

Kalte Nahwärmenetze und oberflächen- naheste Geothermie im urbanen Raum

Kalte Nahwärme stellt eine der möglichen Schlüsseltechnologien zur Wärme- und Kälteversorgung von Siedlungen und Quartieren der Zukunft dar. Im urbanen Raum lässt sich diese auch durch sogenannte Erdspeicher als Wärmequelle/-senke realisieren. Diese Speichersysteme bestehen aus mehrlagigen Erdkollektoren, die in verschiedenen Bauweisen übereinander und/oder nebeneinander platziert werden, um dem Erdreich auf möglichst geringer Grundfläche mehr Wärme zu entziehen. Das Forschungsvorhaben ErdEis, das sich mit dieser Technologie im wissenschaftlichen Kontext beschäftigte, wurde im März dieses Jahres abgeschlossen. Im Anschlussvorhaben ErdEis II wird nun die großtechnische Umsetzung des Systems erstmalig in einem Baugebiet in Schleswig realisiert und wissenschaftlich begleitet.

Der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung schreitet mit Photovoltaik und Windkraft in Deutschland unaufhaltsam voran. Die erneuerbare Wärmeerzeugung wurde dabei in der Vergangenheit häufig hintenangestellt, obwohl die Wärmeerzeugung für private Haushalte ca. 21 % des gesamten Endenergieverbrauchs Deutschlands ausmacht [1]. Um Energie einzusparen, spielt neben der Wärmeerzeugung auch die Wärmeverteilung eine wichtige Rolle. Bei herkömmlichen Fernwärmenetzen tre-

ten häufig hohe Wärmeverteilungsverluste auf. Diese entstehen, da das Wärmeträgermedium auf einem Temperaturniveau von oft deutlich über 70 °C verteilt wird. Trotz doppelter bis dreifacher Isolierung treten dabei sehr hohe Verluste auf [2].

Eine mögliche Lösung, um Verteilverluste zu verringern oder gar zu vermeiden, stellen sogenannte „Kalte Nahwärmenetze“ (KNW-Netze) dar. In diesen wird das Trägermedium, in der Regel ein Wasser-Glykol-Gemisch (Sole), auf dem Tem-

peraturniveau des umgebenden Erdreiches, saisonal schwankend von leicht unter 0 °C bis maximal 20 °C, zum Endnutzer befördert. Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus treten in den unisolierten Rohrleitungen dadurch keine Wärmeverluste auf, im Gegenteil – es werden meistens sogar Wärmegewinne realisiert. Diese entstehen, da das Temperaturniveau des KNW-Netzes an einigen Stellen unter der umgebenden Erdreichtemperatur liegt. Das Kalte Nahwärmenetz kann dementsprechend als oberflächennahester Erdkollektor verstanden werden, der neben der Wärmeverteilung auch als Wärmequelle fungiert.

Ein KNW-Netz bietet zudem auch aus hydraulischer Sicht interessante Optionen [3]. Bei einem herkömmlichen Fernwärmenetz ist der Energiefluss im Regelfall „unidirektional“, also von der Wärmequelle (z. B. Heizkraftwerk) hin zur Wärmesenke (z. B. Industrie, Gewerbe, Haushalte). In einem KNW-Netz ist ein „bidirektionaler“ Energiefluss möglich. Es können gleichzeitig positive und negative Energieflüsse, durch beispielsweise gleichzeitiges Heizen und Kühlen, auftreten. Außerdem werden fortlaufend Wärmegewinne erzielt und weitere Abwärmquellen können erschlossen werden. Somit ist der Energiefluss im KNW-Netz nie dauerhaft gleichgerichtet. Einzelne Gebäude können zu sogenannten „Prosumern“ werden und selbst Energie in den Wärmeverbund liefern.



Steinhäuser GmbH & Co. KG

Abb. 1 – Erdwärmekollektoren unter einem Mischgebäude (Supermarkt, Büro- und Wohnräume) zur Versorgung mit Wärme und Kälte im Rahmen des Forschungsvorhabens „Netzneutrales Energie-Quartier“ im Herzen von Geretsried

Beim Endnutzer wird die Wärmeenergie aus dem KNW-Netz mithilfe einer Wärmepumpe auf das benötigte Temperaturniveau für Heizung und Brauchwarmwasser angehoben. Die Effizienz einer Wärmepumpe wird über die Jahresarbeitszahl beschrieben. Sie beschreibt das Verhältnis zwischen der erzeugten jährlich nutzbaren Wärmeenergie zur aufgewendeten elektrischen Antriebsenergie. Diese wird neben dem Verdichter von den Umwälzpumpen sowie optionaler Elektroheizstäben verbraucht. Typische Werte für Wärmepumpen liegen zwischen 3,5 und 4,5 [4]. Somit stellt die Wärmepumpe 3,5 bis 4,5 kWh Wärme je kWh eingesetzter elektrischer Antriebsenergie zur Verfügung.

Als Wärmequelle für ein Kaltes Nahwärmenetz können neben Abwasserrohrleitungen oder industrieller Abwärme auch oberflächennahe Geothermie-Systeme dienen. Oberflächennahe Erdwärmekollektoren (EWK) können aufgrund der schnellen und vollständigen Erdreichregeneration ihr Potenzial voll ausspielen. Sie werden möglichst nah unter der Erdoberfläche unterhalb der natürlichen Frostgrenze horizontal oder vertikal (Grabenkollektor) verlegt (Abb. 1). Dort entziehen sie aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen dem Kollektorrohr und dem umgebenden Erdreich die benötigte Wärmeenergie (Erdwärme). Während der Heizperiode im Winter kühlt sich das Erdreich um die Kollektoren ab. Dies kann im Sommer genutzt werden, indem der abgekühlte Boden als Kältequelle zur Wohnraum- oder Prozesskühlung dient. Das Erdreich wird dadurch für einige Sommermonate als Kältespeicher aktiviert. Umgekehrt kann dieser in den Wintermonaten als Wärmespeicher genutzt werden. Durch die Kühlung wird zudem die natürliche Regeneration des Bodens durch Sonne und Regen unterstützt.

Forschungsvorhaben „ErdEis“ – platzsparende Geothermie-Lösungen für den urbanen Raum

Bisher werden Erdwärmekollektoren vorzugsweise in ländlichen Gebieten errichtet, da im urbanen Raum oftmals nicht genügend Fläche zur Verfügung steht. Aus diesem Grund werden verstärkt Lösungsmöglichkeiten mit einem geringeren Flächenbedarf erforscht. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsvorhabens „+EINS – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut“ mit dem Förderkennzeichen (FKZ) 0327431R wurde der Ludmilla-Wohnpark in Landshut (LWP)

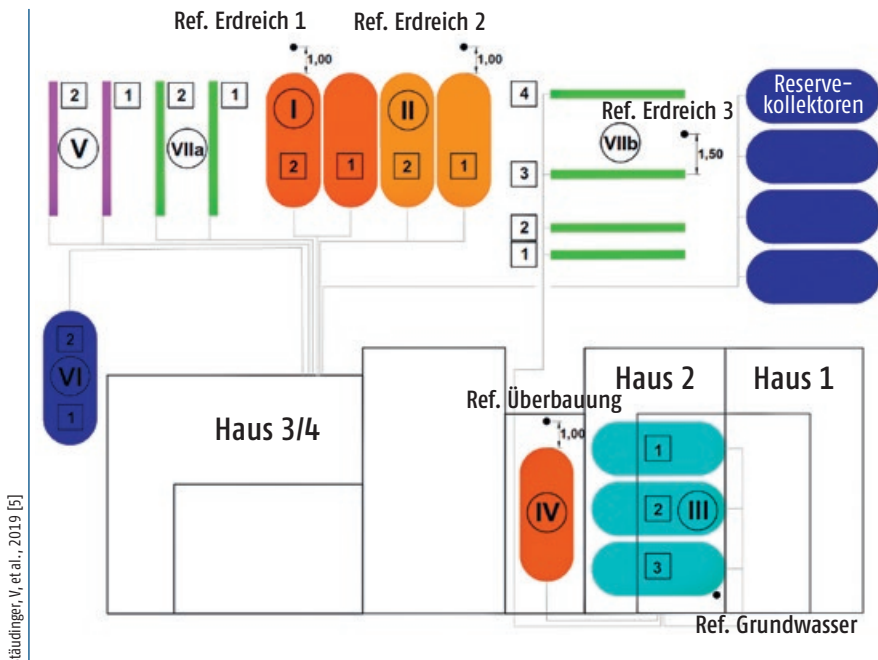


Abb. 2 – Übersicht Kollektoranordnung im Ludmilla-Wohnpark in Landshut

während des Baus mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet. In den dreizehn Einfamilienhäusern befindet sich jeweils eine Wärmepumpe, die in Kombination mit EWK das jeweilige Wohngebäude mit Wärme versorgt. Die EWK wurden aufgrund von Platzmangel meist in Sandwichbauweise (zwei horizontale EWK übereinander) installiert. Um verschiedene Möglichkeiten der Anordnung und Rahmenbedingungen miteinander vergleichen zu können, wurde bei zwei der dreizehn Einfamilienhäusern ein „Messfeld oberflächennahe Geothermie“ mit acht unterschiedlichen Einbauvarianten von EWK errichtet. Im Rahmen des vom BMWi geförderten Anschlussvorhabens „ErdEis – Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie“ (FKZ: 03ET1382B) erfolgte bis zum 31. März 2019 das Monitoring und die Bewertung der Messdaten.

In Abbildung 2 ist das Geothermie-Messfeld dargestellt. Hinsichtlich ihrer Kollektoreinbringung lassen sich die acht Varianten in horizontale und vertikale Systeme einteilen; die Varianten V, VIIa und VIIb wurden vertikal eingebaut. Die ersten beiden Varianten (I und II) wurden in, für oberflächennahe Geothermie-Systeme standardmäßiger, nicht überbaute Lage unterhalb der Frostgrenze in 1,50 m Tiefe verlegt. Bei Variante I diente Sand als Füllmaterial. Es wurden zudem überbaute EWK untersucht; so liegt Variante III unter einem Einfamilienhaus im Grundwasser und Variante IV unter einer Garage in 1,50 m Tiefe, aber nicht im Grundwasser.

Mit Variante VI wurden EWK in Sandwichbauweise getestet. Das bauausführende Unternehmen ordnete dafür zwei EWK exakt übereinander an, den oberen in 1,50 m Tiefe, den unteren grundwassernah. Auch bei den vertikalen EWK wurden verschiedene Optionen untersucht: Variante VIIa ist ein üblicher vertikaler EWK; bei Variante V besteht außerdem die Möglichkeit, den EWK über Drainageleitungen zusätzlich zu befeuchten. Mithilfe von Variante VIIb gab es die Möglichkeit, den Einfluss des Abstandes zwischen den vertikalen EWK zu ermitteln.

Die überbauten Varianten III und IV weisen beide eine gute Performance auf, obwohl Variante IV nicht im Grundwasser liegt. Es zeigte sich außerdem, dass mit Ausnahme der vertikal gefrästen Variante VIIa alle Varianten leistungsfähiger als die klassische horizontale Bauweise ohne Überbauung (Variante II) sind. Hervorzuheben ist hierbei besonders Variante VI in Sandwichbauweise, die bei halbem Platzbedarf deutlich leistungsfähiger ist [5].

Des Weiteren wurden die aus dem Monitoring ermittelten Daten der Einfamilienhäuser (Heizbedarf, JAZO, Kollektorfläche, thermische Leistung der Wärmepumpe) sowie Messdaten und Steckbriefe des Praxispartners mit der im Juni 2019 aktualisierten Richtlinie 4640-2 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) verglichen [6]. Mithilfe der Daten konnte die durch die Richtlinie empfohlene Kollektorfläche bestimmt werden. Dabei wurden der VDI Werte für eine Entzugsleistung

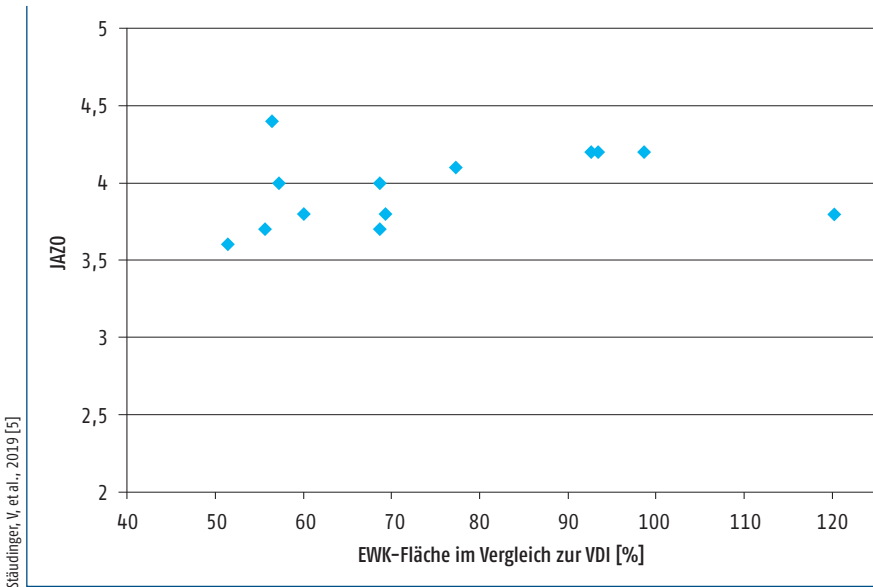


Abb. 3 – Vergleich der Kollektorfläche der Anlagen im Vergleich zur VDI

zung von 34 W/m² und einer Entzugsarbeit von 61 kWh/m²a entnommen (für Klimazone 13, wassergesättigten sandigen Ton und Kapillarrohrratten). Aus diesen Werten konnte sowohl die Mindestfläche aus der Entzugsleistung als auch die Mindestfläche aus der Entzugsenergie berechnet werden. Da beide Mindestflächen Grenzwerte darstellen, ist die größere Fläche zu wählen. In Abbildung 3 ist der prozentuale Anteil der LWP-EWK-Fläche an der Soll-EWK-Fläche dargestellt.

Zu sehen ist, dass die Kollektoren des LWP zumeist kleiner ausgelegt wurden,

als nach der aktualisierten VDI empfohlen wird. Obwohl die Kollektorflächen teils deutlich kleiner sind, werden die Wärmepumpen mit akzeptablen Arbeitszahlen betrieben. Damit können die Erkenntnisse von Hirsch et al. [7] bestätigt werden, dass eine Verkleinerung der EWK-Fläche um 25 % ohne Effizienzeinbußen möglich ist. Erst bei einer Verkleinerung um rund 50 % kommt es zu Leistungseinbußen.

Im Forschungsvorhaben wurde zusätzlich das mögliche Potenzial sogenannter Erdeisspeicher erforscht. Diese bestehen aus mehrlagigen Erdwärmekollektoren,

bei denen das umgebende Erdreich kontrolliert eingefroren wird. Während des Phasenwechsels wird von dem im Erdreich vorhandenen und in den Kapillaren gebundenen Wasser eine große Energiemenge bereitgestellt. Der Erdeisspeicher kann dadurch mit geringerem Flächenbedarf dimensioniert werden als eine vergleichbare Großkollektoranlage. Aufgrund dieser Tatsache könnten Erdeisspeicher auch im urbanen Raum eingesetzt werden, wo sonst keine ausreichende Versorgung mit oberflächennaher Geothermie möglich wäre. Da Erdeisspeichern große Erfolgchancen als Lösungsmöglichkeit im urbanen Raum zugerechnet werden, wurde ein Anschluss-Forschungsvorhaben beantragt, um die untersuchten Möglichkeiten in einem „Reallabor“ umzusetzen und in der Praxis wissenschaftlich zu untersuchen.

Forschungsvorhaben „ErdEis II“ – Wärme in Eis speichern

Das Anschlussvorhaben „Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie“ (kurz: ErdEis II, FKZ: 03ET1634A-E) wurde vom Projektträger Jülich und dem BMWi zum 1. März 2019 genehmigt und für drei Jahre mit Fördergeldern ausgestattet. Im Vorhaben werden von den Schleswiger Stadtwerken in Zusammenarbeit mit den Forschungspartnern Energie PLUS Concept GmbH, TU Dresden, FAU Erlangen und RWTH Aachen mehrere Varianten für einen Erdeisspeicher in einem realen Bauvorhaben umgesetzt. Mit dem Pilotvorhaben

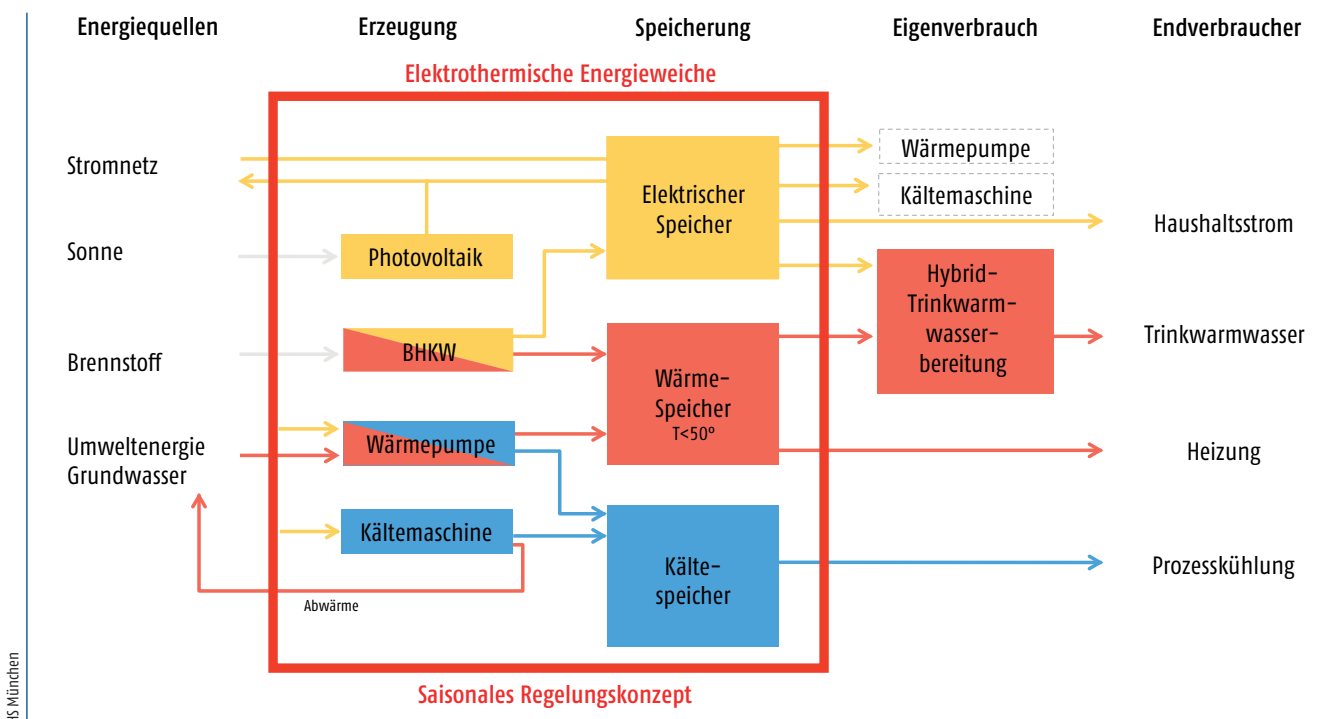


Abb. 4 – Energie- und Speicherkonzept „Puls G“ in Geretsried

soll die wirtschaftliche und technische Umsetzbarkeit der Technologie nachgewiesen und somit ein Beitrag zur emissionsfreien, regenerativen Wärmeversorgung in Deutschland geleistet werden. In Kombination mit einem Kalten Nahwärmenetz dienen die Erdeisspeicher als Wärme- und Kältequelle für Wärmepumpen zur Versorgung der Gebäude im geplanten Quartier in Schleswig. Auf dem Gelände soll neben ungefähr 50 Grundstücken für Einfamilien- und Reihenhäuser eine neue Feuerwache entstehen, die ebenfalls über das KNW-Netz versorgt wird. Der Eisspeicher soll in der Heizperiode so weit ausgekühlt werden, dass bis in den Sommer ein gefrorener Kern erhalten bleibt, um das Quartier mit ausreichend Kälte zu versorgen. Ohne die effiziente Kühlung über den Erdeisspeicher müssten in den Häusern sonst eigene, aufwendigere aktive Kühlsysteme installiert werden, um die gut gedämmten Energiesparhäuser vor einem Überhitzen in den Sommermonaten zu schützen. Der Vorteil gegenüber herkömmlichen Eisspeichern ist die stärkere direkte natürliche Regeneration durch Sonne und Regen, der die Wärme von der Oberfläche durch Versickern direkt zum Erdeisspeicher trägt. Ebenfalls werden von der kompakten Einbringung in das Erdreich wirtschaftliche Vorteile gegenüber konventionellen Eisspeichern erwartet.

Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der großtechnischen Umsetzung eines Erdeisspeichers zur Wärme- und Kältever-

sorgung eines Quartieres in zwei Varianten, um unterschiedlichste Einsatzszenarien untersuchen zu können. Hier spielt auch die Verteilung der Wärme/Kälte mithilfe eines KNW-Netzes aufgrund der komplexen hydraulischen Einbindung verschiedenster Quellen und Senken (z. B. PVT-Modulen auf dem Dach der Feuerwehr) eine entscheidende Rolle. Das im Rahmen des Forschungsvorhabens zu entwickelnde Werkzeug zur Planung und Auslegung des Erdeisspeichers ermöglicht die Übertragung der Ergebnisse auf andere Bauvorhaben und ermöglicht somit ein hohes Multiplikationspotenzial.

Um die Betriebsweise des Erdeisspeichers vollumfänglich erfassen zu können, wird außerdem ein geothermisches Messfeld im Erdreich implementiert. Dies ermöglicht den Vergleich des Erdeisspeichers mit Geothermiemessfeldern aus anderen Forschungsprojekten. Die gewonnenen Erkenntnisse über die Vereisung des Erdreiches werden der Öffentlichkeit und anderen Akteuren aus Forschung und Politik im Rahmen von Veröffentlichungen und Vorträgen zugänglich gemacht. Durch die zielgerichtete Verbreitung des entwickelten Auslegungstools soll die Technologie allgemeine Akzeptanz und Verbreitung finden.

Netzneutrales Energie-Quartier – Beispiellösung für den urbanen Raum

Wie Geothermie im urbanen Raum noch genutzt werden kann, zeigt das vom BMWi geförderte Forschungsvorhaben „Netz-

neutrales Energie-Quartier“ (+EQ-Net) in Geretsried (FKZ: 03ET1299A) an einem Gebäude mit Mischnutzung (Supermarkt, Büro- und Wohnräume). Ziel ist es, das Gebäude möglichst energieautark mit Strom, Wärme und Kälte bei gleichzeitig hohem Anteil erneuerbarer Energien und hoher Effizienz zu versorgen. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Energieerzeuger und -speicher installiert, die sich durch eine intelligente Steuerung so ergänzen, dass die Eigenversorgung aus erneuerbaren Quellen und gleichzeitig die Nutzung der so gewonnenen Energie besonders hoch sind und somit eine Netzentlastung ermöglicht wird [8].

Neben den Erdwärmekollektoren, die unterhalb der Tiefgarage des Gebäudes in der grundwasserführenden Schicht verlegt wurden (Abb. 1), wodurch keine freien Flächen benötigt werden, wird das Gebäude mit Photovoltaik, Wärmepumpen, einer Kältemaschine, einem Blockheizkraftwerk sowie Strom- und Wärmespeichern ausgerüstet. Wenn nun die Photovoltaik oder der Stromspeicher genug elektrische Energie liefern kann, wird das Haus mithilfe des EWK und der Wärmepumpen beheizt bzw. Trinkwarmwasser bereitgestellt. Ebenso kann der EWK zur Abführung der Überschusswärme der Raumkühlung aus den Verkaufs- und Dienstleistungsflächen des Gebäudes genutzt werden. In Abbildung 4 ist das Energie- und Speicherkonzept dargestellt. Der Erdwärmekollektor wurde bei diesem urbanen Erschließungsprojekt, wie 

Für bbr-Leserinnen und -Leser günstiger:

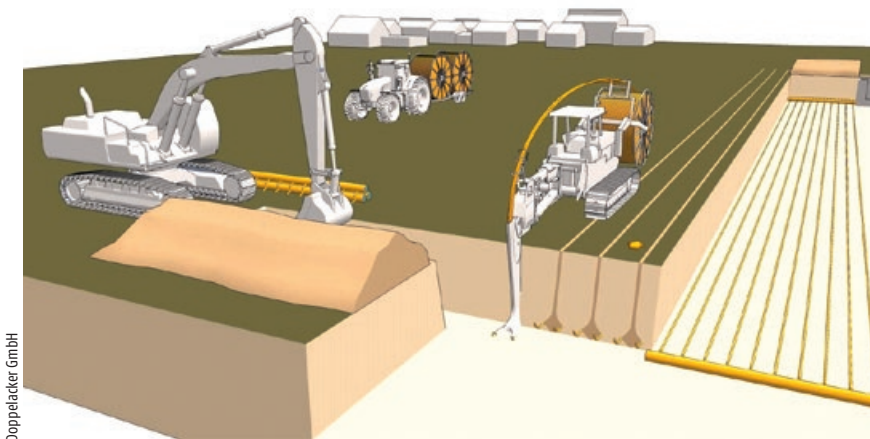
GEC Geotechnik
expo & congress

 Messe
Offenburg -
Ortenau

23. + 24. Oktober
MESSE OFFENBURG

www.gec-offenburg.de





Doppelacker GmbH

Abb. 5 – Einbringung des Agrothermiekollektors in Wüstenrot – schematische Darstellung

bereits erwähnt, platzsparend unter das Gebäude im Grundwasser verlegt. Dadurch wurde ein großes Wärme- und Kältepotenzial für das Gebäude im städtischen Kontext erschlossen – und das in einem Bauvorhaben, in dem der Einsatz von oberflächennaher Geothermie bei konventioneller Betrachtungsweise als nicht realisierbar angesehen werden würde.

Projekte im ländlichen Raum

Die großtechnische Einbringung eines oberflächennahen Geothermiesystems unter einer landwirtschaftlich genutzten Fläche im ländlichen Raum wird derzeit im BMWi geförderten Forschungsvorhaben „EnVisaGe-Plus“ (FKZ: 03ET1465B) in der Gemeinde Wüstenrot bei Schwäbisch Hall untersucht. Dort wurde im Herbst 2012 ein Agrothermiekollektor mit einer Fläche von 0,44 ha erschlossen. Für den in Abbildung 5 schematisch dargestellten Agrothermiekollektor wurden 22 parallel verlegte Rohrleitungen (DN 50) mit einem Abstand von 1 m in einer Tiefe von 2 m über 200 m Länge in das Erdreich eingebracht. Durch Sammelleitungen werden die horizontal eingepflügten Rohrleitungen miteinander verbunden.

Durch ein Kaltes Nahwärmenetz, das als druckloser Verteiler errichtet wurde, wird über zwei Rohrleitungen (DN 250) die erzeugte Quellenwärme an eine Neubau-Plusenergiesiedlung, bestehend aus mehr als 20 Wohngebäuden, verteilt. In einer Langzeitdatenerfassung wird das Messfeld rings um den Agrothermiekollektor untersucht. Ebenfalls wird der Anlagenbetrieb der Wärmepumpen in den Wohngebäuden genauestens betrachtet. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen im Schnitt bei etwa 4,0 liegen. Die Vorlauf-temperatur im KNW-Netz pendelt zwischen

16 °C in den Sommer- und 1 °C in den Wintermonaten. Die geringste Wärmepumpen-Vorlauf-temperatur wird erst im März, zum Ende der Heizperiode, erreicht. Dies wird durch die Wärmespeicherung innerhalb des Agrothermiekollektors zusammen mit dem KNW-Netz erzielt. Zu diesem Zeitpunkt wird kaum noch Heizwärme in den Wohngebäuden benötigt. Aufgrund dessen laufen die Wärmepumpen ganzjährig mit einer dauerhaft guten Arbeitszahl. Auch hier wird in den Sommermonaten das KNW-Netz zum Kühlen der Wohngebäude verwendet [9]. Die generierten Ergebnisse aus „EnVisaGe-Plus“ fließen fortlaufend in das oben vorgestellte Forschungsvorhaben „ErdEis II“ ein.

Die Ergebnisse der erwähnten Forschungsvorhaben „ErdEis“, „ErdEis II“, „+EQ-Net“ und „EnVisaGe-Plus“ werden bereits in weiteren Umsetzungsprojekten verwendet. In diesen wird der Einsatz von EWK im großtechnischen Maßstab umgesetzt und weiter erprobt. So werden beispielsweise in Bad Nauheim ca. 400 Wohneinheiten durch EWK in Verbindung mit einem Kalten Nahwärmenetz mit Wärme und Kälte versorgt. Über das Projekt wurde in bbr-Ausgabe 7-8/2019 ausführlich berichtet [10].

Literatur

- [1] Umweltbundesamt (2019): Wärme aus erneuerbaren Energien. Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren [zuletzt abgerufen am 30.07.2019].
- [2] Zeh, R.; Stockinger, V. (2018): Kalte Nahwärme – Wärme- und Kälteversorgung der Zukunft für Quartiere. In: Ingenieur Spiegel, 2018(1), S. 24–26, Bingen am Rhein.
- [3] Sulzer, M.; Hangartner, D. (2014): Kalte Fernwärmenetze (Anergienetze). Grundlagen-/Thesenpapier, Horw.

- [4] Miara, M.; Günther, D.; Kramer, T.; Oltersdorf, T.; Wapler, J. (2011): Wärmepumpen-Effizienz: Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb, Freiburg.
- [5] Stäudinger, V.; Jensch, W.; Stockinger, V. (2019): Schlussbericht ErdEis: Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie, München.
- [6] VDI 4620-2:2019-06: Thermische Nutzung des Untergrunds – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen.
- [7] Hirsch, H.; Hüsing, F.; Rockendorf, G. (2016): Modellierung oberflächennaher Erdwärmeübertrager für Systemsimulationen in TRNSYS. Im Rahmen der Tagung BauSIM 2016, Dresden.
- [8] Stockinger, V. (2019): Wärme, Kälte und Strom im Quartier. In: Ökologisches Wirtschaften 03.2019 (34), S. 25–27. DOI 10.14512, Berlin.
- [9] Pesch, R.; Zeh, R.; Pietruschka, D.; Stockinger, V. (2018): Quervergleich oberflächennaher Geothermiesysteme in EnVisaGe Plus. Vortrag im Rahmen des Geothermiekongress (DGK) 2018, Essen.
- [10] Bertermann, D.; Wienke, J.; Müller, J.; Böck, S.; Lach, G.; Steinhäuser, H. (2019): Oberflächennahste Geothermiesysteme als Quelle für kalte Nahwärmenetze. In: bbr Leitungsbau | Brunnenbau | Geothermie 7-8/2019, S. 62–65, Bonn.

Autoren

Robin Zeh
 Dr. Volker Stockinger
 Hochschule für angewandte
 Wissenschaften München
 CENERGIE – Competence Center Energie-
 effiziente Gebäude und Quartiere
 Lothstr. 34
 80335 München
 Tel.: 089 1265-4288
 robin.zeh@hm.edu
 www.cenergie.hm.edu

Björn Ohlsen
 Dr. Volker Stockinger
 Energie PLUS Concept GmbH
 Am Weichselgarten 7
 91058 Erlangen
 Tel.: 09131 69135-0
 www.energie-plus-concept.de

