

Die Energieeffizienz der
Luft-Wasser – Elektro-Wärmepumpe Nr. 2106
in einem Einfamilienhaus in Lahr (Schwarzwald)

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 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). 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 „Jahresarbeitszahl“ rechts).

Innovative Merkmale könnten sein: Eine variable Verdichterleistung, 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 Zweifamilienhaus mit insgesamt sechs Personen im mittleren Schwarzwald und ist eine von zwanzig Wärmepumpen, die an der Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“ des „Feldtests Wärmepumpen“ teilnimmt. Die Agenda-Gruppe ermittelte die Jahresarbeitszahl unter realistischen Betriebsbedingungen über ein Jahr.

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. Luft-Wärmepumpe und Niedrigenergiehaus

Die Wärmepumpe mit einer Zubadan-Technik hat eine Nennleistung von 14 kW-thermisch und erreicht auf dem Teststand eine Arbeitszahl 3,2 bei A2/W35-Bedingungen (Außentemperatur



2 °C und Heizungsvorlauftemperatur 35°C). Besondere Merkmale sind der vollmodulierende Verdichter mit variabler Leistung zwischen 3 bis 14 kW-thermisch), die Umkehrkühlung und der Energiesparregler. Es handelt sich um ein Split-Gerät mit einem Verdampfer im Außenbereich.

Die Wärmepumpe versorgt ohne einen Heizungspufferspeicher direkt die Fußbodenheizung. Ein Elektro-Notheizstab ist zwar vorhanden, aber im Normalfall ausgeschaltet. Die Warmwasserversorgung erfolgt mit Hilfe einer Vorrangschaltung über einen 400 Liter Speicher ebenfalls mit der Wärmepumpe.

Die Wärmepumpe beheizt ein Zweifamilienhaus mit einer Fußbodenheizung in Lahr (mittlerer Schwarzwald). Es handelt sich um ein Niedrigenergiehaus aus dem Jahre 2010 mit einer beheizten Fläche von insgesamt 232 m². Der berechnete Heizwärmebedarf beträgt 63 kWh-thermisch pro m² Wohnfläche und Jahr. Das Zweifamilienhaus bewohnen vier Erwachsene und zwei Kinder.

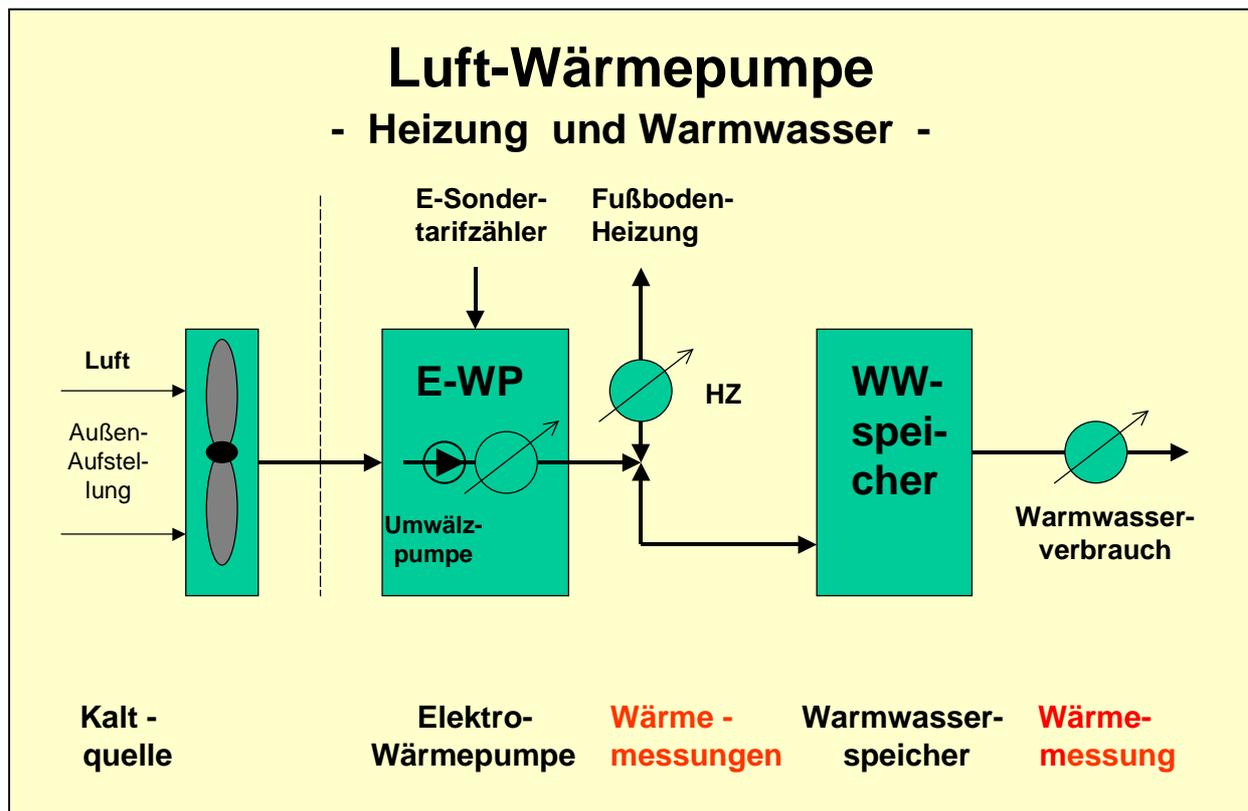


Der gemessene Heiz-Wärmeverbrauch des ersten Messjahres beträgt 31,2 MWh und des zweiten 28,0 MWh. Das entsprechen 134 bzw. 121 kWh/m² Wohnfläche und Jahr. Diese Werte sind rund doppelt so hoch wie berechnet. Da das Gebäude nach zwei Jahren ausgetrocknet sein müsste, liegt die Ursache vermutlich in Wärmelecks. Eine Überprüfung und ggf. Beseitigung ist ratsam.

Der Warmwasserverbrauch beträgt über die gesamte Messperiode 154 m³. Das entspricht 35 Liter pro Person und Tag, ein Wert, der im oberen 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 der schematisierte hydraulische Plan auf der nächsten Seite. Es sind zwei Wärme- und ein Wasserzähler eingebaut. Zusammen mit den elektrischen Messwerten lassen sich dann die *Erzeuger*- und *System*-Jahresarbeitszahlen EJAZ bzw. SJAZ ermitteln (siehe INFO-BOX „Jahresarbeitszahl“ auf Seite 1):



$$EJAZ = (Q_{Hz+Ww} - Q_{Abtau}) / (NT + HT - UP_{Hz} - UP_{Ww}),$$

bestimmt die Energieeffizienz am Ausgang der Wärmepumpe,

$$SJAZ = (Q_{Hz} + Q_{Ww}) / (NT + HT - UP_{Hz}),$$

bestimmt die Energieeffizienz am Ausgang des Wärmepumpensystems (Nutzenergien), mit

Q_{Hz+Ww} und Q_{Abtau} Erzeugte Wärme für Heizung und Warmwasser vor dem Dreiwegeventil in der Wärmepumpe abzüglich der Abtauenergie für den Lamellenverdampfer, in kWh-thermisch;

Anmerkung Wärmezähler: Der Wärmezähler verfügt über getrennte Speicher für „Heizen“ (+delta-T) und „Kühlen“ (-delta-T)

Anmerkung Abtauenergie: Die Abtauenergie für die Enteisung des Lamellenverdampfers stammt je nach Betriebszustand der Wärmepumpe aus der Fußbodenheizung oder dem Warmwasserspeicher

NT und HT Sondertarifzähler für Nieder- bzw. Hochtarif, kWh-elektrisch

UP_{Hz} und UP_{Ww} Umwälzpumpe für die Heizkreise und die Warmwasser-Speicherladung, in kWh-elektrisch;

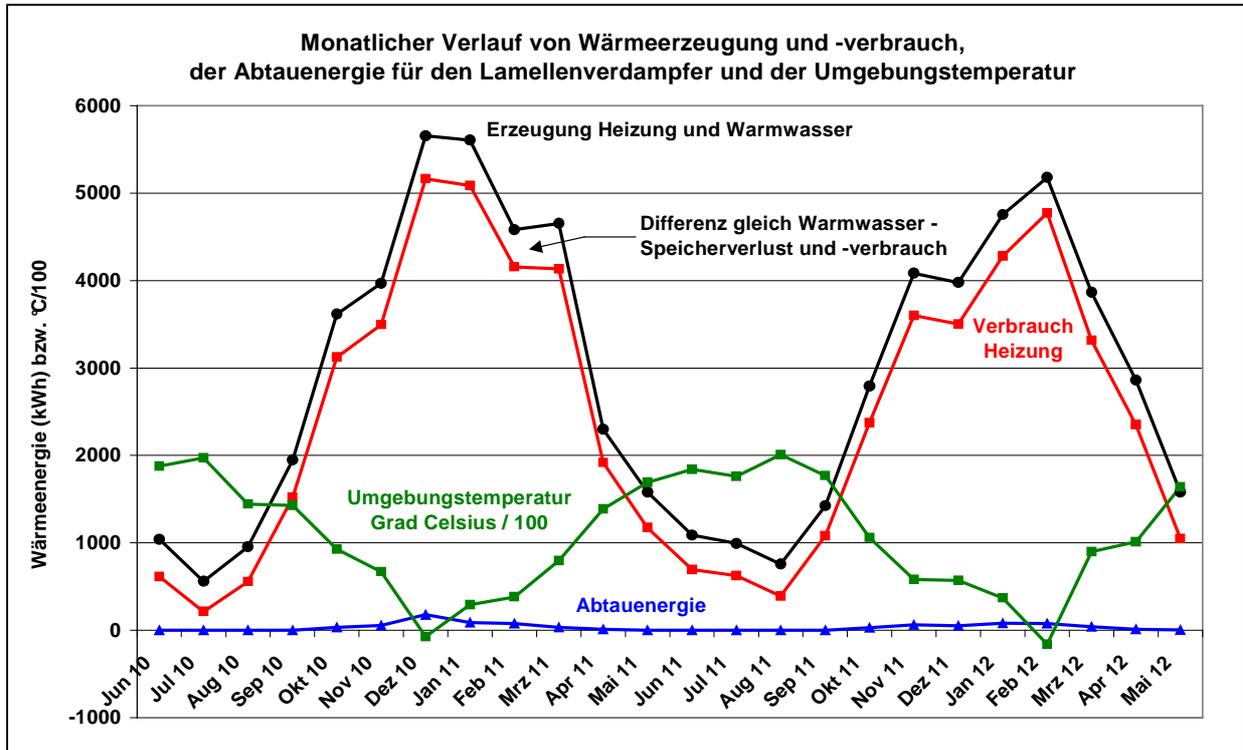
Anmerkung: Im Untersuchungsgebiet läuft auch die Umwälzpumpe für die Heizkreise über den Sondertarifzähler. Die findet aber bei der Bilanz keine Berücksichtigung, weil sie auch bei konventionellen Heizkesseln notwendig ist. Die Ladepumpe geht dagegen bei der Bestimmung der System-Jahresarbeitszahl in die Bilanz ein.

$Q_{Hz} + Q_{Ww}$ Nutzenergien Heizung bzw. Warmwasser am Ausgang des Wärmepumpensystems, also vor der Einspeisung in die Fußbodenheizung und die

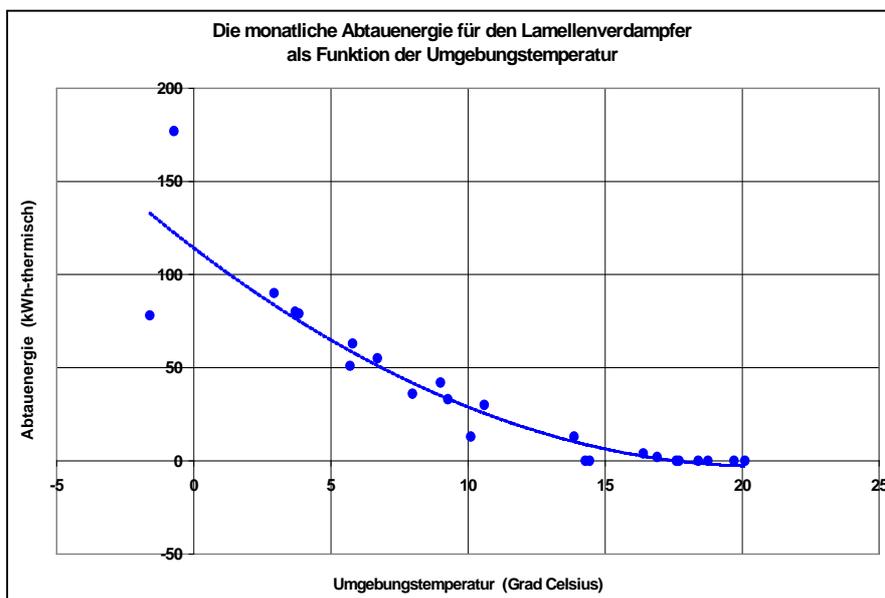
Trinkwasserverteilung, in kWh-thermisch; $Q_{Ww} = 46 \cdot m^3$ Warmwasser
(Kaltwasser = 11°C, Warmwasser = 51 °C)

4. Ergebnisse

Die nächste Graphik zeigt die monatlichen Verläufe der Umgebungstemperatur (grün), der erzeugten Wärmeenergien (schwarz) und der verbrauchten Heizwärme (rot) von Juni 2010 bis Mai 2012. Die beiden Winter zwischen 2010 und 2012 waren in Lahr (Schwarzwald) zu warm gewesen gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 – 1990, und zwar um +0,7°C bzw. +0,6°C.

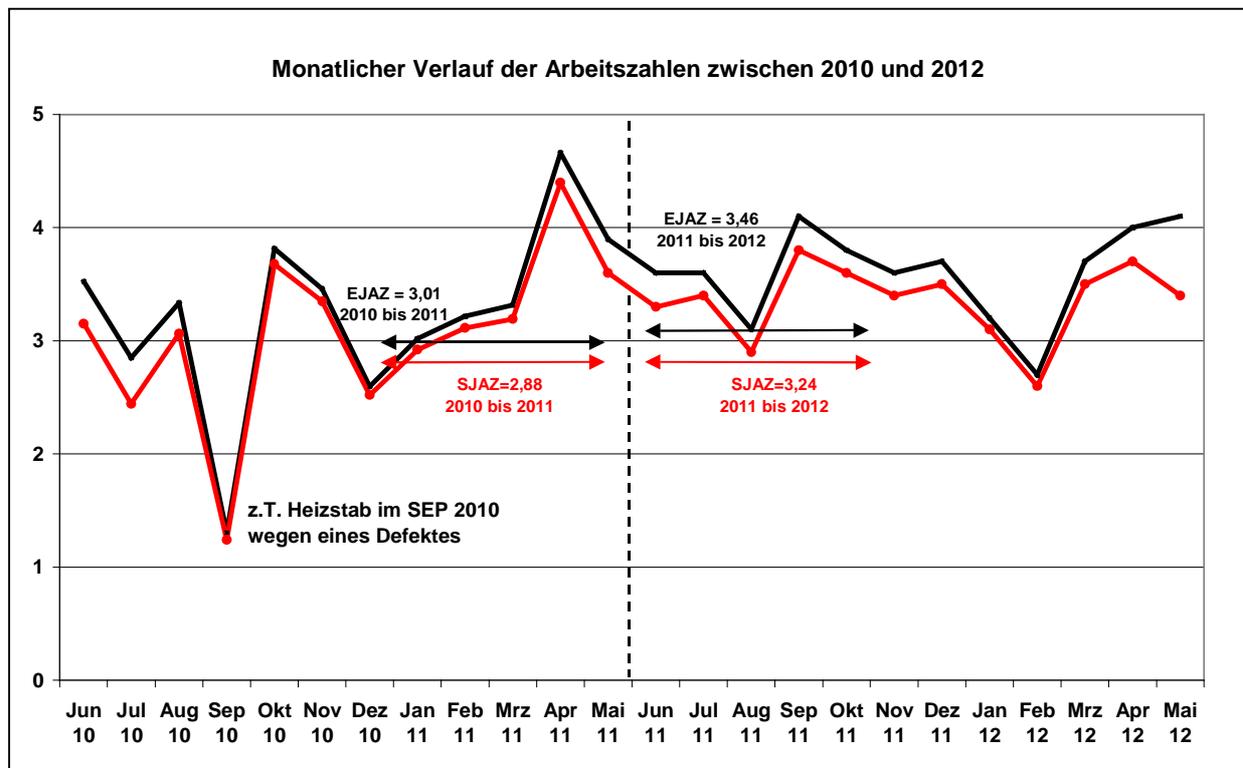


Der Wärmeverbrauch für die Heizung betrug über die zwei Messjahre 59,2 MWh und für das Warmwasser 7,1 MWh. Der zuletzt genannte Wert entspricht einem Anteil von 10,7 % am gesamten Wärmeverbrauch des Hauses.



Die Abtauenergie Q_{Abtau} (blau, siehe Kapitel 3) für die Enteisung des Lamellenverdampfers betrug über die zwei Messjahre 846 kWh-thermisch. Das entspricht nur 1,3 % der Verbräuche für Heizung und Warmwasser. Der Prospekt des Herstellers nennt „10-15 %“. Der erste Wert kommt der Agenda-Gruppe aus Erfahrung zu niedrig vor, der zweite zu hoch. Bisherige Ergebnisse lauten 4-5 %.

Die nächste Graphik zeigt den monatlichen Verlauf der *Erzeuger-* (EJAZ) und *System* (SJAZ) – Arbeitszahlen über die zweijährige Messperiode.



Die Differenz der Jahresarbeitszahlen EJAZ (nur Wärmepumpe) und SJAZ (Wärmepumpensystem einschließlich Ladepumpe und Speicherverlust) beträgt in der Heizperiode 0,1 bis 0,2 – Arbeitszahlpunkte; sie ist damit vergleichbar mit den Ergebnissen in der Phase 1 des „Feldtests Wärmepumpen“ wenn kein Heizungspufferspeicher vorhanden ist. Im Sommer-Halbjahr erhöht sich diese Differenz merklich. Der Grund: Die Verluste des Warmwasserspeichers haben einen relativ hohen Anteil am Gesamtverbrauch.

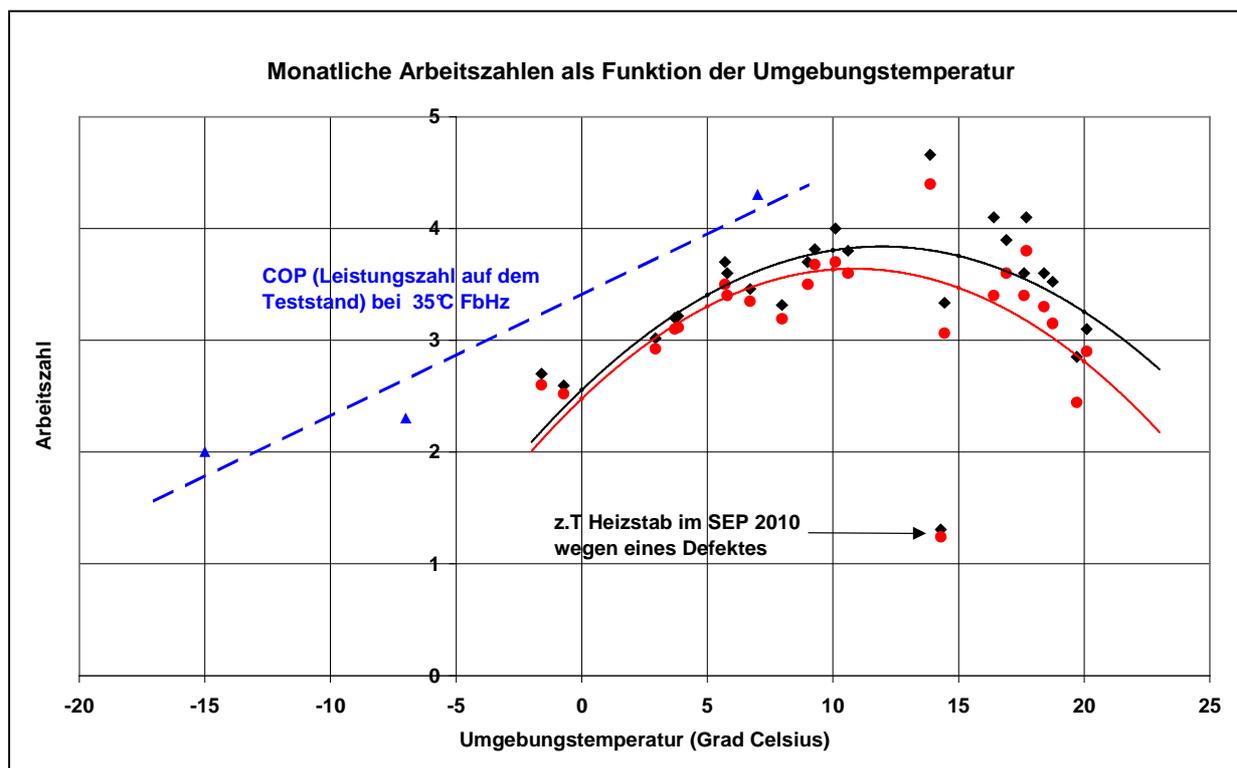
Im September 2010 brachen die Arbeitszahlen kräftig ein. Ursache war ein Problem mit dem Verdampfer im Außengerät. Bis zu einem Austausch musste der Not-Heizstab über mehrere Wochen aktiv sein. Die Erzeuger und System-Jahresarbeitszahlen betragen deshalb im ersten Jahr nur 3,01 bzw. 2,88. Ohne diesen Schaden hätten sich EJAZ = 3,23 bzw. und SJAZ = 3,10 ergeben.

Im zweiten Messjahr verbesserte sich die Energieeffizienz um 0,1 bis 0,2 Arbeitszahlpunkte auf EJAZ = 3,46 und SJAZ = 3,24. Ohne Berücksichtigung des Schadens im September 2010 lautet schließlich das Gesamtergebn über die zweijährige Messphase von 2010 bis 2012:

Erzeuger-Jahresarbeitszahl EJAZ = 3,4

System-Jahresarbeitszahl SJAZ = 3,2.

Trägt man wie in der Graphik auf der nächsten Seite die Arbeitszahlen gegen die Umgebungstemperatur auf, dann ergibt sich ein typisches Maximum zwischen 6 und 16°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, insbesondere in der Urlaubszeit.

In die Graphik ist noch der sogenannte COP eingetragen. Das ist die Abkürzung für Coefficient of Performance, zu deutsch: Leistungszahl. Sie gibt -ähnlich wie die Jahresarbeitszahlen- das Verhältnis von Wärme am Ausgang einer Wärmepumpe zum Strom an deren Eingang an. Der entscheidende Unterschied: Der COP wird auf dem Teststand im Labor ermittelt und die Jahresarbeitszahlen unter realistischen Betriebsbedingungen über ein Jahr bei den Betreibern „im Feld“.

Die Differenz zwischen der blauen Leistungs-Geraden und den roten und schwarzen Arbeitszahl-Kurven fällt deutlich aus. Sie beträgt in der Heizperiode zwischen 0,6 und 1,0 – Arbeitszahl-punkte. Die Gründe:

- Takten der Wärmepumpe trotz variabler Verdichterleistung (häufiges Ein- und Ausschalten bei niedriger Leistungsanforderung)
- Betrieb weicht vom optimalen Arbeitspunkt ab
- Kombination mit der Warmwasserbereitung: 51 °C statt der max. 35 °C wie bei der Fußbodenheizung.

5. Bewertung

Die ermittelte *Erzeuger-* und *System-*Jahresarbeitszahl in Höhe von 3,4 bzw. 3,2 sind laut der Deutschen Energieagentur (dena) und des Rheinisch-West-fälische Elektrizitätswerkes (RWE) als „energieeffizient“ einzustufen (siehe INFO-BOX auf Seite 1). Die Bewertung gemäß der

Klassifizierung von Jahresarbeitszahlen der Agenda-Gruppe, die unabhängig von der Art der Kaltquellen Luft, Grundwasser oder Erdreich ist, lautet „Ausreichend“ (siehe Schaltfläche unter www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html).

Die untersuchte Luft-Wärmepumpe Nr 2106 gehört damit zusammen mit zwei anderen Wärmepumpen (siehe Berichte Nr. 2102 und 2105 unter www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html) zur Spitzengruppe unter den Luft-Wärmepumpen. Während in der Phase 1 (siehe Schlussbericht unter www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase1.html) keine einzige die Mindest-System-Jahresarbeitszahl von 3,0 übertraf und damit energieeffizient war, sind es in der Phase 2 jetzt drei von insgesamt 20 untersuchten Luft-Wärmepumpen.

Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald)
Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“ des „Feldtests Wärmepumpen“

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

Im Juni 2012