

Ein- und Zweifamilienhaus

## 40 Grad im Hochsommer! 24 Stunden Kühlung kosten nur 40 Cent

Ein in jeder Hinsicht bemerkenswertes Referenzobjekt findet sich im Einfamilienhaus des Diplom-Geologen Stefan Pohl in Bendorf: Die Brötje-Wärmepumpe arbeitet mit Wasser als Trägermedium, wird mit einer Solaranlage zur Quellenregeneration ergänzt und kann die einströmende Frischluft bei Bedarf kühlen oder vorwärmen. Der Bauherr hat diese Lösung zusammen mit dem SHK-Fachmann Uwe Kampmann geplant und umgesetzt. Seit Ende 2009 erfasst er akribisch die Daten, um die Effizienz nachzuweisen. Inzwischen wurden bereits mehrere Großobjekte mit der Technik ausgestattet.



Das Einfamilienhaus in Bendorf liegt in einer Wasserschutzzone 3 B, daher durfte kein herkömmliches Frostschutzmittel, sondern nur anorganische Sole in die Sonden gefüllt werden; alle Fotos: Brötje

Die Eckdaten des Einfamilienhauses kommen wenig spektakulär daher – Baujahr 1999, anderthalb Geschosse, ca. 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche, Fußbodenheizung und Radiatoren für die Wärmeverteilung. Das Gebäude wurde 2002 von Stefan Pohl gekauft und war bis zur Modernisierung 2009 mit einer Gasheizung ausgestattet. Als Diplom-Geologe mit dem Schwerpunkt „Geologische Beratung bei Erdwärmavorhaben“ entwickelte der Hausherr den Plan, diese Technik für das eigene Haus zu nutzen. Dabei verfolgte er nicht nur das Ziel, den Heizenergieverbrauch von ca. 17.000 bis 20.000 kWh im Jahr zu reduzieren. Gleichzeitig sollte die Anlage auch als Referenz- und Anschauungsobjekt für eine hohe Effizienz dienen. Den kompetenten Partner fand Stefan Pohl mit Uwe Kampmann, der in Sachen Wärmepumpen und in der Brötje-Systemtechnik über jahrelange Erfahrung verfügt.

### Vorarbeiten und Bohrung



Beide Erdwärmesonden wurden mittels Geothermal Response Test (GRT) untersucht, um die Entzugsleistung zu ermitteln und gleichzeitig Unterschiede zwischen den beiden Sondentypen festzustellen. Im laufenden Betrieb können beide Sonden jeweils getrennt gefahren werden, um Unterschiede festzustellen. Dafür wurde die Horizontalanbindung beider Erdwärmesonden identisch lang hergestellt. Foto: Stefan Pohl

de mit jeweils 99 Metern Tiefe vorgesehen. Die beiden unterschiedlichen Sondentypen wurden verwendet, um deren Unterschiede im praktischen Betrieb testen zu können. Die Emser Rohrleitungsbau GmbH aus Mülheim-Kärlich, ein nach DVGW-Arbeitsblatt W 120 zertifiziertes Unternehmen, führte die Bohrungen aus. Stefan Pohl sieht in der Vergabe an einen ortsnahen Anbieter den Vorteil, dass größere Kenntnisse über die regionalen Besonderheiten des Untergrunds gegeben sind. Die Erdwärmesonden-Anlage (EWS-Anlage), jede Sonde getrennt, wurde zunächst mittels des Geothermal Response Tests auf ihre Leistungsfähigkeit untersucht. Daraus ergibt sich eine Berechnungsgrundlage zur Auslegung der EWS-Anlage für den späteren Betrieb. Die üblichen Durchschnittswerte zur Entzugsleistung aus VDI 4640 können lediglich als Anhaltspunkte gelten.

Die Bohrungen wurden mit dem Raupen-Bohrgerät Hütte HBR 502 ausgeführt, das aufgrund seiner Maße auch in einer engen Bebauung ohne Probleme zum Einsatz kommen kann. Der Abstand zwischen den beiden Sonden beträgt ca. 12 Meter, damit sie sich nicht gegenseitig in ihrer Entzugsleistung beeinflussen. Von großer Bedeutung für die Lebensdauer und Effizienz der EWS ist die korrekt eingebrachte Zementation des Bohrloch-Ringraums. Die dichte Verfüllung um die Sondenrohre muss sicherstellen, dass keine Wegsamkeiten zwischen einzelnen Grundwasserstockwerken entstehen. Zusätzlich erfolgt die optimale thermische Anbindung an das umgebende Gestein in der ungesättigten Bodenzone (über dem Grundwasserspiegel). Die Zementation erfolgt mit einer schadstofffreien, nicht Wasser gefährdenden Suspension, meist als Bentonit-Zement-Sand-Wasser-Mischung. Die Suspension wird im so genannten Contractor-Verfahren von unten nach oben über einen zusätzlichen Verpressschlauch eingebracht. Nach Erhärtung muss die Suspension dauerhaft dicht und beständig sein.

Der Anschluss der EWS erfolgte über einen Verteiler im Lichtschacht. Damit beide Sonden gleichmäßig durchströmt werden, wurde die Horizontalanbindung mit identischer Länge verlegt. Der Sondenverteiler, an dem jeder einzelne Kreis einzustellen und abzusperrern ist, bleibt auch vom Aufstellraum der Wärmepumpe aus zugänglich.

Vor dem Start wurde die Tauglichkeit der vorhandenen Heizung (Fußbodenheizung und Radiatoren) geprüft, mit niedrigen Systemtemperaturen zu arbeiten. Dazu wurde der Vorlauf der bestehenden Heizung auf 30°C reduziert und die ausreichende Wärmeabgabe festgestellt. Die zweite Hürde bei der Realisierung lag in der Lage des Objekts begründet – im Wasserschutzgebiet Engenser Feld, Wasserschutzzone 3 B. Hier ist die Verwendung handelsüblicher organischer Frostschutzmittel in Wärmepumpenanlagen verboten. Die Alternative anorganische Sole (z. B. Kaliumkarbonat) wurde genehmigt. Zur Optimierung der Anlage wurde vorgesehen, die Sonden mit Wasser als Wärmeträger zu füllen. Dies bedingt jedoch andere Eckdaten beim Betrieb der Wärmepumpe: Um ein Einfrieren zu verhindern, muss die Rücklauftemperatur bei +2,5°C liegen. Im nächsten Schritt stand die Machbarkeitsprüfung der geothermischen Nutzung des Untergrundes an. Sie dient der Klärung der Genehmigungsfähigkeit und wurde vom Bauherrn selbst durchgeführt. Nach ihr richten sich die erforderlichen Bohrtiefen und Anzahl der Bohrungen. Im vorliegenden Fall wurden eine Doppel-U-Sonde sowie eine Mono-U-Son-

### Geothermal Response Test

Bei dem Geothermal Response Test handelt es sich um ein international bewährtes Verfahren zur Bestimmung thermischer Untergrundparameter. Eine fertig ausgebaute und im späteren Sondenfeld verwendbare Erdwärmesonde wird mit einem definierten Wärmeeintrag über einen Zeitraum von meist 72 Stunden belastet. Auf diese Weise wird der Untergrund zu einer Temperaturantwort („response“) angeregt. Die Reaktion ist charakteristisch für dort anstehende Gesteine (einschließlich Grundwasserverhältnisse) und lässt die Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit im weiteren Umfeld der Sonde zu. Darüber hinaus können mit dem Test die ungestörte Untergrundtemperatur und der thermische Bohrlochwiderstand bestimmt werden. Diese drei spezifischen Werte sind die wichtigsten Eingangsparameter in Simulationsprogramme, um das thermische Verhalten von Erdwärmesondenfeldern zu berechnen.

Bei Anlagen größer als 30 kW sind die Ergebnisse eines Geothermal Response Tests unbedingte Voraussetzung für die Konzeption der Erdwärmesondenfelder (siehe VDI 4640). Die Gesamtbohrmeter als wichtigste Investition können in Abhängigkeit der jeweiligen Untergrundeigenschaften klar festgelegt werden. In vielen Fällen ermöglichen die erhobenen Werte eine technische und finanzielle Optimierung der geothermischen Anlage sowie eine Gewährleistung der erforderlichen Wärme- und Kälteleistung.

## Innenleben



Selbstverständlich wurde auch auf die Details geachtet, etwa der Mikroblasenabscheider zur Entfernung von Luft aus der EWS-Anlage. Das Modell (rechts) nutzt Stefan Pohl zu Demonstrationszwecken bei Fortbildungsveranstaltungen.

sparsam arbeitenden Umwälzpumpen für den Sondenkreislauf und den Heizungskreislauf eingesetzt. Die Regelung erfolgt über die Wärmepumpe, wobei in Abhängigkeit der Außentemperatur eine festzulegende Kühllennlinie gefahren wird. Gleichzeitig ergibt sich daraus ein großer Vorteil für die Regeneration der Sondenanlage. Die in dem Fall unerwünschte Wärme wird abtransportiert und kommt zeitversetzt dem System wieder zugute. Stefan Pohl hat im Hochsommer 2010 bei bis zu 40°C Außentemperatur die Kosten für die Kühlung bei 24 h Dauerbetrieb auf ca. 0,40 Euro pro Tag berechnet. Die Temperatur konnte mit Hilfe der „passiven Kühlung“ der Wärmepumpe und der Lüftungsanlage im Haus auf 24°C konstant gehalten werden.

In den relativ kleinen Heizraum passten sämtliche Anlagenkomponenten gerade so hinein. Als Wärmepumpe wählten die Planer eine Brötje SensoTherm BSW 10 B mit 10 kW Leistung. Mit ihren Leistungsdaten, der kompakten Bauweise, der Anschlussmöglichkeit für Solar und der Funktion passives Kühlen brachte sie alle Voraussetzungen mit, in das innovative Konzept eingefügt zu werden. Der Wärmemengenzähler, im Vorlauf der EWS-Anlage montiert, informiert über die bereit gestellte Leistung des Untergrundes. Die von der Wärmepumpe bereitgestellte Leistung wird ebenfalls von einem Wärmemengenzähler erfasst.

Dem Brötje Systemgedanken entsprechend wurde der Solarschichtenspeicher AquaComfort MPS B mit externer Trinkwarmwassererwärmung im Durchlauferhitzerprinzip gewählt. Er ist mit zwei horizontalen Schichtenplatten als Durchmischungsbremse ausgestattet. Das Durchlaufwarmwassermodul weist eine Spitzenzapfleistung von 20 Litern/min auf. Damit ist sowohl eine hygienische Warmwasserbereitung garantiert als auch eine optimale Ausnutzung der Solarwärme. Der Speicher fasst 650 Liter und stellt mit seinen Abmessungen – 1.000 mm Durchmesser mit Isolierung und 1.725 mm Höhe – das größte Bauteil der Anlage dar. Für die passive Kühlung wurde die Brötje SensoTherm BSW 10 B mit einem kleinen separaten Wärmetauscher kombiniert. Bei hohen Sommertemperaturen durchfließt das Sondenwasser dieses Bauteil und nimmt die Wärme über den Heizungsrücklauf mit. Dazu werden nur die

## Pluspunkte der Solaranlage

Aus Platzgründen wurde ein Brötje Vakuumröhrenkollektor SolarPlus DF mit 30 Röhren gewählt, der nach dem Durchfluss-Prinzip arbeitet. Das bedeutet, dass jede der Vakuumröhren direkt durchströmt wird. Die Einzelröhren sind pro Modul hydraulisch parallel geschaltet. Der Hochleistungsabsorber aus speziell geformtem Kupferblech mit einer hochselektiven Vakuumbeschichtung auf der Oberseite nimmt die Sonnenenergie auf und leitet diese an das mit dem Absorber Wärme leitend verbundene durchflossene Rohr ab. Durch die neu entwickelte Verbindungstechnik zwischen der Vakuumröhre und dem koaxial aufgebauten Sammlerrohr ist sowohl eine Montage des Kollektors parallel zum Flachdach sowie an der Fassade möglich. Am Sammlerkasten befindet sich rechts eine Steckmuffe und links ein Stecknippel mit Schnellverschluss für die schnelle Montage.

Bei der vorliegenden Konfiguration übernimmt die Solaranlage mehrere Funktionen. Zunächst wird die Sonneneinstrahlung für Warmwasser und Heizungsunterstützung genutzt, wobei eine Vorrangschaltung für warmes Wasser gewählt werden kann. Im Sommer wird normalerweise mehr Wärme produziert als abgenommen werden kann. Dieser Überschuss des SolarPlus DF wird nicht verschenkt, sondern an die EWS abgegeben, die sie in den Untergrund leiten. Mit dieser Quellenregeneration wird erreicht, dass die Ausgangstemperatur im Bereich der Sonden über einen langen Zeitraum nahezu gleich hoch bleibt.

Bei einer durchschnittlichen Entzugsleistung einer nach VDI 4640 bemessenen EWS-Anlage kann man im ersten Betriebsjahr von einer Untergrund-Temperatur von ca. 10°C (am konkreten Standort) ausgehen. Diese Temperatur sinkt im Laufe der Folgejahre in der Regel ab und pendelt sich auf einem niedrigeren Niveau ein. Dies liegt daran, dass die Wärmeentnahme in der Anfangszeit nicht vollständig durch die Erdwärme aufgefüllt werden kann, etwa durch Grundwasser oder die Sonneneinstrahlung. Dies beeinflusst die Effizienz der Anlage negativ. Wird jedoch über die Einbindung der Solaranlage überschüssige Wärme zurückgeführt, ergibt sich sozusagen eine Welle mit gleichmäßigem Ab- und Anstieg: Am Ende des Winters sinkt die Ausgangstemperatur auf ein niedrigeres Niveau und steigt dann bis zum Herbst auf den Ausgangswert oder sogar deutlich höher. Das Verfahren sichert demnach einen dauerhaft wirtschaftlichen Betrieb und kann sogar Kosten einsparen, indem die Bohrtiefe bzw. die Anzahl der Bohrungen verringert wird. Zusätzlich wird eine verfrühte Stagnation der Solarflüssigkeit verhindert. So steht dem Heizsystem auch an einem sonnigen Tag nachmittags noch die volle Leistung der Solaranlage zur Verfügung. Wenn gewünscht kann die Wärmepumpe diese Anlagenfunktionen ohne Zusatzmodule regeln.

## Kombination mit Lüftungsanlage



Die Lüftungsanlage kühlt oder heizt, je nachdem, ob der Sondenkreislauf oder der Heizkreislauf durch den Wärmetauscher geschaltet ist.

merbetrieb direkt über den EWS-Kreislauf, weil Wasser als Wärmeträgermedium verwendet wird. Außerdem kann die Anlage direkt, ohne Einsatz des Wärmetauschers zur passiven Kühlung, angefahren werden. Damit wird der Verlust, der aus zwei Stufen resultiert, vermieden. Bei den hohen Temperaturen von fast 40°C im Sommer 2010 hat das System seine Vorzüge schon gezeigt. In den Innenräumen stieg das Thermometer auf 24°C im Gegensatz zu mindestens 30°C ohne die Technik. Die Flächenheizung im Fußboden wurde zu der Zeit auf 21°C eingestellt. Damit war ein angenehmes Wohnen und Arbeiten gegeben.

Der Einsatz einer Wohnungslüftung in Bestandsbauten erfordert oft einen größeren Eingriff in die Bausubstanz, wenn Luft führende Kanäle verlegt werden sollen. Im eigenen Haus hat Stefan Pohl eine andere Variante eingesetzt, die er als Allergiker inzwischen sehr zu schätzen weiß. Dabei wird die Luft durch einen Grobfilter und einen Pollenfilter angesaugt und in den offenen Treppenbereich abgegeben. Durch die bestehenden Druckunterschiede, bedingt durch ein Öffnen eines Fensters, verteilt sich die Luft in die Wohnräume. Bei normalen Windlasten entsteht dabei kein nennenswerter Staub bzw. Polleneintrag. Die Lüftungsanlage bringt zwischen 0 und ca. 930 m<sup>3</sup> Luft pro Stunde ins Haus, sie lässt sich stufenlos regeln. Als Komponenten der Helios-Anlage wurden eingesetzt: eine Luftfilterbox F7, ein Radialrohrventilator, ein Drehzahlsteller sowie ein Valloflex Sole-Luft-Wärmetauscher.

Im Winterbetrieb wird die frische Luft von einem zwischengeschalteten Wärmetauscher vorgeheizt. Im Sommer geschieht das Gegenteil – der Wärmetauscher kühlt die Luft ab. Dies funktioniert zur Effizienzsteigerung im Sommer

## Aufwand und Erfahrungen



Der Laptop auf der SensoTherm BSW 10 B dient der Erfassung aller Daten der effizienten Wärmepumpenanlage und des Sondenkreislaufes: Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ermöglichen bei der geologischen Planung großer Erdwärmesondenanlagen erhebliche Steigerungen der Effizienz bei gleichzeitiger Reduzierung der Investition- und Betriebskosten



Eine Doppel-U-Sonde (Duplex, 32x2,9 mm) und eine U-Sonde (Simplex, 40x3,7 mm) wurden mit 12 Metern Abstand und jeweils 99 Metern Tiefe gebohrt. Foto: Stefan Pohl

zusätzliche erhebliche Effizienzsteigerung der Anlage. Die bei dem Objekt eingesetzten Brötje-Komponenten Wärmepumpe, Solaranlage, Speicher und Wärmetauscher für die Kühlung sind exakt aufeinander abgestimmt. Sie ergeben ein hochwertiges System, das dauerhaft wirtschaftlich arbeitet. Statt fossiler Energieträger werden die Sonne bzw. die Erde als Quellen angezapft – sie stehen unbegrenzt zur Verfügung.

Marion Paul-Färber

Die gesamte Anlage kostete rund 40.000 Euro, wovon ca. 15.000 Euro auf die experimentellen Ansätze entfallen. Die Auswertungen haben bislang ergeben, dass 3.000 kWh als Antriebsenergie zugeführt werden, damit aber 16.000 kWh an Leistung zur Verfügung gestellt werden. Stefan Pohl hat eine Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpenanlage von ca. 4,5 errechnet – darin sind alle Verbraucher für Antriebsenergie sowie die Warmwasserbereitung inbegriffen. Unter Einschluss der Solarthermie erhöht sich die JAZ auf mehr als 5. Im Gegensatz zum COP-Wert, der auf definierten Ausgangsdaten beruht und ohne Verbraucher ermittelt wird, steht mit der JAZ eine handfeste Größe zur realen Wirtschaftlichkeitsbeurteilung zur Verfügung.

Zur Auswertung wird eine von Brötje zur Verfügung gestellte Software genutzt. Durch das entsprechende Abfragemodul lassen sich die Daten von verschiedenen Stellen abfragen. Ein neuer Aspekt könnte noch ergänzt werden – die Nutzung der Solaranlage in direktem Kontakt mit der Wärmepumpe. Bei (ansonsten nicht nutzbaren) niedrigen Temperaturen der Solarthermie könnte diese Wärme direkt zur Effizienzsteigerung im Wärmepumpenbetrieb genutzt werden. Hierfür wird nur eine Software-Einstellung benötigt, die dafür sorgt, dass während des Betriebes der Wärmepumpe die Umwälzpumpe der Solarthermie betrieben wird und die wenn auch geringe Wärme der Solarthermie in den EWS-Kreislauf einspeist. Diese Steuerung ist deshalb sinnvoll, da ansonsten die Einspeisung geringer Wärmemengen in den EWS-Kreislauf unabhängig vom Betrieb der Wärmepumpe energetisch nicht sinnvoll ist. Schließlich müssen die beiden genannten Umwälzpumpen hierfür betrieben werden.

Die Erfahrungen aus dem Projekt wurden inzwischen auf mehrere Großprojekte übertragen, insbesondere in Sachen Quellenregeneration und Nutzung für die Kühlung von Gebäuden. Ebenso wie im Einfamilienhaus wird die Wärmequelle durch die Wärmeeinleitung über die Sonden „aufgefüllt“. Bei entsprechenden geologischen Voraussetzungen des Untergrundes kann darüber hinaus die Temperatur im Untergrund erhöht, d. h. gespeichert werden. Hierdurch beginnt der Heizbetrieb nicht bei der natürlichen Untergrundtemperatur, sondern deutlich darüber. Hieraus resultiert eine zu-

<https://www.broetje.de/de/waermepumpe.htm>