

GEPO – Geothermisches Potenzial der Münchener Schotterebene Abschätzung des geothermischen Potenzials im oberflächennahen Unter- grund des quartären Grundwasserleiters des Großraum Münchens.

GEPO – Geothermal potential of the Munich Gravel Plain
Assessment of the geothermal potential in the shallow subsurface
of the Quaternary aquifer in the Greater Munich.

Kai Zosseder¹, Lilian Chavez-Kus¹, Gabriella Somogyi¹, Patrick Kotyla¹, Marco Kerl¹,
Bernhard Wagner², Barbara Kainzmaier²

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München, München, Deutschland

² Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Deutschland

Zusammenfassung

Im Bereich der Wärme- und Kälteerzeugung kann die thermische Nutzung von Grundwasser als erneuerbare Energiequelle eine entscheidende Rolle spielen und erheblich zur Reduktion von CO₂-Emissionen beitragen. Voraussetzung hierfür sind geeignete naturgegebene Rahmenbedingungen. Im Raum München sind diese natürlichen Rahmenbedingungen in idealer Weise erfüllt, jedoch beeinflussen die lokalen Standortverhältnisse die Einsatzmöglichkeiten und Dimensionierung geothermischer Anlagen. Daher ist eine flächendeckende Information über die hydrogeologischen und thermischen Parameter die Voraussetzung für eine optimale Nutzung des geothermischen Potenzials. Um diese Grundlage zu schaffen wurde vom Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU München in Kooperation mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) das Projekt „GEPO – Geothermisches Potenzial der Münchener Schotterebene“ ins Leben gerufen. Bisher erfolgte die Auswertung der räumlich-zeitlichen Verteilung von Grundwasser-temperaturen, deren Erwärmung und Abkühlung zeitlich generell sehr heterogen ist, sich jedoch ein Trend ansteigender Temperaturen im Sommerhalbjahr abzeichnet.

Schlüsselworte: Münchener Schotterebene; quartäres Lockergestein; Oberflächennahe Geothermie; Erneuerbare Energien; Grundwassertemperatur; Wärmespeicherung

Abstract

The shallow geothermal energy, particularly the thermal use of groundwater, plays an important role in renewable energies, for which the Munich gravel plain offers ideal basic conditions. The capabilities and the dimensioning of geothermal facilities are influenced by local conditions. For the planning, the construction, the approval and the economic operation of a geothermal site it's necessary to create a database with hydrogeological and geothermal informations. In cooperation with the Bavarian Environment Agency (LfU), the Chair of Hydrogeology of the TU Munich launched the „GEPO“-project („Geothermal potential of the Munich gravel plain“) to achieve these aims. Besides editing and analysing existing data, an interpretation of the spatial and temporal distribution of groundwater temperatures has been realized. In general, the heating and cooling process is very heterogeneous, but a trend of increasing groundwater temperatures in the summertime can be verified. The results are going to optimize the use of renewable energies in the area of Munich.

Keywords: Munich gravel plain, quaternary soil, shallow geothermal energy, renewable energies, groundwater temperature, thermal storage capacity

1 Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich durch die Umgestaltung der Energieversorgung zum Ziel gesetzt, den Ausstieg aus risikoreichen Energieversorgungstechniken zu erreichen und zum anderen den Klimaschutz in Deutschland durch die Förderung von regenerativen Energien voranzutreiben. Die Geothermie als erneuerbare und nahezu unerschöpfliche Energiequelle spielt dabei eine immer größere Rolle. Vor allem in der Wärme- und Kälteerzeugung kann die oberflächennahe Geothermie, insbesondere die thermische Nutzung von Grundwasser eine entscheidende Rolle

spielen und erheblich zur Reduktion von CO₂-Emissionen beitragen. Voraussetzung hierfür sind geeignete geologische und hydrogeologische Rahmenbedingungen, welche in der Münchener Schotterebene idealerweise vorherrschen.

Die Geologie des Münchener Raums und seiner Umgebung wurde in den letzten Jahrzehnten aus zahlreichen Baustellen, wie den U- und S-Bahnbau sehr gut erschlossen und erkundet. Bei den Ablagerungen handelt es sich um verschiedene quartäre Schotterterrassen von einigen Metern bis Dekametern Mächtigkeit, welche hauptsächlich aus grobkörnigen Lockergesteinen fluvialer und glazifluvialer



Herkunft bestehen. Dieses Schichtpaket überlagert mit einer ausgeprägten Erosionsdiskordanz neogene Sedimente der Oberen Süßwassermolasse, welche vor allem aus feinkörnigem Material aufgebaut sind (BAUER et al. 2005). Dabei bildet das quartäre Schotterpaket das erste Grundwasserstockwerk, welches sich aufgrund seiner stark bis sehr stark durchlässigen Kiesen und seines homogenen Aufbaus besonders für eine thermische Nutzung eignet. Zusätzlich treten für urbane Räume typische lokale Erhöhungen der Grundwassertemperaturen auf (Hitzeinsel-Effekte) welche die Effizienz einer geothermischen Nutzung des Grundwassers in diesen Bereichen z. T. deutlich erhöhen kann (ALLEN et al. 2003, MENBERG et al. 2013).

2 Projektrahmen und Forschungsziele

Um im Großraum München die geothermische Informationsgrundlage zu verbessern und die Optimierungsmöglichkeiten für die geothermischen Anlagen zu analysieren, hat der Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU München in Kooperation mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) das Projekt „GEPO – Geothermisches Potenzial der Münchener Schotterebene“ ins Leben gerufen. Das Projekt ist Teil der „Informationsoffensive oberflächennahe Geothermie“ des LfU und wird vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) finanziert.

Im Rahmen des GEPO - Projektes soll eine erstmalige flächendeckende Erarbeitung von hydrogeologisch-geothermischen Grundlagendaten für den oberflächennahen Untergrund, speziell des quartären Grundwasserleiters im Großraum München durchgeführt werden. Dabei sollen der Aufbau des Untergrundes, seine hydrogeologischen Eigenschaften, die Grundwasserdynamik sowie die geothermisch relevanten Parameter betrachtet werden.

Diese Datengrundlage dient als Basis für die Abschätzung des geothermischen oberflächennahen Potenzials der Münchener Schotterebene und für ein zukünftiges besseres thermisches Grundwassermanagement. Durch das Projekt wird der Deckungsgrad an geowissenschaftlichen Kartenwerken in geeigneten Maßstäben als Grundlage für die Planung und Genehmigungsverfahren im Raum München erhöht und diese, sowie weitere fachliche Grundlagen und Informationen zum Thema Geothermie für die Öffentlichkeit und Verwaltung z.B. über das Bodennormierungssystem Bayern (BIS-BY) bereitgestellt. Hierdurch sollen die fachlichen Voraussetzungen für eine Erhöhung des Anteils der oberflächennahen Geothermie am Energiemix geschaffen werden.

Der Projektzeitraum in dem die wissenschaftlichen Ziele erreicht werden sollen beläuft sich auf 3,5 Jahre von Juli 2012 bis Ende 2015. Das Bearbeitungsgebiet erstreckt sich über die gesamte Münchener Schotterebene, entlang von Fürstfeldbruck, Starnberg, südlich Wolfratshausen, Holzkirchen, westlich Ebersbergs, Erding, Moosburg bis Freising und Dachau.

Die Erarbeitung der hydrogeologischen und geothermischen Informationsgrundlagen beinhaltet folgende thematischen Schwerpunkte:

Hydrogeologischer Bau

- Flächenverbreitung hydrogeologischer Einheiten
- Hydrogeologische Profilschnitte
- Grundwasserleitmächtigkeit
- Räumliche Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit

Darstellung der Grundwasserdynamik

- Grundwasserhöhengleichen
- Grundwasserganglinien
- Ermittlung hydraulischer Kontaktzonen
- Flurabstand

Nutzung des Grundwassers

- Grundwassermessstellen, Brunnen, Quellen
- thermische Nutzung

Geothermische Parameter und Dynamik

- Grundwassertemperatur-Tiefenprofile
- Grundwassertemperaturganglinien
- Untersuchung der thermischen Wechselwirkung zwischen Oberflächengewässer (Isar) und quartärem Grundwasserleiter
- Untersuchungen zur heterogenen Verteilung der Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität im quartären Lockergestein
- Untersuchungen zum Wärmeübertrag der Abwärme von Untergrundbauwerken in den quartären Grundwasserleiter

3 Untersuchungen zur thermischen Dynamik im quartären Grundwasserleiter

Als ein Teilaspekt des Projektes wurde begonnen die Dynamik der Grundwassertemperatur, als eine der entscheidenden Größen für die Effizienz von Grundwasser-Wärmepumpenanlagen, zu untersuchen. Über die raumzeitliche Auswertung von Grundwassertemperaturmessungen und Grundwasser-Tiefentemperaturprofilen wird versucht die Ursachen für die Varianz der Grundwassertemperatur zu finden und Wechselwirkungen qualitativ und quantitativ zu bestimmen. Diese Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Referat für Gesundheit und Umwelt der Stadt München (RGU) durchgeführt.

3.1 Raum-Zeitliche Betrachtung der urbanen Temperaturverteilung am Beispiel München

Die genaue Kenntnis der lokalen Verteilung und der zeitlichen Variation von Grundwassertemperaturen ist notwendig, um unterschiedliche geothermische Nutzungen effizient planen zu können. Um diese Aspekte im Raum München abzuschätzen erfolgte eine Auswertung von drei flächendeckenden Messzyklen der Grundwassertemperatur (1983-85, 1996-98 und 2009-10). Dabei sollten die räumlich-zeitlichen Veränderungen sowie Hinweise auf die Ursachen

der Temperaturanomalien anhand nachstehender Faktoren untersucht und analysiert werden:

- Klimatisch (saisonal) bedingte Schwankungen
- Interaktion mit Oberflächengewässern
- Flurabstand
- Ausprägung des Grundwasserleiters (Mächtigkeit, hydraulische Durchlässigkeit)
- Einfluss von Untergrundbauwerken
- Auswirkungen bestehender geothermischer Nutzungen

Je Messzyklus wurden zwischen 5 und 8 Stichtagsmessungen der Grundwassertemperaturen, jedoch mit unterschiedlicher Flächendeckung und Messstellenanzahl (ca. 250-600), durchgeführt. Um eine Vergleichbarkeit der Flächen-

verteilung herzustellen, wurden die Datensätze auf übereinstimmende Messlokationen reduziert. Anschließend wurden einzelne Isothermenkarten je Stichtagsmessung (s. Abb. 1), Differenzenkarten innerhalb und zwischen den Messzyklen (s. Abb. 2), sowie statistische Auswertungen der Messreihen erstellt (s. Abb. 3).

Anhand der Analyse flächenhafter Temperaturdifferenzen konnten jahreszeitliche Schwankungen und Hot-Spots erkannt, sowie Hinweise auf Ursachen der Temperaturveränderungen und Anomalien gefunden werden. Einige lokale Anomalien jedoch konnten nicht mit unmittelbaren Ursachen in Zusammenhang gebracht werden. Auf diesen liegt nun der Fokus weiterer Untersuchungen. Durch die Grundwassertemperatur-Differenzenkarten konnten Hinweise auf natürliche und anthropogene Interaktionen gewonnen werden.

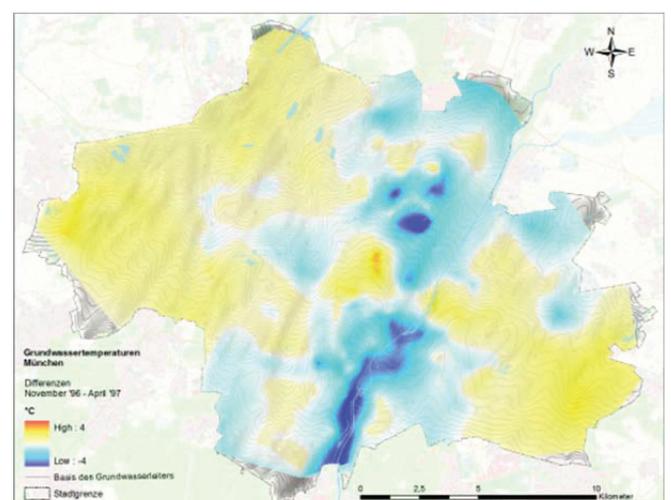
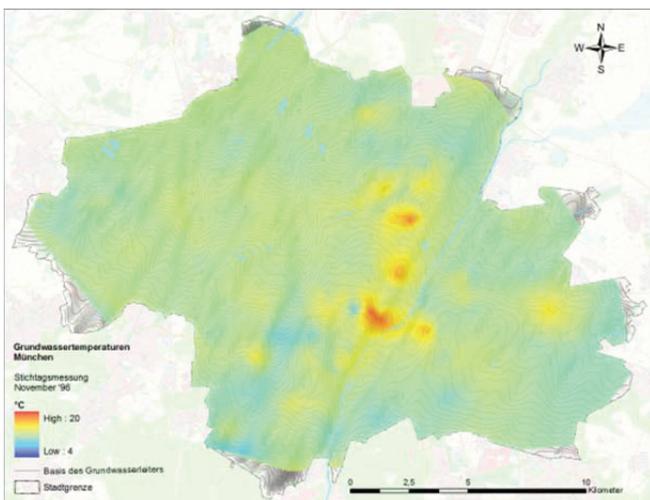
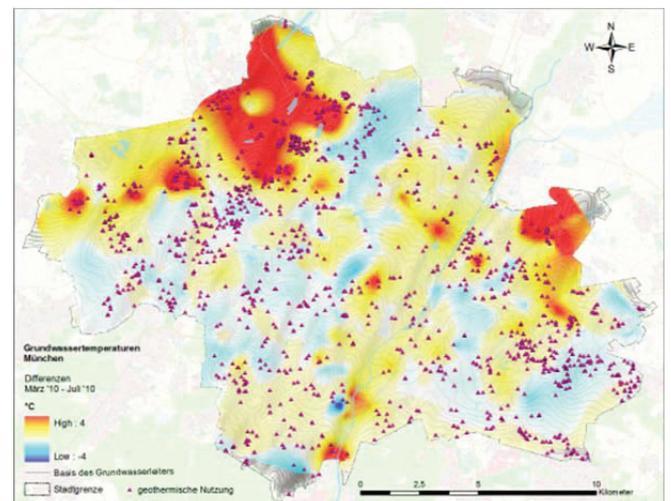
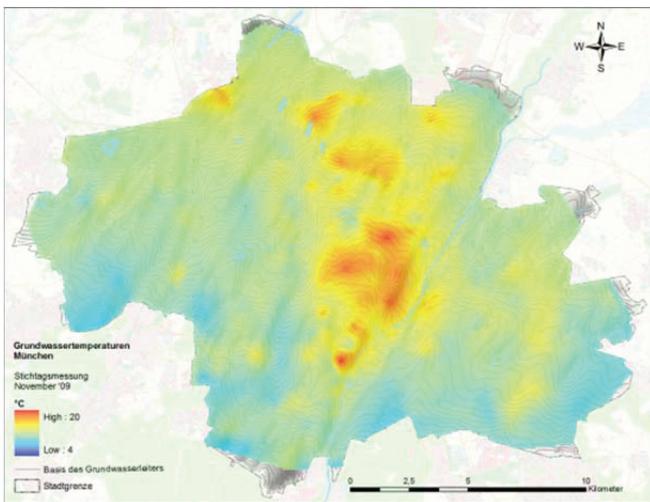


Abb. 1: Vergleich der Grundwassertemperaturmessungen der Jahre 1996/97 und 2009/10. Das Grundwasser im Juli 96 war flächendeckend wärmer als im Juli 09, umgekehrt verhält es sich im November der gleichen Jahre. Diese Tatsache deutet auf eine klimatisch bedingte Phasenverschiebung der zeitlichen Temperaturvariation hin.

Fig. 1: Comparison of the groundwater temperatures in the years 1996/97 and 2009/10. In July 96 the temperature was higher than in July 09, but vice versa in November of the same years. This fact implies a climatic based displacement of phase of the temporal temperature variation.

Abb. 2: Grundwassertemperatur-Differenzen zeigen Erwärmungs-Hot-Spots, (z.B. Einflüsse bestehender geothermischer Nutzungen oder der U-Bahn, Abb. oben) oder die Interaktion mit der Vorflut Isar und den Einfluss des Reliefs der Grundwasserleiterbasis (Abb.unten).

Fig. 2: Differences of groundwater temperatures show temperature hot spots (influenced by existing geothermal use or the subway, fig top) or interactions with the receiving stream Isar and the influence of the landform configuration of the aquifer base (fig down).



Lokale Einflüsse der Vorflut Isar sowie bestehender geothermischer Nutzungen und der U-Bahn-Bauwerke auf die Grundwassertemperatur wurden ersichtlich. Ebenso sind die Auswirkungen von Schwankungen in der Grundwasserleitermächtigkeit auf die Grundwassertemperatur erkennbar. Diese sind bedingt durch Rinnenstrukturen in der Grundwasserleiterbasis, innerhalb derer die Grundwassertemperatur mehr oder wenig konstant bleibt, sowie von tertiären Hochflächen, die meist deutlichen Änderungen der Grundwassertemperatur nach sich ziehen. Eindeutige Trends ansteigender urbaner Grundwassertemperaturen konnten bei der Analyse der Messzyklen von 1983 bis 2010 zuerst nicht erkannt werden, sondern wurden erst bei jahreszeitlich getrennter Betrachtung in den „Sommermonaten“ deutlich. Generell verlaufen Erwärmung und Abkühlung des Grundwasserkörpers über die Jahre sehr heterogen, was durch einen exemplarischen Vergleich der Messungen im Juli innerhalb der Messzyklen verdeutlicht werden kann. An 60 % der Messstellen findet zwischen Juli 1996-1997 eine Erwärmung statt. Im Vergleich dazu jedoch kühlt das Grundwasser zwischen Juli 1996-2010 an ca. 70 % der Messstellen ab (s. Abb. 3). Die Spitzenwerte der Grundwassertemperatur werden aufgrund der Phasenverschiebung zwischen Luft- und Grundwassertemperatur zwar in der Regel im November erreicht jedoch kann es auch hier zu deutlichen Ausnahmen kommen (s. Abb. 3).

3.2 Tiefenorientierte Analyse der Grundwassertemperatur

Um die Wirkung verschiedener Randbedingungen auf die Grundwassertemperatur zu untersuchen ist es vorteilhaft tiefenorientierte Messungen der Grundwassertemperatur durchzuführen. Dabei kann der Einfluss z.B. der Oberflächentemperatur, des Niederschlags, des Oberflächengewässers und der Abwärme von Untergrundbauwerken analysiert werden. Über die gleichzeitige Messung von tiefendifferenzierten physiko-chemischen Parametern wie z.B. der spez. elektr. Leitfähigkeit können weitere Hinweise über die Ursachen der Varianz in den Grundwassertemperaturen gewonnen werden. Darüber hinaus liefern diese zusätzlichen Parameter einen Hinweis auf die Qualität der Messungen, beziehungsweise die Qualität der Messstelle, indem die Durchströmung der Messstelle und eventuelle Vertikalströmungen innerhalb der Messstelle detektiert werden können. Diese Untersuchungen sind notwendig um sicher zu stellen, dass die Messungen der Grundwassertemperaturen auch repräsentativ für den zu betrachtenden quartären Grundwasserleiter sind.

3.2.1 Natürliche Wechselwirkungen

Die Wechselwirkung der Grundwassertemperatur mit anderen Faktoren soll die Dynamik der Grundwassertemperaturen analysieren und den Verlauf der Grundwassertemperatur an den verschiedenen Orten des Untersuchungsgebiets interpretieren. Die Grundwassertemperaturdaten werden hierbei mit Klimadaten wie Lufttemperatur und Niederschlag verglichen. Als Beispiel sind die Grundwassertemperatur in den verschiedenen Tiefen und die täglich gemessene Lufttemperatur für eine Messstelle im Norden von München dargestellt (s. Abb. 4). Im Zeitraum vom November 2009 bis zum Mai 2012 wurden dort Grundwassertemperaturen in einem Abstand von etwa 14 Tagen gemessen. Dabei ist der saisonale Gang der Grundwassertemperatur in allen Tiefen klar ersichtlich. Es ist zu erkennen, dass die Grundwassertemperaturamplituden erwartungsgemäß mit zunehmender Tiefe abnehmen und die Temperaturverläufe mit zunehmender Tiefe einer immer größer werdenden Phasenverschiebung unterliegen und eine immer kleinere Varianz aufweisen. Die Lufttemperaturen zeigen ebenso einen deutlichen saisonalen Gang mit maximalen Temperaturen im Juli und August, sowie minimalen Temperaturen im Januar. Tendenziell ist im Laufe der Messreihe ein stärkerer Anstieg der Lufttemperatur als im Grundwasser aufzuzeichnen.

Die minimalen und maximalen Grundwassertemperaturen treten in etwa vier bis fünf Monate phasenverschoben zu den Extrema in den Lufttemperaturen auf. Jedoch beinhaltet diese Korrelation nicht nur die direkte Interaktion zwischen Oberflächentemperatur und Grundwasser, sondern ebenso die indirekten Wege der Beeinflussung wie zum Beispiel die Wechselwirkung Lufttemperatur-Oberflächengewässer-Grundwasser. Bei Untersuchungen an isarnahen Messstellen konnte eine Beeinflussung der Grundwassertemperatur durch die Isar qualitativ nachgewiesen werden, da hier eine deutlich kürzere Zeit in der phasenverschobenen Korrelation erkennbar war.

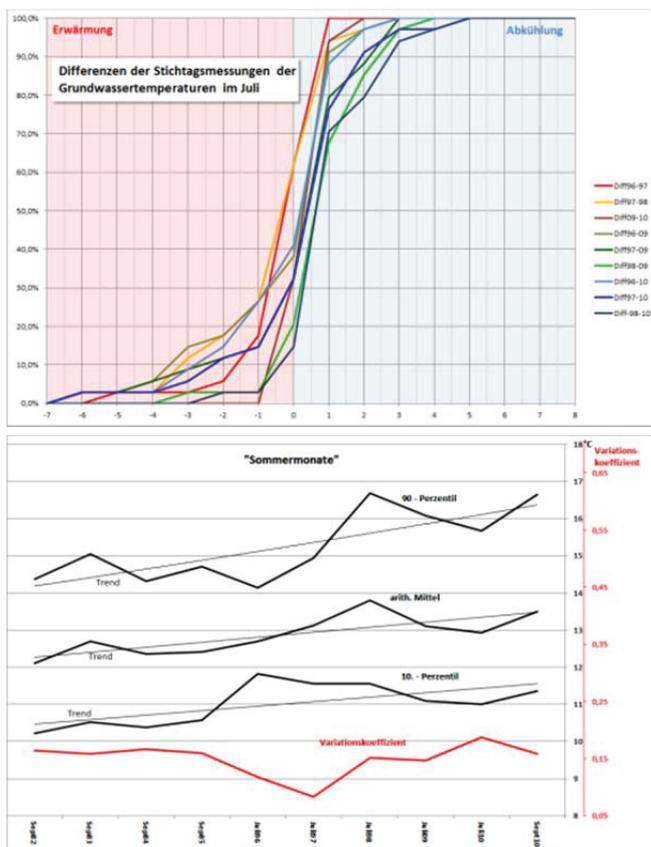


Abb.3: Statistische Auswertung der Grundwassertemperaturen und -differenzen der drei Messzyklen.

Fig.3: Statistical analysis of the groundwater-temperatures and -differences of the three measuring cycles.

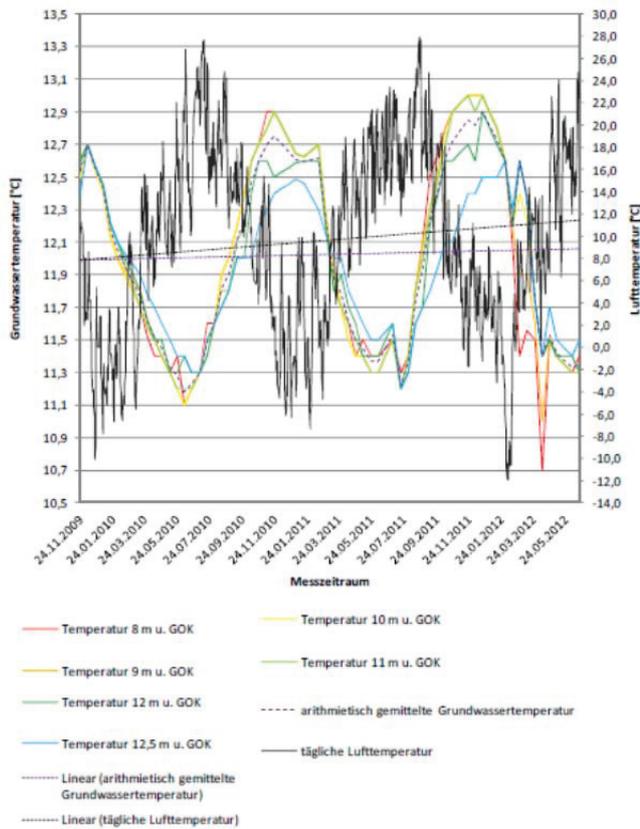


Abb. 4: Vergleich von Grundwassertemperaturdaten und täglicher Lufttemperatur. (LEHMANN 2012)

Fig. 4: Comparison of groundwater temperature and daily air temperature. (LEHMANN 2012).

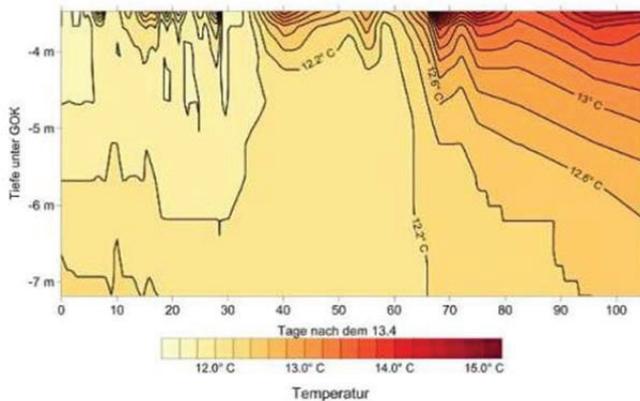


Abb. 5: Heat-Map einer tiefenorientierten Messung der Grundwassertemperatur im Norden von München (WOLFF 2012).

Fig. 5: Heat-map of a deep oriented measurement of groundwater temperature in the north of Munich (WOLFF 2012)

Der unmittelbare Einfluss der täglichen Lufttemperatur auf das Grundwasser ist in den beobachteten Messstellen, je nach Rahmenbedingungen, sehr unterschiedlich und reicht im Untersuchungsgebiet in etwa bis zu einer Tiefe von 8-20 m. Diese Wechselwirkungen sind bei der Auswertung des Temperaturverlaufs über die Zeit gegen Tiefe gut zu erkennen (s. Abb. 5). Die Temperatur variiert im oberen Bereich des Grundwassersleiters stark, während die Grundwassertemperatur gegen die Endteufe der Messstelle über längere Zeiträume weitgehend unverändert bleibt. Im zeitli-

chen Verlauf ist deutlich zu sehen, dass die Grundwassertemperatur im Laufe der Messreihe langsam zunimmt.

3.2.2 Anthropogene Beeinflussungen

Es ist bekannt dass das Tiefenverhalten der Grundwassertemperatur im Stadtgebiet Münchens entscheidend durch anthropogene Einflussfaktoren wie z.B. U-Bahnbauten beeinflusst ist (DOHR 1989). Durch die Interpretation von Grundwasser-Temperaturtiefenprofilen wird diese Wechselwirkung deutlich. In einer horizontalen Entfernung von weniger als 5 m von der U-Bahnröhre wurde ein Tiefen-temperaturprofil beispielhaft aufgenommen (s. Abb. 6). Das Temperaturprofil beginnt 5,9 m u. GOK mit 12,3 °C. Mit zunehmender Tiefe steigt die Temperatur zuerst langsam und dann immer rascher bis ca. 14 °C an. Die Wärmeabgabe des U-Bahnhofs erzeugt voraussichtlich die permanente Zunahme der Grundwassertemperatur mit der Tiefe. Es wird hier deutlich dass solche anthropogene Einflussfaktoren die natürlichen Temperaturverhältnisse mit der Tiefe ganz erheblich verschieben können, wobei die Auswirkungen von Tiefenlage und Entfernung der anthropogenen Einflussquelle abhängt.

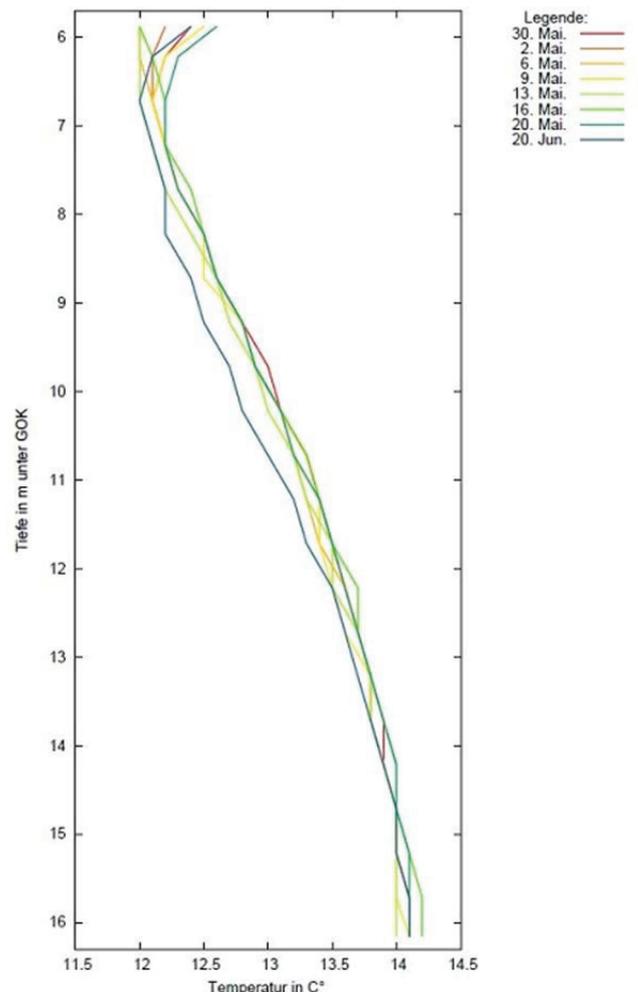


Abb. 6: Tiefenorientierte Messung der Grundwassertemperatur an einer U-Bahnhaltestelle im Norden Münchens. (WOLFF 2012).

Fig. 6: Deep oriented measurement of groundwater temperature at a subway station in the north of Munich. (WOLFF 2012).



Neben der Beeinflussung durch U-Bahnbauwerke sollen innerhalb des Projektes noch die Auswirkungen der Flächenversiegelung, von Tiefgaragen, von Fernwärmeleitungen sowie Kanälen auf die Grundwassertemperatur erfasst werden. Zudem sollen insbesondere die Veränderungen der Grundwassertemperatur durch die bereits bestehenden thermischen Nutzungen quantitativ bestimmt werden.

4 Fazit der bisherigen Untersuchungen

Durch die räumlich und zeitlich differenzierte Auswertung von Grundwassermessungen über mehrere Jahrzehnte im Raum München konnte ein ansteigender Trend in den Grundwassertemperaturen detektiert und die zeitliche Varianz bestimmt werden. Zudem zeigte sich die räumliche Heterogenität der Grundwassertemperaturen mit lokalen Anomalitäten. Einige Ursachen für die lokalen Abweichungen von der natürlichen Grundwassertemperatur könnten qualitativ, teilweise auch quantitativ, analysiert werden, wie zum Beispiel der Einfluss der Vorflut auf die Grundwassertemperatur oder die Auswirkung der U-Bahnbauwerke auf die Grundwassertemperatur. Um die räumlich und zeitlich heterogene Verteilung der Grundwassertemperatur zu quantifizieren bedarf es noch weitergehende Untersuchungen unter Berücksichtigung zusätzlicher Einflussfaktoren. Die erarbeiteten Erkenntnisse über die heterogene Verteilung der Grundwassertemperaturen schafft die Voraussetzung für eine Optimierung der geothermischen Nutzung im quartären Grundwasserleiter des Raum Münchens.

Literatur

- ALLEN, A., MILENIC, D. & SIKORA, P. (2003): Shallow gravel aquifers and the urban 'heat island' effect: a source of low enthalpy geothermal energy. – *Geothermics*, **32**: 569-578.
- BAUER, M., NEUMANN, P., SCHOLZ, M. & THURO, K. (2005): Die Geologie des Münchner Untergrunds und seine Bedeutung für die Baugrundmodellbildung in städtischen Gebieten. – *Geotechnik*, **2**: 83-92.
- DOHR, F. (1989): Die Grundwassertemperatur in dem oberflächennahen Grundwasserstockwerk des Stadtgebiet Münchens. – Dissertation, Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Ludwig-Maximilians-Universität München, 191 S., München.
- LEHMANN, N. (2012): Untersuchungen der Ursachen von Grundwassertemperatur-Hot-Spots im quartären Grundwasserleiter Münchens. – Unveröffentlichte Masterarbeit, Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München, 230 S., München.
- MENBERG, K., BAYER, P., ZOSEDER, K., RUMOHR, S. & BLUM, P. (2013): Subsurface urban heat island in German cities. – *Science of the Total Environment*, **442**: 123-133.
- WOLFF, J. R. (2012): Grundwassertiefen-temperaturprofile des quartären Grundwasserleiters in München. – Unveröff. Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München, 91 S., München.