

Die Energieeffizienz der solar- und holzunterstützten Erdreich – Elektro-Wärmepumpe mit horizontalem Flächenregister Nr. 2402

in einem Einfamilienhaus in Lörrach

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 zum Teil nur mäßigen bis fehlenden Energieeffizienzen von Elektro-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, verbessertem Fachwissen und zusätzlichen Wärmeerzeugern könnte es gelingen, die Jahresarbeitszahl auf über $JAZ = 3,0$ - besser $4,0$ - anzuheben, um sie aus Sicht der Deutschen Energieagentur und des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes als „energieeffizient“ bzw. „nennenswert 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 zusätzliche Wärmeerzeuger mit einer ausgefeilten Regelstrategie und geringen Hilfenenergien.

Ob und gegebenenfalls in welchem Maße noch Energieeffizienzsteigerungen möglich sind, hat die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald) an einer solar- und holzunterstützten Erdreich-Wärmepumpe untersucht. Sie arbeitet in einem Einfamilienhaus mit vier Personen in Lörrach und ist eine von zwanzig Wär-

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.

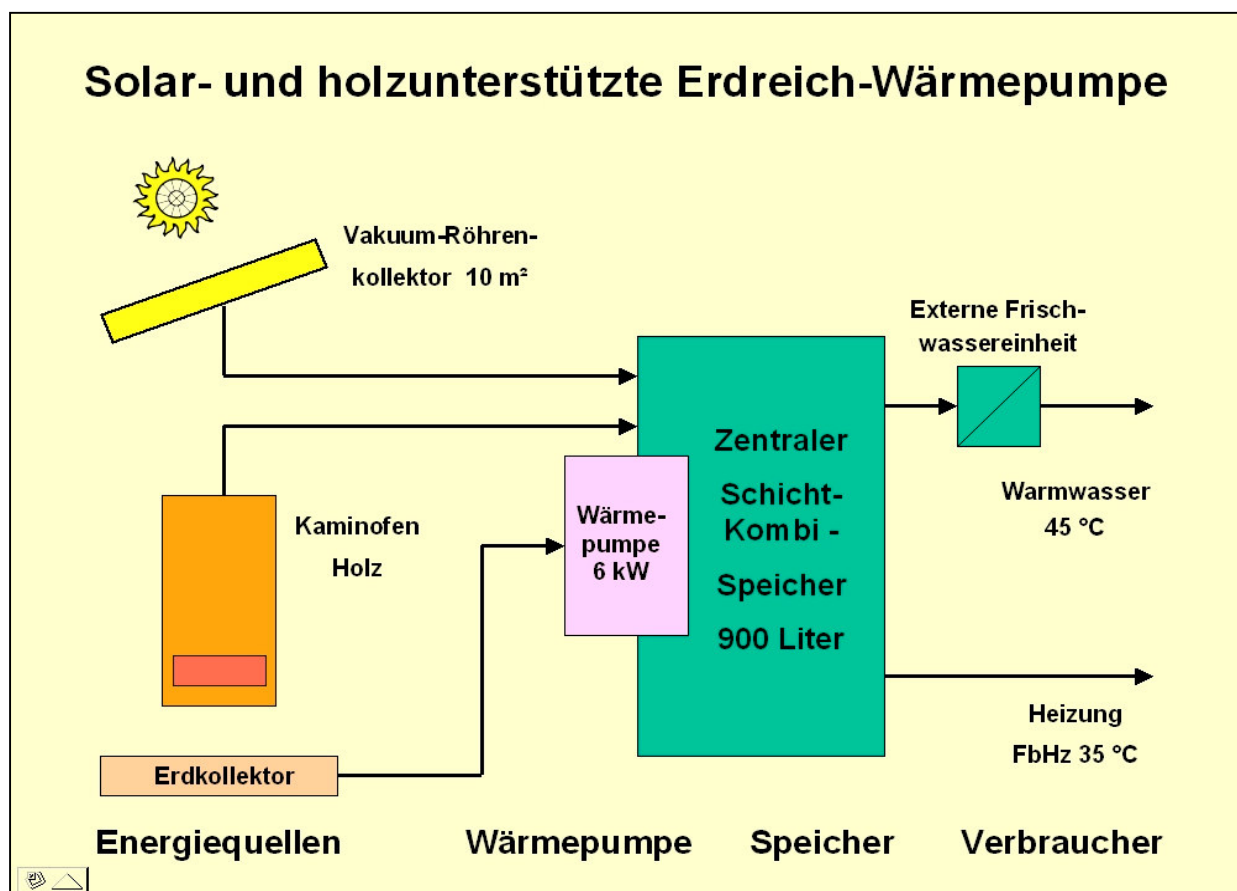
Die für die Energieeffizienz und den Klimaschutz maßgebliche *System*-Jahresarbeitszahl SJAZ berücksichtigt auch noch die folgenden Verlustquellen: Heizungspuffer- und Warmwasserspeicher, Abtauenergie des Lamellenverdampfers bei Luft-Wärmepumpen, Notheizstab und Speicher-Ladepumpen. Die SJAZ bilanziert also die Nutzenergien des Wärmepumpensystems.

Koppelt man Wärmepumpen mit Sonnenkollektoren, dann verbessert sich die Jahresarbeitszahl, weil die Kollektoren mit nur sehr geringem Aufwand an Pumpenstrom Solarwärme zur Verfügung stellen können. Gut ausgelegte solarthermische Anlagen können auf eine Jahresarbeitszahl von über 30 kommen.

mepumpen, die an der Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“ des „Feldtests Wärmepumpen“ teilnimmt. Die Agenda-Gruppe ermittelte die Jahresarbeitszahl unter realistischen Betriebsbedingungen über ein Jahr.

2. Solar- und holzunterstützte Erdreich-Wärmepumpe und Passivenergiehaus

Es handelt sich um eine Kompakt-Wärmepumpenanlage mit einem zentralen Schichtladespeicher, den die Energien aus dem Erdreich, der Sonne und etwas Holz speisen. Die Wärme dient der Versorgung eines Einfamilienhauses für die Heizung und das Warmwasser. Wie der folgende Schaltplan zeigt, entzieht die Wärmepumpe dem Erdreich über ein horizontales Flächenregister in zwei bis vier Meter Tiefe dem Boden die Wärme. Der Erdkollektor erstreckt sich über eine Fläche von 210 m² und besteht aus acht Kreisen zu je 100 m Länge, die zu etwa der Hälfte unter dem Haus verlegt sind; in diesem Bereich sind sie vom Haus thermisch entkoppelt.



Die Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 6 kW ist direkt in den zentralen Kombispeicher mit einem Volumen von 950 Liter eingehängt. Die Leistungsziffer, der Coefficient Of Performance COP, beträgt bei einer Eingangstemperatur von 0°C und einer Vorlauftemperatur von 35 °C $COP = 4,3$; das entspricht einer elektrischen Leistungsaufnahme von 1,4 kW.

Auf diesen Kombispeicher arbeiten noch 9,7 m² Vakuum-Röhrenkollektoren an der nach Süden ausgerichteten Hauswand (siehe Foto des Hauseigentümers auf der nächsten Seite) und ein mit Holz befeuerter Kaminofen, der im Wohnzimmer steht. Es gibt die Möglichkeit, einen Überschuss der Solarthermie kurzzeitig im Erdboden zu speichern, was in den Übergangszeiten Sinn machen könnte. Die Trinkwasserversorgung erfolgt über eine externe Frischwassereinheit. Ein Elektro-Notheizstab ist zwar vorhanden, aber im Normalfall mit der Hand ausgeschaltet.

Die Wärmepumpe beheizt ein Einfamilienhaus mit einer Fußbodenheizung in Lörrach. Es handelt sich rechnerisch um ein Passivenergiehaus aus dem Jahre 2010 mit einer Wohnfläche von

256 m². Der gemessene Heiz-Wärmeverbrauch beläuft sich von Oktober 2011 bis September 2012 auf 5,8 MWh. Hinzu kommt freilich noch die Wärmeabgabe des Holzofens in das Wohnzimmer in Höhe von 0,2 MWh (siehe Kapitel 4). Daraus ergibt sich ein spezifischer Heizwärmeverbrauch von 23 kWh/m² Wohnfläche und Jahr. Der Passivhaus-Standard mit 15 kWh/m² wird im vorliegenden Fall nicht ganz erreicht. Die Gründe könnten in der noch nicht vollständigen Austrocknung des Hauses liegen oder in baulichen Mängeln.



Der Warmwasserverbrauch beträgt jährlich 55 m³. Das entspricht 38 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

Da die Wärmepumpe mit ihrem Verdampfer direkt im zentralen Schichtspeicher integriert ist, lässt sich nur die *System*-Jahresarbeitszahl bestimmen (siehe INFO-BOX auf Seite 1). Sie ist gegenüberüber der *Erzeuger*-Jahresarbeitszahl freilich die wichtigere Kenngröße zur Bestimmung der Energieeffizienz einer Wärmepumpenanlage, weil sie die *Nutzenergien* bilanziert.

Die System-Jahresarbeitszahl SJAZ ist definiert als

$$\text{SJAZ} = (\mathbf{Q_{Hz} + F * V}) / (\mathbf{E_{Verd} + E_{Reg} + E_{Hst} + E_{Solep} - E_{UpHz}}), \text{ mit}$$

$Q_{Hz} + F * V$ Nutzenergien Heizung bzw. Warmwasser am Ausgang des Wärmepumpensystems, also vor der Einspeisung in die Fußbodenheizung und die Trinkwasserverteilung, Einheiten in kWh-thermisch,

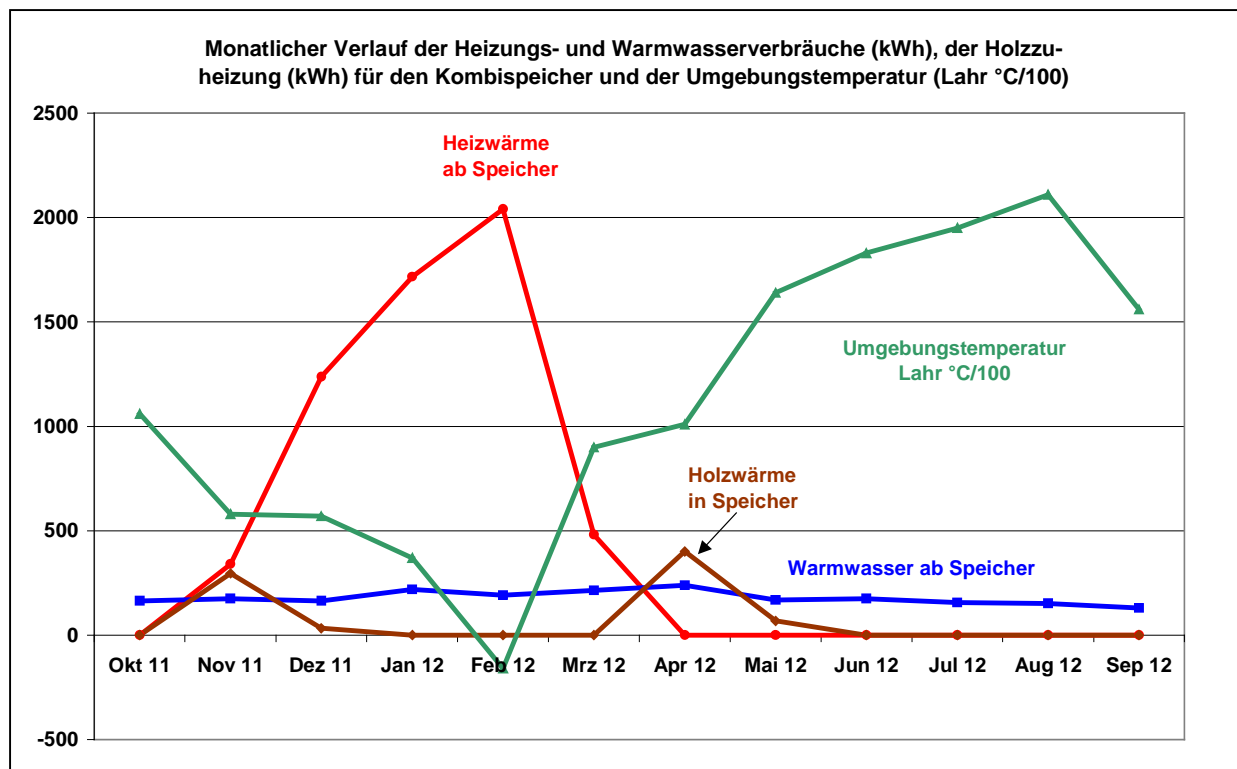
mit $V =$ Volumen Warmwasserverbrauch (m³) und

$F = 39$, Umrechnungsfaktor Durchfluss (m³) in kWh-thermisch (Kaltwasser = 11°C, Warmwasser = 45°C)

- E Elektrische Energien für Verdichter, Regelung, Not-Heizstab und sog. Solepumpe; Einheit in kWh-elektrisch.
In der „Regelung“ sind noch enthalten: Solarpumpe, Ladepumpen für Kaminofen und Frischwasser-Einheit und Motor-Ventile.
Anmerkung: Die Umwälzpumpe für den Heizkreis wird *nicht* bilanziert, weil sie Bestandteil eines jeden Heizsystems ist.
- E_{Hst} Der Not-Heizstab war während der einjährigen Messperiode nicht aktiv.

4. Ergebnisse

Die nächste Graphik zeigt die monatlichen Verläufe der Umgebungstemperatur, der erzeugten Holzwärme über die sog. Wassertasche des Kaminofens und die verbrauchten Wärmeenergien für Heizung und Warmwasser für den Zeitraum von Oktober 2011 bis September 2012. Der Winter 2011/ 2012 war in Lahr (Schwarzwald) gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 – 1990 um 0,6 °C zu warm.



Die Wärmepumpe arbeitete von November 2011 bis zum 11. März 2012. In den beiden Übergangszeiten im Herbst und Frühjahr lieferte der Kaminofen noch einen Restwärmebedarf für die Heizung und das Trinkwasser. Von Juni bis Oktober deckten jedoch die Sonnenkollektoren den Warmwasserverbrauch zu 100 % ab.

Die Bewohner verfeuerten im Wesentlichen im November 2011 und April 2012 0,7 Ster Holz (1 Ster = 1 Raummeter). Eine Abschätzung des Beitrages des Kaminofens ergibt folgendes:

Brennstoff Holz: $0,7 \text{ Ster} * 1,8 \text{ MWh} / \text{Ster} = 1,3 \text{ MWh}$

Erzeugte Wärme:

- Abgabe über die Wassertasche an den Speicher (gemessen) 0,8 MWh
- Abgasverluste Kaminofen (laut Angabe des Herstellers 20%) 0,3 MWh

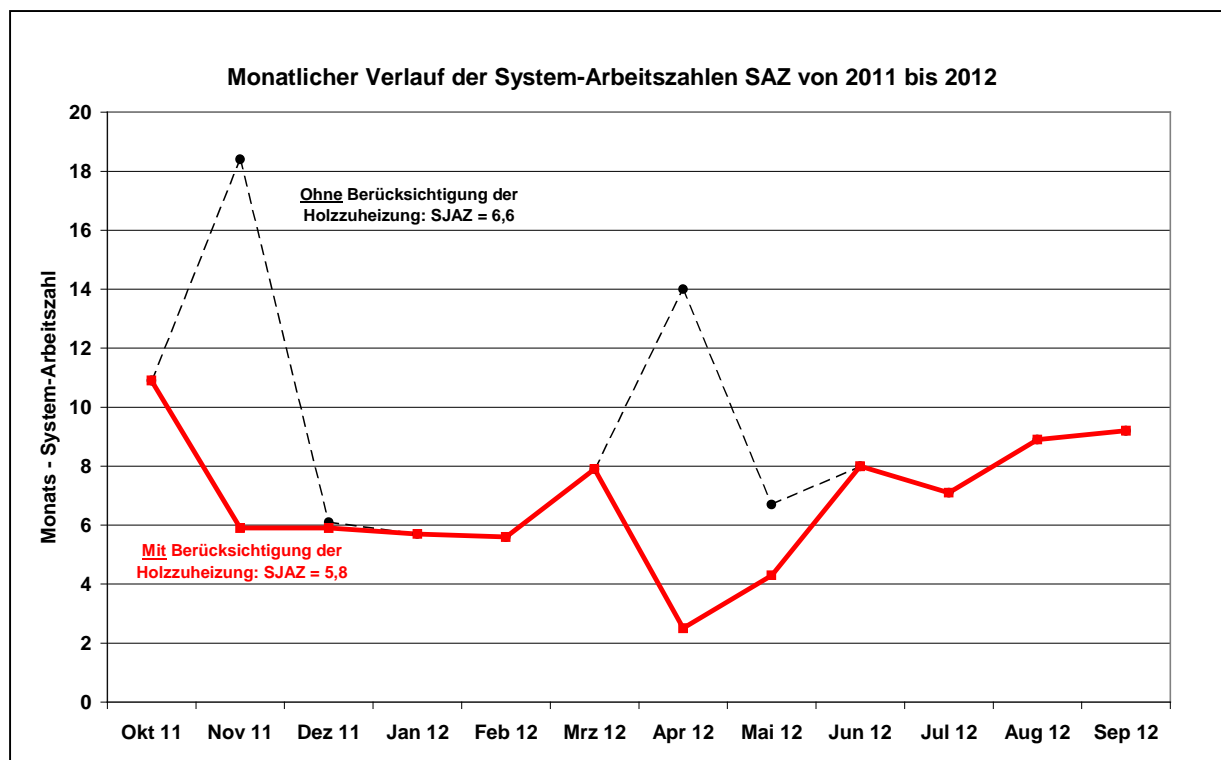
- Rest = Wärmeabgabe an das Wohnzimmer 0,2 MWh.

Der tatsächliche Heizwärmeverbrauch beträgt nun jährlich:

5,8 MWh (Heizwärme gemessen) + 0,2 MWh (Kaminofen abgeschätzt) = 6,0 MWh.

Zusammen mit dem Warmwasserverbrauch in Höhe von 2,1 MWh ergibt sich somit im Messjahr ein Gesamt-Wärmeverbrauch von 8,1 MWh. Wegen der geringen Heizwärme (Passivhaus) hat das Trinkwasser daran einen relativ hohen Anteil von 26 %.

Die nächste Graphik stellt den monatlichen Verlauf der System-Arbeitszahlen SAZ *ohne* (schwarz) und *mit* (rot) Berücksichtigung der Holzenergie zwischen Oktober 2011 und September 2012 dar.



Zum Verlauf *ohne* den Kaminofen: Er berücksichtigt als Zusatzquelle nur den solaren Energieeintrag der 9,7 m² großen Vakuum-Röhrenkollektoren in den Kombispeicher. Die ENergie-Einspar-Verordnung (EnEV) bewertet diesen Beitrag mit einem Primärenergiefaktor PEF = 0. Die System-Jahresarbeitszahl beträgt SJAZ = 6,6. Dieser Wert ist wie auch bei Luft-Wärmepumpen standortabhängig.

Da die Betreiber zu Beginn und am Ende der Heizperiode noch mit Holz zufeueren, erweitert sich die die Formel in Kapitel 3 wie folgt:

$$\text{SJAZ} = \frac{\text{Nutzwärmen } Q_{\text{Hz} + \text{Ww}}}{(\text{Elektrische Energien } E + \text{Holzwärme} * \text{PEF}),}$$

mit PEF = 0,2 für Holz gemäß der EnEV. Der Term im Nenner (rot) erniedrigt die System-Jahresarbeitszahl SJAZ von 6,6 auf **5,8**. Der Anteil der Holzenergie in Höhe von 1,0 MWh am gesamten Wärmeverbrauch des Passivhauses beträgt 12 %.

5. Bewertung

Die untersuchte solar- und holzunterstützte Erdreich – Elektro-Wärmepumpe mit horizontalem Flächenregister erreicht mit einer

System-Jahresarbeitszahl von SJAZ = 5,8

die bisher höchste Energieeffizienz in den Phasen 1 und 2 des „Feldtests Wärmepumpen“. Dieser Wert ist gemäß der Klassifizierung der dena und des RWE (siehe INFO-BOX auf Seite 1) nicht nur „energieeffizient“, sondern sogar „nennenswert energieeffizient“. Die Bewertung gemäß der Klassifizierung von Jahresarbeitszahlen der Agenda-Gruppe, die unabhängig von der Art der Kaltquellen Luft, Grundwasser oder Erdreich ist, lautet „**ausgezeichnet**“ (siehe Schaltfläche „Klassifizierung“ unter www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html).

Nicht unerwähnt bleiben sollte jedoch, dass man auch bei einer so hohen Energieeffizienz immer noch 17% des teuren und hochwertigen Stroms braucht, um zusammen mit 83% Wärme aus der Erde, der Sonne und des Holzes das Passivhaus zu beheizen und mit warmem Wasser zu versorgen.

Die hohe Energieeffizienz verursacht natürlich auch erhöhte Kosten. Das ist wie im „normalen“ Leben auch: Qualität ist nicht zum Schnäppchenpreis erhältlich. Wem jedoch der Schutz des Klimas für sich und seine Kinder ein hohes Anliegen ist, der liegt mit einer Jahresarbeitszahl von deutlich über 5 richtig.

Danksagung:

Die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr dankt Herrn Dipl.-Phys. Michael Nast, Abteilung „Systemanalyse und Technikbewertung“ im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart für wertvolle Diskussionsbeiträge, insbesondere zur Bewertung der Holzzuheizung, und für die Durchsicht des Manuskriptes.

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 2012