



TU Clausthal

DSC

Drilling Simulator Celle

Jahresbericht 2024/2025 des Drilling Simulators Celle (DSC)



Jahresbericht 2024/2025
des Drilling Simulators Celle (DSC)

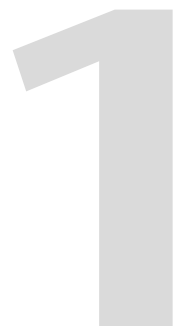
Inhalt

1. Entwicklung des Drilling Simulators Celle (DSC)	4
2. Geschäftsbericht und Infrastruktur	8
3. Strategiebildende Forschungsprojekte in den Jahren 2024/2025.....	14
TEN.efzn: Transformation des Energiesystems Niedersachsen: Forschungsplattform Geoenergiesysteme.....	16
Hybrides Schlagbohrverfahren für tiefe geothermische Anwendungen	20
Modellierung und numerische Berechnung des Mehrphasentransports in der Tiefbohrtechnik	26
GeoTES: Möglichkeiten und Grenzen thermischer Energiespeicherung in tiefen Aquiferen (Georeservoirien) im Rahmen der „Wärmewende 2030“	29
OBF: Optimierung und Feldertüchtigung eines mit Spülung betriebenen Bohrhammers.....	34
Umlaufprüfstand mit variabler Neigung zur Charakterisierung des Bohrkleintransports	38
Geschlossene mitteltiefe Geothermiesysteme für die dezentrale Wärmeversorgung	42
4. Wissenstransfer in die Praxis	47
Den Dingen auf den Grund gehen – Tag der offenen Türen am 17. Mai 2025	48
Schulung im Rahmen der dualen Berufsausbildung	50
GEOthermie4All – Micro Degree für Geothermie als Schlüsselbaustein der Wärmewende.....	52
5. Schlaglichter	57
6. Anhang.....	61





ENTWICKLUNG DES DRILLING SIMULATORS CELLE



Liebe Leser:innen,

Willkommen beim neuen Jahresbericht des Drilling Simulator Celle (DSC). Auf den folgenden Seiten nehmen wir Sie mit hinter die Kulissen unserer Forschung – zu Projekten, Ideen und Menschen, die mit Leidenschaft daran arbeiten, die Energieversorgung von morgen zu gestalten.

Der DSC hat eine spannende Geschichte: 2013 gegründet, um die interdisziplinären Aktivitäten des niedersächsischen Forschungsverbunds Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik (gebo) zu verstetigen, entwickelte er sich rasch zu einer festen Größe in der Energieforschung. Seit 2018 ist der DSC als Forschungszentrum zur Technischen Universität Clausthal organisiert. Heute arbeiten 14 Expertinnen und Experten am Standort oder in Kooperationen mit Partnern an wegweisenden Projekten.

Deutschland befindet sich mitten in der Energiewende – fossile Energieträger treten Schritt für Schritt zurück, erneuerbare Quellen übernehmen. Besonders der Wärmesektor, der mit rund 56 Prozent den größten Anteil am Energiebedarf hat, zeigt die Dimension dieser Transformation. Energiewende bedeutet eben auch Wärmewende.

Genau hier setzt unsere Arbeit an: Während eine sichere, zuverlässige und wirtschaftliche Tiefbohrtechnik weiterhin ein zentrales Thema bleibt, beschäftigen wir uns zunehmend mit Fragestellungen, die über die reine Bohrtechnik hinausgehen, aber diese dennoch stets integrativ berücksichtigt: Ob neue Ansätze für nachhaltige Wärmeversorgung oder innovative Technologien für die Energiegewinnung – unsere Projekte spiegeln die Vielfalt der Herausforderungen wider, die wir gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie angehen.

Die Wärmewende erfordert innovative, regional angepasste Technologien, um den geologischen Untergrund wirtschaftlich, umweltgerecht und nachhaltig zu nutzen. Dazu zählen die grundlastfähige Geothermie – also die Wärmeentnahme aus verschiedenen Tiefen – ebenso wie die Speicherung von Wärme, um saisonale Energieüberschüsse aus erneuerbaren Quellen auszugleichen. Auch die Speicherung von CO₂ im Rahmen der Dekarbonisierung oder von Wasserstoff gewinnt zunehmend an Bedeutung. Für Niedersachsen ist insbesondere die Nachnutzung zahlreicher Bohrungen aus

der Erdöl- und Erdgasförderung für diese neuen Anwendungsfelder interessant.

Am Drilling Simulator Celle erforschen wir, wie sich die komplexen Prozesse rund um Tiefbohrungen besser verstehen und optimieren lassen – von den Vorgängen beim Bohren selbst bis zu den Wechselwirkungen im geologischen Umfeld. Unser Ziel: Risiken beherrschbar machen und Chancen für die Energiewende nutzen.

Dafür kombinieren wir mathematische Modelle, Simulationen und realitätsnahe Experimente im Technikum des DSC. Gemeinsam mit Partnern aus Geologie, Verfahrenstechnik und Energiesystemtechnik entsteht so ein interdisziplinärer Forschungsansatz, der den systemischen Charakter der Wärmewende widerspiegelt. Dies umfasst einerseits die Entwicklung von neuen Bohrverfahren für Hartgestein, die beispielsweise in einem grundlagenorientierten Projekt gemeinsam mit Partnern in Frankreich durchgeführt wurden. In einem weiteren Projekt, finanziert durch das BMWK, sind nun die Feldertüchtigung und die Überführung in ein höheres Technology Readiness Level (TRL) in Arbeit – ein entscheidender Schritt, um die Verfahren aus der Forschung in die Praxis zu bringen.

Ein weiterer, neuer Schwerpunkt im Bereich Bohrtechnik ist die experimentelle Untersuchung und Optimierung der Bohrlochreinigung (oder Hole Cleaning), ein Thema, das nach wie vor zu vielen Problemen und Kosten im Betrieb führt. Diese Arbeiten basieren auf langjährigen Vorarbeiten am Institut für Technische Mechanik der TU Clausthal im Bereich der Modellierung von Mehrphasenströmungen und ergänzen diese in idealer Weise, in dem Daten zur Modellvalidierung und zur Aggregation zur Verfügung gestellt werden. Eine ausführliche Beschreibung der Anlage am DSC, in der modernste Messverfahren der Mehrphasenströmungsmechanik eingesetzt werden, findet sich in diesem Bericht.

Neben Fragestellungen aus dem Bereich Bohrtechnik rücken am DSC verstärkt übergeordnete Themen aus dem Bereich Geothermie und Energiewende in den Vordergrund.

In diesem Zusammenhang ist es besonders erfreulich, dass der DSC Teil des unlängst

gestarteten niedersächsischen Forschungsverbundes zur Transformation des Energiesystems Niedersachsen (TEN.efzn) ist. Durch diesen Verbund wird die Energieforschung in Niedersachsen und am DSC verstärkt und sichtbarer, indem Lösungen für die technologischen und gesellschaftlichen Herausforderungen der Energiewende in Niedersachsen als zukunftsfähigem Standort für Energie, Bildung und Innovation erarbeitet werden. Die Mitarbeitenden am DSC unterstützen das Programm mit ihrer Expertise in mehreren Teilprojekten zur energetischen Nutzung des geologischen Untergrunds.

Inzwischen erfolgreich abgeschlossen wurde ein Verbundprojekt, das zusammen mit Partnern an der TU Clausthal, der Universität Göttingen und der Ostfalia Hochschule durchgeführt wurde. Wie lässt sich Wärme aus dem Untergrund effizient speichern und nutzen? Genau dieser Frage widmete sich das Projekt „GeoTES – Möglichkeiten und Grenzen thermischer Energiespeicherung in tiefen Aquifereen“. Hier wurde ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt, der über die reine Bohrtechnik hinausgeht. Im Mittelpunkt stand die Entwicklung eines mathematischen Modells für ein optimiertes Wärmesystem, das sowohl ober- als auch unterirdische Prozesse berücksichtigt und nahtlos in bestehende Wärme- und Stromnetze eingebunden werden kann. Der Beitrag des Drilling Simulator Celle (DSC): die modellbasierte Untersuchung bohrlochnaher Prozesse. So wurde etwa analysiert, wie die Komplettierung einer Bohrung den Betrieb eines geothermalen Wärmetauschers beeinflusst. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bis 2025, zeigt GeoTES, wie Forschung an der Schnittstelle von Geologie, Technik und Energiesystemen die Wärmewende voranbringen kann. Weitere Infos hierzu auf den nachfolgenden Seiten und unter www.geotes.de.

Den Wissenstransfer aus der Forschung in der Praxis unterstützen wir durch neu entwickelte Formate in den Bereichen der dualen Berufsausbildung sowie der beruflichen Weiterbildung. So ist der DSC seit dem Jahr 2025 Partner des nationalen Ausbildungsverbunds Bergbautechnologie für Tiefbohrtechnik. Ziel ist es dabei, die im Berufsschulunterricht vermittelten theoretischen Inhalte durch praxisorientierte Übungen zu typischen bohrtechnischen Problemstellungen zu ergänzen. Das neuentwickelte und

ebenfalls im Jahr 2025 erstmals angebotene Weiterbildungsprogramm „GEOthermie4All“ zielt auf die Weiterqualifikation von Fachkräften aus Branchen, die bislang nur wenig Berührungspunkte zu geothermalen Fragestellungen hatten, aber in diesem Themenfeld aktiv sein werden.

Ergänzend zu den vorgenannten Aktivitäten in der wissenschaftlichen Forschung und dem Wissenstransfer standen wir auch in den vergangenen zwei Jahren der Tiefbohrindustrie im Bereich Forschung und Entwicklung als kompetenter Servicepartner zur Seite.

Über die vorgenannten und weiteren Aktivitäten des Drilling Simulator Celle berichten wir ausführlicher in dem nun vorliegenden Jahresbericht.

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





GESCHÄFTSBERICHT UND INFRASTRUKTUR

2.

Geschäftsbericht 2024/2025

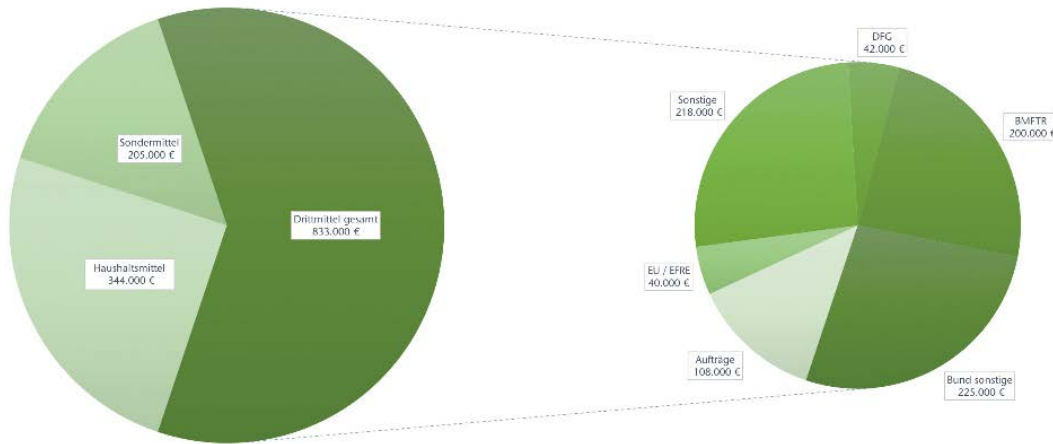
In den Jahren 2024 und 2025 konnte der strategische Ansatz, die Forschungsaktivitäten des DSC sowohl im grundlagen- als auch im anwendungs- und transferorientierten Bereich auszubauen, erfolgreich weiterverfolgt werden. Dieses spiegelte sich in einer weiterhin diversen Herkunft der Drittmittel, aber auch in Steigerungen der Höhe der eingeworbenen Mittel wider. Aus strategischer Sicht besonders hervorzuheben sind der Start eines deutsch-französischen Kooperationsprojekts zu Grundlagen der Hartgesteinszerstörung sowie die vom DSC koordinierte Forschungsplattform Geoenergiesystem im Rahmen des Niedersächsischen Verbundprojekts „TEN.efzn: Transformation des Energiesystems Niedersachsen“. Die Forschungsinfrastruktur wurde mit dem Ausbau eines variablen Versuchsstands zur experimentellen Untersuchung des Bohrkleintransportes erweitert sowie Vorarbeiten für die Erstellung eines vertikalen Bohrversuchsstands im Realmaßstab getroffen, der zum Sommer 2026 fertig-

gestellt sein soll. Darüber hinaus wurden Kooperationen zu Industriepartnern sowie dem Branchennetzwerk GeoEnergy Celle e.V. vertieft und ausgebaut. Insbesondere im Startup-Bereich wird der DSC zunehmend national und international als Innovationspartner wahrgenommen, so dass auch hier zukünftig mit weiterem Projektpotenzial gerechnet werden kann.

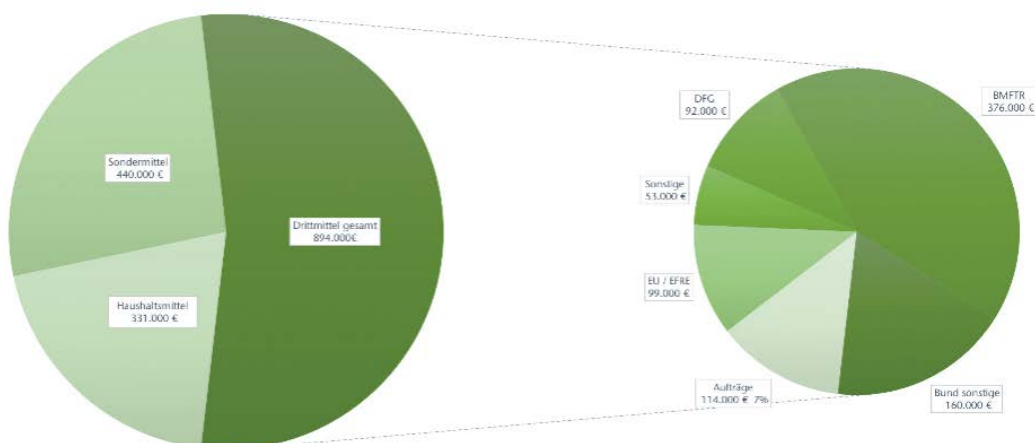
Der DSC verfügte im Berichtszeitraum über einen jährlichen Etat aus Haushaltsmitteln von durchschnittlich knapp 340.000 € für Personal- und Sachkosten. Dieser konnte im Berichtszeitraum durch eingeworbene budgetwirksame Einnahmen im jeweiligen Jahr um den Faktor 3 bis 4 erhöht werden, so dass die Einrichtung im Jahr 2025 über einen Gesamtetat von 1,66 Mio. € verfügte. Die positive Einnahmentwicklung zeigte sich nahezu bei allen Drittmittelgebern, was den Erfolg des zugleich wissenschaftlich- und transferorientierten Ansatzes des DSC deutlich unterstreicht.



Zusammensetzung des Gesamtbudgets 2024



Zusammensetzung des Gesamtbudgets 2025



Die beiden Abbildungen zeigen die Zusammensetzung der Jahresetats in den Jahren 2024 und 2025 auf.

Insgesamt waren im Jahr 2025 durchschnittlich 15 Personen (in Vollzeitäquivalenten) am DSC beschäftigt, davon 11 im wissenschaftlichen Dienst und 4 im Technischen und Verwaltungsdienst.

Vorstand des DSC



Gunther Brenner,
Vorstandsvorsitzender



Joachim Oppelt



Martin Sauter



Leonhard Ganzer

DSC-Team 2024/2025

Service



Jens-Peter
Springmann,
Administrativer
Geschäftsführer



Erik Feldmann,
Arbeitsgruppenleiter
Tiefbohrtechnik

Forschung



Mohammed
Al-Eryani



Harits Jundullah
Alkatiri



Ke
Li



Christian
Lüddecke



Katrin
Skinder



Shahab
Stein



Lydia Rosandic,
Verwaltung



Yannis Beiser,
Technik



Ralf Gustmann,
Technik



Ingmar Holze,
Technik



Michel
Bannenberg



David-Jonas
Holinka



Lilav
Koro



Jörg
Lehr



Mohamad
Moghadasi



Shahram
Mohammadi



Ralph
Peitz



Khizar
Shahid



Manfred
Stövesand



Qiaoleiyue
Wang



Devanand
Yadav





STRATEGIEBILDENDE FORSCHUNGSPROJEKTE IN DEN JAHREN 2024/2025

3

TEN.efzn: Transformation des Energiesystems Niedersachsen: Forschungsplattform Geoenergiesysteme

Zusammenfassung

TEN.efzn ist ein Programm zur Förderung der Energieforschung in Niedersachsen, das die Region auf ihrem Weg zu einem klimaneutralen Energiesystem unterstützt. Die Initiative bündelt das Fachwissen von Universitäten, Forschungsinstituten und der Industrie, um wichtige wissenschaftliche und technische Herausforderungen in verschiedenen Energiebereichen anzugehen, darunter Wind, Wasserstoff, Digitalisierung, Wärme, Geoenergiesysteme einschließlich der sozialen Dynamik im Kontext der Energiewende.

Der DSC ist Teil der Plattform „**Geoenergiesysteme**“, in der untersucht wird, wie unterirdische geologische Speicher für die nachhaltige Energiespeicherung genutzt werden können. Dieser Bereich nutzt die günstigen geologischen Bedingungen in Niedersachsen, um Gase wie Erdgas und Wasserstoff oder Wärme sicher und effizient zu speichern oder zu gewinnen. Unsere Arbeit im Bereich Geoenergiesysteme konzentriert sich auf zwei Hauptinnovationsbereiche: **Unterirdische Gasspeicherung und -management sowie Optimierung**. Ein wichtiger Teil dieser Arbeit ist die Verbesserung der Sicherheit und Effizienz von Bohrungen und Bohrlochkonstruktionen. Wir untersuchen, wie Bohrlöcher während der Speicherung und Förderung mit unterirdischen Reservoirs interagieren, entwickeln Strategien zur Aufrechterhaltung der Bohrlochintegrität und nutzen fortschrittliche Modelle und Simulationen, um Bohrvorgänge zu planen und zu optimieren und gleichzeitig Risiken zu minimieren.

Die Motivation für diese Arbeit ist sowohl wissenschaftlicher als auch gesellschaftlicher Natur. Wissenschaftlich gesehen trägt sie dazu bei, das Wissen über unterirdische Reservoirs zu verbessern und sicherere, effizientere Methoden für deren Nutzung zu entwickeln. Aus gesellschaftlicher Sicht unterstützt sie die regionale und nationale Energiewende, indem sie eine sichere, nachhaltige und optimierte Nutzung der unterirdischen Energiespeicherung ermöglicht.

Methoden und Ansatz

Die Aktivitäten am DSC konzentrieren sich auf die Sicherstellung der Integrität von Bohrlochkomplettierungssystemen (TP I.3), die Aktualisierung und Kopplung des Shared Earth Models mit Bohrsimulatoren (TP I.4), die Quantifizierung von Unsicherheiten in den Eigenschaften des Untergrunds (TP III.2) und die Entwicklung risikominimierter Bohrstrategien unter Verwendung integrierter Simulationen (TP III.5).

1. Integrität der Bohrlochkomplettierung (TP I.3)

In diesem Teilprojekt werden numerische Analysen unter Verwendung von Finite-Elemente Methoden (FEM) eingesetzt, um die mechanische Stabilität des Zements hinter der Verrohrung unter zyklischen Belastungen und realistischen Betriebsbedingungen zu bewerten. Die Simulationen berücksichtigen Effekte wie die Bildung von Mikro-Anulli, permanente plastische Verformungen und Rissbildung, die durch wiederholte Belastungen auftreten können. Besonderes Augenmerk wird auf Szenarien gelegt, in denen eine exzentrische Verrohrung mit anisotropen In-situ-Spannungen kombiniert wird, was die lokalen mechanischen Risiken erheblich erhöhen kann.

Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 1 eine schematische Darstellung und numerische Analyse der Auswirkungen zyklischer Belastungen auf die Integrität des Bohrlochzements während der Wasserstoffspeicherung. Die linken Felder zeigen (oben) eine konzeptionelle Skizze der zyklischen Belastung aufgrund von Druckschwankungen, (Mitte) die daraus resultierende FEM-vorhergesagte Dehnungsreaktion in der Zementummantelung und (unten) einen Querschnitt der FEM-Spannungsverteilung. Auf der rechten Seite ist die Bohrlochstruktur dargestellt, wobei Bereiche hervorgehoben sind, in denen zyklische Spannungen zu einer Ablösung an der Grenzfläche und zu Mikrorissen im Zement führen können, was das Risiko einer Gasmigration und eines Verlusts der Zonenisolierung erhöht.

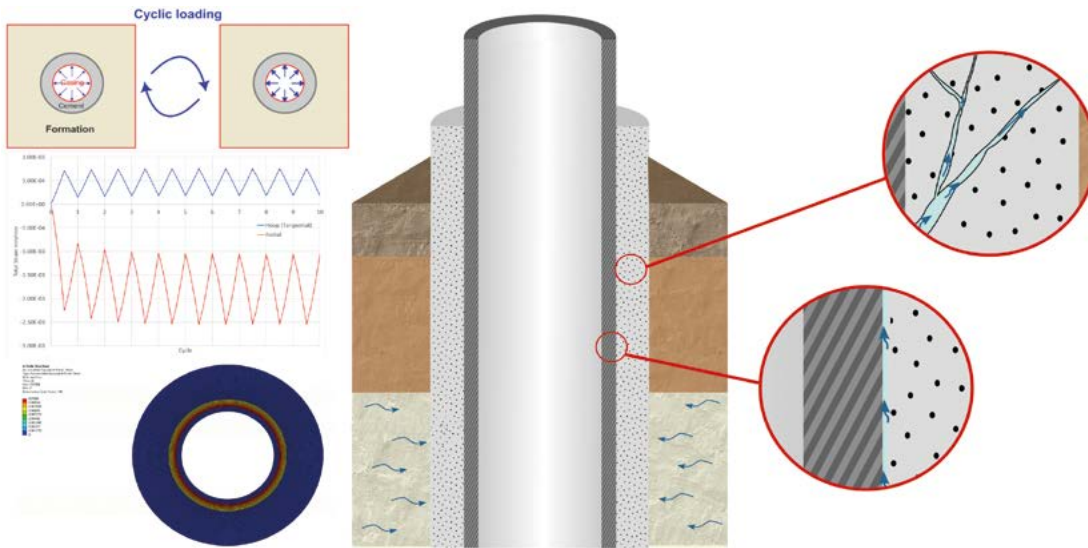


Abbildung 1: Auswirkungen zyklischer Belastungen auf die Zementintegrität hinter der Verrohrung für die Wasserstoffspeicherung: Die FEM-Analyse (links) zeigt die Spannungsentwicklung und -verteilung, während die schematische Darstellung (rechts) die Risiken einer beeinträchtigten Zonenisolierung aufgrund von Mikrorissen und Ablösungen hervorhebt.

Eine experimentelle Validierung der FEM-Ergebnisse ist geplant, um die Vorhersagegenauigkeit der Modelle zu bestätigen. Diese kombinierten numerischen und experimentellen Untersuchungen ermöglichen ein detailliertes und fundiertes Verständnis der kritischen Faktoren, die die Zonenisolierung beeinflussen, und bilden die Grundlage für risikobewusste Konstruktions- und Betriebsstrategien für Gasspeicherbohrlöcher.

2. Gemeinsames Erdmodell (TP I.4)

In diesem Teilprojekt wird das bestehende 3D-Geologiemodell des Standorts Burgwedel aktualisiert und um ein tieferes Reservoir erweitert, das zuvor für die Erdgasförderung genutzt wurde und nun für die Wasserstoffspeicherung evaluiert wird. Seismische Vermessungsdaten und alte Bohrlochmessungen werden analysiert und in das Modell integriert, um eine umfassende Darstellung des Untergrunds zu gewährleisten. Im Rahmen dieses Arbeitsablaufs werden die Bohrlochmessdaten systematisch interpretiert, um wichtige Untergrundparameter wie vertikale Spannung, minimale horizontale Spannung und Porendruck (hydrostatischer Druck) zu schätzen. Diese in Abbildung 2 dargestellten Zusammenhänge sind wichtig für die Definition des geomechanischen Rahmens, der die Erstellung und Kalibrierung des Shared Earth Models unterstützt.

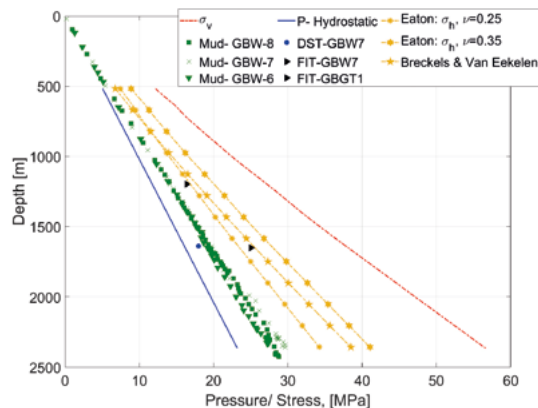


Abbildung 2: Tiefenprofile des Porendrucks und der In-situ-Spannungen am Standort Burgwedel, abgeleitet aus der Bohrlochmessungsanalyse und verwendet zur Information des Shared Earth Models.

Ein wesentliches Merkmal dieser Arbeit ist die Kopplung des Shared Earth Models mit dem Bohrsimulator DrillSim600 über dessen API. Die Strukturkonturen der geologischen Schichten werden definiert und vernetzt, und die entsprechenden physikalischen Eigenschaften jeder Schicht – wie Dichte, Druck und Temperatur – werden kartiert und in den Simulator eingespeist. Diese Integration (siehe Abbildung 3) ermöglicht eine realistische Simulation von Bohrvorgängen unter Berücksichtigung des spezifischen Verhaltens jeder Formationsschicht unter Betriebsbedingungen.

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

Transformation des Energiesystems
Niedersachsen: Forschungsplattform
Geoenergiesysteme

Fördermittelgeber:

Gefördert mit Mitteln aus zukunft.niedersachsen, dem gemeinsamen Wissenschaftsförderprogramm des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und der VolkswagenStiftung.

Förderkennzeichen: ZN4466

Projektlaufzeit: 01.10.2024 – 30.09.2029

Verbundsprecher:in:

Prof. Dr. Leonard Ganzer
Prof. Dr. Insa Neuweiler, Leibniz Universität Hannover

Projektkoordinator:

Dr.-Ing. Birger Hagemann

Teilprojektleiter:innen:

Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner
Prof. Dr.-Ing. Philip Jaeger
Prof. Dr. Michael Beer, Leibniz Universität Hannover
Prof. Dr. Monika Sester, Leibniz Universität Hannover
Prof. Dr. Martin Sauter, LIAG-Institut für Angewandte Geophysik

Projektbearbeiter TU Clausthal:

Dr.-Ing Ke Li
Christian Lüddecke, M.Sc.
Sharam Mohammadi, M.Sc.
Dipl.-Ing. Ralph Peitz
Manfred Stövesand



Leonard Ganzer



Birger Hagemann

Diese Kopplung dient als wichtiger vorbereitender Schritt für nachfolgende Optimierungsaufgaben in den Teilprojekten III.2 und III.5. Durch die physikalisch und geometrisch genaue Darstellung des Reservoirs ermöglicht das integrierte Modell die Simulation von Bohrszenarien, die Bewertung von Betriebsrisiken und die Beurteilung der Wechselwirkungen zwischen Bohrparametern und Untergrundeigenschaften. Diese Erkenntnisse fließen direkt in die Quantifizierung von Unsicherheiten, Strategien zum Reservoirmanagement und risikominimierte Bohrpläne ein.

3. Quantifizierung von Unsicherheiten (TP III.2)

Dieses Teilprojekt konzentriert sich auf die Identifizierung und Quantifizierung von Unsicherheiten bei der Planung und Optimierung der unterirdischen Gasspeicherung unter Verwendung des in TP I.4 entwickelten Shared Earth Models. Zu den wichtigsten Unsicherheiten zählen Schwankungen der geomechanischen Eigenschaften, der Formationsdrücke, der Porositäts- und Permeabilitätsverteilungen sowie der anisotropen In-situ-Spannungen. Diese Faktoren sind entscheidend für die Bewertung von Risiken wie Leckagen, verminderter Speichereffizienz oder mechanischem Versagen des Reservoirs und der Bohrlochsysteme.

TP III.2 baut auf den digitalen Werkzeugen und Algorithmen auf, die in TP III.1, „**Robuste Algorithmen für die Risikobewertung für die unterirdische Gasspeicherung**“, entwickelt wurden und eine umfassende Plattform für die Charakterisierung und Ausbreitung von Unsicherheiten bieten. Dazu gehören hybride Unsicherheiten, die stochastische Variabilität und epistemische Lücken kombinieren und für die betrieblichen und geologischen Komplexitäten der unterirdischen Gasspeicherung besonders relevant sind.

Es werden numerische Simulationen durchgeführt, um diese Unsicherheiten durch den Bohrprozess zu propagieren und so eine probabilistische Bewertung der Bohrleistung und der Risikoszenarien zu ermöglichen. Die Ergebnisse unterstützen eine optimierte Entscheidungsfindung, tragen zur Reduzierung von Betriebsrisiken bei und liefern Anhaltspunkte für Bohr- und Fertigstellungsstrategien in nachfolgenden Teilprojekten.

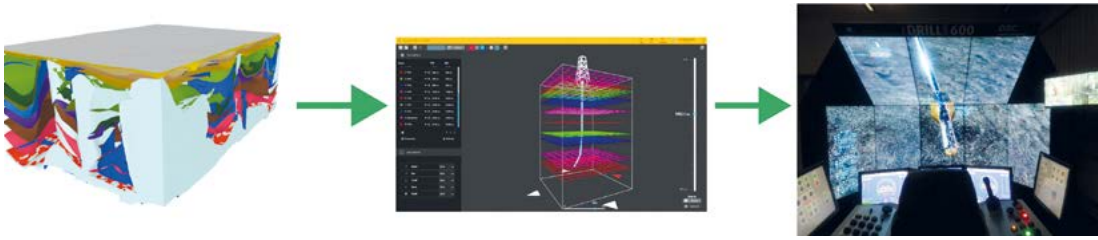


Abbildung 3: Workflow zur Integration des Shared Earth Models in den DrillSim600-Simulator: Erstellung des geologischen Modells (links), Übertragung und Vernetzung der Formationsdaten (Mitte) und Durchführung realistischer Bohrsimulationen (rechts).

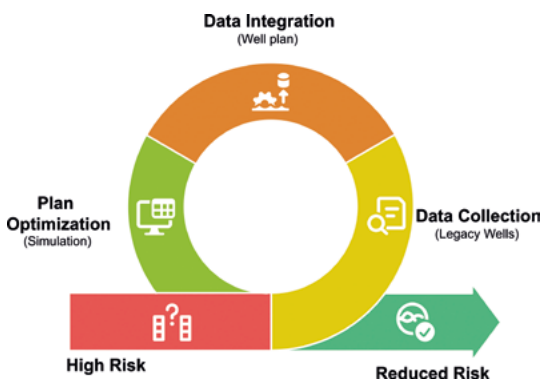


Abbildung 4: Schematische Darstellung des iterativen digitalen Bohr-Workflows für die Risikobewertung und -optimierung, von der Datenintegration und Szenarioanalyse bis zur Ergebnisbewertung und Entscheidungsfindung.

4. Integrierte Bohrplanung (TP III.5)

Die Exploration und Erschließung von unterirdischen Speicherreservoirs ist mit erheblichen wirtschaftlichen und ökologischen Risiken verbunden, von denen viele in direktem Zusammenhang mit dem Bohrprozess stehen. Zu den wichtigsten Risiken zählen Blowouts, unbeabsichtigte Gas- oder Flüssigkeitslecks und ineffizienter Transport von Bohrklein, die die Integrität der Bohrung, die Betriebssicherheit und den Gesamterfolg des Projekts gefährden können. Das Verständnis und die Minderung dieser Risiken sind ein zentrales Ziel dieses Teilprojekts.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wird mit Hilfe des Simulators DrillSim600 ein automatisierter Bohransatz entwickelt. Dieser Ansatz ermöglicht eine systematische Bewertung der in TP I.4 und TP III.2 identifizierten risikoreichen Formationen, bei denen die Unsicherheiten hinsichtlich der geomechanischen und geophysikalischen Eigenschaften am größten sind. Durch die Simulation von Bohrvorgängen unter einer Vielzahl von Formationsmerkma-

len, Betriebsparametern und Strategien – einschließlich Szenarioanalysen mit Monte-Carlo Methoden – ermittelt das Verfahren optimale Bohrstrategien, die das Risiko minimieren und gleichzeitig die Effizienz und Sicherheit maximieren (Abbildung 4).

Der Arbeitsablauf integriert Daten aus dem Shared Earth Model und den Unsicherheitsquantifizierungen und bietet einen prädiktiven Rahmen für die Bohrlochplanung. Problematische Formationen mit hoher Unsicherheit werden unter mehreren Szenarien vorab bewertet, darunter Variationen in Bezug auf Druck, Temperatur, mechanische Festigkeit und anisotrope Spannungsbedingungen. Die Simulationsergebnisse fließen in die Auswahl der Bohrparameter, das Design der Verrohrung und die Schlammprogramme ein und gewährleisten so fundierte operative Entscheidungen, bevor mit den physischen Bohrarbeiten begonnen wird.



Abbildung 5: Die Mitglieder der Forschungsplattform Geoenergiesysteme nach dem Kickoff-Meeting.

Hybrides Schlagbohrverfahren für tiefe geothermische Anwendungen

Kurzfassung

Die Basis für das länderübergreifende Forschungsvorhaben bildet eine gemeinsame Ausschreibung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der französischen Agence Nationale de la Recherche (ANR): Am Drilling Simulator Celle (DSC) der TU Clausthal und dem Departement de Géosciences der französischen Universität Mines Paris – PSL ist ein Projekt zur Kombination verschiedener Technologien zur Zerstörung von Hartgestein gestartet. Im Vorhaben „HyPerDrill – Hybrid Percussion Drilling for Deep Geothermal Applications“ sollen Schlag- und Scherbohrtechniken in einem Bohrwerkzeug kombiniert werden. Ziel ist es, die spezifischen Vorteile beider Technologien hinsichtlich einer höheren Langlebigkeit der Werkzeuge, eines größeren Bohrfortschrittes und einem verbesserten Austrag des Bohrkleins aus dem Bohrloch nutzen zu können. Die Ergebnisse werden der Tiefengeothermie bzw. der Energiewende zugutekommen.

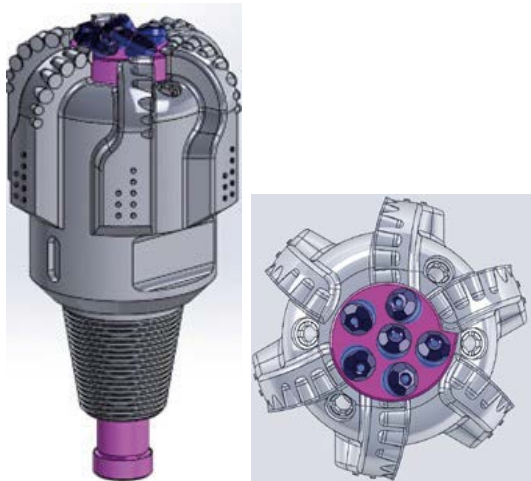


Abbildung 1: 9. 1/2"-Bohrmeißel 3D Assembly Modell HyPerDrill V1.

Abstract

The basis for the transnational research project is a joint call for proposals by the German Research Foundation (DFG) and the French Agence Nationale de la Recherche (ANR): A project combining

various technologies for the destruction of hard rock has been launched at the Drilling Simulator Celle (DSC) at Clausthal University of Technology and the Department of Geosciences at the French University Mines Paris – PSL. The “HyPerDrill – Hybrid Percussion Drilling for Deep Geothermal Applications” project aims to combine percussion and shear drilling techniques in a single drilling tool. The goal is to leverage the specific advantages of both technologies in terms of longer tool life, faster drilling progress, and improved removal of drill cuttings from the borehole. The results will benefit deep geothermal energy and the energy transition.

Einleitung und Projekthintergrund

„Die Erforschung des untertägigen Raumes und der Hochleistungsbohrtechnik sind Kernkompetenzen der TU Clausthal. Es freut mich sehr, dass wir auf diesem Gebiet mit der Universität Mines Paris zusammenarbeiten, deren Wurzeln genau wie bei der TU Clausthal bis zum Ende des 18. Jahrhunderts zurückreichen. Gemeinsam wollen wir die erneuerbaren Energien, in diesem Fall die Geothermie, weiter voranbringen“, so Dr.-Ing. Sylvia Schattauer, Präsidentin der Technischen Universität Clausthal.

Mit dem neuen Forschungsansatz, der sowohl die Modellierung und Simulation des Bohrprozesses als auch die Entwicklung und experimentelle Untersuchung eines Prototyps umfasst, soll letztlich die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit von Tiefbohrungen erhöht werden. Ferner sollen in dem Projekt auch die technologischen Grundlagen für entsprechende Tiefbohrungen in geologisch anspruchsvolleren Formationen, z. B. Granite in Frankreich, Vulkanite und Rotliegend-Sandsteine des Norddeutschen Beckens, erarbeitet werden.

Die zentrale Absicht des im unteren Segment des Technical Readiness Levels (TRL, 2-3) angesiedelten Verbundprojektes ist die Untersuchung der Gesteins-Bohrmeißel-Interaktion auf der Basis innovativer Konzepte, welche die Voraussetzung bilden sollen für die angestrebte zukünftige Entwicklung eines spülungsgetriebenen Bohrsystems.

Daher sind spezielle Bohrwerkzeuge und -verfahren, die auf die besonderen Herausforderungen von Tiefengeothermiebohrungen zugeschnitten sind, von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus trägt ein umfassendes Verständnis der Gesteinsmerkmale unter Berücksichtigung des Einflusses wechselnder externer Faktoren wie Temperatur, Umgebungsdruck und hydrostatischer Druck mit der Tiefe, zur Optimierung des Werkzeugdesigns und der Leistung in diesen selten gebohrten Formationen bei.

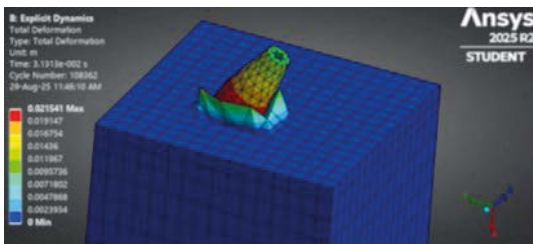


Abbildung 2: Rock Bit Cutter Interaction ANSYS Simulation HyPerDrill V1.

Daher liegt ein aktueller Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung auf der Weiterentwicklung von bohrspülungsgetriebenen Bohrhämmermechanismen, die hochfrequente, hochenergetische Schläge erzeugen. Der einzelne Schlag an der Schnittstelle zwischen Bohrmeißel und Gestein, der durch den Hammermechanismus erzeugt wird, löst einen vorteilhaften mechanischen Gesteinszerstörungsprozess aus, der für die Zerstörung der harten, kristallinen Gesteinseigenschaften günstig ist und als Perkussion bezeichnet wird [2].

Dennoch gibt es zwei zentrale Aspekte, die einer weiteren Untersuchung bedürfen:

1) Obwohl der Gesteinszerkleinerungsprozess durch Perkussion im Zusammenhang mit Bergbauanwendungen, insbesondere bei atmosphärischem Druck, umfassend untersucht wurde, wurde die Perkussion unter intensiver Einschließung in Verbindung mit Bohrtiefe trotz des erheblichen Einflusses des Einschließungsdrucks auf das Gesteinsverhalten nur unzureichend untersucht.

2) Aufgrund der Drehbewegung des Bohrstangs wird eine Scherkraft auf die Einsätze ausgeübt, wodurch die Perkussions- und Scherkräfte im tatsächlichen Schneidprozess miteinander verschmelzen.

Die im Rahmen dieses Projekts vorgeschlagene Verfeinerung zielt darauf ab, den Einfluss externer Faktoren auf die Formationsmerkmale und

Gesteinszerstörungsmechanismen zu untersuchen. Sie besteht darin, die Arbeit der verschiedenen Schneidelemente eines Bohrmeißels, unabhängig vom Schneidmechanismus, effektiv zu modellieren, um dessen Bohrleistung vorherzusagen. Der Schwerpunkt liegt auf der Synergie der Vorteile von Schlag- und Scherbohrtechniken mit dem übergeordneten Ziel, die Lebensdauer der Werkzeuge zu verlängern, verbesserte Bohrgeschwindigkeiten in Formationen unterschiedlicher Härte zu erreichen und Bohrklein (Cutting) effizient aus dem Bohrloch zu entfernen.

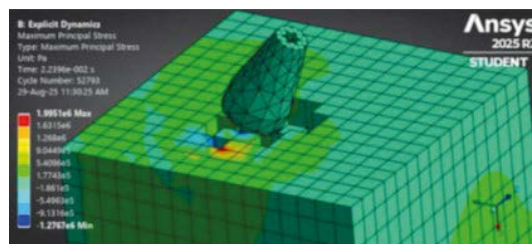


Abbildung 3: Rock Bit Cutter Interaction ANSYS Simulation HyPerDrill V1.

Projektziele und Entwicklungsschwerpunkte

Die gezielte Kombination von Schlag- und Schneidmechanismen zur Gesteinszerstörung zielt darauf ab, Synergien hinsichtlich der Optimierung folgender Aspekte zu erzielen:

- effektiver Kontakt zwischen dem Einsatz und der Bohrlochsohlenoberfläche
- Energieübertragungseffizienz eines einzelnen Schlags
- Energieübertragungseffizienz einer hybriden Bohrgarnitur
- Entfernung von vorgeschädigtem Gestein
- Energieniveau im Verhältnis zur Scherkraft, um die Integrität des Schneidwerkzeugs zu erhalten

Das Ziel der Kombination von Schlag- und Schneidmechanismen zur Gesteinszerstörung ist die Entwicklung eines Hybridbohrmeißels zur Verbesserung der wichtigsten Leistungsindikatoren beim Bohren tiefer geothermischer Bohrlöcher in harten, kristallinen Formationen:

- Erhöhung der Bohrgeschwindigkeit
- Verlängerung der Lebensdauer des Bohrmeißels im Bohrloch
- Reduzierung der Anzahl der Ein- und Ausfahrten aus dem Bohrloch
- Bohren aufeinanderfolgender Formationen mit unterschiedlichen Härtegraden

- Reduzierung des Energieverbrauchs beim Bohren

Teilprojekte:

1. Untersuchung des mechanischen Verhaltens von Gestein (WP-Leiter: TU Clausthal)
2. Dreidimensionale numerische Gesteinsmodelle (WP-Leiter: Mines Paris)
3. Simulation des perkussiv-scherenden Schneidmechanismus (WP-Leiter: TU Clausthal)
4. Ableitung und Validierung experimenteller Daten (WP-Leiter: Mines Paris)
5. Numerisches Modell eines Bohrmeißels in Originalgröße (WP-Leiter: Mines Paris)
6. Experimentelle Validierung eines Bohrmeißels in Originalgröße (WP-Leiter: TU Clausthal)

wurde dem Team in Paris für weitergehende Untersuchungen zur Verfügung gestellt, um Daten zur Verifizierung der Simulationen in den bevorstehenden Versuchen zu generieren. Es wurden die Planungen für die Entwicklung weiterer Modellierungen und Simulationen für die innovativen Konzepte verfeinert und abgestimmt.

Das Kooperationsprojekt wurde auf der 1st GeoLaB Scientific Conference Potsdam am 11. April 2025 und auf der Celle Drilling im September 2025 vorgestellt. Vertreter aus der Industrie, Wissenschaftler:innen und Expert:innen der Geothermie haben die Vorträge mit vielen interessanten Fragen bereichert.

Ein 9.½" (241,3 mm)-Bohrmeißel-Modell (Abb. 1) wurde entwickelt und erste Simulationen mit zentralen Elementen der Konstruktion im Rahmen einer Masterarbeit durchgeführt (Abb 2, Abb. 3).

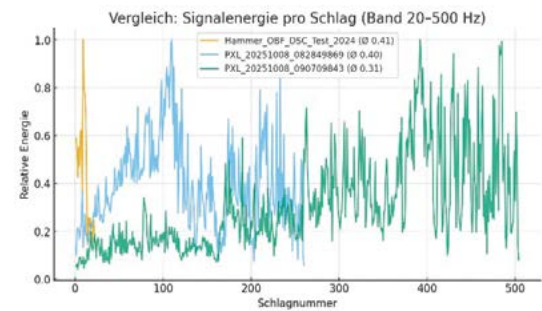


Abbildung 4: Benchmark 8" (203 mm)-Bohrhammertest Oktober 2025.

Erzielte Ergebnisse zum Berichtszeitraum

Seit Projektbeginn am 01.02.2025 wurden insbesondere die Testkapazitäten am Drilling Simulator in Celle für die Untersuchung von Bohrmeißel-Gesteinsinteraktionen in einer harten, kristallinen Formation genutzt (Abb. 4, Abb. 5).

In Zusammenarbeit mit dem Team von Mines Paris wurden die Ergebnisse der Tests mit ersten Modellierungs- und Simulationsergebnissen verglichen. Es zeigten sich signifikante Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften der untersuchten Formationen bezüglich Festigkeit und Verformbarkeit unter hohem Druck. Eine Gesteinsprobe aus dem Bohrversuch am DSC

Zukünftige Forschungsarbeiten

Schwerpunkte der zukünftigen Forschungsarbeit im Rahmen des Projektes sind die Modellierungen und Simulationen auf der Basis der neuen Bohrmeißel-Konzepte und bisherigen Erkenntnisse aus den Versuchen am Drilling Simulator in Celle.

Der Fokus liegt hier der Durchführung weiterer Versuche zur Unterstützung der Simulationen durch Analyse der geschädigten intergranularen Bindungen auf der Grundlage von Probenentnahmen mit anschließender Analyse der Oberfläche und der Rissentwicklung im Gestein während des Bohrens (Abb. 4, 5, 6, 7 & 8).



Abbildung 5: Probengewinnung Bohrklein.



Abbildung 6: Probengewinnung Formationsabschnitt.



Abbildung 7: Mikroskopische Untersuchung des Formationsabschnittes.

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

Hybrides Schlagbohrverfahren für tiefe geothermische Anwendungen

Fördermittelgeber:

Deutsche Forschungsgemeinschaft

Förderkennzeichen: BR 1864/17-1

Projektlaufzeit: 01.02.2025 – 31.01.2028

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner

Projektkoordinator:

Erik Feldmann, M. Sc.

Projektbearbeiter:

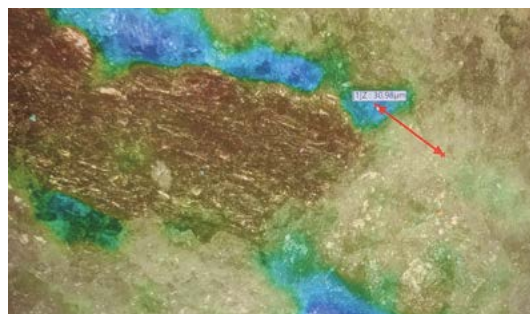
Dipl.-Ing. Jörg Lehr



Gunther Brenner



Erik Feldmann



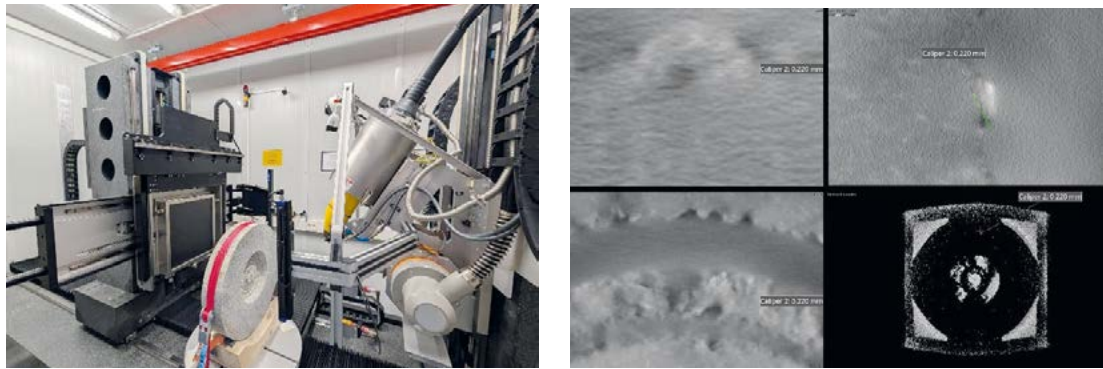


Abbildung 8: X-Ray Untersuchung Formationsabschnitt aus Bohrversuchen am DSC.

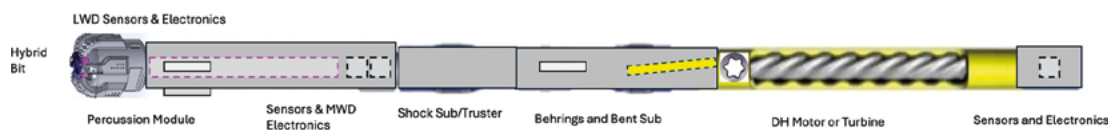


Abbildung 9: Spülungsgetriebenes Bohrsystem - HyperDrill BHA Concept 1.

Referenzen

Geförderte Projekte:

1. Optimierter Bohrhämmer mit Spülungsantrieb für Hartgestein in der Geothermie, 01.10.2017–30.09.2021; BMWK, FKZ: 0324242.
2. Optimierung und Feldertüchtigung eines mit Spülung betriebenen Bohrhammers, 01.07.2023–31.12.2026; BMWK, FKZ: 03EE4050A.
3. Entwicklung alternativer Antriebskonzepte für Untertagebohrhämmer in der Tiefbohrtechnik, 01.01.2019–31.12.2022; DGMK-Projekt 733.
4. GeoDRILL – Development of novel and cost-effective drilling technology for Geothermal Systems, 04/2019-07/2023; European Union Horizon 2020, Grant agreement 815319.
5. Modelling and numerical calculation of the multiphase transport in deep drilling technology, DFG Br 1864/12-1, FKZ 441175148.
6. Flow Loop with Variable Inclination, 230008-MWK-FLVI.
7. GeolInnoSens: Innovative sensor and measurement technology for geothermal wells, EU EFRE, FKZ 785151912.
8. Optimierter Bohrhämmer mit Spülungsantrieb für Hartgestein in der Geothermie, 01.10.2017–30.09.2021; BMWK, FKZ: 0324242.
9. Optimierung und Feldertüchtigung eines mit Spülung betriebenen Bohrhammers, 01.07.2023–31.12.2026; BMWK, FKZ: 03EE4050A.

Liste der Projekt bezogenen Publikationen

- [1] H. Paschen, D. Oertel and R. Grünwald: Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland, Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, 2003.
- [2] C. Marx and J. Schamp: "Abschlußbericht zum DFG Projekt Ma 723/20-1, Teilbericht 2: Statusbericht – Bohren im Hartgestein", Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung, Clausthal-Zellerfeld, 1989.
- [3] American Society of Petroleum Engineers: "https://www.asme.org", [Online]. Available: <https://www.asme.org/wwwasme.org/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/engineering%20history/landmarks/246-hughes-two-cone-drill-bit-1909.pdf> [Accessed 18 12 2023].
- [4] J. Sugiura, R. Lopez, F. Borias, S. Jones, J. McLennan, D. Winkler, M. Stevenson and J. Self: "Oil and Gas Optimization Technologies Applied Successfully to Unconventional Geothermal Well Drilling", SPE Annual Technical Conference Exhibition, Dubai, UAE, 2021.
- [5] U.S. Department of Energy: "UTAH FORGE PROJECT," [Online]. Available: <https://utahforge.com> [Accessed 2023 12 18].
- [6] Geozentrum KTB: "Geozentrum-KTB", [Online]. Available: <https://www.geozentrum-ktb.de/tiefbohrprogramm/> [Accessed 18 12 2023].
- [7] R. Luy: "Untersuchungen zur Wirksamkeit des Bohrprozesses beim drehschlagenden Bohren unter hohen hydrostatischen Drücken", Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger, 1992.

- [8] E. Brennsteiner: "Untersuchung über die Zusammenhänge der wichtigsten Parameter beim schlagenden Bohren mit Hammerbohrmaschinen", Montanuniversität Leoben, Leoben, 1978.
- [9] P. F. Gnirk: "An Experimental Study of Single Bit-Tooth Penetration Into Dry Rock at Confining Pressures 0 to 5000 PSI", SPE-Journal, pp. 117-130, June 1965.
- [10] W. C. Maurer: "Bit-Tooth Penetration Under Simulated Borehole Conditions", Journal of Petroleum Technology, pp. 1433-1442, December 1965.
- [11] G. Han, M. Bruno and M. B. Dusseault: "Dynamically Modelling Rock Failure in Percussion Drilling", in The 40th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), Anchorage, Alaska, 2005.
- [12] J. Aising, L. Gerbaud and H. Sellami: "Experimental analysis of rock fragmentation due to single percussive impact", p. under review, 2023.
- [13] H. Aldannawy, A. Rouabhi and L. Gerbaud: "Percussive Drilling: Experimental and Numerical Investigations", Rock Mechanics and Rock Engineering, pp. 1555-1570, <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02707-5>, 2022.
- [14] K. M. Reinicke and G.-P. Ostermeyer: Geothermal Energy and High Performance Drilling Collaborative Research Program, ISBN 978-3-7369-9080-7 ed., Vols. 1-4, Göttingen: Cuvillier, 2015.
- [15] R. Aragall, V. Mulchandani and G. Brenner: "Optical measurements and numerical analysis of mono- and bidisperse coarse suspensions in vertical axisymmetric sudden-expansion", in: International Journal of Multiphase Flow, vol. 69, 2015, pp. 63-80, <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2014.11.002>.
- [16] R. Aragall, F. Yu, J. Dai and G. Brenner: "Closure of Drift Flux Models for Cuttings Transport Predictions", vol. 40, pp. 28, ISSN 0342-5622, 2015.
- [17] M. Abdelhafiz, J. Oppelt, G. Brenner and L. A. Hegele: "Application of a thermal transient subsurface model to a coaxial borehole heat exchanger system", Geoenery Science and Engineering, vol. 227, p. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211815>, 2023.
- [18] M. Abdelhafiz, J. Oppelt, G. Brenner and L. A. Hegele: "Numerical investigation of the convective heat transfer coefficient for a concentric annulus with rotating inner cylinder with application in the deep geothermal drilling process", GeoEnergy Science and Engineering, Vols. 231, Part B, <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212413>, 2023.
- [19] E. Feldmann, M. Bannenberg, J. B. Holzmann, P. Jaeger and J. Oppelt: "Entwicklungsstand und Versuchsergebnisse eines mit Spülung betriebenen Bohrhammers für den Einsatz in Hartgestein in der Geothermie", pp. 22-30, ISBN 978-3-947716-41-8, 2022.
- [20] M. A. Shanan: "Comparison of conventional PDC drilling to rotary-percussive drilling efficiency", Clausthal University of Technology, 2022.
- [21] W. Saati: "The Assessment of Deep Geothermal Exploration: Correlation of Mechanical Specific Energy Derived by Sawing and Scratch Tests and its relation with Rock Strength", Clausthal University of Technology, Clausthal-Zellerfeld, 2023.
- [22] L. Gerbaud: "PDC Bits: All Comes from Cutter/Rock Interaction", pp. <https://doi.org/10.2118/98988-MS>, 2006.
- [23] M. Amri, G. Pelfrene, L. Gerbaud, H. Sellami and M. Tijani, "Experimental investigations of rate effects on drilling forces under bottomhole pressure", Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 147, pp. 585-592, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2016.09.025>, 2016.
- [24] M. Yahiaoui, J.-Y. Paris, K. Delbe, J. Denape, L. Gerbaud and A. Dourfaye: "Independent analyses of cutting and friction forces applied on a single polycrystalline diamond compact cutter", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, vol. 85, pp. 20-26, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.03.002>, 2016.
- [25] G. Pelfrene, O. Stab, D. Tillemann, T. Gallifet, B. Cuillier and C. Julien: "Modelling the 3D Bit-Rock Interaction Helps Designing Better PDC Bits", SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition, The Hague, Netherlands, 2019.
- [26] R. Souchal, M. Tarek and L. Gerbaud: "High-Power Mudhammer: A Promising Solution for Hard Formations Drilling", in: Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE, 2017.
- [27] E. Feldmann, J. Lehr and G. Brenner: "Synergy Effects of Percussive and Shearing Drilling Techniques in Crystalline and Hard Rock Formations", 1st GeoLaB Scientific Conference Potsdam, 2025.
- [28] J. Lehr, L. Gerbaud, E. Feldmann, G. Brenner, N. Velmurugan, E. Jahangir: "Percussive and Shearing Drilling Techniques in Crystalline and Hard Rock Formations", Celle Drilling, 2025.

Modellierung und numerische Berechnung des Mehrphasentransports in der Tiefbohrtechnik

Zusammenfassung

Der Transport des Bohrkleins muss unter den bei Tiefbohrungen typischen, anspruchsvollen Bedingungen – wie hohen Drücken, hohen Temperaturen sowie der Verwendung komplexer rheologischer Bohrspülungen über Entfernungen von mehreren Kilometern – zuverlässig sichergestellt werden. Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Anwendung validierter und effizienter Modelle zur präzisen Vorhersage des Bohrkleintransports. Umfangreiche mehrphasige CFD-Simulationen dienen dazu, grundlegende Zusammenhänge zwischen Bohrkleintransport, Druckverlust, Partikel- und Flüssigkeitseigenschaften sowie Betriebsparametern besser zu verstehen. Dafür werden sowohl hochaufgelöste, rechenintensive Verfahren weiterentwickelt, um die physikalischen Grundlagen des mehrphasigen Transports detailliert zu untersuchen, als auch effizientere Euler-Lagrange-Methoden eingesetzt. Diese ermöglichen die Untersuchung eines breiten Parameterspektrums und liefern wertvolle Daten zur Kalibrierung der makroskopischen Modelle.

Abstract

The transport of drill cuttings must be reliably ensured under the demanding conditions typical of deep drilling, such as high pressures, high temperatures, and the use of complex rheological drilling fluids over distances of several kilometers. The aim of the project is to develop and apply validated and efficient models for the precise prediction of drill cuttings transport. Extensive multiphase CFD simulations are used to better understand the fundamental relationships between drill cuttings transport, pressure loss, particle and fluid properties, and operating parameters. To this end, high-resolution, computationally intensive methods are being further developed to investigate the physical fundamentals of multiphase transport in detail. More efficient Euler-Lagrange methods are being used to enable the investigation of a broad spectrum of parameters and provide valuable data for calibrating the macroscopic models.

Projektbeschreibung und Ergebnisse

Das skalenauflösende Modell kombiniert die Immersed-Boundary-Methode (IBM) in OpenFOAM zur Berechnung der Strömung der kontinuierlichen Phase mit der Diskreten-Elemente-Methode (DEM) zur Beschreibung der Partikeldynamik. Ein auf der Immersed-Boundary-Methode basierender OpenFOAM-Solver, ursprünglich von Chenguang Zhang [2,3] entwickelt, wurde erweitert, um eine konservative impulsbasierte Kollisionauflösung (Collision Response) für dichte Partikelsysteme wie z. B. Sedimente (cutting beds) zu realisieren. Die Stoßimpulse an den Kontaktpunkten zwischen Partikeln sowie zwischen Partikeln und Wänden werden iterativ berechnet, um sowohl die Impulserhaltung als auch die Vermeidung von Durchdringung sicherzustellen. Zur Modellierung nicht-sphärischer Partikel kommen Signed-Distance-Fields (SDF) zur Geometrieprepräsentation, Kollisionserkennung und Kontaktkinematik zur Anwendung; die Implementierung wurde validiert. Zudem werden periodische Randbedingungen für Partikel umgesetzt, indem die Partikel positionsbasiert auf verschiedene MPI-Ränge verteilt werden. Der entwickelte Solver dient dazu, den Einfluss von Partikelvolumenanteil, Partikelgröße, Sphärizität und Rohrrotation auf den Transport von Bohrklein zu untersuchen. Abbildung 1 zeigt den Einfluss der Rohrrotation auf den Bohrkleintransport. Im nächsten Schritt soll die Interaktionsdynamik zwischen Partikeln und Fluid näher untersucht werden. Während diese für Newtonsche Fluide bereits gut erforscht ist, besteht bei nicht-Newtonschen Fluiden weiterhin erheblicher Forschungsbedarf. Dabei werden auch Parameter wie Partikelgröße, -form und -konzentration systematisch analysiert. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu beitragen, nicht skalenauflösende Modelle hinsichtlich der Beschreibung der Interaktionsdynamik zu verbessern und zu validieren.

Der Transport im Ringspalt unter typischen Bohrbetriebsbedingungen wird mithilfe des Euler-Lagrange-Verfahrens modelliert. Dabei

lassen sich Parameter wie die Exzentrizität des Bohrstrangs, Rotationsgeschwindigkeit, Strömungsgeschwindigkeit sowie Partikelkonzentration umfassend variieren, um aussagekräftige Daten für die Modellbildung zu generieren. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf dem Auftreten von Sekundärströmungen, den sogenannten Taylorwirbeln. Die Simulationsergebnisse wurden anhand experimenteller Literaturdaten validiert und sollen zukünftig zusätzlich mit Messdaten aus der Flow Loop am Drilling Simulator Celle abgeglichen werden. Für eine systematische Untersuchung der Parameter wird ein Design of Experiments (DoE) eingesetzt.

Während im Berichtsjahr 2024/25 ein full factorial Design zur Anwendung kam, wird ab 2026 auf ein space-filling Design umgestellt, das sich besonders gut für globale Sensitivitätsanalysen und die Modellbildung eignet. Das full factorial Design bietet hingegen den Vorteil, dass grundlegende Zusammenhänge direkter interpretierbar sind und somit ein guter Überblick über die Daten, relevante Parameterbereiche sowie die erforderliche Auflösung für die Modellbildung ermöglicht wird. Mithilfe der Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss der Varianzparameter auf den Bohrkleintransport, den Druckverlust und die Bildung von Taylorwirbeln quantifiziert. Im Berichtszeitraum wurden insgesamt etwa 500 Variantenberechnungen durchgeführt. Einige zentrale Trends für den Transport in einer vertikalen Bohrung sind in Abbildung 2 dargestellt. Eine erhöhte Partikelkonzentration, große Partikeldurchmesser und schnellere Rotation des Bohrstrangs verlangsamten den Transport des Bohrkleins.

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

Modellierung und numerische Berechnung des Mehrphasentransports in der Tiefbohrtechnik

Fördermittelgeber:

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Förderzeitraum: 01.04.2021 – 30.09.2027

Förderkennzeichen: BR 1864/16-1

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner

Projektbearbeiter:innen

Kathrin Skinder, M.Sc.

Hozaan Ibrahim, M.Sc.



Gunther Brenner

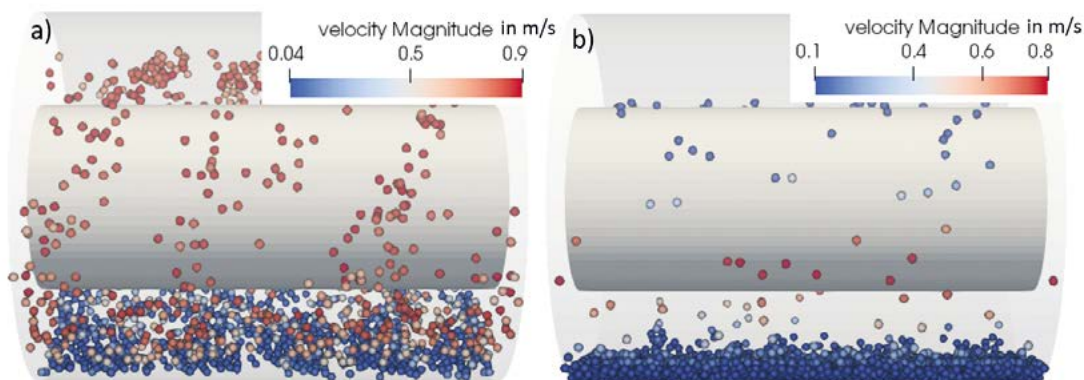


Abbildung 1: Einfluss der Rohrrotation auf den Bohrkleintransport in einer horizontalen Bohrung mit der Immersed-Boundary-Methode, a) mit, b) ohne Bohrstrangrotation.

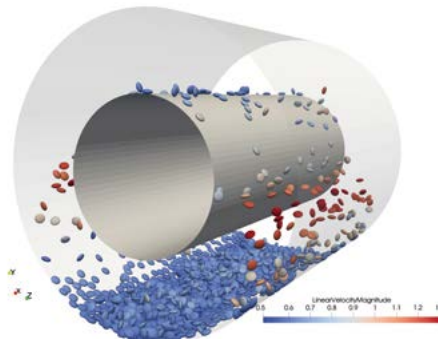


Abbildung 2: Mit zunehmender Rotationsgeschwindigkeit steigt die Transporteffizienz aufgrund einer besseren Durchmischung von Bohrklein und Fluid.

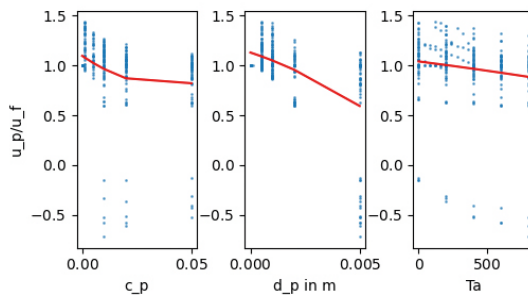


Abbildung 3: Regressionsanalyse der Ergebnisse der Variationsrechnungen: Einfluss von Partikelkonzentration, Partikeldurchmesser und Taylorzahl (Kennzahl in Verbindung mit der Bohrstrangrotation) auf die Transporteffizienz des Bohrkleins in vertikalen Bohrungen.

Referenzen

1. R. Aragall, V. Mulchandani, G. Brenner: "Optical measurement and numerical analysis of mono- and bidisperse coarse suspensions in vertical axisymmetric sudden-expansion", International Journal of Multiphase Flow, 2014.
2. Chenguang Zhang, Chunliang Wu, and Krishnaswamy Nandakumar: "Effective geometric algorithms for immersed boundary method using signed distance field", Journal of Fluids Engineering, 141(6):061401, 2019
3. Chenguang Zhang: "A signed distance field based discrete forcing immersed boundary method in OpenFOAM", Computer Physics Communications, 2020.
4. K. Skinder, G. Brenner: "Numerische Simulation des Bohrkleintransports in einem Ringspalt unter Berücksichtigung der Bohrstrangrotation", Jahrestreffen der ProcessNET Fachgruppen CFD + Mischvorgänge + Aggl und Schüttguttechnik, 2022.
5. H. Ibrahim, G. Brenner: "Simulation of Cuttings Transport in Horizontal Wells using high Resolution Numerical Methods", Celle Drilling 2023.
6. K. Skinder, Q. Wang, H. Ibrahim, G. Brenner: "Einfluss von Taylorwirbeln auf den Transport von Bohrklein in der Tiefbohrtechnik", Jahrestreffen der DECHEMA Fachgruppen MPH/AT/CFD, 2024.
7. K. Skinder, Q. Wang, H. Ibrahim, G. Brenner: "Numerische Mehrphasen-Simulationen für einen digitalen Zwilling des Bohrprozesses bei Geothermieprojekten", DGMK/ÖGEW Frühjahrstagung, 2024.
8. K. Skinder, H. Ibrahim, K. Shahid, M. Moghadasi, G. Brenner: "Modellierung von mehrphasigen Strömungen in der Tiefbohrtechnik", Norddeutsches Mechanik-Kolloquium, 2025.

GeoTES - Möglichkeiten und Grenzen thermischer Energiespeicherung in tiefen Aquiferen (Georeservoiren) im Rahmen der „Wärme-wende 2030“

Gegenstand des BMBF-Projekts GeoTES ist die Untersuchung und Quantifizierung des Potenzials der saisonalen Wärmespeicherung in tiefen Aquiferen (HT-ATES) zur Dekarbonisierung des Wärmesektors. Der Fokus liegt auf der Kopplung der Transportprozesse im geologischen Untergrund mit den übertägigen Energiesystemen, insbesondere Großwärmepumpen, Pufferspeichern und Nahwärmenetzen. Die Arbeiten am ITM/DSC im Berichtszeitraum 2024/25 konzentrierten sich auf systemtechnische Simulationen, die Weiterentwicklung von Bohrlochmodellen sowie die integrierte Bewertung des Speicherbetriebs.

gert und im Winter über Wärmepumpen wieder genutzt wird. Die Berechnungen zeigen, dass mit geeigneter Betriebsführung sowohl die Energieeffizienz gesteigert als auch die netzdienliche Flexibilität verbessert werden kann, etwa durch die Nutzung zeitlich schwankender erneuerbarer Stromerzeugung.

Parallel dazu wurden die Bohrungs- und Bohrlochnahmodelle grundlegend erweitert. In OpenFOAM/Python entstand ein verbessertes Modell, das turbulente Prozessbedingungen in den strömungsführenden Bauteilen präziser abbildet.

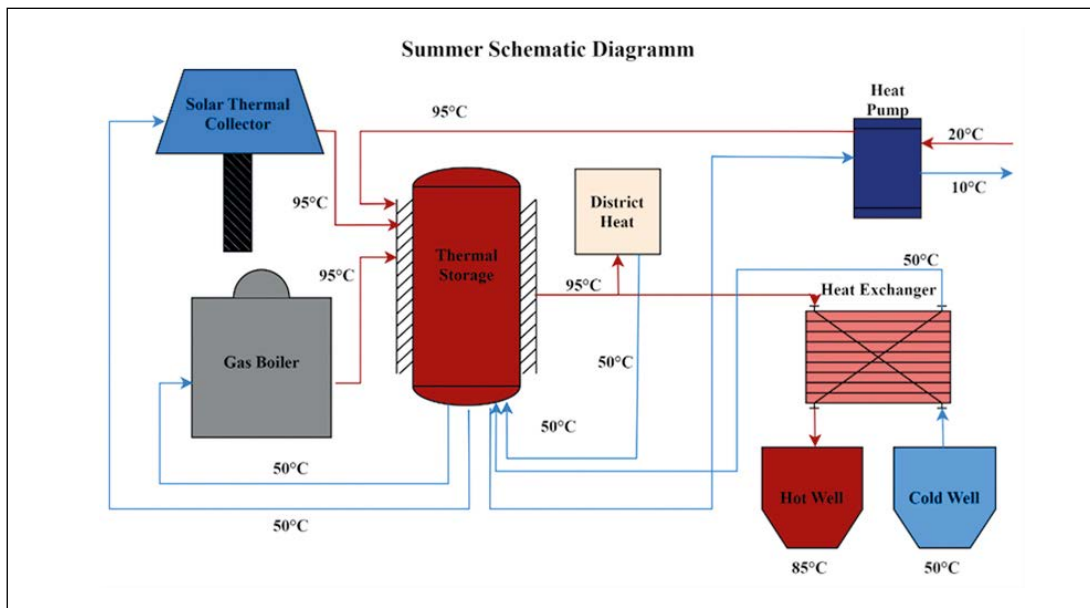


Abbildung 1: Sommer-Operation.

Auf Systemebene wurde ein dynamisches Modell aufgebaut, das die Wärmeerzeugung durch zwölf parallel betriebene Großwärmepumpen (je 850 kW thermisch) mit einem saisonalen Aquiferspeicher verknüpft. Das Modell bildet den Betrieb in 15-Minuten-Auflösung ab und erlaubt die Untersuchung verschiedener Versorgungskonzepte für Industrie- und Wohnbereiche. Besonders analysiert wurde eine vollständig erneuerbare Systemkonfiguration, bei der Überschusswärme aus Solarthermie und Abwasser im Sommer in den Aquifer eingela-

gänzt wurden vom Projektpartner ITE die thermophysikalische Eigenschaften relevanter Fluide (z.B. CO₂-haltiger Salzlösungen) bei erhöhten Drücken und Temperaturen gemessen, um realitätsnahe Randbedingungen für die Modellierung zu erhalten. Die Ergebnisse fließen direkt in die Kopplung mit der Reservoirsimulation ein und ermöglichen eine fundierte Bewertung von Bohrungsdesigns und Betriebsoptionen.

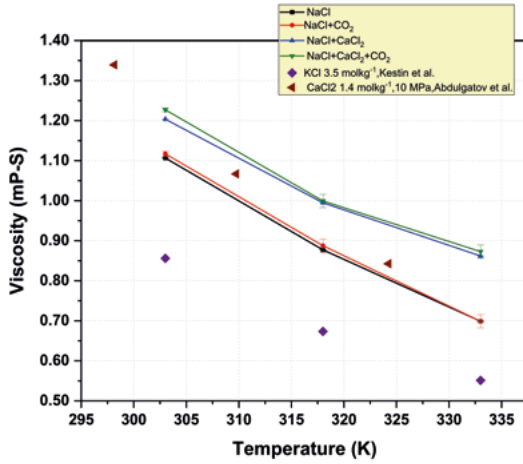


Abbildung 2: Viskosität von CO₂-gesättigten und ungesättigten Salzlösungen.

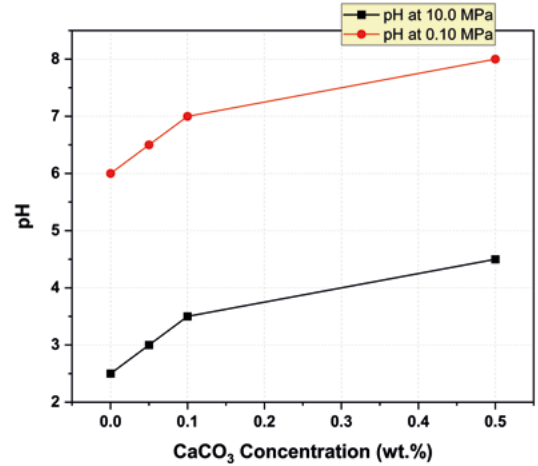


Abbildung 3: pH-Wert von CaCO₃-Lösungen unter CO₂-Druck.

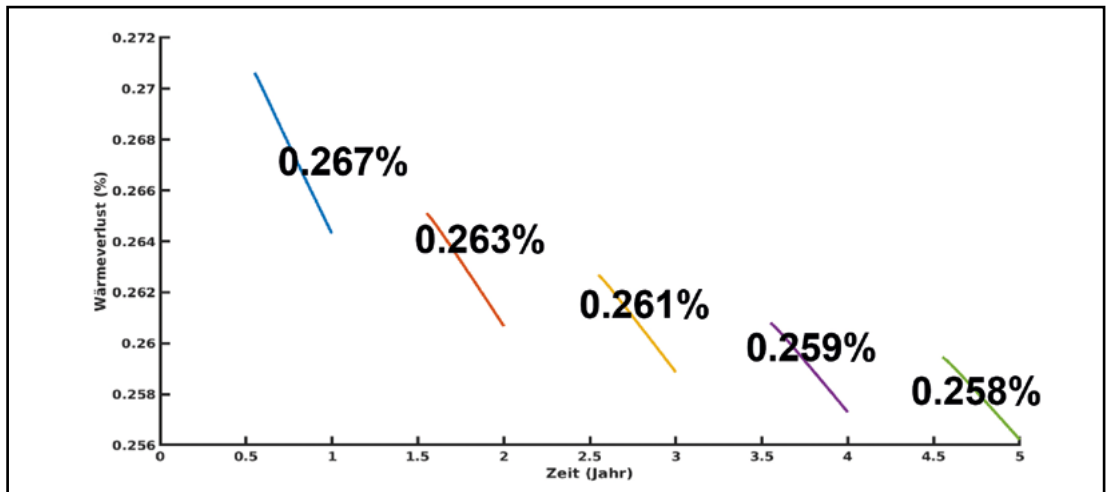


Abbildung 4: Wärmeverlust im bohrungsnahen Bereich für eine Fallstudie in Großburgwedel in den ersten 5 Jahren in Winterzeit (Die Zahlen auf den Linien sind die Durchschnittswerte).

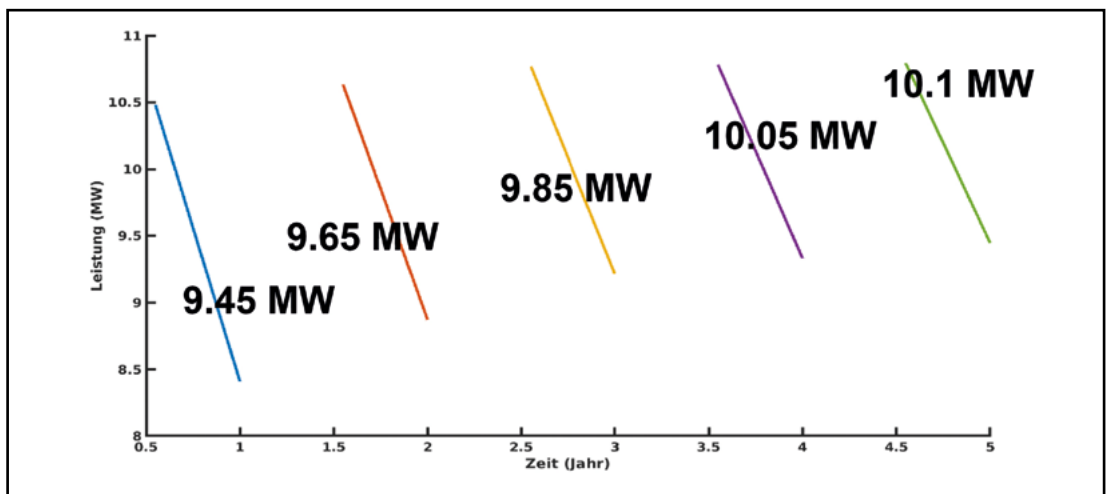


Abbildung 5: Leistung des Untergrund-Gesamtsystems für eine Fallstudie in Großburgwedel in den ersten 5 Jahren in Winterzeit (Die Zahlen auf den Linien sind die Durchschnittswerte).

Für die ATEs-Simulation wurde das geologische Modell der Wealden-Formation weiter verfeinert. Es basiert auf Bohrdaten, Kernanalysen und 2D-/3D-Seismik und identifiziert einen besonders geeigneten Sandsteinhorizont mit hohen Permeabilitäten und einer Mächtigkeit von rund 20–40 m. Die gekoppelten Simulationen über mehrere Lade- und Entladezyklen zeigen Rückgewinnungsraten von über 90 % und Produktionstemperaturen im Winter von etwa 76–90 °C, sofern die Brunnenabstände und die Orientierung zur Grundwasserfließrichtung passend gewählt werden. Die Analyse bestätigt, dass die Grundwasserströmung einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Speichereffizienz ist. Bei geeigneter Brunnenkonfiguration

lassen sich hohe Effizienzen (>80 %) über längere Betriebszeiträume erzielen.

Ein besonderes Highlight des Jahres war das BMBF-Statusseminar 2025, das in diesem Jahr in Goslar stattfand. Wir freuen uns sehr, dass die TU Clausthal Gastgeberin und Organisatorin des Statusseminars sein durfte. Die Veranstaltung bot eine hervorragende Plattform für den Austausch zwischen den Geo:N-Verbundprojekten, den Fördergebern und den wissenschaftlichen Partnern. Durch die Austragung in Clausthal/Goslar konnte das Projekt GeoTES mit seinen Arbeiten und Ergebnissen besonders sichtbar präsentiert werden.



Abbildung 6 und 7: Nationales ATEs-Statusseminar 2025 in Goslar.

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

GeoTES – Möglichkeiten und Grenzen thermischer Energiespeicherung in tiefen Aquiferen (Georeservoiren) im Rahmen der „Wärmewende 2030“

Fördermittelgeber:

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Förderkennzeichen:

03G0917A

Laufzeit:

01.07.2022 – 30.06.2025

Projektleiter:

Prof. Dr. mont. Leonhard Ganzer (Sprecher)
 Prof. Dr.-Ing. habil. Gunther Brenner
 Prof. Dr.-Ing. habil. Philip Jaeger
 Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer
 Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl, Hochschule Ostfalia
 Prof. Dr. Martin Sauter,
 Georg-August-Universität Göttingen

Projektbearbeitung TU Clausthal:

Mohammed Al-Eryani, M.Sc.
 Dr.-Ing. Ke Li
 Sharam Mohammadi, M.Sc.
 Dipl.-Ing. Ralph Peitz
 Shahab Stein, M.Sc.
 Devanand Yadav, M.Sc.

Die enge Zusammenarbeit im Verbund spielte weiterhin eine zentrale Rolle. Neben regelmäßigen Online-Treffen wurden zentrale inhaltliche Abstimmungen während der Projekttreffen, insbesondere in Goslar, durchgeführt. Dadurch konnten Schnittstellen zwischen Untergrund-, Bohrloch- und Systemmodellen harmonisiert werden, was für den finalen integrierten Modellansatz entscheidend ist.

Das Projekt befindet sich im letzten Jahr der Laufzeit. Die bisherigen Ergebnisse bestätigen das Potenzial von Hochtemperatur-Aquiferspeichern für erneuerbare Quartiers- und Industriewärmeversorgung. In der Schlussphase wurden die numerischen und experimentellen Komponenten in ein konsistentes Gesamtsystem überführt und hinsichtlich technischer, energetischer und wirtschaftlicher Machbarkeit

bewertet. Für das ITM/DSC ergeben sich daraus konkrete Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschung im Bereich thermo-hydraulischer Modellierung, Wärmespeichertechnologien und sektorgekoppelter Energiesysteme.

Veröffentlichungen und Teilnahme an Konferenzen und Veranstaltungen

Konferenzen

Shahram Mohammadi: DGMK/OGEW-Frühjahrstagung, Papenburg – Mai 2025. Posterpräsentation der experimentellen Ergebnisse.

Shahab Stein: DGMK/OGEW-Frühjahrstagung, Papenburg – Mai 2025. Ein Vortrag zum Thema „Analytische und numerische Berechnung der Wärmeübertragung in geothermischen Systemen“.

Gunther Brenner, Leonhard Ganzer, Ines Hauer, Philip Jaeger, Lars Kühl, Marin Sauter, Shahram Mohammadi, Devanand Yadav, Abhishek Verma, Ke Li, Franziska Harstrick, Janine Teelen, Dejian Zhou, Huhao Gao, Shahab Stein: Präsentation auf dem Status-Seminar, Goslar.

Veröffentlichungen

Published:

Dejian Zhou, Ke Li, Huhao Gao, Leonhard Ganzer, Martin Sauter, Philip Jaeger, Alexandru Tatomir: “CO₂ high-temperature aquifer thermal energy storage (CO₂ HT-ATES) feasible study: Combining the heating storage and CCUS, Gas Science and Engineering”, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgsce.2024.205224>.

Dejian Zhou, Ke Li, Huhao Gao, Alexandru Tatomir, Martin Sauter, Leonhard Ganzer: “Techno-economic assessment of high-temperature aquifer thermal energy storage system, insights from a study case in Burgwedel, Germany, Applied Energy”, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123783>.

Huhao Gao, Dejian Zhou, Alexandru Tatomir, Ke Li, Leonhard Ganzer, Philip Jaeger, Gunther Brenner, Martin Sauter: “Estimation of recovery efficiency in high-temperature aquifer thermal energy storage considering buoyancy flow, Water Resources Research”, DOI: <https://doi.org/10.1029/2024WR03749>.

Dejian Zhou, Alexandru Tatomir, Huhao Gao, Quan Liu, Martin Sauter: “Influences of directional aperture heterogeneity on the perfor-

manances of two-phase enhanced geothermal system considering the CO₂ buoyant force, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125611>.

Dejian Zhou, Alexandru Tatomir, Quan Liu, Ke Li, Huhao Gao, Martin Sauter: "Effects of Thermoelasticity Induced Aperture Variation on Performances of Enhanced Geothermal System, *Applied Thermal Engineering*", DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125611>.

Huhao Gao, Dejian Zhou, Alexandru Tatomir, Ke Li, Mohammed Al-Eryani, Shahab Mohammadi, Martin Sauter: "Effects of calcite reactions on aquifer permeability in high temperature aquifer thermal energy", *Hydrogeology Journal*, Accepted.

Abhishek Verma, Devanand Yadav, Ines Hauer: "Scenario Modelling and Analysis of Burgwedel's Energy System for Sustainable Grid Infrastructure", in: *PESS 2024 – Power and Energy Student Summit*, Seiten 119–124. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10927710>.

Shahram Mohammadi, W.-K.-Jones, P.-Jaeger, H.-Samara: "Experimental investigation of thermophysical properties in CO₂-saturated brine under variable temperatures (303–333 K), pressures (0.1–30 MPa), and salt types and concentrations", *Discover Applied Science*, vol.~7, no.~9, p.~984, 2025.

Under Review (Stand Dezember 2025):

Dejian Zhou et al.: "Analysis of High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage System Performances with Heterogeneous Permeability Distribution, Insights from a Case Study in Burgwedel, Germany", *Journal of Energy Storage*, submitted 04.11.2024.

Dejian Zhou et al.: "Well Layout Optimization of High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage System subjected to Ambient Groundwater Flow". *Applied Energy*, submitted 23.02.2025.

Dejian Zhou et al.: "Thermo-Sensitive Tracer Technology to Monitor the Movement of Thermal Front in Geothermal Energy Production", *Energy Conversion and Management*, submitted 05.02.2025.

Ke Li et al.: "Integrated modeling and assessment for geothermal exploration: A numerical

case study in Burgwedel, Germany", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, submitted 18.03.2025.

Shahab Stein, Gunther Brenner: "Analytical solutions for transient heat conduction problems in axis-symmetric domains", *J. Heat Transfer, The American Society of Mechanical Engineers - ASME* 29.10.2025.

Preprint:

Shahab Mohammadi, Gunther Brenner: "Analysis of Transient Heat Transfer in Geothermal Engineering: Effect of Seasonal Fluctuations in ATEs Systems", DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5246201/v1>.

OBF: Optimierung und Feldertüchtigung eines mit Spülung betriebenen Bohrhammers

Kurzfassung

Das Verbundprojekt „OBF“ wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert und zielt darauf ab, die Herstellungskosten von Tiefbohrungen im Bereich der Geothermie zu reduzieren. Ein spülungsgetriebener Bohrhammer wird durch die TU Clausthal sowie namenhaften Industriepartnern entwickelt, um die Kosten und Risiken der tiefen Geothermie zu senken. Das Projekt strebt nun die Feldertüchtigung dieses Bohrhammers an, um die Voraussetzungen für die zukünftige Vermarktung und den kommerziellen Einsatz zu schaffen. Die Entwicklungsschwerpunkte umfassen die Optimierung des Prototyps im Labor, die Herstellung von Prototypen unterschiedlicher Durchmesser, Bohrversuche im Labor und im Feld sowie die Analyse der Ergebnisse für die nachfolgende Herstellung der Marktreife der Technologie.

Abstract

The collaborative project "OBF" is funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy and aims to reduce the drilling and construction costs of deep geothermal wells. Renowned partners from industries and the TU Clausthal are involved in the project. A mud-driven hammer is developed to decrease the costs and risks associated with deep geothermal exploration. The project seeks to test the prototype mud-driven hammers under laboratory and field environment to establish the conditions for future marketing and commercial deployment. Key developments focus on optimizing the prototype in the laboratory, manufacturing prototypes of different diameters, conducting drilling tests in both laboratory and field settings, and analyzing the results for subsequent production readiness of the technology.

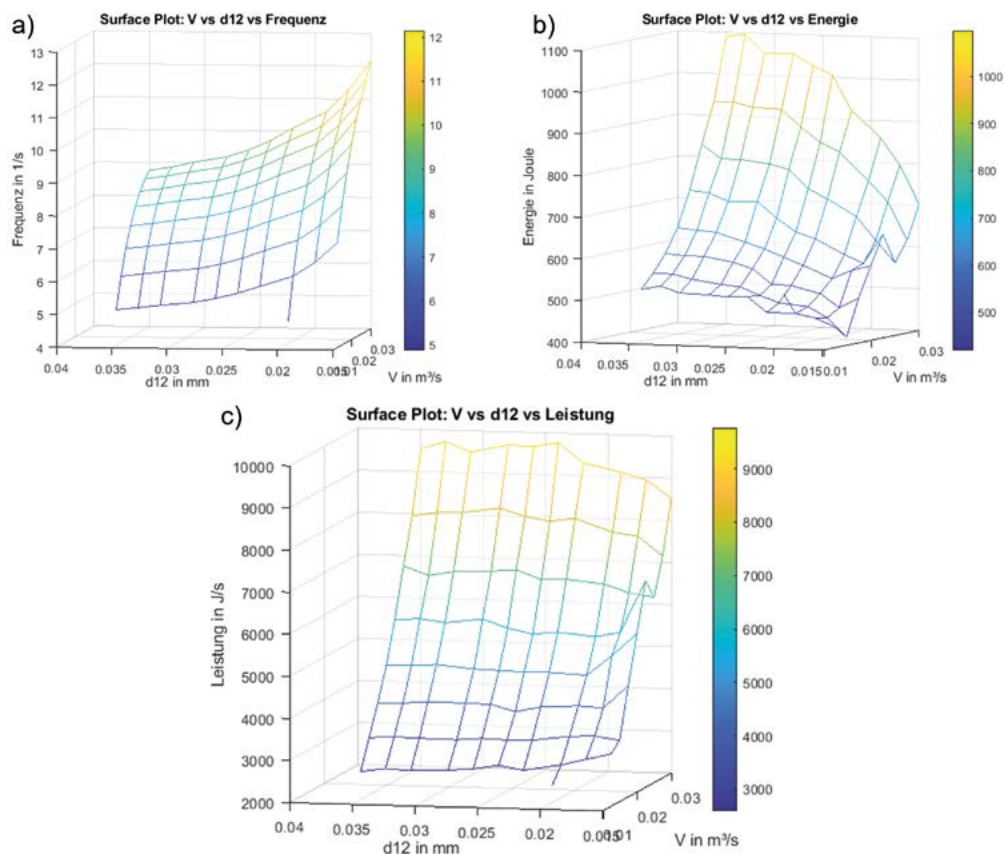


Abbildung 1: Simulationsergebnisse einer Feldsimulation unter variierten Meißeldüsendurchmessern und Volumenströmen, a) Schlagfrequenz, b) Schlagenergie und c) Bohrhammerleistung.

Das OBF-Projekt – der Projekthintergrund

Das Verbundprojekt „Optimierung und Feldertüchtigung eines mit Spülung betriebenen Bohrhammers – OBF“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWK) gefördert wird, verfolgt das übergeordnete Ziel, die Herstellungskosten von Tiefbohrungen im Bereich der Geothermie, insbesondere in Hartgesteinen wie Granit, Gneis oder sehr festen Sandsteinen, zu verringern. Dazu wird ein hydraulisch betriebener Bohrerhammer in zwei für die Geothermie üblichen Werkzeugdurchmessern entwickelt. Dieser Bohrerhammer muss mit wasserbasierten Spülungssystemen betrieben werden, um eine ausreichende Bohrlochstabilität zu gewährleisten. Die Additive dieser Spülungssysteme können sich jedoch signifikant auf die Lebensdauer des Werkzeugs und die Funktionsicherheit der Werkzeugkomponenten auswirken.

Die Entwicklung des Bohrerhammers wird durch die TU Clausthal in Form des Institute of Subsurface Energy Systems (ITE) und des Drilling Simulator Celle (DSC) koordiniert. Als Projektpartner, die das erforderliche Fachwissen aus der jeweiligen Branche in das Projekt einbringen, sind die H. Anger's Söhne Bohr- und Brunnenbaugesellschaft mbH aus Hessisch Lichtenau und die Sirius-ES GmbH aus Celle zu nennen. Ausgehend von einem 6 ¾“-Laborprototyp, der im Rahmen des vorangegangenen OBH-Projekts (FKZ 0324242) entwickelt wurde, werden die Feldertüchtigung des Prototyps sowie die Entwicklung, Fertigung und versuchsbegleitende Optimierung im Labor und im Feldeinsatz in den Werkzeuggrößen 6 ¾“ und 9 ½“ verfolgt.

Das zentrale Forschungsziel des OBF-Projekts besteht in der Entwicklung und Erprobung eines kommerziell nutzbaren und vermarktungsreifen, spülungsbetriebenen Bohrerhammers zur zukünftigen Erschließung geothermischer Potenziale im Hartgestein.

Erzielte Ergebnisse im Berichtszeitraum 2024/2025

Im Verlauf des Berichtszeitraums konnten wesentliche Erkenntnisse für die Entwicklung des spülungsbetriebenen Bohrerhammers gewonnen werden. Dazu wurden Laborversuche mit dem überholten Prototyp am horizontalen Teststand des DSC durchgeführt, bei denen Kenndaten in Abhängigkeit von verschiedenen Düsendurchmessern und Spülraten ermittelt

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

OBF: Optimierung und Feldertüchtigung eines mit Spülung betriebenen Bohrerhammers

Fördermittelgeber:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderkennzeichen:

03EE4050A

Ausführende Stellen:

Institute for Subsurface Energy Systems (ITE) und Drilling Simulator Celle (DSC)

Projektlaufzeit:

01.07.2023 – 31.12.2026

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Philip Jaeger

Projektkoordinator:

Erik Feldmann, M.Sc.

Projektbearbeiter:

Wolfgang Hollstein, M.Sc.
David-Jonas Holinka, M.Sc.
Dr.-Ing. Michel Bannenberg



Philip Jaeger



Erik Feldmann

wurden. Im Rahmen des Versuchsbetriebs wurden konstruktionstechnische Schwachstellen am Bohrhämmer identifiziert, die für die neue Prototypengeneration beseitigt wurden. Die Konstruktion wurde durch eine Feststoffkontrolle an den Entlüftungsbohrungen sowie einen hydraulischen Bypass ergänzt, welcher in Abhängigkeit von der Meißelposition freigegeben wird. Somit ist ein schlagfreier Betrieb des Bohrhammers möglich, sofern dieser nicht auf der Bohrlochsohle aufliegt. Dieser Betriebszustand ist während des Ein- und Ausfahrens des Bohrstrangs im Laufe einer Bohrung erforderlich, um die Bohranlage und das Material zu schützen. Das Gehäuse der nächsten Prototypengeneration wurde darüber hinaus dahingehend modifiziert, dass eine erweiterte Instrumentierung des Werkzeugs mit Drucksensoren und Näherungsschaltern sowie Abstandssensoren zur Positionsbestimmung des Schlagkolbens in Laborversuchen möglich ist.

Aufträge für den Stahl- und Tiefbau erfolgt durch die zentrale Vergabestelle der TU Clausthal. Um die Prototypen inklusive der erweiterten Sensorik sowohl am vorhandenen als auch am neu entstehenden Teststand anschließen zu können, wurde ein Adapter konstruiert und gefertigt.

In Bezug auf das Simulationsmodell des Bohrhammers, dessen Weiterentwicklung im Rahmen des Projekts stattfindet, konnte die erforderliche Rechenzeit deutlich reduziert werden. Im vorliegenden Modell wurde eine adaptive Schrittweitensteuerung implementiert, die abhängig von Kolben- und Ventilposition operiert. Zusätzlich ist nun die Durchführung von Feldsimulationen möglich. Das bedeutet, dass in einem Simulationsdurchlauf mehrere Parameter variiert werden können. Durch die Berechnung der Schlagfrequenzen, -energien und der Leistung in Abhängigkeit dieser Parameter, können vielversprechende Betriebspunkte

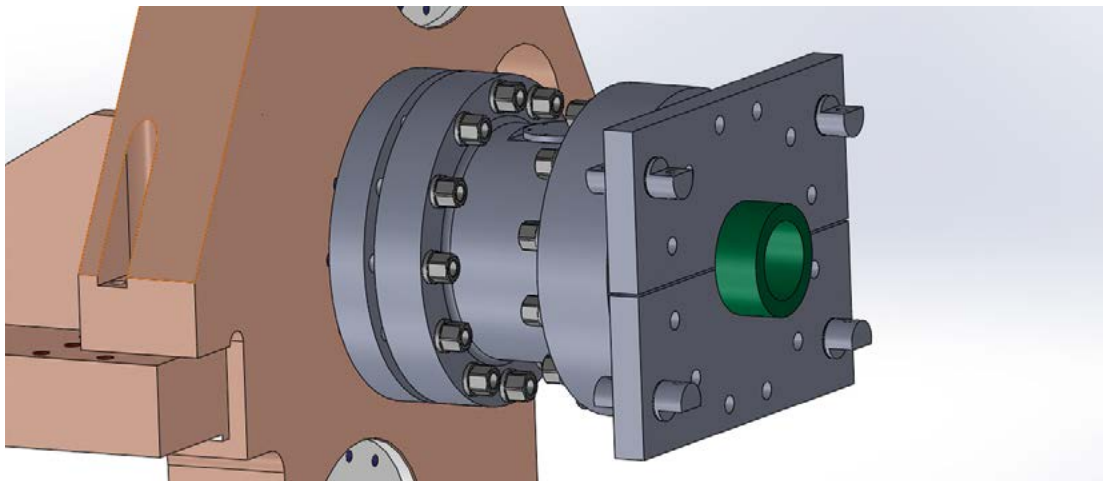


Abbildung 2: CAD-Modell des neuentwickelten Anschlussadapters zur experimentellen Untersuchung der Prototypen am horizontalen und kommenden vertikalen Teststand.

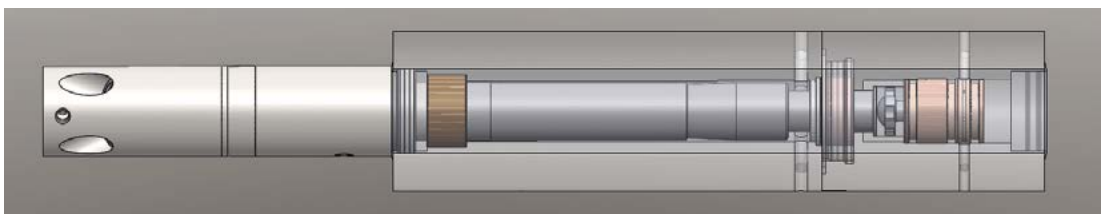


Abbildung 3: Darstellung der erweiterten Instrumentierung am CAD-Modell eines 6 3/4"-Prototyps.

Zur Charakterisierung des Betriebsverhaltens der zu entwickelnden Prototypen ist eine Erweiterung der Testinfrastruktur des DSC um einen vertikalen Bohrtteststand vorgesehen. Die Planung der entsprechenden baulichen Maßnahmen wurde erfolgreich abgeschlossen. Die Ausschreibung der

des Bohrhammers identifiziert werden. Dieses Simulationsmodell hat sich bereits bei der Auslegung des zuvor beschriebenen Bypasses als hilfreich erwiesen und soll auch zukünftig die Entwicklung neuer Prototypen der Baugrößen 6 3/4" und 9 1/2" unterstützen.



Abbildung 4: Modifikation am mobilen Bohrgerät zum Anschluss an den Flow Loop des DSC.

In Ergänzung zur geplanten vertikalen Versuchsanlage am DSC wurde bereits ein Teststand für Laborversuche mit einem Funktionsmuster des Bohrhammers im Maßstab 1:5 eingerichtet. Das Funktionsmuster wird in diesem Teststand ebenfalls in vertikaler Lage betrieben. Das Funktionsprinzip des Bohrhammers beruht auf dem Joukowsky-Stoß. Ein Einsatzzweck des Teststands besteht daher in der Untersuchung der Auswirkung der entstehenden Druckwellen und deren Reflexion innerhalb des Zulaufs auf den Hammerbetrieb. Dazu ist der Teststand mit einer sechs Meter hohen Rohrtour ausgestattet, die mit vier Drucktransmittern instrumentiert ist. Ein fünfter Sensor ist an der Ventilkammer des Funktionsmusters positioniert, in welcher der Druckstoß entsteht. In Ergänzung zur Druckmessung erfolgt eine simultane Aufzeichnung des Hammerbetriebs mittels einer Hochgeschwindigkeitskamera. Das Ziel dieser Maßnahme besteht darin, etwaige Auffälligkeiten den erfassten Druckdaten zuzuordnen. Daher verfügt das Funktionsmuster über ein transparentes Gehäuse. Erste Versuche mit variablen Düsendurchmessern und Spülraten wurden bereits erfolgreich durchgeführt und dienen der Validierung sowie als Grundlage zur Weiterentwicklung des Simulationsmodells.

Zukünftige Forschungsfragen

Im Mittelpunkt der zukünftigen Forschungsarbeiten im OBF-Projekt steht neben der Felderprobung des 6 ¾"-Bohrhammer-Prototyps, die Entwicklung und Fertigung eines Bohrhammer-Prototyps der Baugröße 9 ½". Diesbezüglich sind umfassende Untersuchungen an der neuen Prototypengeneration des 6 ¾"-Hammers unerlässlich. Diese werden kurzfristig gesehen vor allem mit der Testinfrastruktur am DSC realisiert werden, daher wird in diesem Rahmen eine Fertigstellung des neuen vertikalen Teststand gezielt vorangetrieben. Anhand dieser Erprobungen wird die Generierung von Daten zur Validierung des Simulationsmodells verfolgt. Um zu prüfen, inwieweit die bisherigen und zukünftig gewonnenen Erkenntnisse auf einen Bohrhammer der Größe 9 ½" übertragbar sind, werden weitere Experimente mit dem maßstäblichen Funktionsmuster geplant. Auf diesem Weg sollen kostengünstige Skalierungsuntersuchungen in Bezug auf die hydraulischen Verhältnismäßigkeiten erfolgen. Parallel wird darüber hinaus kontinuierlich die Weiterentwicklung des Simulationsmodells angestrebt, um den Konstruktionsprozess der entstehenden Werkzeuggröße effektiv zu unterstützen.

Umlaufprüfstand mit variabler Neigung zur Charakterisierung des Bohrkleintransports

Kurzfassung

Ein Großteil der Kosten zur Erschließung des geologischen Untergrunds wird durch den Bohrprozess verursacht. Eine zentrale Herausforderung beim Bohren ist der zuverlässige Transport von Bohrklein durch den Ringraum, da unzureichendes Hole Cleaning Bohrlochstabilität, Werkzeugverschleiß und Bohrleistung beeinträchtigt. Im Zuge des Projekts wird eine modulare, geschlossene Flow Loop Versuchsanlage mit einstellbarer Inklination und verstellbarem, radial verschiebbarem Innenrohr entwickelt. Ergänzt wird die Anlage durch nicht-invasive optische Messverfahren (PIV), um unter realistischen Betriebsbedingungen systematisch hochaufgelöste Daten zu erfassen. Ziel ist die Entwicklung datengetriebener Modelle zur Vorhersage und Optimierung des Hole Cleanings. Zugleich werden damit Daten zur Validierung von numerischen Berechnungsmodellen, die in einem DFG Projekt entwickelt werden, geliefert.

Abstract

A large part of the costs of developing the geological subsurface is caused by the drilling process. A key challenge in drilling is the reliable transport of drill cuttings through the annulus, as insufficient hole cleaning impairs borehole stability, tool wear, and drilling performance. The project is developing a modular, closed flow loop test facility with adjustable inclination and an adjustable, radially movable inner pipe. The facility is supplemented by non-invasive optical measurement methods (PIV) to systematically collect high-resolution data under realistic operating conditions. The aim is to develop data-driven models for predicting and optimizing hole cleaning. At the same time, this will provide data for validating numerical calculation models developed in a DFG project.



Abbildung 1: Prüfstand vor Montage der optischen Sensoreinheit.

Projektbeschreibung und Ergebnisse

Bei der Planung und Ausführung der Infrastruktur sowie des Hebeseystems wurden die zentralen Projektanforderungen berücksichtigt. Hierzu zählen Modularität, Transportfähigkeit, Erweiterbarkeit und eine hohe betriebliche Zuverlässigkeit. Die Tragstruktur musste das Gewicht der kompletten Flow-Loop-Komponenten einschließlich der zirkulierenden Flüssigkeit aufnehmen und dafür eine deutlich höhere Tragreserve als in der Erstbemessung vorsehen, um spätere Erweiterungen zu ermöglichen. Die begrenzten räumlichen Rahmenbedingungen in den Laborbereichen des DSC stellten darüber hinaus besondere Anforderungen an eine kompakte und demontierbare Ausführung.

Es wurden verschiedene Konzepte für Hebeseysteme geprüft, darunter auch Flaschenzüge. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Stabilität und die präzise Synchronisation mehrerer Hebepunkte fiel die Wahl jedoch auf einen hydraulischen Antrieb. Um die statische und dynamische Stabilität sicherzustellen, wurden umfangreiche Finite-Elemente- und Modalanalysen des Stahlrahmens durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurden gezielte Verstärkungsmaßnahmen umgesetzt, sodass die Konstruktion nun ausreichende strukturelle Reserven für den Betrieb und künftige Erweiterungen aufweist. Für die Neigungsregelung und Winkelrückmeldung wurde zusätzlich ein Drehgeber mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5^\circ$ und Echtzeitdatenlieferung an die Steuerung integriert. Er ermöglicht

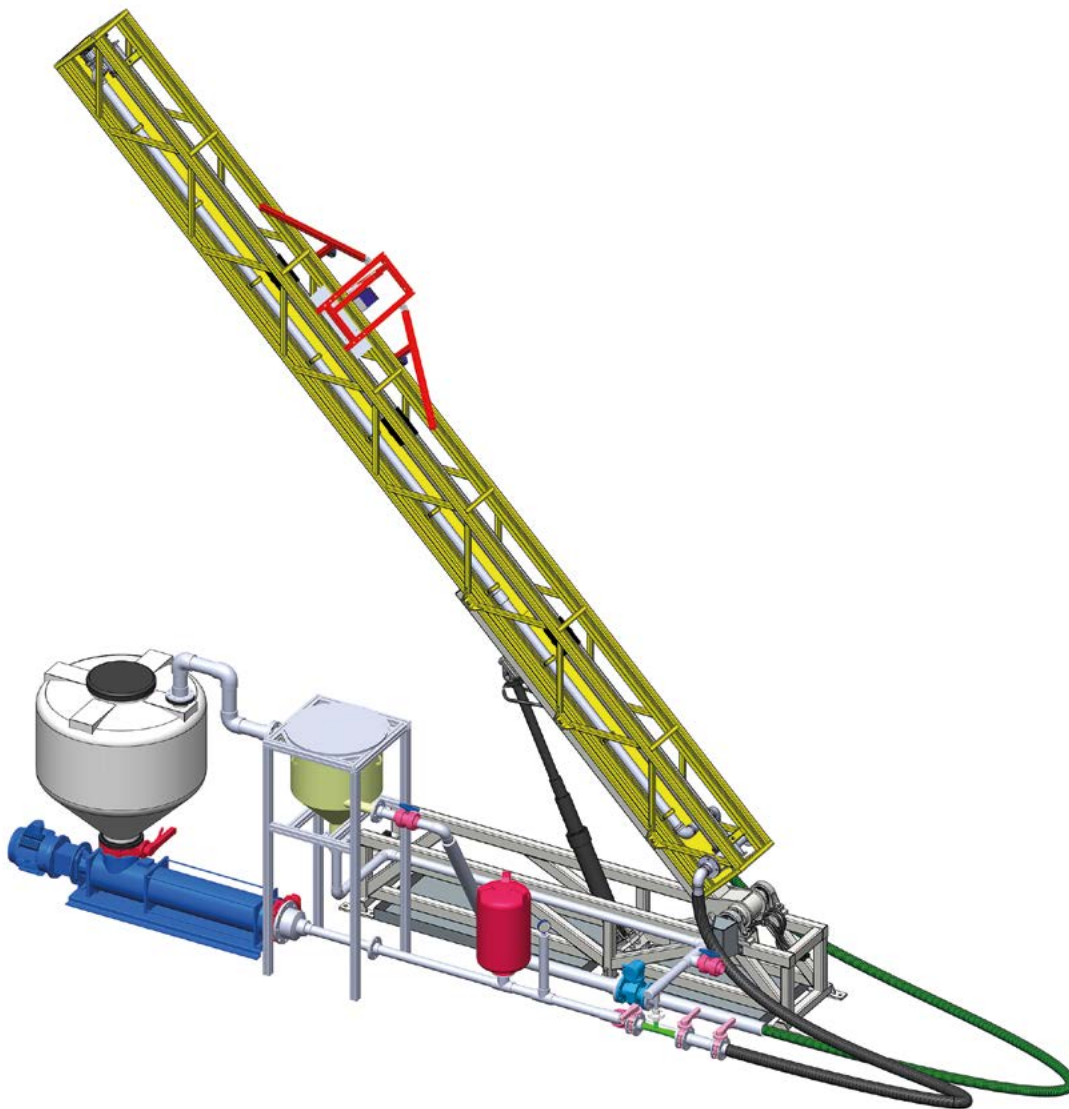


Abbildung 2: Skizze des Gesamtaufbaus.

eine präzise, reproduzierbare Winkeleinstellung. Die Konstruktion erlaubt eine feine Verstellung von vertikal bis horizontal, gewährleistet einen ergonomischen Zugang für Wartung und Messinstrumente und lässt sich einfach demontieren und transportieren.

Das Zirkulations- und Rotationssystem wurde so ausgelegt, dass es Durchflussraten und Strömungszustände unter realen Bohrbedingungen abbildet. Es gewährleistet einen stabilen, kontrollierten Fluidtransport im Annulus und ermöglicht gleichzeitig optische Messungen (z. B. mittels PIV). Zur optischen Zugänglichkeit wurde das äußere Rohrsegment aus Plexiglas gefertigt. Das rotierende Innenrohr besteht aus Edelstahl. Die Rohrdimensionierung wurde so gewählt, dass es im Wasser ausbalanciert ist und somit eine Durchbiegung durch die Gewichtskraft vermieden wird. Es können Drehzahlen bis 120 RPM eingestellt werden, um bohrlochtypische Phänomene nachzubilden. Die Antriebselektronik bildet einen geschlossenen Regelkreis, der den Motorstrom in Abhängigkeit vom Drehmomentbedarf dynamisch anpasst und so eine konstante Drehzahl sowie hohe Reproduzierbarkeit unter variierenden Lastbedingungen gewährleistet. Der Rotationsmotor ist auf einer speziell gefertigten Montageeinheit installiert. Diese ermöglicht eine freie Rotation des Innenrohrs, während die Exzentrizität in weiten Bereichen variiert werden kann.

Eine Exzentrerschneckenpumpe mit maximalem Förderstrom $110 \text{ m}^3/\text{h}$ befördert die Spülflüssigkeit pulsationsarm durch die Anlage. Die Pumpendrehzahl wird über einen Frequenzumrich-

ter geregelt; der Umrichter erlaubt lokale und ferngesteuerte Bedienung über analoge/digitale Schnittstellen. Der Umrichter ist in das Mess- und Datenerfassungssystem integriert, so dass Pumpenkennlinie und Betriebszustand in Echtzeit angepasst werden können.

Das Cuttings-Einspritzsystem ist ein modular aufgebautes, unabhängiges System. Es bringt Partikel gezielt in den Annulus ein, ohne die Hauptpumpe zu belasten. Das Kernstück des Systems ist ein Edelstahltank mit zwei Kammern, die mit zwei perforierten Platten und einem Feinsieb voneinander getrennt sind. Der Rücklauf aus dem Flow Loop tritt in die untere Kammer ein. Durch Zentrifugalkräfte und einen Zykloneffekt werden die schweren Partikel dort vom Fluid getrennt. Ein Deckel verhindert ein Überlaufen. Die konzentrierten Feststoffe werden über einen Bodenauslass zu einem Venturi-Injektor stromab der Pumpe gefördert. Zur Sicherstellung einer stabilen Pumpenzufuhr wurde oberhalb der Pumpe ein Pufferbehälter installiert. Verbleibende Pulsationen im Volumenstrom werden durch einen Kompensator entkoppelt. Am Pumpenausgang wurde ein Pulsationsdämpfer installiert. Zusätzlich ist die Installation eines Überdrucksicherheitsventils vorgesehen.

Als zentrales messtechnisches Element ist ein modernes 3D 3C PIV-System zur dreidimensionalen Erfassung der Geschwindigkeitsfelder in der Zweiphasenströmung beschafft worden. Das System umfasst zwei Kameras, LED Beleuchtung sowie Synchronisations- und Steuerungseinheiten. Vor der Beschaffung zeigten Vorversuche an



Abbildung 3: Das Projektteam nach dem Kickoff-Meeting.

einer kleinen Prüfstrecke, dass eine optische Box um den Plexiglas-Messabschnitt erforderlich ist, um optische Verzerrungen zu minimieren. Für die Kalibrierung des 3D 3C PIV-Systems wurde eine optisch äquivalente Box außerhalb des Flow Loops aufgebaut, so dass Kameras und Beleuchtung außerhalb des Versuchsaufbaus präzise kalibriert werden und anschließend ohne Positionsänderung in die optische Box im Flow Loop eingesetzt werden können. Die separate Kalibriereinrichtung erhöht die Reproduzierbarkeit und reduziert systematische Fehler durch Wiederholpositionierung.

Das elektrische Mess- und Steuersystem erfasst alle relevanten Prozessgrößen. Die Drucksensoren erfassen Differenzdrücke an mehreren Position am Außenrohr sowie lokale statische Drücke am Auslauf. Die Differenzdrucksensoren sind jeweils an Paare von Drucktaps angeschlossen; die Taps sind 300 mm voneinander entfernt. Für die Differenzdrucksensoren wurde ein gesonderter Kalibrieraufbau entwickelt und eingesetzt. Die Durchflussmessung erfolgt mit einem Promag Proline 10L elektromagnetischen Durchflussmesser. Die Temperatur am Einlauf wird über PT100-Sonden im Vierleiter-Anschluss gemessen, um Leitungswiderstände zu kompensieren und die Messgenauigkeit zu erhöhen. Das Messsystem liefert qualitativ hochwertige, zeitaufgelöste Datensätze. Diese können für die Validierung numerischer Modelle sowie für die Entwicklung datengetriebener Vorhersagemodelle, beispielsweise mittels maschinellen Lernens, genutzt werden.

Literatur

Aragall, R, Brenner, G, May, R, & Dahl, T.: "Investigating Transitional Flow Regimes in Annular Fluid Flow for Drilling Applications." Proceedings of the ASME 2025 44th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. Volume 6: Offshore Geotechnics; Petroleum Technology. Vancouver, British Columbia, Canada. June 22–27, 2025. V006T11A012. ASME.

Moghadasi, M. J. & Brenner, G.: "Investigating Cutting Transport Dynamics in Drilling Operations Using an innovative Flow Loop", Celle Drilling Conference, September 15-16, 2025.

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

Umlaufprüfstand mit variabler Neigung zur Charakterisierung des Bohrkleintransports

Fördermittelgeber:

Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK), Baker Hughes INTEQ GmbH

Förderzeitraum: 01.10.2023 – 30.03.2026

Förderkennzeichen:

11-76251-4311/2023 ZN 4260

Ausführende Stelle:

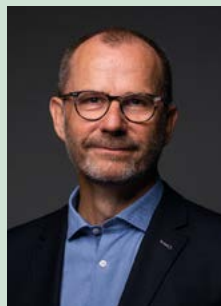
Drilling Simulator Celle (DSC) und Institut für Technische Mechanik (ITM) Forschungsvereinigungen DGMK e.V. und DECHEMA e.V.

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner

Projektbearbeiter:

Mohamad Javad Moghadasi, M.Sc.
Dr.-Ing. Khizar Shahid



Gunther Brenner

Geschlossene mitteltiefe Geothermiesysteme für die dezentrale Wärmeversorgung

Kurzfassung

Das vorliegende Vorhaben zielt auf eine systematische und flächendeckende Nutzung der mitteltiefen Geothermie, insbesondere für Kommunen, mittelständische Industriebetriebe und Einrichtungen, die nicht über einen Anschluss an größere Wärmeverbünde bzw. Fernwärmenetze verfügen. Die Wärmeversorgung muss daher zur Vermeidung von Wärmeverlusten dezentral erfolgen. Darüber hinaus sind die Erstellungskosten und -risiken geothermaler Projekte zu minimieren. An der Bandbreite der unterschiedlichen Gewerke und Fachfirmen, die an Geothermieprojekten beteiligt sind, wird die Komplexität der Aufgabenstellung deutlich und es existieren diverse Beispiele für Projekte, die nicht erfolgreich waren bzw. stark nachgebessert werden mussten.

Es handelt sich hier um ein Vorhaben zur Entwicklung von Leittechnologien der Energiewende, die sich mit drei Themenfeldern und den zugehörigen Fragestellungen schwerpunktmäßig befasst:

a) Energiebereitstellung: „Können mitteltiefe Erdwärmesonden wirtschaftlich und technisch so optimiert werden, dass sie integrativer Teil eines Gesamtkonzeptes für eine nachhaltige Wärmeversorgung werden?“

b) Systemintegration: Anbindung der Geothermie an dezentrale Wärmeabnehmer, die z.B. nicht an Fernwärmenetze angeschlossen sind oder Gemeinden, die über keine eigenen Stadtwerke verfügen

c) Systemanalyse und Digitalisierung: systematische Bestandsaufnahme, Datenanalyse und KI-basierte Optimierung der Bohrtechnik

Dabei hat jedes neue Geothermie-Projekt spezifische Herausforderungen, sowohl aufgrund des inhomogenen Geountergrundes als auch der lokal spezifischen Anforderungen der potenziellen Abnehmer. Dieses Projekt der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) soll in dieser Gemengelage einen entscheidenden Beitrag liefern, die mitteltiefe Geothermie zu einem Pfeiler in der zukünftigen Wärmeversorgung auszubauen und über Synergien der beteiligten Partner insbesondere für KMU zu zukunftsweisenden und international konkurrenzfähigen Produkten führen. Aufgrund der traditionell interdisziplinär ausgerichteten Struktur der Forschungseinrichtung Institute of Subsurface Energy Systems (ITE), die alle wichtigen Bereiche der Erschließung des Geountergrundes für die geothermische Energieversorgung abdeckt, ist diese Einrichtung in besonderem Maße für die Koordinierung und Anleitung eines entsprechenden F&E-Vorhabens unter Prof. Philip Jaeger geeignet. Als weiteres



Abbildung 1: Schacht am ITE mit Blick auf den Einbau der geothermischen Sonde, aufgenommen aus rund 35 Metern Tiefe. Quelle: Jörg Riesen

Themenfeld, das für eine erfolgreiche industrielle Umsetzung essenziell ist, wurde eine bedarfsge- rechte und alle Randbedingungen berücksichti- gende Anbindung an bestehende bzw. an neu zu schaffende Wärmenetze identifiziert und mit dem Institut für energieoptimierte Systeme an der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissen- schaften unter Leitung von Prof. Lars Kühl ein kompetenter Kooperationspartner in das Kon- sortium aufgenommen.

Die inhaltliche Verzahnung des Projektes betrifft sämtliche Arbeitsinhalte. Von der gemeinsamen Bestandsaufnahme, der Untersuchung notwen- diger Grundlagen in Modell und Experiment, gemeinsam geplanten und durchgeführten Bohrversuchen, Durchführung von Testläufen an einem Pilotteststand, der zugehörigen Simu- lationen, der Kostenoptimierung und Risiko- reduzierung in sämtlichen AP bis hin zu einer techno-ökonomischen Gesamtbewertung.

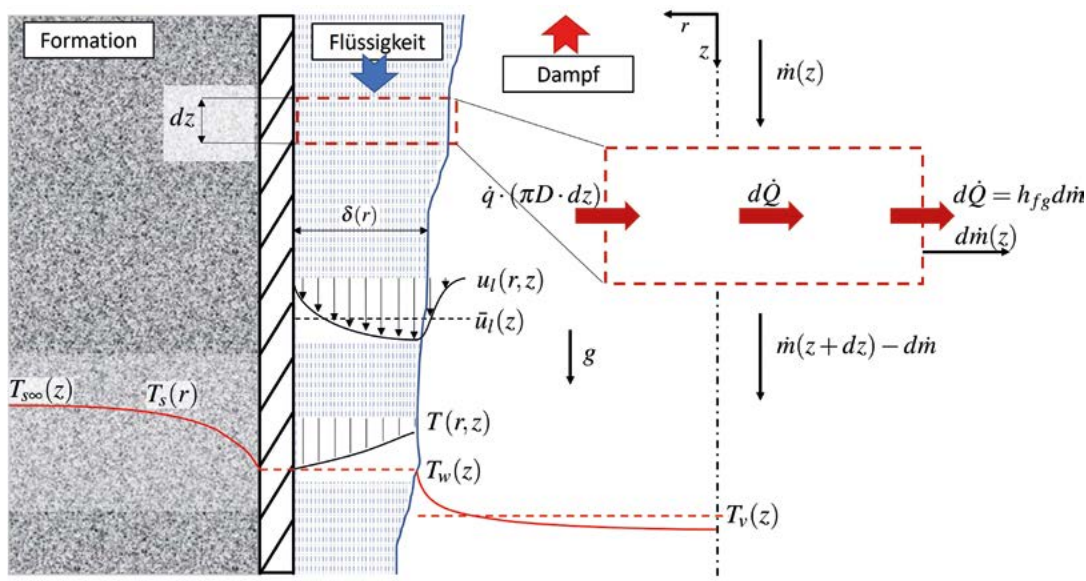


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Grenzschichteffekte und des Wärmeflusses in der Filmströmung der Phasenwechselsonde.

In bohrtechnischen Fragestellungen wird das Konsortium durch den Drilling Simulator in Celle (DSC) unter wissenschaftlicher Leitung von Prof. Gunther Brenner ergänzt, der gleichzeitig einen Lehrstuhl am Institut für Technische Mechanik (ITM) innehält. Mittels der realitäts- nahen Modellierung von komplexen Tiefbohr- prozessen im Realmaßstab sollen die technisch- wirtschaftlichen Risiken von Tiefbohrungen in enger Zusammenarbeit mit dem ITE bereits im Vorfeld umfassend analysiert und minimiert werden.

Darüber hinaus ist der langjährige und sichere Betrieb entsprechend einer fundierten ingeni- eurtechnischen Auslegung durch Simulationen sowohl der zeitlichen Temperaturverteilungen im Geountergrund als auch des Wärmeproduk- tionssystems zu optimieren und abzusichern. Dieser Aufgabenbereich wird ebenfalls durch Prof. Brenner (ITM/DSC) an der TU Clausthal übernommen.

Die Randbedingungen bilden die potenziellen Abnehmer in Bezug auf Wärmeleistung und Jah- reskennlinie. Die hier zu analysierende bzw. zu entwickelnde Technologie ist im Wesentlichen auf kleinere Gemeinden, Industrieparks und Einrichtungen ausgerichtet und muss sowohl robust funktionieren als auch wirtschaftlich dar- stellbar sein. Hier beginnt die Verzahnung mit der Technologie zur Bereitstellung der Wärme und einer Vorhersage über eine realistische Wär- meleistung sowie einen dauerhaft garantierten Betrieb. Einen wesentlichen Kostenfaktor stellen die Bohrung und Komplettierung dar, die daher als integrativer Bestandteil in das Vorhaben mit aufgenommen wurden. Sowohl am ITE als auch ITM/DSC bestehen langjährige und komple- mentäre Erfahrungen, die in diesem Vorhaben kombiniert werden.

Die Vorwettbewerblichkeit von IGF-Projekten ist an dieser Stelle von großer Bedeutung, da es hier um die Schaffung von wichtigen Grund- lagen geht, die für eine spätere erfolgreiche

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

Geschlossene mitteltiefe Geothermiesysteme für die dezentrale Wärmeversorgung

Fördermittelgeber:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderzeitraum:

01.12.2023 – 30.11.2026

Förderkennzeichen:

62402/007-01#70

Ausführende Stelle:

FE 1: Institut für energieoptimierte Systeme (EOS), Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Prof. Dr. Lars Kühl

FE 2: Institute of Subsurface Energy Systems (ITE), TU Clausthal, Prof. Dr.-Ing. Philip Jaeger

FE 3: Drilling Simulator Celle (DSC) und Institut für Technische Mechanik (ITM), TU Clausthal, Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner

Forschungsvereinigungen DGMK e.V. und DECHEMA e.V.

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Gunther Brenner
Prof. Dr.-Ing. habil. Philip Jaeger
Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl, Hochschule Ostfalia

Projektbearbeiter TU Clausthal:

Shahab Stein, M.Sc.
Qiaoleiyue Wang, M.Sc.
Kanaan Al Maasarani, M.Sc.
Dr. Carlos Paz
Emmanuel Jituboh, M.Sc.



Gunther Brenner



Philip Jaeger

und lokale Umsetzung entscheidend sind, und sowohl interessierten Anwendern als auch beteiligten Firmen zur Verfügung gestellt werden sollen. Aufgrund der Tatsache, dass die zu untersuchende Sondentechnologie im Gegensatz zu hydrothermalen Systemen sehr viel unabhängiger von limitierenden Faktoren im Geountergrund dargestellt werden kann, ist, nach der Entwicklung eines prinzipiell funktionierenden Gesamtkonzeptes, dieses auch für die Anwendung im Ausland, z.B. bei der großen Zahl an stillgelegten Bohrungen im Nigerdelta geeignet. Entsprechende Kontakte befinden sich bereits im Aufbau. Deutsche Anbieter können sodann auf Erfahrungen hierzulande verweisen und einen Wettbewerbsvorteil erlangen.

Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter der Vorhabenbezeichnung „IGF-Leittechnologien 69-70-71LN“ gefördert. Das Vorhaben wird von der DGMK unter der Projektnummer 883 koordiniert. Wir danken darüber hinaus den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die Unterstützung.



Abbildung 3: Meeting im DSC.





WISSENSTRANSFER IN DIE PRAXIS

4.

Den Dingen auf den Grund gehen – Tag der offenen Türen am 17. Mai 2025

Im Rahmen der Feierlichkeiten zum 250. Geburtstag der Technischen Universität (TU) Clausthal öffnete der Drilling Simulator Celle (DSC) am 17. Mai 2025 seine Türen. Trotz des stellenweisen widrigen Wetters haben sich knapp 100 Gästen über die Forschungsaktivitäten der Einrichtung informiert.

Neben dem DSC präsentierten sich an diesem Tag auch weitere Einrichtungen der TU Clausthal zu Themen der „Circular Economy“, einem nachhaltigen Management der Ressourcen Energie, Material und Information. So stießen u.a. Mitmachaktionen für Kinder und Jugendliche zu Themen einer nachhaltigen Rohstoffgewinnung, der Erzeugung von "grünem" Wasserstoff sowie Fragen zu nachhaltigem Handeln und Wirtschaften sowie die Studienberatung der „Universität im Grünen“ auf reges Interesse. Ein besonderes Highlight stellten auch in die-

sem Jahr wieder die zahlreichen Führungen durch den DSC dar, in denen (Nachwuchs-) Forscher:innen über die Forschungsmöglichkeiten am DSC und ihre eigenen Arbeiten berichteten. Am Tiefbohrsimulator konnten die Besucher:innen selbst in die Rolle von Bohrmeister:innen schlüpfen und die Herausforderungen des Bohrens in tiefe Gesteinsformationen erleben.

Dr. Jens-Peter Springmann, administrativer Geschäftsführer des DSC, zeigte sich erfreut über das große Interesse: „Der Tag der offenen Tür ist für uns eine wunderbare Gelegenheit, unsere Forschung einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen und die Bedeutung unserer Arbeit für die künftige Energie- und Wärmeversorgung zu erläutern. Das positive Feedback unserer Gäste zeigt uns, dass wir auf dem richtigen Weg sind.“



Und auch der Spaß kam an diesem Tag nicht zu kurz – ob Hüpfburg und „Riesen-LEGO“ für die Kleinen oder Jazz vom „Orchester Valentino“ aus Hannover für die Großen – und für das leibliche Wohl sorgte das Team vom Verein „Jugend als Chance e. V.“.

Allen Besucher:innen, Partner:innen und Unterstützer:innen danken wir herzlich für diesen inspirierenden Tag. Wir freuen uns auf das nächste Mal!



Impressionen vom Tag der offenen Türen 2025.



Schulung im Rahmen der dualen Berufsausbildung

Kurzfassung

Im April 2025 hat erstmals eine einwöchige Schulung für Auszubildende des Ausbildungsverbundes Bergbautechnologie für Tiefbohrtechnik (AVBT) am DSC stattgefunden. Ziel war es, die im Berufsschulunterricht vermittelten theoretischen Inhalte durch praxisorientierte Übungen zu typischen bohrtechnischen Problemstellungen zu ergänzen. Die Teilnehmenden haben Einblicke in die zentralen Systeme einer Tiefbohranlage erhalten und selbstständig praxisnahe Szenarien durchgeführt.

Abstract

In April 2025, a one-week training course for trainees in the mining technologist training association for deep drilling technology (AVBT) took place at the DSC for the first time. The aim was to supplement the theoretical content taught at vocational school with practical exercises on typical drilling technology problems. The participants gained an insight into the central systems of a deep drilling rig and independently carried out practical scenarios.



Abbildung 1: Praktische Übungen am Software-Simulator runden das Lehrprogramm ab.



Abbildung 2: Lilav Koro (li.) und Mohamad Javad Moghadasi (2. v. li.) mit den Teilnehmern nach Abschluss der Veranstaltung.

Projekthintergrund

Die duale Berufsausbildung im Bereich der Tiefbohrtechnik wird im Ausbildungsverbund Bergbautechnologie für Tiefbohrtechnik (AVBT) von mehreren Partnerunternehmen gemeinschaftlich organisiert. Ziel des vom Drilling Simulator Celle neuentwickelten Schulungsformates ist es, den Auszubildenden im letzten Lehrjahr neben theoretischem Wissen auch praktische Fähigkeiten für die Arbeit an Tiefbohranlagen zu vermitteln. Hierzu wurde eigens ein für die betriebliche Ausbildung angepasstes neues Schulungskonzept entwickelt, um die Auszubildenden noch besser als bisher auf die zukünftigen praktischen Anforderungen des Bohrbetriebs vorbereiten zu können.

Premiere im Frühjahr 2025

Der DSC hat diese neue einwöchige Blockveranstaltung erstmals im April 2025 angeboten. Neben den Auszubildenden haben die Mitgliedsunternehmen des AVBT aus ihren Reihen auch weitere Fachkräfte zu dieser Veranstaltung entsandt. Unter der Leitung von Erik Feldmann haben mit Lilav Koro und Mohamad Javad Moghadasi zwei weitere wissenschaftliche Mitarbeiter:innen die Teilnehmenden in theoretischen Grundlagen der Tiefbohrtechnik sowie mittels Rechenübungen und prakti-

schen Aufgaben in den Hauptsystemen einer typischen Tiefbohranlage (Stromversorgung, Hebesystem, Drehsystem, Spülung, Well Control) geschult. Auch die Vermittlung von typischen Bohrverfahren ist dabei im Fokus gewesen. Die praktischen Übungen am DrillSim 600, einem globalen Industriestandard für Tiefbohrsimulatoren für Trainingszwecke, haben es den Teilnehmenden ermöglicht, das zuvor Gelernte direkt in praxis- und realitätsnahen Szenarien umzusetzen, z. B. beim Ein- und Ausbau von Rohren, der Erkennung und Behandlung von Gefahrensituationen („Kicks“) sowie dem Umgang mit Spülungsverlusten und weiteren Bohrproblemen.

Insgesamt hat die Veranstaltung bei Teilnehmenden und Organisator:innen einen großen Zuspruch erhalten, so dass diese grundsätzlich auch für kommende Ausbildungsjahrgänge wieder angeboten werden soll.

GEOthermie4All – Micro Degree für Geothermie als Schlüsselbaustein der Wärmewende

Kurzfassung

Das Projekt „GEOthermie4All“ entwickelt und erprobt ein innovatives, modular aufgebautes Micro Degree im Bereich der tiefen Geothermie. Ziel ist es, praxisnahes Fachwissen als Schlüsselbaustein der Wärmewende berufsbegleitend und familienfreundlich zugänglich zu machen. Im Fokus stehen Berufstätige, Eltern – insbesondere Frauen –, Quereinsteiger:innen sowie Mitarbeitende von Kommunen und Energieversorgern. Das Programm umfasst vier Module zu Wärmenetzen, Bohrtechnik, Digitalisierung/Simulation und Kommunikation, die in flexiblen Blended-Learning-Formaten durchgeführt werden. Erste Evaluationen zeigen eine hohe Nachfrage, große Zufriedenheit der Teilnehmenden und deutlichen Bedarf an praxisnaher Weiterbildung. Besonders positiv hervorgehoben wurden die Vereinbarkeit mit Beruf und Bildung, praxisnahe Inhalte und die Einbindung innovativer Lehrmethoden. Strategische Herausforderungen bestehen vor allem in der institutionellen Verstärkung, personellen Ressourcen und nachhaltigen Finanzierung. Das Projekt trägt wesentlich dazu bei, neue Zielgruppen für die Geothermie zu erschließen und Kompetenzen für die Wärmewende aufzubauen.

Abstract

The “GEOthermie4All” project designs and tests an innovative, modular micro degree in deep geothermal energy. Its aim is to provide practice-oriented knowledge as a key element of the heating transition in a flexible, part-time, and family-friendly format. The program primarily targets professionals, parents – especially women –, career changers, as well as employees of municipalities and energy utilities. It consists of four modules on district heating networks, drilling technology, digitalization/simulation, and communication, delivered through blended-learning formats. Initial evaluations indicate high demand, strong participant satisfaction, and a clear need for hands-on training. Key strengths highlighted include compatibility with work and education, practical content, and the integration of innovative teaching methods. Strategic challenges remain in terms of institutional embedding, staffing, and long-term funding. The project makes a significant contribution to opening up geothermal energy to new audiences and building essential skills for the heating transition.



Abbildung 1: Simulation geothermischer Szenarien am Drilling Simulator Celle.

Einleitung & Projekthintergrund

Mit Blick auf die Wärmewende rückt die Geothermie als verlässliche und nachhaltige Quelle in den Fokus. Während wir in den Bereichen Strom und Mobilität schon ziemlich weit sind, besteht im Bereich der Wärmeversorgung weiterhin ein erheblicher Qualifizierungsbedarf. Bisher fehlen in Deutschland praxisorientierte, flexible Weiterbildungsangebote für Fachkräfte, Kommunen und andere Gruppen, die sich einfach nebenbei im Bereich Geothermie qualifizieren wollen.

Vor diesem Hintergrund wurde das Projekt „GEOthermie4All“ im Rahmen der ESF-Förderlinie „Öffnung von Hochschulen“ gestartet und das Land Niedersachsen hat es unterstützt. Ziel ist die Entwicklung und Erprobung eines Micro Degrees „Geothermie“ als modernes Weiterbildungsformat, flexibel, berufsbegleitend und familienfreundlich. Dabei ist es uns nicht nur wichtig, technisch top zu sein, sondern auch, dass jeder die gleichen Chancen hat und Beruf & Bildung gut miteinander vereinbar sind.

Diese Maßnahme schließt eine wichtige Lücke in der Qualifizierung für die Wärmewende. Mit „GEOthermie4All“ gibt es erstmals eine klare, zertifizierte Weiterbildung rund um Geothermie – wissenschaftlich fundiert und gleichzeitig praxisnah. Und so können Fachkräfte geothermische Energie in ihrem Umfeld aktiv vorantreiben. Dadurch wird Geothermie als Schlüsseltechnologie sichtbarer und ihre Rolle in der Energiewende nachhaltig gefördert.

Neben weiteren Partnern arbeitet die TU Clausthal eng mit der „TEN.efzn-Plattform Geoenergiesysteme“ zusammen. Das Micro Degree richtet sich auf Geothermie-Qualifizierung aus, während die TEN.efzn-Initiative mit der „Geoenergie 360°“-Weiterbildung einen ergänzenden Ansatz bietet. Durch die kooperierende Zusammenarbeit entstehen inhaltliche und organisatorische Synergien, die beide Programme stärken und die Sichtbarkeit wissenschaftlicher Weiterbildung an der TU Clausthal erhöhen. Dadurch wird die gemeinsame Initiative gefördert und eine Grundlage für den langfristigen Ausbau praxisnaher Weiterbildungsangebote geschaffen.

Zudem werden dringend benötigte Fachkräfte gezielt ausgebildet und die Transformation der Wärmeversorgung aktiv unterstützt.

Daten zum Projekt

Vorhabensbezeichnung:

GEOthermie4All – Micro Degree für Geothermie als Schlüsselbaustein der Wärmewende

Fördermittelgeber:

Europäischer Sozialfonds (ESF), Land Niedersachsen

Förderzeitraum: 01.05.2024–30.04.2026

Teilnehmerzahl: maximal 20 pro Jahrgang

Workload: 24 ECTS (vier Module, berufsbegleitend über zwei Semester)

Module:

M1 – Planung & Betrieb geothermischer Wärmenetze (Online)

M2 – Technische Umsetzung der Geothermie (Blockpräsenz, BMS)

M3 – Digitalisierung & Simulation geothermischer Systeme (Blended Learning, DSC)

M4 – Kommunikation & Wissenstransfer (Blended Learning, DSC)

Besonderheiten:

- Flexible Lernformate (Blended Learning, Online-Phasen, Blockveranstaltungen)
- Kinderbetreuung während Präsenzphasen
- Anerkennung der Präsenzphasen als Bildungsurlaub in Niedersachsen
- Anerkanntes Zertifikat der TU Clausthal – „Micro Degree in geothermal Energy“

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Philip Jaeger

Projektkoordinatorin:

Yusra El Bouhlali, M.Sc.



Philip Jaeger



Yusra El Bouhlali

Projektziele & Entwicklungsschwerpunkte

Das Projekt „GEOthermie4All“ verfolgt das Ziel, den Zugang zu praxisorientierten und wissenschaftlich haltbaren Informationen zur Geothermie zu erleichtern – unabhängig von beruflicher oder familiärer Situation der Teilnehmenden. Damit soll ein qualifizierender Beitrag zur Wärmewende geleistet und parallel dazu die Universität mehr für neue Zielgruppen geöffnet werden.

Die zentralen Projektziele sind:

- Vermittlung von Fachwissen – Aufbau von technischem, planerischem und kommunikativem Wissen, um Geothermie zuverlässig zu nutzen
- Praxis-Transfer stärken – Verknüpfung von Theorie mit praktischen Beispielen und realen Projektzenarien
- Attraktivität der Geothermie erweitern – Sichtbarkeit als Karrierefeld steigern und Gewinnung neuer Zielgruppen für die Branche
- Strukturelle Verstetigung – Entwicklung eines Modells, das über die Projektlaufzeit hinaus als dauerhaftes Weiterbildungsangebot etabliert werden kann

Die Entwicklungsschwerpunkte des Projekts liegen in folgenden Bereichen:

- Didaktische Innovation – Konzeption modularer, berufsbegleitender Lernformate (Blended Learning, Online-Phasen, Blockpräsenzphasen) mit hoher Praxisorientierung
- Technische Umsetzung – Einbindung realitätsnaher Lernorte wie des Drilling Simulator Celle (DSC) und der Bohrmeisterschule (BMS), um Tiefbohrtechnik und geothermischen Verfahren zu ermöglichen
- Kommunikation & Wissenstransfer – Entwicklung eines innovativen Kommunikationsmoduls, welches die Teilnehmenden befähigt, komplexe Inhalte zielgruppengerecht aufzubereiten (z. B. für Kommunen, Politik, Publikum)
- Strukturelle Einrichtung – Grundlage für die institutionelle Verankerung und Verstetigung als Teil künftiger Weiterbildungsprogramme an der TU Clausthal

Damit trifft „GEOthermie4All“ nicht nur den Bedarf an Fachkräften im Energiesektor, sondern fördert auch die strategische Positionierung der Universität im Hinblick auf die wissenschaftliche Weiterbildung.

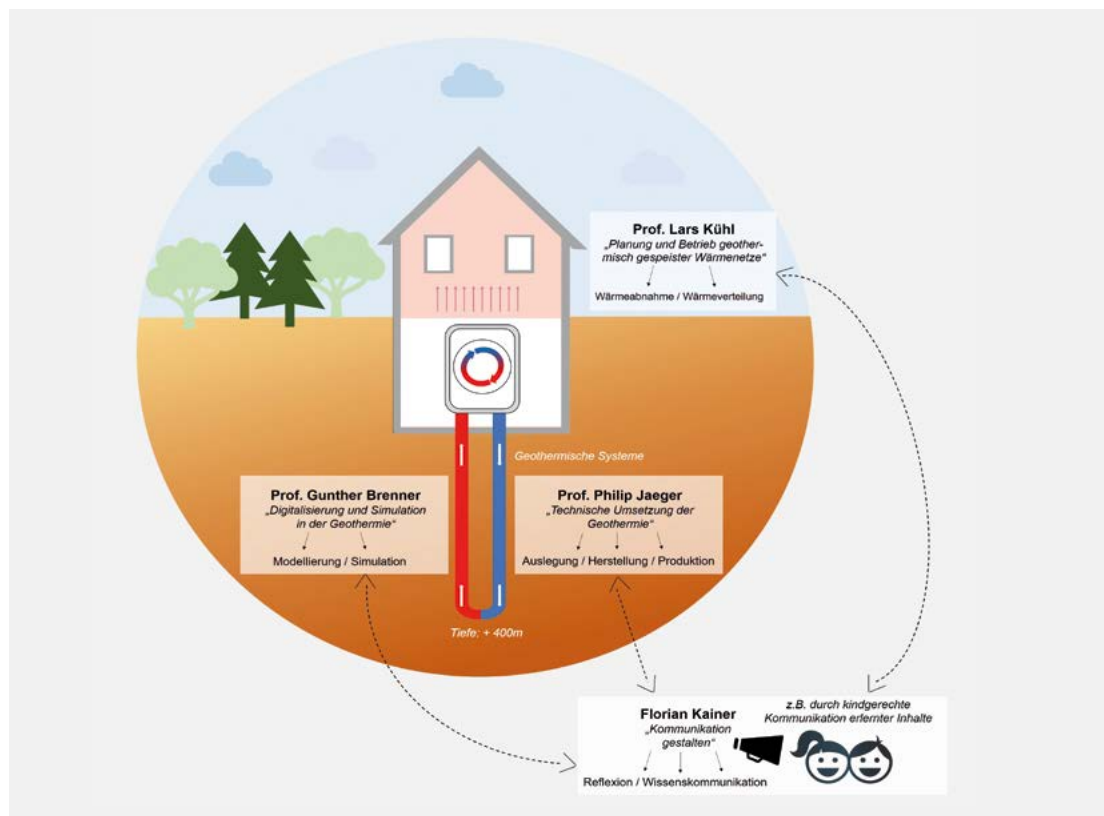


Abbildung 2: Modulübersicht.

Ausblick

Die ersten Erfahrungen mit „GEOThermie4All“ zeigen deutlich: Praxisnahe Weiterbildung im Bereich Geothermie hat richtig Potenzial. Anhand der positiven Evaluationen und der hohen Nachfrage soll das Micro Degree über die Projektlaufzeit hinaus verstetigt und dauerhaft an der TU Clausthal/DSC eingerichtet werden.

In inhaltlicher Hinsicht stehen neben der Erweiterung des bestehenden Angebots um zusätzliche Module, etwa zu Tiefengeothermie, regulatorischen Aspekten oder Projektfinanzierung, ebenfalls der weitere Ausbau der bereits vorhandenen digitalen Lehrformate auf der Agenda. Zudem wird die Zusammenarbeit mit Kommunalen Einrichtungen, Energieversorgern und Fachverbänden intensiviert und durch übergreifende Partnerschaften in Niedersachsen ergänzt, um Reichweite und Sichtbarkeit zu erhöhen.

Mittelfristig visiert das Projekt auch eine Internationalisierung an, beispielsweise durch die Entwicklung englischsprachiger Module und die Vernetzung mit europäischen Geothermie-Initiativen. Langfristig sorgt „GEOThermie4All“ damit nicht nur für mehr Fachkräfte im Energiesektor, sondern stärkt die Geothermie als Karrierefeld. Weiterhin dient das Programm als Modell für innovative, chancengerechte Weiterbildung im Kontext der Energiewende.





SCHLAGLICHTER

5.



Tiefbohrindustrie zeigt starkes Interesse am DSC

14.05.2024

Ende April haben sich die Mitglieder des Arbeitskreises Tiefe Geothermie des Branchennetzwerks GeoEnergy Celle e.V. über aktuelle Entwicklungen am DSC informiert.



Dissertation von Patrick Höhn

16.08.2024

Wir gratulieren Dr. Patrick Höhn, der am 09.08.2024 erfolgreich seine Dissertation verteidigte.

Der Titel seiner Dissertation lautet "Investigation of the Influence of Cuttings Transport on the Dynamics of Drillstrings".



Tiefbohren für Einsteiger:innen beim Zukunftstag am DSC

07.04.2024

Spannende Einblicke in die Tiefbohrtechnik: Zwölf Mädchen und Jungen gingen am diesjährigen Zukunftstag in die Tiefe.



Besuch aus Norwegen am Drilling Simulator Celle

25.04.2024

Im Rahmen eines Informationsbesuchs im Raum Celle hat sich eine Delegation des norwegischen Forschungszentrums NORCE über zukünftige Kooperationsmöglichkeiten informiert.



Energiapolitik trifft Praxis: Geothermiebranche zu Besuch

04.06.2025

Am Rande des Geothermiegipfels der IHK Niedersachsen informierten sich Entscheider:innen aus Unternehmen und Politik über die Forschungseinrichtung der TU Clausthal.



Dissertation von Khizar Shahid

17.09.2025

Wir gratulieren Dr.-Ing. Khizar Shahid, der am 03.09.2025 erfolgreich seine Dissertation verteidigte.

Der Titel seiner Dissertation lautet "Development and Integration of Explainable Machine Learning Models for Predicting Drilling Parameters in a Real-Time Simulation Environment".



Nationale Statuskonferenz zur untertägigen Wärmespei- cherung an der TU Clausthal

02.07.2025

Rund 90 Expertinnen und Experten diskutieren aktuelle Forschungsergebnisse auf dem EnergieCampus Goslar.



Projekttreffen der Forschungsplattform „Geoenergiesysteme“

12.11.2025

Am 17.10.2025 traf sich die Forschungsplattform „Geoenergiesysteme“ des Verbundprojekts TEN.efzn am Drilling Simulator Celle.





ANHANG

5.

Publikationen

2024

Abschlussarbeiten/Theses

Mahyar Alikhani:
„Neural Network-based Detection of Taylor-Coutte Vortices in Annular Flow Systems“,
Masterarbeit, TU Clausthal, 2024.

Sagar Budihal:
„Modeling heat transfer near a borehole in geothermal systems: impact of process parameters and completion properties on heat transfer efficiency“,
Masterarbeit, Universität Rostock in Kooperation mit TU Clausthal, 2024.

Changping Hu:
„Berechnung des radialen konjugierten Wärmetransports in einer Erdwärmesonde mit OpenFOAM“,
Masterarbeit, 2024.

Qiaoleiyue Wang:
„Untersuchungen zur Genauigkeit der Euler-Lagrange-Methode bei hohen Partikelkonzentrationen“,
Masterarbeit, TU Clausthal, 2024.

Fidel A Ayash:
„Berechnung des konjugierten Wärmetransports in einer geothermalen Bohrung mit ANSYS CFX“,
Bachelorarbeit, TU Clausthal, 2024.

Lilav Koro:
„Verification of an Immersed Boundary Method for Particles Laden Flows“,
Bachelorarbeit, TU Clausthal, 2024.

Diala Abi Mosleh:
„Konstruktion eines Injektors zur Partikelzufuhr unter tiefbohrtechnischen Bedingungen“,
Bachelorarbeit, TU Clausthal, 2024.

Mustafa Yaghi:
„Einfluss der Exzentrizität des Bohrstrangs auf den Transport von Bohrklein in der Tiefbohrtechnik“,
Bachelorarbeit, TU Clausthal, 2024.

Konferenzpaper

Abhishek Verma, Devanand Yadav, und Ines Hauer:
„Scenario Modelling and Analysis of Burgwedel's Energy System for Sustainable Grid Infrastructure“,
Power and Energy Student Summit, Dresden, 21.-23.10.2024
PESS 2024
Berlin : VDE, 2024. – ISBN 978-3-8007-6473-0. – S. 119–124.

Qiaoleiyue Wang und Gunther Brenner:
„Modellierung einer geschlossenen Zweiphasen-Thermosyphon Sonde für mitteltiefe Geothermie“,
Der Geothermiekongress 2024, Potsdam. 22. – 24. Oktober 2024.

Konferenz-Poster

Shahab Mohammadi und Gunther Brenner:
„Analytische Berechnung instationärer Wärmeleitungsprobleme in der Geothermie“,
Der Geothermiekongress 2024, Potsdam. 22. – 24. Oktober 2024.

Vortrag

Kathrin Skinder, Q. Wang, H. Ibrahim, und G. Brenner:
„Einfluss von Taylorwirbeln auf den Transport von Bohrklein in der Tiefbohrtechnik“. Gehalten am: 20.03.2024.
Anlässlich: Jahrestreffen der DECHEMA Fachgruppen MPH/AT/CFD.
In: Bremen.

Kathrin Skinder, Q. Wang, H. Ibrahim, und G. Brenner:
„Numerische Mehrphasen-Simulationen für einen digitalen Zwilling des Bohrprozesses bei Geothermieprojekten“. Gehalten am: 16.05.2024.
Anlässlich: DGMK/ÖGEW Frühjahrstagung.
In: Celle.

Shahab Mohammadi und Gunther Brenner:
„Analytical and Numerical Calculation of Heat Transfer in Geothermal Systems for Energy Storage and Extraction“. Gehalten am: 16.05.2024.

Anlässlich: DGMK/ÖGEW Frühjahrstagung.
In: Celle.

Shahab Mohammadi und Gunther Brenner:
„Transiente Wärmeübertragung in geothermischen Systemen“.
Gehalten am: 16.05.2024.
Anlässlich: DGMK/ÖGEW Frühjahrstagung.
In: Celle.

Aufsätze in referierten Fachzeitschriften/ Articles in scientific journals

Huhao Gao, Dejian Zhou, Tatomir, K. Li, Leonhard Ganzer, Philip Jaeger, Gunther Brenner und Martin Sauter:
„Estimation of Recovery Efficiency in High- Δ Temperature Aquifer Thermal Energy Storage Considering Buoyancy Flow“.
Water Resources Research
Bd. 60 (2024), H.11, Artikelnummer:
e2024WR037491.
DOI: 10.1029/2024WR037491.

Dejian Zhou, Ke Li, Huhao Gao, Leonhard Ganzer, Martin Sauter, Philip Jaeger, und Alexandru Tatomir:
„CO₂ high-temperature aquifer thermal energy storage (CO₂ HT-ATES) feasible study: Combining the heating storage and CCUS“.
Gas Science and Engineering
Bd. 122 (2024), Artikelnummer: 205224.
DOI: 10.1016/j.jgsce.2024.205224.

Dejian Zhou, Ke Li, Huhao Gao, Alexandru Tatomir, Martin Sauter und Leonhard Ganzer:
„Techno-economic assessment of high-temperature aquifer thermal energy storage system, insights from a study case in Burgwedel, Germany“.
Applied Energy
Bd. 372 (2024), Artikelnummer: 123783.
DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.123783.

Dejian Zhou, Alexandru Tatomir, Huhao Gao, Quan Liu und Martin Sauter:
„Influences of directional aperture heterogeneity on the performances of two-phase enhanced geothermal system considering the CO₂ buoyant force“.
International Journal of Heat and Mass Transfer
Bd. 228 (2024), Artikelnummer: 125611.
DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125611.

Dejian Zhou, Alexandru Tatomir, Quan Liu, Ke Li, Huhao Gao, und Martin Sauter:
„Effects of thermoelasticity induced aperture variation on performances of Enhanced geothermal system“.
Applied Thermal Engineering
Bd 248(B)(2024), Artikelnummer: 123308.
DOI:10.1016/j.applthermaleng.2024.123308.

2025

Abschlussarbeiten/Theses

Rahinossadat Hashemi:
„Einsatz der Quantenberechnung zur Berechnung der konduktiven Wärmeübertragung“
Masterarbeit, TU Clausthal, 2025.

Haidar Weam:
„Investigation of Rock Mechanical Properties for Developing Numerical Models to Enhance Drilling Performance in Crystalline Applications – HyperDrill“.
Masterarbeit. TU Clausthal, 2025.

Jinghui Wei:
„Modellierung und numerische Berechnung des Energietransports in einem geothermalen Wärmetauscher, Modellierung von Reservoir mit Golem Moose“.
Masterarbeit, TU Clausthal, 2025.

Yves Vivien Mama Mama:
„Numerische Simulation von Partikeltransport Mit Ansys Rocky“.
Bachelorarbeit. TU Clausthal, 2025.

Linyue Wang:
„Gitterkonvergenzanalyse in OpenFOAM für die Simulation von Wärmesonden“
Bachelorarbeit, TU Clausthal, 2025.

Konferenzpaper

Roger Aragall, Gunther Brenner, Roland May, und Thomas Dahl:
„Investigating Transitional Flow Regimes in Annular Fluid Flow for Drilling Applications“.
ASME 2025 44th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Vancouver, BC, Canada, 22.–27.06.2025.
Proceedings of the ASME 2025 44th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic

Engineering: Volume 6: Offshore Geotechnics; Petroleum Technology.
Livingston: ASME, 2025. – ISBN 978-0-7918-8895-7. - Artikelnummer: V006T11A012
DOI: 10.1115/OMAE2025-156054.

Konferenzposter

Shahram Mohammadi, Gunther Brenner, Leonhard Ganzer, Ines Hauer, Philip Jaeger, Lars Kühl und Martin Sauter:
„Berechnung von Wärmeverlusten in geothermischen Bohrungen: Einfluss von instationären Effekten und Komplettierung“.
DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung, Papenburg, 07.-08.05.2025
Subsurface Innovations and Insights – guarantors for a sustainable energy landscape: DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung: Tagungsbericht/DGMK.
Hamburg : DGMK, 2025. – ISBN 978-3-947716-70-8. - S. 136–137.

Shahram Mohammadi, H. Samara, W. Kobby Jones und Philip Jaeger:
„Investigation of Thermophysical Properties of CO₂-Saturated Brine Solutions Under Varied Temperature and Pressure Conditions“.
DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung, Papenburg, 07.–08.05.2025.
Subsurface Innovations and Insights – guarantors for a sustainable energy landscape: DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung : Tagungsbericht/DGMK.
Hamburg: DGMK, 2025. – ISBN 978-3-947716-70-8. - S. 307.

Wang, Qiaoleiyue, und Gunther Brenner:
„Modellierung einer geschlossenen Zweiphasen-Thermosyphon Sonde für mitteltiefe Geothermie“.
Celle Drilling, Celle, 16. –17.09 2025.

Patent

Srdja Zekovic und Joerg Lehr:
„Sensor Mouting Method under Cover Sleeve for Logging While Drilling and Measurement While Drilling Downhole Tools“.
Patentnummer: WO2025160317A1.
Datum der Einreichung: 31 Juli 2025.
PCTUS2025012833.

Vortrag

Qiaoleiyue Wang:
„Modellierung einer geschlossenen Zweiphasen-Thermosyphon Sonde für mitteltiefe Geothermie“.
Gehalten am: 27.03 2025.
Anlässlich: Gemeinsames Jahrestreffen der DECHEMA/VDI Fachgruppen 2025.
In: Clausthal-Zellerfeld.

Qiaoleiyue Wang, Gunther Brenner, und Philip Jaeger:
„Modellierung einer geschlossenen Zweiphasen-Thermosyphon-Sonde für mitteltiefe Geothermie“.
Gehalten am: 08.05 2025.
Anlässlich: DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung.
In: Papenburg.

Gunther Brenner, Leonhard Ganzer, Ines Hauer, Philip Jaeger, Lars Kühl, Martin Sauter, Mohammadi, u.a.:
„Möglichkeiten und Grenzen thermischer Energiespeicherung in tiefen Aquiferen (Georeservoirs) im Rahmen der Wärmewende 2030 (GeoTES)“.
Gehalten am: 17.06.2025.
Anlässlich: BMBF-Statusseminar zum Themenschwerpunkt „Thermische Energiespeicherung in Aquiferen“.
In: Goslar.

K. Skinder, H. Ibrahim, K. Shahid, M. Moghadasi, und G. Brenner:
„Modellierung von mehrphasigen Strömungen in der Tiefbohrtechnik“.
Gehalten am: 27.06.2025.
Anlässlich: Norddeutsches Mechanik-Kolloquium.
In: Clausthal-Zellerfeld.

Jörg Lehr und Laurent Gerbaud:
„Percussive and shearing drilling techniques in crystalline and hard rock formations“.
Gehalten am: 16.09.2025.
Anlässlich: Celle Drilling 2025
In: Celle.

Jörg Lehr und Jens-Peter Springmann:
„Geothermie-Projekte in Norddeutschland“.
Gehalten am: 08.11.2025.
Anlässlich: Energieforum (CDU Niedersachsen).
In: Walsrode.

K. Skinder, H. Ibrahim, K. Shahid, M. Moghadas and G. Brenner:
 „Modellierung von mehrphasigen Strömungen in der Tiefbohrtechnik“.
 Gehalten am: 27.06.2025.
 Anlässlich: Norddeutsches Mechanik-Kolloquium.
 In: Clausthal-Zellerfeld.

Aufsätze in referierten Fachzeitschriften/ Articles in scientific journals

H. Gao, Dejian Zhou, A. Tatomir, K. Li, M. Al-Eryani, S. Mohammadi und M. Sauter:
 „Effects of Calcite Reactions on Aquifer Permeability in High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage“.
 Hydrogeology Journal
 Bd. 33 (2025), H. 3, S. 653–669.
 DOI:10.1007/s10040-025-02899-y.

Shahram Mohammadi, William Kobby Jones, Philip Jaeger und Hanin Samara:
 „Experimental Investigation of Thermophysical Properties in CO₂-Saturated Brine under Variable Temperatures (303 to 333 K), Pressures (0.1 to 30 MPa), and Salt Types and Concentrations“.
 Discover Applied Sciences
 Bd. 7 (2025), H.9, S. 984.
 DOI: 10.1007/s42452-025-07557-2.

Qiaoleiyue Wang, Philip Jaeger und Gunther Brenner:
 „Modellbasierte Analyse Einer Geschlossenen Zweiphasen-Thermosyphon-Sonde Für Mitteltiefe Geothermie“.
 EEK-Technologie & Transformation von Fossilen Und Grünen Energieträgern.
 Bd. 141, Nr. 12 (2025), S. 38–48.
 DOI: 10.19225/251202.

Dejian Zhou, Alexandru Tatomir, Huhao Gao, Ke Li, Leonhard Ganzer, Gunther Brenner, Philip Jaeger und Martin Sauter:
 „Analysis of high-temperature aquifer thermal energy storage system performances with heterogeneous permeability distribution, insights from a case study in Burgwedel, Germany“.
 Journal of Energy Storage
 Bd. 120 (2025), Artikelnummer: 116467.
 DOI: 10.1016/j.est.2025.116467.

Dejian Zhou, Alexandru Tatomir, Huhao Gao, Quan Liu und Martin Sauter:
 „Thermo-sensitive tracer technology to monitor the movement of thermal front in geothermal energy production“.
 Energy Conversion and Management
 Bd. 341 (2025), Artikelnummer: 120056.
 DOI:10.1016/j.enconman.2025.120056.

Vortrag

LI, Ke, 2023a. „High Temperature Aquifer Energy Storage (HT-ATES) in Northern Germany“. Sino-German Underground Clean Energy System Forum. Conference. Chengdu, China. 22 September 2023.

LI, Ke, 2023b. „Möglichkeiten und Grenzen thermischer Energiespeicherung in tiefen Aquiferen (Georeservoiren) im Rahmen der „Wärmewende 2030“. GeoTES. invitation presentation. SouthwestJiaotong Universtiy, ChengDu, China. Oktober 2023.

Mohammadi, Shahab, 2023. „Modeling of heat and mass transfer in geothermal systems for energy storage and extraction“. Celle Drilling 2023 [online]. Conference. Celle, Germany. September 2023. Verfügbar unter: www.celle-drilling.com/program/conference-program-2023/.

Zeitschriftenartikel

Brenner, Gunther und Jens-Peter Springmann, 2023a. „Erdwärme umweltgerecht und wirtschaftlich nutzen“. Technologie-Informatio-
 nen: ti. 2023. Bd. 2, S. 18.

Brenner, Gunther und Jens-Peter Springmann, 2023b. „Erdwärme umweltgerecht und wirtschaftlich nutzen: Risiken ermitteln, Technik entwickeln, Potenzial erschließen.“ [online]. 2023. [Zugriff am: 11 September 2023]. DOI 10.60479/72BJ-H806. Verfügbar unter: <https://www.wissenhochn.de/de/themen/auswahl-und-uebersicht/einzelansicht/erdwaerme-umweltgerecht-und-wirtschaftlich-nutzen>.

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, TU Clausthal

Bildnachweis

stock.adobe.com: S. 4 (©Panya Studio); S. 8 (©wutzkoh); S. 14, 46 (©Alex from the Rock); S. 56 (©chones); S. 60 (©Suphansa)

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

April 2026

www.tu-clausthal.de