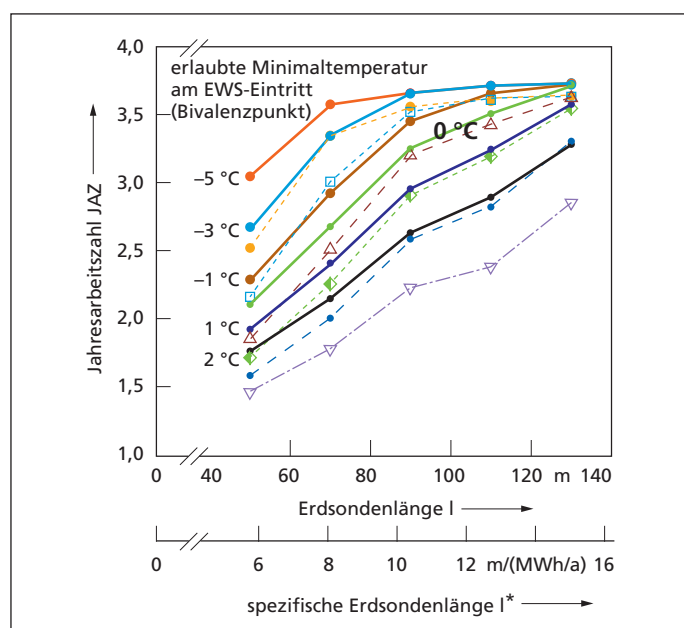
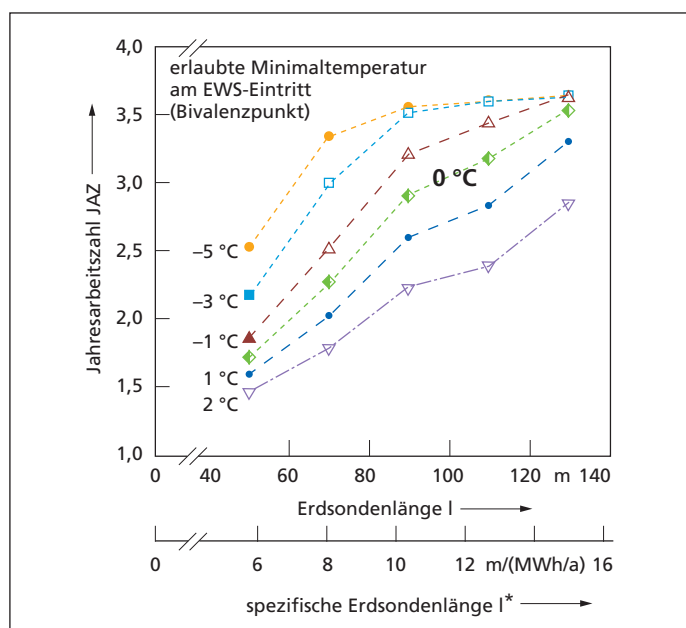


Mit Solarkollektoren Effizienz von Wärmepumpen verbessern

Wilhelm Wilming

Die Kombination von Wärmepumpen mit Solarkollektoren findet in den letzten Jahren zunehmende Verbreitung. Solarthermie-Anlagen können z. B. in einer Wärmepumpen-anlage die Trinkwasserbereitung übernehmen, als Wärmequelle für die Wärmepumpe dienen oder eine Erdwärmequelle regenerieren.



Simulierte Jahresarbeitszahlen für verschiedene Bivalenztemperaturen (erlaubte Minimaltemperaturen am EWS-Eintritt)
1 (links) – konventionelles System (Referenzanlage); 2 (rechts) – mit solarer Regeneration

„Hocheffiziente elektrische Wärmepumpensysteme sind ein zentraler Baustein der zukünftigen erneuerbaren Wärmeversorgung. Sie ermöglichen aus einem Teil regenerativ erzeugten Stroms ein Mehrfaches an Wärme bereitzustellen. Dabei spielt die Effizienz eine wichtige Rolle, denn auch die regenerativen Energiequellen sind kostenbehaftet und ein zusätzlicher (winterlicher) Strombedarf kann bei entsprechender Verbreitung eine aufwändige Netzreserve verlangen“, betonte Dipl.-Ing. Erik Bertram. Er und seine Kollegen Dipl.-Ing. Peter Pärish und Dipl.-Ing. Rainer Tepe vom Institut für Solarenergieforschung Hameln GmbH (ISFH) berichteten im März dieses Jahres auf dem 12. Internationalen Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“ in Neumarkt in der Oberpfalz über Systemkonzepte zur Unterstützung von Wärmepumpen durch solarthermische Anlagen /1/. Die Untersuchungen liefen im Rahmen des Projekts „GeoSolar-WP“, gefördert von der EU und dem Land Niedersachsen.

Solare Unterstützung verbessert nicht in jedem Fall die Jahresarbeitszahl

Die Hamelner Forscher untersuchten fünf verschiedene Systemkonzepte mit Erdreichwärmepumpen, gekoppelt mit Solarkollek-

toren. Für die Berechnungen verwendeten sie das vielseitige Simulationsprogramm TRNSYS. Als Referenzsystem diente ein Konzept mit Erdwärmesonde (EWS) ohne solare Unterstützung. Die von Bertram präsentierten Ergebnisse des Konzeptvergleichs zeigen, kurz gefasst, folgendes Bild:

Das Konzept „Solar_TWW“ glänzt mit einer Systemjahresarbeitszahl (Speicherverluste eingerechnet) von fast 5. Es basiert auf einem 5 m² großen verglasten Flachkollektor, der auf der heißen Seite der Wärmepumpe Trinkwarmwasser bereitet. „In Kombination mit einer größeren Solarthermie-Anlage zur Heizungsunterstützung ist eine weitere Steigerung der Systemarbeitszahl zu erwarten“, erläuterte Bertram. Der vermutete Einfluss der passiven Entlastung der Erdwärmesonde (durch den verringerten Wärmeentzug aus dem Erdreich) sei jedoch vernachlässigbar klein. Die Solarenergienutzung über die Kollektoranlage berge also kein Potenzial zur Kürzung der EWS.

Das Konzept „Solare Regeneration“ führte laut Bertram und Kollegen nur zu einer kleinen Effizienzsteigerung in einer Größenordnung von etwa 0,1 in der Jahresarbeitszahl. In diesem Konzept kann ein 10 m² großer Kollektor ohne Abdeckung am Quellaustritt der Wärmepumpe betrieben werden. So regeneriert der Kollektor bei Sonneneinstrahlung die Erdreichwärmequelle. Die Kombination der Wärmequelle (EWS) mit einem kalten Quellspeicher, in der Arbeit der Hamelner Forscher als Konzept „QUSP“

Der Autor | Wilhelm Wilming, Ahaus

gekennzeichnet, habe die am Eintritt der EWS herrschende Minimaltemperatur um rund 1 K erhöht, kommentierte Bertram, er könne aber die Jahresarbeitszahl ohne eine leistungsfähige Solaranlage wohl nur unwesentlich anheben. „Der kalte Quellspeicher wird durch einen 10 m² großen Flachkollektor unterstützt“, erläutert Bertram weiter. „Das erlaubt zwar eine annähernd verlustfreie Speicherung von Solarwärme auf der Quellenseite und die aktive thermische Regeneration des Untergrunds“. Ein solches System sei aber nur theoretischer Natur, denn sinnvollerweise würde ein Flachkollektor seine Wärme hauptsächlich der heißen Nutzerseite abgeben.

Auch der solar unterstützte Wärmequellspeicher im Konzept „Quellspeicher“ führte laut Bertram nur zu einer kleinen Steigerung der Jahresarbeitszahl, etwa in der Größenordnung von ca. 0,1. Das Konzept sieht vor, dass zwischen Wärmepumpe und EWS ein 1 m³ Solefluid fassender kalter Wärmespeicher eingebaut ist. „Bei kürzeren Erdsonden bleibt die Arbeitszahl annähernd konstant und verringert sich erst bei einer Halbierung der EWS“, berichtete Bertram einen wesentlichen Aspekt des Konzepts. „Gleichzeitig erhöhen sich die Minimaltemperaturen am EWS-Eingang um fast 2 K gegenüber dem konventionellen Referenzsystem“.

Neben diesen Konzeptvergleichen haben Bertram und Kollegen auch die dynamische Modellierung der Erdwärmesonde verbessert. Hierbei wird in der Simulation die EWS mit einem Vorschaltrohr betrieben, um die thermischen Kapazitäten im Kurzzeitverhalten besser abzubilden. Im Ergebnis zeigte sich ein erhebliches Einsparpotenzial bei der Länge der EWS gegenüber typischen stationären Berechnungsmodellen, die diese Einflüsse zumeist nicht adäquat berücksichtigen. Weitere interessante Effekte zeigten sich an der Einsatzgrenze der EWS. In der Simulation haben die Forscher den Einsatzbereich durch einen elektrischen Heizstab begrenzt (Bivalenzpunkt) und variiert. Nach den Ergebnissen scheidet ein Betrieb mit Wasser beispielsweise aus, da ansonsten entweder schlechte Arbeitszahlen erreicht werden oder sehr lange Erdwärmesonden nötig sind. Die möglichen Konsequenzen zu diesen beiden Fällen der dynamischen EWS-Modellierung werden zurzeit noch diskutiert. Zu den Konzepten für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung zieht das For-

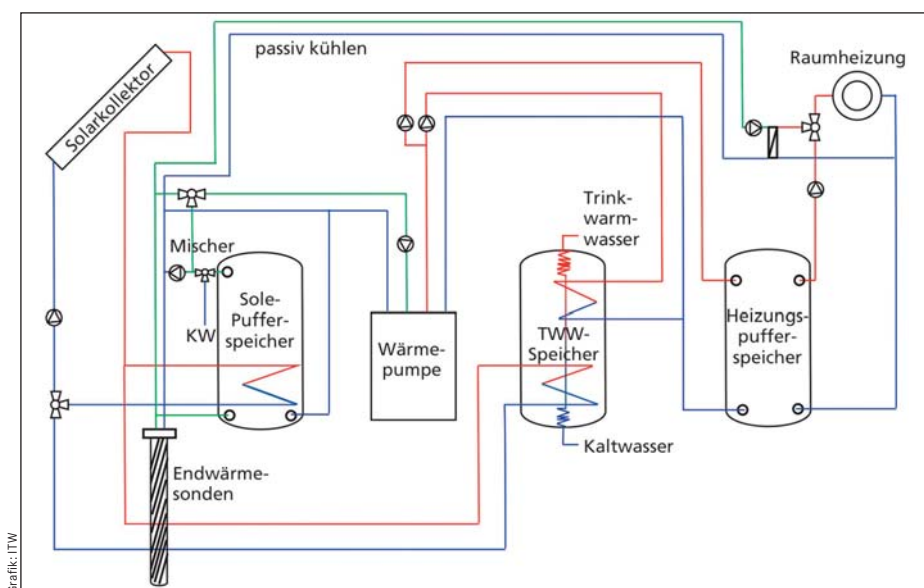
scherteam folgendes Fazit: „Es sind Jahresarbeitszahlen von 3,8 (ohne solare Unterstützung) und fast 5 mit solarer Trinkwarmwasserbereitung festgestellt worden. Aus dem Vergleich mit gemessenen Anlagen zeigen sich diese Ergebnisse als realistisch für gut funktionierende Systeme. Deutlich höhere JAZ-Angaben lassen sich unseres Erachtens nur unter deutlich günstigeren Bedingungen – zum Beispiel keine Trinkwarmwasserbereitung oder große Solaranlage – erzielen“.

Feldtests von Solarthermie-Wärmepumpenanlagen

Auf derselben Veranstaltung berichtete Frau Dr. Anja Loose vom Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart über Feldtests mit drei Wärmepumpenanlagen, die mit Solaranlagen und geothermischen Wärmequellen unterschiedlicher Ausführung kombiniert waren /2/. Frau Dr. Loose wies in ihrem Beitrag zunächst darauf hin, dass aus der Systemkopplung der beiden Technologien theoretisch eine Reihe von Synergieeffekten resultieren, die die Effizienz sowohl des solarthermischen Systems als auch der Wärmepumpe verbessern und somit potenziell zu höheren Systemjahresarbeitszahlen führen können. Allerdings gebe es bisher keine einheitlichen und objektiven Prüfverfahren und Beurteilungskriterien, sie würden aber zurzeit in einem europäischen Programm erarbeitet, woran auch das ITW mit dem Projekt WPSol beteiligt sei. „Ein zentraler Projektschwerpunkt ist neben Laborprüfungen und Simulationen ein Feldtest mit insgesamt sechs kombinierten Solarthermie-Wärmepumpenanlagen“, erklärte Frau Dr. Loose. Im Projekt WPSol würden u. a. drei Sole/Wasser-Wärmepumpen messtechnisch untersucht, und darüber wolle sie berichten.

Solar-Eisspeichersystem

Gleich die erste vorgestellte Anlage fand bei den Teilnehmern des Anwenderforums ungeteilte Aufmerksamkeit. Es handelte sich nämlich um ein so genanntes Solar-Eisspeichersystem, das auch auf Messen schon zahlreiche Besucher anlockte. Der eigentliche Speicher besteht in der Regel aus Beton, wird in der Erde vergraben und mit Wasser gefüllt. Im Feldtest des ITW – Eigenheim mit 175 m² zu beheizende Fläche, Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 6 kW Leistung – hat er ein Volumen von 12 m³ und



3 – Vereinfachtes Hydraulikschema der Anlage mit Erdwärmesonde und Solespeicher als Wärmequellen

dient als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Für die Erwärmung bzw. thermische Regenerierung sorgen zwei unverglaste Solar Kollektoren (Absorber) mit einer Gesamtfläche von 4 m². „Absorber haben den Vorteil, dass sie auch in Zeiten schwacher Einstrahlung oder nachts Wärme aus der Umgebungsluft aufnehmen können“, erläuterte Frau Dr. Loose die Besonderheit dieses Kollektortypen. Zusätzlich gehören zum vorgestellten System zwei konventionelle Flachkollektoren mit insgesamt 5 m² Fläche, die einen 220 l fassenden Trinkwarmwasser-Speicher mit Wärme versorgen. Die Messergebnisse zeigen für die Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl (SPF_{HP}) in Höhe von 4,24; die Systemjahresarbeitszahl SPF_{SHP+} hingegen liegt bei 3,20 (SPF nach IEA Task 44/Annex 38 /3/). Dieser relativ niedrige Wert sei auf den Anteil der elektrischen Hilfsenergie für Regler, Solarstation und Umwälzpumpen in diesem System zurückzuführen, wie Frau Dr. Loose erläuterte. „Das Solar-Eisspeichersystem erreichte über den Zeitraum des Jahres 2012 eine anteilige Energieeinspeisung von 54,6 Prozent, was bedeutet, dass im Vergleich zu einer mit einem fossilen Gaskessel betriebenen Anlage eine Primärenergie-Einsparung von knapp 55 Prozent erzielt wurde“, so Frau Dr. Loose weiter.

Erdwärmekörbe kombiniert mit Solardachpfannen

Die zweite Feldtestanlage, von der Frau Dr. Loose berichtete, beheizt ein Dreifamilienhaus in Bayern. Sie besteht aus einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit einer Leistung von 16 kW, vier Erdwärmekörben mit jeweils 1,5 kW Entzugsleistung und zwei 400 l-Pufferspeichern. Für den solaren Teil stehen 35 m² Solardachpfannen, die – fast unsichtbar – sowohl solare Einstrahlung einfangen als auch Wärme der Umgebungsluft absorbieren können. Der Betreiber hat die Möglichkeit, die eingesammelte Sonnenenergie entweder in die Speicher zu laden, als Wärmequelle für die Wärmepumpe zu nutzen oder ins Erdreich einzuspeisen, um die Wärmequelle zu generieren. Im Zeitraum von September bis Dezember 2012 haben die Projektmitarbeiter eine Jahresarbeitszahl (SPF_{HP}) in Höhe von 4,57 und eine Systemjahresarbeitszahl SPF_{SHP+} von 3,48 messen können. Der Kollektornutzungsgrad η_{col} lag bei 43,1 %.

Solar-Wärmepumpenanlage mit Sole-Pufferspeicher

Dass es auch komplex werden kann, zeigt die dritte Testanlage. Sie besteht aus einer normalen Solar-Wärmepumpenanlage mit

einem Sole-Pufferspeicher, der alternativ zur Erdwärmesonde Wärme liefern kann (Bild 3). Dieser zusätzliche Speicher wird solarthermisch erwärmt und dient als solare Heizungsunterstützung. Sein Vorteil liegt darin, dass er auch Solarwärme niedrigerer Temperatur nutzen und Wärme zur EWS-Generation liefern kann. „Zusätzlich kann noch eine passive Kühlung über die Erdwärmesonde erfolgen, wodurch das System allerdings sehr komplex wird“, berichtete Frau Dr. Loose den Teilnehmern des Anwenderforums. Die praktische Umsetzung dieser Heizungsanlage sei deshalb für die Installateure eine Herausforderung gewesen, weshalb sich der Beginn eines regulären Betriebs immer wieder verzögert habe und sie im Moment keine aussagekräftigen Daten vorlegen könne. Mittlerweile hat sie die aktuellsten Daten (Oktober 2012 bis Juni 2013) nachgeliefert: Der SPF_{HP} liegt bei 4,12, der SPF_{SHP+} bei 3,18 und η_{col} bei 43,31 %. „Diese Anlage ist aber nicht wirklich optimiert“, zeigt sich Frau Dr. Loose jetzt enttäuscht. „Sie ist so komplex, dass sich die Heizungsbauer mit der richtigen Einstellung der Regelung schwer tun“.

Fazit

Die gemessenen Jahresarbeitszahlen für die Wärmepumpen waren bei diesen im Feldtest untersuchten Solar-Wärmepumpenanlagen relativ hoch. Die Systemarbeitszahlen hingegen lagen deutlich niedriger, weil in ihnen ein höherer Anteil an elektrischer Hilfsenergie berücksichtigt werden muss. Die Projektmitarbeiter sind zuversichtlich, dass sie aufgrund der detaillierten Messungen eine Reihe von Optimierungsmaßnahmen für die einzelnen Anlagen identifizieren und Mängel abstellen können.



Literatur

- /1/ Bertram, E.; Pärish, P.; Tepe, R.: Solare Wärmepumpensysteme mit Erdwärmesonde – Konzeptvergleiche. Tagungsband 12. Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie. Neumarkt in der Oberpfalz, Deutschland, OTTI e. V., 2013
- /2/ Loose, A.; Drück, H.: Feldtest von drei kombinierten Solarthermie-Wärmepumpenanlagen mit geothermischen Wärmequellen. Tagungsband 12. Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie. Neumarkt in der Oberpfalz, Deutschland, OTTI e. V., 2013
- /3/ Pärish, P.; Malenkovic, I.; Hartl, M.; Bertram, E.; Tepe, R.; Rockendorf, G.: Effizienz oder Effektivität? Kennzahlen für die Bewertung von Solar-Wärmepumpensystemen. Tagungsband 23. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e. V. (OTTI), Regensburg 2013, http://www.isfh.de/institut_solarforschung/files/otti_st_2013_kennz.pdf