

Erfahrungen mit Planung, Bau und Betrieb einer Anlage zur geothermischen Beheizung eines Wohngebäudes in Rheinhessen

FRIEDRICH HÄFNER & FRANK HÄFNER & ANN-SOPHIE CRONEBERGER

Kurzfassung: Die verschiedenen Projektphasen bei Planung und Herstellung einer geothermischen Heizungsanlage für ein Einfamilienhaus in Rheinhessen mit einem Untergrund aus tertiären kalkigen Tonen, Mergeln, feinkörnigen Sanden und Kalksteinen werden beschrieben und die bisherigen Erfahrungen mitgeteilt. Die im Internet und in Druckschriften verfügbaren Informationen zur Planung und Bemessung sind unbedingt durch projektbezogenen geologischen Sachverstand zu ergänzen. Die bisher 4-jährige Laufzeit der Anlage verlief ohne Komplikationen. Durch eine Verbindung der geothermischen Heizung mit einer Stromerzeugung durch Fotovoltaik konnte die Wirtschaftlichkeit des Systems nochmals erheblich verbessert werden.

Im regionalen Umfeld ist die Zahl der neu installierten Heizungssysteme mit Geothermie seit Jahren rückläufig. Dies kann eventuell auf die nicht mehr verfügbare öffentliche Förderung und höhere Investitionskosten gegenüber konventionellen Heizungssystemen zurückgeführt werden.

Abstract: As regards the planning and construction of a geothermal heating for a single family house in Rheinhessen (regional district in the western surroundings of Mainz, capital of the federal state Rheinland-Pfalz, Germany), the individual project phases are described and information on experience available to date is provided.

The subsoil of the respective area consists of tertiary calcareous clays, marls, fine-grained sands and limestones. Information on planning and dimensioning derived from the internet or print media, should be complemented by project-related geological expertise. The geothermal heating system described has not faced any down-times during its 4-year operational time. The economic output of the system was considerably improved by combining geothermal heating with electricity generated by photovoltaic panels.

Since a couple of years the number of newly installed geothermal heating systems has decreased in the regional surroundings. This is probably related to a lack of public subsidies and higher investment cost as compared to conventional heating systems.

Inhalt

1. Einleitung
 2. Standort und Objekt
 3. Geologische Planungsgrundlagen
 4. Planungsphase
 5. Bauphase
 6. Betriebsphase
 7. Ausblick
 8. Fazit
- Schriften

1. Einleitung

Die Installation von Erdwärme gestützten Heizungsanlagen ist im Wohnungs- und mittlerweile auch im Industriebau eine erprobte Technik und – sofern am gewünschten Standort genehmigungsfähig – eine echte Alternative zu herkömmlichen Heizungssystemen mit festen und/oder fossilen Brennstoffen. Dies gilt insbesondere für neue Bauvorhaben. In der vorliegenden Arbeit werden die einzelnen Planungsschritte, die Herstellung und mehrjährige Betriebserfahrungen einer Erdwärme gestützten Heizungsanlage am Beispiel eines Einfamilienhauses dargestellt.

2. Standort und Objekt

Durch seine geschützte Lage gehört Rheinhessen zu den wärmsten und trockensten Gebieten Deutschlands. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer beträgt in Rheinhessen etwa 1600 Stunden, was bei entsprechender Exposition die Gewinnung von elektrischer Energie mit Solarzellen begünstigt. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt zwischen 8,6 und 10,6 °C, die mittlere Niederschlagsmenge zwischen 470 und 730 mm (www.kwis-rlp.de). Wenige Kilometer nordwestlich bei Ingelheim befindet sich eine Wetterstation des Agrarmeteorologischen Dienstes. Obwohl die Station mit



Abb. 1: Lageskizze des Erdwärme-Projektes.

219 m NN ca. 100 m höher liegt als der hier diskutierte Standort, lassen die dort gemessenen Werte zumindest tendenziell Rückschlüsse auf das Wettergeschehen zu. Im Zeitraum 4/2012 bis 4/2016 wurden an der Wetterstation 26 Eis- und 188 Frosttage registriert sowie mittlere Monatsdurchschnittstemperaturen von 1,57 °C (Minimum 1/2013) bis 21,48 °C (Maximum 7/2013) ermittelt (www.am.rlp.de).

Bei dem Objekt handelt es sich um ein 2011 errichtetes Einfamilienhaus in Stadcken-Elsheim (Verbandsgemeinde Nieder-Olm). Das Gebäude besitzt folgende Charakteristik: freistehendes Wohnhaus, 2-geschoßig, nicht unterkellert, einschaliges Mauerwerk aus 36,5er Porenbetonplansteinen, KFW-Standard 55, beheiztes Volumen ca. 644 m³.

Der Abstand zum Bachlauf der Selz beträgt ca. 340 m, die Geländeoberkante befindet sich bei ca. 116 m NN, d. h. ca. 10 m oberhalb des Niveaus der Selz.

3. Geologische Planungsgrundlagen

Es ist besonders wichtig, die geologischen Planungsgrundlagen einer auf der Gewinnung von Erdwärme basierten Heizungsanlage möglichst genau abzuschätzen, um eine zutreffende Bemessung der Bohrung(en) (Standort, Bohrteufe, Bohrdurchmesser) zu ermöglichen.

Geologisch gesehen liegt der hier vorgestellte Standort im sogenannten Mainzer Becken, nach GOLWER (1968, zitiert bei SCHÄFER 2012: S. 3, HÄFNER 2015: S. 72) „eine auf der westlichen Schulter des nördlichen Oberrheingrabens gelegene, annähernd dreieckige Scholle der Erdkruste, die als tertiäres Senkungsfeld nicht so tief wie der Rheingraben eingesunken ist und daher nur wenige hundert Meter mächtige Sedimente aufgenommen hat.“

Im Mainzer Becken kann man die tertiären Gesteinsschichten grob in eine ältere Folge von Tonen, Mergeln, Sanden und Kiesen aus dem Eozän und Oligozän sowie eine jüngere Folge von Mergeln und Kalksteinen aus dem Oligozän und Miozän unterscheiden. Die älteren Gesteine bilden den Untergrund der Talböden und die unteren Hangbereiche, während die widerstandsfähigeren Kalksteine die Steilstufen der oberen Hangbereiche und den Untergrund der Plateaus darstellen. Die Gesteine sind teilweise Ablagerungen eines flachen Meeres und von Süßwasserseen (Tone, Mergel, Kalksteine), teilweise dessen Strandablagerungen (Kiese, Sande). Aus dem Quartär schließlich kennen wir in Rheinhessen teilweise mächtige Lössbildungen, Sand- und Schotterablagerungen sowie – in der Nähe des hier diskutierten Standortes Löss, Auenlehme und Kiese, also Ablagerungen des Bachlaufes der Selz.

Am Planungsort sind nach der Geologischen Karte von Ober-Ingelheim (WAGNER 1931) diluviale Lössablagerungen über Schleichsandmergeln des Mitteloligozäns zu erwarten. Die Schleichsandmergel sollen nach WAGNER (1931) in diesem Raum eine Gesamtmächtigkeit von 45 m aufweisen; sie entsprechen wohl der sogenannten Stadecken-Formation von SCHÄFER (2012: S. 35). Die darunter lagernden Rupeltone werden von WAGNER mit mindestens 75 m Mächtigkeit beziffert. Bei Groß-Winternheim, einige Kilometer stromabwärts, gibt er Höhenlage der Grenze Schleichsand/Rupelton mit 90 bis 100 m NN an. SCHÄFER (2012: S. 46ff) gibt als Gesamtmächtigkeit des Rupeltons für die neuerdings als Wallau-Subformation, Hochberg-Subformation und Rosenberg-Subformation bezeichneten Schichtglieder maximal ca. 130 m an, spricht jedoch von erheblichen Schwankungen im Ablagerungsraum.

Nach den Untersuchungen von SCHÄFER & KUHN (2004: S. 146) beträgt der Sandgehalt der Sedimente an der Grenze Rupelton /Schleichsand in den allermeisten Fällen weniger als 5 Gew.-%. Der mehrheitliche Anteil des Körnungsbandes liegt im Bereich

Schluff und Ton. Nach den Erläuterungen von WAGNER (1931:S. 70) lagern auf dem linken Selzufer über tertiären Schleichsandmergeln Niederterrassenbildungen in einer Mächtigkeit von ca. 0,5 m bis ca. 4,5 m. Diese Kiese bestehen nach WAGNER vorwiegend aus tertiären Kalksteinen, daneben aus Bohnerzen und wenigen „Melaphyren“ (Anm. d. Autoren: das sind allochtone Andesite aus dem Rotliegenden des Saar-Nahe-Beckens). Gute Aufschlüsse soll es in Kiesgruben zwischen dem Bahnhof Elsheim und Stackeden gegeben haben, also kaum mehr als 300 m vom Planungsort entfernt. Dort soll die Mächtigkeit der Niederterrasse bis 2,5 m betragen haben. Eine neuere Bearbeitung der geologischen Karte GK 25, Blatt 6014 Ingelheim liegt leider noch nicht vor.

4. Planungsphase

Der Anlagenplaner bezifferte den jährlichen Heizenergiebedarf einschließlich Warmwasserbereitung auf 3547 kWh.

Ein Leitfaden des rheinland-pfälzischen Ministeriums für Umwelt (2012) lieferte erste sachdienliche und rechtliche Informationen rund um Planung und Bau von Erdwärmegewinnungsanlagen mit einer Heizleistung bis zu 30 kW. Die Internetseite des Landesamtes für Geologie und Bergbau (www.lgb-rlp.de) gibt im Servicebereich einige einschlägige Auskünfte:

- Erdwärmesonden sind an diesem Standort bei Einhaltung der Standardauflagen ohne Einschränkungen genehmigungsfähig.
- Die Grundwasserergiebigkeit wird als gering eingeschätzt.
- zum Grundwasserflurabstand fehlt eine Aussage.
- zur möglichen Wärmeentzugsleistung wird keine Aussage getroffen wegen fehlender Bohrungen im Zielgebiet.

DEHNER (2007) untersuchte die thermische Leitfähigkeit bodenbildender Substrate in Rheinland-Pfalz. Von den von ihm beurteilten Böden und Gesteinen kamen für die Prognose am geplanten Standort Auentone und -schluffe sowie tertiäre Mergel infrage. Diesen Gesteinen hat DEHNER (2007: S. 186) auf der Basis der Untersuchungen von KERSTEN (1949), COTÉ & KONRAD (2006) und JOHANSEN (1975) maximal mögliche Wärmeleitfähigkeiten bei Sättigung des Porenvolumens von 1,23 bis 1,81 [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] zugewiesen. Die VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 (Ausgabe 2000) gibt für vergleichbare tonig-schluffige Gesteine 1,7 [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] als typischen Rechenwert für die Wärmeleitfähigkeit an und bezeichnet die vorliegenden Lockergesteine als schwach bis sehr schwach durchlässig. Die spezifische Entzugsleistung beziffert die VDI-Richtlinie 4640, Blatt 2, Tab. 2 bei 2400 Betriebsstunden mit 30 bis 40 W/m.

Aufgrund des nach den geologischen Vorprüfungen zu erwartenden hohen Tongehaltes im Untergrund wurde die vom Anlagenplaner mit pauschal 50 W/m kalkulierte Wärmeentzugsleistung erheblich auf 35 W/m zurückgenommen und die Anzahl der Bohrungen von einer auf zwei verdoppelt, wobei die gesamte Bohrleistung von 120 m auf 200 m erhöht wurde. Leider wurde auch hier die Erfahrung bestätigt, dass Anlagenplaner sich häufig nicht die Mühe machen, den konkreten Aufbau des Untergrundes zu erkunden bzw. an Hand von frei zugänglichen Informationen zu erschließen, sondern mit einem Durchschnittswert operieren. Dies beinhaltet jedoch im Einzelfall die Gefahr einer Unterdimensionierung der Anlage und damit möglichen unliebsamen Spätfolgen durch Überbeanspruchung des Wärmespeichers. Darauf weist auch die VDI-Richtlinie 4640 ausdrücklich hin.



Abb. 2: Bohrgerät bei der Herstellung einer Bohrung.

5. Bauphase

Die beiden Bohrungen wurden im Januar 2012 im rotierenden Bohrverfahren durchgeführt, das Bohrgut mit Meisel gelöst und mit Wasserspülung gefördert, was mit einer unvollständigen Probengewinnung (Gewinnung gestörter Proben) verbunden war. Der Bohrdurchmesser betrug bis 7 m u GOK 168 mm (Standrohr), bis zur Endteufe dann gleichbleibend 152 mm. Der gegenseitige Abstand der Bohransatzpunkte betrug, entsprechend den Empfehlungen des Leitfadens des Umweltministeriums mehr als 6 m. Der Ruhewasserspiegel stellte sich 8 m u GOK ein.

Als Sonden wurden Doppel-U-Sonden aus PE 100 RC mit je 32 mm Rohrdurchmesser bei 2,9 mm Wandstärke eingebaut (Abb. 4) und der Ringraum des Bohrloches



Abb. 3: Relativ gleichförmig ausgebildetes Bohrgut nach der Abscheidung aus der Spülung.

von der Sohle her mit ca. 1 900 Liter Zement-Bentonit-Gemisch (Stüwa-Therm 2000 „Z“) verpresst. Die erfolgreiche Druckprüfung erfolgte nach DIN V 4279-7 (1994).

Das Bohrgut ließ sich nach wenigen Bohrmeter makroskopisch als relativ gleichförmiges Ton-Schluff-Gemisch ansprechen (Abb. 3). Es wurde je Bohrmeter eine Probe zur späteren Untersuchung genommen, um allgemeine stratigraphische Erkenntnisse zu gewinnen, die zwar für die rein technische Zielsetzung des vorliegenden Projektes nicht (mehr) relevant waren, die jedoch helfen, genauere Prognosen bei zukünftigen Projekten im näheren Umfeld zu erstellen.



Abb. 4: Einbringen einer Erdwärmesonde in das vorbereitete Bohrloch.

Tab. 1: Vergleich prognostiziertes Bohrprofil/ angetroffenes Bohrprofil.

Schichtgrenzen	Teufe unter GOK [m]	Prognose Planungsphase [mNN]	Ist Bohrende [mNN]
Bohransatzpunkte	0	115,5	115,5
Grundwasseroberfläche	-8	ca. 105	107,5
Schichtgrenze Rupelton /Schleichsand	-75	< 100	40
Bohrende	-100	15,5	15,5
Basis Rupelton (abgeschätzt nach SCHÄFER 2012)	---	bis ca. -30	bis ca.-90

In den vorgenommenen Bohrungen wurde folgendes Schichtenprofil ab GOK angetroffen:

- 0-1 m Ton, schluffig, schwach feinsandig, dkl-braun, umgelagert
- 3 m Schluff, tonig, schwach feinsandig, dkl-braun, umgelagert
- 4 m Feinsand, schluffig, tonig, schwach kiesig, dkl-braun, umgelagert
- 7 m Feinsand, schluffig, Fossilien (Lössschnecken, Turmschnecken), hellbraun, umgelagert
- 13 m Feinsand, schluffig, hellbraun
- 100 m Schluff, tonig bis Ton, schluffig, grau
(E.T.)

In Tab. 1 wird das aus Literaturangaben abgeleitete Schichtenprofil mit der tatsächlich erbohrten Abfolge verglichen. Im Ergebnis waren teilweise erhebliche Abweichungen zu verzeichnen.

Die mikropaläontologische Untersuchung der Bohrproben ergab ab ca. 75 m u GOK eine bedeutende Zunahme und teilweise massenhaftes Auftreten von Mikrofossilien der Gattungen *Spiroplectammina* sp., *Globigerina* sp., *Gyroïdina* sp., *Nodosaria* sp. und der Art *Cibicidoides ungerianus*. Dieser Wechsel des Fossilinhalts von eher fossilarmen Schichten brackischen Milieus zu fossilreichen Schichten des marinen Milieus wird als Schichtgrenze von den nahe der Erdoberfläche anstehenden Schleichsand-Schichten (Stadecken-Formation des Oligozäns) zum Oberen Rupelton (Rosenberg-Subformation des Oligozäns) gedeutet (mdl. Mitt. Dr. KUHN, LGB).

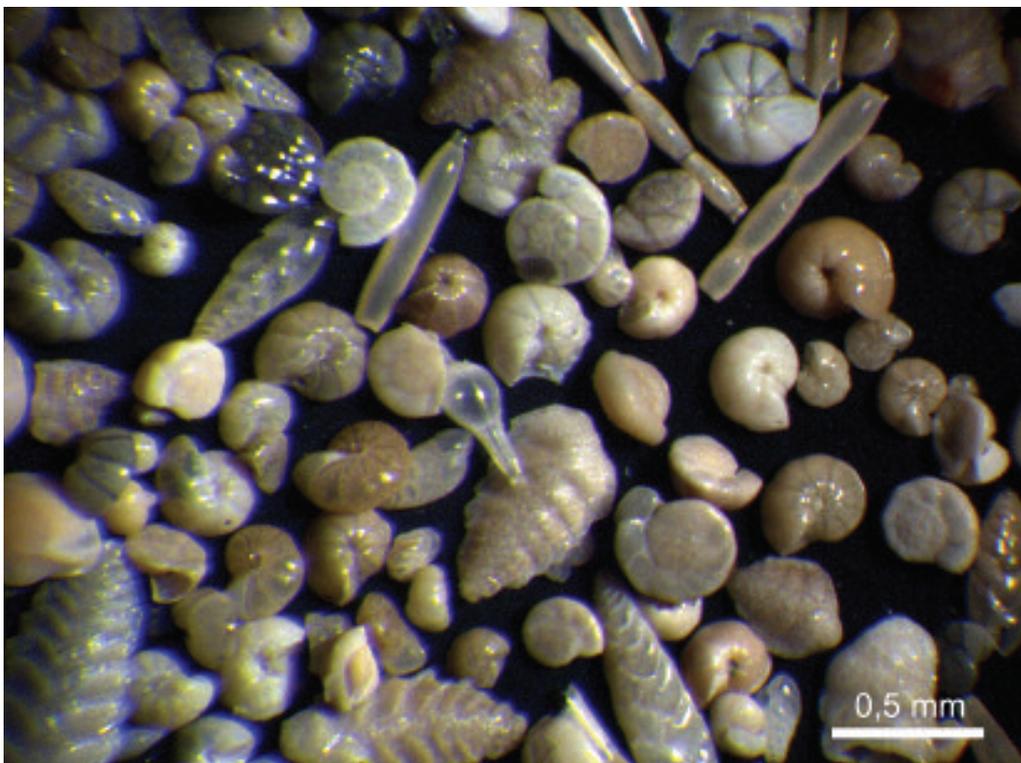


Abb. 5: Fossilinhalt im Oberen Rupelton (Bohrprobe aus einer Tiefe von 78 m u GOK).

6. Betriebsphase

Die Anlage wird mit einem Wasser-Monoethylenglykol-Gemisch (4:1) betrieben. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Manuskripts der vorliegenden Arbeit war die geothermische Anlage 4 Jahre in Betrieb (4/2012 bis 4/2016). In diesem Zeitraum kam es zu keinerlei Betriebsstörungen.

Der Stromverbrauch wird für die Geothermie (Heizung, Warmwasserbereitung) und sonstigen Haushaltsstrom separat erfasst. Die Ablesung erfolgte bezüglich des Stromverbrauchs und der Außentemperatur wöchentlich. (Sensor 4 m über GOK auf der Westseite des Gebäudes, Ablesung ca. 17.00 Uhr). Aus Abb. 6 geht – nicht über-

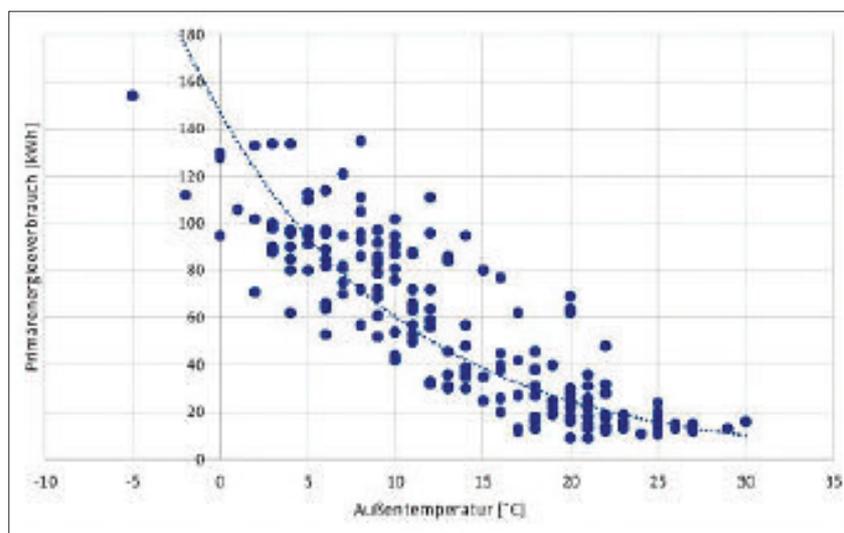


Abb. 6: Proportionaler Zusammenhang von Außentemperatur und Primärenergieverbrauch im Zeitraum 2012 bis 2016.

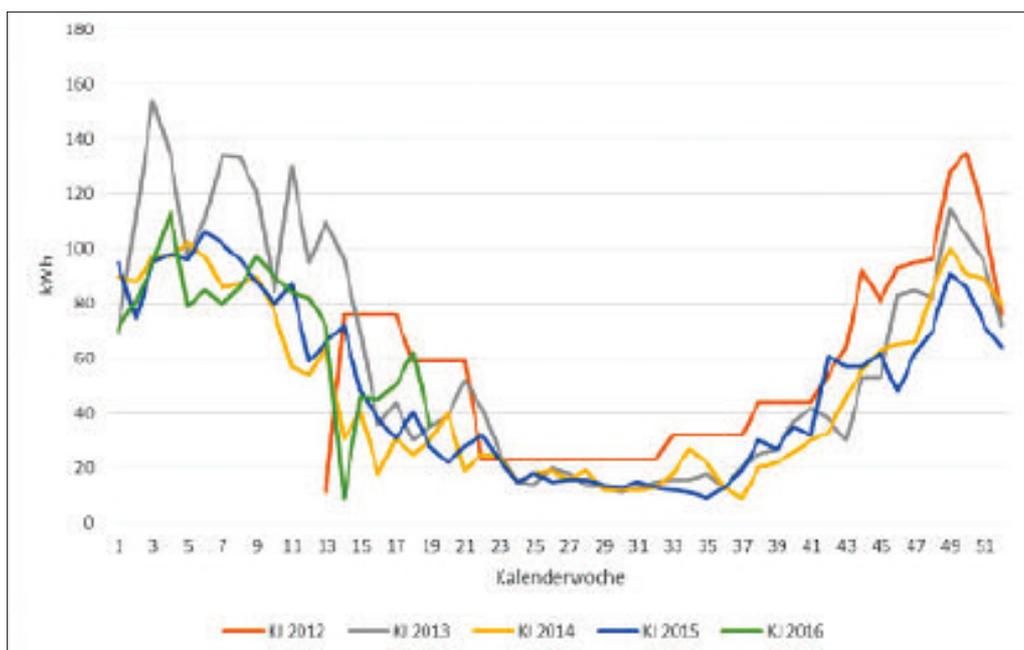


Abb. 7: Strom-Verbrauchskurven in kWh pro Woche im Zeitraum 4/2012 bis 4/2016.



Abb. 8: Gesamtansicht des Objektes mit Fotovoltaik-Anlage auf der nach Süden orientierten Hälfte des Satteldaches (Aufnahme 4/2016).

raschend – hervor, dass ein proportionaler Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Energieverbrauch besteht.

Es zeigte sich, dass in den ersten beiden Betriebsjahren, die etwa der Trocknungszeit des Gebäudes bei notwendiger vermehrter Zwangsbelüftung entsprach, der Heizleistungsbedarf erheblich höher war als in den Folgejahren. Dies geht aus Abb. 7 hervor, die den Verlauf des Energieverbrauchs in kWh/Woche zeigt. Es wird erwartet, dass sich der Jahresstrombedarf für die Erdwärmegewinnung bei etwa 2500 kWh einpendelt. Die Jahresarbeitszahl der Anlage wurde im Durchschnitt mit 3,57 ermittelt.

2015 wurde die Erdwärmegewinnung durch Installation einer Photovoltaikanlage mit einer maximalen Leistung von 5,32 kWp und einem Lithium-Ionen-Speicher mit einer nutzbaren Kapazität von 7,7 kWh ergänzt. Dadurch war es möglich, die laufenden Betriebskosten noch einmal um ca. 40 % zu senken.

7. Ausblick

Um die Entwicklung der Installation neuer Erdwärme-Heizungen in der Region beurteilen zu können, wurden nachstehend die Fallzahlen in Rheinland-Pfalz und speziell in Rheinhessen herangezogen. Die Statistik des Landesamtes für Geologie und Bergbau (LGB) erfasst die Anzahl der erteilten Genehmigungen für Anlagen zur Erdwärmegewinnung seit 2006. Danach ist die Zahl der Genehmigungen in Rheinland-Pfalz nach einem Maximum in 2006 mit ca. 1500 Anlagen kontinuierlich gesunken und 2014 bei etwa 500 neu errichteten Anlagen angekommen. Die Statistik des Statistischen Landesamtes (www.statistik.rlp.de am 30.4.2016) nennt bei 5093 erteilten Baugenehmigungen für Einfamilienhäuser im Jahr 2014 nur 407 mit geothermischer Heizungsanlage (ca. 8 %). Seit Beginn der statistischen Erfassung 2006 wurden nach Angaben des LGB im Landkreis Mainz-Bingen 338 Anlagen genehmigt, davon 2014 15 Anlagen und 2015 19 Anlagen. In der Ortsgemeinde Stackeden-Elsheim wurden

bisher lediglich vier Anlagen installiert. Im benachbarten Landkreis Alzey-Worms stellt sich die Situation ähnlich dar. Bisher wurden nur 168 Anlagen genehmigt, davon 2014 sechs und 2015 fünf Anlagen. Da in Rheinhessen die für eine Genehmigung erforderlichen Voraussetzungen häufig gegeben sind, bedeutet das, dass die Nachfrage ebenfalls gering war. Die Ursachen mögen in der seit Jahren weggefallenen finanziellen Förderung und in den höheren Investitionskosten im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen zu suchen sein.

8. Fazit

Die verfügbaren öffentlichen Informationen sind sicher eine gute Hilfe in der Planungsphase von Heizungssystemen mit Erdwärme. Der relativ kleine Maßstab der im Internet zugänglichen Karten und die inhomogene Verteilung von Referenzpunkten erlaubt jedoch meist keine auf ein bestimmtes Grundstück bezogene, parzellenscharfe Aussage. Die Beiziehung von geologischem Sachverstand bei der Planung und Bemessung der Erdwärmesonden im Hinblick auf die mögliche Entzugsleistung beim tatsächlich angetroffenen Untergrund ist deshalb nach wie vor dringend anzuraten, um später nur mit erheblichem Aufwand korrigierbare Fehlplanungen zu vermeiden.

Die Errichtung einer Anlage zur Beheizung eines Einfamilienhauses hat sich im geschilderten Fall bisher unter praktischen und ökonomischen Gesichtspunkten bewährt. Die Kombination von geothermischer Heizung mit der Erzeugung elektrischer Energie durch Fotovoltaik stärkt die Wirtschaftlichkeit des Systems.

Es ist außerdem sinnvoll, den Anlagenbau und die Arbeiten zur Herstellung der notwendigen Bohrlöcher und Installation der Sonden an einen Generalunternehmer zu vergeben, um im Reklamationsfall Auseinandersetzungen mit mehreren Partnern bei unterschiedlichen Teilverantwortlichkeiten zu vermeiden.

Schriften

- COTÉ, J. & KONRAD, J.-M. (2005): Thermal Conductivity of Base – Course Materials. – *Can. Geotech. J.*, **42**, S. 61–78, Ottawa, Ont.
- DEHNER, U. (2007): Bestimmung der thermischen Eigenschaften von Böden als Grundlage für die Erdwärmennutzung. – *Mainzer geowiss. Mitt.*, **35**, S. 159–186, 16 Abb., 5 Taf., Mainz.
- Dienstleistungszentrum ländlicher Raum: www.am.rlp.de am 10.5.2016.
- DIN V 4279-7 (1994): Innendruckprüfung von Druckrohrleitungen für Wasser-Druckrohre aus Polyethylen. 7 S., (Beuth) Berlin.
- GOLWER, A. (1968): Paläogeographie des Hanauer Beckens im Oligozän und Miozän. – *Notizblatt hess. Landesamt Bodenforsch.*, **96**, S. 157–184, Wiesbaden.
- HÄFNER, F. (2015): Die Verwendung heimischer Naturwerksteine als Beitrag zur regionalen Identität von Rheinhessen. – *Mainzer geowiss. Mitt.*, **43**, S. 67–98, 30 Abb., Mainz.
- JOHANSEN, O. (1975): Thermal Conductivity of Soils. Ph. D. thesis, 236 S., Trondheim, Norway.
- KERSTEN, M. S. (1949): Thermal Properties of Soils. – *Bull. No. 28*, 227 S., Institute of Technology, Experiment Station, University of Minnesota, St. Paul, Mn.
- Kompetenzentrum für Klimawandelfolgen Rheinland-Pfalz: www.kwis-rlp.de am 19.4.2016.
- Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (verschiedene Jahre): *Archivakten*. – [unveröff.].
- Website www.lgb-rlp.de am 19.4.2016.

- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2012): Leitfaden zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie mit Erdwärmesonden. 35 S., Mainz.
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz: www.statistik.rlp.de am 30.4.2016.
- VDI-Richtlinie (Verein Deutscher Ingenieure, 2000): VDI 4640 Thermische Nutzungen des Untergrundes. Blatt 1. Düsseldorf.
- (2001): VDI 4640 Thermische Nutzungen des Untergrundes. Blatt 2. Düsseldorf.
- SCHÄFER, P. (2012): Mainzer Becken. – Sammlung geol.Führer, Bd. 79, 2. Auflage, 333 S., (Gebr. Borntraeger) Stuttgart.
- SCHÄFER, P. & KUHN W. (2004): Mikropaläontologische und lithologische Abgrenzungskriterien zwischen Oberem Rupelton [= Rosenberg-Subformation] und „Schleischsand“ [= Stackeden-Formation] im Rupelium (Tertiär) des Mainzer Beckens. – Mainzer geowiss. Mitt., 32, S. 139–178, 5 Abb., 2 Tab., 8 Taf., Mainz.
- WAGNER, W. (1931): Geologische Karte von Hessen im Maßstabe 1:25 000, Blatt (6014) Ober-Ingelheim und Erläuterungen. 118 S., (Hessischer Staatsverlag) Darmstadt.

Anschrift der Autoren:
Dr. FRIEDRICH HÄFNER,
Diplom-Wirtschaftsingenieur FRANK HÄFNER,
Dr. ANN-SOPHIE CRONEBERGER,
Im Gehren 35a, D-55257 Budenheim;
E-Mail: friedrich.haefner@gmx.de

Manuskript eingegangen am 13.5.2016