

SpeicherCity – Modelle zur Systemintegration von Aquiferspeichern in Städten

Wer sind wir...



Elena Petrova (GFZ)

Jan Niklas Nordheim (CAU)



Maximilliam Dörnbrack (UFZ)



Ruben Stemmler (KIT)



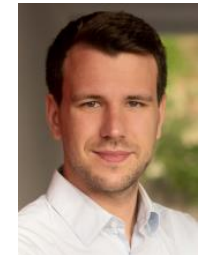
Matthias Herrmann (KIT)



Unser Ziel ist die Integration von Aquiferspeichern in die heutigen sowie zukünftigen Energiesysteme

Laura Lehmann (TUD)

Kevin Bock (TUD)



Maximilian Noethen (MLU)



Florian Hahn (IEG)



Benjamin Pfluger (IEG)

Grubenwärmespeicher Markgraf II Bochum

- Pilotanlage zur saisonalen Wärmespeicherung aus Heatstore Projekt
- ehemalige Kleinzeche
- Festgestein in 23 m Tiefe

- Produktions-, Injektions- und Observationsbohrung vorhanden
- Bewirtschaftung mit solar aufgewärmten Wasser (max. 60°C)

Luftbild des IEG Bohrplatzes überlagert mit dem Grubenblauschnitt der Kleinzeche Markgraf II (grau). Die geplanten Bohrungen sind mit roten Punkten dargestellt.

Stadt Freiburg i. Br.

- Lockergesteinsabfolgen mit hohem Potential für thermische Grundwassernutzung
- Daten zu Kältebedarf und thermisches Grundwassermodell vorhanden

SpeicherCity		
AP1: Koordination 	Advisory Board	
AP2: Standort- und Systemcharakterisierung 		AP8: Akzeptanz & Transfer
AP3: Wärmetransport-modellierung 		AP7: Energiesystem-modellierung
AP4: Kopplung Speicher- und Netzmodelle 	AP5: Netzmodellierung 	AP6: Umwelt-auswirkungen

Campus des Wissenschaftsparks Leipzig

- bekannte Konzentration von Schadstoffen im Grundwasser vorhanden (ATES-I Projekt)
- zahlreiche Vorarbeiten, Daten, sowie Modellansätze vorhanden

Beispielhafte Modellergebnisse für den chemischen Stofftransport in OpenGeoSys (links). Gebäude des UFZ Leipzig (rechts, www.grundwasser-le.de)

Stadt München

- umfangreiche Daten von zahlreichen thermischen Grundwassernutzungen
- geplante Einbindung von saisonalen und kurzfristigen Hochtemperatur-Tiefenspeichern in das Münchner Fernwärmenetz

Potentialkarte für die thermische Grundwassernutzung in München (Quelle: Geoportal München, Energieportal)



Grubenwärmespeicher Markgraf II Bochum

- Pilotanlage zur saisonalen Wärmespeicherung aus Heatstore Projekt
- ehemalige Kleinzeche
- Festgestein in 23 m Tiefe




- Produktions-, Injektions- und Observationsbohrung vorhanden
- Bewirtschaftung mit solar aufgewärmten Wasser (max. 60°C)





















Luftbild des IEG Bohrplatzes überlagert mit dem Grubenblauschnitt der Kleinzeche Markgraf II (grau). Die geplanten Bohrungen sind mit roten Punkten dargestellt.

Stadt Freiburg i. Br.

- Lockergesteinsabfolgen mit hohem Potential für thermische Grundwassernutzung
- Daten zu Kältebedarf und thermisches Grundwassermodell vorhanden

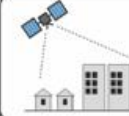




SpeicherCity		
<p>AP1: Koordination</p>  	<p>Advisory Board</p>	
<p>AP2: Standort- und Systemcharakterisierung</p>  		<p>AP8: Akzeptanz & Transfer</p>  
<p>AP3: Wärmetransportmodellierung</p>  		<p>AP7: Energiesystemmodellierung</p>  
<p>AP4: Kopplung Speicher- und Netzmodelle</p>  	<p>AP5: Netzmodellierung</p>  	<p>AP6: Umweltauswirkungen</p>  
		

Uni Campus Kiel

- erhebliches Potential für Aquiferwärmespeicher
- zukünftige Energieversorgung von Laborgebäuden, Bürogebäuden, Wohnheimen und einem Rechenzentrum
- geplante Einbindung flexibler Temperatureniveaus und Monitoringansätze





Luftbild des bestehenden Campus (links), und Beispiel einer Lastkurve mit numerischer Abbildung des Speicherbetriebs. (www.ams.kiel.de/ Gebäudemanagement CAU Kiel)

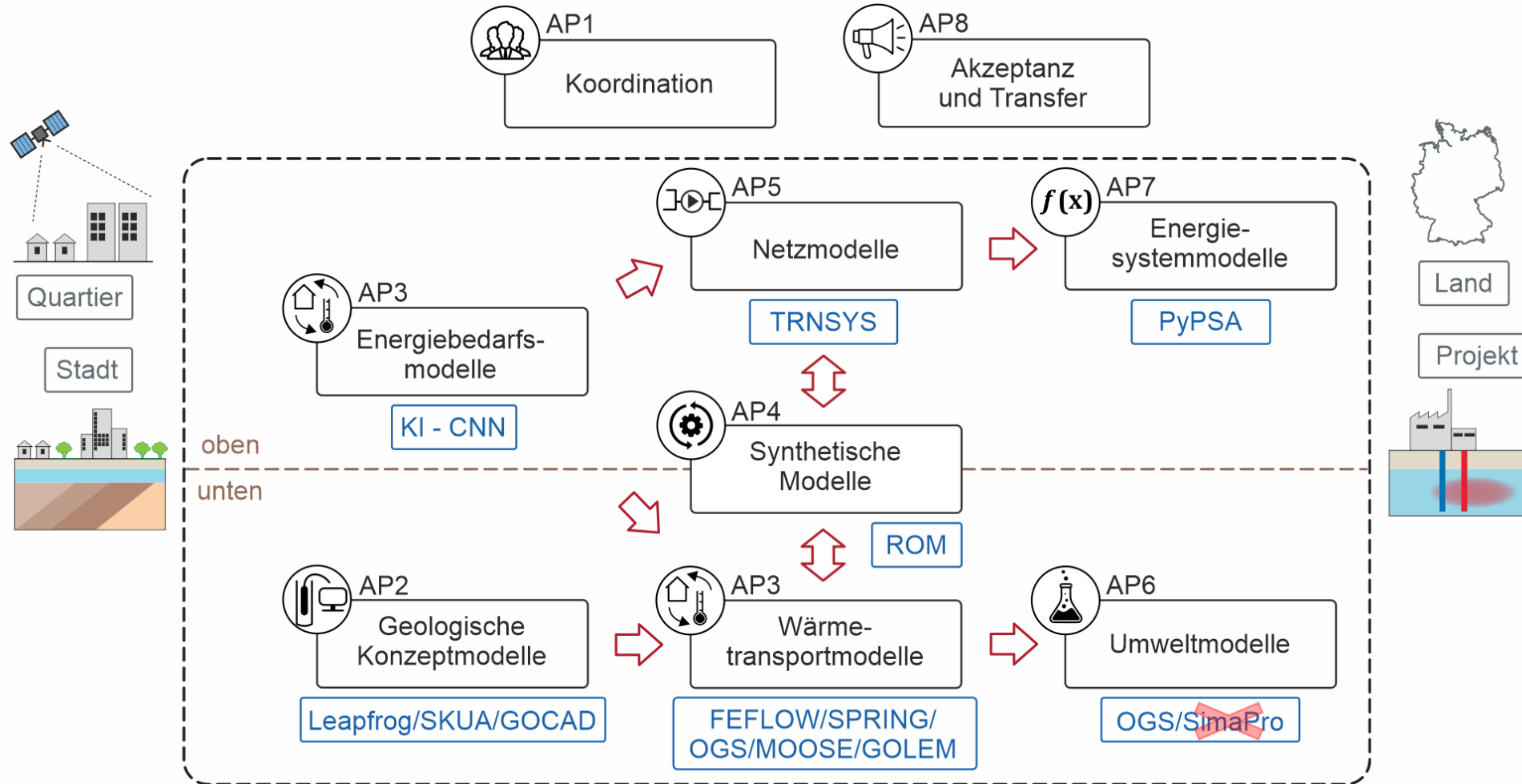
Berlin Spandau

- Wärme-/Kälteversorgung Stadtquartier
- Festgestein in ca. 500 m Tiefe
- bestehende Infrastruktur eines Erdgasspeichers
- zahlreiche Tiefbohrungen vorhanden



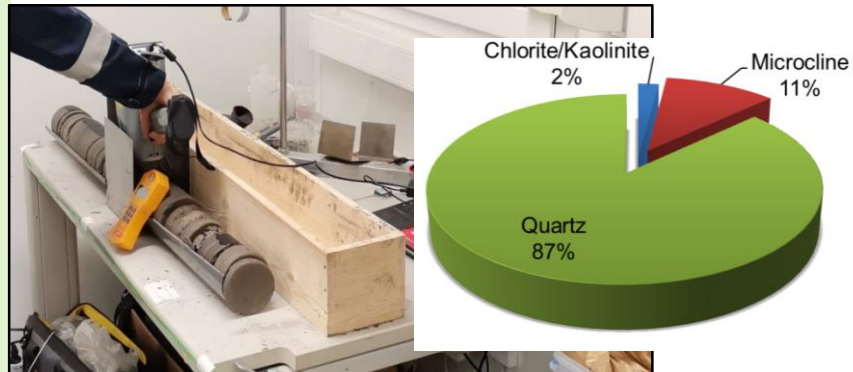


Modelle und Modellkopplungen

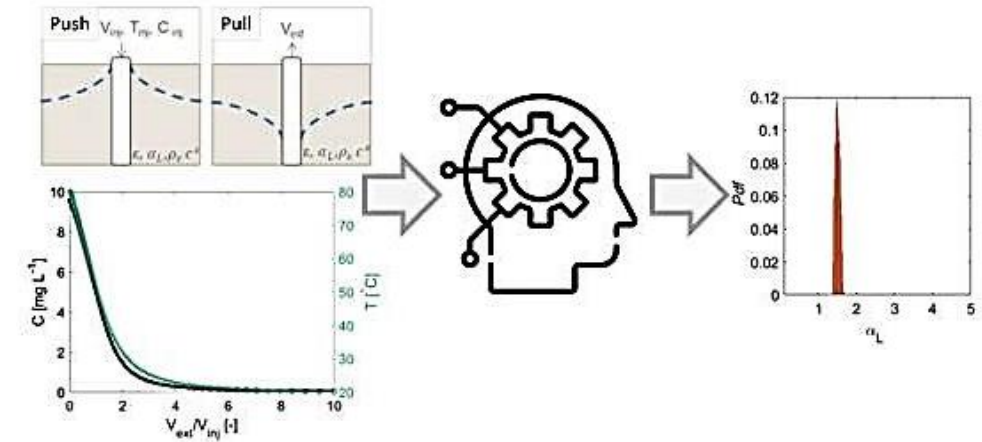


Completed

THC System characterisation

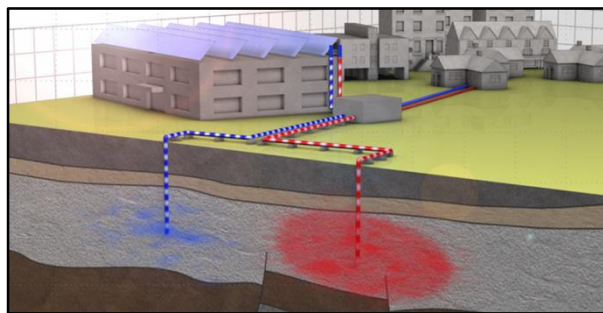


Stochastic framework for parameter estimation Push-Pull experiments

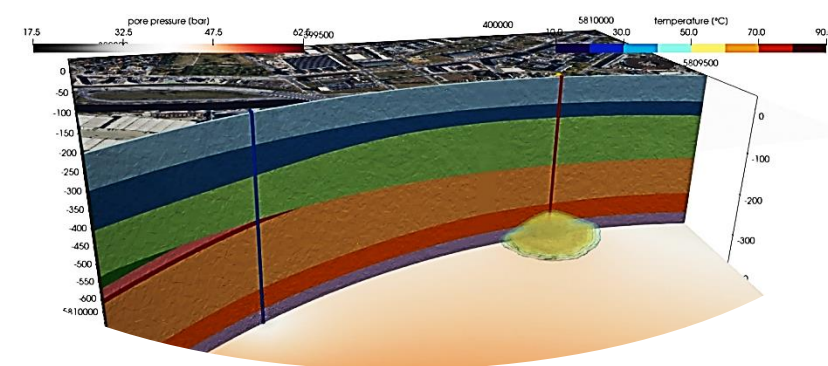


In process

Field + lab experiments to identify effective aquifer parameters

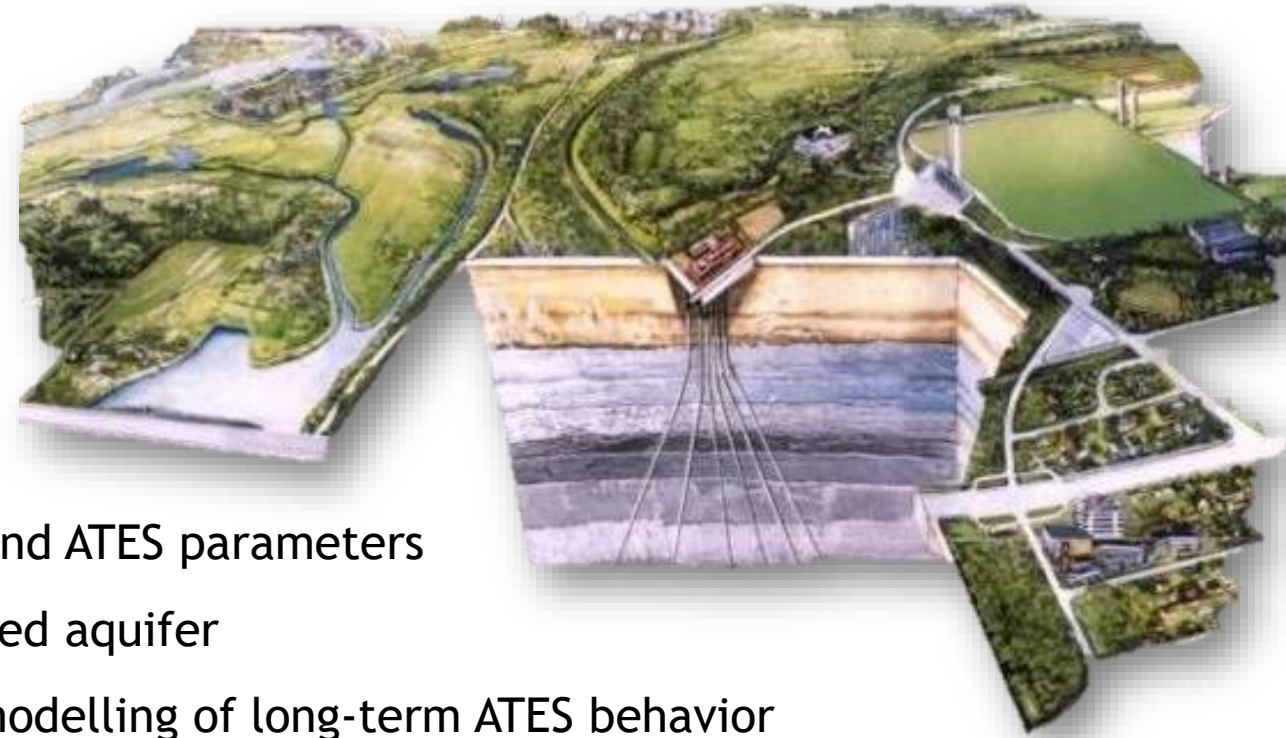


Parameter-informed 3D physics-based modelling of long-term ATEs behavior



Completed

- ✓ THC System characterisation
- ✓ Preliminary modelling of ATEs system
- ✓ Field + lab experiments to identify effective aquifer parameters



In process

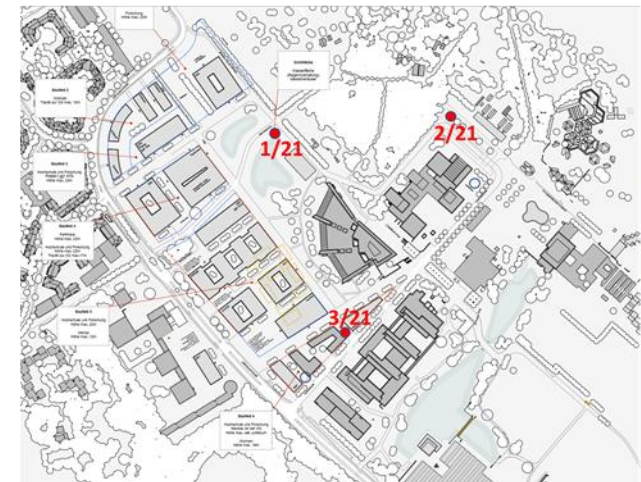
- Characterization of the key geological and ATEs parameters
- Conceptual model selection of a fractured aquifer
- Parameter-informed 3D physics-based modelling of long-term ATEs behavior

Neubau und Neuentwicklung im Bestand der CAU Kiel am Campus Bremerskamp bis 2050:

- Voraussichtlicher Wärme-/Kältebedarf im Bereich 10.000 bis 20.000 MWh/a, bei ca. 5 MW Spitzenlast
- Verbesserung der Kühleffizienz und Nutzbarmachung der Abwärme durch geologische Wärme-/Kältespeicher (ATES/BTES)
- Unsicherheit des zeitlichen Gebäudestruktur- und Energie-Entwicklungspfads

Ziele des Teilprojekts:

- Optimale ATES-Dimensionierung
- Identifikation von Anpassungsoptionen und -zeiten
- Abschätzung der thermisch-hydraulischen Umweltauswirkungen unter Unsicherheiten der obertägigen Entwicklung und Hydrogeologie



Wesentliche Arbeitsschritte:

- 1) Zusammenstellung und Bewertung hydrogeologischer und hydrogeothermischer Daten als Grundlage zur Modellparametrisierung
- 2) Erstellung eines ATES-Modells
- 3) Erstabschätzungen der thermischen und hydraulischen Auswirkungen
- 4) Entwicklung und Validierung von Ansätzen zur effizienten TH-Simulation von Brunnen und Druckauswirkungen im Brunnennahfeld

Next:

- Bestimmung der k_f -Werte mit der NMR-Sonde (KIT)
- Auslegung des Brunnennahfeldes

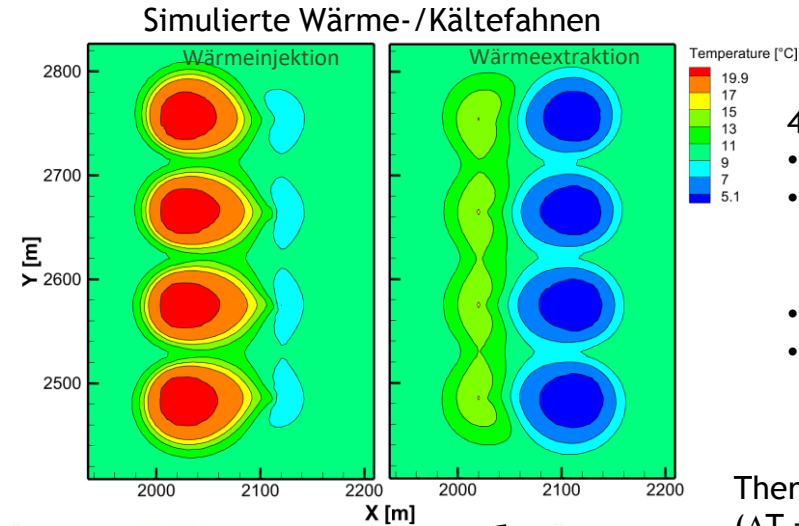
1

LLUR 616
7.2.2023
Flintbek,

Hydrogeol. 3D-Modell
Geothermischer
Tiefenspeicher
Bremerskamp

Landesamt für Umwelt (LfU)
des Landes Schleswig-Holstein
Abteilung Geologie und Boden

--
Dr. Christoph Haase



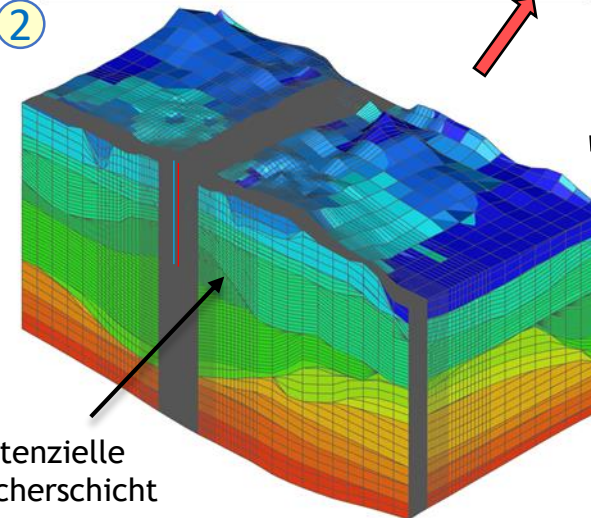
- 4 Brunnendoubletten
- Saisonaler Betrieb
 - Injektionstemperaturen
 - Warme Seite: 20°C
 - Kalte Seite: 5°C
 - Gesamtpumprate: 135 m³/h
 - Brunnenabstand: 90 m

Thermischer Auswirkungsraum
($\Delta T = 2^\circ\text{C}$)

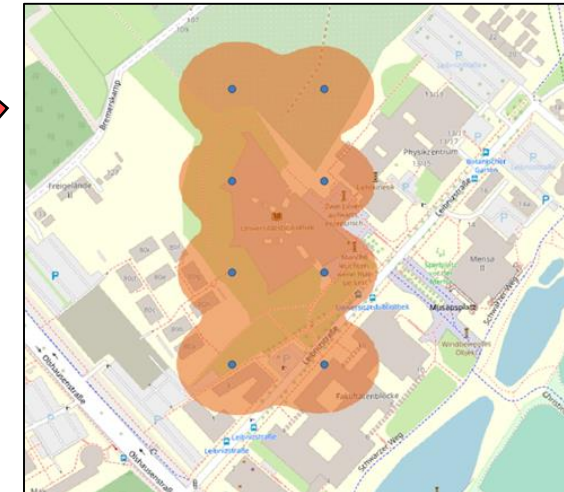
2

Numerisches
Modell mit
OpenGeoSys

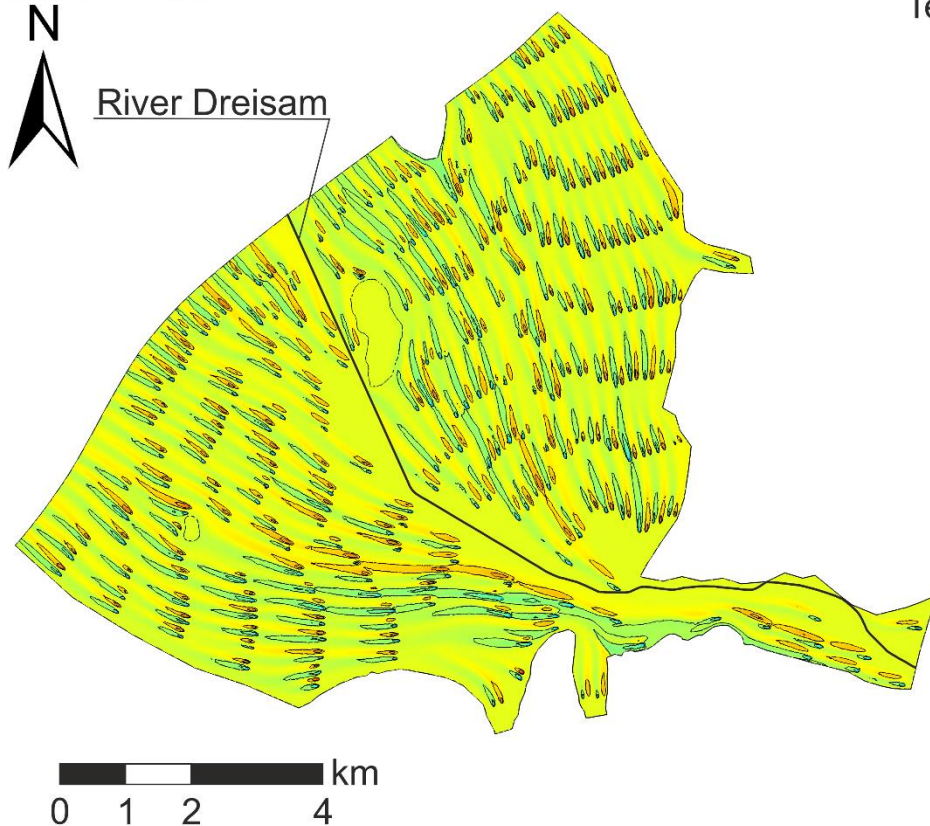
Potenzielle
Speicherschicht



3

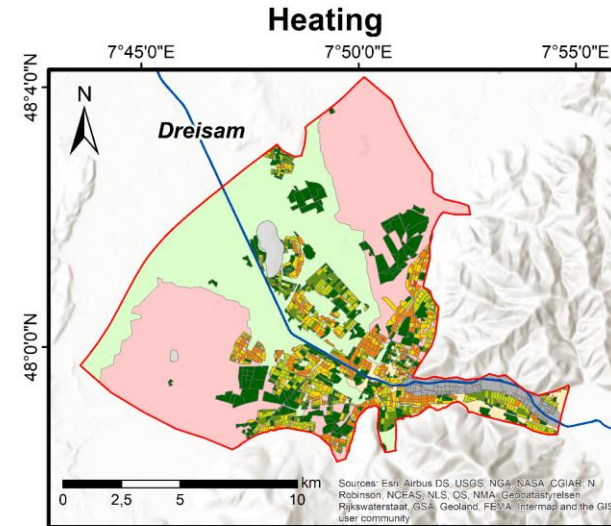
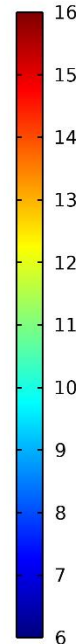


AP3 (CAU): Wärmetransportmodellierung von ATES-Systemen



City-scale subsurface model of Freiburg after 30 years of ATES operation in the Neuenburg Formation.

Temperature [°C]



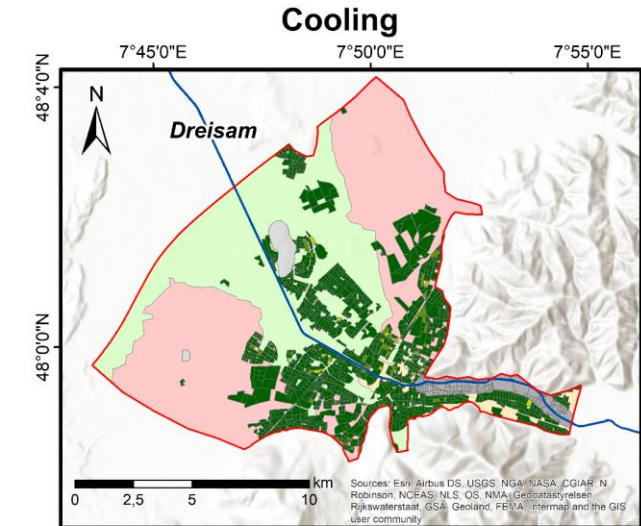
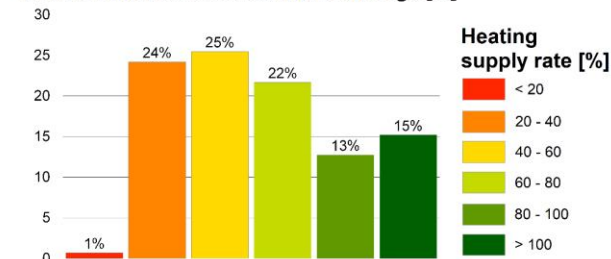
Legend

- Study area
- River
- Hydraulically isolated area

Power density heating [Wm⁻²]

- Not feasible
- 2.7
- 2.8
- 3.2

Relative number of residential buildings [%]



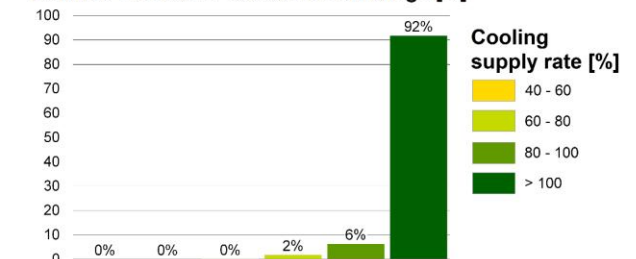
Legend

- Study area
- River
- Hydraulically isolated area

Power density cooling [Wm⁻²]

- Not feasible
- 1.9
- 2.0
- 2.3

Relative number of residential buildings [%]



Stemmler et al. (in review)

1. Synthetic numerical model

- Evaluate HT-ATES development at the German Molasse Basin
- Numerical model representative of the reservoir conditions

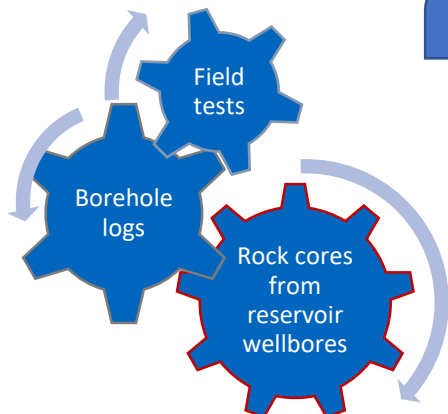
2. Reduced Basis Method

- Reduced Order Model (ROM) reproducing the finite element (FEM) solution

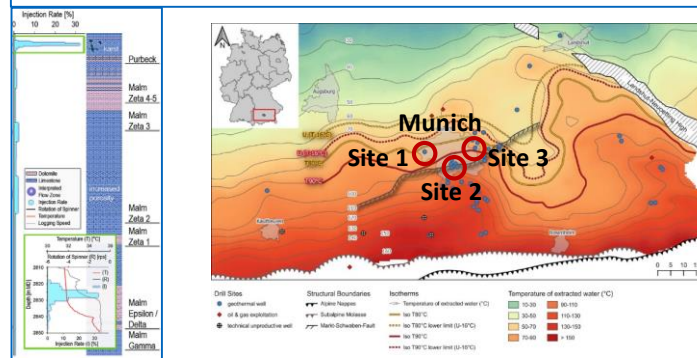
3. Parametric analysis

- ROM utilized in an extensive parameter matrix composed of encountered reservoir rock properties and feasible operation parameters

Deployed datasets

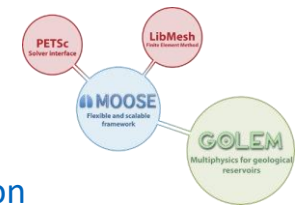


- Fluid migration control in the reservoir
- ✓ North of Munich → Matrix/karst
- ✓ Central Munich → Karst (Freiham)
- ✓ South of Munich → Fracture/fault



Numerical analysis

Open-source **MOOSE** [1] framework (Multiphysics Object-Oriented Simulation Environment) and complementary **Golem** [2] application



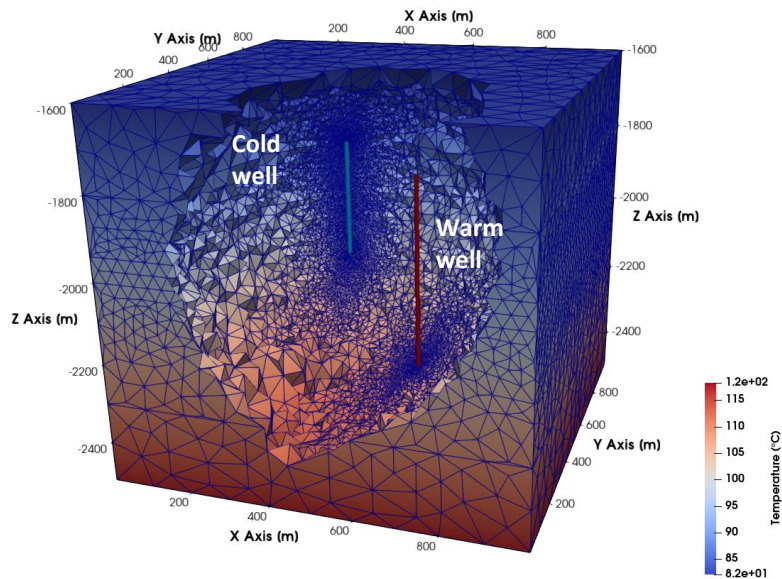
Coupled thermal hydraulic simulations

TH

$\mu \rho$
IAPWS
thermodynamic
property
formulations

Density and viscosity variation

Numerical model

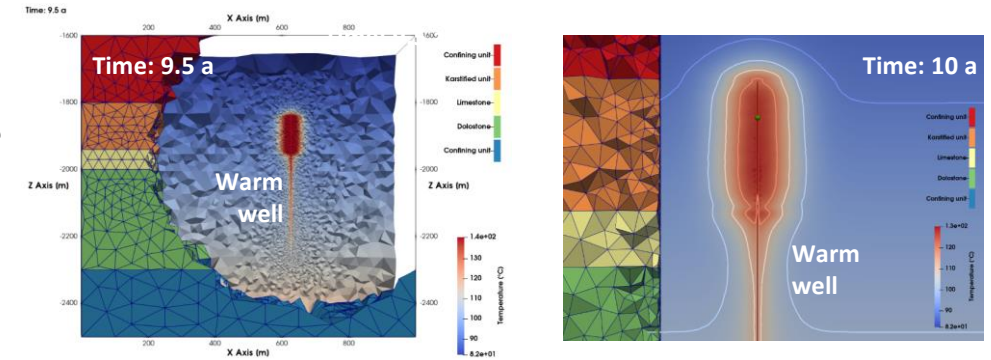


- Numerical models constrained by known Upper Jurassic reservoir properties and locally feasible operation parameters
- Heat storage performed through two vertical wells
- Seasonal operation with semi-annual load cycles over 10 a

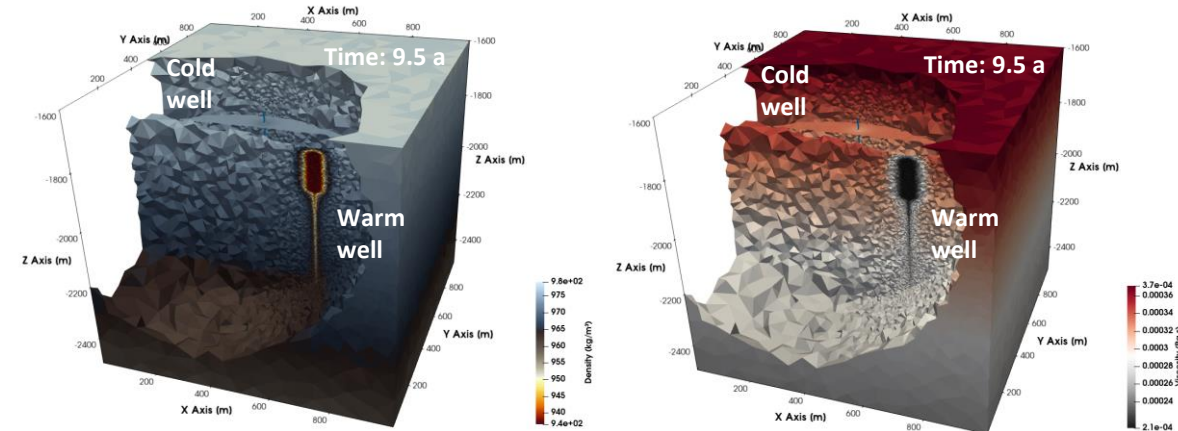
Numerical results

Simulated temperature field

- Thermal perturbation in the reservoir rock matrix
- Preferential thermal front propagation in high-permeability zone



Density and viscosity induced variation: Higher variation in the warm wellbore due to higher temperature differential between reservoir rock and injected fluid



1. Wärmenetzmodellierung

- Standortwahl gemäß geeignetem Untergrund für ATES-Nutzung
- Modellerstellung auf Basis von lokal bestehenden Netzen, über Abnehmermodelle sowie technischen Anschlussbedingungen

2. Szenarien- und Sensitivitätsanalyse

- Prüfen der Wirkung des Untergrundspeichers auf die Energieinfrastruktur bei Variation einzelner Systemparameter über Variantenrechnung in TRNSYS-TUD
- Zu analysierende Kriterien sind z.B. Endenergieeinsparung, Emissionsminderungen, Laufzeiten von Anlagen, usw.

3. Optimierung der Regeltechnik

- Abgeleitet von den Simulationsergebnissen sollen Handlungsempfehlungen für die Nutzung von ATES in verschiedenen Fernwärmenetzszenarien erstellt werden

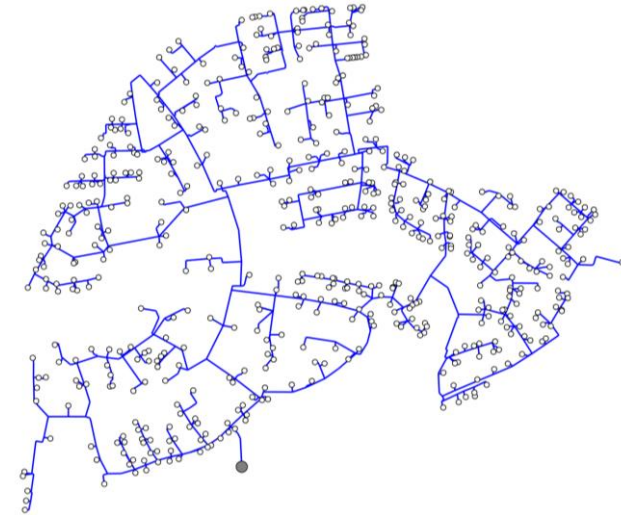


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung eines typischen Fernwärmenetzes

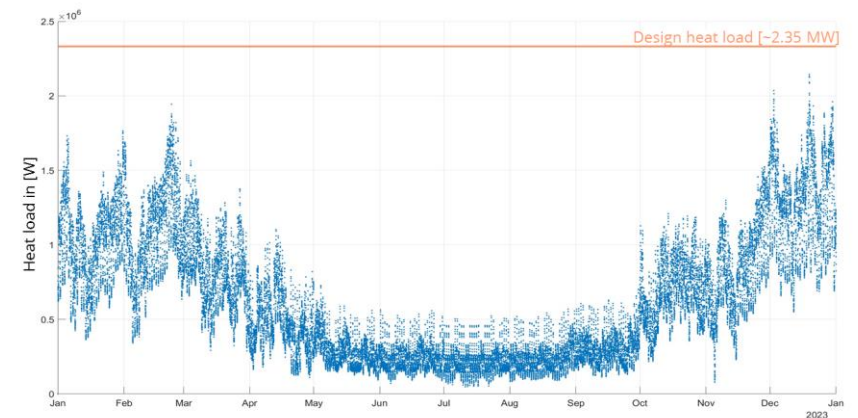


Abb. 2: Simulierte Heizlastkurve über ein Jahr

Co-Simulation: Fernwärmenetzmodell und ATEs-Modell



Abb. 3: Schematische Darstellung der Modellkopplung

- Kopplung via FMI (Functional Mock-up Interface)
- Schnittstelle für Kopplung verschiedener ATEs-Modelle der Projektpartner (softwareunabhängig)
- Definition der relevanten Prozessvariablen zum Austausch beider Modelle

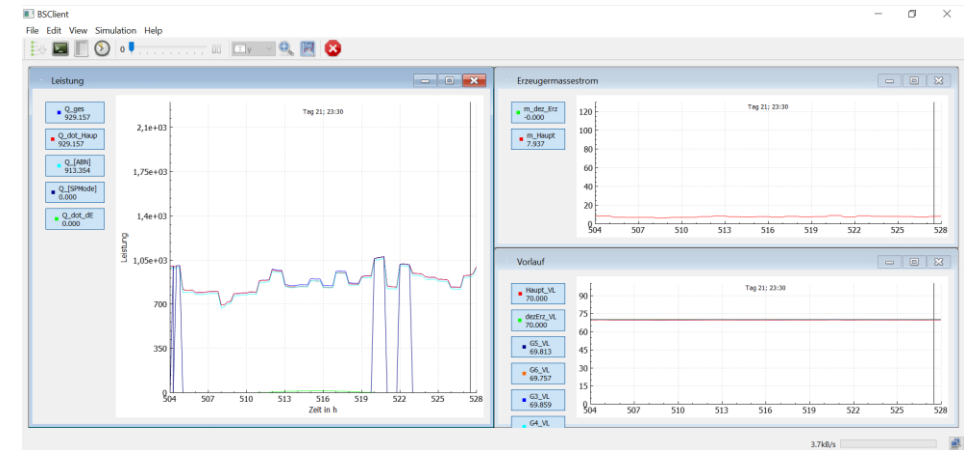


Abb. 4: Netzsimulation TRNSYS-TUD

AP6 (UFZ): Umweltauswirkungen

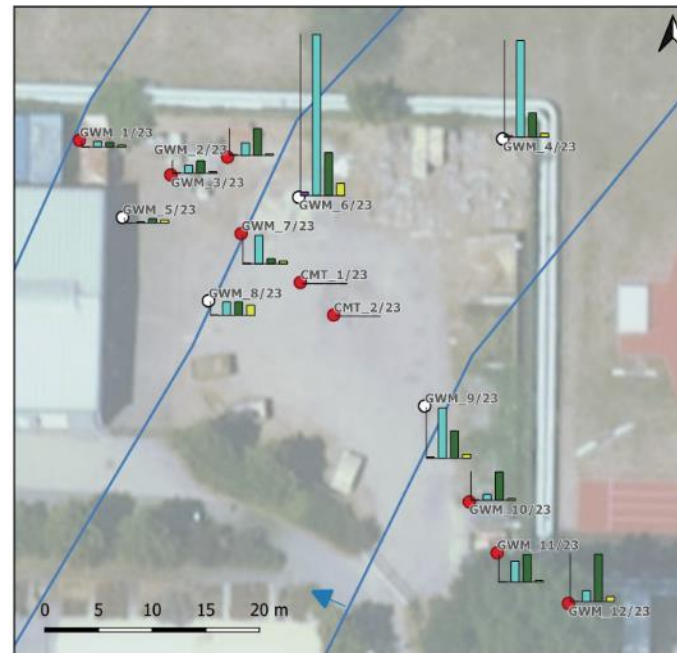
KONATES

- Cyclic operation of an ATES pilot plant in a contaminated aquifer for combination of thermal management with possible groundwater remediation
- Temperature range from 10°C up to 80°C

Test site and monitoring

- Long history of contamination: chlorinated volatile organic compounds
- Main contaminants: Trichloroethylene (TCE) up to 6.0 mg/l and cis-Dichloroethylene (cis-DCE) up to 0.4 mg/l

Verteilung der CKW-Konzentrationen am UFZ-Standort in Leipzig



Messstelle	PCE	TCE	Cis 1.2 DCE	Trans DCE
GWM_1/23	2	20	16	7
GWM_2/23	3	44	93	6
GWM_3/23	2	28	43	5
GWM_4/23	5	335	84	13
GWM_5/23	1	4	15	10
GWM_6/23	13	559	149	42
GWM_7/23	3	99	18	10
GWM_8/23	1	46	46	35
GWM_9/23	4	175	95	14
GWM_10/23	0	20	98	5
GWM_11/23	1	73	96	6
GWM_12/23	1	38	165	18

- Konates Messstellen
- Sediment vorhanden
 - kein Sediment vorhanden
 - PCE [µg/L]
 - TCE [µg/L]
 - Cis 1.2 DCE [µg/L]
 - Trans DCE [µg/L]
 - Hydroisohypsen

Baseline monitoring of contaminants (analysis and figure by Enno Borgeest and Ralf Köber, CAU Kiel)

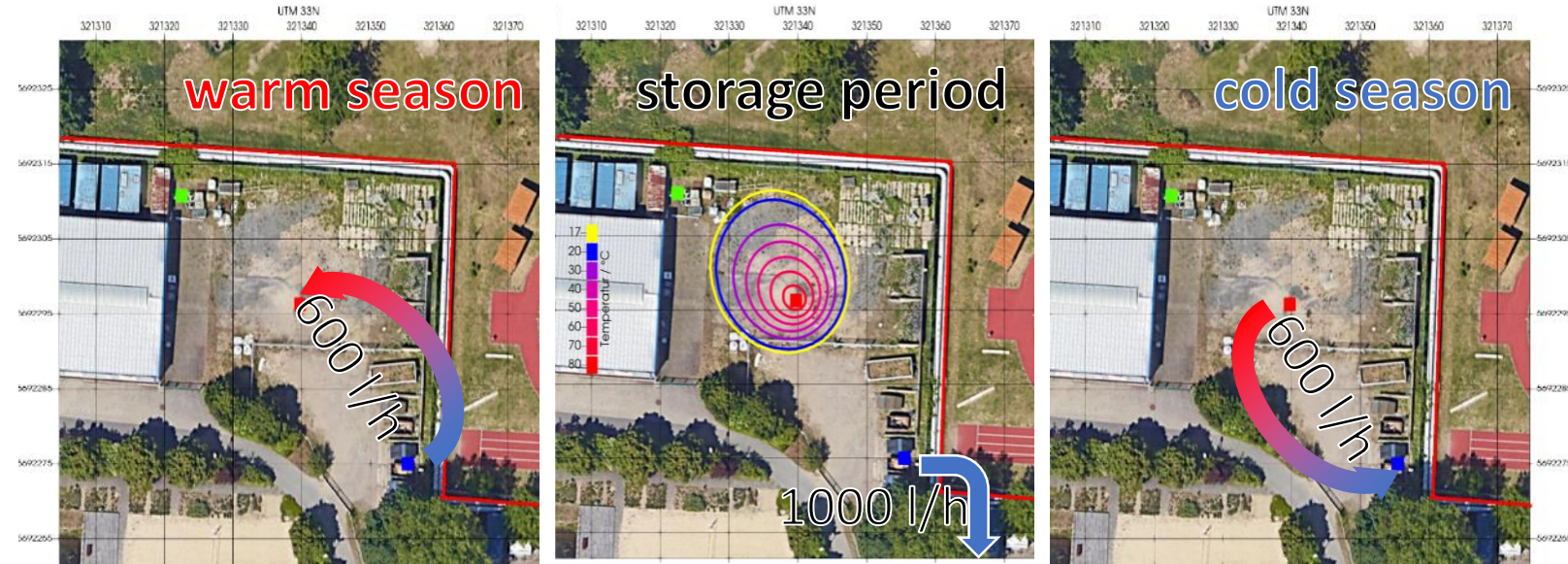


Construction of monitoring and sample sites (MET department, UFZ)

AP6 (UFZ): Umweltauswirkungen

Achievements for test site in Leipzig

- 3D HT coupled model established and running
- Modelling result of T prediction used for permitting
- Modelling result used for experimental design
- Setting up of monitoring and sample sites

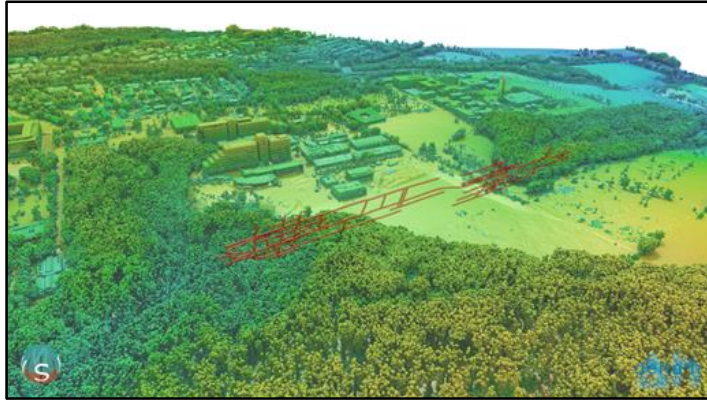


Well operation scheme for ATES project (with maximum heat plume after 2nd warm season)

To do's in 2024

- Calibration of model parameters with tracer test
- Setting up and calibration of contamination model with the recent HTC module for OGS
- Coupling with microbiological module (ISOBIO department, UFZ)

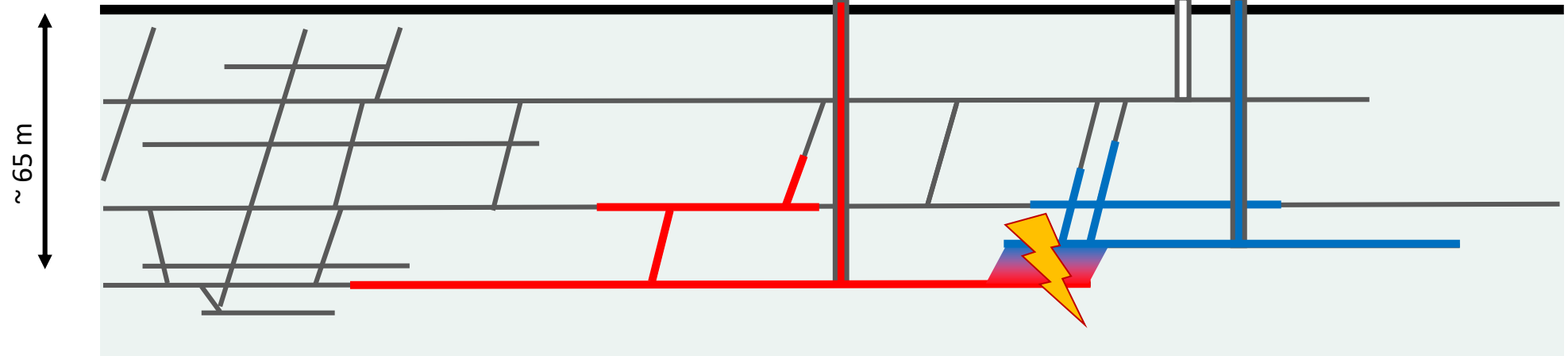
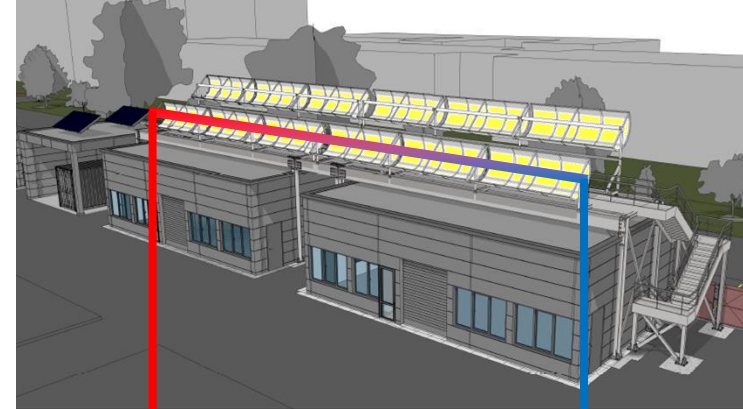
AP7 (IEG): Energiesystemmodellierung



Kleinzeche Bochum-Süd

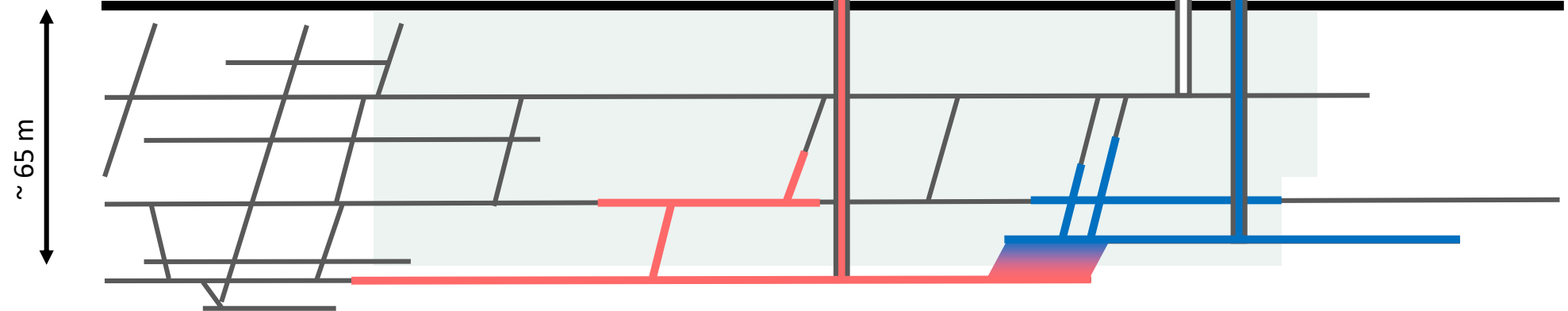
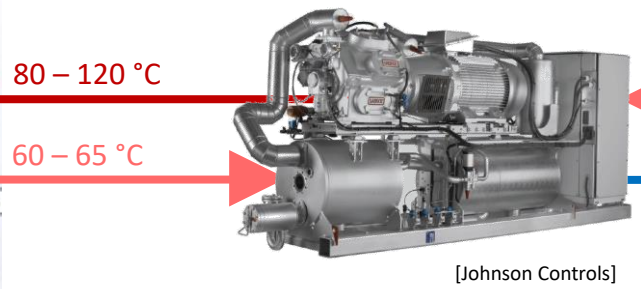
Anzahl der Module	12
Anzahl der Reihen	2
Kollektorfläche	108 m ²
Maximale Kapazität	60 kW _{th}
Temperatur	Max. 60 °C
Medium	Wasser

[Solitherm GmbH]



Sommerbetrieb

AP7 (IEG): Energiesystemmodellierung



Winterbetrieb

AP8 (MLU): Akzeptanz und Transfer

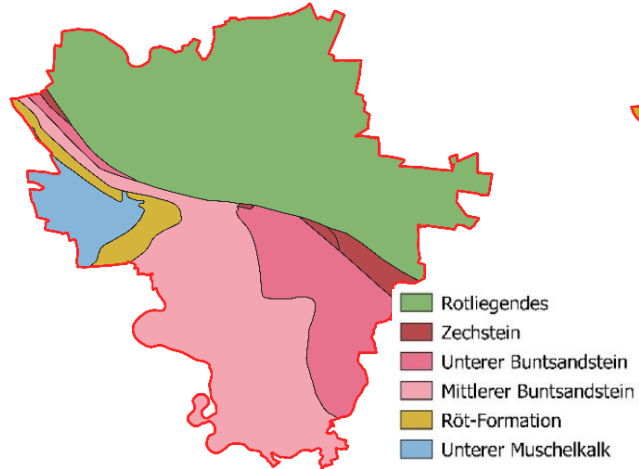


Speicher-
Lösungen
für die Zukunft

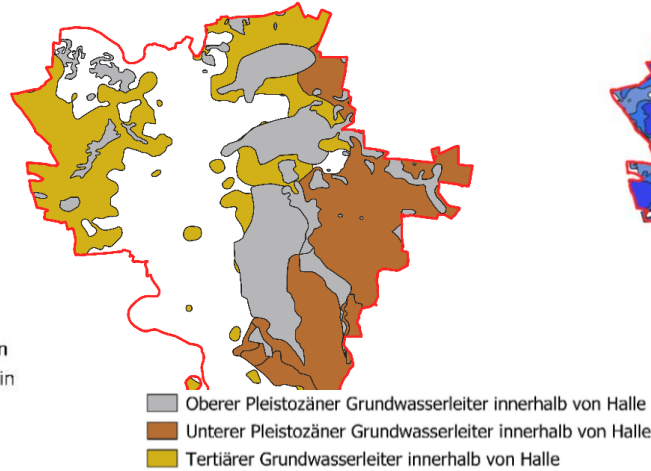
<https://speichercity.geo.uni-halle.de/>

- Aufbau der Projektwebsite
- Regelmäßige News
- Ergebnispräsentationen

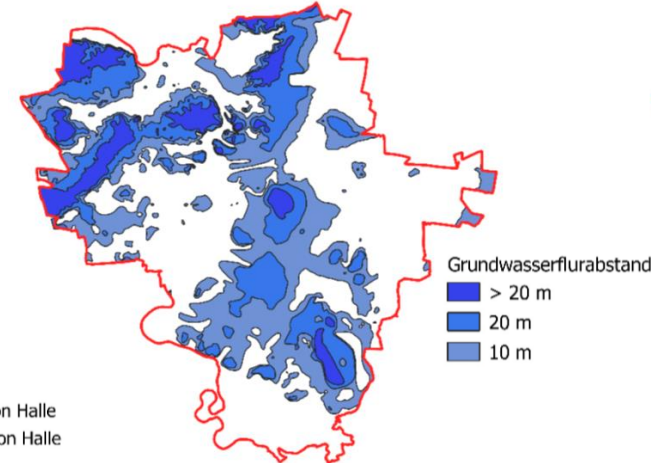
AP8 (MLU): Akzeptanz und Transfer



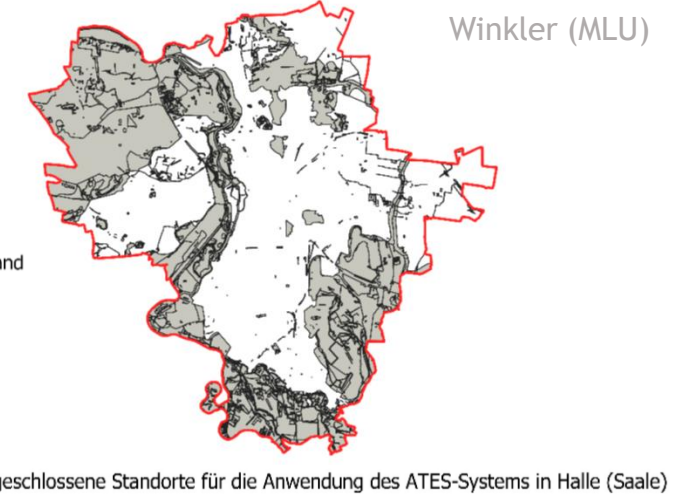
1) Geologie



2) Grundwasserleiter

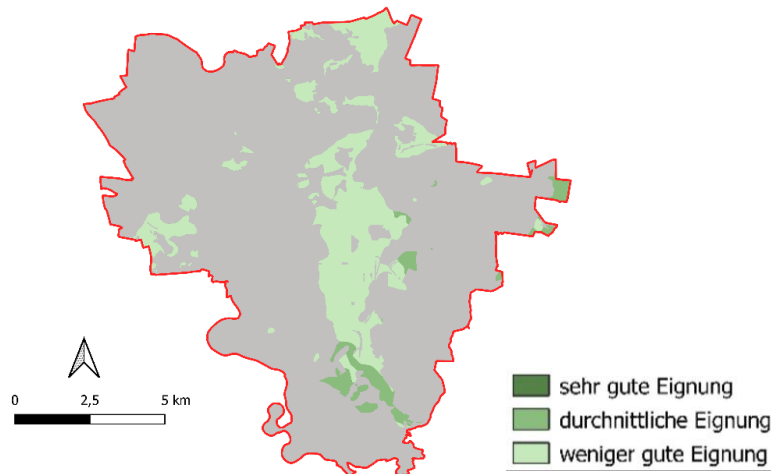


3) GW-Flurabstände



4) Ausgeschlossene Flächen

5) ATEs-Potentialkarte



Nächste Schritte:

- (1) 3D geologisches 3D Modell finalisieren
- (2) Hydraulische, thermische, ökologische Parameter räumlich charakterisieren
- (3) Potentialstudie: 3D, Hydraulik, Landnutzung
- (4) Mess- und Monitoringkonzept für Vorrangregionen

AP8 (MLU): Akzeptanz und Transfer

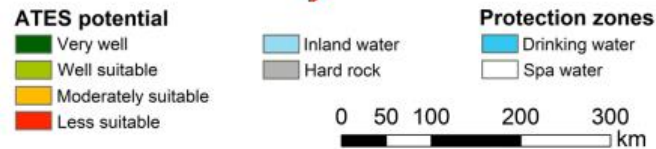
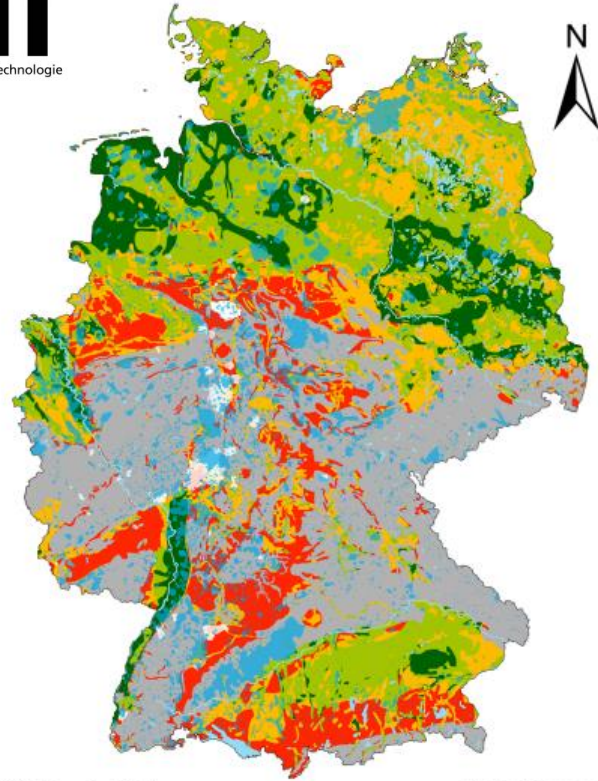
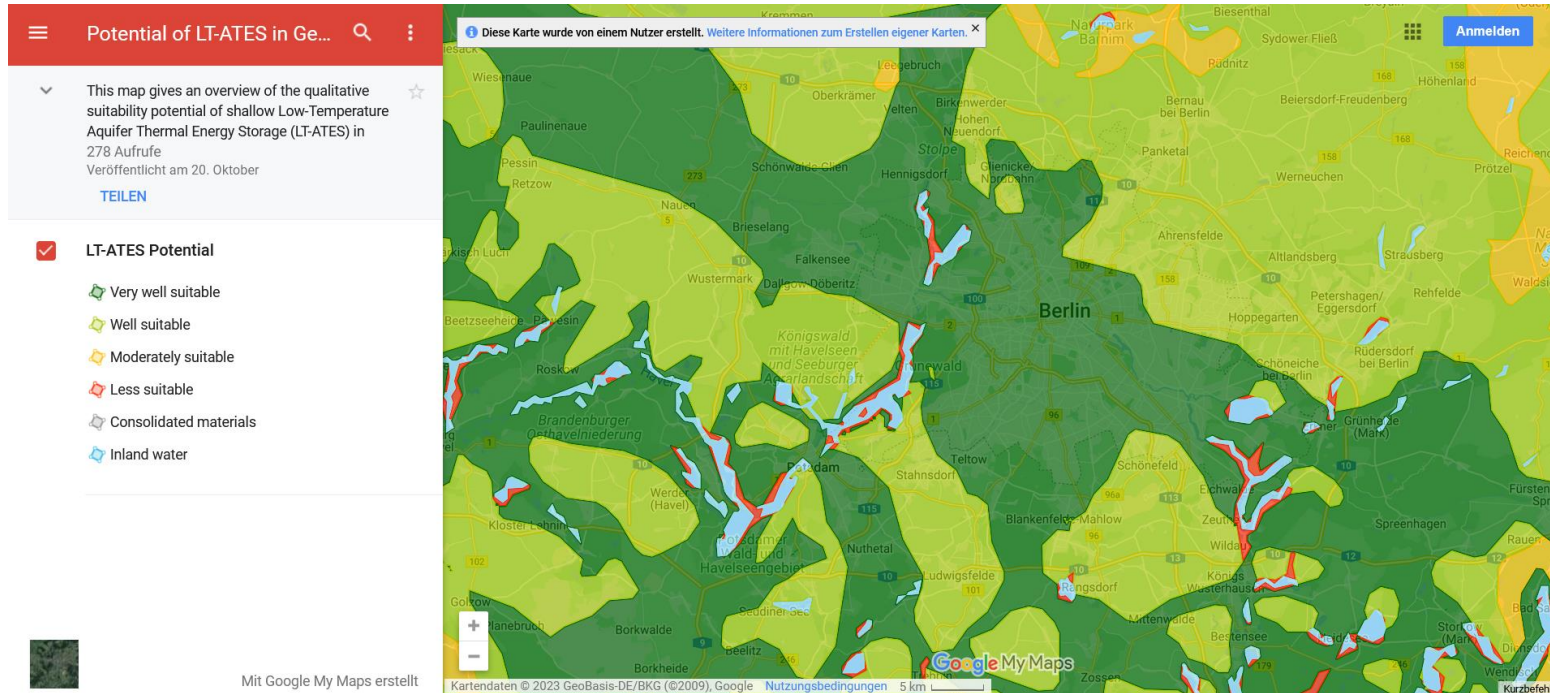


Fig. 8 ATEs suitability potential in Germany for the period *near future* (2021–2050) based on the reference criteria weighting scheme. Drinking and spa water protection zones are included. Protection zone data from BfG (2021), LFU (2021), LUBW (2022a; b), HLNUG (2022), MULNV NRW (2022), NLWKN (2021)



Stemmler et al. (2022) *Geothermal Energy*

- ▶ Unterschiedliche ATES-Typen im Locker- und Festgestein werden untersucht (2 × NT-ATES, 4 × HT-ATES) und simuliert. Temperaturen liegen 5°C bis 80°C.
- ▶ Hierfür wurden zahlreiche standort-spezifische Wärmetransportmodelle aufgebaut und Simulationen durchgeführt (OGS, Comsol, MOOSE-GOLEM).
- ▶ Ergänzende standort-spezifische Untersuchungen (z.B. NMR-Sonde) werden demnächst durchgeführt (Dezember 2023, KIT/CAU).
- ▶ Die Kopplung der Wärmetransportmodelle mit dem Netzwerkmodell (TRYNSYS-TUD) soll mit einem „*Functional Mock-up Interface*“ (FMI) gemacht werden. Der Pilotstandort hierfür ist München (TUM/TUD).
- ▶ In Freiburg wird ein 3D geologisches Untergrundmodell (flach und tief) in enger Absprache mit dem Projekt OptInAquiFer erstellt.