

Oberflächennahe Geothermie – Wärme- und Kälteversorgung aus dem Untergrund

Burkhard Sanner

In den vergangenen Jahren ist die oberflächennahe Geothermie mehr und mehr aus einem Schattendasein herausgetreten. Erdgekoppelte Wärmepumpen sind keine exotischen Einzelfälle mehr, sondern z.B. in der Schweiz eine selbstverständliche Alternative zu anderen Heizsystemen. Ausdauer und Kreativität bei der Weiterentwicklung haben aus einer vor zwanzig Jahren noch belächelten und mit vielfältigen Problemen kämpfenden Technik ein zuverlässiges, energiesparendes Heizsystem werden lassen.

1. Einleitung

Das Erdreich bietet von der Oberfläche an bis in Tiefen von einigen hundert Metern ein ganzes Spektrum von Möglichkeiten zur thermischen Energienutzung. Die erste technische Anwendung ist aus den USA bekannt, wo im Herbst 1945 die erste erdgekoppelte Wärmepumpe in Betrieb ging (CRANDALL, 1946). Über in Gräben verlegte Rohre wurde dem Erdreich Wärme entzogen und zur Beheizung eines Wohnhauses eingesetzt. 1969 wurde die erste in der Literatur dokumentierte erdgekoppelte Wärmepumpenanlage in Deutschland gebaut, sie besaß ein horizontales Rohrregister im Erdreich (WATERKOTTE, 1972). Mit den Ölpreiskrisen 1973 und 1978 fand die Technik schnell eine gewisse Verbreitung, wobei neben den Erdwärmekollektoren sehr früh schon Grundwasserbrunnen als Wärmequelle genutzt wurden (DRAFZ, 1972). Um 1980 traten dann in Deutschland und der Schweiz die ersten Erdwärmesonden auf (SANNER, 1996a).

Die zu schnelle Markteinführung von Heizungswärmepumpen zur Zeit der Ölpreiskrisen zeigte negative Auswirkungen. Vertrieb, Installation und Service waren ebensowenig

zufriedenstellend wie Qualität und Standzeit der Wärmepumpen selbst. Probleme mit den Maschinen, die teilweise in geringen Stückzahlen in kleinen Werkstätten aus Komponenten zusammengesetzt wurden, und mit ungeeigneter Einbindung in Heizungssysteme traten auf. Brunnen mit ungeeignetem Grundwasserchemismus führten zu Schwierigkeiten (z. B. Verockerung von Schluckbrunnen). Die übertriebenen Versprechungen zu Energieeinsparung und Kostensenkung erwiesen sich als unhaltbar. So brach der Wärmepumpenmarkt etwa 1981 zusammen, lange bevor sinkende Ölpreise ab 1984 das Interesse an Energiesparmaßnahmen vorübergehend abschwächten.

Viele der damaligen Wärmepumpenhersteller überlebten diesen Zusammenbruch nicht oder gaben, wie die großen Brenner- und Kesselhersteller, die Sparte Wärmepumpenbau rasch wieder auf. Diejenigen Firmen, die der Technik treu blieben, können heute in der Regel ausgereifte, sparsame und zuverlässige Geräte anbieten. Inzwischen wurde auch neben der reinen erdgekoppelten Wärmepumpe die Technik der Wärme- und Kältespeicherung im Untergrund entwickelt, und zu den horizontalen Rohren sind Grabenkollektoren, Spiralaröhre, »Energiepfähle« u. a. zur Erschließung der oberflächennahen Geothermie hinzugekommen. Forschung und Entwicklung gingen weiter, und so steht heute eine erprobte Technik für viele Anwendungsbereiche zur Verfügung.

2. Erdgekoppelte Wärmepumpen

Das Temperaturniveau im oberflächennahen Untergrund ist relativ niedrig. Die jahres-

zeitlichen Temperaturschwankungen gleichen sich in einer Tiefe von 10–15 m aus und nähern sich der im Jahresmittel an der Erdoberfläche gemessenen Temperatur an (»Neutrale Zone«); darunter beginnt der durch den geothermischen Wärmefluß gespeiste Temperaturanstieg zum Erdinneren hin, der im Mittel etwa 3°C pro 100 m Tiefe beträgt. Bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9°C werden also in der für Erdwärmesonden typischen Tiefe von 100 m 12°C erreicht.

Die Aufgabe einer Heizung im Wohnhaus ist es, Räume auf 20–24°C und Warmwasser auf 50–60°C aufzuheizen. Wenn dies zuverlässig und wirtschaftlich geschieht, ist Kundenzufriedenheit gegeben. Bei Erdreichtemperaturen um 10°C kann im Heizbetrieb nur über eine Wärmepumpe die dazu erforderliche Energie in die Wärmenutzungsanlage abgegeben werden und gleichzeitig auf der Wärmequellenseite Temperaturen unter den Erdreichtemperaturen geschaffen werden, damit ein Wärmetransport aus dem Erdreich in die Wärmequellenanlage eintritt. Wärmepumpen im kleineren Leistungsbereich werden heute durchweg mit Strom angetrieben, für größere Leistung gibt es aber auch verbrennungsmotorisch betriebene Kompressionswärmepumpen und Absorptionswärmepumpen, die direkt mit Primärenergie betrieben werden. Ein einfaches Schema einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonde zeigt Bild 1.

Die Wärmequellen erdgekoppelter Wärmepumpen sind heute sehr vielseitig. Verbreitet ist nach wie vor eine horizontale Verlegung von Rohren in 80–160 cm Tiefe, sogenannte Erdwärmekollektoren, wie sie bereits bei der ersten Anlage 1945 praktiziert wurden. Voraussetzung ist eine ausreichende Fläche für die Rohrverlegung. Erdwärmekollektoren stellen i. d. R. die kostengünstigste Variante einer erdgekoppelten Wärmequellenanlage dar, wobei die Kosten auch noch durch Eigenarbeit minimiert werden können. Häufigere Sonderformen von Erdwärmekollektoren sind der Grabenkollektor, bei dem die Wände eines etwas tieferen Grabens (ca. 3 m) dicht mit Rohren belegt werden, oder die in Nordamerika verbreiteten spiralförmigen Wärmetauscher (»SVEC-

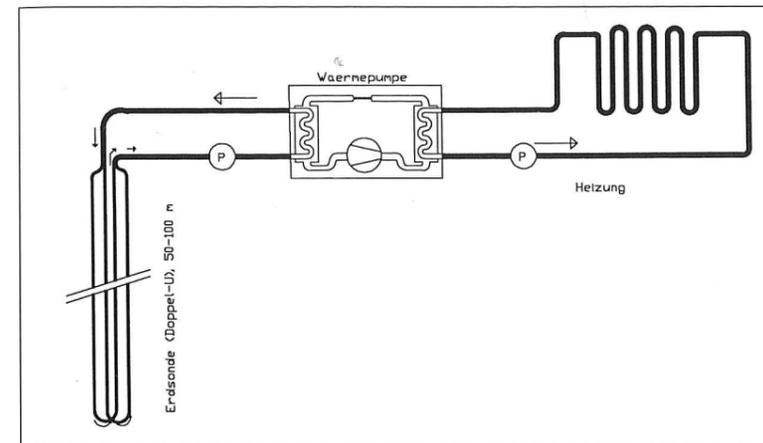


Bild 1: Schema einer typischen erdgekoppelten Wärmepumpe mit Erdwärmesonden für ein Wohnhaus

spirals« in Kanada und »slinky coils« in USA). Alle diese Varianten dienen dazu, eine größere Wärmetauscherfläche auf einem kleineren Areal unterzubringen. SVEC-spirals sind inzwischen auch für größere Anlagen eingesetzt worden, wie z. B. für die Grundschule in Newmarket, Ontario, mit ca. 450 kW Heizbedarf (SVEC et al., 1994). In Deutschland sind für die Hauptschule in Kisslegg im Allgäu Grabenkollektoren im Einsatz (GERBERT, 1994), die Wärmepumpen-Heizleistung beträgt ungefähr 180 kW.

Je nach Standort besteht auch die Möglichkeit, Grundwasser über Brunnen zu entnehmen und direkt dem Wärmepumpenverdampfer zuzuleiten. Diese Technik hat ebenfalls bereits eine längere Geschichte; 1948 ging in Portland, Oregon, USA, die erste erdgekoppelte Wärmepumpenanlage für ein größeres Bürogebäude in Betrieb. Sie besaß zwei Brunnen von 46 m und einen von 152 m Tiefe, die vier Wärmepumpen mit einer Heizleistung von beachtlichen 1900 kW mit Grundwasser beliefern. 1964 wurde die Leistung auf 2600 kW angehoben. Eine Besonderheit dieser Anlage

ist vor allem, daß sie nach fast 50 Jahren immer noch das Gebäude mit dem Namen »Commonwealth Building« versorgt. Wärmepumpen wurden inzwischen ausgetauscht, doch Brunnen und Anlagenkonzept sind unverändert. Das Grundwasser wird dort auch direkt zur Vorheizung und -kühlung der Zuluft verwendet, was sich in der ungewöhnlich hohen Arbeitszahl von 19,2 niederschlägt (GHPC, 1996).

Nach den geltenden Vorschriften in Deutschland muß das Wasser i. d. R. wieder in den Untergrund eingeleitet werden (Schluckbrunnen), so daß mindestens zwei Brunnen erforderlich sind. Solche Grundwasserwärmepumpen ermöglichen meist eine günstige Jahresarbeitszahl, da die Wärmequellentemperatur relativ hoch liegt; Wärmeaustauscherverluste im Untergrund fallen nicht an. Die Brunnen (vor allem der Schluckbrunnen!) müssen jedoch gepflegt werden, und ungünstige chemische Zusammensetzung des Grundwassers wie z. B. erhöhter Eisengehalt kann die langfristige Funktionsfähigkeit beeinträchtigen. Bei größeren Anlagen ist die Grundwassererschlie-

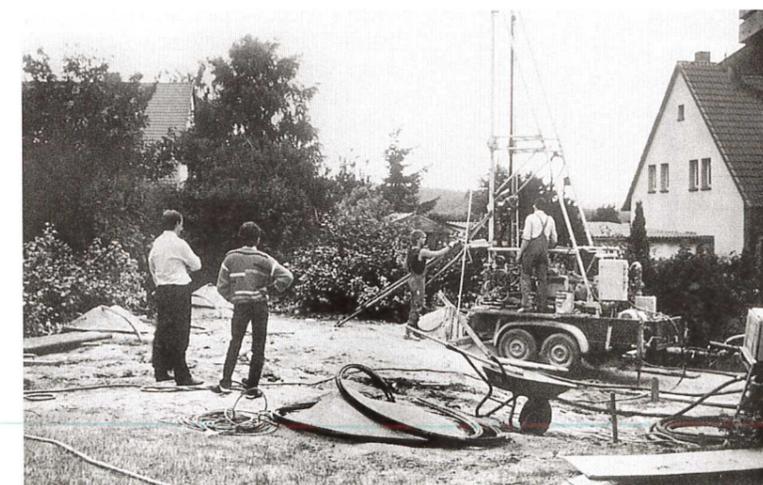


Bild 2: Kleinbohrgerät auf Anhänger im Einsatz im Garten eines Einfamilienhauses



Dipl.-Geol. Dr. Burkhard Sanner, geb. 1955. Seit 1985 mit erdgekoppelten Wärmepumpen und Geothermie befaßt. Seit 1990 am Inst. f. Angewandte Geowissenschaften der Universität Gießen tätig

AQUAPLUS® - WellJet®

Die einzige mechanisch-hydraulische Wasserhochdruck-Brunnenreinigung mit kontrolliertem pat. Drehdüsenystem - reinigt Ihre Brunnen schonend und präzise bei max. Leistungssteigerung!

Verlangen Sie das Original!

AQUAPLUS®
Brunnensanierung

H. Munding GmbH & Co. KG
D-96317 Kronach - Fischbach 29

Telefon 09261/30-21, 22, 23
Telefax 09261/95266

lung von den Kosten her meist den Erdwärmesonden überlegen, falls geeignete Untergrundverhältnisse vorliegen. Die größte erdgekoppelte Wärmepumpenanlage der Welt in einem Hotel-, Geschäfts- und Bürokomplex in Louisville, Kentucky, USA, leistet ca. 10 MW an Heiz- bzw. Kühlleistung mit 22 Brunnen.

Seit etwa 1980 wird in Mittel- und Nordeuropa der Bereich der oberflächennahen Geothermie durch Erdwärmesonden erschlossen. Da dieser Technik von verschiedenen Seiten zuerst Skepsis entgegengebracht wurde, kam es zu mehreren Forschungsvorhaben, die den Wärmetransport im Untergrund und das thermische Verhalten von Erdwärmesonden genau untersucht haben (SANNER et al., 1986; EUGSTER, 1991; KNOBLICH et al., 1993) und die die Funktionsfähigkeit bestätigt haben. Erdwärmesonden sind Rohre, die in vertikale oder schräge Bohrungen im Erdreich installiert werden. Bei weichem Untergrund können Erdwärmesonden auch direkt eingerammt oder eingespült werden. Als Material hat sich HD-Polyethylen durchgesetzt, das als U-Rohr (Nordamerika) oder Doppel-U-Rohr (Mitteleuropa) Verwendung findet. Vorteile sind der geringe Flächenbedarf und das konstante Temperaturniveau in der Tiefe. Allein in der Schweiz sind Ende 1996 über 20 000 erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen in Betrieb.

Erdwärmesonden finden ihre Anwendung sowohl in kleinen Anlagen, wo manchmal nur ein oder zwei Erdwärmesonden zur

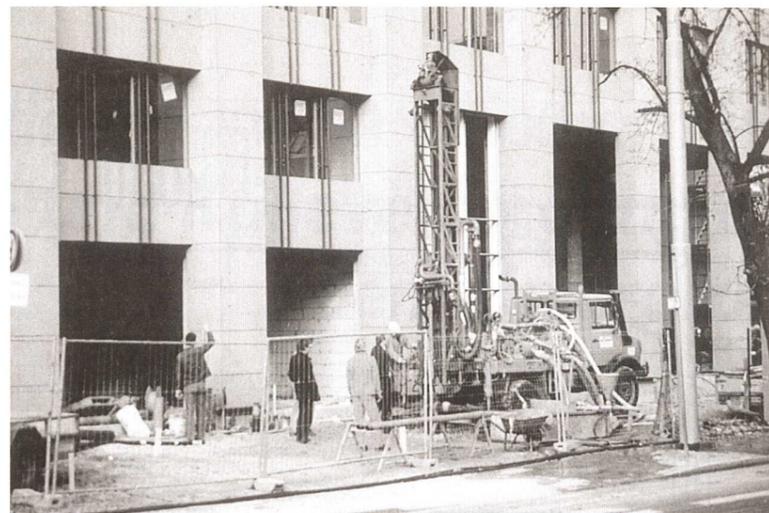


Bild 3: Bohrungen für Erdwärmesonden an einem Büro- und Wohnhaus im Rhein-Main-Gebiet

Beheizung eines kleinen Wohnhauses ausreichen, als auch in größerem Maßstab, z. B. für Wohnanlagen, Bürogebäude, Schulen usw. Tab. 1 führt einige Beispiele auf. Die Tiefe von Erdwärmesonden beträgt meist 50–100 m; in Schweden, der Schweiz und in Nordamerika auch bis 150 m. In Einzelfällen sind auch schon sehr kurze Erdwärmesonden von 10–15 m zum Einsatz gekommen. Tiefe Erdwärmesonden (1 km und mehr), wie sie in Weggis in der Schweiz und in Prenzlau, Brandenburg, bereits existieren, können nicht mehr zur oberflächennahen Geothermie gerechnet werden, sie sind vor allem als Nachnutzung vorhandener Tiefbohrungen aus Ex-

plorations- und Gewinnungstätigkeit sinnvoll.

In Regionen mit schwierigen Untergrundverhältnissen müssen Gebäude oft auf Pfählen gegründet werden. Indem Wärmetauscherrohre in solche Pfähle eingebaut werden, ergibt sich die Möglichkeit, mit geringen Mehrkosten einen Erdreichwärmetauscher zu erhalten. Derartige Wärmetauscherpfähle werden als »Energiepfähle« bezeichnet.

In geschlossenen Erdreichwärmetauschern zirkuliert ein Wärmeträgermedium. Da sich durch den Wärmepumpenverdampfer Temperaturen unter 0°C ergeben können, ist meist Wasser mit einem Frostschutzsuzusatz im Einsatz, gelegentlich auch reines Wasser (ROHNER, 1997). Bei Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren kann jedoch auch das Wärmepumpen-Arbeitsmittel direkt in den Erdreichwärmetauschern zirkulieren, man spricht dann von Direktverdampfung. Die Wärmepumpe wird so quasi in das Erdreich verlängert, und die zusätzlichen Tauscherverluste durch den Wärmeträgerkreislauf entfallen. Voraussetzung ist allerdings ein ökologisch unbedenkliches Arbeitsmittel wie R 290 (Propan) oder R 407 C. Durch eine angepasste Anlagenauslegung kann eine bessere Gesamteffizienz erreicht werden. Besonders in Österreich haben Direktverdampfungs-Anlagen eine gewisse Verbreitung erfahren.

Ein Maß für die Effizienz einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage ist die Jahresarbeitszahl β . Sie gibt an, wieviel Einheiten Nutzenergie mit einer Einheit Antriebsenergie (Strom) erzeugt werden können; $\beta = 3$ bedeutet also, daß im Jahresmittel mit einer Kilowattstunde Strom 3 Kilowattstunden Heizwärme geliefert werden. Mit erdgekoppelten Wärmepumpen sind Jahresarbeitszahlen um und über $\beta = 3$ sicher zu erreichen, und weitere Entwicklungen auf dem Wärmepumpensektor wie auch Optimierung der Anlagentechnik haben bereits Steigerungen erbracht und lassen noch mehr erwarten. Auch eine Jahresarbeitszahl von $\beta = 4$ scheint keine unüberwindliche Hürde mehr zu sein.

Tab. 1: Beispiele von Erdwärmesondenanlagen

Name	Ort	Heizlsg. (kW)	Gebäudefl. (m²)	Erdwärmesonden Anzahl	Tiefe (m)
Kindergarten	Haag, A	37	549	5	100
Pension	Faak a.S., A	24	280	4	50
Kurzentrums	Scuol, CH	300	n.a.	40	150
Meister + Co AG	Wollerau, CH	180	n.a.	32	135
Wohnhaus	Untersiggenthal, CH	12	150	2	60
Wohnhaus	Elgg, CH	11	n.a.	1	105
Bürohaus	Frankfurt-Höchst, D	240	n.a.	32	50
Wohnanlage	Kochel a.S., D	209	2400	21	98
Technorama (Büros)	Düsseldorf, D	190	6100	77	35
Wohnhaus	Mülheim/Ruhr, D	25	n.a.	5	40
Wohnhaus	Göttingen, D	17	n.a.	6	40
Wohnhaus	Gedern, D	15	n.a.	4	50
2 Wohnblocks	Täby, S	81	n.a.	7	150
Haus Höstvetet	Hagsätra, S	75	n.a.	25	80
Wohnhaus	Järfälla, S	10	n.a.	8	27
Richard Stockton Coll.	Pomona NJ, USA	5200	33 400	400	130
Whitehorse Village	Edgemont PA, USA	3800	36 000	236	160
Beaumont at Bryn Mawr	Bryn Mawr PA, USA	2900	38 800	170	160
Barnegat Middle School	Barnegat NJ, USA	1400	6800	107	160
Emergency Care Inst.	Plymouth Mtg. PA, USA	880	9500	68	160
Corporate Square Bldg.	Terre Haute IN, USA	820	6500	324	52
Central Valley School	Buxton ND, USA	440	n.a.	120	64
J. Lynmar Manuf. Co	Masonstown PA, USA	150	3400	56	50
Wohnhaus	Liverpool NY, USA	9	n.a.	5	33

VON GGU
DAS FENSTER ZUM UNTERGRUND

INGENIEUR-SOFTWARE

WINDOWS 3.1
WINDOWS '95/NT
Programmsysteme für
Grundbau und
Grundwasser

» BOPO «

- Bodenmechanische Laborversuche / Auswertung und grafische Darstellung
- Bodenmechanische Berechnungen (Grundbruch, Setzung, Böschungsbruch, Nagelwände, Konsolidation...)
- Berechnung von Grundwasserströmungen mit finiten Elementen
- Bodenprofilardarstellung und Schichtenverzeichnis
- Grafische Darstellung von Ganglinien und Isolinien
- Baugrubenverbau, Unterfangungen

Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH
Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Telefon: 05 31 / 31 28 95
Telefax: 05 31 / 31 30 74
Internet: <http://www.ggu.de>

GGU
Software

AGBO Die richtige Antwort auf bohrende Fragen:

Rotary-Bohranlagen
Bohrstrangkomponenten
Kernbohrausrüstungen
Rollenmeißel

AGBO
Postfach 1116
D-29337 Wathlingen
Werk: Nienhagener Str. 1
D-29339 Wathlingen
Telefon: 051 44/98 99-0
Telefax: 925 197 agbo
Telefax: 051 44/98 99 30

TERRAEQUIP
Gesellschaft zum Vertrieb Geotechnischer Produkte mbH

Gerkerath 171, 41179 Mönchengladbach
Tel.: 021 61 / 58 06 70, Fax: 57 21 36

Wir bieten alles im Rahmen des Feld- und Laborbedarfs an:

- » Sondiertechnik
- » Brunnenausbaumaterialien
- » Pumpentechnik
- » Vermessung und Hydrometrie
- » Probenahme
- » Laborgeräte

Fordern Sie unseren Katalog an und testen Sie uns!!

Jetzt belohnen wir unsere Abonnenten mit Extra-Bonbons

Ihr Abo-Zusatzplus Nr.5

Preisvorteil: Nur DM 58,- statt DM 78,- zahlen Abonnenten, die jetzt »Pumpen in der Wasserversorgung« bestellen.

Ein Fachbuch, das Ihnen Funktionsweise und Einsatz der verschiedenen Pumpentypen detailliert vermittelt.

Damit erhalten Sie ein Nachschlagewerk, das sich auch zur Ausbildung eignet. Nur erhältlich über Ihren Abonnentenservice.

DAMIT SIE BESCHIED WISSEN
Rudolf Müller

Weiterführende Informationen erhalten Sie beim Abonnenten-Service unter den folgenden Nummern: Telefon: 0221/54 97-321 und Fax: 0221/54 97-326

AUF DEM STAND DER TECHNIK

- Brunnenausbaumaterial nach DIN 4925
- Arbeiten an Kunststoffrohren:
 - Gewindeschneiden
 - Schlitzten
 - Lochen
 - Zubehörteile

individuell & schnell

JOHANN STOCKMANN
BRUNNENFILTERBAU - KUNSTSTOFFTECHNIK

48231 Warendorf · Bartholomäusstr. 1 · Fon 025 84/93 00-0 · Fax 93 00 40

VSB Hochbehälter
die neue Trinkwasserspeichergeneration

Kompaktbauweise mit mittlerer Schieberkammer – ideal – wirtschaftlich – preiswert

Alle Anlagen entsprechen den DVGW Richtlinien

Fordern Sie unsere unverbindliche Fachberatung

Nachweislich keine Kurzschlussströmungen bzw. Ruhe- oder Totzonen

VSB VOGELSBERGER
Umwelttechnischer Anlagenbau GmbH

Mühlstraße 9
36369 Lautertal-Eichenrod
Telefon (0 66 43) 9 60 60
Telefax (0 66 43) 9 60 66 06

Technisches Büro Süd:
Favoritstraße 1
Postfach 1265
76450 Kuppenheim

VSB Umwelttechnischer Anlagenbau GmbH
Seiferitzer Allee 23
08393 Meerane

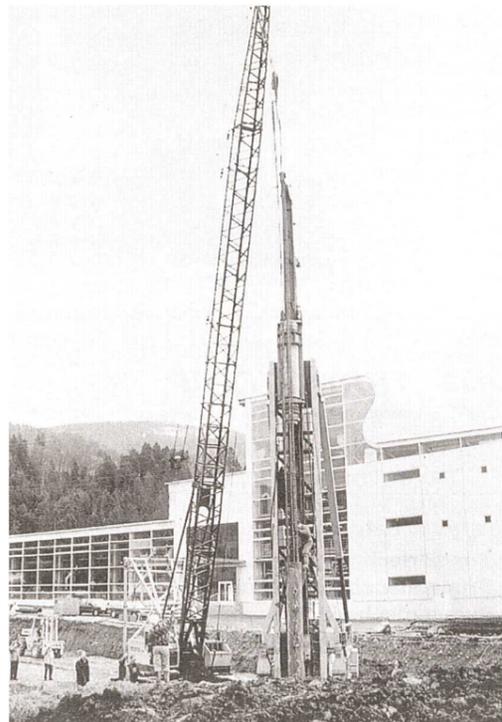


Bild 4: Einheben des Bewehrungskorbs mit Wärmetauscherrohren für einen Ortbeton-Bohrpfahl (Energiepfahl) in Vorarlberg/Österreich

Auf 15 Jahre gerechnet sind die jährlichen Kosten für eine erdgekoppelte Wärmepumpe einschl. Kapitaldienst noch höher oder bestenfalls gleich denen einer Ölheizung. Das niedrigere Niveau der Öl- und Gaspreise läßt hier keine großen Einsparungen zu, jedoch ist die erdgekoppelte Wärmepumpe im Gegensatz zu manch anderen erneuerbaren Energien nicht um Größenordnungen von einem wirtschaftlichen Einsatz entfernt. Durch Fortschritte bei Bohrung und Installation sowie durch wachsende Erfahrung der betreffenden Unternehmen konnte hier bereits eine deutliche Verbesserung erreicht werden.

Erdgekoppelte Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von $\beta > 3,2$ und mit HFCKW-freiem Arbeitsmittel werden im Programm des Bundeswirtschaftsministeriums zur Markteinführung erneuerbarer Energien finanziell gefördert. Das Potential der oberflächennahen Geothermie mit Wärmepumpen liegt bei etwa 960 PJ/Jahr (KALTSCHMITT, et al., 1995). 1995 waren nach Schätzungen in Deutschland 250–450 MW Heizleistung in erdgekoppelten Wärmepumpen aller Varianten installiert.

3. Kühlen mit Erdwärme

In gemäßigten Breiten, wo die Erdoberflächentemperaturen um 10°C liegen und wo die Kühllast eines Gebäudes nur einen Teil der Heizlast beträgt, kann das Wärmeträgermedium aus Erdwärmesonden, Energiepfählen o. a.

im Sommer direkt zur Raumkühlung herangezogen werden (SANNER, 1990). Dies erfordert meist zusätzliche Kühlkreisläufe, wie z. B. Rohre in der Decke (Kühldecke) oder eine separate Luftführung. Versuche mit Kühlung über Fußbodenheizungen waren inzwischen erfolgreich, so daß in vielen Fällen nun auf die bereits vorhandene Heizungsverteilung zum Kühlen zurückgegriffen werden kann. Insgesamt wird eine ausgesprochen energiesparende und kostengünstige Kühlung erreicht. Beispielanlagen mit direkter Kühlung sind in Tab. 2 aufgeführt.

Auch das Grundwasser kann zur Raumkühlung Verwendung finden. Reine Grundwasserkühlungen sind schon sehr lange bekannt; da das Wasser anschließend erwärmt in den Untergrund oder in Vorfluter eingeleitet wird, sind sie ökologisch nicht unbedenklich. In Verbindung mit einer

erdgekoppelten Wärmepumpe, die im Winter das Grundwasser abkühlt, kommt es jedoch zu einer ausgeglichenen Wärmebilanz und damit zu umweltgerechter Nutzung. Die wohl bekanntesten Gebäude mit dieser Technik sind die Hauptverwaltung der Fluglinie SAS nördlich Stockholm und das Scarborough Center, ein Regierungsgebäude bei Toronto, in dem bereits seit 1984 umfangreiche Versuche und Messungen laufen.

In Fällen, in denen die direkte Kühlung nicht ausreicht, kann auch die Wärmepumpe als Kälteaggregat hinzugezogen werden. Schließlich transportiert eine Wärmepumpe Wärme von einem niedrigeren (Verdampfer) auf ein höheres (Kondensator) Temperaturniveau. Schaltet man nun die Komponenten einer erdgekoppelten Wärmepumpe z. B. durch ein Vier-Wege-Ventil im Arbeitsmittelkreislauf um, so kann Wärme aus dem Gebäude in den Untergrund abgeleitet werden. Die weite Verbreitung, die erdgekoppelte Wärmepumpen in Nordamerika gefunden haben, ist dieser Möglichkeit zu verdanken.

Kühlung, sei sie direkt oder wärmepumpenunterstützt, verbessert die Wirtschaftlichkeit erdgekoppelter Wärmepumpen deutlich. In einzelnen Fällen sind solche Anlagen bereits in den Investitionskosten günstiger als eine Heizung und eine getrennte Anlage zur Raumkühlung, meist weisen sie wenigstens kurze Amortisationszeiträume gegenüber der konventionellen Alternative auf. Der teure unterirdische Teil (Erdwärmesonden, Energiepfähle oder Brunnen) wird für beide Aufgaben verwendet; und bei der Kühlung wird der Stromverbrauch drastisch verringert, was ökologisch wie auch wirtschaftlich sehr günstig ist.

4. Der Untergrund als Wärme- und Kältespeicher

Ein bedeutender Teil des Wärme- und Kältebedarfs in Deutschland hat seine Ursache in den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen. Im Sommer gibt es ein Überangebot an Wärme, im Winter ein Defizit. Mit der Nutzung des Untergrundes als thermischem Speicher kann hier ein Ausgleich angestrebt werden. Die Internationale Energie-Agentur IEA unterstützt in einem Kooperationsprojekt die Markteinführung dieser Technik namens UTES (Underground Thermal Energy Storage); ein erster Bericht zum Stand der Technik liegt vor (BAKEMA et al., 1995).

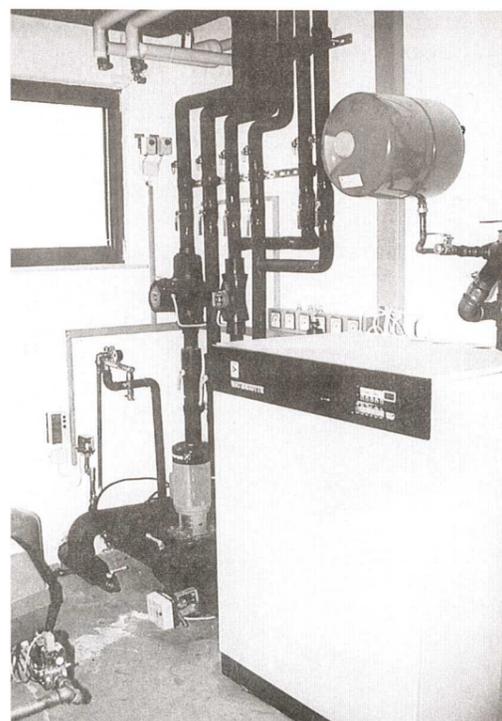


Bild 5: Wärmepumpe im Gebäude UEG, Wetzlar; links neben der Wärmepumpe sind die schwarz isolierten Rohre der Kühlleitungen zu sehen. Eine große Umwälzpumpe (unten) ist dem Wärmepumpenverdampfer zugeordnet, zwei kleine Umwälzpumpen (etwa in Höhe des Deckels der Wärmepumpe) versorgen die beiden Kühlkreisläufe

Tab. 2: Beispiele von Anlagen mit direkter Kühlung

Name	Ort	Heizstg. (kW)	Kühlstg. (kW)	Erdwärmesonden	
				Anzahl	Tiefe (m)
Ophthalmica	Rathenow, D	64	ca. 20	10	60
UEG Laborat	Wetzlar, D	47	ca. 15	8	80
Geotherm	Linden, D	15	ca. 8	4	50
Umweltzentrum	Cottbus, D	70	37	12	50
Neandertalmuseum	Mettmann, D	128	ca. 100	12	100
Photocolor	Kreuzlingen, CH	130	ca. 90	93	Energiepfähle
Meister AG	Wollerau, CH	186	ca. 200	32	135
SAS-Hauptverwaltung	Frösundavik, S	2100	1900	Aquifer	2+3 Brunnen
Supermarkt	Finspång, S	660	90	24	110
Scarborough Center	Toronto, Kanada	1500	1500	Aquifer	2+2 Brunnen

Zwei Varianten von UTES sind zu unterscheiden, die Wärme- und die Kältespeicherung. Dabei wird die Temperatur im Untergrundspeicher entweder dauernd über oder dauernd unter der Umgebungstemperatur im Erdreich gehalten. Auch Anlagen, in denen die Speichertemperatur um die des umgebenden Erdreiches pendelt, werden gebaut; dabei handelt es sich jedoch meist um Anlagen mit Wärmepumpen, die im vorhergehenden Abschnitt

behandelt wurden. Außerdem sind zu unterscheiden Speicher, bei denen Grundwasser abgepumpt und wieder eingeleitet wird (»Aquiferspeicher«), und Speicher, die Erdreichwärmespeicher verwenden (»Erdwärmesondenspeicher«).

Als Wärmequelle kommt Abwärme, Umgebungswärme oder Sonnenenergie in Frage. Wärmespeicher geringer Temperatur sind nur über Wärmepumpen zum Heizen zu nutzen.

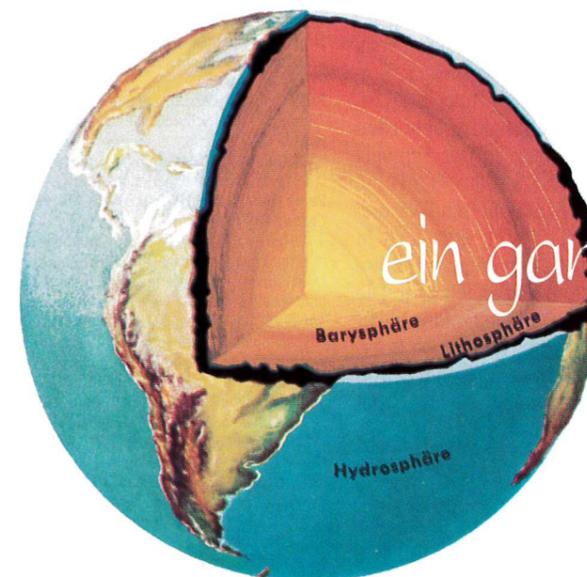
So wird in der Gemeinde Lomma in Südschweden die Grundlast eines Nahwärmenetzes über eine Wärmepumpe geliefert. Als Wärmequelle dient ein Aquifer, der im Sommer mit der Wärme aus einem kleinen Fließchen (17–20°C) wieder aufgeladen wird. Die Wärmepumpe ist nur zu umgehen, wenn der Speicher auf höhere Temperatur aufgeheizt wird. Einige Beispiele dazu existieren in Europa.

► TH Luleå, Schweden, Erdwärmesondensp. in Kristallin bis ca. 80°C, Prozeßabwärme
► Univ. Utrecht, Niederlande, Aquifersp. in > 200 m Tiefe mit 90°C, BHKW-Abwärme

Der Speicher in Luleå wurde 1983 in Betrieb genommen, er erschließt mit 120 Bohrungen von je 65 m Tiefe ein Gesteinsvolumen von 120 000 m³ und hat eine Kapazität von etwa 1700 MWh (bis zu einer minimalen Temperatur von 30°C). In Utrecht wird seit 1991 ein Aquifer in mehr als 200 m Tiefe genutzt; die Abwärme von zwei Blockheizkraftwerken, die den neuen Campus »De Uithof« der Universität Utrecht versorgen, wird im Sommer eingespeichert. Gerade bei Kraft-Wärme-Kopplung kann ein saisonaler Speicher die Laufzeit im Sommer wesentlich erhöhen und das Problem der Ungleichzeitigkeit von Strom- und Wärmebedarf reduzieren (SANNER, 1996b).

E+M
BOHR-GMBH

Ein Unternehmen der ETSCHEL-Gruppe



E+M Bohr-GmbH • 95030 Hof
Tel (0 92 81) 9 74 - 0 • Fax (0 92 81) 974 - 518

Ihr Ansprechpartner in allen
Fragen der Geothermie

Je größer der Temperaturunterschied zwischen Speicher und umgebendem Erdreich ist, desto größer sind die Speicherverluste. Wärme fließt in die Umgebung ab oder dringt bei der Kältespeicherung in den Speicher ein. Nur durch entsprechend große Volumina lassen sich die Verluste minimieren.

Nicht unerwähnt soll eine Anlage aus der Schweiz bleiben, die im mittleren Temperaturbereich ohne Wärmepumpen auskommt. Unter dem Namen **SERSO** (Sonnenenergie-Rückgewinnung aus Straßenoberflächen) wird ein Hangviadukt der N8 bei Därligen am Thunersee, Schweiz, im Winter eisfrei gehalten. Unter der Straßenoberfläche befinden sich Rohrschlangen, die im Sommer durch die Sonneneinstrahlung (Straßenoberfläche bis 60 °C!) bis auf 35 °C aufgeheizt werden und diese Wärme an einen Speicher aus 91 je 120 m tiefen Erdwärmesonden abgeben (SANNER, 1996b). Seit dem Winter 1994/95 hat dieser Speicher die Straße bei kritischen Glatteiswetterlagen erfolgreich beheizt, und einer Verbreitung der Technik sollte nichts mehr im Wege stehen. In Japan und den USA gibt es bereits ähnliche Anlagen (z. B. OHKI et al., 1997).

Besonders bei der Nutzung der Sonnenwärme zur Hausheizung macht sich der antizyklische Verlauf von Angebot und Bedarf nachteilig bemerkbar. Will man Solarthermie für mehr als nur Warmwasserbereitung einsetzen, kommt man um eine saisonale Speicherung nicht herum (FISCH & HAHNE, 1990). Zentrale Kollektorfelder können saisonale Speicher aufheizen und Nahwärmenetze versorgen. Verschiedene Anlagen wurden in den 80er Jahren in einem Forschungsprogramm der Internationalen Energie-Agentur IEA gebaut, so u. a. ein Erdwärmesondenspeicher in Groningen, Niederlande, ein Speicher mit kürzeren Erdwärmesonden in Ton in Kungsbacka, Schweden, und ein Aquiferspeicher in Aulnay-sous-Bois in Frankreich. In jüngster Zeit werden in Deutschland mit Unterstützung des BMBF weitere Anlagen zur Speicherung solarthermischer Energie mit Aquifer- bzw. Erdwärmesondenspeichern geplant; in Neckarsulm ist ein kleiner Versuchsspeicher mit Erdwärmesonden für eine solare Nahwärmeversorgung im Betrieb, der 1998 weiter ausgebaut werden soll (SEIWALD & HAHNE, 1997).

5. Gruben- und Tunnelwasser

Zur oberflächennahen Geothermie gehört auch die Nutzung von stillgelegten Grubenbauen als Wärmequelle oder Speicher, wie sie z. B. in Springhill N.S., Kanada, aus alten Kohlegruben für einen »Geothermal Industrial Park« oder in Sachsen aus einer Zinngrube (ROTTLUFF, 1994) betrieben wird. In den Alpen kann die Entwässerung langer Tunneln als Wärmequelle dienen; warmes Wasser aus dem Schweizer Furkatunnel beheizt über Wär-



Bild 6: Winterliche Bohrarbeiten für Erdwärmesonden

mepumpen Gebäude in der Gemeinde Oberwald, und für den Neubau des Bahnhofs Brig im Wallis soll die Heizung mit Wasser aus dem Simplontunnel erfolgen. Die geplanten Alpen-Basistunnel in der Schweiz (NEAT) bergen nach ersten Studien ein thermisches Potential von »mehreren Zehn Megawatt« (RYBACH, 1993).

Lokal können Gruben (in alten Bergrevieren wie Harz, Erzgebirge, Lahn-Dill-Gebiet, Siegerland u. a.) und Tunnels das bereits vielfältige Angebot der oberflächennahen Geothermie ergänzen. Für fast jeden Standort und eine Vielzahl von Anwendungen ermöglicht oberflächennahe Geothermie energetisch und ökologisch sinnvolle Lösungen.

Schlußbemerkung

Der Verein Deutscher Ingenieure hat der Entwicklung durch die Erarbeitung einer Richtlinie VDI 4640 »Thermische Nutzung des Untergrunds« Rechnung getragen, deren erste beiden Teile z. Zt. im Entwurf vorliegen. Korrekte Planung und Ausführung und gute Zusammenarbeit mit Genehmigungsbehörden werden dadurch erleichtert. In der Schweiz gibt es bereits Karten zur lokalen Genehmigungsfähigkeit von erdgekoppelten Wärmepumpen (z. B. BERDAT, 1997), und auch in Deutschland sind solche Aktivitäten unter anderem in Baden-Württemberg angelaufen. Die oberflächennahe Geothermie jedenfalls blickt in eine sichere Zukunft, zum Nutzen von Bohrunternehmen, Heizungsbauern, Kunden und nicht zuletzt unserer Umwelt. ☒

Literaturhinweise

BAKEMA, G., SNIJDERS, A. & NORDELL, B. (Hrsg.) (1995): Underground Thermal Energy Storage, State of the Art 1994. – IF Technology, Arnhem
BERDAT, F. (1997): Übersichtskarte des Kantons Bern, Wärme aus Wasser und Boden. – in: SANNER, B. & LEHMANN, A. (Hrsg.), 3. Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen, IZW-Bericht 2/97, S. 49–53, Karlsruhe
CRANDALL, A.C. (1946): House Heating with Earth Heat Pump. – Electrical World 126/19, S. 94–95, New York
DRAFFZ, H.-J. (1972): Wasser-Wasser-Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus – ETA elektrowärme int 30/A, S. 25, Essen
EUGSTER, W. J. (1991): Erdwärmesonden – Funktionsweise

und Wechselwirkung mit dem geologischen Untergrund. – 139 S., Dissertation ETH Zürich
FISCH, N. & HAHNE, E. (1990): Solare Nahwärmeversorgung, Heizen mit der Sonne. – Ber. 7. Int. Sonnenforum Frankfurt, S. 198–204, DGS Verlag, München
GERBERT, H. (1994): Erfahrungsberichte von 4 Anlagen mit Erdkollektoren. – in: SANNER, B. & LEHMANN, A. (Hrsg.), 2. Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen, IZW-Bericht 1/94, S. 83–110, FIZ, Karlsruhe
GHPC (1996): Portland's famous building first to use geothermal. – Earth Comfort Update 2/6, S. 2, Geothermal Heat Pump Consortium, Washington
KALTSCHMITT, M., LUX, R. & SANNER, B. (1995): Oberflächennahe Erdwärmenutzung. – in: KALTSCHMITT, M. & WIESE, A. (Hrsg.), Erneuerbare Energien S. 345–365, Springer Verlag Berlin/Heidelberg/New York
KNOBLICH, K., SANNER, B. & KLUGESCHIED, M. (1993): Energetische, hydrologische und geologische Untersuchungen zum Entzug von Wärme aus dem Erdreich. – Giessener Geologische Schriften 49, 192 S., Gießen
ROTTLUFF, F. (1994): Grubenwasser als Wärmequelle für den Betrieb von Wärmepumpen am Beispiel des Nord-West-Feldes der Zinngrube Ehrenfriedersdorf. – in: SANNER, B. & LEHMANN, A. (Hrsg.), 2. Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen IZW-Bericht 1/94, S. 255–264, FIZ, Karlsruhe
OHKI, M., WATANABE, H. & FUKUHARA, T. (1997): Control of Pavement Temperature by Borehole Heat Exchange System. – Proc. Megastock 98, S. 127–132, Sapporo
ROHNER, E. (1997): Erdwärmesonden mit Wasser als Wärmeträger – Dimensionierung und Erfahrungen. – in: SANNER, B. & LEHMANN, A. (Hrsg.), 3. Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen, IZW-Bericht 2/97, S. 121–127, Karlsruhe
RYBACH, L. (1993): Das geothermische Potential der NEAT-Tunnels. – Mitt. Schweiz. Ges. f. Boden- und Felsmechanik Nr. 127, S. 19
SANNER, B. (1990): Ground Coupled Heat Pump Systems, R & D and practical experiences in FRG. – Proc. 3rd IEA Heat Pump Conf. Tokyo 1990, pp. 401–409, Pergamon Press, Oxford
SANNER, B. (1996a): Die »Erdgekoppelte« wird 50 – 50 Jahre Erdgekoppelte in den USA, 15 Jahre Erdwärmesonden in Mitteleuropa. – Geothermische Energie 13/96, S. 1–5, Neubrandenburg
SANNER, B. (1996b): Zwei ungewöhnliche thermische Untergrundspeicher in den Niederlanden und der Schweiz. – Geothermische Energie 16/96, S. 18–21, Neubrandenburg
SANNER, B., BREHM, D. & KNOBLICH, K. (1986): Erstes Betriebsjahr der Erdsonden-Forschungsanlage Schwalbach (1985/86). – Z. Angew. Geowiss. 7, S. 43–60, Giessen
SEIWALD, H. & HAHNE, E. (1997): Die solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit Erdsonden-Wärmespeicher in Neckarsulm. – in: SANNER, B. & LEHMANN, A. (Hrsg.), 3. Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen, IZW-Bericht 2/97, S. 189–193, Karlsruhe
SVEC, O. J., DI REZZE, G. & MANCINI, R. (1994): Erdgekoppelte Wärmepumpe mit horizontalem Spiral-Wärmetauscher zur Versorgung eines Elementarschulgebäudes in Kanada. – in: SANNER, B. & LEHMANN, A. (Hrsg.), 2. Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen, IZW-Bericht 1/94, S. 191–204, FIZ, Karlsruhe
WATERKOTTE, K. (1972): Erdreich-Wasser-Wärmepumpe für ein Einfamilienhaus. – ETA elektrowärme int. 30/A, S. 39–43, Essen

16 Welche Armaturen können zur Überwachung des Brunnenbetriebes eingesetzt werden?

1. _____ 2. _____
3. _____ 4. _____

17 Auf welche Probleme können Druckmeßgeräte bei der Betriebskontrolle von Brunnen hinweisen?

1. _____
2. _____
3. _____

18 Welche Aufgabe haben Be- und Entlüftungen in Brunnenschächten?

1. _____
2. _____
3. _____

19 Was ist beim Betreten von Brunnenschächten immer zu beachten?

- _____

20 Wonach richtet sich der Querschnitt der Brunnenanschlußleitung?

1. _____ 2. _____
3. _____ 4. _____

21 Wie groß ist die Durchflußmenge Q und der Reibungsverlust H_v in folgender Rohrleitung?

- DN 50 bei v = 100 m/s Q = _____ m³/h, H_v = _____ m/100 m
DN 80 bei v = 125 m/s Q = _____ m³/h, H_v = _____ m/100 m
DN 125 bei v = 125 m/s Q = _____ m³/h, H_v = _____ m/100 m

22 Wie wird die Brunnenanschlußleitung durch die Schachtwand geführt?

- _____

23 Welches sind die Hauptgefahren bei Arbeiten in Brunnenschächten?

1. _____ 2. _____
3. _____ 4. _____