



Doctoral Thesis

Erdwärmesonden - Funktionsweise und Wechselwirkung mit dem geologischen Untergrund Feldmessungen und Modellsimulation

Author(s):

Eugster, Walter Jakob

Publication Date:

1991

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000626202> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

**Erdwärmesonden -
Funktionsweise und Wechselwirkung
mit dem geologischen Untergrund
Feldmessungen und Modellsimulation**

**ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH**

vorgelegt von
WALTER JAKOB EUGSTER
Dipl. Natw. ETH

geboren am 4. Dezember 1958
von Wald (AR)

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. L. Rybach, Referent
Dr. R. J. Hopkirk, Korreferent
Prof. Dr. C. Schindler, Korreferent

Zusammenfassung

Seit Beginn der achtziger Jahre wurden in der Schweiz knapp 4'000 Erdwärmesonden (EWS)-Anlagen in Betrieb genommen, meist zur Beheizung von Einfamilienhäusern. Mit Hilfe der EWS wird aus Tiefen von wenigen 10 bis rund 150 m dem Erdreich Wärme entzogen, die unter Beizug einer Wärmepumpe (WP) auf ein für Heizkreisläufe nutzbares Temperaturniveau gebracht wird.

In der vorliegenden Dissertation wird eine handelsübliche Anlage mit einer 103 m langen EWS in Elgg (ZH) eingehend untersucht. Ueber insgesamt fünf Betriebsjahre (Dezember 1986 bis Mai 1991) wurden die Erdreichtemperaturen in 10 verschiedenen Tiefen und zwei Abständen von der Sonde alle 30 Minuten gemessen. Hinzu kam die Messung der atmosphärischen Temperatur sowie von verschiedenen für den EWS- und WP-Betrieb relevanten Grössen. Bei der Auswahl der Messgeräte und Messfühler wurde der Schwerpunkt auf die Genauigkeit der Temperaturmessungen gelegt. Die Temperaturfühler vom Typ Pt100 wurden gealtert und geeicht. Die Genauigkeit der Temperaturmessungen ist besser als ± 0.1 °C. Die gesamte Datenerfassungs- und Datenauswertungs-Software wurde eigens entwickelt.

Die Messdaten werden als Kontrolle für die Eichung eines zweidimensionalen Computermodells in Zylinderkoordinaten benutzt. Dieses Modell wurde aufgrund des coaxialen Aufbaus der Erdwärmesonde in Elgg verwendet. Das Modell behandelt reine Wärmeleitung im Erdreich, Advektion in der Sonde und Wärmeaustausch zwischen Erdreich und Atmosphäre. Zur Steuerung des Modellablaufs dient ein Lastprofil, das die gemessenen atmosphärischen Temperaturen und Betriebsdaten der WP enthält. Alle fünf bisherigen Betriebsjahre konnten mit einer Genauigkeit von wenigen Zehntel Grad C Differenz zu den Messungen simuliert werden. Darüber hinaus wurden die Temperaturverhältnisse für weitere neun Jahre mit alternierendem Lastprofil extrapoliert.

Messdaten wie Modelldaten lassen feststellen, dass die ersten beiden Betriebsjahre der EWS-Anlage zu einer trichterförmigen bleibenden Abkühlung des Erdreichs von ca. 1.0 °C in unmittelbarer Sondennähe führen. Diese Störung ist bis zu einem Radius von 10 m feststellbar. Die Temperatur-Tiefen-Verteilung jedes weiteren Betriebsjahres hingegen bleibt auf diesem Temperaturniveau stabil. Der jährliche Kältetrichter, der sich im Umfeld der Sonde bildet, wird bis auf ca. 3 m Radialdistanz direkt vom jeweiligen Lastprofil geprägt, und die Temperaturabnahme beträgt in unmittelbarer Sondennähe rund 5 °C. Im Fernbereich der Sonde sind die Temperaturschwankungen unabhängig von den individuellen jährlichen Betriebsbedingungen. Die Amplitude der Schwankungen beträgt je nach Abstand wenige Zehntel Grad C.

Abstract

Since 1980 almost 4'000 space heating systems using vertical earth heat exchangers (VHE's) have been commissioned, the majority for private houses. Probe lengths vary between 30 and 150 m. A VHE extracts heat from the ground, supplying a heat pump, which provides energy to the heating system at an appropriate temperature.

For the study reported in this thesis a commercially supplied plant in Elgg in the canton of Zürich equipped with a single, 103 m long VHE has been investigated in detail. The temperatures in the ground at 10 different depths and 2 different radial distances from the VHE have been measured at 30 minute intervals over a five year period (December 1986 to May 1991). In addition, the atmospheric temperature and all parameters relevant to the operation of the entire system have also been monitored. In the selection of equipment, special attention was given to ensuring high absolute precision temperature measurement over the extended period of study. The platinum resistance sensors (Pt100) were carefully pre-aged and individually calibrated. The resulting accuracy of measurement in the field has been better than ± 0.1 °C. The development of the software for data acquisition and processing has formed part of the work.

Measured data were used to calibrate a two-dimensional, cylindrical coordinate numerical computer model. This model was selected because of the coaxial construction of the VHE. The model treats conduction in the ground formation, advection in the heat exchanger tubes and heat exchange between ground and atmosphere. A model calculation is driven by an imposed load time history which respects the variation in atmospheric temperature and the characteristics of the heat pump. Ground temperatures over the five years of measurement were fitted to within a few tenths of a degree. Additionally the formation temperature have been predicted for a further nine years using load time history built up by repeating alternately the two years '88/'89 and '89/90.

Measurements and computations both indicate the development of a permanent, cusp-like distribution of temperature deficit around the VHE during the first two years of operation. At the centre, next to the heat exchanger, this has an amplitude of the order of 1 °C. The perturbation can be detected out to a radius of around 10 m. This residual deficit distribution varies very little in subsequent years, although each heating season causes a supplementary transient perturbation. This exhibits a central amplitude of around 5 °C, varying with the severity of the winter and penetrates the formation to a radius of about 3 m. Outside this radius the temperature deficit is never more than a few tenths of a degree Kelvin.