

# Die Energieeffizienz der **Luft-Wasser – Elektro-Wärmepumpe Nr. 2105** in einem Einfamilienhaus in Waldshut (Südschwarzwald)

Schlussbericht 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 arbeiten zur Zeit viele Firmen daran, die nur mäßigen bis fehlenden Energieeffizienzen von Luft-Wärmepumpen zu verbessern. Die Gründe für den Leistungsmangel liegen in einer nicht-optimalen Auslegung, unzureichender Anpassung der Kaltquellen und Wärmesenken an die Wärmepumpe und deren nicht-fachgerechter Einbau und Betrieb (siehe [www.agenda-energie-lahr.de](http://www.agenda-energie-lahr.de)). Mit neuester Technik und verbessertem Fachwissen könnte es gelingen, die Jahresarbeitszahl auch von Luft-Wärmepumpen auf über  $JAZ = 3,0$  anzuheben, um sie aus Sicht der Deutschen Energieagentur und des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes als „energieeffizient“ bezeichnen zu können (siehe INFO-BOX rechts „Jahresarbeitszahl“).

Innovative Merkmale könnten sein: Eine variable Kompressorleistung, der Übergang von mechanischen zu elektronischen Komponenten, zweistufige Verdichtung und eine verbesserte Regelstrategie.

Ob und gegebenenfalls in welchem Maße noch Energieeffizienzsteigerungen möglich sind, hat die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald) an einer Luft-Wärmepumpe der zweiten Generation untersucht. Sie arbeitet in einem Einfamilienhaus einer vierköpfigen Familie im Südschwarzwald und ist eine von fünfzehn Wärmepumpen, die an der Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“ des „Feldtests Wärmepumpen“ teilnimmt. Die Agenda-Gruppe ermittelte die Jahresarbeitszahl unter realistischen Betriebsbedingungen über zwei Jahre.

## 2. Luft-Wärmepumpe und Niedrigenergiehaus

Die Wärmepumpe hat eine Nennleistung von 9 kW-thermisch und laut Datenblatt eine Leistungszahl COP (Coefficient of Performance) von 3,8; daraus folgt eine elektrische Leistung von

### 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.

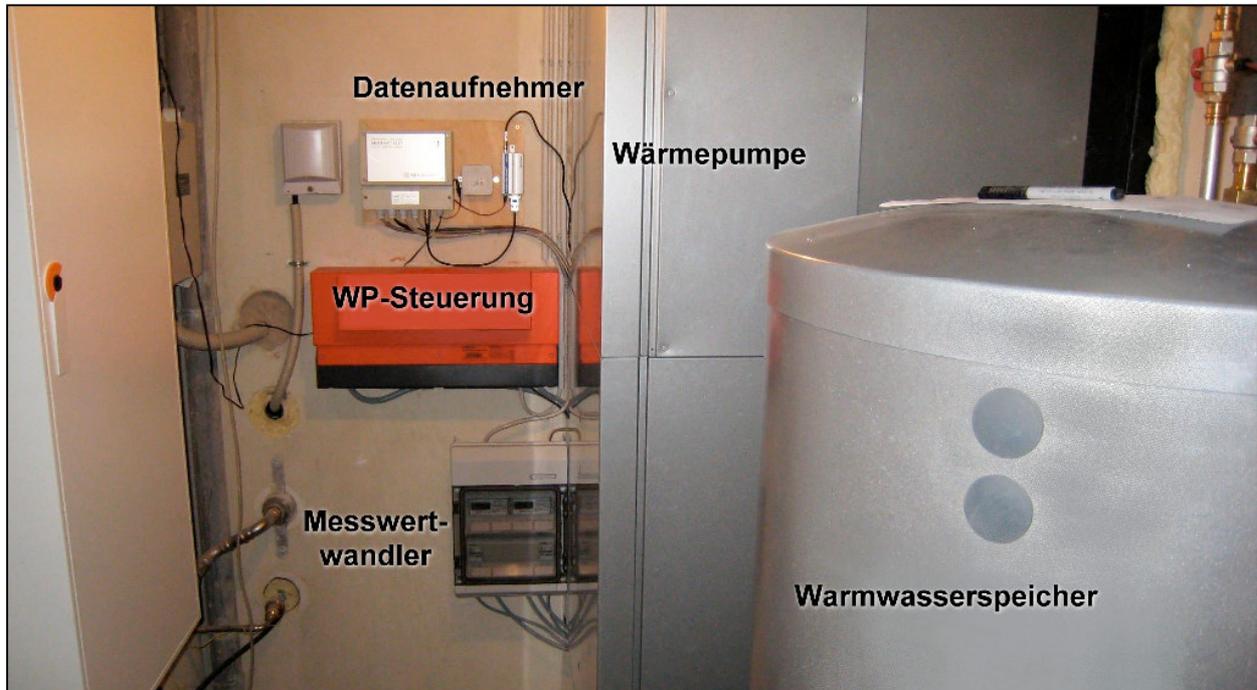
Laut der Deutschen Energieagentur (dena) in Berlin und des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) in Essen muss die Jahresarbeitszahl größer als  $JAZ = 3$  sein, um Wärmepumpen als „energieeffizient“ und größer als  $JAZ = 3,5$  sein, um sie als „nennenswert energieeffizient“ bezeichnen zu können. Das sind schwache Energieeffizienzziele. Besorgte Klima- und Umweltschützer fordern eine  $JAZ = 4,0$  – das verspricht schließlich auch die Werbung.

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.

2,4 kW. Besondere Merkmale sind der Scrollverdichter mit variabler Leistung (modulierend 3-9 kW) und ein elektronisches Einspritzsystem.

Die Wärmepumpe versorgt ohne einen Heizungspufferspeicher direkt (!) die Fußbodenheizung. Sollte die Heizleistung einmal nicht ausreichen, dann wird ein Notheizstab aktiv. Die Warmwasserversorgung erfolgt mit Hilfe einer Vorrangschaltung über einen 300 Liter Speicher ebenfalls mit der Wärmepumpe.



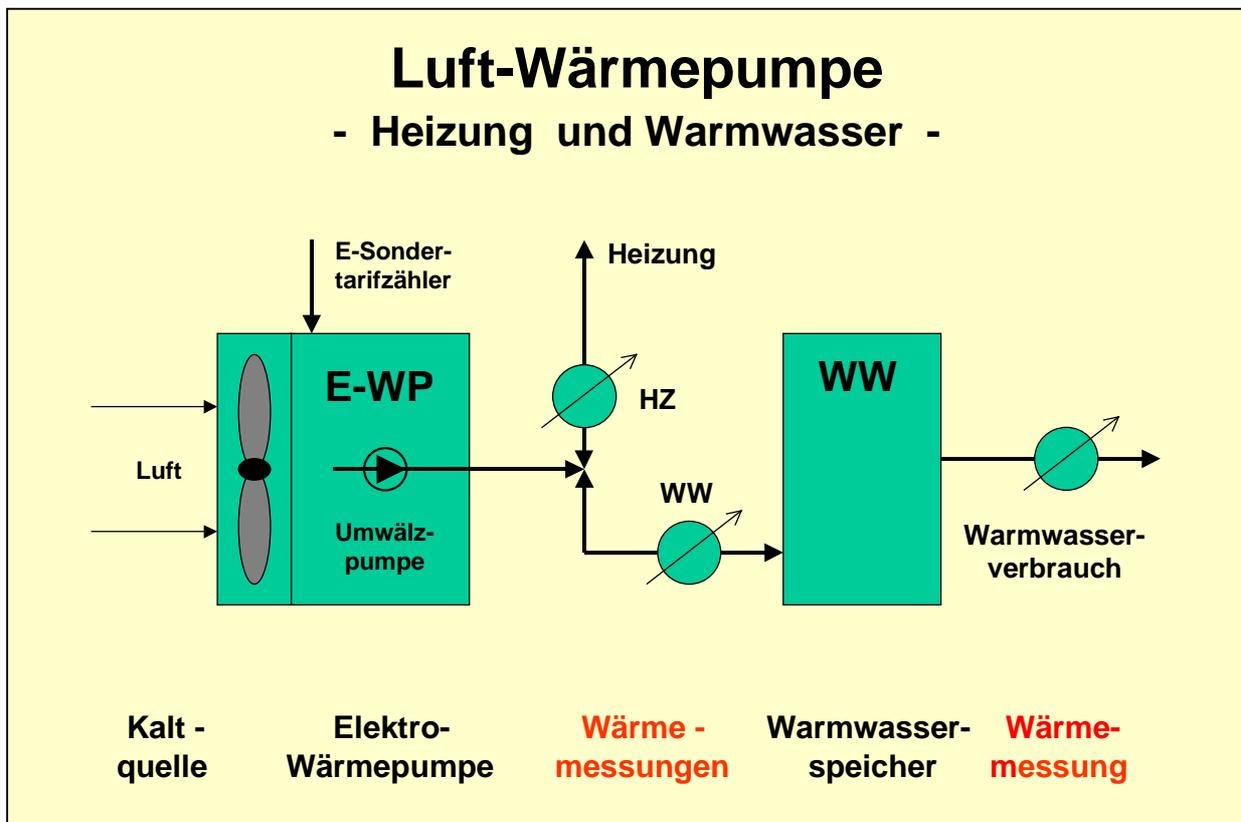
Die Wärmepumpe beheizt ein Einfamilienhaus mit einer Fußbodenheizung in Waldshut (Südschwarzwald). Es handelt sich um einen Neubau aus dem Jahre 2008 mit dem Niedrigenergiehaus-Standard KfW 60 und einer beheizten Fläche von 150 m<sup>2</sup>. Das Haus bewohnen zwei Erwachsene und zwei Kinder.

Der gemessene Heiz-Wärmeverbrauch betrug zwischen Mai 2009 und April 2011 10,5 MWh pro Jahr, was 70 kWh/m<sup>2</sup> Wohnfläche entspricht. Der Warmwasserverbrauch belief sich auf 1325 kWh pro Jahr. Das entspricht 20 Liter pro Person und Tag, ein Wert, der im unteren Bereich der Warmwasserverbräuche zwischen 17 und 33 Liter pro Person und Tag in der Phase 1 des „Feldtests Wärmepumpen“ liegt.

### 3. Messtechnik

Die Messstellen der Wärmepumpenanlage zeigt das Prinzipschaltbild auf der nächsten Seite. Die automatische Messwerterfassungsanlage MODAS 1217 tastet im Rhythmus von zwei Sekunden

(Scanrate) alle siebzehn Messkanäle ab und speichert die berechneten Mittelwerte in Zehn-Minuten-Intervallen. Für Sonderuntersuchungen sind aber auch Abspeicherungen im 1 min – Takt möglich. Die Datenfernübertragung erfolgt je nach Bedarf wöchentlich bis monatlich über ein GSM-Funk-Modem.



Das Wärmepumpensystem verfügt über drei Wärmezähler. Die Wärmezähler für Heizung und Warmwasser können auch „rückwärts“ zählen („Kälte“), um die notwendigen Abtauenergien für den Lamellenverdampfer aus der Fußbodenheizung und des Warmwasserspeichers erfassen zu können.

Zusammen mit den Sondertarifzählern und Unterzählern (der Strom der Umwälzpumpe für den Heizkreis geht nicht in die Bilanz ein) ist die Bestimmung der *Erzeuger*- und *System* – Jahresarbeitszahlen möglich (siehe INFO-BOX „Jahresarbeitszahl“ auf Seite 1).

Die *Erzeuger*-Jahresarbeitszahl EJAZ wird direkt hinter der Wärmepumpe gemessen.; sie beschreibt nur die Energieeffizienz der Wärmepumpe selbst. Wichtiger für den Beitrag zum Klimaschutz ist jedoch die *System*-Jahresarbeitszahl SJAZ. Sie bilanziert die bereitgestellten *Nutzenergien* vor der Übergabe an die Heiz- und Warmwasserverteilung. Die SJAZ berücksichtigt also auch die Verluste des Warmwasserspeichers und die elektrische Energie der Speicher-Ladepumpe. Vorteilhaft beim vorliegenden Wärmepumpensystem ist der fehlende Heizungspufferspeicher.

Die Bestimmung der Erzeuger- und System-Arbeitszahlen ist wie folgt möglich (Kxx = Kanalnummern des Datenaufnehmers MODAS 1217, siehe unten stehende Erklärungen):

$$\text{Erzeuger-Arbeitszahl} \quad \text{EAZ} = ((K09 - K10) + (K11 - K12)) / K14$$

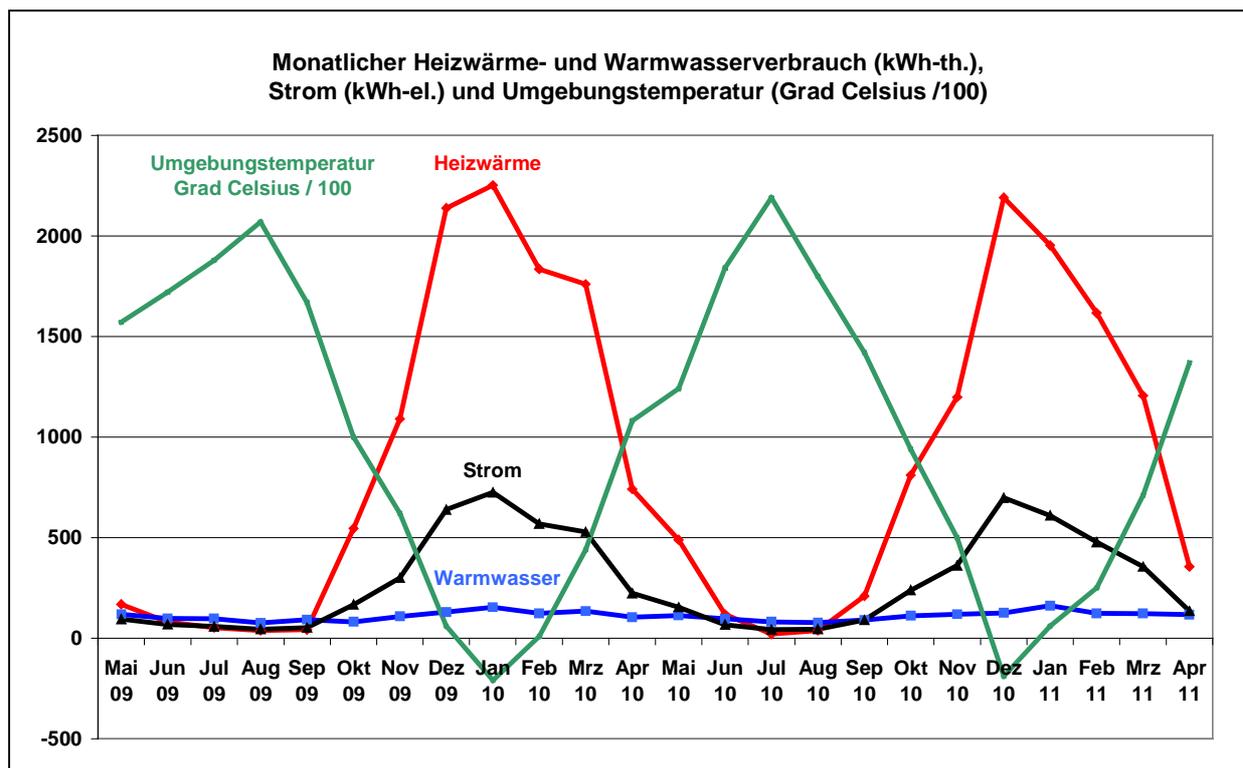
$$\text{System-Arbeitszahl} \quad \text{SAZ} = ((K09 - K10) + K13Q) / (K14 + K16 * F + K17)$$

mit K09 Wärme Heizkreis (Erzeugung und Verbrauch)

- K10 Entzogene Wärme Heizkreis (Abtauenergie Lamellenverdampfer)
- K11 Wärme zum Warmwasserspeicher
- K12 Entzogene Wärme Warmwasserspeicher (Abtauenergie Lamellenverdampfer)
- K13 Wärme nach dem Warmwasserspeicher (Verbrauch Warmwasser)
- K14 Elektrische Energie Wärmepumpe gesamt
- K16 Elektrische Energie Umwälzpumpe Heizkreis
- K17 Elektrische Energie Notheizstab
- F Flag = 1, wenn Wärmepumpe auf Warmwasserspeicher arbeitet, sonst = 0  
(Berücksichtigung der Ladepumpe für den Warmwasserspeicher,  
aber nicht der Umwälzpumpe für den Heizkreis).

#### 4. Ergebnisse

Die folgende Graphik zeigt den monatlichen Verlauf von Mai 2009 bis April 2011 der Umgebungstemperatur, der Wärmeverbräuche für Heizung und Warmwasser sowie den dazugehörigen Strom für die Wärmepumpe. Er beinhaltet die Messgrößen K14 + K16 \* F + K17 wie in Kapitel 3 definiert. Die Winter 2009/10 und 2010/11 waren in Lahr (Schwarzwald) gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 – 1990 um +0,3 °C bzw. +0,7 °C zu warm.

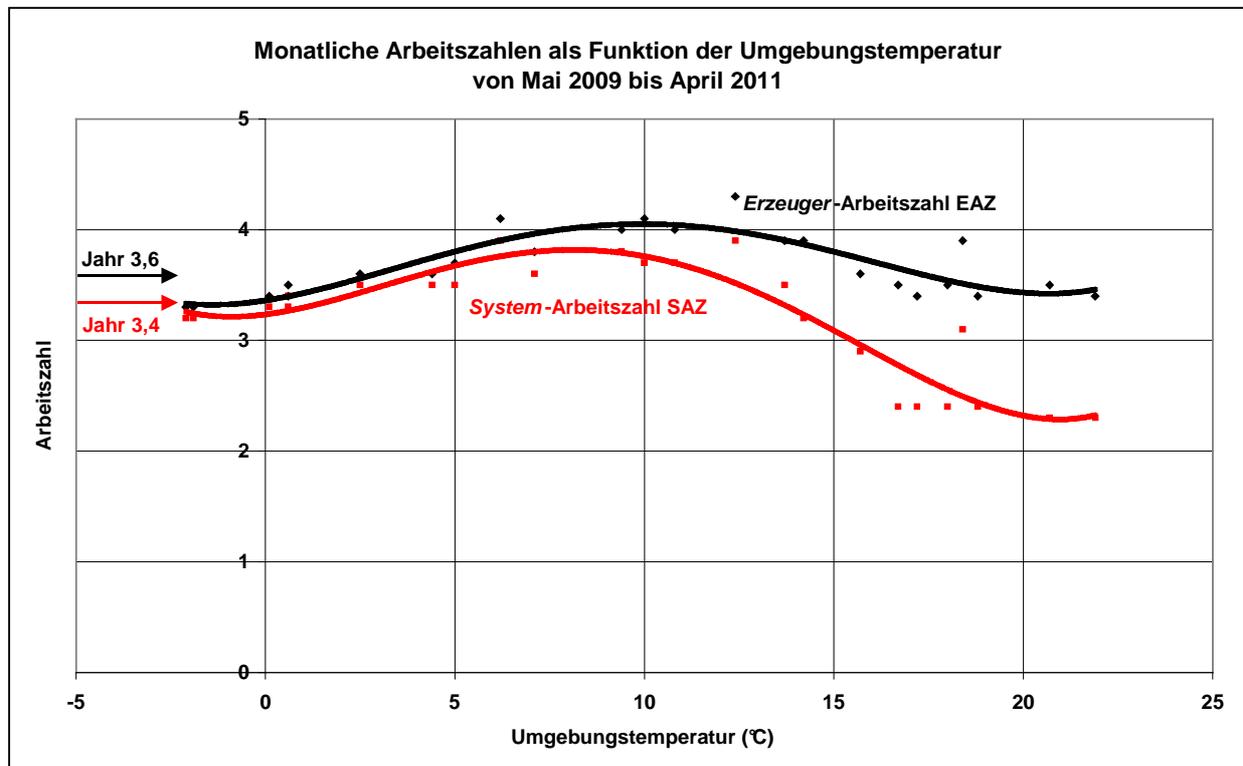


Der Wärmeverbrauch für die Heizung betrug im *ersten* Messjahr 10744 kWh und für das Warmwasser 1315 kWh. Der zuletzt genannte Wert entspricht einem Anteil von 10,9 % am gesamten Wärmebedarf des Hauses. Für Heizung und Warmwasser brauchte die Wärmepumpe eine Energie in Höhe von 3466 kWh-elektrisch.

Die entsprechenden Werte für das *zweite* Jahr lauten: 10204 kWh für Heizwärme und 1335 kWh für das Warmwasser, was einem Anteil von 11,6 % am gesamten Wärmebedarf des Hauses entspricht. Für die Wärmepumpe waren 3230 kWh-elektrisch notwendig. Der niedrigere Heizwärmeverbrauch und Wärmepumpen-Strom hängt mit dem wärmeren Winter 2010/11 zusammen.

Die folgende Graphik stellt die Abhängigkeit der *Erzeuger-* und *System-*Arbeitszahlen von der Umgebungstemperatur dar.

Die maximalen Werte ergeben sich zwischen 6 °C und 12 °C. Unter dieser Bandbreite nehmen die Arbeitszahlen wegen der zunehmenden Temperaturdifferenz zwischen der Umgebungsluft und der Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung ab. Und darüber -in der Nicht-Heizperiode- ebenfalls wegen der hohen Warmwasserspeicher-Temperatur und des höheren Anteils der Speicherverluste bei geringem bis fehlendem Warmwasserverbrauch (z. B. Urlaub).



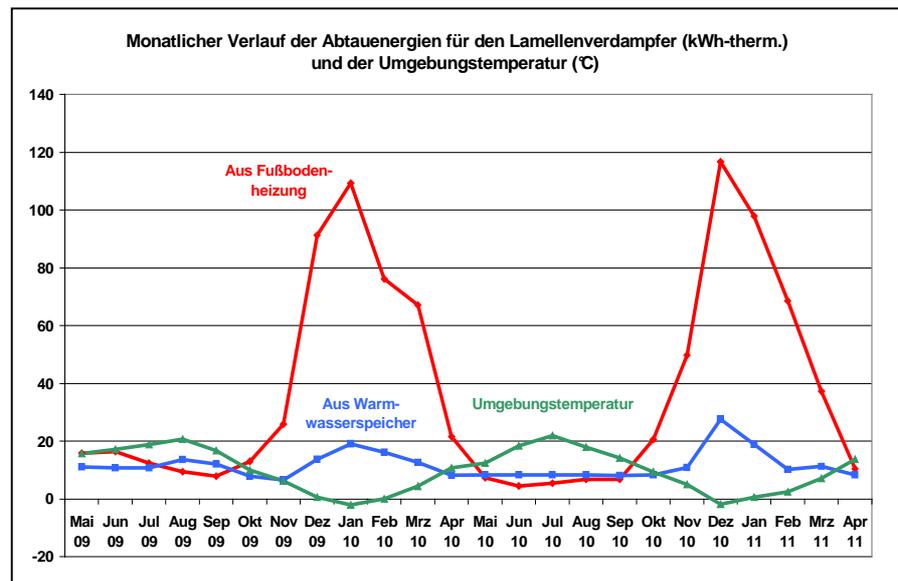
Während der Heizperiode verursachen die Verluste der Abtauenergie, des Warmwasserspeichers und der Speicher-Ladepumpe eine Erniedrigung der *System-Arbeitszahl* von 0,2 bis 0,4 - Punkten gegenüber der *Erzeuger-Arbeitszahl*. Mit zunehmender Umgebungstemperatur und damit niedrigerem bis fehlendem Heizwärme- und Warmwasserverbrauch überwiegen die Bereitschaftsverluste des Warmwasserspeichers, was die *System-Arbeitszahl* beträchtlich verringert.

Über die zwei Messjahre betragen die *Erzeuger-* und *System-*Arbeitszahlen **3,6** bzw. **3,4**. Beide Jahre waren gegenüber dem langjährigen Mittel etwas zu warm. In Anlehnung an die Ausführungen in den Kapiteln 5.5 und 11.4 des Schlussberichtes der Phase 1 des „Feldtests Wärmepumpen“ ([www.agenda-energie-lahr.de/leistungswaermepumpen.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/leistungswaermepumpen.html)) müssten von diesen Jahresarbeitszahlen noch etwa 0,2 Arbeitszahl-Punkte abgezogen werden, wenn die Luft-Wärmepumpe nicht im wärmeren Südwesten der Republik, sondern in kühleren Norddeutschland stünde.

Im Gegensatz zu Grund- und Erdreich – Wärmepumpen, bei denen die Temperaturen der Kaltquellen Grundwasser und Erdreich in einem positiven Temperaturbereich liegen, kann bei Luft-Wärmepumpen die Umgebungstemperatur bis auf -15 °C und mehr absinken. Bei geeigneten Temperatur- und Feuchtebedingungen vereist deshalb der Lamellenverdampfer; solche Zustände können aber auch schon bei Umgebungstemperaturen von unter etwa +7 °C auftreten. Das Messprogramm sah deshalb auch die Erfassung von Rückenergien vor, die notwendig sind, um mit Hilfe der Wärme aus der Fußbodenheizung und dem Brauchwasserspeicher den Lamellenverdampfer abzutauen (K10 und K12 in Kapitel 3).

Die nächste Graphik zeigt den monatlichen Verlauf der Anteile der Rückenergien aus der Fußbodenheizung und dem Warmwasserspeicher in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur. Naturgemäß steigen beide im Winterhalbjahr mit abnehmender Temperatur an.

Der Anteil der Rückenergien an der Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser beträgt über die gesamte Messdauer 4,7 %. Das entspricht 0,2 Arbeitszahlpunkten, ein Wert, den die Agenda-Gruppe schon in der Phase 1 des „Feldtests Wärmepumpen“ als Mittelwert für die Abtauenergie des Lamellenverdampfers bei Luft-Wärmepumpen ermittelte.



Der Notheizstab verursachte im Januar 2010 (Monatsmittel der Umgebungstemperatur -2,1 °C) und Februar (+0,1 °C) einen Stromverbrauch von nur 0,7 kWh bzw. 1,3 kWh. Im zweiten Winter 2010/11 war der Notheizstab wegen der wärmeren Witterung überhaupt nicht aktiv.

## 5. Bewertung

Die ermittelten *Erzeuger-* und *System-*Jahresarbeitszahl in Höhe von 3,6 bzw. 3,4 sind laut der Deutschen Energieagentur und des Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerkes als „nennenswert energieeffizient“ bzw. als „energieeffizient“ einzustufen (siehe INFO-BOX auf Seite 1). Diese Werte sind die höchsten, die die Agenda-Gruppe bisher gemessen hat. Sie liegen um rund 10% über dem besten Einzelwert von 12 untersuchten Luft-Wärmepumpen in der Phase 1 des „Feldtests Wärmepumpen“ der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald); der Schlussbericht steht unter [www.agenda-energie-lahr.de](http://www.agenda-energie-lahr.de) (PDF-Datei). Gemäß der Klassifizierungstabelle der Agenda-Gruppe ([www.agenda-energie-lahr.de/JAZ-Klassifizierung.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/JAZ-Klassifizierung.html)) sind die EJAZ und SJAZ als „befriedigend“ bzw. „ausreichend“ einzustufen. Diese Bewertung erfolgt unabhängig von den Kaltquellen Luft, Grundwasser und Erdreich und berücksichtigt in erster Linie den Beitrag von Elektro-Wärmepumpen zum Klimaschutz.

Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald)  
 Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“ des „Feldtests Wärmepumpen“  
 Projektleiter Dr. Falk Auer, [nes-auer@t-online.de](mailto:nes-auer@t-online.de), [www.agenda-energie-lahr.de](http://www.agenda-energie-lahr.de)

Im Juli 2011