

Die Energieeffizienz der Grundwasser-Wärmepumpe Nr. 2201 in einer städtischen sozialen Einrichtung in Offenburg

Ein Bericht der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald)
im Rahmen der Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“ des „Feldtests Wärmepumpen“

Zeitraum: Oktober 2009 bis April 2011

1. Einführung und Aufgabenstellung

Im Hinblick auf die Anforderungen an den Klimaschutz und die geringer werdenden finanziellen Spielräume der Kommunen hat sich die Stadt Offenburg entschlossen, als Alternative zu den schon länger eingeführten Erdgas-Brennwertkesseln im Stadtteil- und Familienzentrum Innenstadt (SFZ) und dem Billetschen Schlösschen eine Grundwasser-Wärmepumpe zu erproben.

Grundwasser-Wärmepumpen haben wegen der relativ hohen Kaltquellentemperatur im Vergleich zu Erdreich- und Luft-Wärmepumpen das Potential, zu den Spitzenreitern bezüglich der Energieeffizienz zu gehören. Wie der "Feldtest Elektro-Wärmepumpen" am Oberrhein für Ein- bis Zweifamilienhäuser zeigte (Schlussbericht: www.agenda-energie-lahr.de), ist eine System-Jahresarbeitszahl von fast 4 möglich. Das Mittel liegt jedoch deutlich darunter. Die Gründe dafür lauten:

- Überdimensionierte und nicht ausreichend hohe Energieeffizienz der Brunnen-Förderpumpe
- Zu geringer Durchmesser der Förder- und Schluckbrunnen
- Fehlende Wartung der Schmutzfänger
- Fehler in der Anlagenkonzeption.

Die vorliegende Untersuchung hat die Aufgabe, die Energie-Effizienz einer Grundwasser-Wärmepumpe mit mittlerer Leistung unter realistischen Betriebsbedingungen zu ermitteln. Vorteilhaft ist die nur geringe Tiefe des Grundwasserspiegels und die hohe „Wegigkeit“ des Grundwassers in den oberrheinischen Kiesen. Nachteilig ist jedoch die erforderliche höhere Vorlauftemperatur und die Verluste des Nahwärmenetzes.

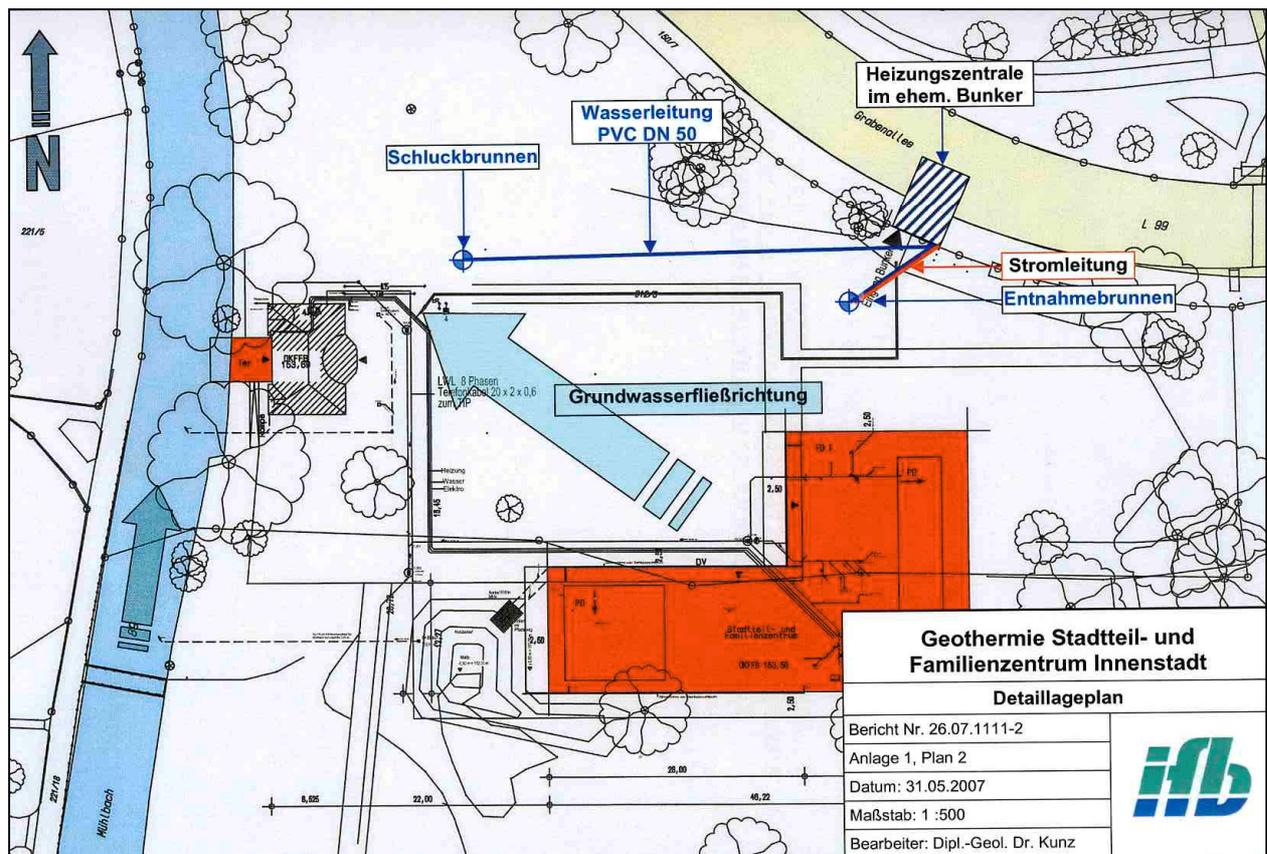
Der innovative Charakter des Projektes liegt darin, dass im Vergleich zu Niedrigenergie-Einfamilienhäusern andere Nutzungszyklen und -intensitäten vorliegen und der Heizwärmeverbrauch um etwa einen Faktor 10 höher liegt.

2. Grundwasser-Wärmepumpe

Die Grundwasser-Wärmepumpe ist in einem ehemaligen Bunker unter der Grabenallee untergebracht. Der Lageplan im Bild auf der nächsten Seite zeigt die Heizzentrale (oben rechts). Als Kaltquelle dient das Grundwasser, das über einen Entnahmebrunnen abgekühlt und über einen Schluckbrunnen wieder eingeleitet wird.

Der Grundwasserspiegel liegt in nur 3 m Tiefe. Die Entnahme- und Schluckbrunnen haben einen Durchmesser von 30 cm und lassen Fördermengen von mehr als 10 m³/h zu. Dabei variiert der Wasserspiegel nur um +/- 0,4 bis 0,5 m. Die Brunnen sind 12,5 m tief. Wegen der hohen Wegig-

keit des Grundwassers in den quartären Kiesen und Sanden und der geringen Förderhöhe liegen sehr gute Verhältnisse für die Wärmepumpennutzung vor.



Die Elektro-Wärmepumpe besteht aus drei Einheiten zu je 22 kW Nennleistung. Deren Heizwärme puffern drei Speicher zu je 1 m³ bei einer Temperatur von durchschnittlich 42°C, ehe sie über ein Nahwärmenetz (siehe Lageplan) zu den beiden Verbrauchern „Stadtteil- und Familienzentrum“ mit einer Fläche von 725 m² (Fußbodenheizung) und „Billetsches Schlösschen“ mit einer Fläche von 195 m² gelangt (Fußbodenheizung und zwei Radiator-Heizkörper).

Die Trinkwassererwärmung erfolgt wegen der relativ niedrigen Temperatur der Nahwärmeverteilung nicht über die Wärmepumpe, sondern separat in den beiden Häusern elektrisch. Sie ist nicht Gegenstand der Untersuchung.



3. Messtechnik

Die Wärmepumpe verfügte bereits über einen Wärmezähler. Er sitzt nicht an deren Ausgang, sondern erst hinter den drei Heizungspufferspeichern. Somit ist eine direkte Ermittlung der sog. *System*-Jahresarbeitszahl für die Wärme ab Heizungsraum möglich.

Die Begriffserklärungen der Jahresarbeitszahl und deren Unterscheidung in *Erzeuger*- und *System*-Jahresarbeitszahlen gehen aus der INFO-BOX rechts hervor.

Auf der elektrischen Seite erfasst ein Sonderzähler mit Nieder- und Hochtarifen nicht nur den Stromverbrauch der Wärmepumpen selbst, sondern auch noch der Hilfsenergien für die Förderpumpen, die Regelung und Steuerung sowie die Umwälzpumpe für das Nahwärmenetz. Da die Umwälzpumpe nicht Bestandteil der Wärmepumpe ist -sie ist auch bei einem Erdgas-Brennwertkessel erforderlich-, wird deren Stromverbrauch mit Hilfe eines Zwischenzählers herausgerechnet. Ein Not-Heizstab ist nicht vorhanden.

Das Hochbauamt der Stadt Offenburg meldete der Agenda-Gruppe während der Heizperiode wöchentlich die Ablesewerte der Wärme- und Elektrozähler. Zusätzlich steht noch die Umgebungstemperatur einer automatischen Wetterstation der Agenda-Gruppe in Lahr zur Verfügung. Alle Messwerte werden zeitnah auf Plausibilität überprüft und rechnerisch verknüpft.

4. Ergebnisse

Die Energieeffizienz-Messungen erstreckten sich über einen Zeitraum von Oktober 2009 bis April 2011. Die Pufferspeichertemperatur betrug durchschnittlich 42 °C mit einer Variation den 36 bis 48 °C. Für die Fußbodenheizung im Familienzentrum ist sie recht hoch, war jedoch mit Rücksicht auf die nicht mögliche Wärmedämmung beim denkmalgeschützten Schlossens notwendig. Mit Hilfe der Formel

$$SJAZ = Q / (NT + HT - UP),$$

mit SJAZ = *System*-Jahresarbeitszahl
Q = Wärmeabgabe an Verbraucher Heizung SFZ und Billetsches Schloßchen
NT = Sonder-Elektrozähler Niedertarif
HT = Sonder-Elektrozähler Hochtarif
UP = Stromverbrauch Umwälzpumpe Heizkreis,

ergeben sich eine für die die Winter 2009/10 und 2010/11 durchschnittliche

INFO-BOX: Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl JAZ einer Wärmepumpe ist definiert als das Verhältnis von jährlich erzeugter Wärme am Ausgang zum notwendigen Strom an deren Eingang.

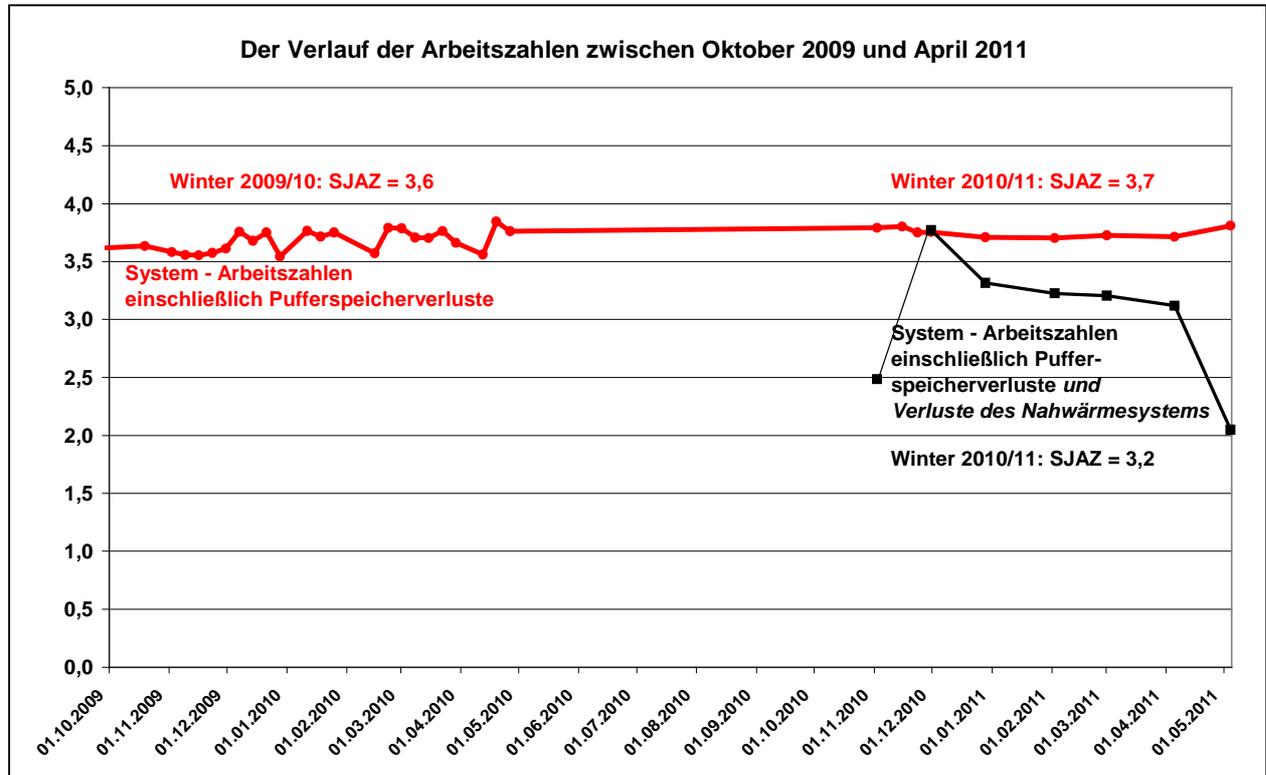
Laut der Deutschen Energieagentur (dena) in Berlin und des RWE in Essen muss die Jahresarbeitszahl größer als JAZ = 3 sein, um Wärmepumpen als "energieeffizient" und größer als JAZ = 3,5 sein, um sie als "nennenswert energieeffizient" bezeichnen zu können.

Die günstigere *Erzeuger*-Jahresarbeitszahl EJAZ wird direkt hinter der Wärmepumpe gemessen und berücksichtigt die Wärme am Ausgang der Wärmepumpe sowie den Strom für die Wärmepumpe selbst und für die Erschließung der Kaltquellen.

Die für die Energieeffizienz und den Klimaschutz maßgebliche *System*-Jahresarbeitszahl SJAZ berücksichtigt auch noch die folgenden Verlustquellen: Heizungspuffer- und Warmwasserspeicher, Abtauenergie des Lamellenverdampfers bei Luft-Wärmepumpen, Notheizstab und Speicher-Ladepumpen. Die SJAZ bilanziert also die Nutzenergien des Wärmepumpensystems.

System-Jahresarbeitszahlen von 3,6 bzw. 3,7.

Die folgende Graphik zeigt den wöchentlichen (2009/10) und monatlichen (2010/11) Verlauf der System-Arbeitszahlen (rote Kurve). Sie variieren nur wenig. Der erste Winter war um $+0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu warm gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 bis 1990 in Lahr und der zweite um $+0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aus diesem Grunde erhöht sich die Jahresarbeitszahl auch etwas. Der Heizwärmeverbrauch ab Heizzentrale betrug im ersten Winter 84,5 MWh und im zweiten 77,2 MWh (etwas wärme Witterung).



In der zweiten Heizperiode montierte das Hochbauamt der Stadt Offenburg noch einen Wärmehähler im Stadtteil- und Familienzentrum und einen im Billetschen Schlösschen. Die Differenz zu dem bereits vorhandenen Gesamtzähler in der Heizzentrale verursachen die Verluste des Nahwärmenetzes: Als Nutzwärme kam statt 77,2 MWh nur 66,0 MWh an (minus 14%). Das entspricht im Winter 2010/11 bei einer gesamten beheizten Fläche von 920 m² einem spezifischen Wert von 72 kWh/m² und Jahr.

Unter Berücksichtigung der Verluste des Nahwärmenetzes erniedrigt sich die System-Jahresarbeitszahl von 3,7 auf 3,2 (schwarze Kurve). Die niedrigen Arbeitszahlen zu Beginn und am Ende des Winters sind durch die relativ hohen Speicher- und Rohrleitungsverluste im Vergleich zur Nutzenergie bedingt.

5. Bewertung

Die ermittelten *System*-Jahresarbeitszahlen von 3,6 bis 3,7 sind laut der Deutschen Energieagentur und des Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerkes als „nennenswert energieeffizient“ einzustufen (siehe INFO-BOX auf Seite 3). Dieser Wert liegt um etwa 20% über dem Mittel der Grundwasser-Wärmepumpen in der Phase 1 des „Feldtests Wärmepumpen“ der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald); der Schlussbericht steht www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase1.html. Gemäß der Klassifizierungs- und Bewertungstabelle

der Agenda-Gruppe ist die SJAZ als „befriedigend“ zu bezeichnen (siehe www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html).

Die Ursachen für die Verbesserung der Energieeffizienz gegenüber den bisher untersuchten Ein- und Zweifamilienhäusern in der Phase 1 sind:

- Gute Voraussetzungen bei der Erschließung der Kaltquelle „Grundwasser“
- Besseres Verhältnis der elektrischen Nennleistungen der Förderpumpe zur Verdichterleistung der Wärmepumpe.

Dem stehen im vorliegenden Fall freilich gegenüber

- die relativ hohe Temperatur von 42 ° des Heizungspufferspeichers
- die Wärmeverluste des 3 m³ - Speichers und der Rohrleitungen des Nahwärmenetzes.

In der Bilanz führt das dazu, dass auch die bessere *Erzeuger*-Jahresarbeitszahl (siehe INFO-Box auf Seite 3) nicht über 4 kommt, wenn man aus Erfahrung die Verluste des Heizungspufferspeichers auf etwa 0,2 – Arbeitszahlpunkte schätzt. Zum Vergleich: Andere Planer und Hersteller kommen bei einer Grundwasser-Wärmepumpe in Freiburg auf eine *Erzeuger*-Jahresarbeitszahl von 4,3. Es handelt sich um eine Reihenhaussiedlung mit 13 Wohneinheiten und ebenfalls einem kleinen Nahwärmenetz. Eine so hohe, „gute“ Arbeitszahl (Agenda-Gruppe – Klassifizierung) war allerdings erst nach einer Ertüchtigung über mehrere Monate im ersten Messjahr möglich (Software- und Regelungsprobleme bei den zwei Wärmepumpeneinheiten).

6. Aussicht

Um die hohen Wärmeverluste der Heizungspufferspeicher und der Rohrleitungen des Nahwärmenetzes zu verringern, sollte zukünftig geprüft werden, die sog. Kalte Nahwärme zu nutzen. Bei ihr gibt es auch nur eine Brunnenanlage, das Grundwasser wird aber über kalte Ring- und Stichleitungen zu den einzelnen Wohngebäuden geführt und erst dort mit Hilfe von Wärmepumpen auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben.

Ein solches System gibt es bereits bei Freiburg, und in Ettenheim ist es angedacht. Die Agenda-Gruppe empfiehlt jedoch dringend, im Rahmen einer Vorplanung zunächst belastbares Zahlenmaterial aus der Praxis einzuholen; das betrifft die gemessene Jahresarbeitszahl und die Investitionskosten.

Die vorliegende Energie-Effizienzanalyse war Teil einer Untersuchung des Hochbauamt der Stadt Offenburg im Rahmen des Bundesforschungsprogramms
„Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“, Modul 2.2: „Wirkanalyse Geothermie“

Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald)

Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“ des „Feldtests Wärmepumpen“

Dr. Falk Auer und Herbert Schote, [nes-auer\(at\)t-online.de](mailto:nes-auer(at)t-online.de), www.agenda-energie-lahr.de

Im August 2011