Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 133 (2007)
Heft: 22: Kühlen

Artikel: Kühlen mit Erdsonden
Autor: Dott, Ralf / Afjei, Thomas / Huber, Arthur
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-108126

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

KÜHLEN MIT ERDSONDEN

01

Wärmepumpenanlagen mit Erdwärmesonden können nicht nur zum Heizen und zur Warmwasserproduktion eingesetzt werden, sondern auch zur Gebäudekühlung. Dabei wird Wärme mit Hilfe der Fussbodenheizung aus dem Gebäude abgeführt. Im Forschungsprojekt «Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen» wurden Nutzen und Aufwand solcher Systeme untersucht.

Die Nutzung natürlicher Kältequellen geht meist mit sehr hohen Nutzungsgraden einher. Systeme, mit denen sowohl geheizt als auch gekühlt werden kann, versprechen ausserdem einen geringen Investitionsbedarf und können mit einer integrierten Regelung eine sehr gute Effizienz erreichen. Insbesondere bei Heizsystemen mit Niedertemperaturtechnik und Wärmepumpen wird die zusätzliche Nutzung der Kühlung immer interessanter.
Mit klassischen Heizwärmepumpensystemen sind dabei folgende Systemkonfigurationen für den effizienten Kühlbetrieb möglich: Die benötigte Kälte kann passiv aus dem Erdreich über Erdsonde, Erdkollektor oder aus der Grundwasserfassung einer Wärmepumpe gewonnen werden, oder die kühlere Umgebungsluft wird, z. B. in der Nacht, direkt genutzt. Die Wärmeaufnahme im Gebäude erfolgt über statische Flächen (Fussbodenheizung, Kühldecke oder Bauteilaktivierung) oder über Luft (Umluft oder Aussenluftzufuhr).
Im Rahmen des vom Bundesamt für Energie (BFE) in Auftrag gegebenen Forschungsprojektes «Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen» untersuchten die Autoren, wie sich Nutzen und Aufwand verhalten, wenn eine Wärmepumpenheizanlage mit Erdsonde mit einer zusätzlichen Kühlfunktion ausgestattet wird. Dabei fokussierte man die Untersuchung auf ein Wärmepumpenheizsystem mit Erdwärmesonde als Wärmequelle und einer Niedertemperatur-Fussbodenheizung als Wärme-/Kälteabgabesystem in einem mechanisch belüfteten Einfamilienhaus nach Minergie-Standard.
Von Interesse waren insbesondere Systemintegration und Dimensionierung, Leistungsfähigkeit, Einsatzgrenzen und Energieverbrauch sowie Regelung und erreichbare Behaglichkeit. Hier wird auf Ergebnisse zu Systemintegration, Energieeffizienz, Regelung und erreichter thermischer Behaglichkeit eingegangen.
Leistungsfähigkeit, Energieverbrauch, Regelung und thermische Behaglichkeit des Systems wurden im Projekt ausschliesslich mit Simulationen untersucht. Die Abbildung des Systemverhaltens der erdgekoppelten Wärmepumpe in Verbindung mit einer Niedertemperatur-Fussbodenheizung erfolgte mit getrennten Simulationen des thermischen Gebäude- und des Anlagenverhaltens. Die Abbildung des Gebäudeverhaltens inklusive der hydraulischen Wärmeverteilung erfolgte mit dem Programm Matlab/Simulink[1] mit der Toolbox CARNOT[2]. Für die Simulation der Erdsonde wurde das Programm EWS[3] verwendet. Grundlage für die Daten von Gebäudehülle und Bodenaufbau war ein reales, Minergie-zertifiziertes Einfamilienhaus (Bild 1), in dem in der Simulation eine Erdsonden-Wärmepumpe mit passiver Kühlfunktion eingesetzt wurde. Im ausgeführten Zustand hat das Gebäude keine Kühlung.

01 Dieses Minergie-Gebäude von Bircher & Keller AG Ingenieure und Architekten mit Niedertemperatur-Heizsystem in Gelterkinden (BL) diente als Basis für die theoretischen Simulationen einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage zum Heizen und Kühlen (Bild: Autoren)

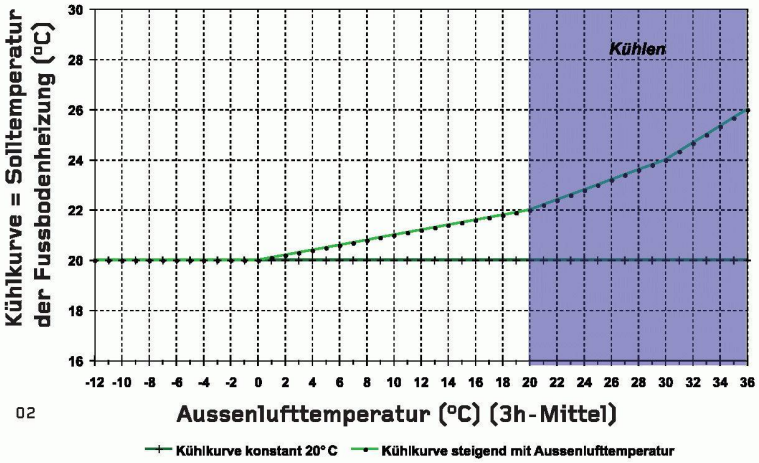
PASSIVER KÜHLBETRIEB BEWÄHRT SICH AM BESTEN

In einem ersten Schritt wurden die derzeit am Markt angebotenen hydraulischen Schaltungen analysiert. Dabei waren alle angebotenen Schaltungen funktionstüchtig. Die

Ergänzung einer Kühlfunktion zur klassischen Heizwärmepumpe wurde jedoch mit unterschiedlicher Komplexität umgesetzt. Überall wurden Erdsondenkreis und Fussbodenheizkreis hydraulisch getrennt. Dies ist sinnvoll wegen des meistverwendeten Frostschutzmittels im Erdsondenkreis. Jedoch ist auch eine direkte hydraulische Ankopplung möglich, wenn in den Erdwärmesonden reines Wasser als Wärmeträgermedium verwendet wird und die Sonden ca. ein Drittel grösser ausgelegt werden.
Es zeigte sich, dass sich ein einfach aufgebautes System mit Wärmepumpe und Erdsonde für den Heiz- oder Warmwasserbetrieb sowie passive Kühlung über die Sonde am besten bewährt (Bild 4). Beim passiven Kühlbetrieb fliesst die kühle Sondenflüssigkeit im Sommer durch die Rohre der Bodenheizung, wodurch Wärme aus dem Gebäude abgeführt wird. Der Kühlbetrieb mit gleichzeitiger Warmwassererzeugung lohnt sich dagegen im Vergleich zum Aufwand nicht. Dabei dient die Fussbodenheizung während der Warmwasserproduktion mit der Wärmepumpe als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Ein aktiver Betrieb der Wärmepumpe zur Kühlung ist aus Energieeffizienzgründen zu vermeiden.
Wichtig ist, dass der Wärmetauscher zwischen Erdsonde und Bodenheizung eine geringe Grädigkeit hat. Die Senkung des Temperaturverlustes in diesem Wärmetauscher (Grädigkeit) von 3 K auf 1 K erhöht im betrachteten Fall den Kühldeckungsgrad der passiven Erdsondenkühlung von 66 % auf 94 %. Zur maximalen Ausnutzung des Kühlpotenzials der Erdwärmesonde sollte weiterhin das Wärmeabgabesystem zum Raum (hier die Fussbodenheizung) auf eine geringe Temperaturdifferenz zwischen der Vorlauftemperatur und dem Raum ausgelegt sein. Im Projekt wurde eine Fussbodenheizung mit Selbstregeleffekt (Vorlauftemperatur im Heizfall < 30 °C) betrachtet. Somit kann auch mit höheren Austrittstemperaturen aus der Erdwärmesonde noch im passiven Kühlbetrieb gekühlt werden.

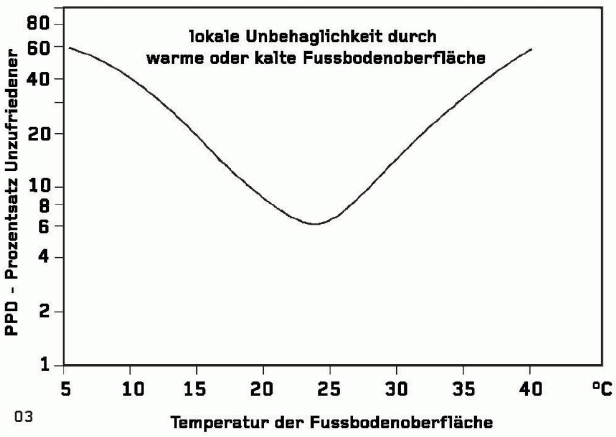
KÜHLKURVE DER AUSSENTEMPERATUR ANPASSEN

Für die Evaluation sinnvoller Regelstrategien wurden einerseits die Wirkung aussentemperaturabhängiger Kühlkurven und andererseits die Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlbetrieb untersucht. Die Wirkung aussentemperaturabhängiger Kühlkurven zeigt ein Vergleich zweier in Bild 2 dargestellter Kühlkurven. Eine einfache Kühlkurve mit konstant 20 °C als Solltemperatur für die Fussbodenheizung im Kühlfall wird einer mit der Aussenlufttemperatur steigenden Kühlkurve gegenübergestellt. Mit beiden Kühlkurven ergeben



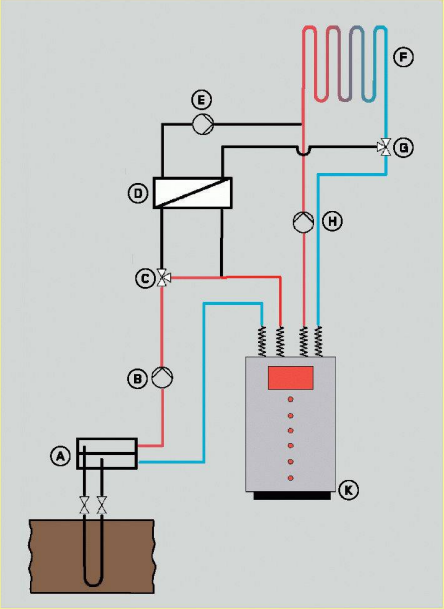
02

02 Zwei Kühlkurven für die Parametervariation der Regelung zum passiven Kühlen (Bild: Autoren)



03

03 Lokales Unbehagen durch warme oder kalte Oberflächentemperaturen des Fussbodens für beschuhte Füsse gemäss SN EN ISO 7730 (Bild: SN EN ISO 7730, adaptiert)



04

04 Vereinfachtes Anlagenschema zum Heizen und Kühlen mit erdgekoppelter Wärmepumpenanlage und Fussbodenheizung (Bild: Viessmann)
A z. B Erdsonde
B Primärpumpe
C 3-Wege-Umschaltventil Heizung / Kühlung (Primärkreis)
D Wärmetauscher Kühlung
E Umwälzpumpe Kühlung
F Fussbodenheizung
G 3-Wege-Umschaltventil Heizung / Kühlung (Sekundärkreis)
H Sekundärpumpe
K Wärmepumpe

sich Oberflächentemperaturen des Fussbodens zwischen 20 °C und 29 °C, bei denen weniger als 10 % der Personen unzufrieden sind und die somit als behaglich empfunden werden (Bild 3). Die tiefere Kühlkurve führt dabei aber zu tieferen Oberflächentemperaturen des Fussbodens, die näher an den Taupunkttemperaturen der Raumluft liegen. Eine der Aussenlufttemperatur angepasste Kühlkurve erreicht zwar eine etwas geringere Kühlleistung, sie hat aber den Vorteil, dass einerseits eine zu starke Kühlung des Raumes verhindert und andererseits durch höhere Oberflächentemperaturen das Risiko der Taubildung am Fussboden gemindert wird. Die Simulationen zeigen, dass bei einer Niedertemperatur-Fussbodenheizung mit angepasster Kühlkurve im Allgemeinen keine Taupunktüberwachung notwendig ist. Räume mit hohen Feuchtelasten wie Bad oder Küche sollten jedoch grundsätzlich nicht über Flächen gekühlt werden.

WECHSEL ZWISCHEN HEIZ- UND KÜHLBETRIEB

Für die Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlbetrieb reicht im einfachsten Fall eine jahreszeitliche Umschaltung. Soll jedoch auch in der Übergangszeit ein automatisierter Zugriff sowohl auf die Heizung als auch auf die Kühlung erlaubt sein, so muss ein kurzfristiger Wechselbetrieb vermieden werden. Die thermische Kapazität des Gebäudes kann sonst zu einer unerwünschten Erhöhung des Heizwärmebedarfs führen. Dies muss eine automatisierte Regelung vermeiden. Eine einfache Lösung bietet eine z. B. 12-stündige Totzeit zwischen dem Heiz- und dem Kühlbetrieb. Das heisst, der Kühlbetrieb kann erst 12 Stunden nach dem Ende der letzten Heizphase beginnen und umgekehrt.
Die Effizienz der passiven Kühlung mit erdgekoppelten Wärmepumpen wurde ermittelt unter Variation der Verschattungsbedingungen in Ergänzung zur Kühlung durch erhöhten Luftwechsel. Die Simulationen zeigten, dass die Systemnutzungsgrade im passiven Kühlbetrieb im Bereich von 10 bis 25 liegen, wenn von einer auf den Heizbetrieb ausgelegten erdgekoppelten Wärmepumpenanlage ausgegangen wird. Mit einer Kilowattstunde Strom können also zwischen 10 und 25 Kilowattstunden überschüssiger Wärme aus dem Gebäude abgeführt werden. Charakteristisch für die passive Erdsondenkühlung ist dabei, dass der elektrische Aufwand nur abhängig ist von der Leistung der Umwälzpumpen sowie der Betriebsdauer der Kühlung und die erzielte Kühlleistung von den Temperaturverhältnissen im Raum und in der Erdsonde. Die Raumtemperaturen im betrachteten Gebäude wurden durch die passive Erdsondenkühlung zwischen 2 K und 4 K gesenkt, was beim betrachteten Gebäude in Verbindung mit dem Verschattungsregime und der passiven Luftkühlung ausreichend war.
Es zeigte sich, dass mit einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage, kombiniert mit einer Fussbodenheizung und passivem Kühlbetrieb, eine deutliche Steigerung der thermischen Behaglichkeit erreicht werden kann. Die Auslegung der Erdsonde für den Heizbetrieb hat sich in den Simulationen als ausreichend erwiesen. Die gleichzeitige Nutzung der Kälte bei Warmwassererzeugung lohnt sich im Vergleich zum Aufwand nicht. Wichtig ist, dass das System einerseits auf geringe Temperaturdifferenzen zwischen Wärmeabgabesystem und Raum und andererseits auf geringe Temperaturverluste im hydraulischen System ausgelegt ist.

Anmerkungen:
1 Matlab / Simulink – Produktinformation, The Math Works GmbH; Bern; 2005; www.mathworks.ch.
2 Hafner, Bernd; Wemhöner, Carsten: Conventional and Renewable Energy Optmisation Toolbox (CARNOT) – User's Manual, Solar-Institut Jülich, Nov. 1999.
3 Huber, Arthur: Programm EWS. Berechnung von Erdwärmesonden. Benutzerhandbuch, Version 3.7. Huber Energietechnik AG, Zürich, 2007. www.hetag.ch

Ralf Dott, Dipl.-Ing. TH, Institut Energie am Bau, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), ralf.dott@fhnw.ch
Thomas Afjei, Prof. Dr. sc. techn. ETH, Institut Energie am Bau, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), thomas.afjei@fhnw.ch
Arthur Huber, dipl. Ing. ETH, Huber Energietechnik AG, Zürich, huber@igjzh.com

Die vollständigen Resultate und Empfehlungen für die passive Kühlung mit Erdsonden und hydraulischer Niedertemperatur-Verteilung werden im demnächst erscheinenden Forschungsbericht «Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen» enthalten sein (Bezugsquelle: www.empa-ren.ch)