

Donnerstag, 26. Februar 2026, 15.20 Uhr
Ortenauhalle Kongress 2
Oberflächennahe Geothermie

Thursday, 26 February 2026, 3.20 pm
Ortenauhalle Congress 2
Near-surface geothermal energy



Geoelektrische Energieversorgung für emissionsfreie Quartiere -GeoSonde 400+

Geoelectric energy supply for emission-free neighbourhoods – GeoSonde 400+

Gunther Brenner¹, Wolfgang Hollstein¹, Philip Jaeger¹, Emmanuel Jituboh¹, Carlos Paz¹, Cha-ralamos Soilemezidis¹, Qiaoleiyue Wang¹, Lars Kühl², Janine Teelen², Helen Werner³

¹ TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld

² Ostfalia Hochschule, Wolfenbüttel

³ DGMK, Hamburg

Die Forderung der Umsetzung nachhaltiger Nah- bzw. Fernwärmeversorgungssysteme für die Versorgung von Quartieren bedingt den kombinierten Einsatz regenerativer Energieträger. Je nach Quartierslage und den Potenzialen am Standort ergeben sich dadurch unterschiedliche mögliche Kombinationen. Mit dem ansteigenden Potenzial von regenerativ erzeugtem Strom stellen Wärmepumpenlösungen auch im Quartiersbereich geeignete Ansätze dar. Mit der Forderung nach hohen Arbeitszahlen der Wärmepumpen in Quartierslösungen und einem möglichen bivalent parallelen Betrieb zur Ausnutzung der installierten Wärmepumpenleistung auch im Winterbetrieb gelangen Geothermie-Lösungen als Quellen in den Fokus. Aufgrund begrenzter verfügbarer Flächen und der höheren Temperaturen der Quelle können mit größeren Bohrtiefen der Erdsonden kompaktere, leistungsfähige Quellensysteme umgesetzt werden.

Da Systeme zur Nutzung tiefer Geothermie hohe Erschließungskosten aufweisen und eine entsprechende Projektvorbereitung erfordern, stellen im Quartiersbereich Systeme mit Ausnutzung der verfügbaren Potenziale in einer Tiefe bis 400 m und auch mitteltiefe Systeme mit Bohrtiefen über 400 m einen interessanten Lösungsansatz dar.

Im Rahmen des F+E-Vorhabens GeoSonde 400 + werden Strategien zur Umsetzung von Systemen zur Nutzung geothermischer Systeme im tiefen oberflächennahen und mitteltiefen Bereich erarbeitet. Neben der Untersuchung der Umsetzung zur Integration der geothermischen Quellen in die Quartiersversorgung in Kombination mit anderen regenerativen Energiequellen werden Ansätze zur Erschließung der geothermischen Energie analysiert.

Das vorgestellte Projekt entwickelt im Rahmen der Untersuchung einer höheren Effizienz geothermischer Systeme ein integratives Konzept für Thermosyphon - basierte Erdwärmesonden in mittlerer Tiefe (ca. 400 m), das insbesondere auch in abgelegenen Gebieten einsetzbar ist, in

denen die Voraussetzungen für die Implementierung leistungsstarker hydro-thermaler Systeme nicht gegeben sind.

Die geeignete Auswahl des Standorts sowie des Untergrundhorizonts und die Betriebssicherheit sowie eine lange Lebensdauer der jeweiligen Anlagen sind entscheidende Faktoren für eine erfolgreiche Durchführung. Geschlossene Kreislaufsysteme sind sehr flexibel und spielen daher eine wichtige Rolle in der gesamten Energiewende. Neben Zwangsströmungssystemen in Koaxialsonden bietet der Thermosyphon Vorteile, die bisher noch nicht systematisch untersucht wurden.

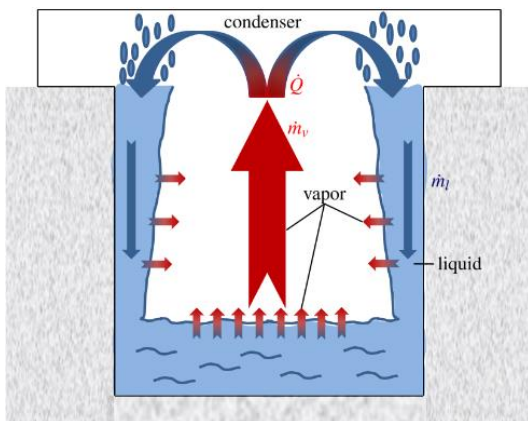


Bild 1: Schematische Darstellung des gekoppelten Wärme- und Stofftransports in einer geothermischen Phasenwechsel-Sonde.

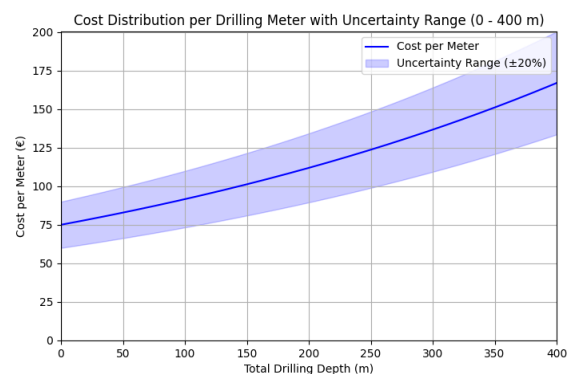


Bild 2: Entwicklung der Bohrkosten pro Meter bei steigender Bohrlochtiefe. Der hellblaue Bereich repräsentiert eine Unsicherheit von $\pm 20\%$

Die Bohrarbeiten sind nach wie vor der Hauptkostentreiber bei mitteltiefen geothermischen Projekten. Ein Misserfolg in der Bohrphase kann zum Abbruch des gesamten Projekts führen. Daher sind robuste und leistungsfähige Geräte unerlässlich, um Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Diese Überlegungen fließen direkt in die Auswahl von Bohrverfahren, Materialien und Sicherheitskonzepten ein.

Das Hauptziel der Untersuchungen zur Effizienzsteigerung der Geothermie ist die Entwicklung eines integrativen Konzepts für mitteltiefe Wärmesonden, das auf der Verdampfung einer Arbeitsflüssigkeit basiert. Dabei wird ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt, der von der Bohrlochplanung über mitteltiefe Bohrtechnologien einschließlich innovativer virtueller Bohrlochmessungen bis hin zur Optimierung des Phasen- und Stofftransports von Thermosyphonen und schließlich zur Anbindung an ein Wärmeverteilnetz reicht. Ziel ist es, ein praxisnahes Konzept zu schaffen, das technische Machbarkeit, wirtschaftliche Effizienz und Nachhaltigkeit vereint.

Besondere Aufmerksamkeit liegt auf der thermodynamischen Auslegung der Thermosyphon-Sonden. Durch die gezielte Auswahl von Materialien, Geometrien und Kältemitteln soll eine maximale Wärmeübertragung bei minimalem Energieeinsatz erreicht werden. Parallel dazu werden Bohrverfahren untersucht, die sowohl wirtschaftlich als auch umweltverträglich sind und sich für verschiedene Boden- und Gesteinsstrukturen eignen. Ergänzend werden Konzepte für

modulare Wärmenetze entwickelt, die den Einsatz der Sonden sowohl in kleinen Ge-meinden als auch in stadtnahen Randgebieten ermöglichen. Die Integration der mitteltiefen Geothermie in bestehende Energiesysteme erfordert zudem die Berücksichtigung saisonaler Lastprofile und die Kombination mit weiteren erneuerbaren Energiequellen. Durch die Kopp-lung mit Solarthermie, Wärmepumpen, Biomasseanlagen oder Windenergie können die Ver-sorgungssicherheit erhöht und die Netzstabilität verbessert werden. Die ganzheitliche Her-angehensweise erlaubt eine flexible Anpassung an lokale Gegebenheiten und stellt sicher, dass die Technologie langfristig wirtschaftlich tragfähig und ökologisch nachhaltig betrieben werden kann.

Im Rahmen der integrierten Systemanalyse wurde ein geplantes Nahwärmenetz in einem Modelldorf (ca. 400 Einwohner, 75 anzuschließende Haushalte) als Referenzszenario ausge-wählt, um die Anwendbarkeit einer Reihe von mitteltiefen Erdwärmsonden zu bewerten. Am Standort steht Windstrom zur Verfügung, der für den Betrieb der Wärmepumpen und des Spitzenlast-Wärmeerzeugers eine ideal geeignete Quelle darstellt. Das Dorf besteht wie vie-le andere Ortschaften im ländlichen Bereich größtenteils aus älteren Gebäuden, darunter einige weitläufige Bauernhäuser, mit allgemein niedrigen Dämmstandards. Die meisten Gebäude werden derzeit mit fossilen Brennstoffen, vorwiegend Öl und Erdgas, beheizt.

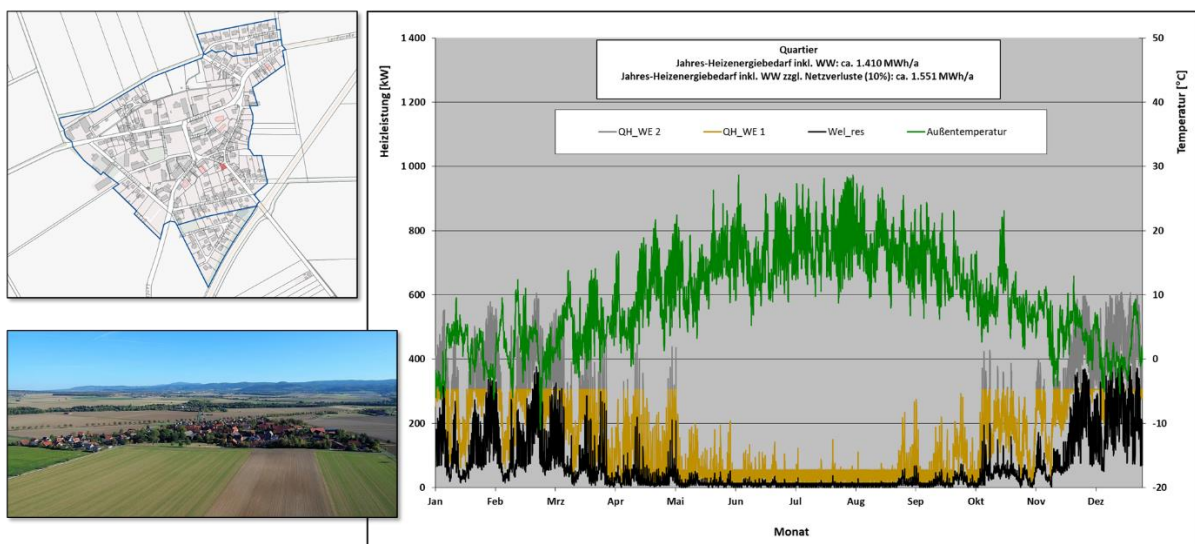


Bild 3 Beispielhafte Heizlastkurve für ein Dorf mit 75 Haushalten.

Die anzuschließenden Haushalte der Ortschaft weisen einen jährlichen Wärmebedarf der Gebäude einschließlich geschätzter 10 % Netzverluste von 1,55 GWh pro Jahr auf. Die be-rechnete aufsummierte Spitzenheizlast der Gebäude beträgt 773 kW. Unter Anwendung ei-nes Gleichzeitigkeitsfaktors von 0,7 und unter Berücksichtigung der Netzverluste ergibt sich eine maximale Netzheizlast von 610 kW. Bild 3 zeigt die entsprechende jährliche Heizlast-kurve. Zur Deckung des Grundlastanteils ist eine Wärmepumpe vorgesehen, die von mittel-tiefen Thermosyphon-Erdwärmesonden (400 m, Quelltemperatur ca. 20 ... 25 °C) gespeist wird. Ergänzt wird diese durch einen Spitzenlasterzeuger (windstrom-gespeister Elektro-Heizkessel). Bei einem gleichen Nennleistungsanteil von 50 % für beide Einheiten erreicht die Systemkonfiguration voraussichtlich eine Abdeckung von ca. 84 % durch die Wärmepum-pe und 16 % durch den Spitzenlasterzeuger. Zusammen benötigen diese beiden elektrisch betriebenen Einheiten etwa 577 MWh pro Jahr elektrische Energie, die voraussichtlich fast vollständig aus

einem geplanten benachbarten Windpark bezogen werden kann. Hierdurch wird eine überwiegend erneuerbare Stromversorgung zu günstigen Konditionen gewährleistet, während zugleich das öffentliche Stromnetz entlastet wird, da die Energie direkt am Erzeugungsstandort genutzt werden kann.

Auf der Grundlage des oben beschriebenen beispielhaften Bedarfsprofils und der Systemkonfiguration ergab die Analyse, dass etwa 15 Thermosyphon-Erdwärmesonden mit einer mittleren Tiefe von etwa 400 m erforderlich sind, um etwa 1.060 MWh Wärme pro Jahr aus dem Erdreich zu entziehen und so eine zuverlässige Grundlastabdeckung für das Wärmenetz des Modelldorfes zu gewährleisten. Die Analyse zeigt erste Ergebnisse zur Dimensionierung und Integration der Thermosyphon-Erdwärmesonden, wobei weitere Optimierungen und Anpassungen im Rahmen des laufenden Projekts noch erfolgen werden. Die bisherigen Ergebnisse verdeutlichen, dass das Projekt dazu beitragen kann, die Potenziale mitteltiefer geothermischer Systeme für eine nachhaltige Wärmeversorgung nutzbar zu machen und bestehende Hemmnisse für deren Umsetzung zu überwinden. Durch die Verbindung innovativer Sonden-technik, optimierter Wärmenetzintegration und der Nutzung von am Standort erzeugten Windstrom entsteht ein Modell, das sowohl als Orientierung für Forschung und Entwicklung als auch für die praktische Umsetzung in Kommunen und Versorgungsgebieten dient.