

Abb. 1: Untersuchungsgebiet im Süddeutschen Molassebecken mit Temperatur- und Porositätsbohrungen. In diesem Gebiet liegt die geologische Formation des Chatt in Tiefen zwischen 700 und 1500 m.

Hintergrund

Die Studie untersucht die geothermischen Eigenschaften der mitteltiefen Chatt-Sande im bayerischen Molassebecken östlich von München. Ziel ist die Bewertung des geothermischen Potenzials anhand von Porositäts- und Poroperm-Daten sowie die Erstellung einer Leistungsprognose mittels Monte-Carlo-Simulationen, um die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu anderen Energieträgern zu beurteilen.

Geologischer Rahmen

Im Übergang vom Unter- zum Oberoligozän endet im alpinen Vorland die feinklastische Sedimentation der Unteren Meeresmolasse. Die Chatt-Sande lagerten sich im Bereich eines flachmarinen Schelfs östlich von München ab und bestehen aus Sandstein-Wechsellagerungen mit Tonmergelzwischenlagen. Diese Studie untersucht ausschließlich die Sandsteinlagen, da sie als potenziell geeignetes geothermisches Reservoir angesehen werden.

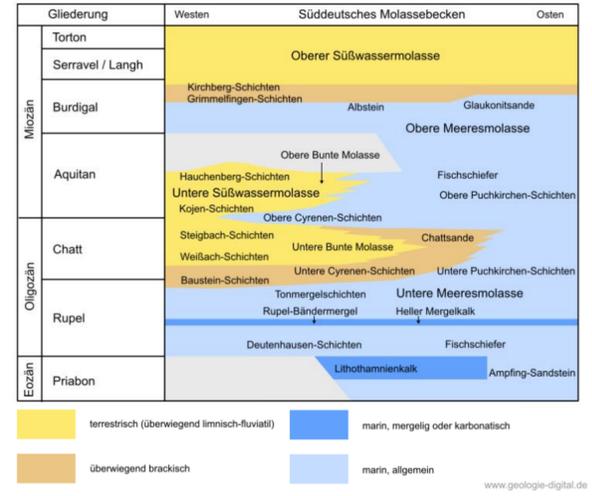


Abb. 2: Stratigraphische Gliederung des süddeutschen Molassebeckens.

Datengrundlage

- Tiefen- und Mächtigkeitsdaten:** Entnommen aus dem Geothermieatlas STWMI (2004)
- Porosität:** Berechnet aus Dichte- und Neutronenlogs, verifiziert durch Kernmessungen
- Net-to-Gross-Verhältnis (N/G):** Bestimmt anhand eines Porositätsgrenzwertes (Cut-Off) von 8%
- Thermischer Gradient:** Basierend auf Bottom-Hole-Temperaturwerten (BHT) aus Erdöl-/Erdgas- und Geothermiebohrungen.
- Permeabilität:** Abgeleitet aus einer Regressionskurve, die Porositäts- und Permeabilitätsdaten aus Kernanalysen kombiniert

Potenzialberechnung

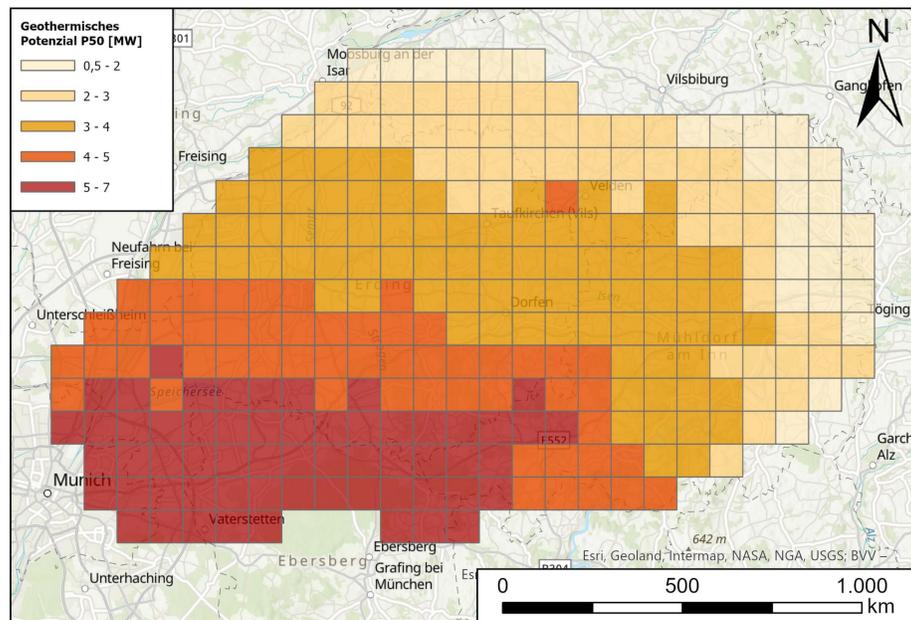


Abb. 5: Rastergrid-Darstellung des berechneten geothermischen Potenzials bei P50, ermittelt aus den Ergebnissen der Monte-Carlo-Simulation in DoubletCalc.

Szenario	P90	P50	P10
Tiefe [m]	801	890	979
Gradient in [°C/km]		36	
Permeabilität [mD]	51	190	361
Mächtigkeit [m]	234	247	259
Net/Gross	0.2	0.6	0.8
Salinität [ppm]	3000	6500	10000
Technische Parameter			
Pumpeneffizienz		68%	
Abhängigkeit Förderpumpe		400 m	
Ablenkung Bohrungen		45°	
Injektionstemperatur		26 °C	

Die berechneten P10-, P50- und P90-Werte wurden in DoubletCalc eingegeben, um das geothermische Potenzial anhand einer Monte Carlo Simulation für jede Rasterzelle zu bestimmen. Der P10-Wert dient als obere Grenze, der P90-Wert als untere Grenze, während P50 den Median darstellt. Bei der Eingabe von P10 und P90 in DoubletCalc ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse des geothermischen Potenzials eine Konfidenz von 80 % aufweisen.

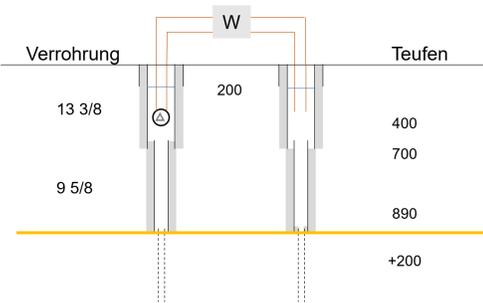
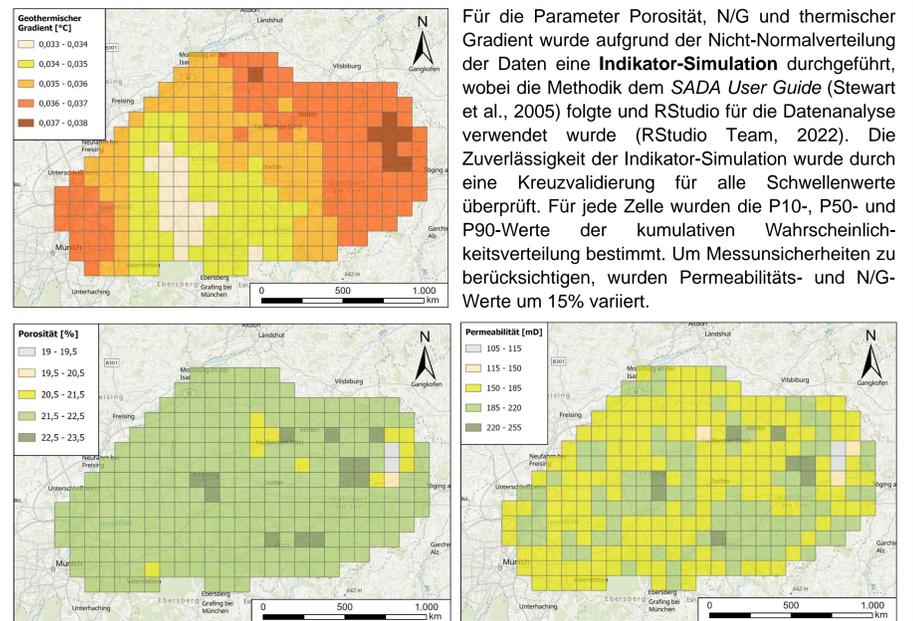


Abb. 6: Beispielhafte Eingangsdaten in DoubletCalc für die Potenzialberechnung (oben). Schematische Darstellung einer geothermischen Doublet-Anlage mit Produktions- und Injektionsbohrung und den dazugehörigen technischen Parametern (unten).

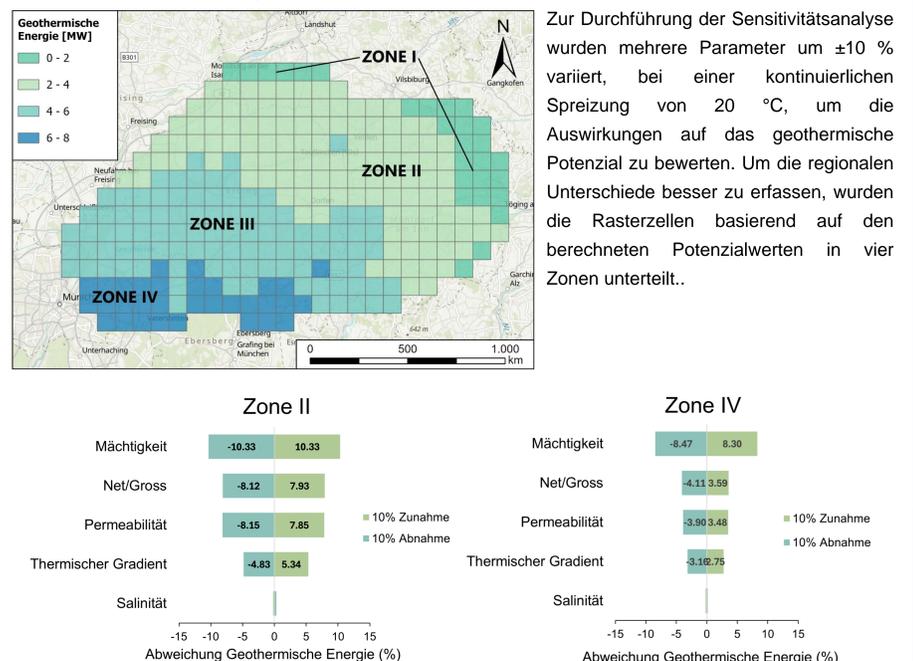
Geostatistik / Interpolation



Für die Parameter Porosität, N/G und thermischer Gradient wurde aufgrund der Nicht-Normalverteilung der Daten eine Indikator-Simulation durchgeführt, wobei die Methodik dem SADA User Guide (Stewart et al., 2005) folgte und RStudio für die Datenanalyse verwendet wurde (RStudio Team, 2022). Die Zuverlässigkeit der Indikator-Simulation wurde durch eine Kreuzvalidierung für alle Schwellenwerte überprüft. Für jede Zelle wurden die P10-, P50- und P90-Werte der kumulativen Wahrscheinlichkeitsverteilung bestimmt. Um Messunsicherheiten zu berücksichtigen, wurden Permeabilitäts- und N/G-Werte um 15% variiert.

Abb. 4: Rastergrid-Darstellung der kumulativen Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Parameter Porosität, Permeabilität und thermischer Gradient, basierend auf den Ergebnissen der Indikator-Simulation. Die P50-Werte bieten eine zentrale Einschätzung der geothermischen Eigenschaften im untersuchten Gebiet.

Sensitivitätsanalyse



Zur Durchführung der Sensitivitätsanalyse wurden mehrere Parameter um $\pm 10\%$ variiert, bei einer kontinuierlichen Spreizung von $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, um die Auswirkungen auf das geothermische Potenzial zu bewerten. Um die regionalen Unterschiede besser zu erfassen, wurden die Rasterzellen basierend auf den berechneten Potenzialwerten in vier Zonen unterteilt.

Abb. 7: Tornado-Diagramme die die Sensitivität gegenüber den variierenden Parametern veranschaulichen

Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Chattsande nordöstlich von München als geothermisches Reservoir genutzt, und so Leistungen bis 5 MW im Mittel bereitgestellt werden können. Das Potenzial der Sandsteinserien ist im Wesentlichen von geologischen Rahmenbedingungen wie Tiefe, Temperaturgradient, Mächtigkeit der Sandsteine und Porosität/Permeabilität abhängig. Anhand der, in DoubletCalc ermittelten Stromaufnahme der Förderpumpe, Temperatur und Schüttung können in einem nächsten Schritt die Bereiche ausgewiesen werden, die im Untersuchungsgebiet die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für eine Wärmebereitstellung aus Mitteltiefer Geothermie zeigen.

Referenzen

- H.F. Mijliff, A.N.M. Obdam, J.D.A.M. van Wees, M.P.D. Pluymaekers and J.G. Veldkamp (2014) DoubletCalc 1.4 manual TNO Report TNO 2014 R11396
- Lemke, k. (1988) Das Bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit Geologie von Bayern I 115 S. Stuttgart.
- STWMI (2024) Bayerischer Geothermieatlas - https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/publikationen/pdf/2024-02-19_Bayerischer_Geothermieatlas_akt24.pdf
- Stewart, R., Purucker, S., Hartley, S., & Sexton, J. (2005). SADA (Spatial Analysis and Decision Assistance) User Guide. University of Tennessee.
- RStudio Team (2022). RStudio: Integrated Development Environment for R (Version 2022.02.2+485).