

Wärmepumpen in der Praxis

Wie gut sind derzeit elektrisch betriebene Wärmepumpen für die Wärmeversorgung von neu gebauten Einfamilienhäusern geeignet? Dieser Frage geht das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE zusammen mit Industriepartnern in einer breit angelegten wissenschaftlichen Felduntersuchung nach, die im Sommer 2006 begann. Der folgende Fachaufsatz von Dipl.-Ing. Marek Miara präsentiert die ersten Zwischenergebnisse, des noch bis 2010 laufenden Projekts.

1 Einleitung

Die Wärmepumpe erlebt gerade ihre zweite Blütezeit. Obwohl Wärmepumpen seit mehr als 50 Jahren zur Beheizung von Wohngebäuden eingesetzt werden, hatte die Technologie erst in den achtziger Jahren ihre erste Boomphase. Seitdem hat sich viel verändert – die Technik ist heute ausgereift. Richtig an den Wärmebedarf angepasste Wärmepumpen mit einer gut funktionierenden Regelung können gegenüber einer mit fossilen Brennstoffen versorgten Anlage sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bringen. Dies führt dazu, dass die Verkaufszahlen der neuen Wärmepumpen sowohl für Neubauten als auch für Sanierungsgebäude seit einigen Jahren einen kräftigen Zuwachs aufweisen.

Wie gut sind derzeit elektrisch betriebene Wärmepumpen für die Wärmeversorgung von neu gebauten Einfamilienhäusern geeignet? Dieser Frage geht das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE zusammen mit Industriepartnern in einer breit angelegten wissenschaftlichen Felduntersuchung nach, die im Sommer 2006 begann. Dieser Artikel präsentiert die Vorgehensweise im Projekt, die ersten Zwischenergebnisse und beschreibt die gefundenen Ursachen, die eine optimale Arbeit der Wärmepumpen beeinträchtigen.

2 Beschreibung des Projektes

Im Projekt „Wärmepumpen-Effizienz“ werden insgesamt 110 Wärmepumpen (Bild 1) von 7 Herstellern (Alpha-InnoTec, HauteC, IVT (mit den Marken Junkers und Buderus), NIBE, Stiebel Eltron (tecalor), Vaillant und Viessmann) vermessen. Schwerpunkt der Untersuchung sind Wärmepumpen von 5 bis 10 kW Wärmeleistung mit den Wärmequellen Außenluft und Erdreich.

Ziel ist die Untersuchung der Effizienz verschiedener Anlagenkonzepte bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen und die Ableitung von Entwicklungskonzepten für Wärmepumpen für Neubauten mit noch niedrigerem Heizwärmebedarf (KfW-40, KfW-60 und 3-Liter-Häuser). Durch eine umfangreiche messtechnische Untersuchung unterschiedlicher, elektrisch angetriebener Kompressions-Wärmepumpen unter realistischen Einsatzbedingungen sollen Erkenntnisse zur Verbesserung der Geräte und der Systemtechnik gewonnen werden. Aus den Messergebnissen werden Kennwerte, Systemverhalten, Gütegrade und Korrelationen zu Anlagenstammdaten abgeleitet.

Bis jetzt wurden knapp 70 Wärmepumpenanlagen erfolgreich mit Messtechnik ausgestattet und installiert. Gleichzeitig liegen auch die Messwerte der letzten 16 Monate vor. Zurzeit läuft die zweite Phase des Projektes mit der Installation von weiteren ca. 40 Anlagen.



Bild 1: Standorte der Projekte in Deutschland aus dem Projekt „WP-Effizienz“

3 Messkonzept, Messtechnik und Datenerfassung

Bei der Festlegung des Messkonzepts und der Auswahl der Messtechnik wurden zwei primäre Ziele beachtet: die zuverlässige Erfassung der Messwerte und die Berechnung der Effizienz der Wärmepumpen und die Möglichkeit aus den Messdaten, zusammen mit gesammelten Stammdaten, möglichst viel zu lernen, um so später zu einer verbesserten Arbeitsweise der Wärmepumpenanlagen beizutragen. Aus diesen zwei Primärzielen ergibt sich folgende Vorgehensweise: die Wärmemengen zur Deckung des Heizbedarfs und zur Deckung des

Trinkwasserwärmebedarfs werden separat gemessen. Zusätzlich wird die Wärmequellenseite detailliert erfasst, also die Wärmequellenleistung, der Solekreisvolumenstrom und dessen Temperaturen vor und nach dem Verdampfer bei Erdreichwärmepumpen und die Außenlufttemperatur bei Außenluftwärmepumpen. Für alle diese Kreise wurden spezifische Wärmemengenzähler ausgewählt (Bild 2). Durch die Datenerfassung mittels Bus-Verbindung werden sowohl die Instantanwerte von Temperaturen und Volumenströmen als auch die kumulierten Wärmemengen erfasst, so dass das Systemverhalten, abhängig von den Randbedingungen, im Detail analysiert werden kann. Der Stromverbrauch der Wärmepumpe sowie der Hilfsantriebe wird ebenfalls aufgeschlüsselt gemessen.



Bild 2: Ultraschallwärmemengenzähler, Industriezähler, Ringkolbenzähler und Rechenwerke

Die Messdatenerfassung zeichnet beim Betreiber das gesamte Systemverhalten minütlich auf: die wichtigsten Temperaturen, Durchflussmengen, Wärmemengen sowie den Stromverbrauch der Wärmepumpe und der Hilfsantriebe. Alle bei den Messungen erhaltenen Werte werden per Datenfernabfrage täglich am Institut gespeichert und ausgewertet. Anschließend erfolgt eine automatische Plausibilitätsprüfung mittels einer speziell erstellten Software.

Das Bild 3 stellt eine beispielhafte Wärmepumpenanlage mit installierter Messtechnik vor.



Bild 3: Anlage mit installierter Messtechnik

4 Charakteristik der Anlagen und Objekte

Für die erste Messphase des Projektes wurden 74 Objekte, die auf allen teilnehmenden WPHersteller verteilt sind, angemeldet. Für diese Objekte wurde bereits die gesamte Messtechnik inklusive Messdatenerfassungssystem vorbereitet, größtenteils installiert und in Betrieb genommen. Für die zweite Messphase wurden bereits 28 Objekte angemeldet.

Das Bild 4 stellt die Verteilung der Wärmequelle und des Heizungssystems bei allen angemeldeten Objekten dar.

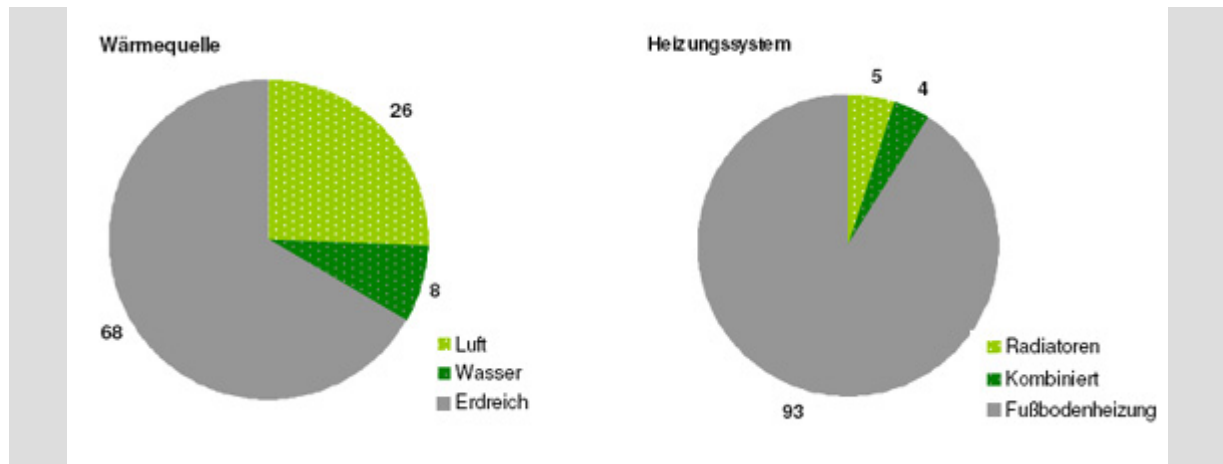


Bild 4: Aufteilung nach Wärmequelle (links) und Wärmeverteilungssystem (rechts) der insgesamt im Monitoringprojekt angemeldeten Wärmepumpen

68 der untersuchten Wärmepumpen (67%) benutzen das Erdreich als Wärmequelle. Davon werden 50 (74%) Systeme mit Erdsonden und 18 (26%) mit Erdkollektoren betrieben. Bei 26 Anlagen dient Luft als Wärmequelle. Genau die Hälfte dieser Anlagen (13) sind dabei Varianten mit Außenaufstellung – die andere Hälfte mit Innenaufstellung. Die restlichen 8 Anlagen (8%) sind Wasser-Wasser Wärmepumpen.

Beim Wärmeverteilungssystem ist die Dominanz des bevorzugten Systems für die Wärmepumpen eindeutig: 93 Anlagen (92%) sind mit Fußbodenheizung und nur 5 (4%) mit Radiatoren ausgestattet. Vier Objekte haben kombinierte Systeme. Die beheizte Wohnfläche der Objekte erstreckt sich von 120 bis 350 m². Der durchschnittliche Wert liegt bei 194 m². Jeder Teilnehmer des Projektes erhielt einen Fragebogen mit Fragen zum Haus und zur Haustechnik. Unter anderem wurde auch der Jahresheizwärmebedarf abgefragt, wobei lediglich 37 Teilnehmer Angaben dazu machten. Der Mittelwert liegt bei 57 kWh/m²a.

5 Zwischenergebnisse nach der ersten Heizperiode

5.1 Sole-Wasser-Wärmepumpen

Das Bild 5 stellt die mittleren Arbeitszahlen der ausgewerteten Sole-Wasser-Wärmepumpenanlagen dar. Die Zahlen auf den grünen Monatsbalken zeigen die Anzahl der ausgewerteten Anlagen für den einzelnen Monat. Im Juni wurden insgesamt 43 Anlagen ausgewertet.

Der Mittelwert für die erfassten Arbeitszahlen der Sole-Wasser-Wärmepumpenanlagen liegt im Zeitraum zwischen Juli 2007 und Juni 2008 bei 3.7. Die Anlagen sorgen sowohl für die Bereitstellung der Heizwärme als auch für die Erwärmung des Brauchwassers. Für den reinen Heizbetrieb der Wärmepumpenanlagen liegt der Mittelwert der Arbeitszahlen bei 4.1. Bei fünf Anlagen handelt es sich um Kompaktgeräte, bei denen die Messung der erzeugten Energie ohne die Speicherverluste nicht möglich ist. Diese Anlagen beeinflussen jedoch den Mittelwert der Gesamtarbeitszahlen nicht negativ. Die elektrische Zusatzheizung (z. B. Heizstab) wird bei der Berechnung der Arbeitszahlen berücksichtigt. Die Arbeitszahlen (bei gemischtem Betrieb) variieren für die einzelnen Anlagen zwischen 2.9 und 4.5.

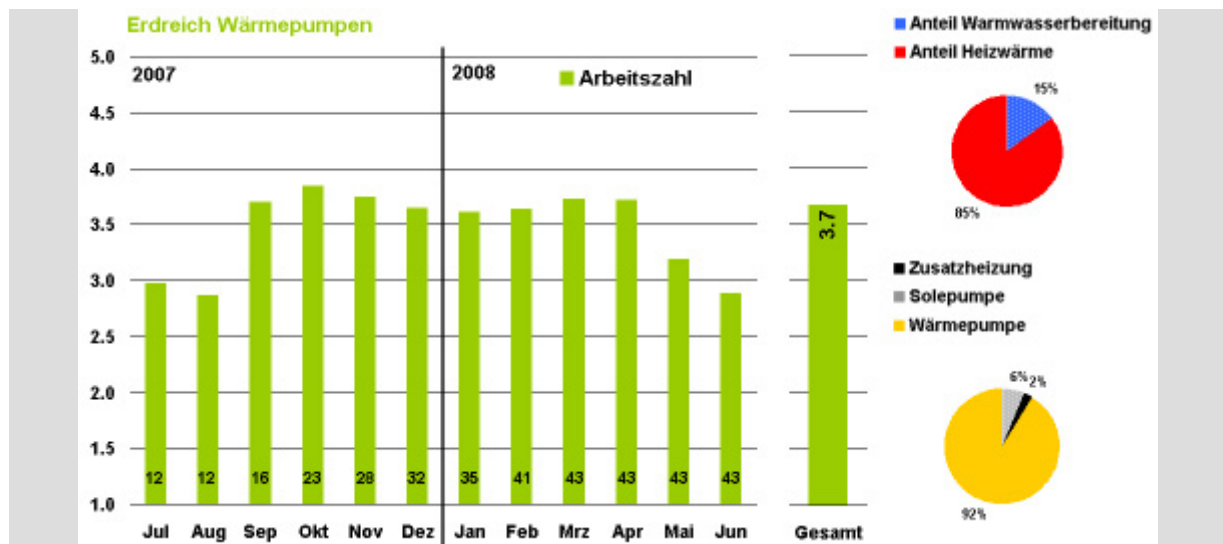


Bild 5: Mittlere Arbeitszahlen der Sole-Wasser-Wärmepumpenanlagen in dem Zeitraum vom Juli 2007 bis Juni 2008 (inkl. Elektrozusatzheizung)

Der Anteil der erzeugten Wärme für die Trinkwassererwärmung liegt im Mittel der Anlagen bei 15% und die mittleren Vorlauftemperaturen erreichen 55°C. Der Anteil für die Raumheizung beträgt 85% mit mittleren Vorlauftemperaturen von 35°C bis 45°C. Bei der Verteilung des Stromverbrauchs beträgt im Durchschnitt der Anteil der Wärmepumpe 92%, der Solepumpe 6% und der elektrischen Zusatzheizung 2%. Eine signifikante Aktivität der Zusatzheizung wurde nur bei 6 Anlagen festgestellt. Bei vier von diesen Anlagen hat es sich dabei um eine Bautrocknung gehandelt. Bei weiteren zwei Anlagen wurde die Aktivität des Heizstabes bis jetzt nicht geklärt. Es könnte sich dabei um eine Legionellenschaltung handeln. Der Mittelwert der Arbeitszahlen ohne den Stromverbrauch für die Bautrocknung unterscheidet sich nur geringfügig um den Wert 0.04. Bei den meisten Anlagen hat die zusätzliche Elektroheizung erfreulicherweise überhaupt nicht gearbeitet.

5.2 Luft- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Für die Wärmepumpenanlagen, die als Wärmequelle Luft oder Wasser nutzen, gibt es bis jetzt deutlich weniger Anlagen bei denen die Messwerte für eine längere Zeitperiode zu Verfügung stehen. Deswegen sind die gebildeten Mittelwerte weniger repräsentativ als bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen.

Für die sechs erfassten Luft-Wasser-Wärmepumpenanlagen beträgt im Zeitraum zwischen Juli 2007 und Juni 2008 die mittlere Arbeitszahl inkl. E-Heizer 3.0. Für den gleichen Zeitraum liegt der Arbeitszahlenmittelwert für die vier Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlagen bei 3.5. Der Wert der Systeme mit Wasser als Wärmequelle liegt unter den Erwartungen. Ein Grund dafür ist der hohe Stromverbrauch der Brunnenpumpen, die deutlich höhere Leistungen als die Solepumpen aufweisen. Bei den im Feldversuch untersuchten Systemen mit kleineren thermischen Leistungen spielt bei der Berechnung der Arbeitszahlen der im Verhältnis hohe Stromverbrauch der Brunnenpumpen eine große Rolle. Ein weiterer Grund kann die schlechte Qualität des Wassers sein, die zu stärkeren Verschmutzungen der Filter führt. Eine oft eingesetzte Lösung ist der Einsatz von Zwischenwärmetauschern, die aber zwei Primärpumpen notwendig machen und dadurch ebenfalls niedrigere Arbeitszahlen verursachen.

6 Häufige Probleme und Praxisempfehlungen

Die detaillierte Auflösung in der Messdatenerfassung sowohl aller Wärmeströme inklusive Temperaturen und Volumenströme als auch der Stromverbrauchsmessung aller Komponenten der Anlage ermöglichen neben der Berechnung der Arbeitszahlen die Analyse der Arbeitsweise der Wärmepumpenanlage und das Feststellen eventueller Fehler. Folgende Probleme wurden bei mehreren Anlagen festgestellt:

-- Nicht gezielt laufende Ladepumpen bzw. Heizkreispumpen. Das Problem betrifft sicherlich nicht nur Wärmepumpenanlagen, sondern auch konventionelle Heizungssysteme. Ständig laufende Pumpen verursachen in der Summe einen immensen Stromverbrauch. Optimierte Regelalgorithmen und der Einsatz von Hocheffizienzpumpen bieten hier ein nennenswertes Optimierungspotential. Neben dem hohen Energieverbrauch verursachen die dauerhaft laufenden Ladepumpen bei Systemen mit Pufferspeicher oft eine langsame unerwünschte Entladung des Speichers. Dies ist besonders bei Anlagen mit nicht (!) oder schlecht gedämmten Rohrleitungen der Fall.

-- 3-Wege-Ventile. Bei nicht vollständig schließenden Ventilen kommt es zu unnötigen Wärmeverlusten oder zur Entladung des Brauchwasserspeichers (BWS). Die Beladung des BWS erfolgt meistens mit höheren Temperaturen als die Beladung des Pufferspeichers. Deswegen verursacht ein undichtes Ventil während der Beladung des Pufferspeichers in der Heizperiode die Entladung des BWS. Im Sommer dagegen arbeitet die Wärmepumpenanlage nur im Brauchwasserbetrieb und eine unnötige Beladung des Pufferspeichers durch ein undichtes Ventil führt zu reinen Verlusten.

-- Nicht optimale Beladung der Kombispeicher. Die verschiedenen Typen von Kombispeichern kombinieren Pufferspeicher mit Brauchwasserspeicher. Bei diesen Varianten kommt es leider zu Fällen bei denen der Pufferspeicherteil mit unnötig hohen Vorlauftemperaturen beladen wird. Das Ergebnis sind eine schlechtere Effizienz der Wärmepumpe und niedrigere Arbeitszahlen. In Extremfällen werden die beiden Bereiche des Kombispeichers mit Temperaturen von ca. 55 °C beladen, obwohl für die Fußbodenheizung lediglich 35 °C nötig wären. Es kommt auch bei reinen Pufferspeichern vor, dass sie mit zu hohen Temperaturen beladen werden.

-- Zu leistungsstarke Primärpumpen. Das Problem betrifft meistens die Brunnenpumpen bei den Wasser-Wasser-Wärmepumpen. Bei Sole-Wasser-Wärmepumpen laufen die Solepumpen manchmal auf einer zu hohen Arbeitsstufe. Dies erhöht den Stromverbrauch und senkt die Arbeitszahlen.

Empfehlungen für eine bessere Funktionsweise der Wärmepumpenanlagen:

-- sorgfältige Auslegung der gesamten Anlage, gute Anpassung der einzelnen Elemente der Wärmepumpenanlage (Wärmequelle, Speicher, Wärmesenke,...) und integrale und objektspezifische Planung,

-- Auslegung und Sicherstellung von optimalen Volumenströmen auf Primär- und Sekundärseite, Überprüfung der Beladungsstrategien, insbesondere bei Kombispeichern und Kontrolle der Vorlauftemperatur,

- an den realen Bedarf angepasste Einstellung der Spreizungen und Heizkurven,
- Durchführung des hydraulischen Abgleichs,
- Deaktivierung der Heizstäbe bei Sole-Wasser-Wärmepumpen. Korrekt ausgelegte Soleanlagen erfordern keine zusätzliche Elektroheizung. Eine Ausnahme bei dieser Empfehlung ist die Bautrocknung. Eine zu hohe Beanspruchung der Sonde kann im schlimmsten Fall zu einer Schädigung der Erdsonde führen.
- Überprüfung der Dichtheit der 3-Wege-Ventile,
- sorgfältige und lückenlose Dämmung der Rohrleitungen und anderer Komponenten,
- regelmäßige Reinigung der Ansauggitter bei Luft- und der Filter bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen. Eine Verschmutzung führt zu höheren Druckverlusten und infolgedessen zu einem höheren Stromverbrauch der Brunnenpumpe, der Ventilatoren und/ oder zu einer unzureichenden Wärmezufuhr für die Wärmepumpenanlage,
- Planung und Bau von einfachen Anlagen – mehrere Wärmeerzeuger, komplexe Hydrauliken und Speicherungssysteme weisen oft die gewollte Effizienz nicht auf.

7 Zusammenfassung und Fazit

Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass Wärmepumpen technisch grundsätzlich ausgereift sind, es jedoch Optimierungsbedarf bei der Einbindung der Anlagen in das Versorgungssystem des Hauses und bei den Regelungsstrategien der Wärmepumpenanlagen gibt. So kann z.B. eine schlecht eingebundene Wärmequelle oder nicht korrekt ausgelegte Wärmesenke die Arbeitszahl der Wärmepumpe verringern. Die mittleren Arbeitszahlen der Solewärmepumpenanlagen von 3.7 für die Bereitstellung der Heizwärme als auch für die Erwärmung des Brauchwassers lassen hoffen, dass diese Wärmepumpen schon bald im Durchschnitt die oft zitierten Jahresarbeitszahlen von vier erreichen werden. Mehrere Anlagen, die im Feldtest mittlere Arbeitszahlen von über vier erreicht haben, zeigen, was im Bereich des Möglichen liegt. Für den reinen Heizbetrieb der Wärmepumpenanlagen liegt der Mittelwert der Arbeitszahlen bei 4.1. Kernpunkt ist hier die sorgfältige Auslegung des Systems in seiner Gesamtheit und nicht nur seiner Einzelkomponenten. Bei Luftwärmepumpen gibt es noch Optimierungspotentiale. Schon jetzt weisen diese Anlagen in neuen Gebäuden im Durchschnitt gegenüber Gas-Brennwertkesseln eine positive Primärenergiebilanz auf. Um die Ökobilanz weiter zu verbessern, sollten die Arbeitszahlen der Luft-Wärmepumpen deutlicher über 3 liegen.

Das Projekt „WP-Effizienz“ läuft noch bis zum Sommer 2010. Die erfassten Messdaten werden weiter zur Berechnung der Effizienz von Wärmepumpen und damit zu einer besseren Transparenz der Technologie dienen. Detaillierte Auswertungen und weitergehende Problemanalysen helfen bei der Weiterentwicklung und Steigerung der Effizienz von Wärmepumpenanlagen.

Das Projekt wird gefördert vom BMWi unter der Fördernummer 0327401A sowie von den beteiligten Wärmepumpenherstellern und zwei Energieversorgern.

Autor:

Dipl.-Ing. Marek MIARA
Thermal Systems and Buildings
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE