

Verbundvorhaben „ErdEis - Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie“

Prof. Dr. Volker Stockinger^{1,2}, Robin Zeh³, Björn Ohlsen¹, Victor Stäudinger³, Prof. Dr. John Grunewald⁴, Prof. Dr. Werner Jensch³

¹Energie PLUS Concept GmbH, www.energie-plus-concept.de

²Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, www.th-nuernberg.de

³Hochschule für angewandte Wissenschaften München, www.cenergie.hm.edu

⁴TU Dresden, Institut für Bauklimatik, www.tu-dresden.de/bu/architektur/ibk

Keywords: Monitoring, Kalte Nahwärme Netze, oberflächennahe Geothermie, Erdeisspeicher, Sandwichkollektoren

Zusammenfassung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsvorhabens „+EINS – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut“ (FKZ: 0327431R) wurde die bis 2011 errichtete Plusenergiesiedlung „Ludmilla Wohnpark“ in Landshut von 2010 bis 2014 wissenschaftlich begleitet. Umgeben von Mehrfamilienhäusern im Norden und Süden entstanden im Zentrum der Siedlung 13 Einfamilienhäuser, welche jeweils mit oberflächennahsten Erdwärmekollektoren und einer Wärmepumpe versorgt werden (siehe Abbildung 1).



Abb. 1: Luftbild Ludmilla-Wohnpark in Landshut mit den Einfamilienhäusern auf der rechten Bildseite (Bildquelle: Ludmilla-Wohnbau GmbH)

Die Kollektoren sind aufgrund der engen Platzverhältnisse zum großen Teil doppelagig übereinander angeordnet (Sandwichbauweise). Für alle Gebäude ist zudem ein Monitoring eingerichtet, um die Anlagentechnik zu überwachen und auszuwerten. Bei zwei Gebäuden sind die Erdwärmekollektoren, anstelle der Sandwichbauweise, in acht unterschiedlichen Verlegevarianten eingebracht worden. Dadurch soll untersucht werden, welche Einflüsse der Verlege-Abstand, die Einbaurichtung (horizontal, vertikal), das Bettungsmaterial sowie der Grundwassereinfluss auf die Leistungsfähigkeit der Erdwärmekollektoren haben. Speziell hierfür wurde ein umfangreiches „Messfeld oberflächennahe Geothermie“ eingebracht, um das Verhalten des Erdreichs sowie die Effizienz der WP zu analysieren. Im Rahmen des Anschlussvorhabens „ErdEis - Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie“ (FKZ: 03ET1382B) erfolgte bis zum 31.03.2019 die Auswertung der erhobenen Messdaten.

Die Auswertung der Messdaten des Ludmilla-Wohnpark ergeben, dass Erdwärmekollektoren in Sandwichbauweise am untersuchten Standort eine wirtschaftliche und effiziente Alternative zu herkömmlichen Bauweisen darstellen. Der Flächenbedarf, der häufig limitierende Faktor für oberflächennahe Erdwärmekollektoren, konnte durch die Einbringung signifikant reduziert werden. Der Kollektor in der oberen Ebene ist auf Grund der auf die Erdoberfläche einwirkenden Umwelteinflüsse (Sonneneinstrahlung und Niederschlag) sehr leistungsfähig und kann vollständig regeneriert werden. Die untere Kollektorebene kann durch die dort vorherrschenden Grundwasserverhältnisse (Grundwasserstand nahe der unteren Kollektorebene mit einer ausreichenden Fließgeschwindigkeit) die darin enthaltende Wärmeenergie nutzen. Dadurch reduziert sich der Platzbedarf für horizontale Erdwärmekollektoren, gegenüber dem in der VDI 4640-2 (2019) empfohlenen Platzbedarf, um **bis zu 50%**. Es ergibt sich ein spezifischer Flächenwert von 7,5 bis 15 m² Gartenfläche pro kW Heizleistung, gegenüber den empfohlenen 20 bis 40 m²/kW. Die Messauswertungen zeigen somit, dass die zweilagige Bauweise erhebliche Platzersparnisse ermöglicht und die Wärmepumpen-Anlagen dabei nicht negativ beeinflusst werden.

Abschließend wurde das Wärmespeicherpotential des Erdreichs zwischen den Kollektorebenen als möglichen Erdeisspeicher untersucht. Dieser soll zukünftig als Wärmequelle im urbanen Raum für Wohngebäude sowie Kalte Nahwärmenetze dienen. Verschiedenste Untersuchungen zum Vereisungspotential des Erdreichs sowie Methoden zur Berechnung des Erdaushubs und den damit verbundenen Baukosten wurden erarbeitet. Abschließend wurde ein Mess- und Regelungskonzept erstellt, mit dem ein Erdeisspeicher in ein Kaltes Nahwärmenetz integriert werden kann. Alle Erkenntnisse fließen in das im März 2019 gestartete Anschlussvorhaben „ErdEis II“ (FKZ: 03ET1634A-E) ein, bei dem zwei Erdeisspeicher in unterschiedlichen Aufbauten in einem Kalten Nahwärmenetz in Schleswig umgesetzt werden.

1. Einleitung – Niedertemperaturwärme

Der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung schreitet mit Photovoltaik und Windkraft in Deutschland unaufhaltsam voran. Die erneuerbare Wärmeerzeugung wurde dabei in der Vergangenheit häufig hintengestellt, obwohl die Wärmeerzeugung für private Haushalte ca. 21 % des gesamten Endenergieverbrauchs Deutschlands ausmacht [Umwelt Bundesamt, 2019].

Bei der Erzeugung von Heiz- und Brauchwarmwasserwärme wurde im letzten Jahrhundert verstärkt die Cogeneration von Strom und Wärme in den Vordergrund gestellt. Die ohnehin für die Stromerzeugung in Kraftwerken entstehende Abwärme wird durch Fernwärmeleitungen in angrenzende Stadtgebiete geleitet. Das Temperaturniveau sank hierbei in den letzten 100 Jahren von etwa 200 °C heißem Dampf auf unter 100 °C warmes Wasser ab, wobei gleichzeitig die Verteileffizienz, durch verbesserte Dämmung der Rohrleitungen, zunahm. Beide Maßnahmen führten zu einer erheblichen Reduzierung der Wärmeverteilverluste [Lund et al., 2014]. Da jedoch der Trend der Strom- und Wärmeerzeugung im 21ten Jahrhundert von den regenerativen Energieträgern und

stetigen Effizienzverbesserungen vorgegeben wird, werden zentrale Kraftwerksparks vermehrt von dezentralen Lösungen der Strom- und Wärmeerzeugung abgelöst. Strom kann derzeit regenerativ aus Photovoltaik, Windkraft, tiefer Geothermie, Wasserkraft oder Biomasse erzeugt werden. Regenerative Wärme wird hauptsächlich aus Solarthermie, oberflächennaher Geothermie und Biomasse gewonnen. Der stetig anhaltende Trend zur Verbesserung der Gebäude und der damit einhergehenden Reduzierung der Wärmeverbräuche lässt die Wärmeverluste von Nah- und Fernwärmenetzen immer mehr in den Fokus der Effizienzbemühungen rücken. Die weitere Absenkung des Temperaturniveaus in den Wärmenetzen führt zwangsläufig zu einer immer effizienter werdenden Wärmeverteilung und ermöglicht die Erschließung weiterer Potentiale aus erneuerbaren Energiequellen.

Um geothermische Wärmeenergie für engbebaute und urbane Wohngebiete erschließen zu können, werden derzeit sogenannte Erdeisspeicher entwickelt. Sie dienen der kompakten Versorgung von Wärme und Kälte für Einfamilienhäuser (EFH) bis hin zu Wohn- und Gewerbesiedlungen. Die Wärme wird hierbei als Kalte Nahwärme auf einem Temperaturniveau von unter 0 °C bis etwa 20 °C verteilt. Ein Erdeisspeicher besteht aus eng verlegten Erdwärmekollektormatten im Erdreich. Durch den reduzierten Abstand der Kollektoren vermindert sich der Platzbedarf und dem Erdreich kann mehr Energie gegenüber herkömmlichen Verlegevarianten entzogen werden. Die Vereisung des in den Kapillaren des Erdreichs gespeicherten Wassers führt zur Ausnutzung des latenten Wärmepotentials, was die nutzbare Energiemenge erhöht. Dies wird beispielsweise ebenfalls bei Eisspeichern ausgenutzt. Der Vorteil liegt jedoch im Erdreich selbst. Der Wärmeeintrag durch die Oberfläche in Form von Sonneneinstrahlung und Niederschlag führt neben der Erhöhung der Leistungsfähigkeit zur Regeneration des Erdeisspeichers in den Sommermonaten. Ebenfalls kann durch die gleichzeitige Nutzung von Wärme- und Kälteenergie in den Sommermonaten der Speicher regeneriert werden.

Der Erdeisspeicher kann direkt an ein Wohngebäude oder durch ein Kaltes Nahwärmenetz (KNW-Netz) mit den Wohngebäuden verbunden werden. Das Temperaturniveau der Verteilung liegt hierbei im Bereich der umgebenden Erdreichtemperatur, wodurch keine Wärmeverluste mehr auftreten können – vielmehr erfolgt eine Gewinnung von Wärme über das Netz. Das Wärmeverteilnetz kann somit als erweiterter Erdwärmekollektor verstanden werden, der neben der Wärmeverteilung auch die Wärmeerzeugung adressiert [Zeh et al., 2018]. Beim Endnutzer wird anschließend die Wärmeenergie aus dem KNW-Netz mithilfe einer Wärmepumpe (WP) auf das jeweils benötigte Temperaturniveau von Heizung und Brauchwarmwasser angehoben. Typische Werte für Jahresarbeitszahlen (JAZ) der WP liegen zwischen 3,5 und 4,5 [Miara, et al. 2011], [Pesch, et al. 2018], das heißt, es können 3,5 bis 4,5 kWh Wärme je kWh eingesetzter elektrischer Energie zur Verfügung gestellt werden.

Im Forschungsvorhaben ErdEis wurden erstmals im urbanen Raum installierte oberflächennahe Geothermiekollektoren unter realen Bedingungen wissenschaftlich untersucht. Neben dem Verhalten des Erdreichs wurde vor allem die Effizienz des Systems anhand der Wärmepumpen sowie deren Flächeneffizienz durch verschiedene Verlegevarianten ermittelt.

2. Ausgangssituation: „+EINS – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut“

Im Rahmen von „+EINS“ wurden, wie bereits erwähnt, die 13 EFH im Ludmilla Wohnpark (LWP) in Landshut mit oberflächennahen Erdwärmekollektoren (EWK) und jeweils einer Wärmepumpe ausgestattet. Die Kollektoren sind aufgrund der engen Platzverhältnisse zum großen Teil doppelagig übereinander (in Sandwichbauweise) angeordnet. Für alle Gebäude ist zudem ein Monitoring eingerichtet, um die Anlagentechnik zu überwachen und auszuwerten. Bei zwei Gebäuden sind die EWK, anstelle der Sandwichbauweise, in acht unterschiedlichen Verlegevarianten eingebracht worden. Dadurch soll untersucht werden, welche Einflüsse der Verlege-Abstand, die Einbaueinrichtung (horizontal, vertikal), das Bettungsmaterial sowie der Grundwassereinfluss auf die Leistungsfähigkeit

der EWK haben. Speziell hierfür wurde ein umfangreiches „Messfeld oberflächennahe Geothermie“ eingerichtet, um das Verhalten des Erdreichs sowie die Effizienz der WP zu analysieren.

In Abbildung 2 ist das „Messfeld oberflächennahe Geothermie“ schematisch dargestellt. Zu sehen ist die Lage der Kollektoren (unter Gebäuden oder frei) sowie die Einbringvariante (horizontal oder vertikal). Ebenfalls lassen sich unterschiedliche Kollektormattenabstände der vertikalen Einbringvarianten qualitativ erahnen.

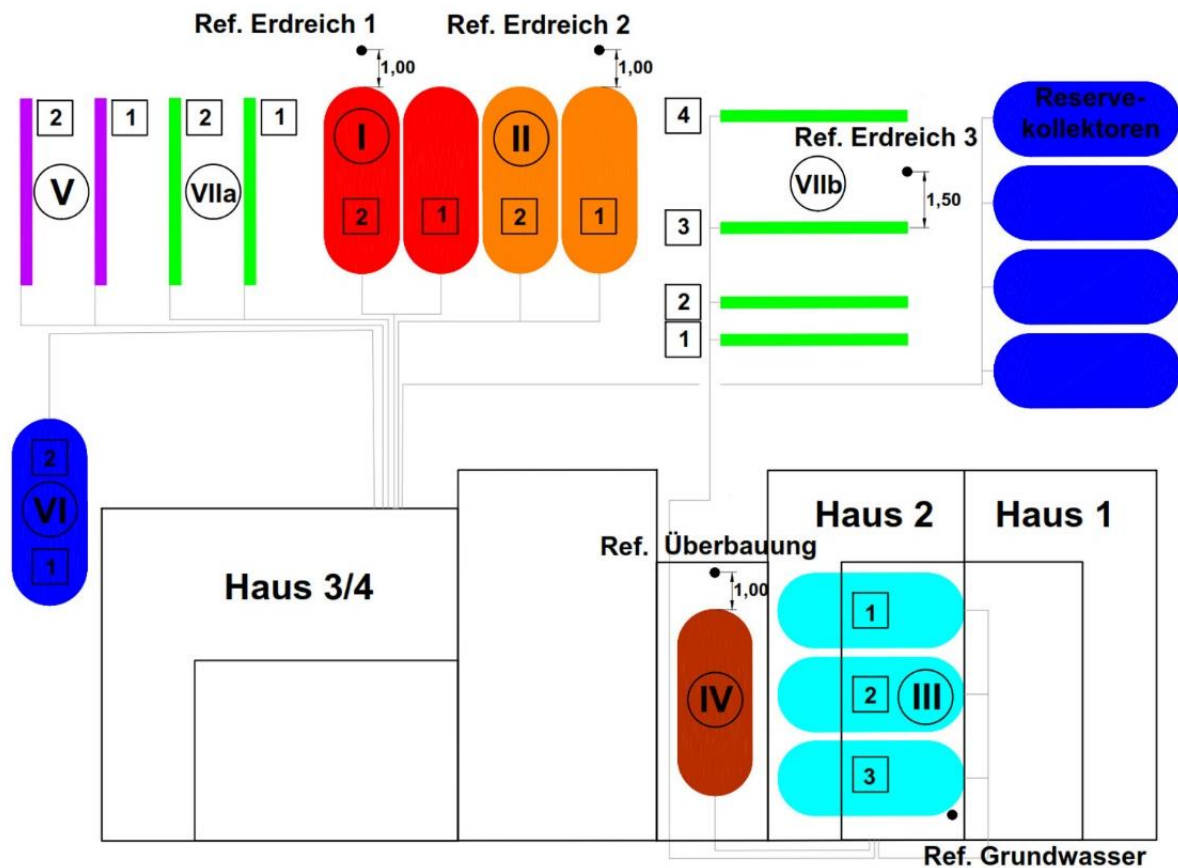


Abb. 2: Übersicht Kollektoranordnung im Ludmilla-Wohnpark in Landshut.

Die Beschreibung der unterschiedlichen Varianten ist in der nachfolgenden Tabelle 1 erläutert.

Tabelle 1: Erläuterung der Einbringvarianten des Messfeldes oberflächennahe Geothermie

Variante	Einbringung	Besonderheit
I	horizontale Einbringung in 1,5 m Tiefe	Einbau im Sandbett
II	horizontale Einbringung in 1,5 m Tiefe	Einbau ohne Sandbett
III	horizontale Einbringung in 3,5 m Tiefe	Einbau unter dem Gebäude in Grundwassernähe
IV	horizontale Einbringung in 1,5 m Tiefe	Einbau unter der Garage
V	vertikale Einbringung in 1,5 bis 3,5 m Tiefe	mit Möglichkeit zur Bewässerung
VI	horizontale Einbringung in 1,5 und 3,5 m Tiefe	Sandwichkollektor
VIIa	vertikale Einbringung in 1,5 bis 3,5 m Tiefe	2 m Abstand zwischen den EWK
VIIb	vertikale Einbringung in 1,5 bis 3,5 m Tiefe	verschiedene Abstände von 1 bis 3 m Abstand

Die Varianten I und II wurden in, für oberflächennahe Geothermiesysteme standardmäßiger nicht überbauter Lage unterhalb der Frostgrenze in 1,50 m Tiefe verlegt. Mit Variante VI wurden EWK in Sandwichbauweise getestet. In dieser Anordnung wurden die EWK für die elf weiteren Gebäude des LWP errichtet. Das bauausführende Unternehmen ordnete hierfür zwei EWK exakt übereinander an, den oberen in 1,50 m Tiefe, den unteren grundwassernah. Mit den Varianten VIIa und VIIb wurde der Einfluss des Verlege-Abstandes von vertikalen EWK untersucht. Mit den beiden Varianten III und IV wurde der Einfluss der Kollektorüberbauung durch ein Wohngebäude und eine Garage untersucht.

Alle Kollektoren dieser acht Varianten wurden im Rahmen des „Messfeld oberflächennahe Geothermie“ mit Temperaturmessfühlern ausgestattet. Dabei wurde besonders Wert daraufgelegt, sowohl die Temperaturen an verschiedenen Stellen des Kollektors als auch im umgebenden Erdreich messen zu können. In Abbildung 3 und 4 sind beispielhaft für Variante I und VIIb die Messkonzepte dargestellt. Bei Variante VIIb galt ein besonderes Augenmerk auf dem Einfluss des Kollektorabstandes zueinander, deshalb wurde dort verstärkt das Erdreich thermisch beobachtet.

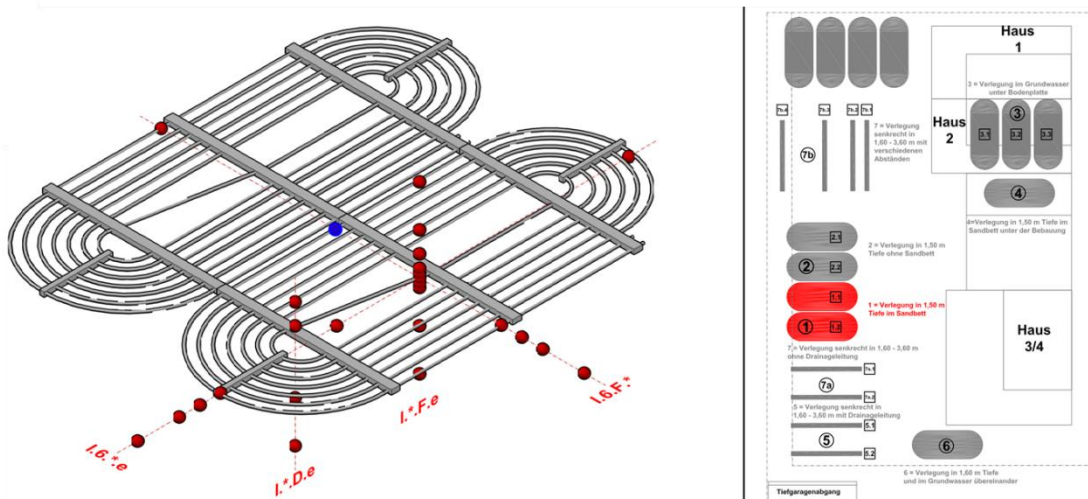


Abb. 3: Beispielhafte Darstellung des Messkonzeptes für horizontale Erdwärmekollektoren

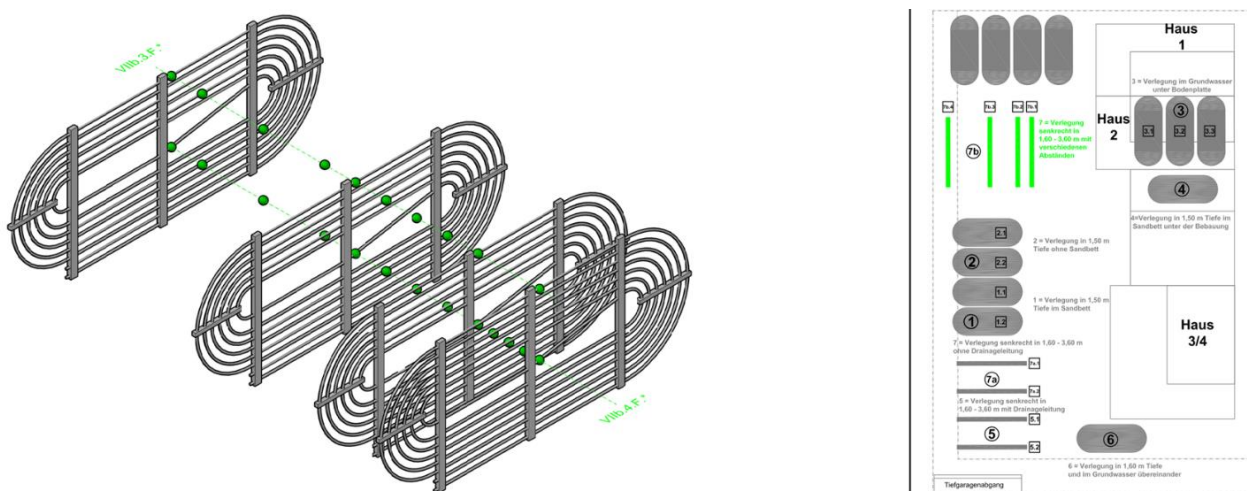


Abb. 4: Beispielhafte Darstellung des Messkonzeptes für vertikale Erdwärmekollektoren

3. Ergebnisse: „ErdEis – Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie“

Im Anschlussvorhaben „ErdEis“ wurde das „Messfeld oberflächennahe Geothermie“ erweitert und bis zum 31.03.2019 erfolgte das Monitoring der Sandwichkollektoren sowie die Auswertung und Interpretation der gesammelten Daten.

Die Auswertung der im „Messfeld oberflächennahe Geothermie“ gesammelten Messdaten zeigt, dass die beiden überbauten Varianten III und IV eine unerwartet gute Performance aufweisen und das, obwohl Variante IV nicht im Grundwasser liegt. Dies bedeutet, dass die Umwelteinflüsse in den Wintermonaten einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtpformance und Leistungsfähigkeit von Erdwärmesystemen haben. 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. Es ergibt sich ein durchschnittlicher Wert **pro Erdwärmekollektormatte von 75 – 80 kWh/m²a**.

Des Weiteren wurden die aus dem Monitoring ermittelten Messdaten der EFH (Heizbedarf, JAZ0, Kollektorfläche, thermische Leistung der WP) mit der im Juni 2019 aktualisierten Richtlinie 4640-2 des Vereins Deutscher Ingenieure verglichen [VDI 4640-2, 2019]. Mithilfe der Daten wurde die durch die Richtlinie empfohlene Kollektorfläche ermittelt. Dabei wurden der VDI Werte für eine Entzugsleistung von 34 W/m² und einer Entzugsarbeit von 61 kWh/m²a entnommen (für Klimazone 13, wassergesättigten sandigen Ton und Kapillarrohrmatten). Aus diesen Werten wurden sowohl die Mindestfläche aus der Entzugsleistung als auch die Mindestfläche aus der Entzugsenergie berechnet. Da beide Mindestflächen Grenzwerte darstellen, ist die größere Fläche zu wählen. In Diagramm 1 ist der Flächenbedarf der Erdwärmekollektoren in Sandwichanordnung verglichen mit der empfohlenen Größe dargestellt. Die von der VDI empfohlene Kollektorgröße entspricht hierbei dem Wert 100 %.

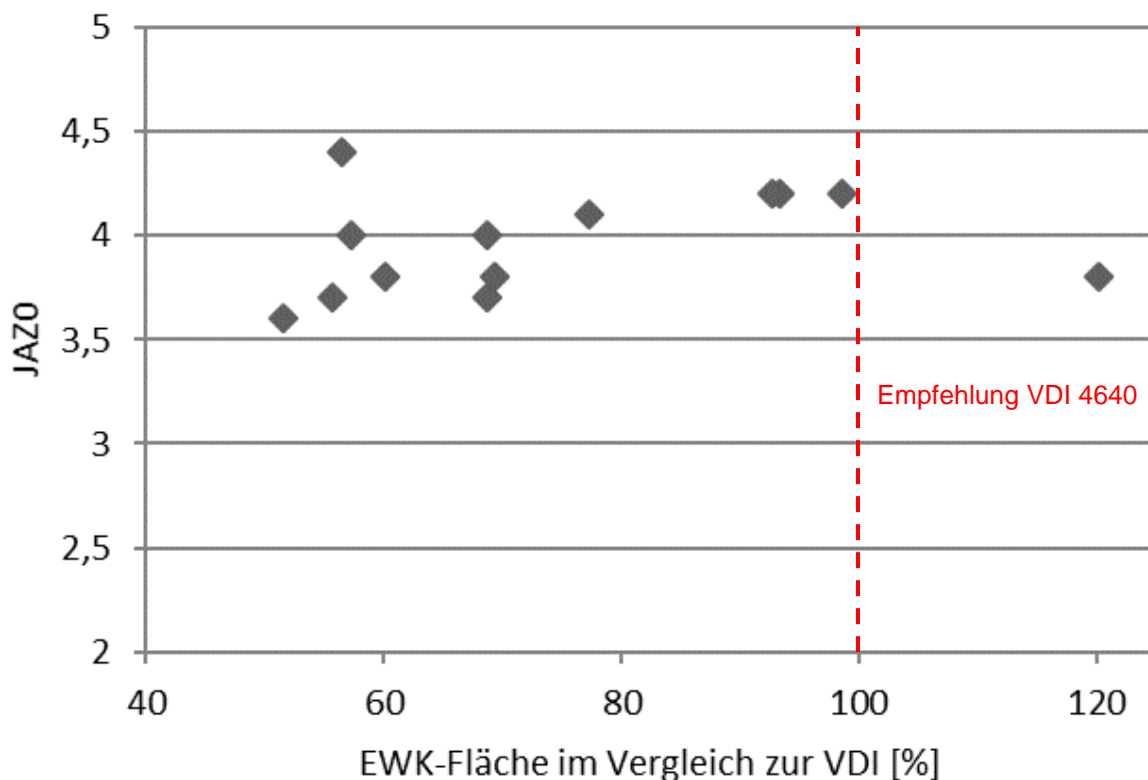


Diagramm 1: Vergleich der Kollektorfläche der Anlagen im Vergleich zur VDI

Es lässt sich aus dem Diagramm entnehmen, 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 WP mit akzeptablen Arbeitszahlen ($JAZ0 > 3,5$) betrieben. Damit können die Erkenntnisse von [Hirsch, et.al. 2016] 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. Vielmehr befinden sich die in Landshut betrachteten Anlagen im unteren Bereich der von [Ramming, 2007] genannten Spannweite von 20 - 40 m^2/kW Heizleistung. Diese Aussage kann mittels der durchgeführten Untersuchungen an den Anlagen des LWP und weiteren Kundenanlagen der Firma Steinhäuser, wie in Diagramm 2 dargestellt, weiter bestätigt werden.

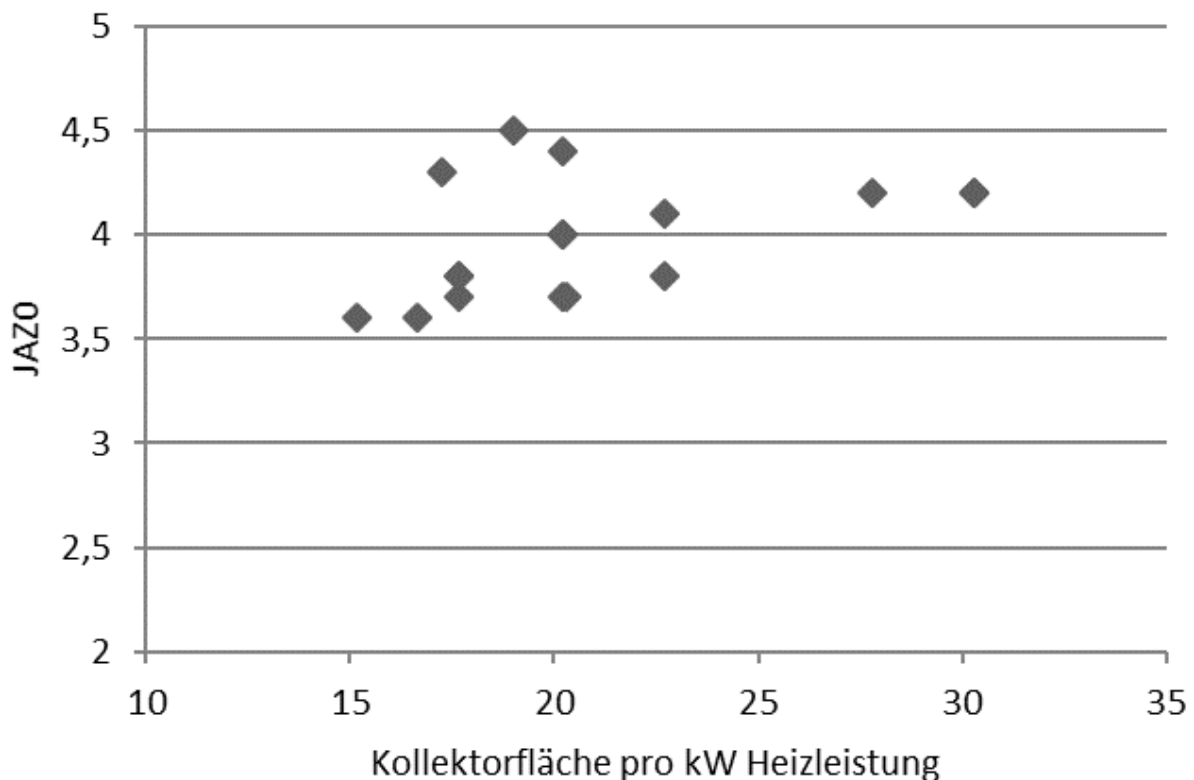


Diagramm 2: Kollektorfläche pro kW Heizleistung im Verhältnis zur JAZ0

Im Forschungsvorhaben wurde zusätzlich das mögliche Potential sogenannter Erdeisspeicher (EES) 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 Wassers eine große Energiemenge bereitgestellt. Der EES kann dadurch mit einem geringeren Flächenbedarf dimensioniert werden als eine vergleichbare Großkollektoranlage. Aufgrund dieser Tatsache könnten EES auch im urbanen Raum eingesetzt werden, wo sonst keine ausreichende Versorgung mit oberflächennahester Geothermie möglich wäre.

EES können hierbei, bezüglich ihrer Bauweise, in verschiedene Speichertypen eingeteilt werden. Behälterlose EES sind vergleichbar mit sehr eng geschichteten Sandwichkollektoren. Es werden keine weiteren baulichen Maßnahmen zur Abgrenzung des Speichers mit seiner Umwelt getroffen. Die ausgehobene Baugrube kann nach Bedarf mit einem Speichermaterial (z. B. Kies) aufgefüllt werden. Erdbecken-EES sind durch eine zusätzliche Kunststoffolie vom unberührten Erdreich abgetrennt, um für den Wärmeentzug nützliche Anpassungen in der Erdreichsfeuchte zu bewirken.

Das Speichermedium kann ebenfalls angepasst werden. Die bautechnisch aufwendigste Form stellt der Behälter-EES dar, für den ein Betonbehälter mit dichtgepackten Erdwärmekollektoren errichtet wird. In Abbildung 5 sind die drei Speichertypen dargestellt.

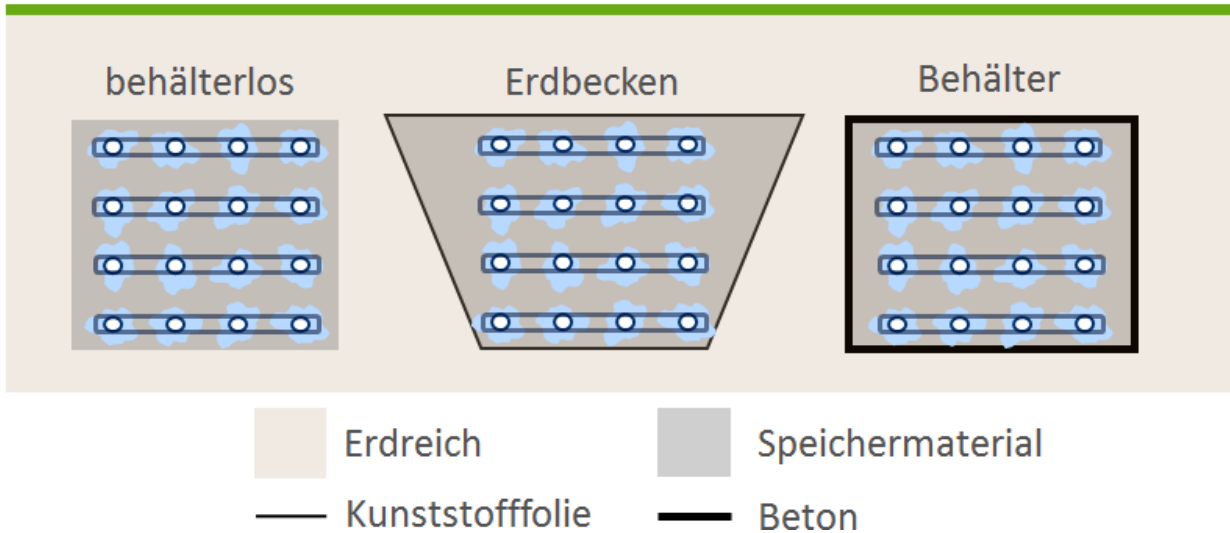


Abb. 5: Erdeisspeicher – Darstellung der verschiedenen Speichertypen

Neben verschiedenen Speichertypen wurden auch unterschiedliche Möglichkeiten der Einbringung für EES untersucht. Die Erdwärmekollektoren können zum einen durch Ausbaggern des kompletten Speichervolumens und des Erdreichs darüber errichtet werden. Sie können aber auch vertikal mit deutlich weniger Erdaushub eingebracht werden. Dafür werden mit einer Fräse etwa 3 m tiefe Schlitzte in den Boden gefräst, die Kollektoren eingesetzt und die Gräben wieder verfüllt. Beide Einbringungsvarianten sind in Abbildung 6 dargestellt. Die dunkel hinterlegten Flächen symbolisieren hierbei die notwendigen Erdarbeiten.

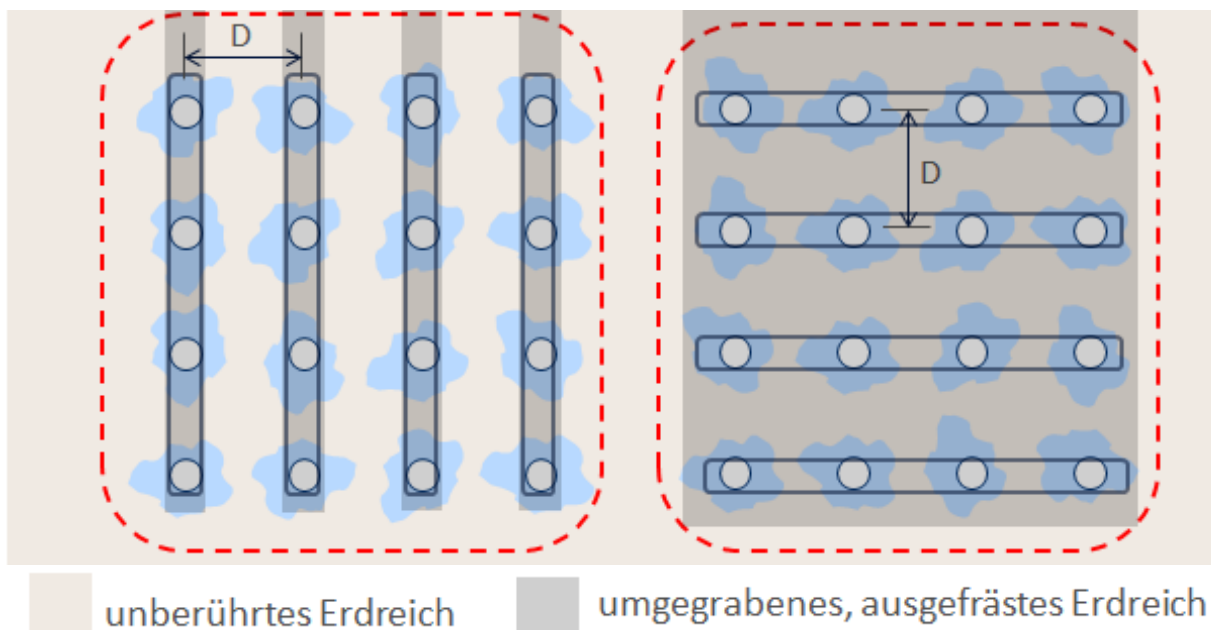


Abb. 6: Erdeisspeicher - Einbringungsarten

Je nach Bodentyp und Speichervariante werden verschiedene Einbringvarianten bevorzugt. Der Einsatz einer leistungsstarken Erdfräse führt zu Zeitersparnissen während des Baus. Zusätzlich muss deutlich weniger ausgebaggertes Erdreich an einem geeigneten Ort zwischengelagert werden. Auf Baustellen mit wenig Platz kann das ein entscheidender Vorteil sein.

In ErdEis zeigte sich, dass die oberflächennahe Geothermie immer noch ein schlafender Riese der Energiewende ist. Alleine in Bayern würde das theoretische Potential oberflächennaher Geothermie ausreichen, um 240 Mio. Einfamilienhäuser mit Wärme zu versorgen [Schüle, 2018]. Um im urbanen Raum eine attraktive Lösung darzustellen, muss der Flächenbedarf sinken. Erdwärmekollektoren wie sie im Ludmilla Wohnpark Anwendung finden, bieten hierfür bereits ein hohes Wärmepotential. Ist der Platz weiterhin begrenzt, können Erdeisspeicher die mögliche Antwort sein. Aufgrund dessen wurde ein Anschlussforschungsvorhaben beantragt, um die primär theoretisch untersuchten Möglichkeiten in einem „Reallabor“ umzusetzen und in der Praxis wissenschaftlich zu untersuchen.

4. Ausblick: „ErdEis II – Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie“

Das Anschlussvorhaben „ErdEis II“ wurde vom Projektträger Jülich und dem BMWi zum 01.03.2019 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 zwei EES-Varianten in einem realen Bauvorhaben umgesetzt. Mit dem Pilotvorhaben soll die wirtschaftliche und technische Umsetzbarkeit der in „ErdEis“ untersuchten Technologie nachgewiesen werden. Damit wird ein Beitrag zur emissionsfreien, regenerativen Wärmeversorgung im urbanen Raum in Deutschland geleistet.

In Kombination mit dem kalten Nahwärmenetz dient der EES als Wärme- und Kältequelle für WP zur Versorgung der geplanten Gebäude. Der EES soll in der Heizperiode so weit ausgekühlt werden, dass bis in die Sommermonate Kälteenergie bereitgestellt werden kann. Ohne die effiziente Gebäudekühlung durch den Erdeisspeicher müssten die energetisch hocheffizienten Neubauten auf dezentrale aktive Kühlsysteme zurückgreifen. Die Abgrenzung und vor allem der Vorteil gegenüber Eisspeichern liegt in der stärkeren Ausnutzung der direkten natürlichen Regeneration durch Umwelteinflüsse (Sonneneinstrahlung und Niederschlag). Dadurch wird Umweltwärme von der Erdoberfläche durch Versickern direkt zum Erdeisspeicher transportiert. Ebenfalls werden von der kompakten Erdreichseinbringung wirtschaftliche Vorteile gegenüber konventionellen Eisspeichern erwartet.

Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der großtechnischen Umsetzung von zwei EES zur Wärme- und Kälteversorgung eines Quartieres, um unterschiedlichste Einsatzszenarien untersuchen zu können. Hier spielt auch die Verteilung der Wärme/Kälte mit Hilfe eines KNW-Netzes aufgrund der komplexen hydraulischen Einbindung verschiedenster Quellen und Senken (z. B. PVT-Module) eine entscheidende Rolle. Um die Betriebsweise des EES vollumfänglich erfassen zu können, wird außerdem ein geothermisches Messfeld im Erdreich implementiert. Dies ermöglicht den Vergleich des EES mit Geothermiemessfeldern aus anderen Forschungsprojekten.

4. Quellenangaben

Hirsch, H, et al.: Modellierung oberflächennaher Erdwärmeübertrager für Systemsimulationen in TRNSYS. BauSim. (2016)

Lund H, et al.: 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, Energy 68 (2014) 1-11. (2014)

Miara, M., et al.: Wärmepumpen Effizienz: Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb. Freiburg. (2011)

Pesch, R, et al.: Quervergleich oberflächennaher Geothermiesysteme in EnVisaGePlus. Paper und Vortrag im Rahmen des Geothermiekongress (DGK). Essen. (2018)

Ramming, C.: Bewertung und Optimierung oberflächennaher Erdwärmekollektoren für verschiedene Lastfälle, Dissertation, Dresden, Technische Universität Dresden, Maschinenwesen (2007)

Schüle, S.: Die Abschätzung des nutzbaren Potentials der oberflächennahen Geothermie in Bayern, Bachelorarbeit, München, Technische Universität München (2018)

Umwelt Bundesamt: Wärme aus erneuerbaren Energien, [Online] Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren> [zuletzt abgerufen am 30.07.2019]. (2019)

VDI 4640-2: Verein Deutscher Ingenieure. VDI 4640-20:2019-06. Thermische Nutzung des Untergrunds-Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. Juni (2019)

Zeh, R & Stockinger, V. Kalte Nahwärme - Wärme- und Kälteversorgung der Zukunft für Quartiere. Ingenieur Spiegel, 2018(1), Seite 24-26. Bingen am Rhein. (2018)

Energie PLUS Concept GmbH, Am Weichselgarten 7, 91058 Erlangen
v.stockinger@energie-plus-concept.de