REGIO BASILIENSIS 63/1 2022 S. 75-86

Undercover Investigations – Forschung für eine nachhaltige Planung urbaner Infrastruktur im Raum Basel

Annette Affolter, Horst Dresmann & Jannis Epting

Zusammenfassung
In den nächsten zwanzig Jahren werden in der Nordwestschweiz grosse Infrastrukturprojekte geplant, die zum Teil unter sehr herausfordernden Untergrundverhältnissen realisiert werden sollen. Für eine Beurteilung der Beeinflussung der Verkehrsinfrastrukturen auf die Untergrundressourcen bedarf es einer unabhängigen, praxisorientierten, geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Begleitung. Im Rahmen von Forschungsprojekten erarbeitet das Team der Angewandten und Umweltgeologie (AUG) hierzu anwendungsorientierte Grundlagen in enger Zusammenarbeit mit den Kantonen und Bundesfachstellen. Dieser Beitrag illustriert exemplarisch für das in Basel geplante Autobahnbauwerk "Rheintunnel" und den S-Bahntunnel "Herzstück", wie komplexe geologische Randbedingungen berücksichtigt und eine nachhaltige thermische Nutzung urbaner Untergrundressourcen realisiert werden können.

1 Einleitung

Aktuelle Schwerpunkte der Angewandten und Umweltgeologie (AUG), Forschungsgruppe Hydrogeologie im Departement Umweltwissenschaften der Universität Basel sind die Themen urbane Geologie und Hydrogeologie sowie das Management von Wasser-, Energie- und Untergrundressourcen.

Neben den hier vorgestellten lokalen Untersuchungen im urbanen Untergrund von Basel gehören zu den aktuellen Forschungsschwerpunkten Projekte zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserressourcen der Schweiz.

Adresse der Autorin und der Autoren: Annette Affolter, Bernoullistrasse 32, CH-4056 Basel, E-Mail: annette.affolter@unibas.ch; Dr. Horst Dresmann, Bernoullistrasse 32, CH-4056 Basel, E-Mail: horst.dresmann@unibas.ch; PD Dr. Jannis Epting, Bernoullistrasse 32, CH-4056 Basel, E-Mail: jannis.epting@unibas.ch

Zudem beteiligt sich die AUG an der wissenschaftlichen Begleitung von Revitalisierungsmassnahmen (z. B. WieseVital; 🌍1), forscht im Auftrag des Kantons Basel-Landschaft zu den Ursachen von Geländesenkungen durch Subrosion im Raum Muttenz und Pratteln und erarbeitet geologische Grundlagen im Rahmen der Erdbebenprävention (Projekt Erdbebenrisikomodell Basel-Stadt; 🌍2).

Mit dem Ansatz der adaptiven Bewirtschaftung von Untergrundressourcen konnten von der AUG bis heute umfassende anwendungsorientierte Grundlagen in Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik für die Nordwestschweiz erarbeitet werden. Diese Grundlagen umfassen neben einer Geodatenbank (GeoData) zur strukturierten Verwaltung von Untergrunddaten auch zahlreiche 3D-Modelle der Geologie und der regionalen Hydrogeologie, welche für die verschiedenen Fragestellungen fortlaufend weiterentwickelt werden.

1.1 Nachhaltige Bewirtschaftung urbaner Untergrundressourcen

In den letzten Jahren hat die Bedeutung urbaner Untergrundressourcen stetig zugenommen, nicht nur für die Nutzung des Grundwassers (Trink- und Brauchwasser) und geothermischer Energie, sondern auch für die Raumplanung und Infrastrukturentwicklung.

Dieser Beitrag illustriert am Beispiel aktuell geplanter Infrastrukturprojekte in der Region Basel, wie verschiedene, den Untergrund betreffende Themen wie Nutzungskonflikte und Ressourcenschutz, konkret angegangen werden können. Am Beispiel der geplanten Infrastrukturprojekte Autobahnbauwerk “Rheintunnel” und S-Bahntunnel “Herzstück” wird aufgezeigt, wie komplexe natürliche Randbedingungen und anthropogene Nutzungen interagieren. Die präsentierten Beispiele zeigen, inwiefern die zunehmende Nutzung des Untergrundes eine Herausforderung für die Raumplanung darstellt und weisen Chancen für eine nachhaltige Nutzung des Untergrundes gerade im urbanen Untergrund.

Grundlage für die Untersuchung der Machbarkeit dieser Projekte sind die von der AUG in den letzten Jahren erarbeiteten 3D-Modelle des Untergrundes, welche es erlauben, neben komplexen geologischen Untergrundverhältnissen auch die Grundwasserströmung und den Wärmetransport zu berücksichtigen (Abb. 1).

1.2 Infrastrukturplanung im Raum Basel

Die Nordwestschweiz ist die zweitwichtigste Wirtschaftsregion der Schweiz. Auf Grund ihrer geografischen Lage führt der stark zunehmende Personen- und Güterverkehr zu einem erheblichen Druck auf die Raumplanung, die eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der Region spielt. Die Folge ist ein verstärktes Ausweichen in den Untergrund, was sich aktuell in den Planungen des Autobahnbauwerks “Rheintunnel” und der Regio S-Bahn “Herzstück” widerspiegelt.

Im Rahmen der Planungsarbeiten dieser beiden Grossprojekte trägt die AUG auf Basis der vorhandenen geologischen und hydrogeologischen Fachkenntnisse und der teilweise bereits existierenden und weiterentwickelten Modellwerkzeuge dazu bei, dass die Grundlagen zu den geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnissen definierter Trassenführungen im Untergrund zeitnah erarbeitet und dargestellt werden können. Diese Grundlagen werden für eine weitergehende Beurteilung des Baugrunds und zur Formulierung von Gefährdungsbildern bezüglich Grundwasserressourcen fortlaufend aktualisiert.

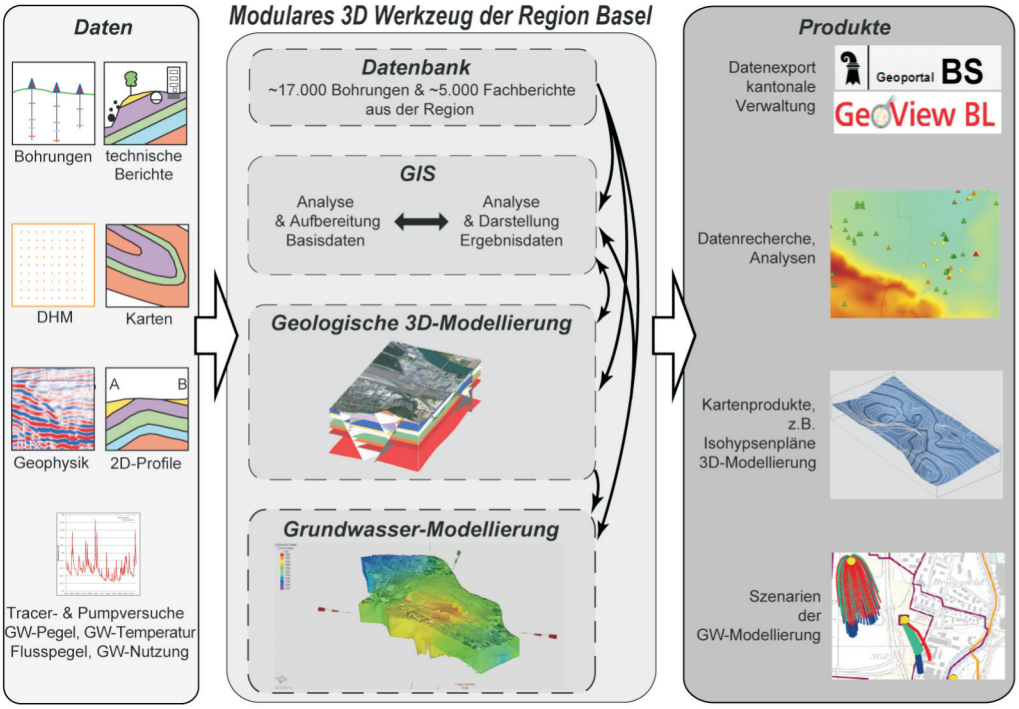

Abb. 1 Datenmanagement und 3D-Modellwerkzeuge der Region Basel. *Quelle: Autor*

1.3 Nutzung von Abfallwärme

Ein wichtiger Forschungsschwerpunkt der AUG ist die Evaluation von Nutzungsmöglichkeiten geothermischer Energie im urbanen Raum. Hierbei ist insbesondere der Aspekt der ungenutzten anthropogenen Abwärme im Untergrund eine zentrale Fragestellung.

Normalerweise entspricht die Temperatur des Grundwassers der Jahresmitteltemperatur der Luft, die in Basel etwa 10 °C beträgt. Doch die tatsächlich gemessenen Werte sind wesentlich höher – an manchen Stellen, wie etwa dem Klybeck-Areal in Basel kann die Temperatur des Grundwassers in den letzten Jahren über 18 °C erreichen. Die Erwärmung lässt sich vor allem auf die thermische Nutzung des Untergrundes im Zusammenhang mit Gebäudekühlung und Untergrundstrukturen und die Abwärme von Kellern, Parkhäusern und Laborgebäuden, die in Basel viele Stockwerke in die Tiefe reichen und oft schlecht isoliert sind, zurückführen.

So weisen urbane Regionen oft erhöhte Grundwassertemperaturen mit einem energetischen Potenzial auf, welches durch entsprechende bauliche Massnahmen von unterirdischen Verkehrswegen erschlossen werden könnte. Damit diese Abfallwärme nicht im Untergrund verloren geht, führt die AUG aktuell Machbarkeitsstudien in Basel durch. So wird untersucht, wie gross das Potenzial ist, mit speziellen Installationen von Tunnelinfrastrukturen Wärme aus dem Grundwasser zu entziehen.

2 Untersuchungsstandorte

2.1 Autobahn Rheintunnel – Abschnitt Hagnau

Im Jahr 2014 präsentierte das ASTRA mit dem ca. 6'500 m langen Autobahnbauwerk "Rheintunnel" eine Variante, um den Engpass auf der Osttangente Basel zu entschärfen und die Kapazität des Autobahnnetzes nach Frankreich und Deutschland zu erhöhen. Zwischen der Nordtangente in Basel und der Anbindung Hagnau im Südwesten von Muttenz soll eine neue Tunnelverbindung geschaffen werden, wobei der Rhein westlich des Kraftwerks Birsfelden unterquert wird. Über weite Strecken verläuft das Bauwerk in Tunnellage im Fels in einer Tiefe von 15 bis 25 m. In diesen Bereichen gibt es kein Grundwasser im Fels. Die geplanten Tunneleinbauten werden nur dort einen sehr starken Einfluss auf die Grundwasserzirkulation haben, wo die geplanten Tunneleinbauten im Lockergestein verlaufen. Daher sind Massnahmen geplant, welche den Grundwasserdurchfluss sicherstellen und einen Grundwasseraufstau verhindern.

Eine Ausnahme bildet der in der vorliegenden Untersuchung betrachtete Abschnitt Hagnau, wo das Grundwasser nur im Fels zirkuliert. Weil die Basis der Lockergesteine ("Oberkante Fels") im Gebiet südlich der Anreicherung im Hardwald ansteigt, fällt im Bereich Hagnau der Lockergesteinsgrundwasserleiter trocken. Der dort von Brüchen und Klüften durchzogene, stark verkarstete und durchlässige Fels dient als Grundwasserleiter. Er steht, bei der Anreicherungsanlage und weiter nördlich in direkter Verbindung mit dem Lockergesteinsgrundwasser, was dazu führt, dass das Felsgrundwasser im Bereich Hagnau von der Anreicherungsanlage im Hardwald beeinflusst wird (*Huggenberger* et al. 2018).

Im Bereich des Abschnitts Hagnau trifft das zukünftige Bauwerk auf die Autobahn A2/A3, wo zur Anbindung eine Fahrbahn die bestehende Strassenführung unterquert. Die hydrogeologische Situation ist in diesem Abschnitt besonders komplex (Abb. 2), da der Tunnel in einer ca. 350 m breiten geologischen Bruchzone, der "Flexurzone", verläuft. Dabei handelt es sich um den Grenzbereich zwischen dem Oberrheingraben im Westen und dem Tafeljura im Osten.

Innerhalb der Flexurzone ist der geologische Aufbau und damit die Geometrie der Grundwasserleiter aufgrund der wenigen Bohrungen und Messstellen kaum bekannt. Im Rahmen der Tunnelplanung müssen deshalb die hydrogeologischen Verhältnisse und die Auswirkungen des Bauwerkes auf die aktuellen Grundwasserverhältnisse, aber auch auf jene während der Bau- und Betriebsphase des Tunnels abgeklärt werden. Nur so können Gefährdungsbilder im Zusammenhang mit den Grundwasserressourcen im Bereich der vorgeschlagenen Trassenführungen abgeschätzt werden.

Die geplante S-Bahn "Herzstück" ist ein 5'960 m langes Tunnelbauwerk, welches die Bahnhöfe Basel SBB, Badischer Bahnhof und Bahnhof St. Johann miteinander verbinden soll und sich auf beiden Seiten des Rheins befindet (Abb. 3). Die verschiedenen Abschnitte der S-Bahntunnelbauwerke verlaufen teilweise in der Grundwasser-gesättigten und -ungesättigten Zone der Lockergesteinsablagerungen sowie im Festgestein in Tiefen von bis zu 30 m unter der Geländeoberfläche (Abb. 3). Nördlich des Rheins verlaufen auf- und absteigende Abschnitte teils senkrecht zur regionalen Grundwasserströmung.

Im Rahmen des Projektes "ThePoTun" (🌍3) mit dem Bundesamt Für Energie (BFE) wurden für die S-Bahn in der Tunnelwand installierte Wärmeabsorbersegmente (Tunnelabsorbersysteme, TAS) simuliert. Diese Lösung wurde für das Tunnelportal beim Badischen Bahnhof und in der Nähe der Zwischenstation "Tiefhaltestelle Klybeck" evaluiert (Abb. 3). Die gewählten Standorte bieten zudem technische Vorteile durch die Möglichkeit zur direkten Nutzung der Energie (Warmwasser und Heizen), ausreichende Platzverhältnisse für die Installation von Wärmepumpen sowie die über die Stationsbauwerke existierende Verbindung zur Erdoberfläche.

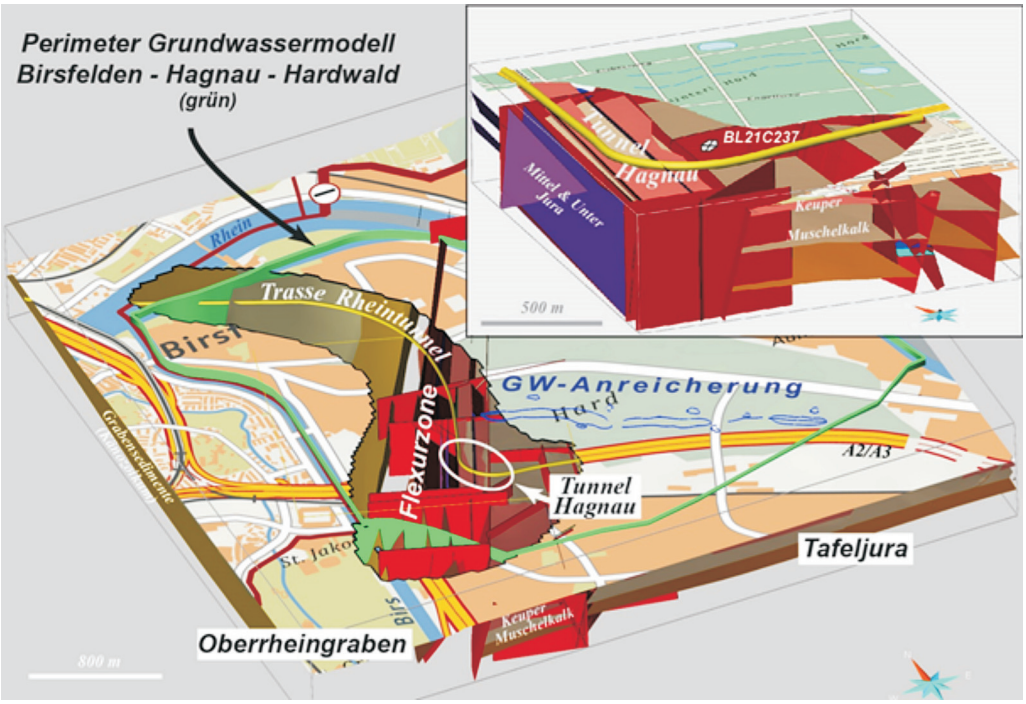

Abb. 2 Ansicht des geologischen 3D-Modells von SW und vergrösserte Ansicht im Bereich Tunnel Hagnau; rote Flächen stellen Verwerfungen dar; Topographie ist partiell ausgeschnitten; Felsoberfläche ist nicht dargestellt. *Quelle: Autor*

3 Methode

3.1 Autobahn Rheintunnel – Abschnitt Hagnau

Für die Modellierung der komplexen Geologie und des Grundwasserfliessregimes im Felsgrundwasserleiter wurden verschiedene bestehende geologische und hydrogeologische 3D-Modelle der AUG genutzt und weiterentwickelt. Sie berücksichtigen die komplexe geologischen Lagerungsverhältnisse im Fels und die Geometrie des Übergangs zu den Lockergesteinen (Abb. 2). Anhand eines numerischen 3D-Grundwassermodells sollte die hydrogeologische Situation und der Einfluss des Tunnels im Bereich Hagnau evaluiert werden.

Als erstes wurden die Modellgeometrie (stratigraphische Horizonte und Verwerfungen) aktualisiert. Einerseits flossen Daten aus neu abgeteuften Bohrungen ein, andererseits konnten Informationen zur geologischen Struktur aus GeoData und dem Baugrundarchiv sowie der Fachliteratur integriert werden.

Die stratigraphischen Modellhorizonte wurden so gewählt, dass die allgemeinen Lagerungsverhältnisse widergegeben und die Lockergesteins- und Felsaquifere (insbesondere Oberer Muschelkalk) charakterisiert werden können. Die so aufbereitete Geometrie im geologischen 3D-Modell war Grundlage für die Aktualisierung des Grundwassermodells.

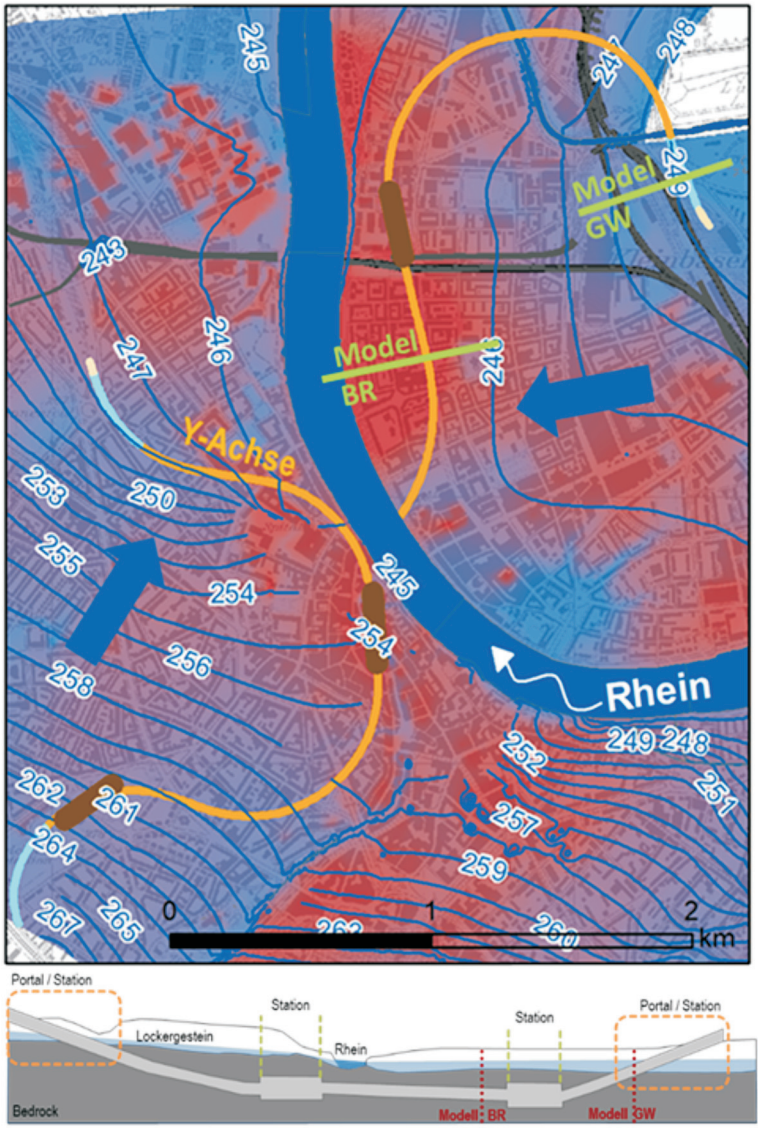

Abb. 3 Oben: S-Bahn "Herzstück" (grün: Standorte lokale 3D-Wärmetransportmodelle zur Evaluation der geothermischen Nutzung von TAS). Mittleres simuliertes Temperatur- und Grundwasserregime für die Jahre 2010 bis 2015 (*Mueller* et al. 2018).
Unten: Schematisches Längsprofil zwischen Bahnhof SBB (links) und Badischer Bahnhof.
Quelle: Autor

Die Modellierung der Grundwasserströmung erfolgte mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) und dem Programm FeFlow© (🌍4). Als erster Schritt erfolgte die Einarbeitung der neuen Geometrien aus dem geologischen 3D-Modell. Zusätzlich wurden alle vorhandenen Daten der hydraulischen Randbedingungen des hydrogeologischen Modells integriert (Fluss- und Grundwasserpegel, Entnahme- und Anreicherungsmengen). Randbedingungen sind vordefinierte hydraulische Eingangsgrössen (Abb. 1), welche vorgeben, wo und wieviel Wasser in das Modellgebiet hinein und wieviel hinaus fliesst. Je besser die Randbedingungen eines Modellgebiets bekannt sind, umso genauer kann die Kalibration durchgeführt werden. Bei der Kalibration werden die hydraulischen Durchlässigkeiten des Untergrundes (kf-Werte) innerhalb hydrogeologisch plausibler, auf Erfahrungswerten beruhenden Grenzen für verschiedene geologische Zonen bestimmt. Dabei sollen die im Modellgebiet gemessenen und simulierten Piezometerhöhen möglichst gut in Übereinstimmung gebracht werden.

3.2 S-Bahn Herzstück

Das 3D-Wärmetransportmodelle (FeFlow©; 3) von Basel ermöglicht es, neben der Grundwasserströmung auch den advektiven und konduktiven Wärmetransport im Untergrund zu simulieren. Für eine detaillierte Evaluation von TAS entlang des geplanten S-Bahntunnels "Herzstück" wurden zwei Standorte definiert (Abb. 3).

Die Arbeiten zur 3D-Integration der Tunnelbauwerke umfassten vor allem die Anpassung der Modellgeometrien. Um das Ab- und Auftauchen der Tunnelbauwerke adäquat zu berücksichtigen, wurde für ThePoTun im Bereich der Bauwerksstrukturen der sogenannte "unstructured mesh-approach" realisiert. Dieser Ansatz ermöglicht eine hohe räumliche Modellauflösung in der Nähe der Tunnelinfrastrukturen bei gleichzeitiger Optimierung der Rechenleistung durch Reduzierung der notwendigen Anzahl von Netzelementen.

In Kooperation mit der Politecnico di Torino (I) konnten technisch und numerisch validierte Tunnelabsorbersysteme (EnerTun©, *Barla and Di Donna* 2016) in hochaufgelöste lokale 3D-Wärmetransportmodelle implementiert werden. Mittels Szenarienberechnungen wurde anschliessend die technische Machbarkeit von TAS in der Tunnelinnen- und -aussenwand und deren Kombination (Abb. 4) evaluiert.

Mit den 3D-Wärmetransportmodellen wurde das geothermische Potential für die Installation von TAS für den geplanten Doppel-S-Bahntunnel "Herzstück" abgeleitet.

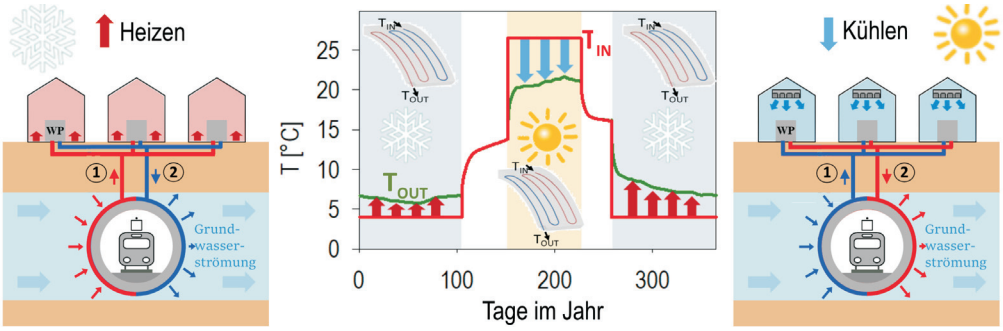

Abb. 4 Saisonale thermische Nutzung des TAS in der äusseren Tunnelwand im Kontakt mit dem Untergrund (Grundwasser-gesättigte Lockergesteine) als Wärmeerzeuger zur Gebäudeheizung im Winter (links) und zur Gebäudekühlung im Sommer (rechts). Mitte: Standard-Funktionsweise des TAS auf Grundlage einer vorgegebenen Eintritts- (T_{in}, rot) und der resultierenden Austrittstemperatur (T_{out}, grün) im Winter und Sommer. *Quelle: Autor*

4 Ergebnisse

4.1 Autobahn Rheintunnel-Abschnitt Hagnau

Um die komplexen Verhältnisse im Bereich Hagnau widergeben zu können, war es nötig, im geologischen 3D-Modell zehn stratigraphische Modellhorizonte zu aktualisieren bzw. teilweise neu zu erstellen. Aufgrund der Lage in der Flexurzone ist die Felsgeologie in diesem Bereich kleinteilig durch Zweig- und Querstörungen gegliedert, wobei die Schichtenfolge je nach struktureller Position von teils fast vertikal bis annähernd horizontal lagert (Abb. 2). Überdeckt wird die Felsgeologie hier von bis zu 30 m mächtigen Lockergesteinen (Quartärer Schotter).

Bedingt durch die stark gestörten Lagerungsverhältnisse sind in der Flexurzone die Grundwasserfliesswege im Felsuntergrund nur schwer fassbar. In der Flexurzone gelten insbesondere der Hauptrogenstein und die Schinznach-Formation (Oberer Muschelkalk) sowie die Bruch- und Kluftzonen zu den relevanten Aquiferen. Der darüber lagernde gut durchlässige Lockergesteinsaquifer fällt im Bereich Hagnau trocken, somit besteht entlang des Hagnautunnels nur ein Kontakt zum Felsgrundwasser, insbesondere in der Schinznach-Formation.

Der mittlere Verlauf der gemessenen Grundwasserpegel kann mit dem Modell gut abgebildet werden. Die starken Pegelschwankungen, ausgelöst durch den Betrieb der Grundwasseranreicherung im Hardwald sowie durch weitere instationäre Randbedingungen (Rhein- und Birspegel, Niederschlag), können mit dem Modell nur zum Teil abgebildet werden. Dies hängt damit zusammen, dass Daten zur lokalen Verteilung der gesamten Grundwasseranreicherungsmenge auf die einzelnen Weiher und ihrer Zuflüsse im Hardwald fehlen. Insbesondere stellt dies dann ein Problem dar, wenn die Anreicherung auf Grund von Wartungsarbeiten nicht im Normalzustand betrieben wird. Um diese Instationarität im Modell berücksichtigen zu können, müsste der Betrieb der Anreicherungsanlage detaillierter erfasst werden.

Der Vergleich langjähriger Zeitreihen der Felsgrundwassermessstelle BL21C237 im Bereich Hagnau mit den Anreicherungsmengen und dem Birs- (Abb. 5) bzw. Rheinpegel (hier nicht dargestellt) zeigt ebenfalls, dass der Felsgrundwasserspiegel im Bereich Hagnau stark von der Anreicherung der Hardwasser AG abhängt. Bei Änderungen des Betriebs der Anreicherung reagiert der Grundwasserpegel im Felsaquifer innerhalb eines Tages. Die Variation des Grundwasserspiegels im Bereich Hagnau ist nicht primär von natürlichen hydrologischen Randbedingungen wie Niederschlags- oder Hochwasserereignissen abhängig, sondern von dem Betrieb der künstlichen Grundwasseranreicherung im Hardwald. Wahrscheinlich findet die rasche hydraulische Druckübertragung in präferenziellen Fliesswegen des Karstsystems im Muschelkalkaquifer statt. Im Vergleich dazu zeigen die Modellberechnungen, dass der bauliche Eingriff im Bereich Hagnau nur einen sehr geringen Einfluss auf den Grundwasserspiegel hat.

Da es aber auch Pegeländerungen gibt, die nicht mit der Anreicherung zu erklären sind, müssen weitere Faktoren wie Infiltration von Birswasser oder ein regionaler Grundwasserzustrom eine Rolle spielen.

4.2 S-Bahn Herzstück

Mit dem 3D-Wärmetransportmodell (Abb. 3) konnten sowohl lokal als auch regional die Dynamik hydrodynamischer und thermischer Prozesse und die zahlreichen Wechselwirkungen der verschiedenen natürlichen und anthropogenen Randbedingungen für die Lockergesteins-Grundwasserleiter in Basel untersucht und quantifiziert werden (*Epting* et al. 2020a, b). Dies erlaubte es

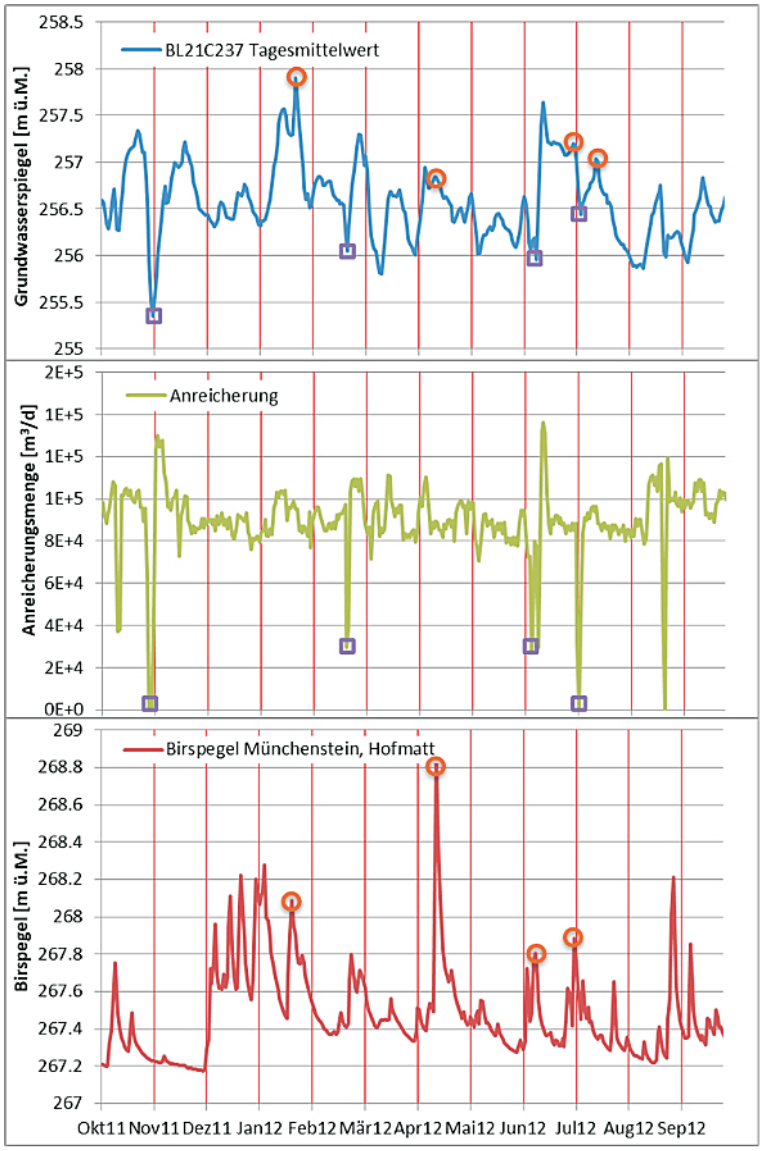

Abb. 5 Vergleich Grundwasserpegel im Fels im Bereich Hagnau mit dem Birspegel und den Grundwasseranreicherungsmengen der Hardwasser AG, einschliesslich Grundwasserpegeländerungen, welche auf die Grundwasseranreicherung (violette Quadrate) und solche, welche auf eine erhöhte Birswasserinfiltration zurückzuführen sind (orangene Kreise). *Quelle: Autor*

in Bezug zu den geologischen und hydrogeologischen Settings im Stadtgebiet von Basel das thermische Potential von in der Tunnelwand installierten Wärmeabsorbersysteme (TAS) zu evaluieren (Abb. 3).

Wie die Modellrechnungen zeigen, ist für Tunnelabschnitte, welche sich in den Grundwasser-gesättigten Lockergesteinen und in der Nähe von Tunnelportalen befinden, ein Betrieb von TAS in der äusseren Tunnelwand am effizientesten. So könnte im Sommer das vergleichsweise kühlere Grundwasser dazu genutzt werden, um durch zwei 736 bzw. 284 m lange Tunnelabschnitte 3.7 bzw. 1.4 MW Abwärmeleistung oder 5.8 bzw. 2.1 GWh/Jahr Abwärmeenergie abzuführen. Im Winter könnte eine Energiemenge von 5.2 bzw. 1.9 GWh/Jahr, bei einer Wärmeleistung von bis zu 1.9 bzw. 0.7 MW, entnommen werden (Wärmeentzug Lockergesteins-Grundwasserleiter).

Die ersten Ergebnisse zeigten jedoch auch, dass eine Betrachtung des thermischen Potentials der TAS in S-Bahn Tunnelbauwerken, unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Vorgaben des Grundwasserschutzes, im Sommerbetrieb für Kühlzwecke gesetzlich nicht möglich und auch nicht effizient ist. Deshalb konzentrierte sich die nachfolgende Projektbearbeitung von ThePoTun auf die Wärmeentnahme zur Tunnel- und Grundwasserkühlung. TAS können in der äusseren Tunnelwand eingesetzt werden, um dem Untergrund oder dem Grundwasser Wärme zu entziehen (Abkühlung des Grundwassers). Für das untersuchte Betriebsszenario könnte das urban erwärmte Grundwasser um bis zu 4 K abgekühlt werden. Andererseits konnte auch gezeigt werden, dass mit einer Installation von TAS in der inneren Tunnelwand dem Tunnelinneren Wärme entzogen werden kann (Abkühlung der Tunnelinnenluft). Für das untersuchte Betriebsszenario konnte in Abhängigkeit der Jahreszeit 46 bis 101 Wm^{-2} Wärme über die Tunnelwand und das TAS der Tunnelinnenluft entzogen werden. Dieser Wärmeaustausch ist um ein Vielfaches höher als der Wärmeeintrag des Bahnbetriebs selbst, welcher geschätzt in der Grössenordnung von 2.2 bis 2.6 Wm^{-2} liegt.

5 Fazit

Mit der Modellberechnung konnte gezeigt werden, dass durch den Bau des Rheintunnels im Bereich Hagnau der Grundwasserspiegel und das Fliessregime im Felsgrundwasserleiter nur gering beeinflusst wird. Der Grundwasserpegel im Bereich des Bauwerks reagiert aber sehr rasch auf Änderungen des Betriebs der Anreicherung im Hardwald. Da der Betrieb der Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG massgebend für den Pegelverlauf im Bereich Hagnau verantwortlich ist und Nutzungskonflikte nicht auszuschliessen sind, ist besonders im Hinblick auf die Bauphase eine Zusammenarbeit mit den Betreibern der Anreicherungsanlage wichtig, denn die Grundwasserpegelhöhe im Gebiet Hagnau kann über den Betrieb der Anreicherung bis zu einem gewissen Punkt gesteuert werden. Mit dem Grundwassermodell können verschiedene Szenarien berechnet werden, um abzuschätzen, welchen Einfluss das Bauwerk auf das Grundwasserfliesssystem haben wird. Dies kann als wichtige Grundlage und Entscheidungshilfe für die bewilligende Behörde dienen. Es bietet zudem ein wichtiges Instrument im Hinblick auf die Planung der Grundwasserhaltung während der Bauphase.

In Basel ist die Temperatur des Grundwassers in den letzten Jahren stark angestiegen. Tunnelprojekte wie das Basler Herzstück könnten in Zukunft dabei helfen, diese überschüssige Wärme nachhaltig zu nutzen. Zentral dabei ist der Wärmetransport durch die Grundwasserströmung im hochdurchlässigen Lockergestein. Grosse Kontaktflächen von Tunnelinfrastrukturen mit dem Untergrund ermöglichen hier eine thermische Nutzung, dies vor allem in Quartieren, in denen grossflächige Neugestaltungen geplant sind (*Epting* 2019).

In zunehmend dichter besiedelten und industrialisierten Lebensräumen werden fundierte Kenntnisse der oberflächennahen Geologie und hydrogeologischen Prozesse immer wichtiger. Aktuelle umweltrelevante Aufgaben wie die Erarbeitung der Grundlagen für die nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen der Region und die Planung von Verkehrsinfrastrukturen mit Berücksichtigung der Umweltfragestellungen können ohne dieses Wissen nicht mehr zufriedenstellend gelöst werden. Das gleiche gilt auch für die hydrogeologische und geotechnische Begleitung von bedeutenden Bauprojekten. Ein gutes Grundlagenwissen über den Untergrund bietet dabei eine wichtige fachliche Entscheidungshilfe.

Im Rahmen von diversen Projekten der AUG konnten zahlreiche Forschungsschwerpunkte weiterentwickelt und das fachliche Grundlagewissen über geologische Verhältnisse und hydrogeologische Prozesse im Untergrund (räumlich und zeitlich hochaufgelöste 3D geologische und hydrogeologische Modelle) erweitert werden. Im Rahmen von Forschungsprojekten stehen die gesellschaftsrelevanten Themenbereiche zu Wasser- und Energieressourcen im Vordergrund, auch vor dem Hintergrund der zu erwartenden Klimaänderungen (*Epting* et al. 2020c, 2021). Dabei können die am Beispiel Basel erzielten Ergebnisse dazu dienen, Strategien für eine nachhaltige Bewirtschaftung urbaner Untergrundressourcen im Allgemeinen zu entwickeln.

Verdankungen

Die Autoren bedanken sich bei den Auftraggebern, dem Bundesamt für Strassen ASTRA, den Schweizer Bundesbahnen SBB, dem Konsortium Bahnknoten- und Herzstück Basel, dem Bundesamt Für Energie BFE (Projekt ThePoTun SI/501646-01) sowie dem Tiefbauamt und dem Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt.

Literatur

Barla M. & Di Donna, A. 2016. *Concio energetico modulare prefabbricato, rivestimento per gallerie realizzato con una pluralità di tali conci e metodo per scambiare calore in una galleria mediante la realizzazione di un rivestimento con una pluralità di tali conci, Italian Patent 102 016 000 020 821.* Online einsehbar: http://hdl.handle.net/11583/2641719 [eingesehen 08.03.22]

Epting J. 2019. *Basler Tunnel sollen Abfallwärme aus dem Untergrund holen*. News, Universität Basel. Online einsehbar: https://www.unibas.ch/de/Aktuell/News/Uni-Research/Basler-Tunnel-sollen-Abfallwaerme-aus-dem-Untergrund-holen.html [eingesehen 08.03.22]

Epting J., Baralis M., Kunze R., Mueller M.H., Insana A., Barla M. & Huggenberger P. 2020a. Geothermal potential of tunnel infrastructures – development of tools at the city-scale of Basel, Switzerland. *Geothermics* 83: 101734.

Epting J., Böttcher F., Mueller M.H., García-Gil A., Zosseder K. & Huggenberger P. 2020b. City-scale solutions for the energy use of shallow urban subsurface resources – Bridging the gap between theoretical and technical potentials. *Renewable Energy* 147: 751–763.

Epting J., Michel, A., Affolter, A. & Huggenberger P. 2021. Climate change effects on groundwater recharge and temperatures in Swiss alluvial aquifers. *Journal of Hydrology* X 11: 100071.

Epting J., Michel A., Huggenberger P. & Affolter A. 2020c. *Ist-Zustand und Temperatur-Entwicklung Schweizer Lockergesteins-Grundwasservorkommen. Hydro-CH2018 synthesis report chapters: "future changes in hydrology"*. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern, 1–118.

Huggenberger P., Affolter A., & Dresmann H. 2018. *Rheintunnel – Grundwassermodell Hagnau.* Angewandte und Umweltgeologie (AUG), Universität Basel, BGA BL-173.

Mueller M.H., Huggenberger P. & Epting J. 2018. Combining monitoring and modelling tools as a basis for city-scale concepts for a sustainable thermal management of urban groundwater resources. *Science of the Total Environment* 627: 1121–1136.

Internetquellen

[1] https://duw.unibas.ch/de/aug/forschung/grundwasser/wiesevital/

[2] https://forschdb2.unibas.ch/inf2/rm_projects/object_view.php?r=4496513

[3] https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40731

[4] https://www.mikepoweredbydhi.com/products/feflow

[jeweils zuletzt eingesehen am 08.03.2022]