

- ▶ **Wärme und Kälte aus dem Grundwasser:** Geothermie für das Uniklinikum Köln
- ▶ **Ultra-Vernebelung:** Mehr Strom durch innovative Methode
- ▶ **Frauen in der Geothermie:** Interview mit Prof. Dr. Inga Moeck
- ▶ **Aus der Praxis:** Monitoring von kalten Nahwärmenetzen

N^o 111
Juni 2025

Geothermische Energie

Fachzeitschrift für
geothermische Forschung und Anwendung
in Deutschland, Österreich und der Schweiz



Der Geothermie Kongress

18.–20. November 2025

Frankfurt am Main

HOLM – House of Logistics and Mobility



**CALL
FOR PAPERS**
Jetzt noch schnell
sein und Beiträge
bis zum **30. Juni**
einreichen!

Das Branchenevent des Jahres: Seien Sie dabei!



Partnerregion
Großbritannien

- Vielfältige Sessions, praxisnahe Workshops und spannende Exkursionen
- Networking & neue Business-Kontakte in der begleitenden Ausstellung
- Gemeinsamer Gesellschaftsabend – Austausch in entspannter Atmosphäre
- Technische Innovationen und Good-Practice-Beispiele

www.der-geothermiekongress.de

HAUPTWISSENSCHAFTSPARTNER



GOLDSPONSOREN & -PARTNER



SILBERPONSOR



PLATINSPONSOREN & -PARTNER



Ideelle Partner:



Medienpartner:

Eine Veranstaltung des
Bundesverbands Geothermie e. V.



Editorial

Liebe Leser*innen,

»Gut Ding braucht Weile«, das haben sich auch die Politiker*innen in Österreich nach der Nationalratswahl Ende September 2024 gedacht. Es hat insgesamt 137 Tage gedauert, bis am 3. März 2025 die österreichische Regierung vereidigt worden ist – ein Rekord, dies war die längste Zeit, die für eine Regierungsbildung in der Zweiten Republik benötigt worden ist.



Dieser lange Zeitraum und die zunächst unsichere Zusammensetzung der Bundesregierung hatte in den Branchen der Erneuerbaren Energien zu enormer Verunsicherung geführt, vor allem darüber, welchen Stellenwert die Erneuerbaren in Österreich zukünftig noch haben werden. Umso erfreulicher ist es, dass es der Ausbau der Erneuerbaren und insbesondere die langersehnte Schaffung von Rechtsrahmen für die Geothermie ins Regierungsprogramm geschafft haben.

Die Regierung möchte eine Bundesstrategie für Geothermie ausarbeiten, bei der konkrete Ausbaueile definiert werden sollen, inkl. der Formulierung von dafür notwendigen Umsetzungsschritten. Risikobasierte Förderinstrumente sollen geschaffen werden, um mögliche Fehlbohrungen und Fündigkeitsunsicherheiten abzusichern. Zudem sollen gesetzliche Regelungen im Mineralrohstoffgesetz (Verfügungsrecht, Aufbereitung des Mediums, etc.) und Wasserrecht (Duldungspflicht, Nutzung des Wärmehalts von Tiefenwasser, etc.) gesetzt werden. Dem Vorantreiben des »Erneuerbaren-Ausbau« mit der Transformation des Wärmesektors (sowohl bei Gebäuden als auch bei Produktionsprozessen) in Kombination mit der geplanten energetischen Sanierung im Gebäudesektor (durch Renovierung und Heizungsumstellung) stehen wir optimistisch und positiv entgegen. In der Geothermie ist der Ruf nach Planungssicherheit groß, das geplante Regierungsprogramm dürfte diesen gehört haben.

Neben einer neuen Regierung ist auch sonst viel los in Österreich. Wien war im Mai Austragungsort der »Geothermal District Heating & Cooling Days« und am 23. Juni findet der »7. Wiener Erdwärmetag« statt. Kommen Sie gerne vorbei!

Und wie jedes Jahr möchten wir, der Verein Geothermie Österreich (GTÖ), zu unserem jährlichen Geothermie Symposium einladen, der dieses Jahr vom 5. bis 7. November 2025 in der Stadt Salzburg stattfinden wird. Unter dem Motto »Geothermie im Voralpenland« liegt der Fokus auf den spezifischen Herausforderungen und Potenzialen dieser Region, insbesondere in und um Salzburg, Bayern und der weiteren Umgebung des Voralpenlandes. Der GTÖ freut sich sehr auf Ihren Besuch und wünscht Ihnen viel Vergnügen bei den vorstehenden Events.

Zu guter Letzt viel Spaß beim Lesen!

Karl Weidlinger
Obmann des Vereins Geothermie Österreich

Inhalt | Heft 111 | Juni 2025

01 Editorial

03 Panorama

Tiefe Geothermie

04 Steigerung von geothermischer Stromproduktion im Sommer durch Ultra-Vernebelung

TEXT: Joseph Piotrowski, Heiner Menzel, Jijo Johnson und Markus Cechovsky

06 Leitfaden für die hydrochemische Charakterisierung von geothermischen Fluiden

TEXT: Emiliano Stopelli, Nicole Lupi und Thomas Galfetti

08 MTD® - Verbesserte hydraulische Konnektivität zwischen Bohrung und Reservoirgestein durch Micro-Side-tracks

TEXT: Niklas Geissler und Jörn Schlüsener

10 Monte-Carlo-Simulation: Für mehr Investitionssicherheit in der Geothermie

TEXT: Marco Meirich

Oberflächennahe Geothermie

12 Was tun mit all den Daten? - Monitoring (kalter) Nahwärmenetze und geothermischer Anlagen

TEXT: David Kuntz

16 Wärme- und Kälteversorgung des Campus der Uniklinik Köln mittels Grundwassernutzung

TEXT: Lars Kühl, Stephanie Budde und Franziska Harstrick

18 Bewertung der Temperaturänderung durch geothermische Nutzung von Grundwasserleitern

TEXT: Traugott Scheytt

Forschung und Entwicklung

22 »Vom Kohle- zum Wärmebergbau«: Neues Fraunhofer Reallabor für Geothermie im Rheinland

TEXT: Rolf Bracke und Martin Albers

24 Geothermie-Allianz Bayern - angewandte Verbundforschung um weitere vier Jahre verlängert

TEXT: Nora Medgyesi, Wolfgang Bauer, Michael Drews, Kai Zosseder, Joachim Wassermann, Florian Heberle und Christopher Schifflechner

26 Feature articles of Journal »Geothermal Energy - Science, Society and Technology«

Aus dem Verband

28 Mehr Sichtbarkeit für Frauen in der Geothermie: Prof. Dr. Inga Moeck im Portrait

Meinung

30 Stellungnahme zum BVEG-Leitfaden »Wirtschaftliche Bewertung geologischer Risiken von tiefergeothermischen Projekten«

TEXT: Rüdiger Schulz

34 Warum Deutschland eine »Geothermie AG« braucht

TEXT: Ulrich Lotz

36 Langzeiterfahrungen mit Erdwärmesonden: Erkenntnisse aus 40 Jahren Betrieb

LESEBRRIEF: Klaus F. Stärk

Veranstaltungen

38 Geothermiebranche trifft sich zum EGC in Zürich

38 Erfolgreicher Auftakt für das Wissenschaftsjahr

Kurzgefasst

39 Kalender

40 Präsidien



Gute Basis mit Luft nach oben: Geothermie im Koalitionsvertrag

Die Parteigremien und Parteimitglieder von CDU/ CSU und SPD haben dem Koalitionsvertrag zugestimmt. Geothermie spielt im Regierungsprogramm für die kommende Legislatur eine wichtige Rolle, dennoch müssen wichtige Weichen jetzt gestellt werden.

Der Bundesverband Geothermie e. V. (BVG) begrüßt die vielfältigen Maßnahmen für den Geothermieausbau in Deutschland ausdrücklich. Vier zentrale Punkte sind besonders positiv zu bewerten: Das geplante verbesserte GeoWVG, die geplante Einführung eines Instruments zur Absicherung der Fündigkeit, die gesetzliche Regelung und Aufstockung der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) sowie die im Koalitionsvertrag angestrebte Entlastung um 5 ct pro Kilowattstunde.

Entscheidend ist, dass die genannten Maßnahmen möglichst zügig implementiert werden, denn die Umsetzung der Wärmewende duldet keinen Aufschub. Der BVG fordert einen Ausbaupfad für alle geothermischen Technologien bis zum Jahr 2045. In diesem Zusammenhang hält er weitere Maßnahmen für sinnvoll:

- › Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) verbessern
- › Marktelement in der Fernwärmeverordnung anpassen, Geothermie mitdenken
- › Privilegierung im Außenbereich für Geothermieanlagen festschreiben
- › Bessere Adressierung der oberflächennahen Geothermie

NRW: Förderung für Geothermie-Projekte ausgebaut

Das Land Nordrhein-Westfalen hat seine Unterstützung für Geothermieprojekte erheblich ausgeweitet. Ab sofort werden auch Erkundungsbohrungen gefördert, um die Nutzung von Erdwärme weiter voranzutreiben. Die neuen Fördermaßnahmen umfassen:

- › **Förderung für Erkundungsbohrungen:** Unternehmen können Zuschüsse von bis zu 60 % der Kosten für Erkundungsbohrungen erhalten mit einer maximalen Förderung von 8 Mio. €.
- › **Verbesserte Risikoabsicherung:** Das Land übernimmt Fündigkeitsrisiken und sichert die erste Bohrung mit 60 % der beihilfefähigen Kosten ab, bis zu einem Maximum von 10 Mio. €.
- › **Ausbau des Förderprogramms:** Über einen Fonds der NRW.BANK stehen insgesamt 40 Mio. € für das Programm »progres.nrw - Risikoabsicherung hydrothermale Geothermie« zur Verfügung, wodurch die Mittel des Masterplans Geothermie verdoppelt werden.

Die neuen Förderungen können seit dem 8. April 2025 beantragt werden. Bislang wurden bereits neun Anträge gestellt, darunter acht für projektvorbereitende Studien und ein Antrag für eine 2D-Seismik im Raum Aachen (Stand: April).



GeoTHERM 2025 zieht 30 % mehr Teilnehmende an

»Die GeoTHERM 2025 erlebte eine beispiellose Internationalität«, sagte Messe-Chef Frank Thieme. »In diesem Jahr durften wir 280 Ausstellende aus 23 Nationen willkommen heißen - darunter Australien, China, Japan, Kanada, die Vereinigten Arabischen Emirate und die USA. Diese beeindruckende Vielfalt zeigt, dass die Geothermie längst ein globales Thema ist und die GeoTHERM eine entscheidende Plattform für den internationalen Austausch bietet.«

Doch nicht nur die Internationalität setzt neue Maßstäbe - auch die Präsentationen der Unternehmen werden immer eindrucksvoller. »Unsere Aussteller bringen zunehmend großformatige Exponate mit«, erklärte Projektleiterin Gabriele Weislogel. »Von Bohrgeräten für die oberflächennahe Geothermie über hochmoderne Messtrucks für seismische Messungen bis hin zu innovativen Speichersystemen - die GeoTHERM 2025 war ein echtes Erlebnis für das Fachpublikum.«

Insgesamt nahmen an der diesjährigen Veranstaltung 8.522 Menschen teil (Vorjahr 6.509). Im nächsten Jahr findet sie am 26. und 27. Februar 2026 in Offenburg statt.

Steigerung von geothermischer Stromproduktion im Sommer durch Ultra-Vernebelung

TEXT: Joseph Piotrowski, Heiner Menzel, Jijo Johnson und Markus Cechovsky



Dr.-Ing. Joseph Piotrowski
Geothermal Technology
Development Manager
Vulcan Energie
Ressourcen GmbH
Kontakt:
jpiotrowski@v-er.eu
<https://v-er.eu>



Dr. Heiner Menzel
Head of R&D Geothermal
Vulcan Energie
Ressourcen GmbH
Kontakt:
hmenzel@v-er.eu
<https://v-er.eu>



Jijo Johnson
Project Engineer
Vulcan Energie
Ressourcen GmbH
Kontakt:
jjohnson@v-er.eu
<https://v-er.eu>

Die Tage werden länger und wärmer – der Sommer steht vor der Tür! Doch für die Geothermiebranche bringen die hohen Außentemperaturen eine Herausforderung mit sich: Da weniger Restwärme an die Umgebung abgegeben werden kann als im Winter, sinkt die geothermische Stromproduktion im Sommer je nach Tageszeit stark. Um dem entgegenzuwirken, wurde am Geothermiekraftwerk in Insheim eine Vernebelungsanlage eingebaut. Wie genau sie funktioniert und welchen Einfluss sie auf die Produktivität des Kraftwerks hat, darum soll es im Folgenden gehen.

Das Geothermiekraftwerk in Insheim, das seit Januar 2022 Teil der Vulcan Gruppe ist, produziert seit 2012 grünen Strom für ca. 6.500 Haushalte in der Region. Im Kraftwerk wird Thermalwasser mit einer Temperatur von ca. 165 °C aus 3.600 m Tiefe gefördert, in einem Organic-Rankine-Cycle (ORC, Kreisprozess) auf ca. 60 °C [Winter] bzw. 80 °C (Sommer) abgekühlt und anschließend zurück in den Untergrund injiziert. Die thermische Energie des Thermalwassers erhitzt und verdampft im ORC-Kreisprozess das organische Arbeitsmittel Isopentan, welches anschließend eine Turbine antreibt. Nach dem Turbinenaustritt wird das Arbeitsmittel mit Hilfe von Luftkühlern kondensiert und vollständig verflüssigt. Anschließend fördert eine Pumpe das flüssige Arbeitsmittel in die Vorwärmer und den Verdampfer, wo es wieder verdampft wird und damit den Kreisprozess schließt. Die Turbine treibt einen Generator mit einer installierten Leistung von ca. 4,8 MW_{el} an. Der produzierte Strom wird in das lokale 20 kV Netz eingespeist.

Im zuvor beschriebenen Kreisprozess zur Stromerzeugung muss die Entropie, welche hauptsächlich bei der Verdampfung des Arbeitsmittels entsteht, aus thermodynamischen Gründen mit Hilfe von Wärme abgeführt werden. Während der Sommermonate limitiert die hohe Außentemperatur der Umgebung die Wärmeabfuhr über die Luftkühler. Dies führt u. a. zu einer geringeren geothermischen Stromproduktion im Sommer als im Winter. Um die Stromproduktion an heißen Sommertagen dennoch zu steigern, wurde im Rahmen des EU geförderten Projekts GeoSmart eine Ultra-Vernebelungsanlage unter einem Teil des Luftkühlerfeldes installiert und in Betrieb genommen. Neun der 30 Ventilatoren des Luftkühlerfeldes können dadurch vernebelt werden. Gleichzeitig ermöglicht eine Referenzmessung an nicht vernebelten Ventila-

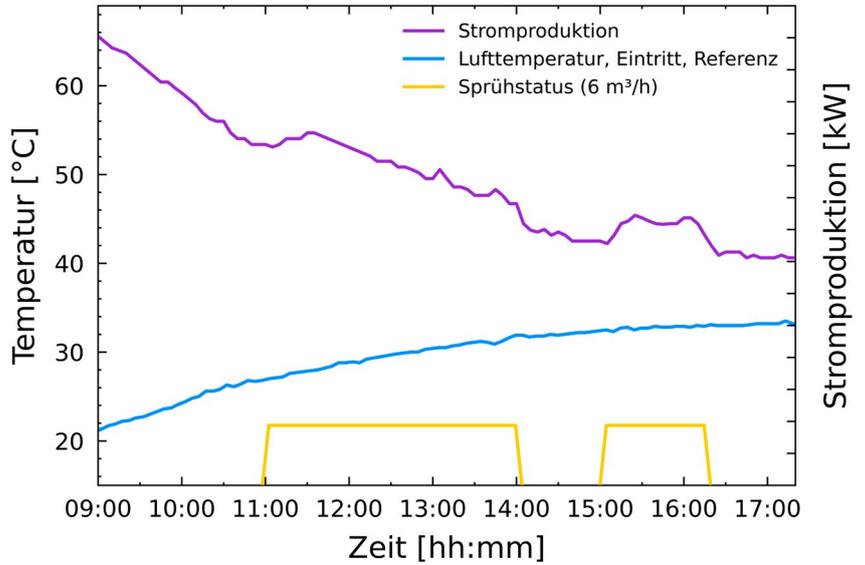
latoren die Analyse des Kühleffekts. Für die Nebelerzeugung wird Grundwasser mit Hilfe einer Umkehrosmoseanlage aufgereinigt. Das aufbereitete Grundwasser mit einer Leitfähigkeit von ca. 15 µS/cm wird anschließend mit Hochdruckpumpen zu kleinen Düsen unter dem Luftkühlerfeld gefördert und dort fein vernebelt. Die schnelle Verdunstung der (Nebel-)Aerosole führt zu einer lokalen Absenkung der Lufttemperatur, wodurch die Stromproduktion gesteigert wird.

Die Installation und den Betrieb der Vernebelungsanlage zeigt Abb. 1. Das runde Gehäuse eines Ventilators am oberen Bildrand (ca. 4 m Durchmesser) und der gelbe Handlauf (ca. 1,3 m Höhe) verdeutlichen die Dimensionen der Anlage. In den beige Boxen mit je 250 Schrauben für 250 Rohrleitungen (in die Bildfläche hineinlaufend) wird das Arbeitsmittel verflüssigt. Die Auslässe unter den Boxen leiten das Arbeitsmittel in die querverlaufende Sammelleitung. Etwa 1 m unter der Sammelleitung sind die Zulaufleitungen für das Vernebelungssystem mit den darunter verlaufenden Hochdruckleitungen mit Düsen zu sehen, an denen das aufbereitete Wasser mit ca. 70 bar zerstäubt wird. Der Ventilatorluftstrom saugt den Nebel zu den Arbeitsmittelrohrleitungen, wobei die (Nebel-)Tröpfchen verdunsten und die Luft abkühlen.

Die Ergebnisse der ersten Sprühversuche zeigten eine Abkühlung der Luft am Eintritt der neun Ventilatoren um mehrere Grad Celsius je nach Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit. Die Auswirkung dieses Kühleffekts auf die Stromproduktion ist zusammen mit der Umgebungstemperatur über der Dauer eines Versuchs in Abb. 2 dargestellt. Man erkennt, dass die Umgebungstemperatur von 20 °C um 9 Uhr auf 32 °C um 16 Uhr stetig anstieg. Gleichzeitig nahm die Stromproduktion zwischen 9 Uhr und 11 Uhr



▲ Abb. 1: Vernebelungssystem unter dem Luftkühlerfeld im Betrieb



▲ Abb. 2: Stromproduktion, Umgebungstemperatur und Sprühstatus über die Zeit eines Sprühversuchs © Joseph Piotrowski

stetig ab, was auf die limitierte Wärmeabfuhr an die Umgebung zurückzuführen ist. Mit dem Start des Versprühens von 6 m³ aufgereinigtem Wasser pro Stunde um 11 Uhr sank die Stromproduktion weniger stark als zuvor, obwohl die Umgebungstemperatur weiterhin nahezu linear zunahm. Beim Stopp des Versprühens um 14 Uhr bzw. 16 Uhr fiel die Stromproduktion stark ab, wohingegen beim erneuten Start des Sprühens um 15 Uhr die Stromproduktion sprunghaft anstieg. Diese Steigerung der Stromproduktion um ca. 5 % bei erneutem Start des Sprühens zeigt deutlich den positiven Effekt der Kühlung durch Ultra-Vernebelung.

Beim vorgestellten Versuch wurden nur neun der 30 Ventilatoren vernebelt und trotzdem konnte bereits eine positive Auswirkung des

Kühleffekts auf die Gesamtstromproduktion verzeichnet werden. Eine Vernebelung aller 30 Ventilatoren würde folglich eine zusätzliche Leistungssteigerung mit sich bringen. Weitere Sprühversuche mit variablen Fließraten für die Nebelerzeugung sollen helfen, den Kühleffekt besser zu quantifizieren und betriebliche Erfahrungen zu sammeln. Zudem sind Analysen zu Aufwand und Nutzen der gesteigerten Stromproduktion durch Ultra-Vernebelung geplant. ♦

© 2025 GeoSmart-Projekt: Dieses Projekt wurde durch das Forschungs- und Innovationsprogramm »horizon2020« der Europäischen Union finanziert. Identifikation/Zuwendungsnummer: 818576. <https://www.geosmartproject.eu/>



Markus Cechovsky
Geschäftsführer
Natürlich Insheim GmbH
Kontakt:
mcechovsky@v-er.eu
<https://natuerlich-pfalz.eu/geothermiekraftwerk-insheim>

Unsere Expertise für Ihren Geothermie-Erfolg **K-UTEC**

Genehmigungswesen		Wir erstellen Antragsunterlagen		Mitglied bei	 Bundesverband Geothermie
Planung Erkundungsseismik		Wir planen Ihre Erkundungsseismik		Kontakt:	
Seismisches Monitoring		Wir überwachen die Seismizität		Dr. Sebastian Lüning	Tel. 0151-414 70 442
Lithium Extraktion		Wir gewinnen geothermales Lithium		K-UTEC AG	Sebastian.Luening@k-utec.de
				www.k-utec.de/geothermie	



► Abb. 1: Luftaufnahme der geothermischen Bohranlage in Vinzel (Kanton Waadt, Schweiz)

Leitfaden für die hydrochemische Charakterisierung von geothermischen Fluiden

TEXT: Katharina Link, mit Beiträgen von Emiliano Stopelli, Nicole Lupi und Thomas Galfetti

Die Tiefe Geothermie ermöglicht eine umweltfreundliche und einheimische Wärmeversorgung oder Stromproduktion. Geothermische Fluide können hierbei die Erdwärme an die Oberfläche transportieren. Eine präzise hydrochemische Charakterisierung dieser Fluide ermöglicht ein besseres Verständnis ihrer Eigenschaften, ihrer Herkunft und Fließwege im Untergrund sowie ihres Nutzungspotenzials. Eine genaue Analyse unterstützt die Prognose potenzieller Herausforderungen im Betrieb, wie Ablagerungen, Korrosion oder Entgasung, und ermöglicht im Vorfeld die Auswahl geeigneter Anlagenkomponenten. Des Weiteren gibt sie Auskunft über eventuell enthaltene kritische Rohstoffe wie Lithium.



Emiliano Stopelli
Senior Specialist
Collaboration
Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver
Abfälle (Nagra)

Für den Erfolg eines geothermischen Projekts kann eine gründliche Analyse der geothermischen Fluide von entscheidender Bedeutung sein. Die Informationen über die Eigenschaften geothermischer Fluide sind jedoch noch spärlich und durch eine große Heterogenität in Bezug auf Quantität und Qualität der hydrochemischen Daten gekennzeichnet. Das Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) und das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) haben daher einen Leitfaden für die hydrochemische Charakterisierung von geothermischen Fluiden veröffentlicht. Dieser basiert auf dem umfangreichen Fachwissen, das die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) im Rahmen ihrer Tiefbohrkampagne erworben hat. Das Ziel ist, Projektentwickler*innen und Behörden dabei zu unterstützen, hydrochemische Probenahmen und Analysen im Rahmen eines Geothermieprojekts strategisch einzubinden, die An-

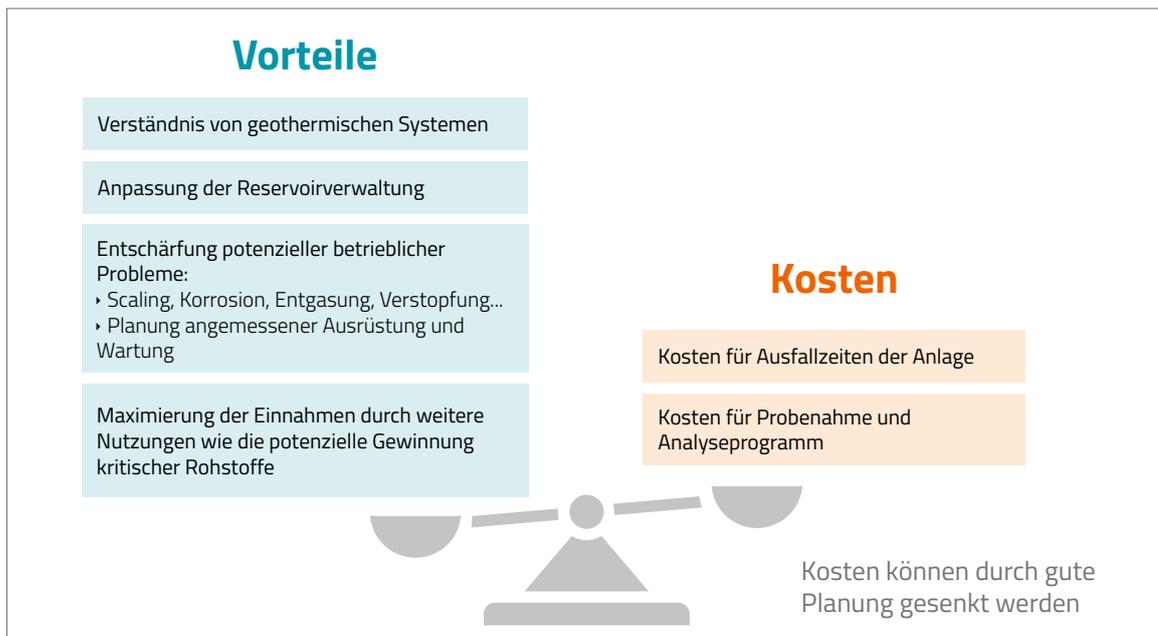
wendung bewährter Verfahren zu fördern und so die Erhebung homogener und robuster Daten zur Hydrochemie geothermischer Fluide zu erleichtern. Zudem weist der Leitfaden darauf hin, möglicherweise wirtschaftlich interessante Konzentrationen kritischer Rohstoffe zu überprüfen.

Dieser Leitfaden behandelt mehrere Herausforderungen im Zusammenhang mit der Hydrochemie eines geothermischen Fluids, wie z. B.

- die Notwendigkeit, das Probenahme- und Analyseprogramm flexibel an die verschiedenen Phasen eines Geothermieprojekts anzupassen;
- mehrere Probenahmetechniken bei Vorhandensein von Flüssig-, Gas- und Dampfphasen anzuwenden;
- verschiedene Probenahme- und Fixierungstechniken einzusetzen, um Informationen über



Nicole Lupi
Spezialistin für
Tiefe Geothermie
Bundesamt für Energie (BFE)



◀ Abb. 2: Vorteile und Kosten im Vergleich. Der Mehrgewinn überwiegt den Aufwand und die Kosten.

das Fluid sowohl auf der Bohranlage (vor Ort) als auch im Labor (außerhalb der Anlage) zu sammeln;

- die Notwendigkeit, einen Plan zu entwickeln, um die Analyseergebnisse zu interpretieren und auf die ursprünglichen Bedingungen des Aquifers zurück zu korrigieren.

Der Leitfaden unterstützt Projektentwickler*innen wie Behörden bei der strategischen Implementierung der Hydrochemie bei der Planung eines Geothermieprojekts, bei der Evaluierung und Auswahl der besten hydrochemischen Probenahme- und Analysepakete zur Charakterisierung der Fluid-Eigenschaften sowie bei der Förderung der Übernahme einheitlicher Praktiken und Qualität und damit bei der Schaffung einer Referenzdatenbank für geothermische Fluide.

Der Leitfaden umfasst zunächst eine Checkliste, welche durch den Leitfaden führt und sicherstellt, dass die Hydrochemie korrekt umgesetzt wird. Zudem wird ein Beispiel gegeben, wie ein hydrochemisches Probenahme- und Analyseprogramm für mehrere Projektphasen festgelegt und flexibel angepasst werden kann.

Er gibt einen Überblick über die wichtigsten hydrochemischen Prozesse, die die Zusammensetzung eines geothermischen Fluids verändern: Korrosion, Ablagerung und Entgasung. Das Verständnis dieser Prozesse ist sowohl für die angemessene Entnahme einer repräsentativen Probe (und damit für die Gewährleistung qualitativ hochwertiger Analyseergebnisse) als auch für die Bewertung der häufigsten Ursachen für Hardware-Schäden und die Verringerung der Bohrloch-Effizienz von Bedeutung.

Probenahmestrategien für die verschiedenen Phasen eines Geothermieprojekts, für die Entnahme von Proben bei Vorhandensein mehrerer Phasen (Wasser/Gas/Dampf) und für Optionen zur weiteren Entnahme von Proben im Bohrloch oder bei kontrolliertem Druck werden erläutert.

Eine Reihe von geeigneten hydrochemischen Analysen für die Charakterisierung geothermischer Systeme wird vorgeschlagen, wobei der Schwerpunkt auf der Probenfixierung, den Analysemethoden und der Relevanz der aus den Analysen gewonnenen Informationen liegt.

Es werden weitere hydrochemische Herausforderungen im Zusammenhang mit bohrlochspezifischen Bedingungen vorgestellt, sowohl für die Erkundung als auch für die Produktion. Als solches bildet dieser Aspekt einen integralen Bestandteil des Leitfadens und ergänzt die Informationen aus den beiden vorangehenden Teilen, um über die endgültige hydrochemische Probenahmemethodik und Analysestrategie zu entscheiden.

Der Leitfaden enthält zudem Informationen über die Qualitätskontrollen, die an den Ergebnissen der hydrochemischen Analyse vorzunehmen sind, sowie einige Hinweise zur weiteren Korrektur und Interpretation der Analyseergebnisse auf der Grundlage der hydrochemischen Modellierung.

Zuletzt befasst er sich mit der Datenverwaltung und -speicherung der Analyseergebnisse von Fluidproben. ♦



Thomas Galfetti
Koordinator Mineralische Rohstoffe
Bundesamt für Landestopografie (swisstopo)

Download des Leitfadens:



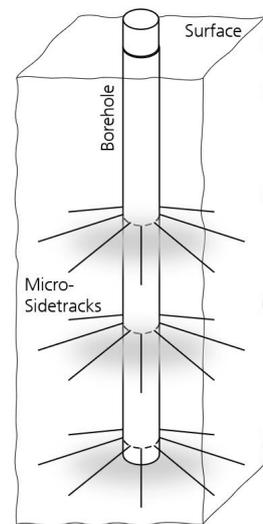
Interview mit den Autor*innen des Leitfadens:



MTD® – Verbesserte hydraulische Konnektivität zwischen Bohrung und Reservoirgestein durch Micro-Sidetracks

TEXT: Niklas Geissler und Jörn Schlüsener

Das MTD® - Micro Turbine Drilling ist eine neue Bohrtechnologie, die vom Fraunhofer IEG entwickelt wurde. Sie verbessert den hydraulischen Anschluss einer Bohrung an die umliegende Geologie und eignet sich besonders für geothermische Anwendungen. Durch kleine Ablenkbohrungen, sog. Micro-Sidetracks, können Bohrungsabschnitte in beliebiger Richtung gezielt perforiert werden (Abb. 1). Der Einsatz kann kostengünstig als Workover ohne Rig erfolgen und ist sowohl in offenen als auch verrohrten Bohrlöchern möglich.



▲ Abb. 1: Schematische Darstellung eines Bohrlochs mit MTD® Micro-Sidetracks

Funktionsweise

Die Hauptkomponente des Verfahrens ist eine 5 cm lange und 3 cm breite Mikro Bohrturbine (Abb. 2). Ausgestattet mit einem speziell entwickelten imprägnierten Diamantbohrmeißel wird das Bohrwerkzeug an einem Schlauch oder Coiled Tubing innerhalb eines zuvor in der Bohrung eingebauten Einbaugestänges in die Bohrung eingefahren. Am unteren Ende des Einbaugestänges ist ein sog. Ablenkschuh montiert, der die Turbine innerhalb der Bohrung bis zu 90° aus der Bohrlochachse ablenkt. Der Antrieb der Turbine erfolgt über eine Hochdruckpumpe von der Oberfläche, mit der das Bohrwerkzeug über den Schlauch mit Spülung versorgt wird. Mit Drehzahlen von bis zu 80.000 Umdrehungen pro Minute bohrt die Turbine sowohl durch Stahlverrohrungen als auch durch unterschiedliche Gesteinsformationen (Granit, Sandstein, Tongestein, Basalt, usw.). In Granit sind Bohrgeschwindigkeiten von ca. 3 m/h üblich. Die Überwachung des Bohrprozesses, wie z. B. Betriebszustand der Turbine oder Bohrfortschritt, findet von der Oberfläche aus über ein indirekt wirkendes akustisches Messsystem statt, das ohne Sensorik im Bohrloch auskommt.

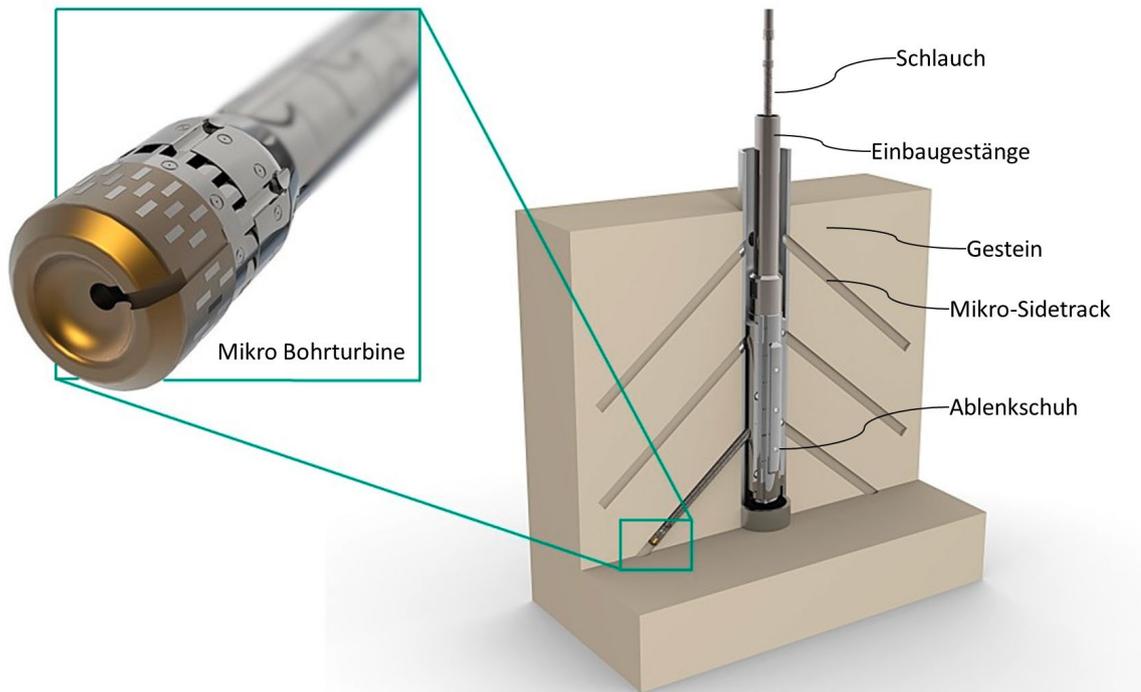
Das MTD® soll eine effiziente und schonende Ergänzung zu konventionellen Technologien wie z. B. Perforation, Fracking, Radial Jet Drilling oder Sidetracking darstellen, mit denen üblicherweise Reservoirs erschlossen werden. Ein Merkmal des MTD® ist die minimalinvasive Wirkweise des Bohrprozesses, da dieser schleifend bei sehr geringem WOB (< 2000 N) abläuft, wodurch kleinstmögliche mechanische Belastungen auf das Gestein wirken.

Einsätze

Mehrere erfolgreiche Demonstrationen des MTD® konnten bereits durchgeführt werden, wie z. B. zum Ertüchtigen eines geothermischen Untergrundspeichers in Bern, bei dem es das Ziel war, den hydraulischen Anschluss an das Speichergestein zu verbessern. Dort wurden ca. zwei Dutzend Micro-Sidetracks mit unterschiedlicher Orientierung verteilt auf zwei Hauptbohrungen und fünf Horizonte gebohrt. Die Teufenlage der Horizonte betrug zwischen 485 und 505 m (MD). Bei einem weiteren Einsatz kam das MTD® zum Einsatz, um in einer verrohrten Bohrung gezielte Verbindungen zur Geologie in unterschiedlichen Erdschichten herzustellen, um



M. Sc. Niklas Geissler
Abteilungsleiter
Mikrobohrtechnologie
Fraunhofer IEG und
Fraunhofer FCC
Kontakt:
niklas.geissler@
ieg.fraunhofer.de
www.ieg.fraunhofer.de



◀ Abb. 2: Schnittmodell eines verrohrten Bohrlochs mit eingebautem MTD® System

darauhin Hydrotests durchführen zu können. Die Abb. 3 zeigt ein Luftbild des dortigen Baustellenaufbaus.

Vorteile

Das MTD® bietet eine Reihe von Vorteilen, die es im Bereich des Fluidbergbaus zu einer Anwendung mit großem Potenzial macht:

1. Eindringtiefe: Mit dem MTD® können im Vergleich zum klassischen Perforieren mit Perforationskanone 5 bis 10-mal größere Eindringtiefen in das Gestein erreicht werden.
2. Re-Entry: Nachdem ein Micro-Sidetrack gebohrt wurde, kann im Anschluss eine Wiederbefahrung für weitere Maßnahmen stattfinden. Dafür stehen verschiedene Bohrlochwerkzeuge zur Verfügung: Micro-Bohrlochkamera, Micro-Gyro, Micro-Packer.
3. Kosten: Das MTD® kann ohne Einsatz eines Rigs durchgeführt werden, wodurch sich die Kosten für einen Einsatz gering halten.
4. Einsatzmöglichkeiten: Das MTD® kann sowohl im verrohrten als auch im offenen Bohrloch eingesetzt werden. Dabei ist es in den meisten Gesteinsformationen wie z. B. Granit, Basalt, Sandstein, Tongestein, Massenkalk und Halit anwendbar.
5. Anbindung: Zudem haben die Micro-Sidetracks einen durchgehenden Durchmesser von ca. 4 cm, was im Vergleich zu den mit Perforationskanonen gesprengten Wegsamkeiten zu einer besseren Anbindung führen kann.



◀ Abb. 3: Baustellenaufbau bei einem MTD® Einsatz

6. Orientierung: Es bietet sich auch die Möglichkeit, ohne viel Mehraufwand besonders genau orientierte Micro-Sidetracks zu bohren, was z. B. bei Bohrungen mit eingebauten Glasfaserkabeln von großer Relevanz ist.

Ausblick

Das MTD® bietet eine kostengünstige und effiziente Lösung für die Reservoirerschließung und könnte in Zukunft eine Schlüsseltechnologie für die Entwicklung von geothermischen und anderen Untergrundsystemen darstellen. Derzeit wird an der Weiterentwicklung diverser Systemkomponenten gearbeitet, um noch tiefere Eindringtiefen zu ermöglichen. Zudem werden zurzeit neue Bohrlochwerkzeuge entwickelt, die künftig in den Micro-Sidetracks eingesetzt werden können, um beispielsweise hochauflösende hydrogeologische Untersuchungen durchzuführen. ♦



Dr. Jörn Schlüsener
Projektleiter
Mikrobohrtechnologie
Fraunhofer IEG
Kontakt:
joern.schluesener@
ieg.fraunhofer.de
www.ieg.fraunhofer.de

Monte-Carlo-Simulation: Für mehr Investitions-sicherheit in der Geothermie

TEXT: Marco Meirich

In der Geothermie sind Investitionen oft mit erheblichen Unsicherheiten und Risiken verbunden, die sich auf die Machbarkeit, die Wirtschaftlichkeit und den Projekterfolg auswirken können. Eine zentrale Rolle kommt dem Quality Engineering bei der Risikobewertung und Entscheidungsfindung in geothermischen Projekten zu. Ziel ist es, durch fortschrittliche Simulationen fundierte Investitionsentscheidungen zu ermöglichen und somit die Attraktivität der Geothermie für Investor*innen zu steigern.

Geothermieprojekte sind mit erheblichen Unsicherheiten verbunden, die von geologischen Unwägbarkeiten bis hin zu technischen Herausforderungen reichen. Fehlende oder unzureichende Risikoanalysen können zu erheblichen Kostenüberschreitungen oder sogar Projektabbrüchen führen. Hier setzt Quality Engineering an: ein systematischer Ansatz zur Risikoerkennung und -minimierung. Eine zentrale Methode ist dabei die Monte-Carlo-Simulation, die durch stochastische Modellierung Unsicherheiten quantifiziert und belastbare Entscheidungsgrundlagen schafft.

Bedeutung von Quality Engineering in der Geothermie

Quality Engineering umfasst die datenbasierte Entscheidungsfindung, kontinuierliche Prozessoptimierung und die systematische Identifikation von Risikofaktoren. In der Geothermie könnte sie u. a. in folgenden Bereichen Anwendung finden:

- ▶ Detaillierte Risikoanalyse vor der Bohrung
- ▶ Optimierung von Bohrprogrammen durch Simulationen

- ▶ Datenbasierte Entscheidungsfindung für Investor*innen und Betreiber*innen
- ▶ Erhöhung der Projektsicherheit durch präzisere Vorhersagen

Durch die Anwendung fortschrittlicher Simulationen können Risiken sichtbar gemacht und quantifiziert werden, was am Ende die Planungsgenauigkeit verbessert und das Projektrisiko im Ganzen reduzieren kann.

Moderne Unternehmen setzen gezielt auf diesen Ansatz, um Investor*innen, Betreiber*innen und Ingenieur*innen eine transparente Bewertung von Unsicherheiten zu ermöglichen. Durch die Anwendung fortschrittlicher Simulationstechniken können fundierte, risikobewusste Entscheidungen getroffen werden.

Monte-Carlo-Simulation: Prinzip und Anwendung

Die Monte-Carlo-Simulation ist eine statistische Methode, die auf wiederholten Zufallssimulationen basiert. Sie modelliert Unsicherheiten, indem sie verschiedene Szenarien mit zufällig variierenden Eingangsparametern berechnet. Dadurch entstehen Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die eine realistische Bewertung von Risiken ermöglichen.

In der Bohrindustrie wird die Methode eingesetzt für:

- ▶ Modellierung der Unsicherheiten von geologischen Formationen
- ▶ Bewertung der Erfolgswahrscheinlichkeit einer Bohrung
- ▶ Kosten- und Ertragsprognosen (s. Abb. 1)
- ▶ Optimierung von Bohrstrategien zur Risikominimierung
- ▶ Ermittlung des optimalen Bohrpfades unter Berücksichtigung unsicherer Parameter
- ▶ Analyse von Störfaktoren und deren potenzielle Auswirkungen auf den Projekterfolg



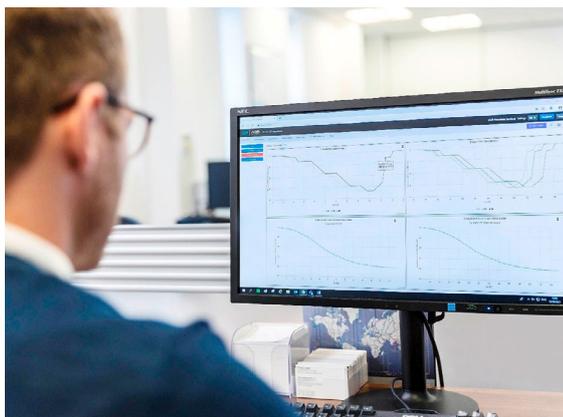
Dr.-Ing. Marco Meirich

Geschäftsführer
neowells GmbH

Kontakt:

marco.meirich@neowells.de

www.neowells.de



▶ Abb. 1: Zeit-Kosten-Analyse mit Monte-Carlo-Simulation

Vorteile der Monte-Carlo-Simulation gegenüber deterministischen Ansätzen

Klassische, deterministische Modelle setzen feste Werte für Eingangsparameter an und liefern eine einzige Prognose. Die Monte-Carlo-Simulation hingegen berücksichtigt die gesamte Bandbreite möglicher Ergebnisse und liefert Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Dadurch ergeben sich folgende Vorteile:

- Bessere Einschätzung von Extremszenarien
- Höhere Planungssicherheit durch realistische Risikoanalysen
- Objektive Entscheidungsgrundlage für Investor*innen
- Erkennung kritischer Einflussfaktoren zur gezielten Risikoreduzierung
- Schnelle Anpassung an neue Daten für eine dynamische Entscheidungsfindung
- Erweiterte Szenarioanalysen, die verschiedene wirtschaftliche und technische Rahmenbedingungen einbeziehen
- Flexibilität in der Entscheidungsfindung, indem verschiedene Handlungsmöglichkeiten quantifiziert und bewertet werden
- Vermeidung von Fehlinvestitionen, indem Unsicherheiten systematisch analysiert werden

Die Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen in der geothermischen Entscheidungsfindung stützt sich auf fundierte methodische Erfahrung. Der gezielte Einsatz dieser probabilistischen Verfahren wird vorangetrieben, um deren Integration als standardisiertes Instrument im Rahmen von Investitions- und Planungsprozessen zu etablieren.

Zukunftsperspektiven und Fazit

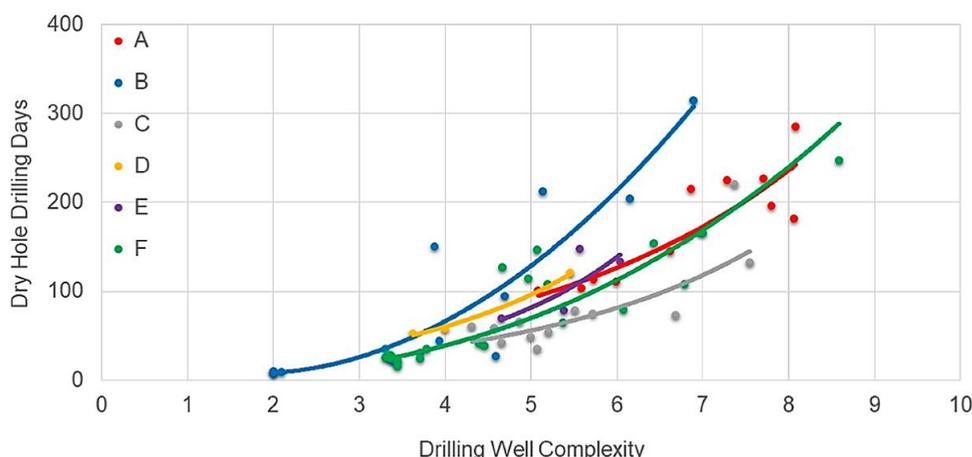
Mit zunehmender Verfügbarkeit von Echtzeitdaten und künstlicher Intelligenz wird die Monte-Carlo-Simulation zukünftig noch präziser und automatisierter. Die Integration in digitale Pla-

nungsplattformen wird ihre Anwendung weiter erleichtern und den Standard in der Geothermiebranche setzen.

Der gezielte Einsatz von Quality Engineering und Monte-Carlo-Simulationen ermöglicht eine effizientere, wirtschaftlichere und insgesamt erfolgreichere Umsetzung geothermischer Projekte. Durch den Einsatz wissenschaftlich fundierter Simulationsmethoden können Risiken realistisch quantifiziert und strategisch reduziert werden. Eine frühzeitige Integration dieser Ansätze in die Planungsphase führt zu höherer Planungssicherheit und fundierteren Investitionsentscheidungen.

Mit der weiteren Entwicklung der Simulationstechnologien und deren Integration in bestehende Workflows wird sich die Risikobewertung in der Geothermie nachhaltig verbessern. Unternehmen, die auf datengetriebene Analysen setzen, werden langfristig einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil haben und zur nachhaltigen Weiterentwicklung der Geothermiebranche beitragen (Abb. 2).

Zukünftig könnten auch Machine-Learning-Algorithmen eingesetzt werden, um Prognosemodelle weiter zu verfeinern und die Effizienz von Simulationen zu steigern. Dies würde den Entscheidungsprozess zusätzlich optimieren und die Grundlage für noch fundiertere Investitionsentscheidungen schaffen. Die kontinuierliche Weiterentwicklung solcher Technologien trägt dazu bei, neue Standards in der geothermischen Planung und Bewertung zu etablieren. ♦



◀ Abb. 2: Empirische Analyse von Bohr - Projektfortschritt

Was tun mit all den Daten? – Monitoring (kalter) Nahwärmenetze und geothermischer Anlagen

TEXT: David Kuntz

Kalte Nahwärmenetze und geothermische Großanlagen werden regelmäßig mit mehr oder weniger Messtechnik ausgestattet. Parameter wie Messintervall, Anzahl und Lage der Datenpunkte sowie Speicherdauer historischer Daten werden jedoch unterschiedlich gehandhabt; selten wird der geothermische Fachplaner in das Messkonzept einbezogen. Die nachfolgenden Erläuterungen wurden aus Betriebserfahrungen kalter Nahwärmenetze mit Erdwärmesonden als geothermische Wärmequelle und -senke abgeleitet, sie sind jedoch in ähnlicher Form auf andere geothermische Systeme oder Wärmenetze übertragbar.

Warum Wärmenetze und geothermische Anlagen überwachen?

Bei Nahwärmenetzen der vierten oder fünften Generation, die üblicherweise aus öffentlichen Fördermitteln bezuschusst werden, ist ein Monitoring des Anlagenbetriebes regelmäßig eine Auflage des Fördermittelgebers. Für Betreiber mit verbrauchsorientierten Tarifmodellen ist die Erfassung der dezentralen Verbraucher zwingend notwendig für die regelmäßige Abrechnung mit Kunden. Aber auch ohne formale Notwendigkeit ist die Erhebung von Betriebsdaten zwingende Voraussetzung für ein nachhaltiges Betriebsmanagement. Insbesondere bei geothermischen Anlagen kommt hinzu, dass damit ein unterirdisches Energiereservoir erschlossen wird, dessen Wärmeinhalt nicht unerschöpflich ist und die Effizienz von Wärmepumpen über seine langfristige Temperaturentwicklung maßgeblich beeinflusst. Was aber genau bedeutet nun »Betriebsmanagement« im Zusammenhang z. B. mit einem kalten Nahwärmenetz in Verbindung mit einer oberflächennahen geothermischen Wärmequelle? Folgende Ziele können hierfür beispielhaft definiert werden:

- Überwachung behördlicher und/oder technischer Auflagen für den Betrieb (z. B. Leckageüberwachung, Temperaturgrenzen, Energiemengen)

- Gewährleistung der langfristigen Betriebssicherheit durch frühe Identifikation abnormaler Temperaturtrends im unterirdischen Reservoir (z. B. zu starke Auskühlung)
- Vergleich der Planung (Spitzenleistung, Gesamtbedarf, Gleichzeitigkeit) mit dem tatsächlichen Betrieb als Lernerfolg für zukünftige Vorhaben
- Identifizierung ungenutzter Potenziale → Erhöhung/Erweiterung der Anschlussleistung möglich?
- Koordination von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen (Identifikation und Festlegung des operativen Handlungsbedarfes)

Oftmals lässt sich der Anlagenbetrieb aus den Erfahrungen der ersten Betriebsjahre optimieren und die Wirtschaftlichkeit verbessern. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine detaillierte Kenntnis des Systemverhaltens sowie ein Verständnis desselben, um dieses bewerten zu können.

Sinnvolle Messtechnik für geothermische Anlagen

In Wärmenetzen und/oder geothermischen Anlagen können nahezu alle relevanten Betriebsdaten über Wärmemengenzähler erfasst werden, sofern neben den klassischen fortlaufenden



Dr. David Kuntz

Geschäftsführer

GeoAlto GmbH

Kontakt:

david.kuntz@geoalto.de

www.geoalto.de

Sensor / Messgröße	Einheit
 Wärmemengenzähler (Einzelwerte!)	
↳ Vorlauftemperatur	[°C]
↳ Rücklauftemperatur	[°C]
↳ Volumenstrom	[m³/h]
↳ Aktuelle Leistung	[W]
↳ Wärmemenge Entzug	[Σ kWh]
↳ Wärmemenge Eintrag	[Σ kWh]
<i>Intervall: 30s – 5min. / Speicherdauer: > 10 Jahre</i>	
 Differenzdruckmessung	
↳ Druck Vorlauf	[mbar]
↳ Druck Rücklauf	[mbar]
<i>Intervall: 30s – 5min. / Speicherdauer: ~ 2 Jahre</i>	

▲ Tab. 1: Vorgeschlagene Sensoren und Einzeldatenpunkte für geothermische Anlagen (© GeoAlto GmbH)

Zählerständen der Energiesumme auch die Einzelwerte der Sensoren miterfasst werden. Die bei Anlagen mit Wasser/Glykol Gemischen gemäß AwSV notwendige Leckageüberwachung wird üblicherweise durch eine zusätzliche Überwachung des Systemdruckes realisiert. Aufgrund der Trägheit des Untergrundes bei der Wärmeleitung ist eine lange Speicherdauer der Betriebsdaten essenziell für die Erkennung langfristiger Trends oder späterer Ursachensuchen bei Anomalien im Anlagenbetrieb. Demgegenüber hat sich aus unserer Erfahrung ein Aufzeichnungsintervall von maximal 5 min als ausreichender Kompromiss zwischen zeitlicher Auflösung und erforderlichem Speichervolumen erwiesen. Tab. 1 fasst die vorgeschlagene minimale messtechnische Ausstattung einer geothermischen Anlage oder eines kalten Nahwärmenetzes zusammen.

Eine Erfassung der Betriebsdaten näherungsweise in Echtzeit und redundante Online-Speicherung erlaubt die automatisierte Überwachung des Dateneingangs und sofortige Alarmierung bei Ausfall eines Sensors. Auf dieser Grundlage ist auch die nach AwSV geforderte Leckageüberwachung für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen umsetzbar. Mit heutigen technischen Mitteln ist dies problemlos auch für geothermische Anlagen wirtschaftlich realisierbar.

Daten, Daten, Daten – Was tun mit all den Daten?

Selbst wenn energietechnische Anlagen sinnvoll mit Messtechnik ausgestattet sind und die Datenerfassung und -speicherung reibungslos läuft, werden diese Informationen oft nur rudimentär ausgewertet und interpretiert. Üblich ist sicher die Darstellung der aktuellen Sensorwerte z. B. in einem Dashboard oder des Verlaufes der Sensorwerte als Diagramm über die Zeit. Für eine weiterführende Plausibilisierung der Messdaten oder einen Abgleich z. B. mit den Planungsannahmen müssen Messdaten in der

Regel aggregiert und sinnvoll visualisiert werden. Nachfolgend werden einige Beispiele für die rückwirkende Visualisierung von Betriebsdaten eines Jahres vorgestellt, die aus einem hydraulisch passiven kalten Nahwärmenetz mit aktuell ca. 20 Anschlussnehmern stammen (Anschlussquote zum Zeitpunkt der Verfassung des Artikels ca. 50 %). Als Wärmequelle sind zwei Erdwärmesondencluster (V1+V2) mit insgesamt 60 Erdwärmesonden angeschlossen.

Bilanzierung und Datenintegrität

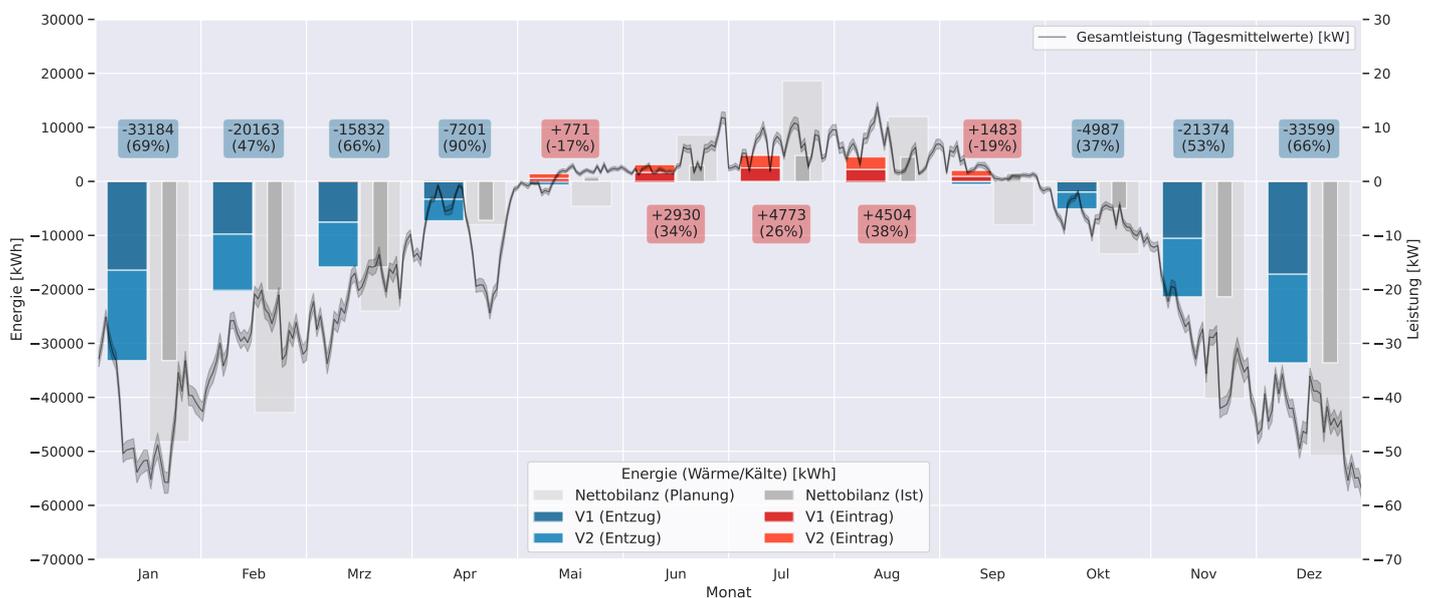
Einer der am häufigsten geforderten Überwachungswerte bei geothermischen Anlagen bezieht sich auf die jährliche Wärmebilanz. Sinnvoll ist dabei die getrennte Bilanzierung des Wärmeentzuges sowie des Wärmeeintrages und daraus die Ableitung der Nettobilanz, allein um Missverständnissen vorzubeugen. Bei Anlagen mit mehreren Quellen hilft auch die Aufteilung in die verschiedenen Quellen (oder hier: Sondencluster) zur Plausibilisierung sowie ein Vergleich mit den zulässigen Grenzwerten (in Abb. 1 als Prozentzahl angegeben).



▼ Abb. 1: Darstellung der Jahreswärmebilanz inkl. Datenintegrität und Laufzeit (© GeoAlto GmbH)

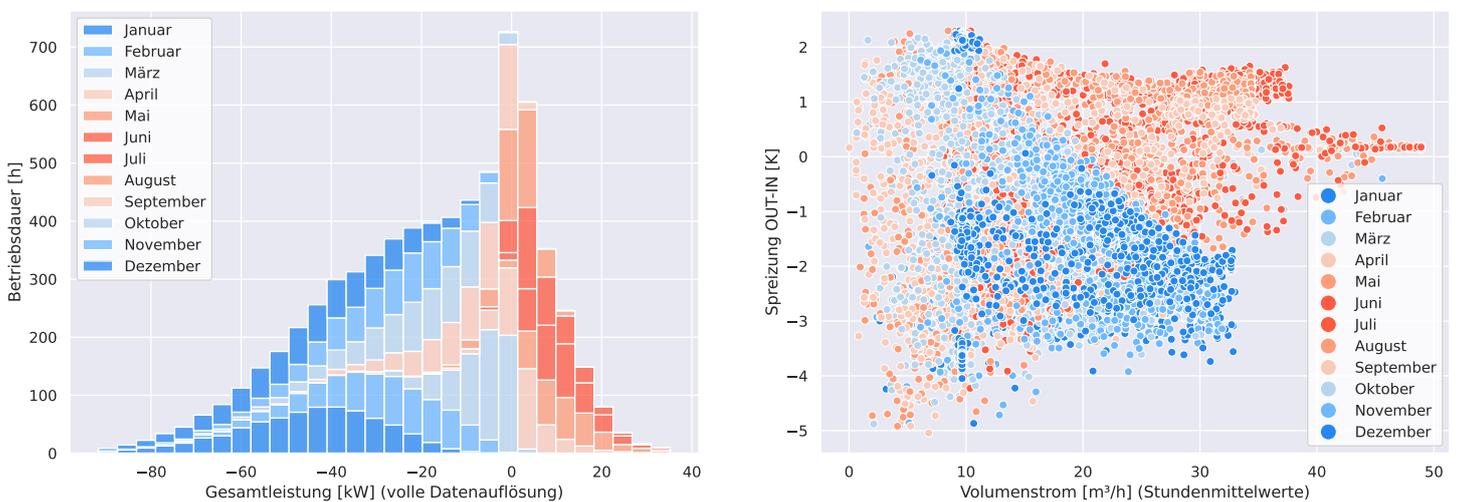
Vor jeglicher automatisierten Auswertung von Betriebsdaten ist deren Integrität zu überprüfen, d. h. wurden überhaupt im Auswertzeitraum aussagekräftige Daten erfasst? Dies ist in Abb. 1 (rechts) für jede Messgruppe (V1/V2) anhand des Verhältnisses der vorhandenen zu den erwarteten Datenpunkten in Abhängigkeit des Messintervalls dargestellt. Wesentlich aufschlussreicher ist die monatliche Aufschlüsselung der Energiebilanz:

▼ Abb. 2: Monatliche Bilanzierung einer geothermischen Anlage und Vergleich mit den Planwerten; zusätzlich Darstellung der mittleren Tagesleistung (© GeoAlto GmbH)





▲ Abb. 3: Vor- und Rücklauftemperaturen als Tagesmittelwerte und monatlicher Gesamtdurchfluss (@ GeoAlto GmbH)



▲ Abb. 4:
Links: Betriebsdauer in Stunden je Leistung (Histogramm, Nullwerte ausgeblendet),
Rechts: Stundenmittelwerte des Volumenstroms über Spreizung (Nullwerte ausgeblendet, @ GeoAlto GmbH)

Neben den monatlichen Energiemengen sowie der Tagesmittelwerte der thermischen Leistung sind in Abb. 2 auch die geplante sowie tatsächliche Nettobilanz der geothermischen Anlage für jeden Monat geplottet, so dass ein Vergleich mit der geplanten Auslegung auf einen Blick möglich ist.

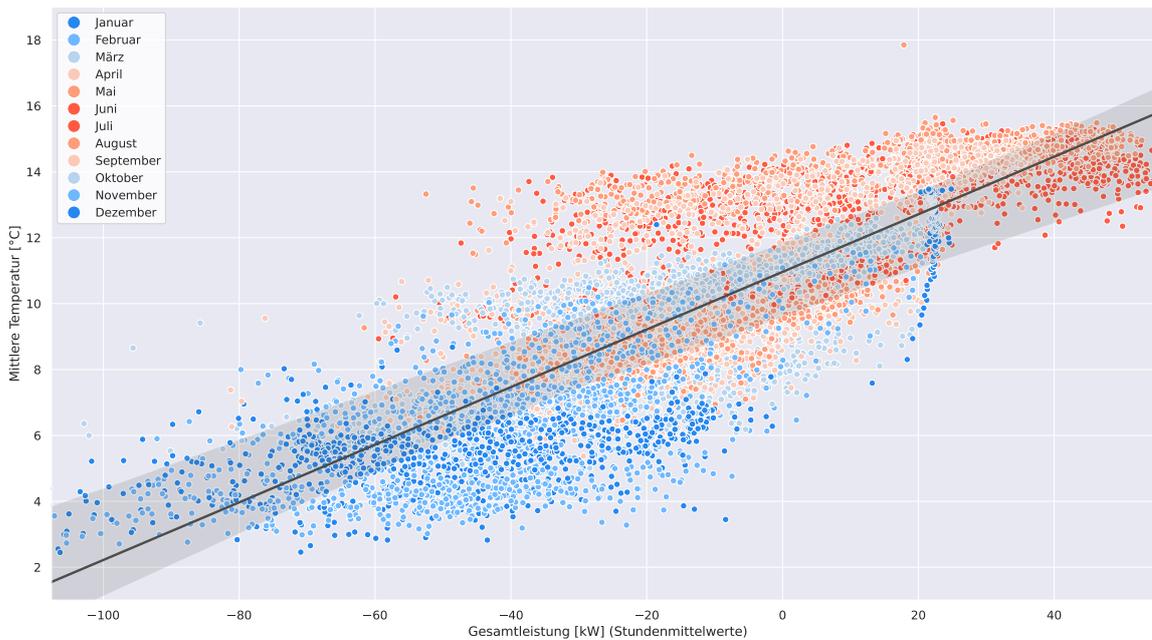
Temperaturverlauf und Einhaltung vorgegebener Grenztemperaturen

Zur Bewertung des Temperaturverlaufes im Wärmeträgermedium ist als Jahresübersicht ein Plot der Tagesmittelwerte geeignet (vgl. Abb. 3).

Die Temperaturkurven können ergänzend mit einem Konfidenzband der täglichen Extremwerte hinterlegt werden. Tatsächlich ist dies bei der vorgestellten Anlage jedoch nicht notwendig, da die Glättung der Temperaturen über einen Tag durch das kalte Nahwärmenetz nur geringfügig vom Tagesmittel abweichende Extremtemperaturen hervorbringt. Der Monatsdurchfluss ist ergänzend dargestellt zur näherungsweisen Bewertung, ob die Anlage im entsprechenden Monat stark oder weniger stark ausgelastet war.

Statistische Leistungsverteilung und Pumpeneffizienz

Abb. 4 zeigt links ein statistisches Histogramm der Wärmeleistung der geothermischen Anlage und rechts die gefahrenen Volumenströme im Nahwärmenetz über die an der geothermischen Anlage gemessene Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf (nach Aggregation auf Stundenmittelwerte): Zusätzlich ist in den Daten der Monat des Jahres farblich codiert (blau für Wintermonate, rot für Sommermonate). Erwartungsgemäß werden Spitzenlasten im Nahwärmenetz aufgrund der Pufferung durch das Netz (Gleichzeitigkeit) nur vergleichsweise selten gefahren. Abb. 4 (rechts) stammt nicht aus dem Nahwärmenetz, sondern aus einer Erdwärmesondenanlage, die einen Wohnkomplex versorgt. Sie soll beispielhaft zeigen, dass hier offensichtlich keine geregelten Umwälzpumpen zum Einsatz kommen. Insbesondere im Sommer werden teilweise hohe Volumenströme bei sehr kleinen Spreizungen gefahren, wodurch unnötig Pumpenstrom verbraucht wird. Eine regelungstechnische Optimierung wäre hier angebracht, um unnötige Stromkosten der Umwälzpumpen zu vermeiden.



◀ Abb. 5: Thermische Antwort der Anlage auf Lastanforderungen (Thermal Response), inkl. lineare Regression über Stundenmittelwerte (© GeoAlto GmbH)

Thermal Response des unterirdischen Reservoirs

Die für geothermische Anlagen wohl interessanteste Darstellung ist auf Abb. 5 zu sehen, in der die auf Stundenmittelwerte aggregierte Leistung der Anlage über die aktuelle Betriebstemperatur geplottet ist (erneut stammen diese Daten von einer Erdwärmesondenanlage eines Wohnkomplexes): Die durchgezogene schwarze Regressionsgerade entspricht etwa der Erwartung: je höher die Entzugsleistung, desto kälter die Temperaturantwort des Untergrundes und umgekehrt. Bewegt sich diese Ausgleichsgerade Jahr für Jahr in ähnlichen Temperaturbereichen, ist das unterirdische Reservoir annähernd temperaturstabil. Verlagert sich diese Gerade Jahr für Jahr in kältere Regionen, droht die Auskühlung der geothermischen Anlage bei langfristig möglicherweise reduzierter Effizienz der Wärmepumpen.

Automatisiertes Reporting als Grundlage für wirtschaftliches und fundiertes Betriebsmanagement

Aggregation und Visualisierung für Menschen unlesbarer Zahlenkolonnen ermöglichen uns einen schnellen Überblick in den Zustand eines kalten Nahwärmenetzes bzw. der geothermischen Anlage. Die im Beitrag vorgestellte Visualisierung von Betriebsdaten lässt sich mit modernen Tools zur statistischen Datenanalyse automatisieren und z. B. in monatlichen oder jährlichen Berichten zusammenstellen. Dies ermöglicht Betreibern eine schnelle Bewertung des Anlagenbetriebes im Hinblick auf Auslastung, Einhaltung der Auslegungsgrenzwerte und Trends in der thermischen Antwort der Anlage sowie die zuverlässige, termingerechte und umfassende Erfüllung von Auflagen zum Anlagenmonitoring aus Zulassungs- oder Förderbescheiden. Die Online-Überwachung des Systemdruckes mit entsprechender Alarmierung erfüllt darüber hinaus die Anforderungen des § 35 AwSV an die Leckageüberwachung geothermischer Anlagen. ♦

Komplexe geothermische Lösungen aus einer Hand

Geologie, Bohrtechnik, Energiekonzepte, Anlagenplanung



GTN a COWI company
ENGINEERS & GEOLOGISTS

www.gtn-online.de

Wärme- und Kälteversorgung des Campus der Uniklinik Köln mittels Grundwassernutzung

TEXT: Lars Kühl, Stephanie Budde und Franziska Harstrick

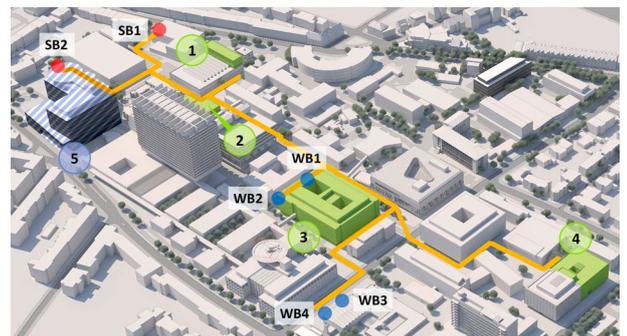
Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Projekt »well-ness« fokussiert sich auf den Einsatz Oberflächennaher Geothermie zur Wärme- und Kälteversorgung energieintensiver Liegenschaften. Im Rahmen des Vorhabens wird die Nutzung von Grundwasser zur Versorgung des Campus der Uniklinik Köln wissenschaftlich begleitet. Durch umfassendes Monitoring und Simulationsstudien sollen der Betrieb optimiert und Auslegungsempfehlungen für ähnliche Anlagen entwickelt werden.

Das Forschungsprojekt umfasst die messtechnische Begleitung und Analyse der Daten der Geothermiebrunnen, der Lastprofile der Gebäude sowie des Betriebes der Anlagentechnik. Über den Abgleich von Sollvorgaben und Istzuständen der Betriebspunkte erfolgt eine Bewertung der energetischen Effizienz des Anlagenbetriebes. Ziel ist es, die Betriebseffizienz zu steigern und den Gesamtenergieverbrauch sowie die damit verbundenen Treibhausgasemissionen des Standortes zu senken. Ein weiterer Bestandteil des Projekts ist die Entwicklung eines Simulationsmodells, das die Gebäude und das Energieversorgungssystem inklusive der

Die auf dem Campus der Uniklinik Köln zu realisierende Geothermieanlage wird im Endausbau aus insgesamt acht Geothermiebrunnen mit einer Tiefe von ca. 30 m bestehen. Die ersten Brunnen wurden im Frühjahr 2023 zum Zwecke der geothermischen Gebäudeheizung und -kühlung in Betrieb genommen. Die Gebäude, die über diese Anlage mit Wärme sowie Kälte versorgt und innerhalb des Forschungsprojektes betrachtet werden, sind in Tab. 1 mit den maximal durch die Geothermieanlage zu deckenden Heiz- und Kühllasten aufgeführt. In Abb. 1 ist die dazugehörige grafische Übersicht der Gebäude und Brunnen dargestellt.

	Gebäude	Heizlast	Kühllast
①	Aufstockung Werkstattgebäude	60 kW	32 kW
②	Cyberknife	130 kW	160 kW
③	CIO – Centrum für integrierte Onkologie	800 kW	660 kW
④	TRIO – Translational Research for Infectious Diseases and Oncology	960 kW	860 kW
⑤	CEFAM – Zentrum für Familiengesundheit (im Bau)	1.200 kW	600 kW

▲ Tab. 1: Heiz- und Kühllasten

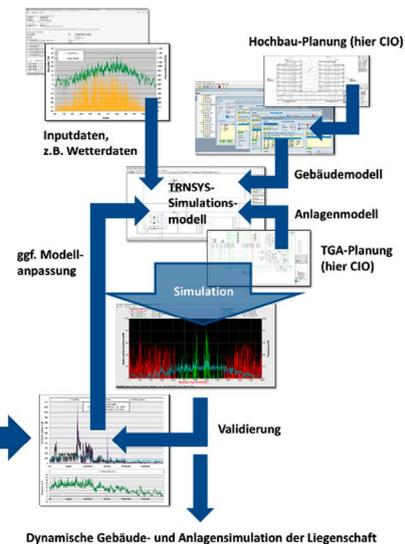
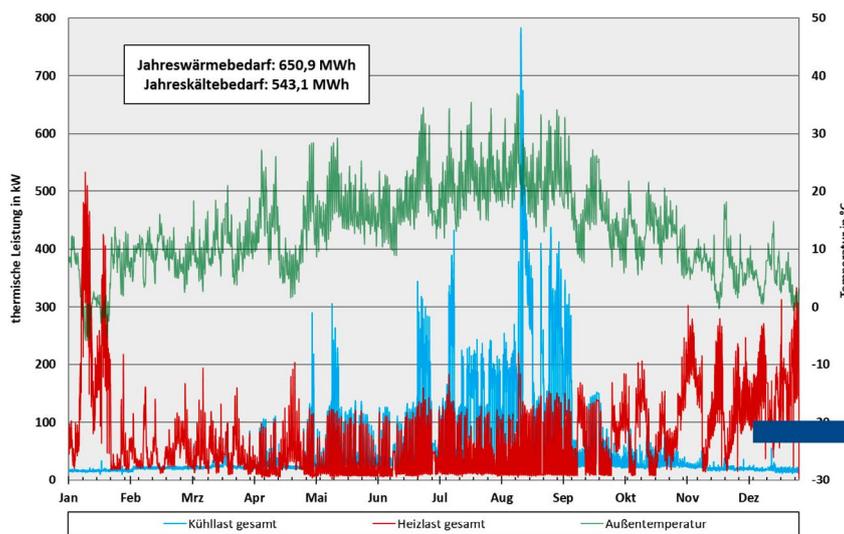


▲ Abb. 1: Übersicht des Uniklinikums Köln mit Lage der im Projekt betrachteten Gebäude und Brunnen

oberflächennahen Geothermiebrunnen abbildet. In Fallstudien werden verschiedene Regelungs- und Betriebsstrategien evaluiert und daraus entsprechende Handlungsempfehlungen abgeleitet. Abschließend werden Vorschläge zur Betriebsoptimierung und Auslegung vergleichbarer Systeme entwickelt. Durch das umfassende Monitoring der Brunnen und Gebäude können diese Optimierungsansätze validiert werden.

Über den Projektrahmen hinaus ist der Anschluss weiterer Gebäude geplant. Dabei variieren die Leistungen je Gebäude zwischen 70 kW und 2.300 kW. Nach derzeitiger Planung sollen Gebäude mit insgesamt knapp 6 MW Heizlast an die Geothermieanlage angeschlossen sein.

Der Wärmeentzug bzw. -eintrag in das Erdreich erfolgt über das geförderte und wieder eingeleitete Grundwasser. Dabei ist eine genehmigte



Fördermenge von 4.360.000 m³/a einzuhalten. Die Regelung der Brunnenwasserentnahme in Abhängigkeit der gebäude- und betriebsseitigen Heiz- oder Kühllast wird über eine übergeordnete Gebäudeleittechnik organisiert. Je nach Betriebsfall kann eine direkte Nutzung des Grundwassers oder eine indirekte Nutzung mithilfe von grundwassergekoppelten Wärmepumpen erfolgen. Die Brunnen arbeiten wechselweise im Sommer- und Winterbetrieb. Im Endausbau werden im Winter die vier Winterbrunnen (WB) und im Sommer die vier Sommerbrunnen (SB) zur Grundwasserförderung genutzt. Über die jeweils übrigen vier Brunnen wird das Grundwasser nach der thermischen Nutzung mit einer maximalen Infiltrationsrate von 1.195 m³/h wieder dem Grundwasserleiter zugeführt (infiltriert). Die Wasserbilanz im Untergrund ist somit gleich Null. Der übertägige Kreislauf mit den Gebäudeanbindungen ist geschlossen, geothermische Quellen- und gebäudeseitige Senkenseite sind durch Wärmeübertrager voneinander getrennt. Mithilfe einer Leckage-Überwachung mit automatischer Außerbetriebnahme der Anlagen wird dies zusätzlich abgesichert. Eine dem Projekt vorgegangene Strömungs- und Wärmetransportsimulation hat gezeigt, dass ein Betrieb der geothermischen Brunnenanlage auf diese Weise im Rahmen der Genehmigungsaufgaben (Begrenzung der Einleittemperatur zwischen 4 °C und 18 °C, Temperaturspreizung von maximal 3 K im Kühlfall und 6 K im Heizfall, Wärmeeintrag bis max. 70 % der Wärmeentnahme) voraussichtlich möglich ist.

Nach Vorgaben der Stadt Köln soll ein Wärmeenergieumsatz im Untergrund mit einem Verhältnis von Entzug/Eintrag = 100/70 erreicht werden. Als Gesamt-Wärmeentzug ist für den Endausbau ein Wert von jährlich 8.772 MWh/a vorgesehen.

Im Rahmen der Begleitung des Betriebes konnten Probleme identifiziert, Mängel abgestellt und der Anlagenbetrieb an die Lastsituation angepasst werden. Aktuell werden Daten aus dem Anlagenbetrieb auf die Gebäudeleittechnik aufgeschaltet, sodass die Verfügbarkeit aller Daten eine umfassende Analyse des Betriebes ermöglicht.

Das Simulationsmodell mit der Quellenseite Grundwasser, dem Gebäudebetrieb und der Anlagentechnik zur Heizung und Kühlung soll mit den Daten aus dem Anlagenbetrieb validiert werden. Mit dem Modell sollen im Anschluss die Bedarfswerte der Liegenschaft mit dem Potenzial aus der Wärme- und Kälteversorgung durch das Grundwasser abgeglichen werden (Abb. 2). Ziel ist die modellgestützte Anpassung der Betriebsparameter, um einen ausgeglichenen Betrieb von Kühlung und Heizung über die Geothermie entsprechend der Vorgaben der Stadt Köln zu erreichen. Mit der optimierten Integration der Geothermie in den komplexen Anlagenbetrieb soll das CO₂-Einsparpotenzial komplett ausgeschöpft werden.

Das Projekt soll die technische Machbarkeit und den wirtschaftlichen Betrieb von geothermischer Wärmenutzung in Gebäuden und Quartieren aufzeigen. Es kann so als Vorbild für weitere Konzeptentwicklungen zur thermischen Nutzung des Grundwassers dienen. Mit der in den ersten Messungen nachgewiesenen Absenkung des Grundwassertemperaturniveaus konnten bereits erste Effekte aus der geothermischen Nutzung zur Kühlung der Liegenschaft nachgewiesen werden. ♦

Das Projekt wird unter dem Förderkennzeichen 03ETW018A vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.

▲ Abb. 2: Aufbau des Simulationsmodells

Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl

Labor für Heizungstechnik

Kontakt:

l.kuehl@ostfalia.de

Dipl.-Ing. (FH)

Stephanie Budde

Labor für Heizungstechnik

Kontakt:

st.budde@ostfalia.de

B. Eng. Franziska Harstrick

Labor für Heizungstechnik

Kontakt:

fra.harstrick@ostfalia.de

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften - Hochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

Fakultät Versorgungstechnik

Institut für energieoptimierte Systeme (EOS)

www.ostfalia.de/v

Bewertung der Temperaturänderung durch geothermische Nutzung von Grundwasserleitern

TEXT: Traugott Scheytt



Die Nutzung geothermischer Energie führt zu Temperaturänderungen des Grundwassers und des umgebenden Gesteins. Auf Basis vorhandener Literatur wurde untersucht, wie die geothermische Nutzung im oberflächennahen Bereich die Temperatur beeinflusst und welche Auswirkungen Temperaturschwankungen auf die Grundwasserbiologie und auf die Grundwasserbeschaffenheit haben. Die Untersuchung bezieht sich auf das Beispiel Berlin und mit Schwerpunkt auf oberflächennahe Grundwasserleiter bis 50 m Teufe.

▲ Abb 1: Betonierte Brunnenköpfe von Grundwasserüberwachungsbrunnen



Prof. Dr. Traugott Scheytt
TU Bergakademie Freiberg
Lehrstuhl für Hydrogeologie
und Hydrochemie
Kontakt:
traugott.scheytt@
geo.tu-freiberg.de
[https://tu-freiberg.de/
geo/hydro](https://tu-freiberg.de/geo/hydro)

Wie hoch ist die Untergrundtemperatur?

Die missverständliche Darstellung, dass das Erdreich unterhalb einer Tiefe von etwa 10–20 m ganzjährig eine konstante Temperatur aufweist, findet sich häufig. Erfolgt keine thermische Nutzung des Untergrundes, ist ab der Erdoberfläche bis etwa 10–20 m unter Flur ein zunehmend schwächer werdender Jahresgang der Untergrundtemperatur zu beobachten, der auf die Erdoberfläche wirkende und dabei variierende Lufttemperatur und Sonneneinstrahlung zurückzuführen ist. Es folgt ein als »neutrale Zone« bezeichneter Übergangsbereich, in dem die Temperatur im Jahresgang um nicht mehr als 0,1 K schwankt [1].

Die natürlichen Grundwassertemperaturen entsprechen angenähert der mittleren Jahrestemperatur an der Geländeoberfläche und liegen im Bereich von 8–11 °C als sog. »Freilandtemperatur«. Dabei handelt es sich um die eigentliche Ausgangstemperatur einer Region. Die Grundwassertemperaturen im städtischen Bereich liegen aufgrund anthropogener Aktivität, aufgrund von Bauten, Verkehrswegen etc. in deutschen Großstädten bis zu 10 K über der natürlichen Grundwassertemperatur. Der Energieeintrag durch Straßenbau, Verkehrswege und andere städtische Infrastruktur führt zu einem Wärmeeintrag in den Untergrund, der weder dokumentiert noch reglementiert ist. Konkrete Nachweise des Wärmeeintrags durch derartige Strukturen sind eher Zufallsbefunde als das Ergebnis systematischer Erfassung. Gleichzeitig sind solche Strukturen nicht durch das Wasserhaushaltsgesetz reglementiert, da es sich nicht um eine Nutzung von Grundwasser handelt. Der Eintrag dieser Energie führt aber zu sog.

»Urbanen Wärmeinseln« und trägt somit wesentlich zur Aufheizung der Städte bei [2].

Unterhalb der neutralen Zone weist die Untergrundtemperatur keinen Jahresgang mehr auf, ändert sich aber zur Tiefe hin. Meist steigt die Temperatur ab der neutralen Zone dem geothermischen Gradienten (ca. 3 K/100 m) folgend zur Tiefe hin an, sie kann aber auch noch bis in größere Tiefen abnehmen. Ganzjährig konstante Temperaturen gibt es somit nur unterhalb der neutralen Zone und dort auch nur bei Betrachtung einer konkreten Tiefe. Und es gibt sie nur, wenn keine thermische Nutzung erfolgt [1].

Inwiefern sind Temperaturänderungen relevant?

Der Einfluss von Temperaturveränderungen hat unterschiedliche Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit, auf die Prozesse im Grundwasser (u. a. Lösung/Fällung, Sorption, Abbau) und auf die Lebewelt im Grundwasser (insbesondere Mikroorganismen). Höhere Temperaturen führen zu einer geringeren Löslichkeit von Gasen, aber besserer Löslichkeit von Mineralen. Auch Sorption und Abbau sind abhängig von der Temperatur. Bakterien und Viren weisen in durchgeführten Laborversuchen eine höhere Retardation auf, wobei eine erhöhte Temperatur zu erhöhter Aktivität von Bakterien und Viren führt. Entsprechend sind Abbauprozesse, die meist mikrobiell katalysiert sind, bei höheren Temperaturen deutlich beschleunigt.

Bei höheren Temperaturen kommt es aufgrund erhöhter mikrobiologischer Aktivität zu rascherer Sauerstoffzehrung. Die Temperatur beeinflusst Aktivität und Diversität von Mikroorganismen.

Bei Temperaturschwankungen zwischen 8,5-17,8 °C wurden allerdings nur geringe Effekte nachgewiesen [3].

Weiterhin gibt es Auswirkungen der Temperatur auf die Hydrogeochemie [4]. Im Zusammenhang mit dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht kommt es bei höheren Temperaturen zur Entgasung von Kohlendioxid, was zu geringeren Konzentrationen an Karbonaten führt. Insgesamt ist aber der Einfluss auf Hydrogenkarbonat und auf die Hauptanionen und -kationen gering und es gibt keine signifikanten Änderungen bis 40 °C. Höhere Temperaturen führen zu einem reduzierenden Regime, aber die Menge an organischem Kohlenstoff bleibt in Temperaturbereichen von 10 °C, 25 °C und 40 °C etwa gleich (Tab. 1). Insgesamt sind die Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit im Temperaturbereich > 2 °C bis < 40 °C als gering einzustufen. Allerdings ist die Temperaturabhängigkeit hydrochemischer Reaktionen immer auch abhängig von der Beschaffenheit des Grundwassers und den Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen. Dies ist das übereinstimmende Ergebnis der in [3] aufgeführten wissenschaftlichen Publikationen sowie in [4].

	Freisetzung C _{org}	Nitratreduktion	Eisen (III) - Reduktion	Sulfatreduktion
10°C	X	X	0	0
25°C	X	XX	X	0
40°C	X	XX	X	0
70°C	X	XX	X	X

XX: Vollständig; X: Vorhanden; 0: Nicht feststellbar

▲ Tab. 1: Redox-relevante Prozesse in Säulenversuchen bei unterschiedlichen Temperaturen am Ende der jeweiligen Versuchszeit [Jesušek et al. 2013]

Welchen Einfluss hat die Grundwassertemperatur auf die Grundwasserfauna?

In den beiden genannten Berichten des Umweltbundesamtes [5, 3] wird der Grundwasserfauna eine große Bedeutung bei der Bewertung des Einflusses der Temperatur zugemessen. Zunächst sei auf die Gewinnung der Fauna eingegangen. Für eine korrekte Grundwasserprobennahme müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein, um sicherzustellen, dass tatsächlich das Grundwasser und der Grundwasserleiter beprobt werden und nicht etwa die Fauna der Messstelle oder des Ringraums um die Messstelle. Dazu dient das sog. »Hydraulische Kriterium«, welches besagt, dass das in der Grundwassermessstelle befindliche Standwasser hinreichend

oft ausgetauscht werden muss, bevor echtes Grundwasser nachströmt, das in der Folge beprobt werden kann. Nach [6] gibt es insgesamt 29 von über 800 Veröffentlichungen weltweit, die eine Stygofauna (Grundwasserlebewesen) nachweisen konnten, bei der dieses hydraulische Kriterium erfüllt war. Von diesen 29 Publikationen wurden viele Untersuchungen in Karstgrundwasserleitern durchgeführt. Die Datenlage zu Porengrundwasserleitern ist gering. In [7] konnte Stygofauna in einem alluvialen Grundwasserleiter nachgewiesen werden. Insofern ist davon auszugehen, dass nur eine vergleichsweise geringe Anzahl an echten repräsentativen und belastbaren Probenahmen zur Verfügung steht, wobei das Auftreten von Stygofauna in Kluft- und Karstgrundwasserleitern bereits hinlänglich bekannt ist.

Die Stygofauna ist an unterschiedliche Temperaturen angepasst [8], die im Bereich oberhalb des Gefrierpunkts und unterhalb ca. 30 °C liegen, allerdings ist die in Mitteleuropa beheimatete kaltstenotherme Stygobionten-Fauna auf einen Temperaturbereich zwischen 5-16 °C angepasst. Diese Stygobionten

benötigen Sauerstoff und sind daher auf aerobes (sauerstoffhaltiges) Grundwasser angewiesen. In einem Grundwasserleiter mit einer Redoxzonierung ist dies der obere oberflächennahe Bereich des Grundwasserleiters. Eine Redoxzonierung in einem Grundwasserleiter entwickelt sich überall dort, wo durch bakterielle Katalyse unterstützte Redoxprozesse so ablaufen, dass diskrete Redoxzonen mit hydrochemisch unterschiedlichen Charakteristika entstehen. Dabei weisen die Redoxzonen i. A. mit zunehmender Tiefe zunehmend stärker reduzierende Verhältnisse auf.

Im tieferen anaeroben und reduzierenden Redoxbereich besteht die Fauna

aus Mikroorganismen, die an den Mangel an Sauerstoff angepasst sind. Stygobionten sind dort nicht dauerhaft lebensfähig.

Nach [5] gibt es bei 16 °C einen Kippunkt. Es handelt sich demnach um diejenige Temperatur, bei der einzelne Arten der Stygofauna nicht dauerhaft überleben können (Bsp. Grundwasserasseln). Allerdings wurde dieser »Kippunkt« durch Laborversuche ermittelt. Nach [6] konnte in Gebieten mit signifikanten Temperaturveränderungen und bei Temperaturen > 20 °C kaum bis keine Stygofauna vorgefunden werden. Gleichzeitig führen höhere Temperaturen zu einer höheren Aktivität der Mikroorganismen und dies wiederum führt zu geringen Sauerstoffgehalten oder sogar zeitweise anaeroben Bedingungen. Insofern scheint weniger die Temperatur für die Stygofauna relevant, denn die damit verbundene Sauerstoffzehrung mit anaeroben Verhältnissen.

Tatsächlich fehlt bis heute der wissenschaftliche Nachweis für das Auftreten von Grundwasserfauna im Berliner Raum. Aus wissenschaftlicher Sicht führt die Nichtexistenz von Grundwasserfauna bei fachlich korrekt durchgeführter und dem hydraulischen Kriterium folgender Probenahme aus Grundwassermessstellen zur wissenschaftlichen Hypothese, dass in Porengrundwasserleitern keine Grundwasserfauna existiert. Unterstützt wird diese wissenschaftliche Hypothese dadurch, dass bei unzähligen Sedimentproben, die mikroskopisch auf mineralogische, petrographische, geochemische oder auf andere Fragestellungen hin in der Vergangenheit untersucht wurden, kein Hinweis darauf auftrat, dass Grundwasserfauna vorhanden ist.

Könnten geothermische Anlagen gezielt genutzt werden, um urbane Wärmeinseln abzukühlen, und damit einen Beitrag zur Minderungen der Aufheizung der Städte zu leisten?

Erhöhte Temperaturen im Grundwasser sind unter vielen Städten nachgewiesen worden [2]. Die Effekte sind insbesondere in oberflächennahen Grundwasserleitern nachgewiesen worden. Die Darstellung umfasst den oberen Grundwasserleiter bei einer Tiefe von rund 25 m unter Geländeoberfläche. Ursachen hierfür sind künstliche Oberflächen, Wärmeeinträge in den Untergrund durch Gebäude, städtische Infrastruktur

(u. a. Tunnel, U-Bahn), Fernwärmeleitungen, Abwassersysteme, Re-Injektion von aufgeheizten Wässern und der Einfluss von Oberflächengewässern. Temperaturanomalien bis zu 140 m tief sind unter chinesischen Mega-Cities nachgewiesen.

Die urbanen Wärmeinseln tragen mit zur Aufheizung der Städte bei. Der gezielte Einsatz von geothermischen Anlagen für überwiegende Heizzwecke könnte dazu beitragen, dass die urbanen Wärmeinseln wieder abgebaut werden und damit auch ein Beitrag zur Abkühlung von Städten erfolgt. Dafür müssten die vorgeschriebenen Anteile der entzogenen Wärme über derjenigen der entzogenen Kälte liegen.

Wie ist der Einsatz von geothermischen Anlagen in Trinkwasserschutzgebieten zu bewerten?

Geothermische Anlagen sind äußerst zuverlässig und Leckagen treten nur in sehr seltenen Fällen auf (<< 1%) [9], z. B. durch Fehler bei der Installation, durch Korrosion, Materialverschleiß und Schäden durch äußere Einwirkungen.

Simulationen zeigen, dass Wärmeträgerfluide bei Lecks selbst bei geringen Entfernungen zum Entnahmehrunden weit unter dem Grenzwert liegen. Die derzeitigen Standards wären somit zumindest diskussionswürdig [9].

Aus Gründen des Grundwasserschutzes sind geothermische Anlagen in den Wasserschutzgebieten I, II und - nach jüngster Rechtsprechung - IIIA nicht zulässig. Dies dient dem Schutz der Trinkwasserversorgung, um mögliche Verunreinigungen während der Bohrung, Errichtung und Betrieb der Anlage zu vermeiden. In diesen Wasserschutzgebieten sollte daher auf die geothermische Nutzung verzichtet werden.

Ist der Einsatz von geothermischen Anlagen in der Wasserschutzgebietenzone IIIB vertretbar?

In der Wasserschutzgebietenzone IIIA darf nicht gebohrt werden und auch keine geothermische Anlage installiert sein. In der Zone IIIB hingegen wird empfohlen, durch eine Einzelfallprüfung die Genehmigung zur Errichtung einer geothermischen Anlage zu klären.

Welche thermischen Änderungen sind relevant? Gibt es eine thermische Geringfügigkeitsschwelle?

In [3] wird für den aeroben Grundwasserleiter die thermische Geringfügigkeitsschwelle auf den Bereich zwischen 6 °C (Minimum) und 16 °C (Maximum) festgelegt. Allerdings bleibt offen, wie mit Grundwassertemperaturen, die bereits heute im städtischen Raum > 16 °C reichen, verfahren werden soll. Nach dem Entwurf des Gesetzes zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren für Geothermieanlagen, Wärmepumpen und Wärmespeicher sowie weiterer rechtlicher Rahmenbedingungen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klima ist eine Änderung der Untergrundtemperatur in Anlehnung an das BGB § 906, Absatz 1 Satz 1 von < 6 K eine unwesentliche Änderung.

Für Berlin gilt die Regel, dass an der Grundstücksgrenze eine Temperaturänderung durch eine geothermische Anlage nicht mehr als ± 3 K betragen darf. Es ist aber zu hinterfragen, welchen Sinn eine derartige Regelung macht. Zum einen behindert diese Regelung übergreifende Lösungen mit größeren Anlagen für mehrere Betreiber, zum anderen ist nicht klar, auf welcher fachlichen Basis eine derartige Temperaturspreizung beruht. Zumindest für den tieferen Bereich der Grundwasserleiter kann dies weder durch die Hydrochemie begründet werden noch durch eine bisher im Berliner Raum wissenschaftlich nicht nachgewiesene Grundwasserfauna in der oberen aeroben Redoxzone des Grundwasserleiters.

Insofern führt diese Regel zu

- ▶ erhöhter Bohrtätigkeit mit möglichen Auswirkungen auf das Grundwasser und die Grundwasserleiter,
- ▶ zum Einbau einer Vielzahl an Einzelanlagen, was gleichzeitig mit der Verbringung von nicht-natürlichen Materialien (Plastikrohre) in den Untergrund verbunden ist,
- ▶ einer wenig effektiven Nutzung der Geothermie,
- ▶ einer möglichen Nichtnutzung von Geothermie trotz ansonsten geeigneter Bedingungen.

In der Summe führt diese Regel zu einer wenig an die natürlichen Gegebenheiten angepassten Situation, die wenig Spielraum für eine effektive und nachhaltige Nutzung lässt.

Es wird empfohlen, die ± 3 K Temperaturbegrenzung zugunsten eines gezielten Einsatzes der Geothermie und größerer geothermischer Anlagen aufzugeben. Ziel muss sein, die Temperatur im Untergrund einer Stadt wie Berlin grundsätzlich und auch angesichts der klimatischen Entwicklung zu senken und die geothermische Energie mit einer möglichst geringen Zahl an Bohrungen und Anlagen möglichst effizient zu nutzen. Dabei sollten nichtexistierende Anlagen, Grundstücksgrenzen und willkürliche Temperaturbegrenzungen keine Beachtung finden. Demgegenüber sollte eine gezielte Planung der Nutzung geothermischer Energie unter Einbeziehung der Kenntnisse von durch städtischer Infrastruktur eingebrachter Wärme vorgenommen werden und geeignete Standorte als Quartierslösungen konzipiert werden. ♦

Danksagung: Dieser Beitrag geht auf ein beauftragtes Gutachten im Rahmen des BMWK Projektes »Urban Ground Heat« (FKZ: 03EN3066) zurück. Ich danke für die Vielzahl an Diskussionen mit unterschiedlichen Vertreterinnen und Vertretern von Ämtern, Behörden, Firmen und der Wissenschaft.

Literatur

- [1] Rumohr, S. (2023): Dimensionierung und Betrieb von Erdwärmesonden - Erläuterungen vor dem Hintergrund missverständlicher Darstellungen. GMT 94.
- [2] Menberg, K., Bayer, P., Zosseder, K., Rumohr, S. & Blum, P. (2013): Subsurface Urban Heat Islands in German Cities. *Science of The Total Environment* 442: 123-33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.043>.
- [3] Hiester, U., Jungk, V., Poetke, D., Ulrich, K.-U., Ludwig, F., Schreiber, B. & Horn, A. (2022): Umweltverträgliche Nutzung geothermischer Wärmespeicher - Ermittlung und Bewertung thermischer Veränderungen im Grundwasser.- Umweltbundesamt Texte 113/2022 (»UBA 2022«)
- [4] Jesußeck, A., Grandel, S. & Dahmke, A. (2013): Impacts of Subsurface Heat Storage on Aquifer Hydrogeochemis-

try. Environmental Earth Sciences 69, Nr. 6: 1999-2012. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2037-9>.

[5] Griebler, C., Kellermann, C., Stumpp, C., Hegler, F., Kuntz, D. & Walker-Hertkorn, S. (2015): Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften – Empfehlungen für eine umweltverträgliche Nutzung.- Umweltbundesamt Texte 54/2015 (»UBA 2015«).

[6] Koch, F., Blum, P., Korbel, K. & Menberg, K. (2024): Global Overview on Groundwater Fauna. Ecohydro-

logy 17, Nr. 1: e2607. <https://doi.org/10.1002/eco.2607>.

[7] Cook, B. D., Abrams, K.M., Marshall, J., Perna, C. N., Choy, S., Guzik, M. T. & Cooper, S.J.B. (2012): »Species Diversity and Genetic Differentiation of Stygofauna (Syncarida:Bathynellacea) across an Alluvial Aquifer in North-Eastern Australia«. Australian Journal of Zoology 60, Nr. 3: 152. <https://doi.org/10.1071/ZO12061>.

[8] Griebler, C., Brielmann, H., Haberer, C.M., Kaschuba, S., Kellermann, C., Stumpp, C., Hegler, F., Kuntz, D., Walker-Hertkorn, S. & Lueders, T. (2016): Potential Impacts of Geothermal

Energy Use and Storage of Heat on Groundwater Quality, Biodiversity, and Ecosystem Processes. Environmental Earth Sciences 75, Nr. 20: 1391. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6207-z>.

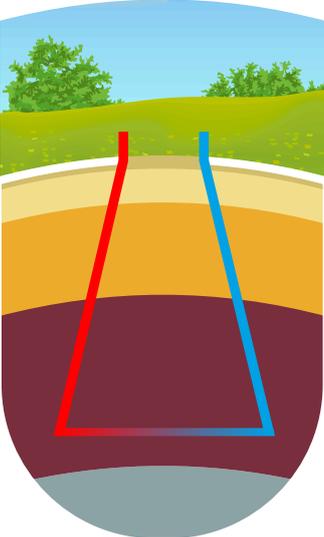
[9] Struß, J., Schäfer, D., Dahmke, A. & Köber, R. (2020): Numerische Simulationen des Ausbreitungsverhaltens von Wärmeträgerfluid-Inhaltsstoffen aus Erdwärmesonden in Trinkwasser-einzugsgebieten. Grundwasser 25, Nr. 3: 189-204. <https://doi.org/10.1007/s00767-020-00453-z>.



GESER
Erdwärme GmbH & Co. KG

Mywiler 160 1/4
D 88145 Opfenbach
Fon +49 8385 924 924-0
mail@geser.eu

www.geser.eu



Geothermie ist mehr

als nur **heißes Wasser!**

UGS betreut Ihr Projekt und führt alle Leistungen durch

- ▶ ob flache oder tiefe Geothermie
- ▶ ob offene oder geschlossene Systeme
- ▶ ob Dublette oder mit nur einer Bohrung
- ▶ von der Machbarkeitsstudie bis zur schlüsselfertigen Übergabe Ihres Heiz- und/oder Kraftwerkes



A COMPANY OF



Untergrundspeicher- und Geotechnologie-Systeme GmbH • Berliner Chaussee 2 • 15749 Mittenwalde (Germany) • info@ugsnet.de • www.ugsnet.de

»Vom Kohle- zum Wärmebergbau«: Neues Fraunhofer Reallabor für Geothermie im Rheinland

TEXT: Rolf Bracke und Martin Albers

Das »Fraunhofer Reallabor Geothermie Rheinland« ist Teil des Aufbaus einer Forschungsinfrastruktur und besteht aus einem Technikum für Georessourcen am Braunkohlekraftwerk Weisweiler sowie einem umfassenden Erkundungsprogramm mit Seismik, Tiefbohrungen und geowissenschaftlicher Analyse. Ziel ist die Bewertung des geothermischen Nutzungspotenzials des Untergrunds im Rheinischen Revier. Der Aufbau soll den Grundstein in Nordwesteuropa für die Umstellung der kommunalen und industriellen Wärmeversorgung an einem Forschungsstandort mit überregionaler Strahlkraft legen.

Einleitung

Das Fraunhofer Reallabor Geothermie Rheinland soll in der deutsch-niederländisch-belgischen Grenzregion eine europaweit herausgehobene Forschungsinfrastruktur schaffen, die das Potenzial der Tiefen Geothermie Nordwesteuropas erforscht und die Entwicklung innovativer Energietechnologien für die Wärmewende ermöglicht. Mit der geplanten Abschaltung des Kohlekraftwerks Weisweiler zum Ende des Jahrzehnts wird deutlich: Es braucht jetzt tragfähige Lösungen, um den künftigen Wärmebedarf – insbesondere in der Städtereion Aachen – auch unabhängig von fossilen Energien decken zu können.

Um die Grundlage für eine erfolgreiche Erschließung geothermischer Potenziale zu schaffen, umfasst das Fraunhofer-Reallabor ein geophysikalisches Observatorium, ein übertägiges Technikum für Geothermie, Geotechnologien und Georessourcen sowie ein rund 350 km² großes Aufsuchungsfeld zur systematischen Erkundung des Untergrunds in der Region (Abb. 1). Die Forschungsinfrastruktur bietet Industrie sowie Forschungspartnern aus dem In- und Ausland eine Plattform für die gemeinsame Entwicklung und Anwendung geotechnologischer Lösungen.

Geologische Grundlagen

Im Rheinischen Braunkohlerevier wurden bereits tausende Bohrungen abgeteuft [1]. Nur wenige davon reichen jedoch in die tieferen Schichten der Niederrheinischen Bucht und des Rhenoharzynischen Falten- und Überschiebungsgürtels. Gerade diese paläozoischen Strukturen gelten als vielversprechend für die geothermische Nutzung: Sie enthalten poten-

zielle Lagerstätten in geklüfteten und verkars-teten Karbonatgesteinen des Unterkarbons (Kohlenkalk), im ober- und mitteldevonischen Massenkalk sowie in geklüfteten Sandsteinen der oberdevonischen Condroz-Gruppe. Aufgrund begrenzter Informationen aus tiefen Bohrungen, einer geringen Verfügbarkeit seismischer Daten und der komplexen geologischen Verhältnisse in der Region sind räumliche Verteilung, Tiefe, Mächtigkeit und Produktivität dieser Gesteine bislang noch ungewiss [2]. Zur Vorbereitung des Reallabors erfolgt daher zunächst eine systematische Erkundung des Untergrunds, um zusätzliche Daten zu gewinnen, geologische Modelle zu verbessern und Explorationsrisiken fundiert neu zu bewerten [3].

Projektrahmen

Zentral für das Projekt sind zwei mehrere Kilometer tiefe Erkundungsbohrungen sowie eine umfassende geophysikalische Untersuchung des Gebiets. Die dabei gewonnenen Daten ermöglichen es, ein detailliertes Bild vom geologischen Aufbau der Region zu zeichnen. Darauf aufbauend entwickelt das Fraunhofer IEG digitale Untergrundmodelle, die ein besseres Verständnis über die räumliche Verteilung und Eigenschaften der Gesteinsschichten schaffen. Als Stützpunkt für die seismischen Messungen dient zunächst eine Tiefbohrung in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk Weisweiler. Erste Erkenntnisse über den Standort wurden bereits im vergangenen Jahr gemeinsam mit dem Industriepartner RWE Power AG durch eine 500 m tiefe Explorationsbohrung gewonnen. Auf Basis weiterer seismischer und bohrtechnischer Auswertungen wird der Standort für die zweite Tiefbohrung festgelegt.



Prof. Dr. Rolf Bracke

Institutsleiter

Fraunhofer-Einrichtung für
Energieinfrastrukturen und
Geotechnologien IEG

Kontakt:

rolf.bracke@ieg.fraunhofer.de
www.ieg.fraunhofer.de



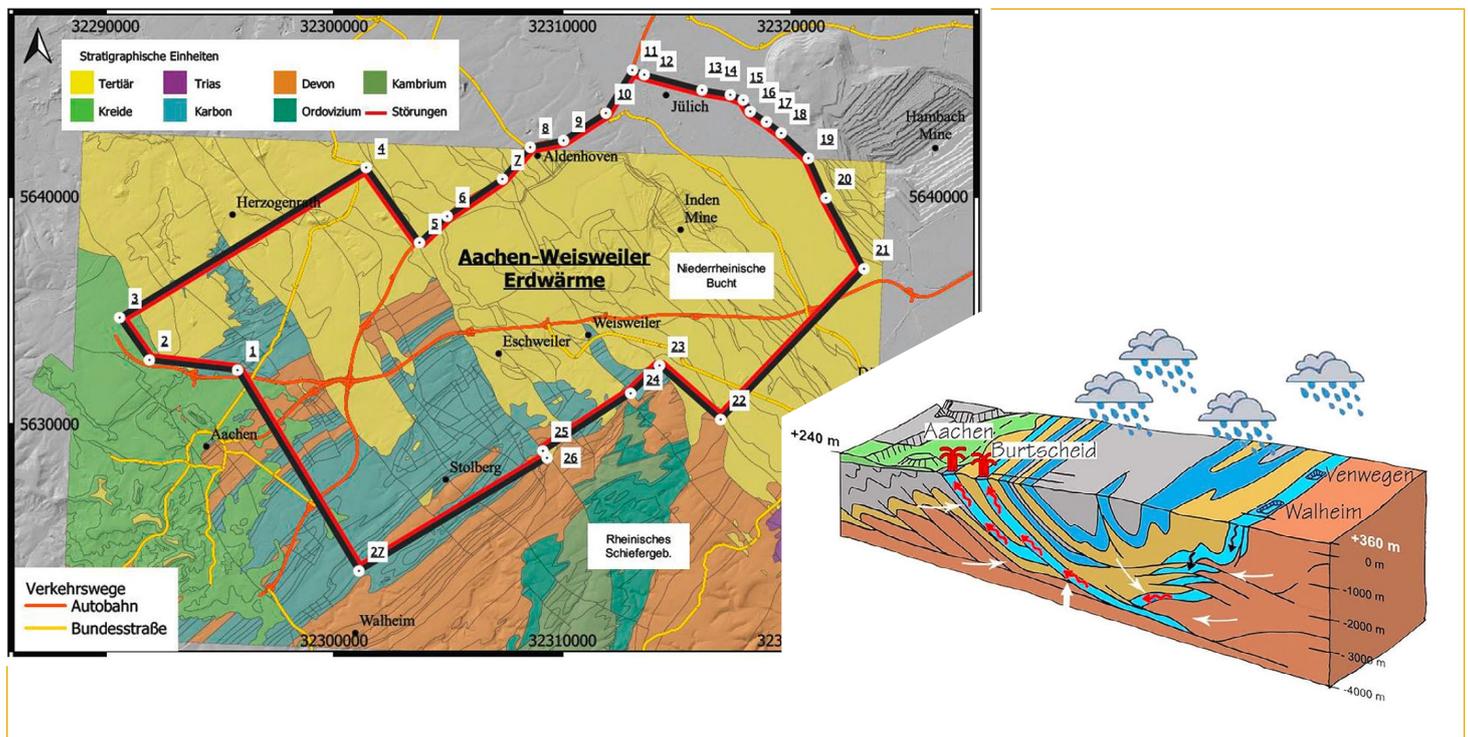
Martin Albers

Projektleiter Geo³

Fraunhofer-Einrichtung für
Energieinfrastrukturen und
Geotechnologien IEG

Kontakt:

martin.albers@
ieg.fraunhofer.de
www.ieg.fraunhofer.de



▲ Abb. 1: Das Aufsuchungsfeld für Erdwärme der Fraunhofer-Gesellschaft im Rheinischen Revier (links) sowie ein schematisches Blockbild (Nordwest-Südost-Schnitt) der Indemulde mit dem Thermalwasser-System Aachen (rechts; Quelle: Roland Walter, 2020).

Die operativen Arbeiten werden durch ein umfassendes Monitoringprogramm begleitet. Ein zentraler Bestandteil ist die seismologische Überwachung des Untergrunds. Bereits im Vorfeld wurden umfangreiche Messungen zur Hintergrundseismizität durchgeführt, um ein belastbares Referenzniveau zu schaffen [4]. Das aktuell im Aufbau befindliche seismologische Observatorium dient der kontinuierlichen Beobachtung geodynamischer Veränderungen im Projektgebiet. Damit wird sichergestellt, dass sämtliche Maßnahmen in einem kontrollierten und transparent nachvollziehbaren Rahmen erfolgen.

Zusammen mit den assoziierten Partnern RWE Power AG und der STAWAG - Stadtwerke Aachen AG - soll eine quantitative Aussage zu den geothermischen Potenzialen des tiefen Untergrunds in der Region und dessen energiewirtschaftlicher Nutzbarkeit für die Einspeisung in Fernwärmenetze des Rheinischen Reviers getroffen werden.

Am Standort des Braunkohlekraftwerks Weisweiler entsteht im Rahmen des Fraunhofer Reallabors ein Technikum, das als Forschungszentrum für angewandte Geotechnologien und Dekarbonisierungsstrategien fungiert. Hier laufen sämtliche Untergrunddaten aus Bohrungen, Seismik und Monitoring zusammen. Darüber hinaus dient das

Technikum als Entwicklungsplattform für Geotechnologien zur Energieversorgung. Die Forschungsthemen sollen Aspekte der Anlagentechnik zur Dekarbonisierung von Industrie und Kommunen abdecken - von Aggregaten zur geothermischen Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung über die Nutzung des Untergrunds als Energiespeicher bis hin zu CO₂-armen Betriebsstrategien. So entstehen marktgerechte, skalierbare und einfach auf neue Standorte übertragbare Technologien für den flächendeckenden Einsatz.

Fraunhofer IEG will gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie Innovationen in europäische Strukturwandelregionen tragen und so den Übergang von der Kohle hin zu einer nachhaltigen Wärmeinfrastruktur ermöglichen. Neben der Entwicklung neuer Technologien dient sie zudem der Aus- und Weiterbildung benötigter Fachkräfte im Bereich geothermischer Energiesysteme. ♦

Literatur

[1] Jüstel, A., Becker, S., Mamonov, E., Reinsch, T., Orth, F., Pickarski, N., Gaus, G., Delzig, L., Kruszewski, M., Jones, A., Ahrens, B., Salamon, M., Sachse, F., Oswald, T. (2025; submitted). Geological and geophysical characterization of the exploration boreholes EB1 and EBe2, Indemulde Syncline, Rhenohercynian

Fold-And-Thrust Belt and Weisweiler Horst, Lower Rhine Embayment, Germany, Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften.

[2] Jüstel, A., Ritzmann, O., Chudalla, N., Strozyk, F. and Wellmann, F. (2024). 3D structural and probabilistic modeling of geothermal reservoir horizons in the Northern Eifel and its foreland. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 10.1127/zdgg/2025/0436

[3] Niederau, J., Ritzmann, O., Jüstel, A., Wellmann, F., and Kettermann, M. (2023). Green field exploration in the Aachen-Weisweiler region, Germany: Constraints and concepts for uncertainty and risk assessment. EAGE Annual Conference & Exhibition, 84:1-5. <https://doi.org/10.3997/22214-46099.023101048>.

[4] Finger, C., Roth, M.P., Dietl, M., Gotowik, A., Engels, N., Harrington, R.M., Knapmeyer-Endrun, B., Reicherter, K., Oswald, T., Reinsch, T., and Senger, E.H.: The Weisweiler passive seismological network: optimised for state-of-the-art location and imaging methods, ESSD, 15, 2655-2666, 2023, <https://doi.org/10.5194/essd-15-2655-2023>

Geothermie-Allianz Bayern – angewandte Verbundforschung um weitere vier Jahre verlängert

TEXT: Nora Medgyesi, Wolfgang Bauer, Michael Drews, Kai Zosseder, Joachim Wassermann, Florian Heberle und Christopher Schifflechner

M. Sc. Nora Medgyesi
Projektleiterin GAB
Munich Institute of
Integrated Materials, Energy
and Process Engineering,
Technische Universität
München
Kontakt:
nora.medgyesi@tum.de
<https://geothermie-allianz.de>

Dr. rer. Nat. Wolfgang Bauer
Teilprojektleiter, Arbeits-
gruppenleiter Geothermie
GeoZentrum Nordbayern –
Lehrstuhl für Geologie
Kontakt:
wolf.bauer@fau.de
www.geoenergy.nat.fau.de

Prof. Dr. Michael Drews
Teilprojektleiter
Professur für Geothermal
Technologies
Technische Universität
München
Kontakt:
michael.c.drews@tum.de
www.cee.ed.tum.de/gtt

Dr. rer. nat. Kai Zosseder
Teilprojektleiter
Arbeitsgruppenleiter
Geothermie, Lehrstuhl für
Hydrogeologie
Technische Universität
München
Kontakt:
kai.zosseder@tum.de
www.cee.ed.tum.de/hydro

Die Teilprojekte der dritten Phase (2025-2028) decken die Tiefe Geothermie methodisch ganzheitlich von der Erkundung über die Modellierung, seismische Risikominimierung, Anlagentechnik bis zur Systemintegration ab. In der Anwendung zielt die Forschung darauf ab, neben der etablierten Nutzungsform – Fernwärme aus einer Dublette im Malm – neue Konzepte für die Erschließung wie mitteltiefe Sandsteine oder Enhanced Geothermal Systems (EGS) sowie die flexible Nutzung von Tiefer Geothermie (Kälte, Prozessdampf, Strom) zu beurteilen.

Die tiefengeothermische Nutzung in Bayern hat eine fast 30-jährige Geschichte. In dieser Zeit sind zahlreiche Forschungsfragen zur Reservoircharakterisierung sowie zum Betrieb der Anlagen entstanden. Seit 2016 begleitet die Geothermie-Allianz Bayern (GAB) den Geothermieausbau wissenschaftlich und adressiert diese Fragen auch in Zukunft in fünf Teilprojekten:

Geologische Erkundung

Basierend auf Forschungsergebnissen der vorherigen GAB-Förderphasen sollen alternative geothermische Wärmequellen in Nordbayern weiter untersucht werden. Zum einen soll die Charakterisierung des vermuteten radiogenen Granitkörpers (»Haßberge-Granit«), der eine positive Wärmeanomalie im Untergrund hervorruft, bezüglich Geometrie, Tiefenlage und Struktur durch geophysikalische Messungen verfeinert werden. Zum anderen sollen EGS-Konzepte in der Nähe nordbayerischer Ballungszentren für die Wärmeversorgung evaluiert werden. Übergreifendes Ziel ist es, den Reifegrad der EGS-Technologie in Nordbayern so weiterzuentwickeln, dass eine Forschungsbohrung in das Grundgebirge realisiert werden kann.

Skalenübergreifende Reservoirmodellierung

Der Fokus liegt auf einem besseren Verständnis des bayerischen Untergrundes und der Modellie-

rung seiner Reservoireigenschaften. Die Modelle sollen das Reservoir skalenübergreifend abbilden können. Das ist besonders wichtig, da in der Geologie Bayerns stark ausgeprägte Anisotropien herrschen, die sonst bei der Übertragung von Laborergebnissen auf den Feldmaßstab verloren gehen würden. Die Modelle werden THMC-Effekte gekoppelt darstellen. Dazu ist auch die Untersuchung der Randbedingungen und Reservoireigenschaften ein zentraler Teil des Teilprojekts. Ziel des Teilprojektes ist das Ausarbeiten von Erschließungsstrategien über das Molassebecken hinaus. Für alternative bayerische Reservoire stehen vor allem Granite in Nordbayern für EGS sowie Sandsteine in Franken und der Molassebeckenfüllung für mitteltiefe Reservoire im Fokus. Für eine verbesserte Nutzung der schon etablierten hydrothermalen Geothermie im Molassebecken werden neue Nutzungskonzepte evaluiert. Dazu werden unter anderem die Auswirkungen von abgesenkten Rücklauftemperaturen auf das Reservoir sowie die Verdichtung der Geothermieanlagen im Münchner Raum untersucht.

Seismische Risikominimierung

Der Fokus des Teilprojekts liegt auf dem Verständnis und der statistischen und modellhaften Vorhersage von Seismizität, die durch Geothermieprojekte induziert werden können. Es werden drei Themen beleuchtet: Ursachen und Steuermöglichkeiten von induzierter Seismizität; mögliche Auswirkungen von auftretender Seismizität und ihre Gegenmaßnahmen in Bezug auf Gebäude; Einsatz von modernen Messsystemen für die flächige Abschätzung der Einwirkungen auftretender Seismizität. Da EGS-Projekte in der Regel mit höheren Mikrobebenraten verbunden sind, ist es von entscheidender Bedeutung, die Seismizität entsprechend zu überwachen und Maßnahmen zur Vermeidung von schadensverursachender Seismizität zu ergreifen. Dazu wird ein adaptiv nachgeführtes Ampel- oder ein RMS entwickelt. Ein neuartiger Ansatz soll die quantitative Untersuchung der Spannungsverhältnisse in der Zieltiefe ermöglichen. Um mögliche Auswirkungen der auftretenden Seismizität auf die Gebäude zu erfassen, werden neue Ansätze zur Boden-Bauwerk-Interaktion und zum Einfluss der Bodenbeschaffenheit erforscht.

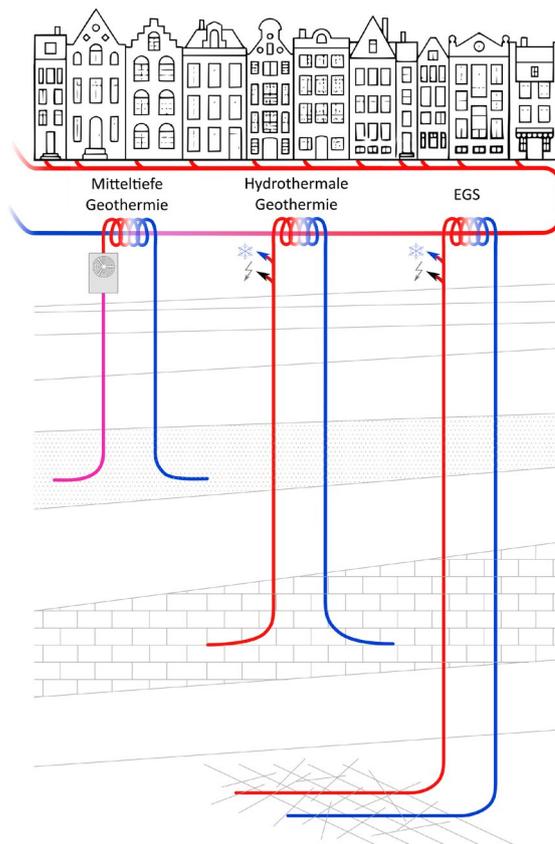
Schließlich wird das flächendeckende Messsystem, Distributed Acoustic Sensing, untersucht. Dieses System wird die flächenhafte Messung von Bodenschwinggeschwindigkeiten ermöglichen und die Bestimmung eines Einwirkungsbereichs im Schadensfall unterstützen.

Anlagentechnik und flexibler Betrieb

Das übergeordnete Ziel des Teilprojektes ist die Entwicklung von anlagentechnischen Ansätzen und Methoden, die auf die geologischen Bedingungen des jeweiligen Untergrundes optimal angewendet werden können. Es wird ein Condition-Monitoring-System für Tauchkreislumpenmotoren entwickelt, um thermische Überlastung frühzeitig zu erkennen und somit Pumpenausfälle zu minimieren. Für Großwärmepumpen werden neue Arbeitsmedien wie Gemische sowie die mehrstufige Prozessführung untersucht, um einen zuverlässigen und kosteneffizienten Betrieb zu gewährleisten. Die Erprobung von innovativen Komponenten und die Optimierung der Systemregelung bei reversiblen ORC-Prozessen tragen zu einem flexibleren Anlagenbetrieb bei. Zudem wird für die Kältebereitstellung die technische Lösung einer Hybrid-Absorptionskältemaschine erarbeitet, um die Anlagentechnik nachhaltig zu gestalten.

Systemoptimierung

Der Fokus liegt auf der Untersuchung von künftigen Anwendungsfeldern und optimalen Systemdesigns für die Geothermie. Das Teilprojekt untersucht und optimiert technologische Ansätze zur Versorgung von Industrieprozessen mit Wärme, Dampf und Kälte. Durch einen Fokus auf die Steigerung des Temperaturhubes mit Wärmepumpen wird das Potenzial der Mitteltiefen Geothermie für Industriekund*innen bewertet und weiter gesteigert. Aufgrund des zunehmenden Bedarfs von flexibel einsetzbaren Technologien zur Sektorenkopplung werden ebenfalls innovative Ansätze zur Steigerung des



▲ Abb. 1: Anwendungsgebiete der GAB-Forschung (Quelle: GAB)

Flexibilitätpotenzials der Geothermie untersucht. Besonders durch die künftige Integration von Wärmespeichern und reversiblen ORC-Systemen lässt sich dieses Potenzial deutlich steigern. Zusätzlich ermöglicht das Teilprojekt eine künftige bessere Integration der Geothermie in die regionale und urbane Energieplanung. Abgerundet wird das Teilprojekt mit detaillierten Lebenszyklusanalysen. ◆

Dr. rer. nat.

Joachim Wassermann

Teilprojektleiter
Akademischer Direktor
Geophysikalisches
Observatorium
Ludwig-Maximilians-Universität München

Kontakt:

j.wassermann@lmu.de
www.geophysik.uni-muenchen.de

Dr.-Ing. Florian Heberle

Teilprojektleiter
Geschäftsführer, Zentrum
für Energietechnik
Universität Bayreuth

Kontakt:

florian.heberle@uni-bayreuth.de
www.zet.uni-bayreuth.de

M. Sc.

Christopher Schiffler

Teilprojektleiter
Abteilungsleiter Thermodynamische Kreisprozesse und Geothermie, Lehrstuhl für Energiesysteme
Technische Universität München

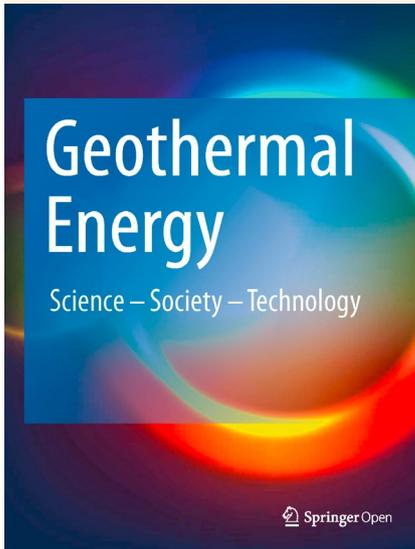
Kontakt:

c.schiffler@tum.de
www.epe.ed.tum.de/es

▼ Abb. 2: Projektteam der GAB



Feature articles of Journal »Geothermal Energy – Science, Society and Technology«



In the partnership of Bundesverband Geothermie e. V. with the open-access journal »Geothermal Energy - Science, Society and Technology«, selected article excerpts from the journal are regularly featured in the journal »Geothermische Energie«. Full access to these and all articles is free at www.geothermal-energy-journal.com.

Journal scope:

»Geothermal Energy - Science, Society and Technology« focuses on fundamental and applied research needed to deploy technologies for developing and integrating geothermal energy as one key element in the future energy portfolio. Contributions include geological, geophysical, and geochemical studies, exploration of geothermal fields, reservoir characterization and modeling,

development of productivity-enhancing methods, and approaches to achieve robust and economic plant operation. »Geothermal Energy - Science, Society and Technology« serves to examine the interaction of individual system components while taking the whole process into account, from the development of the reservoir to the economic provision of geothermal energy. ♦

Modeling unobserved geothermal structures using a physics-informed neural network with transfer learning of prior knowledge

Akihiro Shima, Kazuya Ishitsuka, Weiren Lin, Elvar K. Bjarkason and Anna Suzuki

Abstract

Deep learning has gained attention as a potentially powerful technique for modeling natural-state geothermal systems; however, its physical validity and prediction inaccuracy at extrapolation ranges are limiting. This study proposes the use of transfer learning in physics-informed neural networks to leverage prior expert knowledge at the target site and satisfy conservation laws for predicting

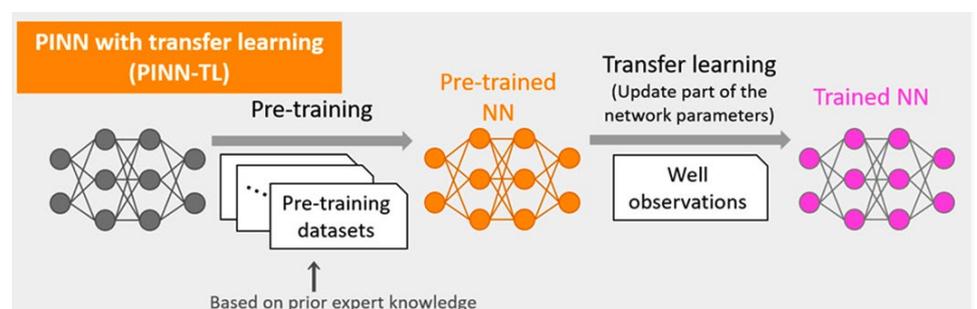
natural-state quantities such as temperature, pressure, and permeability. A neural network pre-trained with multiple numerical datasets of natural-state geothermal systems was generated using numerical reservoir simulations based on uncertainties of the permeabilities, sizes, and locations of geological units. Observed well logs were then used for tuning by transfer learning of the network. Two synthetic datasets were ex-

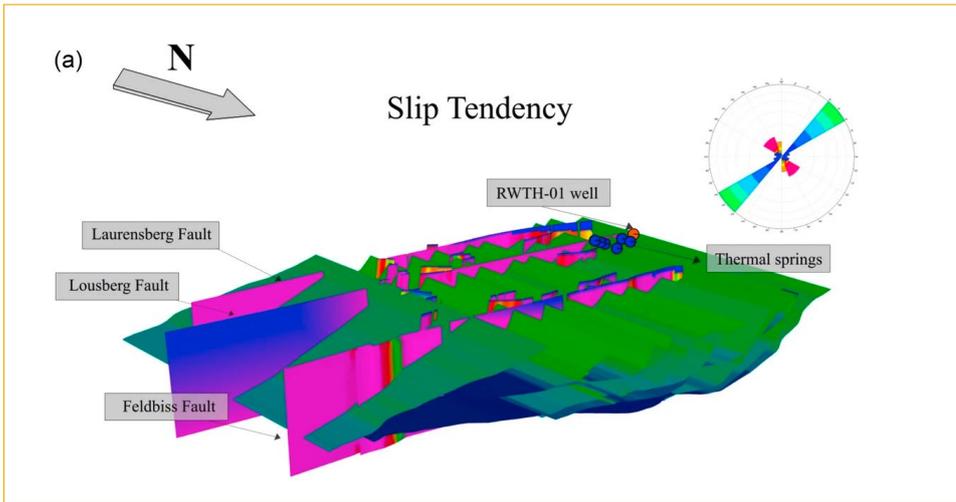
amined using the proposed framework. Our results demonstrate that the use of transfer learning significantly improves the prediction accuracy in extrapolation regions with no observed wells.

You can find more information here:



► Fig. 1: Schematic of the physics-informed neural network with transfer learning (PINN-TL)





◀ Fig. 1: 3D structural model displaying slip tendency in the Aachen Geothermal Potential Zone

Integrative analysis of the Aachen geothermal system (Germany) with an interdisciplinary conceptual model

Esteban Gómez-Díaz, Andrea Balza Morales, Peter A. Kukla and Maren Brehme

Abstract

The comprehension of geothermal systems involves the efficient integration of geological, geophysical and geochemical tools that are crucial in unraveling the distinct features inherent in geothermal reservoirs. We provide a first approach to comprehending the geologically complex geothermal system in the Aachen area, which has been known for its natural thermal spring occurrences since Roman times. Through a comprehensive analysis involving geochemical interpretation of water samples, a re-

view of 2D seismic profiles, stress analysis, and surface geology, a dynamic model has been built, which serves as a conceptual framework providing a clearer understanding of the system. The model characterizes a non-magmatic, detachment fault-controlled convective thermal system, wherein the reservoir exhibits mixed properties of the mainly Devonian carbonate rocks. NW-SE directed fault lines play a pivotal role in fluid transport, enabling the ascent of thermal waters without the need for additional energy. We additionally con-

ducted magnetotelluric (MT) surveys and analyzed apparent resistivity and impedance values obtained through forward modeling, along with an assessment of noise levels. These findings contribute to evaluating the potential use of MT methods in further evaluating the study area and for geothermal energy exploration in general.

You can find more information here:



E-Mail: info@reimann-oil-tools.com
Phone: +49 (0)4133 22 54 944

13 Years of Service for you

WELL MEASUREMENT EQUIPMENT

PERMANENT MONITORING SYSTEM

13
Years
Service

Mehr Sichtbarkeit für Frauen in der Geothermie: Prof. Dr. Inga Moeck im Portrait

In der Interviewserie »Frauen in der Geothermie« rückt der Bundesverband Geothermie e. V. (BVG) Expertinnen ins Rampenlicht. Dieses Mal im Fokus: Prof. Dr. Inga Moeck, Vizepräsidentin des BVG und seit Jahrzehnten prägende Stimme für die Verbandsarbeit. Im folgenden Gesprächsauszug berichtet sie über ihren Werdegang - und warum Geologie nicht ihre erste Leidenschaft war.

Welche Erfahrungen in der Kindheit und Jugend haben Sie für Ihren weiteren Berufsweg geprägt?

Ich bin in West-Berlin aufgewachsen, im Arbeitermilieu Schönebergs, an der Grenze zu Kreuzberg. Meine Mutter war Lehrerin und mein Vater Versicherungsangestellter. In meiner Familie waren die Frauen schon immer diejenigen, die mehr verdient haben. Meine Oma ist 1914 geboren und hat als Gehilfin in einer Anwaltskanzlei ihre komplette Familie ernährt, nachdem ihr Mann im Krieg gefallen war. All diese Frauen eint, dass sie ihr Leben selbstbewusst im Griff hatten und sich von niemandem haben etwas sagen lassen. Deswegen war ich auch erstaunt, als in den Büchern, die wir in der Schule als Lehrmittel hatten, nur die Frauen für den Haushalt zuständig waren, während nur der Mann berufstätig war. »Was sollen das für Familien sein?«, habe ich mich gefragt.

Gab es frühe (weibliche) Vorbilder?

In meiner Familie ist es gelebte Normalität, dass Frauen stark und selbstbewusst sind und ihr eigenes Geld verdienen - das waren für mich keine klassischen Vorbilder, aber Menschen, die mich umgeben und geprägt haben.

Warum haben Sie sich für ein Studium der Geologie entschieden?

Ich habe zur Schulzeit überhaupt nicht daran gedacht, etwas mit Naturwissenschaften zu machen, ich habe Kunst und Englisch im Leistungskurs belegt. Mein Bruder hat sogar Fossilien gesammelt, aber mich haben Steine nicht sonderlich interessiert. Was mich aber schon früh, so ab dem 12. Lebensjahr, fasziniert hat, war die Ägyptologie. Und durch unsere regelmäßigen Reisen nach Bayern am Wochenende



war mir das Unterwegssein vertraut und steckt mir bis heute in den Knochen. Ich liebe es, zu reisen. Mit 16 Jahren bin ich mit meinem Bruder in die USA gereist, mit dem Geld, das mir meine Eltern eigentlich für die Tanzschule gegeben hatten, durch die Südstaaten: Florida, Alabama und Georgia. Mit 18 konnte ich dann endlich nach Ägypten, dort war ich sechs Wochen allein unterwegs, ich war damals wie heute zwar vorsichtig, habe aber keine Angst gehabt, dass etwas passieren könnte. Mich hat die Gesellschaft dort fasziniert, das niedrige materielle Niveau bei gleichzeitiger überwiegend zuversichtlicher Mentalität der Menschen. Dort bin ich dann bei einer Ausgrabung auf einen Geologen getroffen, der mir erklärt hat, wie alt die jeweiligen Schichten sind, und so kam ich zur Geologie.

Wie war das Studium in einem naturwissenschaftlichen Fach, nachdem Ihr Fokus davor auf Kunst und Sprachen lag?

Es fiel mir erstaunlicherweise leicht, nur Chemie war gar nicht meins. Aber da man viel zeichnen musste - Fossilien, Aufschlüsse - hat mir der Fokus auf Kunst auch geholfen. Ich habe neben dem Studium auf Baustellen gearbeitet, in den Wendejahren gab es ja viele Boden- und Altlastensanierungen. Da hat dann ein älterer Bauarbeiter mal gesagt: »Wat machst du denn hier alleene, so als Mädchen?« Aber ich habe nur entgegnet: »Wieso denn nicht?«

Sie sind während des Schreibens ihrer Doktorarbeit Mutter geworden – wie haben Sie das erlebt?

Die Arbeit im Feld, in Portugal, hatte ich da schon abgeschlossen. Es ging also eher darum, zu schreiben. Zur Vereinbarkeit von Kind und Wissenschaft: Ich bin als junge Frau von München über Genua, Tunis und Algerien durch die Sahara bis nach Niger gereist. Dort haben die Frauen mit kleinen Kindern einfach ihr Leben gemacht, die Babys waren überall mit dabei: auf dem Feld, auf dem Markt, auf dem Heimweg von der Arbeit, einfach in einem Tuch an den Körper gewickelt. Ich dachte mir damals: Wenn die das können, kann ich das auch. Ganz wichtig war für mich auch die damalige Frauenbeauftragte der TU Berlin, die gesehen hat, dass ich schwanger bin, und mir gesagt hat, dass Stillen ein Menschenrecht ist. Als ich im 4. Monat schwanger war, habe ich eine Assistenzstelle angenommen und meinem Doktorvater gesagt, dass er jetzt auch Doktorgroßvater wird. Ich habe nie gezweifelt, dass etwas nicht klappen könnte und im Endeffekt war alles auch unproblematisch.

Als meine Tochter dann da war, habe ich sie auch »mit aufs Feld« genommen, in meinem Fall das Feld der Wissenschaft, und am Institut war man begeistert. Manchmal hat sich die technische Zeichnerin um meine Tochter gekümmert, wenn ich Vorlesungen hatte. Ich habe in den fünf Jahren als Assistentin an der TU Berlin Lehre gemacht, zwei Kinder bekommen und eine Doktorarbeit geschrieben. Das war wirklich eine schöne, sehr intensive Zeit. In den Pausen konnte ich mit meinen Kindern in den nahegelegenen Zoo. Darum erzähle ich meinen Studentinnen auch heute noch: Bleibt im Job, nehmt die Babys einfach mit, wenn ihr könnt, lasst euch nicht aufs Abstellgleis stellen.

Der Geothermie haben Sie sich erst im Rahmen Ihrer Habilitation gewidmet, können Sie ausführen, wie es dazu kam?

Ich habe mich damals als eine der ersten an der TU Berlin in die 3D-Modellierung eingearbeitet und diese anwenden können. Ich wurde von der TU Berlin an das GFZ durch Prof. Dr. Ernst Huenges abgeworben und habe dort ab 2005 methodisch in der Geothermie gearbeitet. Diese Zeit, bis 2012, hat mich sehr geprägt, auch, wie Dr. Huenges seine Abteilung geführt hat, neben der Fachlichkeit sehr empathisch und väterlich,

sehr nahbar. Das GFZ hat mir sehr viel ermöglicht, gerade in der internationalen Geothermieforschung.

Danach waren Sie in Kanada...

Genau, dort habe ich von 2012–2014 in Edmonton an der University of Alberta gelehrt, die Kinder waren auch dabei. Ich hatte eine sehr nette Nachbarin, Barbara, die sich rührend um die Kids gekümmert hat. Der deutschen Geothermie bin ich aber verbunden geblieben, ich habe die Bohrung in Geretsried schon wissenschaftlich begleitet, als ich noch beim GFZ war, und habe das Projekt auch von Kanada aus weiter im Blick gehabt. Als die Fündigkeit dann nicht wie erwartet war, die Münchner Rück einspringen musste und es fortan keine Absicherung der Fündigkeit für Tiefengeothermieprojekte in Deutschland mehr gab, habe ich sofort gewusst: Hier gibt es ein Wissensdefizit. Daraus muss ein angewandtes Forschungsprojekt werden, der Standort und die längste Geothermiebohrung in Deutschland mit 6.006 m dürfen nicht zum Flop werden.

Danach waren sie dann an der TU München und am GFZ Professorin, ...

Bis ich hörte, dass Rüdiger Schulz in Rente geht. Ich habe ein tierisches Verantwortungsgefühl gegenüber der Geothermie und ich wollte, dass der Branche das GEOTIS erhalten bleibt. Deswegen habe ich mich beim Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik beworben. Außerdem hatte ich eine Aussicht auf eine Professur in Göttingen und wurde so dort Professorin. Und zu der Zeit wurde ich auch Schriftführerin im BVG, das passierte irgendwie alles im gleichen Abwasch.

Was hat sich in den letzten Jahren in der Geothermie getan – und was fehlt uns noch?

Ich finde es sehr wichtig, dass aus der Geothermischen Vereinigung, die eher eine wissenschaftliche Ausrichtung hatte, ein Verband für ALLE in der Branche geworden ist. Der BVG hat es geschafft, die Oberflächennahe und die Tiefe Geothermie zusammenzubringen. Ich freue mich sehr, dass die Oberflächennahe Geothermie mittlerweile so stark vertreten ist. In Berlin genießt die Geothermie dank der Geschäftsstelle immer stärkeres Gehör in der Politik. Das sind alles wichtige Erfolge.

Was uns noch fehlt, ist, dass die Geschichte wirklich in der breiten Öffentlichkeit ankommt. Erdwärme ist die einzige erneuerbare Wärmequelle, die wir haben. Ohne Geothermie kann die Wärmewende nicht gelingen – was uns fehlt, ist eine Beständigkeit des politischen Willens, und das Bewusstsein dafür, dass die Geothermie nicht etwa ein kleines Add-On, sondern ein wesentlicher Bestandteil der Wärmewende ist.

Was würden Sie jungen Frauen mit auf den Weg geben, wenn es darum geht, sich beruflich zu behaupten? Welchen Rat hätten Sie gerne früher in Ihrer Karriere gehört?

Nicht so viel an sich zweifeln, ihren Weg gehen, auch, wenn es länger dauert: nicht aufgeben, weitermachen!

Interview: Sarah Borufka ♦



Frauen in der Geothermie

Das vollständige Gespräch mit Prof. Dr. Inga Moeck sowie alle weiteren Interviews der Serie »Frauen in der Geothermie« finden Sie hier:




Stellungnahme zum BVEG-Leitfaden »Wirtschaftliche Bewertung geologischer Risiken von tiefengeothermischen Projekten«

TEXT: Rüdiger Schulz

Der Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie (BVEG), vormals Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung (WEG), hatte im März 2024 einen Entwurf für einen Leitfaden zur Geologischen Risikobewertung von tiefengeothermischen Projekten vorgelegt (BVEG 2024a). Nach interner Diskussion und externen Anmerkungen (z. B. SCHULZ 2024) wurde er überarbeitet und im Dezember als Leitfaden mit einem veränderten Titel (BVEG 2024b) veröffentlicht. Dieser Artikel stellt eine kritische Stellungnahme aus Sicht eines Geothermikers, der eine Vielzahl von Gutachten zu Erfolgsaussichten von geothermischen Projekten erstellt hat, dar.

Die Endfassung des Leitfadens

Durch die Titeländerung zwischen Entwurf und Endfassung wird deutlich, dass im Leitfaden der Schwerpunkt auf die wirtschaftliche Bewertung von tiefengeothermischen Projekten gelegt wird und nicht mehr der Anspruch erhoben wird, ausschließlich die geologischen Erfolgsaussichten zu bewerten. Der Leitfaden ist folgendermaßen aufgebaut:

- › Kapitel 1: Zielsetzung und Kontext des Leitfadens
- › Kapitel 2: Ausführliche Beschreibung der verwendeten Begriffe und Abkürzungen
- › Kapitel 3: Angemessene und korrekte Beschreibung des Ablaufs eines geothermischen Projektes
- › Kapitel 4: Geologische Erfolgswahrscheinlichkeit, die als Produkt der Wahrscheinlichkeiten von jetzt nur noch drei statt ursprünglich vier verschiedenen Eigenschaften des Aquifers definiert wird
- › Kapitel 5: Äußerst knappe Einführung in die technische Erfolgswahrscheinlichkeit
- › Kapitel 6: Analyse der geologischen Parameterverteilungen
- › Kapitel 7 bis 9: Die Qualitätskontrolle sowie die Auswahl der Szenarien für Wirtschaftlich-

keitsberechnung und technische Detailplanung werden überblicksmäßig angesprochen.

- › Kapitel 10 bis 11: Empfehlungen und einige weiterführende Literaturhinweise vervollständigen den Leitfaden.

Bei der geologischen Bewertung (Kapitel 3) wird der Ablauf der Planung eines geothermischen Projektes klar in drei Phasen gegliedert, was der schon lange angewandten Praxis entspricht (z. B. STÖBER et al. 2016). Die vierte Phase ist dann die Projektrealisierung. Die nach jeder Phase notwendigen grundsätzlichen Entscheidungen werden etwas hochtrabend als »Stage-Gate Prozess« bezeichnet.

Ein wichtiger Punkt in dem vorgelegten Leitfaden (Kapitel 4) ist die geologische Erfolgswahrscheinlichkeit, die als Dreifachprodukt der Wahrscheinlichkeiten für die Existenz und Qualität des Aquifers sowie die hydraulische Kommunikation innerhalb der Dublette definiert wird. Das ursprünglich aufgeführte vierte Risiko, die Eignung der Wasserchemie, ist aufgrund des Hinweises, dass bisher alle in Deutschland angetroffenen Wässer beherrschbar waren, zu Recht entfallen. Die wichtigen Parameter der ausreichenden Schüttungsraten und Fördertemperaturen werden hier zunächst nicht berücksichtigt.

Die so definierte geologische Erfolgswahrscheinlichkeit ist bei genauerem Hinsehen keine quantitative, sondern eine rein qualitative Größe: Die



Dr. Rüdiger Schulz

Dir. u. Prof. i. R.

Vormals Leiter
der Sektion

Geothermik und

Informationssysteme

beim Leibniz-Institut

für Angewandte Geophysik

(LIAG), Hannover

Kontakt:

rsjk.schulz@t-online.de

einzelnen Größen werden qualitativ bewertet, grob in Klassen eingeteilt und dann mehr oder weniger mit einem Wert zwischen 0 und 1 belegt, womit man eine pseudo-quantitative Größe erhält. Wer mit welcher Expertise und wie viele Personen diese qualitativen Einschätzungen vornehmen und ob eine Bewertung durch externe Experten erfolgen soll, bleibt unklar. Dieses Verfahren wird aus der Kohlenwasserstoff(KW)-Industrie (ROSE 2001) übernommen. Erfreulicherweise wird in der Endfassung des Leitfadens das Verfahren anhand zweier Beispiele, zusätzlich mit einer Abb., erläutert.

Wie korrekt angemerkt wird, erreicht diese so definierte Erfolgswahrscheinlichkeit selten Werte über 0,6: Denn nimmt man für die Einzelwahrscheinlichkeiten einen Wert von $p=0,9$ an, was sehr hoch ist, so ergibt sich für die Gesamtwahrscheinlichkeit, da er dreimal als Faktor auftritt, nur ein Wert von ungefähr 0,65; selbst mit $p=0,8$, was nach ROSE (2001), vgl. Abb. 3 im Leitfaden, immer noch der höchsten Klasse der geschätzten Einzelwahrscheinlichkeiten entspricht, erreicht man nur noch eine Gesamtwahrscheinlichkeit von knapp über 0,5.

Durch die Einführung der operativen Erfolgswahrscheinlichkeit, also die Berücksichtigung des technischen Bohrungsrisikos, wird die technische Erfolgswahrscheinlichkeit (Kapitel 5) als Produkt aller vier Wahrscheinlichkeiten entsprechend noch einmal geringer.

In Kapitel 6 werden die zentralen geologischen Parameter, Temperatur und Schüttungsrate, eingeführt. Sie bestimmen entscheidend die Fündigkeitswahrscheinlichkeit, beziehungsweise als dessen Kehrwert das Fündigkeitsrisiko (vgl. SCHULZ 2024), was dem international üblichen Begriff des »exploration risk« (UNEP 2004) entspricht.

Erfreulicherweise wird die grundlegende Formel für die geothermische (Wärme-) Leistung einer Bohrung im Leitfaden angegeben und die beiden bestimmenden Parameter, Temperatur und Förderrate, hinreichend beschrieben. Da sie im Wesentlichen unabhängig voneinander sind, lässt sich Ihre Erfolgswahrscheinlichkeit einzeln berechnen; die Erfolgswahrscheinlichkeit für die Fündigkeit ist dann das Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten. Dies ist der Kern der bisher in Deutschland erstellten Gutachten zur geothermischen Erfolgswahrscheinlichkeiten, den sog. Probability of Success-Studien (SCHULZ et al. 2005).

Der Satz »Die Erfahrung zeigt, dass geologische Parameter häufig einer log-normalen Verteilung

folgen« (BVEG 2024b, S. 16) ist zwar wegen des verwendeten »häufig« nicht falsch, trifft aber gerade bei einem der zwei Parameter, der Temperatur, nicht zu. In einem Leitfaden erwartet man etwas mehr Sorgfalt und keine Allgemeinplätze, die im speziellen Fall nicht stimmen.

Natürlich hängt die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeiten stark von der Datenlage ab. Aber nur in günstigen Fällen, z. B. bei einem Poranaquifer mit genügend Permeabilitätsdaten, lässt sich mit Hilfe des Monte-Carlo-Verfahrens eine Verteilungskurve für die geothermische Leistung einer Bohrung erhalten, wie sie der Abb. 5 im Leitfaden zugrunde liegen. Man sollte darauf hinweisen, dass dies in der Realität leider nicht der Standardfall ist.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Kapitel 8 und 9), in denen betriebswirtschaftliche und finanzierungstechnische Aspekte einfließen, basieren auf den vorhergehenden geologischen Parametern und sind als gängige Verfahren einzuschätzen.

Anwendbarkeit des Leitfadens

Das im Leitfaden vorgestellte Verfahren ist bei der KW-Exploration durchaus üblich. Die abschließenden wohlmeinenden Empfehlungen (Kapitel 10) zeigen aber das grundlegende Dilemma des Leitfadens: Sie gehen von einem Portfolio-Ansatz aus, der in der Entwicklung der Tiefen Geothermie in Deutschland (leider) nicht vorhanden ist. Normalerweise liegt kein (großes) bergrechtliches Erlaubnis- bzw. Bewilligungsfeld vor.

Man muss sich vor Augen führen, dass die Energiemenge, die aus einer erfolgreichen KW-Bohrung gewonnen wird, in einer anderen Größenordnung liegt als die einer hydrothermalen Geothermiebohrung. Das hat zur Folge, dass eine wirtschaftliche Gesamtwahrscheinlichkeit von $p=0,2$, d. h. nur jede fünfte Bohrung ist erfolgreich, für KW-Bohrungen im Rahmen einer KW-Feldesentwicklung sehr positiv ist, für ein Geothermieprojekt aber das Aus bedeutet.

Der Leitfaden mag sich vielleicht auch in der Geothermie eignen, um Regionen oder regionale Erlaubnisfelder einzuschätzen, da er den Vorteil hat, verschiedene Gebiete vergleichbar zu machen. Allerdings werden verschiedene Expertengruppen zu unterschiedlichen Ergebnissen bei gleicher Ausgangslage kommen. Für den Ansatz einer ersten Explorationsbohrung, die bei der Feldesentwicklung in der KW-Industrie »irgendwo« in den Weiten einer Beckenstruktur oder im Offshore-Bereich liegen kann, ist das Verfahren sicherlich richtig. Aber im Gegensatz

zu KW-Bohrungen ist der Bohransatzpunkt einer Geothermiebohrung nicht beliebig wählbar: Er muss in einer vertretbaren Nähe zum Nutzer, dem Wärmeabnehmer, liegen, da in Wärmeprojekten die erste Bohrung meist schon die Produktionsbohrung, oder die Injektionsbohrung, ist. Dieser wesentliche Unterschied zwischen KW- und Geothermiebohrungen wird im Leitfaden nicht berücksichtigt und leider auch nicht erwähnt.

Fazit

Die Endfassung des Leitfadens hat gegenüber dem Entwurf eine Reihe von Verbesserungsvorschlägen aufgenommen. Dennoch ist der Leitfaden für die Bewertung von Geothermieprojekten nur bedingt hilfreich.

Der Leitfaden basiert auf Erfahrungen aus der KW-Exploration. Die Abschätzung der geologischen Erfolgswahrscheinlichkeit ist nur sinnvoll bei einer großräumigen Feldes- oder Portfolio-Entwicklung, die es in dieser Form in Deutschland für geothermische Projekte nicht gibt und vermutlich nicht geben kann. Die für geothermische (Wärme-)Anlagen wichtige Standortfrage bleibt im Leitfaden völlig unberücksichtigt.

Die vorgestellte geologische Risikobewertung ist nur qualitativ und wird durch eine einfache Klasseneinteilung in Zahlen übersetzt, es ist also ein pseudo-quantitatives Verfahren. Man muss leider befürchten, dass durch diese Ermittlung der Erfolgswahrscheinlichkeiten Werte erzeugt werden, die im Gegensatz zur Bewertung in der KW-Industrie zu negativen Beurteilungen für die gesamte Geothermie führen können. Wegen der völlig unterschiedlichen Energiemengen, die aus einer KW-Bohrung gegenüber einer geothermischen Bohrung gefördert werden können, ist eine wirtschaftliche Gesamtwahrscheinlichkeit von $p=0,2$, d. h. nur jede fünfte Bohrung wäre erfolgreich, im KW-Bereich sehr positiv, da ja weitere Bohrungen im Rahmen einer Feldesentwicklung abgeteuft werden sollen. Für ein konkretes kommunales standortgebundenes Geothermieprojekt mit normalerweise einer Produktionsbohrung würde dieser Wert aber das Aus bedeuten. Es fehlt also weiterhin ein Leitfaden, der die geothermiespezifischen, im Wesentlichen standortgebundenen Bedingungen berücksichtigt, wie auch ein aktueller Überblick über die Definitionen des Erfolgs bei geothermischen Projekten aufzeigt (SANGIN et al. 2025). ♦

Literatur

BVEG (2024a): Geologische Risikobewertung tiefengeothermischer Projekte. - Leitfaden, Entwurf 03/2024, 17 S; Hannover (BVEG).

BVEG (2024b): Wirtschaftliche Bewertung geologischer Risiken von tiefengeothermischen Projekten. - Leitfaden, Stand 12/2024, 21 S; Hannover (BVEG).

Rose, P. R. (2001): Risk analysis and management of petroleum exploration ventures. - AAPG Methods in Exploration Series, vol. 12; 164 p.; Tulsa (AAPG).

Sangin, S., Moeck, I. & Franz, M. (2025): Redefining Success: A Critical Review of Existing Probability of Success Methodologies in Geothermal Projects. - Proceedings European Geothermal Congress 2025: 11 p.; Zurich (EGEC).

Schulz, R. (2024): Anmerkungen zum BVEG-Leitfaden »Geologische Risikobewertung tiefengeothermischer Projekte« (Finaler Entwurf, 03/2024). - GtE, 109: 8-11; Berlin.

Schulz, R., Jung, R. & Schellschmidt, R. (2005): Assessment of probability of success for hydrogeothermal wells. - Proceedings World Geothermal Congress 2005, 24.-29.04.2005, Antalya, Turkey; Paper 407; 6 p.; Auckland (IGA).

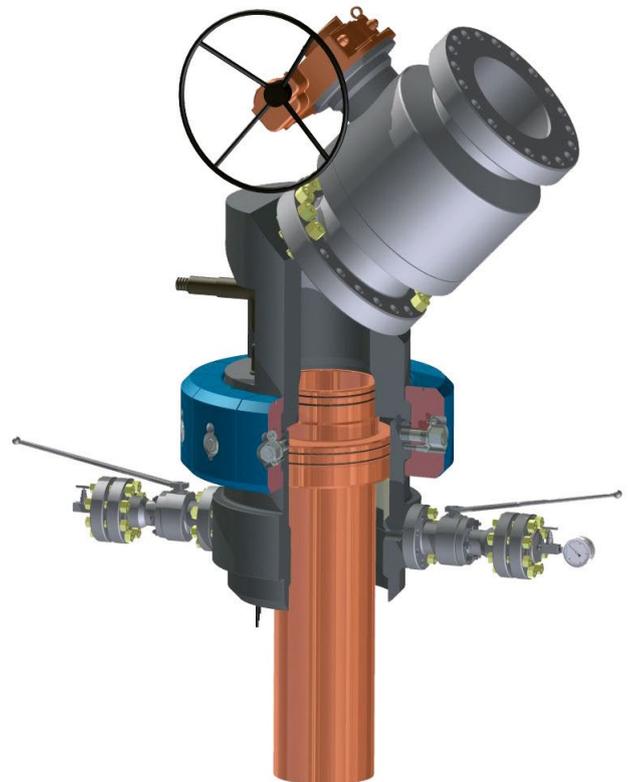
Stober, I., Fritzer, T., Obst, K., Agemar, T. & Schulz, R. (2016): Tiefe Geothermie - Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. - 4. akt. Auflage, 87 Seiten; Hannover (LIAG). Broschüre (13.02.16).indd (leibniz-liag.de)

WIR FÖRDERN ZUKUNFT

seit 1978 in mehr als 30 anspruchsvollen Referenzprojekten: Molassebecken, Rheingraben, Niederlande, Türkei und weitere

BOHRLOCHKÖPFE FÜR DIE TIEFE GEOTHERMIE

- höchste Betriebsverfügbarkeit
- mit metallisch dichtenden Kugelhähnen
- geeignet für Temperaturen bis 550°C
- widersteht aggressiven Medien
- nur Schmiedestahl
- sicherer Abschluss auch bei herausfordernden Bedingungen wie Scaling-Bildung



Weitere Informationen

WWW.HARTMANN-VALVES.COM

Hartmann Valves GmbH

Ströherstraße 1-3, 29229 Celle

+49 5085 9801-0

info@hartmann-valves.com

Warum Deutschland eine »Geothermie AG« braucht

TEXT: Ulrich Lotz

Trotz großem Interesse an der Geothermie für die Wärmewende und günstiger Förderbedingungen kommen in Deutschland weiterhin nur wenige Projekte pro Jahr in die operative Ausführung. Wesentliches Hindernis sind die seit Jahren steigenden Kosten, wobei die meist als Einzelprojekte erfolgende Ausführung die Optionen für Kostenminderungen stark einschränkt. Eine Dachgesellschaft »Geothermie AG« könnte sowohl eine beschleunigte Entwicklung als auch relevante Einsparungen für jedes Einzelprojekt ermöglichen, um die Nutzung der Geothermie mittelfristig auch ohne Fördermittel marktfähig zu machen.



Dr. Ulrich Lotz

Beratender Geologe
Geotherm Consulting

Kontakt:

ulrich.lotz@
geotherm-consulting.de

Förderung initiiert dritte »Entwicklungswelle« in Deutschland

Mit Auflegung der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) [1] und dem Eckpunkt Papier »Erdwärmekampagne Geothermie für die Wärmewende« [2] hat die Bundesregierung die Bedeutung der Geothermie für die Wärmewende anerkannt. Diese Förderung, die durch mehrere Länderprogramme ergänzt wird (z. B. »Masterplan NRW«, »Masterplan Geothermie Bayern« etc.), hat eine dritte »Welle« geothermischer Entwicklung in Deutschland initiiert.

Die erste dieser »Entwicklungswellen« wurde Ende der 1970er Jahre durch den damaligen Ölpreis-Schock getriggert und dauerte bis Anfang der 1990er Jahre. Im Oberrheingraben, Bayern und auch der damaligen DDR wurden viele Bohrungen abgeteuft. Mehrere davon waren nicht fündig oder zum damaligen Zeitpunkt nicht wirtschaftlich nutzbar. Nur wenige Projekte gingen in Betrieb (u. a. Erding, Neustadt-Glewe, Waren). Anfang der 2000er Jahre begann durch das EEG eine zweite Entwicklungsphase mit dem übergeordneten Ziel einer geothermischen Stromerzeugung. In den drei auch in der ersten Phase explorierten Gebieten wurde eine ansehnliche Zahl an Projekten realisiert. Über einige Jahre existierte sogar eine Fündigkeitsversicherung.

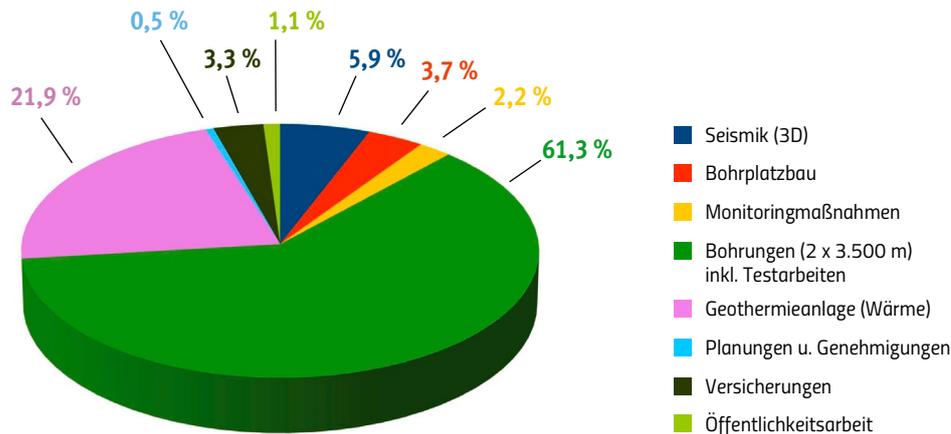
Eine wesentliche Erwartung der neuen Förderprogramme ist, durch die beschleunigte Umsetzung zahlreicher Projekte und die resultierende Lernkurve, die Kosten deutlich zu senken. Auch die Internationale Energie Agentur (IEA) sieht in ihrem Report »The Future of Geothermal Energy« [4] ein großes Potenzial für die weltweite Nutzung der Geothermie. Um dieses in vollem Umfang zu erschließen und »investierbar« zu machen, postuliert man aber auch hier Kosten-senkungen um bis zu 80 %!

Infolge der neuen Fördermöglichkeiten untersuchen bereits zahlreiche Kommunen das geothermische Potenzial als Baustein der kommunalen Wärmewende. Die Zahl der Erkundungsmaßnahmen hat zugenommen und erste Bohrprojekte wurden gestartet. Allerdings ist zu beobachten, dass vor allem in den Regionen Deutschlands mit hohen Erschließungstiefen und damit besonders hohen Kosten die Entwicklung weiterhin nur sehr gebremst verläuft. Obwohl die Rahmenbedingungen also so günstig sind wie bei keiner der »Entwicklungswellen« zuvor, erreichen immer noch relativ wenige Projekte die Ausführungsphase.

Was sind die Gründe und welche Wege gibt es aus diesem Dilemma?

Wie die Erfordernis von Fördermitteln als auch die Prognose des IEA Reports [4] zeigen, stellen die hohen Investitionskosten das wesentliche Hindernis einer stärkeren Nutzung geothermischer Energie dar - insbesondere im Vergleich zu anderen Erneuerbaren Energien. Dass diese hohen Kosten zudem mit einem Fündigkeitsrisiko verbunden sind, ist ein weiteres Handicap.

Es ist also unabdingbar, relativ kurzfristig die Kosten erheblich zu senken, um Geothermie auch ohne Fördermittel marktfähig zu machen. Im Gegensatz dazu sind aber die Kosten von »Welle« zu »Welle« tendenziell gestiegen. Inzwischen kann zwar immerhin in einzelnen Regionen wie z. B. in Bayern durch die Lernkurve aus einer größeren Zahl realisierter Projekte bei den Bohrkosten oder beim Betrieb seismischer Monitoringnetzwerke eine Kostenminderung um 20-30 % beobachtet werden, aber dies ist noch ein zu geringer Effekt - und er ist bisher nur regional begrenzt.



▲ Abb. 1: Aufteilung der Kosten geothermischer Wärmeanlagen. [Anmerkung: Bei einer ORC-Anlage zur Stromerzeugung würde der prozentuale Anteil der Anlagenkosten bei > 30 % liegen].

Kostenanteile und »Kostentreiber«

Im Folgenden werden die wesentlichen Kostenblöcke, deren Entwicklung und die Gründe für diese Entwicklung beleuchtet:

Bohrungen und Testarbeiten

Kalkulierte man in den 2000er Jahren noch mit ca. 5-7 Mio. € für eine Bohrung mit ca. 3.500 m Länge (ca. 3.000 m vertikal) (inkl. Testarbeiten, ohne Bohrplatzbau), liegen diese Kosten heute bei 10-15 Mio. € – wobei die Kosten natürlich exponentiell mit Tiefe und Ablenkungsbetrag zunehmen.

Seismikmessungen

Bis ca. 2007/2008 wurden Projekte noch ausschließlich auf Basis von 2D-Seismik ausgeführt – teilweise sogar nur mit 2D-Altseismik. Seither wird für mehr und mehr Projekte 3D-Seismik eingesetzt, u. a. um das Fündigkeitsrisiko zu verringern. Höhere Kosten sind hier somit zum Teil auf höherwertige Datengewinnung zurückzuführen.

Bohrplatzbau

In den 2000er Jahren wurden Bohrplätze für weniger als 500.000 € gebaut. Neben inflationsbedingten Kostensteigerungen sind auch die behördlichen Anforderungen seitdem erheblich gestiegen, so dass heute die Kosten oft bei 1,5-2 Mio. € liegen. Meist sind Bohrplätze »Einzelanfertigungen«, die für eine begrenzte Auswahl infrage kommender Bohrgeräte ausgelegt sind.

Monitoringmaßnahmen (Grundwasser, Seismizität)

Infolge des Auftretens induzierter Seismizität sowie – in einem Fall – Austritt von Thermalsole in flache Horizonte

wurden die Anforderungen an Monitoringsysteme nach und nach erhöht. Heute sind mehrere Grundwassermessstellen sowie der Betrieb eines seismischen Monitorings i.d.R. Teil behördlicher Auflagen; jeweils mit begleitenden Gutachterleistungen.

Geothermiekraftwerke

Lagen die Kosten für ORC-Kraftwerke in den 2000er Jahren noch deutlich unter 20 Mio. €, liegen sie heute zum Teil bei 30 bis > 40 Mio. €. Auch hier ist zu berücksichtigen, dass ein Teil der Kostensteigerung – neben Materialkosten – auf weiterentwickelter Anlagentechnik beruht.

Versicherungen

Da die erzielbaren Margen aus geothermischer Energie vergleichsweise gering sind, sucht die Geothermie nach einer umfassenden Absicherung der Risiken – insbesondere der Fündigkeit. Eine Versicherung mag die wirtschaftlichen Risiken mindern, aber die Prämien tragen zur Erhöhung der Projektkosten bei.

Die eingetretenen Kostensteigerungen sind im Wesentlichen auf folgende Gründe zurückzuführen:

- ▶ Aufgrund von **Inflation** sind Lohn- und Materialkosten, aber z. B. auch die Tagesraten für die Bohraktivitäten erheblich angestiegen. Bei Casingmaterial kam es vor allem in Folge des Ukrainekrieges zu teilweise massiven Erhöhungen der Stahlpreise.
- ▶ **Erhöhte Anforderungen und neue Technologien** (u. a. zusätzliches Monitoring, 3D- anstatt 2D-Seismik, weiterentwickelte Anlagentechnik etc.)

▶ Technisch weiterentwickelte Tools

In vielen Bereichen der Bohrtechnik wurden neue Tools entwickelt (Meißel, Richtbohrmotoren etc.). Deren Einsatz ist zwar mit höheren Kosten verbunden, aber sie sollen einen höheren Bohrfortschritt ermöglichen. Dieser kann aber oftmals aufgrund geologischer »Herausforderungen« oder noch nicht vorhandener Erfahrungen mit den Tools in Einzelprojekten letztlich nicht realisiert werden.

▶ Energiekosten (Strom, Diesel etc.)

Insbesondere nach Beginn des Ukrainekrieges waren diese Kosten erheblich gestiegen, so dass alleine die Energiekosten für die Ausführung von einer Tiefbohrung mehrere 100.000 € betragen.

▶ Ausführung von Einzelprojekten

Bis auf wenige Ausnahmen werden bis heute Einzelprojekte unterschiedlicher »Player« realisiert. Selbst Projektentwickler mit einem Multi-Projekt-Ansatz sind oftmals aufgrund der Rahmenbedingungen – u. a. lange Prozesse der Standortsuche – letztlich doch zur Ausführung von Einzelprojekten gezwungen.

Die Randbedingungen langer Entwicklungsprozesse und hoher Kosten haben zur Folge, dass bisher nur wenige Bohrungen pro Jahr durch unterschiedliche Vorhabenträger ausgeführt werden. Angesichts der steigenden Kosten ist die Wirtschaftlichkeit vieler Projekte nur schwer darstellbar.

Wie sind relevante Kostenminderungen erzielbar?

Die aktuell zu beobachtende Zunahme der in Vorbereitung befindlichen Projekte ist zwar positiv, aber alleine die Anzahl reicht zur Kostensenkung nicht aus. Viele Optionen für Synergien und Kostenminderungen stehen Einzelprojekten überhaupt nicht zur Verfügung, sodass die Kosten zwangsläufig nur in moderatem Umfang optimiert werden können. Rabatte sind in der Regel volumenabhängig, aber nennenswerte Volumina werden bei Einzelprojekten nicht erreicht.

Unstrittig ist, dass man an Sicherheit, Qualität und Umweltverträglichkeit nicht sparen wird. Relevante Kosteneinsparungen können daher nur realisiert werden, indem man Projektvorlaufzeiten optimiert, Material und Serviceleis-

tungen günstiger einkauft und die Ausführungszeit von Bohrungen durch eine Maximierung der Lernkurve verkürzt. Die einzig erkennbar zielführende Lösung ist daher die Bildung eines projektübergreifend gemanagten Projektpools in einer Dachgesellschaft – einer Art »Geothermie AG«.

Welche Vorteile bietet eine Dachgesellschaft für einzelne Projekte und für das Vorankommen der Geothermie insgesamt?

Projektvorbereitung und Planungsleistungen

- › Serielle Projektvorbereitung ermöglicht, jedes Jahr mehrere Projekte eines Pools zur Ausführungsreife zu bringen – selbst dann, wenn es in Einzelvorhaben zu Verzögerung z. B. bei der Standortsuche oder bei Genehmigungsverfahren kommen sollte (Stichwort: Ausweichstandorte)
- › Verwendung standardisierter Bohrprogramme, Rahmenverträge, Ausschreibungs- und Antragsunterlagen

– Achtung: Auf Behördenseite muss dann ebenfalls standardisiert werden!

Seismiken

- › Zusammenlegung von Messkampagnen in einer Region oder über mehrere Konzessionen/Zielstrukturen minimiert die zu messenden Flächen (überlappende Bereiche werden eingespart)
- › Ausführung großer Messgebiete minimiert Ausführungszeiten und somit Preise pro Quadratkilometer; Einsparungen bei Mob- und Demob-Kosten

Bohrplatzbau und Bohrungen

Viele Kostenanteile von Bohr- und Serviceleistungen sind zeitabhängige Fixkosten. Man kann zwar beschleunigen, aber aufgrund der Sicherheitsanforderungen und vorgegebener Wartezeiten (z. B. Zementaushärtung) sind dem Grenzen gesetzt. Ein Projektpooling ermöglicht:

- › Vereinheitlichung von Bohrplatzlayout, Bohrkellern (Fertigteile) und von Bohrungsdesign (z. B. Standardisierung beim Bohr- und Verrohrungsdurchmesser)

- › Standardisierung von Materialien und Bohrwerkzeugen (z. B. Casings, Meißel)
- › Zentrale Zwischenlagerung und Aufbereitung/Wiederverwendung hochwertiger Spülung
- › Pooling des Materialeinkaufs: Einkauf größerer Mengen Casing, Meißel, »Bohrstrom« etc., über Rahmenverträge; Erzielung volumenabhängiger Rabatte (z. B. Serviceleistungen)
- › Zentrale Lagerhaltung und Workshops

Monitoring

- › Aufbau und Betrieb gemeinsamer, regionaler seismischer Monitoringnetze – Einsparung zahlreicher Seismometerstationen wird technisch möglich

Betriebsphase

- › Gemeinsame Lagerhaltung und Wartung (z. B. Pumpen, Ersatzteile); Ausfallzeiten minimieren
- › Pooling des Einkaufs von Eigenstrom an der Börse

Leserbrief

Langzeiterfahrungen mit Erdwärmesonden: Erkenntnisse aus 40 Jahren Betrieb

In Untersiggenthal (Schweiz) haben wir 1985 die ersten zwei Erdwärmesonden (EWS) mit einer Tiefe von je 60 m bohren lassen. Allgemein wird für Duplexsonden eine Lebensdauer von etwa 100 Jahren angenommen. Nach 37 Jahren traten jedoch erste Probleme im Sondenkreislauf auf: Eine Verstopfung des Wärmetauschers in der Wärmepumpe führte zu Folgeschäden an der Sole-Umwälzpumpe und dem Druckausgleichsgefäß. Eine biologisch-chemische Sole-Untersuchung ergab als Ursache einen sog. Bio-Schlamm. Die Umwälzpumpe und das Druckausgleichsgefäß wurden ersetzt und

der Solekreislauf mit einem Wasservolumen von ca. 200 l in beiden Richtungen gründlich gespült und gefiltert. Alles war wieder in Ordnung. Die Temperatur der Sole lag in der Regel im Winter zwischen +4 und +8 °C und im Sommer seit 1996 durch das Geo-Cooling im Bereich von +13 bis +17 °C. Es ist denkbar, dass der Bio-Schlamm vermehrt wächst, wenn man die Sole durch das Geo-Cooling stärker erwärmt. Deshalb wurde die alte Sole von 1985 im letzten Jahr komplett ausgetauscht und das ursprüngliche Frostschutzmittel durch Ethylenglykol ANTITOX GEO ersetzt.

Unsere Erfahrung zeigt: Nach mehr als 25 Jahren Betriebszeit kann es sinnvoll sein, die Sole von Erdwärmesonden auf Bio-Schlamm zu untersuchen oder einen vollständigen Austausch in Betracht zu ziehen. Dies könnte helfen, Verstopfungen und mögliche Folgeschäden frühzeitig zu vermeiden. ♦



Dr.-Ing. Klaus F. Stärk

Kontakt:

klaus.staerk@swissonline.ch

Weitere Informationen
finden Sie hier:



Fazit

Erst die Bildung eines deutschlandweiten Projektpools unter dem Dach einer Art »Geothermie AG« wird es ermöglichen, Zeit- und Kosteneinsparungseffekte über den gesamten Zyklus der Projektentwicklung von der Planung bis hin zur Betriebsphase sowie auch eine Risikostreuung für alle Einzelprojekte innerhalb des Pools zu realisieren. Die Umsetzung zahlreicher Projekte mit standardisierten Planungs- und Antragsunterlagen wird die Vorbereitungszeit der Einzelvorhaben minimieren und schafft damit die Voraussetzungen dafür, dass immer mehrere Projekte pro Jahr von der Planungs- in die Ausführungsphase gelangen.

Durch die Zusammenführung der operativen Erfahrungen an einer Stelle kann eine Maximierung der Steigung der Lernkurve erzielt werden, die allen Projekten auch in Form einer Risikominimierung zugutekommt. Diese Risikostreuung könnte eine solche Dachgesellschaft auch für Investoren interessant machen und sie erleichtert

die Versicherbarkeit des Fündigkeitsrisikos erheblich.

Einzelne der Optimierungsmöglichkeiten, wie z. B. zentrale Lagerplätze, Workshops oder konsortiale Ausführung von Exploration und Bohrungen sind in der Kohlenwasserstoffindustrie seit Langem üblich. Hier könnte sich die Geothermiebranche also tatsächlich Einiges abschauen.

Anmerkung: Die Bildung einer Dachgesellschaft wurde vom Autor bereits im Jahr 2014 (!) in dem Vortrag »... auf dem Weg zu einer Tiefengeothermie AG?« [4] beim Geothermiekongress in Essen empfohlen. ♦

Literatur

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): »Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)«; https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermetetze/Effiziente_Waermetetze/effiziente_waermetetze_node.html

[2] Eckpunktepapier »Erdwärmekampagne Geothermie für die Wärmewende« des BMWK (November 2022); https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/eckpunkte-geothermie.pdf?__blob=publicationFile&v=1

[3] International Energy Agency (2024): The Future of Geothermal Energy, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-geothermal-energy>

[4] Lotz, U. (2014) »... auf dem Weg zu einer Tiefengeothermie AG?« ; Vortrag beim Geothermiekongress in Essen.

optimum eventum

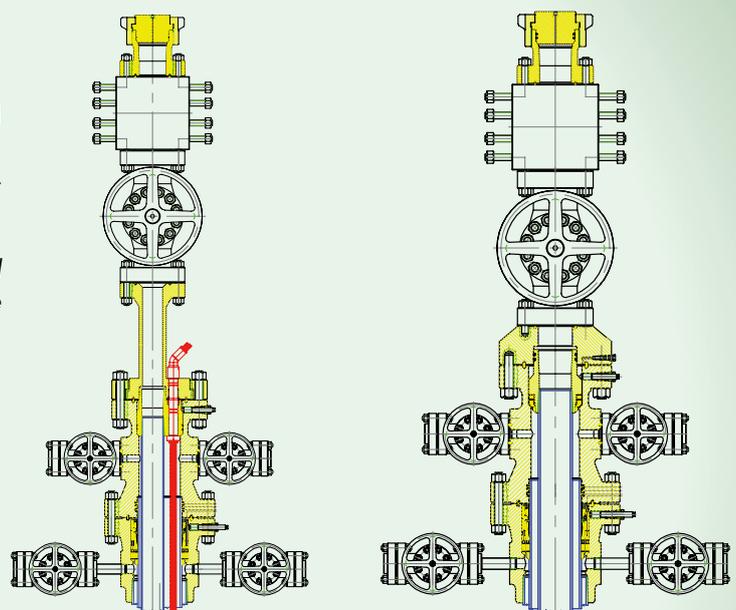
Das Ergebnis zählt! Kompetente Projektberatung und individuelle Lösungen. Wellheads, Ausrüstungen und Ersatzteile für Bohranlagen und für tiefe Geothermie-Bohrungen. Seit 1992!

The result is the key! Competent project consulting and individual solutions. Wellheads, equipment and spare parts for drilling rigs and deep geothermal drilling. Since 1992!

NORMEC®

**Oilfield Products
Sales and Services GmbH**

Bruchkampweg 14 · 29227 CELLE · Germany
Telefon +49 5141 90059-0
normec@normec.de · www.normec.de

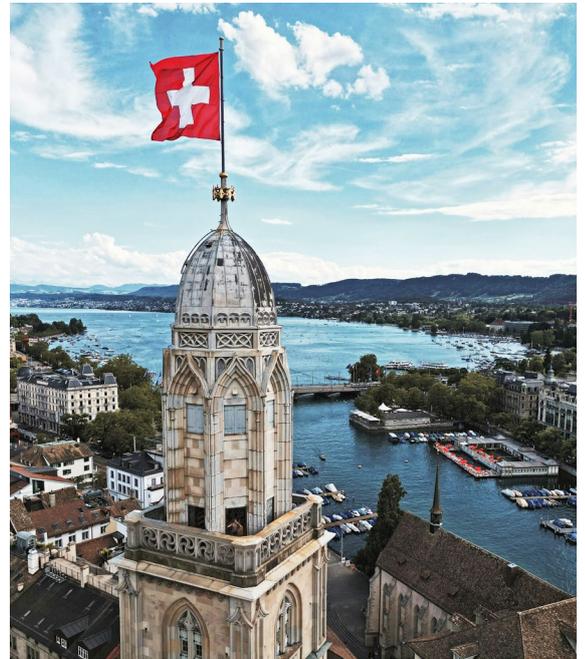


Geothermiebranche trifft sich zum EGC in Zürich

Vom 6.-10. Oktober 2025 findet in Zürich der Europäische Geothermiekongress (EGC) statt – die zentrale Fachveranstaltung für Geothermie in Europa. Ziel des EGC ist es, die Rolle der Geothermie im europäischen Energiemix zu stärken und so eine entscheidende Rolle bei der Dekarbonisierung der EU und der Stärkung der Energieunabhängigkeit zu leisten.

Der EGC bietet eine breite Plattform für den Austausch zu den neuesten Entwicklungen im Bereich Markt, Technologie, Wissenschaft, Industrie und Politik. Er bringt alle wichtigen Akteur*innen der Branche zusammen, darunter Forschende, politische Entscheidungsträger*innen sowie Finanziere, und erleichtert so einen soliden Dialog und die Zusammenarbeit.

Auch der Bundesverband Geothermie e. V. wird gemeinsam mit der Tochtergesellschaft GtV Service GmbH vor Ort vertreten sein. ♦



Erfolgreicher Auftakt für das Wissenschaftsjahr

Das diesjährige Wissenschaftsjahr setzt sich in einer Reihe von Veranstaltungen mit den Themen Erneuerbare Energie, Batterie- und Speicherforschung, Wasserstofftechnologien und Fusionsforschung auseinander. Die Auftaktver-

anstaltung fand Anfang April im Futurium in Berlin Mitte statt und startete mit einem Dialog von Branchenexpert*innen zu dem Thema Zukunftsenergie – auch die Geothermie spielte hier eine zentrale Rolle.



Nach der Eröffnung durch den ehemaligen Bundesforschungsminister, Cem Özdemir, wurde in zwei Panels diskutiert: Das erste Panel befasste sich mit dem Thema »Heute schon Zukunft« über die bisherigen Erfolge der Energiewende. Hier war u. a. Dr. Salomon vom Geologischen Dienst NRW vertreten und berichtete über Fortschritte aus der Erdwärmebranche. Im zweiten Panel sprach der Geschäftsführer des Bundesverbands Geothermie e. V., Gregor Dilger, zu dem Punkt »Visionen und Herausforderungen«. Weitere Programmpunkte des Abends stellten der Bericht des Schülerworkshops sowie ein musikalisches Intermezzo der Staatskapelle Berlin dar. ♦

Kalender

05. Juni 2025

► **Freiberg, Deutschland**

geoENERGIE-Tag

geoENERGIE Konzept GmbH

www.geoenergie-konzept.de

10. – 12. Juni 2025

► **Münster, Deutschland**

MS Wissenschaft 2025 – Zukunftsenergie

Bundesministerium für Bildung und Forschung

→ Diese Ausstellung wandert über das Jahr verteilt an über 20 weitere Orte in Deutschland!

www.ms-wissenschaft.de

23. Juni 2025

► **Wien, Österreich**

7. Wiener Erdwärmetag

GeoSphere Austria

www.geothermie-oesterreich.at/erdwaermetag

24. – 25. Juni 2025

► **Berlin, Deutschland**

Contracting 2035 – Wärme der Zukunft

Verband für Energiedienstleistungen, Effizienz und Contracting e. V.

www.vedec-jahreskongress.de

26. Juni 2025

► **Halle (Saale), Deutschland**

Große KWW-Konferenz 2025

Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW)

www.kww-halle.de

09. Juli 2025

► **Berlin, Deutschland**

BEE – Sommerfest

Bundesverband Erneuerbare Energien e. V.

www.bee-ev.de

19. September 2025

► **Willich, Deutschland**

11. Willicher Praxistage

Energiezentrum Willich

www.energiezentrum-willich.de



Termine &
Veranstaltungen

06. – 10. Oktober 2025

► **Zürich, Schweiz**

European Geothermal Congress EGEC

European Geothermal Energy Council

www.egec.org

22. – 24. Oktober 2025

► **Pullach, Deutschland**

Praxisforum Geothermie Bayern

ENERCHANGE GmbH & Co. KG

www.praxisforum-geothermie.bayern

05.–07. November 2025

► **Salzburg, Österreich**

Geothermie Symposium

Verein Geothermie Österreich

www.geothermie-oesterreich.at/geothermiesymposium

18. – 20. November 2025

► **Frankfurt am Main, Deutschland**

Der Geothermiekongress 2025

Bundesverband Geothermie e. V.

www.der-geothermiekongress.de

26. – 27. Februar 2026

► **Offenburg, Deutschland**

GeoTHERM

Messe Offenburg

www.geotherm-offenburg.de

Aktuelle Informationen zu diesen und weiteren Terminen finden Sie online auf www.geothermie.de (Menü: Aktuelles/Termine).



**JETZT
SPONSORING-
PARTNER
WERDEN!**



**Der Geothermie
Kongress 2025**

18.–20. November

Frankfurt am Main | HOLM

Präsidium Bundesverband Geothermie e. V.:



Dr. Karin Thelen
Präsidentin
info@geothermie.de



Prof. Dr. Inga Moeck
Vizepräsidentin
inga.moeck@geothermie.de



Leonhard Thien
Vizepräsident
leonhard.thien@geothermie.de



Christoph Knepel
Mitglied des Präsidiums
christoph.knepel@geothermie.de

► Sprecher*innen Fachausschüsse

Christian Maier
Sprecher Fachausschuss
Tiefe Geothermie
c.maier@ewg-garching.de

Prof. Dr. Horst Rüter
Sprecher Fachausschuss
Wissenschaft und Bildung
horst.rueter@geothermie.de

Leonhard Thien
Sprecher Fachausschuss
Oberflächennahe Geothermie
leonhard.thien@geothermie.de

Prof. Dr. Bastian Welsch
Sprecher Fachausschuss
Junge Geothermie
junge@geothermie.de

Ingo Schäfer
Sprecher Fachausschuss
Oberflächennahe Geothermie
ingo.schaefer@gd.nrw.de

Dr. Mathias Nehler
Sprecher Fachausschuss
Junge Geothermie
mathias.nehler@ieg.fraunhofer.de

Vorstand Geothermie-Schweiz:



► Vorstandsausschuss



Dr. Vincent Badoux
Präsident ad interim
vincent.badoux@geothermie-schweiz.ch



Karl-Heinz Schädle
Vize-Präsident
info@schaedle-gmbh.ch



Bruno Ganz
bruno.ganz@energie-pool.ch

► weitere Vorstandsmitglieder

Sébastien Beuchat
sebastien.beuchat@vd.ch

Peter Meier
p.meier@geo-energie.ch

Evelyn Rubli
evelyn.rubli@iwb.ch

Maurus Hess
m.hess@cso.ch

Frédéric Mirjolet
frederic.mirjolet@sig-ge.ch

Prof. Dr. Martin O. Saar
saarm@ethz.ch

Matthias Samuel Jauslin
jauslin@jostwohlen.ch

Vorstand Geothermie Österreich:



Dipl.-Ing. Karl Weidlinger
Obmann
vorstand@
geothermie-oesterreich.at



Dipl.-Ing. Dr. Edith Haslinger
stellvertretende
Obfrau
vorstand@
geothermie-oesterreich.at



Mag. Gregor Götzl
Schriftführer
vorstand@
geothermie-oesterreich.at



Dipl.-Ing. Julia Diessl
Kassiererin
vorstand@
geothermie-oesterreich.at

► Sprecher*innen Fachausschüsse

Dipl.-Ing. Karoline Zwicklhuber
Sprecherin Fachausschuss
Öffentlichkeitsarbeit & Politik
media@geothermie-oesterreich.at

Mag. Christian Rambousek
Sprecher Fachausschuss
Tiefe Geothermie
tiefe@geothermie-oesterreich.at

Dipl.-Ing. Dr. Edith Haslinger
Sprecherin Fachausschuss
Forschung und Ausbildung
forschung@geothermie-oesterreich.at

Stefan Wehinger PhD
Sprecher Fachausschuss
Oberflächennahe Geothermie
oberflaechennahe@
geothermie-oesterreich.at

Dipl.-Ing. Peter Keglovic
Sprecher Fachausschuss
Tiefe Geothermie
tiefe@geothermie-oesterreich.at

Dipl.-Ing. Robert Philipp
Sprecher Fachausschuss
Oberflächennahe Geothermie
oberflaechennahe@
geothermie-oesterreich.at

Impressum

Geothermische Energie

Fachzeitschrift für geothermische Forschung und Anwendung in Deutschland, Österreich und der Schweiz
34. Jahrgang | Heft Nr. 111

Herausgeber © 2025: Bundesverband Geothermie e. V.
Albrechtstraße 22 | 10117 Berlin
Tel.: +49.(0)30 / 200 954 953 | Fax: - 9

E-Mail: service@geothermie.de | www.geothermie.de

V. i. S. d. P.: Gregor Dilger, Geschäftsführer

Redaktionsleitung: Isabel Moreno | service@geothermie.de

Redaktion: Gregor Dilger, Elaysa Heller (Deutschland), Katharina Link (Schweiz), Karoline Zwicklhuber, Gregor Götzl (Österreich)

Anzeigen: Isabel Moreno, service@geothermie.de

Verlag: GtV Service GmbH,

Albrechtstraße 22 | 10117 Berlin

E-Mail: service@geothermie.de

Print-Auflage dieser Ausgabe: 1.250 Exemplare

Gestaltung & Satz: Susann Piesnack,
susann.piesnack@gmail.com

Druck:

safer-print GbR
Fleischmannstraße 3
D-97340 Marktbreit
www.safer-print.com



Fotonachweis: Titelbild: stock.adobe.com/@Vadym • Generiert mit KI, Umschlag innen: HOLM, S. 3: stock.adobe.com/@Lakedemon; pixabay.com/@justmarius_de; Iris Rothe, S. 5: @Joseph Piotrowski, S. 6: EnergieÖ SA, S. 8f.: @Fraunhofer IEG, S. 10f.: @neowells GmbH, S. 18: istockphoto/@geogif, S. 25: @Ulrich Steiner, S. 28: @Andreas Wenck, S. 38: Unsplash/@Iliia Bronskiy; BMBF/@ Hans-Joachim Rickel, S. 39: stock.adobe.com/@tatomm

Erscheinungstermin dieser Ausgabe: Juni 2025

Bezugsbedingungen: Der Bezug der »Geothermischen Energie« ist kostenlos für Mitglieder des Bundesverbandes Geothermie e. V. und Fachbehörden, Bibliotheken, Fachhochschul- und Hochschulinstitute (Nachweis erbeten)

Abo-Preis für vier Ausgaben: EUR 100

Das Abonnement kann jederzeit schriftlich gekündigt werden und läuft nach erfolgter Kündigung mit Auslieferung des 4. Heftes aus. Ansonsten verlängert sich das Abo automatisch um weitere vier Ausgaben.

ISSN 0948-6615



AUGENBLICK MAL ...

Hier könnte Ihre Anzeige stehen.

Weitere Informationen zu Anzeigenpreisen
und Formaten finden Sie in unseren Mediadaten:
www.geothermie.de/mediadaten



GtV
Service GmbH

eine Tochtergesellschaft des
Bundesverbandes Geothermie

Ihre Agentur für Geothermie- Kommunikation .



Bannerwerbung und
Firmenverzeichnis
auf geothermie.de



Anzeigenplätze
in der Fachzeitschrift
»Geothermische Energie«



Sponsoring-Angebote
beim Geothermie-
kongress 2025



kreative Unterstützung
bei Öffentlichkeitsarbeit
und Marketing



Sprechen Sie mich gerne an!

Isabel Moreno ■ Tel: +49.(0)30.200 954 953 ■ service@geothermie.de

