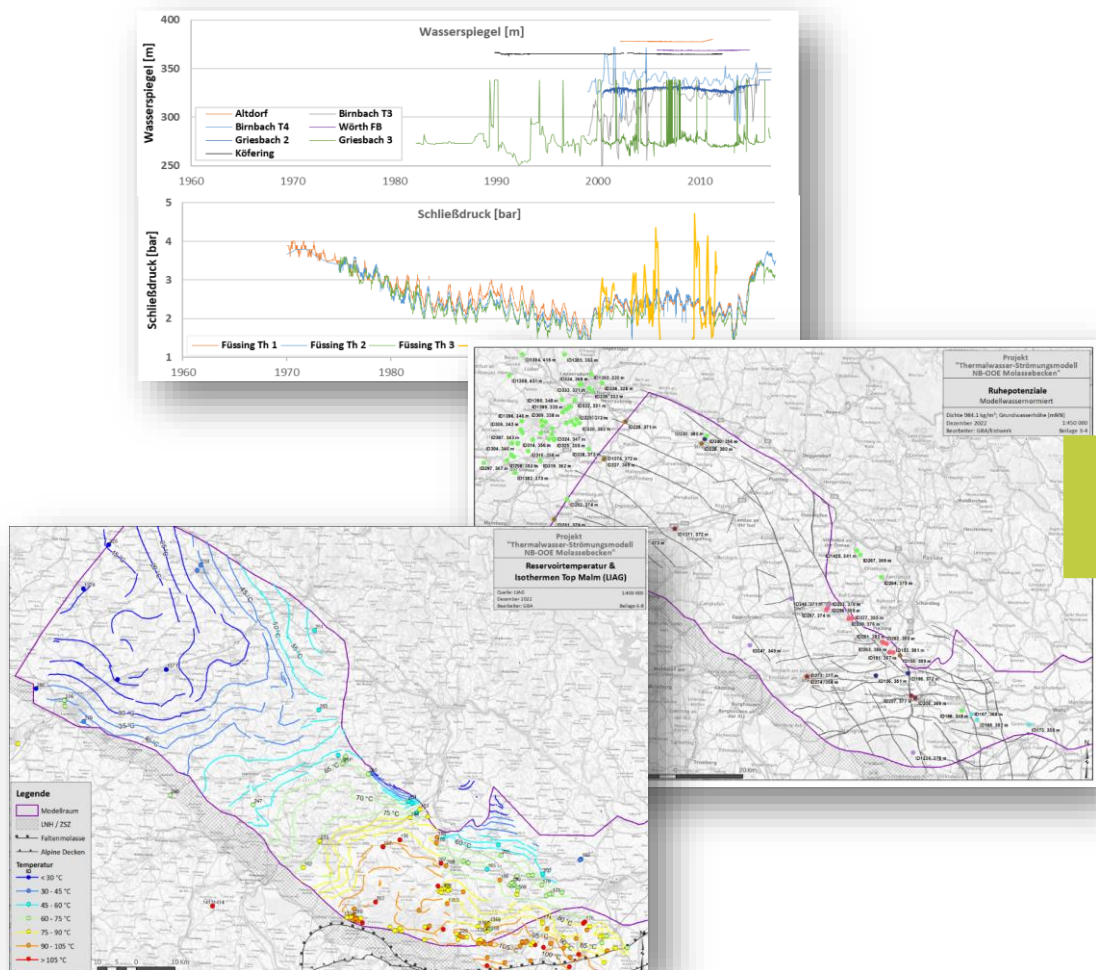
- Temperatur
 - Betriebsdaten
 - Pumpversuchen
 - BHT- und DST Messungen (KW-Industrie)
- Ruhewasserspiegel / Ruhepotenziale
- **Langfristige Ganglinien**
 - **davon eine GW-Messstelle (Reichersberg 2)**
 - **Schließdruck- / Abstichmessungen**
- Kurzfristige Reaktionsmessungen (aus PV)

Bilanzkomponenten aus HGM

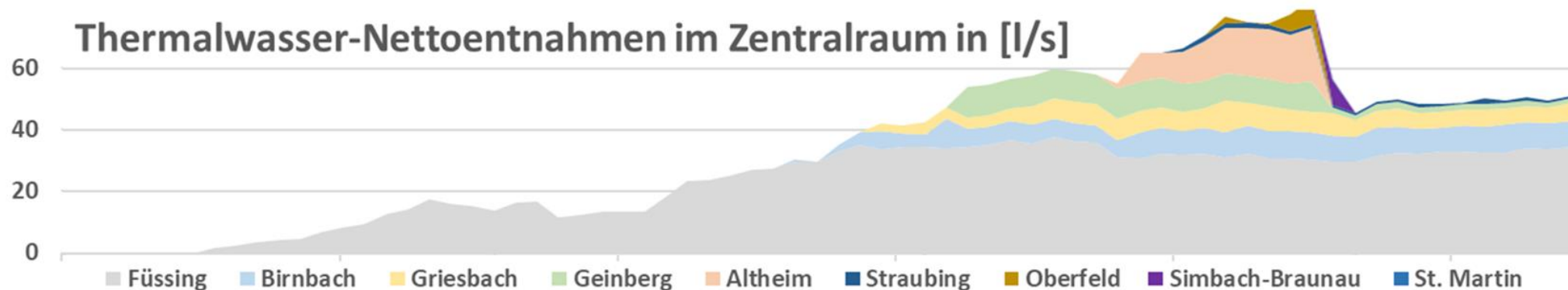
Modellparameter

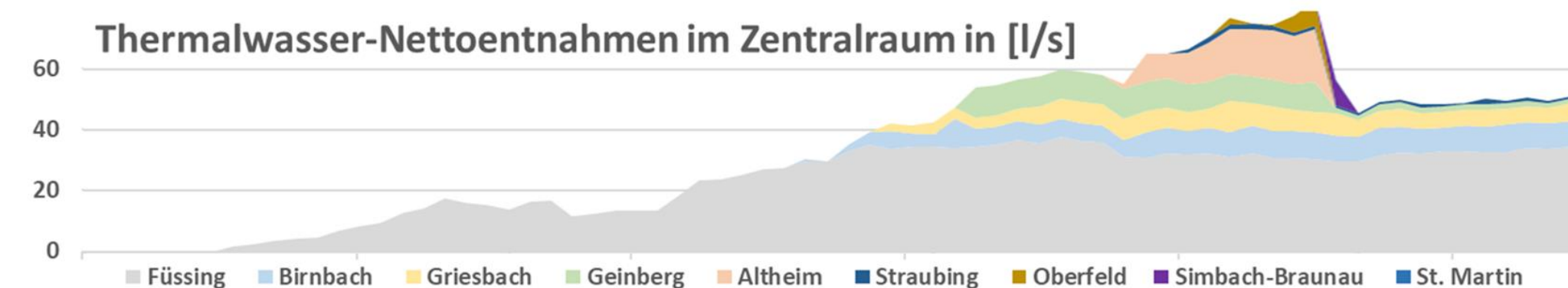
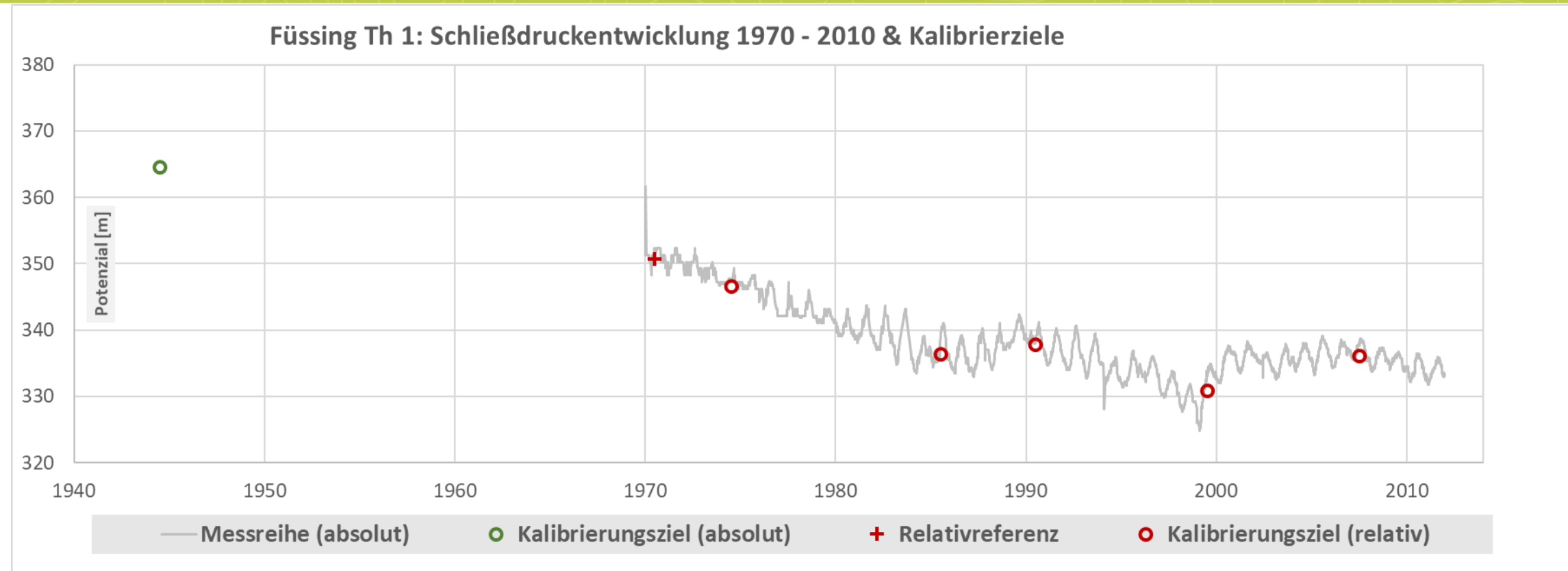
- Hydraulische Durchlässigkeit (k_F Wert)
- Wärmeleitfähigkeit
- (Randbedingungen)





Zeit	Wert
t1	x1
t2	x2
t3	x3
...	...





Vorgaben

Messdaten

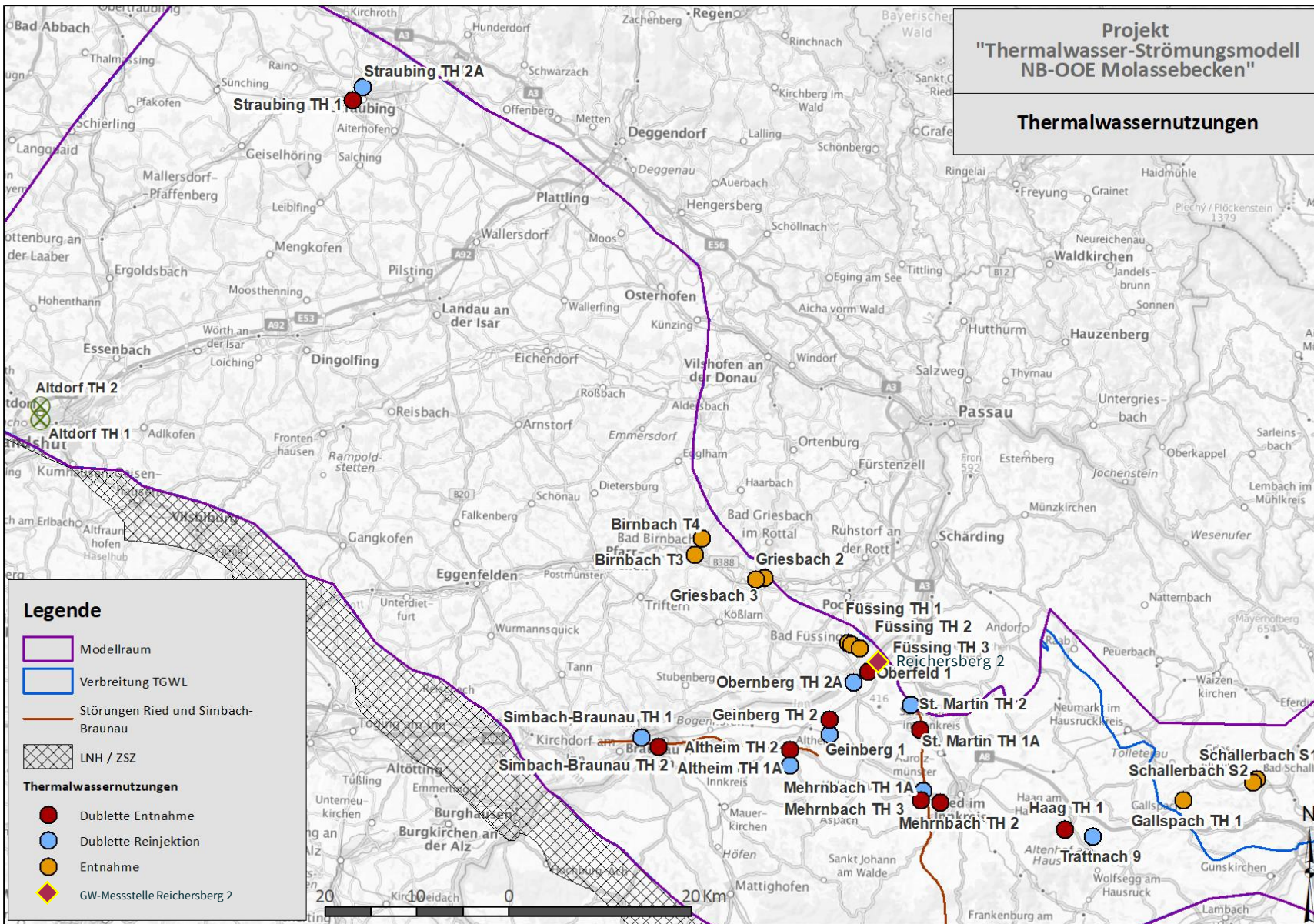
- Temperatur
 - Betriebsdaten
 - Pumpversuchen
 - BHT- und DST Messungen (KW-Industrie)
- Ruhewasserspiegel / Ruhepotenziale
- Langfristige Ganglinien
 - davon eine GW-Messstelle (Reichersberg 2)
 - Schließdruck- / Abstichmessungen
- ***Kurzfristige Reaktionsmessungen (aus PV)***

Bilanzkomponenten aus HGM

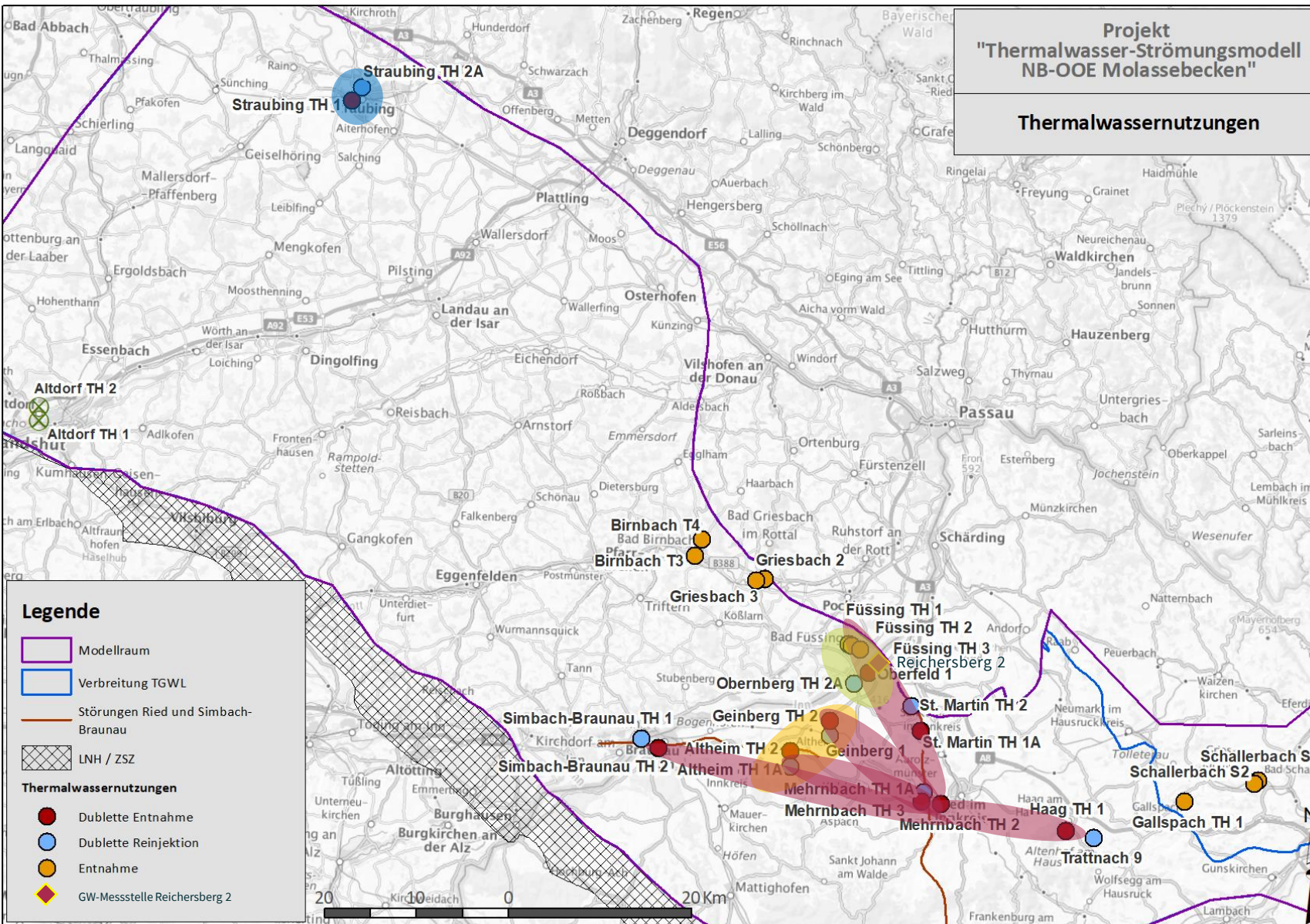
Modellparameter

- Hydraulische Durchlässigkeit (k_F Wert)
- Wärmeleitfähigkeit
- (Randbedingungen)

Eingangsdaten zur Kalibrierung: Pumpversuche



Eingangsdaten zur Kalibrierung: Pumpversuche



PV Altheim
1990

PV Oberfeld
1994

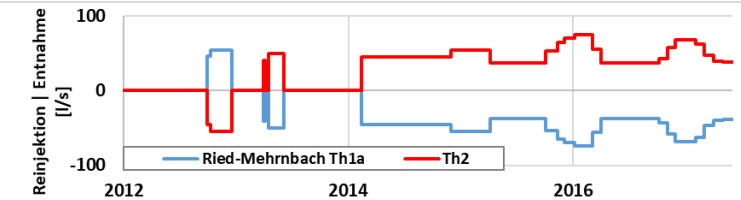
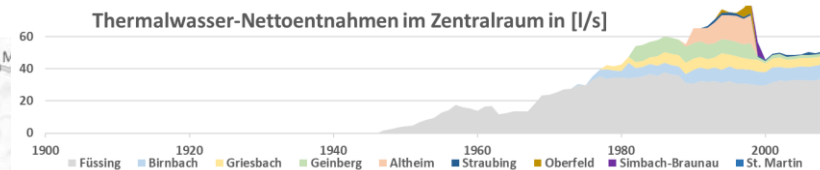
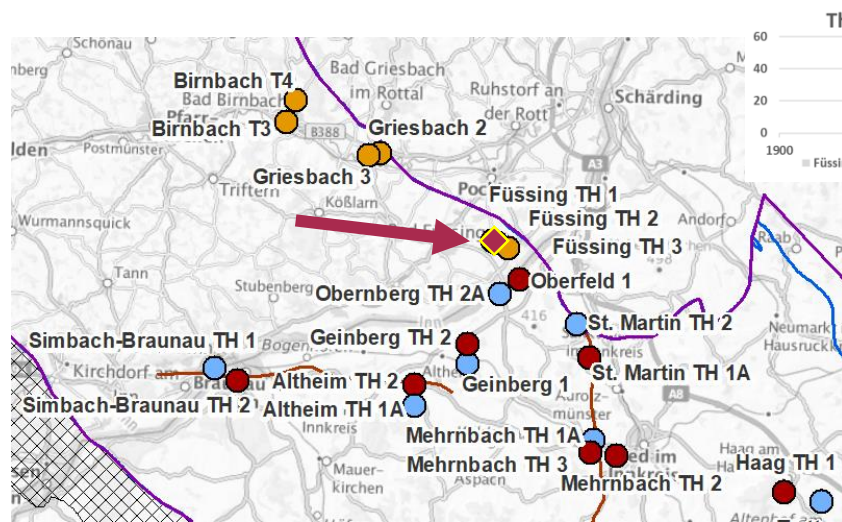
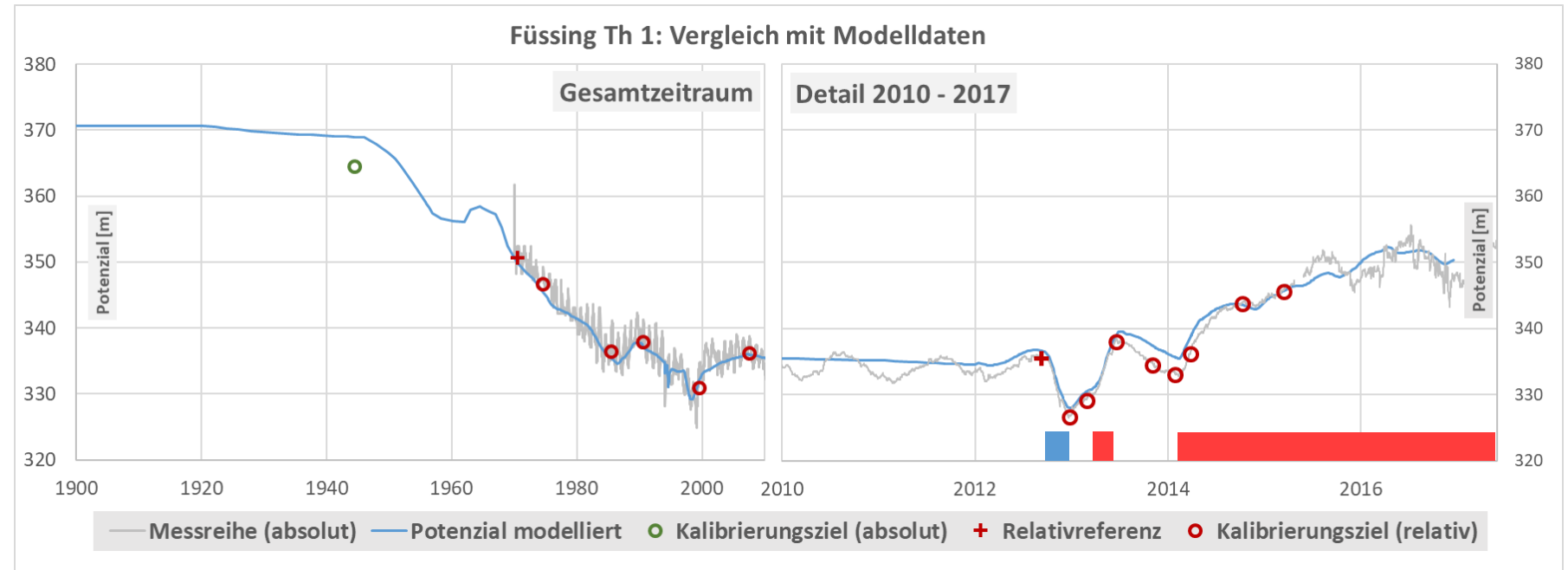
IV Staubing
1996/97

LZPIV Ried-
Mehrnbach
2012 - 17

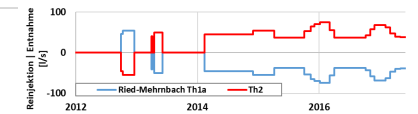
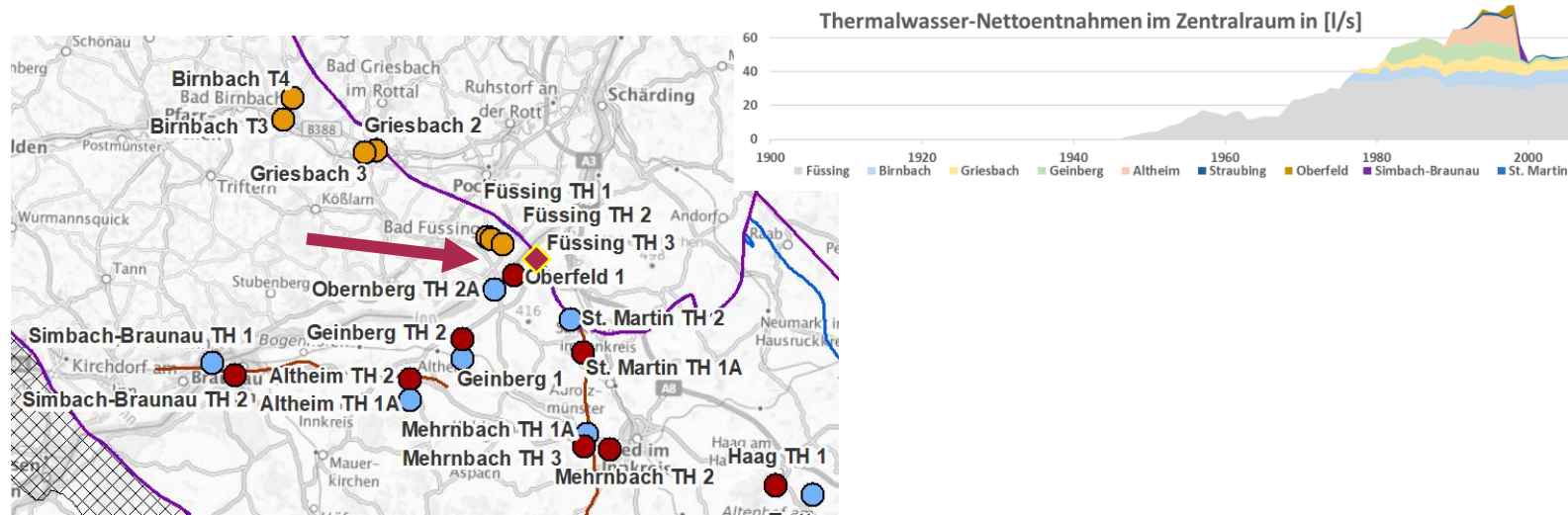
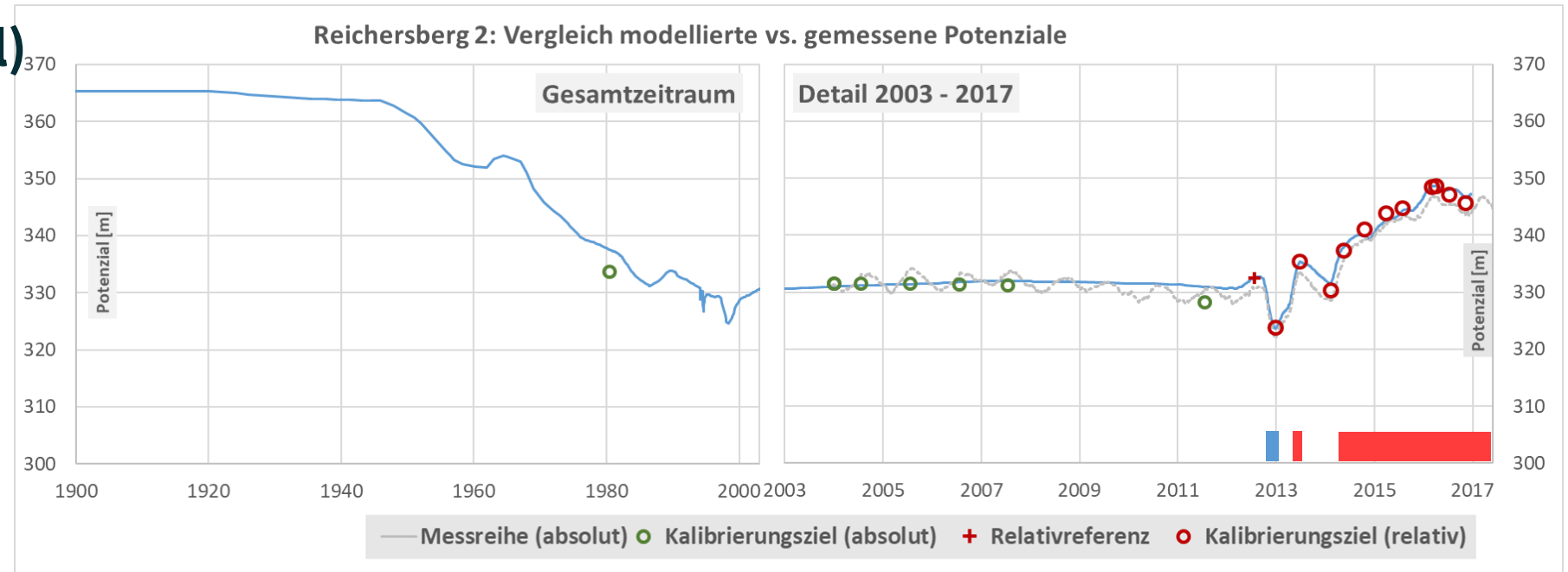
... auf den nächsten Seiten

... mit langfristigen
Ganglinien und Ergebnissen
der Modellkalibrierung

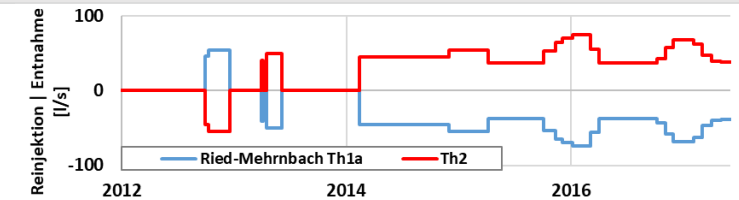
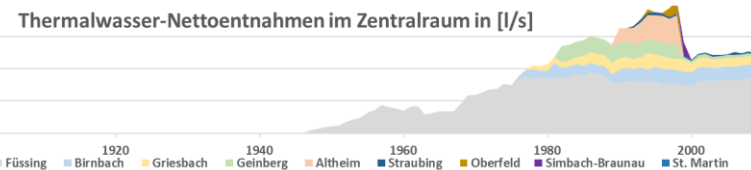
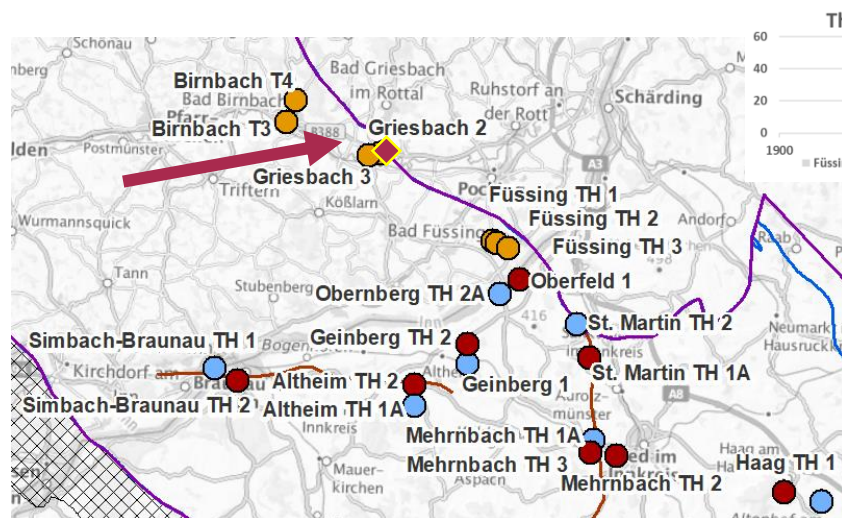
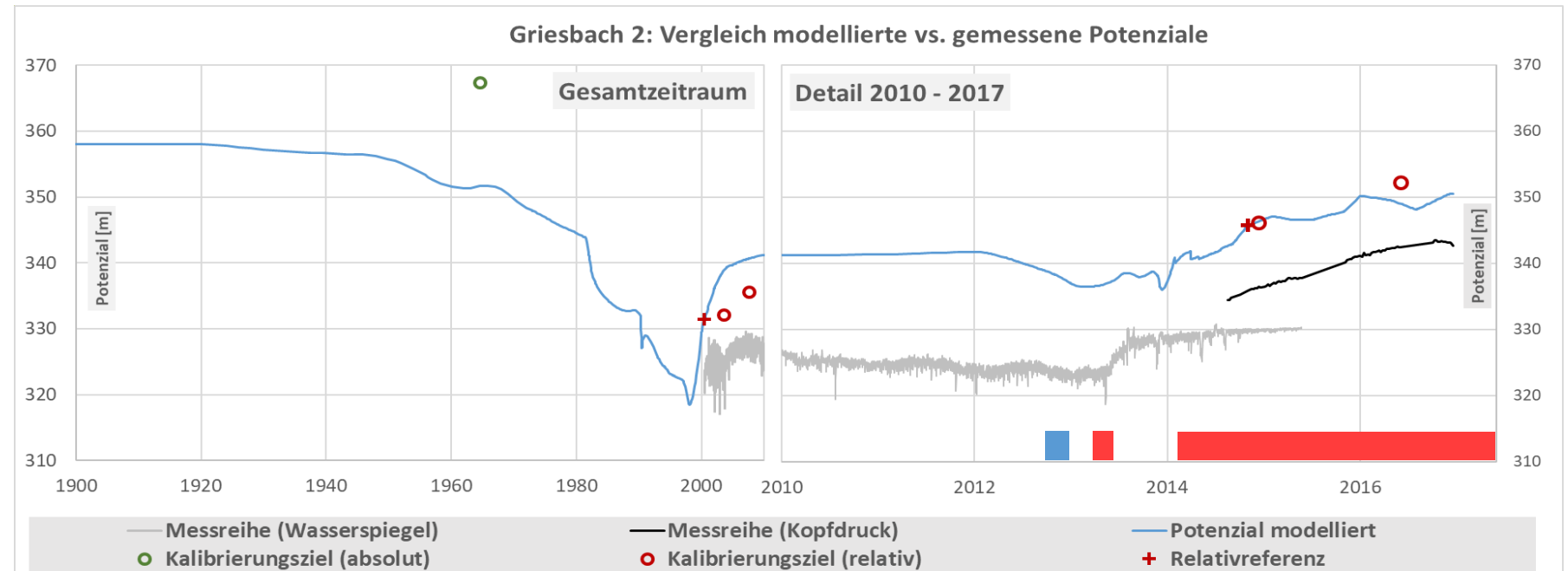
Füssing Th 1



Reichersberg 2 (Pegel)



Grießbach 2



GeoSphere
Austria



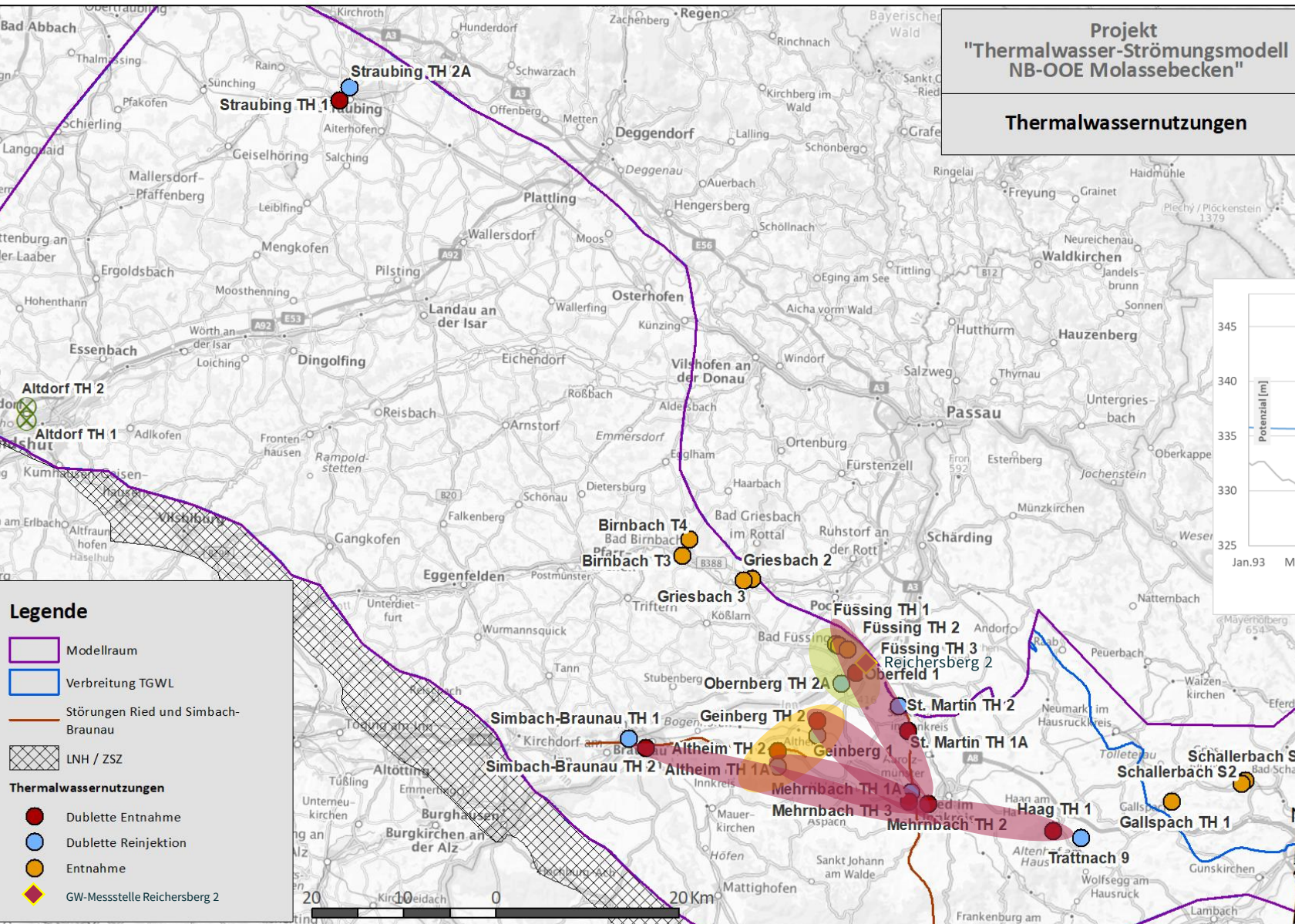
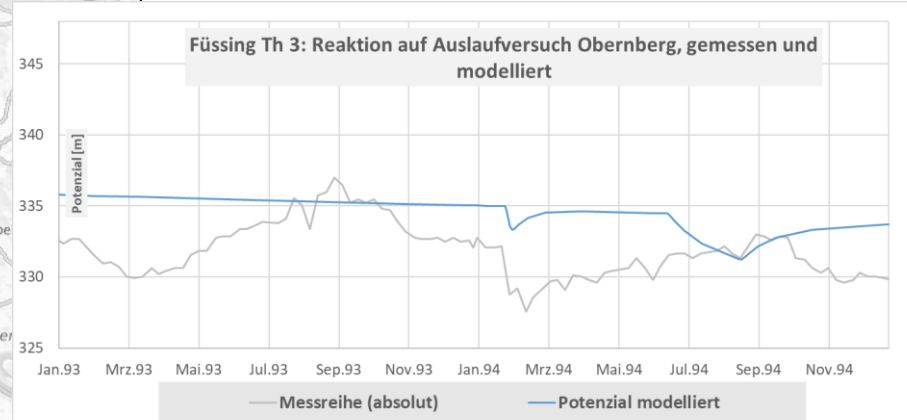
Eingangsdaten zur Kalibrierung: weitere Pumpversuche

Projekt
"Thermalwasser-Strömungsmodell
NB-OOE Molassebecken"

Thermalwassernutzungen

PV Altheim
1990

PV Oberfeld
1994



Eingangsdaten zur Kalibrierung: weitere Pumpversuche

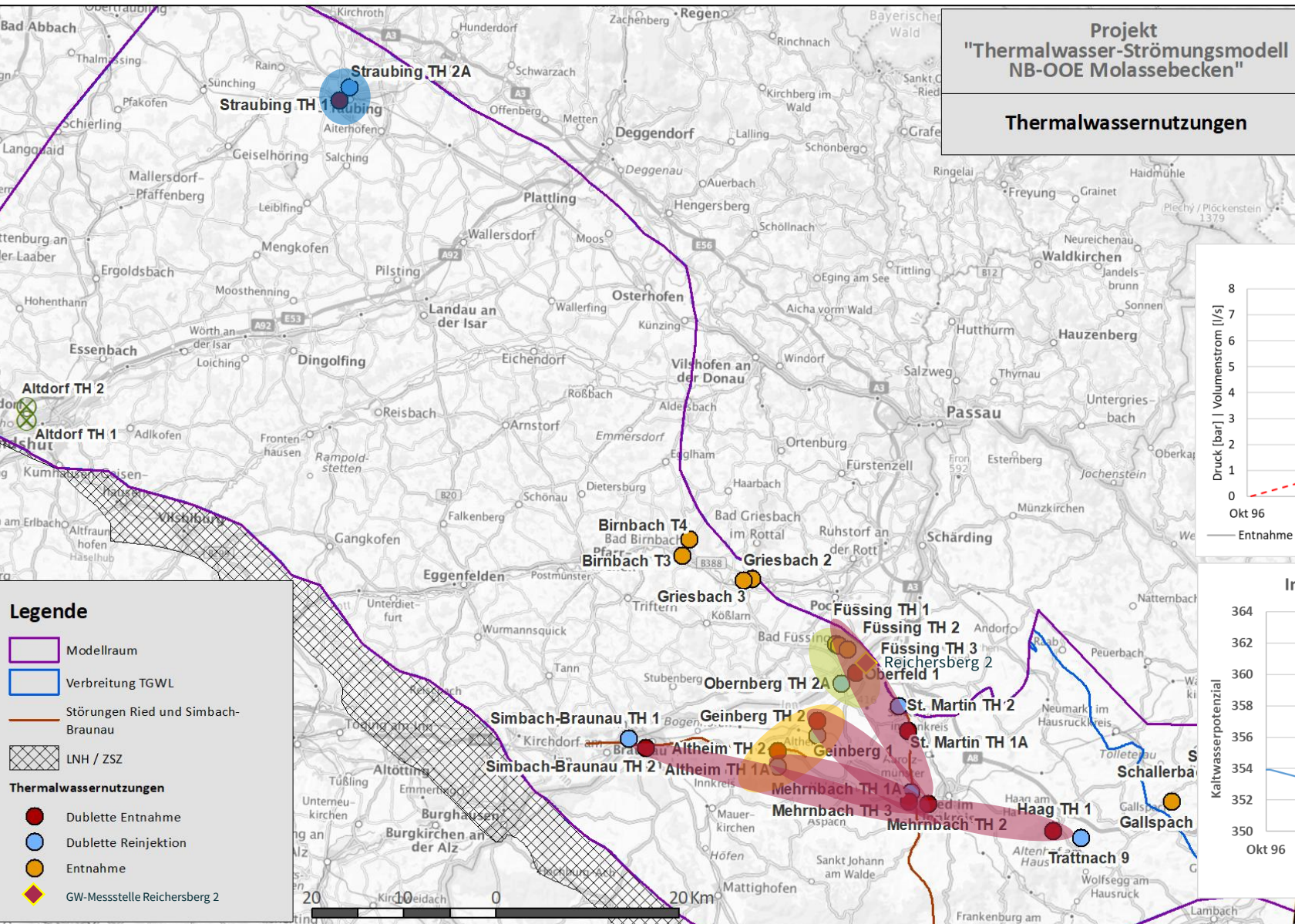
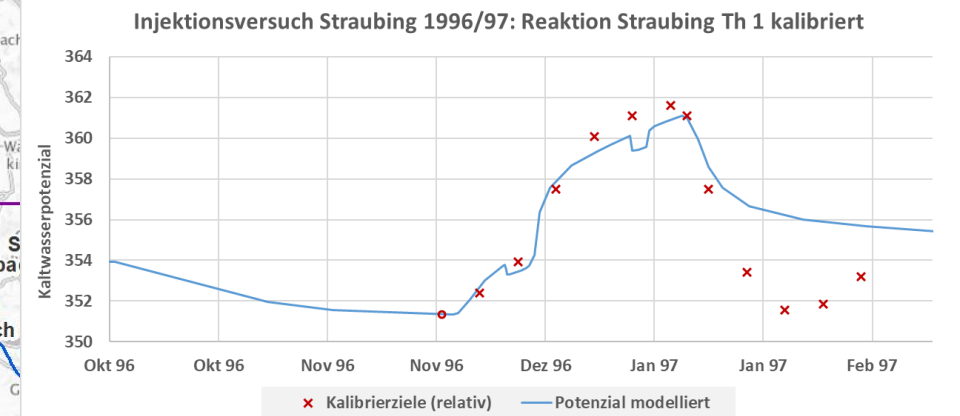
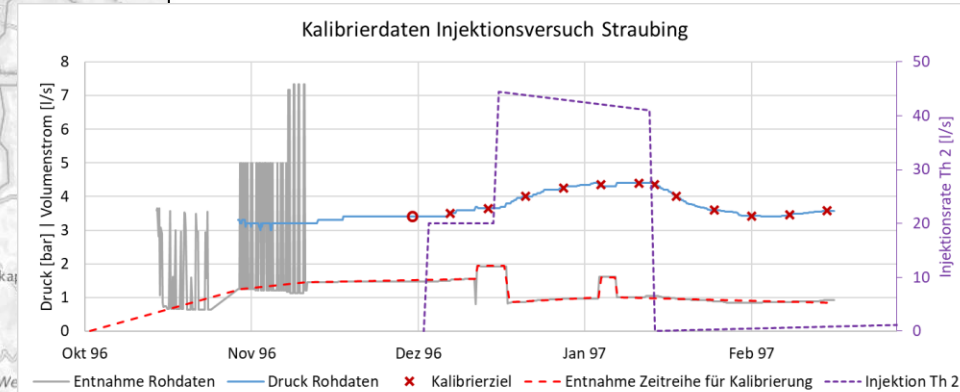
Projekt
"Thermalwasser-Strömungsmodell
NB-OOE Molassebecken"

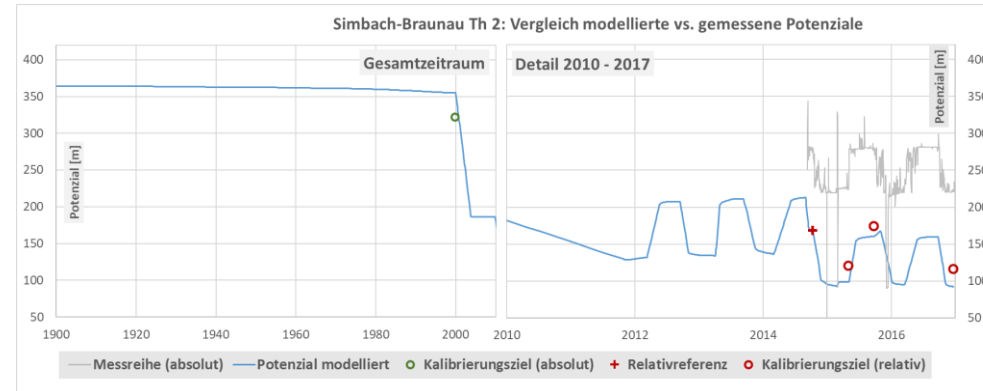
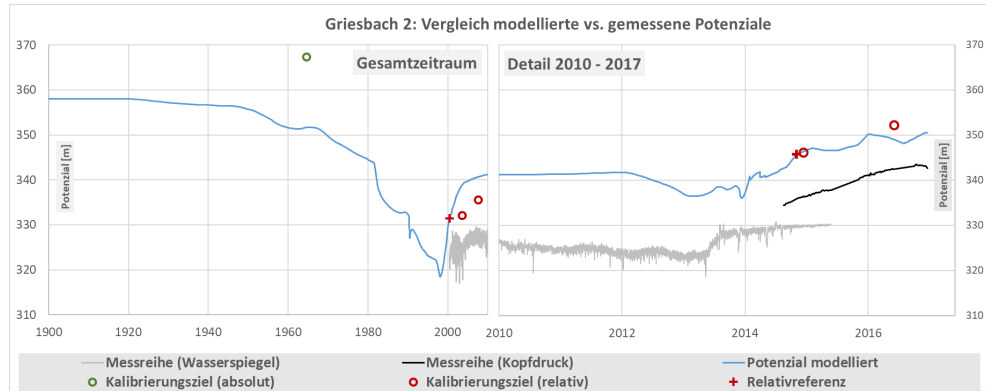
Thermalwassernutzungen

PV Altheim
1990

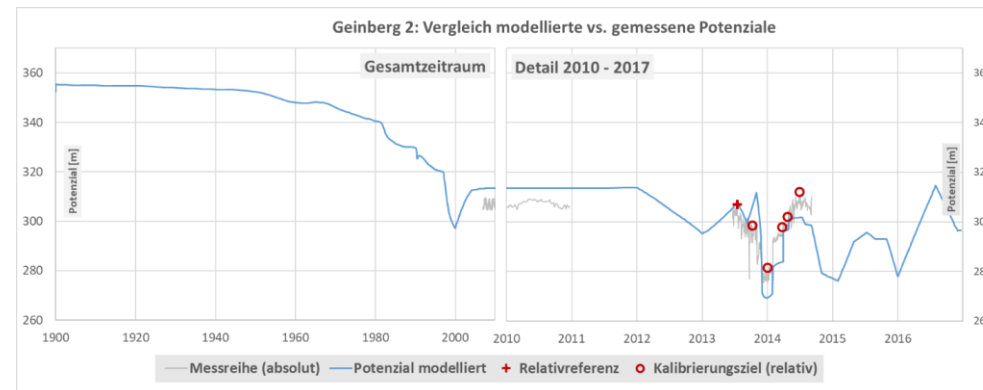
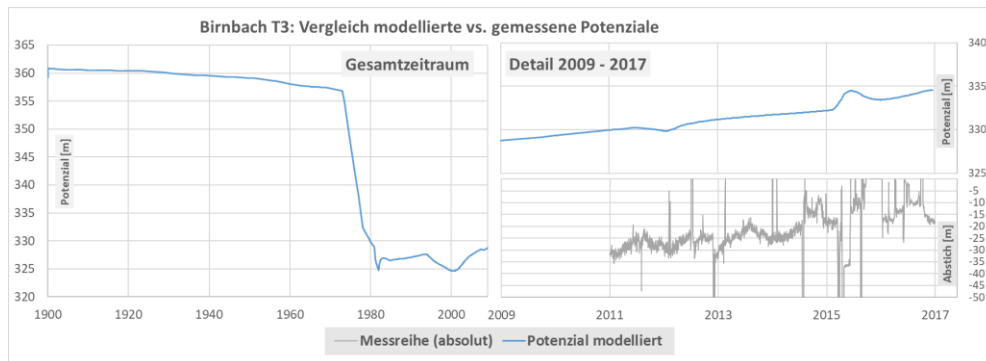
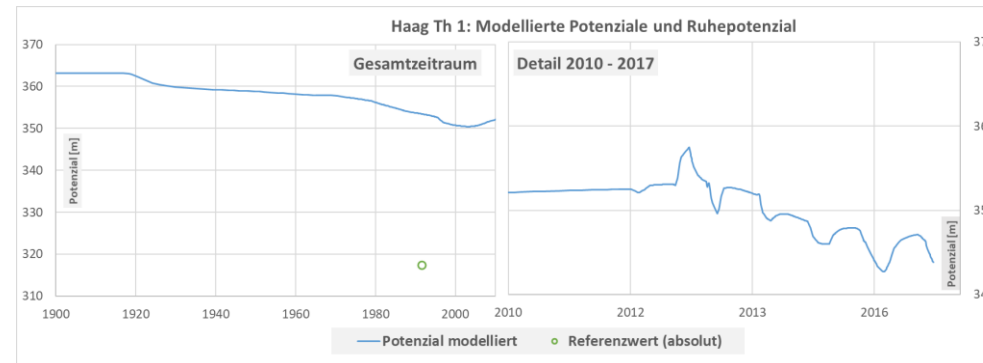
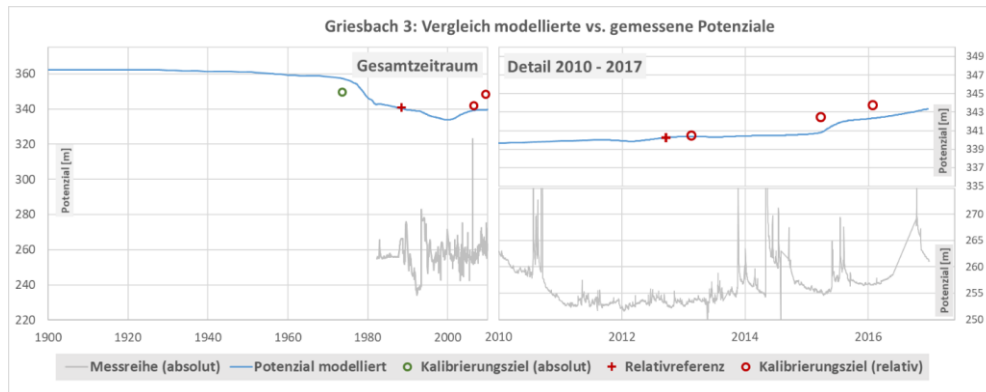
PV Oberfeld
1994

IV Staubing
1996/97

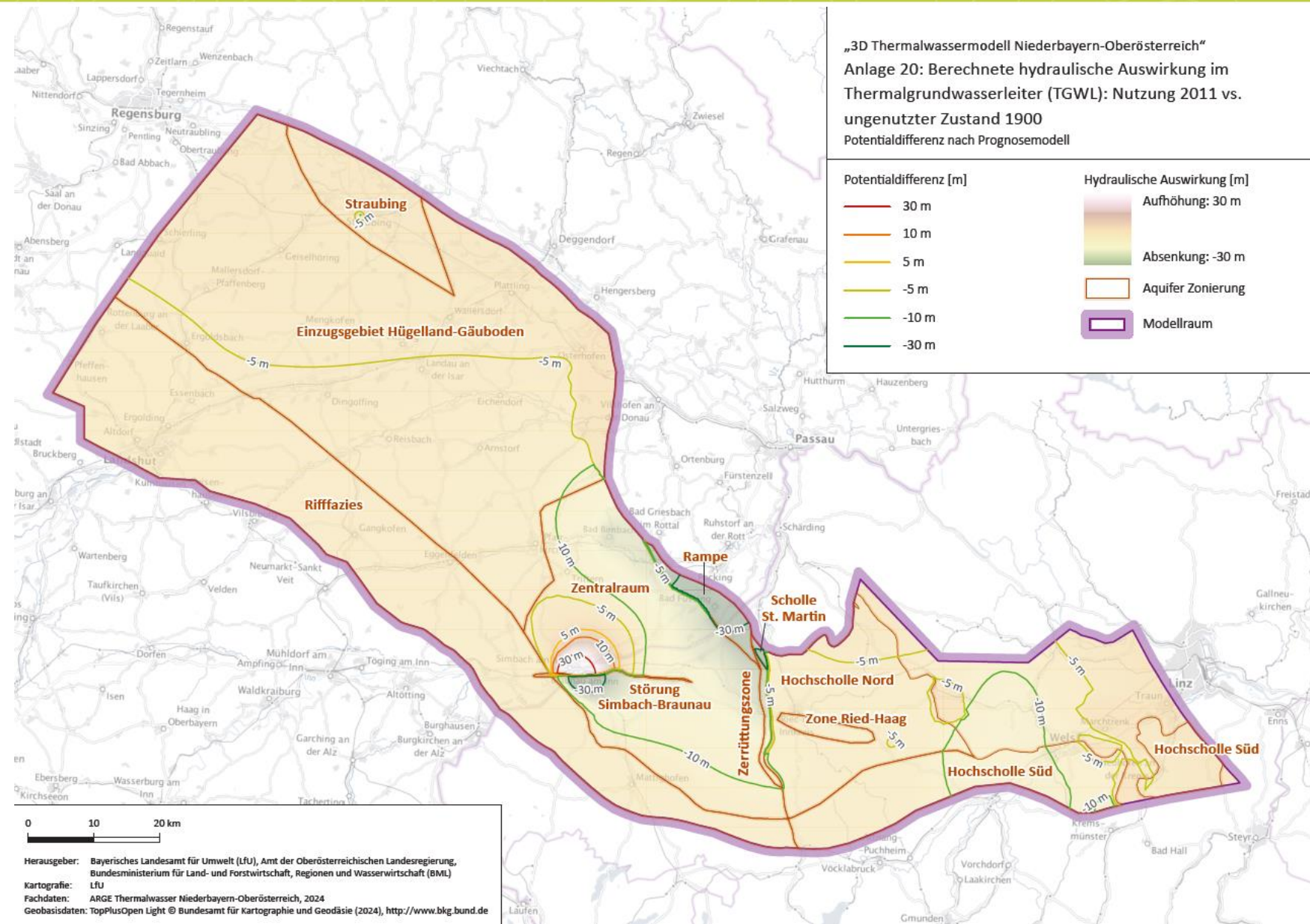
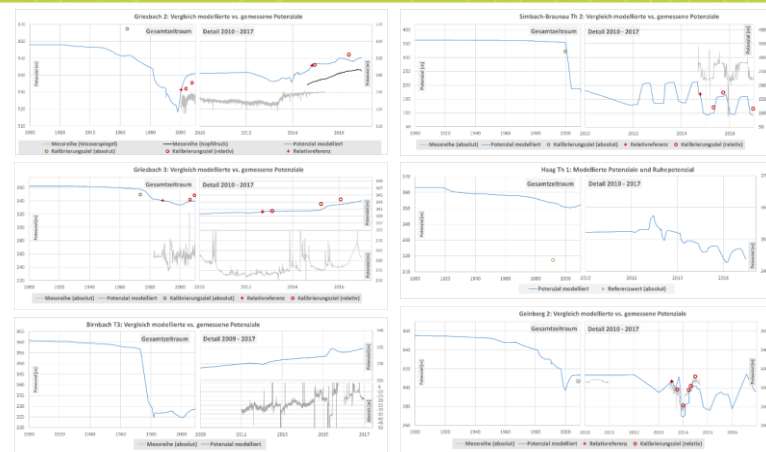




Darstellung als
Zeitreihe ...



Potenzialdifferenz als Kartendarstellung



... oder als Differenzenkarte
Hier: Potenzial 2011 – 1900

Vorgaben

Messdaten

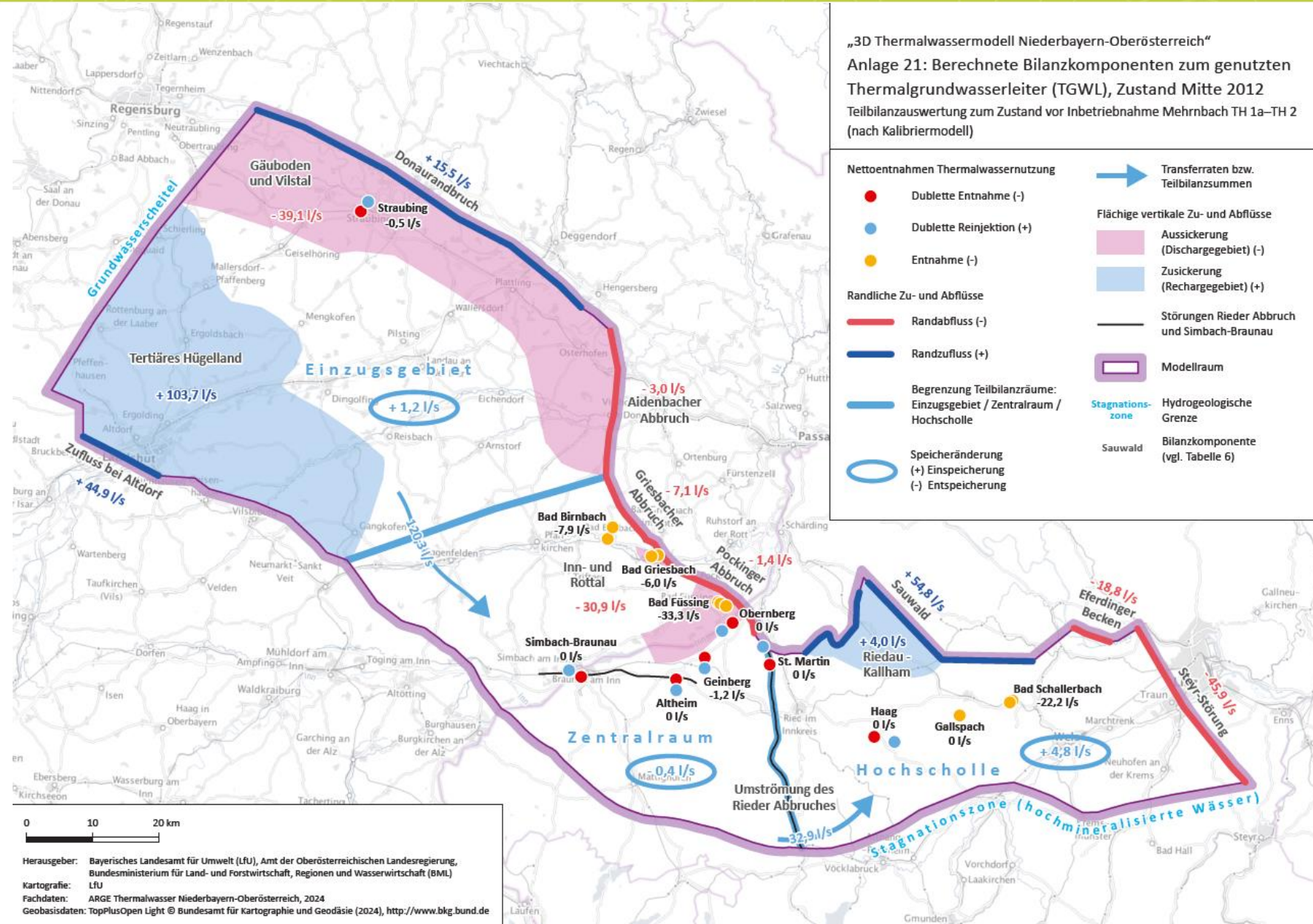
- Temperatur
 - Betriebsdaten
 - Pumpversuchen
 - BHT- und DST Messungen (KW-Industrie)
- Ruhewasserspiegel / Ruhepotenziale
- Langfristige Ganglinien
 - davon eine GW-Messstelle (Reichersberg 2)
 - Schließdruck- / Abstichmessungen
- Kurzfristige Reaktionsmessungen (aus PV)

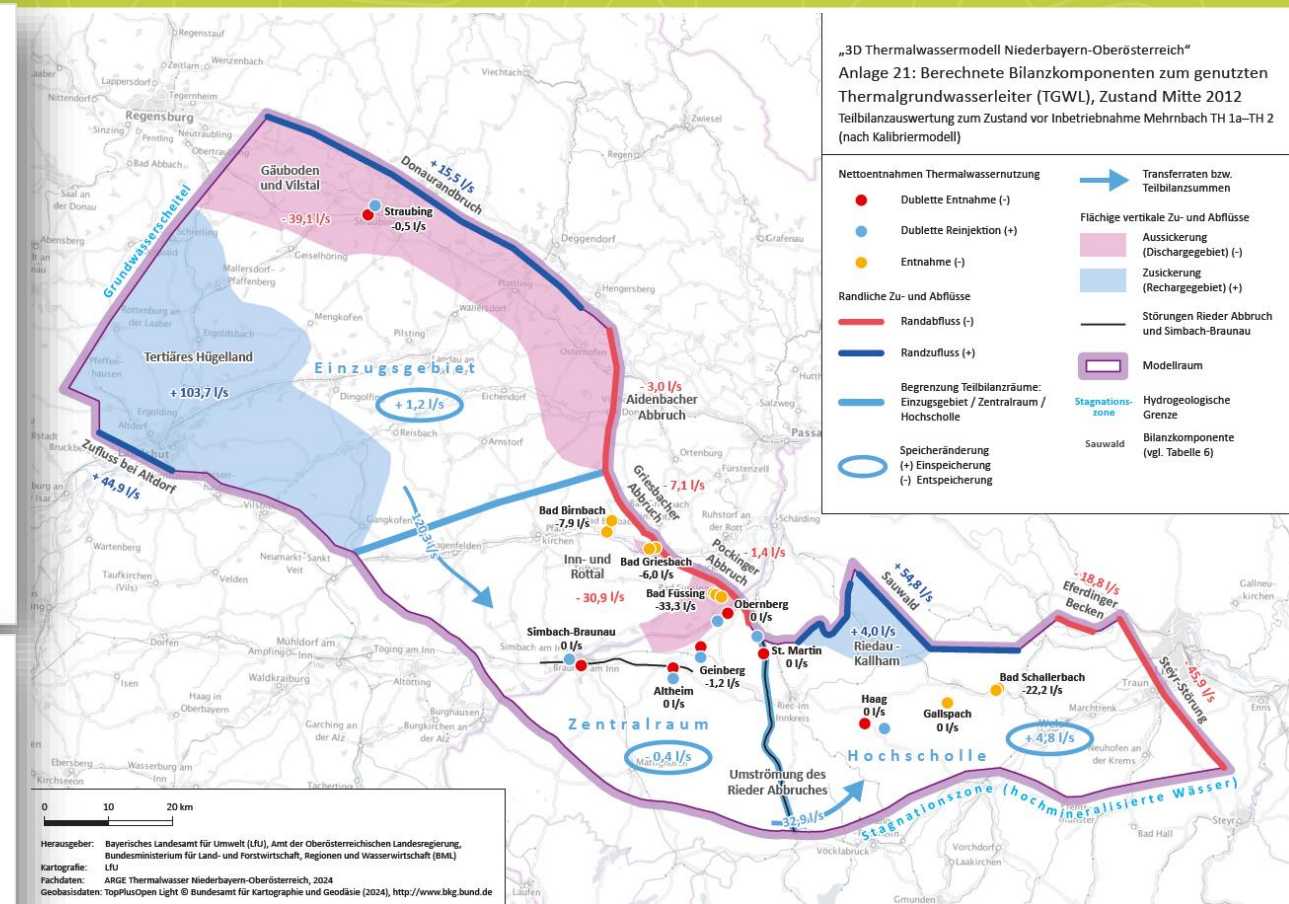
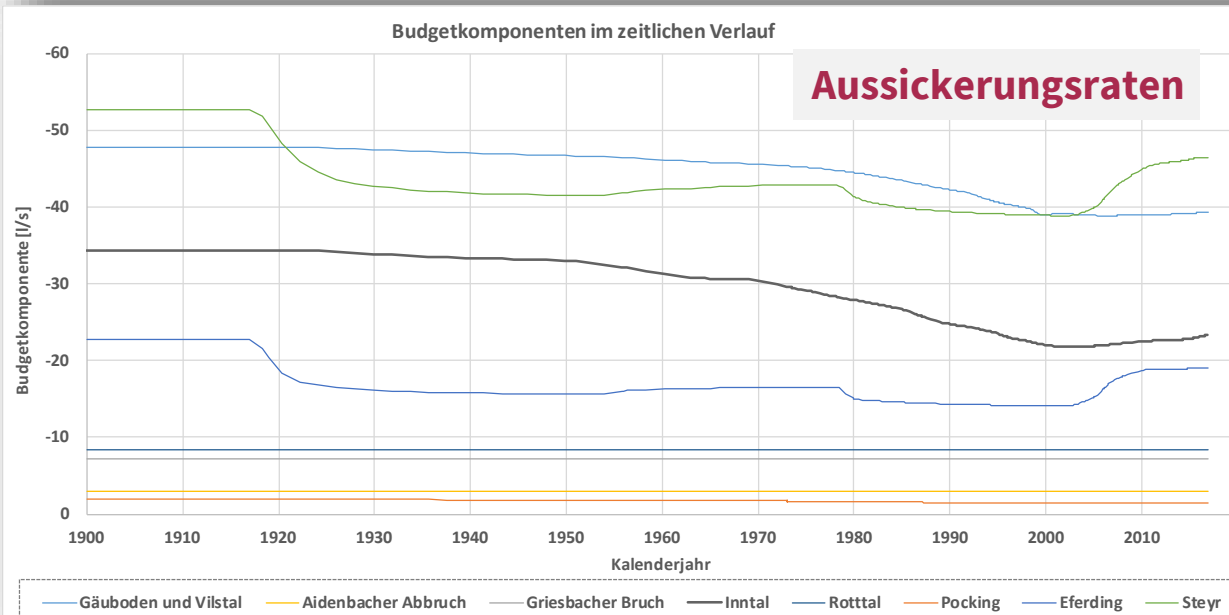
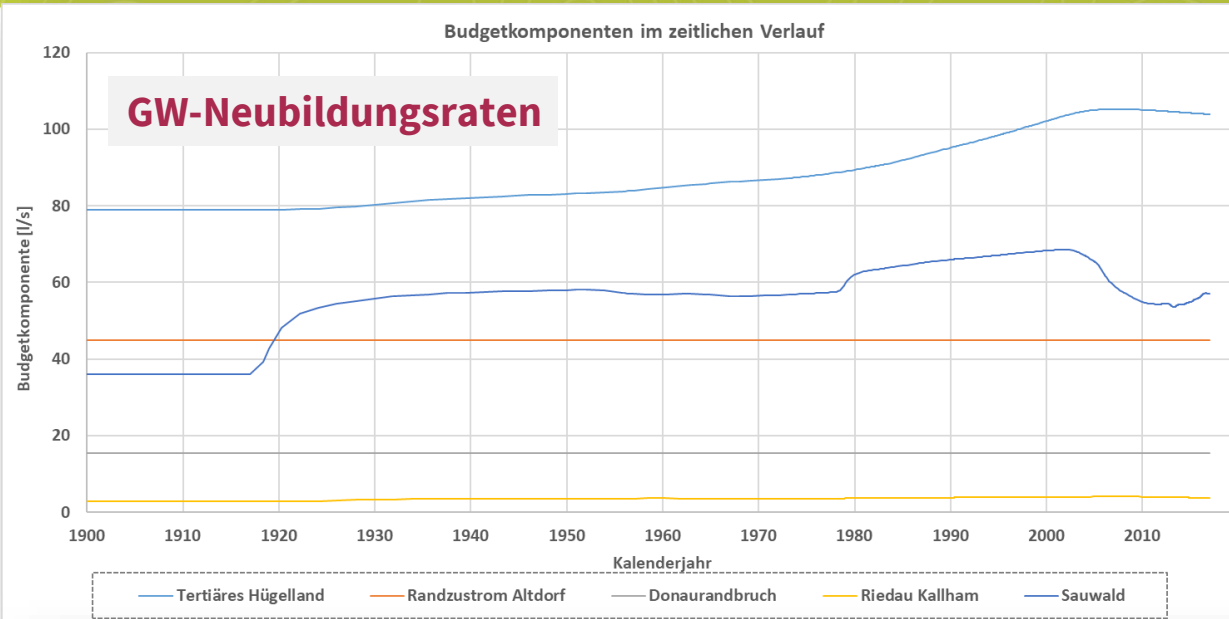
Bilanzkomponenten aus HGM

Modellparameter

- Hydraulische Durchlässigkeit (kF Wert)
- Wärmeleitfähigkeit
- (Randbedingungen)

Bilanzkomponenten in Kartenform
zu einem beliebigen Zeitpunkt ...





... oder als Zeitreihen über den Betrachtungszeitraum

Vorgaben

Messdaten

- Temperatur
 - Betriebsdaten
 - Pumpversuchen
 - BHT- und DST Messungen (KW-Industrie)
- Ruhewasserspiegel / Ruhepotenziale
- Langfristige Ganglinien
 - davon eine GW-Messstelle (Reichersberg 2)
 - Schließdruck- / Abstichmessungen
- Kurzfristige Reaktionsmessungen (aus PV)

Bilanzkomponenten aus HGM

Modellparameter

- *Hydraulische Durchlässigkeit (kF Wert)*
- Wärmeleitfähigkeit
- (Randbedingungen)

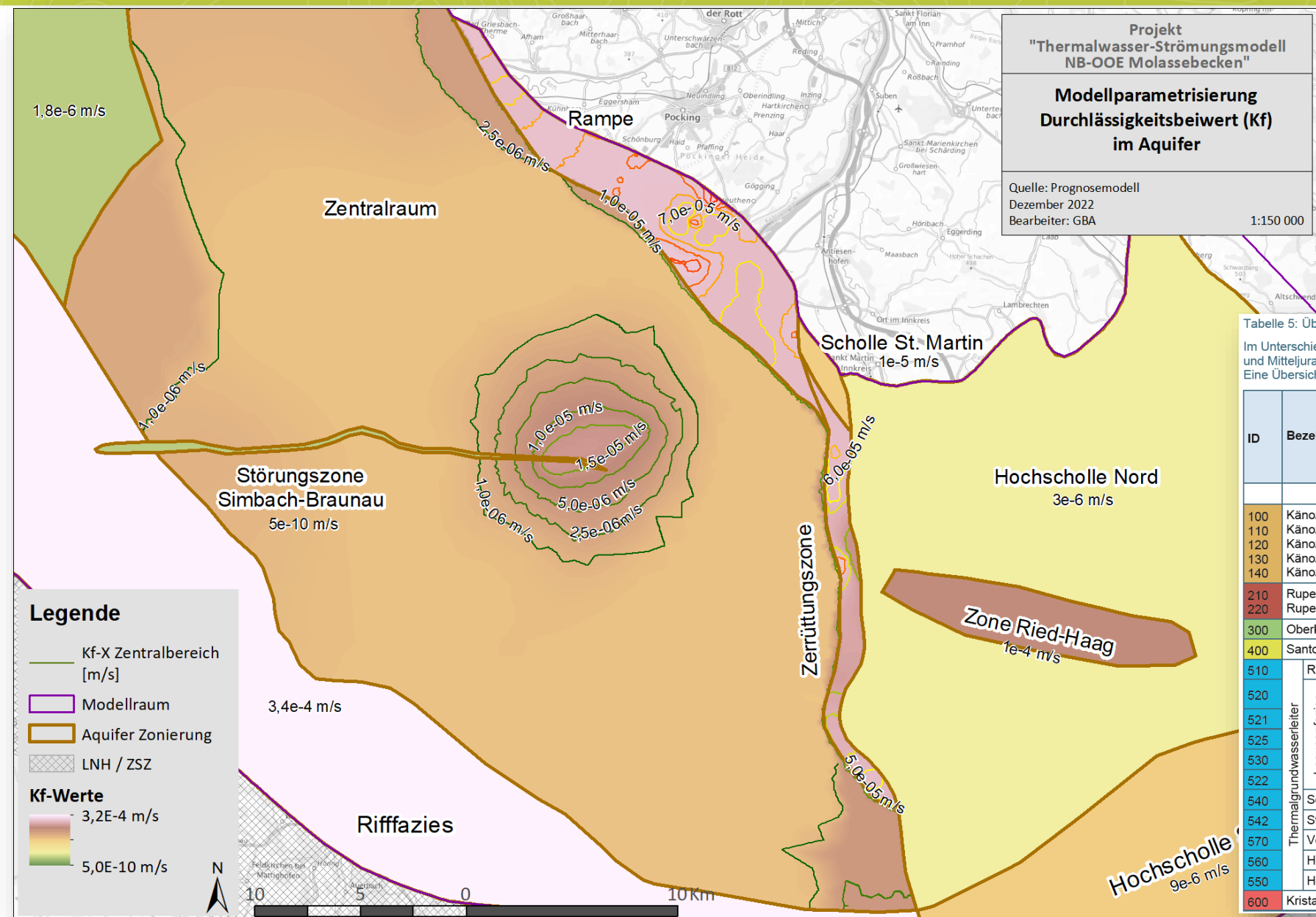


Tabelle 5: Übersicht über die kalibrierten Materialparameter.

Im Unterschied zu den Profilschnitten (Anlagen 3 bis 6) sind die Einheiten des Cenomanium, Oberjura (Malm) und Mitteljura (Dogger) hier zur hydrogeologischen Haupteinheit Thermalgrundwasserleiter zusammengefasst. Eine Übersicht zur regionalen Zonierung des Thermalgrundwasserleiters zeigt Anlage 20.

ID	Bezeichnung	Durchlässigkeitsbeiwert k_f (x-y)	Durchlässigkeitsbeiwert k_f (z)	Speicher-koeffizient	Wärme-pro-duk-tionsrate	Wärme-leitfähigkeit	Wärme-speicher-kapazität	Porosität
		m/s	m/s	1/m	$\mu\text{W/m}^2$	W/m/K	MJ/m ³ /K	%
100	Känozoikum undifferenziert	5,3 E-10	1,0 E-10					
110	Känozoikum Hügelland	1,8 E-5	9,0 E-10					
120	Känozoikum Gäuboden	2,6 E-6	2,6 E-6	3,0 E-6		1,8 / 2,6 / 3,5	2,62	10
130	Känozoikum Inn- und Rottal	5,0 E-6	5,0 E-9					
140	Känozoikum Riedau – Kallham	5,8 E-6	6,0 E-10					
210	Rupel/Egersande Tiefscholle	3,1 E-5	1,0 E-5	2,0 E-6		2,7	2,86	7
220	Rupel/Egersande Hochschule	2,3 E-5	2,3 E-5					
300	Oberkreide	8,0 E-10	5,0 E-10	0,5 E-6		3,4	2,94	2
400	Santonium/Campanium	1,8 E-8	1,0 E-8	0,1 E-6		3,3	2,83	7
510	Riffazies Tiefscholle	3,4 E-4	1,4 E-4	6,0 E-7				2,5
520	Einzugsgebiet Hügelland-Gäuboden	1,8 E-6	1,8 E-6	6,0 E-7	1,04			1
521	Straubing	5,0 E-6	1,8 E-6	6,0 E-7				1
525	Zentralraum	inhomogen		6,0 E-7				1
530	Zerrüttungszone u. Rampe	inhomogen		6,4 E-7				2,5
522	Störung Simbach-Braunau	5,0 E-10	5,0 E-10	6,0 E-7		3,8	2,44	1
542	Scholle St. Martin	1,0 E-5	1,0 E-5	5,0 E-7				2
542	Störung St. Martin	8,0 E-10	8,0 E-10	5,0 E-10				2,5
570	Verbindungszone Ried - Haag	1,0 E-4	1,0 E-5	1,2 E-6				1
560	Hochschule Nord	3,0 E-6	1,0 E-6	1,2 E-6				1
550	Hochschule Süd	9,0 E-6	1,0 E-6	1,2 E-6				1
600	Kristalin und Permokarbon	1,0 E-12	1,0 E-12	0,1 E-6	4,0	5,0	2,50	1

Was es kann

- Nachbildung der Entnahmehistorie bis heute
- Nachbildung von PV-Reaktionen
- Nachfahren der lang- und kurzfristigen Ganglinien

Was es soll

- Erfassung der Grundwasserströmungsverhältnisse und Bilanzierung des Thermalwasservorkommens

- Bewertung der hydraulischen Auswirkungen von (neuen) Thermalwassernutzungen auf andere und das Vorkommen
- Bewertung und Optimierung der bilateralen Bewirtschaftungsstrategie.

→ **sh. folgende Präsentationen**

DANKE

