

Umweltforschung in Baden-Württemberg
Zwischenbericht anlässlich des Statuskolloquiums
Umweltforschung Baden-Württemberg 2018

19./20. April 2018
Schwabenlandhalle Fellbach
Guntram-Palm-Platz 1, 70734 Fellbach

Geospeicher.bw

von

Philipp Blum, Ingrid Stober & Paul Fleuchaus
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)

Roland Koenigsdorff & Meinhard Ryba
Hochschule Biberach (HBC)
Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)

Roman Zorn & Simon Schüppler
European Institute for Energy Research (EIFER)

Jürgen Braun & Giulia Giannelli
Universität Stuttgart
Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS)

Thomas Breyer-Mayländer, Detlev Doherr & Cäcilia Schallwig
Hochschule Offenburg

Christian Moormann, Patrik Buhmann und Matin Liaghi
Universität Stuttgart
Institut für Geotechnik (IGS)

Margot Isenbeck-Schröter & Simon Ritter
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Institut für Geowissenschaften

Förderkennzeichen: L75 16014-16019

Die Arbeiten dieses Projekts werden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg durchgeführt

Das Verbundvorhaben Geospeicher.bw zielt darauf, an mehreren Demovorhaben in Baden-Württemberg den effektiven und effizienten Einsatz geothermischer Wärme- und Kältenutzung und vor allem der Wärme-Speicherung zur Reduzierung fossiler Energieträger zu demonstrieren und wissenschaftlich zu begleiten. In den Demoprojekten sollen unterschiedliche ober- und untertägige Konzepte genutzt werden. Bei allen Vorhaben wird auf eine transparente, dem jeweiligen Stand des Projekts angepasste, Bürgerinformation und -beteiligung großen Wert gelegt. Eine Partizipation durch bürgerschaftliches Engagement soll intensiv angeregt werden.

Das Vorhaben ist in die folgenden vier Arbeitspakete (AP) gegliedert:

AP1: Erkundung und Monitoring

AP2: Modellierung und technische Machbarkeit

AP3: Gebäude und Wirtschaftlichkeit

AP4: Transparente Information und Öffentlichkeitsbeteiligung

Das Projekt hat eine Laufzeit vom 19.09.2016 bis zum 19.09.2019 (Förderzeitraum für alle Arbeitspakete und Projektpartner).

Die Autoren danken dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die finanzielle Förderung des Vorhabens und dem Projektträger Karlsruhe, Baden-Württemberg Programme (PTKA-BWP) für die Unterstützung der administrativen Abwicklung sowie beiden Institutionen für die gute Zusammenarbeit.

Philipp Blum, Ingrid Stober, Paul Fleuchaus
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)
Förderkennzeichen: L75 16014

Motivation

Weltweit befinden sich derzeit über 2800 Aquiferspeicher in Betrieb, davon 95% in den Niederlanden, Schweden, Belgien und Dänemark (Abb. 1). Trotz günstiger geologischer und klimatischer Voraussetzungen wurden in Deutschland bisher lediglich 4 Aquiferspeicher realisiert (Fleuchaus et al. 2018). Ursächlich dafür sind Marktbarrieren, die die Aquiferspeicherentwicklung in Deutschland negativ beeinflussen. Als Beispiele können hier hohe Investitionskosten, ein Misstrauen in der Bevölkerung sowie ein fehlendes Bewusstsein für die Technologie genannt werden.

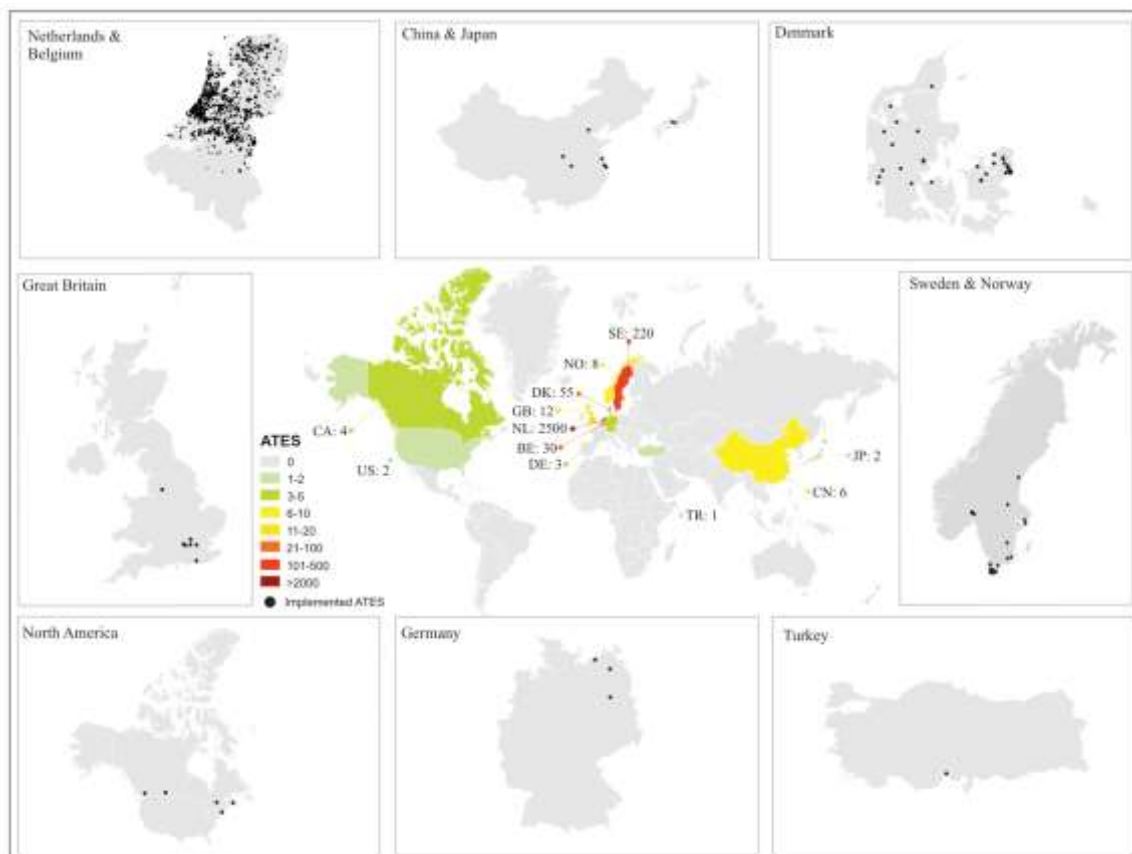


Abbildung 1: Überblick über die weltweite Verbreitung von Aquiferspeichern (Fleuchaus et al. 2018)

Um den Einsatz von Aquiferspeichern zukünftig auch in Deutschland zu fördern sind Demonstrationsprojekte der vielversprechendste Weg. Anhand von Demonstrationsprojekten kann sowohl das Bewusstsein für eine neue Technologie gesteigert, als auch deren erfolgreichen Einsatz und

Vorteile in der Praxis demonstriert werden. Im Projekt Geospeicher.bw soll deshalb an den Standorten Hockenheim, Friedrichshafen und Karlsruhe die Speicherung thermischer Energie in Grundwasserkörpern untersucht und umgesetzt werden.

Ausgangssituation am Demostandort Karlsruhe

Am Demostandort Karlsruhe war anfänglich vorgesehen einen Aquiferspeicher für die Kälte- und Wärmeversorgung des Städtischen Klinikums Karlsruhe zu errichten. Nach der Entscheidung des Städtischen Klinikums für den Bau einer konventionellen Energiezentrale (Fernwärme + Luftkühlung) bestand nicht mehr die Möglichkeit, das Demovorhaben in Form eines Aquiferspeichers an diesem Standort umzusetzen. Im Zuge einer Masterarbeit am AGW wurde die Entscheidung aus finanzieller Sicht analysiert und die Investitions- und Betriebskosten der neuen Kälteversorgung mit einem Aquiferspeicher verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Städtische Klinikum mit einem Aquiferspeicher über einen Zeitraum von 25 Jahren über 4 Mio. € im Vergleich zum neuen Energiesystem hätte einsparen können (Abb. 1).

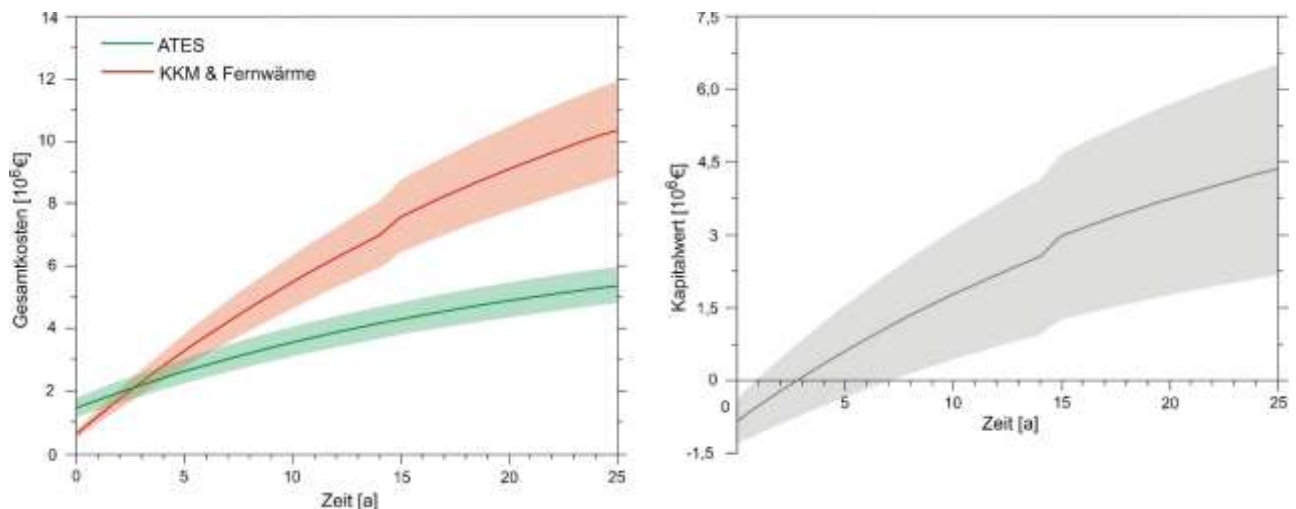


Abbildung 2: Links: Verlauf der Gesamtkosten der Kompressionskältemaschine (KKM) und Fernwärme und des Aquiferspeichers (ATES). Rechts: Verlauf des Kapitalwertes des ATES anhand der Differenzinvestition von KKM und Fernwärme und dem ATES (Schüppler 2017).

Am Demostandort Karlsruhe wurde das Städtische Klinikum aufgrund der Entscheidung gegen einen Aquiferspeicher durch den KIT Campus Nord ersetzt. Der Campus Nord hat einen jährlichen Kältebedarf von über 15 GWh. Die Kälteversorgung erfolgt derzeit dezentral über Kompressionskältemaschinen als auch einer Adsorptionskältemaschine. Bis zum Jahr 2022 wird die Zentralisierung der Kälteversorgung am KIT Campus Nord durch den Bau eines Kältenetzes angestrebt. In Hinblick auf die Energiewende an öffentlichen Einrichtungen soll das geplante Kältenetz durch den Einsatz regenerativer Energien mit Kälte versorgt werden. Im Zuge des Projekts Geospeicher.bw ist

deshalb geplant, die erfolgreiche Nutzung eines Aquiferspeichers für die Kälteversorgung exemplarische am Gebäude 612 zu demonstrieren.

Stand der Arbeitspakete

AP1: Erkundung und Monitoring

Ziele

Dieses Arbeitspaket umfasst die Vorerkundungsphase mit einer geologischen, hydrogeologischen, hydrogeochemischen, thermischen und ggf. biologischen Standorterkundung mithilfe vorhandener Literatur, Berichten, Gutachten, Datenbanken und ggf. zusätzlichen Labor- und Felduntersuchungen.

Demovorhaben Karlsruhe: Aquiferspeicher am KIT Campus Nord

Ergebnisse

In AP 1.1 wurde in einem ersten Schritt geologische und hydrogeologische Daten für den Standort Campus Nord erfasst und ausgewertet. Als Datengrundlage dienten Bohrprofile des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) sowie bereits bestehende Grundwassermessstellen. Zusätzlich Informationen lieferten Gutachten der Firma ghj. In mehreren Untersuchungen wurde das Potential des Campus Nord für die Nutzung oberflächennaher Geothermie bewertet und in Form kleinerer geothermischer Anlagen auch umgesetzt. Die Daten dienen als Grundlage für die Erstellung eines drei-dimensionalen (3D) geologischen, hydrogeologischen und thermischen Standortmodells (AP2).

Ausblick

Als nächster und letzter Schritt in AP1 sollen in den ersten beiden Quartalen 2018, die noch fehlenden Daten erfasst und ausgewertet werden, um die Standorterkundung abzuschließen. Die betrifft insbesondere Information zur Hydrogeologie (Grundwasserfließgeschwindigkeit, Grundwasserfließrichtung, hydraulische Durchlässigkeitsbeiwerte) sowie zur Hydrochemie (z. B. Redoxpotential, Eisen- und Mangangehalte). Die Datenerfassung erfolgt an ausgewählten Grundwassermessstellen sowie bei Bedarf an einer Testbohrung.

AP2: Modellierung und technische Machbarkeit

Ziele

Dieses Arbeitspaket umfasst den Aufbau geologischer, hydrogeologischer, thermischer und hydrogeochemischer Standortmodelle. Darauf aufbauend soll in AP2 der Wärmetransport im Untergrund anhand von analytischen und numerischen Verfahren modelliert werden. Die geplanten Aquiferspeicher werden auf Grundlage der zuvor erfassten Betriebsdaten der jeweiligen Gebäude unter Berücksichtigung des standortspezifischen Untergrunds konzipiert.

Demovorhaben Karlsruhe: Aquiferspeicher am KIT Campus Nord

Ergebnisse

Aufbauend auf AP1 wurde auf Grundlage der gesammelten Daten ein geologisches 3D Modell für den Standort KIT Campus Nord aufgebaut. Das geologische 3D Modell dient als Grundlage für das hydrogeologische und thermische 3D Modell. Des Weiteren werden in einem zweiten Schritt die Betriebsdaten der geplanten Kälteanlage an Gebäude 612 ermittelt und dimensioniert. Auf Grundlage der Betriebsdaten erfolgt die Konzipierung des Aquiferspeichers (Anzahl und Anordnung der Brunnen, Pumpraten) sowie der Gebäudeanbindung.

Ausblick

Auf Grundlage des geologischen 3D Modells (AP2) und der gesammelten hydrogeologischen und thermischen Untergrundparameter (AP1) erfolgt als nächster Schritt der Aufbau des hydrogeologischen und thermischen Untergrundmodells. Anhand einer thermisch-hydraulischen Simulation soll der Speicher ausgelegt und wichtige genehmigungsrechtlicher Fragestellungen beantwortet werden. Zudem dient die thermisch-hydraulische Simulation des Untergrunds als wichtiges Bindeglied zu AP 2.7 (Abbildung und Modellierung der Energieströme des Gesamtsystems) und 2.8 (Hydrogeochemische Simulation des Anlagebetriebs). Ziel ist es in Zusammenarbeit mit der Firma IF Technology die technische Machbarkeit bis Ende 2018 darzulegen und erste Baumaßnahmen Anfang 2019 umzusetzen.

Demovorhaben Friedrichshafen: Aquiferspeicher

Zunächst wurden für das Untersuchungsgebiet alle verfügbaren Informationen über den tieferen Untergrund zusammengetragen, d.h. geologische Detailkarten, geologische Schnitte, Schichtenverzeichnisse von Tiefbohrungen, Angaben über hydraulische Eigenschaften der einzelnen geologischen Einheiten im tieferen Untergrund (Druckpotentiale, Durchlässigkeiten, Speichereigenschaften, etc.) sowie deren thermische Parameter. Die Schichtenverzeichnisse mussten

z.T. beim Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), z.T. jedoch auch bei Erdöl-/Erdgasfirmen direkt angefragt und bezogen werden. Die Stadtwerke am See stellten von dritter Seite erstellte Gutachten dem Projekt zur Verfügung und legten die Größe des Untersuchungsgebietes fest.

Im Rahmen einer Masterarbeit wird derzeit ein numerisches Modell für das Untersuchungsgebiet erstellt. Die zuvor erhobenen Daten und Informationen werden in das Modell eingepflegt. Die Modellierung erfolgt mit der Software FEFLOW. Das Programm erlaubt eine thermisch-hydraulisch gekoppelte Modellierung. Der Standort von zwei virtuellen Bohrungen zur Simulation der Injektion von sommerlicher Überschusswärme und Förderung von Wärme zu Bedarfszeiten (Winter) wurden festgelegt.

Nach Eichung und Validierung sind erste Rechenläufe zur Abschätzung der hydraulischen und thermischen Reichweite im Reservoirbereich vorgesehen. Weiteres Ziel ist die Abschätzung maximaler Injektions- und Förderraten, d.h. maximale Wärmemengen, die eingelagert und die wiedergewonnen werden können.

Literatur

Fleuchaus P., Godschalk B., Stober I., Blum P. (2018): Worldwide application of Aquifer Thermal Energy Storage - A review. [eingereicht].

Schüppler S. (2011): Wirtschaftlichkeit von Aquiferwärmespeichern (ATES) gegenüber konventionellen Versorgungsalternativen. *Masterarbeit*.

Roland Koenigsdorff & Meinhard Ryba
Hochschule Biberach (HBC)
Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)
Förderkennzeichen: L75 16017

Abgesehen vom Projekt der Kalten Nahwärme (KNW) in Biberach befinden sich die anderen Demoprojekte noch überwiegend in der Erkundung der geologischen Voraussetzungen (AP 1).

Ein engerer Kontakt bestand zum Projekt in Hockenheim in Bezug auf Möglichkeiten zur Systemintegration der geplanten geothermischen Anlage mit Aquiferspeicherung in die bestehende Versorgungsanlage des Aquadroms Hockenheim. Sobald dort die geologischen Untersuchungen abgeschlossen sind, soll die Zusammenarbeit intensiviert und mit der Entwicklung eines konkreten anlagentechnischen Konzepts zur Geothermienutzung und dessen Einbindung in die Bestandsanlage begonnen werden (AP 2 + AP 3).

Ausgehend von der Standortnähe bestand ein intensiverer Kontakt zum Projekt in Bad Waldsee. Thema war eine Nutzung der geplanten tiefengeothermischen Quelle bis auf ein möglichst niedriges Temperaturniveau im Sinne einer maximalen Exergienutzung.

Bei dem Projekt Kalte Nahwärme (KNW) Hochvogelstraße in Biberach handelt es sich um ein mittlerweile realisiertes Geothermieprojekt. Nach der Fertigstellung der Erdwärmesonden und des Verteilnetzes der kalten Nahwärme wurde ab 2016 mit der Errichtung der Wohngebäude begonnen und diese sukzessive an das Kalte Nahwärmenetz angeschlossen. Mittlerweile sind 27 Wärmepumpenanlagen angeschlossen (Stand 01.02.2018), die das KNW-Netz als Quelle für die Beheizung der zugehörigen Gebäude nutzen. Zum ersten vollständigen Betriebsjahr 2017 liegen der HBC die Messdaten vom Betrieb der Technikzentrale und von den Temperaturmessungen an den Erdwärmesonden zur Auswertung vor.

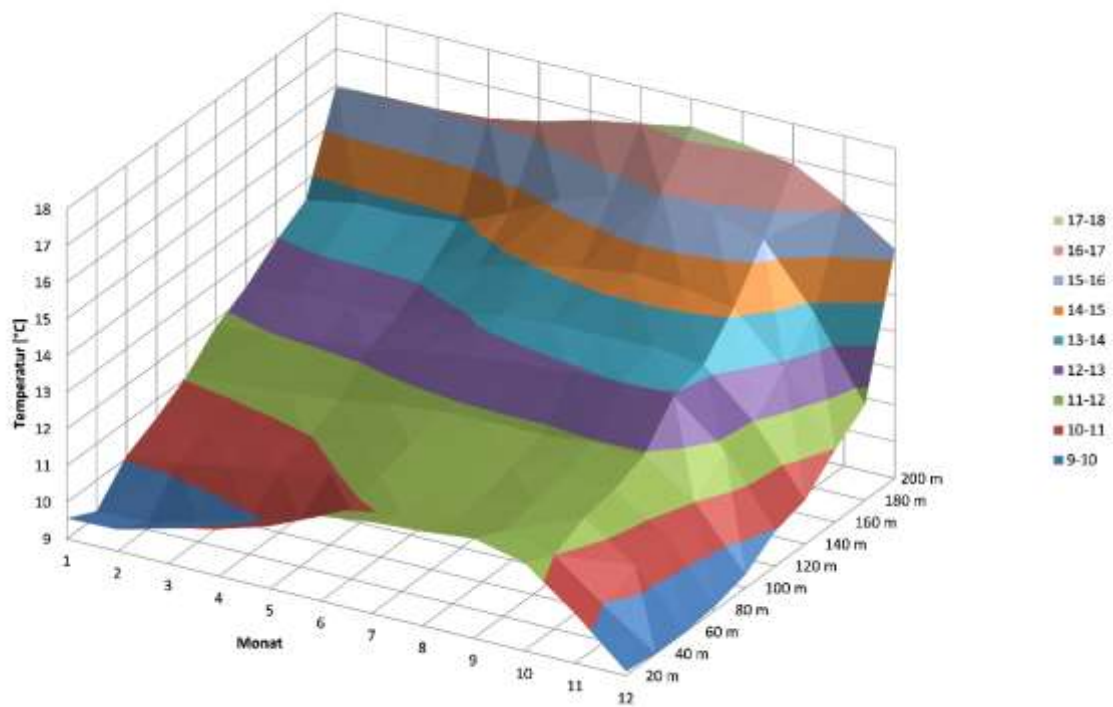


Abbildung 1: Temperaturentwicklung an Sonde 1 über die 12 Monate 2017 in unterschiedlichen Tiefen

Die Auswertung der Messdaten ergab, dass bei der Umsetzung der Messtechnik und der Datenaufzeichnung noch Nachbesserungen seitens der MSR-Firma vorgenommen werden müssen, die vom Betreiber e.wa riss GmbH & Co. KG veranlasst und größtenteils umgesetzt wurden. Grundsätzlich lassen sich die beiden Betriebsweisen des KNW-Netzes mit den EWS als Wärmequellen und dem reinen Netzbetrieb ohne EWS, bei dem die beiden Netzstränge der KNW als Kollektor wirken, unterscheiden und hierzu entsprechende Auswertungen vornehmen. Die folgende Abbildung zeigt die Temperaturentwicklung an Sonde 1 über die 12 Monate des Jahres 2017.

Mit Hilfe einer studentischen Arbeit [1] wurde eine Netzsimulation zur hydraulischen Analyse des KNW-Netzes erarbeitet. Auf Grundlage der elektro-hydraulischen Analogie zum 1. und 2. Kirchhoffschen Gesetz erfolgt der mathematische Lösungsansatz in der Arbeit mittels der Graphentheorie. Die softwaretechnische Umsetzung ist mit Hilfe des Programms Maple und in der Programmiersprache Python realisiert. Ausgehend von den realen Netzparametern (Pumpendaten, hydraulische Kenndaten des Rohrnetzes und zu Einbauteilen etc.) wurden in der Arbeit Simulationsberechnungen mit einem vereinfachten Modell durchgeführt. Dort sind die zentrale Primärpumpe mit dem EWS-Kreis und ein Strang des KNW-Netzes mit drei parallel geschalteten Abnehmern (Wärmepumpen) mit Anschlusspumpen als Sekundärpumpen abgebildet. Am Ende des Strangs ist ein Überströmventil eingebaut. Untersucht wurden unterschiedliche Szenarien zum Betrieb

der Sekundärpumpen. Erste Ergebnisse der durchgeführten Simulationsberechnungen mit dem vereinfachten hydraulischen Modell sind,

- dass sich die parallel verschalteten Sekundärpumpen gegenseitig und die in Reihe geschaltete Primärpumpe mit den Sekundärpumpen ggf. negativ beeinflussen können,
- dass beim Betrieb nicht aller Sekundärpumpen (Teillastbetrieb) bei konstantem Volumenstrom der Primärpumpe eine größere Überströmung am Ende des Strangs stattfindet – also ein Teil des Volumens im KNW-Netz unnötig umgepumpt wird,
- dass es abhängig von einem Teilbetrieb der Sekundärpumpen ggf. zu einer Unter- oder Überversorgung von Abnehmern (Wärmepumpen) kommen kann.

Eine Möglichkeit zur Abhilfe von derartigen Problemen besteht in einer angepassten zentralen Pumpenregelung, was eine Vernetzung der einzelnen Pumpen erfordern würde. Der weitere Betrieb der Anlage soll nun dahingehend beobachtet werden, ob derartige mögliche Probleme tatsächlich auftreten und wie in der Betriebspraxis darauf reagiert werden kann.

Neben den system- und messtechnischen Analysen im Projekt zur Kalten Nahwärme Biberach wurde im AP 3 zum Thema Systemintegration von geothermischen Anlagen in Gebäude- und Energiekonzepten eine Literaturrecherche mit Schwerpunkt auf der temperaturkaskadierten Nutzung von geothermischen Wärmequellen, -senken und geothermischen Speichern mit vorzugsweiser direkter Nutzung zur gesamten oder teilweisen Bedarfsdeckung durchgeführt.

- [1] C. Sulger, Projektarbeit „Hydraulische Untersuchung eines kalten Nahwärmenetzes“, Hochschule Biberach 2017

Simon Schüppler, Roman Zorn
EIFER - European Institute for Energy Research
AP1: Erkundung und Monitoring Standort Hockenheim: Aquadrom
Förderkennzeichen: L75 16019

Ziel

Der Fokus im Rahmen des AP1 seitens des EIFER liegt bisher auf dem Demostandort Aquadrom in Hockenheim. Dort soll die überschüssige Abwärme des BHWKs und die Abwärme des ganzjährig auf 30°C erwärmten Keller des Aquadroms im oberen Grundwasserleiter gespeichert werden. Davon sollen anliegende Einrichtungen (z.B. Jugendzentrum) saisonal profitieren. Die Untersuchungen am Standort sollen Aufschluss darüber geben, ob ein Aquiferwärmespeicher (ATES) umsetzbar ist. Dafür wird die Hydrogeologie (u.a. Grundwasserfließgeschwindigkeit, Fließrichtung, kf-Wert) charakterisiert und die zukünftige Entwicklung der Temperaturfahne durch Wärmeinjektion über einen Brunnen beobachtet. Zusätzlich wird das Konzept der Wärmespeicherung ausgearbeitet, verbunden mit einer dauerhaften Einrichtung für das thermische Monitoring.

Umsetzung/ Ergebnisse

Für die zukünftige Einspeisung der Abwärme wurde Ende Februar (KW 9) ein Brunnen im Anstrombereich, unmittelbar am südlichen Ende des Aquadroms errichtet. Vorausgegangene Temperaturmessungen konnten in diesem Bereich Grundwassertemperaturen von 12 °C feststellen. Daher gilt der Anstrombereich als vom Schwimmbad thermisch unbeeinflusst. Der Brunnen weist eine Tiefe von 16 m und einen Durchmesser von 40 cm (nach dem Ausbau 20 cm) auf. Der Ausbau erfolgte über das Trockenbohrverfahren. Der Brunnen wurde mit einem Edelstahl Schlitzrohrfilter verfiltert (siehe Abbildung 1). Die Errichtung des Brunnens wurde vor Ort begleitet. Im Rahmen der Bohrung konnten Proben des Bohrkleins gewonnen werden, die im Labor (Uni Heidelberg & EIFER) u.a. zur Bestimmung der Korngrößenverteilung analysiert werden. Zudem wurden Proben des verwendeten Filterkieses und der Tonabdichtung mitgenommen. Der Brunnen ist zunächst als Testbrunnen für die Durchführung weiterer Versuche vorgesehen und soll, falls sich der Standort als geeignet erweist, später als dauerhafter Injektionsbrunnen für die Wärme genutzt werden.



Abbildung 1: Einbau des Schlitzrohrfilters im Injektionsbrunnen im Anstrombereich des Aquadroms.

Im Rahmen des 1. Doktorandentreffens Ende Februar in Pforzheim wurde sich intensiv über das zukünftige Wärmespeicherkonzept am Standort Hockenheim ausgetauscht. Stellt sich der Standort als für die Wärmespeicherung geeignet heraus, soll sowohl Abwärme aus dem Keller des Aquadroms (derzeit 30 °C), als auch Abwärme aus dem BHKW über den Injektionsbrunnen im Südosten des Aquadroms in den Aquifer eingespeist werden. Die dadurch entstehende Wärmefahne soll das Aquadrom, gemäß der Grundwasserfließrichtung, nach Nordwesten unterströmen, wo die Wärme wieder entnommen werden kann.

Ausblick

Für eine Bewertung der Machbarkeit eines ATES-Systems werden bis zum Herbst 2018 weitere Untersuchungen durchgeführt. Zuerst wird ein umfangreicher Stufenpumpversuch am neu errichteten Brunnen durchgeführt. Dafür benötigte Messstellen sind auf dem Gelände des Aquadroms bereits

vorhanden oder werden vor dem Pumpversuch noch installiert. Der Pumpversuch soll u.a. Aufschluss über den kf-Wert des Aquifers und der Leistung des Brunnens geben. Die wasserrechtliche Genehmigung für den Pumpversuch wurde dafür bereits eingeholt. Die für den Versuch benötigten Diver bzw. Datenlogger werden vor Benutzung im Labor kalibriert.

Außerdem sollen tiefenorientierte Temperaturmessungen und ein Thermal Response Test durchgeführt werden. Dadurch kann u.a. der Temperaturgradient am Standort analysiert, sowie die Wärmeleitfähigkeit bestimmt werden. Diese Parameter können helfen den Aquifer und das Fließverhalten des Grundwassers, welche entscheidend für die Entwicklung einer Temperaturfahne sind, besser zu verstehen. Darüber hinaus soll testweise über ein im Brunnen angebrachtes spiralförmiges Verbundrohrsystem Wärme (bis ca. 15 kW) in den Aquifer eingespeist werden. Dadurch wird lokal eine kleine Temperaturerhöhung erzeugt, deren Entwicklung und Einfluss auf den Aquifer untersucht wird. Außerdem wurde bereits eine Karte mit den unterirdischen Rohr- und Abwassersystemen des Aquadroms angefordert, um deren Einfluss auf die Temperatur des Aquifers zu untersuchen.

Zukünftige Tätigkeiten am Demostandort Hockenheim werden weiterhin in enger Zusammenarbeit mit MSc. Simon Ritter (Universität Heidelberg) und Dipl.-Geol. Erhard Metzler (Stadtwerke Hockenheim) erfolgen. Im Rahmen des Projektes findet ein weiteres Doktorandentreffen im September/Oktober 2018 voraussichtlich in Hockenheim statt.

Jürgen Braun & Giulia Giannelli
Universität Stuttgart
Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung
(VEGAS)
Förderkennzeichen: L75 16015

Einführung und Ziele

Im Heizungsbetrieb können die Erdwärmesonden und Kollektoren mit negativer Vorlauftemperatur ($< 0^{\circ}\text{C}$) betrieben werden, wobei zwei Fälle zu unterscheiden sind:

- der Dauerbetrieb aufgrund einer Unterdimensionierung der Sonde,
- die Spitzenlast, um Energiespitzenbedarf an sehr kalten Tagen zu decken.

Im Berichtszeitraum wurde untersucht inwieweit diese, für die Energiespeicherung wichtigen Prozesse, durch die „Leitlinien LQS 2015“, die in Baden-Württemberg gelten, und die Richtlinie „VDI 4640“ abgebildet werden.

Stand der Arbeiten

Wenn eine Erdwärmesonde mit einer negativen Zulauftemperatur beaufschlagt wird, kann man zwei Hauptaspekte betrachten:

- Optimierung der Systemeffizienz
- Frostbildung und das potenzielle Risiko.

Optimierung der Systemeffizienz

Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit eine niedrige Zulauftemperatur zu einer erhöhten Energiegewinnung führt. Für niedrigere Zulauftemperaturwerte, erhöhen sich die Re-Zahl und die Temperaturspreizung zwischen Zulauf und Rücklauf. Die parallele Verringerung der spezifischen Wärmekapazität ist vernachlässigbar. Wenn die Formel der Entzugsleistung (Formel 1) berücksichtigt wird, erhöht sich die Entzugsleistung, und daher die Energiegewinnung.

$$P_{Entzug}[\text{kW}] = \dot{Q} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] * c_p \left[\frac{\text{J}}{\text{g} * \text{K}} \right] * \Delta T[\text{K}] \quad \text{Formel 1}$$

wobei $P_{Entzug}[\text{kW}]$: Entzugsleistung; $\dot{Q} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$: Massenstrom; $c_p \left[\frac{\text{J}}{\text{g} * \text{K}} \right]$: spezifische Wärmeleitfähigkeit; $\Delta T[\text{K}]$: Temperaturdifferenz

Die „VDI 4640“ enthält in den Tabellen 7 und 8 (Blatt 2) Beispielberechnungen, die dies bestätigen. Hier wurden z.B. die Entzugsleistungen für eine Zulauftemperatur größer oder gleich -5°C (Tabelle 7 (Blatt2)) sowie für eine Zulauftemperatur größer oder gleich -3°C (Tabelle 8 (Blatt 2)), in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern wie Jahresvolllaststunden und Anzahl der Sonden und

Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Untergrunds berechnet. Wie erwartet, sind die Entzugsleistungswerte bei -5°C (Tabelle 7) deutlich größer als bei -3°C (Tabelle 8).

In Tabelle 8 wurde weiterhin die Entzugsleistung für den turbulenten wie für den laminaren Strömungszustand in den EWS-Rohren dargestellt. Außerdem stellt das Diagramm 7 der „VDI 4640“ (Blatt 2) die Beziehung zwischen Entzugsleistung und Strömungszustand in den EWS-Rohren dar und zeigt, dass für turbulente Strömung ($\text{Re} > 2300$) eine erhöhte Entzugsleistung resultiert.

In Rahmen des Forschungsvorhabens Geospeicher.bw wurde ein Langzeitversuch im VEGAS-Großbehälter durchgeführt um den Einfluss des Strömungszustands in den EWS-Rohren (Re-Zahl) auf Frostausbreitung in der Verfüllung sowie im Nahfeld der EWS bei einer Zulauftemperatur von -2°C zu untersuchen. Details zum Aufbau des großskaligen Versuchs befinden sich im Bericht: „Einfluss des Betriebs von Wärmepumpen auf potentielle Durchfrostung eine Erdwärmesonde - EWS-Frost - (L75 14 011)“ (Giannelli & Braun, 2016)

Die Keimbildung im Zentrum der Sonde wurde nach ca. 478 Stunden kontinuierlichen stationären Betriebs, unter turbulenten Randbedingungen in den EWS-Rohren beobachtet (EWS-Durchfluss von 1119 L/Std, und Re-Zahl von ca. 4310). Danach wurde der Durchfluss in den EWS-Rohren zwischen einem transienten ($2300 < \text{Re-Zahl} < 4000$), und turbulenten (> 4000) Strömungszustand (Mullin, 2011) variiert.

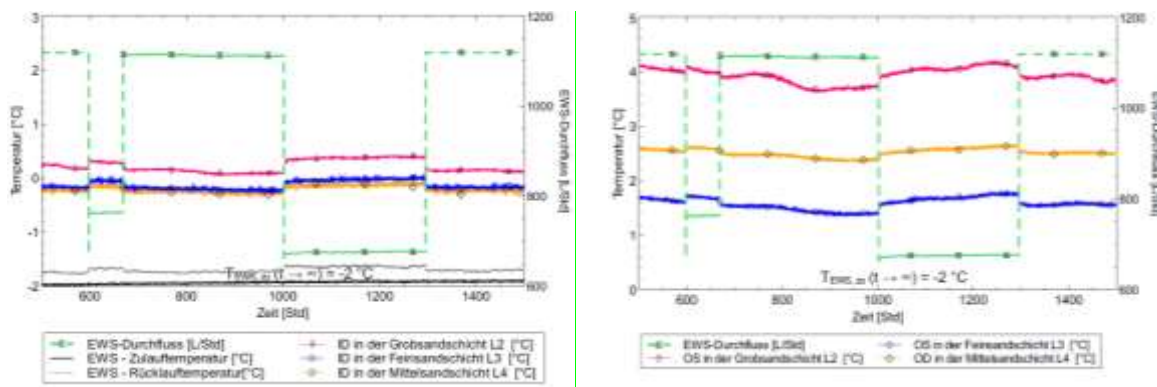


Abbildung 1: Langzeitversuch im VEGAS Großbehälter (kontinuierlicher Betrieb, initiale Temperatur im Behälter: $13,5 - 14^{\circ}\text{C}$, EWS-Zulauftemperatur: -2°C , Grundwasserströmung: $v_a = 0,75 \text{ m/d}$, initialer turbulenter Strömungszustand in EWS (EWS-Q= 1119 L/Std). Der initiale turbulente Strömungszustand wurde auf transienten verändert: 750 L/Std, und Re-Zahl = 2891, 665 L/Std, und Re-Zahl = 2560). Die Temperatur im Kern der Sonde (I = Innen) bei untersch. Tiefen ist links dargestellt. Die Temperatur am Rand der Sonde (O = Außen) ist rechts dargestellt.

Je höher die Re-Zahl ist, desto kleiner ist der Widerstand der Rohrwand, daher ist der Wärmetransport effizienter und niedrigere Temperaturen werden erreicht. In Abbildung 1 ist der Einfluss auf die Temperaturentwicklung im Kern der Verfüllung (links) sowie am Rand der Verfüllung (rechts) dargestellt. Der Einfluss ist auch im EWS-Nahfeld, in einem Abstand von 0,5 m von der EWS, beobachtbar (hier nicht dargestellt). Das ist durch die Theorie der Prandtl-Grenzschicht zu erklären: die

Grenzschicht bezeichnet den Bereich in einem strömenden Fluid an einer Wand, in der die Viskosität des Fluids einen Einfluss auf das Geschwindigkeitsprofil senkrecht zur Wand ausübt.

Frostbildung und das potenzielle Risiko

Die „VDI 4640“ verlangt, dass im Heizbetrieb die Eintrittstemperatur des Wärmeträgermediums in die Erdwärmesonde(n) im Dauerbetrieb (z.B. Wochenmittel) 0°C nicht unterschreiten soll. Bei Spitzenlast soll diese Temperatur nicht unter -5°C liegen.

Die in Baden-Württemberg geltenden Leitlinien „LQS 2015“ beschränken die minimale zulässige Rücklauftemperatur der Wärmepumpe auf -3°C . Zur Untersuchung dieser Grenzwerte wurde ein in Abbildung 2 dargestellter diskontinuierlicher Betrieb (2,5 Stunden bei -3°C , 1 Stunde Erholung) einer EWS im VEGAS-Großbehälter durchgeführt.

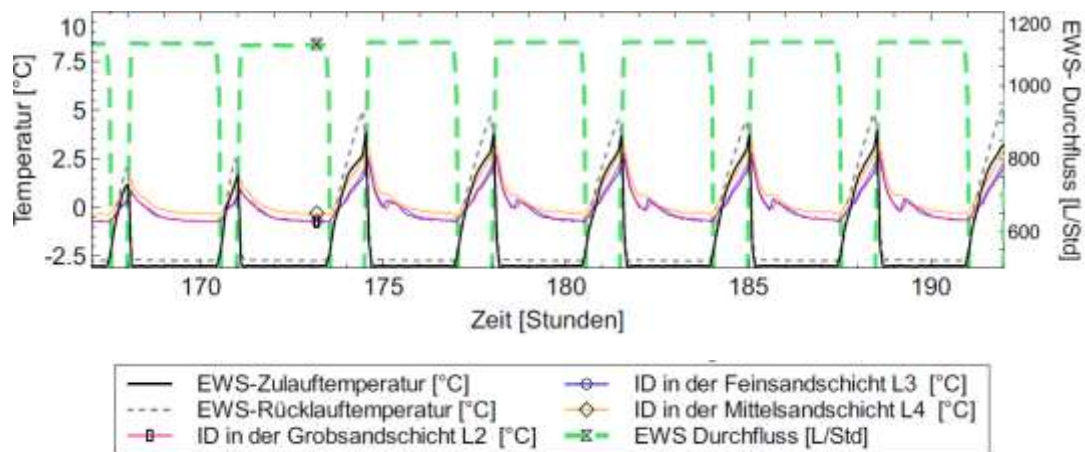


Abbildung 2: Großskaliger Versuch im VEGAS Großbehälter (diskontinuierlicher Betrieb, EWS-Zielzulauftemperatur: -3°C , keine Grundwasserströmung, initialer turbulenter Strömungszustand in EWS (Re-Zahl = 4100). Die Temperatur im Kern der Sonde (I = Innen) an untersch. Tiefen, der EWS-Durchfluss und die EWS- Zulauf- und Rücklauftemperatur sind hier dargestellt. Das Geschehen einer Temperaturspitze ist ein Anzeichen von Frostentwicklung in der EWS-Verfüllung (Giannelli & Braun, 2016).

Die Rahmenbedingungen des Versuchs sind mit den Anforderungen der LQS konform (min $T = -3^{\circ}\text{C}$), wobei im Experiment der Rücklauf der Wärmepumpe mit dem Eintritt in die EWS gleichgestellt werden kann. Trotz diskontinuierlichen Betriebs ist in den Temperatur-Zyklen regelmäßig Frostbildung zu beobachten. Dies würde bedeuten, dass die Anforderungen der LQS für diesen Lastfall nicht konservativ sind. Ein direkter Vergleich mit den Anforderungen der „VDI 4640“ ist leider nicht möglich. Einerseits liegt die angewandte Zulauftemperatur (-3°C) deutlich über der in der VDI minimal erlaubten Zulauftemperatur (-5°C), andererseits geht aus dieser Richtlinie nicht hervor, wie ein Wochenmittel für diskontinuierlichen Betrieb zu ermitteln wäre.

Ergebnisse

Anders als in dem Diagramm 7 der „VDI 640“ dargestellt, zeigt das Experiment keine genaue Trennung der Effizienz (bei Re-Zahl 2300) von laminarer zu turbulenter Strömung auf. Stattdessen ist ein

transienter Bereich zu erkennen, in dem der Widerstand an der Rohrwand (Prandtl-Grenzschicht) einen starken Einfluss auf die Entzugsleistung und dessen Effizienz haben kann. Allerdings verringert sich bei der Nutzung einer niedrigen Zulauftemperatur der absolute EWS-Rücklaufwert. In den Regelwerken werden zum einen verschiedene Grenzwerte genannt und zum anderen werden diese Grenzwerte auch an unterschiedlichen Stellen gemessen. Dabei ist die Anforderung des VDI (Eintritt in EWS) sicher konservativer als die Anforderung der LQS (Rücklauf Wärmepumpe). Eine Anpassung wird dringend empfohlen.

Giannelli, G., & Braun, J. (2016). Einfluss des Betriebs von Wärmepumpen auf potentielle Durchfrostung einer Erdwärmesonde - EWS-Frost - (L75 14 011). VEGAS, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung VEGAS, Technischer Bericht TB02/2016 (VEG 71).

Ministerium für Umwelt, K. u.-W. (2015). Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden. Stuttgart: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

Mullin, T. (2011). Experimental Studies of Transition to Turbulence in a Pipe. Annual Review of Fluid Mechanics Vol. 43:1-24.

Richtlinie VDI 4640. (kein Datum). Thermische Nutzung des Untergrunds. Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen.

Thomas Breyer-Mayländer, Detlev Doherr & Cäcilia Schallwig
Hochschule Offenburg

Förderkennzeichen: L75 16018

Ap. 4: Transparente Information und Öffentlichkeitsbeteiligung

Projektstatus

Die Hochschule Offenburg bearbeitet im Verbundprojekt „GeoSpeicher.bw“ das Arbeitspaket 4 „Transparente Information und Öffentlichkeitsbeteiligung“ mit dem Ziel, die unterschiedlichen Teilprojekte der Demostandorte kommunikativ zu begleiten und die dazugehörigen Forschungsergebnisse der interessierten Öffentlichkeit transparent zugänglich zu machen. Im Rahmen der Doktorandenschule und der begleitenden Promotion „Partizipatives Planungs- und Kommunikationsmanagement von Geothermieprojekten“ soll die im Januar 2015 veröffentlichte Richtlinie VDI 7000 als Grundstein für die Öffentlichkeitsbeteiligung beleuchtet und auf geothermische Anlagen angewendet werden.

Dazu wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Besuch ausgewählter Projekt-Demostandorte, Informationsaustausch und gegenseitige Vernetzung,
- Besuch der Fachkonferenz VDI 7000 im Juni 2017 in Berlin und Vernetzung,
- Gezielte Auswertung von bestehender Literatur, Studien und Kommunikations- und PR-Konzepten zu Energieprojekten im Allgemeinen und zu Geothermie im Speziellen,
- Konzeption einer Projektwebseite,
- Vorbereitung einer quantitativen Erhebung zur Anwendung der Richtlinie VDI 7000,
- Vorbereitung einer qualitativen Medieninhaltsanalyse auf Basis der Richtlinie VDI 7000.

Ergebnisse

Erstellung einer Projektwebseite

Aufbauend auf den Empfehlungen bestehender Literatur und dem Austausch mit den Projektpartnern wurde eine Projektwebseite erstellt, die vom Rechenzentrum der Hochschule Offenburg gehostet und betreut wird. Die Webseite wird voraussichtlich im Frühjahr 2018 unter www.geospeicher-bw.de erreichbar sein. Ziel der Webseite ist die Bereitstellung von Informationen über die Demonstrationsprojekte und Fachpublikationen für: 1. die interessierte Öffentlichkeit sowie für 2. weitere Stakeholder wie Forschende und Forschungsinteressierte, Fachverbände, Medien und Politik.

Quantitative Erhebung – Institutionalisierung VDI 7000

Für die Umsetzung der Öffentlichkeitsbeteiligung bei Energieprojekten sind weitreichende konzeptionelle Ansätze von öffentlichen und privaten Einrichtungen zu verzeichnen. Wie und ob diese Empfehlungen – meist in Form von informellen Handlungs-, Leit- oder Richtlinien – Umsetzung in der Praxis erfahren, ist jedoch weitgehend unbekannt. Eine bundesweite Umfrage unter Energieversorgungsunternehmen soll unter anderem zeigen, ob der Bekanntheitsgrad der Richtlinie VDI 7000 in Baden-Württemberg aufgrund der Sonderstellung in der Gesetzgebung (§ 25 Abs. 3 VwVfG) höher ist als in anderen Bundesländern.

Medienanalyse Wärmespeicherung in Aquifern

Im Projekt GeoSpeicher.bw erforschen vier unterschiedliche ATES-Demonstrationsprojekte den Einsatz von Wärmespeicherung im Untergrund (ATES für engl. = Aquifer Thermal Energy Storage). Es ist anzunehmen, dass Befürchtungen und Ängste, die in Bezug auf Geothermieprojekte öffentlich geäußert werden, auch auf ATES-Projekte übertragen werden, da die Technologie in Deutschland noch weitgehend unbekannt ist (Holstenkamp 2017). Da nur eingeschränkte Informationen über die aktuelle öffentliche Wahrnehmung der Wärme- und Kältespeicherung in Aquifern zur Verfügung stehen, werden im Projekt Medienberichte und Leserkommentare von deutschen Tageszeitungen und Onlineportalen analysiert. Dabei sollen nutzerseitig wahrgenommene Vor- und Nachteile bzw. akzeptanzhemmende und –fördernde Faktoren von ATES identifiziert und erhoben werden. Methodik: Computergestützte qualitative Inhaltsanalyse mit der Software Maxqda. Teilergebnis: Im erhobenen Zeitraum der Jahre von 1993 bis 2015 zeigt sich eine geringe Berichterstattung. Leichte Anstiege sind im Zusammenhang mit dem Bau einer Anlage unter dem Reichstag in Berlin zu verzeichnen sowie im Jahr 2011 im Zuge eines aus Kostengründen nicht realisierten Aquiferspeichers im Berliner Stadtteil Prenzlau. Ein sprunghafter Anstieg zeigt sich ab dem Jahr 2016 (Abb.1).

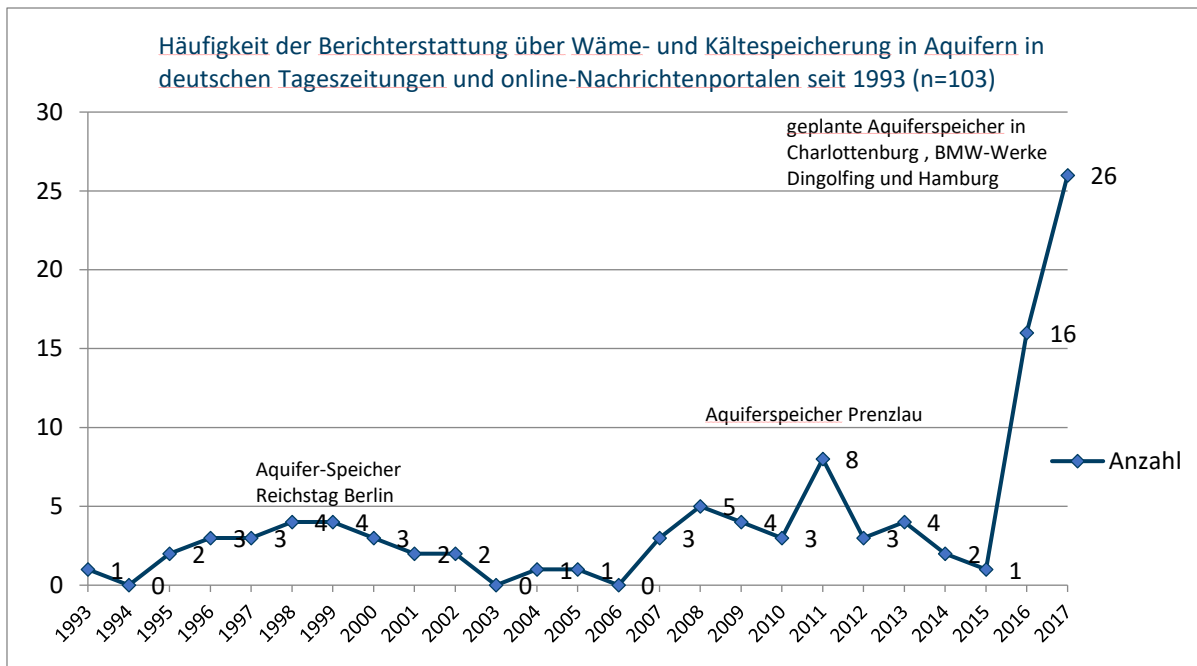


Abbildung. 1: Ein im Jahr 2016 gestartetes Forschungsprojekt der TU Berlin (Aquiferspeicher Charlottenburg) sowie weitere Projekte in Bayern (Aquiferspeicher BMW-Werke Dingolfing) und Hamburg (Aquiferspeicher Klärwerk an der Dradenau) führen seit 2016 zu einem sprunghaften Anstieg der Berichterstattung zum Thema Wärme- und Kältespeicherung in Aquiferen in der regionalen und überregionalen Medienberichterstattung in Deutschland.

Es lässt sich erkennen, dass das Thema Eingang in den überregionalen medialen Diskurs gefunden hat und davon auszugehen ist, dass sich die Relevanz weiter steigern wird.

Perspektiven:

- Vorbereitung Nachahmerworkshop,
- Weitere Projektbegleitung mit kommunikativer Unterstützung.

Christian Moormann, Patrik Buhmann und Matin Liaghi
Universität Stuttgart
Institut für Geotechnik (IGS)
Förderkennzeichen: L75 16015

Überblick

Die Forschungsaktivitäten des Institutes für Geotechnik (IGS) der Universität Stuttgart fokussieren sich anwendungsorientiert auf die beiden Geothermie-Vorhaben Hans-Rehn-Stift in Stuttgart-Rohr und den Rosensteintunnel in Stuttgart Bad-Cannstatt.

Hans-Rehn-Stift

Bei dem Hans-Rahn-Stift handelt es sich um eine Altenwohnanlage, deren Wärmeversorgung durch unterschiedliche Wärmebereitstellungsarten wie z.B. eine Kraftwärmekopplungsanlage, Solarthermie und eine Luftwärmepumpe sichergestellt wird. Darüber hinaus wird die Grundlast des Wärmebedarfs über ein Erdwärmesondenfeld bestehend aus 21 Erdwärmesonden mit einer mittleren Tiefe von 90 m gedeckt. Dieses Erdwärmesondenfeld bildet den derzeitigen Untersuchungsschwerpunkt im Projekt GeoSpeicher.bw. Zunächst wurden verfügbare Informationen zum Projektgebiet wie z.B. Studien zur Geologie und zur Hydrologie, Monitoring Daten des Erdwärmesondenbetriebs und der Baugrundtemperaturen sowie die Dateneines Thermal Response Test (TRT) ausgewertet. Aufbauend auf diesen Unterlagen wurde ein numerischen thermisch-hydraulisch gekoppeltes Modells in der Softwareumgebung COMSOL Multiphysics-Softwareversion (5.3) entwickelt. Die abgebildete Modellgeometrie umfasst einen Berechnungsausschnitt mit 200 m Tiefe, 10 m Länge und 7 m Breite. Innerhalb der dreidimensionalen Berechnungsdomain wurde eine Erdwärmesonde (BHE) mit 190 m Tiefe und 20 cm Durchmesser implementiert. Die Abmessung wurde so gewählt, dass die Temperaturverteilung des BHE von dem Modellrändern nicht beeinflusst wird.

Hauptziele der Untersuchung waren:

1. Die Simulation der Anfangstemperatur des Bodens vor dem TRT-Test (Initialzustand).
2. Simulation der Temperaturverteilung innerhalb der Erdwärmesonde nach dem TRT-Test (TRT Status).

Initialzustand

Die Randbedingungen für das numerische Modell wurden basierend auf den verfügbaren Informationen aus unterschiedlichen Dokumentationen definiert. Der Wärmestrom an der Geländeoberkante wurde als Wärmeübergangsrandbedingung am oberen Rand des Modells basierend Klimadaten der dem

Projektgebiet naheliegenden Klimastation (Leinfelden-Echterdingen) übernommen. Die im Projektgebiet vorhandene Grundwassergeschwindigkeit von 1.2 m/d, wurde mittels konstanter Potentialhöhen definiert. Am unteren Modellrand wurde eine auf dem geothermischen Gradienten basierende Temperaurandbedingung festgelegt. Das Modell wurde als transientes Problem unter Ansatz einer Simulationsdauer von 5 Monaten simuliert. In der Abbildung 1 ist die gemessene und gerechnete Temperaturverteilung innerhalb der Erdwärmesondenrohre vor Beginn des TRT-Tests dargestellt. Hierbei konnte sowohl die solare Speicherzone bis in eine Tiefe von 6 m, als auch der Bereich der Grundwasserströmung mit guter Übereinstimmung simuliert werden.

TRT Status

Die TRT-Bedingungen (162 h Zirkulation der Flüssigkeit in den Rohren mit 10.000 W Energiezufuhr) wurden in das Modell implementiert. Als Vergleich zwischen numerischem Modell und TRT-Test wurden zwei Messungen, eine nach 2 h und eine nach 26 h nach Beendigung der Wärmezufuhr herangezogen. Die Ergebnisse der Messungen und der Simulation sind der (Abb. 1) zu entnehmen.

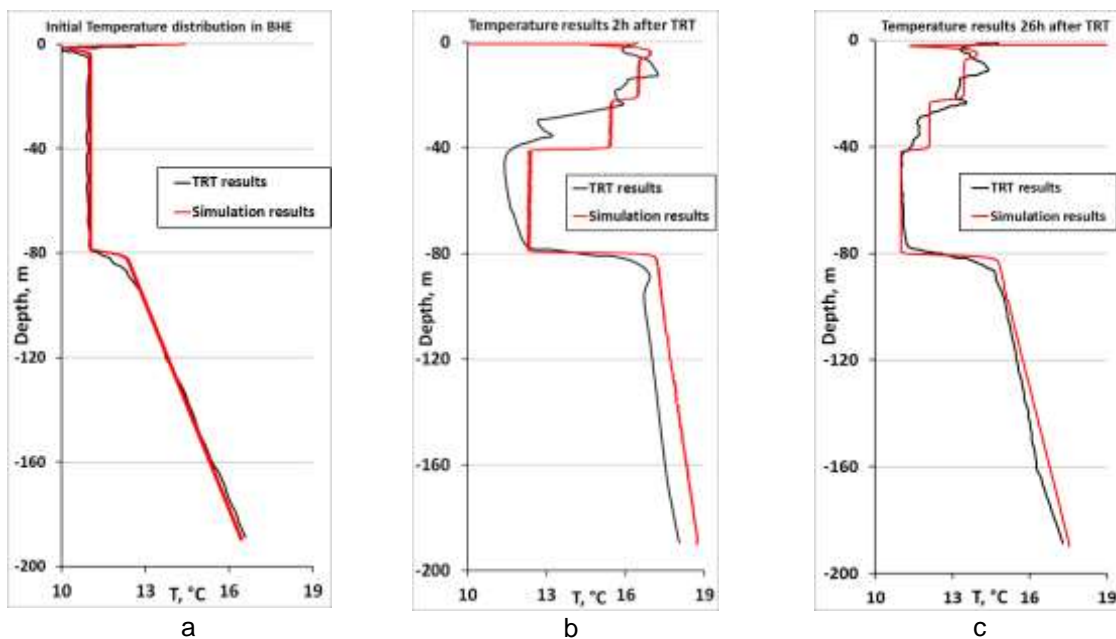


Abbildung 1: Vergleich des Temperaturverlaufs innerhalb der Rohrleitungen der Erdwärmesonde im Initialzustand (a) und TRT-Status (b & c).

Rosensteintunnel

Innerhalb des Rosensteintunnels (Bundesstraße B10) in Stuttgart wurde in den vergangenen Monaten eine Tunnelgeothermieanlage installiert, deren spätere Messdaten dem Institut für Geotechnik für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung stehen.

Das Tunnelklima liefert einen wesentlichen Beitrag zum geothermischen Potential einer Tunnelgeothermieanlage. Ein Baustein zur Beschreibung dieser Wärmeströme ist die Kenntnis über den lokalen Wärmeübergang von der Tunnelluft an die Tunnelschale. Zur Bestimmung des zugehörigen Wärmeübergangskoeffizienten wurde durch das IGS ein Messkonzept entwickelt und die entsprechenden Sensoren konzipiert und hergestellt.

Die Sensoren wurden bei der Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS) kalibriert. Bis zum jetzigen Stand des Projektes wurden 6 Temperaturlanzen im Spritzbeton der Außenschale sowohl in der südlichen als auch in der nördlichen Röhre installiert. Abb. 2 zeigt die Position und die Höhe der Sensoren in der Tunnelschale.

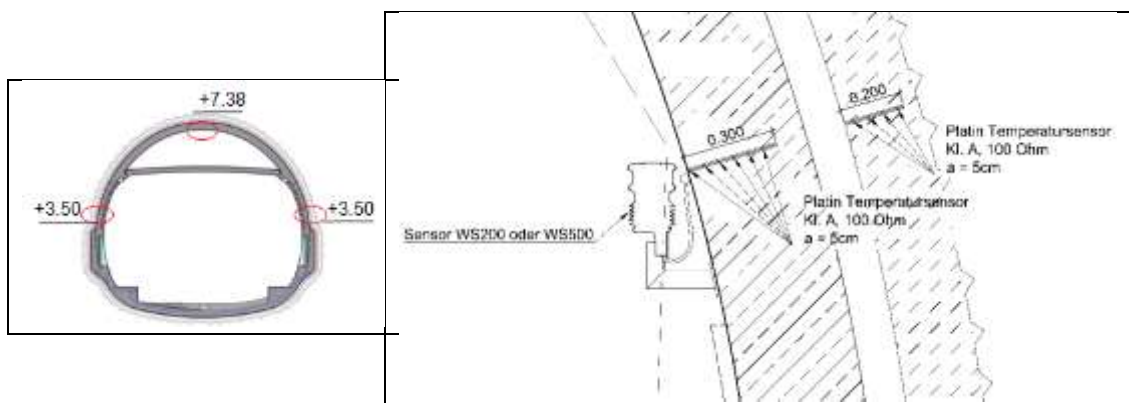


Abbildung 2: Tunnel Rosenstein - Installationsort der vom IGS in der Tunnelschale installierten Temperatursensoren

Margot Isenbeck-Schröter und Simon Ritter
Universität Heidelberg
Institut für Geowissenschaften
Förderkennzeichen: L75 16016

Einleitung

Das Forschungsvorhaben GeoSpeicher.bw - Geothermische Speicherung in Baden-Württemberg wurde zum 19.09.2016 bewilligt. Der für die Projektbearbeitung vorgesehene Kandidat M.Sc. Simon Ritter wurde zum 1.10.2016 eingestellt. Zunächst wurde eine umfangreiche Literaturstudie zum Thema oberflächennahe Geothermie und hydrogeochemische Einflüsse auf die thermische Nutzung von Grundwasserleitern erstellt um eine detaillierte Versuchs- und Messstrategie für das Forschungsvorhaben zu entwickeln. Am 9. März 2017 fand in Karlsruhe ein sogenanntes „Kick-Off-Meeting“ zum Projekt GeoSpeicher.bw statt, bei dem alle Projektbeteiligten ihre jeweiligen Projekte, Partner und Doktoranden vorgestellten. Die Teilnehmer konnten sich kennenlernen und intensiv das weitere Vorgehen und die Kooperationen im Projekt besprechen. Bei dieser Gelegenheit wurde konkret für das Teilprojekt Geospeicher.HD eine Probenahme-Kampagne am Standort Hockenheim vereinbart. Ein weiterer wichtiger Termin für das Projekt GeoSpeicher.bw war eine gemeinsame zweitägige Exkursion Ende September 2017 vieler Projektbeteiligter in die Niederlande. Dort wurden verschiedene laufende ATES-Systeme besucht und über die Erfahrungen im Bau und Betrieb solcher Systeme informiert.

Ziel der Teilprojekte auf dem Gelände des Aquadrom ist es, ein ATES-System („Aquifer Thermal Energy Storage“) zu installieren. Dabei soll überschüssige Abwärme aus zwei Blockheizkraftwerken und dem Bäderbetrieb im oberflächennahen Untergrund einspeichert werden und anschließend saisonal von Anliegern (Sporthalle und Kindergarten) genutzt werden. Im Teilprojekt GeoSpeicher.HD wird das Vorhaben am Aquadrom vor allem mit den Fragestellungen zu Veränderungen des hydrogeochemischen Milieus im Aquifer durch erhöhte Temperaturen wissenschaftlich untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen aus dem ersten Projektjahr und die sich daraus ergebenden Folgen für die Planung und Entwicklung eines ATES-Systems am Aquadrom in Hockenheim werden nachfolgend in Kürze dargestellt.

Hydrogeologische und hydrogeochemische Untersuchungen am Standort Aquadrom in Hockenheim

Bestimmung der Grundwasserfließrichtung

Als erster Schritt für die Planung und Umsetzung eines ATES-Systems am Standort *Aquadrom in Hockenheim* wurden im April 2017 hydrogeologische Untersuchungen im oberflächennahen Aquifer durchgeführt. Zunächst wurde die Grundwasser-fließrichtung in mehreren Stichtagsmessungen der bestehenden vier Grundwassermesspegel bestimmt. Das Grundwasser zeigt in allen Stichtagsmessungen ein Gefälle in Richtung Nord-Westen entsprechend der Richtung des Vorfluters Rhein (Abb. 1).

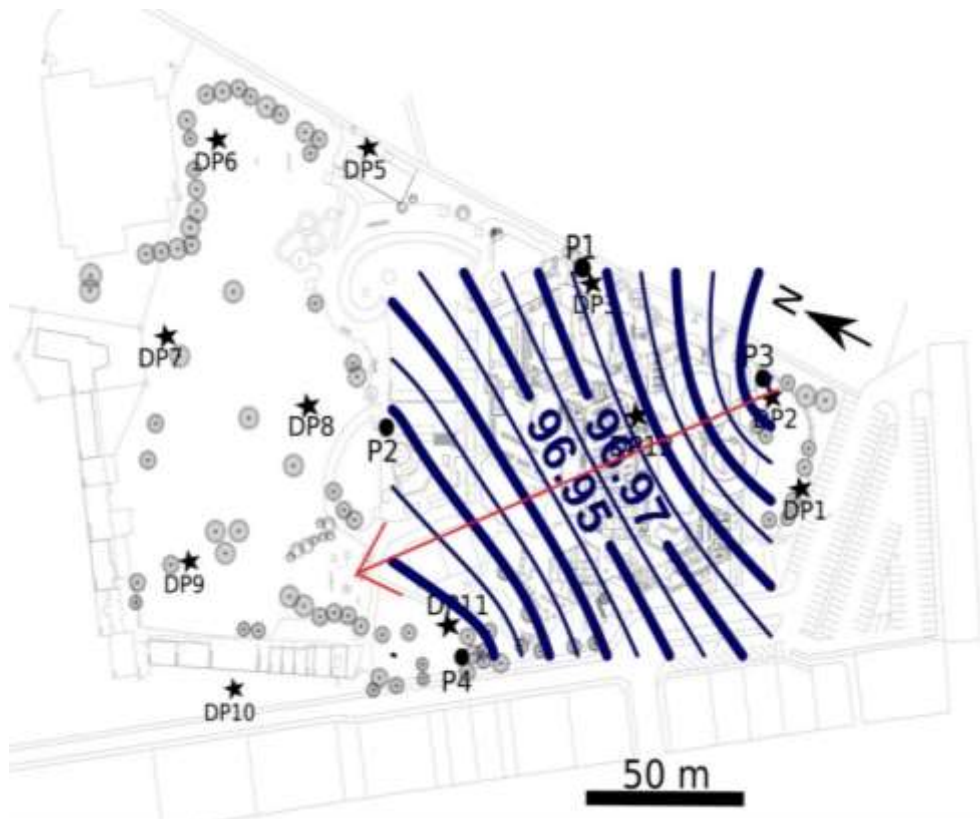


Abbildung 1: Karte des Aquadromgeländes in Hockenheim. Die Grundwasserfließrichtung in Richtung Nord-West wurde anhand der vier bestehenden Pegel P1–P4 bestimmt (geschlossene Kreise). DP1–DP12 bezeichnen die Lage der Direct-Push Bohrungen mit dem Geoprobe System.

Hydrogeochemie am Standort

Im April 2017 wurden insgesamt 11 Direct-Push Bohrungen mit dem Geoprobe System auf dem Gelände des Aquadroms durchgeführt, um eine gute Datengrundlage für die Hydrogeochemie zu erhalten (Abb.1). Das Geoprobe-System ermöglicht in-situ eine tiefenzonierete Beprobung des Grundwassers in einer Tiefe bis zu 15 m unter Flur. So konnten zusammen mit Proben aus den bereits bestehenden vier Pegeln insgesamt 20 Grundwasserproben gewonnen werden und im Labor am Institut für Geowissenschaften geochemisch untersucht werden.

Das oberflächennahe Grundwasser zeichnet sich durch eine leicht heterogene hydrogeochemische Zusammensetzung aus. Dabei treten Calcium-Sulfat, Calcium-Hydrogencarbonat und Calcium-Chlorid dominierte Wässer auf. Dominant sind die Wässer, die dem Typ $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ (Feld c im Piper-

Diagramm, Abb.2) zuzuordnen sind. Der dominante hydrogeochemische Prozess im Aquifer, der diesen Typus prägt, ist vermutlich die Pyritoxidation. Dabei wird unter Sauerstoffverbrauch Eisen und Sulfat freigesetzt, der pH-Wert erniedrigt und als Pufferreaktion Calcit aus dem Aquifermaterial gelöst. Die Pufferreaktion setzt Calcium- und Hydrogencarbonationen frei, die Wässer sind daher in Calcit-Sättigung. Dadurch gelangen Eisen- und Mangancarbonate in Übersättigung und werden ausgefällt, während Calcium und Sulfat als charakteristische Ionen im Grundwasser zurückbleiben.

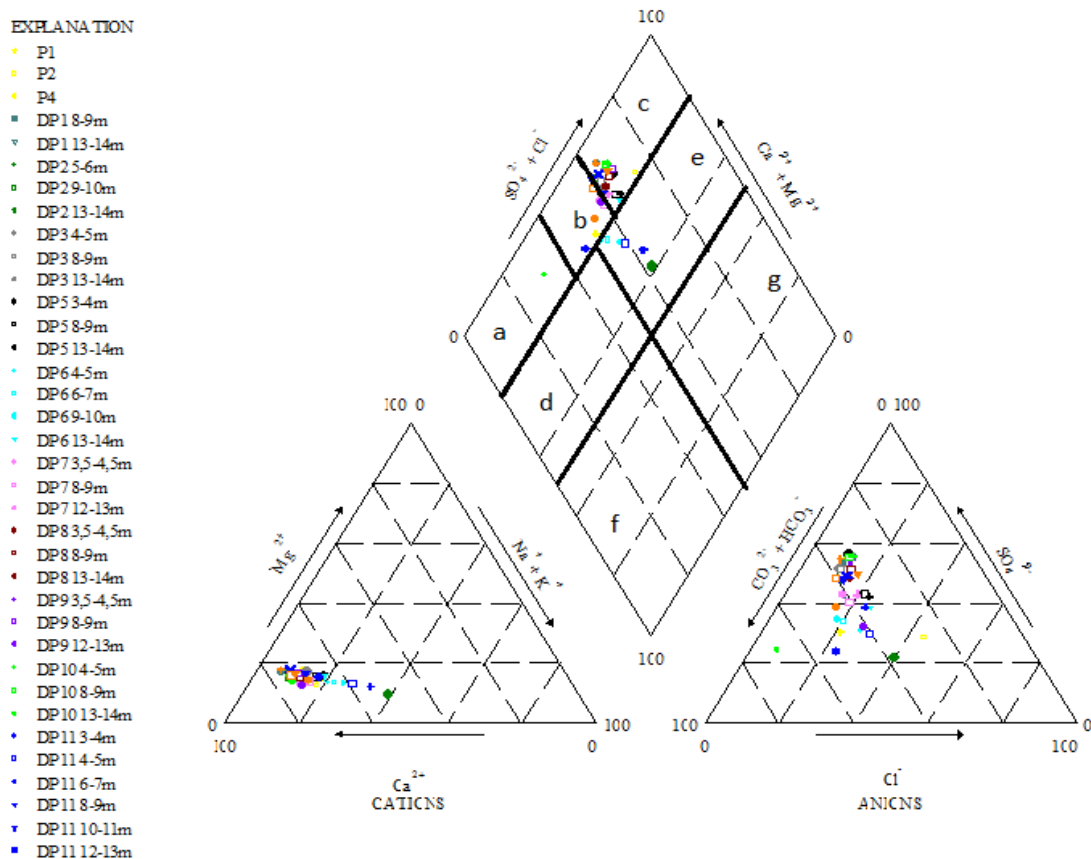


Abbildung 2: Piper-Diagramm der Grundwasserproben am Aquadrom in Hockenheim.

Grundwassertemperaturen

Der Einsatz des Geoprobe-Systems ermöglicht zudem die in-situ Messung der Grundwassertemperaturen (Abb. 3). Die Temperaturverteilung zeigt, dass bereits ein erheblicher Wärmeeintrag durch die Gebäude des Aquadroms in das oberflächen-nahe Grundwasser stattfindet. Dieses spiegelt sich in niedrigen Temperaturen im Grundwasseranstrom (ca. 12° C) im Südosten des Geländes und in mit bis zu 16 °C deutlich erhöhten Grundwassertemperaturen im Abstrom der Gebäude im Nord-Westen des Geländes. Die höchsten Grundwassertemperaturen von bis zu 23° C wurden an der Messstelle DP12 im Betriebskeller des Bades gemessen. Im Betriebskeller herrscht ganzjährig eine Temperatur um 30°C. Dieses sowie der geringe Flurabstand des Grundwassers am Standort erklären die beobachtete starke Beeinflussung der Grundwassertemperaturen.

Auf dem Isolienplan in Abbildung 3a bis 3d sind durch die rote Färbung für vier Messtiefen jeweils die Flächen auf dem Gelände zu erkennen, die durch einen bereits bestehenden thermischen Eintrag der Gebäude des Aquadrom Geländes beeinflusst ist.

Bau weiterer Grundwasserbeobachtungspegel und Gewinnung von Sedimentmaterial

Im September 2017 wurden auf dem Gelände des Aquadroms auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse vier weitere Grundwasserbeobachtungspegel mit einer maximalen Ausbautiefe von 8 m unter Flur errichtet. Die neuen Messstellen komplettieren das Messstellennetz auf dem Gelände und ermöglichen eine fortlaufende Beobachtung der Grundwasserstände und oberflächennahen Grundwassertemperaturen am Aquadrom. Im Zuge des Baus der neuen Messstellen wurden Sedimentproben zu weiteren Analysen und für Laborversuche gewonnen.

Weiterhin wurde im Anschluss an den Messstellenbau im September 2017 eine weitere Wasserprobenahme-Kampagne an den acht Grundwasserbeobachtungs-pegeln auf dem Gelände durchgeführt. Dabei wurden die bisherigen Ergebnisse und Beobachtungen im Wesentlichen bestätigt.

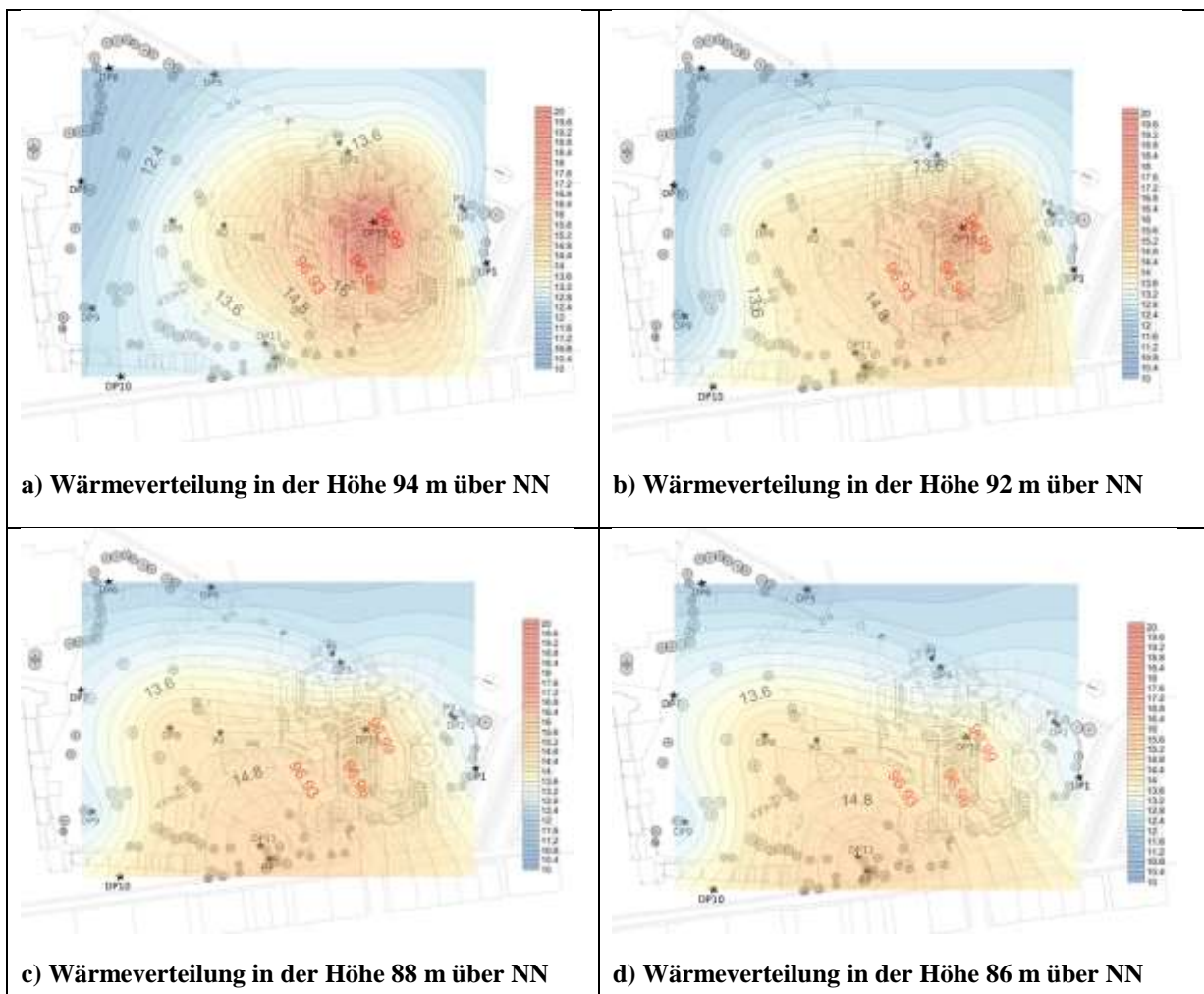


Abbildung 3: Temperaturverteilung im Grundwasser in den vier Messtiefen entsprechend den Höhenniveaus 94 m (a), 92 m (b), 88 m (c) und 86 m (d) über NN.

Auswirkungen der bisherigen Untersuchungen auf die Planung und Umsetzung eines ATES Systems am Standort Aquadrom in Hockenheim

Für eine abschließende Bewertung der Machbarkeit der Umsetzung eines ATES-Systems am Standort Hockenheim sind weitere Untersuchungen, vor allem im Hinblick auf die Gewinnung und Charakterisierung von Sedimentmaterial, unerlässlich.

Der Einfluss einer weiteren Temperaturerhöhung auf die Hydrochemie des Wassers könnte auf dem Standort zu Problemen führen. Die Calcitlöslichkeit würde durch Temperaturerhöhung herabgesetzt. Da das Grundwasser bereits im Anstrom aktuell mit Calcit gesättigt ist, würde eine Temperaturerhöhung zur Calcitausfällung führen. Die Fällungsprodukte könnten entsprechend die Durchlässigkeit im Aquifer herabsetzen. Bei derzeit bestehenden geringen bzw. partiell nur sehr geringen Flurabständen wäre mit schwerwiegenden hydrologischen Auswirkungen zu rechnen. Ein weiteres Problem, welches sich ergeben könnte, ist, dass durch den Betrieb eines ATES-Systems verstärkt Sauerstoff in das Grundwasser eingetragen wird. Unter der Annahme, dass Pyritoxidation eine entscheidende Rolle im Grundwassersystem spielt, würde eine erhöhte Sauerstoffzufuhr diesen Prozess verstärken. Dies hätte wiederum eine erhöhte Sekundärmineralausfällung zur Folge. Hierbei könnten auch vermehrt Eisenhydroxide und Manganoxide entstehen, die eine „Verockerung“ von Anlagenteilen wie Brunnen oder Pumpen zur Folge hätten.

Aufgrund der ermittelten Grundwasserfließrichtung von Südosten nach Nordwesten und der damit einhergehenden Wärmeverlagerung, empfiehlt es sich, den Infiltrationsbrunnen für das Kaltwasser im südöstlichen Gebiet des Grundstücks zu errichten, während der Entnahmebrunnen für das Warmwasser im Nordwesten zu platzieren ist. Damit könnte die aktuell ungenutzte Abwärme des Gebäudes sehr effektiv genutzt werden und die Effizienz des ATES-Systems könnte insgesamt gesteigert werden.

Ausblick

Um die Auswirkungen von erhöhten Temperaturen auf das hydrogeochemische Milieu am Standort besser abschätzen zu können sind Säulenversuche unter verschiedenen Temperaturbedingungen mit dem am Standort gewonnenen Aquifermaterial geplant. Diese Versuche werden unter Ausschluss von Sauerstoff unter definierten Kohlendioxid-Partialdrücken im Labor in einer Glovebox durchgeführt, um die Aquiferbedingungen möglichst genau nachzustellen. Die Versuche sind derzeit im Aufbau, und es ist geplant, sie bis zum Herbst 2018 abzuschließen.

Die Kooperationspartner Herr Dr. Zorn (EIFER) und Herr Metzler von den Stadtwerken in Hockenheim haben zudem einen Infiltrationsbrunnen für das zukünftige ATES-System auf dem Gelände des Aquadroms errichtet. Mit diesem Brunnen soll zunächst eine kleine thermische Störung (durch Temperaturerhöhung) in das Grundwasser eingebracht werden und die Auswirkungen auf Aquifer und Grundwasser im direkten Umfeld dieses Brunnens beobachtet werden.