

# Forschungsberichtsblatt

## Tiefengeothermie Reservoir-Charakterisierung und Monitoring TG-CHARMING

von

Thomas Kohl, Jens C. Grimmer, Emmanuel Gaucher  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Angewandte Geowissenschaften, Abteilung Geothermie

Detlev Doherr  
Hochschule Offenburg  
Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Manfred Josswig  
Universität Stuttgart  
Institut für Geophysik

Kurt Bucher  
Universität Freiburg  
Institut für Geowissenschaften, Mineralogie-Geochemie

Roman Zorn  
European Institute for Energy Research (EIFER) Karlsruhe

Eva Schill  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Nukleare Entsorgung

Förderkennzeichen: L7516020-16024

Laufzeit: 12.12.2017 – 30.04.2019

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln  
des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

September 2019



## Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

## 1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

- AP1: Neue LFZG-Internetseite mit Social Media Interaktionsmöglichkeit erstellt.
- AP2: Erstellung eines Python-Programms zur Verfeinerung und Vervollständigung des lokalen Erdbebenkatalogs durch Ähnlichkeitsanalysen.
- AP3: Lineamentanalyse im mittleren und nördlichen Schwarzwaldkristallin. Neogene Deformationsentwicklung im Oberrheingraben.
- AP4: Probabilistische Ansätze kombiniert mit relativer Lokalisierung von Hypozentren erwiesen sich für seismisches Monitoring hinsichtlich Genauigkeit und Abbildungstreue als geeigneter als herkömmliche Methoden.
- AP5: Besseres kinetisches und geochemisches Prozessverständnis zur Freisetzung von Barium und anderen Elementen in geothermische Fluide unter (simulierten) Reservoirbedingungen. Fe-Oxidhydrat-Überzüge reduzieren Fluid-Gesteins-Reaktionen und können sich in granitischen Reservoiren langfristig als vorteilhaft auf die chemisch-hydraulische Entwicklung auswirken.
- AP6: open-source Bohrlochsimulator fertiggestellt; numerische THCM-Modellierungen für  $P \leq 1$  kbar und  $T \leq 375$  °C möglich.
- AP7: Geologisches Untergrundmodell des Campus-Nord erstellt. Gravimetrische Daten zur Verfeinerung des Untergrundmodells generiert. Erste sedimentpetrographische Daten eines potenziellen känozoischen Speichergesteins.

## 2. Welche Fortschritte ergeben sich für die Wissenschaft und/oder Technik durch die Forschungsergebnisse?

Die wichtigsten wissenschaftlichen bzw. technischen Fortschritte ergaben sich insbesondere aus den AP3, AP4, AP5, AP6 und AP7. Das **AP2** konnte mit einem seismischen Array im Black Forest Observatory (BFO) Erdbeben mit sehr geringen Magnituden in Entfernungen  $>80$  km detektieren und über Ähnlichkeitsanalysen den lokalen Erdbebenkatalog vervollständigen. Das **AP3** ermittelte die Verteilung der größeren spröden Störungszonen im Kristallin des mittleren und nördlichen Schwarzwaldes anhand von Lineamentanalysen mithilfe hochaufgelöster Digitaler Geländemodelle (DGM). Die Lineamentanalysen tragen zu einem besseren Verständnis der relativ geringen natürlichen Seismizität im mittleren und nördlichen Schwarzwald im Vergleich zum südlichen Schwarzwald bei, da im mittleren und nördlichen Schwarzwald überwiegend NE-streichende Strukturen auftreten, die im rezenten Spannungsfeld nur sehr geringe Reaktivierungspotenziale aufweisen. Zusätzlich zur Lineamentanalyse durchgeführte Geländearbeiten in neogenen (i.e.  $\leq 25$  Ma) Gesteinen des Oberrheingrabens dokumentieren eine komplexere, dreiphasige neogene Deformationsgeschichte. Dies ist im Gegensatz zur bisher angenommenen zweiphasigen Deformationsgeschichte eine Verbesserung im Verständnis der geologischen Entwicklung in Südwestdeutschland, da diese Ergebnisse besser kompatibel mit bekannten stratigraphischen Daten sind. Diese Ergebnisse stellen somit eine bessere Grundlage für die Interpretation von Strukturen im Oberrheingraben dar und sollten zukünftig bei der Auswertung von 3D-Seismik-Daten, Reservoirstrukturen und der geologisch-tektonischen Entwicklung berücksichtigt werden. Probabilistische Ansätze im Zusammenhang mit einer relativen Lokalisierung von Hypozentren wurden im **AP4** durchgeführt und erwiesen sich im Vergleich zu absoluten Lokalisierungen hinsichtlich Präzision bei der Lokalisierung von Hypozentren und Abbildungstreue von Störungsflächen. Die Ergebnisse aus **AP5** zeigen die komplexen Interaktionen von Fluiden und den Hauptmineralen granitischer Reservoirgesteine auf. Die für die geothermische Nutzung wichtigsten Prozesse sind hierbei die Mobilisierung von  $Ba^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $SiO_2$  aus Feldspäten und Biotit-Chlorit und ihre Wiederausfällungen als Bariumsulfat, Quarz und Fe-Oxidhydraten, die Überzüge auf den Mineraloberflächen bilden. Diese Fe-Oxidhydrat-Überzüge sind in allen experimentellen Gesteins-Rückständen vorhanden und lassen sich auch in natürlichen Granitaufschlüssen dokumentieren. Sie sind wesentlich verantwortlich für die beobachtete Verlangsamung der Granit-Wasser Reaktion gegenüber der modellierten Lösungskinetik der reinen Minerale und sind für die chemisch-hydraulische Entwicklung des Reservoirs vorteilhaft. Nachteilig ist dagegen die Mobilisierung und Wiederausfällung von

Quarz, da diese in der Regel Permeabilitäten in geothermischen Reservoiren langfristig reduziert. Mit dem Bohrlochsimulator (**AP6**) lassen sich nun thermisch-hydraulisch-chemische-mechanische THCM-Prozesse im Druck-Temperaturbereich von  $P \leq 1$  kbar und  $T \leq 375$  °C modellieren. Dieser Druck-Temperaturbereich deckt alle relevanten Geothermie-Projekte in Südwestdeutschland und darüber hinaus ab. Eine Besonderheit ist die Modellierung von gashaltigen geothermischen Fluiden. Im **AP7** stellt die Erstellung eines ersten geologischen 3D-Untergrundmodells einen wichtigen Meilenstein für die Exploration des geplanten Wärmespeicherprojektes im Untergrund des KIT Campus-Nord dar, indem es die Tiefenlagen und Geometrien potenzieller Speicherhorizonte abbildet. Das Untergrundmodell bildet eine wichtige Grundlage für weitere Fragestellungen und kann zukünftig durch die gravimetrischen Daten, die im Rahmen dieses Arbeitspaketes erstellt wurden, sowie weitere Daten aus Bohrungen und Seismikprofilen weiter verfeinert werden. Die sedimentpetrographische Untersuchung der Sandsteine aus den Melettaschichten – einem potenziellen Speicherhorizont unter dem Campus-Nord – zeigt, dass die Porositätsverteilung im Sandstein damit das Speicherpotenzial dieses Sandsteins von frühdiagenetischem Calcizement kontrolliert wird.

### **3. Nutzen, insbesondere praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen**

Die Überarbeitung der LFZG-Internetseite (**AP1**) ist eine wichtige Voraussetzung zur Verbreitung von Informationen über Geothermie dar und bietet die Möglichkeit, spezielle auf der Internetseite bereitgestellte Inhalte über Soziale Medien zu teilen und zu verbreiten. Die Erkenntnisse aus **AP2** zeigen die Potenziale seismischer Arrays hinsichtlich der Detektion von Erdbeben mit sehr geringen Magnituden auf. Die Erkenntnisse und Daten aus dem **AP3** können für strukturgeologische Interpretationen bei der Erstellung von Untergrundmodellen für geothermische Exploration im Oberrheingraben verwendet werden. Die Erkenntnisse aus **AP4** können zukünftig für verbessertes seismisches Monitoring angewendet werden. Die Erkenntnisse aus **AP5** lassen sich für chemische Reservoirmodellierungen, insbesondere für das (chemische) Langzeitverhalten von geothermischen Reservoiren, nutzen. Der Bohrlochsimulator (**AP6**) kann für verschiedenen Geothermieprojekte eingesetzt und mit realen Daten ausprobiert und weiter getestet werden. Die Daten und Ergebnisse aus **AP7** sind wichtige Daten für die Entwicklung des DeepStor-Projektes und die Entwicklung einer Explorationsstrategie.

### **4. Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer auch in projektfremde Anwendungen und Branchen**

Über das AP1 und der Neugestaltung der Internetseite des LFZG werden die Ergebnisse von u.a. TG-CHARMING der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Die LFZG-Internetseite bietet die Möglichkeit, Inhalte dieser Internetseite über Soziale Medien weiter zu verbreiten. Der Ergebnistransfer dieses Verbundprojektes erfolgt durch verschiedene Publikationsaktivitäten – insbesondere Präsentationen auf wissenschaftlichen Fachtagungen (v.a. AP3, AP4, AP5), populärwissenschaftliche Präsentation im LUBW-Publikationsorgan „Einblicke“, diverse KIT-interne Präsentationen (AP7) und realisierten oder geplanten Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften (realisiert: Vorläuferprojekt von AP3, AP5; geplant: AP3, AP4, AP5, AP6).

#### **TG-CHARMING: Publikationsaktivitäten**

- Gaucher, E. (2017) How reliable is the geometrical interpretation of induced seismicity in geothermal fields? In: *Der Geothermie Kongress*.
- Gaucher, E., T. Kohl (2018) Reliability of geometrical interpretation of induced seismicity in geothermal fields, in *EGU General Assembly: Geophysical Research Abstracts*, vol. 20, EGU2018-18886.
- Grimmer, J.C. (2018a) GIS-based DEM5-LiDAR lineament analysis and fault-slip data from the Kaiserstuhl volcanic edifice and first structural data from the Vogelsberg volcanic field: Implications for Neogene deformation in the Upper Rhine Graben area. *GeoBonn 2018 Abstracts*, 100-101.

- Grimmer, J.C. (2018b) Neogene deformation in the Upper Rhine Graben area: Implications from GIS-based DEM5-LiDAR lineament analysis and fault-slip data from the Kaiserstuhl volcanic edifice. 6<sup>th</sup> European Geothermal Workshop Strasbourg.
- Grimmer, J.C. (2019) GIS-based LiDAR-DEM5 lineament analysis in crystalline basement rocks of the central and northern Black Forest, SW-Germany. European Geothermal Workshop, Karlsruhe.
- Herrmann, M. (2018) Strukturgeologische und petrographische Analyse der neogenen Deformation im Vogelsberg. BSc-Arbeit, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 48 S.
- Meixner, J., Grimmer, J.C., Becker, A., Schill, E., Kohl, T. (2018) Comparison of different digital elevation models and satellite imagery for lineament analysis: Implications for identification and spatial arrangement of fault zones in crystalline basement rocks of the southern Black Forest (Germany). *Journal of Structural Geology*, 108, 256-268.
- Schmidt, R., Bucher, K., Stober, I. (2018) Experiments on granite alteration under geothermal reservoir conditions and the initial fracture evolution. *European Journal of Mineralogy*, 30, 899-916.