Saisonaler geothermischer Energiespeicher zur Wärme- und Kälteversorgung des ehemaligen Foto-Quelle-Areales in Nürnberg-Langwasser

Abb. 1 Ehemaliger Foto-Quelle-Standort im Nürnberger Stadtteil Langwasser

Erdwärmesondenfeld ■ Größere oberflächennahe geothermische Anlagen rechnen sich als zentraler Bestandteil eines umfassenden Energieversorgungskonzeptes insbesondere dann, wenn sie neben der Wärmeversorgung auch zur Kühlung dienen. In Nürnberg wurde ein großes Erdwärmesondenfeld mit insgesamt mehr als 8.000 Metern Bohrstrecke realisiert, das für eine solche doppelte Nutzung eingesetzt wird.

Nach dem Wärmepumpen-Boom im Einfamilienhausbereich entstehen in Deutschland vermehrt geothermische Großanlagen, die in der Regel das oberflächennahe Geothermiepotenzial über Erdwärmesondenfelder nutzen. Diese Technik rechnet sich bereits heute, wenn die Felder komplex angelegt als saisonale Energiespeicher sowohl zur Beheizung als auch zur Kühlung der Gebäude herangezogen werden. Allerdings müssen höhere Amortisationszeiten des eingesetzten Kapitals in Kauf genommen werden, da die Investitionen in geeignete Erdwärmeübertrager gegenüber konventionellen Wärmeerzeugungsanlagen deutlich höher ausfallen und im Gegensatz zum Strommarkt eine öffentliche Förderung keine nennenswerten Finanzierungsbeiträge liefert. Der Nürnberger Unternehmer Helmut Schmelzer gehört zu denjenigen, die den Bau einer solchen Anlage gewagt haben. Er hat im Zuge der Revitalisierung eines ehemaligen Quelle-Standortes im Nürnberger Stadtteil Langwasser (Abb. 1) eine geothermische Großanlage realisiert, die neben der Wärme ein wichtiges Abfallprodukt erzielt – die Kälte.

Projektansatz

Der Projektstandort liegt im Stadtteil Langwasser im Südosten Nürnbergs, einem zu Beginn der 70er-Jahre des 20. Jahrhunderts auf der grünen Wiese entstandenen Stadtbezirk mit heute etwa 30.000 Einwohnern. Das von der Kommune auf dem Reißbrett geplante Konzept umfasste Wohn- und Gewerbegebiete, Letztere auch geprägt durch industrielle Großansiedlungen, zu denen das Areal der ehemaligen Foto-Quelle gehört. Der Baubestand wurde bereits 1995 von Helmut Schmelzer mit dem Ziel übernommen, den ehemaligen Pro-

duktions- zum Dienstleistungsstandort umzubauen und zu modernisieren. Die anspruchsvolle Aufgabe der Architekten war eine deutliche ästhetische Aufwertung des Objektes, die Aufstockung der Gebäude zur Erhöhung der Wertschöpfung und nicht zuletzt eine energetische Optimierung auf Grundlage der aktuellen Standards. Da die Klimatisierung insbesondere von Bürogebäuden auch in der Objektvermarktung eine zunehmend bedeutende Rolle spielt, wurde bereits frühzeitig die Geothermie favorisiert. Neben den Ansprüchen des Gesetzgebers zur Einhaltung von maximalen Raumtemperaturen nach den einschlägigen Arbeitsstättenrichtlinien (ASR), erfüllt die Geothermie auch in der Wärmeerzeugung die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) nach dem Einsatz ressourcenschonender Wärmequellen und die des Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmG), wonach bei Einsatz der Geothermie 50 % der erforderlichen Wärmemenge über diese Quelle abzudecken sind.

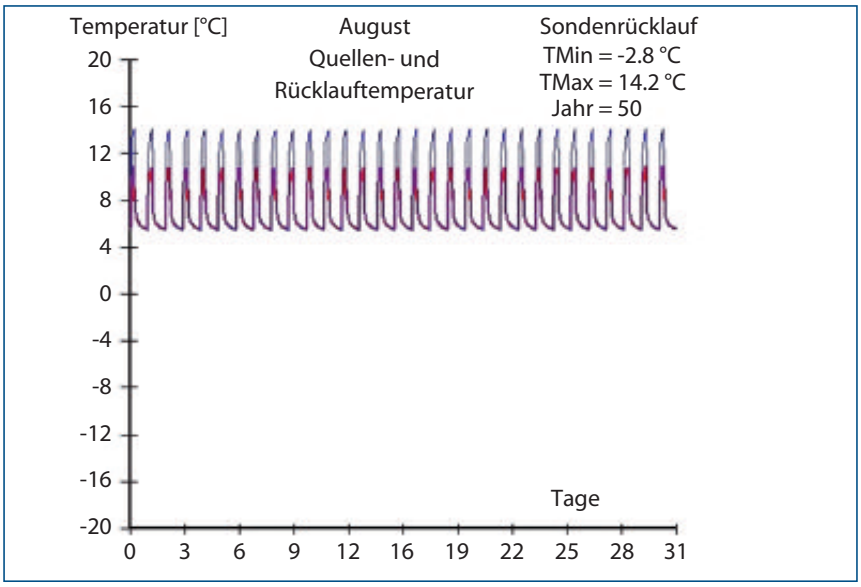

Abb. 2 Auslegung des Erdwärmesondenfeldes mit dem Programm EWS. Dargestellt ist die Entwicklung der Soletemperatur im August des 50sten Betriebsjahres bei einer Kälteleistung von 300 kW und einer unterstellten Spreizung von 3°K.

Geothermische Grundlagen

Geothermische Energie oder Erdwärme ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde und zählt zu den regenerativen Energien. Sie kann direkt oder mit einer Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen genutzt werden. Eine Wärmepumpe erzeugt, je nach System und Wärmequelle, aus ca. 70 % bis 80 % Umweltenergie und 20 % bis 30 % Antriebsenergie 100 % Heizenergie. Dazu wird der Umwelt (dem Erdboden oder dem Grundwasser) über ein Wärmetauschersystem Energie, d. h. Wärme, entzogen oder zugeführt. Diese wird in der Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht, und kann damit für Heizzwecke und zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Neben anderen Übertragungstech-niken sind insbesondere Erdwärmesonden (EWS) zur Übertragung auch größerer Leistungen oberhalb 100 kW geeignet. Sie bestehen i. d. R. aus Doppel-U-Rohren aus Polyethylen hoher Dichte mit einem Außendurchmesser von 25 bis 40 mm, welche in senkrechte Bohrungen bis über 200 m Tiefe als Wärmetauscher in den Untergrund eingebracht werden. Nach dem Arbeitsmittel im EWS-Kreislauf werden diese erdgekoppelten Anlagen als Sole/Wasser-Wärmepumpen bezeichnet. Sole steht hier nicht ausschließlich für eine wässrige Salzlösung, sondern umfasst generell alle auf dem Markt gebräuchliche Wärmeträgermedien. I. d. R. kommt ein ca. 25-prozentiges, bis ca. -14 °C frostsicheres Glycol-Wasser-Gemisch zum Einsatz. Der nach Einbau der Doppel-U-Rohre im Bohrloch verbleibende Hohlraum zwischen dem Sondenbündel und der Bohrlochwand wird mit einer Zement-Benthonit-Suspension hohlraumfrei verpresst. Durch diese Ringraumverfüllung wird eine gute thermische Anbindung der EWS an den Untergrund angestrebt. Der Anschluss der EWS an die im Gebäude befindliche Wärmepumpe erfolgt über Anbindeleitungen, welche im frostfreien Bereich in Tiefen von 0,8 m bis 1,4 m verlegt werden. Die wesentlichen Faktoren für die wirtschaftliche Errichtung und den Betrieb einer Erdwärmesondenanlage sind:

- die Wärmeleitfähigkeit der im Untergrund anstehenden Gesteine,
- die aus wasserwirtschaftlichen Vorsorgegründen und/oder hydrogeologischen Standortkriterien maximal zulässige Bohrtiefe für die Erdwärmesondenbohrungen,
- die zur Verfügung stehende Fläche,
- die Möglichkeit einer thermischen Regeneration des Untergrundes durch die saisonale Einleitung von Wärme z. B. durch die Gebäudekühlung im Sommer.
- ein speziell für Wärmepumpen optimiertes Wärme- und Kälteversorgungssystem im Gebäude und
- eine fachübergreifende, integrale und optimierende Planung der Gewerke „Gebäudetechnik“ und „Erdwärmesondenfeld“. ►

TYFD
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

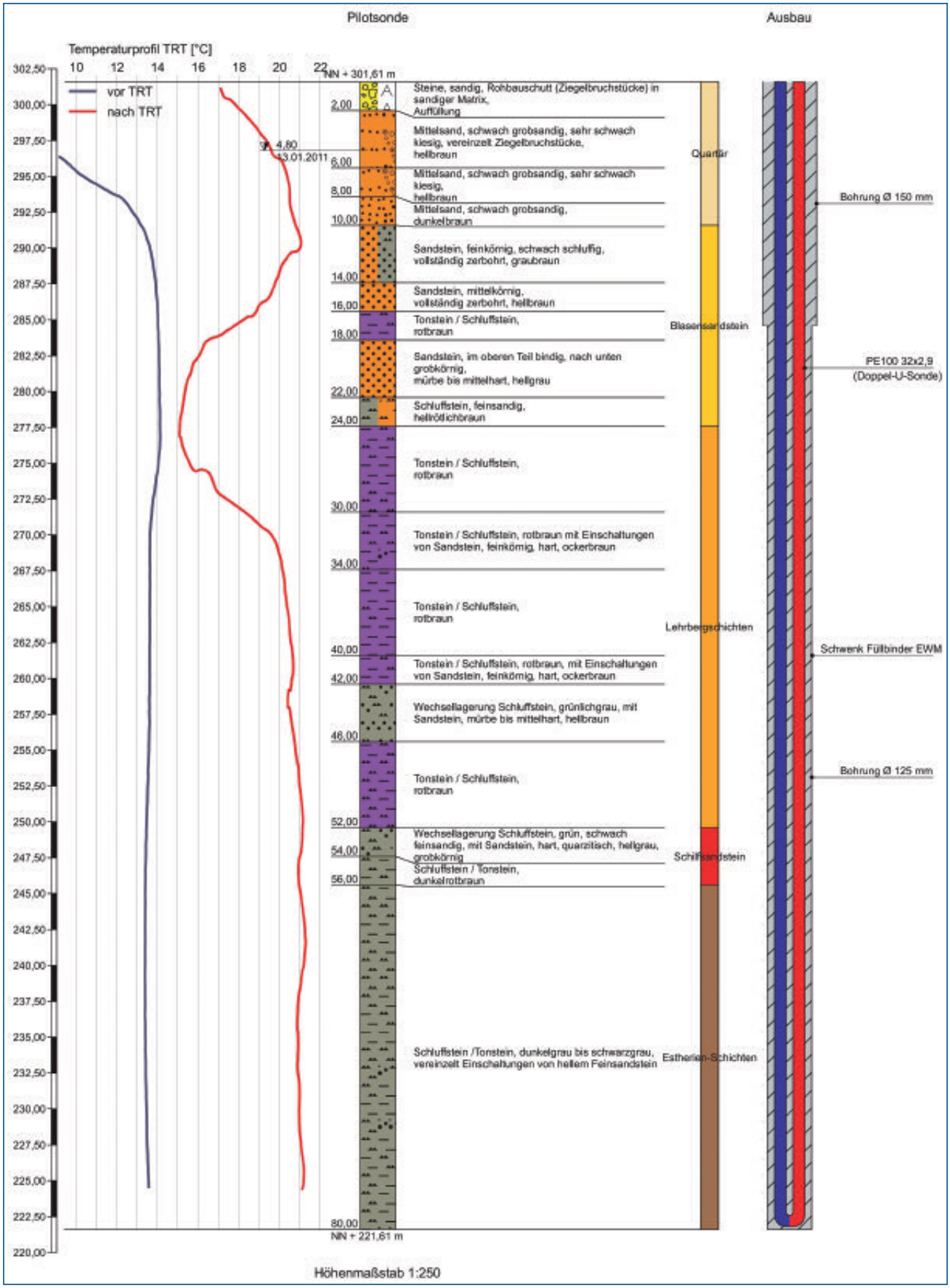

Abb. 3 Profildarstellung einer Pilotsonde mit Angaben zu erschlossenen Gesteinen, Ausbau und Ergebnissen der Temperaturvermessung vor (blaue Linie) und nach (rote Linie) dem Thermal-Response-Test. Die „Delle" in der roten Temperaturlinie ist verursacht durch einen umfänglichen und sehr kurzfristigen Abfluss der im Lauf des Tests eingebrachten Wärme und deutet damit auf hohen Grundwasserumsatz infolge Gebirgsauflockerung (Klüftung, Bruchtektonik) oder Verwitterungseinfluss (Entfernung des Bindmittels der Sandsteine), also erhöhte Permeabilität in dieser Zone hin.

Werden Wärme und Kälte im Objekt benötigt, bieten komplexe, d. h. rasterförmig angelegte Erdwärmesondenfelder die Möglichkeit der saisonalen Energiespeicherung. Wird dem Feld im winterlichen Heizbetrieb Wärme entzogen, wird gleichzeitig Kälte in den Untergrund eingespeichert. Diese Kälte kann dann in der anschließenden Kühlperiode zur Gebäudekühlung genutzt werden, während dann erneut Wärme in den Untergrund eingespeichert wird.

Planung und Auslegung

Grundlage für die Planung von Wärme- und Kälteversorgung im Objekt bildeten die nach der DIN EN 12831 berechnete Normheizlast von 950 kW, eine zu versorgende Mietfläche von 22.000 m² sowie die Tatsache, dass nur im Bereich der Gebäudeaufstockung mit für die Effektivität der Wärmepumpe vorteilhaften Niedertemperatursystemen, d. h. thermisch aktivierten Decken, gearbeitet werden konnte. Aus diesem Grund, aber auch um aus Komfortgründen die Beheizung von Büros individuell regelbar zu gestalten, war als zweite Komponente der Lastabdeckung die statische Heizung über konventionelle Heizkörper unerlässlich. Nach der Vorplanung war daher offensichtlich, dass insbesondere auf Grundlage der für ein Erdwärmesondenfeld zur Verfügung stehenden Freiflächen über die Geothermie nur Teile der Wärme- und Kältegrundlasten abzudecken sein würden. Ferner musste das System auf der Kälteseite flexibel bleiben, da während der Planung noch nicht feststand, ob nicht auch technische Kältelasten zur Serverkühlung oder aus der Produktion abzudecken sein würden. Wesentliche Vorgabe für die geothermische Planung war daher, auf dem zur Verfügung stehenden Gelände einen Erdwärmetauscher mit möglichst hoher Kapazität als saisonalen Energiespeicher zu errichten, der in einem bivalenten System mit den Komponenten Fernwärme und Kompressionskälte möglichst hohe Grundlastanteile abdecken kann.

Erdwärmesondenfelder dieser Größenordnung müssen nach der VDI 4640 [1] konkret berechnet werden. Hierzu stehen unterschiedliche Programme am Markt zur Verfügung, mit denen sich die Temperaturen des Wärmeträgermediums im Sondenkreislauf berechnen lassen. Im vorliegenden Fall wurde auf das Programm EWS [2] zurückgegriffen, mit dem die Wärmepumpe sehr gut abgebildet und die Leistung des Erdwärmesondenfeldes auf Basis der berechneten Vor- und Rücklauftemperaturen des Wärmeträgermediums ermittelt wird. Analytische Simulationsprogramme, wie EED oder EWS, bieten neben ihrer Wärmepumpenspezifik auch aufgrund der sehr kurzen Rechenlaufzeiten gegenüber vollnumerischer Grundwassersimulationssoftware, wie z. B. FEFLOW, den Vorteil, dass die Erdwärmesonden-Felder ohne zu großen Zeitaufwand laufend optimiert werden können. Dies ist insofern ein wesentlicher Faktor, als die Felder eine Vielzahl von geothermischen Randbedingungen aufweisen (Sondenlänge und -abstände, Feldgeometrie, Verfüllbaustoffe, Wärmeträgermedium) und im Lauf des Planungsprozesses an der Schnittstelle zur Haustechnikplanung Änderungen der Lasten, der Lastprofile und auch der Bivalenzpunkte eher die Regel als die Ausnahme sind. Im Bereich der Gewerbeimmobilien kommt als weitere Variable die üblicherweise bis weit in die Planungs- und Bauphase reichende Vermarktung der Gebäude hinzu, die eine hohe Flexibilität bei der Feldauslegung erfordert. Nachteil der analytischen Simulationsprogramm ist, dass der konvektive Energietransport über das Grundwasser nicht berücksichtigt werden kann, was insbesondere bei Erdwärmsonden-Feldern, die als saisonale Energiespeicher betrieben werden sollen, Auslegungsunsicherheiten bewirkt.

Unter Abwägung aller genannten Faktoren wurde nicht zuletzt auch aufgrund der erheblichen Größe des Feldes und der diesbezüglich auch bei starkem Grundwassereinfluss zu erwartenden hohen Speicherkapazität auf die Berücksichtigung des konvektiven Wärmetransportes bei der Auslegung zugunsten maximaler Flexibilität bei der Feldoptimierung verzichtet. Zur Parametrisierung der Auslegungsprogramme müssen als wesentliche Eingangsparameter die spezifische Wärmleitfähigkeit und Wärmekapazität sowie die ungestörte Temperatur des Untergrundes und der thermische Bohrlochwiderstand ermittelt werden. Hierzu wurden im Vorhaben zwei Piloterdwärmesonden errichtet und daran Thermal-Response-Tests (TRT) durchgeführt. Die Pilotsonden wurden so platziert, dass diese später in das Feld integriert werden können. Mit diesen Tests lassen sich auch die im Rahmen der Vorplanung auf Grundlage regionaler Erfahrungen, geologischer Karten und generalisierter Durchschnittswerte [1] getroffenen Annahmen, welche für die Machbarkeitsstudie und Vorplanung getroffen wurden, standortspezifisch verifizieren. Die TRTs lieferten an den beiden Pilotsonden mit 3,0 und 3,2 W/(m*K) gut übereinstimmende Wärmeleitfähigkeiten, die deutlich oberhalb der nach [1] für die erschlossene Sand-/Tonsteinwechselfolge mit $\lambda = 2{,}4$ W/(m*K) prognostizierten Wärmeleitfähigkeit liegen **(Abb. 2, 3)**.

Die Simulation ergab unter Berücksichtigung der wasser- und bergrechtlichen Rahmenbedingungen ein rasterförmiges Erdwärmesondenfeld, bestehend aus insgesamt 82 je 99 m tiefen Erdwärmesonden, das bei Spitzenlasten von 300 kW mindestens 540 MWh Wärme und 180 MWh Kälte pro Jahr übertragen kann. Ein wesentlicher Faktor bei der Feldauslegung ist in diesem Zusammenhang derjenige Zeitraum, über den dieses Feld Wärme und Kälte in der geforderten Menge und auf den ►

ERDWÄRMESONDEN

- Sonden DN 32 (PE 100 SDR 11 PN 16) mit 2 Kreisläufen und 4 Sonderrohren fertig verschweißt
- Das Verschweißen der Muffen mit Rohren und Sondenkopf wird werkseitig druckgeprüft und protokolliert
- Zusätzlich werden die Sonden fremdüberwacht und geprüft

50 m / Euro 242,-
60 m / Euro 265,-
70 m / Euro 288,-
80 m / Euro 311,-
90 m / Euro 334,-
100 m / Euro 357,-
110 m / Euro 380,-
120 m / Euro 403,-
130 m / Euro 426,-
140 m / Euro 449,-
Y-Stück 32/32/40 Euro 11,--
Y-Stück 40/40/50 Euro 13,--
Alle Preise ab Werk, zzgl. MwSt.

Tel.: 07024/929242
Fax: 07024/929244
Neuffenstraße 78
D 73240 Wendlingen

COLSHORN
Brunnenbauzubehör und Gußerzeugnisse

vorgegebenen Temperaturniveaus liefern kann. Erfüllen die Felder wie im vorliegenden Fall zunächst nur Aufgaben der saisonalen Gebäudetemperierung, ist aufgrund des hierzulande klimatologisch bedingten Jahresganges der Außentemperaturen und des damit verbundenen Überwiegens der im Winter bereitzustellenden Wärmeenergie mit einer mittel- bis langfristigen Auskühlung der Felder zu rechnen. Dieser gerade für Gewerbeimmobilien im Rahmen der meist eng bemessenen Refinanzierungszeiträume wesentliche Auslegungsparameter ist im deutschen Regelwerk [1] nicht festgelegt; ein Mangel, der in Verbindung mit vielen anderen Unschärfen in Planung und Beratung für Unsicherheit sorgt und insbesondere das Erfordernis einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Lagerstätte Geothermie außer Acht lässt, da eine zeitlich unbegrenzte Entnahme suggeriert wird. Im vorliegenden Fall wurde deshalb bei der Auslegung auf die einschlägigen Vorgaben der aktuellen Schweizer Normung zurückgegriffen[3]. Dort ist klar geregelt, dass Erdwärmesondenanlagen grundsätzlich auf eine Lebensdauer von 50 Jahren auszulegen sind. Hierfür ist eine Grenztemperatur der Sole von im Mittel -1,5 °C zwischen Vor- und Rücklauf bei einer Spreizung von z. B. 3 °K im Heizfall des kältesten Monats (i. d. R. Februar) zwingend einzuhalten.

Technik und Ausführung

Erdwärmesondenfelder dieser Größenordnung – insgesamt wurden über 8.000 Bohrmeter realisiert und mehr als 35 km Rohrleitungen verbaut – sind insbesondere hinsichtlich der Hydraulik eine Herausforderung. Nach Vorgaben der VDI 4640 müssen alle Erdwärmesonden parallel und einzeln absperrbar auf Verteilerbalken geführt, hydraulisch abgeglichen und entlüftet werden können. Darüber hinaus sollten diese im Gesamtmassenstrom so ausgelegt werden, dass sich im Spitzenlastfall in den Sonden turbulente Strömungsbedingungen einstellen lassen. Das etwa rechtwinklige Feld wurde hierzu in drei nahezu gleichgroße Teilfelder mit je etwa 25 bis 28 Sonden aufgeteilt. Jedes dieser Teilfelder verfügt über einen eigenen Verteilerschacht, der nahezu zentral im Teilfeld angeordnet ist. Die

Abb. 4 Verteilerschacht

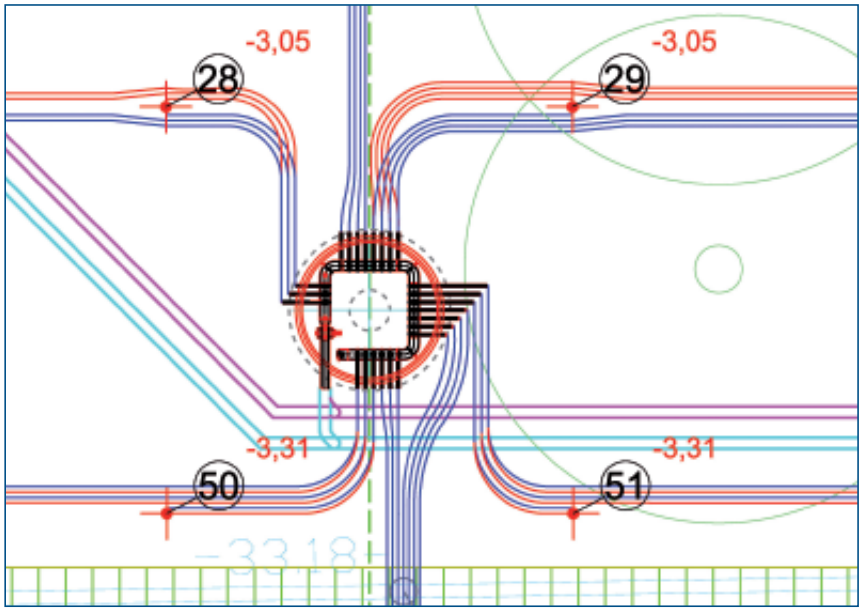

Abb. 5 Planausschnitt Erdwärmesonden, Anbindeleitung, Verteilerschacht und Sammelleitung

Entscheidung fiel hier auf voll in PEHD ausgeführte Schächte, die als stehende Zylinder mit liegenden Verteilerbalken ausgestattet sowohl auftriebssicher als auch für entsprechende Verkehrslasten ausgelegt wurden und deren Vorlaufbalken i. d. R. den hydraulischen Hochpunkt im Teilfeld bilden (Abb. 4).

Da das Feld im Bestand zu errichten war, mussten die im Baufeld existierenden oder noch zu errichtenden Medienleitungen (Schmutz- und Regenwasser, Verkehrsflächenentwässerung, Brauchwassergewinnung, Trinkwasser, Lichtwellenleiter) berücksichtigt werden. Wo möglich, wurde im Hinblick auf künftige Bodeneingriffe im Zuge von Revisionsmaßnahmen und dem sich daraus ergebenden Beschädigungsrisiko die Anbindebene immer unter querende Medienleitung gelegt. Die thermische Entkoppelung der Anbindeleitungen von Wasserver- und Abwasserentsorgung wurde mit Glasschaumschotter sichergestellt.

Bohrarbeiten – Materialien – Qualitätssicherung

Die Erdwärmesondenbohrungen erschließen ein Profil des mittelfränkischen Sandstein- und Gipskeupers, das im vorliegenden Fall in Teilbereichen von geringmächtigen, teils grundwasserführenden Terrassensedimenten überlagert wird (Abb. 3). Die Basis des Schichtstapels bilden die Tonsteine der Estherienschichten, die einen geohydraulischen Sperrhorizont (Aquiclude) zu den gespannten Grundwasservorkommen des Benker Sandsteines bilden. Letzterer darf aus Gründen der wasserwirtschaftlichen Vorsorge trotz seines erheblichen geothermischen Potenzials mit Erdwärmesonden nicht erschlossen werden. Darüber folgen die Ton-/Sandstein-Wechsellagerungen des Schilfsandsteines (Flutfazies) und der Lehrbergschichten, die ihrerseits von den überwiegend aus Sandsteinen aufgebauten Folgen des Blasen-, Coburger und Burgsandsteins überlagert werden. Aus bohrtechnischer Sicht hat sich zur Erschließung dieser Schichtfolge gegenüber Spülbohrungen in Rotary-Technik das Imlochhammer-Bohrverfahren mit Druckluftspülung als am besten geeignet erwiesen. Bei Einsatz von Doppelrotorköpfen lassen sich bei Verrohrungstiefen von 20 bis 25 m standsichere Bohrlöcher bei hoher Bohrgeschwindigkeit erzielen. Da gelegentlich quarzitisch gebundene Sandsteine eingeschaltet sind, kamen Erdwärmesonden aus PE-100 RC zum Einsatz, da die Gefahr des Risswachstums aufgrund des höheren Vernetzungsgrades gegenüber herkömmlichem PE-100 hier deutlich reduziert ist. Die Ringraumverfüllung erfolgte mit thermisch verbessertem Verfüllbaustoff, der insbesondere beim direkten Kühlen bei geringen Temperaturgradienten gegenüber herkömmlichen Baustoffen ($\lambda \sim 0{,}8$ W/(m*K)) mit einer Leitfähigkeit > 2,0 W/(m*K) einen erheblich verbesserten Wärmeübergang gewährleistet. Druckprüfungen erfolgten grundsätzlich im Kontraktionsverfahren nach [4], und zwar nach der Ringraumverfüllung der Sonden an jeder einzelnen Sonde, dann nach dem Verlegen der Anbindeleitung (Sonde plus Anbindeleitung), anschließend an den Teilfeldern (inkl. Verteilerschacht) sowie am Gesamtssystem Geothermie als Teil des Primärkreises an der Planungsschnittstelle zur Haustechnik. Das Erdwärmesondenfeld wurde in der ausgehenden Heizsaison 2011 hydraulisch abgeglichen und erfolgreich in Betrieb genommen (Abb. 5).

Ausblick

Wie eingangs erwähnt, stellt das gegenüber konventionellen Wärmeerzeugungstechniken vergleichsweise hohe Investment für geothermische Anlagen noch ein Hindernis für eine breite Einführung geothermischer Lösungen im Wärme- und Kältemarkt dar. Dieser Mangel wird bedauerlicherweise, ganz im Gegensatz zum Strommarkt, aktuell nicht durch staatliche Förderinstrumente abgefedert, obwohl hier bereits die Bereitstellung zinsverbilligter Darlehen einen wichtigen Beitrag leisten könnte. An dieser Stelle soll jedoch noch auf einen anderen Sachverhalt hingewiesen werden, der bei Amortisationsberechnung aktuell nur schwer abgebildet werden kann. Nachhaltig ausgelegte Erdwärmetauscher sind sehr langlebige Energiequellen, die, sofern sie innerhalb verträglicher Temperaturgrenzen betrieben werden, nach aktuellen Prognosen auf Grundlage der zu erwartenden Standzeiten der Einzelkomponenten hohe Lebensdauern zwischen 50 und 100 Jahren erreichen können. Sie dürften damit die Nutzungs-, wahrscheinlich sogar die Lebensdauern derjenigen Gebäude überschreiten, zu deren Zweck sie errichtet wurden. Sie bleiben damit auch im Fall der Veräußerung einer Immobilie als wertsteigerndes Element erhalten und können auch in die Versorgung künftiger Objekte mit einbezogen werden, da eine Umgestaltung und Überbauung bei entsprechender planerischer Sorgfalt möglich ist. Daneben wird die steigende Zahl geothermischer Anlagen und die dadurch entstehenden Konkurrenzen mittelfristig die Aufstellung flächendeckender Bewirtschaftungskonzepte für die Ressource Geothermie erfordern. Es bleibt daher der Wunsch, dass die deutsche Regelungslandschaft in ihrer heutigen föderalen Zersplitterung und die durch Partikularinteressen behinderte bundesweit einheitliche Normung kurzfristig auf eine neue Grundlage gestellt werden kann, um einer weiteren positiven Entwicklung der oberflächennahen Geothermie die Grundlage zu bereiten.

Literatur

[1] VDI 4640 Thermische Nutzung des Untergrundes, Teile 1 und 2
[2] Huber Energietechnik 2010: Programm EWS Berechnung von Erdwärmesonden, Version 4.0
[3] SIA 384-6 01-10: Erdwärmesonden
[4] DVGW Arbeitsblatt W 400-2: Technische Regeln Wasserverteilungsanalgen, Teil 2: Bau und Prüfung

Abbildungen: Abb. 4: CDM

Autoren:
Dipl.-Geol. Alexander Eber
CDM Consult GmbH
Nordostpark 30
90411 Nürnberg
Tel.: 0911 40100-52
Fax: 0911 40100-30
E-Mail: alexander.eber@cdm.com

Dr. Claus Heske
Oliver Kohlsch
CDM Consult GmbH
Am Umweltpark 3-5
44793 Bochum
E-Mail: claus.heske@cdm.com
oliver.kohlsch@cdm.com
Internet: www.cdm.com