

FELDTEST WÄRMEPUMPEN

ERGEBNISSE EINER SIEBENJÄHRIGEN PRAXISUNTERSUCHUNG

Ist Wärme aus der Umwelt auch gut für die Umwelt? Erdgekoppelte Wärmepumpen sparen deutlich Primärenergie ein – Kritische Bewertung von Luft-Wärmepumpen.

Einführung

Zwischen den Jahren 2006 und 2013 untersuchte die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie der Stadt Lahr (Schwarzwald) in einem „Feldtest Wärmepumpen“ 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, Herstellern 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 lokalen Energieversorger Badenova und E-Werk Mittelbaden die Wärmepumpenanlagen zwischen Lörrach und Baden-Baden mit Wärme- und Elektrizitätszählern aus.

Mindest-Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen

Die Systemvielfalt der untersuchten Wärmepumpen geht aus den Übersichten 1) und 2) hervor.

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

Mindest-Jahresarbeitszahl

Laut der Deutschen Energieagentur (dena) in Berlin und des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) in Essen sowie des Erneuerbaren-Energien-Wärme-Gesetzes (EE-WärmeG) 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.

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 Klassifizierung und Bewertung der Jahresarbeitszahlen in Anlehnung an das Schulnotensystem ist unter 2) zu finden, die erforderlichen Mindest-Jahresarbeitszahlen im Kasten auf dieser Seite.

Basisuntersuchung und Innovationen

Der „Feldtest Wärmepumpe“ begann 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 der zweijährigen Anfangsphase 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 und Fairness.

Da die Phase 1 des Feldtests bis auf drei erdgekoppelte Wärmepumpen nur mäßige bis schlechte Ergebnisse lieferte, entschloss man sich, 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



Bild 1: Da kommt Freude auf: Service bei einer Erdsonden-Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 4,4

11 Anlagen überdurchschnittlich stark vertreten, weil sie sich zuvor als energieineffizient erwiesen. Hier galt es, die neuesten Entwicklungen und Einsatzfälle zu untersuchen. Die erdgekoppelten Aggregate nahmen an dieser Phase nur mit sieben Anlagen teil. Der Grund geht aus der Basisuntersuchung hervor: Wenn die Rahmenbedingungen stimmen und alle Arbeiten fachgerecht ausgeführt werden, dann sind Jahresarbeitszahlen von mehr als 4,0 ohne weiteres möglich. Als innovativ ist eine so genannte CO₂-Erdsonde zu bezeichnen und ein Erdkollektor, in dem das Kältemittel der Wärmepumpe direkt verdampft. Darüber hinaus wurden auch noch ein solarthermisch-unterstützter Erdkollektor und die Nutzung der Abwasserwärme untersucht.

Ergebnisse

Heiz-Wärmepumpen

Bild 2 zeigt die Messergebnisse für die Heiz-Wärmepumpen. Aufgetragen ist die entscheidende Kenngröße für die Energieeffizienz, 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 Balken stellt die Variation der Jahresarbeitszahlen in der Phase 1 dar (Basisuntersuchung); die Querstriche in den Balken zeigen die Mittelwerte an. Sie sind vergleichbar mit einem Feldtest des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE: blauer Balken). Bis auf drei erdgekoppelte Wärmepumpen mit Werten zwischen $JAZ = 4,0$ und $4,4$ waren die Ergebnisse der Basisuntersuchung mäßig bis schlecht.

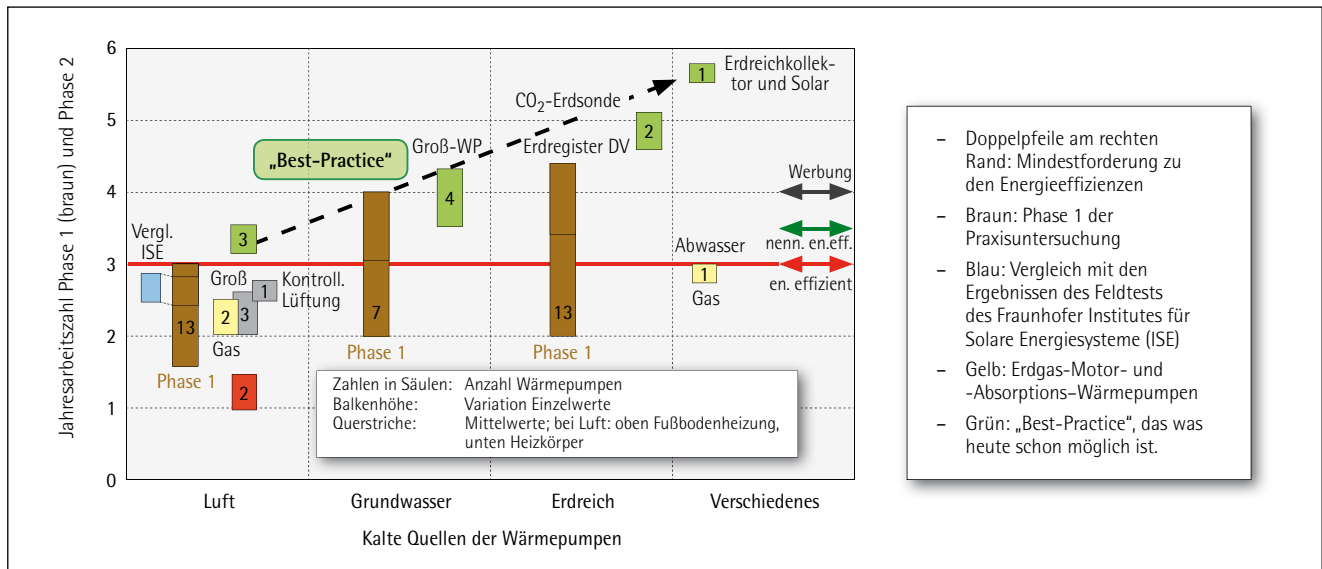


Bild 2: Ergebnisse der Phase 1 von 2006–2008 (Basisuntersuchung: braune Balken) und Phase 2 von 2009–2013 (Innovationstest: restliche Farben) bei Heiz-Wärmepumpen.

Wegen dieser Energieeffizienz-Mängel entschloss man sich zu einer Fortsetzung des Feldtests im Rahmen einer Phase 2 mit dem anspruchsvollen Titel „Innovative Wärmepumpensysteme“. Das Bild 2 zeigt ebenfalls die Ergebnisse:

Luft-WP: 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 Kompaktgerät lassen sich Heizung, Warmwasserbereitung, kontrollierte Wohnraumlüftung und der Solarspeicher auf einem kleinen Raum kombinieren. Die Agenda-Gruppe ermittelte aber bei drei Anlagen in den Phasen 1 und 2 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. Bei einem Passivhaus müssten deshalb wegen des beträchtlich niedrigeren Wärmebedarfs günstigere Verhältnisse vorliegen. Doch da ist die Luft-WP 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 Kapitel 4.2 und ³⁾ bis ⁵⁾.

Ausreißer gibt es nach unten wie nach oben. Während die thermosiphonische Verknüpfung eines Wärmepumpen-Kondensators in einem Kombispeicher sich nicht bewährte (roter Balken: fast eine Stromheizung), überspringen jetzt die erstmalig 3 von 24 untersuchten Luft-Wärmepumpen die Energieeffizienzhürde der dena, des RWE und des EEWärmeG

der Bundesregierung (grüner Balken). Zu einem „nennenswerten“ Beitrag zum Klimaschutz reicht es aber noch nicht.

Grundwasser-WP: In Phase 1 kamen sie bei Einfamilienhäusern wegen zu geringer Bohrlochdurchmesser und zu hoher Leistung der Grundwasser-Förderpumpe im Mittel nur auf eine JAZ = 3,1. In der Phase 2 konzentrierte man sich deshalb auf vier Groß-Wärmepumpen in öffentlichen Einrichtungen und einer Reihenhaussiedlung, weil bei ihnen das Verhältnis der Nennleistungen von den Förder- zu den Wärmepumpen günstiger ist. Die Ergebnisse bestätigen diesen Vorteil: Drei von vier untersuchten Grundwasser-Wärmepumpen kommen auf eine Jahresarbeitszahl von mehr als 4,0 (grüner Balken).

Erdreich- und Abwasser-WP: Da Erdsonden- und Erdkoll. Wärmepumpen bei fachgerechter Planung und Ausführung ohne weiteres eine JAZ > 4,0 aufweisen, wurden nur Anlagen mit Neuerungen bei der Technik in das Messprogramm aufgenommen. Die Ergebnisse sind beeindruckend: Der horizontale Erdkoll. mit einer Direktverdampfung des Wärmepumpen-Kältemittels kommt auf eine SJAZ = 4,7, die CO₂-Erdsonde auf 5,1 und der solarunterstützte Erdkoll. sogar auf 5,8 (grüne Balken)!

Lediglich die Abwasser-Wärmepumpe verfehlt wegen ungünstiger Rahmenbedingungen das Energieeffizienzziel. Details dazu siehe ³⁾, Schaltfläche WP-Nr. 2501.

Erdgas-WP (in Bild 2 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 ge-

messenen Jahresarbeitszahlen mit dem derzeit gültigen Primärenergiefaktor von Strom in Höhe von 2,6 um, dann liegen sie – wie die meisten Luft-Wärmepumpen – zwischen JAZ = 2,0 und 3,0. 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.

Was heute bei einem Erdgas-Brennwertkessel möglich ist – auch in Verbindung mit einer solaren Trinkwasseranlage – das zeigt die Ermittlung der jährlichen Nutzungsgrade ³⁾, blaue Schaltfläche Nr. 3001: Der Nutzungsgrad des Kessels allein beträgt 101 % und des Erdgas-Solar-systems 106 %, bezogen auf den unteren Heizwert.

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 nicht zur Debatte. Die geringe Kompressorleistung, die Verlustwärme des integrierten Warmwasserspeichers und die fehlende Dämmung der Kellerräume sprechen dagegen. Es gibt aber auch zunehmend so genannte 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 Jahresarbeitszahl.

Bild 3 zeigt die Ergebnisse von 13 Klein-Wärmepumpen in Ein- und 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 geringen Nennleistung der Aggregate (vergleichbar mit der Abluft-Wärmepumpe in einem Passivhaus), der kalten Kellerluft und in einem zu niedrigen Warmwasserverbrauch. Die Untersuchung hat ergeben, dass erst ab einem Verbrauch von mehr als 40 l/(Tag · Person) eine JAZ von mehr als 3,0 möglich ist⁵⁾. Da aber die Praxiswerte nur zwischen 10 und 32 l liegen, lässt sich überspitzt formulieren: Eine Warmwasser-Wärmepumpe arbeitet nur dann energieeffizient, wenn die Nutzer mit dem Wasser verschwenderisch umgehen. Eine Sonnenkollektoranlage für die Erwärmung des Trinkwassers wäre eine ökologisch bessere Investition gewesen.

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:

Bei der Planung

Wärmepumpensystem: Komplexität verringern – nicht zu viele Energiequellen kombinieren; weniger Umwälzpumpen und Stellventile, dadurch weniger Regelungsprobleme und Hilfsenergien. Der bekannte 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 empfohlen.

Komponenten: Luft-WP: Wärmetauscher größer wählen und Schallproblem berücksichtigen; Grundwasser-WP: Ausreichend großer Durchmesser der Förder-

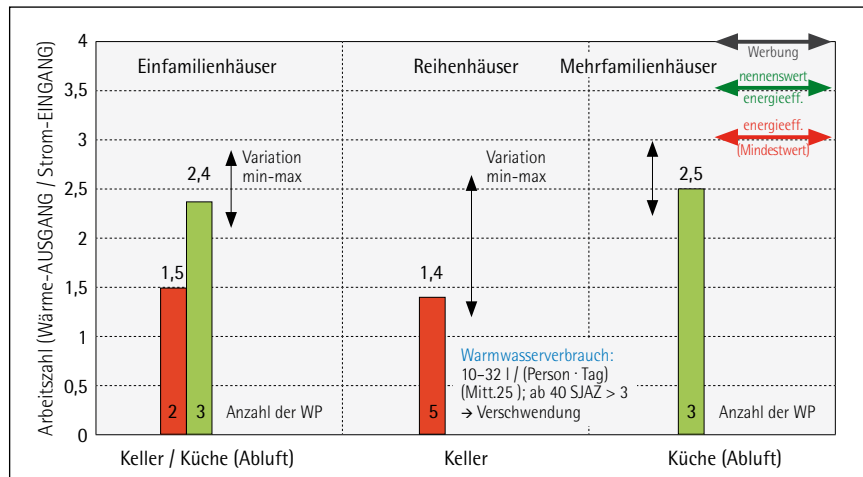


Bild 3: Die Mittel der System-Jahresarbeitszahlen von 13 Warmwasser-Wärmepumpen mit Keller- (rot) und Küchenaufstellung (grün = Abluft) in Ein- und Mehrfamilienhäusern

und Schluckbrunnen, geringere Leistung der Förderpumpe; Erdreich-WP: Sondentiefe 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; bei einer solarunterstützten Wärmepumpenanlage gilt diese Aussage jedoch nicht.

Wärmesenke: Kein Einsatz von Wärmepumpen im unsanierten Altbau, Vorlauftemperaturen nicht mehr als 35 °C; das schließt Heizkörper in der Praxis aus.

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.

Bei der Ausführung

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

Im Betrieb

- Heizkurve niedriger einstellen; Nachtabsenkung 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.

Fußnoten

- 1) Systemvielfalt Phase 1: www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase1.html, Schlussbericht Phase 1, Seiten 32-33
- 2) Systemvielfalt Phase 2: www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html, Schaltfläche „Tabellarische Übersicht Phase 2“
- 3) Ergebnis Abluft-Wärmepumpen Niedrigenergiehaus: www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html, Schaltfläche WP-Nr. 2101
- 4) Ergebnis Abluft-Wärmepumpe Passivhaus: Internet wie ¹⁾, Seiten 14-16
- 5) Details zu den Warmwasser-Wärmepumpen, insbesondere zum Verbrauch: Internet wie ¹⁾, Seiten 16-18 und Internet wie ³⁾, Schaltflächen WP-Nr. 2107, 2108 und 2202.

ZU DEN AUTOREN:

▶ **Dr. Falk Auer**
 Fachausschussvorsitzender Wärmepumpe der DGS, Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr (Schwarzwald)
nes-auer@t-online.de

▶ **Herbert Schote**
 Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr (Schwarzwald)