

Neubaugelbiete mit Erdwärmesonden in Werne und Dortmund-Mengede

von Klaus Knoblich¹, Burkhard Sanner¹ und Wolfgang Behr²

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften der Justus-Liebig-Universität, Diezstraße 15, D-35390 Gießen

² Behr + Partner Gesellschaft für Grundstücks- und Stadtentwicklung mbH, Im Heiligen Feld 17, D-58239 Schwerte

Kurzfassung

Mit den Wohnsiedlungen Werne - Am Fürstenhof und Dortmund/Mengede - Rittershofer Straße sind zur Zeit zwei Bauprojekte im Stadium der Ausführung, die mit 51.000 und 59.000 m² Grundstücksgrößen bzw. ca. 130 und ca. 100 Einfamilienhäusern wohl zu den größten, mittels Erdgekoppelten Wärmepumpen versorgten Wohngebieten in Europa zählen. In beiden Fällen bilden Tonmergel (Emschermergel) der Oberkreide den Untergrund. In der Planungsphase wurde dem Gestein eine Wärmeleitfähigkeit von 2 W/m K zugeordnet.

Man hat sich dazu entschlossen, jede Wohneinheit einzeln mit einer Erdwärmesonde auszustatten, deren Länge mit EED berechnet wurde. In der Entwurfsphase wurde ein Wärmebedarf von 7 kW bei Doppelhaushälften und von 8 kW bei Einzelhäusern zugrunde gelegt; die Erdwärmesondenlänge wird später bei Abweichung des Wärmebedarfs einzelner Häuser entsprechend angepaßt.

Vor Beginn der Ausführung wurde an jedem der beiden Standorte ein Thermal Response Test durchgeführt. Er hat die angenommene Wärmeleitfähigkeit im Falle Dortmund bestätigt, für Werne ergab sich mit 1,5 W/m K ein niedrigerer Wert. Mit den gemessenen Werten wurden die erforderlichen Sondenlängen überprüft bzw. erneut berechnet.

Die letztendlich ermittelten Sondenlängen liegen zwischen 122 und 145 m. Die dichte Bebauung und die große Anzahl benachbarter Erdwärmesonden macht es erforderlich, der gegenseitigen Beeinflussung im Wärmeentzug entgegenzuwirken und dazu größere Sondenlängen im Zentrum der Anlage und bei besonders dicht stehenden Gebäuden vorzusehen. Das Programm EED bietet hier geeignete Möglichkeiten, um eine auch langfristig sichere Wärmeversorgung zu gewährleisten. Bei einer Gesamtwärmeleistung von ca. 1 MW in Werne und 0,75 MW in Dortmund-Mengede, und einer Heizarbeit von rund 2 GWh/a bzw. 1,5 GWh/a, werden in großem Maße die Ressourcen fossiler Brennstoffe geschont und Emissionen reduziert.

Einleitung

In Werne ("Am Fürstenhof") und in Dortmund-Mengede wird jeweils eine größere Wohnparkanlage erstellt (Abb. 1). Für die vorgesehenen Einfamilien- und Doppelhäuser bestand schon in der Frühphase der Planung aus ökologischen Gründen die Absicht einer Ausstattung mit Erdgekoppelten Wärmepumpen. Hierzu mußte die erforderliche Länge der Erdwärmesonden bestimmt werden. Sie ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Auf dem rund 51.000 m² großen Areal in Werne sollen nach dem derzeitigen Planungsstand etwa 130 Einfamilienhäuser als Einzel- und Doppelhäuser mit einem gegenseitigen Abstand von teilweise weni-

ger als 10 m errichtet werden. Für das etwa 56.000 m² große Baugebiet in Dortmund-Mengede sind rund 90 Einfamilienhäuser vorgesehen, ebenfalls als Einzel- oder Doppelhäuser. Die Hausabstände liegen in einer mit dem Areal in Werne vergleichbaren Größenordnung.



Abb. 1: Baugebiete Dortmund-Mengede (links) und Werne (rechts), nach einem Entwurfsplan von Behr + Partner

Zuerst war die Frage zu entscheiden, ob man für die Erdwärmesondenanlage jedes Haus einzeln betrachten, jeweils mehrerer Häuser zusammenfassen oder eine zentrale Anlage vorsehen sollte. Tab. 1 zeigt die Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten auf.

Tab. 1: Bewertung der verschiedenen möglichen Systemvarianten

	Vorteile	Nachteile
Einzelhausversorgung	Einfach Abrechnung über den Stromverbrauch, individuelles Nutzerverhalten möglich, Erdarbeiten (Rohre) und Verteiler gering. Einsatz natürlicher Kältemittel (R 290) bei kleinen Einheiten möglich. Kleine Wärmepumpe kann in Abstellraum, Dachboden oder Keller aufgestellt werden.	Größere Anzahl einzelner Aggregate, viele kleine Wärmepumpen kosten zusammen mehr als ein größeres Aggregat gleicher Leistung; geringere Redundanz für die einzelne Wohnung.
Gruppenversorgung	Wärmepumpen passender Größe (10-50 kW) auf dem Markt vorhanden, wenn auch i.d.R. nicht mit natürlichem Kältemittel (zumindest aber mit chlorfreien wie z.B. R 407C). Größere Redundanz für die einzelne Wohnung.	Wärmeverteilung zu den Häusern und Wärmemengenzähler für Einzelhausabrechnung notwendig, Raum für Wärmepumpe (z.B. Fertiggarage).
Zentrale Versorgung	Zentrale Anlage kann gut in Form eines Wärmelieferungsvertrags durch ein Versorgungsunternehmen betrieben werden; bei Ausfall einer einzelnen Sonde kann die Anlage weiterbetrieben werden.	Größere Wärmepumpen (ca. 800 kW) sind recht teuer, umfangreiche Verteiler und Rohrleitungen sowohl für die Erdwärmesonden als auch für die Wärmeverteilung zu den Häusern

In einer Studie für ein Baugebiet im Rhein-Main-Gebiet wurden die Kosten für die vorgenannten Systemvarianten ermittelt. Es handelt sich dabei um ca. 150 Häuser mit je 5 kW Wärmebedarf, für die die Investitions- und Betriebskosten berechnet wurden. Eine Gruppenversorgung für je 5-7 Häusern stellte sich dabei als kostengünstigste Variante dar. Die Einzelversorgung ist in den Investitionskosten vor allem wegen der Kosten für die einzelnen Wärmepumpen teurer, die zentrale Versorgung wegen des notwendigen Nahwärmenetzes.

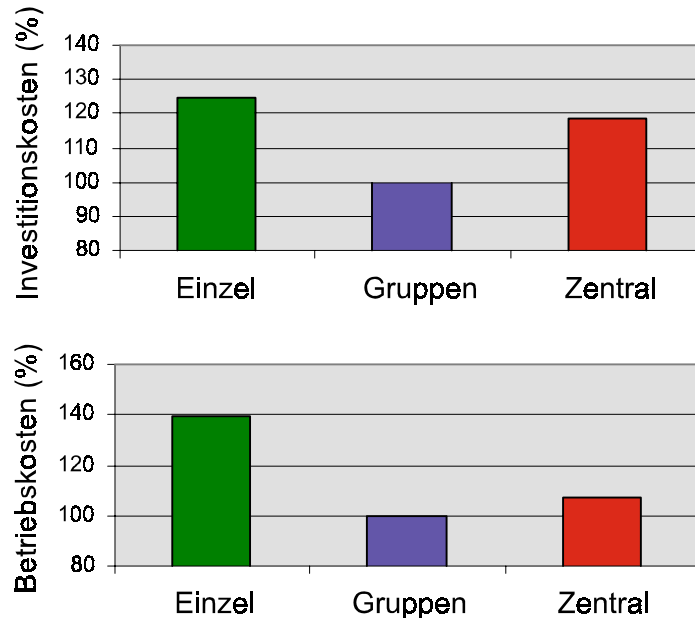


Abb. 2: Kostenvergleich für drei verschiedene Systemvarianten (Details s. Text), bezogen auf Gruppenversorgung (günstigste Variante) als 100 %

Letztlich wurde dahingehend entschieden, jedem Einzelhaus und auch jeder Doppelhaushälfte ein eigenes System zuzuordnen und jeweils möglichst nur eine Erdwärmesonde zu installieren. Diese Vorgehensweise ist mit Blick auf Flexibilität, stufenweisen Ausbau des Baugebietes und die voraussehbaren Wünsche der späteren Besitzer nach einer individuellen Versorgung sinnvoll. Die Wahl nur einer einzigen Erdwärmesonde ist die kostenmäßig günstigere Lösung; Abb. 3 zeigt den spezifischen Investitionskostenvorteil. Bohrungen von mehr als 100 m Tiefe erfordern die Mitwirkung der Bergbehörden bei der Genehmigung, was im vorliegenden Fall jedoch problemlos war.

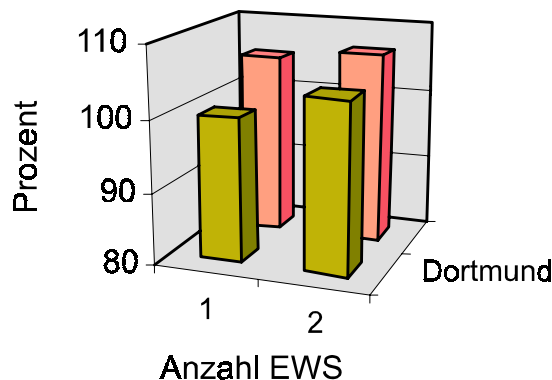


Abb. 3: Kosten für Erdwärmesonden pro kW, bezogen auf eine Anlage mit 1 Erdwärmesonde in Dortmund als 100 % (Daten der Vorstudie)

An beiden Standorten beträgt der Heizbedarf aus der Vorplanung für die Einfamilienhäuser 8 kW und für die Doppelhaushälften 7 kW. Die einzelnen Grundstücke sind von weniger als 300 m² und bis etwa 450 m² groß.

Geologische Verhältnisse und thermische Untergrundparameter

Beide Standorte liegen aus geologischer Sicht in einer randlichen Position des Münsterschen Kreidebeckens. Unter weniger als 10 m mächtigen quartären schluffig-sandig-kiesigen, wasserführenden Flußablagerungen folgen bis in größere Tiefe Gesteine der Oberkreide, die dem Campan, Santon und Coniac zuzuordnen und unter dem Begriff „Emschermergel“ bekannt sind (RABITZ & HEWIG, 1987); die erwarteten Profile sind in Abb. 4 dargestellt. Es handelt sich um gebankte, engständig geklüftete Tonsteine, Tonmergel und sandige Mergel, die zwar horizontweise etwas Wasser führen können, aber keine Grundwasserleiter darstellen. Sie erweisen sich erfahrungsgemäß als wechselnd weich- bis steifplastisch, halbfest und splittrig-hart.

Nach Aufbau und Zustandsform läßt sich sowohl den quartären Ablagerungen als auch den Emschermergeln als Wärmeleitfähigkeit zunächst ein Erfahrungsschätzwert von 2,0-2,1 W/m/K zuweisen. Als Wärmekapazität erscheint ein geschätzter Wert von 2,2 MJ/m³/k vertretbar. Für den Geothermischen Wärmefluß im Gebiet der Standorte kann nach CERMAK & RYBACH (1979) ein Betrag von 0,069 W/m² angenommen werden. Die langjährige Mittlere Lufttemperatur im Bodenbereich liegt bei rund 9°C.

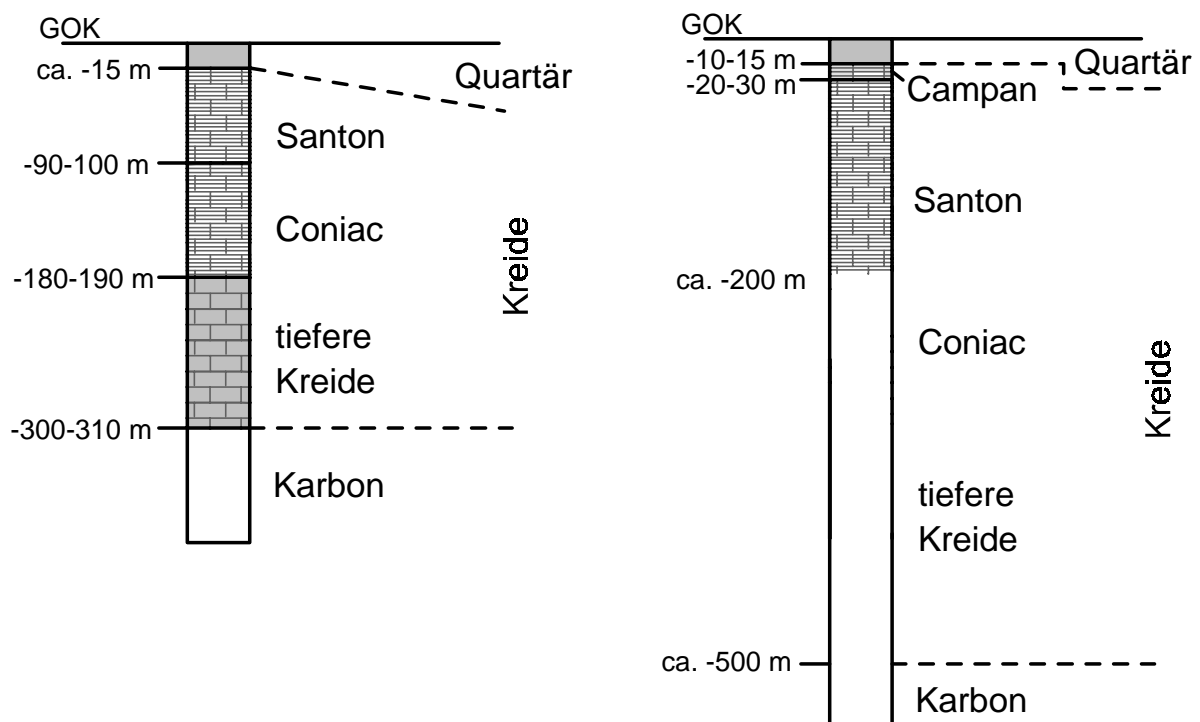


Abb. 4: Vermutetes geologisches Profil am Standort Dortmund-Mengede, Rittershofer Str. (links) und am Standort Werne, Fürstenhof (rechts)

Um eine sichere Datengrundlage für die endgültige Auslegung zu haben, wurden an beiden Standorten je ein Thermal Response Test durchgeführt (SANNER et al., 1999). Tab. 2 zeigt die Versuchparameter und die Ergebnisse. Auffallend ist, daß die Gesteins-Wärmeleitfähigkeit in Werne mit $\lambda = 1,5$ W/m/K deutlich niedriger als in Dortmund-Mengede ist (und niedriger als in der Annahme für die Vorstudie). Der Grund dürfte darin liegen, daß das Profil in Werne stratigraphisch etwas höher liegt (Abb. 4), und

daß dadurch eine etwas andere, vermutlich stärker tonige Ausbildung der Emschermergel angetroffen wird. Der thermische Bohrlochwiderstand ist mit Werten größer 0,1 K/(W/m) in beiden Fällen sehr ähnlich. Die mittlere ungestörte Erdreichtemperatur liegt geringfügig höher als die aus den o.g. Werten theoretisch errechnete (11,0 °C für Dortmund-Mengede und 10,7 °C für Werne).

Tab. 2: *Ergebnisse und Versuchsdaten der Thermal Response Tests in Dortmund-Mengede und Werne*

Standort	Versuchsdauer	ungestörte Temperatur	Bohrlochtiefe	therm. Bohrlochwiderstand	Wärmeleitfähigkeit
DO-Mengede	47,3 h	11,9 °C	117 m	0,12 K/(W/m)	2,0 W/m/K
Werne	66,3 h	12,4 °C	75 m	0,11 K/(W/m)	1,5 W/m/K

Notwendige Erdwärmesondenlängen

Eine erste Bestimmung der notwendigen Erdwärmesondenlängen erfolgte bereits im März 1999. Sie beruhte auf den vorgenannten geschätzten Werten und sollte vor allem dazu dienen, die technischen und wirtschaftlichen Fakten für eine Entscheidung zur Durchführung der Grundstücksentwicklung mit Einschluß der Erdwärmenutzung zu liefern. In diesen ersten Berechnungen wurden folgende Annahmen für die Gebäude getroffen:

- Wärmebedarf Einzelhaus 8 kW
- Wärmebedarf Doppelhaushälfte 7 kW
- Jahresarbeitszahl Wärmepumpe $\beta = 3,5$
- Anzahl Jahresvollaststunden 1800 h/a

Zuerst wurden einzelstehende, sich nicht gegenseitig beeinflussende Anlagen betrachtet. Die notwendigen Erdwärmesondenlängen dafür lassen sich näherungsweise nach den Angaben im Entwurf der VDI-Richtlinie 4640 (VDI, 1998) bestimmen und außerdem mittels EED (HELLSTRÖM & SANNER, 1994) errechnen; sie sind in Tab. 3 aufgeführt.

Tab. 3: *Erdwärmesondenlängen für einzeln stehende Häuser nach der ersten Berechnung (mit geschätzten Werten für die thermischen Untergrundparameter)*

		Erdwärmesondenlänge	
		Einfamilienhaus	Doppelhaushälfte
nach Richtlinie VDI 4640, Tab. 2, Entwurf 1998	1 Erdwärmesonde	114 m	100 m
	2 Erdwärmesonden	2 x 58 m	2 x 52 m
berechnet mit PC-Programm EED	1 Erdwärmesonde	119 m	105 m
	2 Erdwärmesonden	2 x 65 m	2 x 57 m

Die an beiden Standorten dichte Bebauung mit der Gefahr der gegenseitigen thermischen Beeinflussung der Erdwärmesonden war dann Anlaß für eine genauere Ermittlung der Sondenlängen. Daß sich die Auslegung einer Einzelsondenanlage nicht auf ein größeres verdichtetes Sondenfeld übertragen läßt, geht deutlich aus einer Untersuchung von SANNER (1999a) hervor. Die Grafik (Abb. 5) mit Darstellung der Beziehung zwischen Sondendistanz und Sondenlänge bei Bedingungen, die denen der hier interessierenden Standorte ähneln, zeigt die beachtliche Größe der Auswirkung der gegenseitigen Sondenabstände auf die mögliche Entzugsleistung bzw. die notwendigen Sondenlängen. In Tab. 4 ist

aufgeführt, welche Energiebezugsflächen (Grundstücksgröße plus anteilige Verkehrs- und Allgemeinflächen) mit den jeweiligen Erdwärmesondenabständen korrespondieren.

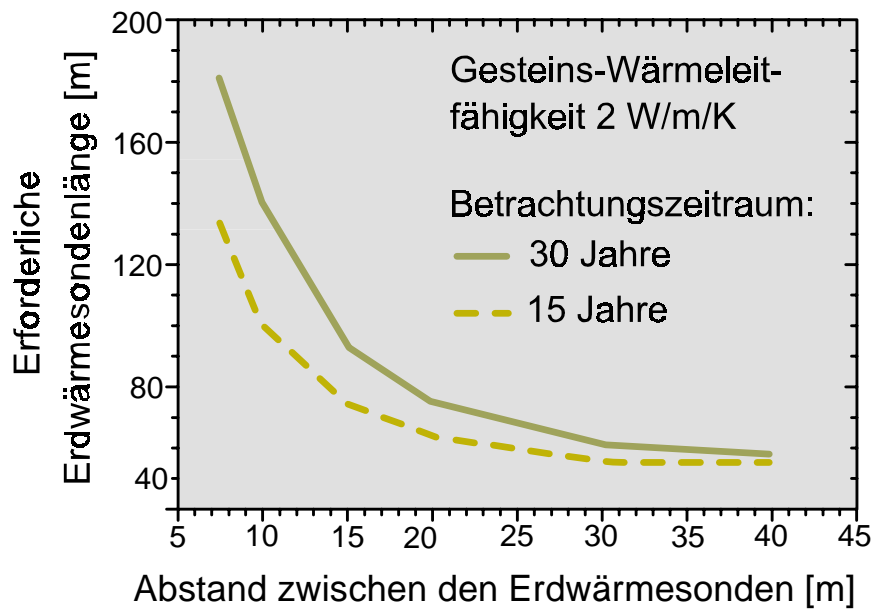


Abb. 5: Einfluß des Abstands zwischen den Erdwärmesonden auf die notwendige Erdwärmesondenlänge für einen Betrachtungszeitraum von 15 bzw. 30 Jahren. 60 Häuser, 2 Erdwärmesonden pro Haus, 1800 Jahresbetriebsstunden, 7 kW Wärmebedarf, 2 W/m/K Untergrundwärmeleitfähigkeit, kein Grundwasserfluß (aus SANNER, 1999a, 1999b).

Tab. 4: Energiebezugsflächen (Grundstücksgröße plus anteilige Verkehrs- und Allgemeinflächen) für die Häuser gemäß Abb. 3

Erdwärmesondenabstand	Energiebezugsfläche
25 m	1250 m ²
20 m	800 m ²
15 m	450 m ²
10 m	200 m ²

Die Berechnung der den herrschenden Bedingungen angepaßten Erdwärmesondenlängen wurde mit dem bereits genannten, dafür geeigneten PC-Programm EED durchgeführt. Dabei wurden für die standortspezifischen, gegenseitigen Sondenabstände, die Lage des jeweiligen Grundstücks im Baugebiet, die Grundstücksgröße und den Wärmebedarf des Hauses die einzelnen Sondenlängen ermittelt. Sie liegen in

- Werne zwischen 115 und 149 m, und in
- Dortmund-Mengede zwischen 109 m und 145 m.

Dabei sollten die resultierenden Temperaturkurven etwa wie in Abb. 6 dargestellt aussehen.

Eine Neuberechnung erfolgte für den Standort Werne, bezogen auf ein fortgeschriebenes Planungskonzept und mit den Werten des Thermal Response Test; danach ergeben sich Erdwärmesondenlängen von 122 bis 148 m. Eine weitere Fortschreibung erfolgte im Herbst 2000, um Gebäude mit abweichendem Wärmebedarf (5-11 kW) und veränderter Gebäudetechnik einzubeziehen. Die Bandbreite an Erdwärmesondenlängen beträgt nun 94 bis knapp 150 m; für die Anlagen mit dem höchsten Wärmebedarf muß auf zwei Erdwärmesonden ausgewichen werden, um eine Tiefe von 150 m nicht zu überschreiten.

So wurde auch die für den Thermal Response Test in Werne genutzte und fertiggestellte Erdwärmesonde in die Versorgung eines Hauses integriert.

Für den Standort Dortmund-Mengede wird ebenfalls eine Fortführung der Planung und eine Neuberechnung durchgeführt, die zum Zeitpunkt der Tagung allerdings noch nicht abgeschlossen war.

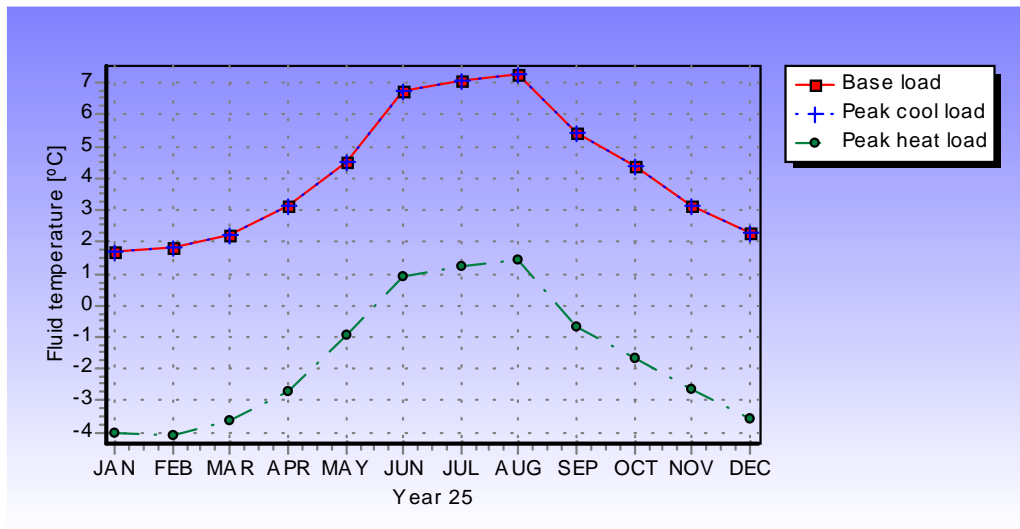


Abb. 6: Kurve der mittleren Soletemperatur bei Grund- und Spitzenlast für ein Gebäude in Werne, berechnet mit EED

Bohrgut

Am Standort Werne werden etwa 130 Bohrungen mit rund 20 cm Durchmesser und einer Gesamtlänge um 17.500 m angelegt. Dabei fällt eine größere Menge an Bohrgut an. Im Hinblick auf die umwelttechnische Bewertung des Materials und eventuelle Entsorgungskosten hat sich die Frage gestellt, ob das Bohrgut an Ort und Stelle Verwendung finden kann. Im vorliegenden Falle lassen sich Vorkommen künstlicher, womöglich industriell verunreinigter Massen ausschließen. Die kiesigen Quartärablagerungen und tonig-sandig-kalkigen Emschermergel bedürfen keiner gesonderten Entsorgung, sondern können, falls Bedarf besteht, auf dem Gelände für Auffüllmaßnahmen und zur Verbesserung der Bodeneigenschaften im Sinne einer pH-Erhöhung (durch den kalkigen Mergel) ausgebracht werden.

Schlußfolgerungen

Die beiden mit Erdwärmesonden für jedes Haus ausgestatteten Wohngebiete in Werne und Dortmund-Mengede zählen zu den größten, mittels erdgekoppelten Wärmepumpen versorgten Neubausiedlungen in Europa. Bei einem Heizbedarf von 5-11 kW für die einzelnen Wohneinheiten, einer geringen Distanz zwischen den Häusern und der teilweise engen Nachbarschaft der Erdwärmesonden war es erforderlich, die zunächst angenommene Wärmeleitfähigkeit durch einen Thermal Response Test zu überprüfen und anschließend eine genaue Kalkulation der Erdwärmesondenlängen mittels EED durchzuführen.

Diese Vorgehensweise hat sich bewährt. Mit der im Falle Werne vom Erfahrungswert deutlich abweichenden und im Test mit 1,5 kW/m/K gemessenen Wärmeleitfähigkeit läßt sich demonstrieren, daß sich mit Schätz-, Erfahrungs- und Tabellenwerten nicht unerhebliche Unsicherheiten in die Auslegung eines SONDENSYSTEMS einschleichen können. Auch die Berechnung der Sondenlängen mit einem hierzu

geeigneten Programm - hier dem Programm EED - hat sich als erforderlich erwiesen und eine Unterdimensionierung der Anlagen verhindert.

Der Vergleich mit den nach der Richtlinie VDI 4640 ermittelten Sondenlängen zeigt, daß im Falle größerer Erdwärmesondenfelder nicht nach solchen Standardwerten vorgegangen werden kann (s.a. SANNER, 1999a). Hier ist wegen der gegenseitigen Beeinflussung eine genaue Berechnung unabdingbar.

In der Summe ergibt sich für das Wohngebiet in Werne eine Gesamtwärmeleistung von rund 1 MW bei einer Heizarbeit um 2 GWh/a. Im Falle Dortmund werden es etwa 0,75 MW Wärmeleistung bzw. ungefähr 1,5 GWh/a Heizarbeit sein..

Schrifttum

CERMAK, V. & RYBACH, L. (1979): Terrestrial Heat Flow in Europe. - 328 S., Springer Verlag, Berlin

HELLSTRÖM, G. & SANNER, B. (1994): PC-Programm zur Auslegung von Erdwärmesonden. - Ber. Symp. Erdgekoppelte Wärmepumpen 1994, IZW-Bericht 1/94, S. 341-350, Karlsruhe.

RABITZ, A. & HEWIG, R. (1987): Erläuterungen zu Blatt 4410 Dortmund, Geol. Kte v. Nordrhein-Westfalen 1:25000, Krefeld

SANNER, B., REUSS, M. & MANDS, E. (1999): Thermal Response Test - eine Methode zur in-situ-Bestimmung wichtiger thermischer Eigenschaften bei Erdwärmesonden. - Geothermische Energie 24/25, Geeste

SANNER, B. (1999a): Kann man Erdwärmesonden mit Hilfe von spezifischen Entzugsleistungen auslegen? - Geothermische Energie 26/27, Geeste

SANNER, B. (1999b): Prospects for ground-source heat pumps in Europe. - Newsletter IEA Heat Pump Center 17/1, S. 19-20, Sittard

VDI (1998): Thermische Nutzung des Untergrundes, Erdgekoppelte Wärmepumpen.- Richtlinie VDI 4640, Bl. 2, Entwurf 1998, Beuth Verlag, Berlin