



**Geothermische Nutzung von Grubenwasser –  
Machbarkeitsstudie Sangerhäuser Mulde**

**Dr. Bernd Bräutigam  
Matthias Bock, Sven Schwärmer**

**18.10.2023**



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Fragestellungen mit Bezug zum Grubenwasser

- Ermittlung des **geothermisch nutzbaren Potentials von fließendem und stillem Grubenwasser**
- Benennung und Prüfung der notwendigen **geologischen und bergbaurechtlichen chemisch-physikalischen sowie der technisch-technologischen Voraussetzungen** für die projektbezogene Nutzung der ausgewählten geothermischen Potentiale.
- **Standortauswahl** für die vorgesehene Wärmegewinnung aus geflutetem Grubenwasser sowie saisonale Speicherung von Wärme in den gefluteten Grubenbauen im Zusammenhang mit der Erzeugung von Wärme und Kälte für die Gebäudeklimatisierung.



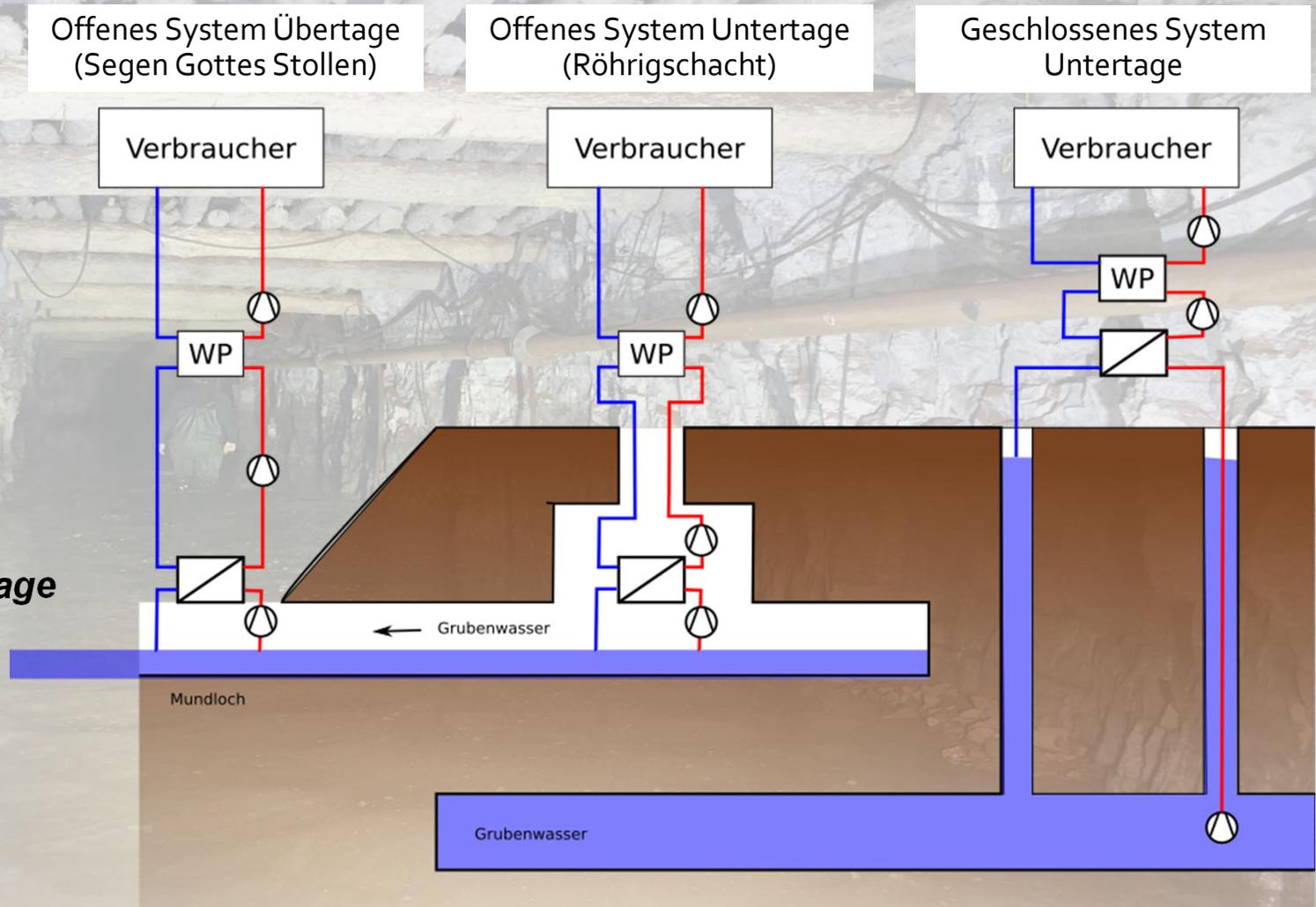
## Kupferschieferbergbau Sangerhausen – Geothermische Nutzung

- **Verständnis Kupferschieferbergbau**
- **Situation Stilllegung**
- **Heutige Situation Grubengebäude**
- **Hohlraumsituation und Wasser-/Wärmemengen**
- **Qualität Grubenwasser**
- **Bohrtechnik, Pumpentechnik**
- **Segen Gottes Stollen - Wassermengen und Temperatur**
- **Ermittlung des geothermisch nutzbaren Potentials**
- **Geologischen und bergbaurechtlichen chemisch-physikalischen sowie der technisch-technologischen Voraussetzungen**
- **Standorte/Leitungskreisläufe/Wärmeübergabe**

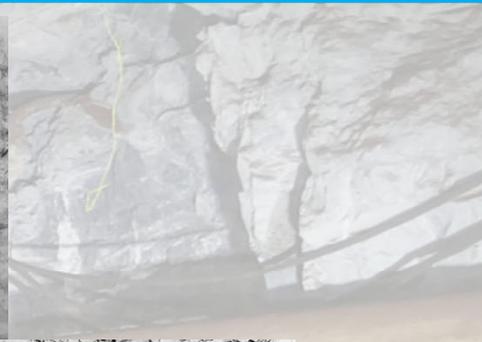


## Grundsätzliche Ansätze zur Nutzung im Revier

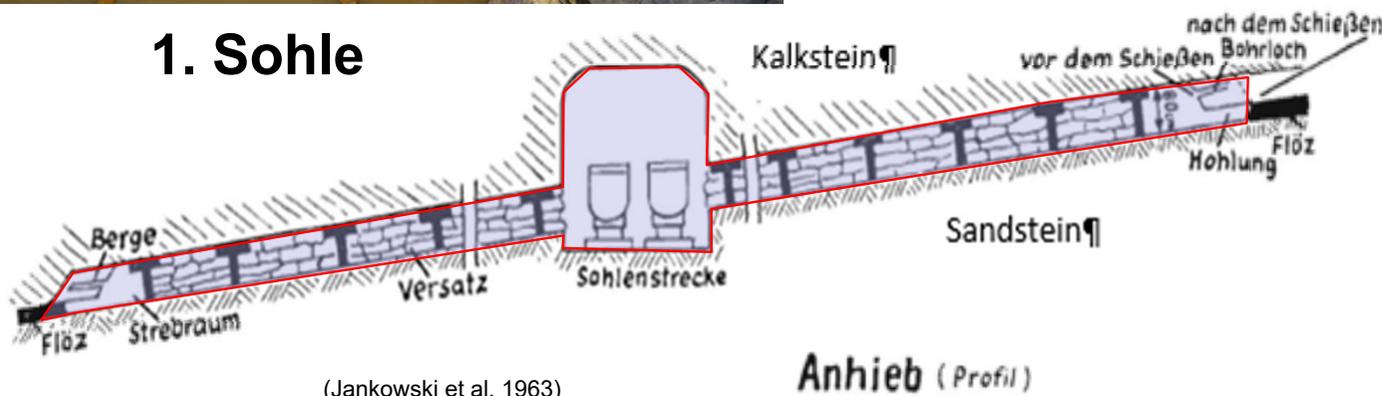
- **Offene Systeme Übertage**  
Mundloch Segen Gottes Stollen
- **Offene Systeme Untertage**  
Kupferschiefer-Abbaufelder (Strecken, Röhrigschacht)
- **Geschlossene Systeme Untertage**  
Kupferschiefer-Abbaufelder und Strecken im Flutungsraum



# Geothermische Nutzung von Grubenwasser in der Sangerhäuser Mulde



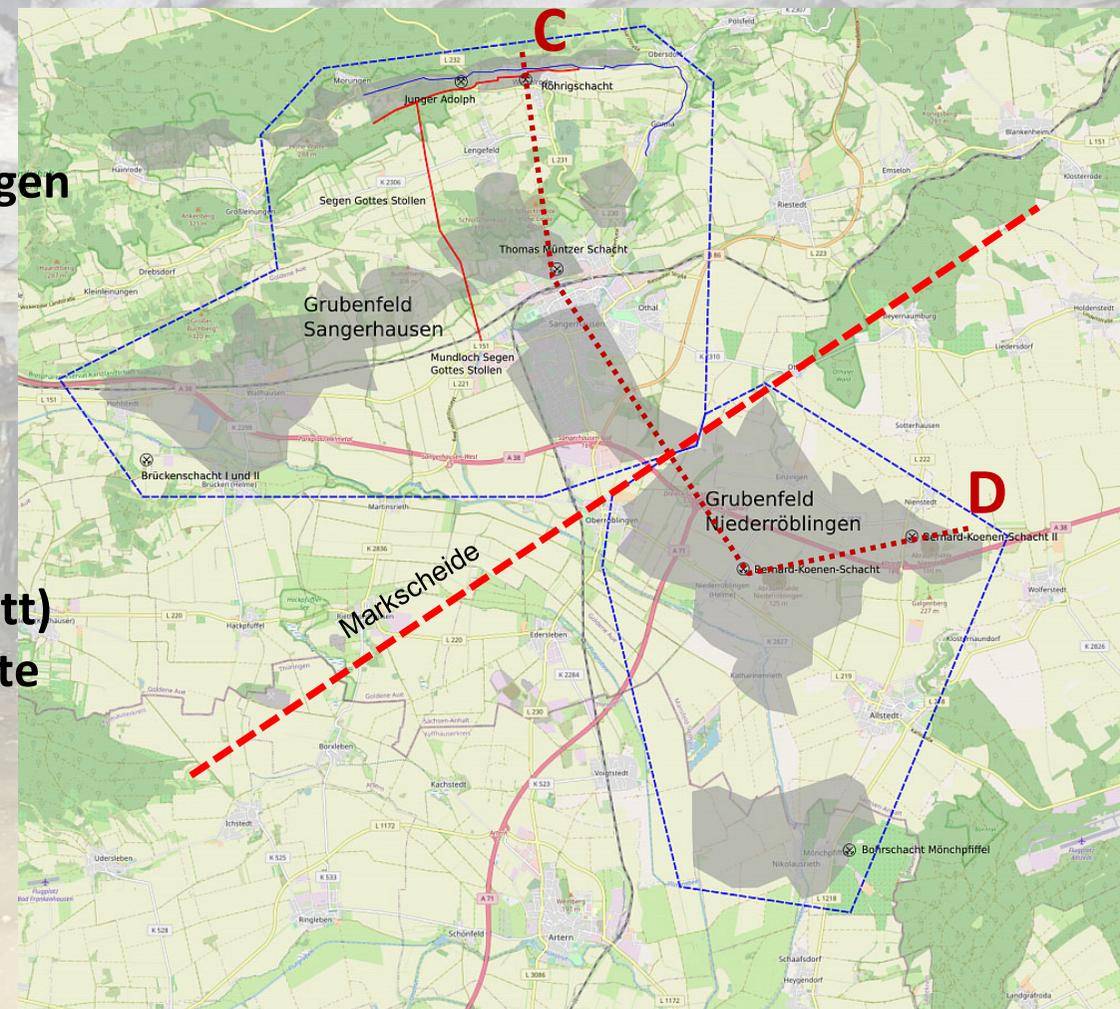
## 1. Sohle



(Jankowski et al, 1963)



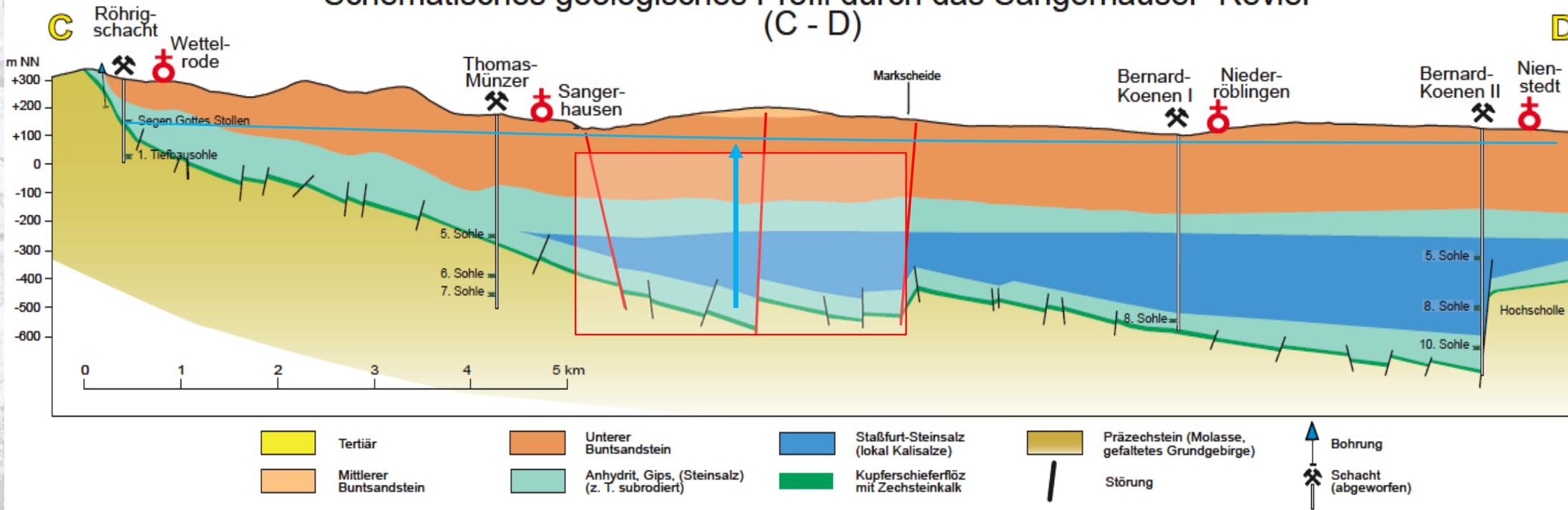
- **Betriebszeit 1954 bis 1990**
- **Grubenfelder Sangerhausen und Niederröblingen**
- **Teufenlage der Sohlen:**
  - Sangerhausen: 140 mNN (Segen Gottes Stollen) bis -530 mNN (8. Sohle)
  - Niederröblingen: -290 mNN (3. Sohle) bis -720 mNN (12. Sohle)
- **Gemäß ABP:**  
rund 80 km söhlige Strecken (14 m<sup>2</sup> Querschnitt) und 47 km Strecken im Einfallen der Lagerstätte („Flachen“, rund 10 m<sup>2</sup> Querschnitt)
- **Abbaufäche: 30,8 km<sup>2</sup>**
- **Theoretischer Hohlraum: rund 14 Mio. m<sup>3</sup>**



bearbeitet nach  
Stedingk & Rappsilber, 2000

→ mittlere Teufe der Abbaufelder ca. 700 m

Schematisches geologisches Profil durch das Sangerhäuser Revier (C - D)



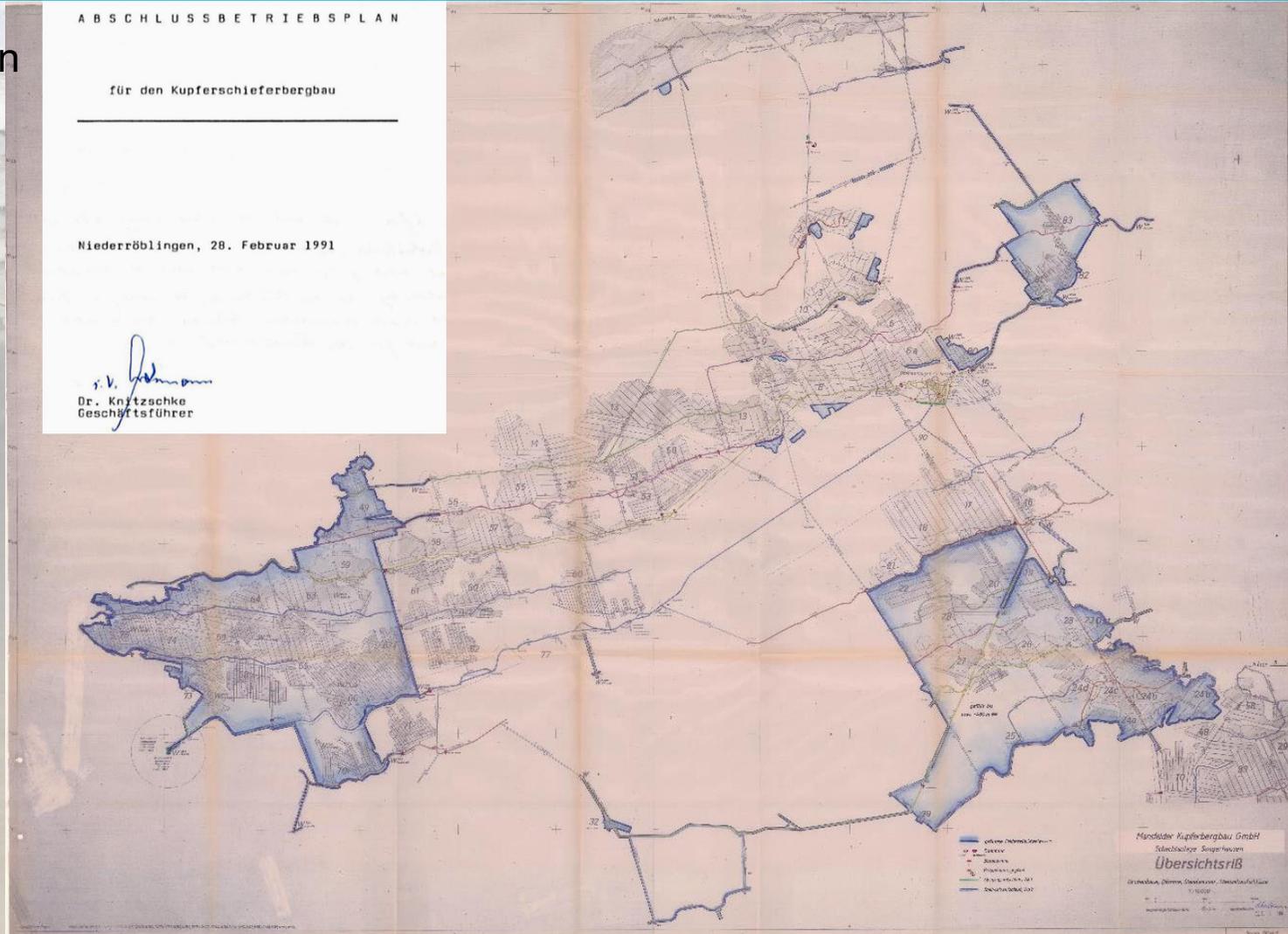
**1988** Zuläufe über 30 m<sup>3</sup>/min führten zur Aufgabe des Westfeldes; Abkapselung durch 6 Dämme

Zufluss im Ostfeld ab 1985  
→ bis Mai 1989 ≤ 0,5 m<sup>3</sup>/min  
→ Oktober **1989** 17,5 m<sup>3</sup>/min

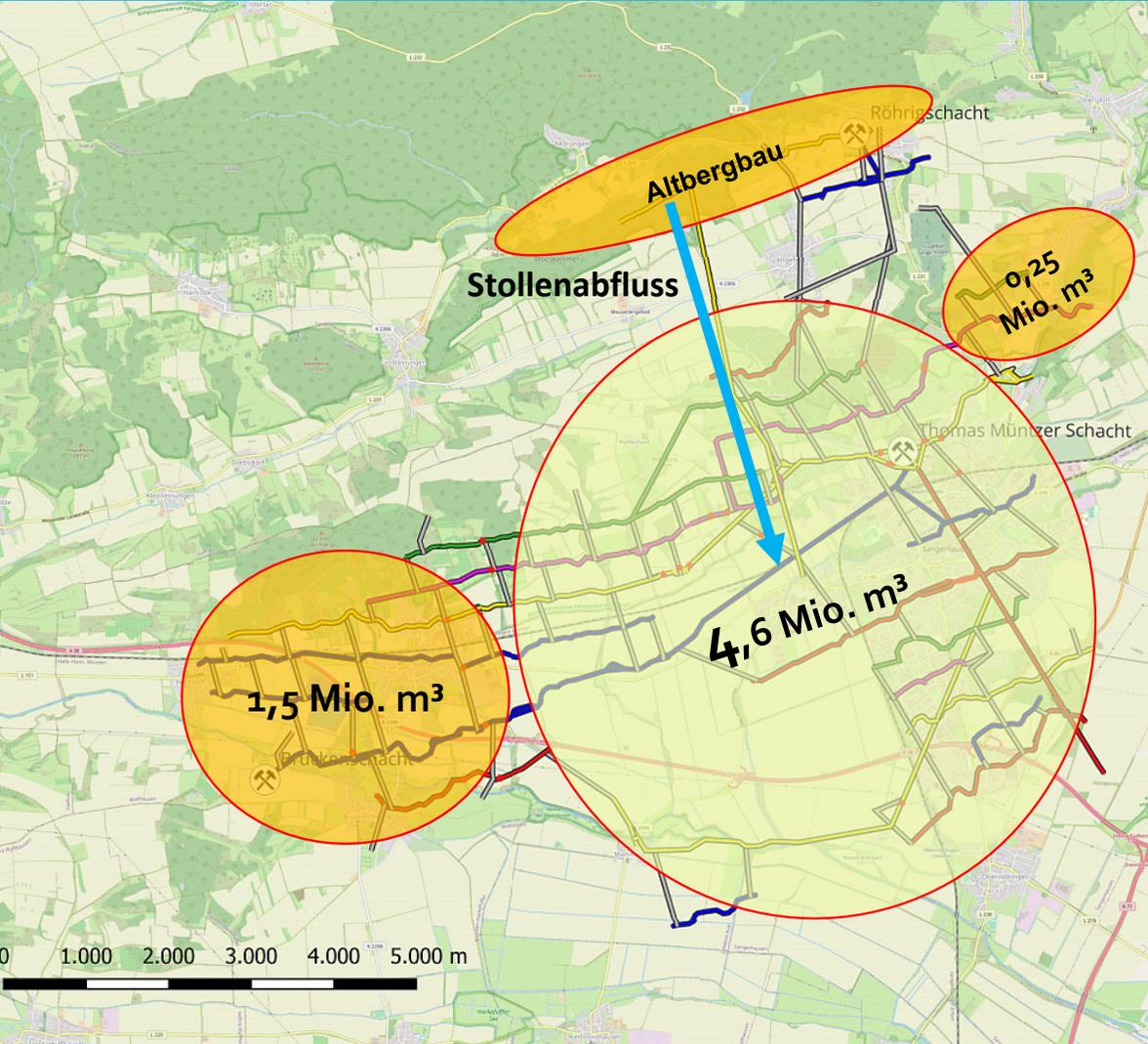
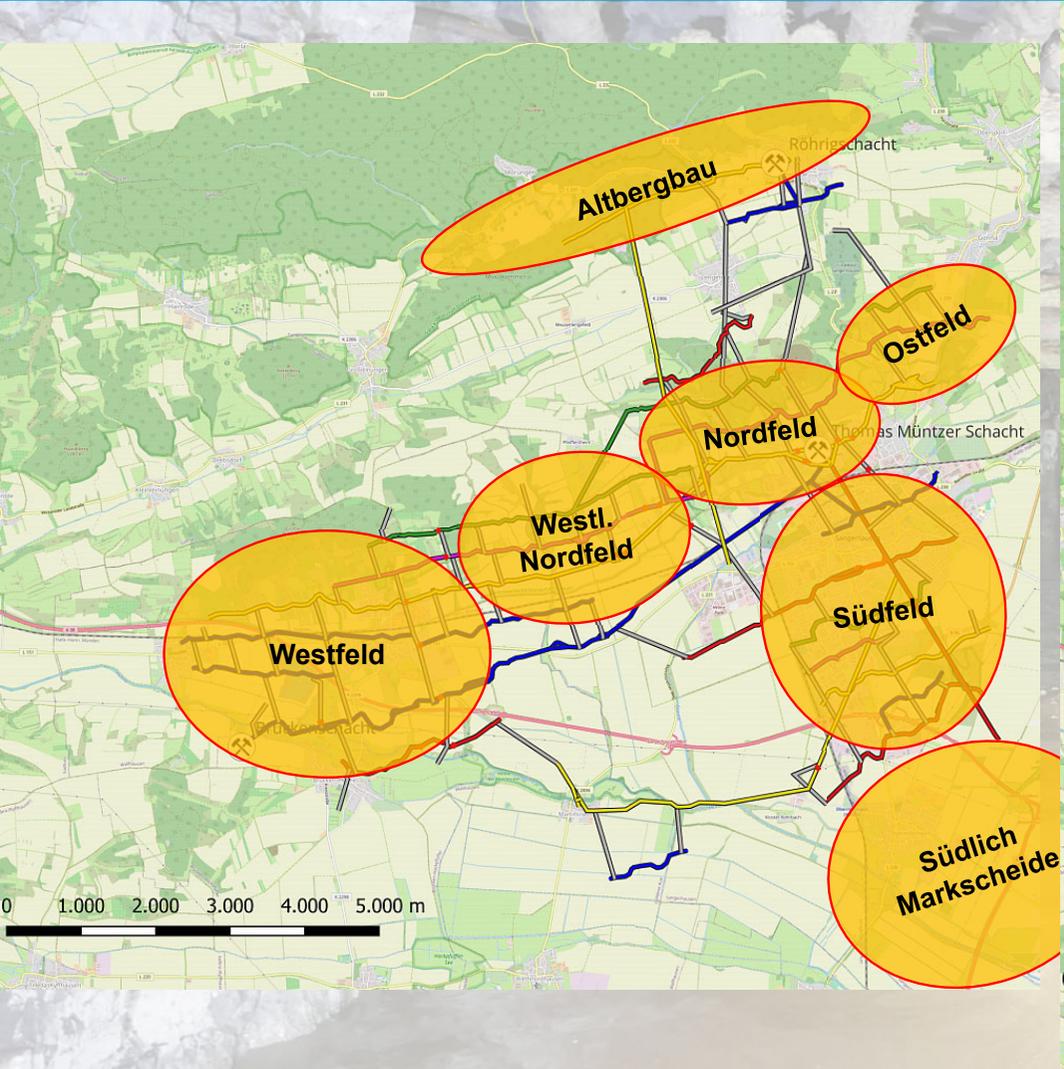
### **Einstellung des Abbaus 1990**

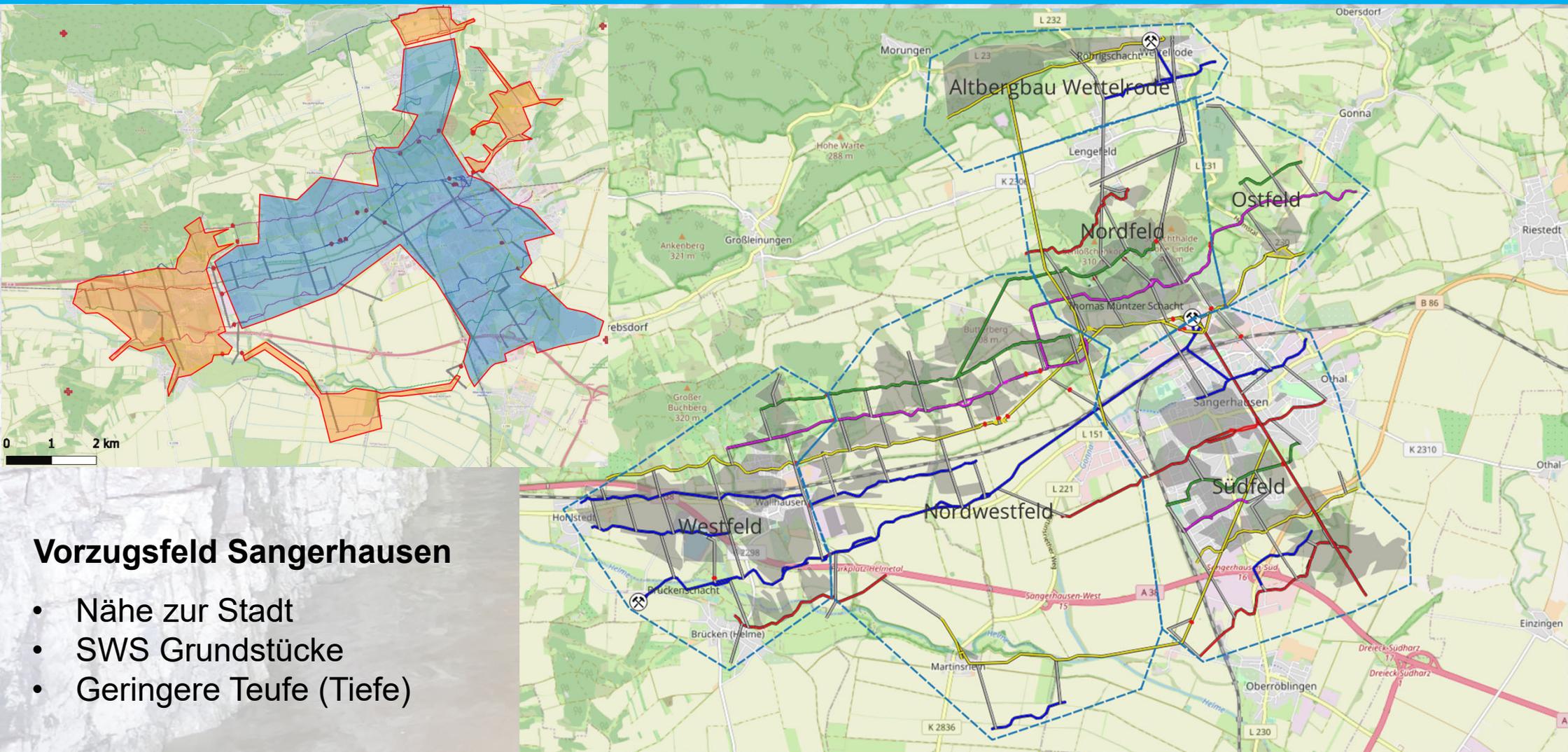
Flutung der Grube Sangerhausen  
**1992 – 1994**  
→ ca. 6,35 Mio. m<sup>3</sup>

Flutung der Grube Niederröbblingen  
**1994 – 1996**  
→ ca. 7,8 Mio. m<sup>3</sup>



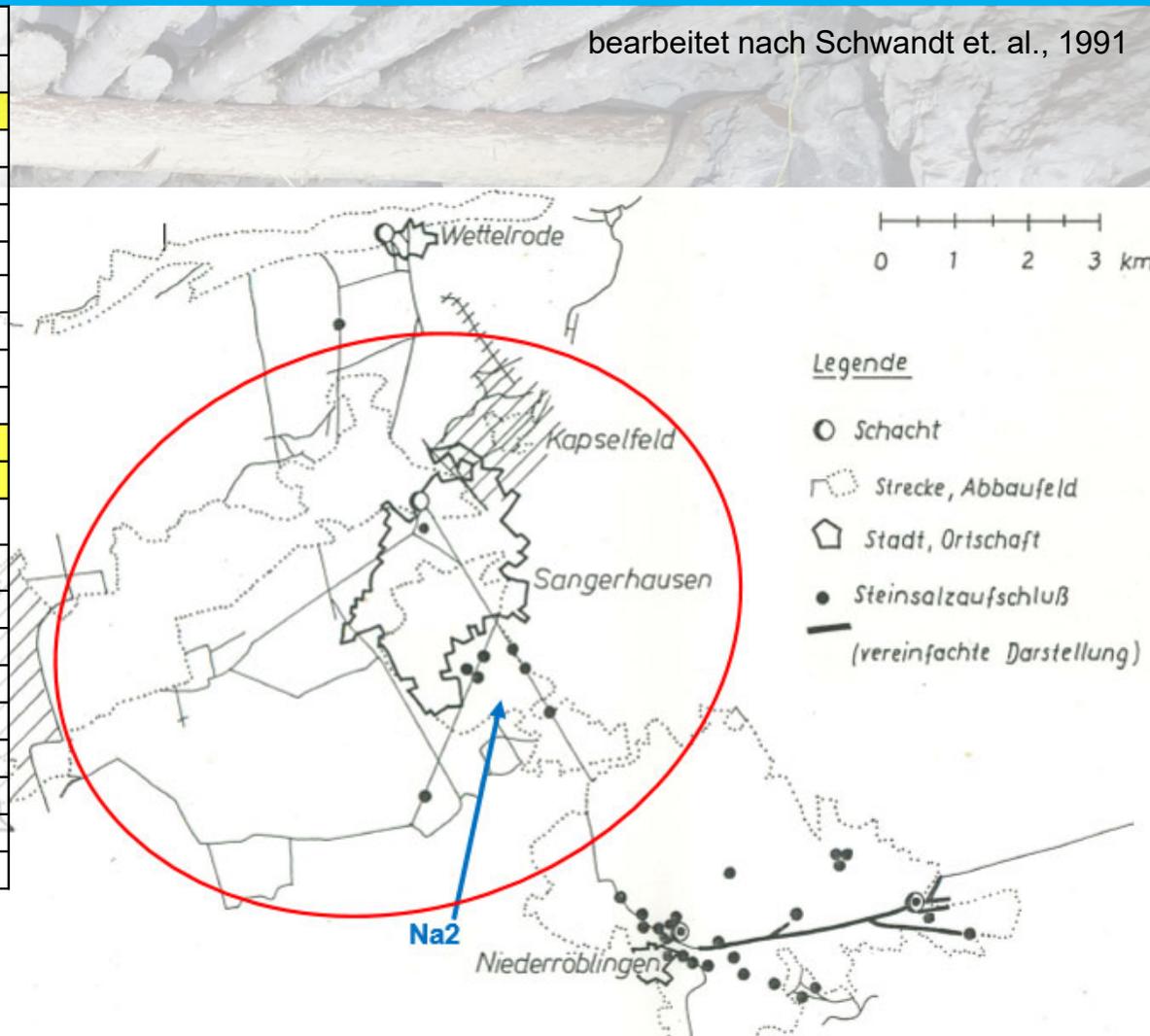
# Geothermische Nutzung von Grubenwasser in der Sangerhäuser Mulde



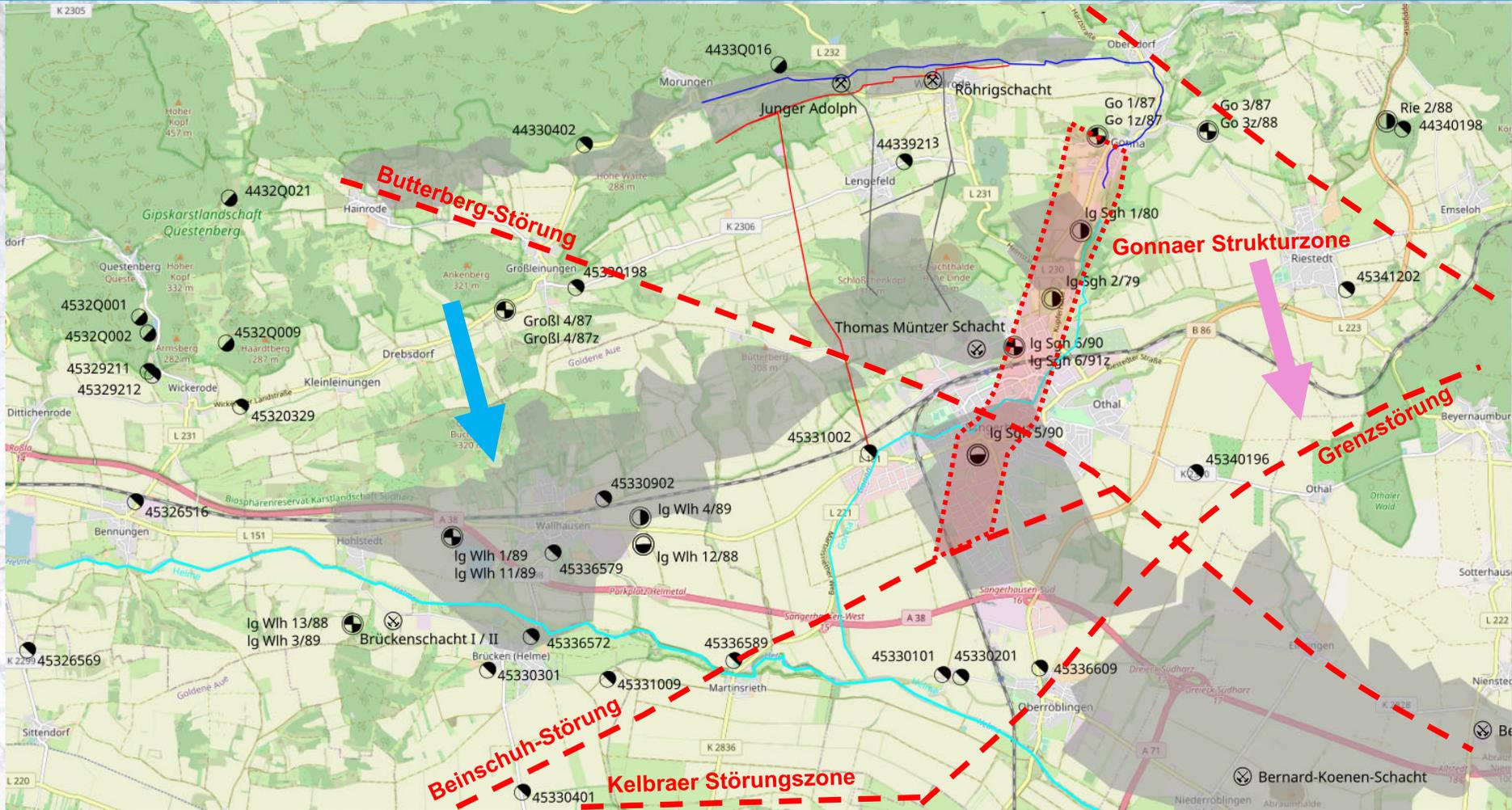


Parameter	Dimension	Sgh 6/90		Wlh 1/89	
		Jul 2003	Mai 2015	Jul 2003	Mai 2015
pH	ohne	7,25	3,32	5,10	4,85
Leitfähigkeit	µS/cm	184.100	234.000	208.000	241.000
Dichte	g/cm³	1,167	1,168	1,197	1,198
Abdampfdruckst.	g/l	256,36	266,10	337,55	314
Gesamthärte	°dH	375,0	353,0	1602	1.630
Karbonathärte	°dH	1,60	0,10	4,00	2,57
Ca	g/l	2,004	2,0	8,256	8,26
K	g/l	0,215	0,162	0,700	0,705
Mg	g/l	0,413	0,316	1,946	2,04
Na	g/l	100,081	97,5	106,558	106
Cl	g/l	152,549	155,000	184,344	187
SO <sub>4</sub>	g/l	4,740	4,690	1,251	1,17
HCO <sub>3</sub>	g/l	0,0228	0,0010	0,0038	0,00129
As	mg/l	0,0004	0,0075	0,0002	0,0034
Pb	mg/l	0,038	0,0250	0,100	0,0710
Cd	mg/l	0,00250	0,00062	0,0016	0,00062
Cr	mg/l	0,008	0,0110	0,008	0,0280
Cu	mg/l	0,085	0,0720	0,051	0,1000
Ni	mg/l	0,041	0,0630	0,106	0,2200
Hg	mg/l	<BG	0,0009	<BG	0,0009
Zn	mg/l	4,820	5,960	1,746	7,090

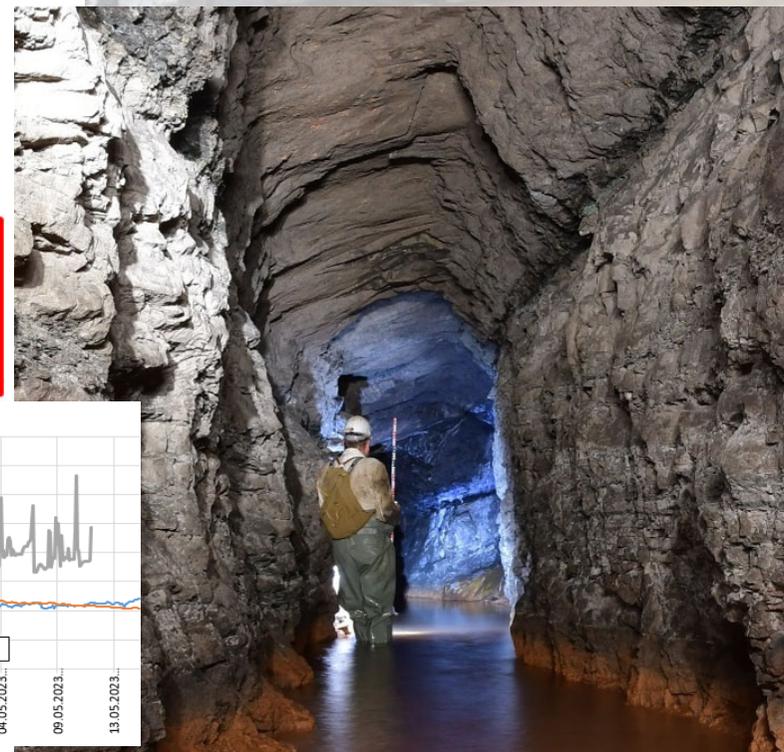
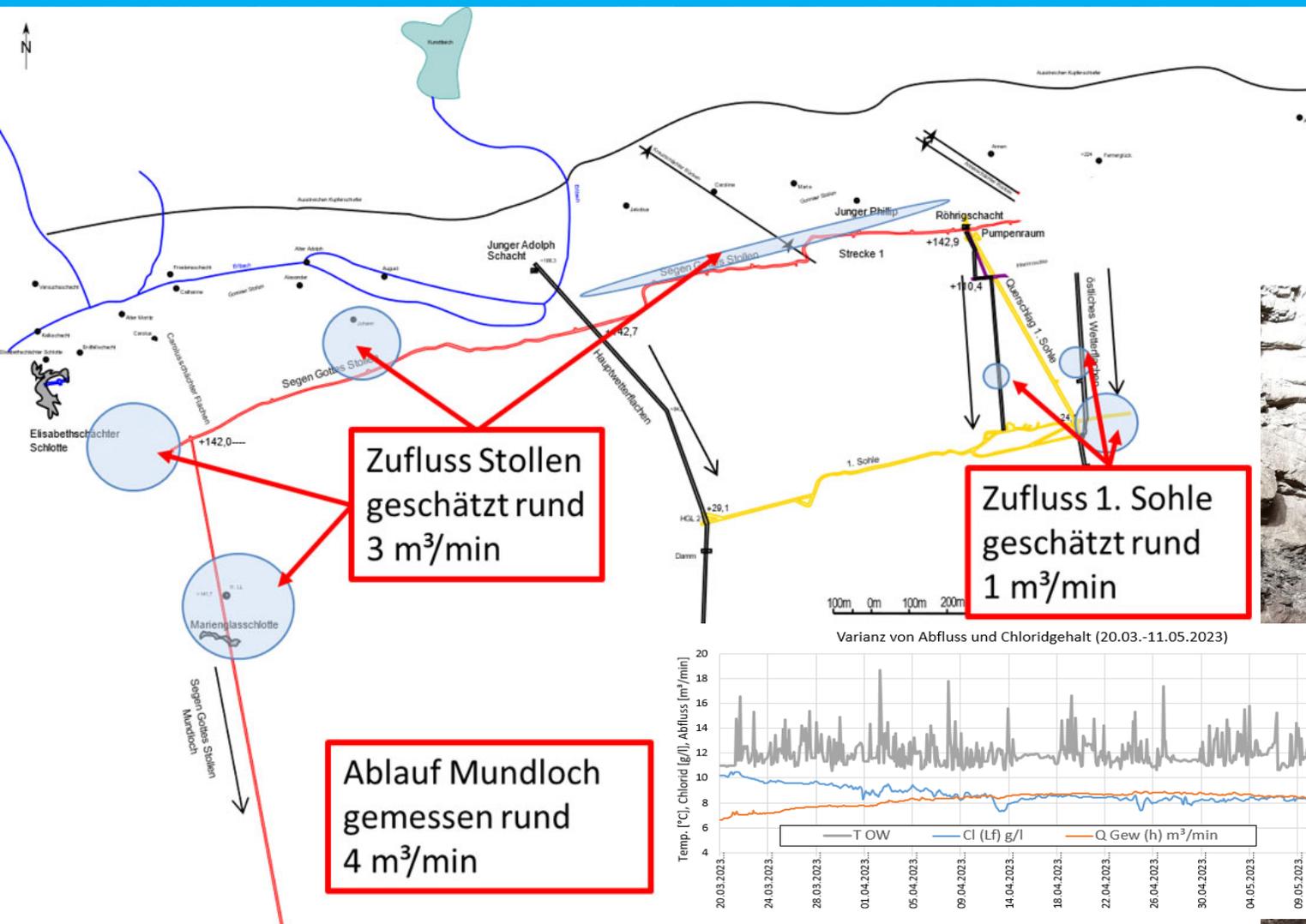
Ergebnisse der Grundwasseranalysen zweier  
Zechsteinpegel



# Geothermische Nutzung von Grubenwasser in der Sangerhäuser Mulde



← ← Generelle GW-Fließrichtung (blau – Buntsandstein, violett – Zechstein)

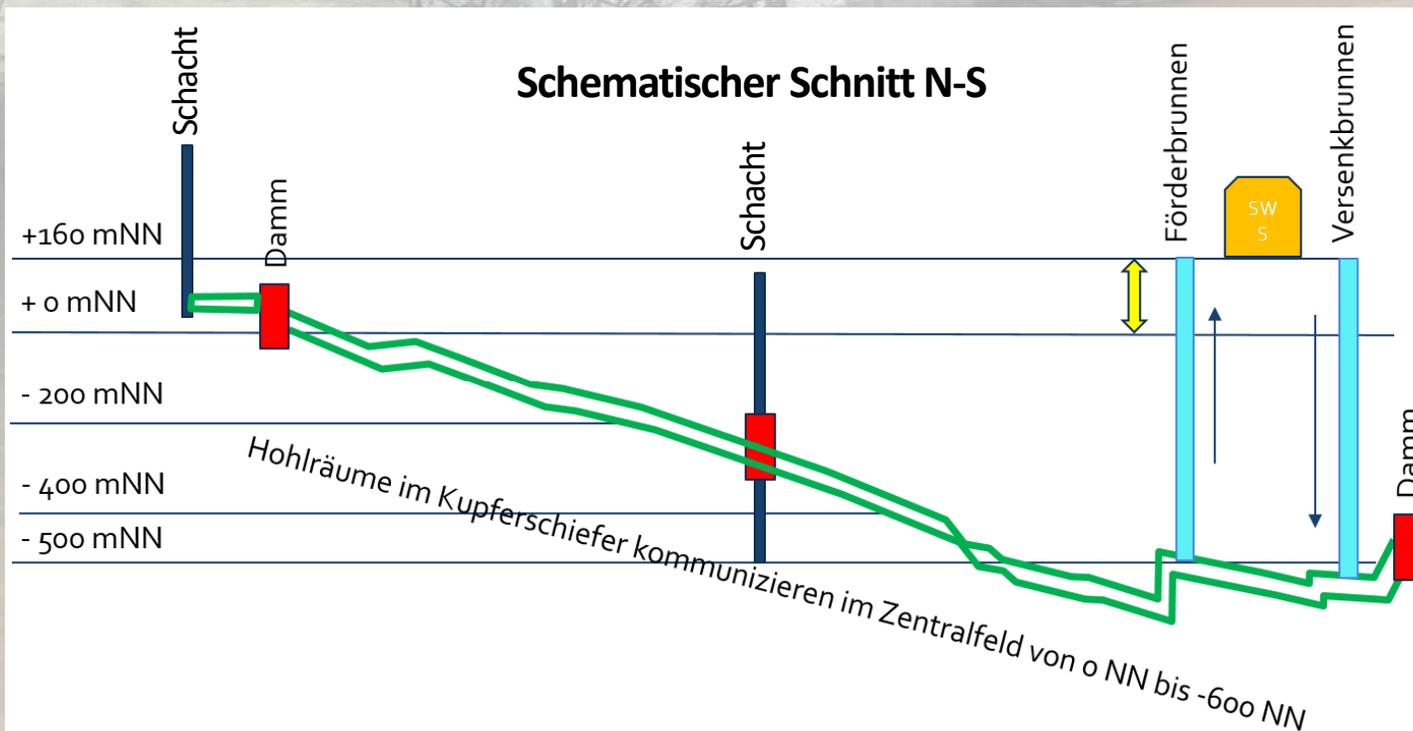


### Technische Entnahmesituation

- 4,6 Mio. m<sup>3</sup> Grubenwasser
- Höhenlage Hohlräum: 0 bis -600 mNN
- Teufe Bohrungen: 650 m
- Förderhöhe: rund 160 m

### Vermuteter Zustand Grubenwasser

- Dichte 1,17-1,19 g/cm<sup>3</sup>
- Salzgehalt (NaCl) 300 g/l -> viel Chlorid!
- Sulfatgehalt ca. 5 g/l
- Abdampfdruckstand 260-330 g/l
- pH-Wert 5 und geringer (pH 3 möglich)
- Temperatur etwa 22°C
- Metalle: 5 bis 10 mg/l Zink, restliche Metalle (Cu, Ni, Cr, Pb) insgesamt kleiner 1 mg/l



## Randbedingungen für die Grubenwasserentnahme

- **Tiefenlage der nutzbaren Grubenbaue Bereich Sangerhausen: rund 300 bis 700 m unter Gelände (3. Sohle -120 mNN, 12. Sohle -520 mNN, 8. Sohle -530 mNN)**
  - **Keine dauerhafte Veränderung der Mineralisation der Grubenwässer (Salzgehalt  $\geq 300$  g/l wird erwartet)**
  - **Keine Initiierung von Umlöse- oder Ausfällungsprozessen untertage oder im Leitungssystem**
  - **Keine Nutzung im Bereich vorhandener Salzaufschlüsse im Grubengebäude**
  - **Beachtung der hydraulisch durch Dämme abgetrennten Grubenbereiche und der Wirkung der sonstigen Dammbauwerke untertage**
- **Kreislaufsystem – keine dauerhafte Entnahme**
  - **Entnahme und Einleitung in ähnlicher Teufenlage**
  - **geschlossener Druckkreislauf**

**Vorschlag für Pilotbetrieb im Südfeld**

**Wärmeübergang Gestein/Grubenwasser – Entzugsleistung:**

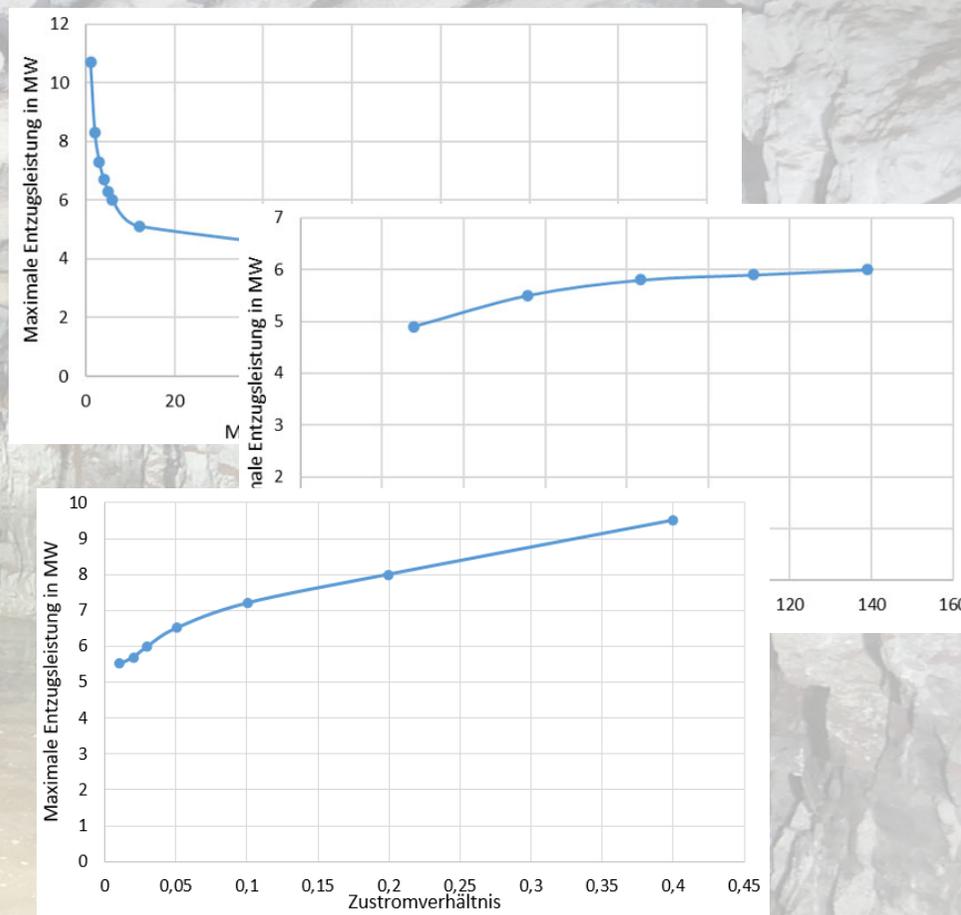
**Petrografie der Strecken und Flachen:**

- Kalkstein – Firste + 2/3 des Stoßes
- Sandstein – Sohle + 2/9 des Stoßes
- Mergel / Tonstein – 1/9 des Stoßes

**Wärmeleitfähigkeitskoeffizient des Gesteins von 3 W/(m\*K)**

**Streckenlängen und Abbaufächen Sangerhausen**

Grubenfeld	Länge Strecken [m]	Länge Flachen [m]	Länge zugängliche Bereiche [m]
Nordfeld	11 957	8 730	20 688
Nordwestfeld	28 828	11 938	40 766
Südfeld	29 457	14 083	43 540
<b>Summe</b>	<b>87 027</b>	<b>46 127</b>	<b>104 994</b>



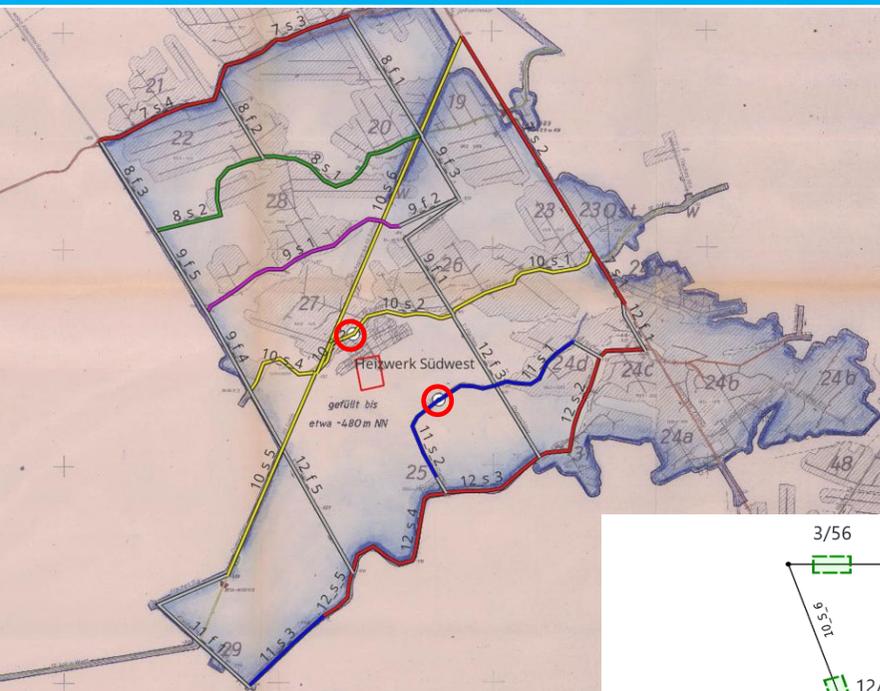
**Bei ca. 105 km Strecken und Flachen nach 6 Monaten würden theoretisch kontinuierlich maximal 14,5 MW zur Verfügung stehen (Wärmemenge aus Gestein, Grubenwasser ausgebeutet).**

## Bohrtechnik, Brunnenausbau

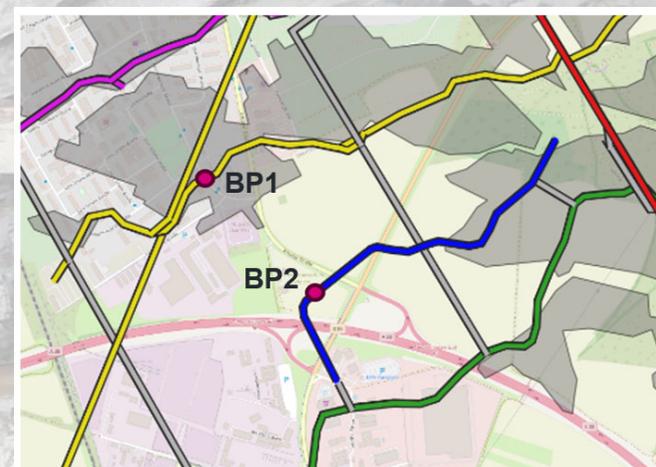
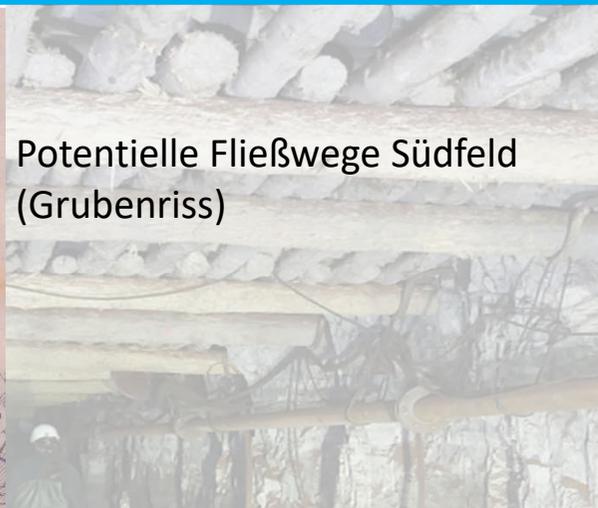
- Gut erprobter Stand der Technik zu Errichtung von Bohrungen bis zu rund 700 m Tiefe vorhanden.
  - Abweichungen aus der Lotrechten können auf maximal 30 cm begrenzt werden.
  - Ausreichend für das Anbohren der 3 bis 4 m breiten Strecken.
  - Entscheidend ist die Auswahl des Bohransatzpunktes, die genaue Zulegung der Grubenrisse und Orientierung zur Tagesoberfläche.
  - Praxisbeispiel: Am Standort wurde 1993 bei der Errichtung einer Flutungsbohrung bereits erfolgreich eine Strecke in dieser Teufenlage angebohrt.
  - Erforderliche Aufschlüsse: Förderbrunnen, Versenkbrunnen und Pegel (GWM zur Grubenwasserbeobachtung).
  - Brunnen: 20 Zoll Bohrung mit 16 Zoll Ausbau  
GWM: 8 Zoll Bohrung mit 5 Zoll Ausbau.
- Auslegung der Pumpen erst nach erfolgreicher Bohrung eines Pegels, da der sich einstellende tatsächliche Druckspiegel im gefluteten Grubengebäude aktuell nur vermutet werden kann.
- Entscheidender Einfluss der zu überwinden Förderhöhe auf den Energieverbrauch und somit die Wirtschaftlichkeit des Kreislaufbetriebes.



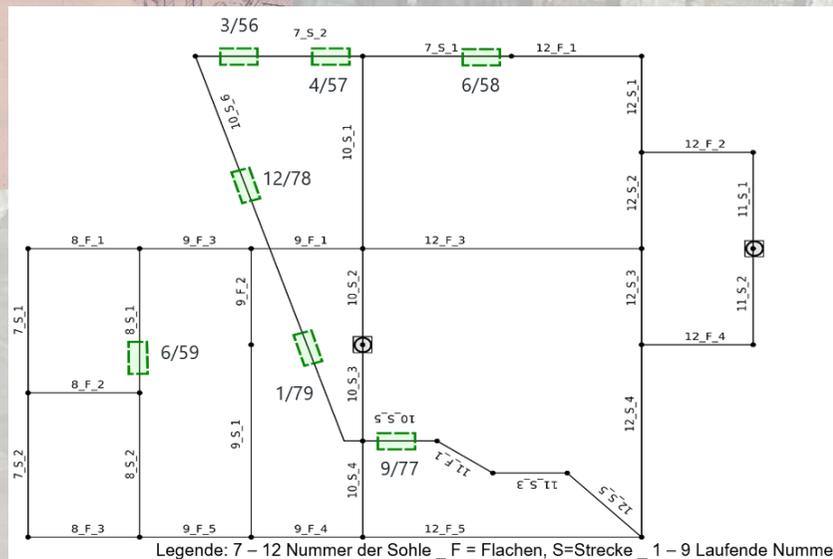
Durchschlag einer Bohrkronen in einem Grubenbau  
(Quelle: Micon GmbH, Nienhagen)



Potentielle Fließwege Südfeld (Grubenriss)



Untertägiges Grubengebäude sowie Anbohrpunkte 1 und 2

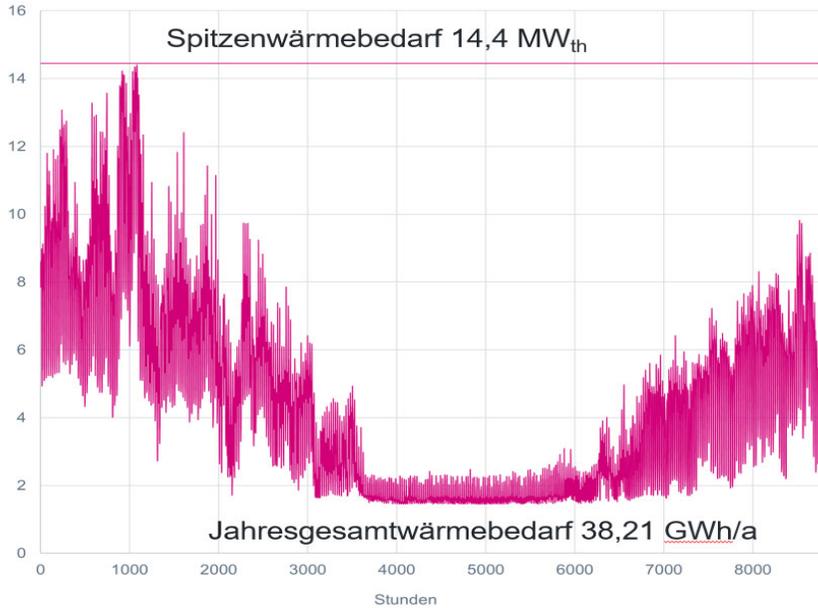


Potentielle Fließwege Südfeld mit Salzaufschlüssen



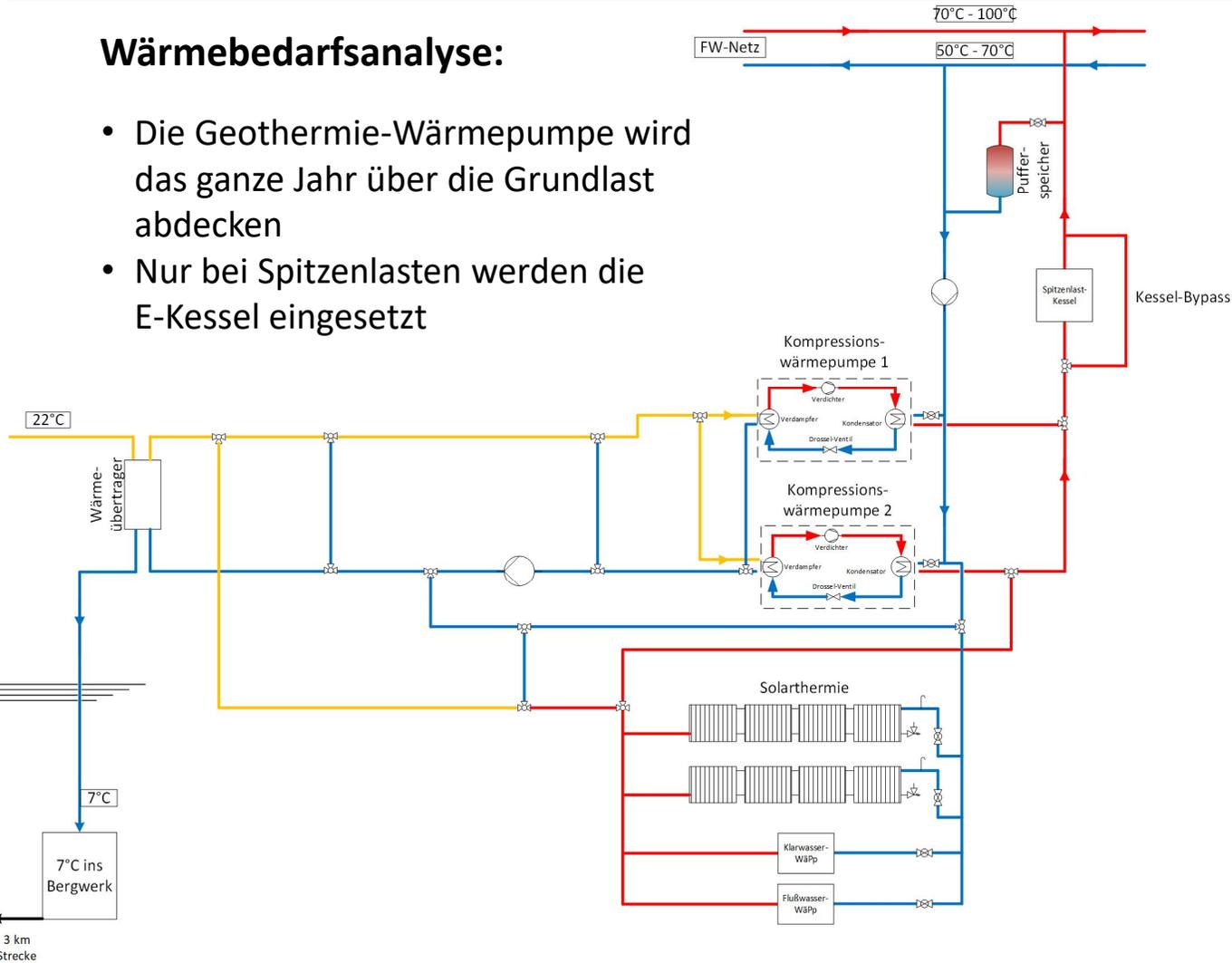
Obertägige Bohrpunkte 1 und 2 sowie Anschluss der Energiezentrale (AEZ) inkl. verbindende Rohrleitungen (rot)

Wärmeerzeugung: HW Südwest, HW Nord, HW Nord

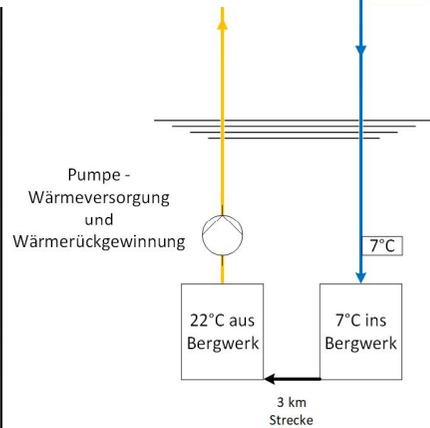


## Wärmebedarfsanalyse:

- Die Geothermie-Wärmepumpe wird das ganze Jahr über die Grundlast abdecken
- Nur bei Spitzenlasten werden die E-Kessel eingesetzt



Die neue geplante Energiezentrale wird von einer Solarthermieanlage unterstützt



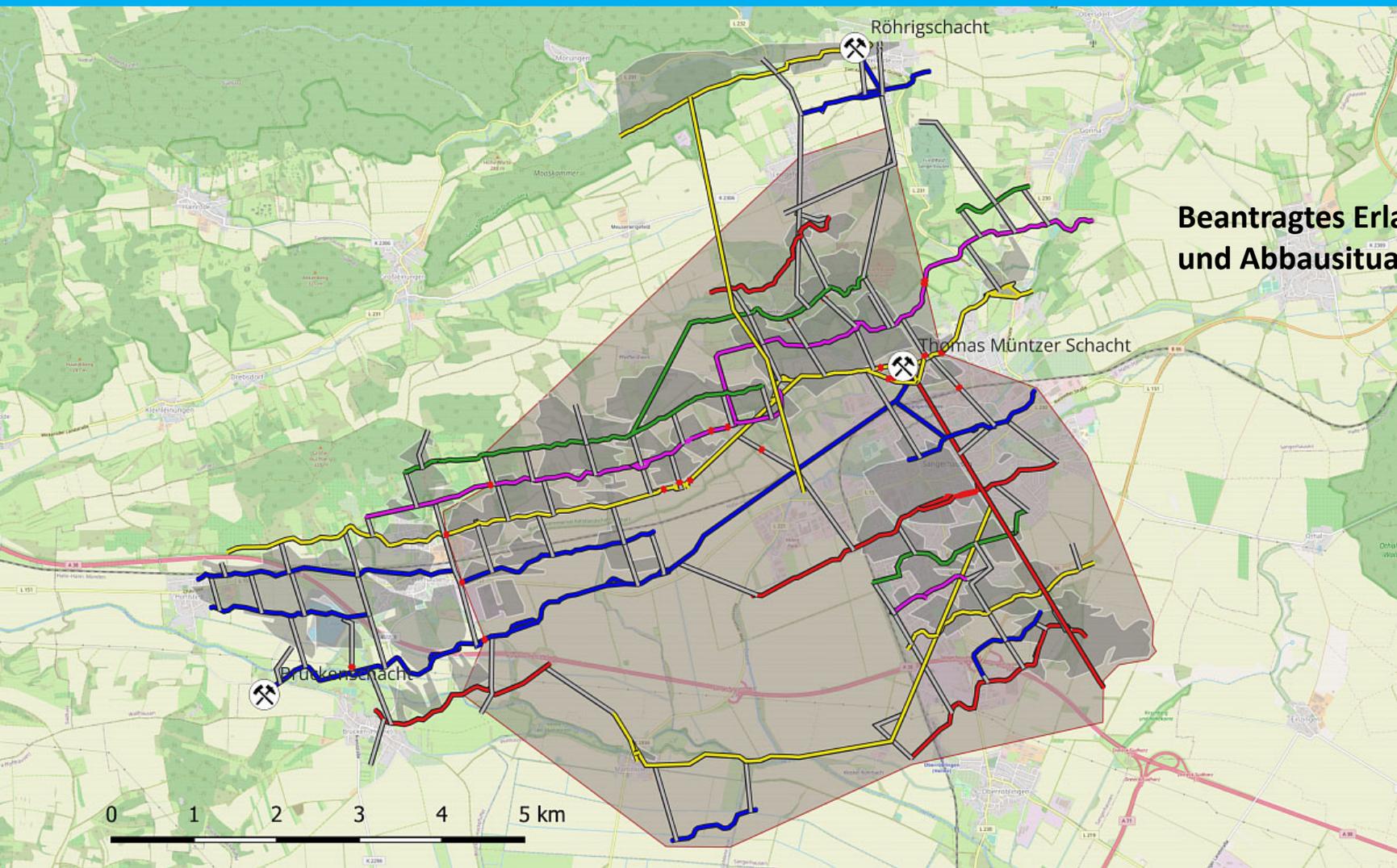
## Nächste Schritte:

Mehrstufiges Verfahren zum Nachweis der Grundlagen für die Errichtung der geothermischen Anlage:

- Nachweis der chemischen Stabilität der Grubenwässer im simulierten Förderstrom und bei Druck- und Temperaturänderungen im geothermischen Prozess,
- Nachweis der geothermischen Machbarkeit im Kreislaufbetrieb, Ermittlung der Leistungsdaten, realen Förderhöhen, Umlaufdauer, Stabilität der Wärmeentnahme,
- Darstellung der Wirtschaftlichkeit über den Betriebszeitraum.

➤ **Antrag zur Nutzung des geothermischen Potenzials von Grubenwasser des ehemaligen Mansfelder Kupferbergbaus am Standort Sangerhausen**

# Geothermische Nutzung von Grubenwasser in der Sangerhäuser Mulde



**Beantragtes Erlaubnisfeld „Sangerhausen“  
und Abbausituation mit Tagesoberfläche**



## Theoretische Wärmemengen aus dem Segen Gottes Stollen

Bei:  
einem Abfluss von  $5 \text{ m}^3/\text{min}$   
einer Stollenwasser Temperatur  $\approx 10 \text{ Grad}$   
und Absenkung mit einer Verdichtungsstufe um  $5 \text{ Kelvin}$

- Theoretisch entziehbare Wärmemenge  $1,75 \text{ MW}$



**Geothermische Nutzung  
von Grubenwasser  
in der Sangerhäuser Mulde**

**Glück Auf!**

