

Die Energieeffizienz der Solaren-Wärmepumpe Nr. 2401

in einem Einfamilienhaus in Gottenheim/ Kaiserstuhl (Südbaden)

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. Das ist schwer, schließlich muss - physikalisch bedingt- die Wärmepumpe dann die Hauptarbeit übernehmen, wenn es draußen besonders kalt ist.

Es bieten sich aber verschiedene Wege an, die Energieeffizienz zu verbessern. Eine Möglichkeit besteht darin, das System und seine Komponenten

- optimal zu planen und auszulegen
- modernste Technik einzusetzen
- und das System auch fachgerecht einzubauen und zu betreiben.

Damit könnte es gelingen, die Jahresarbeitszahl auch von Luft-Wärmepumpen auf über $JAZ = 3,0$ anzuheben, um sie aus Sicht der Deutschen Energieagentur, des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes und des Erneuerbaren-Energien-Wärme-Gesetzes als „energieeffizient“ bezeichnen zu können (siehe INFO-BOX „Jahresarbeitszahl“ rechts).

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

Darüber hinaus bietet sich -wie im vorliegenden Fall- aber auch noch die Nutzung der Sonnenenergie und der Einsatz eines sog. Latent-Wärmespeichers (Nutzung der Kristallisationswärme flüssig/fest) an, um die Energieeffizienz des Wärmepumpensystems steigern. Ob und gegebenenfalls in welchem Maße das der Fall ist, hat die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald) an einer Wärmepumpe mit einem sog. Hybrid-Sonnenkollektor und einem

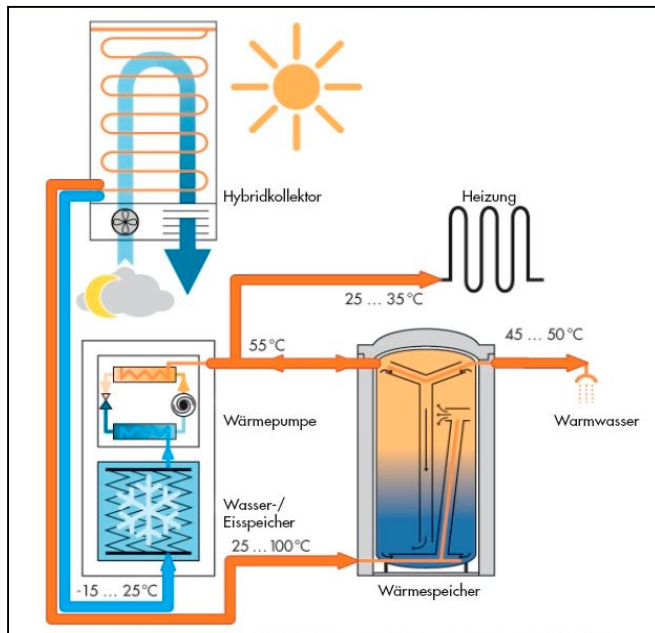
INFO-BOX: Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl JAZ einer Elektro-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, des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) in Essen sowie des Erneuerbaren-Energien-Wärme-Gesetzes (EEWärmeG) muss die Jahresarbeitszahl bei Elektro-Wärmepumpen größer als $JAZ = 3,0$ sein, um sie als „energieeffizient“ und größer als $JAZ = 3,5$ sein, um sie als „nennenswert energieeffizient“ bezeichnen zu können. Das sind schwache Energieeffizienzziele. Besorgte Umwelt- und Klimaschützer fordern eine JAZ von mehr als 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 Kaltquelle.

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.



Eisspeicher untersucht. Dieses System arbeitet in einem Einfamilienhaus mit vier Personen in Gottenheim am Kaiserstuhl (Südbaden) und ist eine von zwanzig Wärmepumpen der Phase 2 „Innovative Wärmepumpensysteme“.

Die Agenda-Gruppe ermittelte die Jahresarbeitszahl unter realistischen Betriebsbedingungen über ein Jahr.

2. Wärmepumpe mit Hybrid-Sonnenkollektor und Einfamilienhaus

Die Wärmepumpe ist Teil eines sog. Energiezentrums, das auch noch einen 300 Liter Eisspeicher beinhaltet (siehe vereinfachtes Energieflussschema). Sie hat eine Leistung von 7 kW-thermisch. Die auf dem

Teststand bei B0/W35 ermittelte Leistungsziffer beträgt COP = 4,4 (COP = Coefficient of Performance).

Bei ausreichendem Sonnenschein erwärmt der 18 m² große Kollektor direkt den 1000 Liter großen Pufferspeicher, der die Wärme für die Heizung und das Trinkwasser zur Verfügung stellt (rote Energieflüsse im Schaltplan).

Bei geringer Sonneneinstrahlung arbeitet der Kollektor als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Dabei kann sowohl die Strahlung genutzt werden, als auch die Wärme in der Umgebungsluft (Hybridkollektor). Im zweiten Fall arbeitet der Kollektor als Wärmetauscher für die Umgebungsluft. Die Niedertemperaturwärme wird je nach Bedarf dem Eisspeicher oder der Wärmepumpe zugeführt (blauer Strang). Ist der Wärmebedarf größer als das Angebot von Sonne und Umgebungsluft, dann entzieht die Wärmepumpe dem Eisspeicher die fühlbare (Wasser) und latente Wärme (Übergang zu Eis), um den Bedarf der Wärmeverbraucher zu decken.

Die Wärmepumpe beheizt eine Doppelhaushälfte mit einer Fußbodenheizung in Gottenheim am Kaiserstuhl (Südbaden). Es handelt sich um ein KfW40 - Haus mit einer Fußbodenheizung aus dem Jahre 2009 mit einer Wohnfläche von rund 170 m². Das Haus bewohnen zwei Erwachsene und zwei Kinder.

Der gemessene Heiz-Wärmeverbrauch von Mai 2013 bis April 2014 beträgt 3814 kWh. Daraus lässt sich ein spezifischer Wärmeverbrauch von 22 kWh/m² Wohnfläche und Jahr berechnen. Bei diesem relativ niedrigen Wert ist zu berücksichtigen, dass der thermische Verlust des Kombispeichers den unteren Wohnräumen zu Gute kommt, weil es keinen Keller gibt und der Heizraum im Erdgeschoss untergebracht ist.



Für die Trinkwassererwärmung waren über das Messjahr 1370 kWh-thermisch erforderlich. Das entspricht 20 Liter/(Tag*Person). Das ist ein Wert, der im mittleren Bereich der bisher von der Agenda-Gruppe gemessenen Bandbreite zwischen 10 bis 32 Liter/(Tag*Person) liegt. Der Anteil des Warmwassers am gesamten Wärmebedarf des Hauses beträgt 26%.

3. Messtechnik

Die System-Jahresarbeitszahl SJAZ ist die wichtigste Größe zur Bestimmung der Energieeffizienz eines Wärmepumpensystems. Laut der INFO-BOX auf Seite 1 ist sie wie folgt definiert:

SJAZ = Thermische Nutzenergien am Ausgang des Wärmepumpensystems geteilt durch elektrische Antriebs- und Hilfsenergien, in einer Formel:

$$SJAZ = (Q_{Hz} + Q_{Ww}) / (NT + HT - E_{Up}), \text{ mit}$$

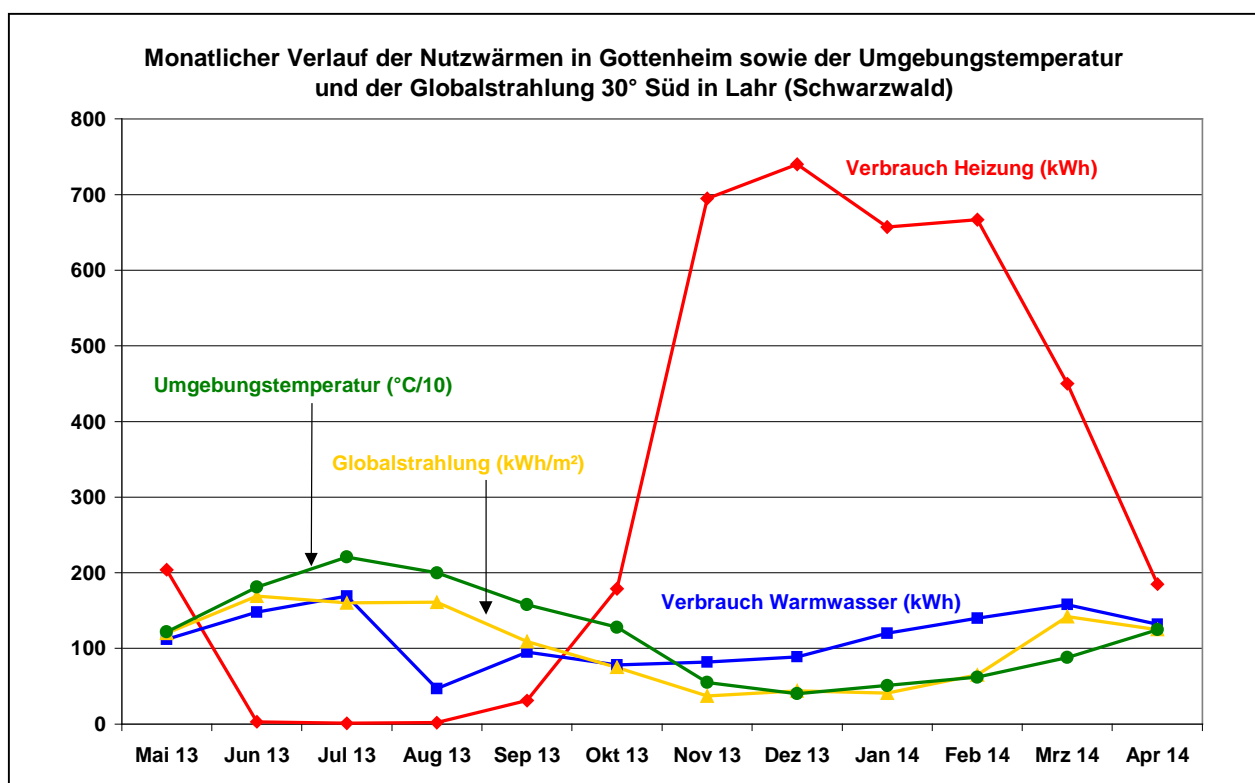
Q_{Hz} & Q_{Ww} Thermische Nutzenergien für die Heizung und die Trinkwassererwärmung

$NT + HT$ Nieder- und Hochtarifzähler des Wärmepumpensystems

E_{Up} Elektrische Energien für die Pumpen „Heizkreise“ und „Trinkwasserzirkulation“
 Anmerkung: Die Umwälzpumpen finden in der Bilanz keine Berücksichtigung, weil sie auch bei konventionellen Heizkesseln notwendig sind.
 In E_{Up} ist auch noch die elektrische Energie für die Messtechnik enthalten.

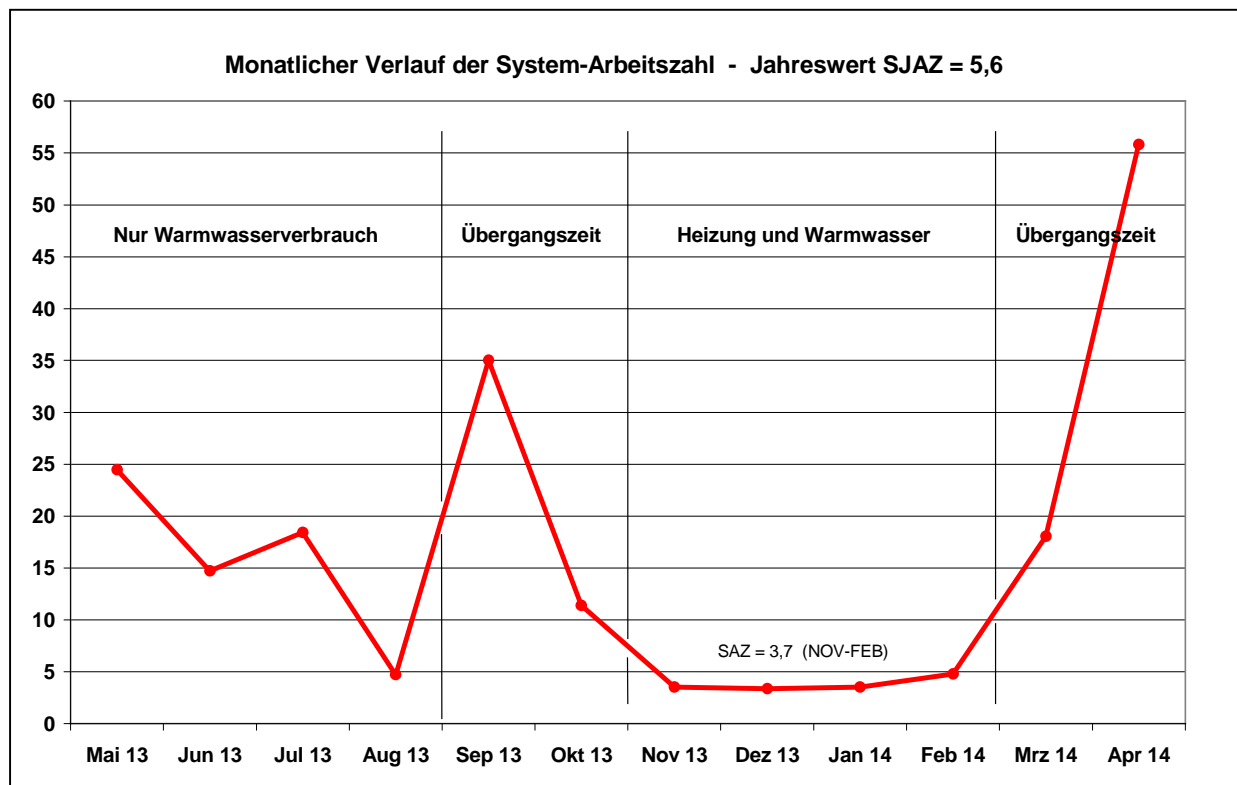
4. Ergebnisse

Die nächste Graphik zeigt die monatlichen Verläufe der Umgebungstemperatur, der Globalstrahlung auf die 30° geneigte Südfäche in Lahr (Schwarzwald), und die verbrauchten Wärmeenergien für Heizung und Warmwasser von Mai 2013 bis April 2014. Lahr liegt gut 30 km Luftlinie nördlich des Kaiserstuhls. Die Wintermonate waren in Lahr um +3,0 °C zu warm gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 – 1990.



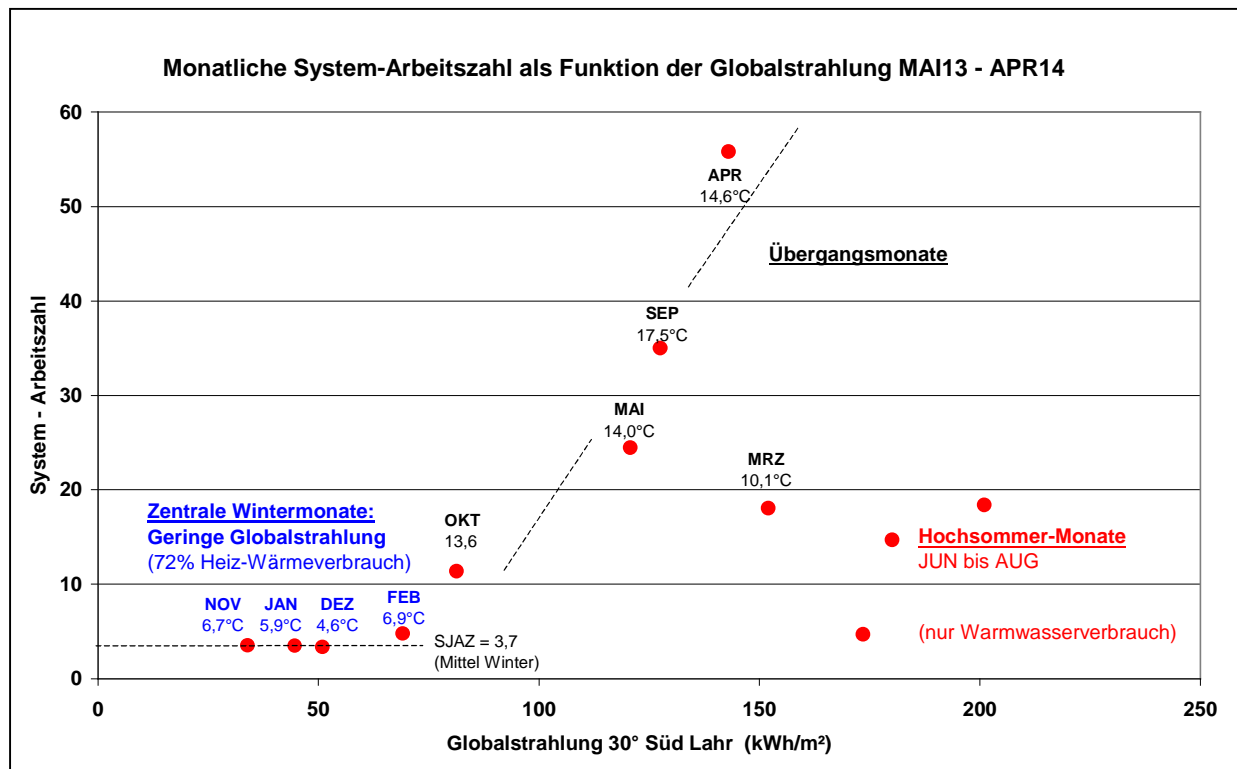
Der Wärmeverbrauch für die Heizung betrug zwischen Mai 2013 und April 2014 3,8 MWh und für das Warmwasser 1,4 MWh. Der zuletzt genannte Wert entspricht wegen des niedrigen Heizwärmeverbrauchs einem relativ hohen Anteil von 26 % am gesamten Wärmeverbrauch des Einfamilienhauses.

Die nächste Graphik zeigt den monatlichen Verlauf der System-Arbeitszahlen. In den zentralen Wintermonaten von November 2013 bis Februar 2014 beträgt das Mittel SAZ = 3,7 und ist damit deutlich besser als bei Luft-Wärmepumpen. Die System-Arbeitszahlen steigen in den Übergangszeiten kräftig an, weil der Heizwärmebedarf abnimmt und die Sonne zunehmend den Verbrauch von Heizung und Warmwasser abdeckt.



Im Sommer dagegen, wenn nur ein Warmwasser bedarf besteht, fallen die System-Arbeitszahlen aber wieder ab, weil die 18 m² großen Sonnenkollektoren für den geringen Warmwasserverbrauch überdimensioniert sind (nicht verwertbarer Überschuss). Arbeitszahlen zwischen 5 und 25 bedeuten, dass die Anteile der elektrischen Hilfsenergien für Förderpumpen und Regelung am Warmwasserverbrauch 20% bis herunter zu 4% betragen.

Die Graphik auf der nächsten Seite zeigt den Sachverhalt noch einmal, diesmal sind jedoch die System-Arbeitszahlen nicht gegen die Zeit, sondern gegen die Globalstrahlung aufgetragen.



Deutlich sind wieder die drei Bereiche zu erkennen (Parameter: Umgebungstemperatur in °C):

- Die zentralen Wintermonate November bis Februar (blau: nahezu konstant)
- Die Übergangsmonate März-Mai und September-Oktober mit dem steilen Anstieg (Mitte)
- Die Hochsommermonate Juni bis August (rechts).

Ergebnisse: Mit zunehmender Einstrahlung -und in unseren Breiten auch zunehmender Umgebungstemperatur- steigen die System-Arbeitszahlen von $SJAZ = 3,4$ (minimaler Wert im Dezember) auf über 50 im April an. Lediglich der März 2014 ist ein Ausreißer, bedingt durch Anomalien bei der Meteorologie: Die Globalstrahlung auf die 30° nach Süden geneigte Fläche lag in Lahr um +29% über dem Mittel zwischen 2002 und 2014 und die Umgebungstemperatur um +2,4 °C über dem Mittel von 1961-1990. In diesem Monat entstand deshalb ein Überangebot an Solarstrahlung und Umgebungswärme, das offensichtlich nur zum Teil verwertbar war. Während der Hochsommermonate fallen die System-Arbeitszahlen wieder ab, weil die 18 m²-Sonnenkollektoren für die alleinige Trinkwassererwärmung überdimensioniert sind.

5. Bewertung

Die untersuchte solare Wärmepumpe mit einem Hybrid-Sonnenkollektor (Nutzung der Umgebungs- und Solarwärme) in Verbindung mit einem Eisspeicher erreichte zwischen Mai 2013 und April 2014 eine

System-Jahresarbeitszahl von $SJAZ = 5,6$.

Das ist die zweithöchste Energieeffizienz in den Phasen 1 und 2 des „Feldtests Wärmepumpen“. Dieser Wert ist gemäß der Klassifizierung und Bewertung der Lokalen Agenda 21 Gruppe Energie Lahr als „**ausgezeichnet**“ zu bezeichnen. Details zur Klassifizierung stehen im Anhang des Schlussberichtes unter www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html.

Ein SJAZ = 5,6 bedeutet, dass man nur noch 18% des teuren und hochwertigen Stroms braucht, um zusammen mit 82% Wärme aus der Umgebungsluft und der Solarstrahlung das Niedrigenergiehaus zu beheizen und mit warmem Wasser zu versorgen. Zu berücksichtigen ist freilich, dass das Monitoring im wärmsten Teil Deutschlands erfolgte und dass die gemessenen Wintermonate gegenüber dem langjährigen Mittel um +3,0 °C zu warm waren. In anderen Teilen Deutschlands und in einem "Normaljahr" liegt die Jahresarbeitszahl sicherlich niedriger.

Die „ausgezeichnete“ Energieeffizienz verursacht natürlich auch höhere 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, wird der Ökologie den Vorrang gegenüber der Ökonomie einräumen.

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@t-online.de, www.agenda-energie-lahr.de

Im Juni 2014