

Schlussbericht

Zweijähriger Feldtest Elektro – Wärmepumpen am Oberrhein:

Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei

Erdreich-Wärmepumpen mit positiver Ökobilanz Kritische Bewertung von Luft-Wärmepumpen

Zusammenfassung

Einführung

In einem zweijährigen „Feldtest Elektro-Wärmepumpen“ untersucht die Lokale Agenda 21 - Gruppe Energie Lahr (Schwarzwald) in Kooperation mit der Ortenauer Energieagentur in Offenburg den Stand heutiger Wärmepumpentechnik, deren Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit am Oberrhein zwischen Freiburg und Baden-Baden. Dazu ermittelte die Agenda-Gruppe 33 Betreiber mit Luft-, Erdreich- und Grundwasser-Heiz-Wärmepumpen und fünf mit Warmwasser-Wärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern. Ziel ist es, nicht nur den Teilnehmern am Projekt, sondern auch den Planern, Energieberatern und Handwerkern verlässliche Daten über die energieeffizientesten Wärmepumpensysteme an die Hand zu geben.

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 JAZ ist definiert als das Verhältnis von jährlich erzeugter Wärme am Ausgang einer Wärmepumpe zum notwendigen Strom an deren Eingang. Je höher die Arbeitszahl, desto energieeffizienter die Wärmepumpe. Die Deutsche Energie-Agentur und das RWE bezeichnen Elektro-Wärmepumpen als energieeffizient, wenn die Jahresarbeitszahl über 3 liegt und als „nennenswert“ energieeffizient, wenn sie über 3,5 liegt.

Energieeffizienz

Auf der Kaltquellenseite sind **Erdreich-Wärmepumpen** mit Fußbodenheizungen der Spitzenreiter. Im Mittel erreichen sie eine Jahresarbeitszahl $JAZ = 3,4$ (günstigere Erzeuger-Jahresarbeitszahl, gemessen direkt hinter der Wärmepumpe), unter Berücksichtigung der Verluste von Heizungspufferspeichern und der Brauchwassererwärmung eine $JAZ = 3,1$ (System-Jahresarbeitszahl). Zwei Wärmepumpen übertreffen mit System-Jahresarbeitszahlen von 4,3 und 4,4 sogar deutlich die Werbe-Arbeitszahl von $JAZ = 4$.

Die **Grundwasser-Wärmepumpen** schneiden im Mittel mit Erzeuger- und System-Jahresarbeitszahlen von 3,2 bzw. 2,9 etwas schlechter ab. Die Gründe dafür sind zu kleine Bohrlöcher, eine zu hohe Nennleistung der Grundwasser-Förderpumpe und verstopfte Wasserfilter. Ein Spitzenwert mit einer System-Jahresarbeitszahl von $JAZ = 3,8$ ist aber möglich.

Schlusslicht bilden die **Luft-Wärmepumpen**. Bei einer Fußbodenheizung beträgt die Erzeuger-Jahresarbeitszahl im Mittel $JAZ = 2,8$, die System-Jahresarbeitszahl aber nur $JAZ = 2,4$; und bei Heizkörpern sind es nur noch $JAZ = 2,2$. Das bedeutet: Fast die Hälfte des Wärmebedarfes eines Hauses für Heizung und Warmwasser muss der hochwertige und teure Strom decken. Die beste der zwölf untersuchten Luft-Wärmepumpen kommt auf eine System-Jahresarbeitszahl von $JAZ = 3,0$ und erreicht damit nicht das in der Einführung erwähnte Energieeffizienzziel der Deutschen Energieagentur und des RWE.

Deutlich abgeschlagen sind die ebenfalls mit Luft betriebenen kleinen **Warmwasser-Wärmepumpen** mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von nur noch $JAZ = 2,0$. Die niedrigeren Einzelwerte mit einer $JAZ = 1,5$ betreffen einen geringen, und die hohen Einzelwerte mit $JAZ = 2,4$ einen hohen Warmwasserverbrauch.

Ökologie und Gesamtkosten

Unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte, wie Jahresarbeitszahlen und Ausstoß des schädlichen Treibhausgases Kohlendioxid, und ökonomischer Aspekte, also der Betrachtung nicht nur der Investitions-, sondern auch der Betriebskosten, zeigt sich, dass die Erdreich-Wärmepumpen auch im Vergleich zu anderen Wärmeerzeugern am besten abschneiden. Sie verfügen über das beste Preis-Klima-Verhältnis. Erdreich-Wärmepumpen erfordern anfangs zwar höhere Investitionen als Luft-Wärmepumpen, sie kompensieren diese aber durch eine hohe Energieeffizienz und damit verbunden deutlich geringeren Stromkosten.

Empfehlungen

Sollte nach einer energetischen Altbausanierung und beim Neubau kein Erdgas-Brennwertkessel (geringste Kosten) oder Holzpelletkessel (geringste CO_2 -Emission) in Frage kommen, dann empfiehlt die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr den Einbau von **Erdreich-Wärmepumpen**, weil sie auch in der Praxis eine ausreichend hohe Energieeffizienz aufweisen. Das Mittel der System-Jahresarbeitszahl beträgt zwar nur $SJAZ = 3,1$, zwei von dreizehn Erdreich-Wärmepumpen kommen aber auf Spitzenwerte von 4,3- 4,4. Im Mittel ersparen sie der Umwelt knapp 30% des schädlichen Treibhausgases Kohlendioxid gegenüber einem Erdgas-Brennwertkessel; bei den Spitzenwerten sind es sogar 50%.

Luft-Wärmepumpen erreichen dagegen im Mittel das Klimaschutzziel bei weitem nicht. Im zentralen Teil Deutschlands und in einem Normaljahr beträgt die System-Jahresarbeitszahl nur etwa $SJAZ = 2$. Auch die beste Luft-Wärmepumpe -eine von zwölf- kommt mit einer $SJAZ = 3,0$ knapp dem Wert nahe, von dem an die Deutsche Energieagentur in Berlin und das RWE in Essen Wärmepumpen als „energieeffizient“ bezeichnen. Frühere und zur Zeit laufende Feldtests sind vergleichbar mit den vorliegenden Ergebnissen. Mit solchen Arbeitszahlen lassen sich die Klimaschutzziele der Bundesregierung und der Europäischen Union, bis zum Jahre 2020 20 bis 40 % Kohlendioxid einzusparen, nicht erreichen. Die Agenda-Gruppe rät deshalb davon ab, Luft-Wärmepumpen zu bewerben, staatlich zu fördern und einzusetzen. Wie die Sonderfälle 1, 3 und 4 zeigen, gilt dieser Rat bedingt auch für Wärmepumpen in Verbindung mit der Wohnraumlüftung und der Abwärmenutzung.

Hersteller und Handwerker sind jedoch bei den Grundwasser- und Erdreich-Wärmepumpen dazu aufgefordert, mehr als bisher **die Optimierung der Wärmepumpensysteme** im Auge zu behalten und die Komponenten fachgerecht zu planen und einzubauen. Bei den System-Jahresarbeitszahlen sind nämlich Spitzenwerte von über 4 möglich! Das würde einem beachtlichen Teil der Grund- und Erdreich-Wärmepumpen erst einen „nennenswerten“ Umweltvorteil gegenüber konventionellen Heizwärmeerzeugern verschaffen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung	4
2. Ziele	4
3. Vorarbeiten	5
4. Messungen	5
4.1 Wärmepumpen-Sondertarifzähler	
4.2 Wärmepumpen-System- und Bilanzgrenzen	
4.3 Umgebungstemperatur	
4.4 Messanordnung	
5. Ökologische Ergebnisse	9
5.1 Luft-, Grundwasser- und Erdreich-Wärmepumpen	
5.2 Sonderuntersuchung an den kritisch zu bewertenden Luft-Wärmepumpen	
5.3 Sonder-Wärmepumpenanlagen	
5.3.1 Abluft-WP mit Vorerwärmung der Umgebungsluft durch die Wohnräume	
5.3.2 Erdsonden-WP mit Heißgasentwärm. für Brauchwasser bis 65 °C	
5.3.3 Luft/Luft-Kompakt-WP mit Vorerwärm. der Luft durch einen 100 m Erdkollektor und Wärmerückgewinnung der Abluft aus einem Passivhaus	
5.3.4 Luft-Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung	
5.4 Mängel und Ausfälle während der zweijährigen Praxisuntersuchung	
5.5 Umrechnung der Jahresarbeitszahlen auf ein Normaljahr und andere Standorte	
6. Vergleich der ökologischen Ergebnisse mit anderen Praxisuntersuchungen	21
7. Ökonomische Ergebnisse	23
8. Zusammenfassung der ökologischen und ökonomischen Ergebnisse	27
9. Empfehlungen	29
10. Ausblick	30
11. Anhänge	32
11.1 Übersicht Wärmepumpenanlagen	
11.2 Beurteilungstabelle für die Betreiber	
11.3 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung in Kapitel 7	
11.3.1 Fallbeispiel Einfamilienhaus: „Sanierter Altbau mit Heizkörpern“	
11.3.2 Fallbeispiel Einfamilienhaus: „Neubau mit Fußbodenheizung“	
11.4 Ergänzung zu Kapitel 5.5	
11.5 Definitionen	
11.6 Literaturquellen	
11.7 Nachweis der Öffentlichkeitsarbeit für die beiden Förderer der Messtechnik	
10.7.1 Fachveröffentlichungen	
10.7.2 Vorträge über die Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“	
10.7.3 Berichte <i>anderer</i> über die Ergebnisse der Praxisuntersuchung	
11.8 Danksagungen	

Schlussbericht

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 Kältemittelkreislauf die Umgebungsluft, das Erdreich oder das Grundwasser ab und hebt („pumpt“) die niedrigen Temperaturen mit Hilfe elektrischer Energie auf ein nutzbares Temperaturniveau zum Heizen oder zur Warmwasserbereitung an (Kühlschrankprinzip mit umgekehrtem Nutzen).

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 über Jahresarbeitszahlen (siehe INFOBOX) von 4 und mehr 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.

INFOBOX: 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 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 /Lit. 01/.

Die Lokale Agenda 21 - Gruppe Energie Lahr (Schwarzwald) führte deshalb in Zusammenarbeit mit der **Ortenauer Energieagentur** in Offenburg zwischen Oktober 2006 und September 2008 einen zweijährigen „Feldtest Elektro-Wärmepumpen“ durch. Die Messtechnik förderten zu gleichen Teilen die Energieversorger badenova (Freiburg /Brg.) und das E-Werk Mittelbaden (Lahr /Schwarzw.); die Energieexperten der Agenda-Gruppe arbeiteten ehrenamtlich. Ein **Arbeitskreis** begleitete die Praxisuntersuchungen. Er setzte sich zusammen aus Vertretern der Elektro- und Heizungs-Innungen, den beiden zuvor genannten Energieversorgern, der Hochschule Offenburg, der Ortenauer Energieagentur und des Lokalen Agenda 21 - Büros der Stadt Lahr.

2. Ziele

Ziel des zweijährigen „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ war die Ermittlung des Standes **neuerer Technik**, der **Jahresarbeitszahlen** 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 Kieschichten des Rheintals wirken sich vorteilhaft auf die Erdreich- und Grundwasser-Wärmepumpen aus. Wenn ein Wärmepumpensystem nicht hier energieeffizient arbeitet, wo dann sonst?

Darüber hinaus sind die folgenden Fragen noch nicht hinreichend geklärt:

- Welche der drei **Kaltquellen** Luft, Erdreich und Grundwasser ist die energieeffizienteste?
- Ist ein Heizungs-**Pufferspeicher** notwendig und in welchem Maße verringert er die Jahresarbeitszahl?

- Sind Heizungskörper vertretbar oder ist eine **Fußbodenheizung** notwendig?
- Sind **Luft-Wärmepumpen** auch für die energetische Altbausanierung geeignet?
- Welches ist das **optimalste Wärmeerzeugersystem** für Heizung und Brauchwasser unter Berücksichtigung der Gesamtkosten und der CO₂-Emissionen?

Das Projekt dient mit der Beantwortung dieser Fragen nicht nur den Teilnehmern des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“, sondern liefert den Energieberatern, Energieagenturen, potentiellen Interessenten, Planern, Herstellern und Handwerkern auch verlässliche Daten über die energieeffizientesten Wärmepumpensysteme.

3. Vorarbeiten

Die Lokale Agenda 21 - Gruppe 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: In einigen Fällen waren die Verrohrung und elektrischen Anschlüsse unklar, 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 (siehe Tabelle in Anhang 10.2): 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 vier Energieversorgungsgebieten. 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 Außenluft 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 Außenluft über einen Erdkollektor in einem Passivhaus und schließlich viertens um fünf Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung.

Zur Beurteilung der **Energieeffizienz** aller Wärmepumpen ist die **Jahresarbeitszahl JAZ** die wichtigste Kenngröße (siehe INFOBOX auf Seite 4). Sie muss größer als $JAZ = 3$ sein. Wie sollten sich sonst bei einem Neubau die erheblichen Mehrkosten gegenüber einem Erdöl- oder Erdgas-Brennwertkessel in Höhe von etwa 10 000 Euro rechtfertigen lassen, wenn die Jahresarbeitszahlen darunter liegen und die Wärmepumpensysteme nur marginal oder gar nicht zum Klimaschutz beitragen? Ein Beispiel dazu: Wenn die Werbung von einer $JAZ = 4$ spricht, 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 Elektro-Wärmepumpen.

4. Messungen

4.1 Wärmepumpen-Sondertarifzähler

Die Energieversorgungsunternehmen bieten Elektro-Wärmepumpenbetreibern **Sondertarife** mit einem Rabatt von bis zu 50% auf den Haushaltstarif an. Das ist eine Quersubvention zu Lasten der anderen Stromverbraucher und der Anteilseigner. Die rechtliche Tragfähigkeit dieser Marketingaktion darf angezweifelt werden, zumindest bei allen Preisabsenkungen von mehr als etwa 5

Cent/kWh unter dem Haushaltstarif. Da könnte es zukünftig seitens der Bundesnetzagentur noch Änderungen geben. Diese Angelegenheit ist aber nicht Gegenstand dieser Studie.

Als Begründung für die zum Teil erhebliche Quersubvention geben die Energieversorger an, der Kunde müsse ja auch an Wochentagen mit Stromunterbrechungen 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 auch ohne einen Heizungspufferspeicher 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 hydraulischen 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), sog. 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. Wärmepumpenanlagen, bei denen illegal auch die Waschmaschine und die Gefriertruhe über den Sondertarifzähler laufen, wurden erst gar nicht in das Messprogramm aufgenommen.

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 Energieeffizienz von einigen Wärmepumpen zu verbessern.

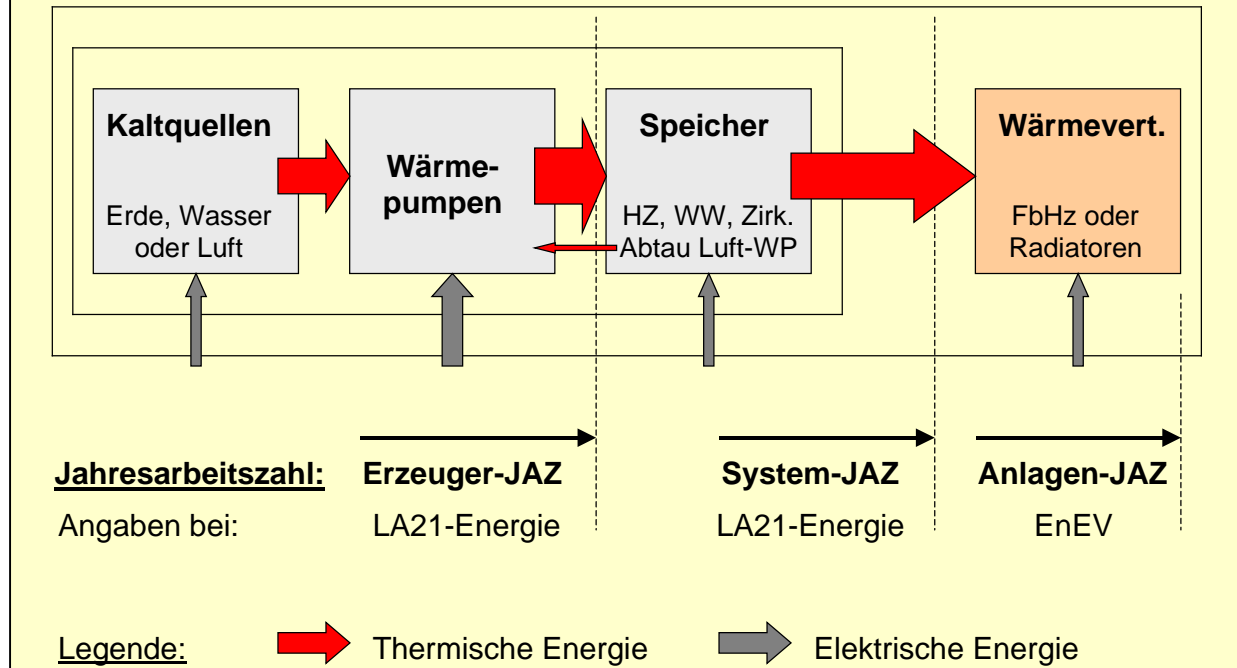
4.2 Wärmepumpen-System- und Bilanzgrenzen

Die Definition der Jahresarbeitszahl JAZ erfolgte bereits in Kapitel 3. Wichtig für die Aussagekraft der Ergebnisse und die Vergleichbarkeit mit anderen Praxisuntersuchungen und andere Wärmeerzeuger sind aber noch die Systemgrenzen: Welche Komponenten der Wärmepumpenanlage umfassen die gemessene Jahresarbeitszahl? Wie die nächste Abbildung auf Seite 7 zeigt gibt es nämlich drei Bilanzgrenzen:

1. **Erzeuger-JAZ:** Messung der erzeugten Wärme direkt hinter der Wärmepumpe.
2. **System-JAZ:** Messung der Nutzwärme für die Fußbodenheizung oder Heizkörper unter Berücksichtigung der Verluste eines eventuell vorhandenen Heizungspufferspeichers, der Brauchwassererwärmung und der Ladepumpe; bei Luft-Wärmepumpen zusätzlich noch die Abtauenergie für den Lamellen-Verdampfer.
3. **Anlagen-JAZ:** Gesamt-Bilanzierung des Wärmepumpensystems (Jahresaufwandszahl, siehe Definitionen im Anhang 10.5) einschließlich der Verluste der Wärmeverteilung gemäß Energie-Einsparverordnung (EnEV);
Schwachpunkt: Die DIN V 4701-10, auf die die EnEV verweist, rechnet nicht den Strombedarf der sog. Solepumpe ein.

Bilanzgrenzen bei Wärmepumpenanlagen

Definition der Jahresarbeitszahlen JAZ

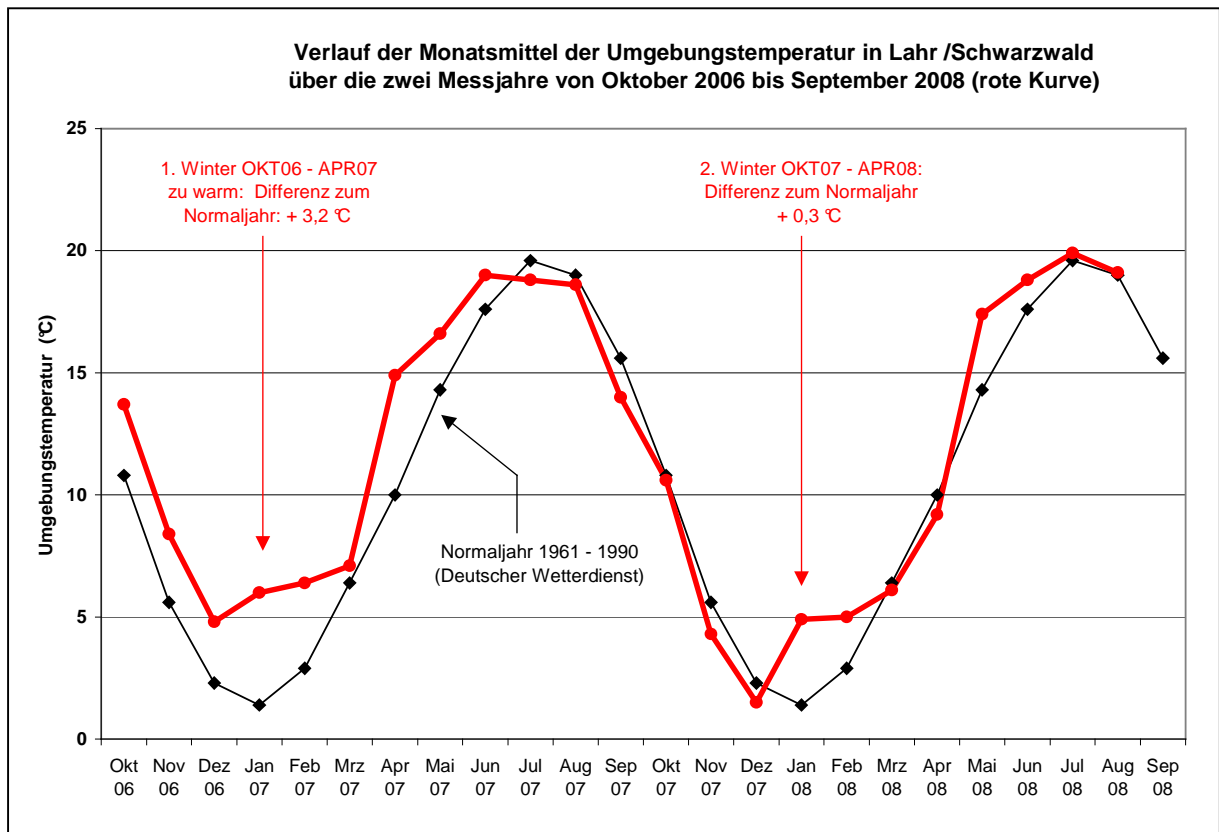


Die Messungen des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ beschränken sich nur auf die Ermittlung der Erzeuger- und System-Jahresarbeitszahlen, weil diese wärmepumpenspezifisch sind. Auch die Brauchwassererwärmung ist wärmepumpenspezifisch, weil sie im Gegensatz zu konventionellen Wärmeerzeugern die System-Jahresarbeitszahl beachtlich verringern kann.

4.3 Umgebungstemperaturen

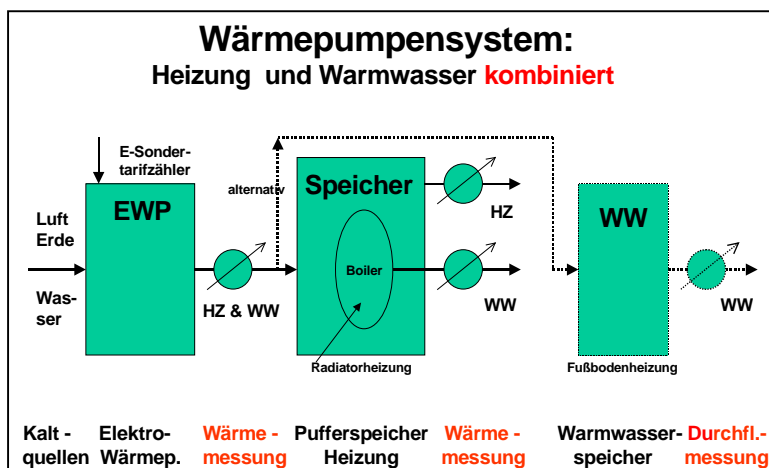
Das wichtigste Wetterelement zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Wärmepumpen ist die Umgebungstemperatur. Sie beeinflusst den Wärmebedarf des Hauses und damit die Vorlauftemperatur der Heizkreise. Außerdem ist sie für **Luft-Wärmepumpen** zusätzlich die entscheidende Eingangsgröße: Je geringer die Umgebungstemperatur, desto geringer ist auch die Jahresarbeitszahl. Diese reagiert im Gegensatz zu Grundwasser- und Erdreich-Wärmepumpen recht empfindlich auf die Temperaturdifferenz zwischen der Kaltquelle und der Wärmesenke. Naturgemäß ist bei kalter Witterung diese Differenz besonders hoch, was die Jahresarbeitszahl von Luft-Wärmepumpen negativ beeinflusst. Entwickler, Planer und Vertriebsleute dürfen diese physikalischen Grundlagen nicht außer Acht lassen (siehe Definition CARNOTScher Kreislaufprozess im Anhang 11.5, VDI 4650 und DIN V 4701-10).

Die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr hat deshalb mit Hilfe eines Ingenieurbüros und eines Teilnehmers am Feldtest zwei Temperaturmessstellen in Lahr (Schwarzwald) und Hausach (Kinzigtal) eingerichtet. Außerdem hat sie die im Internet zugänglichen Daten einer privaten Wetterstation in Ettenheim (Baden) benutzt. Die Ergebnisse: Die Abweichungen der drei Messstellen untereinander sind so gering, dass im Folgenden nur die Temperaturen aus Lahr verwendet werden.



Die Abbildung zeigt den monatlichen Verlauf der Umgebungstemperatur über die zwei Messjahre (rote Kurve). Zum Vergleich sind die 30-jährigen Durchschnittswerte von 1961 – 1990, ermittelt vom Deutschen Wetterdienst (DIN 4710), eingetragen. Das Ergebnis: Die erste Heizperiode 2006/07 war mit $+3,2\text{ °C}$ viel zu warm. Das begünstigt insbesondere die Luft-Wärmepumpen. Die zweite Heizperiode 2007/08 verhielt sich dagegen mit $+0,3\text{ °C}$ fast wie ein Normaljahr.

4.4 Messanordnung



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. Bei den Wärmezählern handelt es sich um einen Turbinen-Durchflussmesser, zwei Temperaturfühler und einem Rechenwerk mit Fehlern von 3-4% und bei den Elektrozählern um Ferrariszähler, also elektromechanischen Zähler mit rotierender Scheibe, mit einem

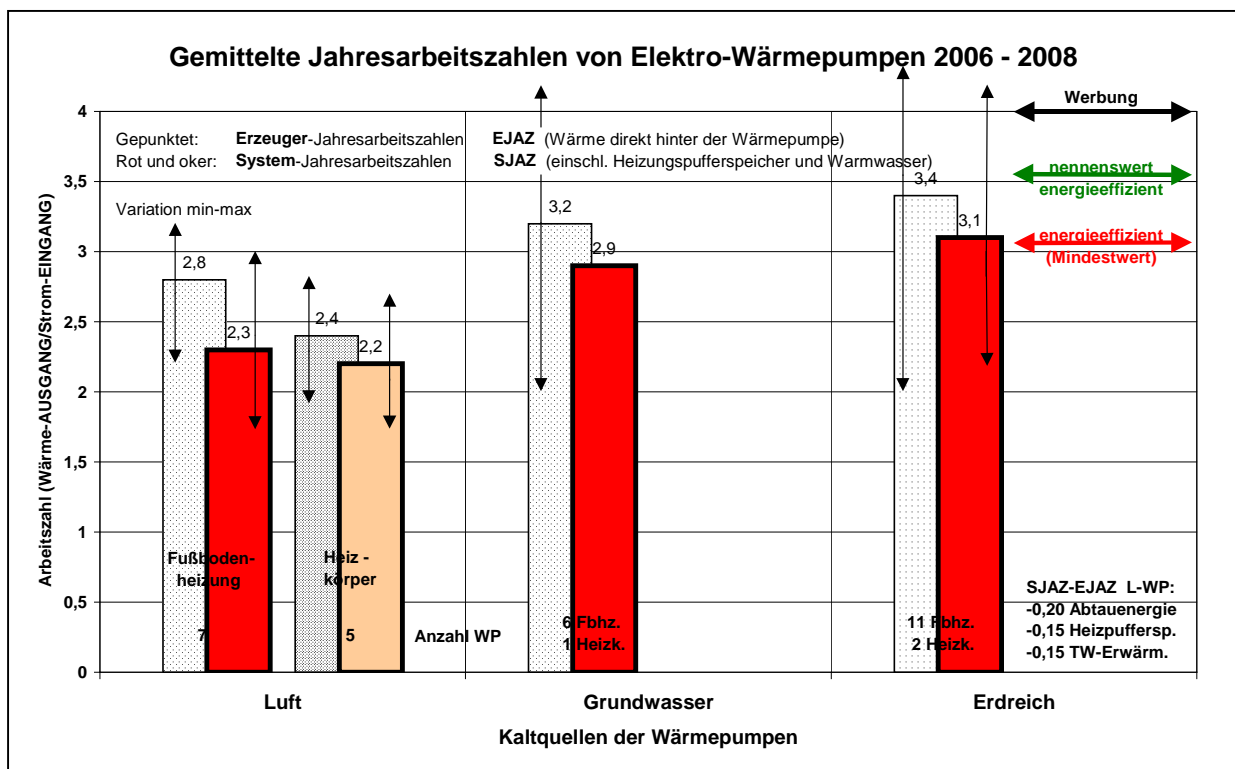
Fehler von etwa 1%. Die Ermittlung der vergleichsweise geringen Warmwasser-Wärmemenge erfolgte über die Messung des Durchflusses und einer Multiplikation mit einem Faktor, so wie das bei der Abrechnung mit Mietern üblich ist. Die Abbildung zeigt schematisch die Messtechnik am Beispiel des am meisten vorkommenden Wärmepumpensystems mit kombinierter Warmwasserversorgung.

Bei einer Fußbodenheizung gibt es zwei getrennte Speicher, und zwar einen Heizungspufferspeicher mit geringerer, und einen Brauchwasserspeicher mit höherer Nutztemperatur (gepunktete Linie). Bei einer Radiatorheizung ist dagegen der Brauchwasserspeicher (Boiler) oft im Heizungspufferspeicher integriert (Kombi-Speicher), weil die Nutztemperaturen von Heizung und Warmwasser vergleichbar sind.

5. Ökologische Ergebnisse

5.1 Luft-, Grundwasser- und Erdreich-Wärmepumpen

Die folgende Abbildung zeigt das Zweijahresergebnis von Oktober 2006 bis September 2008. Aufgetragen ist die entscheidende Größe für die Energieeffizienz von Wärmepumpen, nämlich die in Kapitel 3 definierte Jahresarbeitszahl JAZ. Die Graphik unterscheidet unterschiedliche Kaltquellen (Luft, Erde und Grundwasser), Erzeuger- und System-Jahresarbeitszahlen (siehe Kapitel 4.2) und bei den Luft-Wärmepumpen auch noch Fußbodenheizung- und Heizkörper.



Die gepunkteten Säulen stellen die gemittelten **Erzeuger**-Jahresarbeitszahlen (EJAZ) dar, gemessen direkt hinter der Wärmepumpe ohne die Verluste

- des Heizungspufferspeichers,
- des Abtauvorgangs bei den Lamellen-Verdampfern von Luft-Wärmepumpen und
- des Warmwasserspeichers und der Zirkulationsleitung,

und die farbigen Säulen stellen die **System**-Jahresarbeitszahlen (SJAZ) dar, die die zuvor genannten Verlustquellen berücksichtigen. Sie ist bei Vergleichen mit anderen Wärmeerzeugern die maßgebliche Bezugsgröße von Wärmepumpensystemen. 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.

Zur Erinnerung: Die Installation aller Wärmepumpen erfolgte zwischen 2002 und 2005.

Luft - Wärmepumpen

Bei den **Luft-Wärmepumpen** liegen die System-Jahresarbeitszahlen je nach Wärmesenke im Mittel nur zwischen 2,2 und 2,3, also weit unter dem Mindestwert von 3,1. Nur eine der 12 Wärmepumpen erreicht 3,0 – immer noch nicht ausreichend, um sie im Sinne der Deutschen Energieagentur und des RWE (siehe Kapitel 3) als „energieeffizient“ bezeichnen zu können. Ein Gutachter des Steinbeis-Transferzentrums in Offenburg sah bei dieser besten unter den Luft-Wärmepumpe kein Verbesserungspotential mehr (siehe Kapitel 5.2).

Bei den Luft-Wärmepumpen mit Fußbodenheizungen beträgt der Unterschied zwischen den Erzeuger- und System-Jahresarbeitszahlen 0,5 – Arbeitszahlpunkte. Davon entfallen etwa 0,2 – Punkte auf die notwendige Energie zum Abtauen des Lamellen-Verdampfers, 0,1-0,2 auf die Verluste des Heizungspufferspeichers und 0,1-0,2 auf die Brauchwassererwärmung. Bei Heizkörpern ist der Unterschied geringer, weil deren Vorlauftemperatur vielfach mit der des Brauchwasserspeichers übereinstimmt.

Der Unterschied zwischen den Wärmesenken Fußbodenheizungen und Heizkörpern beträgt 0,1 (SJZ) bis 0,4 – Arbeitszahlpunkte (EJAZ). Bei einem Einsatz von Heizkörpern (energetische Altbausanierung!) mit notwendigen Vorlauftemperaturen von 55 °C anstelle der 35 °C bei Fußbodenheizungen muss der Betreiber somit 5 – 20 % mehr für den Strom bezahlen.

Grundwasser-Wärmepumpen

Die mittleren Säulen der Abbildung zeigen die gemittelten Jahresarbeitszahlen von **Grundwasser-Wärmepumpen**. Wegen der geringen Anzahl von Heizkörpern sind die beiden Wärmesenken zusammengefasst, und es ist nur in Erzeuger- und System-Jahresarbeitszahlen unterschieden. Entgegen den Erwartungen vieler schneiden die Grundwasser-Wärmepumpen mit Arbeitszahlen zwischen 2,9 und 3,2 im Vergleich zu Erdreich-Wärmepumpen nur mäßig ab. Die Gründe dafür sind:

- Erdreich-Wärmepumpen verfügen über einen geschlossenen Solekreislauf (keine „Sole“, sondern ein Wasser-Glykol-Gemisch), arbeiten somit immer optimal bei konstantem Durchfluss. Die sog. Sole-Umwälzpumpe nimmt nur eine Leistung von 80-120 Watt auf (Ein-Zweifamilienhaus).
- Grundwasser-Wärmepumpen verfügen dagegen auf der Kaltseite über einen offenen Kreislauf. Die Druckhöhe und damit der Durchfluss sind deshalb variabel; ein Arbeiten im optimalen Punkt ist nur selten möglich. Darüber hinaus sind die Durchmesser der Bohrlöcher (Schlagbrunnen) in vielen Fällen mit 10-15 cm nicht ausreichend groß, so dass bei einem Fördervolumen von bis zu 2 m³/h nicht schnell genug Wasser nachströmt; Brunnen mit 30 cm Durchmesser wären angemessen. Außerdem 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 sog. Erdreich-Solepumpe auch eine rund dreimal so hohe Leistungsaufnahme von 250 bis 350 Watt. Manche sind deshalb der Ansicht, dass Grundwasser-Wärmepumpen besser für größere Wohnobjekte geeignet sind, weil bei diesen das Verhältnis der Leistungen von Förderpumpe zu Wärmepumpe günstiger ist.

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

Bemerkenswert ist die große Bandbreite der Einzelwerte von EJAZ = 2,0 bis 4,2 und dass der einsame Spitzenwert von 4,2 von einer Wärmepumpe herrührt, die das Grundwasser aus nur geringer Tiefe und aus einem offenen Brunnen mit einem Durchmesser von zwei Metern bezieht. 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. Schließlich ist bei Grundwasser-Wärmepumpen auch eine System-Jahresarbeitszahl von über 4 möglich.

Erdreich - Wärmepumpen

Die beiden rechten Säulen in der graphischen Darstellung zeigen schließlich die gemittelten Erzeuger- und System-Jahresarbeitszahlen für die **Erdreich-Wärmepumpen**. Elf verfügen über vertikale Erdsonden und zwei über horizontale Erdregister. Die JAZ-Werte liegen im Mittel zwischen 3,1 und 3,4 und sind damit in Anlehnung an die Forderung der Deutschen Energieagentur und des RWE (siehe Kapitel 3) als „energieeffizient“ zu bezeichnen. Aber auch hier gilt das Gleiche wie bei den Grundwasser-Wärmepumpen: Die Bandbreite der Einzelwerte ist recht groß und variiert zwischen 2,0 und 4,4! Somit gibt es auch hier noch erheblichen Nachholbedarf bei der Systemoptimierung.

Die Jahresarbeitszahlen bei den Grundwasser- und Erdreich-Wärmepumpen zeigen aber, dass in Einzelfällen auch in der Praxis Werte von deutlich über 3,5 (Deutsche Energieagentur und RWE: „nennenswert energieeffizient“) möglich sind. Bei den Luft-Wärmepumpen ist dagegen beim derzeitigen Stand der Technik bei 3,0 Schluss.

Drei der dreizehn Erdreich-Wärmepumpen verfügen über eine **Sommerkühlung**: Die Wärmepumpe bleibt in der Nicht-Heizperiode ausgeschaltet, die sog. Solepumpe fördert aber das kalte Wasser-Glykologemisch direkt in die Fußboden – „Heizung“. Die Agenda-Gruppe notierte bei der Begehung einer solchen Anlage bei über 30°C Außentemperatur eine „angenehme Kühle“. Der Installateur muss aber bei der Planung eine eventuelle Unterschreitung des Taupunktes im Fußboden beachten und ggf. einen Feuchtwächter vorsehen. Trotzdem: Das ist ein zusätzlicher Nutzen, der für den Einsatz einer Erdreich-Wärmepumpe spricht. Bei der Auswertung ist der geringe zusätzliche Stromverbrauch berücksichtigt.

5.2 Sonderuntersuchung an den kritisch zu bewertenden Luft-Wärmepumpen

Grobanalyse von 3 Luft-Wärmepumpen (STZ-EURO)	
	<small>Feldtest-Ergebnisse LA21 10/06 - 9/07 Ergebnisse STZ EURO 10/06...4/08</small>
• Feldtestnummer 115 „relativ gut“:	EJAZ=3,3 / 3,0=SJAZ <small>EJAZ=3,2 / 3,2=SJAZ</small>
• Feldtestnummer 126 „mittel“:	EJAZ=2,6 / 2,6=SJAZ <small>EJAZ=2,6 / 2,6=SJAZ</small>
• Feldtestnummer 127 „schlecht“:	EJAZ=2,1 / 1,5=SJAZ <small>EJAZ=2,4 / 2,0=SJAZ</small>
<u>Gründe:</u>	Große Differenz Angabe Leistung Hersteller/ gemessen, Dämm-Probleme, trotz Fußbodenheizung zu hohe Vorlauftemperatur, Elektro-Standspeicher
Allgemeine Verbesserungsvorschläge:	
- Keine Vorlauftemperaturen über 35°C	- Bessere Dämmung Rohre/Armaturen
- Heizkurve überprüfen (oft zu hoch)	- Kein Elektro-Standspeicher für WW
- Geringe oder keine Nachtabsenkung	- Fortlaufende Kontrolle der Arbeitszahl
- Ausführung durch geschultes Fachhandwerk	
Feststellung: Grobanalyse bestätigt Feldtest-Ergebnisse	
<small>Details siehe Bericht im Internet: http://stz-euro.de > linke Spalte</small>	

Auf Initiative des Arbeitskreises „Wärmepumpen“, insbesondere der Mitglieder des Handwerks, beauftragte die Ortenauer Energieagentur in Offenburg mit finanzieller Unterstützung des E-Werkes Mittelbaden das Steinbeis-Transferzentrum (STZ-EURO) in Offenburg mit der Grobanalyse von drei der zwölf Luftwärmepumpen. Die Ziele: Welche Verbesserungspotentiale gibt es bei der schlechtesten und der mittleren Wärmepumpe und warum arbeitet die beste relativ gut mit einer System-Jahresarbeitszahl von 3,0 ?

Die drei ausgesuchten Luft-Wärmepumpen und ihre Klassifizierung gehen aus der Abbildung oben hervor (Stand Mai 2008). Die Definitionen der Erzeuger- und System-Jahresarbeitszahlen EJAZ bzw. SJAZ sind in Kapitel 4.2 zu finden. Während der Gutachter des Steinbeis-Transferzentrums bei den Wärmepumpennummern 126 und 127 auf Grund der in der Abbildung erwähnten Fehler noch Verbesserungsmöglichkeiten nennt, sieht er diese bei der Nummer 115 nicht mehr. Offensichtlich ist mit einer SJAZ = 3,0 derzeit die Spitze bei den Luft-Wärmepumpen erreicht – zu wenig, um sie laut Deutsche Energieagentur und RWE als „energieeffizient“ bezeichnen zu können.

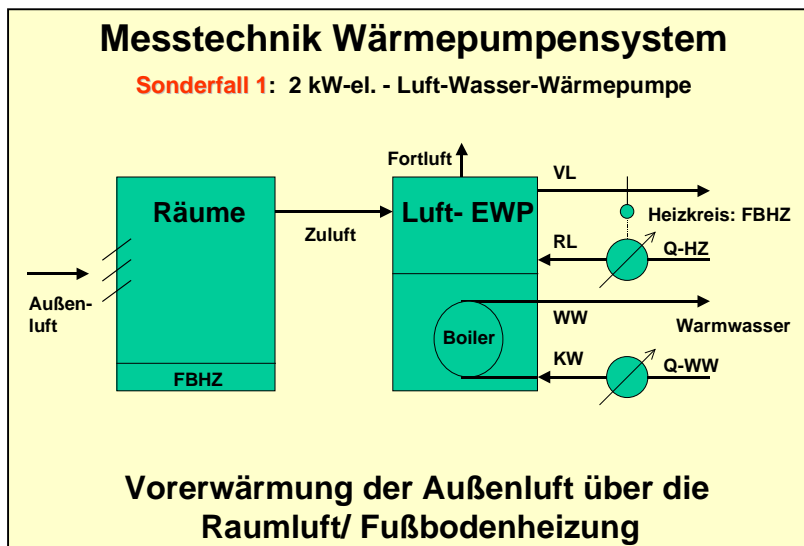
Besonders wichtig erscheinen der Agenda-Gruppe aber zwei der allgemeinen Verbesserungsvorschläge des unabhängigen Gutachters:

1. Keine Vorlauftemperaturen der Heizkreise von mehr als 35 °C.
Aus Sicht der Agenda-Gruppe bedeutet diese Forderung **das Ende von Luft-Wärmepumpen** bei der viel beworbenen energetischen Altbausanierung, weil fast alle über Heizkörper mit Vorlauftemperaturen von 55 °C verfügen!
2. Keinen Einsatz einer elektrischen Direktheizung für die Brauchwassererwärmung.
Aus Sicht der Agenda-Gruppe bedeutet diese Forderung **das Ende der Elektro-Standspeicher!**

Weitere Details zu der Grobanalyse gehen aus der Internetseite <http://stz-euro.de> hervor.

5.3 Sonder-Wärmepumpenanlagen

5.3.1 Sonderfall 1: Abluft-Wärmepumpe mit Vorerwärmung der Umgebungsluft durch die Wohnräume



Einleitung

In Heizungsfachkreisen gibt es unterschiedliche Ansichten, ob es Vorteile bringt, die Außenluft direkt dem Verdampfer der Luft-Wärmepumpe zuzuführen oder sie zuerst über die Wohnräume vorzuwärmen. 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

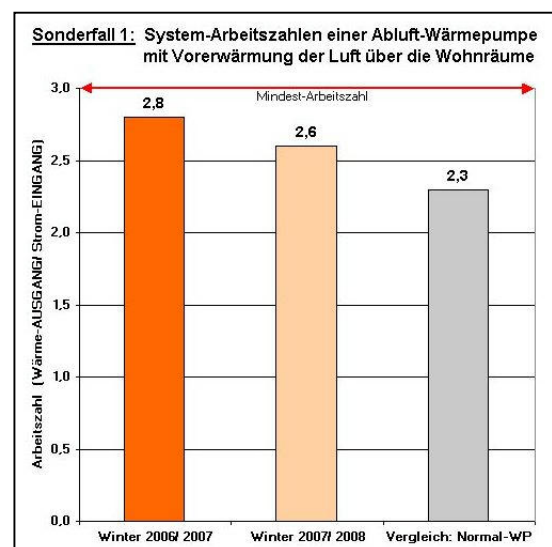
Wärmekurzschluss handelt, wenn der Wärmebedarf des Hauses zu hoch ist.

Um diese Frage zu klären, hat die Agenda-Gruppe das in der oberen Abbildung dargestellte Wärmepumpensystem mit in das Messprogramm aufgenommen mit dem Ziel, die Energieeffizienz dieser kombinierten Anlage für Heizung- und Warmwasser mit normalen Luft-Wärmepumpen zu vergleichen.

Ergebnis

Die rechte Abbildung zeigt die System-Arbeitszahlen der Abluft-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung für die beiden Winterhalbjahre 2006 bis 2008, die die Außenluft nicht direkt, sondern vorerwärmt über die Wohnräume bezieht. Die Wärmepumpe deckt den Bedarf für Heizung und Warmwasser in einem Niedrigenergiehaus aus dem Jahre 2003.

Die beiden farbigen Säulen stellen die Mittel der Arbeitszahlen des ersten und zweiten Mess-Winters dar. Sie betragen SJAZ = 2,8 bzw. 2,6. Der höhere Wert ist bedingt durch den wärmeren Winter 2006/ 07 (siehe Kapitel 4.3). Ein Vergleich mit



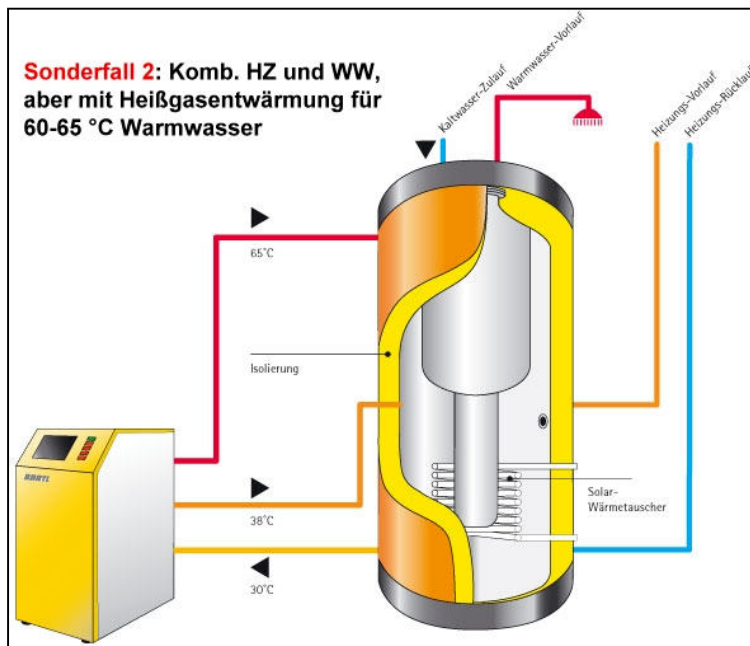
dem Mittel von Normal-Luft-Wärmepumpen in Höhe von $SJAZ = 2,3$ zeigt, dass diese Abluft-Wärmepumpe auf deutlich höhere Arbeitszahlen kommt. Sie übertrifft aber selbst in wärmsten Winter 2006/07 seit Aufzeichnung der Wetterdaten nicht die notwendige Arbeitszahl von 3,0.

Beurteilung

Der **Wärmebedarf des Hauses** ist für diese Abluft-Wärmepumpe mit 55-60 kWh pro m² beheizte Wohnfläche und Normal-Jahr **zu hoch**. Es handelt es sich hier um eine Überlüftung mit einem Wärmekurzschluss. Wegen der begrenzten Heizleistung der Wärmepumpe muss im Winterhalbjahr der nicht abschaltbare Heizstab den Wärmebedarf unterstützen.

Damit Abluft-Wärmepumpen energieeffizient arbeiten und damit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten, darf laut SCHIEFELBEIN /Lit. 02/ der Wärmebedarf nur maximal 50 kWh/(m² Jahr) im Vergleich zu einem Erdgas-Brennwertkessel betragen und nur 40 kWh/(m² Jahr) im Vergleich zu einer normalen Luft-Wärmepumpe. Diese Werte liegen zwischen einem Niedrigenergie- und Passivhaus.

5.3.2 Sonderfall 2: Erdsonden-Wärmepumpen mit **Heißgasentwärmung** zur Brauchwassererwärmung bis 65 °C



Einleitung

Ein Wärmepumpen-Hersteller wirbt mit „Warmwassertemperaturen bis 65°C bei hervorragender Leistungszahl“. Der Clou: Die Heißgasentwärmung. 10% der Heizleistung im Kältemittelkreislauf werden für das höhere Warmwasser-Temperaturniveau abgezweigt und in den oberen Teil des links dargestellten Speichers eingespeist.

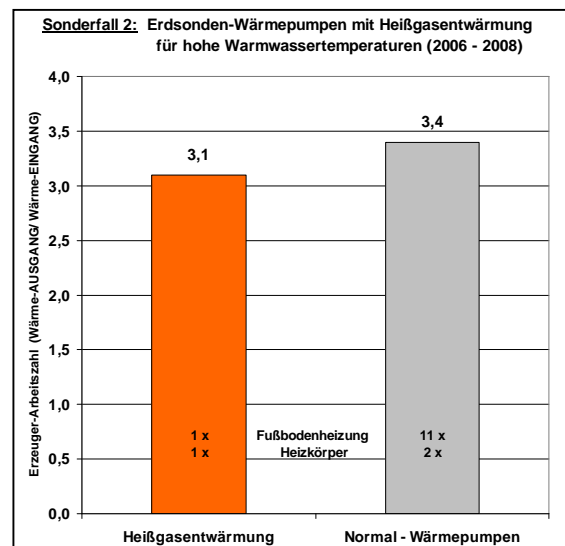
Ob diese Heißgasentwärmung Vorteile bringt, untersuchte die Agenda-Gruppe an zwei Erdsonden-Wärmepumpen.

Ergebnis

Die farbige Säule in der rechten Abbildung zeigt das Mittel der Arbeitszahlen von zwei Erdsonden-Wärmepumpen, eine mit Fußbodenheizung und eine mit Heizkörpern, im zweijährigen Messzeitraum von 2006 bis 2008. Die Erzeuger-Arbeitszahl beträgt 3,1 und liegt damit um etwa 10 % unter dem Mittel der Normal-Erdsonden-Wärmepumpen (graue Säule rechts).

Beurteilung

Ein **ökologischer Vorteil** der Heißgasentwärmung für die Brauchwassererwärmung bis zu 65°C ist **nicht erkennbar**. Der CARNOTSche Kreisprozess

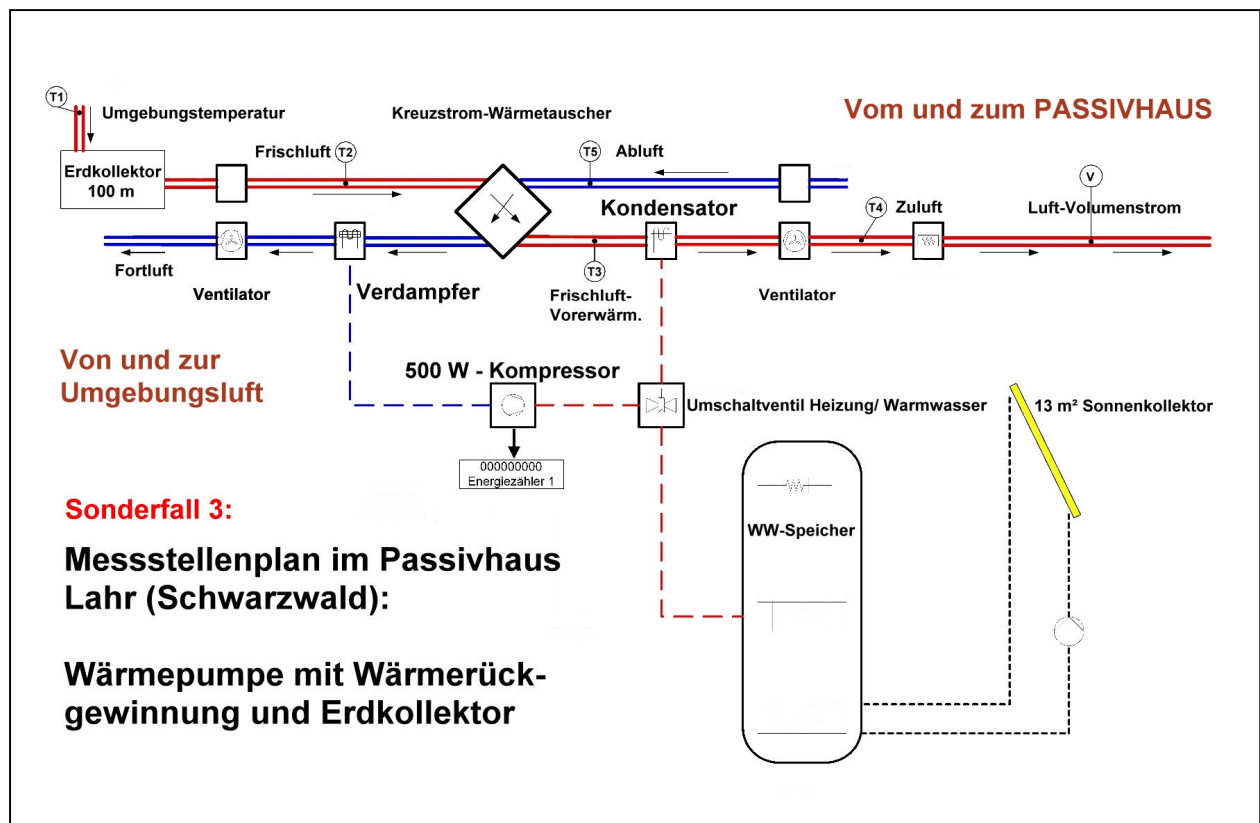


spricht dagegen. Er besagt: Je größer die Temperaturdifferenz zwischen der warmen und kalten Seite einer Wärmepumpe ist, -hier die hohe Brauchwassertemperatur von 65 °C statt 45-50°C- desto schlechter die Arbeitszahl (Definition der CARNOT-Leistungszahl siehe Anhang 11.5). Die Praxisuntersuchung bestätigt das deutlich. Fraglich ist jedoch, warum solch hohe Nutztemperaturen des Brauchwassers im Ein- bis Zweifamilienhausbereich überhaupt notwendig sein sollen. Von einer „hervorragenden Leistungszahl bis 65°C“ kann jedenfalls keine Rede sein.

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

Einleitung

Die Energieeffizienz dieses Wärmepumpensystems ist mit dem Normal-Messprogramm des Kapitels 4.1 nicht mehr zu erfassen. Mit Unterstützung von drei Firmen hat deshalb die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr ein Passivhaus in Lahr (Schwarzwald) mit einer kompletten automatischen Messwerterfassungsanlage ausgerüstet (siehe Messstellenplan unten). Der Logger tastet im Rhythmus von zwei Sekunden alle acht Messkanäle ab, berechnet intern bereits wichtige Kenngrößen, z. B. die Arbeitszahlen, und speichert alle 10 Minuten die Mittelwerte ab. Das Auslesen der Daten in ein Notebook erfolgt einmal im Monat.



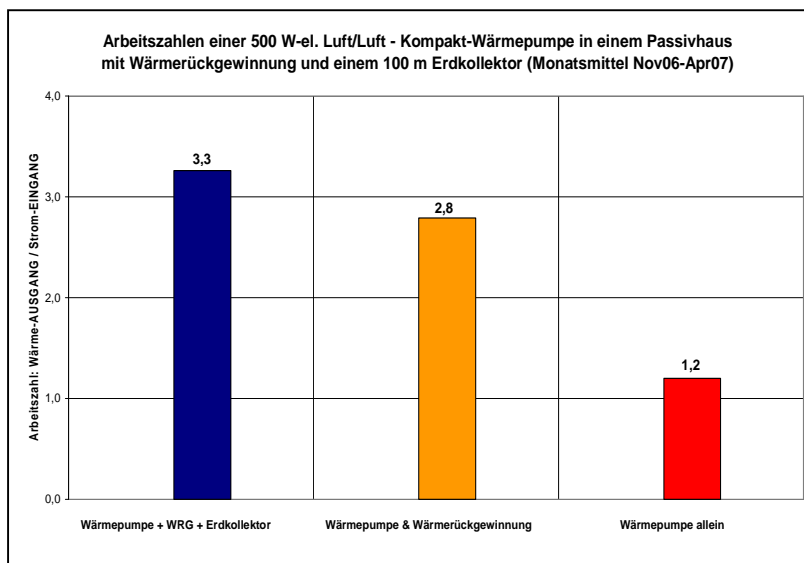
Die Wärmepumpe mit einer Nennleistung von 500 Watt-elektrisch saugt mit Hilfe eines Ventilators in einer ersten Stufe die Umgebungsluft über einen 100 m Erdkollektor an (roter Luftstrang). Er ist in drei parallel verschalteten Kunststoffrohren von je 33 m Länge und einem Durchmesser von 20 cm in einer Tiefe von 1,2 m verlegt. Die im Winter vorerwärmte Luft gelangt danach über einen Kreuzstrom-Wärmetauscher, in dem ein großer Teil der Wärme aus der Abluft des Hauses zurückgewonnen wird, zum Kondensator der Wärmepumpe. Er erhöht in einer dritten und letzten Stufe die Temperatur der Zuluft auf die erforderliche Höhe von maximal 45° C.

Die Abluft des Passivhauses (blauer Luftstrang) heizt die vorerwärmte Umgebungsluft („Frischluft“ im Bild) im Kreuzstrom-Wärmetauscher auf, kühlt sich im Verdampfer der Wärmepumpe weiter ab und geht als Fortluft wieder an die Umgebung.

Eine 13 m² Sonnenkollektoranlage in Verbindung mit einem 500 l Wasser-Paraffinspeicher (Latentwärmespeicher) unterstützt die Wärmepumpe bei der Heizung (Heizkörper im Bad) und der Brauchwassererwärmung. Sie ist aber nicht Gegenstand der Untersuchung. Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich nur auf den Beitrag der Luft/Luft-Wärmepumpe zur Heizung in den Wintermonaten.

Ergebnisse

Die nächste Abbildung zeigt die **Arbeitszahlen** in der Heizperiode des Winters 2006/07, und zwar in Abhängigkeit der Komponenten Wärmepumpe, Wärmerückgewinnung (WRG) und Erdkollektor.

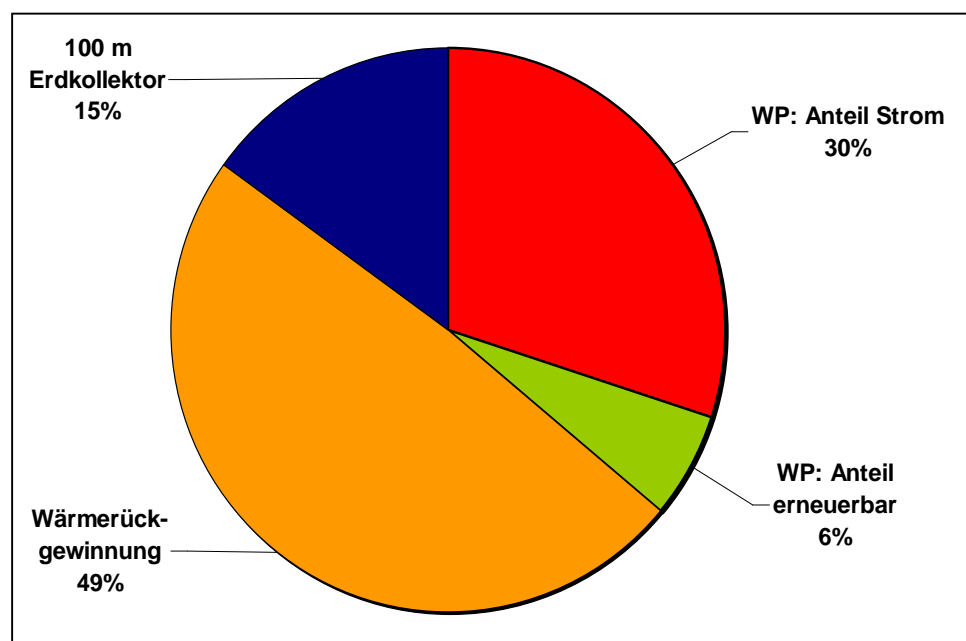


Die Arbeitszahl des gesamten Wärmepumpensystems liegt mit $AZ = 3,3$ (blaue Säule) deutlich über der erforderlichen Mindest-Arbeitszahl von 3,0. Ursache dafür ist der Erdkollektor, der mit 0,5 – Arbeitszahlpunkten zum gesamten Ergebnis beiträgt. Den größten Anteil zur Deckung des Heizwärmebedarfes liefert aber die Wärme-rückgewinnung (okerfarbene Säule): Sie erhöht die Arbeitszahl der Wärmepumpe von 1,2 (rote Säule) auf 2,8!

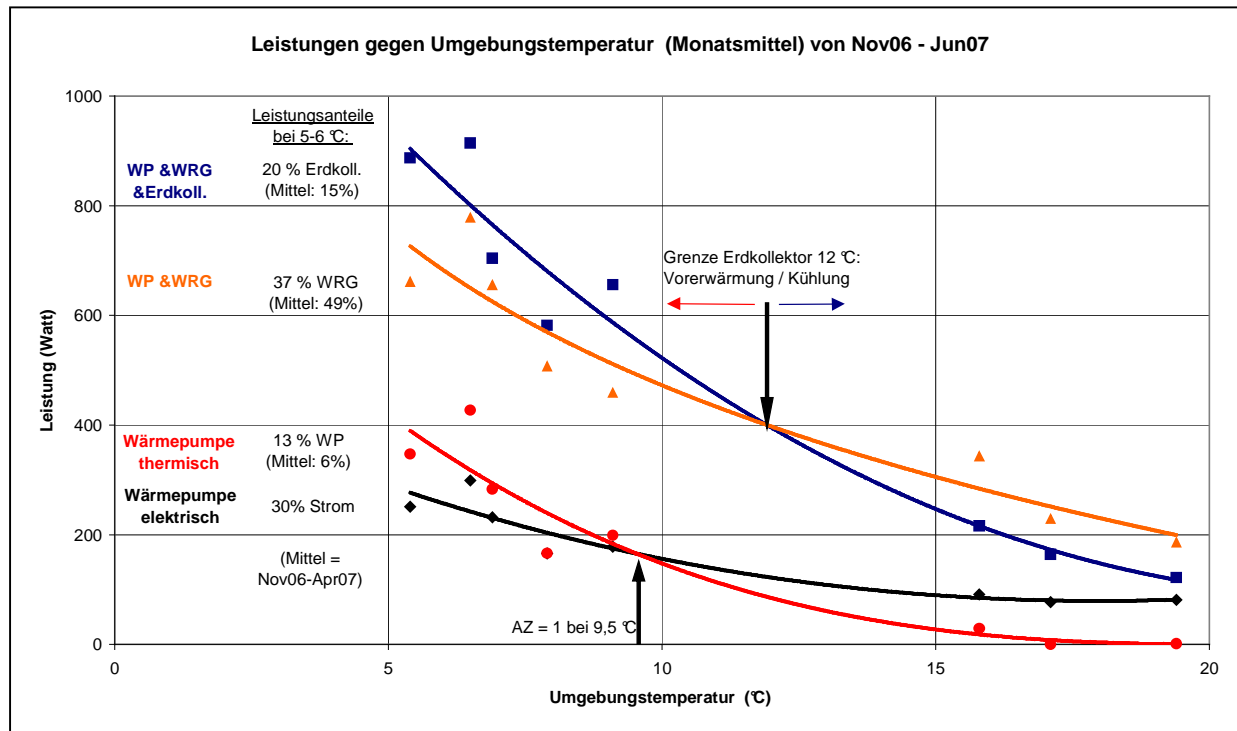
Die Abbildung rechts zeigt die **prozentualen Anteile der einzelnen Komponenten** des Heizwärmebedarfes. Die Wärmerückgewinnung stellt mit rund der Hälfte den größten Beitrag dar.

Zusammen mit dem Erdkollektor liefert sie fast zwei Drittel der erforderlichen thermischen Energie.

Der elektrische und erneuerbare Beitrag der Wärmepumpe am Heizwärmebedarf kommen zusammen auf einen Anteil von 36 % und tragen zum Wärmebedarf des Passivhauses zu gut einem Drittel bei.



Die nächste Abbildung zeigt die elektrischen und thermischen Leistungen des Wärmepumpensystems in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur. Bei +5 °C (etwa mittlere Umgebungstemperatur der Heizperiode eines Normaljahres in Kapitel 4.3) beträgt die Heizlast rund 1 kW-thermisch (blaue Kurve). Der 100 m Erdkollektor deckt sie mit 20%; im Mittel über die Heizperiode sind es nur 15% (siehe vorhergehendes Bild). Der Erdkollektoranteil nimmt zum Frühjahr hin mit steigender Umgebungs- und sinkender Bodentemperatur ab. Bei +12 °C, wenn im Passivhaus kein Wärmebedarf mehr besteht, trägt er nichts mehr zum Wärmeeintrag bei: Das Erdreich ist ab April kälter als die Umgebungsluft und kühlt bei Bedarf das Haus.



Die Wärmerückgewinnung (ockerfarbene Kurve) deckt mit 37% auch bei +5 °C den größten Anteil des Wärmebedarfes, und die Wärmepumpe (rote bzw. schwarze Kurven) kommt mit ihrem thermischen und elektrischen Anteilen bei +5 °C nur auf je 13% bzw. 30%.

Beurteilung

Die 500 Watt-elekt. Luft/Luft – Kompakt-Wärmepumpe erreicht auch mit der Wärmerückgewinnung nicht die erforderliche Energieeffizienz mit einer Arbeitszahl von größer als 3 und damit einen positiven Beitrag zum Klimaschutz. **Das gelingt erst mit einem 100 m – Erdkollektor.**

Aber: Auch ohne den Erdkollektor sollte man berücksichtigen, dass es einen konventionellen Heizwärmeerzeuger mit einer maximalen thermischen Leistung von 2 kW nicht gibt und dass die Bauleute allein mit der Errichtung eines Passivhaus etwa 80% Primärenergie gegenüber einem Niedrigenergiehaus einspart haben.

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

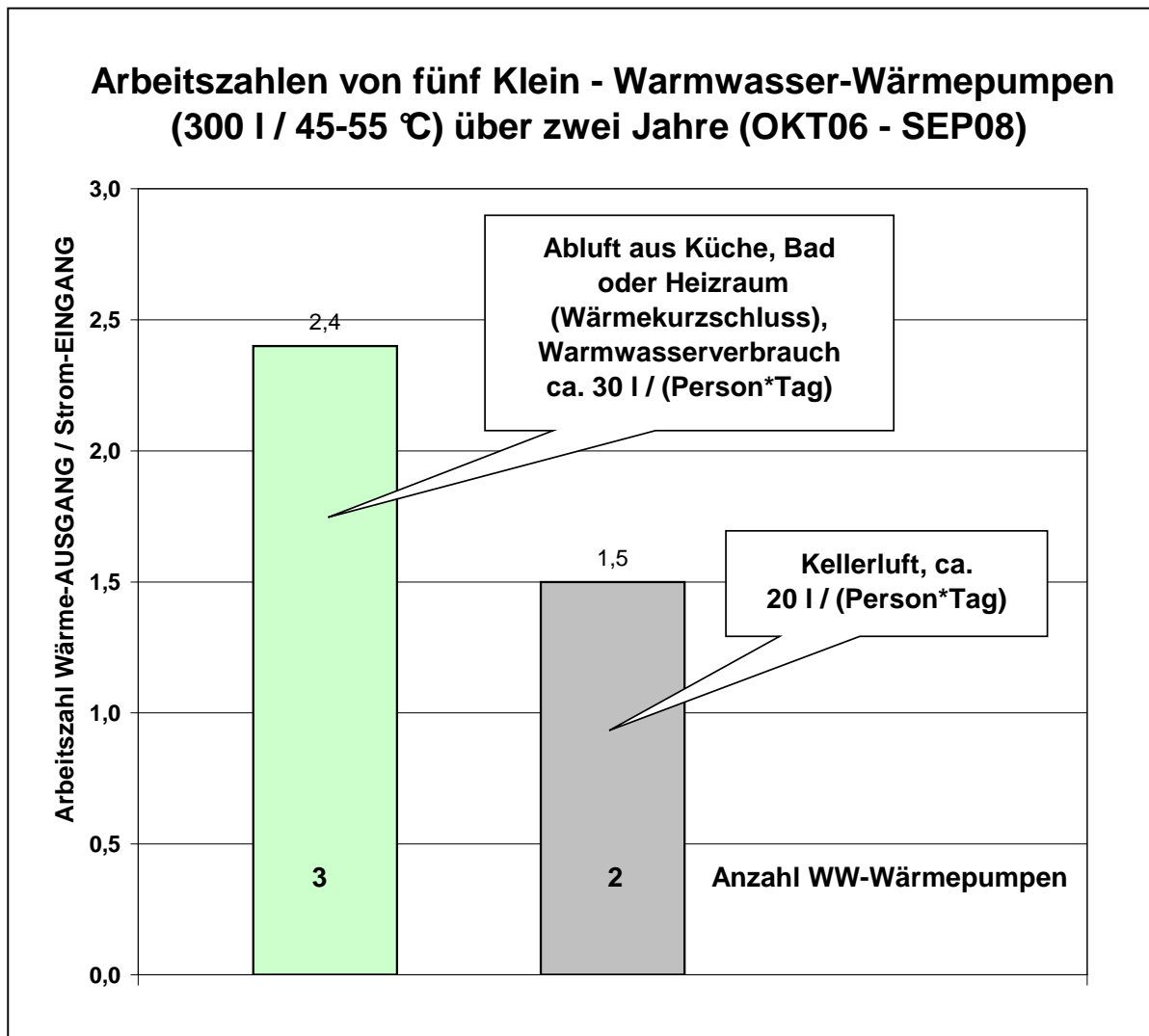
Einleitung

Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung mit einer Leistungsaufnahme von etwa 300 Watt-elektrisch stehen oft im Keller, wo sie auch Vorratsräume abkühlen sollen. Ob dieses Ziel erreicht werden kann, steht im „Feldtest Elektro-Wärmepumpen“ 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 energieeffizientere Investition darstellt.

Ergebnisse

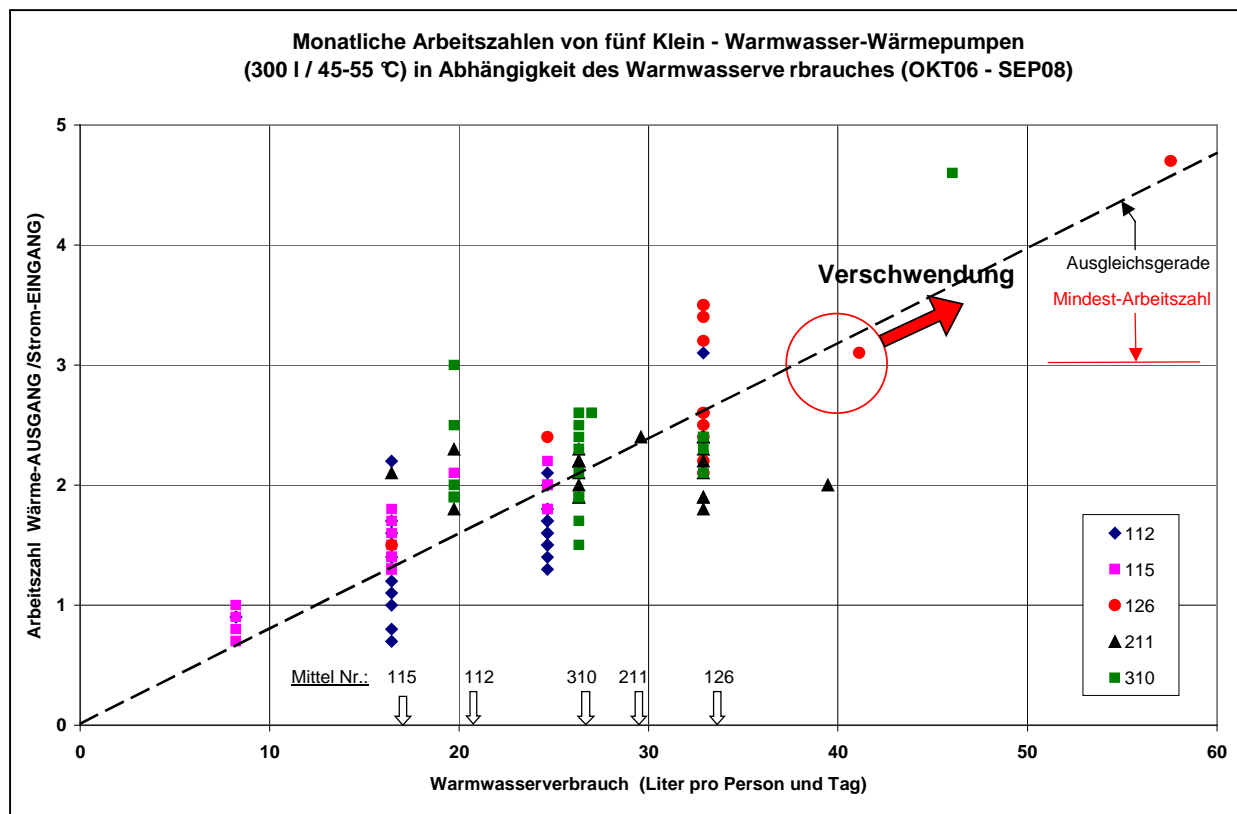
Die nächste Abbildung zeigt die Arbeitszahlen von fünf Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung über zwei Jahre, und zwar von Oktober 2006 bis September 2008.



Drei davon arbeiten relativ gut mit einer gemittelten Arbeitszahl von 2,4 und Einzelwerten von 2,1, 2,3 und 2,8. und zwei schlecht mit Arbeitszahlen von je 1,5. Die Gründe für die drei besser abschneidenden Wärmepumpen liegen im höheren Warmwasserverbrauch zwischen 27 und 33 Liter pro Person und Tag und in der Nutzung der warmen Abluft aus Küche, Bad und dem Heizungsraum. Letzteres bedeutet einen Wärmekurzschluss, denn die Heiz-Wärmepumpe muss die abgekühlte Raumluft wieder erwärmen!

Wegen des geringeren Warmwasserverbrauches von nur 17 und 21 Liter pro Person und Tag und der kühleren Kellerluft kommen die beiden anderen Wärmepumpen nur auf eine Arbeitszahl von 1,5.

Kleine Warmwasser-Wärmepumpen können bei hohem Warmwasserverbrauch aber durchaus über die erforderliche Mindest-Arbeitszahl von 3,0 kommen. Das zeigt die folgende graphische Darstellung.



Ab etwa 40 Liter Warmwasser pro Person und Tag liegt die Arbeitszahl über dem Mindest-Wert von 3,0. Ein solch hoher Warmwasserverbrauch wird aber nur in 3 von 107 untersuchten Monaten erreicht und bedeutet eine **Verschwendung** von Wasser und thermischer Energie! Die Mittel des Warmwasserverbrauchs aller fünf Wärmepumpen liegen nämlich deutlich unter 40 Liter pro Person und Tag und sind auf der horizontalen Verbrauchsschse als Pfeile eingetragen.

Am linken Ende der Verbrauchsschse lässt sich schlussfolgern, dass unter 12 Litern pro Person und Tag ein Elektro-Durchlauferhitzer die bessere Wahl wäre. Doch ein so niedriger Warmwasserverbrauch kommt im Jahresmittel in der Praxis nicht vor.

Beurteilung


Alle **Warmwasser-Wärmepumpen erreichen mit einem Mittel von JAZ = 2,0 bei weitem nicht das Klimaschutzziel** mit einer Jahresarbeitszahl von über 3. Dieser Wärmepumpentyp sollte deshalb nicht mehr zum Einsatz kommen. Eine Sonnenkollektoranlage für Warmwasser wäre eine deutlich bessere ökologische Investition gewesen.

5.4 Mängel und Ausfälle während der zweijährigen Praxisuntersuchung

Fehlende oder mangelhafte Rohrwärmedämmung

Nach der engeren Auswahl der Wärmepumpen war eine Begehung aller Wärmepumpenanlagen erforderlich. Dabei zeigten sich schon die ersten Mängel. Sie sind zwar nicht wärmepumpenspezifisch, erhöhen aber den Heizwärmebedarf beachtlich. Die folgende Bildserie zeigt die zum Teil oder gar völlig fehlende Wärmedämmung der Heizungsrohre im Keller.

SHK: Dämmprobleme




Wärmeverluste Heizungsrohre

1. Voraussetzungen
Wärmedämmung außen/inn. = 55/28 mm
Temperaturdiff. = 35 K, Rohrlänge = 10 m
Heizsaison 7 Monate

2. Zwischenergebnisse für den Heizungskeller

Wärmedurchgangszahl	k = 0,4 W/m ² K
Wärmeverlust pro Meter	P _s = 14 W/m
Wärmeverlust im Heizungskeller	P = 140 Watt -thermisch

3. Ergebnisse
Heizsaison (700 kWh) und Nichtheizsaison (300 kWh) = 1 000 kWh/Jahr
Vergleich mit Bedarf Niedrigenergiehaus, typisch = 10 000 kWh/Jahr
====>>> 10% der Wärme geht im Heizungsraum verloren !



Obwohl die Wärmedämmung der Heizungsrohre gesetzlich vorgeschrieben ist, montierten die Installateure sie nur unvollständig oder sie war gar nicht vorhanden. Während die Rohre in den grün umrandeten Fotos vorbildlich gedämmt sind, liegt es bei den rot umrandeten doch im Argen: links ist im Außenbereich bei einer Luft-Wärmepumpe überhaupt keine Dämmung vorhanden und rechts nur bei den Kaltwasserrohren einer Erdreich-Wärmepumpe. Im Bild auf der rechten Seite oben fehlt die Wärmedämmung auch nach Jahren ganz.

Die Agenda-Gruppe hat ein Drittel der 33 Betreiber darauf hinweisen müssen, dass der Installateur noch nachbessern muss, und zwar nicht nur die geraden Rohrabschnitte, sondern auch die Krümmer, Abzweige und Armaturen. Dass es sich hierbei nicht nur um „ein bisschen“ handelt zeigt die Überschlagsrechnung im rechten Bild: Ohne eine Rohrwärmedämmung gehen etwa 10% der erzeugten Wärme im Heizungskeller verloren!

Ausfälle

Zu Beginn der zweijährigen Messperiode war keine Wärmepumpe älter als vier Jahre. Trotzdem gab es bei 9 von 33 Heiz-Wärmepumpen und bei einer von fünf Warmwasser-Wärmepumpen Probleme und Ausfälle. Die gravierendsten waren:

- Eine Wärmepumpe verfehlt deutlich die im Datenblatt zugesicherte Leistung
- In vier Fällen (3 x Heiz- und 1 x Warmwasser-Wärmepumpe) musste der Verdichter wegen erheblichem Leistungsrückgang oder Defekt ausgetauscht werden.
- Wärmepumpen schalteten wegen verschiedener Ursachen ab und liefen über den Elektro-Heizstab.

Offensichtlich haben Wärmepumpen auch nach 30 Jahren noch nicht die erforderliche Entwicklungshöhe erreicht: Vier Verdichterausfälle nach 4-6 Jahren Laufzeit sind zu viel. Manche Entwickler machen es sich da etwas zu leicht. Eine Wärmepumpe ist eben doch kein „umgekehrter Kühlschrank“, und ein Verdichter aus der Klimatechnik taugt nicht immer auch für eine Wärmepumpe.

Wenn man von den Totalausfällen absieht, dann wären ohne eine messtechnische Überwachung die erheblichen Leistungsmängel gar nicht aufgefallen, allenfalls erst viel später durch einen hohen Stromverbrauch. Das unterstützt die Förderpolitik der Bundesregierung, den Einbau von Wärmezählern vorzuschreiben. In die gleiche Kerbe schlägt auch FROHN /Lit. 03/, der das sog. Monitoring für notwendig hält, mit der folgenden Aussage anlässlich eines Kongresses der Deutschen Energieagentur: „Ist eine Wärmepumpenanlage sich selbst überlassen, dann ist der energieeffiziente Betrieb ein Zufall.“

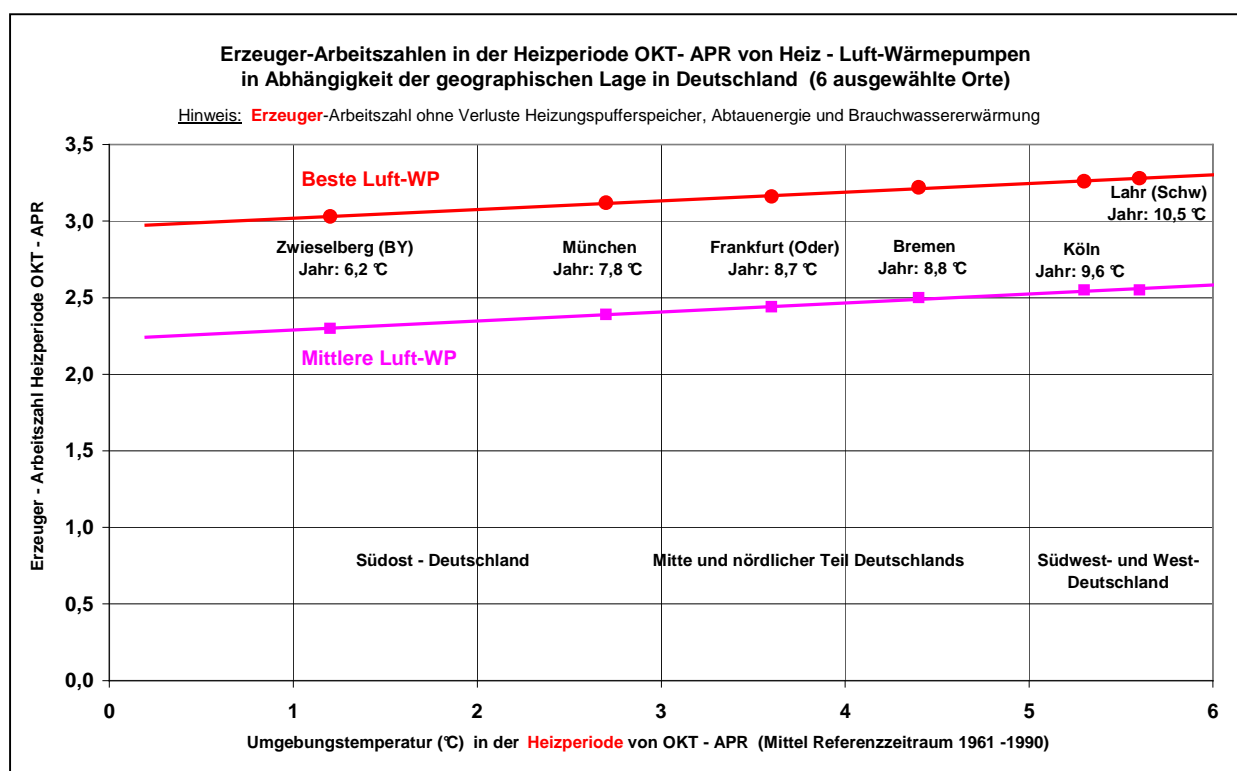
Selbstverständlich hat die Agenda-Gruppe gleich nach Feststellung der Mängel die Betreiber informiert und eine Ertüchtigung bzw. Reparatur der Wärmepumpe empfohlen. Diese vorüber-

gehenden Ausfälle von bis zu vier Monaten (!) sind bei der Ermittlung der Jahresarbeitszahlen nicht berücksichtigt.

5.5 Umrechnung der Jahresarbeitszahlen auf ein Normaljahr und andere deutsche Standorte

Die Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ stammen vom Oberrhein, der wärmsten Gegend Deutschlands. Das langjährige Mittel der Umgebungstemperatur liegt gegenüber Norddeutschland um etwa 2 °C und gegenüber Ostbayern sogar um 4 °C höher. Dieses Kapitel soll deshalb die Frage beantworten, mit welchen Jahresarbeitszahlen die kritisch zu bewertenden Luft-Wärmepumpen in anderen Gebieten Deutschlands arbeiten werden.

Grundlagen der Untersuchung sind eine so genannte Kennlinie, die die Abhängigkeit der monatlichen Arbeitszahlen von der Umgebungstemperatur darstellt (Erklärung und Abbildung siehe Anhang 10.4), und die langjährigen Temperaturwerte des Deutschen Wetterdienstes von 1961-1990 für sechs ausgewählte Orte, verteilt über ganz Deutschland. Das Ergebnis zeigt die nächste Abbildung.



Dargestellt sind die günstigeren **Erzeuger-Jahresarbeitszahlen**, die die Verluste der Heizungspuffer- und Brauchwasserspeicher und das Abtauen des Lamellen-Verdampfers noch nicht berücksichtigen, in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur in einer Normal-Heizperiode. Die beste Luft-Wärmepumpe Nr. 115 kommt im Feldtest über zwei Jahre laut Anhang 10.1 auf eine EJAZ = 3,2 und SJAZ = 3,0 und die mittlere mit der Nummer 126 auf eine EJAZ = SJAZ = 2,5. Die beiden Kurven zeigen einen linearen Verlauf: Je kälter die Region, desto niedriger die Jahresarbeitszahlen. Sie nehmen um 0,1 JAZ-Punkte pro 1,8 °C Umgebungstemperatur ab. In Nord- und Ostdeutschland ist zwar noch mit einer Erzeuger-Jahresarbeitszahl von 3,2 zu rechnen, in Ostbayern dagegen nur noch mit etwa 3,0. Für die mittlere Luft-Wärmepumpe lauten die Werte 2,5 bzw. 2,3. Die Differenzen zwischen Süd- und Norddeutschland sind mit 0,2 JAZ-Punkten relativ gering.

Soweit die **Erzeuger-Jahresarbeitszahlen**. Berücksichtigt man noch die Verluste der Heizungspuffer- und Brauchwasserspeicher und das Abtauen des Lamellen-Verdampfers (-0,5 JAZ-Punk-

te, siehe Kapitel 5.1), dann liegen die **System-Jahresarbeitszahlen** in allen Teilen Deutschlands im Mittel nur noch um die SJAZ = 2. D.h.: Der Betreiber muss die Hälfte seines Heiz- und Warmwasserbedarfes mit hochwertigem und teurem Strom decken. Das ist dann zu etwa einem Viertel eine Kohlestromheizung! Aus Sicht der Agenda-Gruppe sieht Klimaschutz anders aus.

6. Vergleich der ökologischen Ergebnisse mit anderen Praxisuntersuchungen

Die Ergebnisse des „Feldtest Elektro-Wärmepumpen“ am Oberrhein sind vergleichbar oder sogar besser als die Ergebnisse früherer Praxisuntersuchungen in Norddeutschland (Eon), der Schweiz (FAWA), in Hessen (Hess. Landesregierung/ VDEW) oder in Baden (EWM).

Reaktionen auf den Feldtest

Trotz dieser an und für sich unter Fachleuten bekannten Tatsachen behauptete ein Wärmepumpen-Hersteller, die Lokale Agenda 21 - Gruppe Energie Lahr messe falsch, und ein Energieversorger habe bessere Ergebnisse ermittelt. Auf die Nachfragen, an welchen Stellen eine Korrektur erforderlich sei, und der Bitte um Vorlage von höheren Jahresarbeitszahlen, blieben die Antworten aus. Andere Hersteller drohten gar mit einer gerichtlichen Auseinandersetzung!

Die Agenda-Gruppe hat deshalb einmal Fakten und Zahlen zusammen gestellt. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht.

	Lokale Agenda 21 - Gruppe Energie Lahr Schwarzwald	Eon Düsseldorf	BFE Schweizer Bundesamt für Energie (FAWA)	IZW Infozent. Wärmepumpen und Kältetechnik (Kruse) und Eon	GERTEC Hess. Wirtschaftsministerium, VDEW und MKW	E-Werk Mittelbaden Lahr Schwarzwald	Zum Vergleich:		Gewichtetes Mittel Arbeitszahlen Spalten 2-7	Mittel Primärenergetische Erz. aufwandszahl Spalten 2-7 (PEF = 2,7)
							Planung Wirtsch. minist. Baden-Württemberg	Planung Stiebel-Eltron Holzminiden		
Luft-Wärmep. JAZ (Anzahl) Literat./n/	2,8 ^a /2,4 ^b (7) / (5)	2,73 ^c (1) /4/	2,65 (ca. 100) /5/ & /6/	2,98 /7/	2,0 (4) /8/	2,77 (1) /9/	2,1 - 2,3 /10/	2,31 ^d /11/	2,65	1,02
Erdreich-Wärmep. JAZ (Anzahl) Literat./n/	3,4 ^a (13)	3,60 ^c (14) /4/	3,50 (ca. 100) /5/ & /6/	3,32 /7/	2,9 (4) /8/	--	2,4 - 2,9 /10/	2,97 ^d /11/	3,50	0,77
Zum Vergleich: Erdgas-Kessel ^e (Anzahl) Literat./n/										FhBW 1,04 (59) /12/

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.

Anmerkungen: ^a Günstigere Erzeuger-JAZ Fußbodenheizung (System-JAZ: Luft 2,3, Erdreich 3,1); ^b Günstigere Erzeuger-JAZ Heizkörper (System-JAZ 2,2); ^c Literatur /6/: Nur die Besten veröffentlicht; ^d Wärmebedarf 80 kWh/m²a, Fläche 150 m² (Anlagenaufwandszahl); ^e Erdgas-Brennwertkessel.

Literatur /4/ bis /12/: Siehe Anhang 10.6

Definitionen: Siehe Anhang 10.5

Das Ergebnis: Die Jahresarbeitszahlen anderer Untersuchungen sind vergleichbar oder sogar schlechter als die der Agenda-Gruppe. Die primärenergetischen Erzeugeraufwandszahlen = Primärenergiefaktor PEF / JAZ (letzte Spalte) sowie die Aufwandszahlen (Definitionen siehe Anhang /11.5/) von Luft-Wärmepumpen entsprechen denen von Erdgas-Brennwertkesseln. Luft-Wärmepumpen tragen deshalb im Mittel auch bei den anderen Feldtests nicht zum Klimaschutz bei. Anders dagegen die Erdreich-Wärmepumpen. Deren Aufwandszahlen sind um 26 % besser, das heißt niedriger, als die von Erdgas-Brennwertkesseln.

Auch die zur Zeit laufende Praxisuntersuchung des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg kommt zu vergleichbaren Ergebnissen, wenn man berücksichtigt, dass es sich hier um einen so genannten „Kontrollierten Feldtest“ handelt und man genau **zwischen der Erzeuger- und System-Jahresarbeitszahl unterscheidet**:

- Die Hersteller nannten dem ISE die Wärmepumpen, die sie auch laufend online überwachen und natürlich auch ertüchtigen falls erforderlich. So etwas gibt es beim Feldtest der Agenda-Gruppe nicht. Nachbesserungen waren freilich in einigen Fällen notwendig, schließlich will sich die Agenda-Gruppe nicht dem Vorwurf aussetzen, sie vermesse offensichtlich fehlerhafte Wärmepumpen.
- Der Anteil der Fußbodenheizungen mit geringer Vorlauftemperatur ist beim ISE mit 96 % deutlich höher als bei der Agenda-Gruppe. Das erhöht natürlich die JAZ.
- Das ISE gibt Jahresarbeitszahlen ohne und mit Brauchwassererwärmung an. Ohne entsprechen sie der günstigeren Erzeuger-Jahresarbeitszahl. Die Agenda-Gruppe erfasst darüber hinaus auch die System-Jahresarbeitszahl. Der Unterschied: Die für die Energieeffizienz von Wärmepumpensystemen maßgebliche System-Jahresarbeitszahl berücksichtigt nicht nur die unvermeidlichen Verluste der Brauchwassererwärmung (-0,1 bis -0,2 – JAZ-Punkte), sondern auch noch die des Heizungspufferspeichers (-0,1 bis -0,2 -JAZ-Punkte), der Ladepumpe und bei Luft-Wärmepumpen auch noch die Energie zum Abtauen des Lamellen-Verdampfers (-0,2 -JAZ-Punkte).

Die Jahresarbeitszahlen der Agenda-Gruppe (Erzeuger- und System-JAZ) und des ISE (Erzeuger-JAZ ohne und mit Brauchwassererwärmung) lassen sich somit nicht vergleichen. Trotzdem erreichen auch beim ISE die Luft-Wärmepumpen unter Berücksichtigung der Brauchwassererwärmung nur eine Jahresarbeitszahl von im Mittel knapp 3. Zieht man davon aber noch die zuvor genannten Verluste für den Heizungspufferspeicher und das Abtauen des Lamellen-Verdampfers ab, dann ergibt sich beim ISE eine System-Jahresarbeitszahl von nur noch 2,6 (berechnet aus den Ergebnissen der Agenda-Gruppe).

Zum Vergleich: Die Agenda-Gruppe ermittelte bei Fußbodenheizungen eine System-Jahresarbeitszahl von 2,3. Die Gründe für den etwa 10% niedrigeren Wert liegen in den fehlenden Betriebsüberwachungen und Nachbesserungen durch die Hersteller. Die kritisch zu bewertenden Luft-Wärmepumpen kommen somit auch beim ISE bei weitem nicht über die erforderliche System-Jahresarbeitszahl von 3, ein Mindestwert, den die Deutsche Energieagentur und das RWE fordern, um Wärmepumpen als „energieeffizient“ bezeichnen zu können.

Reaktionen auf die Ergebnisse des Feldtests

1. Empfehlung des Bundesverbandes Haustechnik, Energie und Umwelt (BDH), der die Interessen der Heizkessel- und Wärmepumpenhersteller vertritt:

„Keine Stellungnahme zu den Ergebnissen der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr. Eine Stellungnahme wäre kontraproduktiv, weil dadurch die Praxisuntersuchung aufgewertet würde.“

Reaktionen auf die Ergebnisse des Feldtests (Fortsetzung)

2. Elektrizitätswerk Mittelbaden (Lahr/Schwarzwald), einer der beiden Förderer der Messtechnik des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“:

„Die Energieberatung des E-Werks Mittelbaden wird die Ergebnisse des Feldtests der Agenda-Gruppe nicht zum Anlass nehmen, von Luft-Wärmepumpen generell abzuraten. Die Energieberatung wird in der persönlichen und schriftlichen Beratung die aus dem Bericht vermeintlich negativen Schlussfolgerungen den Ratsuchenden objektiv entkräften.“

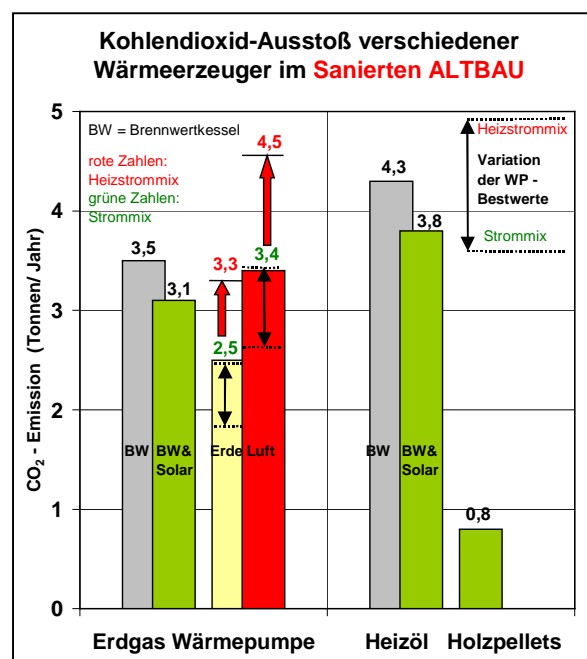
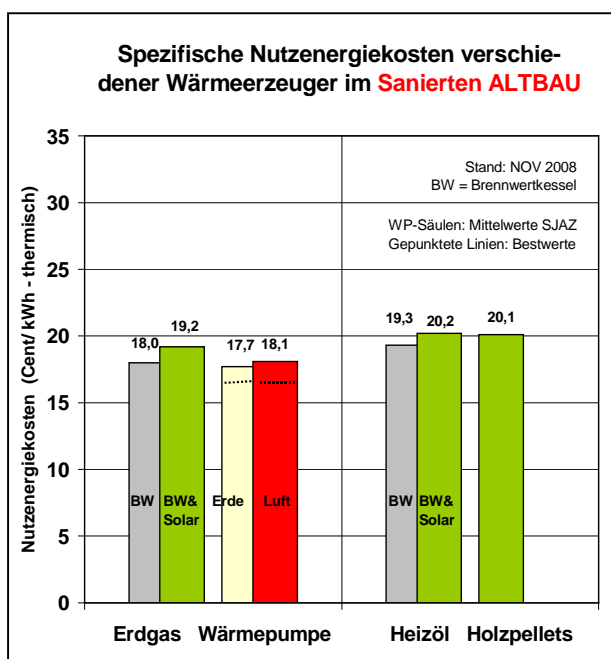
Die Agenda-Gruppe hofft, dass zu dieser „Objektivität“ der Hinweis gehört, dass auch die beste Luft-Wärmepumpe mit einer System-Jahresarbeitszahl von SJAZ = 3,0 das Klimaschutzziel nicht erreicht.

7. Ökonomische Ergebnisse

Die gemessenen mittleren System-Jahresarbeitszahlen von Elektro-Wärmepumpen in Kapitel 5.1 sind die Grundlage für die folgende Wirtschaftlichkeitsberechnung und für einen Vergleich mit anderen Wärmeerzeugern. Wie die Tabellen im Anhang 10.3 zeigen, ermittelte die Ortenauer Energieagentur bei zwei Fallbeispielen die Investitions- und Betriebskosten über die Lebensdauer der Anlagen und diskontierte sie auf das erste Jahr ab (Annuitätsrechnung). Es handelt sich um einen sanierten Altbau mit Heizkörpern und um einen Neubau mit Fußbodenheizung. Als Zwischenergebnis erhält man zunächst die Jahreskosten (€/a) und die spezifischen Nutzenergiekosten (Cent/ kWh-thermisch) für Raumwärme und Warmwasser von sieben Vergleichssystemen. In Verbindung mit verschiedenen Primärenergiefaktoren und spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren des deutschen Strommixes und des Heizstrommixes ist dann eine Aussage über eine optimale Investition möglich, die sowohl die Belange der Betriebswirtschaftlichkeit, als auch die des Klimaschutzes berücksichtigt.

Saniertes Altbau

Die beiden nächsten Bilder zeigen die spezifischen Nutzenergiekosten und die Kohlendioxid-Emissionen der sieben Wärmeerzeuger für das Fallbeispiel „Saniertes Altbau“. Die zahlreichen Eingangsdaten zu diesem Beispiel gehen aus dem Anhang 10.3.1 hervor.



Die **Nutzenergiekosten** in der linken Abbildung auf Seite 23 variieren nur zwischen 18 und 20 Cent/kWh. Drei Wärmeerzeuger liegen aber mit rund 18 Cent/kWh ganz dicht beieinander vorn. Es handelt sich um eine Erdreich-Wärmepumpe, einen Erdgas-Brennwertkessel und um eine Luft-Wärmepumpe. Deren Ausgaben sind bei einer Vollkostenrechnung praktisch gleich; Anmerkungen dazu siehe im Anhang 10.3.

KOMMENTAR: Gesamtkostenrechnung

Wie immer wieder in Gesprächen erlebt, bescheinigen die Energieberater den Erdreich-Wärmepumpen zwar eine hohe Energieeffizienz, raten aber wegen der hohen Anfangsinvestition dann doch zu den zwar billigeren, aber energie-ineffizienten Luft-Wärmepumpen.

Bei einer notwendigen **Betrachtung der Kosten über den Lebenszyklus der Wärmeerzeuger sind aber die Kosten der beiden Wärmepumpen vergleichbar**. Hier gilt es mehr als bisher aufzuklären und dem potentiellen Interessenten eine Gesamtkostenrechnung zu unterbreiten.

Die farbigen Säulen der linken Abbildungen auf Seite 23 stellen bei den Wärmepumpen die Kosten auf der Basis der Mittelwerte der in Kapitel 5.1 gemessenen System-Jahresarbeitszahlen dar. Nimmt man die höchsten Einzelwerte der beiden Wärmepumpentypen, dann erniedrigen sich die spezifischen Nutzenergiekosten wie im linken Bild dargestellt (gepunktete Linien). Die Erdreich- und die Luft-Wärmepumpen sind dann mit Spitzenwerten kostengünstiger als ein Erdgaskessel.

Anders verhalten sich dagegen die Wärmeerzeuger beim **Ausstoß des schädlichen Treibhausgases CO₂** (rechte Abbildung auf Seite 23). Da liegt der Holzpelletkessel mit einer jährlichen CO₂-Emission von nur 0,8 Tonnen pro Jahr unschlagbar niedrig, gefolgt von der Erdreich-Wärmepumpe, dem Erdgas-Brennwertkessel mit einer Sonnenkollektoranlage und der Luft-Wärmepumpe.

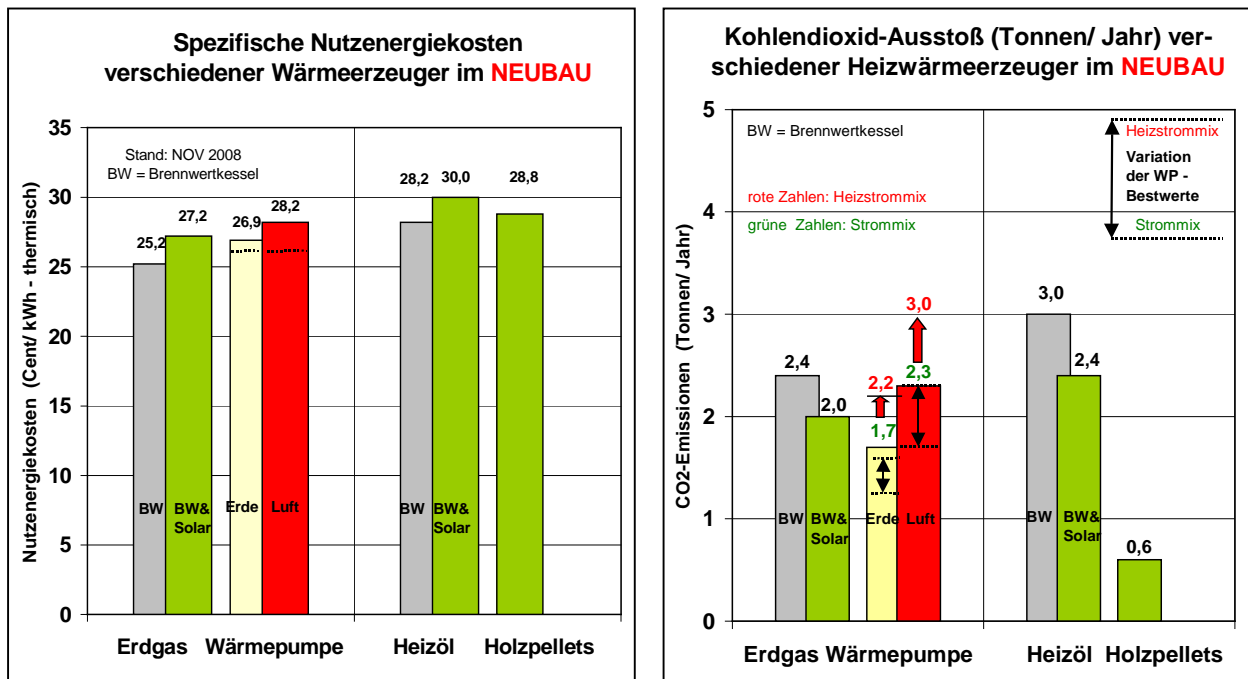
Die farbigen Säulen beziehen sich bei den Wärmepumpen auf einen jährlichen Kohlendioxid-Ausstoß des deutschen Kraftwerks-Strommixes von rund 600 Gramm/ kWh-elektrisch. Immer mehr umweltbewusste Energieexperten sind aber der Ansicht, dass dieser Strommix bei Elektro-Wärmepumpen nicht anwendbar ist, weil in der Heizperiode zur Braunkohle und dem Uran als Grundlast noch die Steinkohle in der Mittellast dazu kommt, die den Emissionsfaktor von 600 auf 800 g/ kWh in die Höhe treibt. Im rechten Bild ist deshalb noch als Alternative zum Strommix (grüne Zahlen) der Heizstrommix mit rötlichen Pfeilen nach oben eingetragen (rote Zahlen). Die Folge: Der Erdgas-Brennwertkessel tauscht mit der Erdreich-Wärmepumpe den zweiten Platz und die Luft-Wärmepumpe wird zum schlechtesten aller untersuchten Wärmeerzeugersysteme.

Dieses Ergebnis verbessert sich aber, wenn man statt der gemittelten System-Jahresarbeitszahlen auch hier wieder nur die höchsten gemessenen Einzelwerte betrachtet. Die schwarzen Doppelpfeile in der Abbildung rechts auf Seite 23 zeigen deshalb noch die Bandbreite an zwischen dem deutschen Strommix (600 g/kWh – untere gepunktete Linie) und dem Heizstrommix (800 g/kWh – obere gepunktete Linie).

Neubau

Die beiden nächsten Abbildungen auf der Seite 25 zeigen für den Neubau eine ähnliche Darstellung wie zuvor für den sanierten Altbau. Wegen des niedrigeren Wärmebedarfes sind freilich die

spezifischen Kosten der Nutzenergie höher und die CO₂-Emissionen niedriger. Die zahlreichen Eingangsdaten zu diesem Fallbeispiel gehen aus dem Anhang 10.3.2 hervor.



Die **Nutzenergiekosten** (linkes Bild) variieren beim Neubau deutlich mehr als beim sanierten Altbau, und zwar zwischen 25 und 30 Cent/kWh-thermisch. Die Reihenfolge mit den niedrigsten Kosten lautet: Erdgas-Brennwertkessel, Erdreich-Wärmepumpe, Erdgas-Brennwertkessel mit Sonnenkollektoranlage und Luft-Wärmepumpe. Bei einer Rechnung mit den besten Einzelwerten rücken die beiden Wärmepumpen an die zweite Stelle (gepunktete Linien).

Die rechte Abbildung zeigt den **Ausstoß des schädlichen Treibhausgases CO₂** bei den sieben Wärmeerzeugern. Auch im Neubau liegt der Holzpelletkessel mit einer jährlichen Emission von nur 0,6 Tonnen pro Jahr unschlagbar niedrig, gefolgt wiederum von der Erdreich-Wärmepumpe, dem Erdgas-Brennwertkessel mit einer Sonnenkollektoranlage und der Luft-Wärmepumpe.

Die grünen und roten Zahlen im Bild und die gepunkteten Linien zeigen, wie schon beim „Sanierten Altbau“ erläutert, die Variationen beim Strommix und den Jahresarbeitszahlen. Je nach Annahmen ergeben sich auch hier vergleichbare Ranglisten.

Kombination von Ökologie und Ökonomie: Der Preis-Klima - Faktor

Die Kapitel 5 und 7 beschreiben die ökologischen und ökonomischen Aspekte von Wärmepumpen und anderer Wärmeerzeugersysteme. Die Frage erhebt sich nun, welches dieser Systeme beim Wechsel auf ein anderes zu empfehlen ist. Schließlich lautet der typische Werbespruch von 1979/80 auch heute noch: „Weg vom Öl – hin zur Elektro-Wärmepumpe“. Ist das aber immer die richtige Entscheidung?

Zur Beantwortung dieser Frage können die beiden Fallbeispiele „Saniertes Altbau“ und „Neubau“ als eine erste, aber wichtige Entscheidungshilfe dienen. Die Ergebnisse dieses Kapitels sind deshalb in der Tabelle auf der nächsten Seite noch einmal zusammengefasst. Die Agenda-Gruppe verknüpft darin die Gesamtkosten mit dem Klimaschutz und ermittelt Heizsysteme mit einem

optimalen Preis-/ Klimaschutz - Verhältnis.

Fallbeispiel/ Platz	1	2	3	4
<u>Saniertes Altbau</u> - <u>Kosten</u> gruppe 18 Cent/ kWh-thermisch (praktisch gleich) - <u>CO₂-Emission</u> in Tonnen pro Jahr (nach rechts zunehmend)	Erdreich-Wärmepumpe	Erdgas-Brennwertkessel	Luft-Wärmepumpe	Erdgas-BW-Solar
	Holzpelletkessel	Erdreich-Wärmepumpe Günstigster Preis-/ Klimafaktor	Erdgas-Brennwertkessel und Solar	Luft-Wärmepumpe
<u>Neubau</u> - <u>Kosten</u> in Cent/ kWh-thermisch (nach rechts zunehmend) - <u>CO₂-Emission</u> in Tonnen pro Jahr (nach rechts zunehmend)	Erdgas-Brennwertkessel	Erdreich-Wärmepumpe	Erdgas-Brennwertkessel und Solar	Luft-Wärmepumpe
	Holzpelletkessel	Erdreich-Wärmepumpe Günstigster Preis-/ Klimafaktor	Erdgas-Brennwertkessel und Solar	Luft-Wärmepumpe

Die Tabelle zeigt die Ranglisten beim „Sanierten Altbau“ und beim „Neubau“ für die Kosten (nach rechts zunehmend) und CO₂-Emissionen (ebenfalls nach rechts zunehmend). Wer allein auf die Kosten schaut, der wählt beim sanierten Altbau die Erdreich-Wärmepumpe (Platz 1) und beim Neubau einen Erdgas-Brennwertkessel. Bei einem Verantwortungsbewusstsein für die Umwelt, die Kinder und die Enkel ist jedoch in beiden Fällen der Holzpelletkessel die erste Wahl.

Haben die Bauleute aber den Wunsch, die Kosten und den Klimaschutz ausgewogen zu berücksichtigen, dann sollten sie sich für die rot umrandete **Schnittmenge** in der obigen Kosten- und Emissionsrangliste entscheiden. Die beinhaltet beim

Saniertes Altbau: Erdreich Wärmepumpen

Die Gründe: Sie haben die niedrigsten Kosten und die zweitniedrigste CO₂-Emissionen.

Der Holzpelletkessel liegt beim Kohlendioxid-Ausstoß zwar deutlich niedriger, erscheint bei den Kosten aber nicht unter den ersten vier Plätzen.

Neubau: Erdreich-Wärmepumpen

Die Gründe: Sie haben die zweitniedrigsten Kosten und CO₂-Emissionen.

Der Erdgas-Brennwertkessel ist zwar kostengünstiger, er erscheint aber nicht unter den ersten vier Plätzen beim Kohlendioxid-Ausstoß.

Und der Holzpelletkessel hat zwar eine sehr geringe CO₂-Emission, steht aber in der Kosten-Rangliste am Ende.

Sowohl im sanierten Altbau als auch im Neubau erscheinen die Luft-Wärmepumpen zwar auch als Schnittmenge in der Kosten- und Emissions-Rangliste, wegen der etwas höheren Kosten und der Energie-Ineffizienz aber erst auf den hinteren Plätzen und sind damit nicht zu empfehlen.

8. Zusammenfassung der ökologischen und ökonomischen Ergebnisse

Die Messwerte der zweijährigen Praxisuntersuchung von Oktober 2006 – September 2008 zeigen, 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 (COP = Coefficient of Performance) auf den Testständen unter sehr günstigen Rahmenbedingungen, die in der Praxis nicht einzuhalten sind. Auch die Berechnung der Jahresarbeitszahl mit Hilfe der VDI Richtlinie Nr. 4650 bildet die Wirklichkeit unvollständig ab. Es sind nämlich noch zu berücksichtigen:

- Der Systemgedanke: Optimale Abstimmung der Komponenten Kaltquellen, Wärmepumpen und Wärmesenken und deren Einbindung in die Haustechnik
- Variable Volumen- und Wasserdurchsätze auf der Kaltseite
- Instationäre Betriebsweise: Teillasten und Takten
- Höhere Nutzttemperaturen für das Warmwasser (wenn Fußbodenhz. kombiniert mit WW)
- Strom für Notheizstäbe
- Heizungspufferspeicher; er erniedrigt die Arbeitszahl um etwa minus 0,1 bis 0,2 - Punkte
- Hydraulischer Abgleich des Heizkreises: Obwohl vorgeschrieben nur selten durchgeführt. Er erhöht nicht nur die Jahresarbeitszahl, sondern senkt auch den Energieverbrauch, insbesondere in Verbindung mit hocheffizienten Umwälzpumpen
- Fehlende oder mangelhafte Wartung der Lamellen-Verdampfer (Luft-WP), Brunnenfilter (Grundwasser-WP) und Einstellungen am Bedienpult (Heizkurve liegt oft zu hoch).

Diese Punkte verringern die berechneten Jahresarbeitszahlen gegenüber der Praxis beachtlich. Die Unterschiede betragen minus 0,5 bis 1,0 – Arbeitszahlpunkte.

Auch in der zur Zeit in Überarbeitung befindlichen, verbesserten Version der VDI 4650 gibt es noch Mängel. Der oben erwähnte Notheizstab ist zwar jetzt aufgenommen worden, beim Parallelbetrieb mit der Wärmepumpe gibt es aber noch Ungereimtheiten. Dann fehlt immer noch der Heizungspufferspeicher, und die Annahmen bei der Brauchwassererwärmung sind zu optimistisch.

Die Angabe der maßgeblichen, weil mit anderen Wärmeerzeugersystemen vergleichbaren **System**-Jahresarbeitszahl, ist somit nach wie vor nicht möglich. Ein Vergleich der neuen VDI-Berechnung mit den Feldtest-Ergebnissen der Agenda-Gruppe und des FhG-ISE zeigt aber bei der günstigeren **Erzeuger**-Jahresarbeitszahl eine Übereinstimmung von immerhin +/- 10% (BRUGMANN /Lit. 13/). Bedauerlich ist freilich, dass der Autor nicht auch noch den Heizstab und die Brauchwassererwärmung berücksichtigt hat. Das würde dann sicherlich die Abweichung zwischen der Berechnung und der Praxis erhöhen.

Kaltquellen Erdreich, Grundwasser und Luft

Auf der Kaltquellenseite sind die **Erdreich**-Wärmepumpen der Spitzenreiter. Sie erreichen in Verbindung mit Fußbodenheizungen im Jahresmittel Arbeitszahlen zwischen 3,1 bis 3,4. Davon übertreffen zwei von dreizehn Erdreich-Wärmepumpen sogar das Werbeziel von JAZ = 4 und kommen auf Erzeuger-Jahresarbeitszahlen zwischen 4,3 und 4,4; das ist ein sehr gutes Ergebnis.

Für manche enttäuschend schneiden die **Grundwasser**-Wärmepumpen ab. Sie erreichen im Mittel Jahresarbeitszahlen von nur 2,9 bis 3,2. Die Gründe dazu gehen aus Kapitel 5.1 hervor. Eine von sieben übertrifft freilich mit einer Erzeuger-Jahresarbeitszahl von 4,2 auch das Werbeziel; ebenfalls ein sehr gutes Ergebnis.

Das Schlusslicht bilden die **Luft-Wärmepumpen**. Bei Fußbodenheizungen beträgt die günstigere Erzeuger-Jahresarbeitszahl im Mittel EJAZ = 2,8, die maßgebliche System-Jahresarbeitszahl aber nur SJAZ = 2,4; bei Heizkörpern betragen die entsprechenden Werte 2,4 bzw. 2,2. Deutlich abgeschlagen sind die Klein - Warmwasser-Wärmepumpen mit einem Jahresmittel von 2,0. Bei einem hohem Warmwasserverbrauch sind zwar 2,4 zu erzielen, bei einem geringen sind es aber nur 1,5 – alles nicht ausreichende Ergebnisse.

Luft-Wärmepumpen tragen somit in der Praxis nicht zum Klimaschutz bei, weil sie die Anforderungen der Deutsche Energieagentur und des RWE für „energieeffiziente“ Wärmepumpen /Lit. 01/ mit Jahresarbeitszahlen von über 3,0 nicht erfüllen. Dieser Wärmepumpentyp nutzt auch **keine erneuerbare Energie**, wenn Umweltwärme nur dann als erneuerbare Energie anerkannt wird, wenn sie zu Primärenergieeinsparungen beim Verbrauch von fossilen und Kern-Brennstoffen führt /Lit. 14/.

KOMMENTAR: Kein Einsatz von Luft-Wärmepumpen

Wegen der Energie-Ineffizienz von Luft-Wärmepumpen für die Heizung und das Brauchwasser empfiehlt die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr zusammen mit immer mehr Energieexperten und Umweltaktivisten, in Niedrigenergiehäusern, sanierten Altbauten und erst recht Altbauten beim derzeitigen Stand der Technik **keine Luft-Wärmepumpen mehr einzusetzen und staatlich zu fördern**.

Dieser Empfehlung widersprechen naturgemäß ein großer Teil der Wärmepumpen-Hersteller und Stromversorgungsunternehmen. Die Agenda-Gruppe urteilt aber auf der Basis von Fakten und Zahlen nicht nur des eigenen Feldtests. Wunschenken und Marketing-Interessen liegen ihr fern.

Wärmesenken Fußbodenheizung und Heizkörper

Auf der Wärmesenkenseite ist die **Fußbodenheizung** der Favorit. Die Jahresarbeitszahlen liegen gegenüber **Heizkörpern** je nach Kaltquelle um 0,1 bis 0,4 – Arbeitszahlpunkte höher. Diese Feststellung ist wichtig, weil Hersteller, Handwerker und Energieversorgungsunternehmen die Luft-Wärmepumpen auch gerne für den großen Markt der Altbauanierung propagieren – auch in Verbindung mit Heizkörpern. Natürlich lässt sich eine Luft-Wärmepumpe auch mit Heizkörpern betreiben, die Interessensvertreter müssen aber den Bauherren ehrlich sagen, dass diese dann die Stromkosten um bis zu 20% erhöhen.

KOMMENTAR: Wärmeverteilung 35 °C oder 55 °C ?

Bedauerlich ist, dass die Deutsche Energieagentur und der Landes-Fachverband Sanitär-Heizung-Klima Baden-Württemberg für den Altbau Vorlauftemperaturen bis zu 55°C als „sinnvoll“ erachten und damit ihre eigenen Klimaschutzziele konterkarieren. Als ob die Physik und der CARNOTSche Kreislaufprozess (Definition siehe Anhang) davon abhängig wären, ob eine Wärmepumpe in einem Alt- oder Neubau arbeitet, und ob an sie eine Fußbodenheizung oder ein Heizkörper angeschlossen ist! Entscheidend und leistungsmindernd ist die zu hohe Vorlauftemperatur.

Aber ohne ein solches Zugeständnis hätten insbesondere die Luft-Wärmepumpen im Gebäudebestand keine Chance, weil dort vielfach Heizkörper vorhanden sind. Ein umweltbewusster und zukunftsorientierter Investor sollte solch einem Ansinnen jedoch eine Absage erteilen. Der unabhängige Gutachter des Steinbeis-Transferzentrums (siehe Kapitel 5.2), ein Auftragnehmer des Wärmepumpen-Monitoring-Programms des Bundeswirtschaftsministeriums /Lit. 03/ und die Agenda-Gruppe fordern deshalb nach wie vor nur maximale Vorlauftemperaturen in den Heizkreisen von 35°C. Und das ist mit Heizkörpern nicht zu erreichen!

Sonderfälle

Die Sonderfälle 1 – 4 bringen zum großen Teil keine Vorteile und in einem Fall nur bedingt einen gegenüber Normal-Wärmepumpen oder Sonnenkollektoranlagen:

- Sonderfall 1: Die Vorerwärmung von Außenluft über die Wohnräume verursacht bei der Luft-Wärmepumpe bei einem Heizwärmeverbrauch von 55-60 kWh/(m² Jahr) eine übermäßige Lüftung und damit einen Wärmekurzschluss.
- Sonderfall 2: Die Arbeitszahlen bei der Heißgasentwärmung für bis zu 65°C Warmwasser liegen um 10% unter den Mitteln von normalen Wärmepumpenanlagen.
- Sonderfall 3: Die Kompakt-Wärmepumpe in einem Passivhaus erreicht ohne den 100 m Erdkollektor nicht die erforderliche Jahresarbeitszahl JAZ = 3. Das gelingt erst mit Hilfe des Erdkollektors, der die kalte Winterluft vorerwärmt und im Sommer auch kühlen kann.
- Sonderfall 4: Das Mittel der Jahresarbeitszahlen von fünf Klein - Warmwasser-Wärmepumpen beträgt nur JAZ = 2,0. Das ist deutlich zu wenig für einen Beitrag zum Klimaschutz. Eine Warmwasser-Sonnenkollektoranlage ist eine bessere ökologische Alternative.

Betriebswirtschaftlichkeit und Kohlendioxid-Emissionen

Auf der Basis von Fakten und Zahlen aus der Praxis schneiden die **Erdreich-Wärmepumpen** im Vergleich mit sechs anderen Wärmeerzeugern sowohl im sanierten Altbau als auch im Neubau am besten ab. Sie verfügen über das günstigste Preis-/ Klimaschutz-Verhältnis. Die Voraussetzung: Die Bauleute denken zukunftsorientiert und berücksichtigen nicht nur die Gesamtkosten über die Lebenszeit der Wärmesysteme, sondern wollen auch noch selbst einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

9. Empfehlungen

Im Hinblick auf die Anforderungen an die Gesellschaft und an jeden Einzelnen, die fossilen Energiequellen nicht einfach zu verbrennen und damit das Klima zu belasten, sondern sie lieber als Rohstoffe für die petro-chemische Industrie vorzuhalten, empfiehlt die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr abschließend die folgende Vorgehensweise:

Wärmedämmung und Wärmeerzeugung

Ist ein Altbau noch nicht mindestens auf den heutigen Dämmstandard eines Niedrigenergiehauses saniert, dann muss eine solche Maßnahme stets als erstes erfolgen. Dazu gibt es zinsgünstige KfW-Kredite (www.kfw.de). Der Vorteil: Dann kann die Nennleistung des Wärmeerzeugers etwa 50% kleiner ausfallen, was Kosten und Energie spart.

Erst dann, besser jedoch im Zusammenhang mit der energetischen Altbausanierung, sollte ein auf die individuellen Belange zugeschnittene Heizanlage zur Auswahl kommen. Die Vergleichstabelle in Kapitel 7 gibt dazu Hinweise.

Wärmepumpen

Kommt in der Tabelle in Kapitel 7 auch eine Wärmepumpe in Frage, dann empfiehlt die Agenda-Gruppe:

- Einsatz von **Erdreich-Wärmepumpen** (Sonden oder Horizontalregister), weil sie auf der Basis der zweijährigen Praxisuntersuchung von 33 Heiz-Wärmepumpen die höchste Energieeffizienz aufweisen. Sie ersparen der Umwelt im Mittel knapp 30% des schädlichen Treibhausgases CO₂ gegenüber Erdgas-Brennwertkesseln ein; bei den Spitzenwerten sind es sogar 50%. Auch unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Belange (Kapitel 7) erreichen Erdreich-Wärmepumpen das beste Preis-/ Klima-Verhältnis.

Zusätzlich spricht die Sommerkühlung, die mit nur sehr geringem Mehraufwand an Kosten und Stromverbrauch zu verwirklichen ist, für den Einsatz von Erdreich-Wärmepumpen.

- **Einsatz von Fußbodenheizungen**, weil sie gegenüber Heizkörpern das Jahresergebnis um bis zu 0,4-Arbeitszahlpunkte verbessern. Das entspricht einer Stromeinsparung von bis zu 20%.
- **Kein Einsatz von Heizungspufferspeichern** bei Fußbodenheizungen, wenn hydraulisch möglich, weil die das Jahresergebnis um 0,1-0,2 Arbeitszahlpunkte verschlechtern; außerdem sparen die Bauleute die Kosten für einen solchen Speicher ein. Bei sechs von 33 untersuchten Wärmepumpen ist kein Heizungspufferspeicher vorhanden; zwei davon erreichen die höchsten Erzeuger-Jahresarbeitszahlen von 4,3 und 4,4.
- **Kein Einsatz** von separaten, kleinen **Warmwasser-Wärmepumpen** oder gar von Elektro-Standspeichern. Erstere erreichen nämlich auch unter günstigen Voraussetzungen (hoher Warmwasserverbrauch und Abluftnutzung) nur die nicht ausreichende Jahresarbeitszahl von 2,4. Und der Elektro-Standspeicher kommt nur auf 0,7.
Die Heiz-Wärmepumpe sollte die Brauchwassererwärmung mit übernehmen, so wie das bei konventionellen Kesseln auch üblich ist. Das erspart dem Betreiber außerdem mehr als 2000 Euro für eine Warmwasser-Wärmepumpe; gegen rechnen muss er freilich einen Brauchwasserspeicher, der aber z.B. für eine Sonnenkollektoranlage sowieso notwendig ist.
- **Kein Einsatz und keine Förderung von Luft-Wärmepumpen**, weil keine der 12 untersuchten Heiz-Wärmepumpen die notwendige System-Jahresarbeitszahl von 3,1 erreicht. Diese Empfehlung gilt auch für Luft-Wärmepumpen in Verbindung mit einer Wohnraumlüftung oder Abluftnutzung, wenn der Wärmebedarf des Hauses nicht sehr niedrig ist (Sonderfall 1) und kein Erdkollektor zum Einsatz kommt (Sonderfall 3).

10. Ausblick

Optimierung der Wärmepumpensysteme

Wärmepumpen sind keine Technik, bei der die Güte der Wärmepumpen allein entscheidend ist für die Energieeffizienz des gesamten Systems. Genau so wichtig sind die Rahmenbedingungen, z. B. eine möglichst hohe Temperatur der Kaltquelle (Grundwasser und Erdreich) oder eine möglichst niedrige Temperatur der Wärmesenke (Fußbodenheizung) und die **optimale Anbindung dieser peripheren Komponenten an die Wärmepumpe**. Die Ergebnisse der Teststands-Messungen und die Hochrechnungen der Stiftung Warentest auf Jahresarbeitszahlen mit Hilfe der VDI 4650 /Lit. 15/ sind deshalb nicht aussagekräftig genug. Dazu zwei Beispiele:

- Ein Hersteller war im „Feldtest Elektro-Wärmepumpen“ bei der Grobanalyse in Kapitel 5.2 mit drei Luft-Wärmepumpen vertreten und deckte das gesamte Spektrum von „schlecht“ über „mittel“ bis „relativ gut“ ab. Da kann man doch nicht sagen, dass der Hersteller und dessen Wärmepumpentyp schlecht oder gut ist, sondern es haben bei der Mehrzahl der Luft-Wärmepumpen die Rahmenbedingungen nicht gestimmt oder es wurden Fehler gemacht.
- Ein Hersteller schnitt bei der Stiftung Warentest /Lit. 15/ nur mit einem „befriedigend“ ab, in der zweijährigen Praxisuntersuchung der Agenda-Gruppe erreichte er aber gleich mit zwei Erdsonden-Wärmepumpen die Spitzenplätze.

Es sind deshalb noch weitere, bundesweite Schulungen von Planern und Handwerkern erforderlich, die auch die Ergebnisse aus der Praxis berücksichtigen. Mehr als bisher müssen sie zusammen mit den Herstellern das Gesamtsystem „Kaltquellen – Wärmepumpen – Wärmesenke“ betrachten und es optimieren. Diese Maßnahme würde einer Reihe von Wärmepumpen erst einen deutlichen Umweltvorteil verschaffen. Nur mit **fachgerecht geplanten und gebauten Anlagen** werden Elektro-Wärmepumpen mit fossil-basierten Heizwärmesystemen konkurrieren können.

Verbesserung der Technik

Die Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ beruhen auf dem Stand heutiger Wärmepumpentechnik. Wie zuvor erwähnt lassen sich aber bei der Planung und Systemoptimierung noch relativ schnell Schätze heben. Schwieriger ist das bei der Technik. Da geht es nur langsam voran. SCHAUMLÖFFEL /Lit. 16/ ist jedoch optimistisch und sieht Verbesserungspotentiale bei elektronisch gesteuerten Expansionsventilen, Lüftern und Pumpen, bei Wärmetauschern und drehzahlgeregelten Verdichtern. Ob sie auch in der Praxis die Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen nennenswert erhöhen werden, untersucht die Lokale Agenda 21 - Gruppe Energie Lahr zur Zeit an den folgenden Objekten:

- Luft-Wärmepumpe mit den zuvor genannten innovativen Komponenten
- Erdreich-Wärmepumpe: CO₂-Erdsonde (Verzicht auf sog. Solepumpe/Umwälzpumpe)
- Groß-Wärmepumpen für Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser und ein Stadtteilzentrum.

Diesen möglichen technischen Verbesserungen werden zukünftig aber auch Nachteile entgegen stehen. Der zunehmende Dämmstandard von Gebäuden, der natürlich zu begrüßen ist, verringert nämlich die Nennleistung von Wärmepumpen weiter. Daraus ergeben sich die folgenden beiden Konsequenzen:

1. Geringere Wärmepumpenleistungen bedingen auch niedrigere Jahresarbeitszahlen wie die Sonderfälle 3 und 4 gezeigt haben (Skalierungseffekt).
2. Der Anteil der Brauchwassererwärmung (Nutztemperatur z.B. 50°C) am gesamten Wärmebedarf des Hauses wird immer größer. Bei Fußbodenheizungen (max. Vorlauftemperatur z.B. 35°C) verschlechtert das die Jahresarbeitszahl von Heiz-Wärmepumpen mehr als bisher. Das lässt sich aber mit einer Sonnenkollektoranlage vermeiden.

Hinweis:

Dieser Schlussbericht steht als PDF-Datei zum Herunterladen im Internet zur Verfügung
unter der Adresse

www.agenda-energie-lahr.de

gez. Dr. Falk Auer (Projektleiter) und Herbert Schote

Schlussbericht vom 1. Dezember 2008

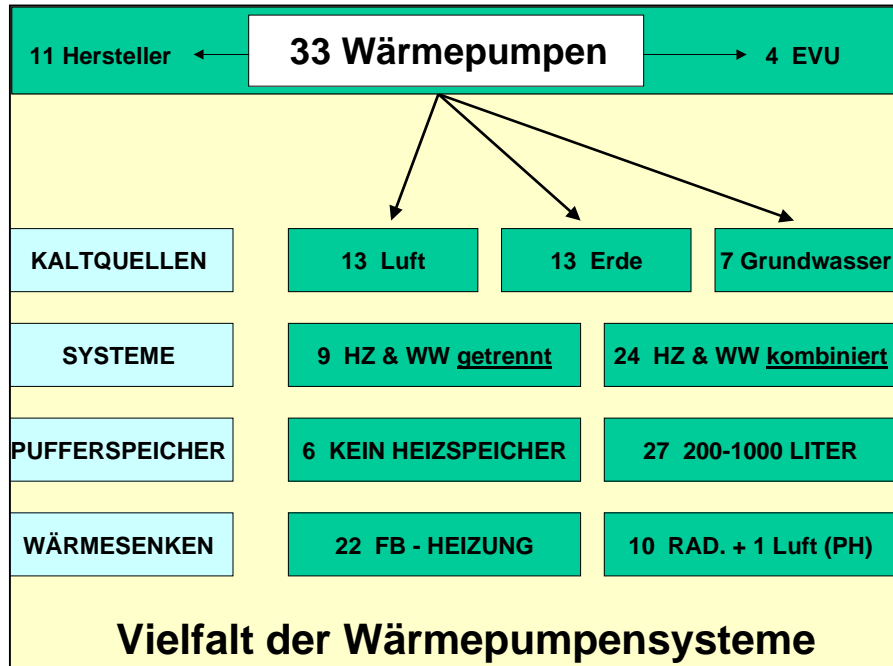
Letzte Aktualisierung 26. Januar 2009

11. Anhänge

11.1 Übersicht Wärmepumpenanlagen

Lokale Agenda Umwelt und Energie												Lahr, im Dezember 2008, Dr. Falk Auer und Herbert Schöte									
Feldtest Elektrowärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern												Legende:									
Oktober 2006 - September 2008												KO	HolzZ	HolzZentral							
												SO	SpO	Specksteinofen							
												KamO	HO	Holzofen							
												nicht v.									
												HK	F	Fußbodenheizung							
Getrennte Aufbereitung für Heizung und Warmwasser																					
Objektbeschreibung												Verbrauch		Erzeugte thermische Energie		Verbrauch		Arbeitszahlen			Bemerkungen
Ident.-Nr.	beheizte Wohnfl.	Wärmeverteilung	Therm. Leistung	Heizungsspeichervolumen	Warmwasserspeichervolumen	Elektr. Energie	Elektr. Energie	Heizung	Warmwasser	Heizung	Warmwasser	Erzeuger JahresArbeitsZahl	Erzeuger JahresArbeitsZahl	System JahresArbeitsZahl	Bemerkungen						
		Fußboden HeizKörper	Wärmepumpe	(L)	(L)	Hochtarif	Niedertarif	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(EJAZ)	(EJAZ)	(SJAZ)							
	(m²)		(kW)			(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(m³/Jahr)	(m³/Jahr)	07/07+08	07/07+08	07/07+08							
Luft/Wasser-Anlagen																					
112	120	HK	15	200	300	361	12402	25283	2714	105	7	2,5/2,5	1,2/1,4	2,3/2,3	KO						
115	260	F	14	700	300	338	12913	36019	2070	69	8	3,3/3,2	1,5/1,4	3,0/3,0							
126	180	F/HK	14	200	300	299	8261	16570	4094	46	11	2,6/2,5	2,5/2,6	2,6/2,5							
111	120	F	12	200	300	58	7612	12162	2622	51	7	3,0/3,1	0,7/0,8	2,0/2,1							
127	161	F	7	200	300	172	11391	15578	2070	48	8	2,1/2,2	0,6/0,6	1,5/1,7	SO						
118	nicht v.	HK	14	700	100	201	11353	17253	1799	nicht v.	10	1,4/1,9	1,0/1,0	1,4/1,7							
120	150	F	14	200	300	276	17256	31604	3680	115	11	2,8/2,8	0,7/0,7	2,1/2,2	SO						
Wasser/Wasser-Anlagen																					
310	200	F	10	100	300	197	9687	29110	4278	73	9	4,2/4,2	2,1/2,2	3,7/3,8							
Erde/Wasser-Anlagen																					
211	180	F/H	10	700	300	306	10292	23191	4278	70	10	3,0/3,0	2,2/2,2	2,9/2,8	SO						
Kombinierte Aufbereitung für Heizung und Warmwasser																					
Objektbeschreibung												Verbrauch		Erzeugte thermische Energie		Verbrauch		Arbeitszahlen			Bemerkungen
Ident.-Nr.	beheizte Wohnfl.	Wärmeverteilung	Therm. Leistung	Heizungsspeichervolumen	Warmwasserspeichervolumen	Elektr. Energie	Elektr. Energie	Heizung	Warmwasser	Heizung	Warmwasser	Erzeuger JahresArbeitsZahl	Erzeuger JahresArbeitsZahl	System JahresArbeitsZahl	Bemerkungen						
		Fußboden HeizKörper	Wärmepumpe	(L)	(L)	Hochtarif	Niedertarif	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(EJAZ)	(EJAZ)	(SJAZ)							
	(m²)		(kW)			(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(m³/Jahr)	(m³/Jahr)	07/07+08	07/07+08	07/07+08							
Luft/Wasser-Anlagen																					
128	210	F/HK	12	700	400	74	9334	26703	2208	80	15	2,9/3,0		1,7/2,3							
113	70	HK	7	1000	integriert	0	5586	12250	integriert	nicht v.	nicht v.	2,2/2,2		nicht v.	HolzZ						
117	110	HK	12	900	integriert	5036	9456	37142	integriert	nicht v.	nicht v.	2,6/2,6		nicht v.	HolzZ						
119	220	HK/F	15	700	360	3769	5508	63236	5704	157	10	2,8/2,8		2,7/2,7							
129S	160	F	9	0	300	18	7643	12915	1334	46	8	n.V.		2,9/2,4							
Wasser/Wasser-Anlagen																					
320	300	F	13	200	300	8280	8838	44619	nicht v.	78	nicht v.	2,4/2,5		nicht v.							
316	210	HK	7	200	300	0	3502	7798	nicht v.	19	nicht v.	3,4/3,5		nicht v.							
312	148	F	nicht v.	0	300	0	7734	13777	nicht v.	49	nicht v.	1,9/2,0		nicht v.	KamO						
315	200	F	14	200	400	177	17115	60704	nicht v.	158	nicht v.	3,3/3,7		nicht v.	KamO						
314	157	F/HK	12	700	300	255	9682	20631	5934	69	16	3,1/3,2		2,8/2,9							
318	nicht v.	F	14	600	300	2323	8403	32277	nicht v.	nicht v.	nicht v.	3,1/3,1		nicht v.	KamO						
Erde/Wasser-Anlagen																					
221	250	F	14	0	400	7050	3453	44732	5382	89	8	4,5/4,3		4,2/4,0	KamO						
222	180	F	7	800	integriert	4988	2870	27027	4600	75	10	3,4/3,4		3,4/3,4	SO						
213	205	F	14	200	400	61	8394	24271	5198	59	9	3,1/3,1		2,4/2,4							
214	167	F	8	800	integriert	80	7929	18314	integriert	55	nicht v.	3,1/3,1		nicht v.							
218	130	HK	16	700	300	162	12166	31613	4968	127	14	2,9/3,1		2,1/2,2	SpO						
210	330	F/HK	17	0	350	95	12510	36625	3266	55	9	3,0/3,3		2,8/3,2	KO						
217	nicht v.	HK	2x11	850	integriert	191	12712	34758	integriert	nicht v.	nicht v.	3,7/3,6		nicht v.	HolzZ						
219	206	F	10	200	400	141	13951	15573	nicht v.	38	nicht v.	3,4/3,2		nicht v.							
223	260	F	13	700	360	284	14773	21209	4600	41	13	3,8/3,7		nicht v.							
212	280	F/HK	22	2100	400	23204	11762	112283	n.V.	201	nicht v.	3,3/3,2		nicht v.							
215	180	F	16	0	300	391	10644	17511	2806	49	8	1,9/2,0		nicht v.	HolzO						
224	171	F	5	0	250	1949	862	7449	n.V.	22	nicht v.	4,5/4,4		nicht v.							

11.2 Vielfalt der Wärmepumpensysteme und Beurteilungstabelle für die Betreiber



Lokale Agenda 21 - Gruppe Energie Lahr
Feldtest Elektrowärmepumpen
 Lahr, im Dezember 2008, Dr. Falk Auer und Herbert Schote

Oktober 2006 - September 2008

Luft-Anlagen			Grundwasser-Anlagen			Erde-Anlagen		
Durchschnittliche JAZ 2,6			Durchschnittliche JAZ 3,2			Durchschnittliche JAZ 3,3		
Wärmepumpen-Nummer	Jahresarbeitszahl (JAZ)		Wärmepumpen-Nummer	Jahresarbeitszahl (JAZ)		Wärmepumpen-Nummer	Jahresarbeitszahl (JAZ)	
111	3,1	grün	310	4,2	grün	211	3,0	gelb
112	2,5	rot	312	2,0	rot	210	3,3	grün
115	3,2	grün	314	3,2	grün	213	3,1	grün
118	1,9	rot	315	3,7	grün	214	3,1	grün
120	2,8	gelb	316	3,5	grün	217	3,6	grün
126	2,5	rot	318	3,1	grün	218	3,1	grün
127	2,2	rot	320	2,5	rot	219	3,2	grün
113	2,2	rot				221	4,3	grün
117	2,6	gelb				222	3,4	grün
119	2,8	gelb				212	3,2	grün
128	3,0	gelb				215	2,0	rot
129	2,4	rot				223	3,7	grün
						224	4,4	grün

Legende:

JAZ = Jahresarbeitszahl (Erzeuger-arbeitszahl)
 Bei **kombinierten** Systemen: JAZ für Heizung und Warmwasser
 Bei **getrennten** Systemen: JAZ für Heizung

JAZ grün = Die Wärmepumpe leistet einen Beitrag zum Klimaschutz
JAZ gelb = Die Wärmepumpe leistet einen geringen Beitrag zum Klimaschutz
JAZ rot = Die Wärmepumpe leistet keinen Beitrag zum Klimaschutz

Hinweis: Bei den angegebenen Jahresarbeitszahlen handelt es sich um die günstigere **Erzeuger-**Jahresarbeitszahl EJAZ. Berücksichtigt man noch die Verluste des Heizungspufferspeichers, des Brauchwasserspeichers und bei Luft-Wärmepumpen die Abtauenergie des Lamellenverdampfers, dann erhält man die maßgebliche **System-**Jahresarbeitszahl SJAZ.

Bei den Luft-Wärmepumpen bedeutet das, dass sich die EJAZ mit 3,2 und 3,1 in den grün hinterlegten Feldern auf **3,0** bzw. 2,1 (wegen des Elektro-Standspeichers für die Brauchwassererwärmung) erniedrigen. Somit trägt auch die **beste Luft-Wärmepumpe unter den 12 untersuchten nicht zum Klimaschutz bei**. Die Grobanalyse in Kapitel 5.2 sah auch keine Verbesserungsmöglichkeit.

11.3 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung in Kapitel 7 der Ortenauer Energieagentur

Die Berechnung der kapitalgebundenen Kosten erfolgt mit der Annuitätsmethode: Betrachtung der Investitionen über die Lebensdauer der Wärmeerzeugungsanlagen und Abdiskontierung auf das erste Jahr. Zusammen mit den Betriebskosten, bestehend aus den Brennstoffen und der Wartung, ergeben sich dann die jährlichen Gesamtkosten. Nach Division durch den jährlichen Wärmebedarf erhält man dann die spezifischen Nutzenergiekosten in Cent pro kWh-thermisch.

Bei den Wärmepumpen ist die angenommene Lebensdauer noch erwähnenswert. Bei der **Luft-Wärmepumpe** ist sie mit 20 Jahren **eher optimistisch** (VDI 2067) und bei der **Erdreich-Wärmepumpe** mit 29 Jahren **eher pessimistisch** angesetzt. Die Gründe:

- Luft-Wärmepumpe: Nach nur 4-6 Jahren Laufzeit gab es schon bei einem Drittel Probleme; darüber hinaus mussten bereits vier Verdichter ausgetauscht werden (siehe Kapitel 5.4). Zum Vergleich: Beim Kühlschrank, der Wärmepumpe mit umgekehrtem Nutzen, rechnet man trotz des einfacheren Aufbaus nur mit einer Einsatzzeit von 12 Jahren. In der Praxis dürfte also eher mit einer gewichteten Lebensdauer (Wärmepumpe/Verdichter) von unter 20 Jahren zu rechnen sein. Verdichterausfälle schlagen bei Luft-Wärmepumpen stärker finanziell zu Buche als bei einer Erdreich-Wärmepumpe.
- Erdreich-Wärmepumpe: Deren gewichtete Lebensdauer (Erdsonde und Wärmepumpe/Verdichter) hängt stark von der erwarteten Standzeit und Funktion der Erdsonde oder des Erdregisters ab. Bei den Materialien handelt es sich oft um einen PE-Kunststoff, eingeschlemmt mit Bentonit, mit einer erwarteten Lebensdauer von 40 – 100 Jahren. Das Universitäts-Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung in Stuttgart (IER) gibt 50 Jahre für eine Brunnenanlage an /Lit. 16/. Eine Erdsonde müsste eigentlich auf eine vergleichbare Standzeit kommen. Trotzdem nehmen die Agenda-Gruppe und die Ortenauer Energieagentur für die Wirtschaftlichkeitsanalyse vorsichtig nur 40 Jahre an. Daraus ergibt sich eine gewichtete Lebensdauer des Erdsonden-Wärmepumpensystems von 29 Jahren. In der Praxis dürfte dieser Wert eher höher liegen.

Die Zinssätze beruhen auf den Förderrichtlinien der KfW Bankengruppe. Die aktuellen Werte stehen unter www.kfw.de. Die Zuschüsse, die der Staat im Rahmen des Marktanzreizprogramms gewährt, sind unter www.bafa.de zu finden. Obwohl bei Luft-Wärmepumpen wegen der fehlenden Energieeffizienz eine Förderung in Höhe von 1500 Euro eigentlich nicht zulässig wäre, ist sie bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung doch berücksichtigt worden – weil von Herstellern und vom Staat so gewollt.

Die Investitions- und Betriebskosten beruhen auf Befragungen, Erfahrungswerten und Schätzungen der Ortenauer Energieagentur im Ortenaukreis (Mittlerer Schwarzwald). Und die gemittelten Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen und des Erdgas-Brennwertkessels stammen aus der vorliegenden Praxisuntersuchung in Kapitel 5.1. bzw. von WOLFF /Lit. 12/.

Die Agenda-Gruppe unterscheidet im Folgenden zwei Fallbeispiele:

1. Einfamilienhaus: „**Sanierter Altbau mit Heizkörpern**“
mit einem Wärmebedarf von 70 kWh/(m² Jahr);
er liegt in der oberen Bandbreite eines Niedrigenergiehauses
2. Fallbeispiel Einfamilienhaus: „**Neubau mit Fußbodenheizung**“
mit einem Wärmebedarf von 45 kWh/(m² Jahr);
er liegt in der unteren Bandbreite eines Niedrigenergiehauses (etwa KfW60-Haus).

11.3.1 Fallbeispiel Einfamilienhaus: „Sanierter Altbau mit Heizkörpern“

Heizkostenvergleich Sanierter Altbau		Stand 30.11.2008						
(Rechenschema in Anlehnung an Dr. Eitrop, IER Universität Stuttgart)								
Sanierter Einfamilienhaus-Altbau; 70 kWh/m²a, Heizwärmebedarf								
(Erneuerung der Heizanlage, bisher Zentralheizung mit Heizöl-Kessel)								
Nutzfläche	150,0 m ²							
Wärmebedarf Heizung	70,0 kWh/m ² a							
Wärmebedarf Warmwasser	12,5 kWh/m ² a							
Wärmebedarf gesamt	82,5 kWh/m ² a							
Jahreswärmebedarf (Heizung und Warmwasser)	12.375 kWh/a							
Anlagendaten		Pellets	WP Erdwärme-Sonde	WP Umgebungsluft	Erdgas Brennwert	Erdgas Brennwert + Solar	Heizöl Brennwert	Heizöl Brennwert +Solar
- Leistungsbedarf (bei 1.600 h/a Vollbenutzungsstunden)		8 kW	8 kW	8 kW	8 kW	8 kW	8 kW	8 kW
- Anlagenwirkungsgrad		92%			102%	102%	101%	101%
- System-Jahresnutzungsgrad		85%			91%	93%	90%	92%
- System-Jahresarbeitszahl (Mittelwerte WP-Feldtest LA 21- Gr. Energie, Lahr)			3,0	2,2				
- Deckungsanteil "Solar" an Heiz- und Brauchwasserwärmebedarf						10%		10%
Jahresbrennstoffbedarf / Strombedarf bei Wärmepumpen		14,6 MWh	4,1 MWh	5,6 MWh	13,6 MWh	12,0 MWh	13,8 MWh	12,1 MWh
Investitionen (Euro inkl. MwSt.) ohne Kosten für Heizraum								
- Kessel		11.500			3.100	3.100	6.000	6.000
- Wärmepumpe (inkl. Zubehör, Anschlüsse und Warmwasserbereitg.)			10.300	11.500				
- Wärmequelle (Sonden bzw. Luftkanäle, Zubehör)			9.800	1.900				
- Solarkollektoranlage 6 m ² (inkl. Zubehör)						4.000		4.000
- Brauchwasserspeicher / Pufferspeicher		2.100	2.800	2.800	1.000	1.500	1.000	1.500
- Lagerung / Austragung / Tank / Gasanschluss		2.700			2.250	2.250	250	250
- Schornstein / Abgasleitung		1.600			1.000	1.000	1.200	1.200
- Gas- / Elektroinstallation		600	600	600	500	500	500	500
- Entsorgungskosten Heizöltank		650	650	650	650	650		
Summe		19.150	24.150	17.450	8.500	13.000	8.950	13.450
Förderung Marktneuzugprogramm (Basisförderung + Kesselaustauschbonus)		-2.500	-3.000	-1.500		-785		-785
Summe Investition (Euro inkl. MwSt.)		16.650	21.150	15.950	8.500	12.215	8.950	12.665
Kapitalgebundene Kosten								
Nutzungsdauer (Kessel, Wärmepumpe und Zubehör): Erdsonde 40 Jahre		20 Jahre	29 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre
kalkulatorischer Zinssatz		4,0%	4,0%	4,0%	5,0%	4,0%	5,0%	4,0%
Summe kapitalgebundene Kosten pro Jahr (inkl. MwSt.)		1.225	1.245	1.174	682	899	718	932
Betriebsgebundene Kosten (Euro inkl. MwSt.)								
- Instandsetzung (Ersatz, Reparatur) 1% d. Investition pro Jahr		192	242	175	85	130	90	135
- Wartung (Pflege, Reinigung, Betriebsstoffersatz) pro Jahr		310	70	50	130	130	170	170
- Schornsteinfeger pro Jahr		120			60	60	60	60
- Versicherung / Überwachung pro Jahr							70	70
- Hilfsenergie (1,5 bis 2,5% vom Jahreswärmebedarf) pro Jahr		62			37	50	37	50
Summe betriebsgebundene Kosten pro Jahr (Euro inkl. MwSt.)		683	312	225	312	370	427	484
Verbrauchsgebundene Kosten								
Grundpreis Strom Euro pro Jahr			55	55				
Grundpreis Erdgas Euro pro Jahr					145	145		
- Strom Haushalt Cent je kWh		20	20	20	20	20	20	20
- Strom, WP-Tarif Cent je kWh			14	14				
- Erdgas Cent je kWh					8	8		
- Heizöl Cent je kWh							9	9
- Pellets (200 Euro/t) Cent je kWh		4						
- Scheitholz, ofenfertig Cent je kWh								
- Flüssiggas Cent je kWh								
Summe verbrauchsgebundene Kosten pro Jahr (Euro inkl. MwSt.)		582	633	843	1.233	1.103	1.238	1.090
Vergleich zu Erdgas-Brennwert-Kessel		47%	51%	68%	100%	89%	100%	88%
Gesamtkosten der Versorgung pro Jahr (Euro inkl. MwSt.)		2.491	2.189	2.241	2.227	2.372	2.382	2.505
davon MwSt.		398	350	358	356	379	380	400
spezifische Kosten (inkl. MwSt.) Cent je kWh		20,1	17,7	18,1	18,0	19,2	19,3	20,2
Vergleich zu Erdgas-Brennwert-Kessel		112%	98%	101%	100%	106%	107%	112%
Primärenergiefaktor		0,2	2,7	2,7	1,1	1,1	1,1	1,1
Primärenergie-Bedarf (Endenergiebedarf x Primärenergiefaktor)		2,91 MWh	11,14 MWh	15,19 MWh	14,96 MWh	13,17 MWh	15,13 MWh	13,32 MWh
spezifische CO ₂ -Emissionsfaktoren (g/kWh Endenergie) IWU 2006, Strom-Mix		42	800	800	249	249	303	303
spezifische CO ₂ -Emissionsfaktoren (g/kWh Endenergie) IWU 2006, Heizstrom-Mix		42	800	800	249	249	303	303
CO₂-Emissionen (t/a), Basis Strom-Mix		0,8	2,5	3,4	3,5	3,1	4,3	3,8
CO₂-Emissionen (t/a), Basis Heizstrom-Mix		0,8	3,3	4,5	3,5	3,1	4,3	3,8

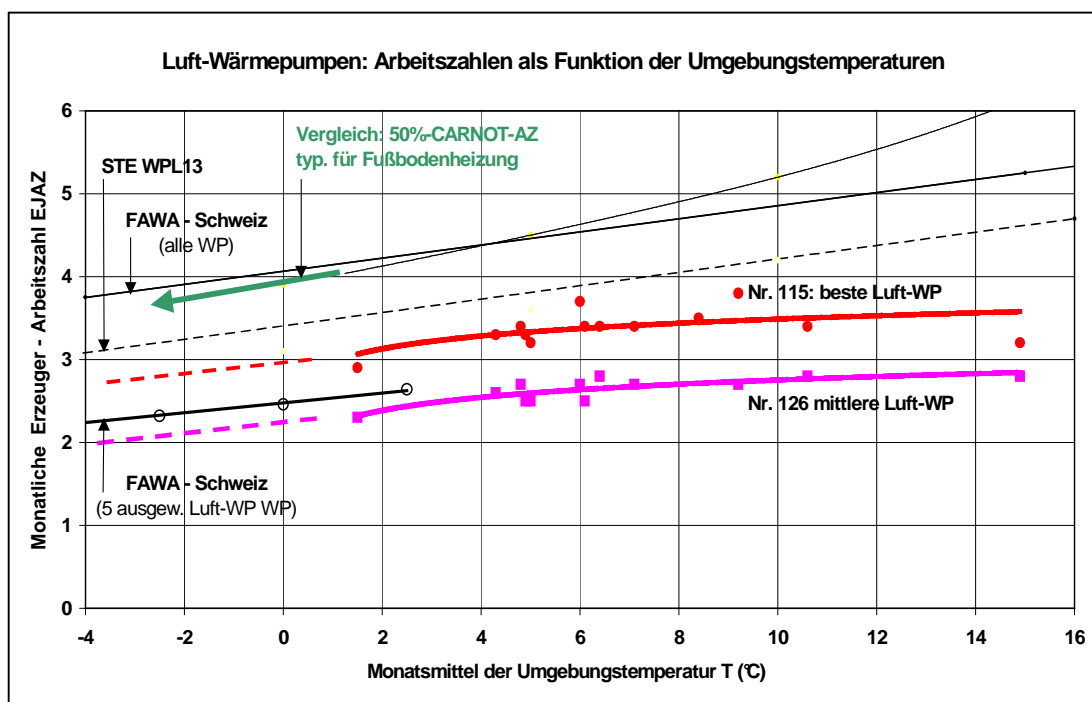
11.3.2 Fallbeispiel Einfamilienhaus: „Neubau mit Fußbodenheizung“

Heizkostenvergleich Neubau		Stand 30.11.2008						
(Rechenschema in Anlehnung an Dr. Eitrop, IER Universität Stuttgart)								
Einfamilienhaus-Neubau; 45 kWh/m ² a Heizwärmebedarf (KfW-Haus 60)								
Nutzfläche	150,0 m ²							
Wärmebedarf Heizung	45,0 kWh/m ² a							
Wärmebedarf Warmwasser	12,5 kWh/m ² a							
Wärmebedarf gesamt	57,5 kWh/m ² a							
Jahreswärmebedarf (Heizung und Warmwasser)	8.625 kWh/a							
Anlagendaten								
- Leistungsbedarf (bei 1.600 h/a Vollbenutzungsstunden)		5 kW	5 kW	5 kW	5 kW	5 kW	5 kW	5 kW
- Anlagenwirkungsgrad		92%			102%	102%	101%	101%
- System-Jahresnutzungsgrad		85%			91%	93%	90%	92%
- System-Jahresarbeitszahl (Mittelwerte WP-Feldtest LA 21- Gr. Energie, Jahr)			3,1	2,3				
- Deckungsanteil "Solar" an Heiz- und Brauchwasserwärmebedarf						20%		20%
Jahresbrennstoffbedarf / Strombedarf bei Wärmepumpen		10,1 MWh	2,8 MWh	3,8 MWh	9,5 MWh	7,4 MWh	9,6 MWh	7,5 MWh
Investitionen (Euro inkl. MwSt.) ohne Kosten für Heizraum								
- Kessel		9.500			3.100	3.100	5.500	5.500
- Wärmepumpe (inkl. Zubehör, Anschlüsse und Warmwasserbereitg.)			8.200	9.300				
- Wärmequelle (Bohrung, Sonde, Luftkanäle, Zubehör)			7.500	1.900				
- Solarkollektoranlage 6 m ² (inkl. Zubehör)						4.000		4.000
- Brauchwasserspeicher / Pufferspeicher		2.100	2.800	2.800	1.000	1.000	1.000	1.000
- Lagerung / Austragung / Tank / Gasanschluss		2.200			2.250	2.250	1.900	1.900
- Schornstein / Abgasleitung		2.100			1.500	1.500	1.600	1.600
- Gas- / Elektroinstallation		600	600	600	300	300	300	300
- hausinterne Verteilung (Heizkörper, bei Wärmepumpen Fußbodenhza.)		3.500	6.000	6.000	3.500	3.500	3.500	3.500
Summe		20.000	25.100	20.600	11.650	15.650	13.800	17.800
Förderung Marktanzreizprogramm (Basisförderung)		-2.500	-1.500	-750		-410		-410
Summe Investition (Euro inkl. MwSt.)		17.500	23.600	19.850	11.650	15.240	13.800	17.390
Kapitalgebundene Kosten								
Nutzungsdauer (Kessel, Wärmepumpe und Zubehör); Erdsonde 40 Jahre		20 Jahre	29 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre
kaulkulatorischer Zinssatz		5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Summe kapitalgebundene Kosten pro Jahr (Euro inkl. MwSt.)		1.404	1.559	1.593	935	1.223	1.107	1.395
Betriebsgebundene Kosten (Euro inkl. MwSt.)								
- Instandsetzung (Ersatz, Reparatur) 1% d. Investition	pro Jahr	200	251	206	117	157	138	178
- Wartung (Pflege, Reinigung, Betriebsstoffersatz)	pro Jahr	310	70	50	130	130	170	170
- Schornsteinfeger	pro Jahr	120			60	60	60	60
- Versicherung / Überwachung	pro Jahr						70	70
- Hilfsenergie (1,5 bis 2,5% vom Jahreswärmebedarf)	pro Jahr	43			26	35	26	35
Summe betriebsgebundene Kosten pro Jahr (Euro inkl. MwSt.)		673	321	256	332	381	464	513
Verbrauchsgebundene Kosten								
Grundpreis Strom	Euro pro Jahr		55	55				
Grundpreis Erdgas	Euro pro Jahr				145	145		
- Strom Haushalt	Cent je kWh	20	20	20	20	20	20	20
- Strom, WP-Tarif:	Cent je kWh		14	14				
- Erdgas	Cent je kWh				8	8		
- Heizöl	Cent je kWh						9	9
- Pellets (200 Euro/t)	Cent je kWh	4						
Summe verbrauchsgebundene Kosten pro Jahr (Euro inkl. MwSt.)		406	445	580	903	739	863	675
Vergleich zu Erdgas-Brennwert-Kessel		45%	49%	64%	100%	82%	95%	75%
Gesamtkosten der Versorgung pro Jahr (Euro inkl. MwSt.)		2.483	2.324	2.429	2.171	2.343	2.434	2.583
davon MwSt.		396	371	388	347	374	389	412
spezifische Kosten (inkl. MwSt.)	Cent je kWh	28,8	26,9	28,2	25,2	27,2	28,2	30,0
Vergleich zu Erdgas-Brennwert-Kessel		114%	107%	112%	100%	108%	112%	119%
Primärenergiefaktor		0,2	2,7	2,7	1,1	1,1	1,1	1,1
Primärenergie-Bedarf (Endenergiebedarf x Primärenergiefaktor)		2,03 MWh	7,51 MWh	10,13 MWh	10,43 MWh	8,16 MWh	10,54 MWh	8,25 MWh
spezifische CO ₂ -Emissionsfaktoren (g/kWh Endenergie) IWU 2006, Strom-Mix		42	600	600	249	249	303	303
spezifische CO ₂ -Emissionsfaktoren (g/kWh Endenergie) IWU 2006, Heizstrom-Mix		42	800	800	249	249	303	303
CO₂-Emissionen (t/a), Basis Strom-Mix		0,6	1,7	2,3	2,4	2,0	3,0	2,4
CO₂-Emissionen (t/a), Basis Heizstrom-Mix		0,6	2,2	3,0	2,4	2,0	3,0	2,4

11.4 Ergänzung zu Kapitel 5.5: Umrechnung der Jahresarbeitszahlen von Luft-Wärmepumpen auf ein Normaljahr und andere deutsche Standorte

Die Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ stammen vom Oberrhein, der wärmsten Gegend Deutschlands. Das langjährige Mittel der Umgebungstemperatur liegt gegenüber Norddeutschland um etwa 2 °C und gegenüber Ostbayern sogar um 4 °C höher. Das Kapitel 5.5 soll deshalb die Frage beantworten, mit welchen Jahresarbeitszahlen die kritisch zu bewertenden Luft-Wärmepumpen in anderen Gebieten Deutschlands arbeiten werden.

Grundlage einer solchen Untersuchung ist die im nächsten Bild dargestellte Kennlinie, die die Abhängigkeit der monatlichen Arbeitszahlen von der Umgebungstemperatur darstellt.



Eingetragen sind in erster Linie die Arbeitszahlen von zwei Luft-Wärmepumpen, und zwar der Nr. 126 mit einer mittleren **Erzeuger**-Arbeitszahl über zwei Jahre in Höhe von 2,5 (lila) und der Nr. 115 mit 3,2 (rot); die maßgeblichen **System**-Arbeitszahlen betragen 2,5 (wegen Heizkörper) bzw. 3,0. Die Werte variieren nur geringfügig in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur. Die Gründe dazu lauten:

- Im oberen Temperaturbereich steigt die Arbeitszahl entgegen der Theorie nicht weiter an, weil die dann mögliche hohe Wärmeleistung den Verdichter und den Elektromotor zerstören würde. Deshalb begrenzt das Expansionsventil die Verdampfertemperatur.
- Im unteren Temperaturbereich verfügt die Agenda-Gruppe nur über wenige Monatsmittel. Das liegt daran, dass die zwei untersuchten Winterhalbjahre zu warm waren (siehe Kapitel 4.3). Trotzdem deuten die Messpunkte eine erwartete Verringerung der Arbeitszahlen zu niedrigen Umgebungstemperaturen an.

Um nun den unteren Temperaturbereich besser abzusichern, trug die Agenda-Gruppe mehrere Informationen zusammen:

- Ergebnisse der „Feldanalyse Wärmepumpenanlagen (FAWA)“ aus der Schweiz (Lit. 05 und 18) für alle Wärmepumpentypen und speziell für fünf Luft-Wärmepumpen (persönliche Mitteilung von Herrn Hubacher)

- Leistungsdaten einer Luft-Wärmepumpen aus einem Datenblatt der Firma Stiebel-Eltron
- 50% der theoretischen CARNOT-Leistungszahl (siehe Anhang 11.5) mit Temperaturen, die typisch für Fußbodenheizungen sind.

Das Ergebnis: Die Steigungen der Wärmepumpen-Kennlinien sind im unteren Umgebungstemperaturbereich erstaunlich gleich. Das ermutigt, die gemessenen Kurven der Wärmepumpennummern 115 und 126 zu extrapolieren und wie im Bild dargestellt gestrichelt einzuzeichnen.

Mit diesen Kennlinien ist dann eine Berechnung von **Erzeuger**-Jahresarbeitszahlen an anderen Standorten Deutschlands und in einem Normal-Temperaturjahr möglich (siehe Kapitel 5.5).

11.5 Definitionen

Definitionen für Effizienz von Wärmepumpen

Arbeitszahl AZ: **Wärme - AUSGANG / Strom - EINGANG**

Vergleichbar: Nutzungsgrad von Heizkesseln

Beispiel: 100 kWh-th. / 33 kWh-el. → AZ = 3 (typ. einschl. Hilfsantriebe)

Primärenergiefaktor PEF (KEA):

Strommix 2,7 kWh-Primärenergie / kWh-Endenergie

Anlagen-Aufwandszahl e_p : **PEF / AZ** Quelle: DIN 4701 - Blatt 10

CO₂-Relevanz: Primärenergie / Nutzenergie

Beispiel mit AZ = 3: 2,7 / 3 → $e_p = 0,9$

Ziele: **Arbeitszahl** **AZ >> 3**

Anlagen-Aufwandszahl **e_p << 1**

Definition CARNOTsche Leistungszahl

Die CARNOTsche Leistungszahl epsilon einer Wärmepumpe definiert den thermischen Nutzeffekt einer idealen Wärmekraftmaschine. Sie lautet:

$$\text{epsilon} = \text{Nutzen} / \text{Aufwand} = T_{\text{warm}} / (T_{\text{warm}} - T_{\text{kalt}})$$

mit T = absolute Temperatur (Kelvin) = Temperatur (°Celsius) +273 (°). Je niedriger die Temperaturdifferenz zwischen T_{warm} (Kondensationstemperatur, WP-Ausgang) und T_{kalt} (Verdampfungstemperatur, WP-Eingang), umso größer ist die Leistungszahl. Sie ist ein theoretischer Wert, der wegen irreversibler Prozesse nicht erreichbar ist. In der Praxis sind nur etwa 40-50 % (Gütegrad) der idealen CARNOTsche Leistungszahl möglich (siehe Anhang 11.4).

11.6 Literaturquellen

- /01/ St. KOHLER und B. Bonekamp (2008). „Der Wärmepumpen-Berater“ und „Planungs-Hilfe Wärmepumpen“.
Hrg. Deutsche Energie-Agentur (dena), Berlin, 54 Seiten
- /02/ K. SCHIEFELBEIN (2004). Die Abluft-Wärmepumpe – der „unbekannte“ Wärme-erzeuger. KI Luft- und Kältetechnik 7/2004, S. 1-8
- /03/ B. FROHN (2007). Technische Potentiale und Einsatzmöglichkeiten von Erdwärmepumpen.
Beitrag zukunft haus – Kongress „Strategien für Energieeffizienz“ der Deutschen Energieagentur Berlin) am 26.10.07, ein Monitoring-Programm im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums: www.solarbau.de
- /04/ M. EWERT (2005). Feldtest bestätigt hohe Effizienz von Wärmepumpen
Heizung-Klima-Lüftung, Bd. 56, Nr. 3, S. 24-30
- /05/ M. ERB, P. HUBACHER und M. EHRBAR (2004): Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen (FAWA), 1996-2003. Schlussber. i.A. Bundesanst. f. Energie (BFE), Bern, via /06/
- /06/ N. DIEFENBACH, T. LOGA und R. ROLF (2005). Wärmeversorgung von Niedrigenergiehäusern – Erfahrungen und Perspektiven.
Untersuchung des IWU (Inst. Wohnen & Umwelt) Darmstadt, i.A. Hess. Min. Wirtschaft
- /07/ H. KRUSE (2007). Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen in Theorie und Praxis
BMU-DLR-Workshop 12.07.2007 im Dt. Forsch.zentrum Luft- und Raumfahrt, Stuttgart
- /08/ GERTEC-Ingenieurgesellschaft, Essen (2001): Systemvergleiche Elektro-Wärmepumpen und andere Heizsysteme für Niedrig-Energie-Wohngebäude - Phasen 1 - 3; Felduntersuchung i.A. Hess. Wirtschaftsministeriums und VDEW (Verb. Dt. Elektrizitätswirtschaft)
Bezug: Hessisches Wirtschaftsministerium in Wiesbaden und Internet (*.pdf-Dateien)
- /09/ Faltblatt "Energiespartage Mittelbaden" und Bericht in "Unsere Region" des E-Werkes Mittelbaden, Lahr (Schwarzwald), 2005
- /10/ S. HESSLINGER, M. KUHN, E. WIEBER u.a. (2006, 9. Auflage). „Energie sparen durch Wärmepumpenanlagen" für Planer und Handwerker, Broschüre i.A. des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Ref. 44.
Bezug: Wirtschaftsministerium BaWü, Theodor-Heuss-Str. 4, 70174 Stuttgart
- /11/ Handbuch "Wärmepumpen-Systeme - Planung und Installation" für Planer und Handwerker der Firma STIEBEL-ELTRON, 2006, S. 15 und 16 (Tabellen), 158 Seiten
- /12/ D. WOLFF (2004): Felduntersuchung "Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln". Abschlussbericht Fachhochschule Braunschweig Wolfenbüttel, i.A. der DBU (Dt. Bundesstiftung Umwelt), via /6/
- /13/ J. BRUGMANN (2008). VDI 4650 (Stand 2008); Erweiterte Berechnungsgrundlage der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen.
Vortrag 6. Wärmepumpenforum, November 2008, Berlin.

- /14/ P. LAMERS und M. NAST (2008). Noch spielt jeder sein eigenes Spiel: ThERRA-Projekt empfiehlt EU-weit Standards für Wärme aus erneuerbaren Energien. Erneuerbare Energien, Mai 2008, S. 79
- /15/ Stiftung Warentest, Testbericht „Wärmepumpen“, Heft 6, 8. Juni 2007
Von zehn untersuchten Wärmepumpen schnitten vier mit „gut“ und der Rest mit „befriedigend“ ab.
- /16/ M. SCHAUMLÖFFEL (2008). Effizienz von Luft-Wasser-Wärmepumpen – Einflussfaktoren auf die Jahresarbeitszahl realer Anlagen. Symposium Wärmepumpen-Effizienz und Feldtest-Erfahrungen, IEGB und Wirtschaftsministerium Baden Württemberg, 5.06.08 in Karlsruhe.
- /17/ J. LAMBAUER, M. OHL, M. BLESL, U. FAHL und A. VOß (2008). Groß-Wärmepumpen in der Industrie. Vortrag Wärmepumpen-Symposium am 12.06.08 in Stuttgart.
- /18/ P. HUBACHER (2008). Felduntersuchungen an Klein-Wärmepumpen in der Schweiz. Symp. „Wärmepumpen-Effizienz und Feldtest-Erfahrungen“ am 5.06.08 in Karlsruhe
- /19/ J. SCHUBERTH und H. KASCHENZ (2008). Elektrische Wärmepumpen – eine erneuerbare Energie? Wie ist die Umweltbilanz elektrischer Wärmepumpen im Vergleich zu anderen Heizsystemen?
Positionspapier des Umweltbundesamtes Dessau, Rationelle Energienutzung, 22 Seiten.
PDF-Datei unter www.uba.de > Energie > Elektrische Wärmepumpe

11.7 Nachweis der Öffentlichkeitsarbeit für die beiden Förderer der Messtechnik badenova und E-Werk Mittelbaden

11.7.1 Fach-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/September, 2007, Seite 6-7
- AUER, Falk (2007): Was bringen Wärmepumpen in der Realität? IKZ-Energy, Strobel Verlag, Heft 1/September, 2007, Seiten 30-31
- AUER, Falk (2007): Vergleich der Lokalen Agenda – Arbeitszahlen mit anderen „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ IKZ-Haustechnik, Strobel Verlag, Heft 22/November, 2007, Seite 74
- AUER, Falk und SCHOTE, Herbert (2008): Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei - Jahresergebnisse einer Felduntersuchung. IKZ-Haustechnik, Strobel Verlag, Heft 8 (April) 2008, Seiten 40-44.

11.7.2 Vorträge des Projektleiters des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ und des Kooperationspartners Ortenauer Energieagentur über die Ergebnisse der Praxisuntersuchung

DATUM	ORT	GASTGEBER	THEMA und ANLASS
14.06.2007	Bremen	Bremer Energie-Konsens: Klimaschutzagentur des Landes Bremen	Fachveranstaltung „Wärmepumpen: CO ₂ -Schleudern oder ein Beitrag zum Klimaschutz?“
12.07.2007	Stuttgart	DLR Deutsches Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt, Stuttgart	„Leistung von Wärmepumpen in der Praxis“: Workshop anlässlich der Anhörung zur Förderung von WP im Maktanreizprogramms i.A. des Bundesumweltministeriums
22.09.2007	Lahr (Schwarzwald)	E-Werk Mittelbaden (Lahr)	„Energieeffizienz von Wärmepumpen unter realistischen Betriebsbedingungen“: 1. Energieeffizienztag des Landes Ba-Wü
25.10.2007	Offenburg	Innung Sanitär- und Heizungstechnik Achern – Offenburg - Wolfach	„Ergebnisse des Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ anlässlich der SHK-Jahreshauptversammlung
30.10.2007	Holzminden (Weser)	BDH Bundesindustrieverband Deutschland Hautechnik, Energie und Umwelt	Präsentation der Praxisergebnisse von Wärmepumpen am Oberrhein u.a. mit dem Technischen Leiter des Arbeitskreises „Wärmepumpen“
08.11.2007	Bremen	Bremer Energie-Konsens: Klimaschutzagentur des Landes Bremen	Fachveranstaltung über die Jahresergebnisse der Felduntersuchung über Wärmepumpen
15.01.2008	Stuttgart	Arbeitsgruppe „Wärmepumpen“ im AK „Innovative Energienutzung in Gebäuden und Betrieben“ in Baden-Württemberg	„Feldtest Elektro-Wärmepumpen: Untersuchungsaufbau, Ergebnisse und Schlussfolgerungen und Empfehlungen“
17.01.2008	Lahr (Schwarzwald)	Haus und Grundbesitzerverein Lahr	„Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei: Welche Wärmepumpe arbeitet energieeffizient?“
22.01.2008	Freiburg	ISE Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme	Präsentation der Praxisergebnisse von Wärmepumpen am Oberrhein
13.02.2008	Freiburg	Badenova Freiburg	„Wärmepumpen – Ein Beitrag zum Klimaschutz?“ anlässlich des SHK-Innungsforum 2008
14.02.2008	Trier	Solarverein Trier und Stadtwerke Trier	„Energieeffizienter Einsatz von Wärmepumpen: Ergebnisse eines Feldtest am Oberrhein“
15.02.2008	Freiburg	Handwerkskammer Freiburg und Messe GET Gebäude-Energie-Technik	Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“ anlässlich des 3. Energieberaterforums Südbaden
17.02.2008	Freiburg	Messe GET Gebäude-Energie-Technik und Solarpromotion	„Wärmepumpen: Heiße Luft oder umweltfreundliche Wärme aus der Erde?“
06.03.2008	Bingen	TSB Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung Bingen/ Fachhochschule	„Klimaschutz durch Wärmepumpen? Ergebnisse einer Felduntersuchung“ anlässlich des „Wärmepumpentages Rheinland-Pfalz“

DATUM	ORT	GASTGEBER	THEMA und ANLASS
06.03.2008	Mannheim	Handwerkskammer Mannheim und IHK Rhein-Neckar	„Feldtest Elektro-Wärmepumpe: Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei“ anlässlich der Reihe „Energieeffizienz in der Praxis“ des Regierungspräsidiums Stuttgart
12.03.2008	Friesenheim (Baden)	Volkshochschule	„Wärmepumpen: Ein Beitrag zum Klimaschutz?“
29.03.2008	Lahr (Schwarzwald)	Bauberatungszentrum	„Wärmepumpen: Praxisergebnisse“ anlässlich der Bauherrentage 2008
10.04.2008	Lahr (Schwarzwald)	Badenova Freiburg	„Elektro-Wärmepumpe – ein Beitrag zum Klimaschutz?“ anlässl. SHK-Installateurversammlung
15.04.2008	Schopfheim (Südbaden)	Energieagentur Dreiländereck-Hochrhein	„Elektro-Wärmepumpen am Oberrhein im Feldtest“
06.05.2008	Oberndorf (Neckar)	Badenova (Freiburg)	„Elektro-Wärmepumpe – ein Beitrag zum Klimaschutz?“ anlässl. SHK-Installateurversammlung
14.05.2008	Freiburg	Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE)	Präsentation der Ergebnisse LA21-Feldtest anlässl. ISE-Workshop mit 7 Herstellern beim ISE-Feldtest
05.06.2008	Fürth bei Nürnberg	Solid (Solar-, Info- und Demonstrationszentrum)	Workshop über Solartechnik und Wärmepumpen
07.06.2008	Freiburg	ECOtrivina (Freiburg)	Samstagsforum Universität: Nicht jede WP trägt zum Klimaschutz bei.
26.06.2008	Gengenbach Kinzigtal (Schw)	Stadtwerke Gengenbach	„Sinnvoller Einsatz von Wärmepumpen“ für Handwerkern
10.07.2008	Luxemburg	Centre de Recherche Public Henri Tudor (CRTE-Energy)	Trainingskurs „Bauen & Energie“, Modul „Wärmepumpen“ für Architekten und Ingenieure
23.09.2008	Sinsheim	Badenova Freiburg (R. Zimpfer)	Energiespartage: „Wärmepumpe – nicht immer die richtige Wahl“
15.10.2008	Lahr (Schwarzwald)	Badenova Freiburg	Energiespartage: „Wärmepumpen – nicht immer die richtige Wahl“
21.10.2008	Alpirsbach (Schwarzwald)	Umweltministerium Baden-Württemberg	Langzeittest von Wärmepumpen: Ergebnisse
24.10.2008	Ludwigsburg	Solarinitiative Ludwigsburg	Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei
04.11. 2008	Freiburg	Berufsförderwerk Südbad. Bauwirtschaft	Wärmepumpen-Effizienz
13.11.2008	Heidelberg	Klimaschutz- und Energieberatungsagentur (KliBA)	Fachseminar Handwerk: Wärmepumpen: CO ₂ -Schleudern oder ein Beitrag zum Klimaschutz?
18.11.2008	Offenburg	Badenova Offenburg	Architektenabend: Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei – Ergebnisse Feldtest
27.11.2008	Biberach (Riss)	Fachhochschule/ Bauakademie Biberach/Riss (R. Zimpfer)	5. Biberacher Geothermietag: 2-jähr. Feldtest Elektro-WP am Oberrhein: Ökolog. und ökonom. Bilanz und praktische Empfehlungen

27.11.2008	Münster (Westfalen)	Umweltforum Münster	Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei – Auswertung eines Feldtests
28.11.2008	Bremen	Bremer Energie-Konsens: Klimaschutzagentur des Landes Bremen	Fachveranstaltung „Wärmepumpensysteme – energetisch und finanziell ein Erfolgsmodell?“

11.7.3 Berichte *anderer* über die Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“

- BADISCHE ZEITUNG 2006 - 2008:
Mehrere Beiträge und Interviews über den Beginn, die Durchführung und die ersten Ergebnisse des „Feldtests Elektro-Wärmepumpen“
- KUNDENMAGAZINE der Energieversorger BADENOVA und E-WERK MITTELBADEN 2006 – 2008: Mehrere Beiträge wie zuvor und ein Interview mit dem Projektleiter
- VDI-NACHRICHTEN / Wochenblatt des Vereins der Ingenieure 19.10.2007:
„Energie aus Kaltquellen: Wärmepumpen müssen im Feldtest ihre Effizienz beweisen.“
- TAZ – DIE TAGESZEITUNG 05.12.07:
„Wärmepumpen: Ineffizient, aber öko per Gesetz“
- UMWELT – KOMMUNALE ÖKOLOGISCHE BRIEFE 12.12.2007, Nr. 25-26/07
„Wärmepumpen: Kein Beitrag zum Klimaschutz“
- SOLARREGION / Zeitschrift für erneuerbare Energien Südbaden 1/2008, Seite 18
„Wärmepumpen leisten selten einen Beitrag zum Klimaschutz“
- HAUS + ENERGIE / Wohnen Heizen Sparen Jan/Feb 2008, Seiten 62-69
„Wärmepumpen – zunehmend ökologisch“
- BADISCHE ZEITUNG 04.02.2008
„Wärmepumpen: Keine echten Klimaschützer“
- FINANCIAL TIMES Deutschland 19.02.2008
„Energie: Schlechte Noten für Wärmepumpen“
- ENERGIEDEPESCHE / Fachzeitschr. Bund der Energieverbraucher (BEE) März 2008:
„Erdreich-Wärmepumpen zahlen sich aus“, Seiten 28 und 29
- OFFENBURGER TAGEBLATT (Mittelbadische Presse)/ Bauen und Wohnen 13.03.2008:
Elektro-Wärmepumpen im Feldtest
- IKZ-HAUSTECHNIK Heft 7/ April 2008, Seite 94: Bericht „Wärmepumpen müssen effizient arbeiten“, u.a. über die Ergebnisse des Feldtests Elektro-Wärmepumpen im Rahmen der Berichterstattung über den 3. Wärmepumpentag Rheinland-Pfalz in Bingen
- FOCUS Nr. 16/2008, Seite 77: Hinweis auf Ergebnisse des Feldtests Elektro-Wärmepumpen in Thema Energie: Kein Geld mehr verheizen, Seiten 72-85

- CAPITAL Immobilien, Sonderheft 2008, Seite 270-273: Bericht über die Ergebnisse des Feldtests Elektro-Wärmepumpen im Rahmen einer Berichterstattung über Energiesparen, Seiten 268-273
- HAUS & GRUND SÜDDEUTSCHE WOHNWIRTSCHAFT, Mai 2008, Seite 281: „Enormes Interesse an Wärmepumpen“
- HEIZUNGSJOURNAL – Special Nr. 6/2008, Seiten 90-93
„Luft tut sich mit Jahresarbeitszahl 3,0 sehr schwer - Feldtest Elektro-Wärmepumpen: Erdreich-Wärmepumpen mit positiver Ökobilanz“
- ENERGIE & MANAGEMENT, 15. Juni 2008, Seite 14:
„Wärmepumpen für den Klimaschutz?“ von Dieter Seifried
- FEE HEIZUNGSJOURNAL-SPECIAL, Nr. 6, 2008, Seiten 90 – 93
„Luft tut sich mit Jahresarbeitszahl 3,0 sehr schwer“ von Bernd Genath
- BUND-Jahrbuch 2009 „Ökologisch Bauen & Renovieren“, Seiten 156 –158
„Lasst endlich Fakten sprechen!“ von Stefan Kriz

11.8. Danksagungen

Abschließend danken die Autoren des Schlussberichtes, Dr. Falk Auer und Herbert Schote,

- 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
- den Ingenieurbüros NES-Messtechnik und NES-Consult für die detaillierte Vermessung der Kompakt - Luft/Luft-Wärmepumpe mit Hilfe eines Datenaufnehmers in einem Passivhaus
- Herrn Zimpfer von der Ortenauer Energieagentur und Herrn Schmidt vom SHK-Handwerk für die gute Kooperation während der gesamten Laufzeit des Projektes, der Unterstützung beim Interessensausgleich und für viele, hilfreiche Diskussionsbeiträge.
Insbesondere sei Herrn Zimpfer gedankt für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Kapitel 7 und im Anhang 11.3 auf der Basis einer EXCEL-Tabelle von Dr. Eltrup, Universitäts-Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung in Stuttgart (IER).
- Herrn Hubacher, der die „Feldanalyse Wärmepumpenanlagen“ in der Schweiz durchführte, und dem Projekt die Daten von Luft-Wärmepumpen in Kapitel 5.5 und im Anhang 11.4 zur Verfügung stellte
- Herrn Bonath für den parallelen Betrieb einer Temperatur-Messstation im Kinzigtal
- den Herren Pursche, HessenEnergie Wiesbaden, Schubert, Umweltbundesamt Dessau, und Kuttruf, Fachhochschule Offenburg, für die sorgfältige Durchsicht des Schlussberichtes, verbunden mit wertvollen Verbesserungsvorschlägen, und letztendlich auch
- den Mitgliedern des „Arbeitskreises Wärmepumpen“, die den „Feldtest Wärmepumpen“ in fünf Sitzungen über zwei Jahre fachlich begleiteten sowie der Stadt Lahr, vertreten durch den Umweltbeauftragten Herrn Kaiser, zugleich Leiter des Lokalen Agenda 21 – Büros, für die organisatorische Unterstützung des Projektes und die Bereitstellung eines Sitzungsraums.