

ConvEx -

Integrierte Explorationsmethoden
zur Detektion hydrothormaler Konvektion
als Zielstrukturen der tiefengeothermischen
Erschließung in Hessen und Rheinland-Pfalz

Dr. Kristian Bär, Project Development Manager, Senior Geoscientist

John Reinecker, Judith Bott, Oliver Ritter, Horst Kreuter, Matthis Frey, Jeroen van der Vaart,
Mauro Cacace, Tobias Hochschild, Michael Kraml, Magdalena Scheck-Wenderoth, Ingo Sass





Agenda



- ▶ Wer sind wir?
- ▶ Herausforderungen der geothermischen Exploration
- ▶ Lösungsansatz ‚ConvEx‘
 - ▶ Explorationsmaßnahmen
 - ▶ Integrierte Modellierung
 - ▶ Definition von Bohrzielen
- ▶ Demonstrationsstandorte
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Wer sind wir?

Die Vulcan-Gruppe



Sub-surface development



- Vulcan Energy Sub-Surface (VESS) team is continuing to gather data, including seismic and drilling data, to incorporate in a planned resource update in H2 2022
- Vulcan's current resource covers 3 of its 11 licenses, and it is aiming to incorporate more of its license areas into the updated resource for the Upper Rhine Valley Brine Field (URVBF) that forms the basis of its Zero Carbon Lithium™ Project

Above surface development



- Works at Vulcan's Sorption Demo Plant are continuing, led by the Vulcan Energy Engineering (VEE) team
- The VEE team is also working on the DFS for the surface piping and geothermal plant design
- Permitting works ongoing, with first preliminary EIA granted for development drilling, negating the need for a full EIA

Geothermal drilling



- Vulcan acquired two electric drill rigs in November 2021
- Specialised rigs can drill to the target depth required for deep geothermal energy wells in the Upper Rhine Valley, Germany
- Experienced in-house drilling established
- Refurbishment of the drill rigs is ongoing to ensure optimal safety and efficiency during operation
- The rigs will be operation-ready in early 2023

Renewable energy operations



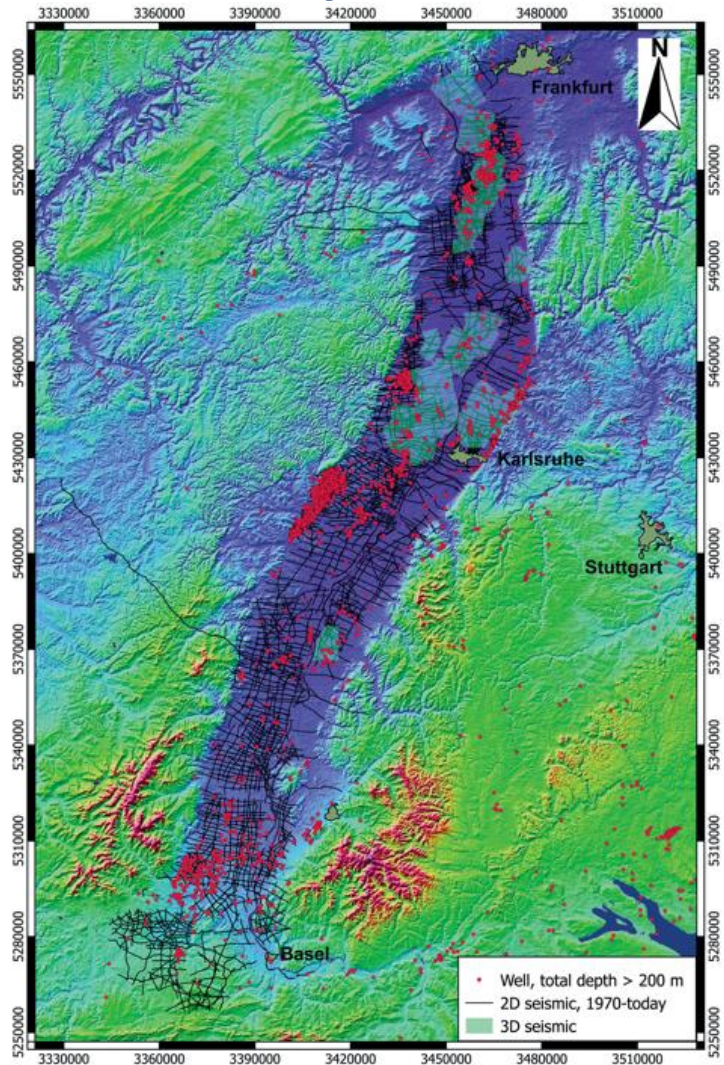
- Vulcan acquired the Insheim geothermal power plant in January 2022
- Natur³Lich Insheim generated €1.7m in revenue in the March 2022 Quarter
- The plant currently has the technical ability to produce a maximum of 4.8MW renewable power, equivalent to the power usage of approximately 8,000 households, with an additional ability to produce heating

Wo sind wir aktiv?

Lithium und Geothermische Potenziale des Oberrheingrabens

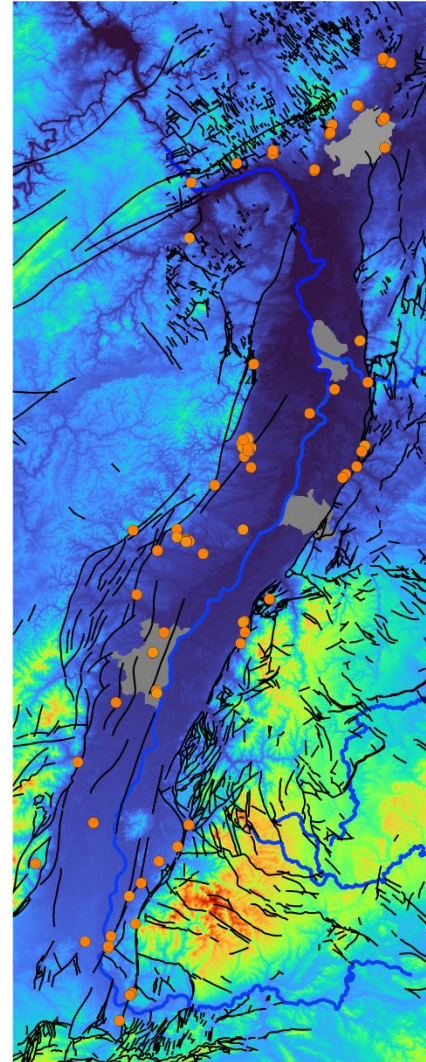


Geologische Daten

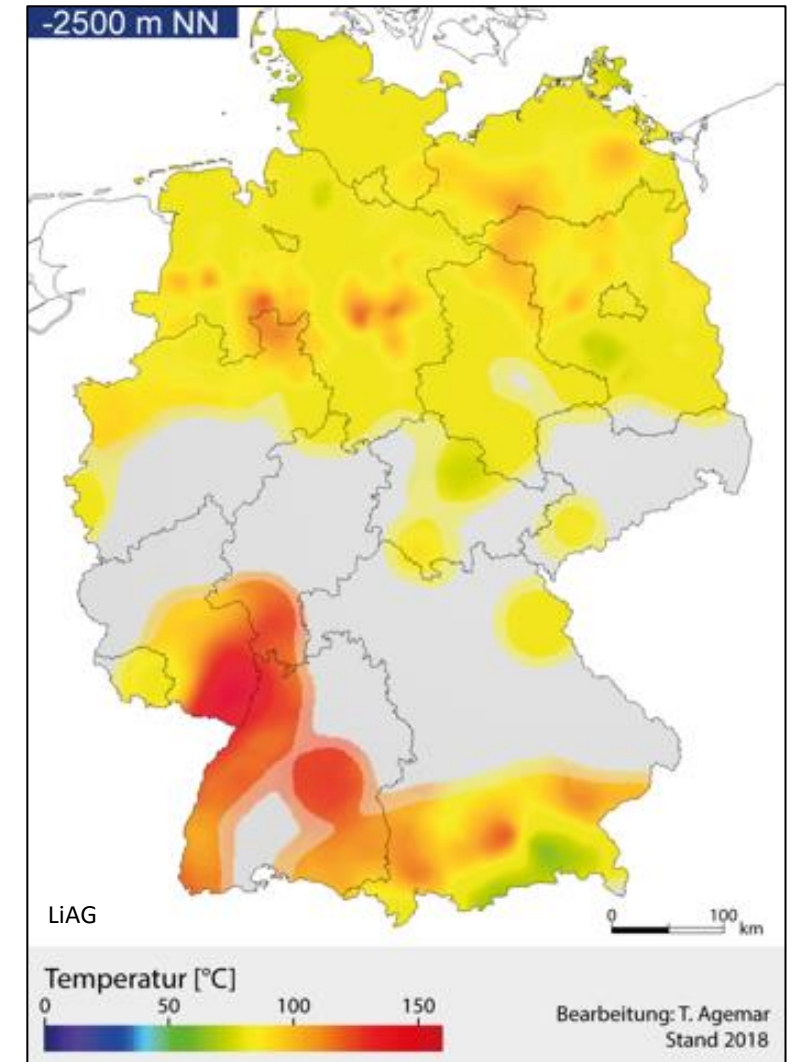


Reinhold et al. (2016)

Lithiumdaten

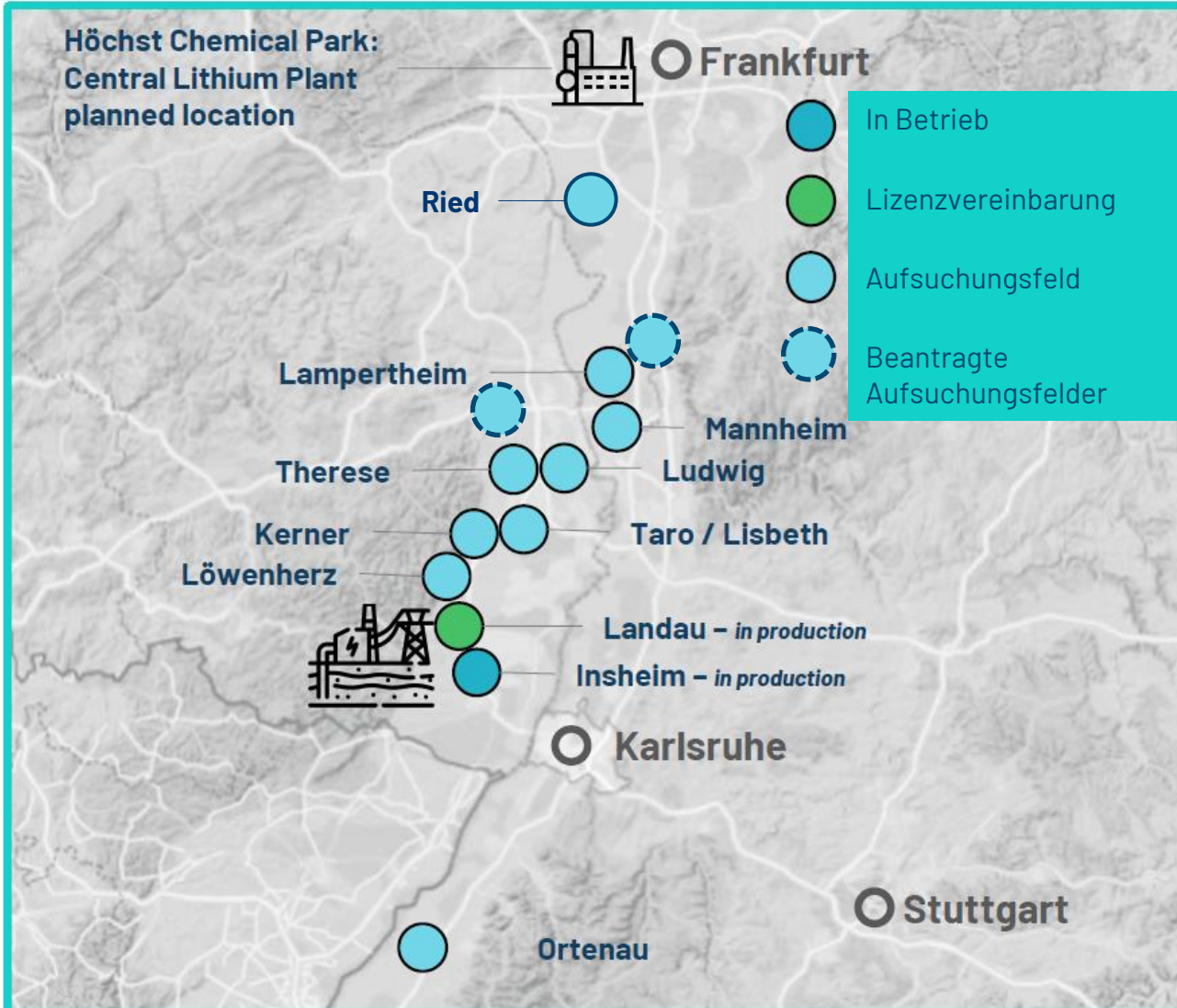


Temperaturdaten



Regionen im Oberrheingraben

Bewilligte und Beantragte Aufsuchungsfelder der VER

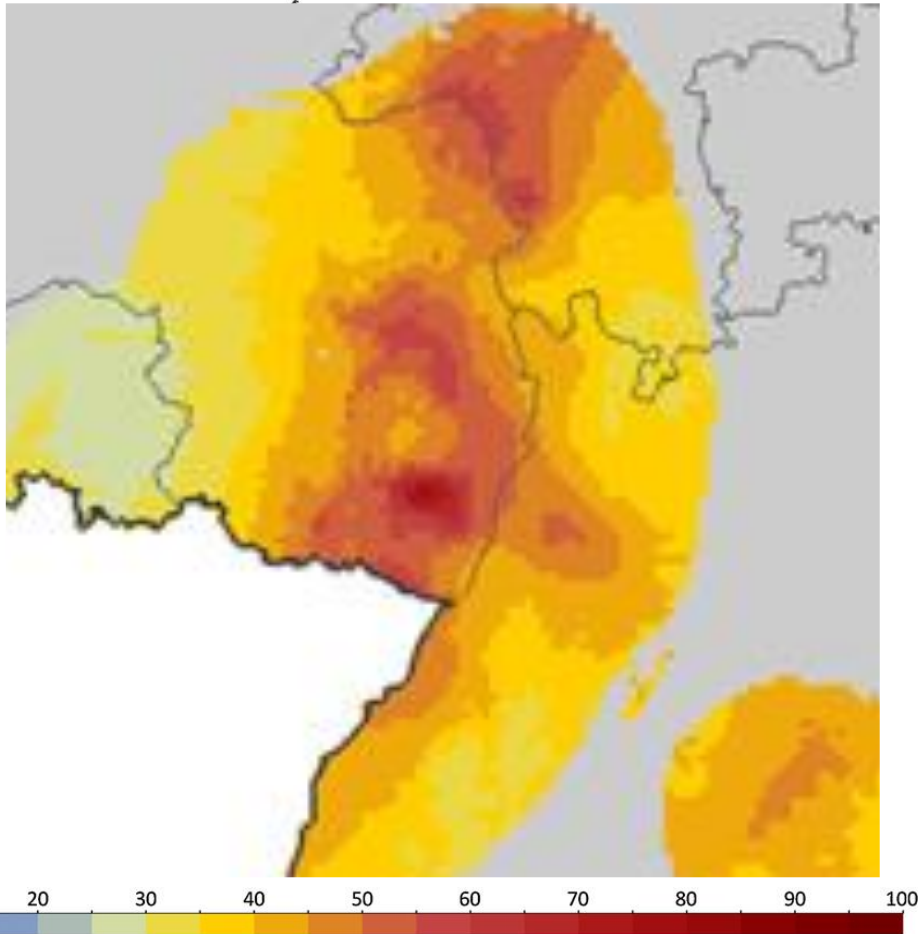


Herausforderungen der geothermischen Exploration



Geothermische Anomalien sind Zielgebiete für die Erschließung

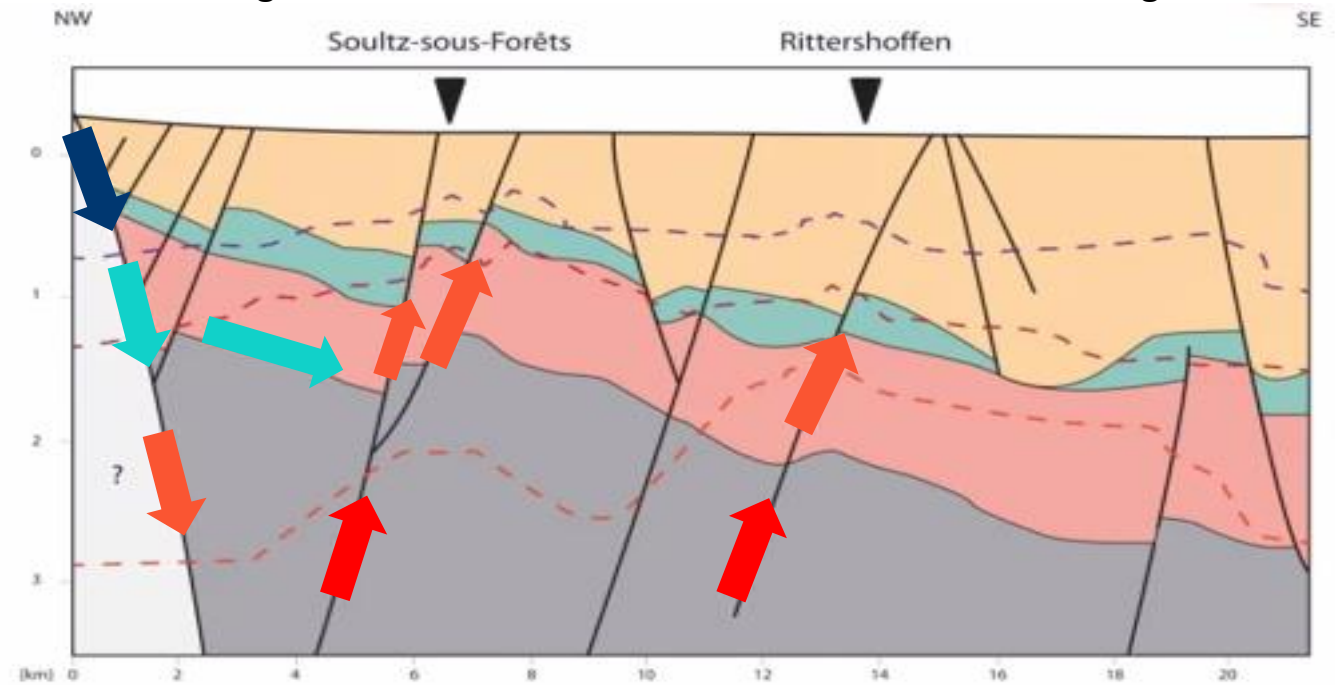
Geothermische Gradienten



Agemar et al. (2012)

$\Delta T/\Delta z$ (K/km)

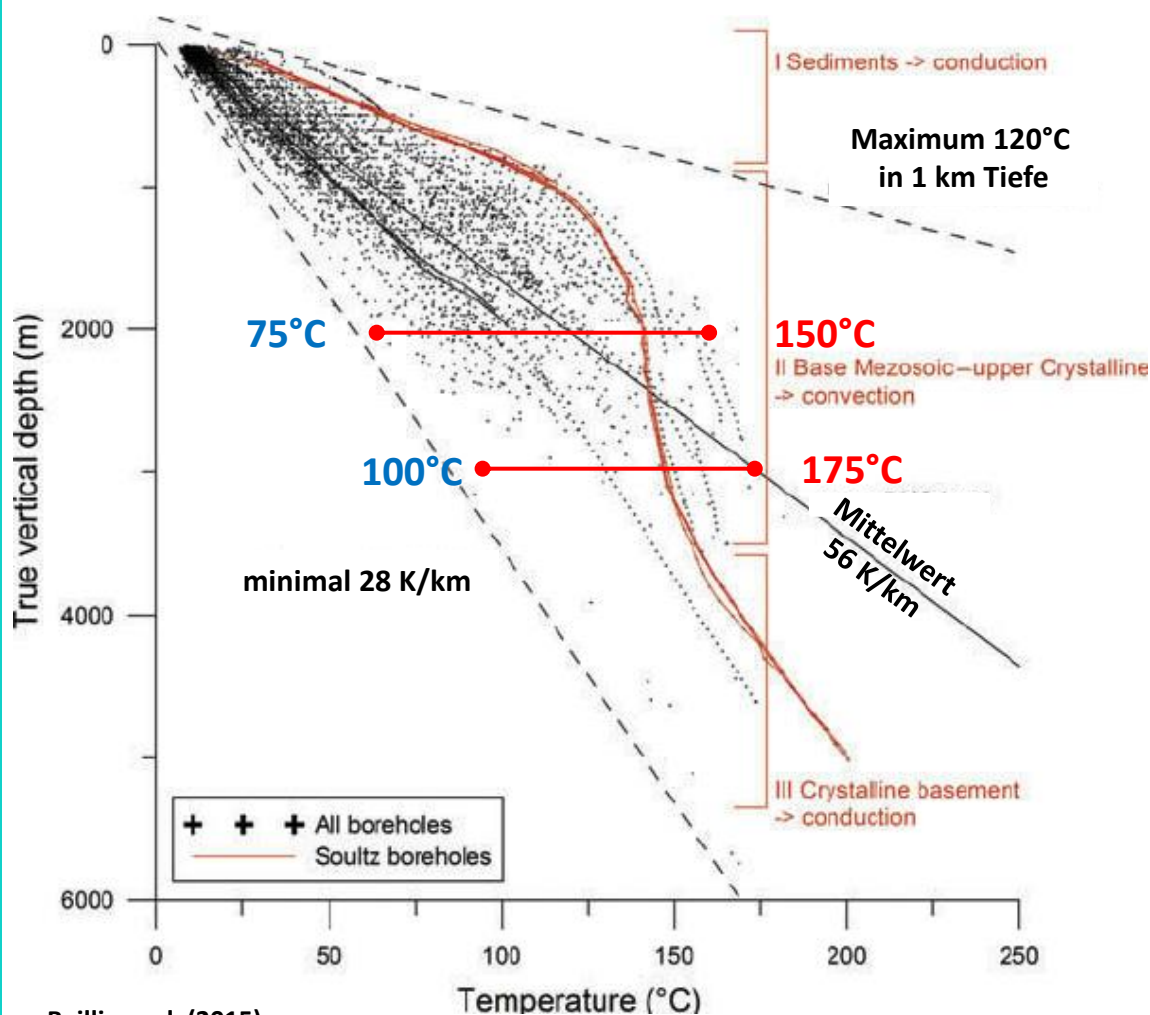
- ▶ Die natürlichen geothermischen Gradienten im Oberrheingraben variieren zwischen 28 und 120 K/km
- ▶ Diese hohe Variabilität wird durch Konvektion an permeablen Störungszonen verursacht
- ▶ Positive geothermische Anomalien sind Ziel der Erschließung



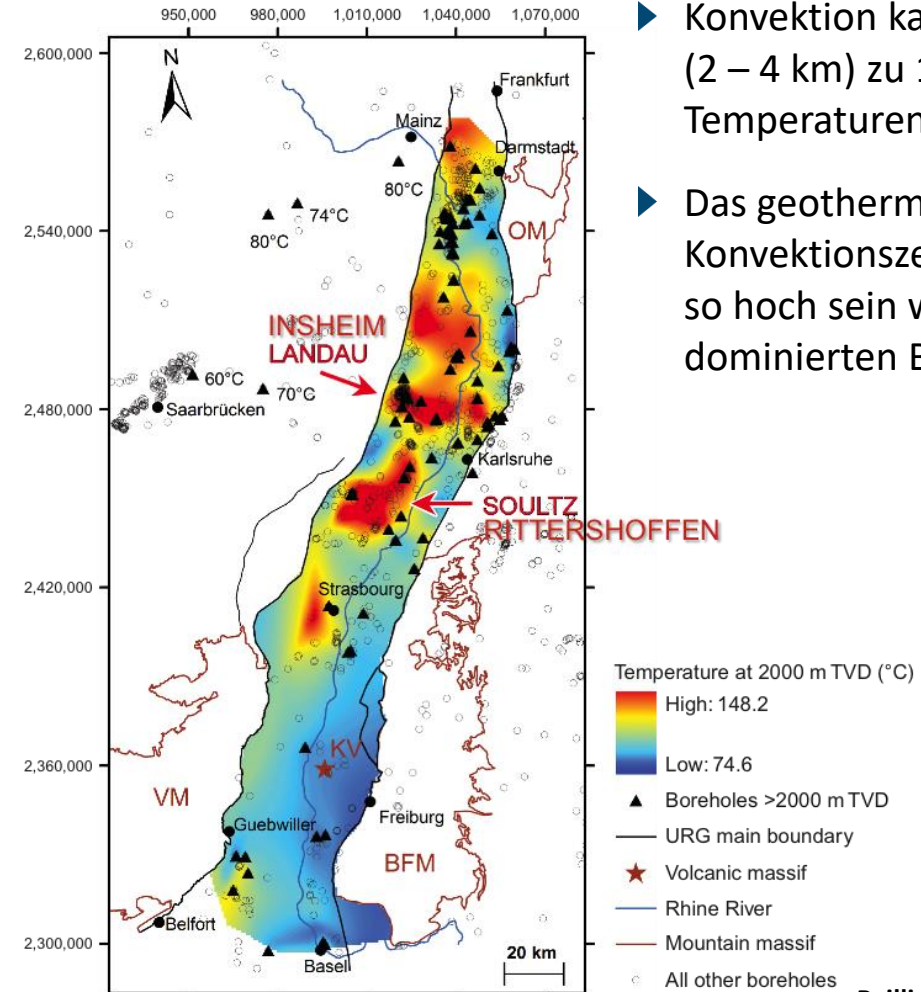
Einfluss der Konvektion auf das geothermische Potenzial



Zielparame-ter Reservoirtemperatur



Baillieux al. (2015)



Baillieux al. (2015)

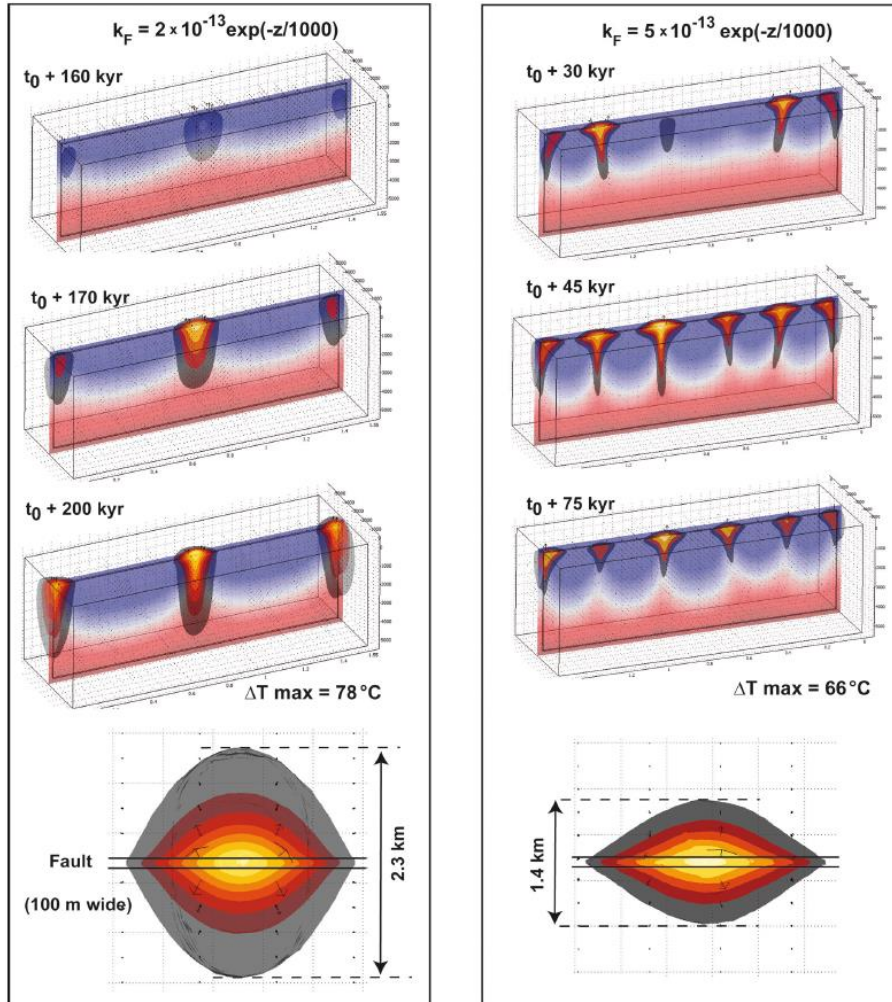
- ▶ Konvektion kann in Zieltiefe (2 – 4 km) zu 100% höheren Temperaturen führen
- ▶ Das geothermische Potenzial in Konvektionszellen kann doppelt so hoch sein wie in konduktiv dominierten Bereichen

Thermo-hydraulische Modellierung

ermöglicht ein verbessertes Verständnis von Konvektionszellen



$$k_H = 10^{-14} \exp(-z/1000)$$



- ▶ Das Muster der Konvektionszellen an permeablen Störungszonen wird gesteuert durch:
 - ▶ die Permeabilitätsstruktur (räumliche und zeitliche Variationen)
 - ▶ die Geometrie (Breite der Störungszone und Einfallswinkel)
 - ▶ die zeitliche Entwicklung
- ▶ Konvektion kann thermische Anomalien von 80 to 90 °C und in einem Abstand von mehr als 1 km von der Störungszone immer noch von 30 °C verursachen!
- ▶ Konvektionszyklen: 77.000-150.000 Jahre
- ▶ Abstand der Konvektionszellen: zwischen 1 und 5 km
- ▶ Tiefe der Konvektionszellen: $\geq 6000 \text{ m}$
- ▶ Geothermische Exploration muss Konvektionszellen genau detektieren können

Status Quo geothermische Exploration



Stand der Technik und Herausforderungen

- ▶ 3D Seismik in Kombination mit Daten von Altbohrungen wurde bisher als ausreichend angesehen, um Bohrziele zu definieren, Bohrpfade zu planen und das Fündigkeitsrisiko zu reduzieren
- ▶ Das Antreffen von 'trockenen' and 'kalten' Rotliegendesteinen in Trebur GT1 hat gezeigt, dass dieser Ansatz im Oberrheingraben nicht ausreichend ist
- ▶ In der tiefengeothermischen Exploration fehlt ein etablierter und validierter Ansatz, um hydrothermale Konvektionszellen entlang von Störungzonen eindeutig zu identifizieren
- ▶ **2D und 3D Seismik allein ist nicht ausreichend, um Konvektionszellen zu detektieren!**
- ▶ Die Kartierung von Konvektionszellen entlang von Störungen wird zusätzlich erschwert durch lateral variable Eigenschaften von Störungzonen. Die Konvektion wird kontrolliert von:
 - ▶ **der Permeabilität (räumlich und zeitlich variabel)**
 - ▶ **der Geometrie (Dimensionen der Störungszone und Orientierung)**
 - ▶ **der zeitlichen Entwicklung**

Geophysikalische Explorationsmethoden



Möglichkeiten und Einschränkungen

Geophysikalische Explorationsmethode	Möglichkeiten	Einschränkungen
2D Seismik	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Auflösung der Untergrundstruktur in 2D ▶ Wahre Tiefe ▶ Kostengünstig 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Interpolation zahlreicher Linien für 3D Model benötigt ▶ Keine hydraulische Prognose möglich ▶ Keine Temperaturprognose möglich ▶ Nur Grenzflächen mit hohem Impedanzkontrast werden erfasst
3D Seismik	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Auflösung der Untergrundstruktur in 3D ▶ Wahre Tiefe ▶ Keine Interpolation nötig ▶ Attributanalysen möglich, um mögliche Fluidwegsamkeiten zu identifizieren 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kostenintensiv ▶ Keine hydraulische Prognose möglich ▶ Keine Temperaturprognose möglich ▶ Nur Grenzflächen mit hohem Impedanzkontrast werden erfasst
Gravimetrie	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Unterschiede der Dichteverteilung im Untergrund 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sehr geringe räumliche Auflösung ▶ Räumliche Auflösung von Dichteanomalien hängt von Größe und Tiefe der Anomalie ab ▶ Keine eindeutigen Ergebnisse
Magnetik	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Verteilung der Orientierung und Stärke des Erdmagnetfelds 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sehr geringe räumliche Auflösung ▶ Keine eindeutigen Ergebnisse
Electric Resistivity Tomography (ERT)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Untergrund 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Auflösung nimmt mit der Tiefe stark ab ▶ Für große Tiefen sehr großes Survey nötig
Magnetotellurik (MT)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Untergrund ▶ Nutzung der natürlichen Elektromagnetischen Signale (Passiv) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sehr geringe räumliche Auflösung (Objekte können nur identifiziert werden, wenn sie eine Mindestgröße von 10% der Lagerungstiefe haben) ▶ Sehr störungsanfällig durch Infrastruktur (Siedlungen, Eisenbahn, Stromleitungen etc.) ▶ Stark abhängig von der Variation der natürlichen EM-Signale
Controlled-Source Electro-Magnetics (CSEM)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Wie MT, aber mit kontrolliertem EM-Signal ▶ Geringere Störungsanfälligkeit durch Infrastruktur ▶ Nutzbar in urbanen Gebieten 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Geringe räumliche Auflösung ▶ Unabhängig von der Variation der natürlichen EM-Signale
Gradientenbohrungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Auflösung der Untergrundtemperaturverteilung ▶ Erlaubt die Unterscheidung von konduktiv und konvektiv dominiertem Wärmetransport 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Auflösung ist von der Bohrungsanzahl anhängig ▶ Beschränkt auf wenige hundert Meter Tiefe, kostenintensiv ▶ Extrapolation in die Tiefe unsicher, tiefe Bohrungen für Kalibration benötigt

Geophysikalische Explorationsmethoden



Möglichkeiten und Einschränkungen

Geophysikalische Explorationsmethode	Möglichkeiten	Einschränkungen
2D Seismik	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Auflösung der Untergrundstruktur in 2D ▶ Wahre Tiefe ▶ Kostengünstig 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Interpolation zahlreicher Linien für 3D Model benötigt ▶ Keine hydraulische Prognose möglich ▶ Keine Temperaturprognose möglich ▶ Nur Grenzflächen mit hohem Impedanzkontrast werden erfasst
3D Seismik	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Auflösung der Untergrundstruktur in 3D ▶ Wahre Tiefe ▶ Keine Interpolation nötig ▶ Attributanalysen möglich, um mögliche Fluidwegsamkeiten zu identifizieren 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kostenintensiv ▶ Keine hydraulische Prognose möglich ▶ Keine Temperaturprognose möglich ▶ Nur Grenzflächen mit hohem Impedanzkontrast werden erfasst
Gravimetrie	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Unterschiede der Dichteverteilung im Untergrund 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sehr geringe räumliche Auflösung ▶ Räumliche Auflösung von Dichteanomalien hängt von Größe und Tiefe der Anomalie ab ▶ Keine eindeutigen Ergebnisse
Magnetik	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Verteilung der Orientierung und Stärke des Erdmagnetfelds 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sehr geringe räumliche Auflösung ▶ Keine eindeutigen Ergebnisse
Electric Resistivity Tomography (ERT)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Untergrund 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Auflösung nimmt mit der Tiefe stark ab ▶ Für große Tiefen sehr großes Survey nötig
Magnetotellurik (MT)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Untergrund ▶ Nutzung der natürlichen Elektromagnetischen Signale (Passiv) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sehr geringe räumliche Auflösung (Objekte können nur identifiziert werden, wenn sie eine Mindestgröße von 10% der Lagerungstiefe haben) ▶ Sehr störungsanfällig durch Infrastruktur (Siedlungen, Eisenbahn, Stromleitungen etc.) ▶ Stark abhängig von der Variation der natürlichen EM-Signale
Controlled-Source Electro-Magnetics (CSEM)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Wie MT, aber mit kontrolliertem EM-Signal ▶ Geringere Störungsanfälligkeit durch Infrastruktur ▶ Nutzbar in urbanen Gebieten 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Geringe räumliche Auflösung ▶ Unabhängig von der Variation der natürlichen EM-Signale
Gradientenbohrungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Auflösung der Untergrundtemperaturverteilung ▶ Erlaubt die Unterscheidung von konduktiv und konvektiv dominiertem Wärmetransport 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Räumliche Auflösung ist von der Bohrungsanzahl anhängig ▶ Beschränkt auf wenige hundert Meter Tiefe, kostenintensiv ▶ Extrapolation in die Tiefe unsicher, tiefe Bohrungen für Kalibration benötigt

F&E Projekt ‚ConvEx‘



Lösungsansatz integrierte Exploration

- ▶ Je nach Intensität einer Konvektionszelle verändert sie lokal die elektrische Leitfähigkeit, den geothermischen Gradienten und wird gefördert durch hohe Permeabilität der Störungszone, die mit erhöhter Porosität und damit verringerter Dichte einhergeht.
- ▶ Der ‚ConvEx‘-Ansatz integriert daher verschiedene Methoden zur Detektion dieser Anomalien:
 - ▶ **Controlled-Source Electromagnetics** → Änderungen der **elektrischen Leitfähigkeit**
 - ▶ **Gravimetrie** → Zonen **verringertes Dichte**
 - ▶ **Geothermische Gradientenbohrungen** → **Thermische Anomalien**
 - ▶ **Hydrochemische and Gasbeprobung** → **Hydrochemische Anomalien und Gaswegsamkeiten**
- ▶ **Integration aller Ergebnisse in Thermo-Hydraulischen Modelle**, inklusive petrophysikalischer, struktureller und stratigraphischer Information
- ▶ Diese Prognosemodelle ermöglichen die Lokation von Konvektionszellen
- ▶ Validierung der Modelle durch geothermische Tiefbohrungen

ConvEx Workflow

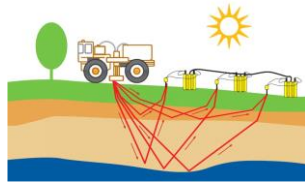
Integrierte Detektion hydrothermaler Konvektionszellen



Explorationsmethoden

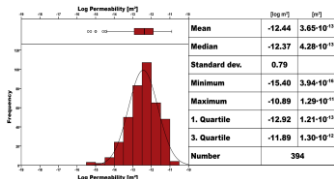
3D Seismik

Geologische Struktur,
Störungszonen,
Attributanalysen



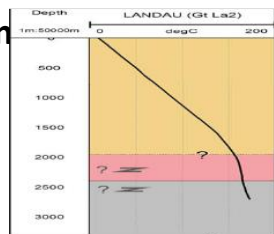
Reservoireigenschaften

Petrophysikalisch,
Hydraulisch,
Mechanisch,
Elektrisch



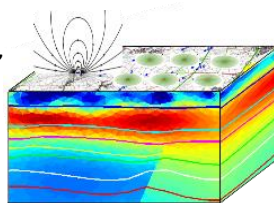
Gradientenbohrungen

Temperaturlogs,
Geothermische Einheiten,
CSEM Antenne,
Hydrochemie, Helium



EM & Gravimetrie

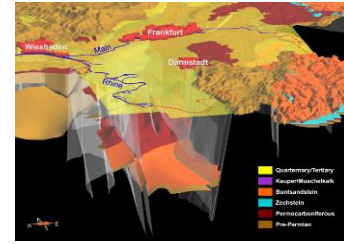
MT und CSEM Kampagne,
Gravimetrikampagne,
Inversionsmodelle,
Interpretation



Modelle und Interpretation

3D Modell Strukturgeologie

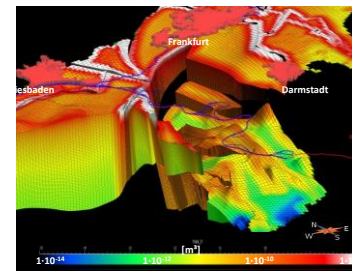
Geologische Einheiten,
Störungszonen,
Störungsdimensionen



3D Untergrundstruktur

Geothermisches 3D-Modell

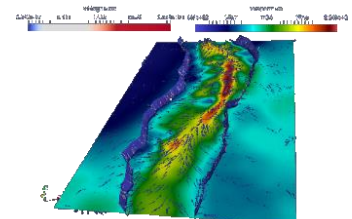
Temperatur,
Eigenschaften,
Geophysik,
Hydraulik



Struktur, Eigenschaften, Randbedingungen

THM Modelle

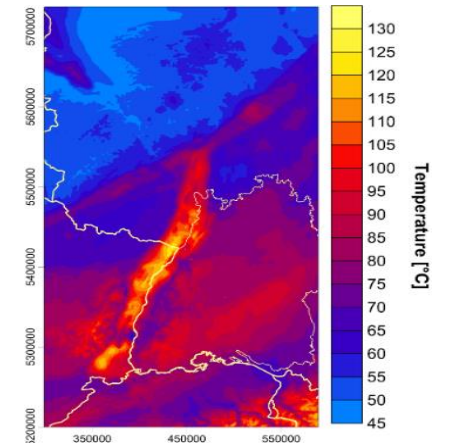
Konduktiver
und konvektiver
Wärmetransport



Ergebnisse

Prognose von Konvektionszellen

Zielstrukturen,
Temperatur-
prognose,
Hydraulische
Prognose
Optimiertes
Reservoir
Management



Generalisierung, Übertragung

AP 5: Leitfaden für integrierte Explorationsstrategie „ConvEx“

Transfer von lokaler auf regionale Skala,
Verringerung des Fündigkeitsrisikos,
Grundlage neuer Projekte

ConvEx Demonstrationsstandorte



Auswahl nach geologischen und techno-ökonomischen Kriterien

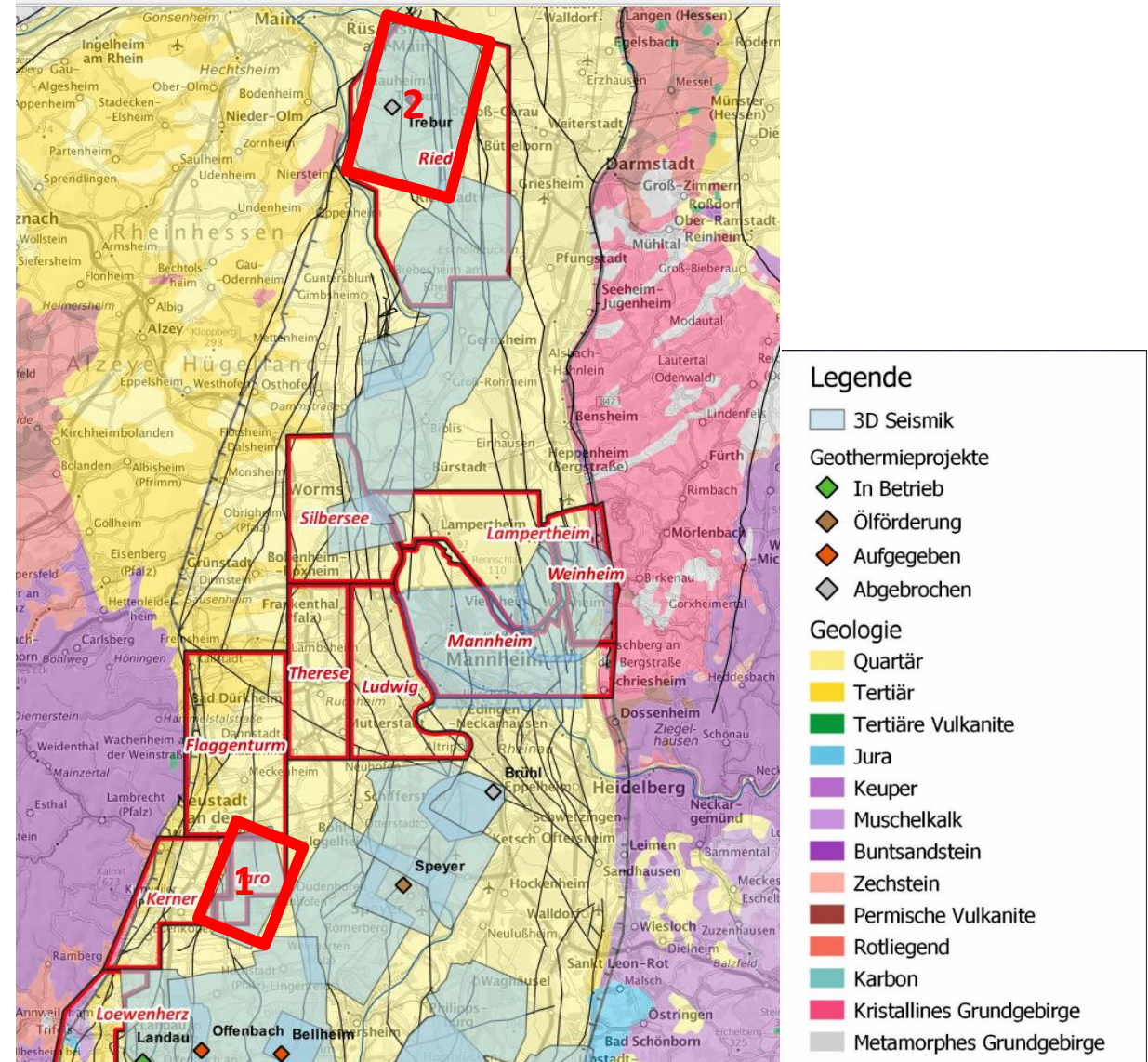
- ▶ VER Erlaubnisfeld
- ▶ 3D Seismik
- ▶ Geologisch-geothermisches 3D Modell
- ▶ Tiefbohrungen für Validierung
- ▶ Infrastruktur repräsentativ für verschiedene Siedlungsräume

Standort 1: Erlaubnisfeld **'TARO'**

- ▶ Rurale Infrastruktur, geringe Siedlungsdichte
- ▶ 3D Seismik Speyerdorf
- ▶ 12 Tiefbohrungen bis 2026 geplant
- ▶ Buntsandsteinreservoir

Standort 2: Licence field **'RIED'**

- ▶ 3D Seismik Trebur
- ▶ Bohrung Trebur GT1 vorhanden
- ▶ Zahlreiche Altbohrungen
- ▶ Rotliegendesreservoir

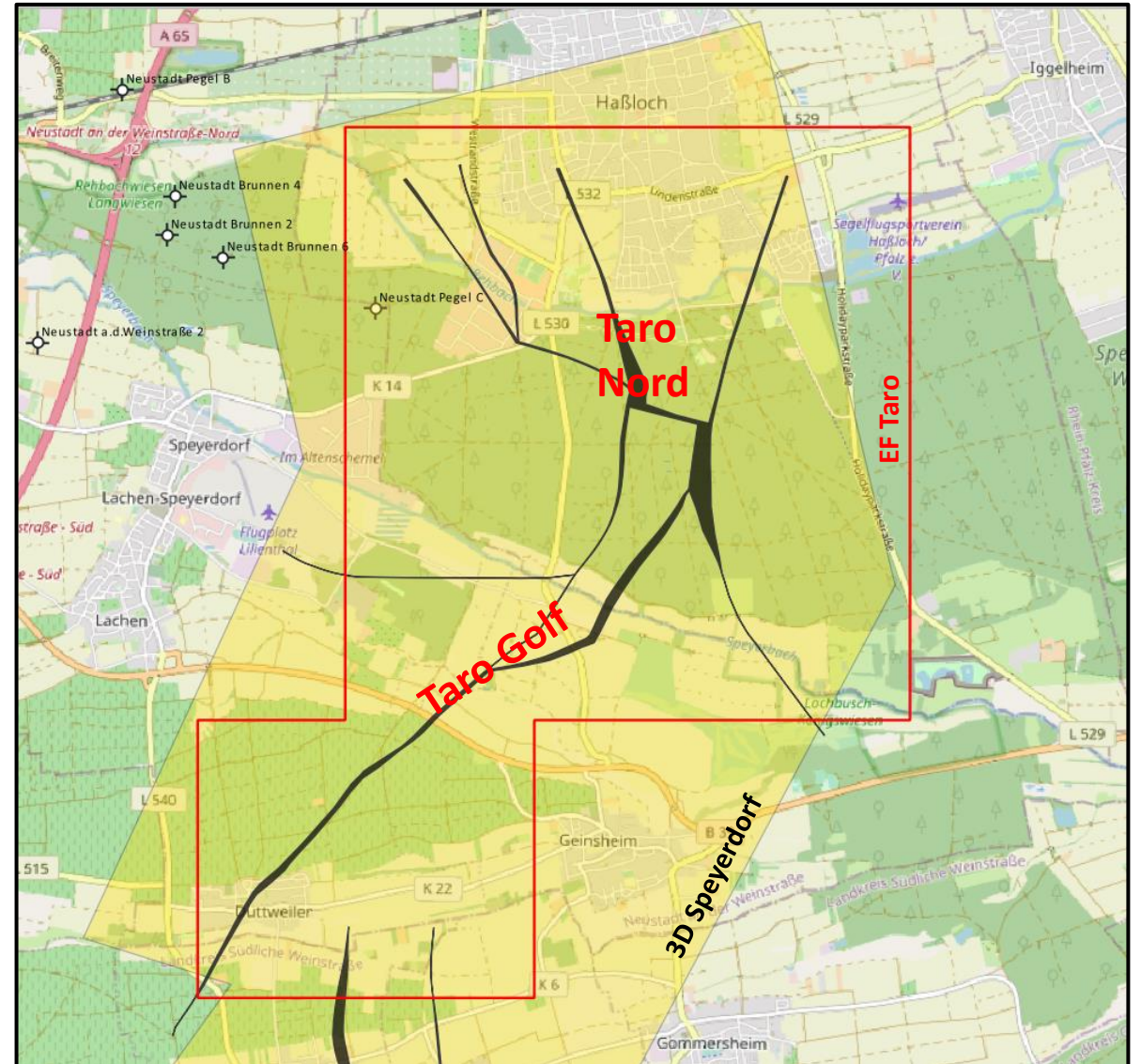


Demonstrationsstandort 1: ‚Taro‘

Ruraler Standort mit Zielstrukturen im Buntsandstein



- ▶ 3D Seismik interpretiert und analysiert
- ▶ 3D thermo-hydraulische Modellszenarien entwickelt
- ▶ 2 Projektstandorte mit je 6 Bohrungen projektiert
- ▶ Planung für Explorationsbohrung begonnen
- ▶ Umfangreiches Monitoringprogramm projektiert
 - ▶ Mikroseismisches Netzwerk
 - ▶ Beobachtungsbohrungen
 - ▶ Hydrochemische Beprobungskampagne
- ▶ Keine Altbohrungen

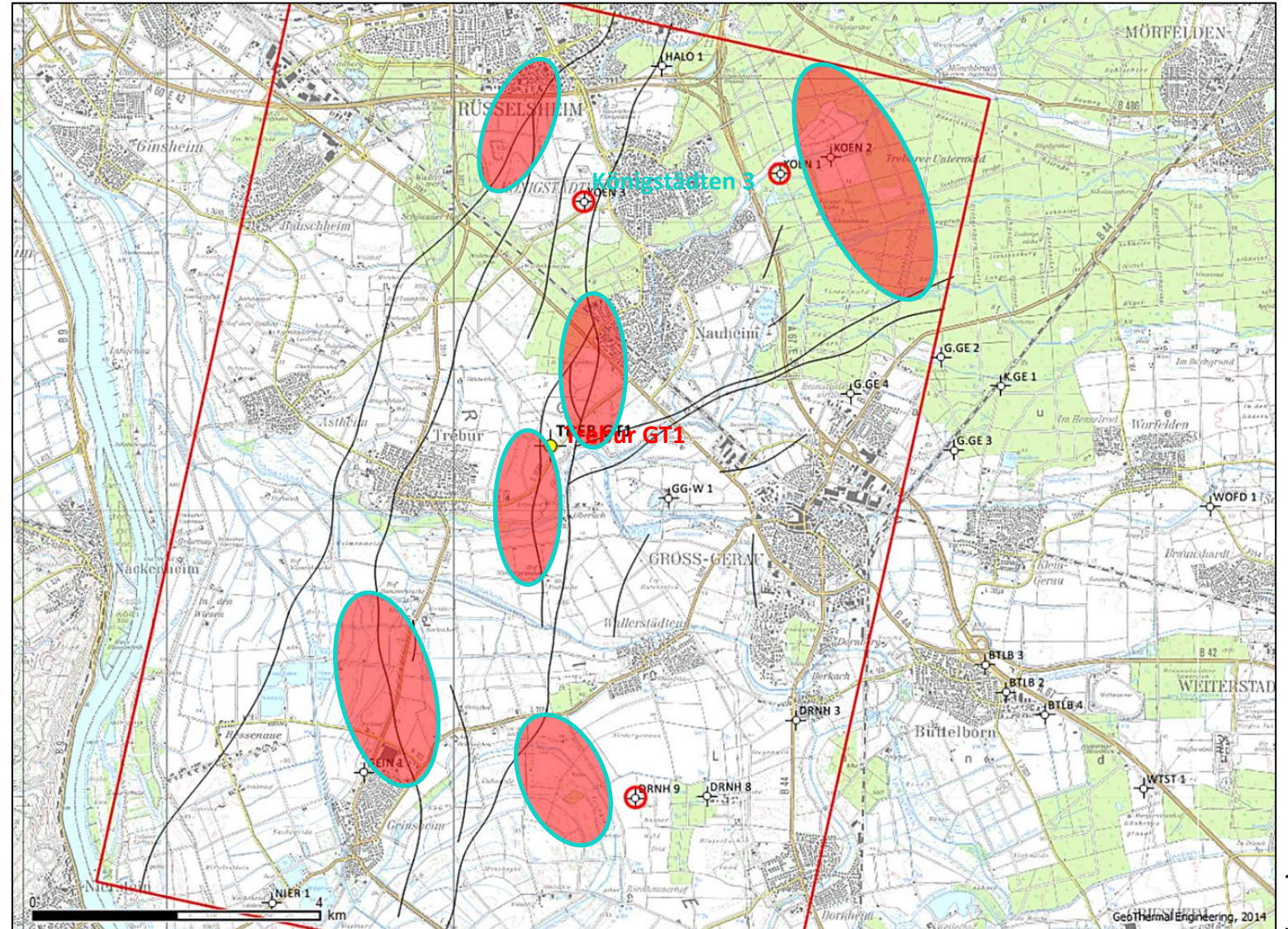


Demonstrationsstandort 2: Erlaubnisfeld ‚Ried‘



Semi-urbaner Standort mit Zielstrukturen im Rotliegend

- ▶ 3D Seismik interpretiert und analysiert
- ▶ 6 Zielstrukturen definiert
- ▶ Kein 3D Thermo-Hydraulisches Modell
- ▶ Bohrung Trebur GT1 aus 2016
- ▶ Zahlreiche Altbohrungen
- ▶ Hydrochemische Daten aus TRACE



Zeitplan und Verantwortlichkeiten



Vorgang	Beginn	Ende	Dauer Monate	Projektstart																																Projektende			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K Koordination, Admin. und wiss. Leitung	1	36	36	[Red bar]																																			
Ö Öffentlichkeitsarbeit und Transfer	1	36	36	[Blue bar]																																			
P Permitting	1	18	18	[Red bar]																																			
AP 1: Gesteins- und Reservoircharakterisierung	1	24	24	[Grey bar]																																			
1.1 Petrophysikalische Labormessungen an Gesteinsproben	1	18	18	[Orange bar]																																			
1.2 Auswertung bohrlochgeophysikalischer Logdaten	4	18	15	[Orange bar]																																			
1.3 Petrophysikalische Faziesanalyse der geol. Einheiten	11	24	14	[Orange bar]																																			
AP 2: Gradientenbohrungen und Untergrundtemperatur	1	30	30	[Grey bar]																																			
2.1 Planung und Beantragung der Gradientenbohrungen	1	12	12	[Red bar]																																			
2.2 Ausschreibung, Vergabe und Abteufung der Bohrungen	7	18	12	[Red bar]																																			
2.3 Bohrlochgeophysikalisches Messprogramm	9	25	7	[Grey bar]																																			
2.4 Analyse des Untergrundtemperaturfeldes	16	30	15	[Red bar]																																			
2.5 Hydrochemische Analysen, Isotopie	12	24	12	[Red bar]																																			
2.6 Evaluation von Nachnutzungsoptionen	12	24	12	[Red bar]																																			
AP 3: Geophysikalische Exploration	1	29	29	[Grey bar]																																			
3.1 Surveydesign und Planung der CSEM und MT Messungen	1	11	8	[Blue bar]																																			
3.2 CSEM und MT Messkampagnen	4	14	6	[Blue bar]																																			
3.3 EM Processing, Dateninversion und EM 3D Model	7	29	23	[Blue bar]																																			
3.4 Surveydesign und Durchführung Gravimetrie				[Orange bar]																																			
3.5 Gravimetrie Processing und Inversion und 3D Dichtemodell				[Orange bar]																																			
AP 4: Datengestützte TH(M) Prozesssimulation	1	36	36	[Grey bar]																																			
4.1 Integrierte 3D-Strukturmodelle	1	24	24	[Blue bar]																																			
4.2 Integrative Interpretation der geophysikalischen Modelle	19	36	18	[Blue bar]																																			
4.3 Thermo-hydraulisch-mechanische Modellierung	19	36	18	[Blue bar]																																			
AP 5: Leitfaden "erweiterte Explorationsstrategie - ConvEx"	30	36	6	[Grey bar]																																			
Zwischenberichte	halbjährlich			[Red diamonds]																																			
Abschlussbericht	6 Monate nach Projektende			[Red diamond]																																			

■ Geot
■ VER
■ Alle Partner
■ TUDA



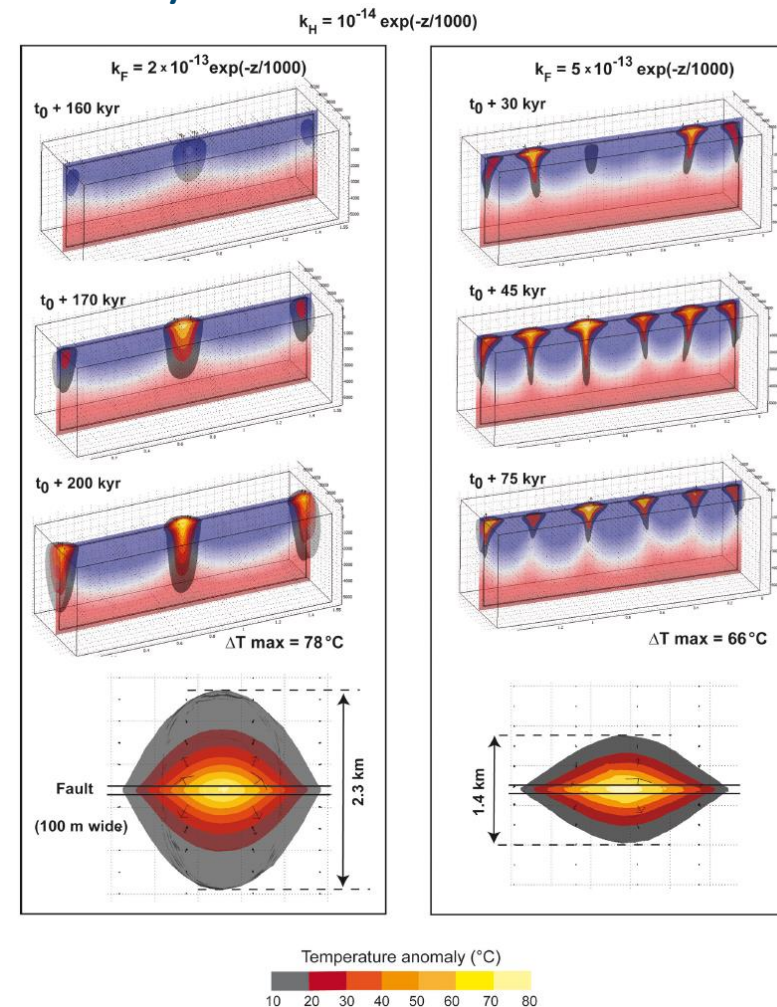
Zusammenfassung und Ausblick ConvEx



- ▶ Der 'ConvEx'-Ansatz erlaubt die Detektion von Konvektionszellen :
 - ▶ **Controlled-Source Electromagnetics** → Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit
 - ▶ **Gravimetrie** → Zonen verringerter Dichte, erhöhter Porosität
 - ▶ **Geothermische Gradientenbohrungen** → Thermische Anomalien
 - ▶ **Hydrochemische and Gasbeprobung** → Hydrochemische Anomalien und Gaswegsamkeiten
- ▶ **Projektstart in Q1 oder Q2 2023 geplant**



Modell hydrothormaler Konvektion



DANKE

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Kristian Bär

Dipl.-Ing. Geowissenschaften

Senior Geoscientist and Geothermal Engineer

Project Development Manager

P: +49 721 570 4468 21 | M: +49 171 670 0248 | F: +49 721 570 4468 9

E: kbaer@v-er.eu | W: <https://www.v-er.eu>

Vulcan Energy Subsurface Solutions GmbH | An der RaumFabrik 33c | D-76227 Karlsruhe

