

Geothermische Energie

Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung e. V.

Nr. 13

5. Jahrgang

März 1996



Die „Erdgekoppelte“ wird 50 50 Jahre Erdgekoppelte in den USA 15 Jahre Erdwärmesonden in Mitteleuropa

Burkhard Sanner*

50 years ago, the first ground-source heat pump installation was recorded to be operational in Indianapolis, USA. In the home of Robert C. Webber, employee of the Indianapolis Power and Light Co., a 2.2 kW compressor hooked to a direct expansion ground coil system in trenches supplied heat to a warm air heating system. The plant, as described in CRANDALL (1946), was monitored beginning Oct. 1, 1945. This date can be considered as the first day of ground source heat pump operation documented in literature. Some years later (1948-50), experiments in Philadelphia showed that "the earth provided a reliable heat source and heat sink during the two years of heat pump operation, including the periods of highest heating and cooling requirements" (HARLOW & KLAPPER, 1952). In 1953 a study could list not less than 28 experimental ground source heat pump installations in US (AEIC-EEI, 1953)! The ground source heat pump came to Central Europe in the early 70's, the vertical earth heat exchanger ("earth probe") being introduced in 1980. Some pioneers are mentioned and an early plant ("Verolum"), now operational for 15 years, is described.

Nordamerika

Vor fünfzig Jahren begann in den Vereinigten Staaten die Entwicklung der erdgekoppelten Wärmepumpe. In Indianapolis wurde das Haus von Robert C. Webber, einem Mitarbeiter der

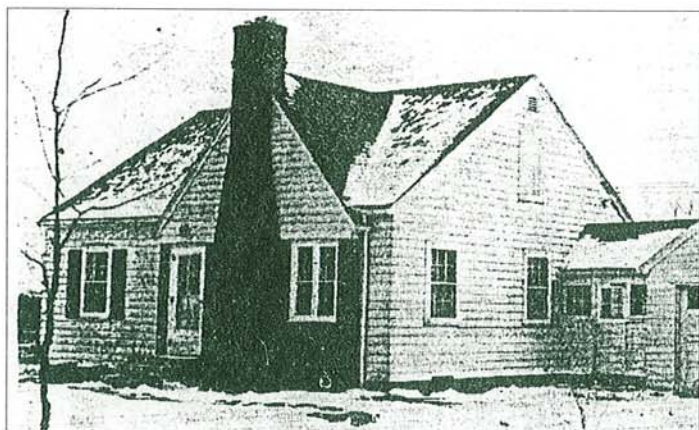


Abb. 1: Fünf-Zimmer-Wohnhaus in Indianapolis mit der ersten erdgekoppelten Wärmepumpe (aus CRANDALL, 1946)

Indianapolis Power & Light Co., mit einer Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen ausgerüstet (Abb. 1, 2). Sie verfügte über einen Kompressor mit 2,2 kW Leistungsaufnahme und nutzte bereits die Technik der Direktverdampfung. Als Wärmequelle wurden Kupferrohre in drei Kreisen mit zusammen 152 m Länge in bis zu 2 m tiefen Gräben verlegt. Die Wärmepumpe speiste über ein Gebläse eine der damals schon in den USA verbreiteten Warmluftheizungen (CRANDALL, 1946).

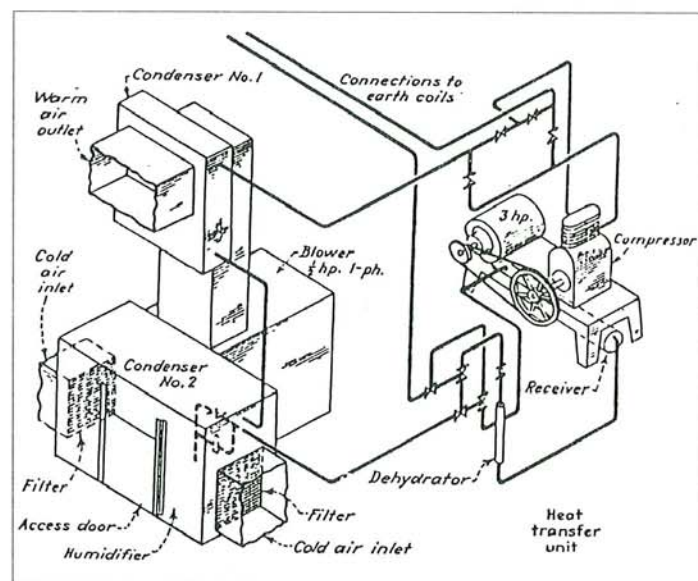


Abb. 2: Schema der Wärmepumpe im Hause Webber, Indianapolis, 1945 (aus CRANDALL, 1946)

Für den Zeitraum vom 1.10.1945 bis 31.5.1946 wurden kontinuierlich Daten dieser Anlage aufgezeichnet, so daß man den 1. Oktober 1945 als ersten dokumentierten Betriebstag einer erdgekoppelten Wärmepumpe ansehen muß. Im Winter 1945/46 wurden in Indianapolis bis zu -24°C gemessen, das Haus Webber durch die Wärmepumpe jedoch durchgängig auf $22-23^{\circ}\text{C}$ Raumtemperatur geheizt. In dieser Heizperiode wurden bei 1630 Betriebsstunden 6357 kWh Strom für Kompressor und Gebläse verbraucht; eine Vergleichsrechnung ergab einen Bedarf von 5,1 t Kohle oder 2970 l Heizöl für das Haus mit entsprechenden konventionellen Heizungen. Als Schlußfolgerung seiner Beschreibung dieser Anlage vermerkt CRANDALL (1946), daß zur Beurteilung des Wärmepumpenbetriebs an anderen Standorten und mit anderen Bodenbedingungen noch eine beträchtlicher Aufwand an Forschung und Versuchen erforderlich sei, die bestehende Anlage den Elektrizitätswerken jedoch eine Vorstellung von der Anwendbar-

keit erdgekoppelter Wärmepumpen für die Hausheizung geben könnte.

In einem Artikel vom Dezember 1946 schreibt KEMLER (1946) von vielen Vorschlägen zur Nutzung der erdgekoppelten Wärmepumpe, wobei zwei Varianten bereits ausprobiert worden seien. Dabei wird neben den in Gräben verlegten Rohren (wie in Indianapolis) auch ein in einer offenen Bohrung stehendes U-Rohr genannt, eine frühe Form der Erdwärmesonden. Ein Jahr später dokumentiert KEMLER (1947) die verschiedenen Methoden (Abb. 3), wobei vertikale U-Rohre, Koaxial-Rohre und Spiralrohre wie auch horizontale Rohre und schließlich Grundwasserbrunnen dargestellt sind. Ob alle diese Wärmequellen bei Erscheinen des Artikels tatsächlich schon praktisch umgesetzt oder nur theoretisch entwickelt worden waren, geht aus dem Text nicht hervor. Ausdrücklich erwähnt ist jedoch, daß die Union Electric Company in St. Louis eine Versuchsanlage mit den spiralförmigen Wärmetauschern erstellt habe. Die Spiralrohre wurden in Bohrlöcher

von 5- 7 m Tiefe eingebracht, wobei sonst für das Setzen von Leitungsmasten verwendetes Bohrgerät zum Einsatz kam.

Ausführliche Versuche sind ab der Heizperiode 1948/49 aus Philadelphia dokumentiert (BARY, 1952; HARLOW & KLAPPER, 1952; KIDDER & NEHER, 1952). Bereits 1947 begann die Philadelphia Electric Company eine Zusammenarbeit mit Chrysler Air Temp Sales Corp., um an zwei Demonstrationsanlagen praktische Erfahrungen zu sammeln. In Whitmarsh und Lansdowne, Vororten Philadelphias, wurden weitgehend baugleiche Anlagen in Wohnhäusern von Mitarbeitern der Philadelphia Electric Company installiert. Im Gegensatz zu der Direktverdampfungs-Anlage in Indianapolis zirkulierte hier ein Wärmeträgermedium (Wasser Monoethylenglykol-Gemisch) in erdverlegten eisernen Wasserleitungsrohren (siehe Tab. 1, Seite 3).

Inhalt

| | Seite |
|---|----------|
| Die "Erdgekoppelte" wird 50 <i>Burkhard Sanner</i> | 1 |
| „Geothermal Heat Pumps“ - Erdgekoppelte Wärmepumpen in den USA <i>Burkhard Sanner</i> | 5 |
| Wollerau: Erdreich als Saisonal Speicher <i>Christoph Kapp</i> | 8 |
| Betriebserfahrungen mit einer Erdreich-Wärmepumpe im Kindergarten Kranzberg <i>Peter Breitfelder</i> | 9 |
| 5 Wärmepumpen mit vertikalen Erdwärmesonden im Erzgebirge <i>Bernd Müller</i> | 13 |
| Höllenerde und High-Tech Larderello: Geschichtsträchtiger geothermischer Strom <i>Werner Bußmann</i> | 15 |
| Markt Schwaben: Neues Projekt aus der Taufe <i>Patricius-Plakette</i> <i>Burkhard Sanner/Werner Bußmann</i> | 17 18 |
| Dokumentation - Diskussion Reaktionen auf Aktion Förder- und Entwicklungsbedarf Geothermie | 22 |
| Aus der Branche | 27 |
| Lokal - Regional - Global | 29 |
| Tagungen - Kongresse - Termine Geothermal Heat Pump Conference im Richard Stockton College of New Jersey, USA | 31 |
| Publikationen - Materialien | 35 |
| GtVeV intern | 38 |
| ZuguterLetzt | 44 |
| Impressum | 44 |

| | Whitemarsh | Lansdowne |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Rohrdurchmesser | 1 1/2" | 1 1/2" |
| Rohrlänge (gesamt) | 337 m | 211 m |
| Anzahl Rohrkreise | 3 | 3 |
| Verlegetiefe | 1,5 m | 1,5 m |
| Stromaufn. Umwälzpumpe | 240 W | 240 W |
| Umwälzmenge | 3,2 m ³ /h | 3,2 m ³ /h |
| Stromaufn. Kompressor | 3,6 kW | 3,6 kW |
| Heizleistung | ca. 10 kW | ca. 10 kW |
| Widerstands-Zusatzheizung | 25 kW | 20 kW |
| Heizbedarf Gebäude | 26,4 kW | 22,0 kW |
| Kühlbedarf Gebäude | 11,7 kW | 10,3 kW |
| Spez. Rohrlänge | 19 W/m | 30 W/m |
| Kältemittel | R 12 | R 12 |
| Jahresarbeitszahl | 2,5 | 2,7 |

Tab. 1: Daten der frühen erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen bei Philadelphia

Als Kompressor kam ein Chrysler 5-Zylinder zum Einsatz, der mit einer von größeren Aggregaten abgeleiteten, etwas komplizierten Leistungsregelung versehen war. Durch eine Druckluftsteuerung konnten einzelne Ventile offengehalten werden, so daß in den entsprechenden Zylindern keine Verdichtung mehr stattfinden konnte. Somit waren fünf Leistungsstufen möglich, die je nach Außentemperatur und Raumtemperatur angesteuert werden sollten. Leider erwies sich diese frühe Form der Leistungsanpassung als wenig zuverlässig (anders als die heute bei kleinen Luft-Luft-Wärmepumpen in Nordamerika und Japan weitverbreiteten, über Inverter drehzahlregulierten Kompressoren), und so wurde in der zweiten Heizperiode nur noch im Ein-Aus-Betrieb mit allen fünf Zylindern geregelt.

Zum 1.10.1948 begann die Meßdatenaufzeichnung. Bis 1950 sank die Temperatur an den Rohren im Erdreich nicht unter -1°C , die Verdampfertemperaturen lagen 1948/49 im Minimum zwischen -3°C und -6°C und 1949/50, ohne die Leistungsregelung der Kompressoren, in Withemarsh im Extremfall bei -13°C (HARLOW & KLAPPER, 1952). Es kam während der beiden Betriebsjahre zu einer Reihe von Ausfällen einzelner Komponenten, was bei einer derart innovativen Anlage nicht verwunderlich ist. Sie betrafen jedoch vor allem die Warmluftgebläse, die Vier-Wege-Ventile zum Umschalten auf Heiz-/Kühlbetrieb und die Kompressoren (vor allem die komplizierte pneumatische Steuerung). Auch kam es zu insgesamt 12 Kältemittel-Leckagen. Das Erdreich jedoch erwies sich, wie HARLOW & KLAPPER (1952) im Schlußwort sagen, als zuverlässige Wärmequelle und -senke, auch in Perioden höchsten Heiz- bzw. Kühlbedarfs.

In Kanada ist die erste erdgekoppelte Wärmepumpe in einem Versuchshaus der University of Toronto im Jahr 1949 dokumentiert; sie wurde seit dem 25.10.1949 gemessen (HOOPER, 1952). HADLEY (1949) führt acht durch Stromversorger betriebene Versuchsanlagen in den USA auf (einschließlich der beiden vorstehend beschriebenen Anlagen in Philadelphia), und in einer 1953 veröffentlichten Liste (AEIC-EEI, 1953) konnten bereits 28 durch Universitäten oder Elektrizitätsunternehmen betriebene Versuchsanlagen verzeichnet werden. Auch die theoretische Beschreibung des Wärmefeldes um Erdreichwärmetauscher wurde recht früh in Angriff genommen. Hier ist vor allem L.R. Ingersoll von der University of Wisconsin in Madison zu nennen, der an der Theorie der Wärmeleitung im Erdreich arbeitete, ab 1948 gemeinsam mit Koautoren in verschiedenen Publikationen die Berechnungs-

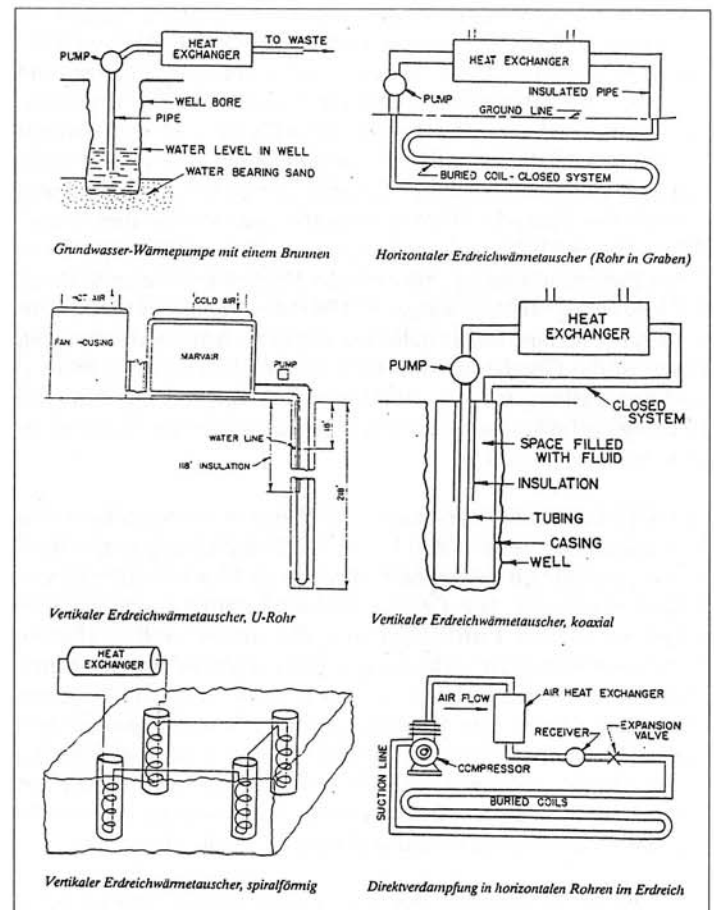


Abb. 3: Verschiedene Varianten erdgekoppelter Wärmepumpen (aus KEMLER, 1947)

verfahren auf erdgekoppelte Wärmepumpen anwandte (z.B. INGERSOLL & PLASS, 1948) und damit Auslegungsmöglichkeiten auf physikalischer Grundlage einführte. Eine ausführlichere Darstellung der frühen Entwicklung erdgekoppelter Wärmepumpe findet sich bei SANNER (1992).

Mitteleuropa

Erdgekoppelte Wärmepumpen wurden um 1970 erstmals in Europa beschrieben, als Grundwasserwärmepumpen (DRAFZ, 1972) oder mit horizontalen Erdreichkollektoren (WATERKOTTE,

1972). Erdwärmesonden werden in Mitteleuropa dagegen erst seit nunmehr 15 Jahren eingesetzt. Erste Anlagen in Deutschland sind aus dem Jahr 1980 dokumentiert**, so in Schöffengrund bei Wetzlar die Anlage Verolum der Helmut Hund GmbH mit 8 Koaxial-Erdsonden (Firmenunterlagen Geotherm, Linden), zwei Anlagen in Wohnhäusern in Mainhardt, eine in Pfedelbach und eine in Kirchheimbolanden (Firmenschrift WTA, Worms), und 1981 eine Anlage in einem Wohnhaus bei Krefeld (DRAFZ, 1982). In der Schweiz wird als erste die 1980 gebaute Anlage Rechsteiner in Arbon am Bodensee genannt: "So ist es denn auch dem Zufall zu verdanken, daß ein Energiepionier, namens Rechsteiner, im Jahre 1980 ein Bohrgerät unseres Unternehmens (Grundag AG, Anm. d. Verf.) beim Abteufen von Kernbohrungen für Baugrunduntersuchungen beobachtete und sich die Frage stellte, ob dieses Bohrgerät wohl auch geeignet wäre, Löcher zu bohren, um ein haarnadelförmiges PE-Rohr auf 50 m Tiefe einzubauen. Er sei der Meinung, durch Zirkulation eines Trägermediums im geschlossenen Kreislauf könnte den Erdformationen Energie entnommen werden" (ROHNER, 1991).

Als einer der Pioniere für Erdwärmesonden in Deutschland kann der Optik- und Elektronikunternehmer Helmut Hund gelten. Für den Neubau einer Produktionsstätte für Glaserfaseroptik ("Verolum") suchte er unter dem Eindruck der stetig steigenden Ölpreise zum Ende der siebziger Jahre ein wirtschaftlich vertretbares energiesparendes Heizsystem; dabei mußte die Heizung die Vorgabe gleichmäßiger Raumtemperaturen für die sensiblen Produktionsschritte aber auch zuverlässig und witterungsunabhängig erfüllen können. So suchte Helmut Hund Informationen und Mitstreiter zusammen, kaufte ein kleines Bohrgerät und erstellte im Frühjahr 1980 in Schöffengrund-Schwalbach eine erdgekoppelte Wärmepumpenanlage mit 8 jeweils knapp 50 m tiefen Erdwärmesonden. Als er in der Region mit dieser Technik auf Resonanz stieß, gründete er 1981 die Geotherm GmbH zur Weiterentwicklung und Installation von Erdwärmesondenanlagen. Heute ist die Geotherm GmbH ein Unternehmen des Heizungs- und Sanitärhandwerks mit einem Schwerpunkt auf neuen Heizungstechniken wie Kraft-Wärme-Kopplung und Erdgekoppelte Wärmepumpen.

Helmut Hund setzte zuerst auf Koaxialsonden, wobei er bald eine Konstruktion aus einem durch eine PE-Beschichtung gegen Korrosion geschützten Edelstahl-Wellrohr von 46 mm lichter Innenweite entwickelte. Die PE-Beschichtung wurde unter Vakuum aufgebracht, um Luftblasen und die damit einhergehende Isolationswirkung zu verhindern. Dieses schlanke und biegsame Rohr stellt bis heute sicher die beste Verbindung von Wärmeübertragung, geringem Durchmesser und Korrosionssicherheit dar, wurde aber durch die deutlich billiger herzustellenden HDPE-Doppel-U-Sonden weitgehend abgelöst. Geotherm benutzt Doppel-U-Erdwärmesonden (Typ Gä 4x25) inzwischen ebenso wie schon seit langem Grundag (Grundag Duplex).

Das Gebäude Verolum mit 385 m² Grundfläche (Abb. 4) wird durch eine Siemens-Wärmepumpe mit 22 kW Heizleistung (0/35) beheizt. Es sind 8 Koaxial-Erdwärmesonden in je 50 m tiefen Bohrungen entlang der Nord- und Ostseite des Gebäudes installiert. Vom 26.11.1980 bis zum 13.5.1995 (Ende der Heizperiode 94/95) wurden 129,49 MWh Strom für Wärmepumpe und Soleumwälzpumpe verbraucht. Leider wurde 1980 keine Wärmemengenmessung eingebaut; doch kann die seit 1980 erzeugte Heizwärme mit 350 MWh errechnet werden, wenn eine durch die großzügig ausgelegte Fußbodenheizung mit relativ niedrigen Vorlauftemperaturen sicher erreichbare Jahresarbeitszahl von 2,7 angenommen wird (der entsprechende mittlere spezifische Jahresheizbedarf von 60,6 kWh/m²/a paßt gut zu Gebäude und Standortklima). Gegenüber einer Ölheizung wurden somit Emis-

sionen von 1020 kg CO₂, 188 kg SO₂ und 85 kg NO_x vermieden (bei Strom zu 65 % aus fossiler Primärenergie). Mit den heute bei modernen Erdwärmesonden-Anlagen erreichbaren Jahresarbeitszahlen deutlich über 3, und vor allem bei Anlagen mit Abdeckung von Kühllasten im Sommer, sind die Emissionsminderungen natürlich bedeutend größer.

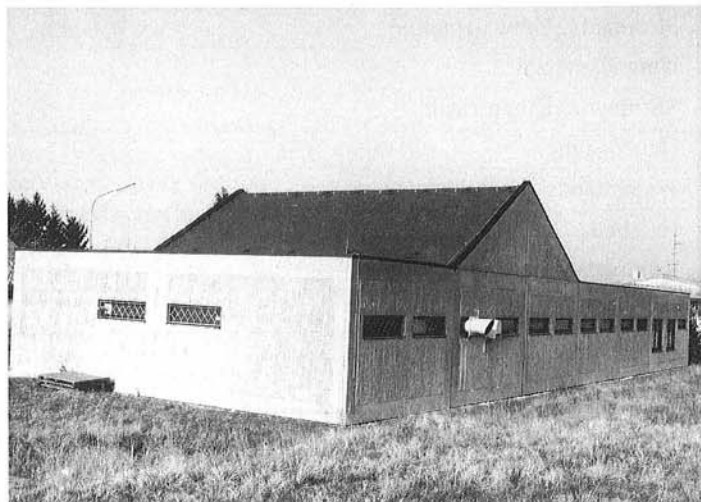


Abb. 4: Betriebsgebäude "Verolum" der Helmut Hund GmbH, seit 1980 mit Erdwärmesonden beheizt

Mit den Energiekosten des Jahres 1980 wurde eine lineare Amortisationszeit von 6,97 Jahren gegenüber einer Ölheizung errechnet. In einem Zeitungsinterview im Winter 1980/81 sagte Helmut Hund: "Allen Unkenrufen zum Trotz funktioniert die Geschichte. Seit die Anlage läuft, habe ich keinen Tropfen Öl mehr gebraucht. Ich habe nur positive Erfahrungen mit der Erdwärmepumpe gesammelt - vor allem auch was die Amortisationskosten angeht". Nun, die Wirtschaftlichkeit hat durch den in der Mitte der 80er Jahre stark gefallenen Heizölpreis gelitten, doch die Erwartungen an einen problemlosen Betrieb haben sich weitgehend erfüllt. Nachdem die Komponenten der ersten Wärmepumpe, in der Zeit des "Wärmepumpenbooms" von einem kleinen Unternehmen mehr schlecht als recht zusammengeschustert, keine ausreichende Standzeit aufwies, hat die danach eingebaute Siemens-Wärmepumpe nunmehr bereits 10 Jahre störungsfreien Betrieb hinter sich. Seit 15 Jahren wird nun also die Produktionshalle in Schöffengrund-Schwalbach mit oberflächennaher Geothermie geheizt, und die Anlage geht mit unveränderter Zuverlässigkeit in ihren 16. Winter.

Schrifttum:

AEIC-EEI Heat Pump Committee (1953): Research Results concerning Earth as a Heat Source or Sink. - Edison Electr. Inst. Bull., Sept. 1953, S. 355-358, New York

BARY, C. (1952): Residential Heat Pump Experiments in Philadelphia - Suggested Possibilities for Practical Applications. - AIEE Trans 71/II, S. 361-365, New York

CRANDALL, A.C. (1946): House Heating with Earth Heat Pump. - Electrical World 126/19, S. 94-95, New York

DRAFZ, H.-J. (1972): Wasser-Wasser-Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus - ETA elektrowärme int 30/A, S. 25, Essen

DRAFZ, H.J. (1982): Erdreichsonden als Wärmequelle für Wärmepumpenheizungen. - ETA elektrowärme int 40/A, S. 222-226, Essen

HADLEY, W.A. (1949): Operation Characteristics of Heat Pump Ground Coils. - Edison Electr. Inst. Bull., Dec. 1949, S. 457-461, New York

HARLOW, J.H. & KLAPPER, G.E. (1952): Residential Heat Pump Experiments in Philadelphia - Installation and Operating Experience. - AI EE Trans 71/II, S. 366-375, New York

HOOPER, F.C. (1952): An Experimental Residential Heat Pump. - Canadian Journal of Technology 30, S. 180-197, Ottawa

INGERSOLL, L.R. & PLASS, H.J. (1948): Theory of the ground pipe heat source for the heat pump. - Heating, Piping & Air Conditioning 20/7, S. 119-122, Chicago

KEMLER, E.N. (1946): Heat for the Heat Pump. - Heating, Piping & Air Conditioning, Dec. 1946, S. 84-86, Cleveland

KEMLER, E.N. (1947): Methods of Earth Heat Recovery for the Heat Pump. - Heating and Ventilating, Sept. 1947, S. 69-72, New York

KIDDER, A. & NEHER, J. (1952): Residential heat pump experiments in Philadelphia - Earth as a Heat Source. - AIEE Trans 71/II, S. 34 2-350, New York

ROHNER, E. (1991): Entwicklung und Stand der Erdsonden-Anlagen in der Schweiz. - Symp. Erdgekoppelte Wärmepumpen Rauschholzhausen, IZW-Berichte 3/91, S. 33-40, Karlsruhe

SANNER, B. (1992): Erdgekoppelte Wärmepumpen, Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation. - 328 S., IZW-Berichte 2/92, Karlsruhe

WATERKOTTE, K. (1972): Erdreich-Wasser-Wärmepumpe für ein Einfamilienhaus. - ETA elektrowärme int. 30/A, S. 39-43, Essen

***Sollte eine(r) der Leser/innen der "Geothermischen Energie" noch frühere Anlagen kennen, würde der Verfasser sich über eine entsprechende Information freuen!*

*Dr. Burkhard Sanner, Institut für Angewandte Geowissenschaften der Justus-Liebig-Universität Gießen

„Geothermal Heat Pumps“- Erdgekoppelte Wärmepumpen in den USA

Burkhard Sanner*

Ground Source Heat Pumps (GSHP) experience a rapidly increasing market in North America. The term "Geothermal Heat Pumps" now is widely used to show the advanced status of this technology. Most GSHP are for heating and cooling and thus offer superior economy. Large plants have been build in increasing numbers (table 1), most of them using small- to medium heat pumps on a common water loop connected with a borehole heat exchanger field or ground water wells. The largest plant, in Louisville, Kentucky, with 19 MW heating out put (4470 ton heat pumps), features 20 ground water wells; the largest plant with closed loop in Richard Stockton College (5.2 MW) is described in GtE 12. Schools are a very favourable application for GSHP, and the new Phillips 66 gas stations and convenience stores will be equipped with a "Fully Integrated Geothermal System".

In den USA haben erdgekoppelte Wärmepumpen in den letzten Jahren einen erheblichen Aufschwung erfahren. Der eigentlich korrekte Begriff "Ground Source Heat Pumps" wird dabei mehr und mehr durch die werbewirksamere Bezeichnung "Geothermal Heat Pumps" ersetzt. Gemeint ist nach wie vor das gleiche. In einem Land, in dem Raumkühlung auch für Wohngebäude nicht als Luxus angesehen wird und in vielen Landesteilen unverzichtbar ist, kann die erdgekoppelte Wärmepumpe ihre Vorteile voll ausspielen. Im Gegensatz zu europäischen Anlagen zur reinen Heizung sind solche Wärmepumpen bereits bei heutigen Energiepreisen wirtschaftlich interessant; und da sie im Kühlbetrieb herkömmlichen Kälteaggregaten mit Wärmeabgabe an die Außenluft in der Energieeffizienz weit überlegen sind, ist selbst bei nicht sehr hohen Jahresarbeitszahlen die insgesamt erreichbare Emissionsminderung gegenüber konventioneller Technik beträchtlich.

Wegen dieser Vorteile werden Geothermal Heat Pumps in den USA durch die Bundesbehörden für Umwelt und für Energie unterstützt. Die Stromversorger unterstützen die Technik ebenfalls, da sie im durch Sommerspitzen (Kühlung) geprägten Strommarkt Entlastungen bei eben diesen Spitzen ermöglicht und im Winter einen äquivalenten Verbrauch hervorruft. Eine Studie des Electric Power Research Institute (EPRI) von 1993 ging von 2 Mio. Einheiten im Jahr 2000 aus, und das durch Bundesbehörden und Stromversorger gegründete Geothermal Heat Pump Consortium hat sich eine jährliche Anzahl von 140.000 Neuanlagen im Jahr 2000 zum Ziel gesetzt.

Neben einer großen Anzahl kleinerer, standardisierter Wärmepumpenanlagen für Wohnhäuser, mit Erdwärmesonden, Brunnen oder Rohren in Gräben, gibt es auch in steigender Anzahl sehr große Anlagen. Tab. 2 (Seite 6) führt einige wichtige Beispiele auf. Die größte Anlage überhaupt befindet sich in Louisville, Kentucky. Sie nutzt Grundwasser mit je 10 Produktions- und Injektionsbohrungen und beheizt und kühlt einen Komplex mit Büros, Appartments und Hotel von über 160.000 m² Fläche. Wie in den USA üblich, sind einzelne kleinere Wärmepumpen in großer Anzahl an eine zentrale Wasser-Ringleitung angeschlossen. In Louisville kommen so insgesamt 19 MW Heizleistung zusammen! Die größte Anlage mit Erdwärmesonden ist z.Zt. die in GtE 12 beschriebene Anlage des Richard Stockton College in New Jersey (Abb. 5). Auch hier sind 66 Wärmepumpen durch eine zentrale Ringleitung mit einem Erdsondenfeld