

Validierung Erdwärmesondenmodell

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik HABG
Institut Energie am Bau IEBAU
St. Jakobs-Strasse 84, CH-4132 Muttenz

Carsten Wemhöner
Dipl.-Ing. TH, wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut Energie am Bau - FHNW
Ralf Dott
Dipl.-Ing. TH, wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut Energie am Bau - FHNW
Thomas Afjei
Prof. Dr. sc. techn. ETH, Leiter Gruppe Gebäudetechnik, Institut Energie am Bau - FHNW

Fon +41 61 467 45 74
Fax +41 61 467 45 43
E-Mail ralf.dott@fhnw.ch
Internet <http://www.fhnw.ch/habg/iebau>

Muttenz, November 2007

Die Untersuchung von Wärmepumpensysteme und Schaltungen mit Simulationen erfordert mathematische Modelle für die abzubildenden Komponenten. Der grösste Teil der Komponenten ist bereits in der verwendeten Simulationsplattform Matlab/Simulink verfügbar. Zu einzelnen Komponenten müssen jedoch Modelle entwickelt und validiert werden. Für eine horizontale Erdwärmesonde wurden zwei Erdwärmesonden-Modelle in Matlab/Simulink mit dem bereits validierten Erdwärmesonden-simulationsprogramm EWS [2] (EWS HUBER) verglichen. EWS Huber ist ein eigenständiges Programm, das mit Borland Delphi® programmiert wurde.

Das erste Modell (EWS CARNOT) entstammt der auf Matlab/Simulink aufbauenden Bibliothek CARNOT [3], welche graphische Simulink Komponentenmodelle zur Simulation von konventionellen und solaren Heizsystemen enthält. Die vertikale Erdwärmesonde bildet einen U-förmigen Wärmetauscher in einem Bohrloch ab. Für die umgebende Erdoberfläche stehen zwei Modelle für eine offene oder eine isolierte Oberfläche (z.B. Bebauung) zur Verfügung. Der Wärmetransport im Erdreich ist als zweidimensionales Modell finiter Differenzen in Zylinderkoordinaten abgebildet [4]. Der die Sonde durchströmende Fluidstrom wird mit seinen Stoffeigenschaften und Zustandsgrößen zeitdynamisch betrachtet. Die thermischen und geometrischen Eigenschaften des Erdreichs und der Erdwärmesonde werden als zeitinvariante Parameter vorgegeben.

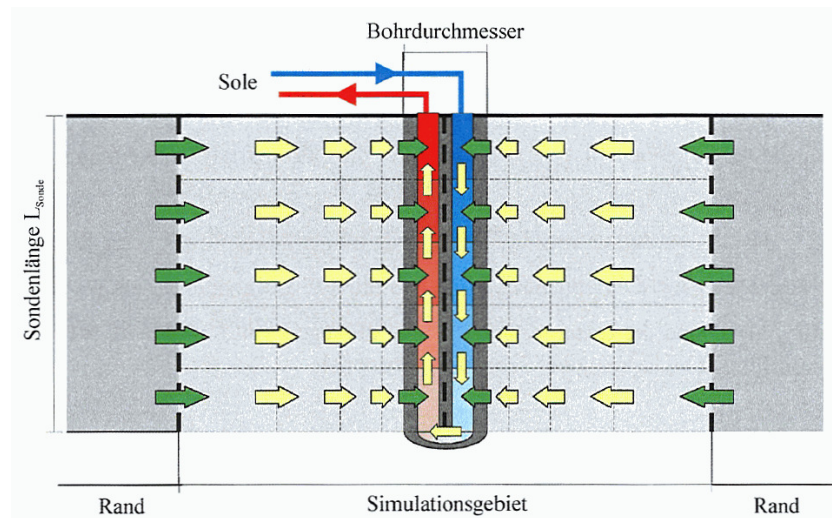


Abb. 1: Schematische Darstellung der Geometrie und Wärmeflüsse im Modell einer Erdwärmesonde [1]

Das zweite Modell (EWS IMRT-ETHZ) wurde am IMRT der ETH - Zürich im Rahmen der Dissertation von M. Bianchi [1] implementiert. Es basiert auf dem Ergebnis des Forschungsprojektes „Berechnungsmodul für Erdwärmesonden“ [5] des Bundesamtes für Energie, das auch Grundlage für das Modell EWS HUBER war. Das Modell (siehe Abb. 1) berechnet das Verhalten der Erdwärmesonde und der Erde im Sondennahbereich als Finite-Elemente- Modell. Der sondenferne Bereich wird als Randbedingung für die Berechnung des Sondennahbereichs durch die sogenannte Trichterformel [5] abgebildet. Das Erdmodul und das Solemodul werden separat ausgewertet und die Berechnung über die Betrachtung der Randbedingungen gekoppelt. Im implementierten Modell wird, abweichend vom ersten Modell, der Fluidstrom innerhalb der Sonde als zeitlich invariant angesetzt. Nur die in die Sonde eintretende und die aus der Sonde austretende Fluidtemperatur werden als zeitdynamische Größen betrachtet.

Der Vergleich der Erdwärmesondenmodelle wird mit einem Heiz- & Kühllastprofil eines exemplarischen Gebäudes durchgeführt. Hierin dient im Winterbetrieb die Erdwärmesonde als Wärmequelle für die Wärmepumpe, die entsprechend einem Lastprofil die erforderliche Heizleistung bereitstellt. Als Reaktion der Erdwärmesonde stellt sich die Austrittstemperatur der Sole ein. Im Sommerbetrieb dient die Erdwärmesonde als Wärmesenke für den passiven Kühlbetrieb. Hierbei stellt die Rücklauftemperatur einer Fussbodenheizung die Eingangsgrösse für die Sondensimulation dar. Als Reaktion der Erdwärmesonde ergeben sich die Austrittstemperatur und die erzielte Kühlleistung.

Die Verläufe der Sonda Austrittstemperaturen als Reaktion der Erdwärmesonde auf das aufgeprägte Lastprofil zeigen im Winterbetrieb, dass das Modell EWS CARNOT deutliche Abweichungen zu den Verläufen des Referenzprogramms EWS Huber aufweist. Sie betragen im Mittel -3.6 K bei einer Schwankung von -14 K bis +8 K. Das Modell EWS IMRT-EHTZ zeigt im Vergleich zum Programm

EWS HUBER vor allem während der Betriebsphasen nur geringe Abweichungen von im Mittel 0.5 K bei maximal 2.5 K. In den Stillstandsphasen ohne Last weichen die Ergebnisse der Modelle EWS IMRT-ETHZ und EWS HUBER im Mittel um 0.75 K voneinander ab. Es wird vermutet, dass diese Differenz entsteht, weil das Modell EWS IMRT-ETHZ für den sondeninternen Massenstrom auch während der Stillstandsphase eine Durchströmung mit dem Nennmassenstrom annimmt.

Im passiven Kühlbetrieb ist die sich aufgrund der vorgegebenen Sondereintrittstemperatur einstellende Wärmeleistung des Modells EWS CARNOT (Abb. 2) etwa um den Faktor 10 kleiner als die des Referenzprogramms EWS HUBER. Weiterhin wechselt die berechnete Wärmeleistung bei kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Sondaaustritt und -eintritt das Vorzeichen obwohl die Temperaturdifferenz ihr Vorzeichen beibehält (siehe Abb. 2 & Abb. 3, Tag 219). Es muss von einem Modellierungsfehler ausgegangen werden, womit dieses Modell für die Simulation des passiven Kühlbetriebs nicht eingesetzt werden kann. Das Modell EWS IMRT-ETHZ stimmt sowohl für den Verlauf der Entzugsleistung als auch für die Sondaaustrittstemperatur im kontinuierlichen Betrieb (siehe Abb. 3 Tag 220 bis 222) gut überein. Die Abweichung der Sondaaustrittstemperatur liegt im kontinuierlichen Betrieb bei im Mittel 0.3 K mit einer Bandbreite von 0 K bis 4 K. Die erzielte passive Kühlleistung weicht bei einer mittleren Leistung von 2020 W im Mittel um 100 W von der des Referenzprogramms ab. Daraus ergibt sich im passiven Kühlbetrieb eine jährliche Abweichung von 5%.

Im Anfahrverhalten weichen die beiden Modelle EWS Huber und EWS IMRT-ETHZ stärker voneinander ab. Einerseits wird im Programm EWS Huber die vom Lastverlauf vorgegebene Kühlleistung und die Eintrittstemperatur der Erdwärmesonde als Eingangsgrösse verwendet, um im Modell iterativ die Austrittstemperatur der Erdwärmesonde zu berechnen. In der Berechnung mit Matlab/Simulink erfolgt diese Iteration ausserhalb des Erdwärmesondenmodells in der abzubildenden Hydraulik zwischen Fussbodenheizung und Erdwärmesonde.

Von Interesse ist das frei schwingende dynamische Verhalten der Erdwärmesonde. Da die Simulation von Gebäude und Erdwärmesonde nicht gekoppelt ist, kann für einen sinnvollen Vergleich der Modelle nur die Periode herangezogen werden, in der die Leistung durch das Lastprofil nicht begrenzt war. In den Grafiken Abb. 2 und Abb. 3 ist dies an den Tagen 214 bis 216 und 220 bis 222 der Fall, wenn die durchgezogene schwarze Linie oberhalb der gestrichelten schwarzen Linie liegt.

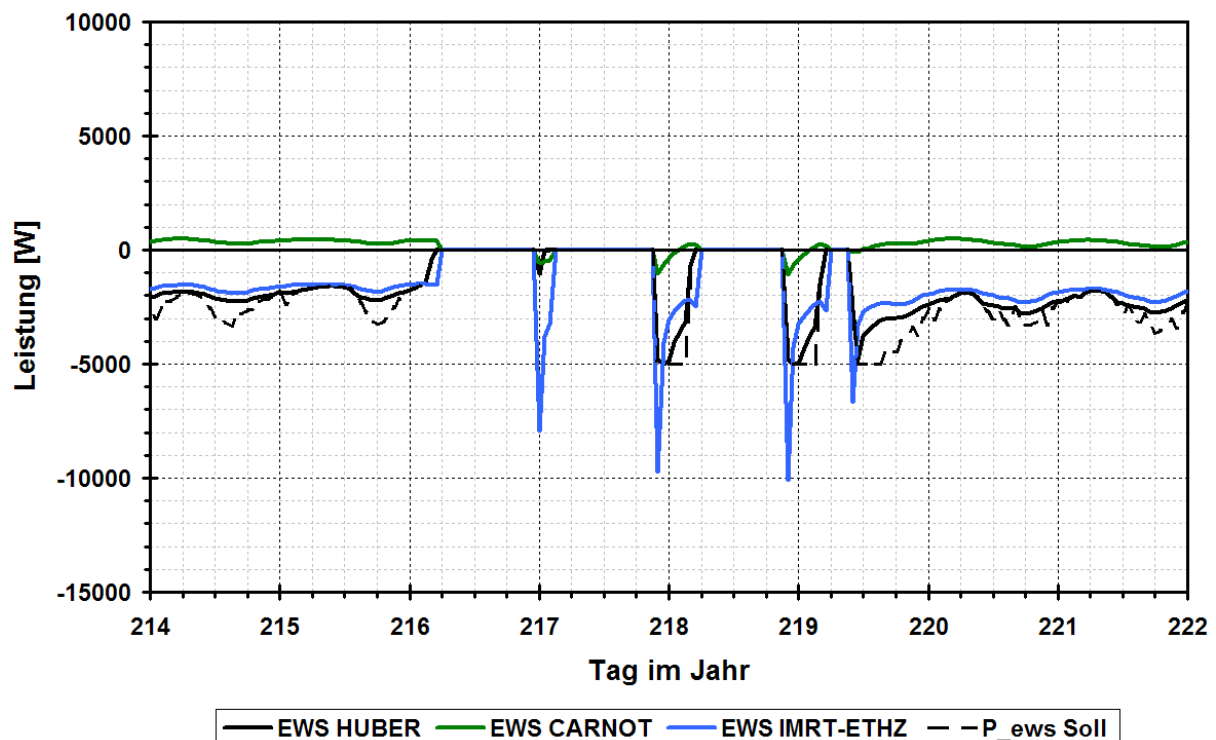


Abb. 2: Sondenkühlleistung im passiven Kühlbetrieb bei verschiedenen Erdwärmesondenmodellen

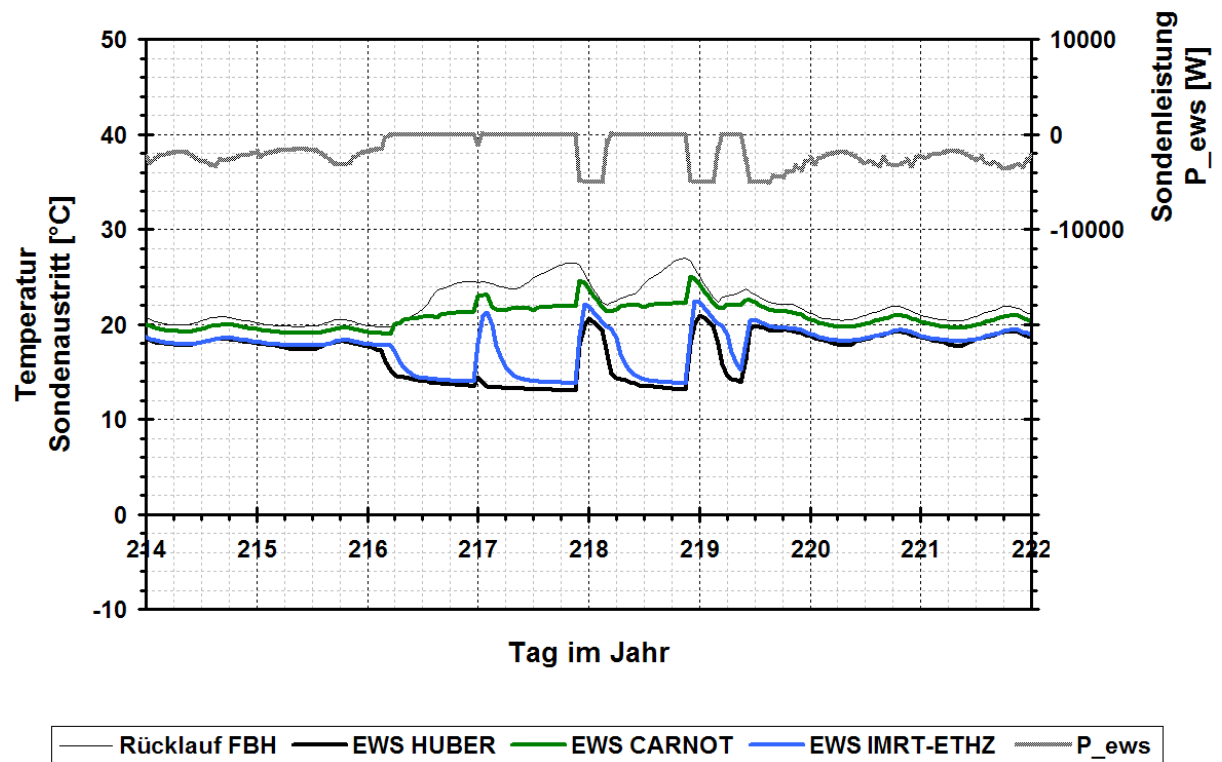


Abb. 3: Sondenaustrittstemperatur im passiven Kühlbetrieb bei verschiedenen Erdwärmesondenmodellen

Referenzen

- [1] Bianchi, M.; Adaptive Modellbasierte Prädiktive Regelung einer Kleinwärmepumpenanlage; Dissertation ETH-Zürich Nr. 16892; 2006
- [2] Huber, EWS 3.5, Auslegungsprogramme für Wärmepumpen mit Erdwärmesonde, Huber Energietechnik AG, 2006
- [3] CARNOT Blockset, Version 1.64; 2002; Bezugsquelle: Solar-Institut Jülich
- [4] Patankar, S.V.; Numerical Heat Transfer And Fluid Flow; Hemisphere Publishing Corporation; 1980
- [5] Huber, A.; Schuler, O.: Berechnungsmodul für Erdwärmesonden. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung. Bundesamt für Energie, Bern, 1997