

Modellierung der thermohydraulischen Prozesse in flachen Kiesgrundwasserleitern zum Grundwassermanagement

U. LANG¹, M. BAUER², M. KLIPFEL³ & A. DURACH¹

¹ Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH, Wilhelmstr. 11, 70182 Stuttgart

² Regierungspräsidium Freiburg Landesamt für Geologie Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg

³ Klipfel & Lenhardt Consult GmbH, Endingen

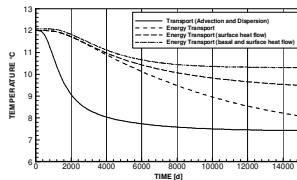
Zielsetzungen

- Quantifizierung der Auswirkungen durch geothermische Nutzung des quartären Grundwasserleiters im Oberrheingraben östlich des Kaiserstuhls (Freiburger Bucht)
- Identifizierung der relevanten Prozesse bei geothermischen Maßnahmen:
 - Advektion and Dispersion
 - Wärmeleitung
 - Geothermischer Wärmestrom
 - Austausch mit der Atmosphäre
- Bewertung der Auswirkungen einzelner Brunnen zur geothermischen Nutzung
- Entwicklung eines Managementplans für eine nachhaltige geothermische Nutzung im Untersuchungsraum

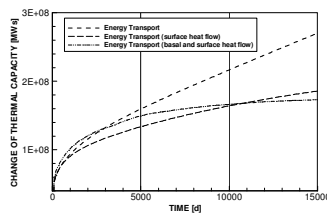
Testmodell

- Vereinfachter Grundwasserleiter: Länge 10.000 m, Breite 5.000 m, Mächtigkeit 52 m
- 2 hydrogeologische Einheiten, ungespannte Verhältnisse
- Injektion von 10 l/s mit einem Temperaturunterschied von 5 °C => 200 KW
- Simulationszeit 15.000 Tage

| Parameter | Wert | Einheit |
|---|----------|--|
| Durchlässigkeit ungesättigte Zoone | 0.000003 | (ms ⁻¹) |
| Durchlässigkeit oberer Teil des Aquifers | 0.003 | (ms ⁻¹) |
| Durchlässigkeit unterer Teil des Aquifers | 0.0003 | (ms ⁻¹) |
| Hydraulischer Gradient | 0.004 | (-) |
| Porosität | 0.15 | (-) |
| Dispersivität längs/quer | 100 / 10 | (m) |
| Spezifische Wärmespeicherung der Matrix | 1000 | (J(sm ³ C ⁻¹)) |
| Spezifische Wärmespeicherung des Wassers | 4182 | (J(sm ³ C ⁻¹)) |
| Wärmeleitfähigkeit der Matrix | 1.5 | (J(kg ⁻¹ C ⁻¹)) |
| Wärmeleitfähigkeit des Wassers | 0.6 | (J(kg ⁻¹ C ⁻¹)) |
| Geothermischer Wärmestrom | 0.06 | (Wm ²) |



Berechnete Temperaturkurven in 600 m Entfernung vom Injektionsbrunnen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wärmetransportprozesse



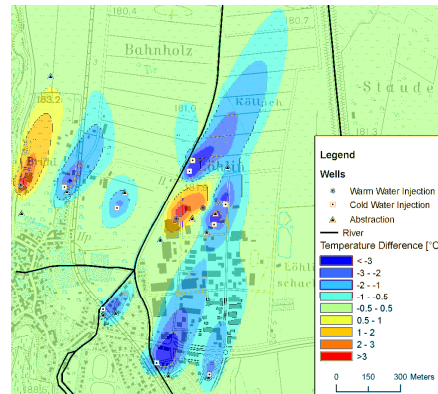
Berechnete Änderung der Wärmespeicherung (Anm: Der Wärmehalt nimmt wegen der Kaltwasserinjektion ab)

Ergebnisse des Testmodells

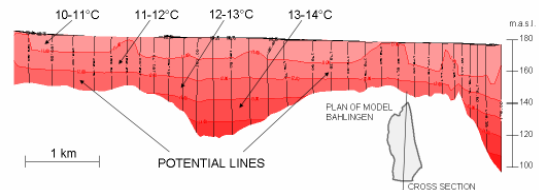
- Die reine advective Transportsimulation ohne Wärmespeicherung überschätzt die Temperaturfahne
- 36 % der Eingebrachten Energieänderung wird durch den Austausch mit der Geländeoberfläche kompensiert. Deshalb muss die ungesättigte Zone mitberücksichtigt werden.
- Der Einfluss des geothermischen Wärmestroms kann vernachlässigt werden.
- Der geothermische Wärmestrom wird benötigt, um den natürlichen geothermischen Tiefengradienten im Modell einzustellen
- Die Wärmeleitung führt zu einer zusätzlichen Diffusion hauptsächlich quer zur Strömungsrichtung.

Testgebiet Bahlingen

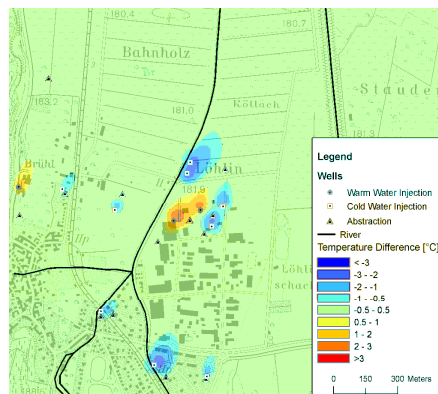
- Stationäre Kalibrierung der Grundwasserströmung:
 - Minimierung der Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen
 - Variation der Durchlässigkeiten und der Leakagekoeffizienten an den Oberflächengewässern
- 12 geothermische Maßnahmen im Untersuchungsgebiet
- 2 Testszenarios zum Wärmetransport mit Wärmeleitung:
 - Vernachlässigung des Austausches mit der Atmosphäre
 - Berücksichtigung des Austausches mit der Atmosphäre



Berechnete Temperaturverteilung unter Berücksichtigung von Advektion, Dispersion und Wärmeleitung aber ohne Austausch mit der Atmosphäre



Berechnete natürliche Temperaturverteilung in einem vertikalen Längsschnitt in Strömungsrichtung



Berechnete Temperaturverteilung unter Berücksichtigung von Advektion, Dispersion, Wärmeleitung und Austausch mit der Atmosphäre

Ergebnisse Testgebiet Bahlingen

- Die vertikale Anfangstemperaturverteilung wird durch den geothermischen Wärmestrom, den Austausch mit der Atmosphäre und durch das natürliche Strömungsfeld bestimmt.
- Die Temperaturfahnen werden stark überschätzt, falls der Austausch mit der Atmosphäre unberücksichtigt bleibt.
- Einen Beeinflussung der verschiedenen geothermischen Maßnahmen ist im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes zu befürchten
- Möglichkeiten für eine zusätzliche geothermische Nutzung bestehen oberstrom der existierenden Brunnen
- Die nachhaltige geothermische Nutzung ohne eine gegenseitige Beeinflussung auch unter Berücksichtigung weiterer Maßnahmen kann mit dem vorhandenen geohydraulischen Modell untersucht werden. Daraus lässt sich ein geothermischer Managementplan entwickeln.