

Die Energieeffizienz der **Luft-Wasser – Elektro-Wärmepumpe Nr. 2102** in einem Einfamilienhaus in Lahr (Schwarzwald)

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 Schlussbericht der Phase 1 unter 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 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 mittleren Schwarzwald 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.

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 twin-x-Technik hat eine Nennleistung von 12 kW-thermisch und erreicht auf dem Teststand eine Arbeitszahl von 4,2 bei A2/W35-Bedingungen (Außentemperatur 2°C und Heizungsvorlauftemperatur 35°C). Besondere Merkmale sind der vollmodulierende Scrollverdichter mit variabler Leistung zwischen 4 bis 12 kW-thermisch), der Unterkühler und ein elektronisches Einspritzsystem. Der Luft-Ansaugschacht liegt auf der Westseite und der Fortluftschacht auf der Nordseite.

Die Wärmepumpe versorgt ohne einen Heizungspufferspeicher direkt die Fußbodenheizung. Ein Elektro-Notheizstab ist nicht vorhanden. Die Warmwasserversorgung erfolgt mit Hilfe einer Vorrangschaltung über einen 500 Liter Speicher ebenfalls mit der Wärmepumpe.



Die Wärmepumpe beheizt ein Einfamilienhaus mit einer Fußbodenheizung in Lahr (mittlerer Schwarzwald). Es handelt sich um ein Niedrigenergiehaus aus dem Jahre 2009 mit einer beheizten Fläche von 243 m². Der berechnete Heizwärmebedarf beträgt 48 kWh-thermisch pro m² Wohnfläche und Jahr. Das Haus bewohnen zwei Erwachsene und zwei Kinder.



Der gemessene Heiz-Wärmeverbrauch der zweijährigen Messphase von Oktober 2009 bis September 2011 beträgt durchschnittlich 23,1 MWh-thermisch, was 95 kWh/m² Wohnfläche entspricht. Das ist doppelt soviel wie berechnet. Ursache ist sicherlich zum Teil der erhöhte Wärmebedarf zum Austrocknen des Gebäudes im ersten Jahr. Ein Aufspüren von Wärmelecks und deren Beseitigung ist aber trotzdem ratsam. Der Warmwasserverbrauch beträgt 38,9 m³ pro Jahr. Das entspricht 27 Liter pro Person und Tag, ein Wert, der im mittleren 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 Verrohrungsplan auf dieser 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):

$$\text{EJAZ} = Q_{\text{Hz\&Ww}} / (\text{NT} + \text{HT} - \text{UpHk}),$$

ermittelt die Energieeffizienz direkt hinter der Wärmepumpe und

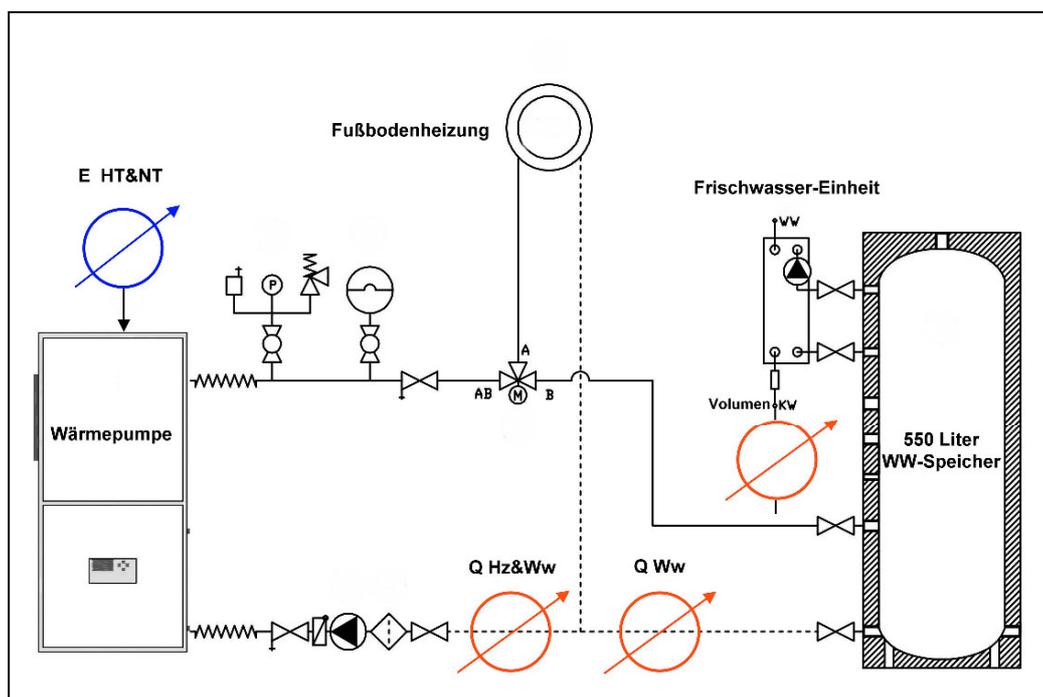
$$\text{SJAZ} = (Q_{\text{HzWw}} - Q_{\text{Ww}} + V \cdot f) / (\text{NT} + \text{HT} - \text{UpHk}),$$

ermittelt die Energieeffizienz am Ausgang des Wärmepumpensystems (Nutzenergien),

mit	$Q_{\text{Hz\&Ww}}$	Wärme am Ausgang der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser
	Q_{Ww}	Wärme am Eingang des Warmwasserspeichers (kWh)
	V	Volumenstrom am Ausgang des Warmwasserspeichers (m^3)
	f	Konstanter Faktor = 43 bei $\text{KW} = 11^\circ\text{C}$ und $\text{WW} = 48^\circ\text{C}$ ($\text{m}^3 \Rightarrow \text{kWh}$)
	NT	Sondertarifzähler Niedertarif (kWh)
	HT	Sondertarifzähler Hochtarif (kWh)
	UpHk	Unterzähler für Umwälzpumpe des Heizkreises (kWh).

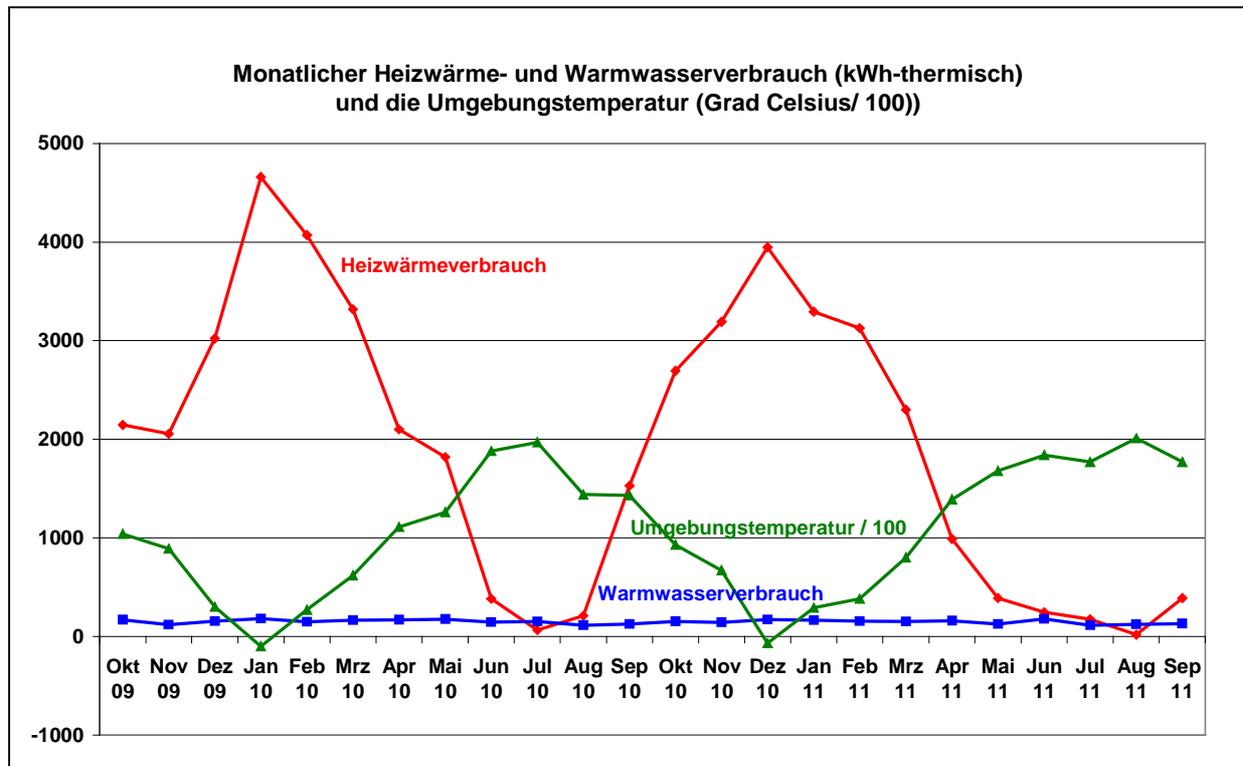
(Anmerkung: Im Untersuchungsgebiet läuft auch die Umwälzpumpe des Heizkreises über den Sondertarifzähler. Die findet aber bei der Bilanz keine Berücksichtigung, weil sie auch bei konventionellen Heizkesseln notwendig ist.)

Die Abtauenergie für die Enteisung des Lamellenverdampfers stammt aus der Fußbodenheizung. Sie konnte aus messtechnischen Gründen zunächst nicht berücksichtigt werden. Die Agenda-Gruppe hat diese Rückenergie aber bei 12 Luft-Wärmepumpen in der Phase 1 des Feldtests Wärmepumpen bereits erfasst (siehe Schlussbericht auf Seite 10 unter www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase1.html); ebenso auch detailliert in der Phase 2 (siehe Bericht Nr. 2105 unter www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html). Danach erniedrigt die notwendige Abtauenergie für den Lamellenverdampfer die Jahresarbeitszahl von Luft-Wärmepumpen in Höhe von 0,2-Arbeitszahlpunkten.



4. Ergebnisse

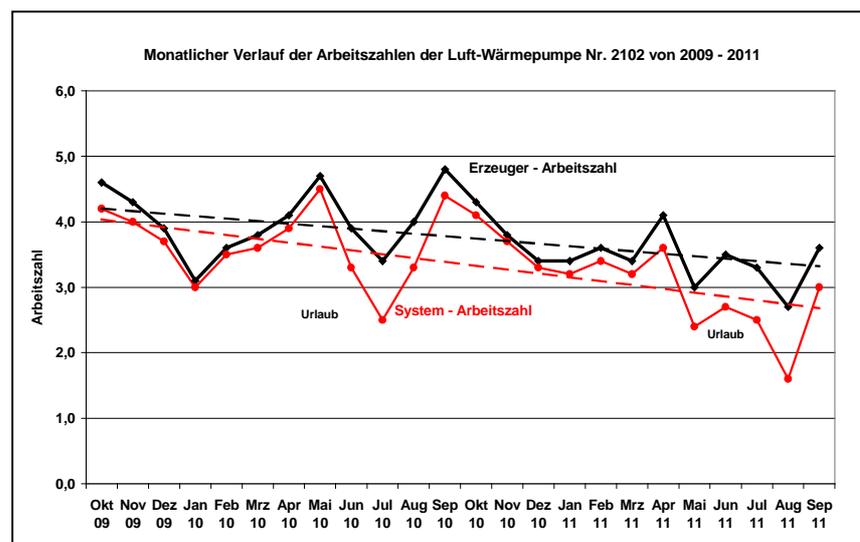
Die folgende Graphik zeigt den monatlichen Verlauf der Umgebungstemperatur und der Wärmeverbräuche für Heizung und Warmwasser von Oktober 2009 bis September 2011. Die Winter 2009/10 und 2010/11 waren in Lahr (Schwarzwald) gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 – 1990 um 0,3 °C bzw. 0,7 °C zu warm.



Der Wärmeverbrauch für die Heizung betrug im ersten Messjahr 25,4 MWh-thermisch pro Jahr und im zweiten Jahr wegen der zunehmenden Austrocknung des Neubaus und des wärmeren Winters nur 20,7 MWh pro Jahr. Für das Warmwasser waren jährlich 1,79 MWh-thermisch erforderlich. Dieser Wert entspricht einem Anteil von 7,2 % am gesamten Wärmeverbrauch des Hauses.

Die rechte Graphik zeigt den monatlichen Verlauf der Erzeuger- (EJAZ) und System- (SJAZ) – Arbeitszahlen.

Die Differenz der Jahresarbeitszahlen EJAZ (nur Wärmepumpe) und SJAZ (Wärmepumpensystem einschließlich Speicherverlust) beträgt in der Heizperiode rund 0,2-Arbeitszahlpunkte. Im Sommer, wenn nur die Warmwasserbereitung aktiv ist, kann die Differenz jedoch beträchtlich sein, insbesondere im Urlaub, wenn die Wärmepumpe im Bereitschaftsbetrieb arbeitet und nur die Verluste des Warmwasserspeichers decken muss.



Auffallend ist die Abnahme der Arbeitszahlen vom ersten auf das zweite Jahr um 0,25 - Arbeitszahlpunkte. Wegen des zweiten, wärmeren Winters hätte man eher eine leichte Erhöhung der Energieeffizienz erwartet. Das Wärmepumpensystem und dessen Kältemittelkreislauf sollte deshalb einmal überprüft werden.

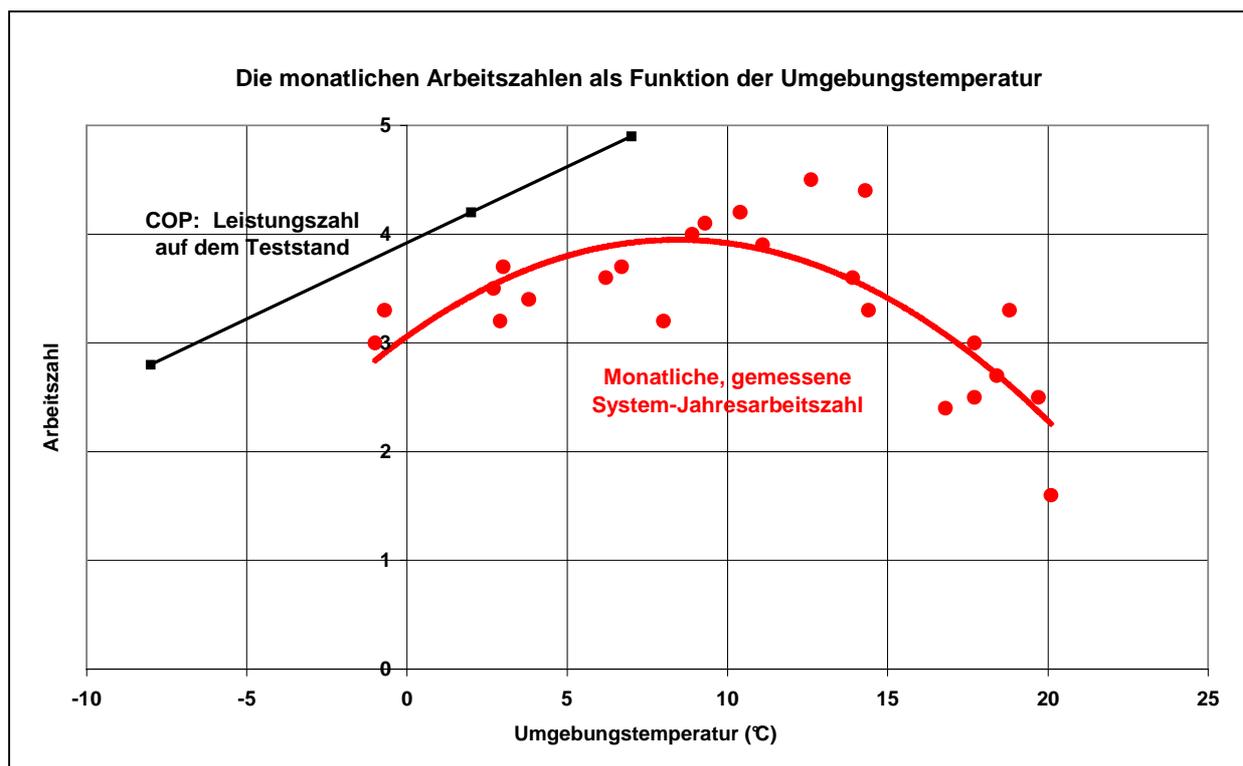
Die Erzeuger- und die System-Jahresarbeitszahl betragen über die zwei Messjahre zunächst 3,74 bzw. 3,52; unter Berücksichtigung der notwendigen Abtauenergie aus der Fußbodenheizung für den Lamellenverdampfer in Höhe von 0,2 - Arbeitszahlpunkten (siehe Kapitel 3 auf Seite 3) ergeben sich schließlich als Endresultat:

Erzeuger-Jahresarbeitszahl EJAZ = 3,54

System-Jahresarbeitszahl SJAZ = 3,32.

Stünde die Luft-Wärmepumpe nicht im wärmen Südwesten der Republik, sondern in Nordostdeutschland oder dem Bayerischen Wald, dann müssten 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) von diesen Jahresarbeitszahlen noch etwa 0,2 Arbeitszahl-Punkte abgezogen werden.

Trägt man wie in der folgenden Graphik die System-Arbeitszahl gegen die Umgebungstemperatur auf (keine Berücksichtigung der Abtauenergie des Lamellenverdampfers), dann ergibt sich ein typisches Maximum zwischen 4°C und 15°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 Erzeuger-Jahresarbeitszahl

EJAZ 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 EJAZ unter realistischen Betriebsbedingungen über ein Jahr beim dem Betreiber „im Feld“.

Die Datenblätter geben oft nur den COP an, und zwar bei Luft-Wärmepumpen immer weniger bei einer Lufteinlass-Temperatur von 2 °C, sondern zunehmend bei 7 °C! Klar, dadurch erhöht sich der COP von 4,2 auf sagenhafte 4,9 (siehe schwarze Gerade oben).

In der Praxis liegen die Arbeitszahlen jedoch mehr oder weniger deutlich darunter. Die Differenz „Teststand“ (schwarze Gerade) minus „Feld“ (rote Kurve) beträgt in diesem Fall unter Berücksichtigung der Abtauenergie des Lamellenverdampfers zwischen 1,0 und 1,2 - Arbeitszahlpunkten; bei der Mehrzahl der Wärmepumpen sind aber die Verluste deutlich höher. Die Gründe: Takten der Wärmepumpe (häufiges Ein- und Ausschalten), Planungs- und Einbaufehler, zu großer Heizungspufferspeicher (bei variabler Verdichterleistung nicht notwendig), Radiatorheizkörper statt Fußbodenheizung, undichte Ventile, Heizkurve zu hoch eingestellt und Fehlen der Rohrdämmung und des hydraulischen Abgleichs. Solche Fehler führen dazu, dass manche Luft-Wärmepumpen nur auf eine Jahresarbeitszahl von etwa 1,5 kommen (siehe Bericht zu den Wärmepumpennummern 2103 und 2104). Das sind dann schon fast Stromheizungen !

5. Bewertung

Die ermittelten *Erzeuger-* und *System-*Jahresarbeitszahlen in Höhe von 3,54 und 3,32 sind laut der Deutschen Energieagentur und des Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerkes als „nennenswert energieeffizient“ bzw. „energieeffizient“ (siehe INFO-BOX auf Seite 1) einzustufen. Die Bewertung gemäß der Klassifizierung von Jahresarbeitszahlen der Agenda-Gruppe, die unabhängig von der Art der Kaltquellen Luft, Grundwasser oder Erdreich ist, lautet „Befriedigend“ bzw. „Ausreichend“ (siehe Schaltfläche unter der Internetadresse www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html).

Die genannten Energieeffizienzwerte sind zusammen mit denen der Nummer 2105 die bisher höchsten, die die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr bei Luft-Wärmepumpen gemessen hat. Die System-Jahresarbeitszahl liegt mit 3,3 um 10 % über dem besten Einzelwert von 12 Luft-Wärmepumpen in der Phase 1.

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

Dr. Falk Auer (Projektleiter) und Herbert Schotene-auer(at)t-online.de, www.agenda-energie-lahr.de

Im Oktober 2011