



Erdgekoppelte Wärmepumpen für Neubauten

Abb. 1



- ▶ **Feldtest belegt: Geräte und Systeme sind technisch ausgereift**
- ▶ **Durchschnittliche Jahresarbeitszahl für Warmwasser und Heizung erreicht 3,9**
- ▶ **Häufigster Schwachpunkt: Systemauslegung und Regelstrategie**
- ▶ **Einfache Systeme sind meist im Vorteil**

Wärmepumpe mit installierter Messtechnik.

In den letzten Jahren hat die Wärmepumpe einen steigenden Anteil am Heizungsmarkt erobert. Sowohl für den Neubau als auch bei der Gebäudesanierung versprechen sich die Nutzer niedrige Energiekosten und einen umweltfreundlichen sowie wartungsarmen Betrieb. Wie effizient Wärmepumpen arbeiten, wird vielfach kontrovers diskutiert. Die Debatte resultiert zum einen aus konkurrierenden Interessen von Herstellern, Energieversorgern und Brennstoffanbietern. Sie zeigt aber insbesondere, dass belastbare Messdaten aus der Praxis noch nicht ausreichend verfügbar sind. Messergebnisse von Testständen sind für den realen Betrieb nur sehr bedingt aussagekräftig, denn die Effizienz der Wärmepumpe ist sehr viel stärker von den Einsatzbedingungen abhängig als die anderer Heizsysteme. So ist beispielsweise ein Brennstoffkessel auf eine möglichst niedrige Temperatur der Wärmeverteilung im Haus angewiesen – bei der Wärme-

pumpe spielt zusätzlich das Temperaturniveau und die Anbindung der genutzten Umweltwärme eine zentrale Rolle. Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe, als ein Maß der Energieeffizienz, kann daher von Objekt zu Objekt erheblich schwanken.

Der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderte Feldtest „Wärmepumpen-Effizienz“ des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE soll nun Klarheit für den Einsatz in Neubauten mit einem niedrigen Jahresheizwärmebedarf zwischen ca. 40 und 100 kWh/m² bringen. Obwohl die Forschungsarbeiten erst im Sommer 2010 abgeschlossen sind, liegen bereits Ergebnisse aus zwei kompletten Messjahren vor.

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse für die Erdsonden- und Erdkollektoranlagen vorgestellt. Die Ergebnisse für Luft-Wärmepumpen sollen gesondert publiziert werden.

► Wärmepumpen in Neubauten mit niedrigem Heizwärmebedarf

Im Feldtest „Wärmepumpen-Effizienz“ wurden Wärmepumpen in Neubauten mit niedrigem Wärmebedarf untersucht. Bei einer beheizten Wohnfläche zwischen 120 und 350 Quadratmetern (194 m² im Mittel) liegt die installierte Wärmeleistung zwischen 5 bis 10 kW. Die Wärmeverteilung erfolgt fast ausschließlich über Fußbodenheizungen. Von den 68 untersuchten Wärmepumpen, die das Erdreich als Wärmequelle nutzen, werden 50 Systeme mit Erdsonden und 18 mit Erdkollektoren betrieben.

Datenerfassung

Umfangreiche messtechnische Analysen sollten die Effizienz verschiedener Anlagenkonzepte bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen ermitteln und Grundlagen für die Verbesserung der Geräte und der Systemtechnik schaffen. Dazu werden Temperaturen, Durchflussmengen, Wärmemengen sowie der Stromverbrauch der Wärmepumpe und der Hilfsantriebe kontinuierlich gemessen und täglich per Datenfernabfrage abgerufen, auf Plausibilität geprüft und ausgewertet. ■

Effizienz-Kenngröße

Die wichtigste Kenngröße für die Effizienz einer Wärmepumpe ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Sie gibt das Verhältnis der über ein Jahr abgegebenen Wärmemenge zur aufgewendeten Energie wieder. Auch wenn die Jahresarbeitszahl nicht alle Aspekte der Wärmepumpe erfasst, beschreibt sie die Effizienz einer Wärmepumpe unter realen Bedingungen. Die Deutsche Energie-Agentur bezeichnet eine Elektro-Wärmepumpe als „energieeffizient“, wenn die Jahresarbeitszahl über 3,0 liegt und als „nennenswert energieeffizient“, wenn sie über 3,5 liegt.

► Auswertung

Mit der Auswertung zweier kompletter Jahre steht eine belastbare Datenbasis zur Verfügung. Die monatlichen Arbeitszahlen der Erdreich-Wärmepumpen zeigt **Abb. 2**. Die elektrische Zusatzheizung, die nur bei weni-

gen Anlagen meistens für die Bauaustrocknung im Einsatz war, wird hierbei berücksichtigt. Die Zahlen auf den Monatsbalken entsprechen den jeweils berücksichtigten Anlagen. Die Balken auf den dargestellten

monatlichen Arbeitszahlen geben die Heiz- (rot) und Trinkwarmwasserenergie (blau) in absoluten Werten, die Kreisdiagramme darunter die entsprechenden relativen Werte, wieder. Über alle Anlagen und den Betrachtungszeitraum gemittelt, liegt die Arbeitszahl bei 3,9. Die in den Sommermonaten niedrigeren Arbeitszahlen erklären sich aus dem relativ höheren Anteil der Warmwasserbereitung, die einen größeren Temperaturhub erfordert.

Im gesamten Betrachtungszeitraum erzielten Sonden-Anlagen eine um 0,13 höhere Arbeitszahl als die oberflächennahen Erdkollektoranlagen. Allerdings sind einige der Jahresverläufe noch nicht vollständig verstanden, so dass das Ergebnis mit einiger Vorsicht interpretiert werden muss: Die Erdkollektoren beziehen die Wärme aus dem Erdreich in 1 bis 2 m Tiefe. Hier haben Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur sowie Niederschlag noch einen merklichen Einfluss. Die Erdreichtemperaturen sind in den Herbstmonaten wesentlich höher als im Frühjahr. Für Erdsondenanlagen spielen solche Effekte keine Rolle. Ab einer Tiefe von ca. 10 m werden die Temperaturen kaum noch beeinflusst. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte sollten sich die Arbeitszahlen der Anlagen mit Kollektoren in den Sommer-, evtl. auch den Herbstmonaten, an jene der Anlagen mit Sonden annähern oder diese ggf. übersteigen.

Die Zusammenhänge zwischen den Arbeitszahlen und den Temperaturen der Wärmequelle und der Wärmesenke zeigt **Abb. 3**. Die Soletemperaturen der Kollektor- und Sondenanlagen bewegen sich im Jahresverlauf zwischen 4 und 13 °C. Die Wärmesenkentemperatur ergibt sich als gewichtetes Mittel des Heizkreises (36 °C) und der Beladetemperatur des Trinkwasserspeichers (51 °C). Die Differenz zwischen dieser und der Wärmequellentemperatur ergibt den Verlauf des Temperaturhubs. Es bestätigt sich, dass sich die Arbeitszahl indirekt proportional zum Temperaturhub verhält. ■

Abb. 2: Mittlere Arbeitszahlen, Struktur von Heizenergie und Warmwasser

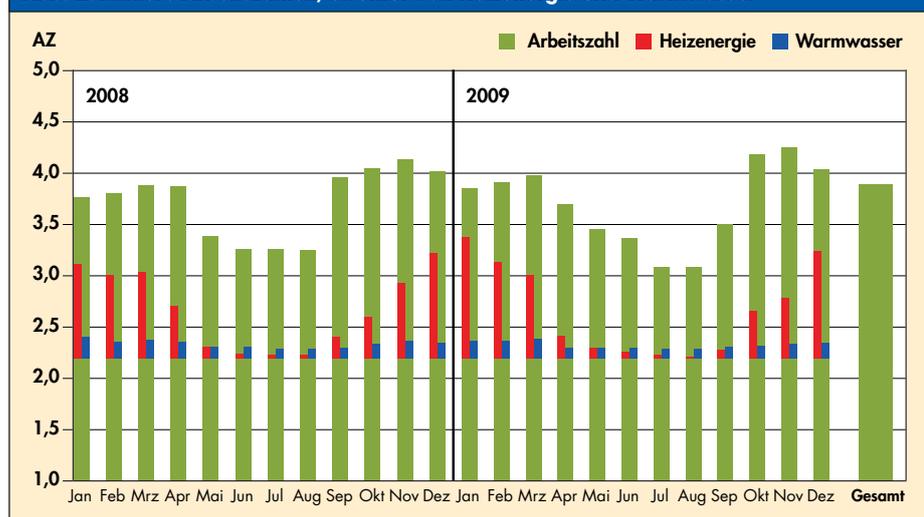
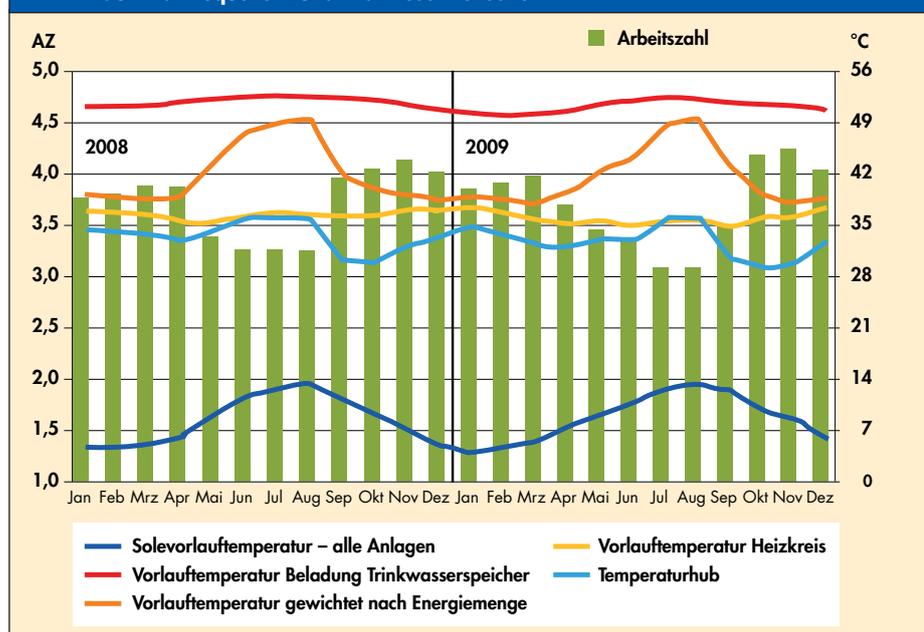


Abb. 3: Zusammenhänge zwischen den Arbeitszahlen und den Temperaturen auf Wärmequellen- und Wärmesenkenseite



Neue Materialien für Erdsonden

Verbesserungen im Detail können die Effizienz und Wirtschaftlichkeit erdgekoppelter Wärmepumpen weiter steigern. Exemplarisch für eine Vielzahl von Forschungsanstrengungen soll hier ein Projekt vorgestellt werden, bei dem neue Kunststoffmaterialien für Erdsonden mit hoher Wärmeleitfähigkeit erforscht wurden.

Bisher bestehen Erdwärmesonden meist aus relativ schlecht wärmeleitendem Polyethylen, wodurch die Wärmeübertragungsleistung gemindert ist. Das Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau (FITR) entwickelt gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft eine Kunststoffmischung mit deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit. Dazu mischten die Forscher dem Polyethylen verschiedene wärmeleitfähige Materialien bei. Im Labormaßstab prüften sie dieses Compound auf Wärmeleitfähigkeit, Bearbeitbarkeit (extrudieren, schweißen) und mechanische Eigenschaften. Anschließend optimierten sie das polymere Rohmaterial, extrudierten die wärmeleitfähigen Rohre als Pilotserie und stellten erste Erdwärmesonden als Prototyp her. Die Wärmeleitfähigkeit der so entstandenen Rohre steigerte sich von 0,4 W/mK auf 1,0 W/mK. Die Sonden konnten analog zu konventionellen Erdwärmesonden gelagert, transportiert und installiert werden. Die verbesserte Wärmeübertragung ermöglicht kürzere Sonden und damit geringere Bohrtiefen, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit verbessert. Aktuell finden in einem Geothermiefeld bei Weimar Langzeitmessungen statt.

Abb. 4: Neue Sondenmaterialien verbessern den Wärmeübertrag



► Einfachheit zahlt sich aus

Wie wirkt sich das Speicherkonzept auf die Anlageneffizienz aus? Während sich Systeme mit oder ohne Pufferspeicher hier kaum unterscheiden, schneiden die Systeme mit einem kombinierten Warmwasser- und Pufferspeicher deutlich schlechter ab (Abb. 5). Ein Grund dafür ist die oft beobachtete, nicht optimale Beladestrategie des Speichers.

Auch der Aufbau des hydraulischen Systems hat einen großen Einfluss. Die Forscher unterteilten die Anlagen anhand ihrer Komplexität in drei Gruppen. Anlage mit einfacher Hydraulik und einer geringen Anzahl an Systemkomponenten zählten zu der Gruppe „Komplexität 1“. Diese erreichen im Mittel Arbeitszahlen von knapp 4,0. Anlagen der Gruppe 3 mit mehreren Pumpen, 3-Wege-Ventilen, zusätzlichen Wärmetauschern, Kombispeicher und aktiver oder passiver Kühlmöglichkeit erreichten deutlich geringere Werte. Es zeigte sich, dass komplizierte Systeme schwieriger zu regeln und weniger robust gegenüber eventuellen Installationsfehlern sind. Je einfacher die hydraulischen Systeme sind, desto besser sind in der Regel die Arbeitszahlen.

Fehler, die sich vermeiden lassen

Die detaillierte Auflösung der Messdaten ermöglichte es, Fehlerquellen zu analysieren und Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Bei Systemen mit Kombispeichern oder in Kombination mit Solaranlagen verminderte zum Beispiel häufig ein nicht optimales Wärme-management des Speichers die erreichbaren Arbeitszahlen. In Extremfällen wurde der Heizwärmespeicher auf ca. 55 °C beladen, obwohl die Fußbodenheizung lediglich 35 °C benötigt.

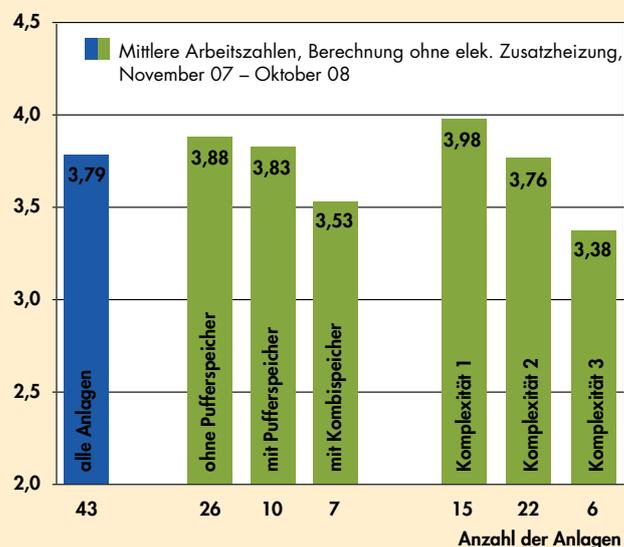
Nicht vollständig schließende 3-Wege-Ventile sowie falsch bzw. nicht eingebaute Rückschlagklappen führten zu unnötigen Wärmeverlusten oder sogar zur Entladung des Brauchwasserspeichers. Für Lade- bzw. Heizkreisläufe sollten Hocheffizienzpumpen eingesetzt werden. Bessere Regelalgorithmen könnten zudem vielfach die Laufzeiten deutlich vermindern. Die Solepumpen laufen zum Teil auf einer zu hohen Arbeitsstufe.

Was ist bei der Installation der Wärmepumpen zu beachten?

Für eine bessere Funktionsweise der Anlagen formulierten die Forscher unter anderem die folgenden Empfehlungen:

- Sorgfältige Auslegung der gesamten Anlage, Abstimmung der einzelnen Komponenten (Wärmequelle, Speicher, Wärmesenke,...) und eine integrale, d.h. gewerkeübergreifende, sowie eine objektspezifische Planung.
- Überprüfung der Beladestrategien der Speicher, insbesondere bei Kombispeichern, und Kontrolle der Vorlauftemperatur.
- Sorgfältiger hydraulischer Abgleich sowie lückenlose Dämmung von Rohrleitungen und Komponenten.
- Deaktivierung der Heizstäbe. Korrekt ausgelegte Anlagen erfordern keine zusätzliche Elektroheizung, es sei denn bei der Bautrocknung,.
- Planung und Bau von Anlagen mit einfachen hydraulischen Schemata – mehrere Wärmeerzeuger, komplexe Hydrauliken und Speicherungssysteme weisen oft die gewollte Effizienz nicht auf.

Abb. 5: Arbeitszahlen nach Speichermodell und Komplexität



► Fazit und Ausblick

Sowohl Erdsonden- als auch Erdkollektoranlagen sind technisch ausgereift und erreichen unter realen Bedingungen eine hohe Effizienz. Im Feldtest der Neubauten lag die mittlere Arbeitszahl bei 3,9 für den kombinierten Heiz- und Warmwasserbetrieb. Bei mehreren Anlagen wurden im kombinierten Betrieb Arbeitszahlen von über vier gemessen. Dies zeigt, was möglich ist. Entscheidend ist die Sorgfalt der Planer und Handwerker bei Auslegung, Installation und Regelstrategie. Die Schulung und Weiterbildung der entsprechenden Fachkräfte scheint Wirkung zu zeigen: Neuere Anlagen weisen in der Regel eine deutlich höhere Ausführungsqualität auf als ältere Anlagen. Nicht zuletzt haben auch die Bewohner mit ihrem Verhalten einen großen Einfluss auf die Systemeffizienz. Sie sollten daher Unterstützung für das bessere Verständnis des Wärmepumpenbetriebes erhalten.

Wie sich Wärmepumpen als Ersatz von Ölkesseln in Altbauten bewähren, untersuchen die Forscher des ISE in einem weiteren Feldtest. Hierzu wurden Gebäude ausgewählt, die vor 1980 gebaut und bisher nicht oder nur geringfügig energetisch saniert wurden. Im Mittel wurde bei diesem Gebäudebestand eine Arbeitszahl von 3,3 gemessen. Entscheidender Faktor ist hier vielfach die Vorlauftemperatur der Heizung. Je niedriger diese ist, umso effektiver arbeitet die Wärmepumpe. Um sie möglichst unter 50 °C zu halten, sollten die Heizflächen gegebenenfalls vergrößert werden. Großen Einfluss hat auch das hydraulische Konzept, der hydraulische Abgleich sowie die optimale Einstellung der Heizkurve. Eine sorgfältige Planung und Installation der Anlagen verbessert nicht nur die Arbeitszahl, sondern minimiert den Stromverbrauch für alle Komponenten des Wärmepumpensystems.

Nach Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpe (BWP) e.V. wurden in Deutschland 2009 rund 55.000 Wärmepumpen verkauft. Der Gesamtbestand stieg damit auf über 330.000. Der Verband geht in einer Studie von stetig steigenden Absatzzahlen aus. Erheblich zugenommen hat laut Branchenstatistik die Anzahl der reversiblen Wärmepumpen, die nicht nur zum Heizen, sondern auch zum Kühlen verwendet werden können. Dieser Trend dürfte sich fortsetzen. In den kommenden Jahren könnte die Elektrowärmepumpe zunehmend Konkurrenz durch wärmegetriebene Systeme bekommen. Verschiedene Hersteller haben Varianten der üblicherweise mit Gas befeuerten Geräte in der Entwicklung oder bereits im Feldtest. Sie dürften in erster Linie für sanierte Altbauten in Frage kommen.

PROJEKTORGANISATION

■ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Rolf Stricker
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen
0327401A; 0327405A

IMPRESSUM

■ ISSN
0937 – 8367

■ Version in Englisch
Das Dokument finden Sie unter www.bine.info.

■ Herausgeber
FIZ Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Urheberrecht
Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

■ Autor
Dr. Franz Meyer

► PROJEKTADRESSEN

Wärmepumpen Feldtest „Wärmepumpen-Effizienz“

- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Marek Miara
Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg

Erdsondenentwicklung

- Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V.
Ute Büchner
Georg-Haar-Str. 5
99427 Weimar

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Internet

- <http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de>
- <http://wp-im-gebaeudebestand.de>

Abbildungsnachweis

- Hintergrundbilder, Abb. 1-3 und Abb. 5: ISE, Freiburg
- Abb. 4: Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau, Weimar

Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als online-Dokument unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.

BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis

BINE Informationsdienst berichtet zu Energieeffizienztechnologien und Erneuerbaren Energien.

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt die BINE-Redaktion, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE Informationsdienst wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Kontakt

Haben Sie Fragen zu diesem **projektinfo**? Wir helfen Ihnen weiter:

Tel. 0228 92379-44

 **BINE**
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185 – 197
53113 Bonn

kontakt@bine.info
www.bine.info