

Wärmepumpe energetisch effizient zum Heizen

# Erdwärmerohr mit CO<sub>2</sub> als Transportfluid

10–30% bessere Wärmeentzugsleistung im Vergleich mit Sole

Mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt Osnabrück hat das Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH Hannover mit seinen Kooperationspartnern KAELETRO Gebäudetechnik KG Berlin und AETNA Energiesysteme GmbH Ludwigsfelde ein technisch orientiertes Vorhaben mit dem Titel „Erdwärmesonde mit Kohlendioxid als Transportfluid“ abgeschlossen und anwendungsreif bei KAELETRO präsentiert.



Wärmepumpen-Versuchsanordnung mit Scroll-Verdichtern und Platten-Wärmetauschern. Überwachung und Protokollierung der Messdaten mittels PC

Basierend auf der Erfindung von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Horst Kruse und auf FKW Patent- und Gebrauchsmusteranmeldungen seit 1998 bis 2003 haben 1999 bis 2000 das FKU GmbH Berlin mit seinem Auftragnehmer GTN Wildau GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft (Gewiplan Berlin) und 2003 bis 2004 das FKW Hannover GmbH mit seinen Kooperationspartnern KAELETRO Gebäudetechnik KG Berlin und AETNA GmbH Ludwigsfelde diese Entwicklung nach der Theorie des selbsttätigen Wärmerohrs gemeinsam in Hannover und Berlin durchgeführt. Das Wärmerohr stellt eine Energie sparende und umweltfreundlichere Alternative zu den bisherigen Kunststoffsonden mit grundwassergefährdenden Stoffen dar. Mit Unterstützung durch die Firmen Copeland Europe, Welkenraedt (B), und GEA-Ecoflex, Sarstedt, wurden für eine von Prof. Kruse betreute Promotionsarbeit Verdichter und Wärmeaustauscher zur Verfügung gestellt, die von KAELETRO in ein Anlagensystem eingebunden wurden. Dadurch bestand die Möglichkeit, gemeinsam Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu betreiben.

## Beachtung von Umweltaspekten

Für die Nutzung des Erdreichs als Wärmequelle für die Raumheizung sind aufgrund der Genehmigungspflichten als Wärmeträger nach Möglichkeit solche Stoffe anzustreben, die nicht wassergefährdend sind. Bisherige Systeme werden mit Wärmeträgerflüssigkeiten, wie z.B. wässrigen Glykollösungen oder Salzlösungen betrieben. Diese handelsüblich verfügbaren Wärmeträgerflüssigkeiten, deren Gefrierpunkte unter dem des Wassers liegen, sind wegen der Materialverträglichkeit mit dem Wärmeaustauscher der Wärmepumpe im Allgemeinen mit Korrosionsinhibitoren versehen. Sie sind alle, auch ohne Korrosionsinhibitoren laut §§ 19 g ff WHG von 1999 in der Wassergefährdungsklasse I eingestuft und bedürfen damit einer wasserrechtlichen Genehmigung.



Erdwärmesonden mit Sole als Wärmeträgerflüssigkeit, hier mit 100 m Länge (Tiefe) auf dem Betriebsgelände der Firma KAELETRO für Vergleichsmessungen installiert, sind in der Wassergefährdungsklasse 1 eingestuft und benötigen zusätzliche Pumpenenergie

In der Liste der nicht wassergefährdenden Stoffe ist unter anderem der Arbeitsstoff Kohlendioxid aufgeführt, dessen Einsatz in Kunststoffrohren mit geringer Druckfestigkeit nicht möglich ist. **Dieser Aspekt erlaubt somit die Nutzung solcher Erdwärmesonden auch in Wasserschutzgebieten.** Für das CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr ergeben sich somit folgende Vorteile:

- Nicht grundwassergefährdendes, umweltfreundliches, verdampfendes Transportmedium CO<sub>2</sub>.
- Keine grundwasserrechtliche Genehmigung erforderlich.
- Keine elektrische Pumpenenergie erforderlich.
- Kleinere Temperaturdifferenz zwischen Transportmedium und Kältemittel, dadurch Erhöhung der Wärmepumpen-Arbeitszahl.

## Wie funktioniert das Ganze?

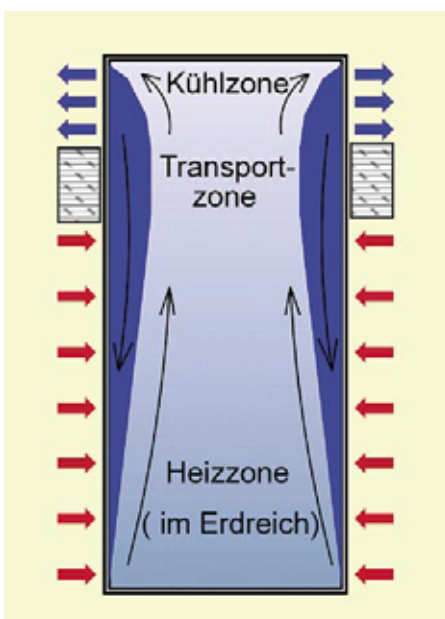
Das CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr besteht aus einem druckfesten, flexiblen Edelstahlrohr gefüllt mit flüssigem und gasförmigem Kohlendioxid.

Die Sonde wird vertikal in die Erde eingebracht. Der Sonde wird im unteren Bereich Erdwärme (Erdreichtemperatur von ca. 10°C) zugeführt (das ist die Heizzone), wodurch das an der Wandung herunter fließende CO<sub>2</sub> verdampft, es steigt auf Grund seiner nun geringeren Dichte auf, dies erfolgt nach dem Thermosyphonprinzip.

Im oberen Abschnitt, dem Kopf des Erdwärmerohrs, wird dem gasförmigen CO<sub>2</sub> Wärme entzogen, was zur Kondensation führt (das ist die Kühlzone). Wie das Bild über das Prinzip des Wärmerohrs verdeutlicht, wird beim Einsatz des Wärmerohrs als Erdwärmesonde eine verhältnismäßig lange Heizzone verwendet, währenddessen die Kühlzone, am oberen Ende angeordnet, vergleichsweise kurz ausfällt.

Die Kühlzone wird durch einen speziell für das Wärmerohr entwickelten Wärmeaustauscher dargestellt und beinhaltet eine Kupferrohrwicklung, die als Verdampfer der Wärmepumpe und als Verflüssiger für das gasförmige CO<sub>2</sub> fungiert. Das verflüssigte CO<sub>2</sub> fließt wieder in die Heizzone und somit ergibt der Prozess einen pumpenlosen, sich selbstständig wiederholenden Kreislauf.

Der Einbau des CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohrs in das Erdreich unterscheidet sich geringfügig von dem Einbau anderer Erdsonden.



Prinzip des Wärmerohrs

Um die Zugänglichkeit zum Wärmerohrkopf zu gewährleisten, kann der Wärmeaustauscher im Freien in einem Installationsschacht installiert werden.

Die Auslegung eines CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohrs muss entsprechend der vom Einbaort abhängigen spezifischen Entzugsleistung – praktikabel sind 20–70 Watt – erfolgen. Die Länge und der Durchmesser der zu wählenden Sonde ergeben sich aus der erforderlichen Entzugsleistung.

Die Leistungszahlen stehen in Abhängigkeit von der Wärmequelle. Eine Erdtemperatur von ca. 10°C trifft man ab einer Erdreichtiefe von 10 m bis hinab zu 100 m an. Die Entzugsleistung ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des angetroffenen Gesteins.

## Energetische Betrachtung

Gegenwärtig besteht die grundlegende Forderung darin, den Einsatz fossiler Energieträger mit dem Ziel der Senkung der Umweltbelastung zu vermindern. Zur Verwirklichung dieser Zielstellung sind Einsparungen in den einzelnen Verbrauchssektoren erforderlich. Ein hohes Einsparpotenzial im Bereich der Raumwärme und Warmwasserbereitung ist durch Maßnahmen zur Erhöhung des Wirkungsgrads der Wärmeerzeugung zu erreichen. Damit stehen Maßnahmen zur zunehmenden Nutzung nicht konventioneller Energiequellen sowie die effektivere Art der Wärmeerzeugung unter Nutzung der Erdwärme im Vordergrund.

Wärmepumpen gehören zu den energetisch effizientesten Systemen zum Heizen von Gebäuden und zur Erzeugung von Brauchwasser. Sie sind technisch ausgereift und vielfach erprobt. Durch die Nutzung von Umgebungs- und Abwärme können sie sowohl im privaten Wohnbereich als auch im öffentlichen, gewerblichen und industriellen Sektor einen wichtigen Beitrag zur Primärenergieeinsparung und zum Umweltschutz, insbesondere zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emission, leisten.

Moderne Wärmepumpen, die das Erdreich als Wärmequelle nutzen, weisen derzeit mittlere Jahresarbeitszahlen von 4,2 auf, sofern eine Fußbodenheizung mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 35°C verwendet wird. Das bedeutet eine Primärenergieeinsparung von 35% und eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission von 30% gegenüber der Brennwerttechnik.

Wärmepumpen-Heizsysteme unter Nutzung von Erdwärme durch selbsttätige CO<sub>2</sub>-Rohre sind somit als optimale Lösun-

gen zu nennen, zumal bei einem Erdsondenbetrieb mit Solefüllung die dort notwendige Pumpenenergie, die etwa 7% des Energieverbrauchs der Gesamtanlage ausmacht, entfällt. Sie übertreffen die zuvor genannte Arbeitszahl nochmals, zumal das System mit CO<sub>2</sub> als Transportfluid über eine 10 bis 30% bessere Wärmeentzugsleistung verfügt.

Dies bestätigen ganz klar die Messprotokolle zweier Erdwärmesonden, die mit jeweils 100 m Länge und in einem Abstand von 6 m zueinander auf dem Betriebsgrundstück der Firma KALTRO Gebäudetechnik KG in der Dederingerstrasse 23 in Berlin-Mariendorf im Rahmen eines Dauerlauftests im Erdreich eingebracht sind.

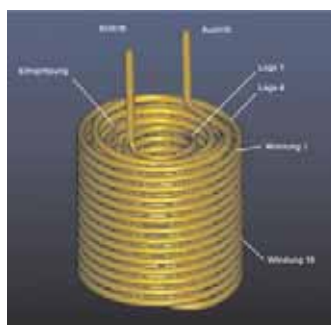
**Fazit:** Das umweltfreundliche und selbsttätige CO<sub>2</sub>-Wärmerohr stellt eine sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvolle Alternative zu anderen Erdwärmesonden und -kollektoren als Wärmequelle für eine Wärmepumpe zur Raumheizung und/oder Brauchwasserbereitung dar. Darüber hinaus stellt die CO<sub>2</sub>-Sonde neben der Technologie des direktverdampfenden Erdkollektors eine weitere Möglichkeit für den Kälte-Klima-Fachbetrieb dar, sich in den nutzbaren Wärmetransport/Heizbetrieb einzubringen.

### Wie geht's weiter?

Für die Vermarktung von Wärmepumpen mit Einbindung von CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohren, vor allem für die Gebäudebeheizung, gibt es sehr günstige Prognosen, dennoch dauert alles seine Zeit, bis die energetischen Vorzüge dieses vom FKW in Hannover entwickelten Wärmepumpenprinzips voll erkannt werden.

Neben dem energetischen Nutzen und der Förderung von Umweltbelangen geht es auch um die nüchterne Beurteilung beim Wärmepumpenbetrieb anfallender Betriebskosten – und auch hier schneidet

### CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr (EWR) besteht aus:



### Wärmeaustauscher



### Wärmerohr (bis zu 100 m)

### Deutsches Gebrauchsmuster Nr. 20 32 04 09

Wärmeaustauscher aus Cu-Rohr. Links im Bild das in seiner Länge von 100 m in seiner Darstellung verkleinerte CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr

### Messergebnisse Wärmepumpe mit 97-m-Sonden Messperiode 04.06.2005 00:00 – 05.06.2005 00:00 (48 h)

		CO <sub>2</sub> -Sonde	Solesonde
gesamte Sondenleistung	[kW]	5,8	4,1
Sondenleistung/Meter	[W/m]	59,9	42,4

Tabelle 1 Messergebnisse einer Wärmepumpe mit CO<sub>2</sub>-Rohr 100 m und einer Wärmepumpe mit Sole-Sonde (6 m Abstand zur CO<sub>2</sub>-Sonde). Messperiode 48 Stunden



Von der Rolle: Flexibles Edelstahlrohr, hier Kälteanlagenbauermeister Christian Scholz mit einem Rhönradauglichen Resteverschnitt, dient in einer Länge von 100 m als Erdwärmerohr dem CO<sub>2</sub> als Transportfluid; auf dem rechten Bild fertig installiert mit isoliertem Wärmeaustauscher und AKV

die CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr-Wärmepumpe im Vergleich mit anderen WP-Wärmequellen-systemen um durchschnittlich 20% besser ab. Dies ist aus der hier veröffentlichten Tabelle zu entnehmen.

Da die beschriebene Technologie im Grunde einer so genannten Kühlstelle entspricht, kann diese zum Beispiel in Berei-chen eines Supermarkts Anwendung fin-den, ohne eine zusätzliche Wärmepumpe installieren zu müssen.

Die Kältezentrale eines Supermarkts steht zu Heizzeiten in genau der Anforde-rung für Kühlbetrieb im benötigten Lei-stungsbereich zur Verfügung. 8 bis 10 Boh-rungen mit entsprechenden CO<sub>2</sub>-Wärme-rohren reichen für diese benötigten Heiz-leistungen aus.

Amortisationszeiten können mit weni-ger als drei Jahren benannt werden. Bei Berücksichtigung der steigenden Energie-preise führen diese Steigerungen dann noch zu weiteren kürzeren Amortisations-zeiten.

Hierzu ein etwas genauerer Kostenver-gleich: Eine Heizung unter Verwendung einer Solesonde mittels Wärmepumpenbe-trieb hat bei einer Heizleistung von ca. 7 KW eine Antriebsleistung von 1,7 KW (1,5 KW Verdichter + 0,2 KW Soleumwälzpum-pe). Dies bedeutet Betriebskosten – Wär-mepumpe mit Solepumpe – von 1,7 KW x 2000 Betriebsstunden x 0,11 Euro = 374 Euro p. a.

Die Betriebskosten einer Wärmepumpe unter Einsatz eines CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohrs – somit ohne Förderpumpe – mit 10%iger besserer energetischer Leistung (2000 – 10% = 1800 Betriebsstunden) betragen daher aber nur 1,5 KW (WP-Verdichter) x

1800 Betr. Std. x 0,11 Euro WP-Strompreis 297 Euro p. a.

Betrachtet man die zu erwartende Altbausanierung, so wird in den kommenden 8 bis 10 Jahren in Deutschland eine Modernisierung von etwa 700 000 bis 800 000 Wohn-einheiten erwartet!

Der Einsatz von Wärmepumpen-systemen und von Erdwärmesonden mit CO<sub>2</sub> als Transportfluid steht vor allem dem Kälte-Klima-Fachbetrieb mit seinen Kernkompetenzen, der Kälte-Klima-Regelungstechnik, in bester Tradition sehr gut zu Ge-sicht.

Das Forschungszentrum für Käl-tetechnik und Wärmepumpen GmbH Hannover, zuständig für Systement-wicklung und Optimierung, die AET-NA Energiesysteme GmbH Ludwigs-felde, zuständig für die geother-mische Nutzung des CO<sub>2</sub>-Erdwär-merohrs, und die KAELETRO Ge-bäudetechnik KG Berlin, zuständig für die Herstellung der Kompakt-Ein-heit „CO<sub>2</sub>-Wärmerohr mit Wärmeü-bertrager“ als komplette einbaufäh-ige Einheit zum Anschluss an han-delsübliche Wärmepumpen verse-hen, sind recht zuversichtlich, bald in eine erste Seriennutzung für diese innovative Umwelttechnologie ein-treten zu können.

Kälteanlagenbauermeister Chris-tian Scholz erwartet für die nächs-ten 18–24 Monate Produktionszahlen im Bereich von 250 bis 400 Stück. Da diese Technologie für den Kälte-Kli-ma-Fachbetrieb geradezu als maßge-

	Risikobereich, Wartungs-, Reinigungstätigkeit	Zusätzliche Antriebsenergie	Kosten für Sekundärenergie bei 2000 h Heizbetrieb/A	Jahres-arbeitszahl von/bis
Luft als Wärmequelle	Wärmetauscher Luft 1 mal jährl. Reinigung	Nein	Kosten für Widerst. Heizung während Winterbetrieb	2,2/2,8
Wasser als Wärmequelle	Reinigung von Wärmetauschern (Verschlammung) Versotten der Brunnen	Ja	0,5 x 2000 x € 0,11 = € 110,-/a	2,4/3,2
Erdkollektor mit Solebetrieb	Grundwassergefährdung	Ja	0,7 x 2000 x € 0,11 = € 154,-	2,6/4,0
Erdsonde mit Solebetrieb	Grundwassergefährdung	Ja	0,2 x 2000 x € 0,11 = € 44,-	4,0/4,4
Erdkollektor mit Direktverdampfung	Keine	Nein	<u>Ohne</u>	4,4/4,8
Erdsonde mit CO <sub>2</sub> Befüllung	Keine	Nein	<u>Ohne</u>	4,6/5,2

Vergleich unterschiedlicher Wärmepumpensysteme hinsichtlich Betriebskosten und Jahres-arbeitszahlen

schneiderte Lösung betrachtet werden kann, ist diese Branche im besonderen Maße gefordert, sich dem Wärmetransport allgemein und den Technologien der direktverdampfenden Systeme zu stellen: Erdkollektor und CO<sub>2</sub>-Wärmerohr mit Wärmeübertrager.

Gegenwärtig besteht eine Option auf 20 Anwendungen – und es ist besonders positiv zu vermerken, dass hierin statt eines Industrieunternehmens ein handwerklich originärer Kälte-Fachbetrieb erfolgreich eingebunden ist. Dazu ein weiteres Glück auf von

P. W.

*So wird's gemacht: Wärmeaustauscher für die CO<sub>2</sub>-Kühlzone exklusiv gefertigt in der Werkstatt der KAELETRO Gebäudetechnik KG*



## Kältetechnik auf den Science Days 2005 vertreten

Die Bundesfachschule Kälte-Klima-Technik und die Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung (ESaK) sind nach Abschluss des Auswahlverfahrens zu dem diesjährigen Science-Days in Rust aufgenommen worden. Damit ist es möglich, die Branche der Kälte- und Klimatechnik einem großen Publikum bekannter zu machen. Unterstützt wird der Messeauftritt auch von der Landesinnung Baden Württemberg.

Bereits zum 5. Mal werden die Science-Days im Europa-Park in Rust durchgeführt. Im letzten Jahr wurde mit ca. 22.000 Besuchern ein neuer Rekord aufgestellt. Die Science Days richten sich vor allem an junge Familien, Schülerinnen und Schüler sowie Lehrerinnen und Lehrer. Das Konzept, selbst zu experimentieren, an Workshops teilzunehmen, mit Wissenschaftlern und Technikern zu diskutieren und sich an Wettbewerben zu beteiligen, hat sich als sehr erfolgreich bewiesen.

Institutionen aus Wissenschaft, Bildung und Wirtschaft werden Stände aufbauen, an denen die Besucher persönlich angesprochen werden und neue Themen kennen lernen, ohne sich selbst des Lernens bewusst zu sein.

Das pädagogische Konzept der Science Days beruht auf vier Säulen:

1. Vielfalt der Angebote;
2. Eigenaktivität der Besucher;
3. Lernen mit allen Sinnen;
4. Reduktion schwieriger Sachverhalte.

Bei der Standgestaltung und der Themenauswahl muss darauf geachtet werden, dass ein Bezug zur Alltagserfahrung aller Besucher vorhanden ist. Hierbei wird besonderer Wert auf eine methodische Vielfalt gelegt: Workshop, Quiz, Show, Vorführung sind dabei Wege, um die Kompetenzbereiche der einzelnen Themengebiete abwechslungsreich darzustellen.

Durch die Teilnahme der Bundesfachschule und der ESaK an den Science Days ist es somit möglich, die wichtige Branche der Kälte- und Klimatechnik einem großen Publikum näher zu bringen. Dabei sollen auf dem Stand unter dem Motto „coole Vorstellung“ den Besuchern in Vorträgen und Experimenten folgende Fragen beantwortet werden:

- Warum hat Kälte auch immer etwas mit Wärme zu tun?
- Wie haben die alten griechischen Seefahrer ihre Getränke gekühlt?
- Wie kann man Kälte sichtbar machen?



Copyright: Förderverein Science and Technologie

– Hat schon einmal jemand Wasser bei 20°C zum Kochen gebracht und so lange gekocht, bis das Wasser gefroren ist? Auf diese Fragen soll am Stand der Bundesfachschule und der ESaK mit selbst durchgeführten Versuchen, Versuchsauswertungen und Workshops Antworten gegeben werden.

Da die Science Days in diesem Jahr unter dem Motto „Albert-Einstein-Jahr“ stehen, werden zusätzlich von der Bundesfachschule und der ESaK Informationen über den Einstein-Kühlschrank weitergegeben.

**Veranstaltungsort:** Europa-Park, 77977 Rust

**Termin:** 20. – 22. Oktober 2005

**Internet:** [www.science-days.de](http://www.science-days.de)  
[www.esak.de](http://www.esak.de)  
[www.bfs-kaelte-klima.de](http://www.bfs-kaelte-klima.de)