

# NICHT JEDE WÄRME- PUMPE TRÄGT ZUM KLIMASCHUTZ BEI

## ERFASSUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON ELEKTRO-WÄRMEPUMPEN IN EINEM FELDTTEST UNTER REALISTISCHEN BETRIEBSBEDINGUNGEN AM OBERRHEIN

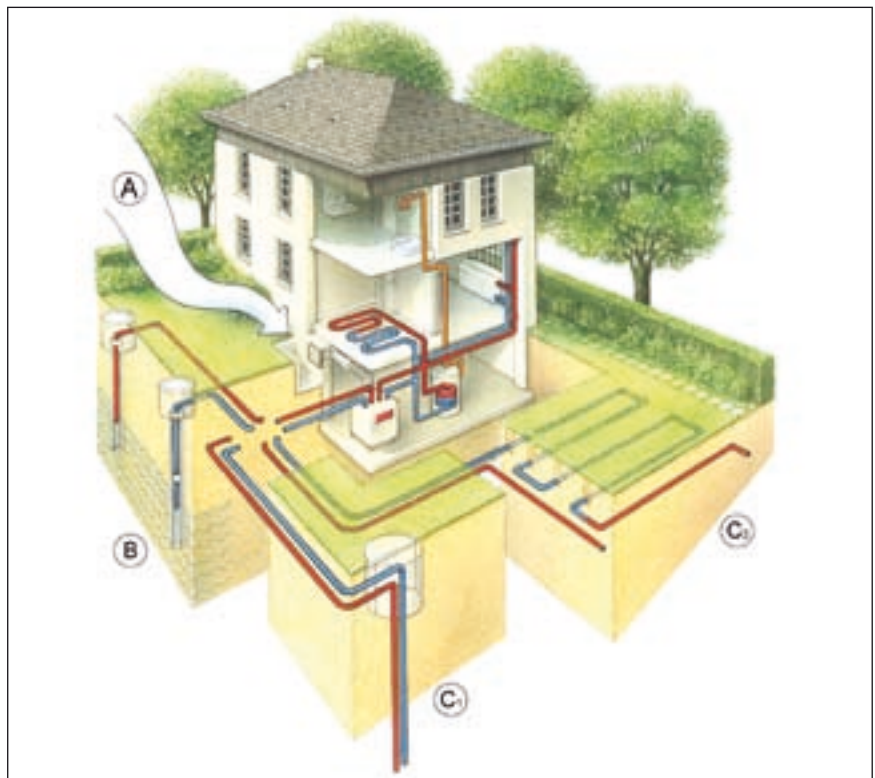
Eine zweijährige Untersuchung der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Umwelt/Energie Lahr und der Ortenauer Energieagentur Offenburg über die Ergebnisse der ersten Heizperiode 2006/07 gibt Aufschluss über Wärmepumpen.

### Einführung

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

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

Die Lokale Agenda 21 – Gruppe Umwelt/Energie Lahr führt deshalb in Zusammenarbeit mit der Ortenauer Energieagentur in Offenburg seit Oktober 2006 einen zweijährigen „Feldtest Elektro-



Alternative Wärmequellen: A Wärmequelle Luft, B Grundwasser, C<sub>1</sub> Erdreich (Sonde), C<sub>2</sub> Erdreich (Erdwärmetauscher)

Wärmepumpen“ durch. Die Messtechnik fördern zu gleichen Teilen die badenova (Freiburg/Breisgau) und das E-Werk Mittelbaden (Lahr/Schwarzwald). Ein Arbeitskreis begleitet die Untersuchungen. Er setzt sich zusammen aus Vertretern der Elektro- und Heizungs-Innungen, der beiden Energieversorgungsunternehmen, der Hochschule Offenburg, des Steinbeis-Transferzentrums, des Agenda-Büros Lahr und der Ortenauer Energieagentur.

### Ziele

Ziel des zweijährigen „Feldtest Elektro-Wärmepumpen“ ist die Ermittlung des Standes neuerer Technik, der Jahresarbeitszahl und der Wirtschaftlichkeit unter realistischen Betriebsbedingungen.

Die Voraussetzungen dazu sind am Oberrhein recht gut: Hier misst der Wetterdienst die höchsten Umgebungstemperaturen Deutschlands, das begünstigt die Luft-Wärmepumpen. Aber auch die hohe Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers in den mächtigen Kiesschichten des Rheintals wirken sich vorteilhaft auf die Erdreich- und Grundwasser-Wärmepumpen aus. Wenn ein Wärmepumpensystem nicht hier effizient arbeitet, wo dann sonst?

Darüber hinaus sind die folgenden Fragen noch nicht hinreichend geklärt:

- Welche der drei Kaltquellen Luft, Erdreich und Grundwasser ist die effizienteste?
- Heizung und Warmwasser getrennt oder kombiniert?

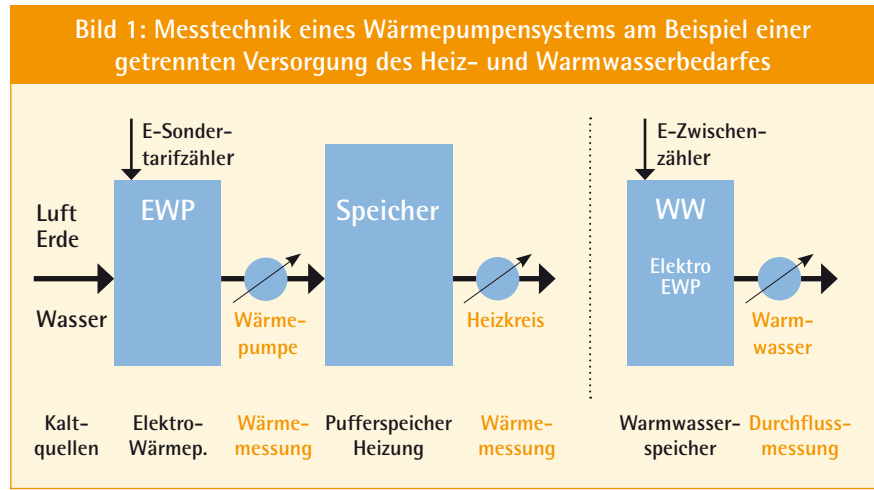
- Ist ein Heizungs-Pufferspeicher nötig und beeinflusst er die Arbeitszahl?
- Sind Radiatoren vertretbar oder ist eine Fußbodenheizung erforderlich?

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

### Systemvielfalt und Effizienz

Die Lokale Agenda 21 – Gruppe Umwelt/Energie Lahr ermittelte am Oberrhein zwischen Freiburg und Baden-Baden 33 Heiz-Wärmepumpenanlagen und 4 Warmwasser-Wärmepumpen. Die Wärmepumpen stellen die Vielfalt der vorhandenen Systeme dar: Es sind die Kaltquellen Luft (13), Erdreich (13) und Grundwasser (7) in repräsentativer Auswahl vertreten, die Wärmepumpen stammen von 11 Herstellern. 24 Anlagen verfügen über eine integrierte und 9 über eine getrennte Warmwasserversorgung, 6 arbeiten ohne einen Heizungspufferspeicher und 22 von 33 mit einer Fußbodenheizung.

Zur Beurteilung der Effizienz von Wärmepumpen ist die Arbeitszahl AZ die wichtigste Kenngröße. Sie ist definiert als das Verhältnis von erzeugter Wärme am Ausgang der Wärmepumpe (Nutzwärme) zur notwendigen elektrischen Energie (Strom) am Eingang. Dieses Verhältnis muss mindestens 3 betragen, damit Elektro-Wärmepumpen überhaupt nennenswert zum Klimaschutz beitragen können und um die erheblichen Mehrkosten gegenüber einem Brennkessel in Höhe



von 6.000 bis 14.000 Euro zu rechtfertigen. Ein Beispiel dazu: Wenn die Werbung von einer Arbeitszahl AZ = 4 spricht, dann meint sie, dass 25% Strom erforderlich ist, um zusammen mit 75% Umweltwärme (Luft, Erde oder Wasser) 100% Nutzwärme zu erzeugen. Eine so hohe Arbeitszahl erreichen unter realistischen Betriebsbedingungen aber nur wenige Erdsonden-Wärmepumpen.

### Durchführung der Messungen

Die Energieversorgungsunternehmen bieten Elektro-Wärmepumpenbetreibern Sondertarife mit einem Rabatt von bis zu 50 % auf den Haushaltstarif an (Quersubvention). Dafür müssen sie an Wochentagen mit einer Stromunterbrechung bei den Wärmepumpen von maximal dreimal pro Tag zu je 1,5–2 Stunden rechnen. Die 22 Fußbodenheizungen berührt das eigentlich nicht, ihre Wärmespeicherkapazität ist ausreichend groß, um die Räume kontinuierlich mit Wärme zu versorgen. Trotzdem

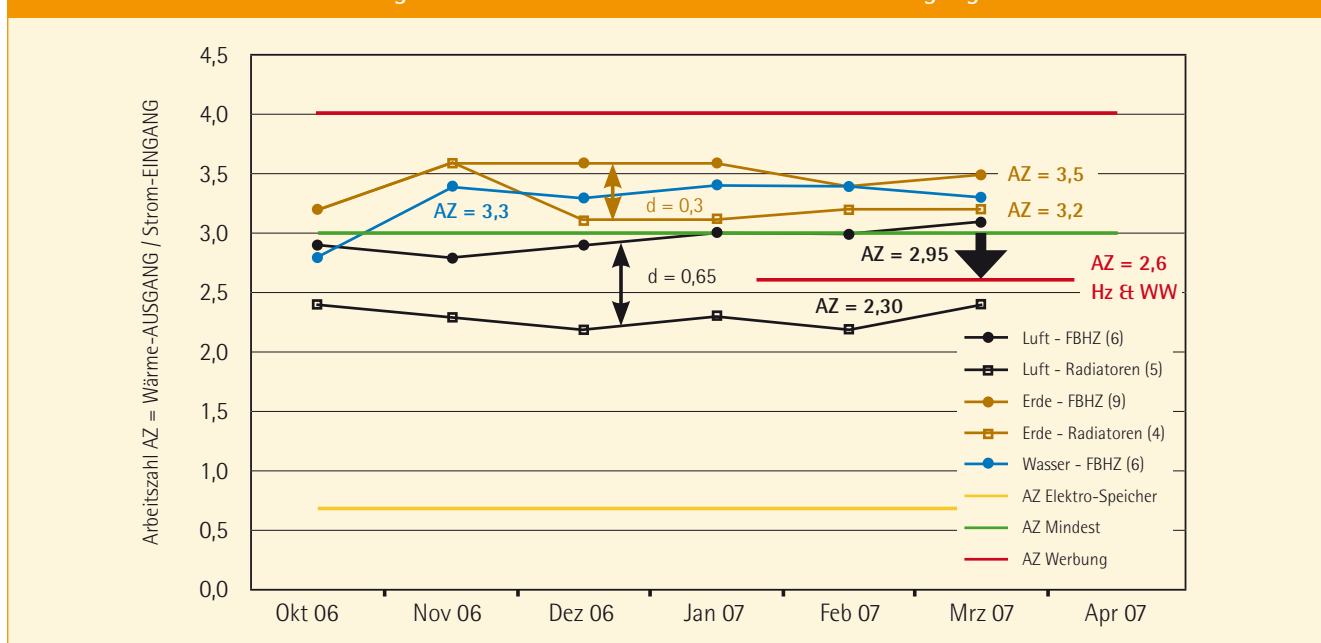
kommen im Feldtest bei insgesamt 80% der Wärmepumpenanlagen Heizungspufferspeicher zwischen 200 und 1.000 Litern zum Einsatz – wohl aus Gründen der Sicherheit und der einfacheren hydraulischen Anbindung an den Heizkreis.

Im Einvernehmen mit dem Arbeitskreis erfasst die Agenda-Gruppe nur die folgenden wärmepumpenspezifischen elektrischen Verbraucher:

- Wärmepumpe einschließlich Steuerung/Regelung
- Lüfter (Luft), Sole- (Erdreich) bzw. Förder- (Grundwasser) – Pumpe
- Ladepumpe Warmwasserspeicher und 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 Verbrau-

**Bild 2: Monatliche Arbeitszahlen (Mittel) von Elektro-Heiz-Wärmepumpen mit getrennter und kombinierter Warmwasserversorgung**



cher müssen mit Hilfe von Zwischenzählern herausgerechnet werden, weil sie nicht zur Wärmepumpe gehören.

Eine schematische Darstellung der Messtechnik am Beispiel einer Wärmepumpe mit getrennter Heizwärme- und Warmwasserversorgung zeigt Bild 1. Die Betreiber lesen die Wärme- und Elektrozähler monatlich ab.

Neben den 33 Heiz-Wärmepumpen werden auch noch 4 Luft-Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserversorgung vermessen. Sie stehen im Keller, wo sie oft Vorratsräume abkühlen sollen (hoffentlich nicht in einem Heizungsraum: Wärmekurzschluss!). Ob dieses Ziel erreicht werden kann, steht im Feldtest nicht zur Debatte. Die geringe Kompressorleistung, die Verlustwärme des integrierten Warmwasserspeichers und die fehlende Dämmung der Kellerräume sprechen dagegen. Es interessiert vielmehr, ob die vier zu untersuchenden Klein-Wärmepumpen Primärenergie und damit Kohlendioxid einsparen können oder ob eine Sonnenkollektoranlage eventuell eine effizientere Investition darstellt.

## Ergebnisse

### Heiz-Wärmepumpen

Das Bild 2 zeigt die ersten Ergebnisse der Heizperiode 2006/07. Aufgetragen ist die entscheidende Größe für die Effizienz von Wärmepumpen, nämlich die monatliche Arbeitszahl AZ. Die Graphik unterscheidet unterschiedliche Kaltquellen (Luft, Erde und Grundwasser) und Wärmesenken (Fußboden- und Radiatorheizungen).

Die beiden schwarzen Kurven stellen die gemittelten Arbeitszahlen der **Luft-Wärmepumpen** dar, und zwar für Fußbodenheizungen (Kreise: Mittel AZ = 2,95, max. 35 °C) und Radiatorheizungen (Quadrate: Mittel AZ = 2,30, max. 55 °C). Die Zahlen in den Klammern der Legende informieren über die Anzahl der gemittelten Wärmepumpen. Der Unterschied zwischen den Nieder- und Mitteltemperaturheizkreisen beträgt  $d = 0,65$  AZ-Punkte, d.h.: Radiatoren brauchen wegen des höheren Temperaturniveaus 28% mehr Strom. Nur drei Luft-Wärmepumpen von dreizehn erreichen eine Arbeitszahl von über AZ = 3, und zwar mit 3,1, 3,2 und 3,4.

Die braunen Kurven zeigen den Verlauf der gemittelten Arbeitszahlen für die **Erdreich-Wärmepumpen**. Elf verfügen über vertikale Erdsonden und zwei über horizontale Erdregister. Die Arbeitszahlen liegen mit AZ = 3,54 (Fußbodenheizung) und AZ = 3,24 (Radiatoren) deutlich über der Mindest-Arbeitszahl von AZ = 3. Der Unterschied zwischen beiden Wärmeüberträgern beträgt hier nur  $d = 0,3$  AZ-Punkte, d.h.: ein Wärmepumpenbetreiber muss für eine Radiatorheizung nur 10% mehr Strom bezahlen im Vergleich zu einem mit einer Fußbodenheizung; Erdreich-Wärmepumpen sind also wesentlich toleranter gegenüber Radiatoren als Luft-Wärmepumpen.

Die blaue Kurve zeigt schließlich die gemittelten Arbeitszahlen für die **Grundwasser-Wärmepumpen** mit Fußbodenheizungen. Entgegen den Erwartungen vieler schneiden die Grundwasser-Wär-

mepumpen mit einer mittleren Arbeitszahl von AZ = 3,36 etwas schlechter ab als Erdreich-Wärmepumpen. Die Gründe dafür sind nicht-optimaler Betrieb auf der Kaltwasserseite (variable Druckverhältnisse und Volumenströme sowie Möglichkeit der Verschlämmung) und eine etwa doppelt so hohe Anschlussleistung der Förderpumpe.

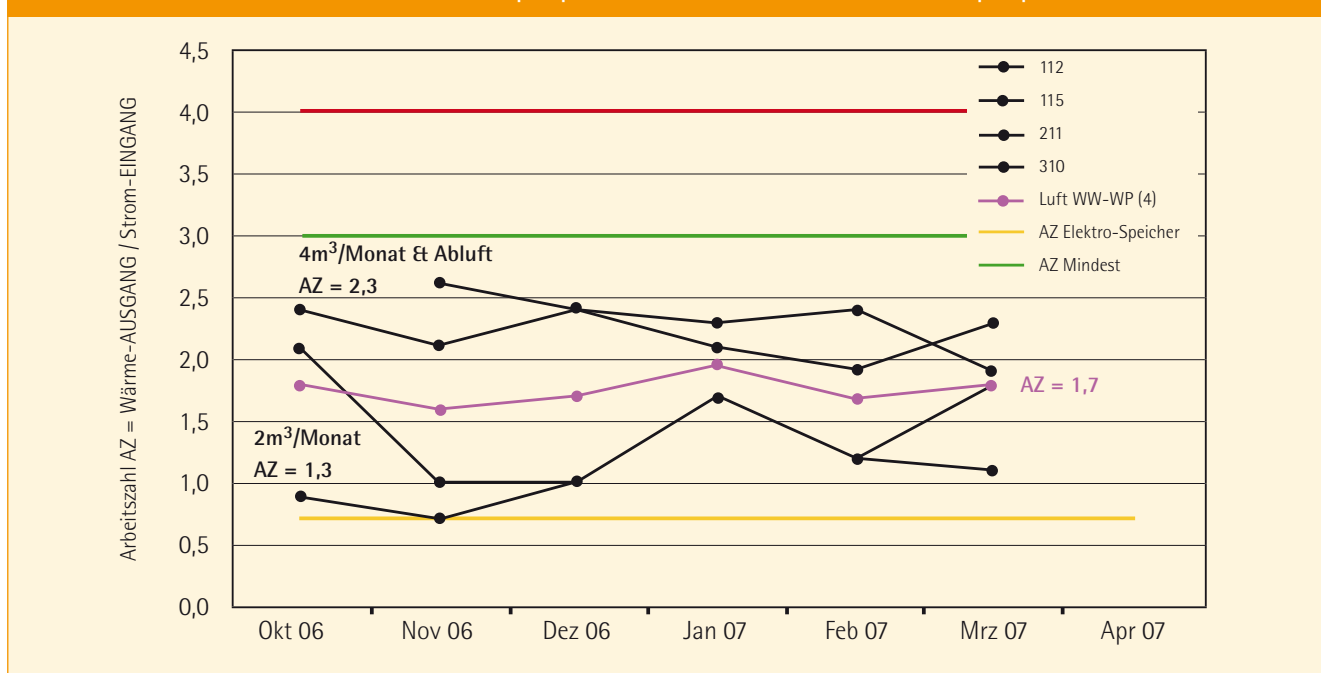
Die drei horizontalen Linien dienen schließlich zur Orientierung und zum Vergleich. Elektro-Standspeicher haben eine Arbeitszahl von 0,7 (gelb: Mittel aus 4 vermessenen Speichern), die grüne Linie stellt die Mindest-Arbeitszahl AZ = 3 dar und die rote Linie mit AZ = 4 und mehr verspricht uns die Werbung.

Alle Arbeitszahlen beziehen sich auf den Heizanteil des Wärmepumpensystems im Winter 2006/07. Berücksichtigt man schon die ersten paar Sommermonate des Jahres 2007 und bezieht – wie später erforderlich – auch die Warmwassererzeugung in die Auswertung ein, dann verschlechtert das die Arbeitszahlen bei Fußbodenheizungen wegen der höheren Warmwassertemperatur. In Bild 2 ist das am Beispiel des Wärmepumpensystems „Luft-Fußbodenheizung“ rot eingezeichnet.

### Warmwasser-Wärmepumpen

Bild 3 zeigt schließlich die monatlichen Arbeitszahlen von vier Klein-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung (schwarze Kurven). Es lassen sich zwei relativ gut arbeitende Wärmepumpen mit AZ = 1,9–2,6 erkennen, und zwar oberhalb der lila-farbenen Mittelwertkurve, und zwei schlechte darunter mit

Bild 3: Monatliche Arbeitszahlen von Warmwasser-Wärmepumpen; lila: Mittel von 4 Wärmepumpen, schwarz: Einzel-Warmwasser-Wärmepumpen



AZ = 0,7–2,1. Die Gründe für die beiden besser abschneidenden Wärmepumpen dürften im höheren Warmwasserverbrauch (4 m<sup>3</sup>/Monat statt 2 m<sup>3</sup>/Monat) und in der Nutzung der wärmeren Abluft aus Küche und Bad liegen.

Alle Klein-Warmwasser-Wärmepumpen erreichen aber bei weitem nicht das Klimaschutzziel mit einer Arbeitszahl von über AZ = 3. Dieser Wärmepumpentyp sollte deshalb nicht mehr zum Einsatz kommen. Die Lokale Agenda 21 – Gruppe Umwelt/Energie Lahr empfiehlt deshalb für die Warmwasserbereitung aus ökologischen Gründen eine Sonnenkollektoranlage.

### Zusammenfassung

Die Zwischenergebnisse der ersten Heizsaison 2006/07 zeigen deutlich, dass es erhebliche Unterschiede gibt zwischen den Ergebnissen von Leistungszahlen auf den Testständen und Werbeaussagen auf der einen Seite und den Arbeitszahlen unter realistischen Betriebsbedingungen auf der anderen Seite. Hersteller messen nämlich die Leistungszahlen auf den Testständen unter sehr günstigen Rahmenbedingungen, die in der Praxis nicht einzuhalten sind. Es sind jedoch noch zu berücksichtigen:

- Der Systemgedanke: Optimale Abstimmung von Wärmequellen, Wärmepumpen und Wärmesenken
- Instationäre Betriebsweise: Teillasten und Takten
- Nicht-optimale Wasserdurchsätze auf der Kaltseite
- Höhere Nutzwerttemperaturen für das Warmwasser (wenn Fußbodenheizung kombiniert mit Warmwasserversorgung)
- Strom für Sole-, Förder- und ev. Ladepumpen, Strom für Lüfter und Notheizstäbe
- Heizungspufferspeicher 200–1000 l; er erniedrigt die Arbeitszahl um 0,1–0,2 Punkte
- Hydraulischer Abgleich des Heizkreises: obwohl vorgeschrieben nur selten durchgeführt
- Fehlende oder mangelhafte Wartung und Einstellungen am Bedienpult.

Diese Punkte verringern die Leistungszahlen der Teststände unter realistischen Betriebsbedingungen beachtlich. Das war und ist in Fachkreisen zwar bekannt, der potentielle Wärmepumpenkunde erfährt davon aber nur selten.

Auf der **Kaltquellenseite** sind die Erdreich-Wärmepumpen der Spitzenreiter. Sie erreichen in Verbindung mit einer Fußbodenheizung im Mittel eine Arbeitszahl von AZ = 3,5–3,6. Davon übertreffen 3 von 33 Wärmepumpen sogar die Werbeaussagen von AZ = 4.

Für manche etwas enttäuschend schneiden die Grundwasser-Wärmepumpen ab. Beim Betrieb mit einer Fußbodenheizung erreichen sie im Mittel nur AZ = 3,4.

Das Schlusslicht bilden die Luft-Wärmepumpen. Bei einer Fußbodenheizung beträgt die Arbeitszahl bei reinem Heizbetrieb im Mittel AZ = 2,95. Deutlich abgeschlagen sind die kleinen Warmwasser-Wärmepumpen. Der Mittelwert beträgt nur AZ = 1,7 mit einer Bandbreite von AZ = 1,3–2,3.

Auf der **Wärmesenkenseite** ist die Fußbodenheizung der Favorit. Die Arbeitszahlen liegen beim reinen Heizbetrieb gegenüber einer Radiatorheizung im Mittel um 0,3 (Erdreich-WP) bzw. 0,65 (Luft-WP) Arbeitszahlpunkte höher. Natürlich lässt sich eine Wärmepumpe auch mit Radiatoren betreiben (typischer Fall: Altbauanierung). Die Hersteller, Handwerker und Elektrizitätswerke müssen aber den potentiellen Betreibern klar sagen, dass sie dann 10% (Erdreich-WP) bzw. 28% (Luft-WP) mehr Strom verbrauchen. Das kann dann aber schon die entscheidende Strommenge sein, die das Wärmepumpensystem unter eine Arbeitszahl von AZ = 3 rutschen lässt.

### Empfehlungen

Es ist sicherlich Konsens unter allen Energiefachleuten, dass zukünftig nur solche Techniken zum Einsatz kommen dürfen, die Primärenergie und damit das schädliche Treibhausgas Kohlendioxid einsparen. Wer dem zustimmt, muss auch die Schlussfolgerung ziehen, nämlich die, dass **Luft-Wärmepumpen**, und zwar sowohl die Heizungs- als auch erst recht die Warmwasser-Wärmepumpen, weder zu bewerben und zu empfehlen, noch finanziell zu fördern sind, weil sie die Anforderungen an den Klimaschutz nicht erfüllen.

Diese klare Aussage lässt sich heute schon machen, weil

- die Effizienzmessungen am Oberrhein stattfinden, der wärmsten Gegend Deutschlands. In der übrigen Bundesrepublik dürfte wegen der kälteren Witterung mit niedrigeren Arbeitszahlen zu rechnen sein. Außerdem ist dort ein erhöhter elektrischer Energiebedarf für das Auftauen des Lamellenverdampfers notwendig, und an den häufiger auftretenden Frosttagen benötigt der Not-Heizstab auch mehr Strom.
- die erste Heizperiode des „Feldtests Elektro-Wärmepumpe“ die wärmste seit Aufzeichnung der Wetterdaten war. Die Umgebungstemperatur lag von Oktober 2006 bis März 2007 im Mittel um knapp 3 °C über dem

30-jährigen Mittel in Lahr (Schwarzwald); im Januar 2007 lag sie sogar um fast 5 °C höher. Wenn also in diesem sehr milden Winter die meisten Luft-Wärmepumpen nicht zum Klimaschutz beigetragen haben, dann tun sie das in einem Normal-Winter erst recht nicht.

Auch die erfolgreichen Bemühungen, den sog. Primärenergiefaktor in der Energieeinsparverordnung von 3 auf 2,7 herunter zu setzen, beeinflussen nicht die Feststellung fehlender Effizienz von Luft-Wärmepumpen, weil bei der noch bevorstehenden Gesamtbetrachtung des Wärmepumpensystems „Heizung + Warmwasser“ sich die Arbeitszahlen ebenfalls erniedrigen werden (siehe roten Eintrag in Bild 2).

**Luft-Wärmepumpen** sind aber immer ein Gewinn für die Umwelt, wenn der Strom zu deren Antrieb aus der Kraft-Wärme-Kopplung (z. B. Blockheizkraftwerke) oder erneuerbaren Energien stammt. Das ist aber noch lange nicht der Fall.

Die Elektrizitätswerke sind deshalb schon heute aufgefordert, den derzeitigen Strommix zu überdenken und den hohen Kohleanteil mit Hilfe weiterer Effizienzsteigerungen und erneuerbarer Energien zu verringern. Und die Hersteller sind aufgefordert, mehr als bisher das Gesamtsystem Kaltquellen – Wärmepumpen – Wärmesenken zu betrachten und zusammen mit dem Handwerk zu optimieren. Denn nur mit einer **nachhaltigen Stromversorgung** und einem **fachgerecht eingebauten System** werden Elektro-Wärmepumpen, bezogen auf den Klimaschutz, mit fossil-basierten Heizsystemen konkurrieren können.

Weitere Informationen unter [www.agenda-energie-lahr.de](http://www.agenda-energie-lahr.de)

### ZU DEN AUTOREN:

► **Falk Auer** ist promovierter Dipl.-Geophysiker und seit 1979 tätig auf den Gebieten der rationellen Energieverwendung, erneuerbaren Energien und der Messtechnik. Seit 1976 ehrenamtlich engagiert in der DGS und seit 2000 in der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Umwelt/Energie in Lahr (Schwarzwald).

► **Herbert Schote** ist Betriebswirt VWA, REFA- und Elektroniktechniker. Er war viele Jahre in der Elektronikindustrie als Leiter Unternehmensplanung, Qualität und Umwelt tätig. Seit 2004 ehrenamtlich in der Lokalen Agenda 21 engagiert.