

Die Energieeffizienz der
Luft-Wasser – Elektro-Wärmepumpe Nr. 2109
in einem Einfamilienhaus in Reichenbach (Fils)

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 Einfamilienhaus mit drei Personen in Reichenbach an der Fils (Schwäbische Alb) und ist eine von zwanzig Luft-Wärmepumpen, die an der Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“ des „Feldtests Wärmepumpen“ teilnimmt. Die Agenda-Gruppe ermittelte die Jahresarbeitszahl unter realistischen Betriebsbedingungen über ein Jahr von Oktober 2011 bis September 2012.

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 Altbau

Die Wärmepumpe hat eine Nennleistung von 14 kW-thermisch und erreicht auf dem Teststand eine Leistungszahl von $COP = 2,7$ bei A2/ W35-Bedingungen (Außentemperatur $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Heizungsvorlauftemperatur $35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Besondere Merkmale sind der modulierende Flash-Verdichter mit variabler Leistung zwischen 5 bis 16 kW-thermisch und die Umkehrkühlung. Es handelt sich um ein Split-Gerät.

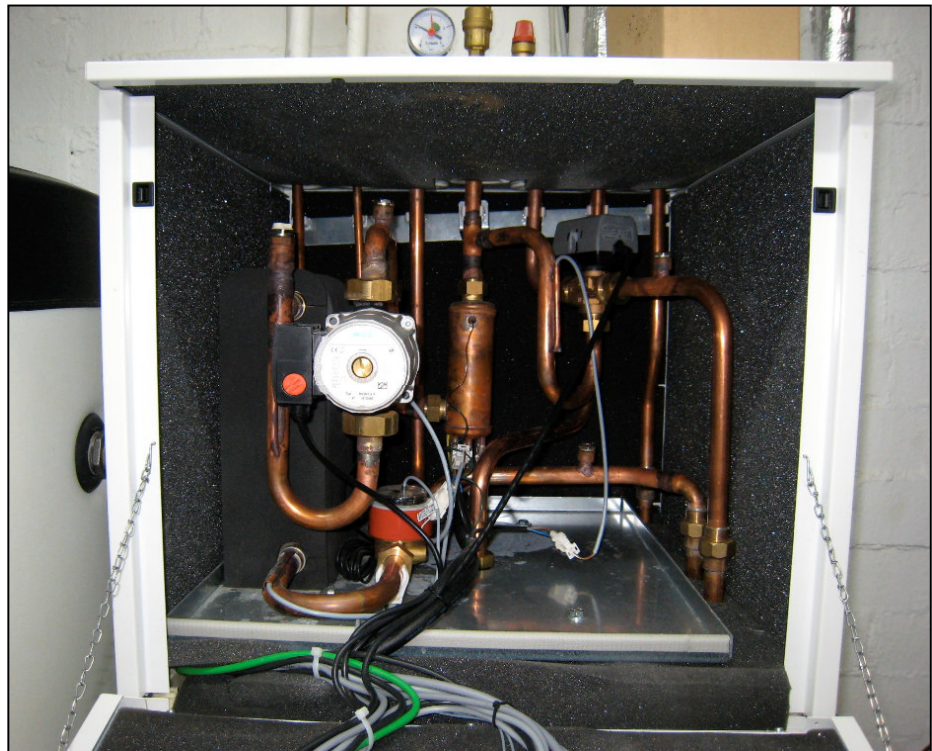
Die im Freien installierte Wärmepumpe gibt ihre Wärme über einen Kältemittelkreislauf an eine hydraulische Einheit im Keller des Hauses ab (siehe Fotos). Diese enthält die Bedienung, Regelung, Steuerung und die automatische Umschaltung auf den intergrierten 200 Liter - Warmwasserspeicher oder den externen 500 Liter-Heizungspufferspeicher (siehe hydraulischer Schaltplan auf der nächsten Seite). Ein Elektro-Heizstab kann im Falle einer nicht ausreichenden Leistung der Wärmepumpe oder bei deren Ausfall das Haus direkt mit Wärme versorgen.

Die Wärmepumpe beheizt ein Einfamilienhaus mit Radiator-Heizkörpern in Reichenbach/Fils (Schwäbische Alb). Es handelt sich um einen Altbau aus dem Jahre 1963 mit einer beheizten Fläche von 125 m^2 . Die Bauleute haben im Jahre 2010 die

alten Fenster und Türen durch neue mit einer Dreifach-Verglasung ersetzt. Das Haus bewohnen zwei Erwachsene und ein Kind.

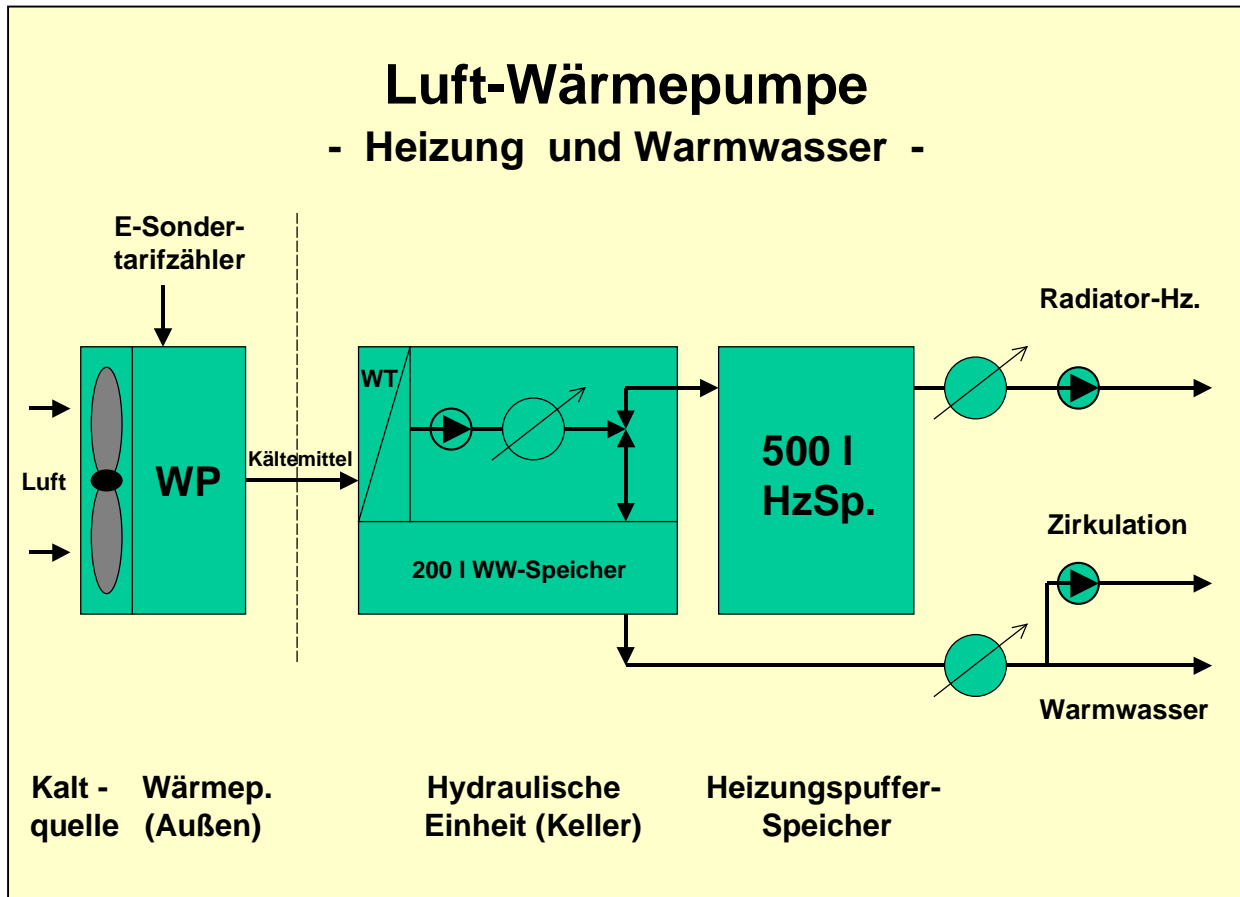
Der gemessene Heiz-Wärmeverbrauch beträgt $13,4\text{ MWh}$. Das entsprechen 107 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr.

Der Warmwasserverbrauch beläuft sich auf jährlich $26,0\text{ m}^3$. Das entspricht 23 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 folgende, schematisierte hydraulische Plan. Es sind zwei Wärme- und ein Warmwasserzähler 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):



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

bestimmt die Energieeffizienz am Ausgang der Wärmepumpe,

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

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_{Zirk}

Umwälzpumpe für die Heizkreise und die Warmwasser-Zirkulationsleitung, in kWh-elektrisch;

Anmerkung: Im Untersuchungsgebiet laufen auch die Umwälzpumpen für die Heizkreise und die Zirkulationsleitung über den Sondertarifzähler. Die finden bei der Bilanz aber keine Berücksichtigung, weil sie auch bei konventionellen Heizkesseln notwendig sind.

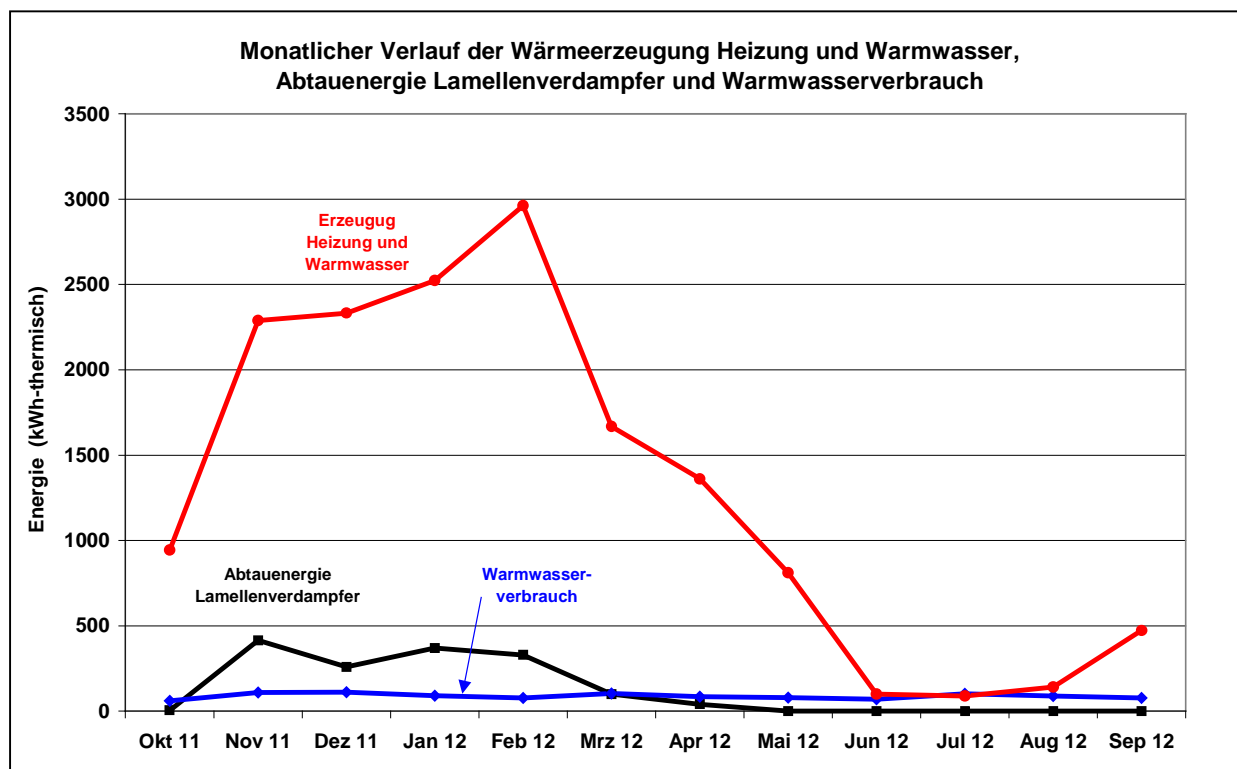
Q_{Hz} + Q_{Ww}

Nutzenergien Heizung bzw. Warmwasser am Ausgang des Wärmepumpensystems, also vor der Einspeisung in die Radiatorheizkörper und die Trinkwasserverteilung, in kWh-thermisch; Q_{Ww} = 42 * m³ Warmwasser (Kaltwasser = 11 °C, Warmwasser = 47 °C).

4. Ergebnisse

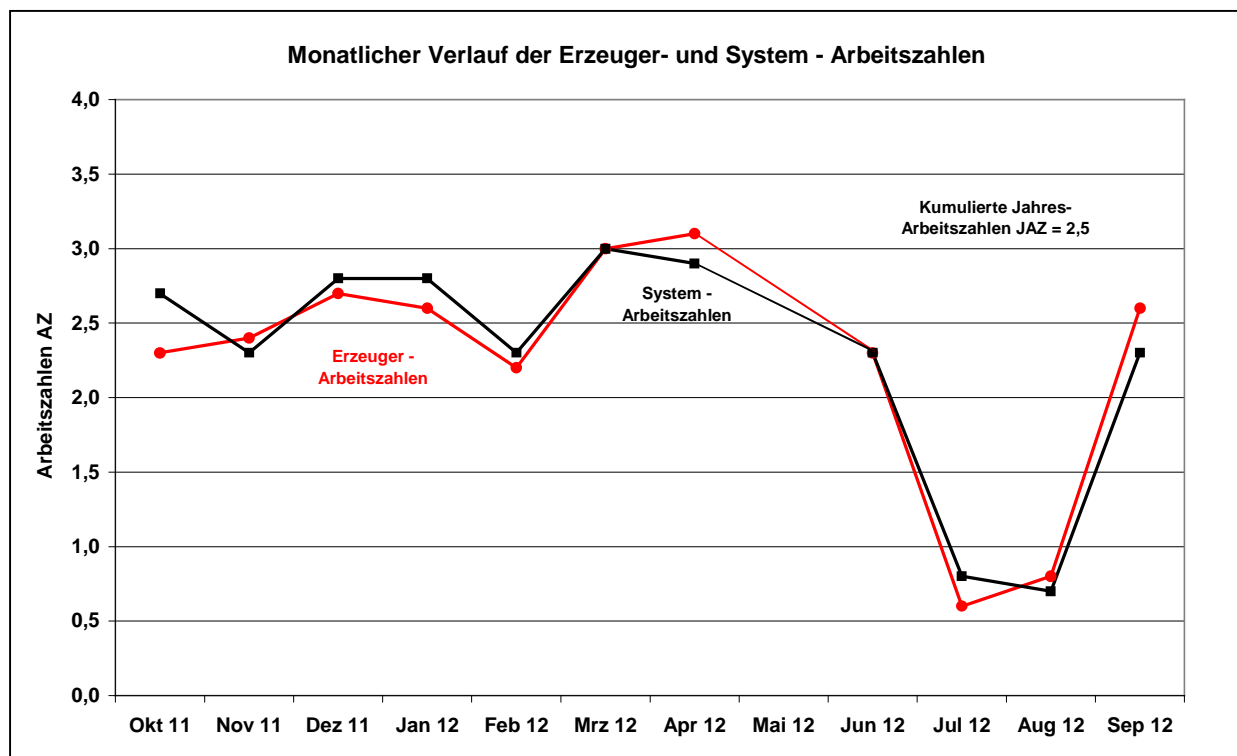
Die nächste Graphik zeigt die monatlichen Verläufe der erzeugten Wärme für Heizung und Warmwasser (rot) und der Abtauenergie (schwarz) für den Lamellenverdampfer (Rückenergie) sowie des Warmwasserverbrauchs (blau) von Oktober 2011 bis September 2012. Der Winter 2011/2012 war in Lahr (Schwarzwald) um +0,6 °C zu warm gewesen gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 – 1990.

Beachtenswert ist der hohe Heizwärmeverbrauch im Februar 2012 bedingt durch sehr niedrige Umgebungstemperaturen. Die Luft ist kalt aber wegen der hohen Sonneneinstrahlung relativ trocken, weswegen das Maximum der Rückenergie zum Abtauen/Enteisen des Lamellenverdampfers nicht im Februar, sondern bereits im feuchten November auftritt.



Der Wärmeverbrauch für die Heizung betrug jährlich 13,4 MWh und für das Warmwasser 1,0 MWh. Der zuletzt genannte Wert entspricht einem Anteil von 7,5 % am gesamten Wärmeverbrauch des Hauses. Die Abtauenergie ist überdurchschnittlich hoch und beträgt 1,5 MWh-thermisch. Das entspricht 9,7 % der erzeugten Wärme für Heizung und Warmwasser. Andere kommen mit der Hälfte und weniger aus. Der Warmwasserverbrauch liegt mit 26 m³ pro Jahr bei drei Personen im Rahmen des Üblichen.

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



Die monatlichen Arbeitszahlen variieren in der Heizperiode um $AZ = 2,5$ mit einem Maximum im Frühjahr 2012 von 3. Während zweier Sommermonate brachen die Arbeitszahlen erheblich ein. Normalerweise liegt das an der Urlaubszeit und damit verbundenem geringen Warmwasserverbrauch. Im vorliegenden Fall dürften aber auch noch andere Gründe die Ursache dafür sein, weil der monatliche Verbrauch weitgehend konstant blieb.

Der Not-Heizstab war nur zweimal kurz im Einsatz, und zwar im Oktober 2011 und im kalten Februar 2012. Die elektrische Arbeit betrug aber nur 0,9 % der erzeugten Wärme für Heizung und Warmwasser. Zwischen Oktober 2011 und September 2012 ergeben sich schließlich Jahresarbeitszahlen in Höhe von $JAZ = 2,5$.

5. Bewertung

Die ermittelte Jahresarbeitszahl in Höhe von 2,5 ist laut der Deutschen Energieagentur (dena) und des Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerkes (RWE) als energie-ineffizient 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, liegt an der Grenze zwischen „ungenügend“ und „mangelhaft“ (siehe Schaltfläche unter www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html).

Das Mittel der Jahresarbeitszahlen von Luft-Wärmepumpen beträgt in Verbindung mit Fußbodenheizungen bei der Agenda-Gruppe Energie $JAZ = 2,8$; das Fraunhofer Institut für Solare Energiesystem (ISE) ermittelte $JAZ = 2,9$. Die Gründe für das unterdurchschnittliche Abschneiden der untersuchten Wärmepumpe liegen auch an den folgenden zwei Punkten:

- Radiator- statt Fußbodenheizung: Die Agenda-Gruppe hatte in der Phase 1 des Feldtests Wärmepumpen eine Verringerung der JAZ um bis zu 0,4-Punkte gemessen.
- Abtauenergie Lamellenverdampfer: Wie in Kapitel 4 schon erwähnt ist sie relativ hoch; hier besteht noch Optimierungspotential.

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, www.agenda-energie-lahr.de

Im Oktober 2012