

# Die Energieeffizienz einer Direktverdampfer - Erdkollektor-Wärmepumpe Nr. 2302

in einem Einfamilienhaus in Bernstadt bei Ulm

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

## 1. Einführung und Aufgabenstellung

Im Hinblick auf die zunehmenden Anforderungen an den Klimaschutz hat sich eine zweiköpfige Familie aus Bernstadt bei Ulm entschlossen, eine Direktverdampfer – Erdkollektor-Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus zu erproben.

Erdreich-Wärmepumpen gehören wegen der höheren Kaltquellentemperatur im Vergleich zu den kritisch zu bewertenden Luft-Wärmepumpen zu den Spitzenreitern bei der Energieeffizienz. Wie die Phase 1 des "Feldtests Elektro-Wärmepumpen" am Oberrhein zeigte (Schlussbericht: [www.agenda-energie-lahr.de](http://www.agenda-energie-lahr.de)), sind Jahresarbeitszahlen von über 4 möglich (siehe INFO-BOX „Jahresarbeitszahl“ rechts).

Das Mittel liegt jedoch mit 3,4 deutlich darunter. Die Gründe liegen in einer nicht-optimalen Auslegung, unzureichender Anpassung der Kaltquellen und Wärmesenken an die Wärmepumpe und deren nicht-fachgerechter Einbau und Betrieb.

Wegen der nur mäßigen bis schlechten Ergebnisse der Phase 1 entschloss sich die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr (Schwarzwald) zu einer Phase 2 mit dem Titel „Innovative Wärmepumpensysteme“. Die Hoffnung war, dass jetzt die Hersteller und Handwerker mit neuester Technik und verbessertem Wissen bei der Systemoptimierung angetreten sind.

Die untersuchte Wärmepumpe ist eine von zwanzig Wärmepumpen der Phase 2 des insgesamt sieben Jahre andauernden „Feldtests Wärmepumpen“. Die Agenda - Gruppe ermittelt bei ihr die Jahresarbeitszahl, die wichtigste Kenngröße zur Beurteilung der Energieeffizienz, unter realistischen Betriebsbedingungen über ein Jahr.

Der innovative Charakter dieser Wärmepumpe besteht darin, dass in dem in geringer Tiefe verlegten horizontalen Flächenregister kein Wasser-Glykolegemisch für den Austrag der Erdwärme zirkuliert, sondern direkt das Medium des Kältemittelkreislaufes der Wärmepumpe selbst. Dadurch ist keine Umwälzpumpe und Wärmetauscher erforderlich. Beides lässt eine Erhöhung der Jahresarbeitszahl im Vergleich zu bisherigen Erdreich-Wärmepumpen erwarten.

### 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 Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (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.

## 2. Wärmepumpe und Niedrigenergiehaus

### 2.1 Wärmepumpe



Als Kaltquelle der Wärmepumpe dient ein horizontales Flächenregister. In einer Tiefe von etwa einem Meter entziehen neun kunststoffummantelte Kreisleitungen aus Kupfer mit einer Gesamtlänge von 630 m auf einer Bodenfläche von 300 m<sup>2</sup> dem Erdreich die Wärme. In den Erdreich-Registern zirkuliert direkt das Kältemittel der Wärmepumpe. Eine Sommerkühlung des Hauses wie bei einer Erdsonde mit einem Wasser-Glykolgemisch ist bei solch einem Direktverdampfersystem nicht möglich.

Die Wärmepumpe hat eine Nennleistung von konstant 11 kW-thermisch (keine Modulation) und laut Datenblatt eine Leistungsziffer von 5,5; daraus folgt eine elektrische Leistung von 2 kW. Besondere Merkmale sind der Scrollverdichter und eine so genannte DSI-Technik. Wegen des 630 m langen externen Kältemittelkreislaufes ist ein geschulter Kältemitteltechniker notwendig.

Die Wärmepumpe versorgt ohne einen Heizungspufferspeicher direkt (!) die Fußbodenheizung (siehe Graphik auf der nächsten Seite); einen Notheizstab und eine Zirkulationsleitung gibt es nicht. Die Warmwasserversorgung erfolgt mit einer Vorrangschaltung über einen 500 Liter Speicher und eine externe Frischwassereinheit (keine Legionellengefahr).

### 2.2 Niedrigenergiehaus

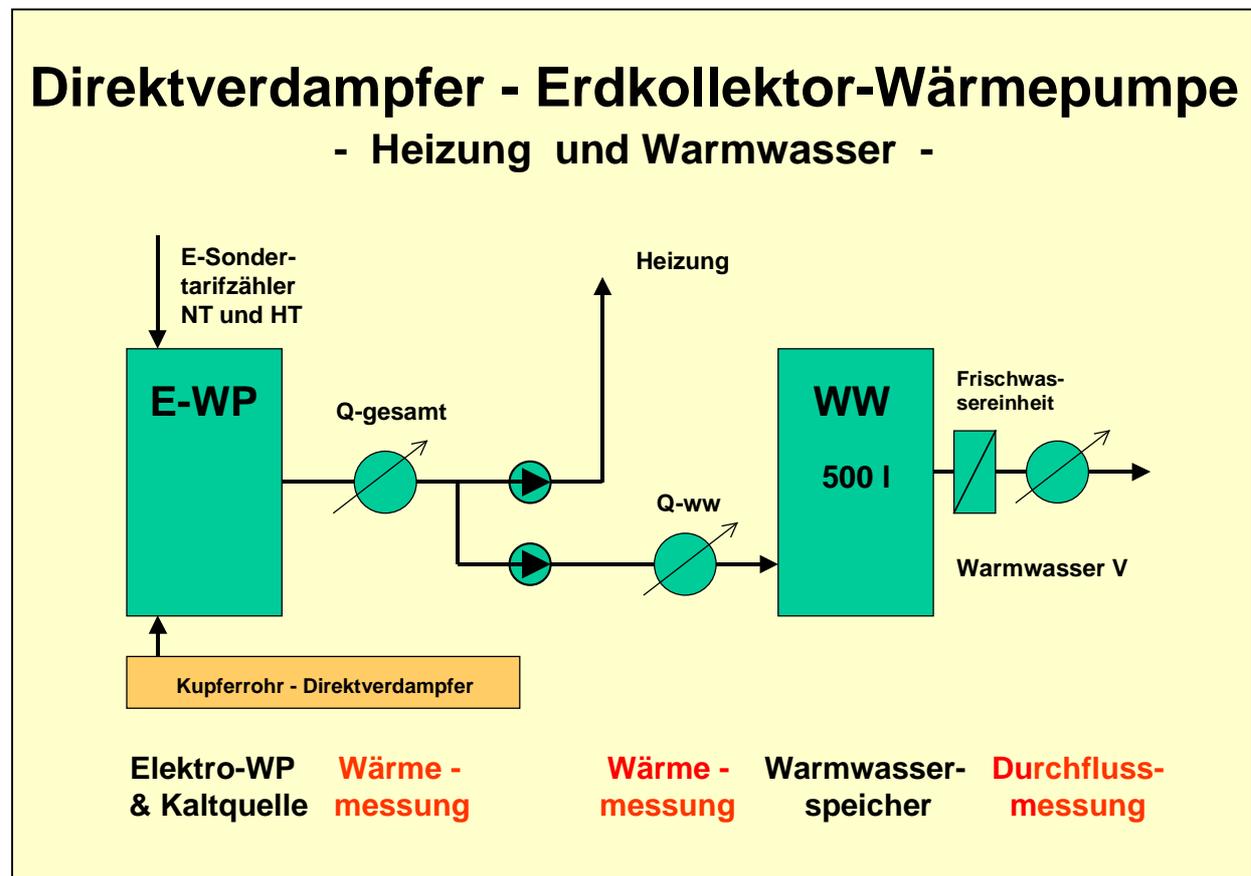
Die Wärmepumpe beheizt ein Einfamilienhaus mit einer Fußbodenheizung in Bernstadt bei Ulm. Es handelt sich um ein Niedrigenergiehaus mit dem Standard KfW60 aus dem Jahre 2007 mit einer beheizten Fläche von rund 180 m<sup>2</sup>. Das Haus bewohnen zwei Erwachsene.

Der gemessene Heiz-Wärmeverbrauch betrug von Januar 2012 bis Dezember 2012 12,2 MWh; das entspricht einem spezifischen Verbrauch von 68 kWh/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Die Bewohner verbrauchten übers Jahr Warmwasser in Höhe von 33 Liter pro Person und Tag bei 45°C Nutztemperatur. Dieser Wert liegt im oberen Bereich einer gemessenen Bandbreite von 12 – 38 Litern pro Person und Tag im Rahmen der Phasen 1 und 2 des „Feldtests Wärmepumpen“.



### 3. Messtechnik

Das Wärmepumpensystem verfügt über zwei Wärmehähler und einen Durchflussmesser für das Warmwasser (siehe Graphik). Zusammen mit den Sondertarifzählern und eines Unterzählers für die Umwälzpumpe des Heizkreises (geht nicht in die Energiebilanz ein) ist die Bestimmung der *Erzeuger-* und *System* – Jahresarbeitszahlen möglich (siehe INFO-BOX „Jahresarbeitszahl“ auf Seite 1).



Mit Hilfe der Formeln

*Erzeuger*-Jahresarbeitszahl

$$EJAZ = Q_{\text{gesamt}} / (NT + HT - UP_{\text{ww}} - UP_{\text{hz}}) \text{ und}$$

*System*-Jahresarbeitszahl

$$SJAZ = (Q_{\text{gesamt}} - Q_{\text{ww}} + (F * V)) / (NT + HT - UP_{\text{hz}}),$$

mit  $Q_{\text{gesamt}}$  = Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwasser (kWh-thermisch)

$Q_{\text{ww}}$  = Wärmeeintrag in Trinkwasserspeicher (kWh-thermisch)

NT = Sonder-Elektrozähler mit Niedertarif (kWh-elektrisch)

HT = Sonder-Elektrozähler mit Hochtarif (kWh-elektrisch)

$UP_{\text{ww}}$  = Ladepumpe Trinkwasserspeicher (kWh-elektrisch)

$UP_{\text{hz}}$  = Umwälzpumpe Heizung (kWh-elektrisch): Geht nicht in die Bilanz ein, weil sie auch für Öl- oder Gasheizungen notwendig ist.

V = Volumen Warmwasserverbrauch ( $m^3$ ) und

F = 39, Umrechnungsfaktor Durchfluss in  $m^3$  zu kWh-thermisch (Kaltwasser =  $11^\circ\text{C}$ , Warmwasser =  $45^\circ\text{C}$ )

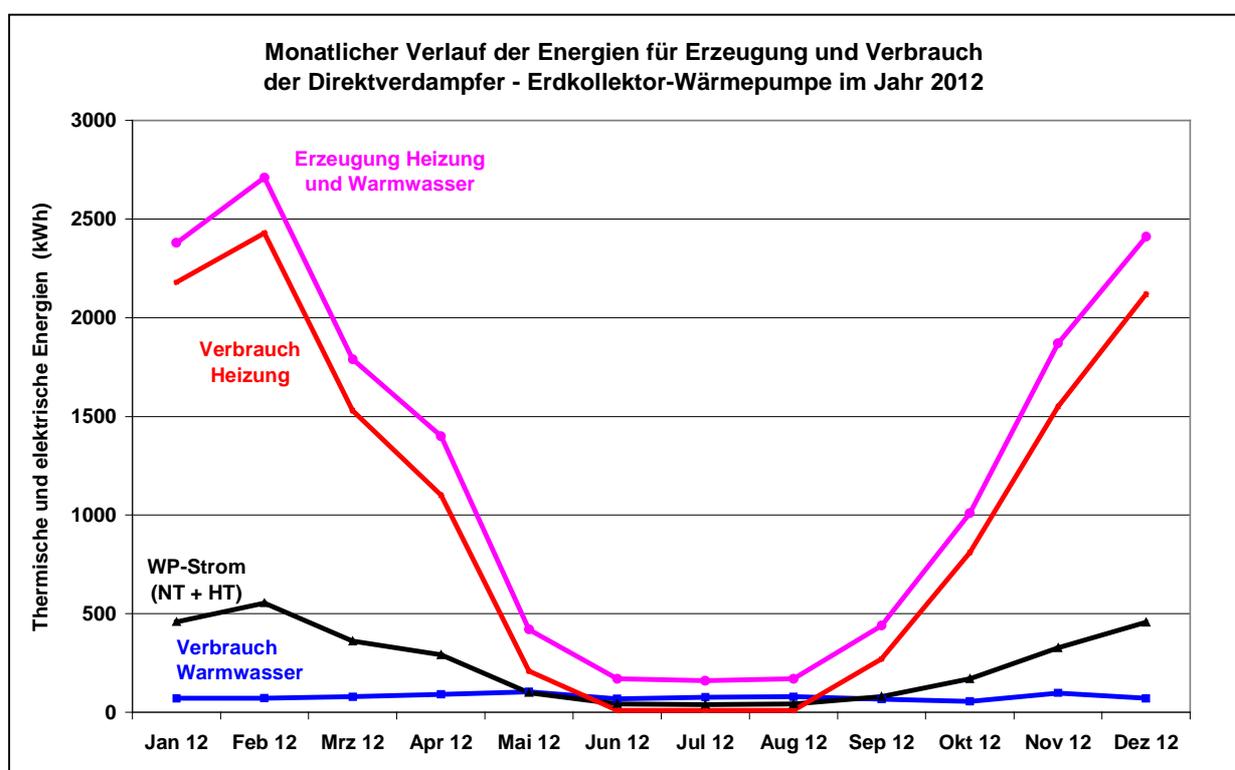
lassen sich die wichtigsten Kenngrößen für die Beurteilung der Energieeffizienz von Elektro-Wärmepumpen bestimmen.

Vorteilhaft beim vorliegenden Wärmepumpensystem ist nicht nur der nicht notwendige Wärmetauscher und die Umwälzpumpe auf der Primärseite der Wärmepumpe, sondern auch noch der nicht erforderliche Notheizstab, der fehlende Heizungspufferspeicher und die nicht benutzte Zirkulationsleitung auf der Sekundärseite.

Der Betreiber meldete der Agenda-Gruppe monatlich die Ablesewerte der Wärme- und Elektrozähler, die sie zeitnah auf Plausibilität überprüfte.

#### 4. Ergebnisse

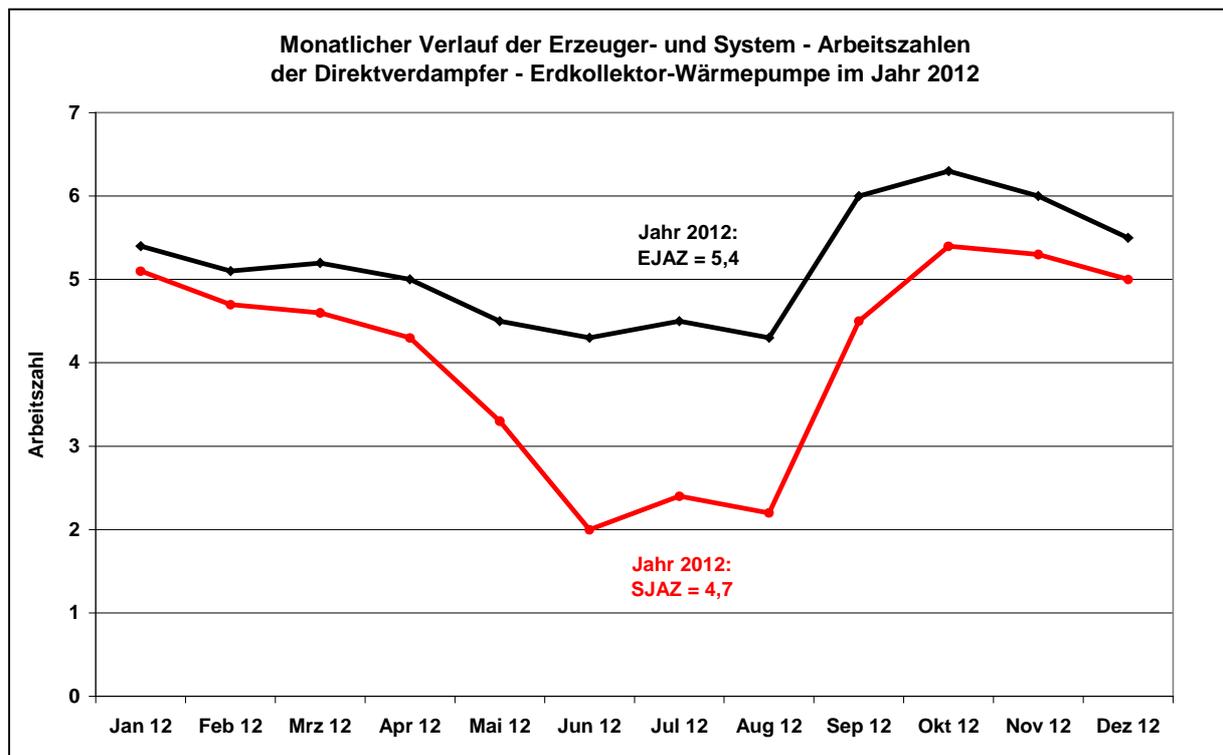
Die Messungen begannen im Januar 2012 und endeten im Dezember 2012. Es steht somit ein volles Jahr zur Berechnung der Energieeffizienz des Wärmepumpensystems zur Verfügung. Die folgende Graphik zeigt die monatlichen Verläufe der erzeugten und verbrauchten Wärmen und die dazu notwendige elektrische Energie.



Der Jahresverbrauch von Heizung und Warmwasser beträgt 12,23 MWh bzw. 0,93 MWh; dazu ist ein thermischer Aufwand von 14,93 MWh erforderlich. Die Differenz zwischen der erzeugten und genutzten Wärme in Höhe von 1,77 MWh rührt von den Verlusten des Trinkwasserspeichers und der Rohrleitungen. Der Anteil des Warmwasserverbrauches am gesamten Wärmeverbrauch des Hauses beträgt 7,1 %

Zur Deckung des Verbrauchs für die Heizung und das Warmwasser ist eine elektrische Energie von 2,93 MWh notwendig. Der Anteil des Hochtarifes am gesamten Strombezug für die Wärmepumpe beträgt 3%.

Die Graphik auf der nächsten Seite zeigt den Verlauf der monatlichen Arbeitszahlen des Direktverdampfer – Erdkollektor-Wärmepumpensystems. Die Erzeuger- (EJAZ) und System-Arbeitszahlen (SJAZ) bewegen sich in der Heizperiode zwischen 5 und 6. Im Sommer liegen Sie dagegen -insbesondere die System-Arbeitszahl- deutlich niedriger. Die Gründe: Die relativ hohen Wärmeverluste des Trinkwasserspeichers und der Rohrleitungen bei nur geringer Nutzenergie.



Die *Erzeuger*- und *System* - Jahresarbeitszahl beträgt **5,4** bzw. **4,7**. Die gemessenen Jahresarbeitszahlen von um die 5 liegen nicht nur beträchtlich über den Mindest-Vorgaben der Deutschen Energieagentur und des Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerkes für eine „nennenswerte Energieeffizienz“ in Höhe von 3,5 (siehe INFO-BOX auf Seite 1), sondern auch noch beachtlich über den zwei höchsten Einzelwerten der *Erzeuger*-Jahresarbeitszahlen von 4,3 bzw. 4,4, die die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr unter 13 Erdreich-Wärmepumpen in der Phase 1 des „Feldtests Wärmepumpen“ ermittelte.

Die Agenda-Gruppe wertet das als ein „ausgezeichnetes“ (EJAZ) bzw. „sehr gutes“ (SJAZ) Ergebnis mit einem hohen Beitrag zum Klimaschutz. Grundlage dieser Einstufung ist die „Klassifizierung und Bewertung von Jahresarbeitszahlen“ unter [www.agenda-energie-lahr.de/JAZ-Klassifizierung.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/JAZ-Klassifizierung.html). Dieser Erfolg beruht zu einem beachtlichen Teil auf

- nicht notwendigem Wärmetauscher und Umwälzpumpe auf der Kaltquellenseite, bedingt durch die Direktverdampfung
- fehlendem Heizungspufferspeicher (bei einer Fußbodenheizung auch nicht notwendig) und Notheizstab
- Fußbodenheizung mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 32 °C (je tiefer, desto besser) und fehlende Zirkulationsleistung für das Trinkwasser.

Das Ergebnis des Direktverdampfer – Erdkollektor-Wärmepumpensystems ist nur noch vergleichbar mit der CO<sub>2</sub>-Erdsonden-Wärmepumpe Nr. 2301 und der solarunterstützten Erdkollektor-Wärmepumpe Nr. 2402, deren Berichte nachzulesen sind unter <http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html>.

Dr. Falk Auer und Herbert Schote  
 nes-auer(at)t-online.de und [www.agenda-energie-lahr.de](http://www.agenda-energie-lahr.de)  
 Lahr (Schwarzwald), im Januar 2013