

Wissenschaftliche Untersuchungen zur hydrothermalen Erdwärmegewinnung am Beispiel der TU Clausthal Erdwärme-Erlaubnis Burgwedel

K. M. Reinicke, L. Ganzer, J. Oppelt
TU Clausthal, Institut für Erdöl- und Erdgastechnik

Keywords: Hydrothermale Energiegewinnung, Wealden, Sektorkopplung, Norddeutschland

Zusammenfassung

Ist es technisch machbar und wirtschaftlich sinnvoll, im Raum Burgwedel Erdwärme aus 1.200 bis 1.400 Metern zu gewinnen und welche besten betrieblichen Praktiken sind anzuwenden. Dieser Frage geht die Universität Clausthal in einem 66 Quadratkilometer großen Gebiet nach. Hierzu wurden die Ergebnisse seismischer Messungen und die Daten der Bohrungen im benachbarten Erdgasfeld Thönse erhoben, erste Auswertungen durchgeführt, der Untergrund modelliert und simuliert und erste Konzepte entwickelt. Im Rahmen des Vortrages werden die bisherigen Ergebnisse vorgetragen, insbesondere zur Bestimmung der Permeabilitätsmächtigkeit sowie ggf. notwendiger Korrekturen, Bohrlochstabilität, Bohrspülung und Verrohrungsschema sowie Abnahmestruktur und Jahresnutzungsgrad.

1. Einleitung

Mehr als 50 Prozent des deutschen Energiebedarfs entfallen auf den Wärmesektor. Etwa 60 Prozent davon dienen der Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser mit einem Temperaturbereich zwischen 30 und 90 Grad Celsius [1] [2]. Für die Bereitstellung dieser Wärme sowie die Bereitstellung von Kälte ist die Geothermie eine geeignete Form der Energie. Sie ist ständig verfügbar, unterliegt keinen saisonalen oder täglichen Wetterschwankungen, besitzt einen nahezu unbegrenzten Energievorrat, ist klimafreundlich, führt zu lokaler Wertschöpfung und ist unabhängig von Rohstoffregionen in und außerhalb von Deutschland. Aber Geothermie ist mehr als nur Wärmegewinnung. Die Wärmeträgheit des Untergrundes macht auch eine saisonale Speicherung von Wärme möglich, eine Eigenschaft, die die Geothermie zum idealen Partner für eine Kopplung mit Solarenergie, Photovoltaik oder Windstrom macht. Mit dieser Flexibilität kann die Geothermie auch zur zeitlichen Harmonisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch beitragen.

In Deutschland waren mit Stand März 2018 36 tiefe Geothermieprojekte mit einer thermischen Leistung von rund 0,3 GW_{th} in Betrieb [3]. Die bereitgestellte Wärmemenge betrug 2016 ca. 1 TWh_{th}, das entspricht weniger als ein Promille des Energieverbrauches für die Wärmebereitstellung [4]. Die Zahlen für oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme sind 4,1 GW_{th} für Wärmeleistung und 11,3 TWh_{th} für Wärmemenge [3] [4]. Aufgrund günstigerer geologischer Voraussetzungen liegen fast alle tiefen Geothermieprojekte in Süddeutschland. Die Leistung der Geothermieprojekte im Norden beträgt nur ca. 9 von 315 MW_{th}. Im Großraum um München werden aus der Molasse Thermalwässer mit geringer Salzbeladung und Schüttungsraten von 100 l/s und mehr erreicht. Im Oberrheintal werden aufgrund besonders hoher Temperaturgradienten bereits in relativ geringen Teufen hohe Temperaturen angetroffen. Der Norden hat keine vergleichbaren

Bedingungen vorzuweisen, die Geothermieprojekte "quasi zum Selbstläufer" machen. Die tiefe Geothermie auch unter den hier angetroffenen Bedingungen zur Wirtschaftlichkeit zu führen ist ein Ziel, zu dem die TU Clausthal durch Forschung und Lehre beitragen möchte. Durch Forschung soll zu Konzepten beigetragen werden, um die geothermischen Ressourcen des Untergrundes im Norden wirtschaftlich und nachhaltig zu nutzen und durch Lehre, um Nachwuchskräfte auszubilden, die diese Konzepte sicher und umweltverträglich umsetzen.

Arbeitsschwerpunkte der Forschung sind [5]:

- Fündigkeitsrisiko verringern (in Zusammenarbeit mit dem Geozentrum Hannover)
- Bohrkosten senken (in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Drilling Simulator Celle)
- Entnahme- und Injektionsraten verbessern
- technische Risiken beherrschen
- durch Kopplung mit anderen Energieträgern bis hin zur Wärmespeicherung die Wirtschaftlichkeit verbessern (in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Energiespeichertechnologien, Goslar).

2. Aufsuchungserlaubnis Erdwärme Burgwedel

Für eine praxisnahe Gestaltung der Arbeiten hat die TU Clausthal im Raum Burgwedel nordöstlich von Hannover eine etwa 66 Quadratkilometer große Erlaubnis beantragt, die am 01.03.2018 durch die zuständige Bergbehörde für drei Jahre erteilt wurde,

Abbildung 1. Für diese Erlaubnis möchte die TU Clausthal nachweisen, dass eine Gewinnung von geothermischer Energie unter den hier gegebenen Bedingungen technisch machbar und wirtschaftlich sinnvoll ist. Hierzu ist in der Aufsuchungsphase geplant, das Geothermiepotential in Burgwedel zu bewerten, Konzepte zur Nutzung des Potentials für eine Versorgung von Großburgwedel mit Wärme und ggf. Kälte zu entwickeln sowie die Konzepte zu bewerten und zu optimieren. Aktivitäten im Feld sind in dieser Phase nicht geplant, da alle notwendigen Informationen aus dem Erdgasfeld Thönse zur Verfügung stehen, dessen Reservoir die Thermalwasser-führenden Schichten unterlagert.

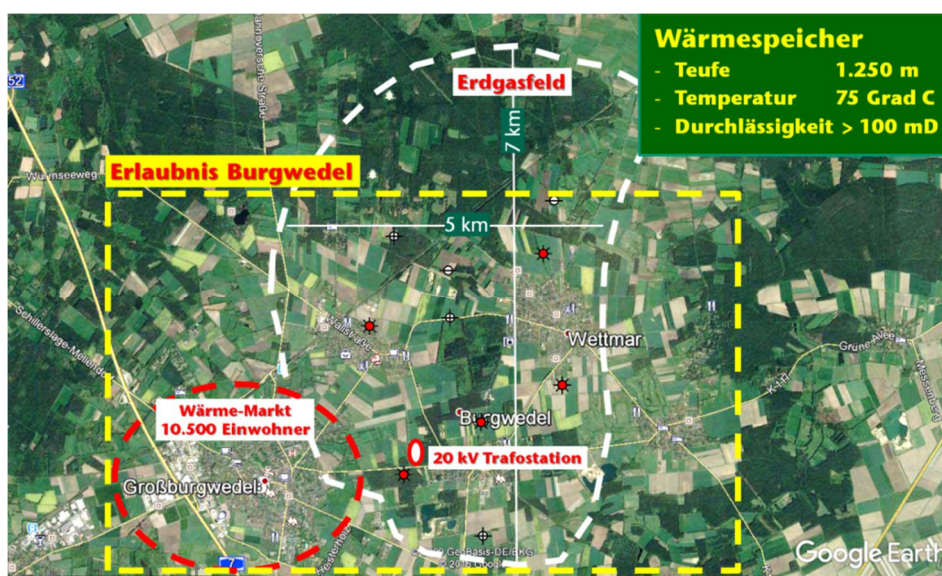


Abbildung 1: Erlaubnis Burgwedel

Das Untersuchungsgebiet Burgwedel zwischen Hannover und Celle bringt eine Reihe von Besonderheiten mit, die es für geothermische Aktivitäten in besonderer Weise geeignet macht. Mit der Stadt Großburgwedel mit seinen mehr als 10.000 Einwohnern, öffentlichen Gebäuden der Verwaltung, Schulzentrum, Freibad, Krankenhaus sowie zahlreiche Handels- und Gewerbebetriebe existiert ein Wärmebedarf mit einem ausreichend hohen Absatzpotential. Im Untersuchungsgebiet gibt es in etwa 1.200 bis 1.400 Metern Tiefe mehrere Sandsteinschichten, die Wasser mit Temperaturen von 70 Grad Celsius und mehr führen. Unter normalen Temperaturbedingungen müsste man etwa 2.000 Meter tief bohren, um solche Temperaturen anzutreffen. Die Existenz der Sande und ihre Qualität ist nachgewiesen durch die im Erlaubnisfeld liegenden Bohrungen des Erdgasfeldes Thönse. Die verfügbaren Daten lassen Thermalwasser-Entnahmeraten von 25 l/s und mehr erwarten. Im Untersuchungsraum ist eine Hochspannungsleitung mit Umspannwerk für eine mögliche Sektorkopplung mit Strom vorhanden, um im Sommer aus Strom Wärme zu erzeugen und diese saisonal im Untergrund zu speichern. Der Untersuchungsraum wird unterlagert vom Erdgasfeld Thönse, aus dem Gas für eine Kopplung und Besicherung mit Gas zur Verfügung steht. Die Wärmeleistung eines Koppelprojektes, bei dem die regenerative Energiequelle „Geothermie“ als Grundlastenergie mit 6.000 Volllaststunden und mehr laufen kann, wird auf 5-6 MW geschätzt.

Das Schnittbild in Abbildung 2, erzeugt mit Hilfe des LIAG Informationssystems GeotIS [6], zeigt die Struktur des Untergrundes im Raum Hannover-Burgwedel mit den Thermalwasserhorizonten in den Sanden des Wealden in blau unterlagert vom Gasreservoir im Dogger in rot sowie einige Bohrungen des Gasfeldes Thönse, Gb1 etc.. Gezeigt ist auch die Geothermie-Bohrung Groß Buchholz GT1 (GB GT1) des GeneSys Projektes des Geozentrums Hannover, in der die oberen, schlechter ausgebildeten Schichten im Wealden getestet wurden.

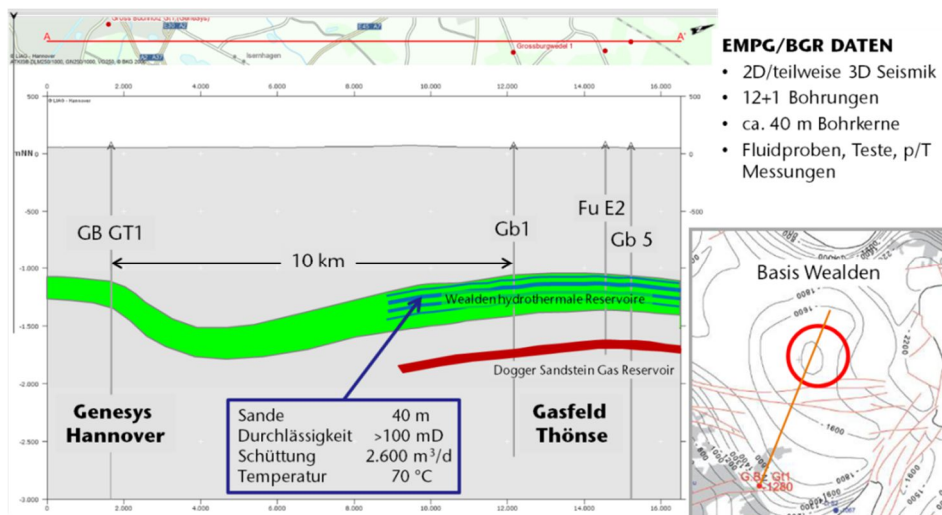


Abbildung 2: Schnittbild Hannover-Burgwedel und verfügbare Daten (verändert)

Zur Beschreibung des Untergrundes im Untersuchungsraum stehen alle relevanten Daten des Erdgasfeldes Thönse und der Geothermiebohrung des GeneSys Projektes, GB GT1 zur Verfügung. Diese bestehen aus 2D und teilweise 3D Seismik, Bohrkernen, Bohrlochmessungen für 13 Bohrungen, Temperaturprofilen, sowie Fluiddaten und Test- und Druckdaten für GB GT1. Die Daten wurden der TU Clausthal vom Thönse-Konsortium und vom Geozentrum Hannover zur Verfügung gestellt. Aus dem größeren Umfeld wurden darüber hinaus die in Kuder et al. [7] dokumentierten Kerndaten für Wealden mit Erlaubnis der Eigentümer akquiriert und ausgewertet.

3. Laufende und geplante wissenschaftliche Arbeiten

Die anfänglichen Arbeiten konzentrieren sich auf die Charakterisierung und Modellierung des Untergrundes sowie die Simulation von Wärmegewinnungs- und Wärmespeicher-Szenarien. Parallel dazu wird mit der Analyse von Referenzbohrungen und –anlagen begonnen, um bewährte Praktiken zu identifizieren und diese umzusetzen in Programme zur Herstellung von Bohrungen und obertägigen Anlagen. Die Bohrungsherstellung soll u.a. in einem virtuellen Test im Forschungszentrum Drilling Simulator Celle überprüft werden.

Die Untertage-Charakterisierung beginnt mit der Auswertung der seismischen Information in Form eines teilüberdeckenden 3D Surveys und mehrerer 2D Linien zur Bestimmung des strukturellen Verlaufs der bis zu 30 Meter mächtigen Sandlagen, die in Tonsteine eingebettet sind. Wesentlicher Teil der Arbeiten ist dabei der Nachweis der Kontinuität der Schichten im relevanten Teufenbereich durch Ausschluss von Durchlässigkeitsbarrieren in Form geologischer Störungen zwischen möglichen Bohrungslandepunkten. Leider sind die seismischen Signale in wassergesättigten Schichten nicht so gut zu interpretieren, wie in gasgefüllten Sanden, in denen ein höherer Dichteunterschied ein stärkeres Signal liefert. Dennoch wurden einige Störungen identifiziert, die in ein dreidimensionales geologisches Modell integriert wurden.

Im Mittelpunkt der aktuellen Bearbeitungsphase des Jahres 2018 stehen die Bohrlochmessungen. Sie wurden bis Basis Unterkreide editiert, ausgewertet und interpretiert. In den Bohrungen angetroffenen Sandschichten wurden korreliert und ihre Ausmaße (Top/Base) und Eigenschaften (Brutto-/Netto-Mächtigkeit und Porosität) bestimmt. Die Ergebnisse für Porosität wurden mithilfe bestehender Kerndaten kalibriert. Besondere Herausforderungen stellen die unterschiedlichen Sätze von Logs der unterschiedlich alten Bohrungen dar. Da die Logauswertung von besonderer Bedeutung für das Projekt ist, wurden externe Berater hinzugezogen, die die studentischen Arbeiten überprüfen und gegebenenfalls verbessern. In diesem Zusammenhang wurden zur besseren Charakterisierung der stark variierenden Matrix drei Faziesklassen Sandstein, Kalksandstein und Tonstein eingeführt.

Die für Produktivität und Injektivität wichtige Durchlässigkeitsmächtigkeit $k \times h$ wird ermittelt aus der Porosität durch Anwendung einer aus den verfügbaren Kerndaten abgeleiteten ϕ/k – Beziehung. Die Analyse zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen Kerndaten von Thönse und Groß-Buchholz, die bekanntermaßen aus Sandlagen stammen, und den übrigen Daten, deren Gesteinscharakter nicht Sand ist bzw. für die der Gesteinscharakter nicht bekannt ist. Letztere entstammen insbesondere den weiteren Referenzbohrungen im größeren Umfeld von Hannover-Burgwedel, die bei Kuder et al. [7] dokumentiert sind. In geplanten Arbeiten soll untersucht werden, ob die niedrigeren Permeabilitäten auch auf karbonatische Zementation zurückgeführt werden können. In diesem Fall wären in der Faziesklasse Kalksandstein Korrekturen notwendig, die zu quantifizieren wären, da für die ϕ/k – Beziehung nur Proben der Faziesklasse Sandstein zu Verfügung standen.

Die vorliegenden Permeabilitäten sind zumindest für Thönse überwiegend Gas-Permeabilitäten, gemessen bei einem Manschettendruck von 10 bar, an ungewässerten Proben, getrocknet bei 100 Grad Celsius. Zur Feststellung von Korrekturbedarf für Auflast, die größer ist als 10 bar, Porenfüllung mit Wasser statt Gas, Behandlung vor den Messungen wurden ergänzende Analysen durchgeführt und für die Herstellung einer ϕ/k – Beziehung benutzt. Für die einzige Bohrung mit einem Transiententest, Groß Buchholz GT1, wurde in einer Plausibilitätsprüfung ein Vergleich zwischen der Permeabilitätsmächtigkeit aus Test und aus Porosität und ϕ/k – Beziehung

vorgenommen, der leider nur in den oberen, schlechter ausgebildeten Schichten des Wealden getestet werden konnte.

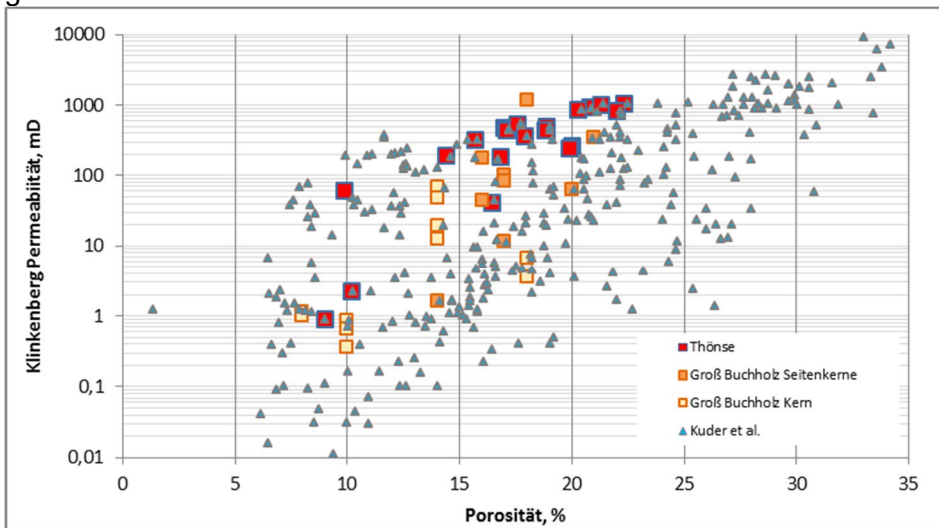


Abbildung 3: Wealden Poroperm Daten Großraum Hannover

Der Aufbau des Wealden ist aufgrund seines deltaisch/flachmarinen/lagunären Ablagerungsmilieus bekanntermaßen komplex. Zur weiteren Reduzierung des Kontinuitätsrisikos ist daher an die Durchführung von seismischen Attributanalysen gedacht, um die mächtigeren Sandschichten zu verfolgen und in ihrer $\phi \times h$ -Ausbildung zumindest qualitativ zu erfassen. Voraussetzung ist der Nachweis, dass die Sandschichten in der Seismik erkannt werden können. In Untersuchungen des LIAG für 2D Linien über GB GT1 ist dies gelungen [8].

Die Ergebnisse werden integriert zu einem Geo- und einem Simulationsmodell, die genutzt werden zur Bestimmung von

- Produktions-/Injektions-Indices
- Landepunkt Anordnung (Störungen)
- Untertageabstand der Bohrungen
- Bohrungsverlauf durch die Sandsteinschichten (vertikal/geneigt)
- Auskühlung im Rahmen einer ausschließlichen Gewinnung
- Temperaturentwicklung im Rahmen saisonaler Speicherung.

In Risikoanalysen werden die Risiken Schüttung und Nachhaltigkeit (Sandkontinuität) bewertet.

Parallel dazu werden die Erfahrungen bei der Bohrungsherstellung im Erdgasfeld Thönse und Groß Buchholz aufgenommen und bewertet sowie die Bohrungskomplettierung und der obertägige Ausbau vergleichbarer Wärmekraftwerke analysiert. Ziel der Analysen der Bohrungsherstellungen ist es, den Untertagebedingungen (Poren- und Frackdruck sowie Bohrlochstabilität) durch ein optimales Bohrprogramm Rechnung zu tragen. Die Referenzbohrungen werden analysiert auf Bohrwerkzeuge/Bohrfortschritt, Spülung/Kaliber Rohrabsetzteufen sowie Verrohrung/Verbinder. Die Probleme mit Bohrungsinstabilitäten sind in Abbildung 5 deutlich zu erkennen und gelten in ähnlicher Form für alle analysierten Bohrungen im Gebiet. Ihnen wird durch ein entsprechendes Bohrspülungsprogramm und Verrohrungsschema Rechnung getragen. Die Analysen der Bohrberichte werden ergänzt durch Logauswertungen nach Gardner und Barré zur Quantifizierung

von Overburden- [9], Poren- [10] und Frackdruck [11] [12] [13]. Die Auswertungen sind jedoch über weite Bereiche wegen der großen Auskesselungen wenig aussagekräftig.

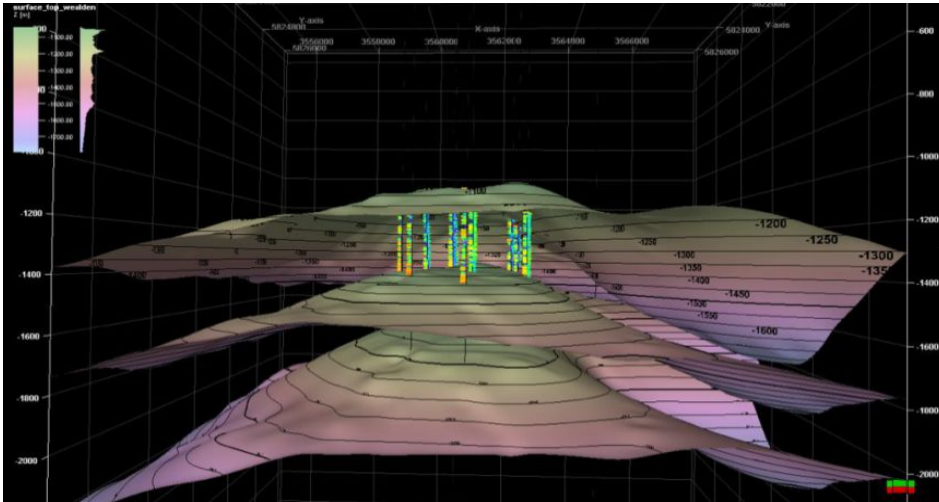


Abbildung 4: Dreidimensionale Darstellung Top und Basis (erste und zweite Fläche) der thermalwasserführenden Formation Wealden und Bohrungen des Gasfeldes Thönse (Studentisches Gruppenprojekt Team Fuhrberg, 2017)

Ziel der Analyse vergleichbarer geothermischer Gewinnungssysteme bis hin zu Biogasanlagen ist es, bewährte Praktiken zu identifizieren, insbesondere zur Vermeidung von Ablagerungen und Korrosion, Herstellung von Injektionswasserqualität, Maximierung der Wärmeausbeute etc.

Ergänzende Analysen sind geplant zur Modellierung des Salzwasserkreislaufes, den durch Druck- und Temperaturänderungen ausgelösten Ablagerungen und Möglichkeiten ihrer Vermeidung. In diesem Zusammenhang soll auch der Einfluss des Lösungsgases untersucht werden, um die Frage zu klären, ob entlöstes Gas im Thermalwasser-Kreislauf verbleiben sollte oder ob es besser ist, es zu entnehmen.

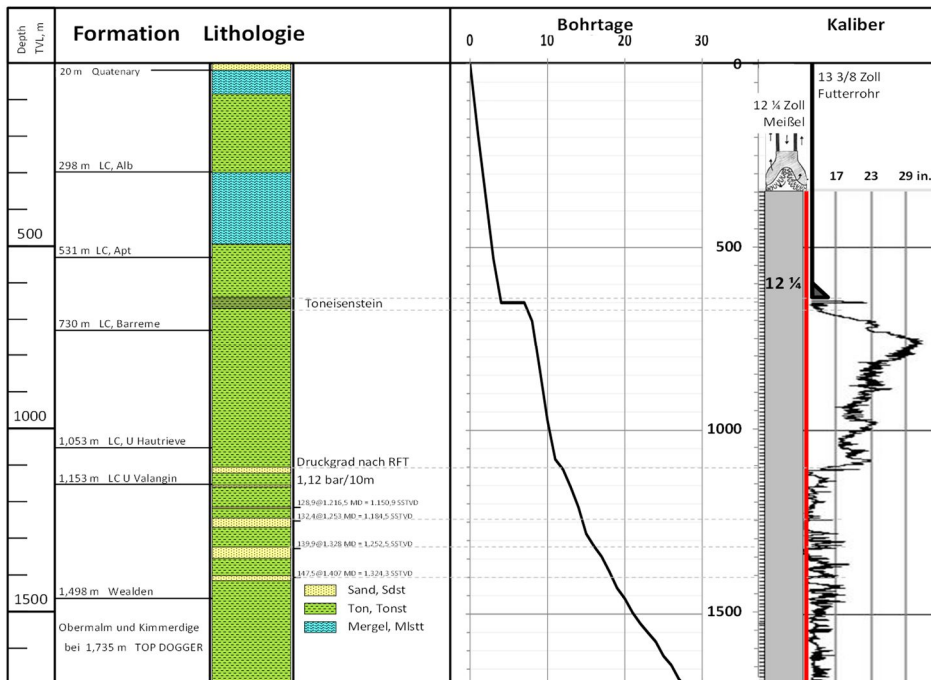


Abbildung 5: Lithologie, Bohrfortschritt, Bohrlochkaliber

Die Ergebnisse der Bewertungen sind Basis der Programme, die für die Ausführung der Bohrungen festgelegt werden müssen, insbesondere für [14]:

- Bohrmeißel (Durchmesser, Typ)
- Bohrspülung (Typ, Dichte, Additive)
- Verrohrungsschema (Absetzteufen, Durchmesser)
- Verrohrung (Materials, Verbinder, Festigkeiten)
- Zementation (Zementationshöhe, Zementtyp, Ausführung)
- Bohrlochmessungen, Beprobungen und Tests (Logs, Kerne, Untertage Probennahme, Produktionsteste, Druck- und Temperaturmessungen)
- Komplettierung (Material, Endteufe, Durchmesser, Wandstärke)
- Förderhilfsmittel (Tauchkreiselpumpe oder Gaslift)
- Spezialelemente (z.B. Landenippel zum Setzen von Stopfen und Messgeräten, Side Pocket Mandrels bei Injektionsbedarf in den Strang etc.)
- Maßnahmen zur Beherrschung produktionstechnischer Probleme (Filter oder Gravel Pack zur Beherrschung von Sandproduktion etc.)
- Bohrlochkopf und Eruptionskreuz.

Der Festlegung des Bohrprogramms folgt eine Überprüfung und ggf. Anpassung in einem virtuellen Test mit dem Drilling Simulator Celle. Die Ergebnisse sind auch Basis der Auslegung des ober-tägigen Ausbaus mit Rohrleitungen, Filtern, Wärmetauschern und ggf. Druckhaltesystemen und Abscheidern (Feldausbauprogramm). In Risikoanalysen werden die technischen und finanziellen Risiken bewertet.

Arbeiten zur Frage, wie ein Wärmemarkt mit sehr hohen Abnahmen im Winter und sehr geringen Abnahmen im Sommer am besten zu bedienen ist, haben zu Entwicklungskonzepten geführt, bei denen durch Kopplung mit anderen Energiequellen die regenerative Energiequelle „Geothermie“ als Grundlastzeuger laufen kann. Die über die „Grundlast“ hinausgehende „Winterspitze“ wird dabei entweder mit anderen Energiequellen (Erdgas, wie in [15] beschrieben, oder Hochtemperatur

Wärmepumpe) oder durch saisonale Wärmespeicherung abgedeckt, Abbildung 6. Bei letzterer Variante wird durch Sektorkopplung mit Strom im Sommer Wärme aus Strom erzeugt, im Untergrund gespeichert und im Winter zurückgewonnen.

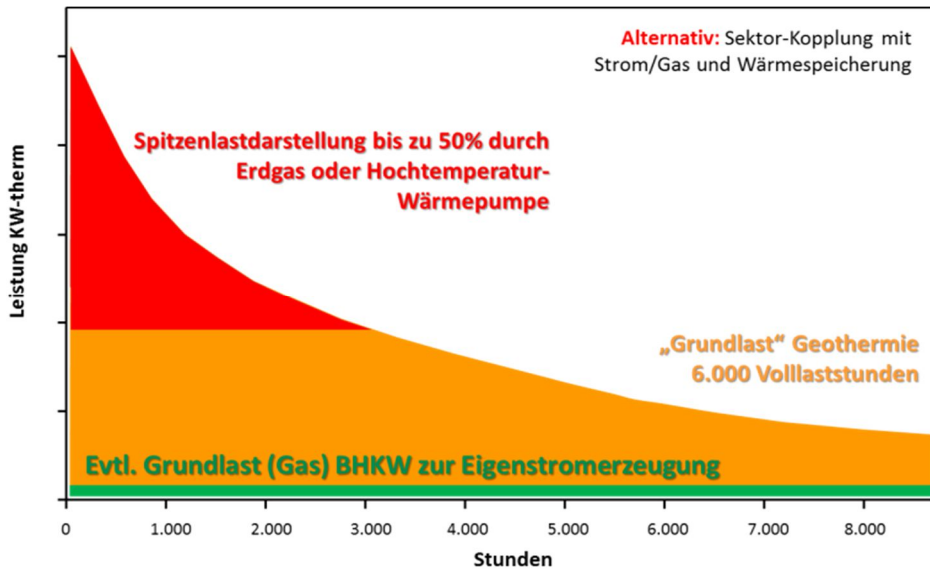


Abbildung 6: Typische Jahresganglinie eines Wärmeprojektes und Bedarfsdeckung durch Kopplung

Die Untersuchungen werden begleitet durch Analysen des Absatzmarktes Groß Burgwedel und seiner möglichen Erschließung. Sie sollen mit externer Unterstützung durchgeführt werden. Die Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse ist im nachstehenden Entwicklungskonzept wiedergegeben, Abbildung 7. Für die weitere Konkretisierung werden auch die in Besuchen insbesondere des Geothermiekraftwerkes Neustadt Glewe, der Heizzentrale Neubrandenburg sowie des Biogasbetriebes Büchtmann Thönse, gewonnenen Erkenntnisse berücksichtigt.

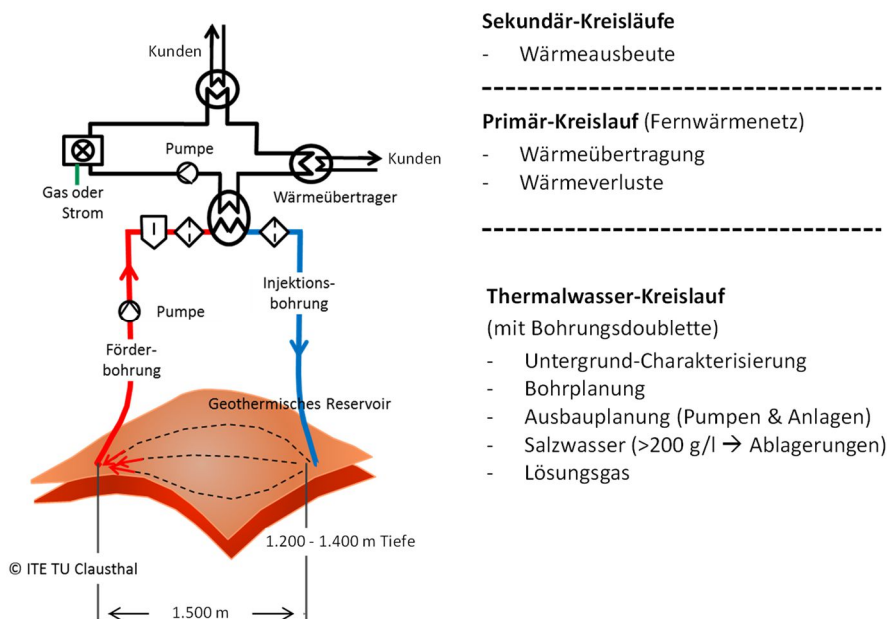


Abbildung 7: Entwicklungskonzept

Den Abschluss der Arbeiten bilden die Integration der Ergebnisse und Erarbeitung von Szenarien zur Entwicklung und Nutzung der Thermalwasser-Sande, ihre wirtschaftliche Bewertung und ihre Optimierung.

Die Arbeiten der TU Clausthal zur Erkundung und Entwicklungsplanung werden zum überwiegenden Teil im Rahmen betreuter, studentischer Arbeiten insbesondere durch Studierende der Studienrichtung „Tiefe Geothermische Systeme“ durchgeführt. Die Ergebnisse werden durch erfahrene Wissenschaftler und Ingenieure nachgearbeitet. Mit Stand Mitte 2018 waren vier Projektarbeiten studentischer Arbeitsgruppen (Gruppenprojekte), Abbildung 8, und eine Masterarbeit durchgeführt worden. Aktuell werden drei Masterarbeiten durchgeführt. Geplant sind vier weitere Gruppenarbeiten und etwa 4-6 Masterarbeiten sowie zwei Promotionen. Die Arbeiten werden durch Postdocs und Doktoranden begleitet.

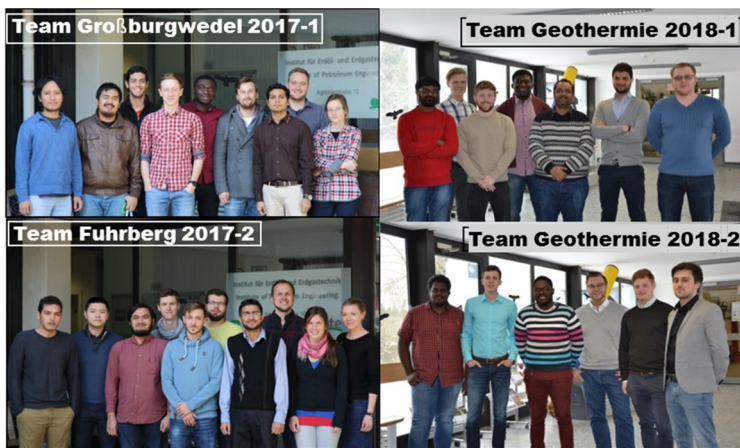


Abbildung 8: Studentische Arbeitsgruppen Geothermie

4. Endergebnis

Wirtschaftliche Geothermieprojekte zur Wärmenutzung in Norddeutschland sind herausfordernd aber scheinen nicht unmöglich, bei

- ausreichend großem Absatz
- „Sektor“-Kopplung mit Geothermie als Grundlast
- umfassender planerischer Vorbereitung
- ganzheitlichem Entwicklungsansatz
- intelligentem Ausbau und Betrieb
- Einsatz neuer Technologien.

QUELLENANGABEN

- [1] Umweltbundesamt, „Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme, Tabelle „Energieverbrauch des gesamten EEV-Sektors für Wärmezwecke“,“ 15 März 2018. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#textpart-1>. [Zugriff am 25.09.2018].

- [2] BMWi , „Energiedaten: Gesamtausgabe Stand: August 2018,“ August 2018. [Online]. Available: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=34. [Zugriff am 25 09 2018].
- [3] Bundesverband Geothermie, „Geothermie in Zahlen,“ März 2018. [Online]. Available: <http://www.geothermie.de/aktuelles/geothermie-in-zahlen.html>. [Zugriff am 12. 09. 2018].
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2016,“ August 2018. [Online]. Available: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=8. [Zugriff am 12. 09. 2018].
- [5] K. M. Reinicke und J. Oppelt, „Bewährte Praktiken in der hydrothermalen Wärmeengewinnung aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht,“ *Erdöl Erdgas Kohle*, zu Veröffentlichung angenommen.
- [6] T. Agemar, J. Alten, B. Ganz, J. Kuder, K. Kühne, S. Schumacher und R. Schulz, „The Geothermal Information System for Germany - GeotIS,“ *ZDGG Band 165 Heft 2*, p. 129–144, 2014.
- [7] J. Kuder, F. Binot, W. Hübner, J. Orilski, T. Wonik und R. Schulz, „Für die Geothermie wichtige hydraulische Parameter von Gesteinen des Valangin und der Bückeberg-Formation (Wealden) in Nordwestdeutschland,“ *Z. Dt. Ges. Geowiss*, 165 (3),, pp. 455-467, August 2014.
- [8] J. Orilski , „Aufnahme eines vertikalen seismischen Profils (Kompressionswellen) - Geothermie-Bohrung Groß Buchholz Gt1 – Ergebnisbericht –,“ Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, April 2013.
- [9] Wikipedia , „Gardner’s relation,“ 18 March 2018. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Gardner%27s_relation. [Zugriff am 28 09 2018].
- [10] J. Zhang und S. Yin, „Real-Time Pore Pressure Detection: Indicators and Improved Methods. Geofluids Volume 2017, Article ID 3179617,“ 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2017/3179617>. [Zugriff am 08 09 2018].
- [11] J. Zhang und S. Yin, „Fracture gradient prediction: an overview and an improved method. Pet. Sci. 14/2017: 720–730,“ 2017. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12182-017-0182-1>. [Zugriff am 28 09 2018].
- [12] R. D. Barree, J. V. Gilbert und M. W. Conway, „Stress and Rock Property Profiling for Unconventional Reservoir Stimulation,“ in *SPE Hydr.Frac.Techn.Conf.*, The Woodlands, Tx., 19-21 January, 2009.
- [13] T. H. Leshchyshyn, K. K. Beadall, P. E. Meier, M. W. Hagel und B. R. Meyer, „Using empirically developed Rock Tables to predict and History Match Fracture Stimulations. SPE 86989,“ in *Intl. Thermal Operation and Heavy Oil Symp.*, Bakersield Cal., 16-18 March 2004, 2004.
- [14] Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie (BVEG), „BVEG Technische Regel Bohrungsintegrität,“ 1. August 2017. [Online]. Available: <https://www.bveg.de/News/Newsarchiv/20172/Neue-Technische-Regel-des-BVEG>. [Zugriff am 28 3 2018].
- [15] S. Frank, „Einfluss von Tiefengeothermie-Projekten auf die Luftqualität im Großraum München am Beispiel der Gemeinde Ismaning. Masterarbeit, Fachhochschule Kufstein Tirol,“ 2013. [Online]. Available: http://www.frank-umwelttechnik.de/tl_files/pdf/Masterarbeit_EEW_2013_bb_FRAN. [Zugriff am 08 08 2018].

Kurt M. Reinicke, Agricolastrasse 10, 38678 Clausthal-Zellerfeld
kurt.m.reinicke@tu-clausthal.de