



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



Conceptual 3D-structure model of the Variscan “Culm Fold Zone” in the vicinity of the Okertal dam (Harz Mountains, Germany) in terms of geothermal reservoir development

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

„Master of Science“

im Studiengang Geowissenschaften (M.Sc.)

vorgelegt von

Max Zeuner

aus Witzenhausen

Göttingen, den 21. Dezember 2018

Erstgutachter: Dr. rer. nat. Bernd Leiss

Zweitgutachterin: Dr. rer. nat. Bianca Wagner

Georg-August-Universität Göttingen

Fakultät für Geowissenschaften und Geographie

Geowissenschaftliches Zentrum

Abteilung Strukturgeologie und Geodynamik

Abstract

This study aims for the characterisation of the Variscan basement in the subsurface of the city of Göttingen, which is currently prospected as a possible “Enhanced Geothermal System”-reservoir. As an outcrop analogue, the area around the Okertal reservoir in the Upper Harz Mountains, Germany was chosen. The working area comprises tectonic units of the par-autochthonous Variscan domain, which is expected to continue along strike from the Harz Mountains up until the Lahn-Dill area of the Rhenish Massif, passing under the cities of Kassel and Göttingen. The most widespread tectonic unit of this domain is the Clausthal Culm Fold Zone, which together with adjacent units crops out along the Okertal reservoir.

For the structural characterisation of the geothermal reservoir volume, a conceptual 3D structure model is described on the basis of six outcrops within the south-eastern Clausthal Culm Fold Zone. Detailed investigations on them yielded structural profiles, a data base of fabric measurements and digital outcrop models. The results of all six locations were compared with observations from 65 other outcrops in the working area to transfer the detailed information into a larger volume. The investigated volume is regarded as structural heterogeneous with characteristic NW-facing folds with axial plane cleavage, younger NW-directed thrusts which can occur as cataclastic shear zones and cause duplex and triangle structures and a joint system that was induced during the Variscan orogeny and later partly activated as mainly dextral strike-slip faults. All features occur on outcrop, as well as reservoir scale on which they are similarly developed. While most of the structural inventory is comparable over reservoir scale, especially the thrust faults show stronger heterogeneity along strike. The structural control that is probably imposed by both the sedimentology of the flysch deposits and the south-eastern units of the Upper Harz Diabase Zone and Söse Zone are discussed. Distinguished is a central zone of fold-and-thrust tectonics, which is not observed to the north-east and fades out to the south-west, where shortening was either less strong or accommodated in a different way. The analogue reservoir volume is dominated by the Upper Harz veins (Oberharzer Gänge), which segment the volume into blocks with a length of up to several hundreds of metres, while the blocks themselves are internally characterised by their Variscan structural inventory. This Variscan inventory will also be present in the reservoir in Göttingen and can hence be used as heat exchange surfaces. The presence of post-Variscan structures is likely but cannot be predicted by the results of this thesis.

Representative outcrops were visualised with the use of innovative, ground-based and airborne Structure from Motion methods. This work was done during the exceptionally dry summer of 2018, which lead to the exposure of normally submerged outcrops. These digital outcrop models can be used for further quantitative structural element analysis in outcrops that would otherwise be inaccessible.

Kurzfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Charakterisierung des variszischen Grundgebirges im Untergrund der Stadt Göttingen, das zurzeit auf eine mögliche Eignung zur Nutzung als Reservoir eines Enhanced Geothermal Systems untersucht wird. Für Aufschluss-Analogstudien wurde das Gebiet um die Okertalsperre im Oberharz ausgewählt. Das Arbeitsgebiet besteht aus den tektonischen Einheiten der para-autochthonen variszischen Zone, die sich im Streichen vom Harz bis in das Lahn-Dill-Gebiet im Rheinischen Schiefergebirge fortsetzt und dabei die Städte Kassel und Göttingen unterquert. Die tektonische Einheit dieser Zone im Harz mit der größten Ausdehnung ist die Clausthaler Kulmfaltenzone, die zusammen mit den angrenzenden Einheiten entlang der Talsperre aufgeschlossen ist.

Zur strukturellen Charakterisierung des geothermischen Reservoirvolumens, wird hier ein konzeptionelles 3D-Strukturmodell beschrieben, das auf der Basis von sechs Aufschlüssen in der südöstlichen Clausthaler Kulmfaltenzone erstellt wurde. Die detaillierte Bearbeitung dieser Aufschlüsse führte zur Erstellung von strukturgeologischen Profilen, einer Datenbank von Gefügemessungen und digitalen Aufschlussmodellen. Die Ergebnisse dieser sechs Lokationen wurden mit den Beobachtungen aus 65 weiteren Aufschlüssen im Arbeitsgebiet verglichen, um deren detaillierte Informationen auf das gesamte Reservoirvolumen zu übertragen. Dieses wird als strukturell heterogen angesehen. Es ist vornehmlich charakterisiert durch NW-vergente Falten mit Faltenachsenparalleler Schieferung, jüngeren NW-gerichtete Auf- und Überschiebungen die als kataklastische Scherzonen ausgebildet sein können und die Duplex- und Dreiecksstrukturen hervorrufen, sowie ein variszisch angelegtes Kluftsystem, das mesozoisch zum Teil durch hauptsächlich dextrale Seitenverschiebungen aktiviert wurde. Alle beobachteten Strukturen haben Entsprechungen im Aufschluss- und Reservoir-Maßstab, in denen sie ähnlich ausgebildet sind. Während der Großteil des strukturellen Inventars über das Reservoirvolumen und im Streichen vergleichbar ausgebildet ist, zeigen insbesondere die Auf- und Überschiebungen eine heterogene Ausbildung im Streichen. Deren strukturelle Kontrolle ist wahrscheinlich zum Teil sedimentologisch innerhalb der Flysch-Ablagerungen angelegt aber auch von den südöstlich angrenzenden tektonischen Einheiten des Oberharzer Diabaszuges und der Sösezone bestimmt. Im zentralen Bereich des Volumens wird eine Zone unterschieden, die eine typische Falten-und-Überschiebungs-Tektonik zeigt. Im nordöstlichen Bereich ist diese Zone nicht sichtbar ausgebildet, während sie nach Südwesten abgeschwächt auskeilt. Dort war Verkürzung entweder weniger stark angelegt oder auf andere Art aufgenommen. Dominiert wird das Analog-Reservoir von den Oberharzer Gängen, die das Volumen in Blöcke mit einer Länge von mehreren hundert Metern zerlegen. Die Blöcke sind intern durch ihr variszisches Gefügeinventar charakterisiert. Dieses variszische Inventar wird auch im Reservoir unter Göttingen erwartet und kann dort als Wärmetauscherfläche genutzt werden. Das Vorkommen post-variszischer Strukturen wird als wahrscheinlich angesehen, kann aber von den Beobachtungen dieser Arbeit nicht abgeleitet werden.

Repräsentative Aufschlüsse wurden unter Verwendung innovativer boden- und luftgestützter Structure from Motion-Techniken visualisiert. Diese Arbeiten fanden im außergewöhnlich trockenen Sommer 2018 statt, wodurch normalerweise überflutete Aufschlüsse im Staubecken sichtbar wurden. Die dabei entstandenen digitalen Aufschlussmodelle können zur weiteren quantitativen Strukturelement-Analyse von Lokationen genutzt werden, die anderweitig nicht zugänglich wären.