Feldtest Elektro – Wärmepumpen:

Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei

Erfassung der Leistungsfähigkeit von Elektro – Wärmepumpen unter realistischen Betriebsbedingungen am Oberrhein

Eine zweijährige Untersuchung der Lokalen Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lahr und der Ortenauer Energieagentur Offenburg über die Ergebnisse des ersten Messjahres 2006/07

Zusammenfassung

Einführung: In einem zweijährigen „Feldtest Elektro-Wärmepumpen“ untersucht die Lokale Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lahr den Stand heutiger Wärmepumpentechnik, deren Effizienz und Wirtschaftlichkeit zwischen Freiburg im Breisgau und Baden-Baden. Dazu ermittelte die Gruppe 33 Betreiber mit Luft-, Erdreich- und Grundwasser - Heiz-Wärmepumpen und 5 mit Warmwasser-Wärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern, die bereit waren, die monatlichen Ablesewerte von Elektro- und Wärmezählern zu melden. Ziel ist es, nicht nur den Teilnehmern am Projekt, sondern auch den Planern, Energieberatern und Handwerkern verlässliche Daten über die effizientesten Wärmepumpensysteme an die Hand zu geben.

Ergebnisse: Es gibt erhebliche Unterschiede zwischen den Leistungsmessungen auf den Testständen und der Werbung auf der einen Seite und der Ermittlung von Arbeitszahlen unter realistischen Betriebsbedingungen auf der anderen Seite. Die Jahresarbeitszahl ist definiert als das Verhältnis von Wärme am Ausgang einer Wärmepumpe zum notwendigen Strom an deren Eingang. Je höher die Arbeitszahl, desto effizienter die Wärmepumpe. Um nennenswert Primärenergie und damit Kohlendioxid einzusparen, ist eine Arbeitszahl von über drei erforderlich.

Auf der Kaltquellenseite sind Erdreich-Wärmepumpen der Spitzenreiter. Bei einer Fußbodenheizung erreichen sie im Mittel eine Jahresarbeitszahl von JAZ = 3,4; davon übertreffen zwei Wärmepumpen sogar die Werbeaussagen von JAZ = 4. Die Grundwasser-Wärmepumpen schneiden mit JAZ = 3,0 schlechter ab. Schlusslicht bilden die Luft-Wärmepumpen. Bei einer Fußbodenheizung beträgt die Jahresarbeitszahl von im Mittel JAZ = 2,8, bei Radiator-Heizkörpern nur AZ = 2,3. Deutlich abgeschlagen sind die ebenfalls mit Luft betriebenen Klein – Warmwasser-Wärmepumpen mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von nur AZ = 1,9.

Empfehlungen: Einsatz von Erdreich-Wärmepumpen in Verbindung mit Fußbodenheizungen, weil sie in der Praxis im Mittel ca. 25% Primärenergie und damit das klimaschädliche Treibhausgas CO_2 gegenüber Brenntwertkesseln einsparen können. Luft - Heiz-Wärmepumpen mit Fußbodenheizungen erreichen dagegen das Klimaschutzziel nur in wenigen Einzelfällen und in Verbindung mit Radiatoren überhaupt nicht. Luft-Wärmepumpen sollten deshalb weder beworben und gefördert noch eingesetzt werden.

Es ist vorteilhaft, die Warmwasserversorgung mit der Heiz-Wärmepumpe zu kombinieren. Das erspart den Einsatz von Elektro-Standspeichern und Warmwasser-Wärmepumpen.

Hersteller und Handwerker sind dazu aufgefordert, mehr als bisher die Systemtechnik und die Optimierung der Komponenten im Auge zu behalten. Das würde nicht nur dem Klimaschutz dienen, sondern vielen Wärmepumpensystemen erst einen deutlichen Umweltvorteil verschaffen.

1. Einführung

Bei den Bemühungen um eine Energieeinsparung wächst erneut das Interesse an Wärmepumpen für die Heizung und das Warmwasser. Dabei kommt im Ein- und Zweifamilienhaus nur die Elektro-Wärmepumpe in Frage. Sie kühlt über einen primären Kältekreislauf die Umgebungsluft, das Erdreich oder das Grundwasser ab und hebt („pumpt“) die niedrigen Temperaturen mit Hilfe elektrischer Energie auf ein nutzbares Temperaturniveau im sekundären Wärmekreislauf zum Heizen oder zur Warmwasserbereitung an.

Bisherige Felduntersuchungen und Werbeaussagen lassen aber Zweifel darüber aufkommen, ob alle Wärmepumpensysteme geeignet sind, volkswirtschaftlichen Zielen (Einsparung von Primärenergie und Kohlendioxid) und privatwirtschaftlichen Zielen (Einsparung von Geld über die Lebensdauer der Anlage) gerecht zu werden. Übertriebene Äußerungen von Herstellern, Verbänden und Energieversorgungsunternehmen (EVU) über Jahresarbeitszahlen von 4 –6 (Verhältnis von Wärme-AUSGANG/ Strom-EINGANG) und Slogans wie „mit 100% Sonne heizen“ oder „das umweltfreundlichste Heizsystem, das das Klima entlastet“ schaden der Wärmepumpentechnik mehr, als sie ihr nützen. Das hat schon eine ähnliche Kampagne in den Jahren 1979 und 1980 gezeigt.

Die Lokale Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lahr führt deshalb in Zusammenarbeit mit der Ortenauer Energieagentur in Offenburg seit Oktober 2006 einen zweijährigen „Feldtest Elektro-Wärmepumpen“ durch. Die Messtechnik fördern zu gleichen Teilen die badenova (Freiburg/ Breisgau.) und das E-Werk Mittelbaden (Lahr/Schwarzwald). Ein Arbeitskreis begleitet die Untersuchungen. Er setzt sich zusammen aus Vertretern der Elektro- und Heizungs-Innungen, der EVU, des Steinbeis-Transferzentrums, der Hochschule Offenburg, des Lokalen Agenda 21 - Büros der Stadt Lahr und der Ortenauer Energieagentur.

2. Ziele

Ziel des zweijährigen „Feldtest Wärmepumpen“ ist die Ermittlung des Standes neuerer Technik, der **Jahresarbeitszahl** und der **Wirtschaftlichkeit** unter realistischen Betriebsbedingungen. Die Voraussetzungen dazu sind am Oberrhein recht gut: Hier misst der Wetterdienst die höchsten Umgebungstemperaturen Deutschlands, das begünstigt die Luft-Wärmepumpen. Aber auch die hohe Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers in den mächtigen Kiesschichten des Rheintals wirken sich vorteilhaft auf die Erdreich- und Grundwasser-Wärmepumpen aus.Wenn ein Wärmepumpen-Heizsytem nicht hier effizient arbeitet, wo dann sonst?

Darüber hinaus sind die folgenden Fragen noch nicht hinreichend geklärt:

- Welche der drei **Kaltquellen** Luft, Erdreich und Grundwasser ist die effizienteste?
- Heizung und Warmwasser getrennt oder **kombiniert**?
- Ist ein Heizungs-**Pufferspeicher** nötig und beeinflusst er die Arbeitszahl?
- Sind Heizungskörper vertretbar oder ist eine **Fußbodenheizung** erforderlich?

Das Projekt dient somit nicht nur den Teilnehmern des Feldtests, sondern liefert den Energieberatern, Energieagenturen, potentiellen Interessenten, Planern und Handwerkern auch verlässliche Daten über die effizientesten Wärmepumpensysteme.

3. Vorarbeiten

Die Lokale Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lahr ermittelte zunächst in Zusammenarbeit mit der Ortenauer Energieagentur, dem Ortenaukreis, dem Steinbeis-Transferzentrum, der badenova, dem E-Werk Mittelbaden und der Tagespresse über 100 Interessenten. Nach einer **Vorauswahl** im Hinblick auf die geographische Lage, Art der Kaltquellen und Hersteller blieben 50 übrig. Bei der Begehung dieser Wärmepumpenanlagen verringerte sich die Anzahl aber weiter auf 33 Heiz- und 5 Warmwasser-Wärmepumpen. Die Gründe: Nicht in allen Fällen waren die

Verrohrung und elektrischen Anschlüsse klar, es lagen Fremdverbraucher auf dem Sondertarifzähler, es gab nicht ausreichend Platz zum Einbau der Messgeräte, das Interesse des Betreibers ließ nach oder die Anlagen waren ähnlich.

Die 33 ausgewählten Wärmepumpenanlagen stellen die **Vielfalt der vorhandenen Systeme** dar: Es sind die Kaltquellen Luft (13), Erdreich (13) und Grundwasser (7) in repräsentativer Auswahl vertreten, und zwar zwischen Freiburg und Baden-Baden sowie zwischen dem Rhein- und Kinzigtal in 4 EVU-Versorgungsgebieten. Die Wärmepumpen stammen von 11 Herstellern. 24 Anlagen verfügen über eine integrierte und 9 über eine getrennte Warmwasserbereitung, 6 arbeiten ohne einen Heizungspufferspeicher und 22 von 33 mit einer Fußbodenheizung.

Unter den Wärmepumpenanlagen befinden sich vier **Sonderfälle**. Es handelt sich dabei erstens um eine Luft-Wärmepumpe, die die Luft nicht direkt von der Frischluft bezieht, sondern vorerwärmt über die Wohnräume; zweitens um zwei Erdreich-Wärmepumpen mit einer sog. Heißgasentwärmung für die Warmwasserbereitung; drittens eine Kompakt-Wärmepumpe mit Wärmerückgewinnung und Vorerwärmung der Frischluft über einen Erdkollektor in einem Passivhaus und schließlich viertens um fünf Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung.

Zur Beurteilung der **Effizienz** aller Wärmepumpen ist die **Jahresarbeitszahl JAZ** die wichtigste Kenngröße. Sie ist definiert als das Verhältnis von erzeugter Wärme am Ausgang der Wärmepumpe (Nutzwärme) zur notwendigen elektrischen Energie (Strom) am Eingang. Dieses Verhältnis muss mindestens 3 betragen, damit Elektro-Wärmepumpen überhaupt nennenswert zum Klimaschutz beitragen können und um die erheblichen Mehrkosten gegenüber einem Brennwertkessel in Höhe von 8 000 bis 16 000 Euro zu rechtfertigen. Ein Beispiel dazu: Wenn die Werbung von einer Arbeitszahl JAZ = 4 spricht, dann meint sie, dass 25% Strom erforderlich ist, um zusammen mit 75% Umweltwärme (Luft, Erde oder Wasser) 100% Nutzwärme zu erzeugen. Eine so hohe Arbeitszahl erreichen unter realistischen Betriebsbedingungen aber nur wenige Erdsonden-Wärmepumpen.

4. Durchführung der Messungen

Die Energieversorgungsunternehmen bieten Elektro-Wärmepumpenbetreibern **Sondertarife** mit einem Rabatt von bis zu 50% auf den Haushaltstarif an (Quersubvention). Dafür müssen sie an Wochentagen mit einer Stromunterbrechung bei den Wärmepumpen von maximal dreimal pro Tag zu je 1,5 - 2 Stunden rechnen. Die 22 Fußbodenheizungen berührt das eigentlich nicht, ihre Wärmespeicherkapazität ist ausreichend groß, um die Räume kontinuierlich mit Wärme zu versorgen. Trotzdem kommen im Feldtest bei insgesamt 80% der Wärmepumpenanlagen Heizungspufferspeicher zwischen 200 und 1000 Litern zum Einsatz – wohl aus Gründen der Sicherheit und der einfacheren hydaulischen Anbindung an den Heizkreis.

Auf dem Sondertarifzähler liegen auch elektrische Verbraucher, die eigentlich gar nicht dahin gehören und umgekehrt. Das handhabt jedes Elektrizitätswerk und jeder Handwerker anders. Eine einheitliche Richtlinie gibt es nicht. Es erforderte deshalb einen beachtlichen Aufwand, vor Ort die IST-Lage zu ermitteln und mit Hilfe von Zwischenzählern in eine einheitliche SOLL-Lage zu überführen. Im Einvernehmen mit dem Arbeitskreis erfasst die Agenda-Gruppe nur die folgenden wärmepumpenspezifischen elektrischen Verbraucher:

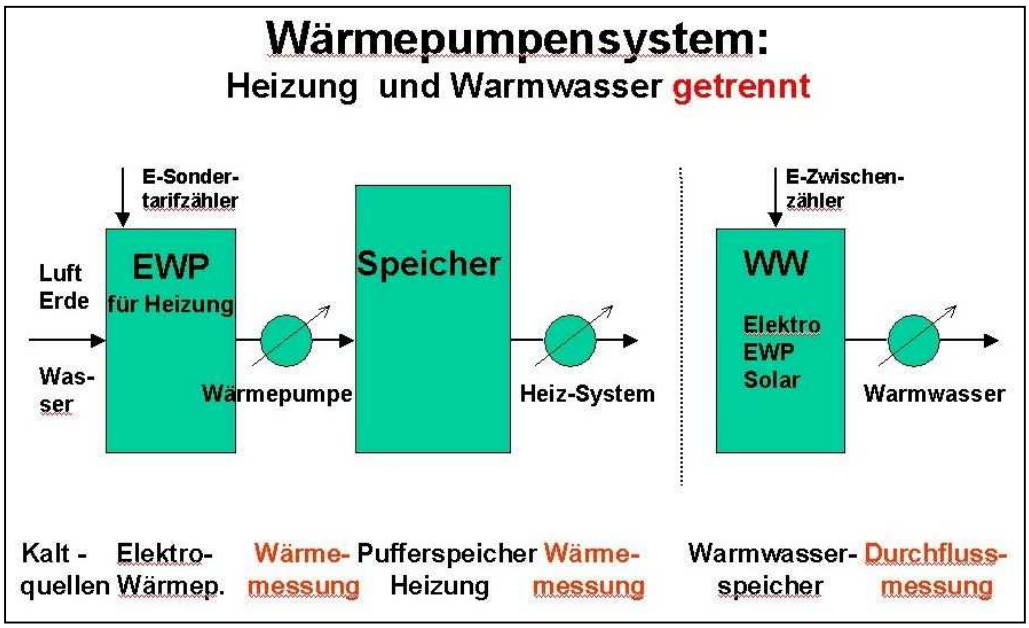
- Wärmepumpe einschließlich Steuerung/ Regelung
- Lüfter (Luft), Sole- (Erdreich) bzw. Förder- (Grundwasser) – Pumpe
- Ladepumpe Warmwasserspeicher falls vorhanden
- Elektro-Heizstab als Notheizung (bei Erdreich- und Grundwasser-Wärmepumpen fast immer per Hand ausgestellt).

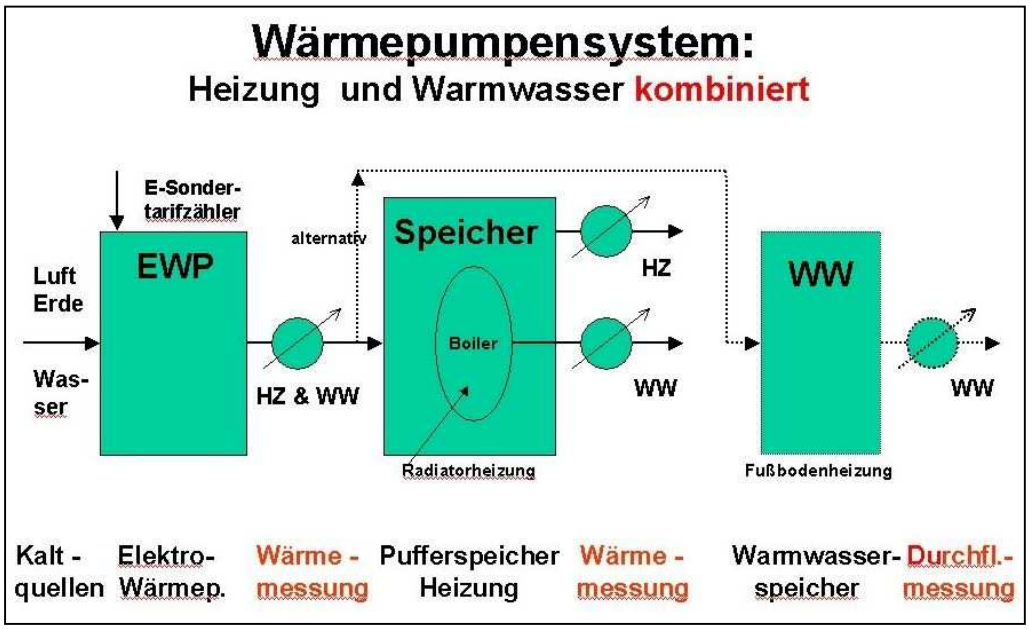
Die Umwälzpumpe für den Heizkreis liegt oft auf dem Sondertarifzähler. Hin- und wieder auch der Heizlüfter im Bad und die Lüftungsanlage. Diese Verbraucher müssen mit Hilfe von Zwischenzählern herausgerechnet werden, weil sie nicht zur Wärmepumpe gehören.

Die Betreiber melden monatlich die Wärme- und Elektrozählerstände. Der Aufwand für die regelmäßige Überwachung, Erinnerungen, Prüfungen auf Plausibilität, Nachhaken und Nachbegehungen ist hoch. Doch die Arbeit lohnt sich. Denn nur so ist die Agenda-Gruppe in der Lage, belastbares Zahlenmaterial vorzulegen. Außerdem hat sie schon in den ersten paar Monaten mit dazu beigetragen, die Effizienz von einigen Wärmepumpen zu verbessern.

4.1 Normal - Messprogramm

Von den 33 Wärmepumpenanlagen laufen **32** im **Normal-Messprogramm**. Das heißt: Bei ihnen sind nur Wärme- und Elektrozähler eingebaut, die die Betreiber monatlich ablesen müssen. Die folgenden beiden Bilder zeigen schematisch die Messtechnik bei einem Wärmepumpensystem mit getrennter und kombinierter Warmwasserversorgung.





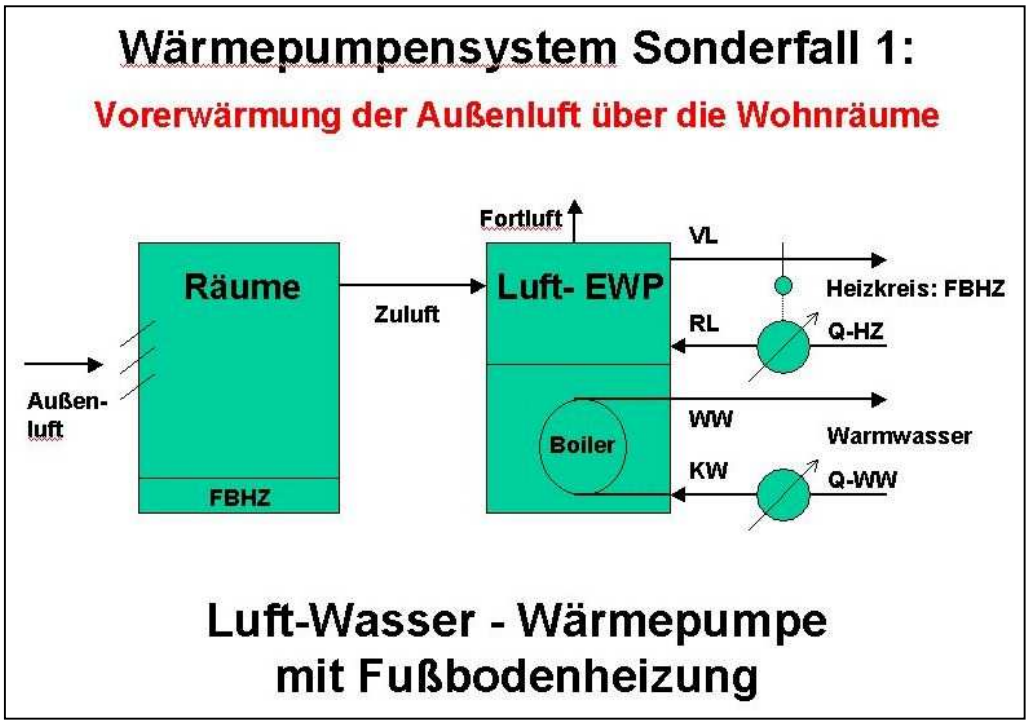
Nebenbei: Während vor und hinter dem Heizungspufferspeicher die Wärmemenge (kWh = Kilowattstunde) direkt gemessen wird, erfolgt die Ermittlung der Warmwasser-Wärmemenge über die Messung des Durchflusses (m^3 = Kubikmeter) und der Multiplikation mit einem Faktor, so wie das bei der Abrechnung mit Mietern üblich ist.

4.2 Sonder-Wärmepumpenanlagen

4.2.1 Sonderfall 1: Luft-Wärmepumpe mit **Vorerwärmung** der Umgebungsluft (**Frischluft**) durch die **Wohnräume**

In Heizungsfachkreisen gibt es unterschiedliche Ansichten, ob es Vorteile bringt, die Frischluft direkt dem Verdampfer der Luft-Wärmepumpe zuzuführen oder sie zuerst über die Wohnräume vorzuerwärmen. Der Charme der Raumluftvorerwärmung besteht darin, dass sich Heizung und kontrollierte Lüftung mit nur geringem Aufwand verbinden lassen. Andere wenden freilich ein, dass es sich bei diesem System um einen Wärmekurzschluss handelt, das keinen Nutzen bringt.

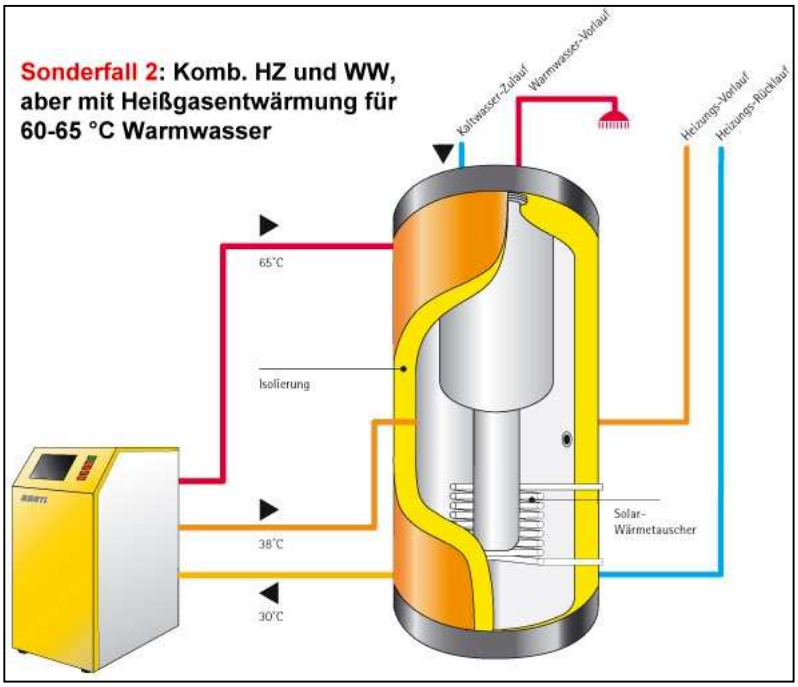
Die Agenda-Gruppe hat deshalb das unten dargestellte Wärmepumpensystem mit in das Messprogramm aufgenommen, um die Effizienz dieser kombinierten Anlage für Heizung- und Warmwasser im Vergleich zu normalen Luft-Wärmepumpen zu ermitteln.



4.2.2 Sonderfall 2: Erdsonden-Wärmepumpen mit **Heißgasentwärmung** zur Warmwassererwärmung bis zu 65 °C

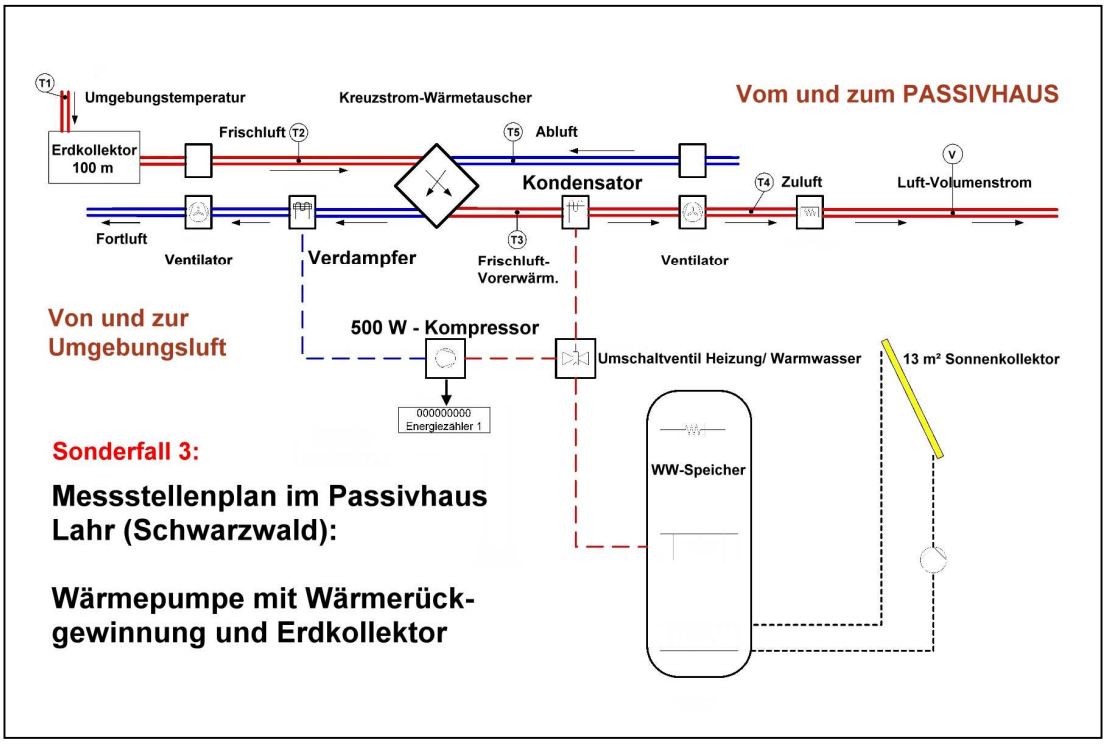
Ein Wärmepumpen-Hersteller wirbt mit „Warmwassertemperaturen bis 65°C bei hervorragender Leistungszahl“. Der Clou: Die Heißgasentwärmung. Er zweigt 10% der Heizleistung im Kältemittelkreislauf für das höhere Warmwasser-Temperaturniveau ab und speist diese in den oberen Teil des auf der nächsten Seite dargestellten Speichers ein.

Ob diese Heißgasentwärmung Vorteile bringt, untersucht die Agenda-Gruppe an zwei Erdsonden-Wärmepumpen, eine mit Fußbodenheizung und eine mit Radiatoren.



4.2.3 Sonderfall 3: Luft - Kompakt-Wärmepumpe mit Vorerwärmung der Luft durch einen 100 m – **Erdkollektor** und **Wärmerückgewinnung** der Abluft aus einem **Passivhaus**

Die Effizienz dieses Wärmepumpensystems ist mit dem Normal-Messprogramm unter Kapitel 4.1 nicht mehr zu erfassen. Mit Unterstützung von drei Firmen hat deshalb die Agenda-Gruppe ein Passivhaus in Lahr mit einer kompletten automatischen Messwerterfassungsanlage bestückt (siehe Messstellenplan unten). Der Logger tastet im Rhythmus von zwei Sekunden alle acht Messkanäle ab, berechnet intern bereits abgeleitete Kenngrößen, z.B. Arbeitszahlen, und speichert alle 10 Minuten die Mittelwerte ab. Das Auslesen der Daten in einen Notebook erfolgt einmal im Monat.



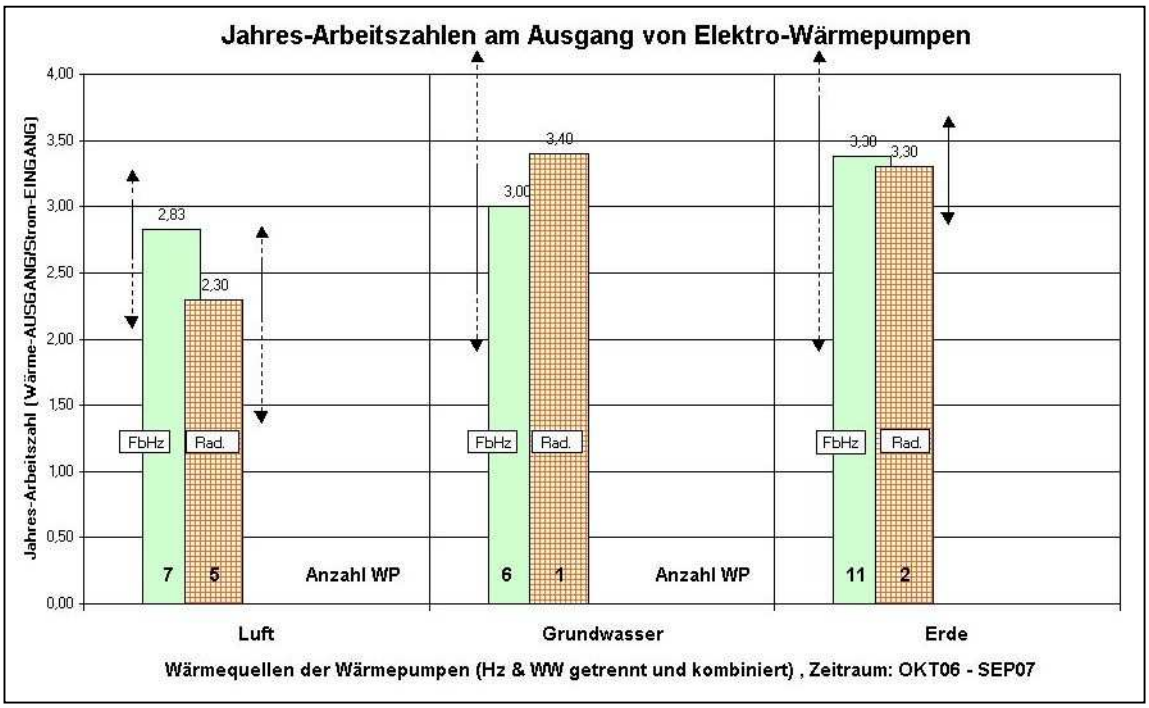
4.2.4 Sonderfall 4: Luft - Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung

Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung stehen oft im Keller, wo sie meist Vorratsräume abkühlen sollen (hoffentlich nicht in einem Heizungsraum: Wärmekurzschluss!). Ob dieses Ziel erreicht werden kann, steht im Feldtest nicht zur Debatte. Die geringe Kompressorleistung, die Verlustwärme des integrierten Warmwasserspeichers und die fehlende Dämmung der Kellerräume sprechen dagegen. Es interessiert vielmehr, ob die fünf zu untersuchenden Klein-Wärmepumpen Primärenergie und damit Kohlendioxid einsparen können oder ob eine Sonnenkollektoranlage eine effizientere Investition darstellt.

5 Ergebnisse

5.1 Normal-Messprogramm

Das folgende Bild zeigt das Jahresergebnis von Oktober 2006 bis September 2007. Aufgetragen ist die entscheidende Größe für die Effizienz von Wärmepumpen, nämlich die in Kapitel 3 definierte Jahresarbeitszahl JAZ. Die Graphik unterscheidet unterschiedliche Kaltquellen (Luft, Erde und Grundwasser) und Wärmesenken (Fußboden- und Radiatorheizungen).



Die beiden linken Säulen stellen die gemittelten Arbeitszahlen der **Luft**-Wärmepumpen dar, gemessen direkt an deren Ausgängen, und zwar für Fußbodenheizungen (grüne Säule: Mittel JAZ = 2,83) und Radiatorheizungen (gerastert: Mittel JAZ = 2,30). Die Zahlen am Fuß der graphischen Darstellung informieren über die Anzahl der gemittelten Wärmepumpen und die senkrechten Pfeile an den Säulen über die Variation der Einzelwerte (durchgezogen: Hauptfeld, gestrichelt: Extreme).

Während der Unterschied zwischen den Nieder- und Mitteltemperaturheizkreisen in der Heizperiode noch 0,65 AZ-Punkte betrug, verringert er sich ganzjährig auf 0,53 AZ-Punkte. D.h.: Radiatoren brauchen wegen des höheren Temperaturniveaus in der Heizperiode 28 % und ganzjährig 23% mehr Strom. Nur zwei Luft-Wärmepumpen von dreizehn (12 + Sonderfall 3) übertreffen die Jahresarbeitszahl von JAZ = 3, und zwar mit 3,1 und 3,3.

Die beiden mittleren Säulen zeigen die gemittelten Arbeitszahlen der **Grundwasser**-Wärmepumpen mit Fußboden- und Radiatorheizungen. Entgegen den Erwartungen vieler schneiden sie mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von JAZ= 3,0 bzw. 3,4 im Vergleich zu Erdreich-Wärmepumpen nicht so gut ab. Die Gründe dafür sind:

- Erdreich-Wärmepumpen verfügen über einen geschlossenen Solekreislauf, arbeiten somit immer optimal bei konstantem Durchfluss. Die Sole-Umwälzpumpe nimmt nur eine Leistung von 120-150 Watt auf (Ein- Zweifamilienhaus).
- Grundwasser-Wärmepumpen verfügen dagegen auf der Kaltseite über einen offenen Kreislauf mit variablem Druck und damit Durchfluss. Der Durchmesser des Bohrlochs ist nicht in allen Fällen ausreichend groß, was einen Einfluss auf die Schüttung/Ergiebigkeit der Brunnen hat. Darüber hinaus setzt sich der Schmutzfänger nach und nach zu und wird in der Praxis nicht regelmäßig gereinigt. Letztendlich hat die Grundwasser-Förderpumpe im Vergleich zu einer Erdreich-Solepumpe auch eine mindestens doppelt so hohe Leistungsaufnahme von 250 bis 350 Watt.

Diese Gründe verschlechtern die Jahresarbeitszahlen unter real existierenden Betriebsbedingungen gegenüber Erdreich-Wärmepumpen – trotz höherer Kaltquellentemperatur.

Bemerkenswert ist die große Bandbreite der Einzelwerte von JAZ = 1,9 bis JAZ = 4,2 bei den Fußbodenheizungen. Hier müssen Hersteller, Bohrlochfirmen und Handwerker, ähnlich wie bei den Erdreich-Wärmepumpen, noch erheblich an einer Systemoptimierung der Komponenten Kaltquelle - Wärmepumpe / Regelung - Wärmesenken / Hydraulischer Abgleich arbeiten. Dass die eine Grundwasser-Wärmepumpe mit Radiatorheizung über dem Mittel der Fußbodenheizungen liegt, ist zufällig.

Die beiden rechten Säulen zeigen schließlich die gemittelten Jahresarbeitszahlen für die **Erdreich**-Wärmepumpen. Elf verfügen über vertikale Erdsonden und zwei über horizontale Erdregister. Die Mittel dieser Arbeitszahlen liegen mit JAZ = 3,38 (Fußbodenheizung) und JAZ = 3,30 (Radiatoren) über der Mindest-Arbeitszahl von JAZ = 3. Der Unterschied zwischen beiden Wärmeüberträgern beträgt hier nur rund 0,1 - AZ-Punkt. Erdreich-Wärmepumpen sind also wesentlich toleranter gegenüber Radiatoren als Luft-Wärmepumpen.

Die graphische Darstellung zeigt die Jahresergebnisse am Ausgang der Wärmepumpen (**Erzeuger-Arbeitszahl** für „nur Heizung“ oder „Heizung und Warmwasser“). Berücksichtigt man noch die wärmepumpenspezifischen Komponenten eines oft vorhanden Heizungspufferspeichers (bei 22 von 33 Wärmepumpen) und des Brauchwasserspeichers, dann erniedrigen sich die Jahresarbeitszahlen um rund 0,3 Arbeitszahlpunkte (Mittel von 11 Wärmepumpensystemen: -0,34). Diese als **Anlagen-Arbeitszahl** bezeichnete Kenngröße ist nahezu unabhängig von den Kaltquellen und den Wärmesenken.

Bei den **getrennten Wärmepumpensystemen** für Heizung und Warmwasser (siehe Kapitel 4.1, Bild 1) sinkt die Anlagen-Arbeitszahl beträchtlich, wenn -wie von machen E-Werken empfohlen- der Betreiber das Brauchwasser mit einem Elektro-Standspeicher erwärmt, und zwar um minus 0,8-Arbeitszahlpunkte! Ökologisch gesehen die schlechteste Lösung.

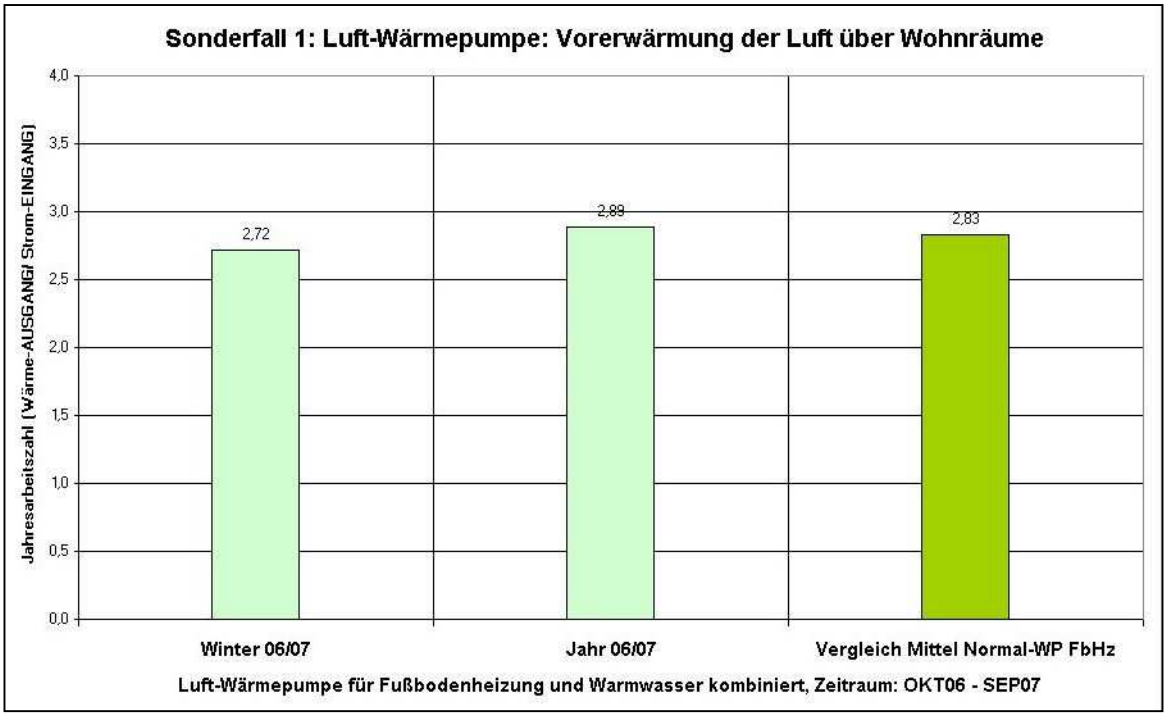
Beim Ersatz des Elektrospeichers durch eine Warmwasser-Kleinwärmepumpe -ebenfalls von manchen E-Werken empfohlen- erniedrigt sich die Anlagen-Arbeitszahl zwar nur um minus 0,3-Arbeitszahlpunkte, das Ergebnis entspricht damit aber den **kombierten Wärmepumpensystemen** „Heizung und Warmwasser“ (siehe Kapitel 4.1, Bild 2). Und da fragt man sich dann, warum der Betreiber noch in eine kleine Warmwasser-Wärmepumpen mit Kosten von rund 2000 Euro investieren soll ?

Die Lokale Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lahr empfiehlt die kombinierte Heizungs- und Brauchwassererwärmung. Wer ökologisch mehr tun will, der sollte für die Warmwasserbereitung Sonnenkollektoren wählen und diese gegenüber der üblichen Auslegung etwas überdimensionieren. Dann deckt er in der Nicht-Heizperiode fast vollständig seinen Warmwassserbedarf solar und übers Jahr zu rund 65 %.

5.2 Sondermessungen

5.2.1 Sonderfall 1: Luft-Wärmepumpe mit **Vorerwärmung** der Umgebungsluft (**Frischluft**) durch die **Wohnräume** (siehe Kapitel 4.2.1)

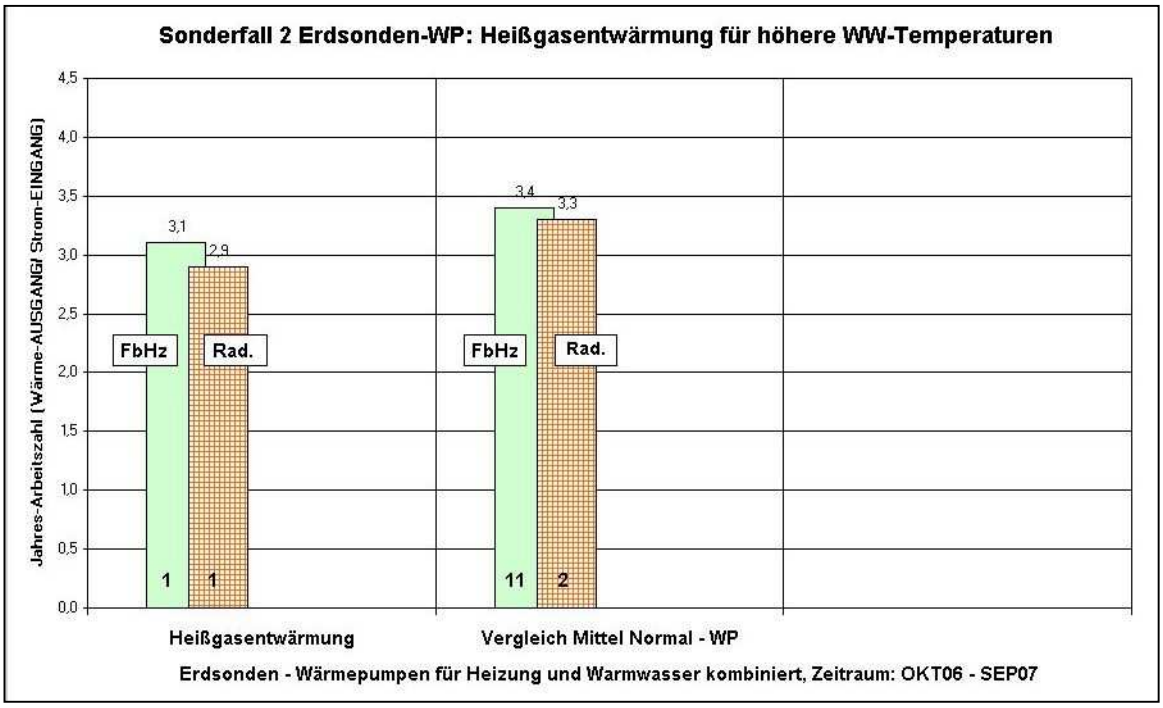
Das nächste Bild zeigt die Arbeitszahlen einer Luft-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung, die die Frischluft nicht direkt, sondern vorerwärmt über die Wohnräume bezieht. Die Wärmepumpe deckt den Bedarf für Heizung und Warmwasser.



Die linke Säule stellt die Arbeitszahl in der Heizperiode dar und die mittlere den ganzjährigen Wert. Der Vergleich mit dem Mittel von sieben Normal-Wärmepumpen (rechts) zeigt, dass sich in beiden Fällen praktisch kein Vorteil ergibt. Offensichtlich handelt es sich hier um eine Überlüftung mit einem Wärmekurzschluss. Eine zusätzliche Wärmerückgewinnung aus der Abluft der Wohnräume (4- statt 2-Rohr-Anschluss) wäre in diesem Fall günstiger gewesen.

5.2.2 Sonderfall 2: Erdsonden-Wärmepumpen mit **Heißgasentwärmung** zur Warmwassererwärmung bis zu 65 °C (sieh Kapitel 4.2.2)

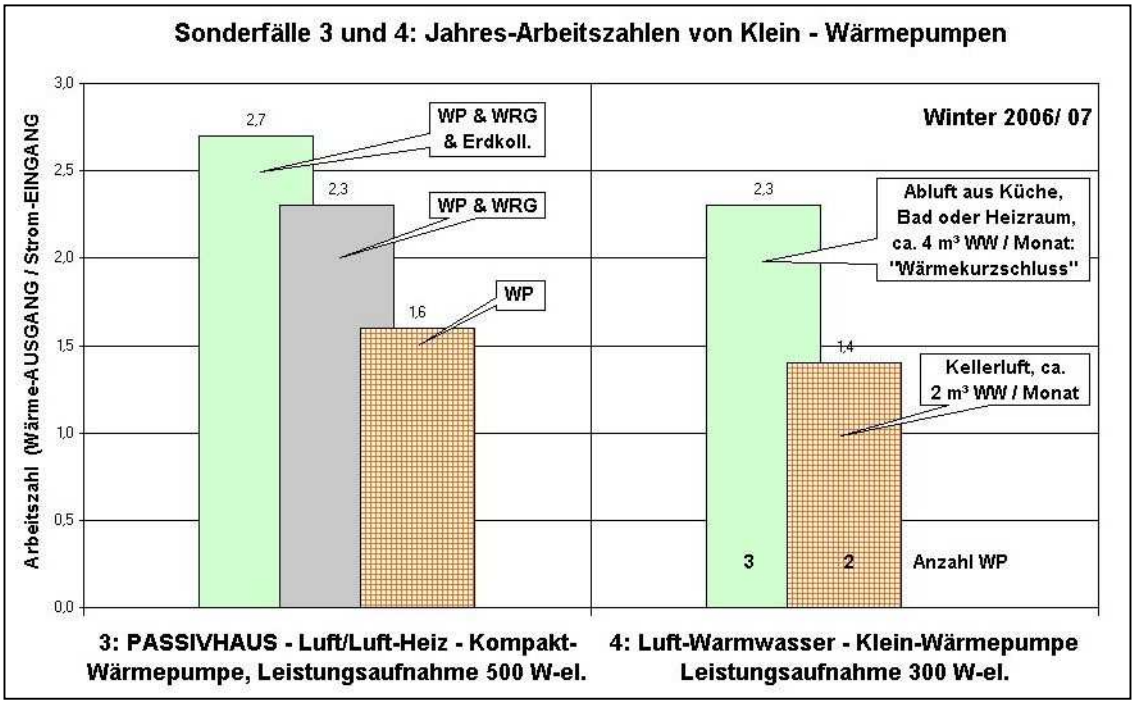
Das folgende Diagramm zeigt auf der linken Seite die Arbeitszahlen einer Heißgasentwärmung bei einer Wärmepumpe mit Fußbodenheizung (grün) und einer mit Radiatorheizung (gerastert). Beide sind Erdsonden-Wärmepumpen.



Die Jahresarbeitszahlen bewegen sich um JAZ = 3 und liegen damit um etwa 0,3 – 0,4 - Arbeitszahlpunkte unter dem Mittel vergleichbarer Normal - Erdsonden-Wärmepumpen (Säulen in der Mitte der gpaphischen Darstellung). Ein Vorteil der Heißgasentwärmung für die Warmwasserbereitung bis 65°C ist nicht erkennbar.

5.2.3 Sonderfall 3: Luft - Kompakt-Wärmepumpe mit Vorerwärmung der Luft durch einen 100 m – **Erdkollektor** und **Wärmerückgewinnung** der Abluft aus einem **Passivhaus** (siehe Kapitel 4.2.3)

Das nächste Bild zeigt auf der linken Seite die Effizienz einer 500 Watt – Kompakt - Luft/Luft-Wärmepumpe in einem Passivhaus.



Die drei Säulen stellen folgende Komponenten und Systeme dar:

- gerastert: 500 W - Kompakt-**Wärmepumpe allein**;
  vergleichbar mit dem Mittel von zwei 300 W – Warmwasser-Wärmepumpen „Keller“ (siehe Sonderfall 4 auf der rechten Seite)
- grau: Wärmepumpe wie zuvor, aber mit **Wärmerückgewinnung** aus der Abluft des Passivhauses;
  vergleichbar mit dem Mittel von drei 300 W – Warmwasser-Wärmepumpen „Abluft“ (siehe Sonderfall 4 auf der rechten Seite)
- grün: Wärmepumpe wie zuvor, aber zusätzlich Vorerwärmung der Frischluft über einen 100 m **Erdkollektor**;
  vergleichbar mit dem Mittel von Luft-Wärmepumpen mit Fußbodenheizung (siehe Kapitel 5.1).

Die Jahresarbeitszahl der Kompakt-Wärmepumpe allein beträgt JAZ = 1,6 und ist damit vergleichbar mit den Mittelwerten von Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung. Die Kompakt-Wärmepumpe verbessert aber ihr Ergebnis durch die Wärmerückgewinnung aus der Abluft auf JAZ = 2,3 und durch den Erdkollektor auf JAZ = 2,7. Nur weil der Betreiber seinen Strom vom Ökostromlieferanten „Elektrizitätswerk Schönau“ bezieht, kommt diese Luft-Wärmepumpe auf eine positive Primärenergiebilanz und leistet damit einen Beitrag zum Klimaschutz.

5.2.4 Sonderfall 4: Luft - Klein-**Wärmepumpen** für die **Warmwasserbereitung**

Die voran gegangene graphische Darstellung zeigt auf der rechten Seite noch die Jahresarbeitszahlen von fünf Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung. Drei davon arbeiten relativ gut mit einer mittleren JAZ = 2,3 und Einzelwerten von 2,1, 2,2 und 2,5. und zwei schlecht mit einer JAZ = 1,4 (Einzelwerte: 1,2 und 1,5). Die Gründe für die drei besser abschneidenden Wärmepumpen liegen im höheren Warmwasserverbrauch (ca. 4 m³/Monat statt 2 m³/Monat) und in der Nutzung der warmen Abluft aus Küche, Bad und Heizungsraum (Wärmekurzschluss).

Alle Warmwasser-Wärmepumpen erreichen aber bei weitem nicht das Klimaschutzziel mit einer Arbeitszahl von deutlich über AZ = 3. Dieser Wärmepumpentyp darf deshalb nicht mehr zum Einsatz kommen, ganz abgesehen davon, dass die getrennten Wärmepumpensysteme gegenüber den kombinierten (Heiz- und Warmwasser von derselben Wärmepumpe) keine Vorteile bringen (siehe Kapitel 5.1).

5.3 Zusammenfassung der ersten **Ergebnisse**

Die Messwerte des ersten Jahres OKT06 – SEP07 zeigen deutlich, dass es erhebliche Unterschiede gibt zwischen den Ergebnissen von Leistungszahlen auf den Testständen und Werbeaussagen auf der einen Seite und der realen Welt der Jahresarbeitszahlen auf der anderen Seite. Hersteller messen nämlich die Leistungszahlen auf den Testständen unter sehr günstigen Rahmenbedingungen, die in der Praxis nicht einzuhalten sind. Es sind jedoch noch zu berücksichtigen:

- Der Systemgedanke: Optimale Abstimmung von Kaltquellen, Wärmepumpen und Wärmesenken
- Variable Wasserdurchsätze auf der Kaltseite
- Instationäre Betriebsweise: Teillasten und Takten
- Höhere Nutztemperaturen für das Warmwasser (wenn Fußbodenheizung kombiniert mit Warmwasser)
- Strom für Sole-, Förder- und ev. Ladepumpen, Strom für Lüfter und Notheizstäbe
- Heizungpufferspeicher 200-1000 l; er erniedrigt die Arbeitszahl um etwa minus 0,1 Punkt

- Hydraulischer Abgleich des Heizkreises: obwohl vorgeschrieben nur selten durchgeführt
- Fehlende oder mangelhafte Wartung und Einstellungen am Bedienpult.

Diese Punkte verringern die Teststands-Leistungszahlen unter realistischen Betriebsbedingungen beachtlich. Das war und ist zwar in Fachkreisen bekannt, der potentielle Wärmepumpenkunde erfährt davon aber nur selten. Es ist aber eine grundsätzliche Aufgabe der Lokalen Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lahr, darüber unabhängig aufzuklären.

Auf der **Kaltquellenseite** sind die Erdreich-Wärmepumpen der Spitzenreiter. Sie erreichen in Verbindung mit einer Fußbodenheizung im Mittel eine Jahresarbeitszahl von JAZ = 3,4. Davon übertreffen zwei von dreizehn Erdreich-Wärmepumpen sogar das Werbeziel von JAZ = 4.

Für manche enttäuschend schneiden die Grundwasser-Wärmepumpen ab. Beim Betrieb mit einer Fußbodenheizung erreichen sie im Mittel nur JAZ = 3,0. Die Gründe dazu gehen aus Kapitel 5.1 hervor. Eine von sieben übertrifft mit JAZ = 4,2 freilich das Werbeziel von JAZ = 4.

Das Schlusslicht bilden die Luft-Wärmepumpen. Bei Fußbodenheizungen beträgt die Jahresarbeitszahl im Mittel JAZ = 2,8. Deutlich abgeschlagen sind die Klein – Warmwasser-Wärmepumpen. Der Mittelwert beträgt nur JAZ = 1,9 mit einer Bandbreite von JAZ = 1,1 – 2,3.

Auf der **Wärmesenkenseite** ist die Fußbodenheizung der Favorit. Die Jahresarbeitszahlen liegen während des Winterbetriebes gegenüber einer Radiatorheizung im Mittel um 0,3 (Erdreich-WP) bzw. 0,65 (Luft-WP) - Arbeitszahlpunkte höher; beim Ganzjahresbetrieb sind es nur noch rund 0,1 bzw. 0,5 - Arbeitszahlpunkte. Luft-Wärmepumpen reagieren also im Gegensatz zu Erdreich-Wärmepumpen wesentlich empfindlicher mit einem erhöhten Stromverbrauch, wenn der Betreiber Radiatoren einsetzt.

Diese Feststellung ist wichtig, weil Hersteller, Handwerker und Energieversorgungsunternehmen die Luft-Wärmepumpen auch gerne für den großen Markt der Altbausanierung propagieren – auch in Verbindung mit Radiatorheizungen. Natürlich lässt sich eine Wärmepumpe auch mit Radiatoren betreiben, die Interessensvertreter müssen aber den potentiellen Häuslebauern ehrlich sagen, dass sie dann bei Luft-Wärmepumpen 23 % mehr Strom verbrauchen; bei Erdreich-Wärmepumpen sind es nur 2-3 %.

Die **getrennte Warmwasserversorgung** (Kapitel 4.1, Bild 1) bringt gegenüber der **kombinierten** (Kapitel 4.1, Bild 2) keine Vorteile. Die an und für sich schon kritisch zu bewertenden Elektro-Standspeicher und Warmwasser-Wärmepumpen sind deshalb überflüssig.

Die **Sonderfälle** 1 – 4 bringen keine Vorteile gegenüber Normal-Wärmepumpen:

- Die Vorerwärmung von Frischluft über die Wohnräume deutet bei der Luft-Wärmepumpe auf eine übermäßige Lüftung und damit auf einen Wärmekurzschluss hin.
- Die Arbeitszahlen bei der Heißgasentwärmung für bis zu 65°C Warmwasser liegen unter den Mitteln von Normal-Anlagen.
- Die Kompakt-Wärmepumpe in einem Passivhaus erreicht wie auch andere Luft-Wärmepumpen nur eine Arbeitszahl von unter AZ = 3.
- Das Mittel der Jahresarbeitszahl von Klein - Warmwasser-Wärmepumpen beträgt nur JAZ = 1,9. Selbst ein hoher Warmwasserverbrauch und die Nutzung von Abwärme aus Küche, Bad und sogar dem Heizungsraum (!) verschaffen diesen Wärmepumpen keinen Umweltvorteil.

6 Empfehlungen

Die Lokale Agenda 21 – Gruppe Umwelt/Energie empfiehlt auf Grund der Jahresergebnisse von 33 Heiz- und 5 Warmwasser-Elektro-Wärmepumpen

- Erdreich-Wärmepumpen (Sonden oder Horizontalregister) in Verbindung mit Fußbodenheizungen wegen ausreichender Effizienz und merklichem Beitrag zum Klimaschutz. Dieses System erspart der Umwelt bei einer in der Praxis ermittelten Jahresarbeitszahl von 3,5 etwa 30 % Kohlendioxid gegenüber einem Brennwertkessel. Dazu ist freilich eine berechnete Jahresarbeitszahl von über 4 notwendig.
- Kombinierte Wärmepumpensysteme für Heizung und Wamwasser, weil die getrennte Warmwasserversorgung keine Vorteile bringt. Das erübrigt Elektrospeicher und Warmwasserwärmepumpen.
- Keinen Einsatz von Luft-Wärmepumpen, weil sie unter realistischen Betriebsbedingungen nur in ganz wenigen Einzelfällen das Effizienzziel erreichen.

Zum letzten Punkt: Diese klare Aussage lässt sich schon heute machen, weil

- die Effizienzmessungen in der wärmsten Gegend Deutschlands stattfinden (Jahresmittel 10°C). In der übrigen Bundesrepublik dürfte wegen der kälteren Witterung (z.B. Bremen 6°C) mit niedrigeren Arbeitszahlen zu rechnen sein. Außerdem ist um den Gefrierpunkt ein vermehrter elektrischer Energiebedarf für das Auftauen des Lamellenverdampfers notwendig, und an den öfters auftretenden Frosttagen benötigt der Not-Heizstab mehr Strom,
- die erste Heizperiode des „Feldtests Elekro-Wärmepumpe“ die wärmste seit Aufzeichnung der Wetterdaten im Jahre 1901 war. Die Umgebungstemperatur lag von Oktober 2006 bis März 2007 im Mittel um knapp 3°C über dem 30-jährigen Mittel, gemessen am Lahrer Flugplatz zwischen 1961 und 1990; im Januar 2007 lag sie sogar um fast 5°C höher. Wenn also in diesem sehr milden Winter die meisten Luft-Wärmepumpen nicht zum Klimaschutz beigetragen haben, dann tun sie das in einem Normal-Winter erst recht nicht.

Auch die erfolgreichen Bemühungen, den sog. Primärenergiefaktor in der Energieeinsparverordnung von 3,0 auf 2,7 herunter zu setzen, beeinflussen nicht die Feststellung fehlender Effizienz von Luft-Wärmepumpen. Schließlich muss die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpensystemen nicht gleich, sondern deutlich über 2,7 liegen. Warum sollte sonst ein Interessent 8 000 Euro mehr gegenüber einem Brennwertkessel ausgegeben, wenn er mit dieser Investition keine Primärenergie und damit das schädliche Treibhausgas Kohlendioxid einspart ?

Die Jahresergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ am Oberrhein sind vergleichbar oder sogar besser als die Ergebnissen früherer Felduntersuchungen in Nordeutschland (Eon), der Schweiz (FAWA) und in Hessen (Hess. Landesregierung). Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht.

	Lokale Agenda-Gruppe Umwelt/ Energie Lahr (Schw.)	Eon Düssel-dorf	BFE Schwei-zer Bun-desamt für Ener-gie (FAWA)	IZW Infozentr. WP& Kälte-technik (Kruse) und Eon	GERTEC Hess. Wirtsch. ministe-rium, VDEW und MKW	E-Werk Mittel-baden Lahr Schwarz-wald	Zum Vergleich: Planung Wirtsch. minist. Baden-Württem-berg	Zum Vergleich: Planung Stiebel-Eltron Holzmin-den	Gewich-tetes Mittel Arbeits-zahlen Spalten 2-6	**Mittel Primärener-getische Erzeuge-raufwands-zahl**, Sp.2-6 (PEF = 2,7)
Luft-Wärmep. JAZ (Anzahl) Literat. /n/	2,8 [a] /2,3 [b] (7) / (5)	2,73 [c] (1) /1/	2,65 (ca. 100) /2/ & /8/	2,98 /9/	2,0 (4) /3/	2,77 (1) /4/	2,1 - 2,3 /5/	2,31 [d] /6/	2,65	1,02
Erd-Wärmep. JAZ (Anzahl) Literat. /n/	3,4 (13)	3,60 [c] (14) /1/	3,50 (ca. 100) /2/ & /8/	3,32 /9/	2,9 (4) /3/	--	2,4 – 2,9 /5/	2,97 [d] /6/	3,50	0,77
Zum Vergleich: (Anzahl) Literat. /n/										FhBW: 1,04 (59) /7/ ; Weber: 1,10 (1) /8/

Abkürzungen: JAZ: Jahresarbeitszahl, FAWA: Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen, GERTEC: Ingenieurbüro in Essen, VDEW: Verband Deutscher Elektrizitätswerke, MKW: Main-Kraft-Werke, PEF: Neuer Primärenergiefaktor = 2,7, FhBW: Fachhochschule Braunschweig/ Wolfenbüttel, Weber: Fertighausfirma Weber

Anmerkungen: [a] Fußbodenheizung, [b] Radiatoren, [c] Literatur /8/: Nur die Besten veröffentlicht, [d] Wärmebedarf 80 kWh/m²a und Fläche 150 m²

Literatur /1/ bis /9/: www.agenda-energie-lahr.de --> Leistung Wärmepumpen --> Schlussfolgerungen --> Literatur

Ergebnis: Die primärenergetische Erzeugeraufwandszahl = Primärenergiefaktor PEF / JAZ (letzte Spalte) von Luft-Wärmepumpen ist mit Brennwertkesseln vergleichbar. Sie liegt nicht nennenswert darunter. Luft-Wärmepumpen tragen deshalb auch bei den anderen Feldtests nicht zum Klimaschutz bei. Anders dagegen die Erdreich-Wärmepumpen. Deren Erzeugeraufwandszahl ist um etwa 30% besser (niedriger) als die von Brennwertkesseln.

Somit hat sich in den letzten Jahren bei den Arbeitszahlen wenig geändert. Die Ergebnisse der Lokalen Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie sind nur deshalb teilweise besser als frühere Felduntersuchungen, weil der Test in der wärmsten Gegend Deutschlands stattfindet mit dem wärmsten Winters 2006/07 seit langem.

Wegen der auch bei anderen Feldtests zum Teil mäßigen Ergebnisse sind die Wärmepumpen-Hersteller aufgefordert, mehr als bisher das Gesamtsystem Kaltquellen – Wärmepumpen – Wärmesenke zu betrachten und zusammen mit dem Handwerk zu optimieren. All diese Maßnahmen würden dann nicht nur dem Klimaschutz dienen, sondern den meisten Wärmepumpen erst einen deutlichen Umweltvorteil verschaffen. Nur mit **fachgerecht eingebauten Systemen** werden Elekro-Wärmepumpen, bezogen auf den Klimaschutz, mit fossil-basierten Heizsystemen konkurrieren können.

7 Ausblick

Die Leistungsmessungen an den Wärmepumpen dauern noch bis Ende 2008 an. Interessant ist nämlich noch das Verhalten insbesondere von Luft-Wärmepumpen bei tiefen Umgebungstemperaturen.

Neben den volkswirtschaftlich-ökologischen Untersuchungen ist nach Abschluss der Messungen auch noch eine betriebswirtschaftliche Analyse und ein Vergleich mit anderen Heizsystemen vorgesehen. Über den Verlauf der Messungen informiert die Agenda-Gruppe einmal jährlich den Arbeitskreis und diskutiert mit ihm die Zwischenergebnisse. Je nach Bedarf aktualisiert sie auch die Internetseite www.agenda-energie-lahr.de ==> Leistung Elektro-Wärmepumpen.

8 Öffentlichkeitsarbeit

8.1 Veröffentlichungen

AUER, Falk und SCHOTE, Herbert (2007): Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei. SONNENENERGIE, Sept.-Okt. 2007, Seiten 36-39

AUER, Falk (2007): Feldtest Wärmepumpen: Erhebliche Unterschiede
IKZ-Haustechnik, Strobel Verlag, Heft 18/2007, Seite 6

AUER, Falk (2007): Was bringen Wärmepumpen in der Realität?
IKZ-Energy, Strobel Verlag, Heft 1/2007, Seiten 30-31.

8.2 Vorträge über Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“

14.06.07: Bremer Energie-Konsens, Klimaschutzagentur des Landes Bremen: Fachveranstaltung „Wärmepumpen – CO_2-Schleudern oder Beitrag zur CO_2-Reduktion?“ in Bremen

12.07.07: DLR-Workshop in Stuttgart (Dt. Forschungszentrum Luft- und Raumfahrt) anlässlich der Anhörung zur ev. Förderung von Wärmepumpen im Markanreizprogramm

22.09.07: 1. Energieeffizienztag des Landes Baden-Württemberg: Informationsveranstaltung des E-Werkes Mittelbaden in Lahr

25.10.07: Jahreshauptversammlung der Innung Sanitär- und Heizungstechnik Achern/ Offenburg/ Wolfach in Offenburg: Projekt-Information zusammen mit der Ortenauer En.agentur

30.10.07: BDH-Einladung nach Holzminden, Bundesindustrieverband Dt. Haustechnik, Energie und Umwelt: Präsentation der Jahresergebnisse des „Feldtests Wärmepumpen“

08.11.07: Bremer Energie-Konsens, Klimaschutzagentur des Landes Bremen: Fachveranstaltung zu Praxisdaten von Elektro-Wärmepumpen in Bremen

8.3 Internet (Adressen kopieren und in URL-Adressfeld des Browers einfügen)

Die Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ gehen in einer gekürzten Fassung aus der eigenen Internetadresse **www.agenda-energie-lahr.de** ==> Leistung Wärmepumpen hervor.

Die Ergebnisse des Winters 2006/07 stehen auf mehreren Internetseiten (12 PDF-Seiten), z.B.

www.badenova.de/web/de/www-badenova-de_internet/engagement/umwelt-internet/innovationsfonds/projekte/studien_und_projektentwicklungen/s-p_detais_18.html

www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422_read-9778

9 Danksagung

Abschließend danken die Autoren

- der badenova und dem E-Werk Mittelbaden für die finanzielle Unterstützung der Messtechnik
- den Wärmepumpen-Firmen Aerex/Maico und Bartl für den Einbau von Messfühlern **in** die Wärmepumpen und

- den Ingenieurbüros NES-Messtechnik (Software) und NES-Consult (Hardware) für die detaillierte Vermessung der Kompakt - Luft/Luft-Wärmepumpe mit Hilfe eines Datenaufnehmers in einem Passivhaus und
- der Ortenauer Energieagentur für die fachliche Zuarbeit und hilfreiche Diskussionsbeiträge.

gez. Dr. Falk Auer (Projektkoordinator) und Herbert Schote; Lahr (Schwarzwald)

Im Oktober 2007