



TU Clausthal

DSC

Drilling Simulator Celle

Jahresbericht 2020/2021 des Drilling Simulators Celle (DSC)



Jahresbericht 2021/2021
des Drilling Simulators Celle (DSC)

Inhalt

1. Entwicklung des Drilling Simulators Celle (DSC)	5
2. Geschäftsbericht und Infrastruktur	8
3. Strategiebildende Forschungsprojekte in den Jahren 2020/2021	14
OBS: Optimierung des Bohrfortschritts für tiefe Geothermiebohrungen durch systematische Analyse untertägiger Schwingungen im Laborversuch	16
OBE: Optimierung der Bohroperationen für Geothermieprojekte durch realistische Echtzeit-Simulation	22
GeoTWIN: Tiefengeothermie zur Wärmeversorgung in Norddeutschland – Studie zu neuen Konzepten zur Risikominimierung beim Aufschluss geothermaler Reservoirs.....	28
Modellierung und numerische Berechnung des Mehrphasentransports in der Tiefbohrtechnik	34
GeolInnoSens – Innovative Sensor- und Messtechnik für Geothermiebohrungen	40
4. Wissenstransfer in die Praxis	45
Wissenstransfer in die Praxis und zurück – Die Celle Drilling Conference	46
Von der Forschung in die Praxis – von der Praxis in die Forschung	46
5. Schlaglichter	50
6. Anhang.....	54



ENTWICKLUNG DES DRILLING SIMULATORS CELLE (DSC)



Liebe Leser:innen,

mit unserem Jahresbericht 2020/2021 blicken wir auf eine Zeit zurück, die vielen von uns lange in Erinnerung bleiben wird und die uns vor vielfältige Herausforderungen gestellt hat. Im privaten wie im beruflichen Umfeld mussten wir uns pandemiebedingt umstellen, neu organisieren und vielfach improvisieren. Es war ein enormer Kraftakt, alle Mitarbeiter:innen innerhalb kürzester Zeit für das Arbeiten zu Hause auszustatten und herausfordernd für alle, sich für ein nahtloses Weiterarbeiten vor Ort möglichst schnell in eine neue Form des Arbeitens einzufinden. Trotz widriger Rahmenbedingungen haben sich unsere Forscher:innen äußerst engagiert daran beteiligt, die Arbeiten am DSC erfolgreich weiterzuführen und auszubauen. Dem gilt mein ganz persönlicher Dank.

Dieser Jahresbericht steht also noch im Zeichen der Corona-Pandemie. Er soll aber auch zeigen, dass Corona nicht alles überschattet hat – viele spannende Projekte wurden weitergeführt oder neu begonnen. Die Expertise der Forscher:innen am DSC ist in der Branche gefragt, was sich an der kontinuierlichen Nachfrage nach Kooperationen erkennen lässt.

Eine sichere und wirtschaftliche Tiefbohrtechnik wird zukünftig auch in einem nachhaltigen, von erneuerbaren Energien geprägten Energiesystem eine große Bedeutung haben. Insbesondere aufgrund des hohen Energiebedarfs im Wärmesektor, der mehr als die Hälfte des gesamten nationalen Energiebedarfs umfasst, werden innovative und spezifisch an die tiefengeothermale Wärmegewinnung angepasste Technologien erforderlich, um die vorhandenen Potenziale in Tiefen ab 1.500m umweltgerecht und wirtschaftlich ausschöpfen zu können. Ferner werden auch Technologien zur großtechnischen, teilweise auch saisonalen, untertägigen Zwischenspeicherung erneuerbarer Energien eine wesentliche Rolle spielen, um die Stabilität des Energiesystems aufrechterhalten zu können. Eine der Schlüsselkomponenten in diesem Zusammenhang ist die Tiefbohrtechnologie mit all ihren Facetten, die die Grundlage für die Arbeiten des Drilling Simulators bildet. Dies schließt eine umfassende Digitalisierung ein, um Analyse, Planung, Steuerung und Kontrolle von Bohrprojekten substantiell weiter entwickeln zu können.

Mit dem Ziel, die disziplinübergreifenden Forschungsaktivitäten des Niedersächsischen Forschungsverbundes „Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik – gebo“ zu verstetigen, wurde der Drilling Simulator Celle (DSC) als neue Forschungsstelle unter dem Dach des damaligen Energie-Forschungszentrums Niedersachsen der Technischen Universität (TU) Clausthal im Zentrum der deutschen Bohr- und Geothermieindustrie in Celle errichtet. Unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Joachim Oppelt wurden ab dem Frühjahr 2015 u.a. der organisatorische, infrastrukturelle und personelle Aufbau der Einrichtung vollzogen sowie erste Forschungsprojekte eingeworben. Seit dem Jahr 2018 stellt der DSC innerhalb der TU Clausthal ein eigenständiges Forschungszentrum dar. Zum 30.09.2020 schied Prof. Dr.-Ing. Joachim Oppelt aus der operativen Führung des DSC aus. Bis zur Besetzung der Professur für Hochleistungsbohrtechnik und Automatisierung am Institute of Subsurface Energy Systems (ITE) der TU Clausthal hat das bisherige Vorstandsmitglied Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner vom Institut für Technische Mechanik der TU Clausthal die wissenschaftliche Leitung des DSC übernommen. Derzeit arbeiten 17 Personen am oder für den DSC, darunter 13 Wissenschaftler:innen. Letztere werden ausschließlich aus Drittmittelprojekten finanziert.

Der Forschungsansatz umfasst die Beschreibung und Optimierung der komplexen thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelten Phänomene bei der Realisierung von Tiefbohrungen. Ein tiefgreifendes Verständnis dieser Phänomene ist von entscheidender Bedeutung, um die bei Tiefbohrprojekten inhärenten technischen, umweltrelevanten und auch wirtschaftlichen Risiken sicher beherrschen zu können. Dies erfolgt durch mathematische Modelle und numerische Berechnungsverfahren, die am DSC kontinuierlich weiterentwickelt werden. Diese Modelle werden am DSC unter realitätsnahen Bedingungen im Realmaßstab experimentell validiert und zur Vorhersage real geplanter Projekte eingesetzt. Erst durch den kombinierten Einsatz theoretischer und experimenteller Methoden ist es möglich, valide Aussagen zu den genannten Risiken zu machen und diese frühzeitig erkennbar und beherrschbar zu

machen. Der Forschungsansatz umfasst somit sowohl grundlagenorientierte als auch stark anwendungs- bzw. transferorientierte Aspekte. Dies spiegelt sich auch in der Verteilung der Drittmittelgeber aus Industrie, Bundesministerien, der Europäischen Regionalförderung und der Deutschen Forschungsgemeinschaft wider.

Mit dem vorliegenden Jahresbericht stellt der Drilling Simulator Celle erstmals seine aktuellen Forschungsarbeiten und weitere Aktivitäten der interessierten Öffentlichkeit vor. Der Berichtszeitraum umfasst die zurückliegenden Jahre 2020 und 2021, die in weiteren Teilen auch am DSC von den Auswirkungen der Corona-Pandemie geprägt waren. Zukünftig soll der Jahresbericht des DSC alle zwei Jahre erscheinen und über dessen Aktivitäten entsprechend berichten. Die Forschungsarbeiten im Berichtszeitraum waren im Wesentlichen durch zwei vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte größere Vorhaben geprägt. Im Rahmen der Projekte „Optimierung des Bohrfortschritts für tiefe Geothermiebohrungen durch systematische Analyse untertägiger Schwingungen im Laborversuch – OBS“ und „Optimierung der Bohroperationen für Geothermieprojekte durch realistische Echtzeit-Simulation – OBE“ wurden entsprechende Forschungsarbeiten durchgeführt und insbesondere die Funktionalitäten der vorhandenen Simulatoren deutlich erweitert. Somit können ab dem Jahr 2022 am DSC noch deutlich realitätsnähere Experimente und Simulationen von Tiefbohrprozessen durchgeführt werden.

Mit dem Anlaufen zahlreicher neuer sowohl grundlagen- als auch anwendungsorientierter Forschungsprojekte wurde die personelle Basis der aktiven (Nachwuchs-) Wissenschaftler:innen am Forschungszentrum deutlich ausgebaut. Die zum Jahresbeginn 2021 gestartete und aus Mitteln der niedersächsischen EFRE-Regionalförderung finanzierte Studie „GeoTWIN“ untersucht neue Konzepte zur Risikominimierung beim Aufschluss geothermaler Reservoirs. Im Fokus des Projekts ist die Erforschung der Gewinn- und Speicherbarkeit von Erdwärme aus Tiefen bis 1.700 Meter an einer konkreten Lage im norddeutschen Becken mit hohen Salzgehalten und hoher Gasbeladung in Untergrundwässern. Hierzu soll im Raum Hannover/Burgwedel ein wissenschaftlich abgesichertes und technologisch und wirtschaftlich sinnvolles Konzept für eine hydrothermale Wärmegewinnung und saisonale Wärmespeicherung entwickelt werden. Im Frühjahr 2021 ist ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft für drei Jahre gefördertes

grundlagenorientiertes Projekt zur Berechnung von Bohrkleintransport und Mehrphasenströmungen angelaufen. Ziel dieses grundlagenorientierten Vorhabens ist es, den Partikeltransport mit Hilfe numerischer Methoden zu untersuchen und abgeleitete Erkenntnisse in technischen Modellen zu aggregieren, um daraus abgeleitet eine effiziente, zeitoptimierte Steuerung des kostenintensiven Bohrprozesses ermöglichen zu können. Das vorliegende Projekt wird somit zur Klärung und besseren Quantifizierung der hydrodynamischen Prozesse für den Tiefbohrprozess beitragen. Ferner gibt es zahlreiche Parallelen zu anderen Technologiefeldern, in denen sich ähnliche Fragen stellen. Beispiele hierzu finden sich in der verfahrenstechnischen Industrie oder auch der Lebensmitteltechnik.

Darüber hinaus ist im Herbst 2021 ein weiteres aus Mitteln der niedersächsischen Regionalförderung finanziertes Projekt gestartet: Das Vorhaben „Innovative Sensor- und Messtechnik für Geothermiebohrungen – GeoInnoSens“ verfolgt die Implementierung innovativer Sensor- und Messtechniken für die Analyse von mehrphasigen Transportvorgängen (flüssig-fest-gasförmig) im Fluidkreislauf.

Auch die eigenen Forschungsarbeiten des wissenschaftlichen Nachwuchses trugen erste Früchte: So konnte am DSC zum Jahresende der erfolgreiche Abschluss des ersten Promotionsverfahrens gefeiert werden.

Über die vorgenannten und weiteren Aktivitäten des Drilling Simulators Celle berichten wir ausführlicher im nun vorliegenden Jahresbericht.

Prof. Dr.-Ing. habil. Gunther Brenner
Wissenschaftlicher Leiter des DSC



GESCHÄFTSBERICHT UND INFRASTRUKTUR

2.

Geschäftsbericht 2020/2021

Die Jahre 2020 und 2021 standen im Zeichen der inhaltlichen, infrastrukturellen und auch personellen Weiterentwicklung des Drilling Simulator Celle. Zum 30.09.2020 schied der erste und langjährige Leiter der Einrichtung, Prof. Dr.-Ing. Joachim Oppelt, aus Altersgründen aus der operativen Führung des DSC aus. Bis zur Besetzung der Professur für Hochleistungsbohrtechnik und Automatisierung am Institute of Subsurface Energy Systems (ITE) der TU Clausthal hat das bisherige Vorstandsmitglied Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner vom Institut für Technische Mechanik der TU Clausthal die wissenschaftliche Leitung des DSC übernommen.

Im Zentrum der entlang aktueller wissenschaftlicher Fragestellungen getriebenen infrastrukturellen Weiterentwicklung standen in den zurückliegenden zwei Jahren umfangreiche Erweiterungen des Hardware-Simulators und des Software-Simulators der Einrichtung im Rahmen von zwei vom Bundesministerium

für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekten. Im Projekt „Optimierung des Bohrfortschrittes für tiefe Geothermiebohrungen durch systematische Analyse untertägiger Schwingungen im Laborversuch (OBS)“ wurde der Simulator um eine dynamische Anregung erweitert, die nun auch eine Nachbildung der während des Bohrprozesses auftretenden Schwingungen erlaubt. Eine neue Gesteinskammer ermöglicht eine realistische Nachbildung von Umgebungsparametern einer Tiefbohrung von Gebirgsdruck und Temperatur und verlängert den effektiven Bohrweg auf nunmehr fünf Meter. Nach Abschluss einer ca. dreivierteljährigen Inbetriebnahmephase werden im Frühjahr 2022 die ersten Bohrversuche mit der neuen Anlagenkonfiguration durchgeführt.

Im Rahmen des ebenfalls vom BMWi geförderten Vorhabens „Optimierung der Bohroperationen für Geothermieprojekte durch realistische Echtzeit-Simulation – OBE“ wurde der



Software-Simulator u.a. um eigenentwickelte Modelle, beispielsweise zum Wärmetransport im Untergrund erweitert, um auf diese Weise eine deutlich realistischere Simulation und Planung von Tiefbohrprozessen ermöglichen zu können. In diesem Zuge wurde auch die gesamte technische Basis des Tiefbohrsimulators erneuert, um somit auch zukünftig hochkomplexe am DSC entwickelte Modelle verarbeiten zu können.

Darüber hinaus wurde zum Jahresende 2021 das aus Mitteln der Niedersächsischen EFRE-Förderung als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie finanzierte Projekt „GeoInnoSens – Innovative Sensor- und Messtechnik für Geothermiebohrungen“ bewilligt. Im Rahmen des Projekts wird im Strömungskreislauf des Hardware-Simulators eine innovative ultraschallbasierte Sensor- und Messtechnik implementiert. Auf diese Weise sollen mehrphasige Transportvorgänge (flüssig-fest-gasförmig) im Fluidkreislauf quantifiziert werden, um zeitaufgelöst Informationen über die räumliche Konzentrationsverteilung von Feststoffpartikeln und einer Gasphase in der Strömung liefern zu können. Die verwendeten Technologien müssen dabei ausreichend robust sein, um den harschen Bedingungen in einem Bohrloch (Druck, Temperatur, Fluideigenschaften) Stand zu halten. Die im Rahmen dieses Projekts aufgebaute Technologie wird zu Beginn des Jahres 2023 am DSC für neue Forschungsprojekte zur Verfügung stehen.

Nachdem die fünfjährige Anschubfinanzierung des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur i. H. v. 300.000 € pro Jahr im Sommer 2020 ausgelaufen ist, verfügt der Drilling Simulator Celle derzeit über einen geplanten jährlichen Etat aus Haushaltsmitteln von knapp 250.000 € pro Jahr für Personal- und Sachmittel. Die Verstetigung einer auch zukünftigen auskömmlichen Grundfinanzierung für den DSC wird Gegenstand einer Ziel- und Leistungsvereinbarung mit der Hochschulleitung sein, wie sie im Laufe des Jahres 2022 erstmalig auch für den DSC abgeschlossen werden soll.

Die Abbildung zeigt die Zusammensetzungen der Budgets in den Jahren 2020 und 2021 auf. Ein Großteil der Drittmittelerträge geht dabei auf die derzeitigen Leitprojekte OBS und OBE zurück. Industrieaufträge fielen im Berichtszeitraum auf ein besonders niedriges Niveau, welches sowohl von den Auswirkungen der Pandemie als auch vom umfassenden Umbau des Hardware-Simulators herrührt, der somit

Vorstand des DSC 2021–2023



Gunther Brenner,
Vorstandsvorsitzender



Joachim Oppelt



Martin Sauter



Leonhard Ganzer



Hans-Peter Beck



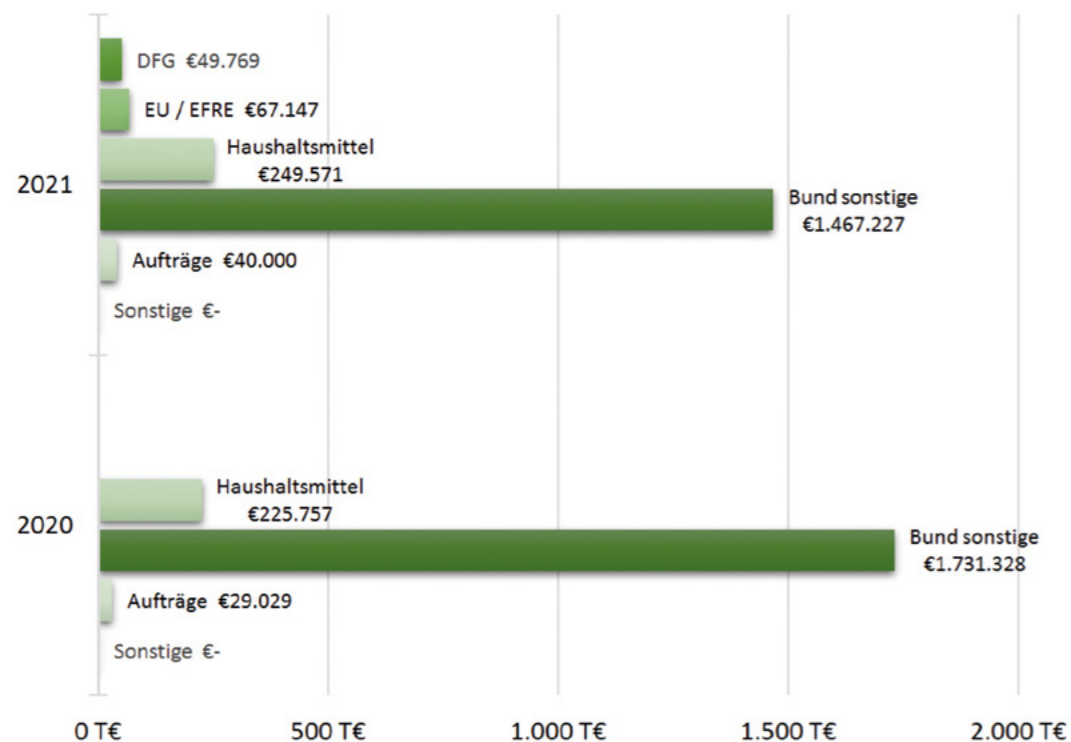
Lydia Rosandic,
Vertreterin MTV-
Personal



Lisette Hayn,
Vertreterin wiss.
Personal

auch für Auftragsuntersuchungen nicht mehr zur Verfügung stand. Erstmals wird seit Anfang des 2021 ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziertes grundlagenorientiertes Vorhaben durchgeführt; der Ausbau diesbezüglicher Forschungsaktivitäten unter Einbindung weiterer Arbeitsgruppen soll in den kom-

menden Jahren weiter vorangebracht werden. Darüber hinaus sollen in den kommenden Jahren auch verstärkt wieder Mittel der niedersächsischen EFRE-Förderung zum weiteren Ausbau der Infrastruktur sowie für Kooperationsprojekte mit Unternehmen eingeworben werden.



Zusammensetzungen der Budgets in den Jahren 2020 und 2021.

DSC-Team 2020/21

Service



Jens-Peter Springmann, Administrativer Geschäftsführer



Michael Koppe, Teststandleiter



Lydia Rosandic, Verwaltung



Yannis Beiser, Technik

Forschung



Ralf Gustmann, Technik



Mostafa Abdelhafiz



Harits Jundullah Alkatiri



Rodrigue Freifer



Waqar Hassan



Lisette Hayn



Patrick Höhn



Wolfgang Hollstein



Ke Li



Ralph Peitz



Khizar Shahid



Katrin Skinder



STRATEGIEBILDENDE FORSCHUNGSPROJEKTE IN DEN JAHREN 2020/2021

3.

OBS: Optimierung des Bohrfortschritts für tiefe Geothermiebohrungen durch systematische Analyse untertägiger Schwingungen im Laborversuch

Kurzfassung

Das übergeordnete Projektziel ist die Reduzierung der Herstellungskosten von Tiefbohrungen zum Zweck der Erschließung geothermaler Reservoirs durch eine gegenüber dem Stand der Technik erheblich verbesserte Kontrolle der mechanisch-dynamischen Bohrbedingungen. Ein effektiver Bohrprozess wird durch Unstetigkeiten im Gebirge, wie insbesondere die bei Geothermiebohrungen häufig anzutreffenden Störungszonen, merklich behindert. Unstetigkeiten im Gebirgsverlauf sind ein wesentlicher Auslösefaktor für unerwünschte Schwingungen und Dynamikvorgänge in der untertägigen Bohrgarnitur (BHA). In der Konsequenz führt dies zu einem niedrigeren Bohrfortschritt und kürzerer Standzeit der Meißel. Gerade die durch dynamische Lasten hervorgerufenen Funktionsstörungen in typischen Geothermie-Gesteinshorizonten sind bisher nicht ausreichend untersucht. Zu den wesentlichen Projekthintergründen gehören eine Analyse des Schwingungsverhaltens aus realen Bohrungen, die Entwicklung und Herstellung einer Testeinrichtung mit einer neuartigen dynamischen Ansteuerung in Interaktion mit einem zu entwickelnden virtuellen Bohrstrangmodell, die Ermittlung und Untersuchung der damit verbundenen Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen BHA-Testkörper und virtuellem Bohrstrangmodell, eine modellbasierte Schwingungsuntersuchung der Testkörper, experimentelle Untersuchungen zur Meißel- und Bohrstrangdynamik, die Identifikation, Separation und Analyse der Schwingungen aus Meißel und BHA-Testkörper im Versuchsstand sowie die Erstellung von Handlungsempfehlungen für die bohrtechnische Praxis von Geothermie-Bohrungen. Im Endergebnis soll ein realitätsnahes Laborverfahren entwickelt werden, mit dem unerwünschte Schwingungen im unteren Bereich einer Bohrung, insbesondere auf Geothermie, nachgestellt werden können. Die Bearbeitung des Projekts erfolgt am DSC in einem interdisziplinären Team von Bohrtechnik-, Maschinenbau- und Regelungstechnikern. Das Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) der TU Braunschweig war zeitweise als Projektpartner involviert.

Abstract

Reducing the costs of drilling geothermal wells is the governing project goal, to be accomplished through much improved controlling of drilling dynamics. An effective drilling process is frequently noticeably hampered by discontinuities in the rock, such as the fault zones that are often encountered in geothermal drilling. Discontinuities in the rock formation are a major trigger factor for unwanted vibrations and dynamic processes in the underground drill assembly (BHA). As a consequence, this leads to slower drilling progress and shorter tool life. The dynamic dysfunctions in typical geothermal rock horizons have not been sufficiently investigated so far. The project includes an analysis of the vibration behavior from real boreholes, the development and installation of a test facility with a new type of dynamic control in interaction with a virtual drill string model to be developed, the determination and investigation of the associated interactions between the subsystems BHA test body and virtual drill string model, a model-based vibration analysis of the test body, experimental investigations into bit and drill string dynamics, the identification, separation and analysis of the vibrations from the bit and BHA test body in the test rig, and the creation of recommendations for geothermal drilling practices. The end result is to develop a realistic laboratory method that can be used to simulate unwanted vibrations in the lower area of a borehole, especially on geothermal energy. The project is being conducted by an interdisciplinary team of drilling, mechanical and control engineers. The "Institute for Dynamics and Vibrations" of Braunschweig Technical University has been involved as a project partner for the larger part of the project time.

Einleitung und Projekthintergrund

Geothermiebohrungen im Hartgestein sind in der Regel auf Strömungskanäle in Form von Rissen im Gestein angewiesen, um den Transport des geothermalen Wassers zu ermöglichen.

Risse können durch Stimulation erzeugt werden, liegen aber bevorzugt aufgrund von Störungszonen im Gebirge bereits vor. Aus bohrtechnischer Sicht ergeben sich durch die Risse Probleme, weil der Bohrprozess durch das Auftreffen auf Spalte und Risse sowie generell gestörtes Gebirge zu Schwingungen angeregt wird. Diese behindern den Bohrfortschritt, erhöhen den Verschleiß an Bohrwerkzeugen und verschlechtern das Steuerungsverhalten der Bohrgarnitur. Ziel ist es letztendlich, durch geeignete Veränderung der Bohrparameter und angepasste Bohrstrangelemente die Dynamik weitgehend zu eliminieren. In realen Bohrungen können diese Vorgänge nur sehr bedingt untersucht werden, weil der Bohrstrang meistens nicht mit den geeigneten Sensoren ausgestattet ist. Noch dazu kön-

nen keine vergleichbaren Versuchsbedingungen vorgefunden werden, weil jede Lokation und jede Bohrung anders sind. Daher bietet es sich an, diese experimentellen Untersuchungen in einer Laborumgebung durchzuführen, die entsprechend realitätsnahe Betriebsparameter ermöglicht. Dazu zählt insbesondere die freie Schwingungsentwicklung und -ausbreitung. Konventionelle Teststände besitzen eine hohe Steifigkeit, so dass die durch den Bohrprozess angeregten Schwingungen sich nicht so frei ausbreiten können, wie es in der Realität aufgrund der typischen Bohrstranglänge von mehreren Tausend Metern der Fall ist. Dies galt auch für den am DSC in der Erstausrüstung installierten Versuchsstand, der den horizontalen Betrieb einer Bohrstranggarnitur von ca. 20 m Länge vorsieht. Wesentlicher Inhalt des OBS-Projekts am DSC war daher die Auslegung, Konstruktion und Installation einer erweiterten Versuchseinrichtung, die die Ausbreitung von Schwingungen in mehreren Freiheitsgraden zulässt und so erstmals eine realitätsnahe Untersuchung der In-situ-Bohrstrangdynamik im realen Maßstab ermöglicht. Aufgrund der hohen wirkenden Kräfte und Dynamik erweist sich die Teststandsertüchtigung als außerordentlich komplex und kostenintensiv. Infolgedessen wurde die ursprüngliche Projektdauer vom Fördermittelgeber mehrfach verlängert und auch in kleinerem Umfang aufgestockt. Die Berichterstattung im Folgenden bezieht sich ausschließlich auf die am DSC der TU Clausthal durchgeführten Aktivitäten.

Projektziele und Entwicklungsschwerpunkte

Die Zielsetzung des DSC/TUC besteht darin, eine Vorrichtung zur realistischen Simulation des dynamischen Bohrprozesses unter Geothermie-Bedingungen zu schaffen und daran sinnvolle experimentell-theoretische Untersuchungen durchzuführen. DSC/TUC wird die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis maßgeblich unterstützen. Der Beitrag des Projektpartners IDS der TU BS beinhaltet die Entwicklung von Modellen zur Beschreibung des dynamischen Bohrstrangverhaltens. Im Verlauf des Projekts hat IDS diese Modelle für die Anwendung an einem kleinen und damit bezüglich der Realitätsnähe stark eingeschränkten Modellprüfstand entwickelt. Hieraus ergab sich für TUC/DSC die Notwendigkeit, für den eigenen „Full Scale“-Teststand selbst geeignete Modelle und entsprechende Software zu entwickeln.

Daten zum Projekt

Vorhabenbezeichnung:

OBS: Optimierung des Bohrfortschritts für tiefe Geothermiebohrungen durch systematische Analyse untertägiger Schwingungen im Laborversuch

Fördermittelgeber:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Förderkennzeichen: 0324115A

Projektlaufzeit: 01.08.2016 – 30.06.2022

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Joachim Oppelt

Projektkoordinator:

Rodrigue Freifer, M.Sc

Projektbearbeiterin:

Dipl.-Ing. Lisette Hayn



Joachim Oppelt



Rodrigue Freifer

Im Folgenden werden die OBS-Teilprojekte erläutert.

TP 1 Teststand-Entwicklung mechanisch/hydraulisch

Aufbauend auf der Analyse von Schwingungsdaten aus Bohreinsätzen unter besonderer Berücksichtigung der Erfordernisse von geothermischen Bohrungen wird eine Versuchseinrichtung zur Schwingungsanregung mit mehreren Freiheitsgraden neu entwickelt. Die mechanischen, hydraulischen und elektrischen Komponenten der Schwingungsanregung bzw. der Dynamikansteuerung werden in die bestehende Versuchseinrichtung integriert.

TP 2 Teststandentwicklung sensorisch/informatisch

Für die mechanischen und hydraulischen Systeme zur Schwingungsanregung werden eine geeignete Steuer- und Regelungstechnik sowie die erforderliche Software entwickelt und in das bestehende System integriert, um die Rückkopplung mit dem virtuellen Bohrstrang (TP 3) zu ermöglichen. Zur Ermittlung der angeregten Schwingungen, des jeweiligen Eigenschwungsverhaltens und der Wechselwirkungen mit anderen Teilsystemen sind die Positionierung, Auflösung, Auswertung und Validierung der Messsysteme und deren informationstechnische/virtuelle Anbindung an echtzeitfähige Simulationssysteme herzustellen (TP 4).

TP 3 Aufbau eines virtuellen Bohrstrangmodells und Simulation

Um den Bohrstrang gemäß den messtechnischen Größen zu bewegen, muss die Wechselwirkung von Hexapod zu Teilbohrstrang (virtuellem Bohrstrang) und Versuchseinrichtung (Testkörper) ermittelt werden. Diese zu berechnende Aktorik muss die Gesamtdynamik auch langer Bohrstränge explizit berücksichtigen, um das Gesamtsystem aus virtuellem Bohrstrang und Bohrloch sowie dem realen Teil des Bohrstranges im Versuchsstand darzustellen.

TP 4 Beobachtbarkeit und modellbasierte Schwingungsuntersuchung der Testkörper im Teststand

Die Realisierung realitätsnaher Dynamik auf den Testkörper muss messtechnisch validiert und verifiziert werden. Dazu sind Untersuchungen zur dynamischen, akus-

tischen und ggf. auch optischen Überprüfung des Versuchsstandes notwendig. Hierzu müssen mit geeigneten Sensoren 3D-Verfolgungsstrategien des Prüflings im Prüfstand und insbesondere in der Gesteinsprobe entwickelt werden.

TP 5 Experimentelle Untersuchungen zur Dynamik und Gesteinszerstörung sowie Empfehlungen für die Umsetzung für Bohrungen auf Geothermie

Unter Berücksichtigung der geothermiespezifischen Anforderungen werden Konzepte für die Erstellung geeigneter Gesteinsprobekörper (insbesondere im Hinblick auf Störungszonen) entwickelt. In enger Abstimmung mit TP1/2 werden geeignete Gesteinsprobekörper für experimentelle Untersuchungen erstellt. Dabei ist für die Versuchsauswertung die Identifikation, Separation und Analyse der Schwingungen und BHA-Testkörper im Teststand von entscheidender Bedeutung. Abschließend werden auf Basis der Versuchsergebnisse Handlungsempfehlungen für das Abteufen von Bohrungen auf Tiefengeothermie erarbeitet.

Erzielte Ergebnisse im Berichtszeitraum 2020/2021

Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf die am Forschungszentrum Drilling Simulator Celle durchgeführten Arbeiten. Sie folgen im Wesentlichen dem Zeitplan gemäß Abbildung 1.

Im Berichtszeitraum lagen die Schwerpunkte der Aktivitäten in den Bereichen Teststandsfertigung, Entwicklung des Steuerkonzeptes und Durchführung von Charakterisierungstests an Gesteinsproben. Dazu gehörten im Einzelnen:

- Mechanischer und elektrischer Aufbau der neuen Versuchseinrichtung
- Fertigung und Montage des mehrachsigen Aktorikkonzeptes
- Modifikation des Spülkreislaufes
- Inbetriebnahme des mehrachsigen Aktorikkonzeptes
- Konstruktion und Aufbau des benötigten verstärkten Fundaments zur Aufnahme dynamischer Belastungen

		2016	2017	2018	2019	2020		
					Q1	Q1	Q2	Q3
TP 1	Teststandentwicklung mechanisch/hydraulisch							
	AP 1-1 Auslegung, Konstruktion							
	AP 1-2 Beschaffung, Aufbau und Inbetriebnahme							
	AP 1-3 Betrieb							
TP 2	Teststandentwicklung sensorisch/informatisch							
	AP 2-1 Planung und Auslegung							
	AP 2-2 Installation und Inbetriebnahme							
	AP 2-3 Betrieb							
TP 5	Experimentelle Untersuchungen							
	AP 5-1 Entwicklung Gesteinsprobekörper, Integration und Tests							
	AP 5-2 Experimentelle Untersuchungen							
	AP 5-3 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen							

Abbildung 1: Zeitplan des Projektes.

- Konstruktion und Fertigung der neuartigen Gesteinskammer für wiederverwendbare Proben
- Bau und Steuerkonzept des Wärmesystems für die Gesteinskammer
- Aufbau des Wetterschutzes für die Gesteinskammer und ihre Elektronik, Hydraulik, und Isolierung
- Umsetzung des Steuerkonzeptes in LabVIEW, Kommunikation zwischen Echtzeit & Host-PC
- Erweiterung des Programms für die Sicherheits-SPS
- Konstruktion und Fertigung der Wandsäge zur Vorbereitung der Gesteinsproben
- Konstruktion und Fertigung der Kernbohrmaschine für die Wiederverwendung der Innenrohre
- Durchführung von Triaxialversuchen für die Bestimmung der Gesteinsparameter
- Entwicklung von Rock Failure Criteria & Rock-Bit-Interaction Models

Nachdem Auslegung und Konstruktion des Hardware-Simulators abgeschlossen waren, wurden die torsionalen und axialen Systeme zunächst einzeln getestet und in Betrieb genommen. Es wurde nachgewiesen, dass die Aktuatorik die gewünschten Auslegungsparameter

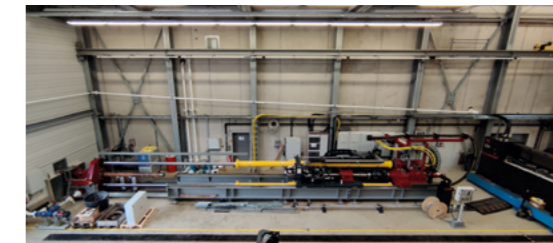


Abbildung 2: Modifizierter Teststand mit Aktoriksystemen.

erfüllt. Damit werden die drei Aktorikssysteme Motor, Niederfrequenz-Zylinder und Hochfrequenz-Zylinder insgesamt integriert. Die wissenschaftliche Inbetriebnahme wurde vorbereitet.

Bezüglich der neuen Gesteinskammer und des Wärmesystems wurden umfangreiche Planungs- und Realisierungsarbeiten durchgeführt. Aufgrund des hohen Gewichts der Gesteinsproben (bis zu 3,5 t bei 443 mm Durchmesser) und der Kammer mit Gesteinsfüllung (12 t) musste dazu auch ein wesentlich tragfähigeres Fundament erstellt werden.



Abbildung 3: Neues Fundament der Gesteinskammer.

OBE: Optimierung der Bohroperationen für Geothermieprojekte durch realistische Echtzeit-Simulation

Kurzfassung

Die Herstellungskosten von Tiefbohrungen auf Geothermie stellen mit mehr als 50% der Projektkosten eine erhebliche wirtschaftliche Herausforderung dar. Unstetigkeiten im Gebirgsverlauf sind ein wesentlicher Unsicherheitsfaktor besonders bei der Planung und Ausführung von Bohroperationen für Geothermie. Ultimatives Ziel des OBE-Projektes ist die Reduzierung dieser Kosten durch die Entwicklung eines Simulationssystems, das eine wesentlich wirksamere Planung der Bohrungen ermöglicht, als dies nach dem Stand der Technik heute möglich ist. Das OBE-Projekt liefert ein Planungs- und Monitoring-Werkzeug, mit dem bohrtechnisch bedingte Kosten signifikant vermindert werden können. Das zu entwickelnde System basiert auf einem international weit verbreiteten kommerziellen Bohr-Simulator, der in der Industrie häufige Verwendung für das Training von Personal auf Bohranlagen findet. In der Standard-Version wird dabei allerdings nahezu ausschließlich auf die Übertage-Handhabung der Bohranlage fokussiert. Gegenstand der Arbeiten im OBE-Projekt ist die Ertüchtigung des Simulators zu einer realistischen Echtzeit-Simulation des untertägigen Bohrprozesses. Dazu werden umfangreiche physikalische und numerische Modelle entwickelt, miteinander verknüpft und in den Simulator eingebunden. Im Ergebnis wird es u.a. möglich sein, kritische Teufenabschnitte geplanter Geothermiebohrungen in der Simulation vorab in Echtzeit oder auch beschleunigt zu erbohren, um dadurch Bohrparameter und Bohrlochpfade zu optimieren. Die Bearbeitung des Projekts erfolgt in einem interdisziplinären Team von Bohrtechnik-, Maschinenbau- und Softwareingenieuren.

Abstract

The installation costs of deep boreholes for geothermal energy represent a considerable economic challenge with more than 50% of the project costs. Discontinuities in the rock forma-

tions are a major uncertainty factor, when planning and executing drilling operations for geothermal energy. The ultimate goal of the OBE project is to reduce these costs by developing a simulation system that enables the drilling activities to be planned much more efficiently than is possible today with the state of the art. The OBE project provides a planning and monitoring tool with which drilling-related costs can be significantly reduced. The system to be developed is based on an internationally widespread commercial drilling simulator that is frequently used in the industry for training drill rig staff. In the standard version, however, the focus is almost exclusively on handling the drilling rig above ground. The work objective in the OBE project is to upgrade the simulator to a realistic real-time simulation system of the underground drilling process. For this purpose, extensive physical and numerical models are developed and programmed, which are linked with one another and integrated into the simulator. As a result, it will be possible, among other things, to drill critical depth sections of planned geothermal wells in the simulation in advance in real time or even accelerated, in order to optimize drilling parameters and borehole paths. The project is processed by an interdisciplinary team of drilling technology, mechanical and software engineers.

Einleitung und Projekthintergrund

Die (Vorab-) Simulation des Bohrprozesses charakterisiert in Kurzform das zentrale Forschungsthema des Drilling Simulator Celle – Deutsches Zentrum für Hochleistungsbohrtechnik (DSC). Von der Nutzerseite zielen die Forschungsarbeiten fokussiert auf die Energiegewinnung durch Geothermie, wobei Erdöl, Erdgas und Untertage-Speicherung weitere Anwendungen darstellen. Gerade aber in der Geothermie sind die Bohrkosten besonders kritisch für die Realisierung eines Projekts. Realistische Simulation soll bessere Bohrplanung ermöglichen und Gesteinskosten spürbar verringern.



Abbildung 1: Software-Simulator DrillsIM:600 mit API Workstation und Trainer Station.

Der DSC betreibt Simulation auf zwei Ebenen, dem Hardware-Simulator und dem Software-Simulator. Letzter bildet die Plattform für das F&E-Projekt „Optimierung der Bohroperationen für Geothermieprojekte durch realistische Echtzeit-Simulation“ (OBE). Bei dem Software-Simulator handelt es sich zunächst um einen Training-Simulator der Fa. Drilling Systems (UK) Ltd. Das vom DSC angeschaffte Modell DrillsIM:600 ermöglicht mit 12 Bildschirmen die realitätsnahe Darstellung der Handhabungsvorgänge auf einer Bohrplattform. Dabei wird zwar auch auf die im Untergrund stattfindenden Bohrvorgänge Bezug genommen. Entsprechende Simulationsalgorithmen sind aber sehr rudimentär und Bohrparameter können nicht flexibel genug variiert werden. Der Simulator am DSC verfügt über eine spezielle Schnittstelle, über die die Wissenschaftler:innen selbstprogrammierte Software in die Echtzeit-Abläufe am DrillsIM:600 integrieren können. Im Rahmen des OBE-Projekts werden dazu Algorithmen und entsprechende Software-Programme geschaffen und in den Simulator eingebunden.

Projektziele und Entwicklungsschwerpunkte

Das übergeordnete Ziel des Projektes ist es, ein Werkzeug für die realistische Planung von

Geothermiebohrungen zu schaffen. Dazu müssen zunächst die Fähigkeiten des vorhandenen Software-Simulators für die neue Aufgabenstellung des Echtzeit-Szenariobohrens signifikant erweitert werden.

Die grundlegenden Anforderungen hierzu sind:

- automatisierte Eingabe von Daten aus bestehenden Bohrungen und Plandaten zukünftiger Bohrungen
- Entwicklung von Algorithmen, Modellen und Software zur realistischen Beschreibung des Bohrprozesses
- Simulation der modellierten Phänomene in Echtzeit zur Optimierung der Bohrplanung und zum Training mittels Vorbohrens geplanter Bohrungen

Nach dem Stand der Technik gibt es bei anderen Forschungsstellen keine bestehenden Konzepte für diesen umfassenden Ansatz. Der Balkenplan nach Abbildung 2 stellt den zeitlichen Verlauf der Teilprojekte dar.

Im Folgenden werden die Teilprojekte erläutert.

TP 1 Datenbeschaffung und Implementierung vorhandener Bohrungen im Simulator

Die Schaffung einer Datenbasis stellt die

Erzielte Ergebnisse im Berichtszeitraum 2020/2021

Datenbeschaffung, Auswertung und Implementierung vorhandener Bohrungen im Simulator sind gemäß Tabelle 1 weit fortgeschritten. Die Daten werden nach erfolgter Verarbeitung in der zentralen Datenbank abgelegt.

Die Methodiken der Exploratory Data Analysis und die Methoden zur Verbesserung der Datenqualität wurden auf den vorverarbeiteten Genesys-Datensatz angewendet. Und dieser ist damit bereit für die nächste Phase der Modellentwicklung, in der Algorithmen des maschinellen Lernens auf die Daten angewendet werden.

Zur Speicherung der in den verschiedenen Projektphasen erzeugten Daten wurde eine zentrale Datenbank mittels PostgreSQL auf einem DSC-Computer realisiert. In diese werden die Datensätze zusammen mit den im Data Pre-processing erstellten Daten inkl. des Parameter Description Sheets überführt.

Alle geplanten Modelle zur Vorhersage des Bohrfortschritts (Rate of Penetration, ROP) sind fertiggestellt. Mehrere Machine Learning (ML) Algorithmen wurden verwendet, um Modelle mit der ROP als Zielvariable zu trainieren. Nach dem erfolgreichen Trainieren und Testen der Modelle wurden diese mittels verschiedener Kennziffern (KPI) analysiert. Die Ergebnisse der

Auswahl werden in einer Datei abgespeichert, die im Anschluss mithilfe der API des Software-Simulators zur Nachbildung einer Bohrung verwendet werden können. Im ersten Beispiel erfolgte die Ausführung mit dem GeneSys-Datensatz. Neben dem beschriebenen Modellierungsansatz wurde auch die Methode der symbolischen Regression zur automatisierten Ableitung neuer ROP-Modelle aus Messdaten untersucht. Anders als die normalerweise verwendeten Methoden des maschinellen Lernens können die Ergebnisse als einfache algebraische Formeln beschrieben werden.

Außerdem werden im Rahmen des Projektes physikalische Modelle für verschiedene untertägige Prozesse entwickelt. So wurde ein Modell zur Beschreibung der Temperaturen im Untergrund fertiggestellt. Aktuell befindet sich u.a. ein physikalisches Modell zur Vermeidung von Kollisionen zwischen Bohrlöchern in der Entwicklung. Das Temperaturmodell (Abbildung 3) wurde bereits erfolgreich in den DrillsIM:600 integriert.

Das numerische Modell beschreibt die Temperaturen im vertikalen Bohrloch während des Zirkulierens von Bohrspülung und unter Shut-In-Bedingungen. Es erlaubt auch die transiente Simulation der Temperatur der Bohrspülung, des Bohrstrangs, des Casings, der Zementierung und des umgebenden Gesteins.

Um die so entwickelten Modelle zu implementieren, müssen diese durch ein Application Programming Interface (API) mit dem Software-Simulator DrillsIM:600 verbunden werden. Hierzu wurde ein signifikantes Upgrade der bestehenden API beim Hersteller Drilling Systems bestellt. Der Auftrag an Drilling Systems wurde in 2021 erfolgreich abgeschlossen.

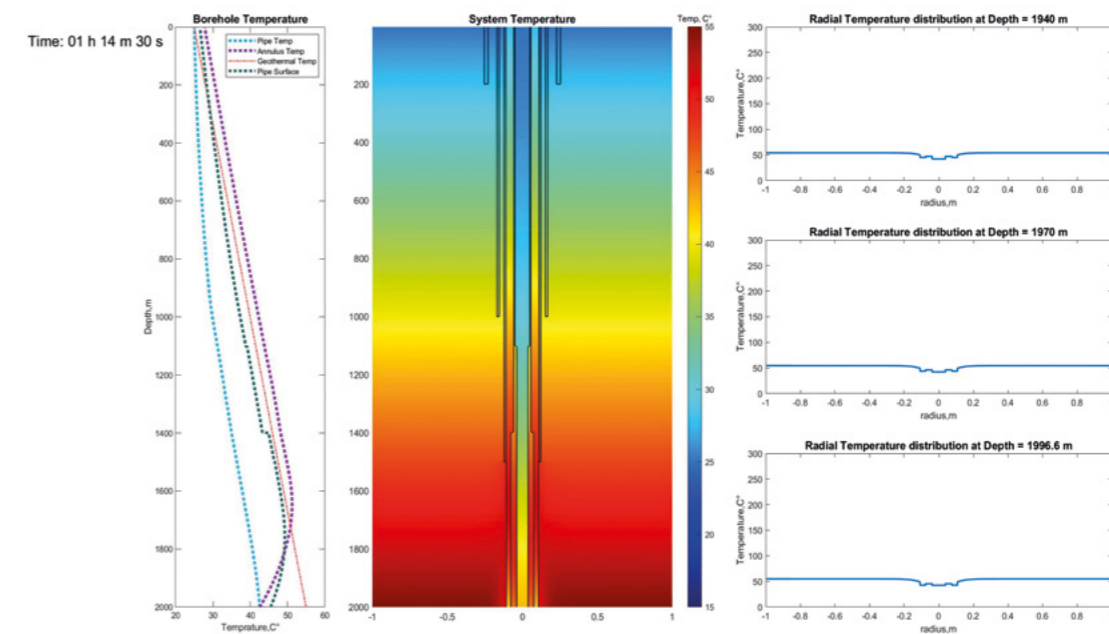


Abbildung 3: Bildschirmausgabe einer Simulation des Temperaturmodells.

Verfügbare Bohrdaten des DSC

Nr.	Company/Source	Location	Field	Status
1.	BGR	Germany	Groß Buchholz (GeneSys)	Processed
2.	Wintershall-Dea (TUC)	Germany	Hankensbüttel Süd	Invalid / Insuffient
3.	---	Germany	Burgwedel/Thönse	Invalid / Insuffient
4.	BGR	Germany	Staffhorst	Invalid / Insuffient
5.	Equinor	Norway	Volve	80% Processed
6.	Equinor	Norway	Northern Lights	Available
7.	Equinor	Norway	Sleipner	Available
8.	Equinor	Norway	Smeaheia	Available
9.	ICDP	Germany	KTB	Available

Tabelle 1: Vorhandene Bohrdaten.

Zukünftige Forschungsarbeiten

Schwerpunkte der zukünftigen Forschungsarbeiten in dem geförderten Projekt sind die Entwicklung weiterer physikalischer und numerischer Modelle sowie deren Implementierung auf der DrillsIM:600, um dem Ziel einer realistischen Echtzeit- und Vorabsimulation näher zu kommen. Außerdem sollen entsprechende Vorplanungen für neue Bohrungen erstellt und möglichst auch bereits digital twin Funktionalitäten bei aktiven Bohrprozessen erprobt werden.

GeoTWIN: Tiefengeothermie zur Wärmeversorgung in Norddeutschland – Studie zu neuen Konzepten zur Risikominimierung beim Aufschluss geothermaler Reservoirs

Zusammenfassung

Der Fokus des Projekts ist die Erforschung der Gewinn- und Speicherbarkeit von Erdwärme aus Tiefen bis 1.700 Meter an einer konkreten Lage im norddeutschen Becken mit hohen Salzgehalten und hoher Gasbeladung in Untergrundwässern. Dabei soll geprüft werden, ob die Gewinn- und Speicherbarkeit auch unter Kostenaspekten technologisch sinnvoll ist. Hierzu soll im Raum Hannover/Burgwedel ein wissenschaftlich abgesichertes Konzept für eine hydrothermale Wärmeenergiegewinnung und saisonale Wärmespeicherung entwickelt werden. Eine bergrechtliche Aufsuchungserlaubnis für Erdwärme liegt der TU Clausthal vor.

Abstract

The focus of the project is to investigate the extractability and storability of geothermal energy from depths up to 1,700 meters at a specific location in the North German Basin with high salinity and high gas loading in subsurface waters. The aim is to examine whether the recoverability and storability of geothermal energy also make technological sense from a cost perspective. To this end, a scientifically validated concept for hydrothermal heat extraction and seasonal heat storage is to be developed in the Hannover/Burgwedel region. Clausthal University of Technology has a mining permit for geothermal energy.

Im GeoTWIN-Projekt wird in einer interdisziplinären Arbeitsgruppe aus Bohr-, Produktions- und Lagerstätteningenieuren an der Planung der Erstellung einer Geothermiebohrung im Raum Hannover/Burgwedel gearbeitet. Ziel des Projektes ist es, anhand einer konkreten Beispiellagerstätte eine standortübergreifend verwendbare Blaupause für die Planung einer Bohrung zu erstellen und entsprechende Handlungsempfehlungen für Projekte an anderen Standorten bereitzustellen. Die TU Clausthal verfügt seit 2018 über eine Konzession zur Aufsuchung von Geothermie im Bereich des alten Erdgasfeldes Thönse, in welchem von Anfang

der 1950er Jahre bis in die frühen 1980er Jahre erfolgreich nach Erdgas gebohrt und dieses auch gefördert wurde. Mit der bergrechtlichen Aufsuchungserlaubnis verfügt die TU Clausthal über eine sehr gute Datenbasis, die wissenschaftliche Analysen der Lagerstätte überhaupt erst ermöglichen.

Gemäß der Aufgabenstellung erfolgt die inhaltliche Bearbeitung des Projekts in den drei Teilbereichen Lagerstattentechnik, Bohrplanung und Förder-/Betriebstechnik, die nachfolgend ausführlicher dargestellt werden.

Lagerstattentechnik

Für den Erfolg von Geothermieprojekten ist es von besonderer Bedeutung, geeignete Sandsteinschichten im Untergrund zu identifizieren und diese charakterisieren zu können.

Im Rahmen des GeoTWIN-Projekts wurde hierzu ein potenzielles geothermisches Reservoir, die Wealden-Formation, mit Hilfe von Geobasisdaten aus dem erschöpften Gasfeld Thönse modelliert. Die integrierte Analyse, Bewertung und Entscheidungsfindung basiert auf den Ergebnissen der Struktur- und Eigenschaftsmo- dellierung: Es gibt vier grobe Sandsteinschichten, die aufgrund ihrer guten petrophysikalischen Eigenschaften und ihrer Konnektivität ein geothermisches Energiepotenzial haben; Sand- schicht 3 ist dabei das vorrangigste Ziel und es wird eine Heißwasserproduktion von 75 - 82 °C erwartet; die Oberflächenkarte in Kombination mit dem Reservoirmodell wird die Planung der Obertägigen Anlagen unterstützen.

Methodik

Alle geologischen Daten, die sich auf die Wealden-Formation beziehen, wurden gesammelt, einschließlich der Bohrkernprotokolle, der gedruckten Bohrlochprotokolle, der seismischen 2D-Schnitte, der Isochorenkarte und der interpretierten Querschnitte aus früheren Berichten. Hochwertige Daten wie 3D-Seismik und digitale Bohrlochprotokolle unterstützen ebenfalls den Modellierungsprozess. Alle Daten dieser geologischen Region werden digitali-

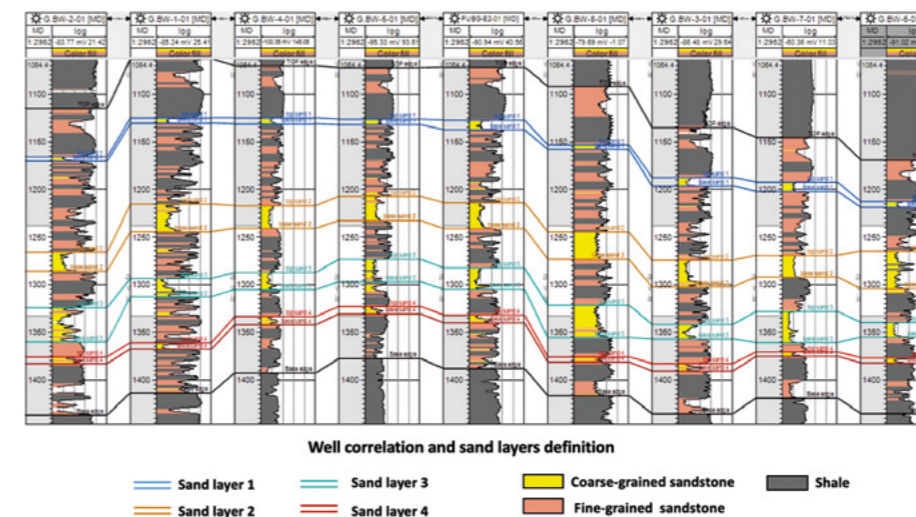


Abbildung 1: Bohrlochkorrelation und Verteilung der Sandformationen.

siert, verwaltet und in der Software PETREL gespeichert, die als geologische Datenbank und Modellierungswerkzeug gewählt wurde. Die in diesem Fall verwendeten Daten stammen aus den 50er bis 80er Jahren des letzten Jahrhunderts und sind von minderer Qualität, was die Unsicherheit bei der Modellierung erhöht. Daher werden die Altdaten und die Modelle strikt voneinander getrennt, um sicherzustellen, dass der Forscher die räumliche Konsistenz der verschiedenen Datensätze prüfen und die Modellierung bequem anpassen kann. Einige der Altdaten, wie die alten stratigraphischen Säulen und geologischen Karten, konnten nicht standardisiert werden. Diese Daten verbleiben jedoch in der Datenbank und dienen der Überprüfung der Modellierungsergebnisse.

1. Definition der Stratigraphie und der physikalischen Eigenschaften im Bohrloch

Laut Bohrkernbeobachtung aus der Wealden-Formation handelt es sich bei dem Speichergestein um grobkörnige Sandsteine mit winzigen Dolomitekuchen; es ist ein typisches hochwertiges Reservoir mit hoher Porosität und Permeabilität. Die über- und unterlagernden Schichten des Speichergesteins werden aus Tonsteinen gebildet, die mit feinkörnigem Sandstein durchsetzt sind und die Abdichtung des Speichergesteins bilden. Porosität und Permeabilität wurden mit Hilfe der Sonic-Messung (Wyllie, 1958) berechnet; die berechneten Ergebnisse wurden durch die Messung der Bohrkernkorrektur korrigiert. Das Schiefervolumen wurde anhand des Spontanpotenzials und der Gammastrahlungsmessung berechnet.

2. Konstruktion von Querschnittskorrelationen auf der Grundlage von Bohrlochmessungen:

Auf der Grundlage von Bohrkernbeobachtungen und Bohrprotokollen werden der Schiefer, der grobkörnige Sandstein und der feinkörnige Sandstein in der Wealden-Formation anhand des Bohrlochverlaufs definiert. Das Gammastrahlen- und Spontanpotenzialprotokoll kann lithologische Merkmale widerspiegeln und wurde daher als Kriterium für die Korrelation der Bohrungen gewählt. Das Ergebnis der Bohrlochkorrelation zeigt, dass es vier grobe Sandschichten gibt, die ein recht geringes Schiefervolumen aufweisen, und dass es auch eine große Kontinuität und Konnektivität gibt (Abb. 1).

3. Interpolation der seismischen Daten, um ein vollständiges geologisches 3D-Modell zu erhalten:

Die seismischen Daten sind die wichtigste Grundlage für die Konstruktion des stratigraphischen Rahmenmodells zwischen oder jenseits der Bohrlochmessungen. Um ein stratigraphisches Rahmenmodell zu erstellen, wurden die seismischen Daten durch eine Zeit-zu-Tiefe-Konvertierung mit dem Geschwindigkeitsmodell verarbeitet, das aus dem zuvor erstellten seismischen Geschwindigkeitsmodell stammt. Stratigraphische Horizonte wurden basierend auf Sequenzgrenzen räumlich in den verschiedenen seismischen Abschnitten interpretiert, und die Tiefe der interpretierten Horizonte wurde anhand der Bohrlochlogs korrigiert (Abb. 2, A und B). Da die seismischen 3D-Daten nur einen Teil des Untersu-

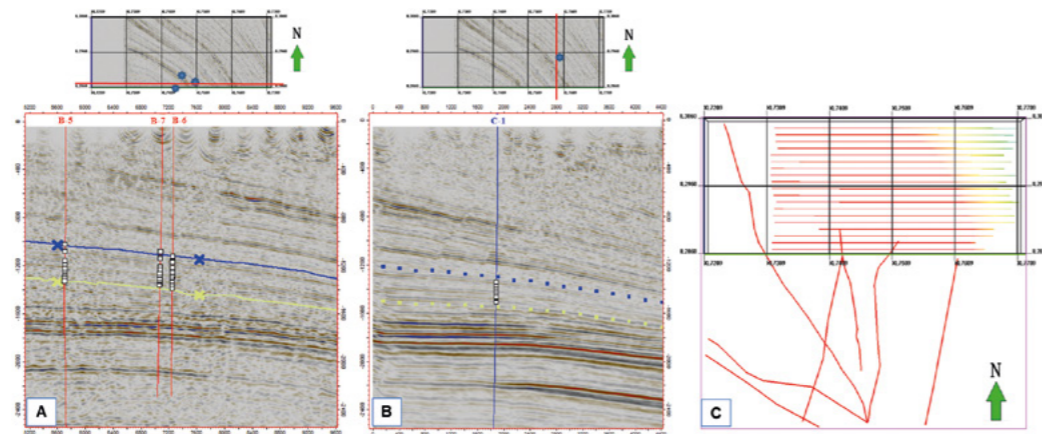


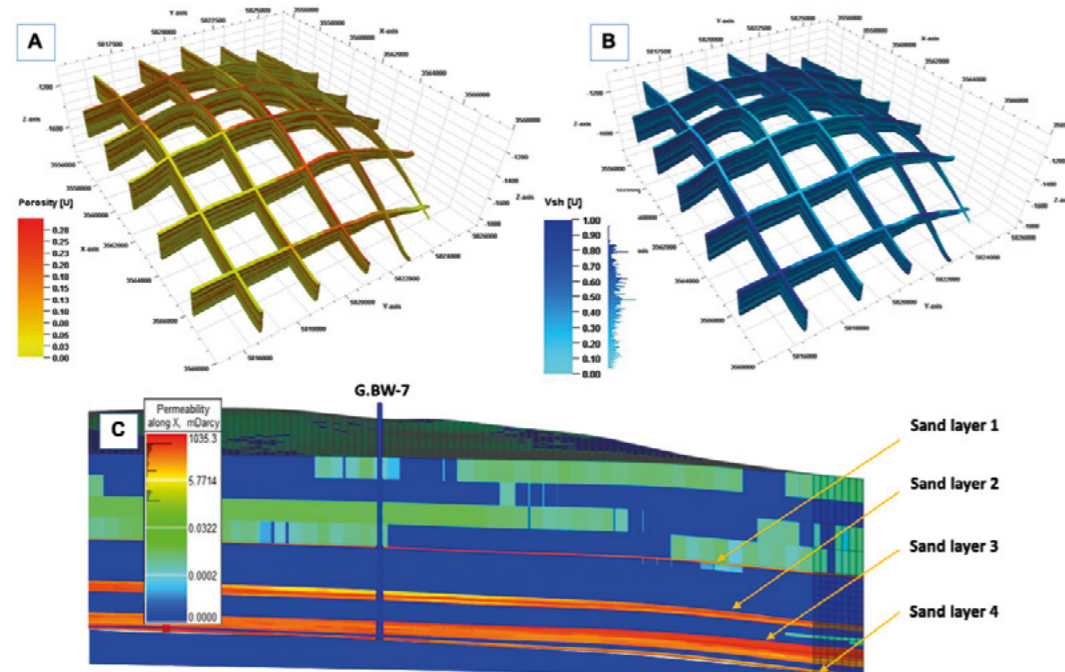
Abbildung 2: A: Seismischer Schnitt durch die Bohrungen B5, B6 und B7. B: Seismischer Schnitt durch Bohrung C-1. C: Anwendung der 2D-Seismik zur Erweiterung der Horizonte bis an die Grenzen des Konzessionsgebietes.

chungsgebiets abdecken, ist es notwendig, die seismischen 2D-Altdaten auszuwählen, um die Horizonte bis zur Grenze des Untersuchungsgebiets zu erweitern (Abb. 2, C). Anschließend wurde ein Oberflächenmodell mit einem Isochoren-Interpolationsalgorithmus erstellt, das in horizontaler Richtung in 50×50-m-Zellen unterteilt und in vertikaler Richtung durch die interpretierte Oberfläche geschichtet wurde. Die Daten der petrophysikalischen Eigenschaften des Bohrlochs wurden hochskaliert und die räumliche Verteilung der petrophysikalischen Eigenschaften einschließlich des Schiefervolumens, der Porosität und der Permeabilität mit der sequentiellen Gauß-Simulationsmethode konstruiert.

4. Bewertung des Reservoirs und des geothermischen Energiepotenzials:

Die Korrelation der Bohrungen und das geologische 3D-Modell zeigen, dass die Wealden-Formation vier zusammenhängende, grobkörnige Schichten aufweist, die potenzielle Reservoirs für die geothermische Exploration sind. Alle Sandschichten werden anhand der folgenden Parameter verglichen: Schichtdicke, Tiefe, Porosität, Durchlässigkeit und Zustand des Deckgesteins. Die Sand-

Abbildung 3: Modellergebnisse basieren auf der sequentiellen Gauß-Simulationsmethode A: Porositätsverteilung. B: Verteilung des Tonvolumens. C: Modell-schnitt der Permeabilitätsverteilung.



schicht 3 weist die beste Qualität auf und sollte als vorrangiges Ziel für die geothermische Erschließung dienen. Die Ergebnisse der geothermischen Berechnungen der Sandschicht 3 deuten darauf hin, dass die anfängliche Fördertemperatur bei 75 bis 82°C liegen könnte. In Zukunft wird die dynamische Simulation in diesem Modell durchgeführt werden, um die Förderrate und die sinkende Formationstemperatur zu testen.

Bohrplanung

Die detaillierte Analyse der vorliegenden Daten bestehender Bohrlöcher aus dem Gebiet der Aufsuchungserlaubnis und deren Abgleich mit dem geologischen Modell erlaubt Aufschluss über möglicherweise zu erwartende schlecht bohrbare Abschnitte oder geologische Unwägbarkeiten im Zielgebiet. Diese Kenntnisse sind für die Wahl der Standorte neu aufzufahrender Bohrungen von wesentlicher Bedeutung. Ferner richtet sich die Standortwahl auch nach dessen Zugänglichkeit und dem örtlichen Energiemarkt, da ein räumliches Auseinanderfallen von Förderstelle und Energieabnehmern zu Energieverlusten an der Oberfläche führen, die den Wirkungsgrad des Heizkraftwerks verringern. Neben der Auswahl des Bohrplatzes wird eine umfassende Risikoanalyse durchgeführt, in welcher alle zum Herstellen der Bohrung notwendigen Arbeitsschritte inklusive aller Nebenarbeiten (Einfahren der Rohrtouren, Zementationsarbeiten etc.) aufgenommen und anschließend alle im Zusammenhang mit diesen Arbeiten stehenden Gefahrenszenarien benannt werden.

Erste Zwischenergebnisse zeigen, dass unter den räumlichen Beschränkungen bestehender Naturschutzgebiete einzig der südliche Bereich des Konzessionsgebiets als vorteilhafte Option angesehen wird, da er näher an zwei potenziellen Märkten (Schulzentrum und Schwimmhalle bzw. Industrie- und Gewerbegebiet) für die erzeugte Wärmeenergie liegt.

Im Rahmen der Bohrplanung wurden verschiedene Optionen der Bohrlochverläufe untersucht. Diese Optionen umfassen vertikale, horizontale und abgelenkte Trajektorien. Gemäß den Lagerstättenmodellen können drei mögliche Bohrlochpläne ausgeführt werden:

1. zwei vertikale Bohrungen,
2. zwei abgelenkte Bohrungen mit einem maximalen Neigungswinkel von 30° und

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

GeoTWIN: Tiefengeothermie zur Wärmeversorgung in Norddeutschland – Studie zu neuen Konzepten zur Risikominimierung beim Aufschluss geothermaler Reservoirs

Fördermittelgeber:

Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)



Förderzeitraum: 01.01.2021 – 31.12.2022

Förderkennzeichen: ZW 7-85105209

Projektleiter:

Dr.-Ing. Michael Koppe (DSC – TU Clausthal, Gesamtprojekt);
Prof. Dr. Philip Jaeger (ITE – TU Clausthal);
Prof. Dr. Leonhard Ganzer (ITE – TU Clausthal)

Kooperationspartner:

GeoEnergy Celle e.V.

Projektbearbeiter:

Ke Li, M. Sc.
Wolfgang Hollstein, M. Sc.
Dipl.-Ing. Ralph Peitz
Mostafa Abdelhafiz, M. Sc.



Michael Koppe



Philip Jaeger



Leonhard Ganzer

3. eine vertikale Bohrung (Injektionsbohrung) und eine abgelenkte (Produktionsbohrung) mit einem maximalen Neigungswinkel von 57°.

Die dritte Option hat sich als optimal erwiesen, da es sich bei der ersten Bohrung um eine Vertikalbohrung handelt, die im Vergleich zu den abgelenkten weniger Risiken und Kosten birgt. Dies wird als Vorteil angesehen, da die Unsicherheiten in den Untergrundinformationen das Gesamtrisiko des Projekts verringern können. Ein weiterer Vorteil dieses Vorschlags ist, dass im Vergleich zu Option 1 kein langes Rohrleitungssystem an der Oberfläche erforderlich ist, um die beiden Bohrungen miteinander zu verbinden.

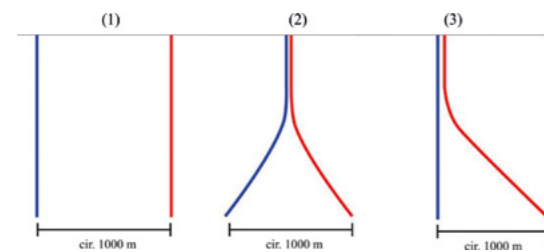


Abbildung 4: Schematische Darstellung der möglichen Bohrtrajektorien der Bohrdoublette.

Der Plan für die neuen Bohrungen basiert auf den vorhandenen Daten des Norddeutschen Beckens im Bereich der geplanten Bohrung. Zu den vorhandenen Informationen gehören neben den Bohrdaten der GeneSys-Bohrung GB-GT1 auch die Bohrberichte der Bohrungen im Gasfeld Thönse. Diese Daten wurden analysiert, um die wichtigsten Bohrprobleme und die besten Verfahren zu deren Beherrschung zu ermitteln und kostspielige technische Risiken zu vermeiden. Außerdem wurden Informationen über die Bohrwerkzeuge, die Bohrgeschwindigkeit, die Spülsaule und die Verrohrungstiefen der Offset-Bohrungen analysiert.

Förder- und Betriebstechnik/Spülungsprogramm

Eine fundierte Analyse alternativer Produktionsansätze ist ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen. Neben dem üblichen Einsatz von Pumpen zur Aufrechterhaltung der Produktion stellt auch das Gasliften eine mögliche Alternative dar, insbesondere, wenn Erdgas im produzierten Wasser enthalten ist. Das Förderhilfsmittel Gaslift ist dabei weniger wartungsaufwändig und gewährleistet zudem die ständige Befahrbarkeit des Bohrlochs. Um Ausfällungen, die zum Stillstand der Förderung

führen, wirksam vermeiden zu können, soll im Vorhaben ein entsprechend angepasster Betriebsplan erstellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass es in den dicken Tonschichten im Deckgebirge der Wealden-Formation erhebliche Probleme mit der Bohrlochstabilität gab, wie aus der Abbildung ersichtlich ist. Dieses Instabilitätsproblem verursachte eine große Verzögerung der Bohrarbeiten und hohe Zusatzkosten bei der Bohrung GBGT-1 in Hannover im Rahmen des GeneSys-Projekts der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe im Jahr 2009.

Es wurden zusätzliche Anstrengungen unternommen, um die Tonminerale in den instabilen Formationen zu untersuchen. Die Röntgenbeugungsanalyse (XRD) am Aufschluss von Düingen, Oberkreide (Valangin/Wealden) zeigt, dass die Tonminerale mit Quarzkörnern vermischt sind. Die Probe wurde in Chloriten und Montmorillonitmineralen gefunden. Neben Kaolinit, der dazu neigt, die Porenhäule aufgrund der feinen Migration zu blockieren und die Durchlässigkeit zu verringern. Die Hydratation von Chloriten führt zwar nicht zu einer Quellung, kann aber einen ausreichenden osmotischen Druck erzeugen, um die Trennung einzelner Tonplättchen zu bewirken, die unter dem Einfluss der strömenden Flüssigkeit dispergiert werden und zu Problemen mit der Bohrlochinstabilität führen.

Um dieses Problem bei einem denkbaren Geothermieprojekt in diesem Gebiet zu überwinden, sollte eine in der Unterkreideformation eingebettete Bohrspülung verwendet werden. KCL-Polymer-Spülungssysteme werden gemeinhin zur Toninhibierung und Maximierung des Bohrfortschrittes eingesetzt. Trotz seiner Vorteile bei der Stabilisierung von Smektit-Tonen (wie Montmorillonit) zeigen Studien jedoch, dass KCl im Zusammenhang mit Illiten nur mäßig wirksam ist und bei Kaolinit-Tonen die Quellung sogar verstärken kann.

Ölbasierte Bohrspülungen sind auch als stark inhibierende Bohrspülungssysteme bekannt. Aufgrund von Umwelt- und Gesundheitsbedenken werden diese aber nicht bevorzugt. Hinzu kommen Schäden an der Formation, die durch das Eindringen von Partikeln und die Veränderung der Benetzbarkeit entstehen können. Kürzlich wurde eine neuartige Bohrspülung auf Wasserbasis als leistungsstarke, umweltverträgliche Alternative zu öl- und synthetischen Emulsionsspülungen erfolgreich eingeführt. Die HPWBM (High Performance Water Based Muds)

verwenden ein umweltverträgliches, wasserlösliches Tonhydratationsunterdrückungsmittel (CHS), um hochreaktive Tone zu stabilisieren. Das CHS verhindert effektiv, dass reaktive Tone und Gumbo hydratisieren und plastisch werden, was den sekundären Vorteil hat, dass es die Tendenz zum Bit-Balling reduziert. Weitere Analysen und Versuche sind erforderlich, um den Einsatz des HPWBM in den dicken Tonschichten im Deckgebirge der Wealden-Formation und im Wealden selbst zu bewerten. Nähere experimentelle Untersuchungen der Effektivität dieser Spülung stehen aus, da das Spülungslabor derzeit wegen umfangreicher Umbaumaßnahmen nicht zur Verfügung steht.

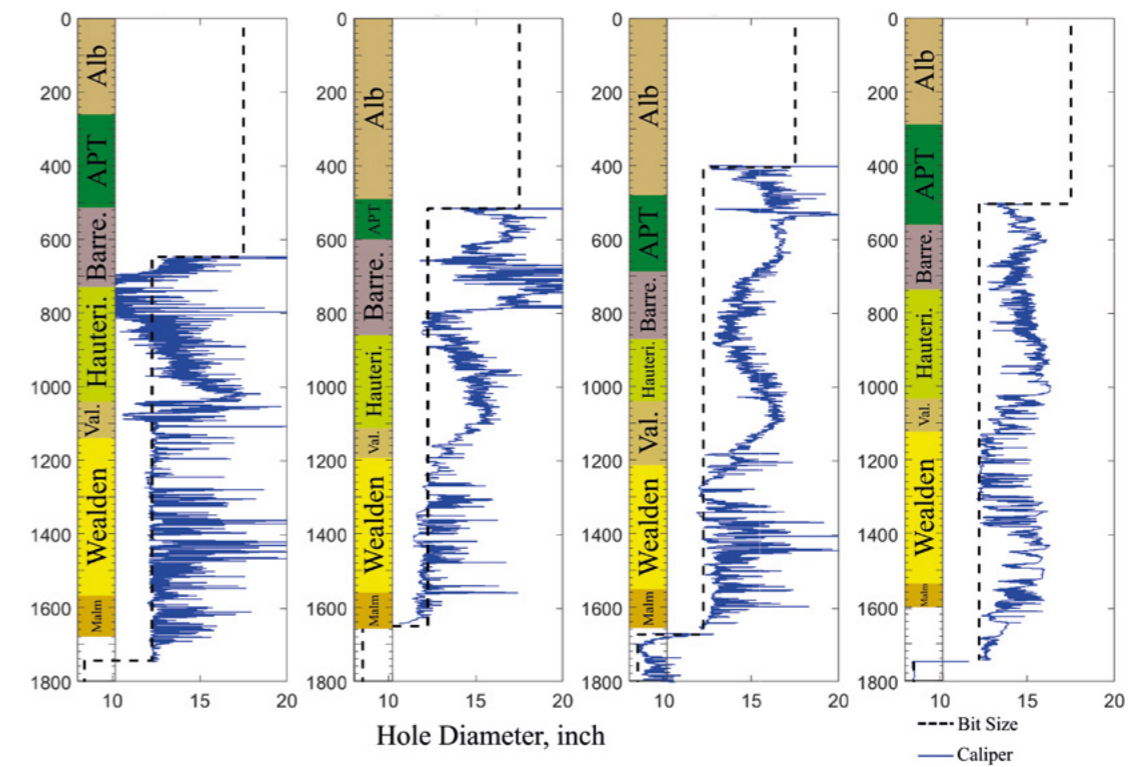


Abbildung 5: Bohrlochkaliberlogs aus fünf Bohrungen des Thönse Feldes inklusive Stratigraphie und Meißelgrößen.

Neben der Verwendung eines inhibierten Spülungssystems sollte auch das Verrohrungsprogramm so gestaltet werden, dass die Exposition der instabilen Formation so weit wie möglich reduziert wird. Die Oberflächenverrohrung soll nicht tiefer als 700 Meter gesetzt werden. Die Informationen über die Formation und den Fracdruck aus den Offset-Bohrungen reichen nicht aus, um die genaue Verrohrungstiefe exakt zu bestimmen.

Modellierung und numerische Berechnung des Mehrphasentransports in der Tiefbohrtechnik

Kurzfassung

Das Projektziel besteht in der Erweiterung von Erkenntnissen über partikelbeladene, also Bohrklein transportierende, Strömungen in vertikalen und lateralen Tiefbohrungen. Damit werden vorherige experimentelle und theoretische Arbeiten am Drilling Simulator Celle (DSC) und am Institut für Technische Mechanik (ITM) aufgegriffen und methodisch erweitert. Ein wesentlicher Bestandteil des Projektes ist es, neuere numerische Methoden zur Berechnung des Transports von Partikeln in einem Fluid einzusetzen. Diese basieren auf der sog. „immersed boundary“-Methode und ermöglichen es, die Wechselwirkung zwischen Fluid und Partikeln sowie zwischen Partikeln untereinander genauer als bisher möglich vorherzusagen. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn hohe Partikelkonzentrationen vorliegen, wie dies bei lateralen Bohrungen aufgrund der Sedimentation der Partikel der Fall ist. Zudem kann die Rheologie der zumeist nicht-Newtonischen Spülflüssigkeiten exakter berücksichtigt werden. Die Entwicklungen im vorliegenden Projekt basieren auf OpenFOAM, einer allgemein verfügbaren Entwicklungsplattform für numerische Berechnungen im Bereich der Strömungsmechanik. Durch den Einsatz von Simulationen wird es möglich sein, zuverlässigere Daten zur Verfügung zu stellen, die in makroskopischen Modellen aggregiert werden, welche wiederum zur Vorhersage des Gesamtprozesses genutzt werden. Die Ergebnisse sollen somit auch einen Beitrag zur Optimierung und Automatisierung, sowie zur Kostenreduktion des Bohrprozesses leisten. Durch die grundlegende Natur der gewonnenen Erkenntnisse über partikelbeladene Strömungen bietet sich ebenfalls eine Übertragung auf weitere Anwendungsgebiete an.

Abstract

The aim of the project is to extend knowledge about particle-laden, i.e. cuttings-transporting, flows in vertical and lateral deep boreholes. In this way, previous experimental and theoretical

work at the Drilling Simulator Celle (DSC) and at the Institute of Applied Mechanics (ITM) will be taken up and methodically expanded. An essential part of the project is to use the latest numerical methods to calculate the transport of particles in a fluid. These are based on the so-called "immersed boundary" method and make it possible to predict the interaction between fluid and particles as well as between particles themselves more accurately than was previously possible. This is particularly important when high particle concentrations are present, as is the case in lateral wells due to sedimentation of the particles. In addition, the rheology of the mostly non-Newtonian drilling fluids can be taken into account more accurately. The developments in the present project are based on OpenFOAM, a generally available development platform for numerical calculations in the field of fluid mechanics. By using simulations, it will be possible to provide more reliable data, which will be aggregated into macroscopic models, which in turn will be used to predict the overall process. The results should thus also contribute to the optimisation and automation, as well as to the cost reduction of the drilling process. Due to the fundamental nature of the knowledge gained about particle-laden flows, it is also possible to transfer this knowledge to other areas of application.

Projekthintergrund

Tiefbohrtechnologie ist sowohl für die Nutzung fossiler Energieträger eine Schlüsseltechnologie als auch für die Tiefengeothermie. Sie spielt in Gegenwart und Zukunft eine bedeutende Rolle in der Sicherung unserer Energieversorgung. Ein in wirtschaftlicher wie ökologischer Hinsicht wichtiger Aspekt ist in diesem Zusammenhang die sichere und effiziente Erstellung der Bohrungen mit etlichen tausend Metern Tiefe. Während des Bohrprozesses ist es notwendig, das anfallende Bohrklein kontinuierlich unter Einhaltung enger Betriebsfenster für Spülraten und Drücke in der Spülflüssigkeit abzutransportieren. Um das Druckfenster zwischen Formations- und Fracking-Druck einzuhalten,

sowie um Vorfälle wie Stuck-Pipe zu vermeiden, werden zuverlässige Modelle für den Bohrkleintransport auf Systemebene benötigt, die bei Regelung und Optimierung eingesetzt werden können.

Existierende Modelle für die Berechnung von Bohrkleintransport sind beispielsweise das Modell von Clark und Bickham [1], das Drift-Flux-Modell [2], das Zwei-Schichten- [3] und das Drei-Schichten-Modell [4]. Dabei berechnet das Clark-und-Bickham-Modell eine stationäre Mindestgeschwindigkeit für die Bohrspülung, damit der Abtransport von Bohrklein aufrechterhalten werden kann. Dies berücksichtigt jedoch keine variierenden Betriebsbedingungen, wie z.B. stark inhomogene Partikelverteilungen in einer lateralen Bohrung. Das Drift-Flux-Modell, sowie das Zwei-Schichten- und das Drei-Schichten-Modell sind transienter Natur und können beispielsweise die momentane Rotationsgeschwindigkeit des Bohrstrangs berücksichtigen. Bisher in keinem Modell berücksichtigt werden jedoch Effekte von Sekundärströmungen (sog. Taylorwirbel [5]). Weiterhin wird eine konstante Partikelgröße und Partikelform (zumeist sphärisch) angenommen, während die Berücksichtigung einer bekannten Form- und Größenverteilung theoretisch möglich wäre und anzustreben ist. Auch Einflüsse der Rheologie einer viskoplastischen Bohrspülung sind noch nicht abschließend bekannt, insbesondere für hohe Partikelkonzentrationen, in Verbindung mit Sedimentationsvorgängen oder mit Sekundärströmungen. Die Fließeigenschaften eines solchen Mediums (Beispielsweise Wasser-Bentonit-Gemisch) sind deutlich komplexer als die eines Newtonschen Fluids. Für den Transport in geneigten Bohrungen ist insbesondere das Drei-Schichten-Modell interessant. Dieses unterteilt den Bereich zwischen Außenwand und Bohrstrang in ein stationäres Partikelbett, ein bewegliches Partikelbett und eine disperse Phase der im Fluid mittransportierten Partikel. Da zwischen den drei Schichten ein Austausch stattfinden kann, müssen diese durch Quellterme miteinander gekoppelt werden.

An der TU Clausthal wurde basierend auf dem Drift-Flux-Modell und dem Drei-Schichten-Modell ein Gesamtmodell für den Bohrkleintransport in Newtonschen Fluiden erstellt und getestet [6]. Dabei wurden Exzentrizität [7] und Rotation [8] des Bohrstrangs berücksichtigt. Die Berechnung der Quellterme war Gegenstand der Masterarbeit [9]. Eine Erweiterung, beispielsweise auf nicht-Newtonische Medien, steht hier noch aus.

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:
Modellierung und numerische Berechnung des Mehrphasentransports in der Tiefbohrtechnik

Fördermittelgeber:
Deutsche Forschungsgemeinschaft

Laufzeit:
01.04.2021 – 31.03.2024

Berichtszeitraum:
01.04.2021 – 31.12.2021

Zuwendungsempfänger:
Technische Universität Clausthal

Ausführende Stelle:
Drilling Simulator Celle (DSC) und Institut für Technische Mechanik (ITM)

Projektleiter:
Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner

Projektkoordinatorin:
Kathrin Skinder, M.Sc.

E-Mail:
kathrin.skinder@tu-clausthal.de

Internet:
<https://www.itm.tu-clausthal.de/abteilungen/abteilung-stroemungsmechanik/forschung/laufende-projekte/modellierung-und-numerische-berechnung-des-mehrphasentransports-in-der-tiefbohrtechnik>



Gunther Brenner



Kathrin Skinder

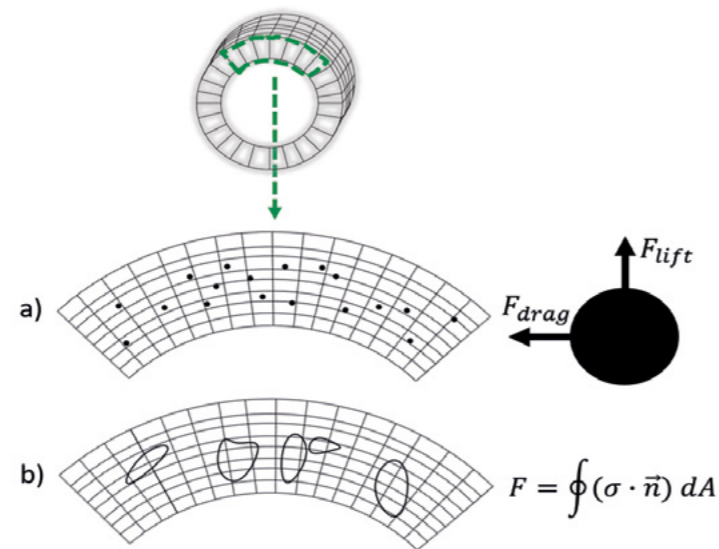


Abbildung 1: Partikelmodellierende (a) und -auflösende (b) Methoden im Vergleich. (a) Partikel sind kleiner als ein numerisches Gitterelement. Angreifende Kräfte werden modelliert. (b) Partikel umfassen mehrere Gitterelemente. Kräfte auf die Außenflächen können berechnet werden.

Numerische Methoden

In diesem Forschungsprojekt sollen nun moderne Methoden der numerischen Strömungsmechanik (CFD) zum Einsatz kommen, um Antworten auf die noch ungeklärten Fragen zu finden. Die Kopplung der diskreten (Partikel) mit der kontinuierlichen Phase (Spülfüssigkeit) wird auch CFD-DEM-Kopplung genannt (DEM – Diskrete-Elemente-Methode). Für die mehrphasigen Berechnungen liegt der Fokus auf der Euler-Lagrange-Methode und der Immersed-Boundary-Methode (IBM). Die flüssige Phase wird in beiden Fällen über die diskretisierten Navier-Stokes-Gleichungen in den Zellen eines numerischen Gitters berechnet. Die Bewegung der Partikel wird auf der Basis des zweiten Newtonschen Gesetzes, des Impulssatzes, modelliert. Beide Phasen tauschen Impulse miteinander aus, was mittels geeigneter Quellterme in den jeweiligen Transportgleichungen modelliert wird. Die wirkenden Kräfte können in Widerstands- und Auftriebskräfte unterteilt werden. Die Euler-Lagrange-Methode ist eine partikelmodellierende Methode. (Abbildung 1a) Sie wird für Partikel verwendet, die kleiner als eine Gitterzelle sind und daher als Punktmassen betrachtet werden können. Partikeleigenschaften wie Masse und Dichte führen zur direkten Berechnung von Gravitations- und statischer Auftriebskraft, während die Modellierung der Widerstandskraft oft über die Korrelation mit der lokalen Partikelkonzentration stattfindet. Der in [10] verwendete Euler-Lagrange-Ansatz lässt durch Abweichungen von experimentellen Ergebnissen zwei Probleme vermuten: Ers-

tens ist die räumliche Gitterauflösung durch die Partikelgröße limitiert. Zweitens können Abweichungen durch eine inkorrekte Modellierung von Partikelkollisionen verursacht werden. Dies soll nun überprüft werden und durch den Einsatz der IBM eine Lösung gefunden werden. Bei der IBM handelt es sich um eine skalenauflösende Methode. (Abbildung 1b) Bei Partikeln, deren Dimensionen sich über mehrere Gitterzellen erstrecken, können Kräfte auf die Außenflächen der Partikel direkt aus der CFD-Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen bestimmt werden. Nicht-kugelförmige Partikelgeometrien können damit berücksichtigt werden. Der Rechenaufwand im Vergleich zu partikelmodellierenden Methoden ist jedoch extrem groß. Da heutzutage sehr leistungsfähige Rechencluster zur Verfügung stehen, sind diese Berechnungsmethoden für mehr als einige wenige Partikel möglich geworden. Im Hinblick auf die geplante Betrachtung viskoplastischer Medien beschränkt sich dennoch der Großteil der bisherigen Forschungsarbeiten auf ein einziges, kugelförmiges Partikel.

AP1 – Weitere Entwicklung und Verifikation des skalenauflösenden CFD-DEM-Modells

Im Arbeitspaket 1 soll ein skalenauflösender Solver basierend auf der IBM in OpenFOAM entwickelt und getestet werden. Es wird ein Vergleich mit Messergebnissen angestrebt, die am ITM erstellt wurden [11]. Dieses Vorgehen soll die aufgetretenen Probleme vorheriger Rechnungen lösen, die sich in Abweichungen von den Messergebnissen äußern.

Die vorherigen Rechnungen stützen sich auf eine Kopplung des CFD-Codes in OpenFOAM mit dem DEM-Solver LIGGGHTS, welche sich teils als problematisch herausstellte. Daher soll nun eine Lösung entwickelt werden, die sich allein auf OpenFOAM stützt. Seit der Antragstellung hat sich jedoch eine Neuerung durch einige Updates der Built-In-Solver in OpenFOAM ergeben. So existiert nun der hochentwickelte Euler-Lagrange CFD-DEM-Solver MPPICFoam. Dieser stellt eine ideale Vergleichsmöglichkeit mit einer nicht skalenauflösenden Methode dar, insbesondere im Hinblick auf die enorme Rechenzeitsparung. Die Betrachtungen in AP1 finden aufgrund der Experimentalkonfiguration in einem vertikalen Rohrabschnitt mit mono- und bidispersen Suspensionen statt.

AP2 – Partikelsätze mit breiter Größenverteilung

Partikelmischungen mit Durchmessern von 1 mm bis 6 mm sollen nun betrachtet werden. Hier stehen ebenfalls Messergebnisse zum Vergleich zur Verfügung mit einer Partikelkonzentration von bis zu 1 Vol.%. Vergleiche von skalenauflösenden und nicht skalenauflösenden Methoden werden angestellt. Ebenfalls verglichen wird mit Rechnungen aus vorherigen Forschungsarbeiten, die eine Abweichung zu Messergebnissen aufwiesen: Die Transportgeschwindigkeiten der Partikel waren systematisch größer als im Experiment.

AP3 – Erweiterung auf viskoplastische Medien

Die Betrachtungen sollen hier auf viskoplastische Fluide erweitert werden. Dazu müssen Modelle in OpenFOAM implementiert werden, die die rheologischen Eigenschaften des Fluids beschreiben. Das Verhalten eines einzelnen Partikels in nicht-Newtonschen Fluiden ist numerisch gut erforscht, die Interaktionseffekte bei einer größeren Partikelzahl jedoch nicht. Messergebnisse von Experimenten am ITM stehen zur Verfügung, wobei Lösungen von Xanthan oder Polyacrylsäure verwendet wurden. Die numerischen Betrachtungen werden ebenfalls im vertikalen Rohrabschnitt angestellt. Parameter wie Partikelgröße und Konzentration werden variiert.

AP4 – Vertikaler Transport im Ringspalt

Für die weiteren Betrachtungen stehen keine Experimentalergebnisse zur Verfügung. Die Berechnungsmethode kann jedoch durch die Betrachtungen in AP1-3 als gut validiert angesehen werden. Mit dem Transport im

Ringspalt werden nun für den Tiefbohrbetrieb realistischere Bedingungen abgebildet als in den vorherigen Arbeitspaketen. Parameter wie Exzentrizität des Bohrstrangs, Rotationsgeschwindigkeit, Strömungsgeschwindigkeit und Partikelkonzentration werden variiert. Der Fokus liegt insbesondere auf dem Auftreten von Sekundärströmungen, den sogenannten Taylorwirbeln (Abbildung 2). Diese können in Verbindung mit einer axialen Strömung zu einer Separation der Partikel in helikalen Strukturen führen, wie vorherige Studien gezeigt haben. Die Folge könnte eine Transporthemmung sein, da für den Transport nicht mehr der gesamte Querschnitt zur Verfügung steht. In diesem Arbeitspaket wird eine präzise Quantifizierung und Parametrisierung dieses Effekts angestrebt. Ein Experimentalaufbau für die Erfassung des Effekts ist sehr schwer realisierbar, da extrem lange Einlaufängen nötig wären, bis sich eine solche helikale Strömungsstruktur etabliert. Numerisch kann dieses Problem über periodische Randbedingungen umgangen werden.

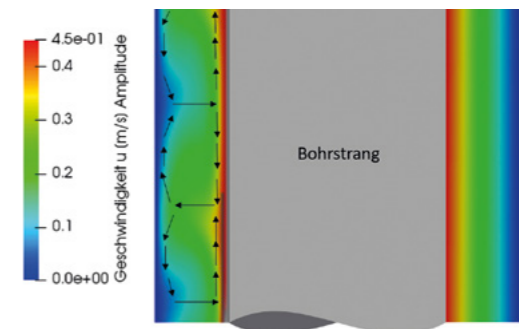


Abbildung 2: Darstellung der Taylorwirbel über die absolute Fluidgeschwindigkeit in einem Schnitt durch den Ringspalt. Links: Mit Taylorwirbeln. Rechts: Zum Vergleich ohne Taylorwirbel.

AP5 – Transport in geneigten bis horizontalen Bohrungen

Das finale Arbeitspaket macht einen weiteren Schritt in Richtung realistischer Bedingungen. Für Geothermiebohrungen wird zunehmend das sogenannte "Directional Drilling" eingesetzt. Von einem vertikalen Ausgangspunkt wird kontinuierlich die Bohrrichtung geändert, bis hin zur Horizontalität. So kann das geothermische Reservoir in der Tiefe ideal genutzt werden. Für den Bohrkleintransport ergibt sich dadurch eine inhomogene Partikelverteilung, da die Gravitation senkrecht zur Transportrichtung nun zu Sedimentation von Partikeln auf die

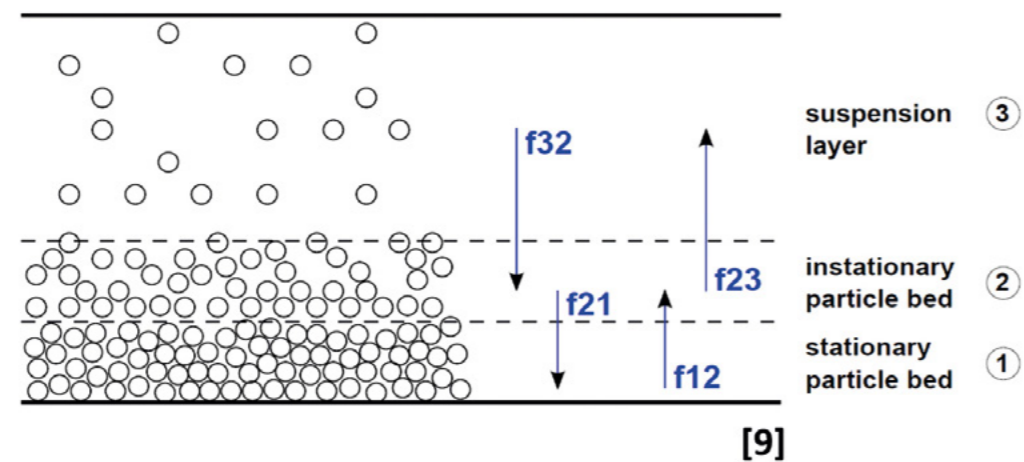


Abbildung 3: Drei-Schichten-Modell. Der Austausch zwischen den Schichten wird über Quellterme realisiert.

untere Außenwand führt (Abbildung 3). Da sich dieses Verhalten stark vom vertikalen Transport unterscheidet, werden für beide Fälle unterschiedliche Berechnungsmodelle eingesetzt, namentlich die bereits erwähnten Drift-Flux- und Drei-Schichten-Modelle. Für den Übergangsbereich der geeigneten Bohrungen ist eine Kombination beider Modelle angebracht. In diesem Arbeitspaket wird eine Erweiterung des Kombinationsmodells aus [9] angestrebt. Dafür sollen skalenauflösende Rechnungen des Partikeltransports durchgeführt werden.

Projektstand

Zunächst wurden einige Testrechnungen mit dem Euler-Lagrange-Solver MPPICFoam aufgesetzt. Dabei sollte zunächst die Methodik etabliert werden. Da sich bereits einige Abschlussarbeiten am ITM mit dem Thema Sekundärströmungen beschäftigt hatten, wurde das Thema aus AP 4 als Testfall gewählt. Die ab einer bestimmten Drehzahl des Bohrerstrangs auftretenden Taylorwirbel wurden theoretisch, experimentell und numerisch betrachtet. Auf zunächst einphasige Netzstudien folgte die Erweiterung auf die mehrphasige Betrachtung. Erste Ergebnisse zeigen die bevorzugte Anordnung von Partikeln in Bereichen hoher Fluidgeschwindigkeiten und lassen bereits eine helixförmige Strömungsstruktur vermuten (Abbildung 4). Die nächsten Schritte sind eine ausführliche Validierung der Methode anhand von Messergebnissen. Dabei wird die Ringspaltkonfiguration zunächst verlassen und stattdessen die Strömung in einem vertikalen Rohrabschnitt betrachtet.

Literatur

- [1] Clark, R. K.; Bickham, K. L.: mechanistic model for cuttings transport. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 1994.
- [2] Zuber, N.; Findla, J. A.: Average volumetric concentration in two-phase flow systems. Journal of Heat Transfer, 87 (4), S. 453, 1965.
- [3] Naganawa, S.; Nomura, T.: Simulating transient behavior of cuttings transport over whole trajectory of extended reach well. In IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2006.
- [4] Guo, X.; Wang, Z.; Long, Z.: Study on three-layer unsteady model of cuttings transport for extended-reach well. Journal of Petroleum Science and Engineering, 73 (1), S.171–180, 2010.
- [5] Taylor, G. I.: Stability of a Viscous Liquid contained between Two Rotating Cylinders. Philosophical Transactions of the Royal Society. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. Bd. 223, S. 289–343, 1923.
- [6] Hahn, S.: Untersuchung der beschreibenden Parameter für horizontale partikelbeladene Rohrströmungen in Annulargeometrien. Masterthesis, Technical University Clausthal, 2016.
- [7] Aragall, R.; Brenner, G.: Optical measurement and numerical analysis of mono- and bidisperse coarse suspensions in vertical axisymmetric sudden-expansion. Int. J. Multiph. Flow, 69, S. 63–80, 2015.
- [8] Aragall, R.; Hahn, S.; Böckenhoff, P.; Brenner, G.: Analysis of the effects of rota-

tion on holecleaning through a cfd-dem approach and linking of transport information with wellbore scale model. Oil Gas Eur. Mag, 42(1), 2016.

- [9] Hahn, S.: Development of a wellbore-scale Model for Cutting Transport in Extended Reach Drilling Wellbores. Masterthesis, Technical University Clausthal, 2016.
- [10] Aragall, R.; Yu, F.; Dai, J.; Brenner, G.: Closure of Drift-Flux Models for Cuttings Transport Predictions. Oil Gas-European Magazine 41, S. 15–18, 2015.
- [11] Aragall, R.; Mulchandani, V.; Brenner, G.: Optical measurement and numerical analysis of mono- and bidisperse coarse suspensions in vertical axisymmetric sudden-expansion. Int. J. Multiph. Flow 69, S. 63–80, 2015.

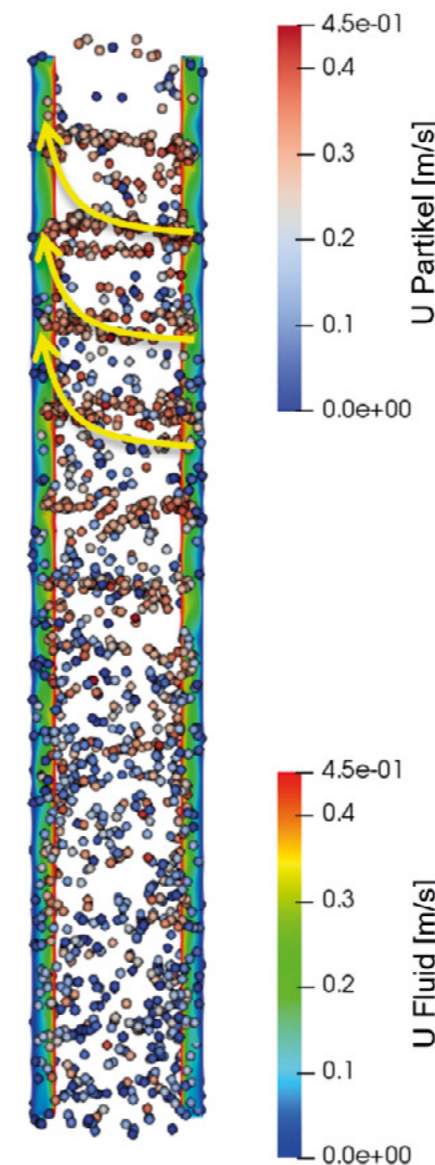


Abbildung 4: Ergebnis einer Euler-Lagrange-Rechnung mit dem Solver MPPICFoam unter Bohrerstrangrotation und axialer Strömung. Stromabwärts ordnen sich Partikel vorzugsweise in Bereichen hoher Strömungsgeschwindigkeiten an.

GeoInnoSens – innovative Sensor- und Messtechnik für Geothermiebohrungen

Kurzfassung

Mit dem Projekt „GeoInnoSens“ soll ein Beitrag zur Reduktion technischer und umweltrelevanter Risiken des kostenintensiven Tiefbohrprozesses geleistet werden. Ziel des Projekts ist die Implementierung innovativer Sensor- und Messtechniken auf Ultraschallbasis für die Quantifizierung von mehrphasigen Transportvorgängen (flüssig-fest-gasförmig) im Fluidkreislauf, um zeitaufgelöst Informationen über die räumliche Konzentrationsverteilung von Feststoffpartikeln und einer Gasphase in der Strömung liefern zu können. Erst mit der Verfügbarkeit dieser Informationen können eine systematische Optimierung des Bohrkleintransportes und damit einhergehend eine Reduktion nicht-produktiver Zeiten bei der Bohrerstellung erfolgen. Die eingesetzten Technologien müssen dabei ausreichend robust sein, um den harschen Bedingungen in einem Bohrloch (Druck, Temperatur, Fluideigenschaften) Stand zu halten. Die im Rahmen dieses Projekts zu beschaffenden Komponenten werden in den Hardware-Simulator des Drilling Simulator in Celle integriert.

Abstract

The project "GeoInnoSens" aims to contribute to the reduction of technical and environmental risks of the cost-intensive deep drilling process.

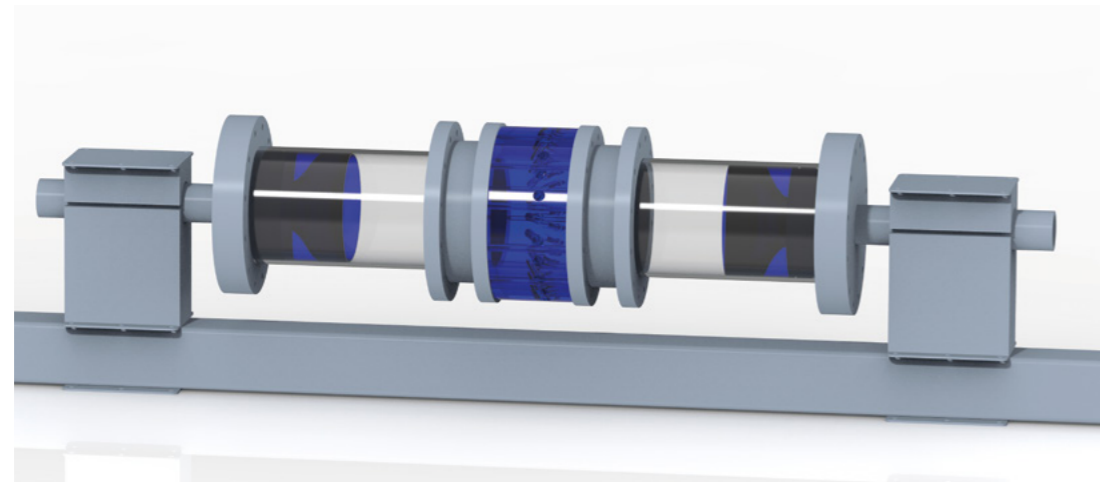


Abbildung 1: Integration der Sensorik in den Strömungskreislauf.

The aim of the project is the implementation of innovative sensor and measurement techniques based on ultrasound for the quantification of multiphase transport processes (liquid-solid-gaseous) in the fluid circuit in order to be able to provide time-resolved information on the spatial concentration distribution of solid particles and a gas phase in the flow. Only with the availability of this information, a systematic optimization of the drill cuttings transport and consequently a reduction of non-productive times during well production can be achieved. The technologies used must be sufficiently robust to withstand the harsh conditions in a borehole (pressure, temperature, fluid properties). The components to be procured as part of this project will be integrated into the hardware simulator of the Drilling Simulator in Celle.

Projekthintergrund

Der Ausbau erneuerbarer Energien steht im Zentrum der Energiewende. Bisher konnte bei Tiefengeothermie-Projekten ein begrenzter Erfolg erzielt werden. Zentrale Faktoren für den weiteren Ausbau der Tiefengeothermie stellen Standort und Lagerstättenauswahl sowie die Anwendung der richtigen Erschließungs- und Nutzungskonzepte und Technologien dar. Gerade letztere sind für eine den Kriterien der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit genügende Entwicklung dieser Projekte entscheidend.

Mit der Erweiterung der messtechnischen Infrastruktur im Projekt „GeoInnoSens“ soll ein weiterer Beitrag zur Reduktion technischer und umweltrelevanter Risiken des kostenintensiven Tiefbohrprozesses geleistet werden, wie sie z.B. nicht-optimale Bohrspülungen, Bohrlochinstabilitäten, unerwartete geologische Formationen oder Grundwassergefährdungen etc. darstellen können. Im Fokus steht dabei eine systematische Optimierung des Bohrkleintransportes beim Bohrvorgang durch den Einsatz innovativer Messtechnik und Sensorik.

Für den Transport von teils mehreren tausend Metern bis zur Oberfläche kommen in der Praxis spezielle Spülflüssigkeiten mit komplexen Fließeigenschaften zum Einsatz, deren Spülraten genau eingestellt werden müssen, um einen sicheren Bohrkleinaustrag sowie ein Verstopfen des Bohrlochs vermeiden zu können. Zudem müssen enge Betriebsfenster für den Druck im Bohrloch eingehalten werden, um die Integrität des Bohrloches in der umgebenden Formation zu sichern und somit Umweltschäden verhindern zu können. Auch bei einer späteren Produktion von Thermalwässern kommt es vielfach zur Ausbildung von Flüssigsäulen aus mit Gasblasen durchsetztem und gasgesättigtem Lagerstättenwasser sowie zu Salzausfällungen. Somit ist auch die Quantifizierung relevanter Größen (z.B. Konzentration, und Phasengeschwindigkeit) der entstehenden Mehrphasenströmungen in den unter hohen Drücken stehenden Produktionssonden für den Wärmeübergang bzw. für die Auslegung der Förderaggregate von entscheidender Bedeutung. Um diese skizzierten praktischen Prozesse systematisch optimieren zu können, ist es erforderlich, die relevanten physikalischen Vorgänge genauer als bisher möglich auch im laufenden Betrieb quantifizieren zu können.

Im Vorhaben „GeoInnoSens“ sollen daher innovative ultraschallbasierte Sensor- und Messtechniken für die Quantifizierung von mehrphasigen Transportvorgängen (flüssig-fest-gasförmig) in den Fluidkreislauf des Hardware-Simulators am Drilling Simulator Celle integriert werden, um auf diese Weise zeitaufgelöst Informationen über die räumliche Konzentrationsverteilung von Feststoffpartikeln und einer Gasphase in der Strömung erhalten zu können. Die eingesetzten Technologien müssen dabei ausreichend robust sein, um den harschen Bedingungen in einem Bohrloch (Druck, Temperatur, Fluideigenschaften) Stand zu halten. Unter Anwendung der Ultraschall-Messtechnik werden hier zwei Messprinzipien gekoppelt:

Daten zum Projekt

Vorhabenbezeichnung:

GeoInnoSens – Innovative Sensor- und Messtechnik für Geothermiebohrungen

Fördermittelgeber:

Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie finanziert



Förderkennzeichen:

ZW7- 85151912

Projektlaufzeit:

01.10.2021 – 31.12.2022

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Gunter Brenner

Projektkoordinator:

Prof. Dr. Philip Jaeger
Wolfgang Hollstein, M.Sc.



Gunther Brenner



Philip Jaeger



Wolfgang Hollstein

Das erste Prinzip dient der Aufnahme der Geschwindigkeit der Hauptphase und beruht auf dem Dopplereffekt (Ultrasonic-Doppler-Velocimetry, UDV, UVP). Hier wird das Echo eines im Winkel zur Hauptphase ausgesendeten Impulses mit einer bekannten Trägerfrequenz aufgenommen. Anhand des Vergleichs der emittierten und empfangenen Frequenz kann die Geschwindigkeit der fließenden Phase ermittelt werden. Das zweite Messprinzip der Tomographie beruht auf der unterschiedlichen Geschwindigkeit des Schallimpulses innerhalb der Phasen. So kann ein Zeitfenster definiert werden, in dem der orthogonal zur Strömung emittierte Impuls die reine Hauptphase durchquert. Durch die Aufnahme einer Abweichung der Transitionszeit vom Zeitfenster lassen sich Rückschlüsse auf eine im Schallpfad befindliche Phase schließen.

Nach erfolgter Integration in den Hardware-Simulator am DSC ermöglicht diese neue Sensorik- und Messtechnik die Bearbeitung der nachfolgenden Forschungsfragen bzw. -vorhaben:

- Welche Mehrphasen-Förderzustände stellen sich unter realen Betriebsbedingungen beim Bohrkleintransport ein? In der Strömung einer kontinuierlichen flüssigen und festen dispersen Phase können als Förderzustände Flugförderung, Strähnenförderung, Ausbildung von Dünen oder Ballen bis hin zur Profenförderung differenziert werden. In dreiphasigen Strömungen können zudem disperse Gasblasen oder größere, gasgefüllte Bereiche hinzukommen. Die kontinuierliche Erfassung des Förderzustands im Betrieb ist essentiell für die Sicherstellung eines optimalen und sicheren Bohrkleinaustrags. Reale Betriebsbedingungen umfassen die Stoffeigenschaften (insbesondere Dichte) der Spülflüssigkeit und deren Fließeigenschaften (Rheologie), Druck und Temperatur, Volumenströme und Abmessungen typischer Spülssysteme (kreisringförmiger Querschnitt). Zur Erfassung wird eine Sensortechnik benötigt, welche die Feststoffvolumenkonzentration und idealerweise deren Geschwindigkeit als integrale Größen in einem begrenzten Erfassungsbereich zu quantifizieren vermag. Entscheidend für einen erfolgreichen Austrag ist eine homogene lokale Verteilung der beteiligten Phasen.

- Die Ultraschall-Messtechnik ist in der Verfahrenstechnik oder Abwassertechnik etabliert. Sie wird dort in der Regel bereits im Technikum eingesetzt, um oben genannte Parameter des Sedimenttransports in hochviskosen und nicht transparenten Medien etc. zu erfassen. Die besondere Problemstellung ergibt sich in der hier geplanten Anwendung durch die deutlich erhöhten Prozessdrücke, die eine besondere Kapselung und Abdichtung der Ultraschall-Sonden erfordern.
- Neben der Erbringung des Nachweises, dass die genannte Messtechnik prinzipiell für die Beschreibung von Mehrphasenströmungen (flüssig-fest-gasförmig) unter erhöhten Prozessdrücken verwertbare Daten liefert, ist die Überprüfung eines möglichen Einsatzes untertage erforderlich. Dieses setzt eine hohe Robustheit der Messtechnik voraus und wird im Laufe des Projektes am Hardware-Simulator überprüft.

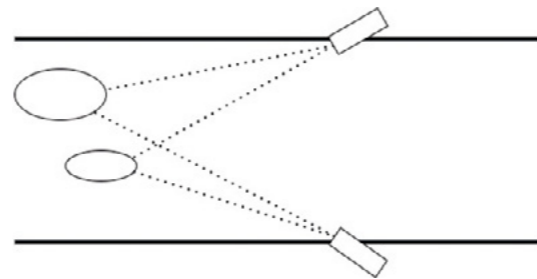


Abbildung 2a: Das Doppler-Prinzip zur Detektion.

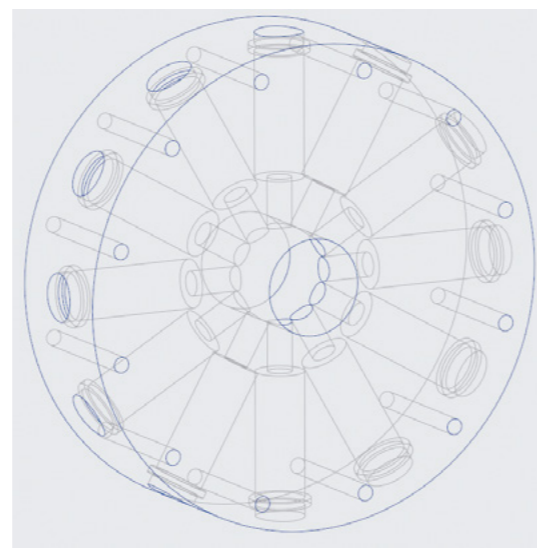


Abbildung 2b: Adapter der Ultraschalltomographen zur Detektion von Feststoffpartikeln in einer Strömung.

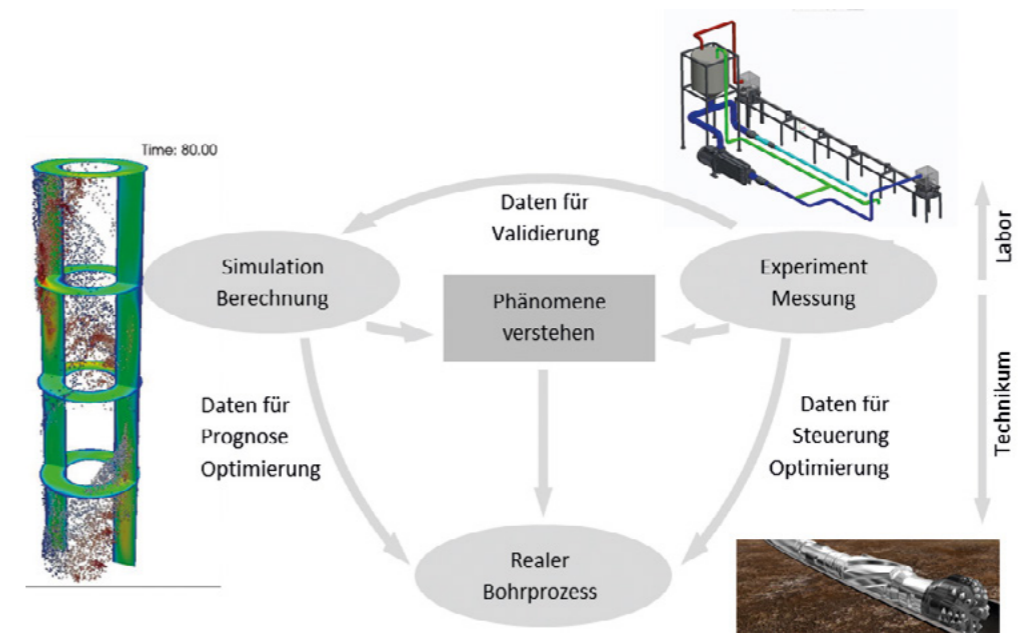


Abbildung 3: Zur Forschungsstrategie TUC/DSC Mehrphasenströmungen (Eigene Darstellung).

Die hier dargestellte Erweiterung der Messtechnik stellt einen weiteren Baustein der verfolgten Forschungsstrategie im Bereich Mehrphasenströmungen an der TU Clausthal dar. So dienen die bisher durchgeführten Experimente und Messungen sowie theoretische Berechnungen und Simulationen der Identifikation grundlegender Daten, um den Bohrprozess sicherer und effizienter gestaltet zu können. Experimente im Labormaßstab unter Einsatz hochauflösender optischer Messtechnik, zum Beispiel zum Übergang von laminaren zu turbulenten Strömung in rotierenden Ringspalten, wurden am Institut für Technische Mechanik (ITM) durchgeführt, um grundlegende Phänomene im Kontext der Bohrtechnik zu untersuchen. Auch wurden bereits Experimente zur Untersuchung des Transports von sphärischen Partikeln unterschiedlicher Größe in vertikalen Rohrströmungen mit hochauflösenden optischen Messverfahren aufgebaut und durchgeführt. Am Institute of Subsurface Energy Systems (ITE) wurden Messungen in Mehrphasenströmungen an einer Rohrstrecke mit variabler Neigung durchgeführt.

Neben dem Aspekt der Grundlagenforschung dienen diese Arbeiten dazu, Daten zur Validierung von theoretischen Modellen zur Berechnung dieser Transportprozesse zur Verfügung zu stellen. Eine wesentliche Einschränkung der bisherigen Arbeiten liegt jedoch darin begrün-

det, dass zwar sehr genau gemessen werden kann, dieses allerdings nur unter Laborbedingungen mit transparenten und genau spezifizierten Modellflüssigkeiten. Unter realen Bedingungen kommen hingegen Spülflüssigkeiten mit hohen Feststoffanteilen (z.B. Bentonit) und Polymeren zur Einstellung der rheologischen Eigenschaften zum Einsatz. Die mineralischen Partikel sind unregelmäßig geformt und strömungsführende Teile werden aufgrund der hohen Drücke aus Stahl gefertigt, sodass andere Messverfahren, wie z.B. die hier beschriebene Ultraschallsensorik zum Einsatz kommen müssen. Mit der Verwendung dieser Technologien im Realmaßstab verschiebt sich der Fokus zudem von der exakten Quantifizierung von Strömungsfeldgrößen hin zur Erfassung und Überwachung sensibler Parameter wie etwa mittlerer Größen für Beladung oder Partikelkonzentration, mittlere Transportgeschwindigkeiten der einzelnen Phasen, die Entstehung von Dampfblasen etc.



WISSENSTRANSFER IN DIE PRAXIS

4.

Wissenstransfer in die Praxis und zurück – die Celle Drilling Conference

Seit dem Jahr 2011 findet die jährliche Celle Drilling Conference (CDC) im Zentrum der deutschen Erdöl-, Erdgas- und Geothermieindustrie in Celle statt, die von Beginn an maßgeblich von Wissenschaftler:innen der TU Clausthal mitgestaltet wurde. Ihren Anfang nahm diese Fachtagung im seinerzeitigen Niedersächsischen Forschungsverbund „Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik – gebo“, in welchem in den Jahren 2009-2014 die Universitäten Clausthal, Hannover und Göttingen, das LIAG-Institut für Angewandte Geophysik, die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sowie das Serviceunternehmen Baker Hughes neue Konzepte zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Hochleistungsbohrtechnik für Geothermieanwendungen erforscht haben. Eine seinerzeitige Auflage des Fördermittelgebers war die Orga-

nisation einer regelmäßigen Fachtagung, auf welcher die aktuellen Forschungsergebnisse mit einem internationalen Fachpublikum diskutiert werden sollten. Der seinerzeitige Sprecher des Forschungsverbundes, Prof. Kurt M. Reinicke von der TU Clausthal, sowie Prof. Joachim Oppelt, damals vom Industriepartner Baker Hughes, initiierten daraufhin im Herbst 2011 die erste tiefbohrtechnische Fachtagung „Celle Drilling 2011“, die seitdem vom regionalen Branchennetzwerk GeoEnergy e.V. organisiert wird.

War die „Celle Drilling“ zunächst in erster Linie ein Diskussionsforum für die Forschungspartner:innen des gebo-Verbundes, so wurde seitens der beiden Initiatoren rasch erkannt, dass eine signifikante Beteiligung der

Die Organisatoren der Celle Drilling 2016 vom GeoEnergy e.V. und der TU Clausthal (von links: Rainer Krispin, Prof. Dr. Kurt M. Reinicke, Prof. Dr.-Ing. Joachim Oppelt, Thor Növig, Wolfgang Genannt, Joachim Büchner



Industrie die anwendungsbezogenen Aufgabenstellungen des Verbundes spürbar unterstützen könnte. So konnte über die Jahre sowohl der Anteil von Beiträgen aus der Industrie als auch die Zahl der Teilnehmer:innen signifikant gesteigert werden. Letztere lag in den vergangenen Jahren konstant bei ca. 300 Personen aus dem In- und Ausland.

Die Schwerpunkte der Initiativen zur thematischen Gestaltung der CDC lagen bislang bei der Firma Baker Hughes und der TU Clausthal, wobei der DSC aufgrund der räumlichen Nähe hier stets eine besondere Rolle eingenommen hat. Gleichwohl hat das vorwiegend international besetzte und ca. 20-köpfige Programmkomitee aus Akademia und Industrie stets einen Querschnitt von Vorträgen aus der wissenschaftlichen Forschung sowie von Serviceunternehmen angestrebt. Seitens der ausländischen Beiträge hat Norwegen immer eine besondere Rolle gespielt.

Standen bei den ersten Veranstaltungen inhaltlich zunächst die Forschungsthemen des gebo-Verbundes im Fokus, so rückten in den Folgejahren auch praktische Themenstellungen der Industrie stärker in den Blickpunkt. Insbesondere Fragestellungen zur Modellierung und Simulation von Bohrprozessen stellten in den letzten Jahren wesentliche Schwerpunkte der Veranstaltung dar, welche dadurch nunmehr auch dem Drilling Simulator Celle eine ideale, zur eigenen Forschungsprogrammatik passende Plattform zur Diskussion eigener Forschungsergebnisse sowie zur Vorstellung der Forschungsmöglichkeiten am DSC bieten konnte.

Trotz des altersbedingten Ausscheidens von Prof. Joachim Oppelt aus dem offiziellen Dienst der TU Clausthal ist die Hochschule auch zukünftig durch Prof. Philip Jaeger vom Institute of Subsurface Energy Systems (ITE) im Programmkomitee der Celle Drilling vertreten.



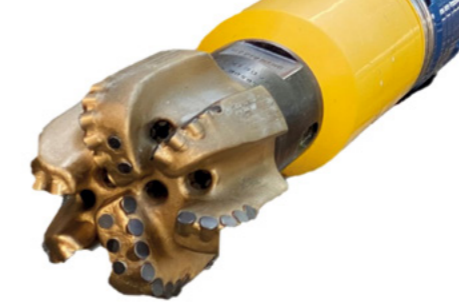
Von der Forschung in die Praxis – von der Praxis in die Forschung

Im Frühjahr 2010 haben die Stadt Celle und dreizehn Celler Bohrtechnikunternehmen den GeoEnergy Celle e.V. gegründet. Der Verein hat sich zum Ziel gesetzt, Technologien, Standards und Infrastrukturen für die effiziente Erschließung und Nutzung der Energieträger Erdöl, Erdgas und Erdwärme zu fördern sowie den Aufbau neuer Anwendungen und Märkte insbesondere im Bereich der regenerativen Energiequellen zu unterstützen. Im Fokus stehen dabei die technologische Entwicklung sowie die sichere und wirtschaftliche Nutzung der Geothermie. Mit den Vereinsaktivitäten soll die Position von Celle als international anerkannter Standort für oberflächennahe Bohr- und Tiefbohrtechnik ausgebaut und im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung fortgeführt werden.

Um den Wissens- und Technologietransfer zwischen Forschung und Praxis weiter zu fördern, haben der GeoEnergy Celle und die im Themenbereich befassten niedersächsischen Universitäten und Forschungseinrichtungen bereits frühzeitig eine Kooperation im Themenfeld „Geothermie“ begründet mit dem Ziel, diese Energieform zu einer bedeutenden und wirtschaftlichen Energiequelle zukünftigen nachhaltigen Energiesystem weiterzuentwickeln. Erklärtes Ziel ist es dabei auch, die langjährig erworbenen Kompetenzen und Erfahrungen im Umgang mit der Tiefbohrtechnik zur Erdöl- und Erdgasgewinnung fokussiert zur Weiterentwicklung der tiefengeothermischen Energiegewinnung insbesondere auf dem Wärmemarkt einzusetzen.



Geothermiefad Celle.
© GeoEnergy e.V.



sorgung in Norddeutschland“ dar. So beteiligt sich der GeoEnergy Celle e.V. hier durch Einbringung von fachlicher Expertise und praktischen Erfahrungswissens in der Planung und Durchführung konkreter Geothermieprojekte, durch Teilnahme an regelmäßigen Projektbesprechungen mit dem Antragsteller sowie aktive Mitwirkung am Wissenstransfer während und nach Abschluss der Projektlaufzeit. In der Funktion als Mittler zwischen seinen Mitgliedsunternehmen und dem DSC wird der Verein auch die Entwicklung möglicher Anschlussprojekte aktiv unterstützen.

Ein wesentliches Element der Zusammenarbeit zwischen dem Unternehmensnetzwerk und Wissenschaftler:innen am Drilling Simulator Celle bzw. der TU Clausthal ist die jährlich stattfindende internationale Fachkonferenz „Celle Drilling“. Die im Zuge des seinerzeitigen niedersächsischen Forschungsverbundes „Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik – gebo“ konzipierte Tagung adressiert seit ihrer erstmaligen Durchführung im Jahr 2011 aktuelle Fragestellungen der Hochleistungsbohrtechnik und bringt hierzu Fachleute aus aller Welt aus Industrie und Forschung in Celle zusammen. Frühere Veranstaltungen folgten dabei Leithemen, die eng an die Forschungsarbeiten des DSC gekoppelt waren und einen entsprechenden fachlichen Diskurs erlaubten.

Eine weitere Form der etablierten Zusammenarbeit stellen projektspezifische Kooperationen wie etwa im zuvor an anderer Stelle in diesem Bereich vorgestellten Forschungsprojekt „GeoTWIN: Tiefengeothermie zur Wärmever-



Messestand GeoEnergy Celle e.V.

Working together to go beyond frontiers





SCHLAGLICHTER

5.



„Dr. Drilling“: Erste Promotion am Drilling Simulator Celle

14.12.2021

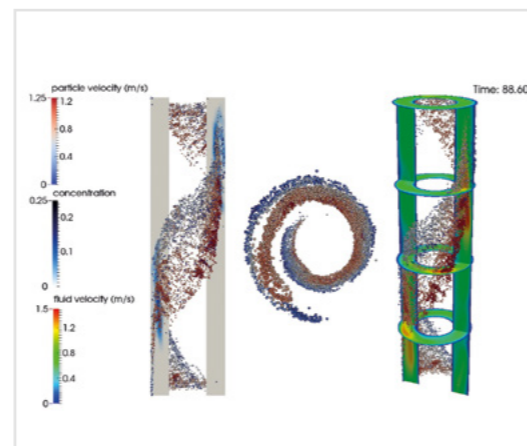
Bohrtechnologie: Dr. Mostafa Abdelhafiz hat als erster Beschäftigter des Drilling Simulators in Celle (DSC) erfolgreich seine Promotion an der TU Clausthal abgeschlossen.



Silberbecher

09/2021

Die erste Besuchergruppe seit Ausbruch der Pandemie: Besucher:innen der „Vereinigung Deutscher Metallergbergbau („Silberbechergruppe““.



Forschungsprojekt zu Geothermiebohrungen gestartet

14.04.2021

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert ein dreijähriges Vorhaben am Institut für Technische Mechanik (ITM) und am Drilling Simulator Celle (DSC) der TU Clausthal mit 300.000 Euro.



Forschungsarbeiten des Drilling Simulators Celle ausgezeichnet

15.01.2021

Im Rahmen einer virtuellen Fachtagung an der Gubkin Universität Moskau wurden laufende Forschungsarbeiten eines Projekts zur Senkung der Kosten von Geothermiebohrungen ausgezeichnet.



Clausthaler Absolvent erhält Erwin-Marx-Preis

18.11.2020

Seit 2015 wird die beste Masterarbeit im Bereich der elektrischen Energietechnik an der TU mit dem Erwin-Marx-Preis ausgezeichnet. Für das Jahr 2019 bekommt die Anerkennung Daniel Piontek, M.Sc.



ANHANG

6.

Publikationen

Beiträge in referierten Fachzeitschriften

Abdelhafiz, Mostafa M.; Hegele, Luiz A.; Oppelt, Joachim F. (2020): Numerical transient and steady state analytical modeling of the wellbore temperature during drilling fluid circulation. In: *Journal of Petroleum Science and Engineering* 186, S. 106775. DOI: 10.1016/j.petrol.2019.106775. DOI: 10.1016/j.petrol.2019.106775

Abdelhafiz, Mostafa M.; Hegele, Luiz A.; Oppelt, Joachim F. (2021): Temperature modeling for wellbore circulation and shut-in with application in vertical geothermal wells. In: *Journal of Petroleum Science and Engineering* 204, S. 108660. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.108660.

Beiträge in Fachzeitschriften

Oppelt, Joachim; Hayn, L.; Höhn, Patrick (2020): Drilling Simulator Celle. Planungswerkzeug für Geothermieprojekte. In: *bbr Leitungsbau, Brunnenbau, Geothermie* 71 (3), S. 46–51.

Odebrett, F.; Höhn, Patrick; Paz Carvajal, C.; Oppelt, Joachim (2021): Comparative Study on Machine Learning Algorithms for ROP Prediction. In: *ERDÖL ERDGAS KOHLE* (9).

Studien- und Abschlussarbeiten

Al Asadi, Dhulfiqar (2020): Prototyp für die Bereitstellung von Echtzeit-Bohrsimulationsdaten. Bachelorarbeit.

Odebrett, Felix (2020): Rate of Penetration Prediction with Machine Learning Methods. Bachelorarbeit.

Osman, Osman (2020): Modellierung der Bohrspülung für die Experimente am Drilling Simulator Celle. Bachelorarbeit.

Polat, Berker (2020): Investigation of deviation mechanisms for micro drilling and stimulation tools. Bachelorarbeit.

Wolter, Mats (2020): Geothermische Nachnutzbarkeit von Tiefbohrungen. Bachelorarbeit.

Al Mawas, Ali (2021): Generating New Empiri-

cal ROP-Models Using Symbolic Regression And Genetic Programming.

Gruber, Jorit (2021): Auslegung einer Förder-schnecke für Cutting-Batches. Bachelorarbeit.

Hollstein, Wolfgang (2021): Conceptual design of a mechanism for inducing and measuring vibrations of a cantilever tube within a flow loop. Masterarbeit.

Vorträge

Freifer, Rodrigue: Realistic Rock Chamber Design for Full Scale Horizontal Drilling Simulation. Unter Mitarbeit von Student Technical Congress 2020. Online.

Höhn, Patrick; Aragall, R.; Oppelt, J.: Improved Solver for coupled fluid-structure interaction and particle simulations. The 15th OpenFOAM Workshop. Online. Arlington, 2020.

Freifer, Rodrigue; Hayn, Lisette; Abdelhafiz, Mostafa: Full-Scale HIL Drilling Test Stand for the investigation of High Frequency Drilling Vibrations. Unter Mitarbeit von Gubkin University SPE Student Chapter. Online. Moskau, 2020.

Höhn, Patrick; Oppelt, Joachim: Building a heterogeneous cluster using git, gitlab, docker and owncloud. 5th German OpenFoam User meeting. Online, 2021.

Höhn, Patrick; Aragall, R.; Oppelt, Joachim: Simulation of Particle Transport in viscoplastic Fluids. The 16th OpenFOAM Workshop. Online. Dublin, 2021.

Odebrett, F.; Höhn, Patrick; Paz Carvajal, C.; Oppelt, Joachim: Comparative Study on Machine Learning Algorithms for ROP Prediction. Unter Mitarbeit von DGMK/ÖGEW Frühjahrstagung. Online, 2021.

Beiträge in Tagungsbänden

Höhn, Patrick; Odebrett, Felix; Paz, Carlos; Oppelt, Joachim (2020): "Case Study ROP Modeling Using Random Forest Regression and

Gradient Boosting in the Hanover Region in Germany." *Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. Volume 11: Petroleum Technology. Virtual, Online. August 3–7, 2020. V011T11A023. ASME. <https://doi.org/10.1115/OMAE2020-18677>

Dissertationen

Abdelhafiz, Mostafa M. (2021): Modelling and simulating the thermal interaction between the wellbore fluids and rock formation during drilling operations, Dissertation an der Technischen Universität Clausthal.

Impressum

Herausgeber

Vorstand des Drilling Simulators Celle (DSC)
Zum Drilling Simulator 1
29221 Celle
Telefon: (0 51 41) 4 87 06-85 00
Telefax: (0 53 23) 72-99 85 00
E-Mail: info-dsc@tu-clausthal.de
Internet: www.dsc.tu-clausthal.de

Redaktion

Dr. Jens-Peter Springmann

Lektorat

wortschmiedin.de, Sandra Köhler

Layout und Satz

Franziska Ottow

Bildnachweis

GeoEnergy Celle e. V.: S. 48, 49; stock.adobe.com: S. 4 (©Panya Studio); S. 8 (©wutzkoh); S. 14, 44 (©Alex from the Rock); S. 50 (©chones); S. 54 (©Suphansa)

Hier nicht erwähnte Fotos entstammen dem Privatarchiv der jeweils abgebildeten Personen oder dem Archiv der TU Clausthal.

Druck

...

Mai 2022

www.tu-clausthal.de