

# Beispiele größerer erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen in Deutschland (Teil 1)

**Erdwärmenutzung** ■ *Das gewachsene Interesse an erdgekoppelten Wärmepumpen lässt immer neue Anlagen für Einfamilienhäuser bis hin zum Hochhaus entstehen. In diesem Beitrag werden einige Beispiele vorgestellt und damit die Entwicklung nachgezeichnet. Im ersten Teil wird ein typischer Ablauf für Planung und Bau dargelegt und Beispiele bis 100 kW Heizleistung aufgeführt. Der zweite Teil behandelt Anlagen von mehr als 100 kW sowie thermische Untergrundspeicher.*

**T**rotz der schwierigen wirtschaftlichen Situation in Deutschland zu Beginn des 21. Jahrhunderts wurde eine beachtliche Anzahl von mittleren bis großen Wärmepumpenanlagen realisiert, und das Interesse wächst weiter. Die Tatsache, dass moderne Bürogebäude sogar bei den moderaten klimatischen Verhältnissen in Deutschland üblicherweise Kühlung benötigen, steigert die wirtschaftlichen Chancen für oberflächennahe geothermische Anlagen erheblich. Die Anbindung an den Untergrund geschieht üblicherweise entweder durch Erdwärmesonden oder Grundwasserbrunnen, daneben gibt es auch Energiepfähle und anderes. Die vorgestellten Gebäudearten umfassen Schulen, kleine und große Bürogebäude, ein spezielles „Niedrigenergiebüro“, kombiniert mit einem der größten Erdwärmesondenfelder innerhalb Deutschlands, Sporthallen etc. Einige dieser Anlagen sind so konzipiert, dass die Untergrundtemperatur bewusst beeinflusst wird und sie sich dadurch als thermische Untergrundspeicher qualifizieren.

Erprobte Planungsverfahren einschließlich in-situ Messungen und Temperaturberechnungen finden Anwendung, um einen langfristig reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. In den meisten Fällen kommerzieller erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen ist die mögliche Kühllast der

Schlüsselfaktor für die Planung und für den erreichbaren wirtschaftlichen und ökologischen Nutzen.

## Typisches Vorgehen bei Planung und Installation

Für größere erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen müssen zunächst vor Ort Untersuchungen vorgenommen werden, um Basisdaten für die Planung zu gewinnen. Je nach den vorhandenen Kenntnissen über den Untergrund und abhängig vom Projektumfang kann eine Probebohrung notwendig werden. Das Bohrloch wird entweder mit einer Erdwärmesonde ausgestattet oder, im Fall von Grundwassersystemen, als Brunnen ausgebaut. Es wird später Teil der endgültigen Anlage (**Abb. 1**). Die Kosten für eine Probebohrung sowie die Testkosten lohnen sich, weil die endgültige Planung dadurch mehr den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht und ohne große Sicherheitsmargen auskommt.

Für ein Erdwärmesondensystem wird ein „Thermal Response Test“ durchgeführt, um die Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds zu bestimmen (Sanner et al., 2005). Wenn Grundwasser verwendet werden soll, sind Pumpversuche und Wasseranalysen erforderlich. Für diese Untersuchungen ist normalerweise die Erlaubnis der örtlichen Behörden erforderlich, was für die Testphase in der Regel kein Problem darstellt.



Lund, Juni 2004

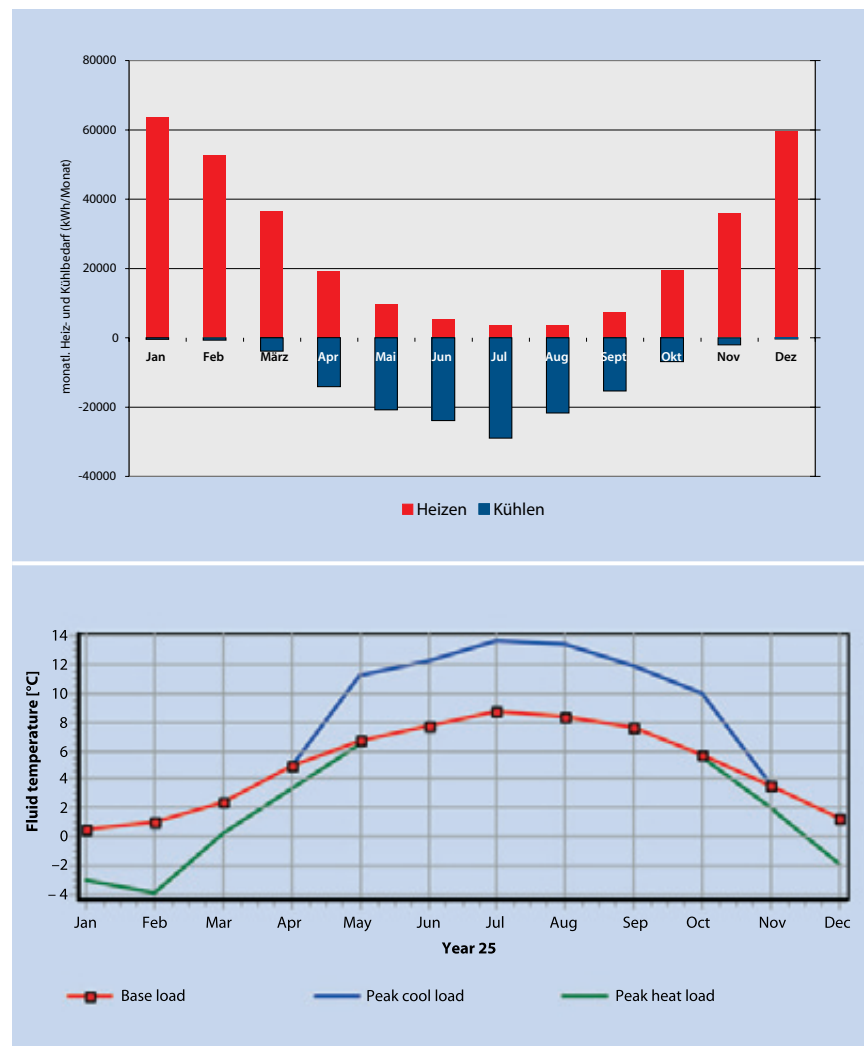
**Abb. 1** Probebohrungen mit Erdwärmesonde in Wetzlar-Spilburg, bereit für den „Thermal Response Test“.

Mit Kenntnis der Bodenparameter und der Heiz- und Kühllasten des Gebäudes kann eine Auslegungsberechnung vorgenommen werden. Die Gebäudedaten müssen dabei einigen Minimalanforderungen entsprechen. Für kleinere Projekte ist manchmal nur die maximale Heiz- oder Kühllast angegeben. Anders als bei einer Gas- oder Ölheizung, bei der der Brennstoff beliebig nachgeführt werden kann, muss die Erde für die gesamte Heizperiode mit unterschiedlichen monatlichen Lasten ein Wärmekontingent bieten. Ein typisches Beispiel geeigneter Daten, wie es bei einer Gebäudesimulation entstand, zeigt **Tabelle 1**.

Die Berechnungen wurden zur Gebäudeoptimierung für den Neubau Philips APM in Wetzlar durchgeführt und stellen eine ausgezeichnete Grundlage für die Auslegung der Erdwärmesonden dar. Der maximale Heizbedarf des Gebäudes beträgt 290 kW. Das bedeutet für die Wärmepumpe einen Wärmeentzug aus dem Boden von 212 kW (Verdampferleistung), während die maximale Kühlleistung von 145 kW ohne Einsatz der Wärmepumpe direkt erreicht wird (vgl. Sanner et al., 1991).

Im Beispiel von Wetzlar wurde mittels des „Thermal Response Tests“ an der ersten Erdwärmesonde (110 m tief, **Abb. 1**) eine durchschnittliche effektive Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 2,7$  W/m/K bestimmt, ein typischer Wert für die paläozoischen Sedimentgesteine der Region. Mit der Software EED (Hellström & Sanner, 2001) wurden die notwendige Anzahl an Erdwärmesonden und die daraus resultierenden Fluidtemperaturen berechnet. Die Temperaturentwicklung im 25. Betriebsjahr zeigt **Abbildung 2**. Die Auslegung ergab 32 Erdwärmesonden in einem Rechteck von 4 x 8 Meter, mit einer Tiefe von je 110 Meter.

Die Bohrungen und die Installation der verbleibenden 31 Erdwärmesonden wurden im Herbst 2004 vorgenommen (**Abb. 3**). Die Erdwärmesonden sind wie üblich aus Polyethylen hergestellt und wurden in Rollen an das Bohrgelände angeliefert (**Abb. 4**). Über ein Zusatzrohr wurde das Bohrloch von unten nach oben vollständig



**Abb. 2** Die Lastkurve (oben) – hier nach Tab. 1 – und die mit der Software EED berechnete Temperaturkurve (unten) – hier für das 25. Betriebsjahr des Beispiels Wetzlar – sind die Grundlage für die Auslegung der Erdwärmesonden.

verpresst; durchgesetzt hat sich dafür thermisch verbessertes Verpressmaterial.

Die Planung einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage, die Herstellung und Installation von Erdwärmesonden sowie die Verbindung zum Gebäude wird in Deutschland durch die Richtlinie VDI 4640 geregelt, die auch in einigen Nachbarländern angewandt wird (VDI, 2000-2004). Für kleinere Anlagen mit weniger als 30 kW Heizleistung können zur Planung einfache Tabellen verwendet werden, während für größere Anlagen Auslegungsrechnungen vorgenommen werden müssen. Für sehr große Anlagen, z. B. für thermische Untergrundspeicher (UTES), und auch für andere Fälle, wo der Grundwasserfluss von wesentlicher Bedeutung ist, wird eine numerische Simulation vorgenommen.

Der Bedarf an individueller Planung bei größeren erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen wird in **Abbildung 5** deutlich. Auf Grund der verschiedenen Systemkonzepte, die in einem weiten Bereich von Volllaststunden pro Jahr oder z. B. in ausgeglichenen Heiz- und Kühllasten resultieren, und auf Grund der unterschiedlichen Untergrundbedingungen in Deutschland, kann die Gesamtlänge der Erdwärmesonden für eine festgelegte maximale Heiz- oder Kühlleistung durchaus unterschiedlich sein. Die Regressionsgerade entspricht einer durchschnittlichen Entzugsleistung von ca. 42 W/m. Nur wenn sowohl ortsspezifische Untergrundbedingungen, Gebäudelasten, Betriebsstrategien als auch die Erdwärmesondenanzahl und -anordnung in Betracht gezogen werden, kann eine zufrieden stellende Planung entstehen.

Quelle: UteG



Quelle: ÜBeG, Nov. 2004

**Abb. 3** Insgesamt wurden 32 Bohrungen auf dem Gelände in Wetzlar-Spilburg durchgeführt. Das Erdwärmesondenfeld erweitert sich in Richtung des Erdhügels im Hintergrund.

### Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen bis 100 kW Heizleistung

Im Raum Wetzlar gibt es einige der frühesten Erdwärmesondenanlagen in Deutschland, u. a. die wahrscheinlich erste Anwendung in einem gewerblichen Gebäude. 1980 wurde in Schwalbach, südlich von Wetzlar, eine neue, kleine Produktionsstätte für optische Glasfasern gebaut, und acht je 50 Me-



Quelle: ÜBeG, Nov. 2004

**Abb. 4** Die industriell gefertigten Erdwärmesonden wurden in Rollen auf das Gelände Wetzlar-Spilburg geliefert.

ter tiefe, koaxiale Erdwärmesonden dienen als Wärmequelle für eine Wärmepumpe mit 22 kW Heizleistung. Bereits in dieser frühen Anlage war schon eine direkte Kühlfunktion realisiert, die es ermöglichte, während des Sommers Wärme aus den elektrischen Glasschmelzöfen in den Untergrund abzufahren. Außer diesem sehr frühen Beispiel werden nachfolgend einige an-

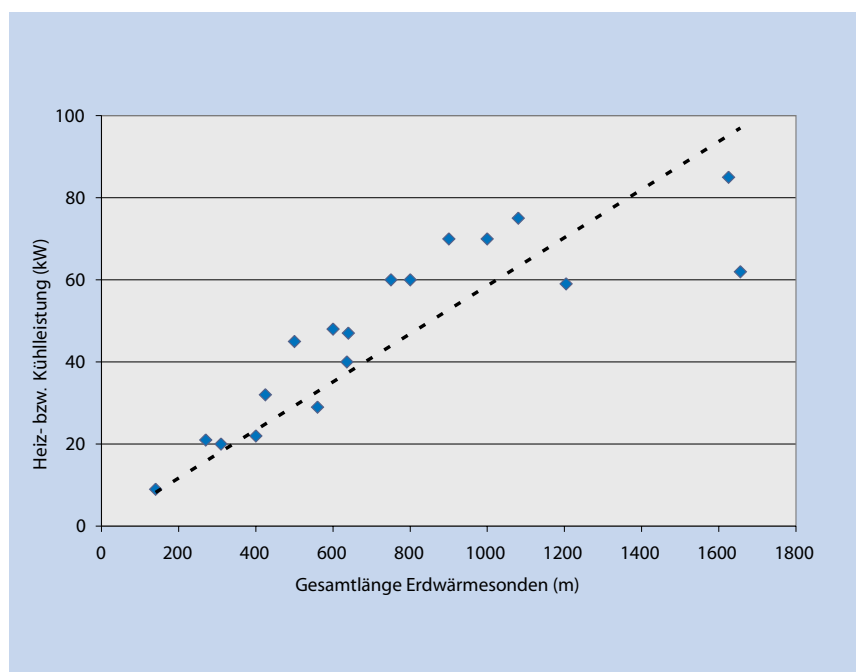
dere interessante Anlagen mit weniger als 100 kW Heiz-/Kühlkapazität beschrieben. In **Tabelle 2** sind diese und weitere Beispiele aufgelistet.

Das erste Beispiel (Hänel, 1999) wurde 1995 in Cottbus im Zusammenhang mit der Landesgartenschau erstellt. Das Gebäude wurde zur passiven Solarenergienutzung entworfen (**Abb. 6**)

| Monat        | Heizlast (kWh) | Kühllast (kWh) |
|--------------|----------------|----------------|
| Januar       | 63.718         | 432            |
| Februar      | 52.677         | 667            |
| März         | 36.469         | 3.861          |
| April        | 19.276         | 14.031         |
| Mai          | 9.761          | 20.777         |
| Juni         | 5.199          | 23.926         |
| Juli         | 3.586          | 28.951         |
| August       | 3.619          | 21.679         |
| September    | 7.320          | 15.338         |
| Oktober      | 19.560         | 6.904          |
| November     | 36.011         | 2.069          |
| Dezember     | 59.665         | 292            |
| <b>total</b> | <b>316.860</b> | <b>138.927</b> |

Quelle: GEFGA GmbH

**Tabelle 1** Beispiel monatlicher Wärme- und Kältelast des Gebäudes Philips APM, Wetzlar-Spilburg



Quelle: Samner

**Abb. 5** Hier wurde die Wärmepumpenheiz- oder -kühlleistung gegen die Gesamtlänge der Erdwärmesonden der in Tabelle 2 aufgelisteten Erdwärmesondenanlagen bis 100 kW Heizleistung (ohne Neubaugebiete) aufgetragen.

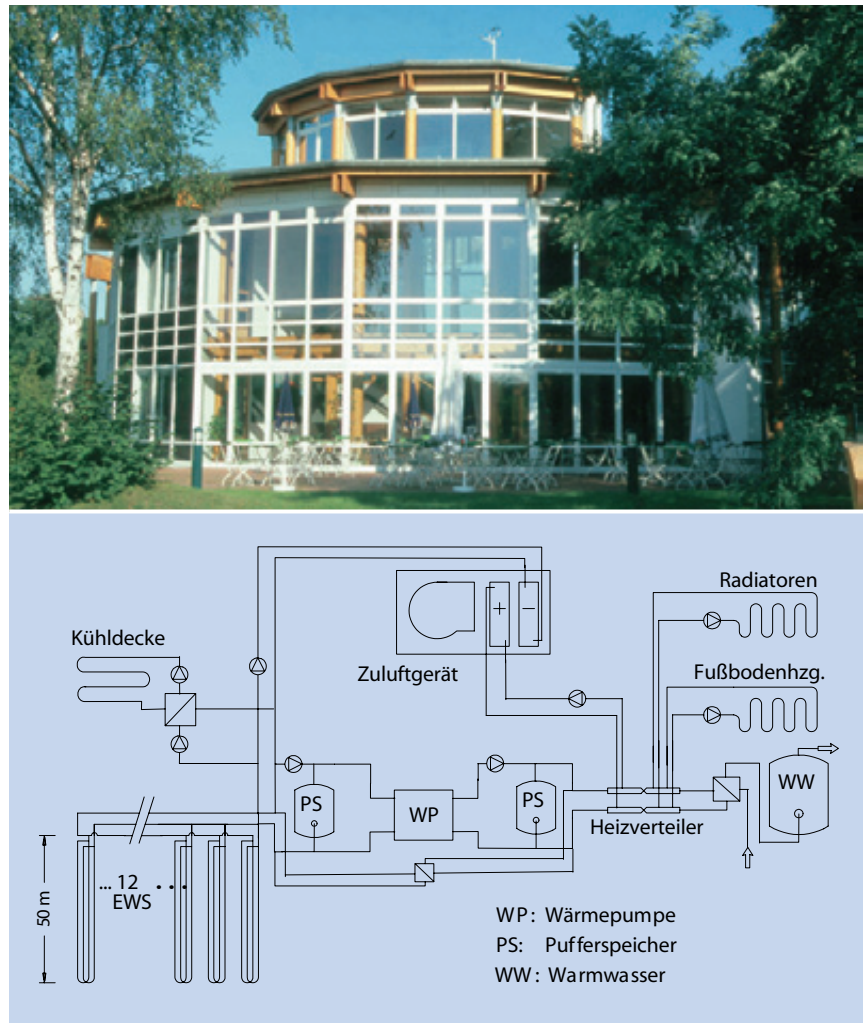


und verwendet hauptsächlich natürliche Baumaterialien. Dieses „Umweltzentrum“ umfasst Seminarräume, Büros und ein Restaurant und wird mit einer Fußbodenheizung beheizt, die von einer erdgekoppelten Wärmepumpe versorgt wird. Das Gebäude wird direkt (ohne Einsatz der Wärmepumpe) über Kühldecken und Gebläsekonvektoren gekühlt (**Abb. 6**).

Unmittelbar an der belgischen Grenze wurde in Aachen ein Niedrigenergie-Bürohaus (Vika) errichtet (**Abb. 7**). Mit diesem Beispiel kann die Anwendung von Betonböden und Kühldecken zur Versorgung der Räume mit Kühlung oder Heizung demonstriert werden; dies ist inzwischen eine beliebte Technologie für neue Bürogebäude in Deutschland. Auf Grund der großen Oberfläche genügt eine relativ geringe Vorlauftemperatur zur Beheizung, und gleichzeitig ermöglicht die Gebäudemasse eine Nachtspeicherung. Ein Nachteil dieses Speichereffekts ist die langsame Reaktion auf die Regelung. Daher ist dieses Konzept bei Wohngebäuden weniger verbreitet, oder wird manchmal z. B. durch Gebläsekonvektoren ergänzt, um eine schnellere Temperaturregelung zu ermöglichen. Im Bürogebäude Vika arbeitete die Betonkernaktivierung tadellos, sogar im sehr heißen Sommer 2003. Die reinen Betriebskosten für die Kühlung betrugen im Jahr 2003 250 Euro (entspricht 0,12 € pro m<sup>2</sup>).

Das letzte Beispiel aus dem gewerblichen Bereich ist das in Privatbesitz befindliche chemische Labor UEG in Wetzlar, das bereits 1991 gebaut wurde. Ausrüstungen wie Atomabsorptionsspektrometrie und Gas-Chromatographie werden für umwelttechnische Untersuchungen benutzt. Diese Analysegeräte produzieren Wärme und benötigen gleichzeitig auch eine konstante (kühle) Umgebungstemperatur. So ist eine beständige Kühllast fast über das gesamte Jahr vorhanden, die sehr wirtschaftlich direkt von den Erdwärmesonden (**Abb. 8**) geliefert wird.

Kühlung wird im UEG-Gebäude direkt von den Erdwärmesonden geliefert; Rohre (die isolierten schwarzen Rohre an der linken Seite der Wärmepumpe in **Abb. 8**) bringen das kalte Wärme-



**Abb. 6** Das Umweltzentrum Cottbus wird direkt – ohne Einsatz der Wärmepumpe – über Kühldecken und Gebläsekonvektoren gekühlt; Außenansicht (oben) und (unten) Systemschema

trägermedium aus den Erdwärmesonden zur zentralen Lüftungsanlage oberhalb des Korridors und zu den Gebläsekonvektoren in Räumen mit hoher Kühllast. Für 1 kW Kühlleistung werden nur ca. 35 bis 50 W Pumpleistung benötigt. Die Reduzierung an CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu einem konventionellen System mit Heizöltank und elektrischem Kühlaggregat beträgt beinahe 50 Prozent (**Abb. 9**).

Als Beispiel einer erdgekoppelten Wärmepumpe im Wohnungsbau wird zunächst ein Haus bei Köln mit zehn Wohneinheiten angeführt. Sieben Erdwärmesonden sind mit einem zentralen Verteiler am Gebäude verbunden. Zur Reduzierung der Anzahl von Anbindeleitungen wurden die Doppel-U-Sonden mittels Hosenstücken zu jeweils einem Vor- und Rücklauf zusammengefasst (**Abb. 10**). ▶





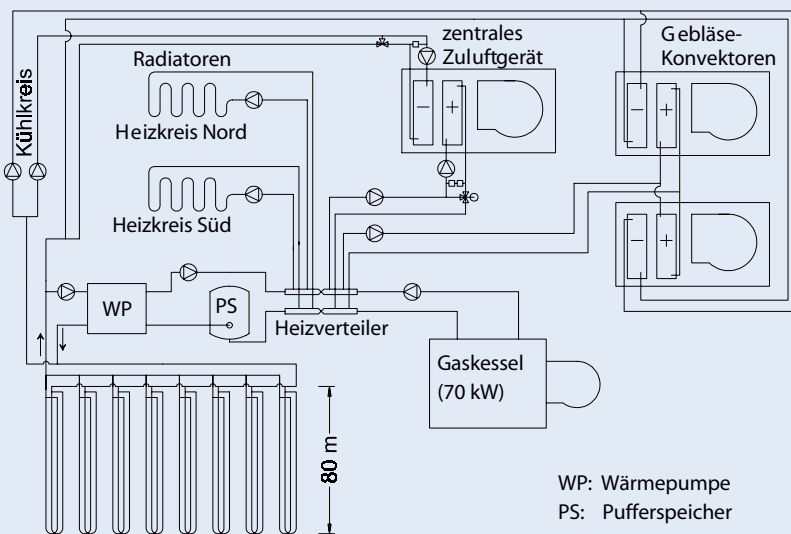
Quelle: EWS

**Abb. 7** Im Bürogebäude Vika in Aachen werden die Räume über Betonkernaktivierung mit Kühlung und Heizung versorgt. Im Vordergrund des Gebäudes ist das Erdwärmesondenfeld zu sehen.

Das relativ große dreistöckige Gebäude auf einem kleinen Gelände erforderte besondere Aufmerksamkeit bezüglich der optimalen Ausnutzung des Areals.

Mittlerweile werden auch ältere Gebäude mit Erdwärmesonden ausgerüstet. Ein Beispiel hierfür ist ein mehrere Jahrhunderte alter Landsitz, der Hof Kolfhausen in Wermelskirchen (**Abb. 11**). Im Rahmen der Renovierung des Hofes wurde eine erdgekoppelte Wärmepumpenanlage installiert, die Wärme und Warmwasser liefert. Außerdem werden über die Anlage auch einige neue Häuser neben dem eigentlichen Landhaus mitversorgt. Auf Grund des kompletten Wiederaufbaus des Besitzes konnte ein Niedrigtemperatur-Heizsystem eingebaut werden.

Ein weiteres Beispiel findet sich in Bönningheim in Südwestdeutschland. Hier wurde eine Jugendstil-Villa renoviert. Für die Auslegung einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage für dieses Gebäude, musste auch das Heizverteilungssystem angepasst werden, um niedrigere Vorlauftemperaturen für die Wärmepumpe zu erreichen. Um etwa die gleiche Heizlast wie bei dem Hof Kolfhausen abzudecken, wurden hier nur vier tiefere Erdwärmesonden an Stelle der zehn Sonden bei Hof Kolfhausen gewählt. Dadurch wurden weniger Bohrpunkte und Verrohrung im vorhandenen Garten benötigt.



Quelle: Sanner

**Abb. 8** Das chemische Labor „UEG“ in Wetzlar benötigt fast ganzjährig eine Kühl-last, die über Erdwärmesonden sehr wirtschaftlich geliefert werden kann; Außen-ansicht (links oben), Wärmepumpe (rechts oben) und Systemschema (unten)

Sogar in den höheren Regionen des Schwarzwaldes in etwa 800 bis 900 Metern Höhe ü. NN ist die Verwendung von erdgekoppelten Wärmepumpen möglich. Dieses Gebiet ist sowohl sommers als auch winters ein touristischer Anziehungspunkt. So ist es nicht überraschend, in Altglashütten, gleich östlich des höchsten Punktes im Schwarzwald, dem Feldberg (1.493 m), ein Hotel mit einer erdgekoppelten Wärmepumpe vorzufinden. Der Untergrund besteht aus kristallinem Gestein mit guter Wärmeleitfähigkeit, und auf Grund der langen Heizperiode wurden hier drei Erdwärmesonden von 250 Metern Länge installiert.

Erdgekoppelte Wärmepumpen in öffentlichen Gebäuden sind von beson-

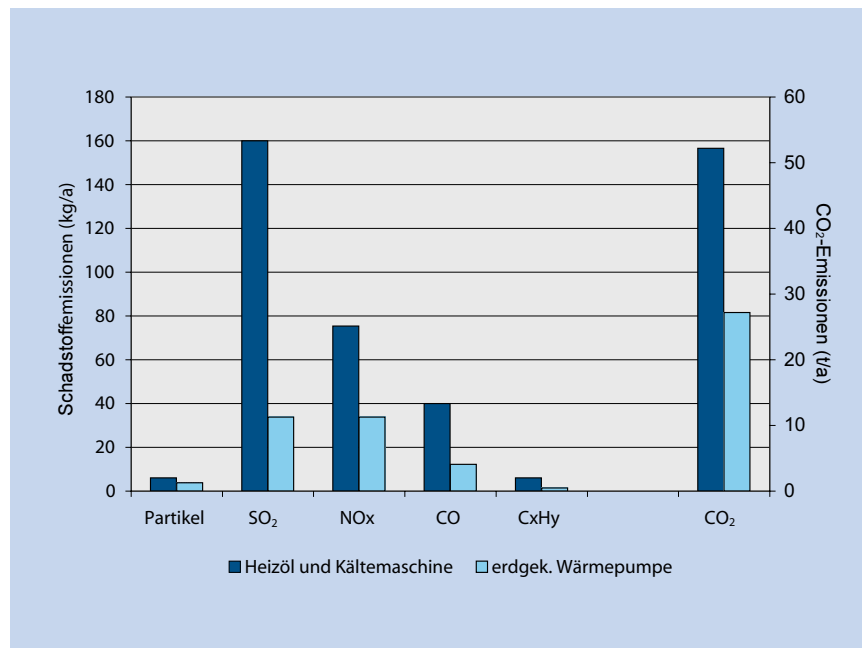


derer Wichtigkeit, da hier sehr gut über die Technologie informiert werden kann. In **Tabelle 2** sind einige Beispiele von öffentlichen Gebäuden enthalten (z. B. Rathäuser, Sporteinrichtungen, ein Kindergarten und Schulen).

Zwei dieser öffentlichen Gebäude nutzen Solarwärme, um den Untergrund schneller zu regenerieren. Da die meisten der kleineren erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen nur zu Heizzwecken dienen, ist die natürliche thermische Erholung des Bodens wesentlich für die nachhaltige Nutzung dieser Quelle. Die Gesamtlänge der Sonden muss normalerweise etwas größer sein als für ähnliche Projekte mit Heizung und Kühlung. Eine Lösung ist möglich, wenn Sonnenkollektoren für die Warmwasserversorgung existieren. Die überschüssige Sonnenwärme, die nicht für mehr Warmwassererwärmung genutzt werden kann, wird während der Sommerzeit in die Erdwärmesonden eingeleitet, und so wird das Erdreich um die Sonden herum wieder aufgewärmt. In kleineren Anlagen kann ein wirklicher Speichereffekt nicht erreicht werden, jedoch erlaubt die forcierte Erholung der natürlichen Bodentemperaturen die Einsparung von einigen Metern Erdwärmesonden.

Ein Beispiel ist das Informationszentrum „Blumberger Mühle“ im Naturreservat Schorfheide nordöstlich von Berlin. Sonnenkollektoren sorgen hier für Warmwasser, und zur Stromerzeugung wird Photovoltaik eingesetzt. Überschüssige Wärme aus den Sonnenkollektoren wird in die 15 Erdwärmesonden von je 32 Metern Tiefe eingeleitet. Ein ähnliches System wird für eine Sporthalle in Hessisch-Oldendorf benutzt (welches trotz des Namens in Niedersachsen liegt). Hier liefern Sonnenkollektoren Warmwasser, die überschüssige Wärme wird ebenfalls für die Wiedererwärmung des Erdreichs bei drei Sonden in je 90 Metern Tiefe verwendet. Die mögliche Reduzierung der Sondenlänge im Vergleich zu einer Anlage ohne Solaraufladung beträgt zwölf Prozent.

Der Einsatz von erneuerbaren Energien in Schulen kann dabei helfen, die



**Abb. 9** Die Emissionen von Schadstoffen und CO<sub>2</sub> sind im Vergleich mit konventionellen Heizsystemen deutlich niedriger. Hier ein Beispiel für das UEG Gebäude und für ein theoretisch konventionelles System.

Kinder frühzeitig über vorhandenes Potenzial und entsprechende Technologien zu informieren. Eine geothermische Anlage ist nicht besonders gut sichtbar. Daher müssen für Lehrer Unterrichtsmaterialien entwickelt werden, um ihnen zu helfen, ihren Schülern diese Energiequelle nahe zu bringen. Das Vorhandensein einer erdgekoppelten Wärmepumpe in ihrer Schule mag einen besonderen Anstoß dafür geben, besonders wenn sie auch zur Kühlung eingesetzt wird (was alles andere als Standard an deutschen Schulen ist). Drei neue Schulen mit erdgekoppelten Wärmepumpen in der Nähe von Frankfurt wurden 2004/2005 fertig

gestellt und in den kommenden Jahren werden die Kinder über ihrem geothermischen Heizsystem auf dem Rasen vor der Schule spielen.

### Wohnanlagen und Neubaugebiete

Eine besondere Situation entsteht, wenn viele kleinere erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen auf engem Raum installiert werden. Klimatisierung ist bei Wohngebäuden in Deutschland noch nicht üblich. Normalerweise wird dem Erdreich im Winter die Heizwärme und zu einem etwas geringeren Teil die Wärme zur Warmwasserbereitung entzogen. Es wird keine Wärme in ►



## Sole für Erdwärmesysteme

umweltverträglich – leicht biologisch abbaubar

- Basis Ethylenglykol
- Basis Propylenglykol
- und glykolfreie Spezialsole

Lieferform: Konzentrat oder gebrauchsfertiges Gemisch

TYFOROP CHEMIE GmbH / Anton-Rée-Weg 7 / 20537 Hamburg  
Tel. 040 20 94 97 - 0 / Fax - 20 / E-Mail: info@tyfo.de / www.tyfo.de



Quelle: EWS

**Abb. 10** Das Mehrfamilienhaus wird über sieben Erdwärmesonden versorgt, die über einen zentralen Verteiler mit dem Gebäude verbunden sind. Außenansicht (oben) und Kopf einer Erdwärmesonde mit Verbindungsrohren (unten)

das Erdreich eingeleitet und die nachhaltige Nutzung von Erdwärme beruht auf der Regeneration der natürlichen Temperaturen durch Wärmeleitung und Grundwasserbewegung.

Bei Einfamilienhäusern stellt diese Tatsache kein Problem dar; wenn jedoch ganze Wohnanlagen oder Neubaugebiete mit Erdwärmesonden ausgestattet werden, muss der gegenseitige Ein-

fluss bedacht werden. Eine stetig sinkende Erdreichtemperatur muss durch Beschränkung des Wärmeentzugs auf einen Wert, der das Gleichgewicht hält, vermieden werden. In Regionen, wo Klimatisierung im Sommer üblich ist, stellt die sinkende Temperatur kein Problem dar, im Gegenteil, es entsteht in warmen klimatischen Zonen wie im Süden der USA eher das Problem des Aufheizens des Bodens.

| Name                                     | Daten und Anmerkungen                                     |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Anlagen in öffentlichen Gebäuden</b>  |                                                           |
| Schwabhausen, Stadthalle                 | 85 kW (H), 65 EWS je 25 m tief                            |
| Cottbus, Umweltzentrum                   | 48 kW (H), 32 kW (K), 12 BHE each 50 m deep               |
| Uttenweiler, Mehrzweckhalle              | 45 kW (H), 4 EWS je 125 m tief                            |
| Unlingen, Stadthalle                     | 40 kW (H), 6 EWS je 106 m tief                            |
| Angermünde, Blumberger Mühle             | 23 kW (H), 15 EWS je 32 m tief (solare Nachladung)        |
| Hessisch-Oldendorf, Sporthalle           | 21 kW (H), 3 EWS je 90 m tief (solare Nachladung)         |
| Bernau, Kindergarten                     | 20 kW (H), 10 EWS je 31 m tief                            |
| Glashütten-Schlossborn, Schule           | 75 kW (H) / 62 kW (K), 9 EWS je 120 m tief                |
| Bad Homburg-Oberstedten                  | 62 kW (H) / 12 kW (K), 18 EWS je 92 m tief                |
| <b>Anlagen in privaten Gebäuden</b>      |                                                           |
| Wermelskirchen, Hof Kolfhausen           | 70 kW (H), 10 EWS je 80-100 m tief (historisches Gebäude) |
| Bönningheim, Villa Amann                 | 70 kW (H), 4 EWS je 250 m tief (historisches Gebäude)     |
| Gütersloh, Büro „Maas“                   | 60 kW (H), 8 EWS je 100 m tief (WP mit BHKW)              |
| Altglashütten, Hotel „Schlehdorn“        | 60 kW (H), 3 EWS je 250 m tief                            |
| Aachen, Niedrigenergie-Bürohaus          | 55 kW (H), 59 kW (K), 28 EWS je 43 m tief                 |
| Wetzlar, Laborgebäude UEG                | 47 kW (H) / ca. 20 kW (K), 8 EWS je 80 m tief             |
| Wetzlar, MT-Logistik                     | 32 kW (H) / 28 kW (K), 5 EWS je 85 m tief                 |
| Frechen, Mehrfamilienhaus                | 29 kW (H), 7 EWS je 80 m tief                             |
| Schöffengrund, Fabrik Verolum            | 22 kW (H), 8 EWS je 50 m tief (gebaut 1980)               |
| Köln, Architekturbüro                    | 9 kW (H) / 7 kW (K), 5 EWS je 28 m tief                   |
| <b>Neubaugebiete</b>                     |                                                           |
| Werne                                    | ca. 700 kW (H), 134 Häuser, je 1 EWS 100-150 m tief       |
| Stutensee                                | ca. 550 kW (H), 79 Häuser, je 1 EWS 77-123 m tief         |
| Dortmund-Mengede                         | ca. 500 kW (H), 98 Häuser, je 1 EWS 100-150 m tief        |
| Gütersloh                                | ca. 150 kW, 24 Häuser, je 1 EWS 90 m tief                 |
| H: Heizung K: Kühlung EWS: Erdwärmesonde |                                                           |

**Tabelle 2** Auswahl kleinerer Erdwärmesonden-Anlagen in Deutschland





Quelle: Sanner

**Abb. 11** Der Hof Kolfhausen wurde im Rahmen der umfangreichen Renovierung mit einer erdgekoppelten Wärmepumpe und passiver Solar-Architektur ausgestattet.

In **Tabelle 2** sind „geothermische“ Gebiete für Wohnprojekt-Entwicklungen aufgeführt. In all diesen Fällen sind die Grundstücke ziemlich klein, und jedes Haus ist mit einer eigenen Erdwärmesondenanlage ausgestattet. Das gesamte Gebiet wurde im Voraus als exemplarisch berechnet, um eine fehlerfreie Planung und dauerhaften Betrieb zu gewährleisten. Für die Wärmeversorgung ist es der einzige Weg, die Tiefe der Erdwärmesonden zu vergrößern, um ein größeres Erdvolumen zu erschließen, bei gleichzeitiger Verringerung des spezifischen Wärmeentzugs.

Die größte geothermische Wohnanlage in Deutschland existiert derzeit in Werne, nördlich von Dortmund. Insgesamt sind 134 Häuser in Planung. Die Entwicklung begann im Jahr 2000 und war im Herbst 2005 weitgehend

abgeschlossen. Die ersten Hausbesitzer zogen im Jahr 2000 ein, aber auf Grund der allgemeinen wirtschaftlichen Situation in den letzten Jahren kamen Bau und Verkauf der Häuser zeitweise nur langsam voran.

Weitere Geothermie-Wohnanlagen sind in Leverkusen und Köln in Planung. In Ländern wie der Schweiz und Schweden, wo erdgekoppelte Wärmepumpen in der Vergangenheit sehr populär waren, aber auch in einigen Leitfäden der Bundesländer existieren bereits einige Vorschriften, die eine bestimmte Entfernung zwischen den Erdwärmesonden und den Grundstücksgrenzen vorsehen.

*Der zweite Teil des Beitrags mit Anlagen über 100 kW Heiz- und Kühlleistung folgt in einer der nächsten Ausgaben.*

## Literatur

- Hänel, K. (1999): Erdwärmeanlage am Umweltzentrum Cottbus, Proc. OPET-Seminar Erdgekoppelte Wärmepumpen, GtV, Geeste: 77-83.
- Hellström, G. & B. Sanner (2001): PC-programs and modelling for borehole heat exchanger design, Proc. IGD Germany 2001 Bad Urach, Suppl., GtV, Geeste: 35-44.
- Sanner, B., Knoblich, K., Euler, G. & J. Reichmann (1991): Kältespeicherung in erdgekoppelten Wärmepumpensystemen, ETA elektrowärme int., A4/91, 164-167.
- Sanner, B., Hellström, G., Spitler, J. & S. Gehlin (2005): Thermal Response Test – current status and world-wide application, Proc. WGC 2005, paper 1436, Reykjavik.
- VDI (2000-2004): Thermische Nutzung des Untergrundes, Richtlinie VDI 4640, 4 Blätter.

## Autoren:

Dr. Burkhard Sanner  
UBeG Dr. E. Mands & M. Sauer GbR  
Nauborner Str. 184  
35580 Wetzlar  
Tel.: 06441 212-910  
Fax: 06441 212-911  
  
E-Mail: UBeG@UBeG.de  
Internet: www.ubeg.de

Dr. Erich Mands  
UBeG Dr. E. Mands & M. Sauer GbR  
Nauborner Str. 184  
35580 Wetzlar  
Tel.: 06441 212-910  
Fax: 06441 212-911  
  
E-Mail: UBeG@UBeG.de  
Internet: www.ubeg.de

Dipl.-Geol. Marc Sauer  
UBeG Dr. E. Mands & M. Sauer GbR  
Nauborner Str. 184  
35580 Wetzlar  
Tel.: 06441 212-910  
Fax: 06441 212-911  
  
E-Mail: UBeG@UBeG.de  
Internet: www.ubeg.de



# Beispiele größerer erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen in Deutschland (Teil 2)

**Geothermie** ■ *Das gewachsene Interesse an erdgekoppelten Wärmepumpen lässt immer neue Anlagen vom Einfamilienhaus bis zum Hochhaus entstehen. Nachdem im ersten Teil (bbr 01/2006) die Entwicklung und Beispiele für Anlagen bis 100 kW Heizleistung vorgestellt wurden, behandelt dieser zweite Teil größere Anlagen von mehr als 100 kW sowie thermische Unterspeicher.*

Eine umfangreiche Liste der größten Anlagen der oberflächennahen Geothermie in Deutschland ist in **Tabelle 2** aufgeführt. Von der Erdseite her können die Projekte in drei Gruppen eingeteilt werden: Erdwärmesonden, Grundwasserbrunnen und Energiepfähle. In Deutschland ist in der Regel nicht genügend Freifläche vorhanden, um große thermische Leistungen mit Erdwärmekollektoren abdecken zu können, daher beinhaltet **Tabelle 2** nur ein Beispiel, bei dem Horizontalkollektoren zusätzlich zu Erdwärmesonden verwendet werden.

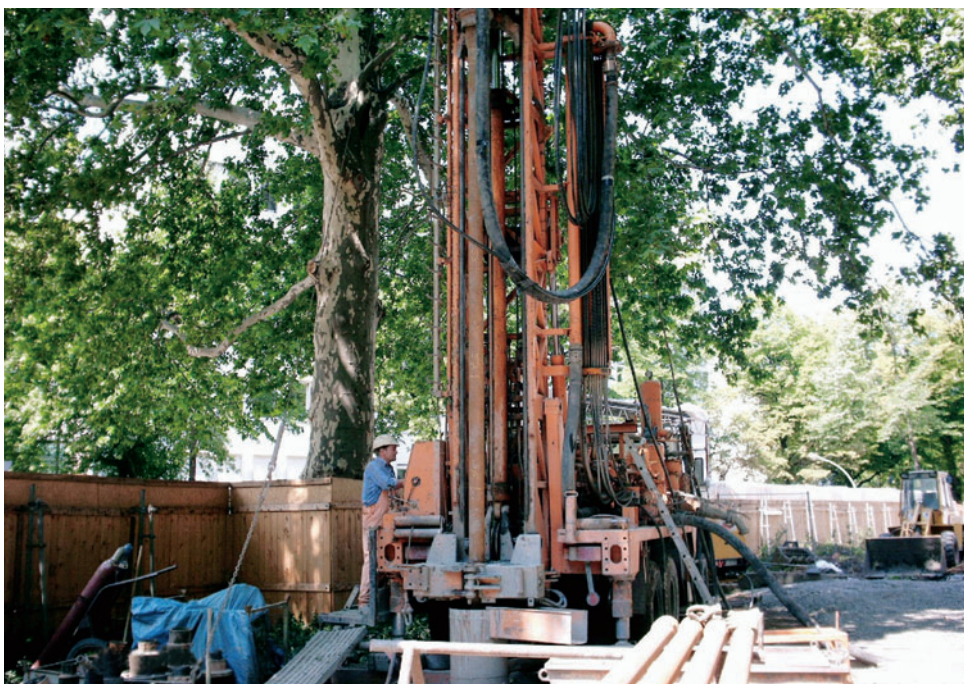
Die größte Anlage aus **Tabelle 2** befindet sich in der Nähe von München.

Die Grundwasserbrunnen dienen gleichzeitig der Grundwasserhaltung. Dadurch ist die Wiedereinleitung des gesamten Grundwassers in den Untergrund, wie es üblicherweise von den Behörden in Deutschland verlangt wird, hier kein Problem.

Im Allgemeinen können Grundwasserbrunnen eine viel höhere thermische Leistung pro Bohrloch liefern als Erdwärmesonden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Wärmetransport bei Grundwasserbrunnen über das Grundwasser erfolgt. Somit wird der Transport der Wärme zum Brunnen durch eine Druckdifferenz (Pumpen) bei gleich bleibender Tem-

peratur bewirkt, während bei Erdwärmesonden der Transport der Wärme zur Sonde überwiegend durch ein Temperaturgefälle angetrieben wird (der konvektive Anteil durch an der Sonde vorbei fließendes Grundwasser ist in der Regel klein).

Die eingeschränkte Verfügbarkeit ausreichend großer Bauplätze im Innenraum von Großstädten, wie z. B. in Frankfurt, erlaubt normalerweise keine Installation von größeren Erdwärmesonden-Systemen. Jedoch sind Grundwasserbrunnen, z. B. in Frankfurt, eine Alternative, da hier klüftige Kalksteine, überlagert von Mergeln und Tonsteinen, einen geeigneten



**Abb. 1** Die Bohrarbeiten für einen Grundwasserbrunnen der Wärmepumpenanlage WestendDuo im Sommer 2004 wurden unter erschwerten Bedingungen durchgeführt, da ein geschützter Baumbestand nicht gefährdet werden durfte.

Aquifer darstellen. Das Genehmigungsverfahren bei den zuständigen Behörden unterliegt allerdings strikten Beschränkungen.

Zwei Beispiele aus **Tabelle 2** verwenden Grundwasser im Stadtbereich Frankfurt/Main. Eine der Anlagen ist bereits im Betrieb, ein Gebäudekomplex mit Geschäften, Büros und Wohnungen am Baseler Platz, südlich des Hauptbahnhofs. Bohrungen und Bau der Anlage fanden unter äußerst beschränkten Platzverhältnissen statt, und die Brunnenköpfe befinden sich hier im unteren Geschoss der Tiefgarage. Das Grundwasser hat in einer Tiefe von 80 Metern unter Geländeoberkante (GOK) bereits eine Temperatur von 21 °C; neben der erhöhten Grundwassertemperatur im Innenstadtbereich muss hier ein Einfluss der Thermalwasservorkommen am nördlichen Ende des Oberrheingrabens angenommen werden. Dies ist vorteilhaft für die Effizienz der Wärmepumpen im Heizmodus, aber nicht zur direkten Kühlung geeignet (daher muss die Wärmepumpe während des Sommers als Kälteaggregat arbeiten). Für das andere Beispiel im Herzen Frankfurts, die Zwillingstürme des „WestendDuo“, wurden die ersten Pumpversuche in den fertig gestellten Brunnen bereits im Herbst 2004 durchgeführt, die Anlage geht nunmehr in Betrieb. Auch hier fanden die Bohrar-

| Name und Ort                | Daten und Bemerkungen                                                                                          |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Berlin, Deutscher Bundestag | Aquifer Kältespeicherung, 5+5 Brunnen jeder 60 m tief, Aquifer Wärmespeicherung, 2 Brunnen jeweils 320 m tief. |
| Neckarsulm-Amorbach         | 528 Erdwärmesonden jede 30 m tief für Speicherung von Sonnenwärme                                              |
| Frankfurt, Maintower        | ca. 500 kW, ca. 210 Energiepfähle 30-34 m tief                                                                 |
| Attenkirchen                | ca. 250 kW, 90 Erdwärmesonden jede 30 m tief und 500 m <sup>3</sup> Wassertank zur Speicherung von Solarwärme  |
| Rostock                     | 110 kW, 2 Brunnen jeweils 30 m tief, solare Aufladung                                                          |
| Im Bau: Crailsheim          | Erdwärmesonden bis 80 m tief für Speicherung von Sonnenwärme                                                   |

**Tabelle 1** Thermische Untergrundspeicher in Deutschland

beiten unter besonders schwierigen Bedingungen statt, da ein alter Baumbestand nicht beschädigt werden durfte (**Abb. 1**).

Ein anderes Grundwasserphänomen, das stellenweise auch im Gebiet von Frankfurt vorliegt, kann den Einsatz von Erdwärmesonden erschweren oder unmöglich machen. Im Nordwesten Frankfurts ist der Anstieg zum Taunus verantwortlich für einen artesischen Druck im tertiären Kalkstein-Aquifer („Cerithienschichten“). So wurden für eine andere Anlage (**Tab. 2**) im Jahre 1993 Bohrlöcher von 98 Meter Tiefe geplant (Sanner & Euler, 1994). Die erste Bohrung offenbarte ein artesisches, salzhaltiges Wasservorkommen

mit 15 °C und einem Druck von 2 bar am Brunnenkopf aus einer Tiefe von 70 Metern im Kalkstein (**Abb. 2**). Auf Grund des relativ hohen Drucks wurde die Verpressung des Ringraums für unmöglich gehalten. Daraufhin wurde das Bohrloch aufgegeben, sorgfältig geschlossen und zementiert. Die Anzahl der Sonden wurde verdoppelt und die Länge auf jeweils 50 Meter begrenzt, um die undurchlässigen Deckschichten mit ausreichender Sicherheit nicht zu durchteufen. Zusätzlich wurde dem Verpressmaterial Baryt beigefügt, um es schwerer zu machen. Die Bohrung, Installation und Verbindung der doppelten Anzahl von Sonden (**Abb. 2**) war eine Herausforderung auf dem schmalen Streifen zwi-



**Abb. 2** Die Erdwärmesondenbohrungen in Frankfurt-Hoechst wurden durch den dort bestehenden artesischen Druck im tertiären Kalkstein-Aquifer erschwert. An der ersten Bohrung (1998) (links) kam es zu artesischem Wasseraustritt. Das Bohrloch wurde daraufhin aufgegeben (Mitte). Nach Verdoppelung der Sondenanzahl und Begrenzung der Länge auf jeweils 50 Meter konnten die Arbeiten fortgesetzt werden. Die Verbindung der Rohre stellte eine erneute Herausforderung dar (rechts).

Quelle: Sanner





Quelle: Sanner



**Abb. 3** Die 1991 gebaute Wohnanlage der damaligen Bayernwerke (links) war das erste größere Gebäude in Deutschland, das mit einer Erdwärmesondenanlage von über 100 kW ausgestattet wurde. Insgesamt sechs Wärmepumpen erbringen eine Gesamtleistung von 210 kW (rechts).

schen Straße und Gebäude, aber es war die einzige Lösung, um eine Erdwärmesondenanlage an diesem Standort zu realisieren. Zwar wurden in den vorhergehenden Zeilen auch auftretende Probleme geschildert, doch bieten Erdwärmesonden üblicherweise eine sichere und problemlose Möglichkeit der Wärme- und Kälteversorgung auch größerer Gebäude. Die erste Erdwärmesondenanlage in Deutschland, bei der eine Heizleistung von deutlich über 100 kW installiert wurde, ging Anfang 1992 im bayrischen Kochel am See in Betrieb (Sanner et al., 1992). Eine Wohnanlage der damaligen Bayernwerke wurde mit 21 Erdwärmesonden von jeweils knapp 100 Metern Tiefe ausgestattet, und insgesamt sechs Wärmepumpen bringen es zusammen auf 210 kW Heizleistung. Für die Bohrarbeiten kam damals noch ein Unternehmen aus der Ostschweiz zum Einsatz, da in Deutschland kaum Erfahrungen mit größeren Erdwärmesondenanlagen vorhanden waren (**Abb. 3**).

Erdgekoppelte Wärmepumpen mit Erdwärmesonden oder Energiepfählen können bei Großprojekten in der Regel nicht die gesamte Wärme- und Kälteleistung abdecken. Oftmals ist das Grundstück zu klein, um die notwendige Anzahl an Erdwärmesonden unterbringen zu können, in der Regel ist es aber wirtschaftlicher, die Leistungs-

spitzen durch andere, konventionelle Energiequellen abzudecken. In einem solchen Fall wird für erdgekoppelte Wärmepumpen eine geeignete Basislast festgelegt. Dadurch steigt allerdings die Volllaststundenanzahl gegenüber einer monovalent betriebenen Anlage. Diese hohen Volllaststundenzahlen kommen der geothermisch betriebenen Wärmepumpe entgegen. Die Gesamtheizarbeit eines solchen Systems ist, verglichen mit den Investitionskosten, besonders gut. Ein Beispiel eines typischen Grundlast-Betriebs ist die Anlage der Deutschen Flugsicherung (DFS) in Langen.

Die DFS hat eine neue Hauptverwaltung in Langen bezogen, nur wenige Kilometer südöstlich des Flughafens Frankfurt. Das Bürogebäude bietet Platz für 1.200 Mitarbeiter und wurde als Niedrigenergiegebäude geplant (**Abb. 4**). Die Basisdaten des Gebäudes sind:

- gesamtes Bauvolumen 230.000 m<sup>3</sup>
- Gesamtgrundfläche 57.800 m<sup>2</sup>
- Heiz-/Kühlbereich 44.500 m<sup>2</sup>

Insgesamt 154 Erdwärmesonden von jeweils 70 Meter Tiefe sind in das Heiz- und Kühlsystem integriert. Die Erdwärmesondenanlage deckt die Grundlast des Gebäudes für die Kühlung und Heizung ab (**Abb. 5**). Die Sonden liefern eine Kühlleistung von 340 kW und 330 kW Heizleistung, dies entspricht

80 Prozent der jährlichen Kühlarbeit und 70 Prozent der jährlichen Heizarbeit (Seidinger et al., 2000). In Langen wurde im Sommer 1999 zum ersten Mal in Deutschland ein Thermal Response Test als Grundlage zur Dimensionierung eines Erdwärmesondenfeldes eingesetzt. Der Untergrund besteht aus quartärem und tertiärem Sand, Kies und Ton, und die gemessene Wärmeleitfähigkeit des Bodens betrug  $\beta = 2,8 \text{ W/m/K}$ .

Bei dem Gebäude der DFS gibt es eine Besonderheit im Erdwärmesondensystem. Während für die meisten erdgekoppelten Wärmepumpen ein Frostschutzmittel genutzt wird, um auch im Temperaturbereich unter 0 °C einsatzfähig zu sein, wird in Langen nur reines Wasser verwendet. Dies ist möglich, weil zum einen die Kühlarbeit überwiegt, und zum anderen die sehr präzisen Planungsberechnungen ausreichende Sicherheit bieten. Der Betrieb ohne Frostschutzmittel hat einen ökologischen Vorteil im Falle eines möglichen Lecks (das Gelände liegt in Zone 3 eines Trinkwasserschutzbereiches). Die Kosten für das Auffüllen dieses großen Systems mit Frostschutzmitteln können ebenfalls vermieden werden. Die Planung mit Mindesttemperaturen für die Wärmeversorgung von +4 °C sorgt darüber hinaus für eine sehr gute saisonale Arbeitszahl im Heizmodus.



**Abb. 4** Das Niedrigenergie-Bürogebäude der Deutschen Flugsicherung in Langen ist ein typisches Beispiel für einen Grundlast-Betrieb.

Die 154 Erdwärmesonden sind unter dem Rasen, entlang zweier Gebäude-seiten in zwei Feldern angeordnet. Als Wärmepumpe kommt ein Aggregat

von Axima (früher Sulzer-Escher-Wyss) mit vier getrennt angetriebenen, halbhermetischen Kompressoren und dem Arbeitsmittel Ammoniak zum

Einsatz (**Abb. 6**). Das Gesamtsystem wurde im Winter 2000/2001 getestet und ist seit Frühjahr 2001 in Betrieb.

Unter den in Deutschland herrschenden klimatischen Bedingungen ist der jährliche Heizbedarf in den meisten Fällen höher als der jährliche Kühlbedarf. Um große erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen diesbezüglich etwas auszugleichen, hat es sich bewährt, zunächst die Planung so vorzunehmen, dass den Kühlanforderungen entsprochen wird. Danach wird die mit einer so ausgelegten Anlage mögliche Leistung berechnet und gegebenenfalls zusätzliche Heizkessel oder andere Heizgeräte vorgehalten. Moderne, gut gedämmte Gebäude mit hohen internen Wärmequellen können aber auch einen Überhang an Kühlbedarf haben. Will man die gesamte Kühlung über das Erdsystem fahren, muss gegebenenfalls eine zusätzliche Rückkühlung über Trockenkühler oder Kühlturm vorgesehen werden. Derartige „Hy- ➤

## Stellen Sie Ihre Kompetenz ins Rampenlicht!

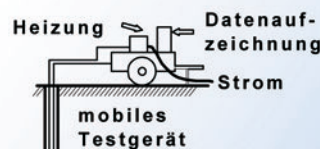
Nutzen Sie unseren Service der **bbr**-Sonderdrucke für Ihre Unternehmenskommunikation. Wir beraten Sie gerne.



**wvgw** Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft  
Gas und Wasser mbH

**Vera Eckern**

Tel. 0228 9191-435 · Fax 0228 9191-492  
E-Mail: eckern@wvgw.de · www.wvgw.de



## Erfahrung und Kompetenz in Erdwärme

- Geologische Beratung
- Geothermische Machbarkeitsstudien
- Geothermal-Response-Test
- Temperaturmessungen
- Auslegungsberechnungen und Anlagenplanung
- Geothermische Simulationen
- Wasser- und bergrechtliche Beantragungen
- Bauüberwachung
- Monitoring

**UBeG** Dr. Mands & Dipl.-Geol. Sauer GbR  
Umwelt - Baugrund - Geothermie - Geotechnik

Zum Boden 6 35580 Wetzlar  
Tel.: 06441/2129-10 Fax: -11  
Email: UBeG@UBeG.de www: UBeG.de



| Ort/Name                                                                | Install. Leistung, kW <sub>th</sub> | Nutzung | Bauart                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------|
| München, Dywidag                                                        | 840 (H) / 500 (K)                   | H, K    | Div. Grundwasserbrunnen, zus. 500 m <sup>3</sup> /h, WP |
| Golm b. Potsdam, MPI                                                    | ca. 800                             | H, K    | 160 EWS je 100 m tief, WP                               |
| Bonn, „Bonnvisio“                                                       | 600 (H) / 550 (K)                   | H, K    | 2 + 2 Grundwasserbrunnen je 11 m tief, WP               |
| Frankfurt, WestendDuo                                                   | ca. 400                             | H, K    | 2 + 3 Grundwasserbrunnen je 140 m tief, WP              |
| Gelnhausen, MK-Forum                                                    | ca. 400                             | H, K    | ca. 80 EWS je 100 m tief, WP                            |
| Langen, DFS                                                             | 330 (H) / 340 (K)                   | H, K    | 154 EWS je 70 m tief, WP                                |
| Frankfurt, Baseler Platz                                                | 300 (H) / 180 (K)                   | H, K    | 2 Grundwasserbrunnen je 80 m tief, WP                   |
| Fulda, Sparkasse                                                        | <300                                | H, K    | 49 EWS je 98 m tief, WP                                 |
| Wetzlar, Philips APM                                                    | 290 (H) / 145 (K)                   | H, K    | 32 EWS je 110 m tief, WP                                |
| Gladbeck-Wiesenbusch                                                    | 280 (H) / 180 (K)                   | H, K    | 32 EWS je 60 m tief, zus. Horizontalkoll., WP           |
| Güstrow, Umweltzentrum                                                  | 270                                 | H       | 60 EWS je 50 m tief, WP                                 |
| Frankfurt-Höchst,                                                       | 240                                 | H, (K)  | 32 EWS je 50 m tief, WP                                 |
| Rostock, Businesscenter                                                 | 220                                 | H, K    | 264 Energiepfähle 19 m tief, Oberfl.-Wasser, WP         |
| Kochel                                                                  | 210                                 | H       | 21 EWS je 98 m tief, WP                                 |
| Uisingen-Eschbach, Schule                                               | 190                                 | H       | 32 EWS je 100 m tief, WP                                |
| Emden, Kunsthalle                                                       | 155 (H) / 200 (K)                   | H, K    | 11 EWS je 250 m tief, WP                                |
| Todtmoos, Hotel                                                         | 180                                 | H       | 10 EWS je 250 m tief, WP                                |
| Crailsheim, Bürogebäude                                                 | 140 (H) / 116 (K)                   | H, K    | 30 EWS je 74-90 m tief, WP                              |
| Prien, Hotel                                                            | 125                                 | H       | 2 Grundwasserbrunnen, WP                                |
| Bonn, Bundesamt f. Natur                                                | 125 (H) / 110 (K)                   | H, K    | 16 EWS je 85 m tief, WP                                 |
| Düsseldorf-Lichtenbroich                                                | 120 (H) / ca. 40 (K)                | H, K    | 73 EWS (Stahl) je 35 m tief, gerammt, WP                |
| Donaueschingen, Bank                                                    | 110 (H) / 250 (K)                   | H, K    | 56 EWS je 90-100 m tief, WP                             |
| Rendsburg, ZET                                                          | 110 (H) / 87 (K)                    | H, K    | 24 EWS je 100 m tief, WP                                |
| Kolbermoor, Bürogebäude                                                 | ca. 100                             | H       | 13 EWS im Mittel 122 m tief, WP                         |
| Kaiseresch, TGZ                                                         | ca. 100 (?)                         | H, K    | 32 EWS je 75 m tief, WP                                 |
| Minden, WAGO                                                            | 100 (H) / 120 (K)                   | H, K    | 44 EWS je 100 m tief, WP                                |
| Rostock, Uni-Bibliothek                                                 | 60 (H) / 120 (K)                    | H, K    | 28 EWS je 80 m tief, WP                                 |
| Bietigheim, Industriehalle                                              | 100 (H) / 70 (k)                    | H, K    | 10 EWS je 100 m tief, WP                                |
| Bremen, Büro uhlmann                                                    | 100                                 | H, K    | Energiepfähle + 13 EWS je 77 m tief, WP                 |
| Berlin, Strahlauer Platz                                                | ca. 100                             | H, K    | ca. 200 Energiepfähle (Ortbeton) 7 m tief               |
| Hannover, NLB                                                           | n/a                                 | H, K    | 122 Energiepfähle (Ortbeton) je 20 m tief               |
| <b>H: Heizung    K: Kühlung    EWS: Erdwärmesonde    WP: Wärmepumpe</b> |                                     |         |                                                         |

**Tabelle 2** Große erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen in Deutschland

bridanlagen“ sind in den wärmeren Staaten der USA und in China populär. Hierbei ist es wichtig, den jeweils auf die Erde entfallenden Teil der Wärmemengen zu berücksichtigen, d. h. also die Verdampferarbeit im Heizfall und die Verflüssigerarbeit im Kühlfall. Wird vereinfachend eine saisonale Arbeitszahl von 4 für beide Betriebsfälle angenommen, so ergeben ein Wert von 80 MWh/a an Kühlarbeit und 125

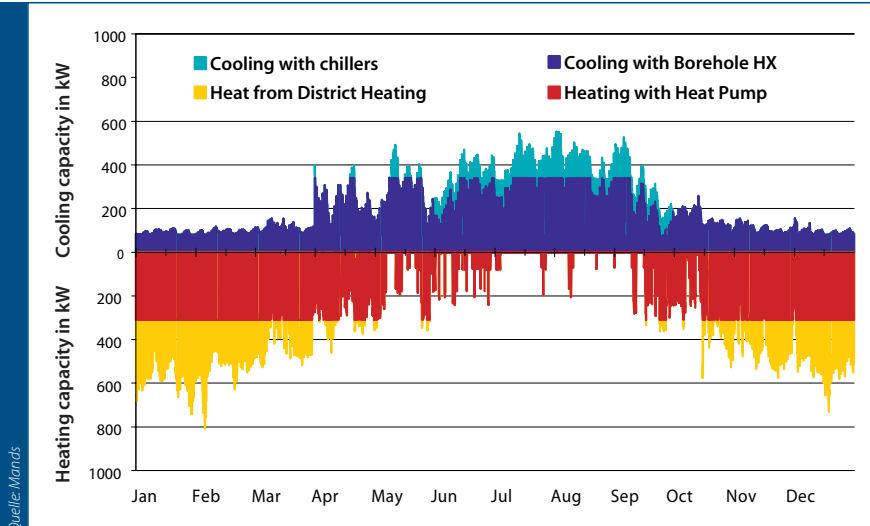
MWh/a an Heizarbeit jeweils 100 MWh/a an Wärmeeintrag und -entzug über die Erdwärmesonden.

Der ökonomische Vorteil von erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen liegt mehr im Kühlbereich, besonders wenn direkte Kühlung angewandt werden kann. Eine optimale Harmonisierung von Gebäudelast und Erdwärmesystem erfordert eine geeignete Simulation auf

beiden Seiten (Haustechnik und Untergrund) sowie auch einige Erfahrung.

### Thermische Untergrundspeicher

Thermische Untergrundspeicher sind definiert als eine gezielte Veränderung der Erdreichtemperatur, ausgehend vom natürlichen Zustand hin zu niedrigeren oder höheren Temperaturen, zur Nutzung als Wärmelieferant oder zur Kühlung (oder beides). Die Spei-



**Abb. 5** Die Sonden der DFS-Anlage liefern eine jährliche Heizlast von 330 kW und eine jährliche Kühllast von 340 kW. Der geothermische Anteil ist in blau und rot dargestellt; der Spitzenlastbereich in hellblau und orange (nach Seidinger et al., 2000).



**Abb. 6** Als Wärmepumpe in der Anlage DFS kommt ein Aggregat von Axima zum Einsatz, links: Verflüssiger und Verdampfer, rechts: die vier Kompressoren mit elektrischen Antriebsmotoren

cherung kann entweder unter Nutzung von Grundwasserbrunnen in Aquiferen erfolgen oder im Erdreich selbst mit Erdwärmesonden. Da im natürlichen Erdreich nur auf dem oberen Teil des Speichers eine Isolierung vorgenommen werden kann (und bei Aquiferspeichern normalerweise keine), können thermische Untergrundspeicher nur in großen Systemen zum Einsatz kommen, wo die Außenfläche des Speichers im Vergleich zu dessen Volumen klein wird. Aus diesem Grund existieren in Deutschland bis jetzt nur die wenigen, in **Tabelle 1** aufgeführten Anlagen. Die Unterscheidung zu großen erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen ist graduell; eine Definition spricht von thermischen Untergrundspeichern, wenn weniger als 25 Prozent des jährlichen thermischen Umsatzes mit dem das Speichervolumen umgebenden Erdreich ausgetauscht wird.

Auf Grund ihrer relativ geringen Größe benötigen die thermischen Untergrundspeicher in Attenkirchen und Rostock Wärmepumpen zur Nutzung der im Erdreich gespeicherten Solarwärme. Es ist hier nicht sinnvoll, das Temperaturniveau auf einen direkt nutzbaren Wert anzuheben, da Speicherverluste in diesem Fall enorm wären. In Rostock ist daneben eine andere Beschränkung durch die relativ

geringe Tiefenlage des Aquifers gegeben, da bei hohen Temperaturen ein konvektiver Durchbruch an die Oberfläche stattfinden könnte. Die Speicherladetemperatur in Rostock wird daher bei maximal etwa 50 °C gehalten. In Attenkirchen gibt es als Puffer für den Hochtemperaturbereich zusätzlich einen Wassertank im Zentrum des Erdwärmesondenfeldes.

Die geplante Speichereffizienz des Aquiferspeichers in Rostock beträgt nach Simulationsergebnissen 63 Prozent und wird erst nach einigen Jahren erreicht. Während der ersten Jahre haben alle thermischen Untergrundspeicher eine geringere Speichereffizienz (d. h. höhere Speicherverluste), bevor

die Umgebung des Speichers ausreichend erwärmt oder abgekühlt ist.

In Neckarsulm-Amorbach wird eine andere Speichertechnologie angewandt (BTES). Eine Gesamtzahl von 528 Erdwärmesonden, jeweils 30 Meter tief, erfasst ein Speichervolumen von 63.360 m<sup>3</sup> (**Abb. 7**). Über dem Erdwärmesondenfeld wurde eine 20 Zentimeter dicke Dämmschicht aus geschlossenporigem Polystyrol-Schaum auf einem Sandbett verlegt und mit einer zwei bis drei Meter dicken Erdschicht bedeckt (**Abb. 8**). Auf Grund der hohen Speicherladetemperaturen von bis zu 85 °C mussten die Sondenrohre aus Polybuten gefertigt werden. Der Untergrund am Standort Neckarsulm- ▶



## Sole für Erdwärmesysteme

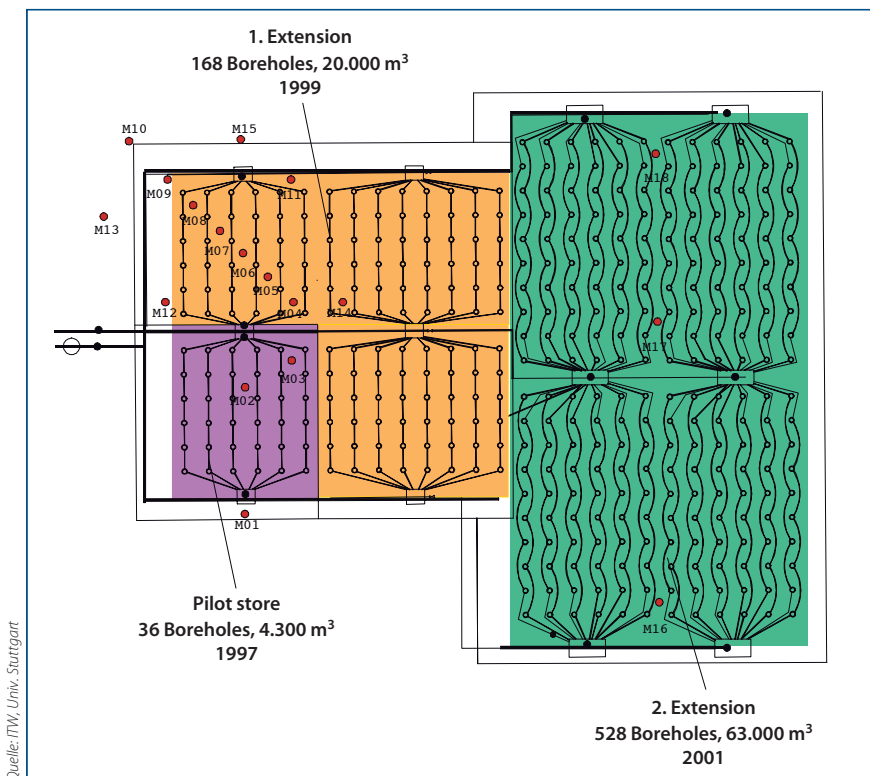
umweltverträglich – leicht biologisch abbaubar

- Basis Ethylenglykol
- Basis Propylenglykol
- und glykolfreie Spezialsole

Lieferform: Konzentrat oder gebrauchsfertiges Gemisch

TYFOROP CHEMIE GmbH / Anton-Rée-Weg 7 / 20537 Hamburg  
Tel. 040 20 94 97 - 0 / Fax - 20 / E-Mail: info@tyfo.de / www.tyfo.de





**Abb. 7** Lage der Erdwärmesonden des thermischen Untergrundspeichers in Neckarsulm: Insgesamt 528 Erdwärmesonden mit jeweils 30 Metern Tiefe erfassen ein Speichervolumen von über 63.000 m<sup>3</sup>.



**Abb. 8** Der Ausbaubereich des Speichers in Neckarsulm entspricht der grünen Zone in Abbildung 7. Über das dargestellte Erdwärmesondenfeld wurde eine Dämmschicht von 20 Zentimetern Dicke verlegt.

Amorbach besteht aus Mergeln des Keuper. Die Sonnenwärme wird in dieser Anlage entweder direkt zur Beheizung der Häuser eingesetzt oder, falls keine Wärmeabnahme besteht, in den Erdwärmesonden-Speicher eingespeist. Da die Sonnenkollektoren an einem sonnigen Sommertag mehr Wärme aufnehmen als gleichzeitig genutzt oder gespeichert werden kann, sorgen zwei große Wassertanks als Puffer, um Spitzen bei der Sonneneinstrahlung auszugleichen und einen Teil

der Energie in den Nachstunden an die Heizung oder den Untergrundspeicher abzugeben.

Sonnenkollektoren werden auf öffentlichen Gebäuden wie der Sporthalle angebracht oder sind, wie bei der Schule, in die Dächer integriert. Die Wärmenutzung erfolgt direkt, ohne Wärmepumpe, und Spitzenlasten sowie die Beheizung zum Ende des Winters hin, wenn die Speichertemperaturen absinken, werden durch Gaskessel abge-

deckt. Im Jahre 2003 wurde insgesamt eine Wärmemenge von 1.492 MWh in den Speicher eingeleitet, dabei wurden im Sommer 2003 im Speicherzentrum 65 °C erreicht (Nussbicker et al., 2004). In den ersten Jahren um 2000 wurden im Versuchsbetrieb nur geringe Wärmemengen wiedergewonnen; für die endgültige Speichereffizienz ergaben Simulationsrechnungen einen Wert von 70 Prozent.

Mit der wachsenden Anzahl von Häusern im Neubaugebiet wird der Speicher wahrscheinlich vergrößert werden. Eine weitere Option wäre es, eine Wärmepumpe einzusetzen, um eine höhere Temperaturdifferenz beim Wärmeentzug aus dem Speicher zu erreichen. Ein ähnlicher Speicher befindet sich für eine Wohnanlage in Crailsheim im Bau, dort in Kalksteinen und Mergeln des Muschelkalk.

Der interessanteste thermische Untergrundspeicher wurde 1999 für die Parlamentsbauten des Deutschen Bundestages in Berlin, mit dem Reichstagsgebäude als Mittelpunkt, in Betrieb genommen. Hier sind zwei Aquiferspeicher übereinander angeordnet, in rund 60 Metern Tiefe als Kältespeicher und in etwa 300 Meter Tiefe als Wärmespeicher. Genauere Informationen zum System und zu der ersten Betriebsphase sind bei Sanner et al. (2005) zu finden.

### Zusammenfassung

Gemäß Schätzungen, basierend auf den Verkaufszahlen und einer gewissen Anzahl von älteren Anlagen, die nicht mehr in Betrieb sind, existieren Ende 2005 ca. 60.000 erdgekoppelte Wärmepumpen in Deutschland. Die gesamte in diesen Anlagen installierte geothermische Heizleistung summiert sich auf rund 500 MW, was einer Heizleistung der installierten Wärmepumpen von ca. 660 MW entspricht. Die jährliche, durch den Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen geothermische erzeugte Wärme in Deutschland beträgt etwa 800 GWh/a, dies wiederum resultierend in einer Wärmeleistung der Wärmepumpen von 1.050 GWh/a. Eine Schätzung der gesamten Kühlarbeit erdgekoppelter Wärmepumpen zur Raumkühlung ist leider noch nicht möglich.

Die allgemeine Suche nach Alternativen zu Öl und Gas in der Raumheizung wurde im Jahr 2005 durch den rasanten Preisanstieg und Anfang 2006 durch die wieder einmal deutlich gewordenen Probleme mit der Versorgungssicherheit angespornt. Neben einer Vielzahl von kleinen Anlagen im Wohnhausbereich, die bereits die Grenzen der Kapazitäten von Bohrunternehmen und Herstellern von Komponenten erkennen lassen, sind derzeit verschiedene große Projekte in Vorbereitung, Planung oder Ausführung. Dabei sind sowohl bei den Nutzern als auch bei den Anlagen- und Gebäudebauern bekannte Namen vertreten. Zu gegebener Zeit wird über einige dieser kommenden Anlagen berichtet werden.

### Literatur

Brandt, W., Hanschke, T. & H. Kaiser (2004): Zum Stand der Nutzung oberflächennaher Geothermie in Nord-

deutschland. Tagungsband 8. Geothermische Fachtagung: 247-256.

Kranz, S., Jung, H., Saadat, A. & S. Köhler (2002): Zwei Jahre Betriebserfahrung Energieversorgung Campus Golm. – Tagungsband 7. Geothermische Fachtagung.

Nussbicker, J., Mangold, D., Heide-  
mann, W. & H. Müller-Steinhagen (2004): Bau und Betrieb des Erdsonden-Wärmespeichers in Neckarsulm-Amorbach. Tagungsband 8. Geothermische Fachtagung: 363-370.

Reuss, M. (2003): Erdwärmesonden-Speicher, Erfahrungen mit Anlagen in Neckarsulm und Attenkirchen. Proc. OTTI Fachforum Oberflächennahe Geothermie: 195-206.

Sanner, B.; Knoblich, K. & G. Euler (1992): Nutzung oberflächennaher Geothermie in Kochel a.S., Geologie und Anlagenplanung, In: Z. Angew. Geowiss., 11: 97-106.

Sanner, B. & G. Euler (1994): Frank-

furt-Höchst – Wohn- und Geschäftshaus mit Erdwärmesonden, In: Geothermische Energie, 8/94: 6-7.

Sanner, B., Mands, E. & M. K. Sauer (2003): Larger geothermal heat pump plants in the central region of Germany, In: Geothermics, 32: 589-602.

Sanner, B., Mands, E. & O. Kohlsch, O. (2004): Beispiele zur Nutzung oberflächennaher Geothermie im Westen Deutschlands. – Tagungsband 8. Geothermische Fachtagung: 257-262.

Sanner, B., Kabus, F., Seibt, P. & J. Bartels (2005): Underground Thermal Energy Storage for the German Parliament in Berlin, system concept and operational experiences. Proc. WGC 2005, paper 1438, Reykjavik.

Seidinger, W., Mornhinweg, H., Mands, E. & B. Sanner (2000): Deutsche Flugsicherung (DFS) baut Low Energy Office mit größter Erdwärmesondenanlage Deutschlands, In: Geothermische Energie, 28-29/00: 23-27.

### Autoren:

Dr. Burkhard Sanner  
UBeG Dr. E. Mands & M. Sauer GbR  
Nauborner Str. 184  
35580 Wetzlar  
Tel.: 06441 212-910  
Fax: 06441 212-911

E-Mail: UBeG@UBeG.de  
Internet: www.ubeg.de

Dr. Erich Mands  
UBeG Dr. E. Mands & M. Sauer GbR  
Nauborner Str. 184  
35580 Wetzlar  
Tel.: 06441 212-910  
Fax: 06441 212-911

E-Mail: UBeG@UBeG.de  
Internet: www.ubeg.de

Dipl.-Geol. Marc Sauer  
UBeG Dr. E. Mands & M. Sauer GbR  
Nauborner Str. 184  
35580 Wetzlar  
Tel.: 06441 212-910  
Fax: 06441 212-911

E-Mail: UBeG@UBeG.de  
Internet: www.ubeg.de



## BRUNNENFILTER

**JETZT PREISLISTE  
ANFORDERN**



**GEBR. KLAAS GMBH**

Tel. 0 59 04 / 93 60-0  
Fax 0 59 04 / 93 60-29  
E-Mail: klaas.gkf@t-online.de

### Verschlußkappen

- 2" bis 6"
- Pulverbeschichtet



### Schacht- abdeckungen

- Ø von 200 bis 610 mm
- tagwasserdicht



### Abstandshalter

- 3 Größen
- 70, 140, 200 mm



**Michael Colshorn**  
Neuffenstraße 78  
D 73240 Wendlingen  
Telefon:  
07024/929242  
Telefax:  
07024/929244  
www.m-colshorn.de

**COLSHORN**  
Brunnenbauzubehör und Gußzeugnisse



**Geotec**  
Bohrtechnik GmbH

**ROTOMAX**

für  
-Brunnenbohrungen  
-Geothermie  
erstklassig

**59394 Nordkirchen**  
Tel: 02596 97000  
www.geotec-bohrtechnik.de

