

Wärmerohr-Sonde fördert Erdwärme ohne Primärenergieeinsatz CO₂ als Transportfluid spart CO₂

Eine nach dem Prinzip des Wärmerohrs aufgebaute vertikale Erdwärmesonde mit CO₂ als Wärmeträger nutzt für den Energietransport den Phasenwechsel: In der Heizzone (Erdreich) verdampftes CO₂ steigt in den Sondenkopf. In der dort eingebauten Kühlzone (Verdampfer einer Wärmepumpe) kondensiert der Wärmeträger und fließt dann wieder in die Heizzone. Der pumpenlose Kreislauf verbessert zudem die Entzugsleistung um 10 bis 30% gegenüber einer mit Flüssigkeit durchströmten Erdwärmesonde.

Trotz vergleichsweise hoher Herstellkosten sind Erdwärmesonden die erste Wahl. 2004 wurden in Deutschland 12 636 Wärmepumpenheizungen abgesetzt¹⁾. Rund 65% der Anlagen nutzen das Erdreich als Wärmequelle, weil hier die besten Jahresarbeitszahlen zu erzielen sind. Weiterhin dominieren vertikale Sondenfelder mit Tiefen von bis zu 150 m. Dabei werden bisher fast ausschließlich Sole-Erdwärmesonden eingesetzt.

Allerdings sind die handelsüblich verfügbaren Wärmeträgerflüssigkeiten, wie Glykol- und Salzlösungen nach dem Wasserhaushaltsgesetz in die Wassergefährdungskategorie 1 (WGK 1: schwach wassergefährdend) eingestuft²⁾. Außerdem muss für den Umtrieb des Wärmeträgers Hilfsenergie aufgewendet werden.

Ist das Wärmerohr eine Alternative?

Die Nachteile der herkömmlichen Sole-Erdwärmesonde kennt die Theorie einer Wärmerohr-Erdsonde nicht. Mit CO₂ kann ein besonders umweltfreundlicher Wärmeträger eingesetzt werden, was auch den Einsatz in Wasserschutzgebieten ermöglicht. Und der Wärmetransport an die Erdoberfläche bzw. bis zum Verdampfer der Wärmepumpe erfolgt ohne dass von außen Hilfsenergie zugeführt werden muss. Allerdings lagen bis vor kurzem

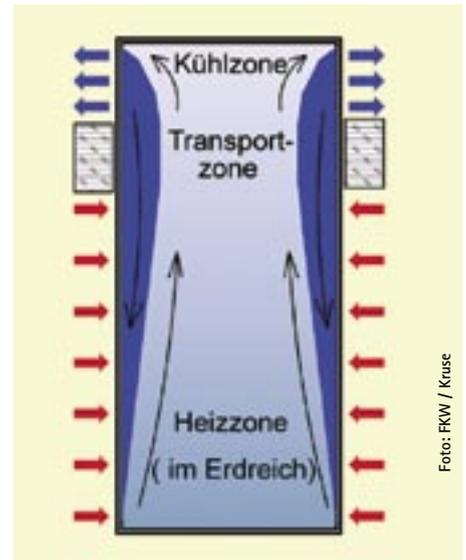
keine direkt übertragbaren Erfahrungen mit Wärmerohren von der typischen Länge einer vertikalen Erdsonde vor.

Ein Wärmerohr (heat pipe) kann zwischen einer Wärmequelle und einer höher gelegenen Wärmesenke Wärmeenergie transportieren. Typische Anwendungen sind die Wärmerückgewinnung beispielsweise in lufttechnischen Anlagen sowie Vakuumröhren mit indirekter Wärmeübertragung von entsprechenden Sonnenkollektoren. Antriebsmotor ist die große Volumenänderung des Wärmeträgers beim Phasenwechsel.

Im Bereich der Wärmequelle nimmt der Wärmeträger Wärmeenergie auf und verdampft. Die Verdampfungswärme wird dann im oberen³⁾ Bereich des Wärmerohrs an Flächen wieder abgegeben, die die Taupunkttemperatur des Wärmeträgerdampfes unterschreiten. Bei der Kondensation verringert sich das Volumen, so dass ständig neuer Wärmeträgerdampf zur Wärmesenke strömen kann. Das Kondensat fließt aufgrund der Schwerkraft wieder nach unten. Der Kreislauf ist damit geschlossen.

Vom Wärmerohr zur CO₂-Erdwärmesonde

Was in der Theorie zunächst einfach klingt, muss aber auch in die Praxis



Prinzip eines Wärmerohrs

umgesetzt werden. In einer Tiefe von 100 m ist mit einer Erdreichtemperatur von bis zu 15°C zu rechnen. Bei dem Arbeitsstoff CO₂ entspricht diese Temperatur einem Dampfdruck von rund 50 bar. Bei diesem Druck und bei der Diffusionsfähigkeit von CO₂ durch Kunststoffe, sind die bei Sole-Erdwärmesonden üblicherweise eingesetzten PE-Rohre nicht verwendbar. In Felduntersuchungen wurde Edelstahl als besonders geeignetes Rohrmaterial ermittelt.

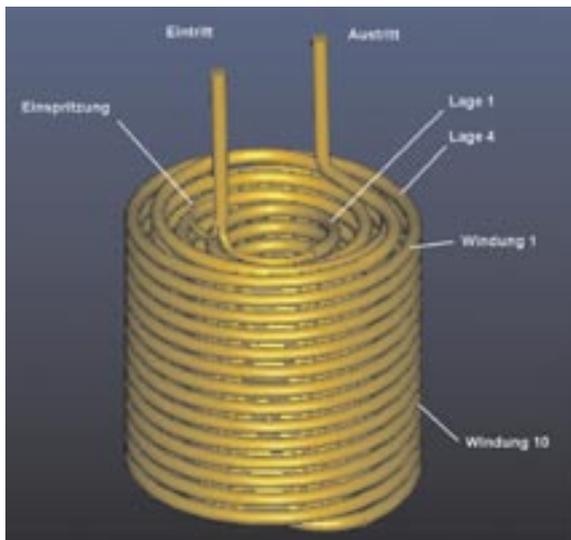
Der zweite wesentliche Unterschied resultiert aus der Wärmeübertragung. Um eine hohe und gleichmäßige Wärmeleistung über die gesamte Sondenlänge zu erzielen, muss diese möglichst über die gesamte Ausdehnung mit einem Film des Wärmeträgers benetzt sein. Andererseits muss gewährleistet sein, dass die Dampfphase nach oben strömen kann, ohne den Film aufzureißen bzw. sein nach unten Fließen zu verhindern.

Wesentliches Ergebnis der Voruntersuchungen war, dass bei einer typischen Wärmestromdichte von 50 W/m (stationäre Entzugsleistungen in Abhängigkeit des Untergrunds liegen zwischen 20... 70 W/m) für Wärmesonden der Durchmesser grö-

1) Quelle: Absatzstatistik des Bundesverbands Wärmepumpen e. V. (BWP) und des Bundesindustrieverbands Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V. (BDH)

2) §§ 19 g ff Wasserhaushaltsgesetz („Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts“) zusammen mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen (Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe – VwVWS) vom 17. Mai 1999

3) Unter bestimmten Randbedingungen existieren auch Lösungen für unten liegende Wärmequellen, beispielsweise durch die Nutzung von Kapillarkräften.



Wärmerohr mit einer Sondenlänge bis zu 100 m (hier verkürzt dargestellt)

Fotos: FKW / Kruse

Aufbau der CO₂-Erdwärmesonde (Deutsches Gebrauchsmuster: Nr. 20 32 04 09, hier „CO₂-Erdwärmerohr“ genannt)

Sondenkopf mit Wärmeübertrager

ber ausfallen muss (oder mehr Rohre in der Sonde erforderlich sind), als bei einer herkömmlich ausgelegten Sole-Erdwärmesonde gleicher Tiefe. Festgestellt wurde auch, dass mit einer CO₂-Erdwärmesonde die spezifische Wärmeleistung zeitweise deutlich gesteigert werden kann.

Konfiguration der CO₂-Erdwärmesonde

Für Ein- und Zweifamilienhäuser liegt die übliche Sondentiefe bei bis zu 100 m. Es können aber auch mehrere Sonden geringerer Tiefe als Wärmequelle für eine Wärmepumpenanlage parallel geschaltet werden. Mehrere CO₂-Erdwärmesonden pro Wärmepumpe würde die Investitionskosten aber erhöhen, weil der im Kopf angeordnete Wärmeübertrager pro Sonde ausgeführt werden muss.

Die marktreife Lösung für eine Sondentiefe bis zu 100 m besteht aus einem druckfesten, flexiblen Edelstahlrohr (V4A) mit einem Außendurchmesser von 60,3 mm. Die Sonde wird vertikal mit der gleichen Technik wie eine Sole-Erdwärmesonde eingebracht.

Die speziell für das Wärmerohr entwickelte Kühlzone im Kopf des Wärmerohrs besteht aus einem Wärmeübertrager als dreilagige Kupferrohrwicklung. Innen wird das Kältemittel der Wärmepumpe verdampft, außen das CO₂ der Sonde verflüssigt. Um jederzeit den Zugang zum Sondenkopf zu gewährleisten, kann er im Freien oder in einem Installationsschacht installiert werden [2].

Energetische Systembetrachtung

Die grundsätzliche Forderung nach einer Senkung des Verbrauchs fossiler Energie-

träger muss zum einen auf der Bedarfsseite und zum anderen auf der Erzeugungsseite durch die Steigerung der Anlageneffizienz erzielt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung regenerativer Energien. Die beiden letztgenannten Optionen erfüllen die Nutzung von Erdwärme mit Wärmepumpen.

Heutige Wärmepumpen, die das Erdreich als Wärmequelle nutzen, weisen mittlere Jahresarbeitszahlen von 4,2 auf, sofern eine Fußbodenheizung mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 35°C verwendet wird. Das bedeutet beim aktuellen Strommix eine Primärenergieeinsparung von rund 35% und eine Reduzierung der CO₂-Emissionen von 30% gegenüber Brennwerttechnik. Auch bei einem Verzicht auf Atomstrom ist in einem kürzeren Zeitraum eine weitere (deutliche) Reduzierung der Emissionen im Strommix zu erwarten, was die Wärmepumpenbilanz weiter verbessern würde.

Wärmepumpen-Heizsysteme unter Nutzung von Erdwärme durch selbsttätige CO₂-Erdwärmesonden sind besonders vorteilhaft, weil gegenüber dem Betrieb einer Sole-Erdwärmesonde keine Pumpenenergie erforderlich ist. Das reduziert den elektrischen Energieverbrauch um ca. 7%. Außerdem steigt die Jahresarbeitszahl, weil die CO₂-Erdwärmesonde eine 10 bis 30% höhere Entzugsleistung bei gleichzeitig höherer Temperatur im Verdampfer der Wärmepumpe ermöglicht.

Dies bestätigen Messungen an zwei Erdwärmesonden, die mit jeweils 100 m Länge und in einem Abstand von 6 m zueinander auf dem Betriebsgrundstück von Kaeltro Gebäudetechnik in Berlin. Die Leistung der CO₂-Erdwärmesonde lag im einge-

schwungenen Zustand bei 59,9 W/m, die Sole-Erdwärmesonde lieferte zeitgleich 43,4 W/m.

Betriebskostenvergleich: Sole- und CO₂-Erdwärmesonde

Ein Vergleich einer CO₂- mit einer Sole-Erdwärmesondenanlage als Wärmequelle für eine Wärmepumpe im Einfamilienhaus zeigt die Betriebskostenvorteile der CO₂-Erdwärmesonde. Bei einer Heizlast von 7 kW ist für den Wärmepumpenbetrieb eine elektrische Gesamtleistung von 1,7 kW erforderlich: 1,5 kW für den Verdichter und 200 W für die Soleumwälzpumpe. Bei 2000 Betriebsstunden und 0,11 Euro/kWhel liegen die Energiekosten bei der herkömmlichen Sondentechnik bei 374 Euro/a.

Wird an die Wärmepumpe eine CO₂-Erdwärmesonde als Wärmequelle angeschlossen, entfällt die Soleumwälzpumpe und gleichzeitig steigt die energetische Leistung um 10%. Daraus ergeben sich nur noch 1800 Betriebsstunden bei einer elektrischen Leistung von 1,5 kW. Die Energiekosten sinken damit auf 297 Euro/a.

Wie geht es weiter mit der CO₂-Erdwärmesonde?

Die Partner im DBU-Projekt FKW, Aetna und Kaeltro (siehe Kasten) sind zuversichtlich, bald in die Serienfertigung zu gehen. Kälteanlagenbauermeister Christian Scholz von Kaeltro ist zuständig für die Herstellung der CO₂-Erdwärmesonde mit Wärmeübertrager als einbaufähige Kompakteinheit zum Anschluss an handelsübliche Wärmepumpen. Er erwartet in den nächsten 18 bis 24 Monaten einen Absatz von 250 bis 400 Stück. Gegenwärtig besteht eine Option auf 20

Anwendungen. Bei einem geschätzten Absatz in Deutschland von jährlich rund 15 000 Wärmepumpenheizungen in diesem Zeitraum ist das sicher ein erreichbares Ziel.

Eine weitere Verwendungsmöglichkeit findet sich für CO₂-Erdwärmesonden in Supermärkten. Mehrere Sondenköpfe eines Sondenfelds werden hierfür im Winter parallel zu den Kühlstellen als Wärmequelle geschaltet. Unter Verwendung der zentralen Kälteerzeugung ist dann eine zusätzliche Wärmepumpe zur Gebäudebeheizung sogar entbehrlich.

Ausgereizt ist die Verwendung der CO₂-Erdwärmesonde damit aber noch nicht. Scholz will mit ihr in einer weiterentwickelten Version auch kostengünstige Kälte an die Erdoberfläche fördern und so weitere Anwendungen erschließen. *JV* ←

Literatur

- [1] Weissenborn, Peter: Erdwärmerohr mit CO₂ als Transportfluid, Stuttgart: Gentner Verlag, KK 9-2005
- [2] Kruse, Horst; Rüssmann, Hans; Stadtländer, Carmen: Entwicklung einer CO₂-Erdwärmesonde nach dem Prinzip des Wärmerohres. Heidelberg: Hüthig, KI 2-2004



Werkstatt von Kaeltro: Manufaktur der Wärmeübertrager für den Sondenkopf. Rechts ist die Wärmepumpen-Versuchsordnung mit Messdatenprotokollierung abgebildet

Von der Idee zum Produkt

Die Erdwärmesonde mit CO₂ als Transportfluid stützt sich auf eine Erfindung von Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Horst Kruse, Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen (FKW). Basierend auf Patent- und Gebrauchsmusteranmeldungen des FKW haben mehrere Arbeitsgemeinschaften an der Entwicklung gearbeitet. Von 1999 bis 2000 untersuchten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft das Forschungszentrum für Kälte- und Umwelttechnik (FKU) und die Gesellschaft für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik, Wildau, die Machbarkeit einer CO₂-Erdwärmesonde im Vergleich mit einer herkömmlichen Sole-Erdwärmesonde. Von 2003 bis 2004 entwickelte das FKW mit seinen Kooperationspartnern Kaeltro Gebäudetechnik, Berlin, und Aetna Energiesysteme, Ludwigsfelde, mit Förderung von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) die CO₂-Erdwärmesonde bis zur Marktreife. Unterstützt wurde die Entwicklung der Energie sparenden Alternative durch Copeland Europe, Welkenraedt (B), und GEA-Ecoflex, Sarstedt.



Fotos: P.W.

Christian Scholz zeigt den Sondenkopf der Pilot-CO₂-Erdwärmesondenanlage auf dem Betriebsgrundstück seiner Firma Kaeltro, Berlin

Tabelle 1 Vergleich unterschiedlicher Wärmepumpensysteme

Wärmequelle	Jahresarbeitszahl von ... bis	Wartung Betriebsrisiken (R)	Antriebsenergie für Erschließung der Wärmequelle	Kosten für Sekundärenergie ^{*)}
Luft	2,2 ... 2,8	Wärmeübertrager Luft einmal p. a. reinigen	ja	abhängig von Aufstellung ggf. Kosten für Abtaubetrieb
Wasser	2,4 ... 3,2	Reinigung von Wärmeübertragern (R) Versotten der Brunnen	ja	110 Euro/a ^{**)}
Erdkollektor mit Sole	2,6 ... 4,0	(R) Grundwassergefährdung	ja	154 Euro/a ^{***)}
Erdsonde mit Sole	4,0 ... 4,4	(R) Grundwassergefährdung	ja	44 Euro/a ^{****)}
Erdkollektor mit Direktverdampfung	4,4 ... 4,8	keine	nein	keine
Erdsonde mit CO ₂	4,6 ... 5,2	keine	nein	keine

^{*)} 2000 Betriebsstunden, 0,11 Euro/kWh_{el}; ^{**)} 500 W_{el}, 2000 h/a; ^{***)} 700 W_{el}, 2000 h/a; ^{****)} 200 W_{el}, 2000 h/a