

# Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei

Ergebnisse eines siebenjährigen Feldtests:  
Erdgekoppelte Wärmepumpen sparen deutlich Primärenergie ein  
Kritische Bewertung von Luft-Wärmepumpen

Dr. Falk Auer und Herbert Schote

## Zusammenfassung

In einem langjährigen Feldtest hat die unabhängig arbeitende Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald) die Energieeffizienz von Elektro-Wärmepumpen unter realistischen Betriebsbedingungen am Oberrhein untersucht. Während erdgekoppelte Wärmepumpen das Energieeffizienzziel der Deutschen Energieagentur und des RWE mehr oder weniger deutlich übertreffen, sind Luft-Wärmepumpen im Hinblick auf den Beitrag zum Klimaschutz kritisch zu bewerten. In allen Fällen gilt: Die Rahmenbedingungen müssen schon bei der Planung stimmen, und die Wärmepumpen selbst erfordern einen fachgerechten Einbau und Betrieb. Der Beitrag geht auch auf Fehler ein und gibt Hinweise zur Qualitätsverbesserung.

### 1. Einführung

In einem siebenjährigen "Feldtest Elektro-Wärmepumpen" untersuchte die Agenda-Gruppe zwischen den Jahren 2006 und 2013 in zwei Phasen an insgesamt 52 Heiz- und 13 Warmwasser-Wärmepumpen den Stand heutiger Wärmepumpentechnik, deren Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit. Ziel war es, nicht nur den Teilnehmern an der Praxisuntersuchung, sondern auch den Planern, Energieberatern und Handwerkern verlässliche Daten über die energieeffizientesten Wärmepumpensysteme an die Hand zu geben. Dazu rüstete die Agenda-Gruppe in Zusammenarbeit mit der Ortenauer Energieagentur in Offenburg und mit finanzieller Förderung der beiden Energieversorger badenova und E-Werk Mittelbaden die Wärmepumpenanlagen zwischen Freiburg im Breisgau und Baden-Baden mit Wärme- und Elektrozählern aus.

### 2. Wärmepumpen: Systemvielfalt und Mindest-Arbeitszahl

Die insgesamt 65 vermessenen Heiz- und Warmwasser-Wärmepumpenanlagen repräsentieren die Vielfalt der vorhandenen Systeme: Bei den Heiz-Wärmepumpen sind die Kaltquellen Luft (24), Erdreich (15) und Grundwasser (11) vertreten mit einem Anteil an Fußbodenheizungen von 65%; der Rest sind Radiatorheizkörper oder eine Mischung aus beiden. Die Wärmepumpen arbeiten in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie in öffentlichen Einrichtungen und liefern Wärme für die Wohnräume und das Trinkwasser. In 13 Fällen erfolgte die Brauchwassererwärmung trotz der vorhandenen Heizwärmepumpe separat mit kleinen Warmwasser-Wärmepumpen. Nur 21% der untersuchten Wärmepumpen verfügen über keinen Heizungspufferspeicher. Weitere Informationen zur Systemvielfalt gehen aus den Übersichten in /1/ und /2/ hervor.

#### INFO-BOX: Jahresarbeitszahl

Laut der Deutschen Energieagentur (dena) in Berlin und des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) in Essen muss die Jahresarbeitszahl bei Elektro-Wärmepumpen größer als  $JAZ = 3,0$  sein, um sie als "energieeffizient" und größer als  $JAZ = 3,5$  sein, um sie als "nennenswert energieeffizient" bezeichnen zu können.

Zur Beurteilung der Energieeffizienz von Elektro-Wärmepumpen ist die Jahresarbeitszahl (JAZ) die wichtigste Kenngröße. Sie ist definiert als das Verhältnis von erzeugter Wärme am Ausgang der Wärmepumpe zur notwendigen elektrischen Energie an deren Eingang. Man unterscheidet die Erzeuger-Jahresarbeitszahl EJAZ, gemessen direkt am Ausgang einer Wärmepumpe, und die System-Jahresarbeitszahl SJAZ, die auch noch die Verluste eines eventuell vorhandenen Heizungspuffer- und Warmwasserspeichers berücksichtigt. Die für den Klimaschutz wichtigere Kenngröße ist die SJAZ, weil sie die Nutzwärmen am Ausgang des Wärmepumpensystems bilanziert. Der Strom für die Umwälzpumpe des Heizkreises findet keine Berücksichtigung, weil er bei jedem Heizsystem notwendig ist. Die erforderlichen Mindest-Jahresarbeitszahlen für eine Energieeffizienz gehen aus der INFO-BOX hervor.

### 3. Basisuntersuchung und Innovationen

Die Agenda-Gruppe begann den "Feldtest Wärmepumpen" mit einer zweijährigen Basisuntersuchung. An dieser Phase 1 nahmen 33 Heiz- und 5 Warmwasser-Wärmepumpen teil. Wichtig: Keine war zu Messbeginn älter als vier Jahre. Im Gegensatz zu anderen Studien kannte keiner der elf Hersteller die Lage der Wärmepumpen und die Namen der Betreiber. Eine Nachbesserung während des zweijährigen Feldtests war somit nicht möglich. Selbstverständlich hatte die Gruppe offensichtliche Fehler nicht nur zu Beginn der Messungen, sondern auch während des Betriebes der Wärmepumpen beheben lassen (z.B. mehrere Verdichterausfälle), um sich nicht dem Vorwurf auszusetzen, sie würde offensichtlich defekte Anlagen vermessen. Externe, ebenfalls unabhängige Energieexperten, bescheinigten deshalb der Agenda-Gruppe eine hohe Praxisnähe.



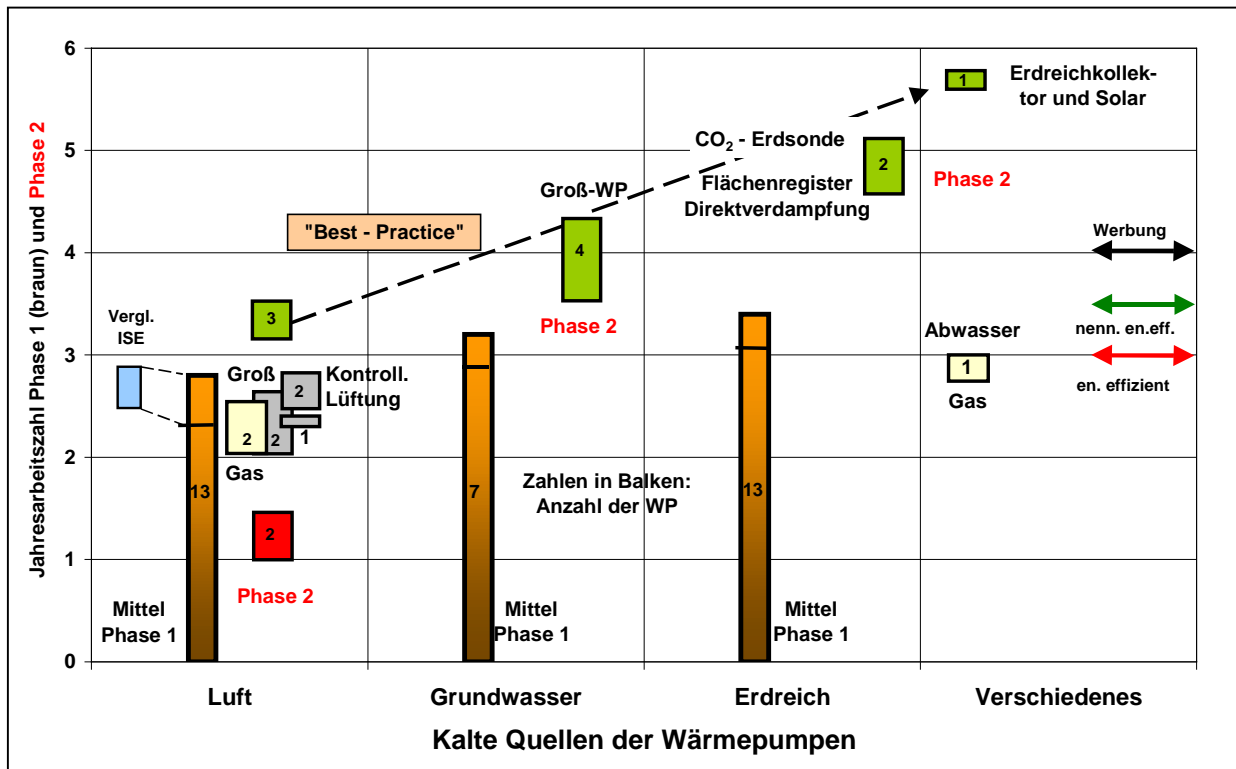
Da die Phase 1 des "Feldtests Elektro-Wärmepumpen" bis auf zwei Erdsonden-Wärmepumpen nur mäßige bis schlechte Ergebnisse lieferte, entschloss sich die Agenda-Gruppe, die Phase 2 "Innovative Wärmepumpensysteme" anzuschließen. Das Ziel: Festzustellen ob und gegebenenfalls in welchem Maße noch Energieeffizienzsteigerungen möglich sind. Das betrifft nicht nur eine verbesserte Technik, sondern auch eine zunehmende Erfahrung bei der Planung, dem Einbau und Betrieb von Wärmepumpen.

Die Phase 2 umfasste 19 Wärmepumpen. Die Luft-Wärmepumpen waren mit 11 Anlagen überdurchschnittlich stark vertreten, weil sie sich zuvor als energie-ineffizient erwiesen; hier galt es, die neuesten Entwicklungen und Einsatzfälle zu untersuchen. Die erdgekoppelten Wärmepumpen nahmen an dieser Phase nur mit sechs Anlagen teil. Der Grund geht schon aus der Basisuntersuchung hervor: Wenn die Rahmenbedingungen stimmen und alle Arbeiten fachgerecht ausgeführt werden, dann sind Jahresarbeitszahlen von mehr als 4 ohne Weiteres möglich. Als innovativ ist eine sog. CO<sub>2</sub> - Erdsonde zu bezeichnen und ein Erdkollektor, in dem das Kältemittel der Wärmepumpe direkt verdampft. Darüber hinaus untersuchte die Agenda-Gruppe auch noch einen solarthermisch-unterstützten Erdkollektor- und die Nutzung der Abwasserwärme.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Heiz-Wärmepumpen

Das folgende Bild 1 zeigt die Messergebnisse für die Heiz-Wärmepumpen. Aufgetragen ist die entscheidende Kenngröße für die Energieeffizienz von Wärmepumpen, nämlich die Jahresarbeitszahl JAZ. Die Grafik unterscheidet die Kaltquellen Luft, Erde und Grundwasser sowie eine solar-unterstützte Erdkollektor- und eine Abwasser-Wärmepumpe.



Die Höhe der braunen Säulen stellen die Mittel der Jahresarbeitszahlen in der Phase 1 dar (Basisuntersuchung). Bei den Luft-Wärmepumpen beträgt das Mittel 2,8; keine der 13 Anlagen kommt über eine SJAZ = 3,0. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit einem bundesweiten Feldtest des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme (ISE: blauer Balken). Anders dagegen die erdgekoppelten Wärmepumpen: Deren Mittel liegen zwischen 3,1 und 3,4, mit zwei maximalen Einzelwerten bei den Erdsonden-Wärmepumpen von 4,3 und 4,4 – bis auf diese zwei Werte ist das ein insgesamt mäßiges bis schlechtes Ergebnis der Basisuntersuchung.

Wegen dieser Energieeffizienz-Mängel entschloß sich die Agenda-Gruppe zu einer Fortsetzung des Feldtests im Rahmen einer Phase 2 mit dem anspruchsvollen Titel "Innovative Wärmepumpensysteme". Die Ergebnisse zeigt ebenfalls Bild 1:

Luft-Wärmepumpen: Ein großes Feld liegt nach wie vor bei Jahresarbeitszahlen zwischen 2,0 (halbe Stromheizung) und 2,8. Darunter befinden sich auch Groß-Wärmepumpen in bis zu 10-Familienhäusern und die viel beworbenen Abluft-Wärmepumpen. Letztere haben durchaus einen gewissen Charme: In einem Kompakgerät lassen sich kontrollierte Wohnraumlüftung, Solarspeicher, Heizung und die Warmwasserbereitung auf einem kleinen Raum kombinieren. Die Agenda-Gruppe ermittelte aber bei drei Anlagen nur eine SJAZ zwischen 2,6 und 2,8. Der Grund: Niedrigenergiehäuser haben immer noch einen zu hohen Wärmebedarf, so dass eine Überlüftung und ein damit verbundener Wärmekurzschluss stattfindet. Und beim Passivhaus ist die Luft-

Wärmepumpe selbst das Problem: Je geringer die elektrische Anschlussleistung, desto geringer die Energieeffizienz. Das zeigt sich auch bei den ebenfalls untersuchten kleinen Warmwasser-Wärmepumpen; näheres dazu in /3/ und /4/.

Ausreißer gibt es nach unten wie nach oben. Während die thermosiphonische Verknüpfung eines Wärmepumpen-Kondensators in einem Kombispeicher sich nicht bewährt hat (roter Balken: fast eine Stromheizung), überspringen jetzt die ersten 3 von 25 untersuchten Luft-Wärmepumpen die Energieeffizienzhürde der dena und des RWE.

Grundwasser-Wärmepumpen: In der Phase 1 kamen sie bei Einfamilienhäusern wegen zu geringer Bohrlochdurchmesser und zu hoher Leistung der Förderpumpe im Mittel nur auf eine JAZ = 3,1. Die Agenda-Gruppe hat sich deshalb in der Phase 2 auf vier Groß-Wärmepumpen in öffentlichen Einrichtungen und einer Reihenhaussiedlung konzentriert, weil bei ihnen das Verhältnis der Nennleistungen von Förder- zur Wärmepumpen günstiger ist. Die Ergebnisse bestätigen diesen Vorteil: Drei von vier untersuchten Grundwasser-Wärmepumpen kommen auf eine Jahresarbeitszahl von mehr als 4 (grüner Balken).

Erdreich und Abwasser-Wärmepumpen: Da Erdsonden- und Erdkollektor-Wärmepumpen bei fachgerechter Planung und Ausführung ohne weiteres eine Jahresarbeitszahl von JAZ = 4 übertreffen, hat die Agenda-Gruppe nur Anlagen mit Neuerungen bei der Technik in das Messprogramm aufgenommen. Die Ergebnisse sind beeindruckend: Der horizontale Erdkollektor mit einer Direktverdampfung des Wärmepumpen-Kältemittels kommt auf eine SJAZ = 4,7, die CO<sub>2</sub>-Erdsonde auf 5,1 und der solarunterstützte Erdkollektor sogar auf 5,8 (grüne Balken).

Lediglich die Abwasser-Wärmepumpe verfehlt wegen ungünstiger Rahmenbedingung das Energieeffizienzziel:

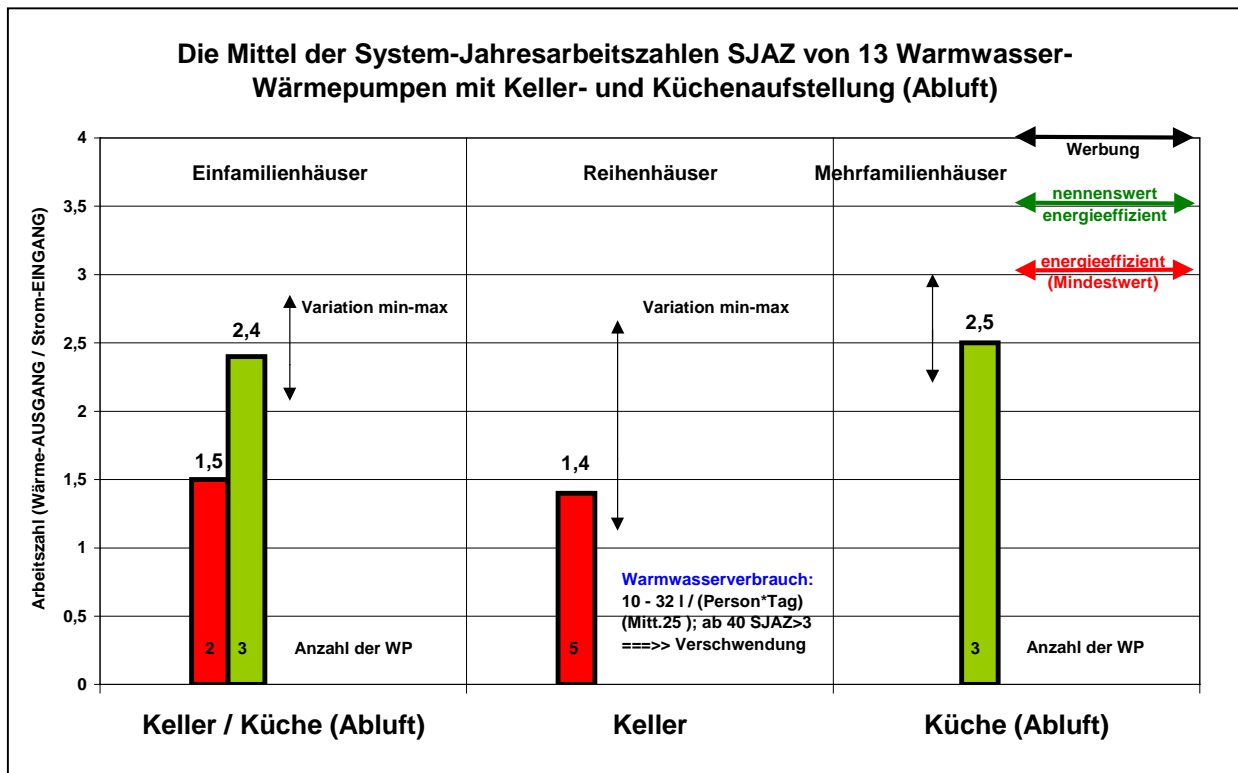
- die Temperatur im Abwasserkanal ist mit einem Jahresmittel von 10 °C zu niedrig (Mischsystem: Im Winter kalter Regen und Schmelzwasser dabei)
- Es handelte sich um einen bivalent-*parallel* - Betrieb von Wärmepumpe und Gaskessel
- Die Vorlauftemperaturen sind mit 60°C für die Radiatorheizkörper und den Trinkwasserspeicher zu hoch.

Erdgas-Wärmepumpen (in Bild 1 gelbe Balken): Die Agenda-Gruppe erfasste auch die Energieeffizienz von drei Erdgas-Motor- bzw. -Absorptions- Wärmepumpen für eine Schule, einen Kindergarten und ein Mehrfamilienhaus. Rechnet man die gemessenen Jahresarbeitszahlen mit dem derzeit gültigen Primärenergiefaktor von Strom in Höhe von 2,6 um, dann liegen sie -wie die meisten Luft-Wärmepumpen- zwischen JAZ = 2 und 3. Die Erdgas-Wärmepumpen sind damit bezüglich des Beitrages zum Klimaschutz vergleichbar oder schlechter als moderne Erdgas-Brennwertkessel. Der Primärenergiefaktor stellt das Verhältnis der Primärenergien Kohle, Uran und Gas zu der Endenergie Strom dar, und zwar unter Berücksichtigung der Energiekette Gewinnung, Umwandlung und Verteilung.

## 4.2 Warmwasser-Wärmepumpen

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 wird, 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 gibt aber auch zunehmend sog. Abluft-Wärmepumpen, die in Wohnungen arbeiten. Sie nutzen die Abluft der Räume, um warmes Trinkwasser zu erzeugen. Wegen der höheren Temperatur der Raumluft im Vergleich zur Kellerluft kommen sie auf eine höhere Energieeffizienz.

Das Bild 2 zeigt die Ergebnisse von 13 Klein-Wärmepumpen in Ein- bis Mehrfamilienhäusern. Die im Keller aufgestellten Geräte erreichen eine SJAZ von im Mittel nur 1,5 (rote Säulen) und die in den Wohnräumen von rund 2,5 (grüne Säulen). Wie die drei senkrechten Doppelpfeile zeigen, übertrifft keine der Wärmepumpen den Mindestwert von SJAZ = 3,0.



Die Gründe für das schlechte Abschneiden der Warmwasser-Wärmepumpen liegen in der kalten Kellerluft, der geringen Nennleistung der Aggregate (vergleichbar mit der Abluft-Wärmepumpe in einem Passivhaus) und in einem zu niedrigen Warmwasserverbrauch. Die Untersuchung hat ergeben, dass erst ab einem Verbrauch von mehr als 40 l/(Tag x Person) eine JAZ von mehr als 3 möglich ist. Da aber die Praxiswerte nur zwischen 10 und 32 l/(Tag x Person) liegen, lässt sich überspitzt formulieren: Eine Warmwasser-Wärmepumpe ist nur dann energieeffizient, wenn die Nutzer mit dem Wasser verschwenderisch umgehen. Eine Sonnenkollektoranlage für Warmwasser wäre eine ökologisch bessere Investition gewesen.

## 5. Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung

Es gibt erhebliche Unterschiede zwischen den Leistungszahlen, ermittelt auf den Testständen, und den Jahresarbeitszahlen, gemessen unter realistischen Betriebsbedingungen. Planer, Hersteller und Handwerker sind deshalb aufgefordert, ihre Komponenten und Systeme weiterhin zu optimieren. Dazu sind aufgrund der Erfahrungen im Rahmen des siebenjährigen "Feldtests Wärmepumpen" die folgenden Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung der Komponenten und Systeme erforderlich:

### 5.1 Bei der Planung

Wärmepumpensystem: Komplexität verringern - nicht zu viele Energiequellen kombinieren, weniger Umwälzpumpen und Stellventile; dadurch weniger Regelungsprobleme und Hilfenenergien. Der bekannte Schweizer Wärmepumpenfachmann Peter Hubacher sagte einmal: "Je einfacher die Anlage, desto höher die Jahresarbeitszahl."

Wärmepumpe: Zugesicherte Leistung im Datenblatt muss auch mit der Praxis übereinstimmen; angepasste Dimensionierung: zu hohe Nennleistung ==> Takten, zu geringe ==> Notheizstab zu oft aktiv; Einsatz von Wärmepumpen mit variabler Verdichterleistung.

Komponenten: Luft-WP: Wärmetauscher größer wählen und Schallproblem berücksichtigen; Grundwasser-WP: Ausreichend großer Durchmesser der Förder- und Schluckbrunnen, geringere Leistung der Förderpumpe; Erdreich-WP: Sondenlänge großzügig bemessen, kein Einsatz von Korb- oder Grabenkollektoren, weil das Volumen des abzukühlenden Erdreichs zu gering ist.

Speicher: Heizungspufferspeicher möglichst vermeiden (bei Fußbodenheizung nicht notwendig), Kombispeicher (Heizung und Brauchwasser) sind kritisch zu bewerten, weil wegen des integrierten Warmwasserboilers die mittlere Temperatur des Speichers zu hoch ist.

Wärmesenke: Kein Einsatz von Wärmepumpen im unsanierten Altbau, Vorlauftemperaturen nicht mehr als 35 °C.

Es gibt erhebliche Unterschiede zwischen den Leistungszahlen, ermittelt auf den Testständen, sowie den berechneten Jahresarbeitszahlen gemäß VDI-Richtlinie 4650 und den Jahresarbeitszahlen, gemessen unter realistischen Betriebsbedingungen.

## 5.2 Bei der Ausführung

- Vorgeschriebenen hydraulischen Abgleich der Heizstränge auch durchführen
- Undicht schließende Ventile aufspüren und ersetzen.
- Wärmedämmung an Rohren und Armaturen lückenlos anbringen.

## 5.3 Im Betrieb

- Heizkurve niedriger einstellen; Nachtabenkung nicht zu lang und nicht zu tief
- Notheizstab mit Hand ausschalten, um kontrollierten Betrieb zu ermöglichen; Heizbetrieb im Sommer vermeiden
- Einweisung des Nutzers durch den Handwerker erforderlich; auch bei Wärmepumpen ist eine Wartung notwendig.

Die Durchführung dieser Maßnahmen würde den Wärmepumpen einen deutlichen Umweltvorteil gegenüber Öl- oder Gaskesseln verschaffen und letztlich auch den Geldbeutel der Nutzer schonen.

## Zu den Autoren

Dr. Falk Auer ist als Wissenschaftler seit mehr als 30 Jahren auf den Gebieten der rationellen Energieverwendung, erneuerbaren Energien und der Messtechnik tätig. Zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter im Battelle-Institut in Frankfurt (Main) und später als Inhaber des Ingenieurbüros NES (Neue Energiesysteme) in Langenselbold bei Hanau und danach in Lahr (Schwarzwald). Seit 2000 engagiert er sich auch ehrenamtlich in der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr.

Herbert Schote ist Betriebswirt (VWA), Elektroniktechniker und Techniker im Industrial Engineering und arbeitet seit 2005 in der Agenda-Gruppe mit.

## **Literatur:**

/1/ Systemvielfalt WP Ph. 1: [www.agenda-energie-lahr.de/WP\\_FeldtestPhase1.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase1.html),  
Schlussber. Ph. 1, S. 32 - 33

/2/ Systemvielfalt WP Ph. 2: [www.agenda-energie-lahr.de/WP\\_FeldtestPhase2.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html),  
Schaltfl. „Tabellarische Übersicht Phase 2“

/3/ Ergebnis Abluft-Wärmepumpen Niedrigenergiehaus:  
[www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html), Schaltfl. WP-Nr. 2101

/4/ Ergebnis Abluft-Wärmepumpe Passivhaus: Internet wie /1/, Schlussber. Ph. 1, S. 14 - 16

/5/ Details zu den Warmwasser-Wärmepumpen, insbesondere der Verbrauch:  
Internet wie /1/, Schlussber. Ph. 1, S. 16 - 18 u. Internet wie /3/, Schaltfl. WP-Nr. 2107, 2108 und 2202.

Im September 2013

Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr (Schwarzwald)

Email-Kontakt: nes-aue(at)t-online.de

Internetadresse: [www.agenda-energie-lahr.de](http://www.agenda-energie-lahr.de)