Energiebedarf

Feldtest bestätigt hohe Effizienz von Wärmepumpen

Markus Ewert, München

Die in einem Feldtest untersuchten Wärmepumpenanlagen weisen eine hohe Effizienz auf. Dadurch lassen sich selbst gegenüber neuen Kesseln Primärenergieeinsparungen von 20 bis 40 % realisieren.

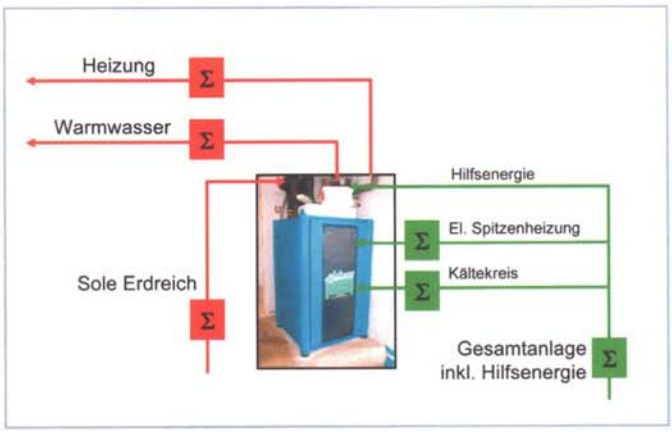

Bild 1

Messaufbau für erdgekoppelte Wärmepumpen mit den verschiedenen Energieströmen auf der Wärme- und Stromseite

Der Feldversuch mit insgesamt 29 meist erdgekoppelten Wärmepumpen und ein Niedertemperatur Gaskessel wurde von E.ON Energie und Partnerunternehmen in den beiden Heizperioden 2001/2002 und 2002/2003 durchgeführt [1]. Da die Datenerfassung und Installation der Anlagen nicht immer korrekt erfolgte, sind in den folgenden Diagrammen nur ein Teil der Objekte dargestellt. Die Ergebnisse der ersten Heizperiode wurden durch die hier dargestellten Daten der etwas kälteren zweiten Heizperiode bestätigt. Im Mittel betrug die Gradtagszahl über alle Standorte ca. 3 600 Kd/a. Trotzdem war der gemessene Wärmeverbrauch deutlich höher als der nach EnEV berechnete.

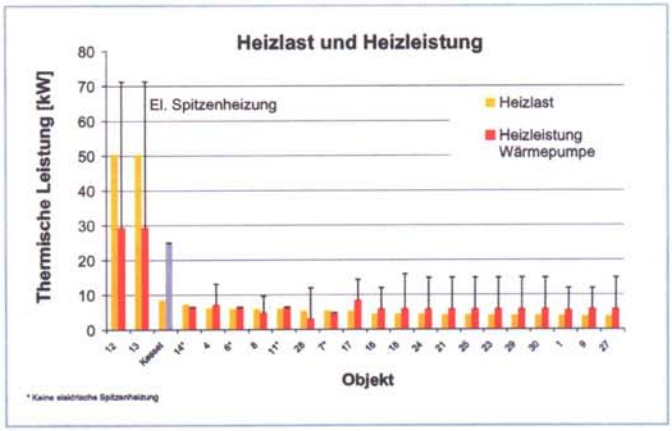

Bild 2

Vergleich der berechneten Heizlast nach DIN mit der Wärmeleistung der Wärmepumpen und des Gesamtsystems Wärmepumpe und elektrische Spitzenheizung

Ziele des Feldversuches waren:

- Stand und Zuverlässigkeit der Technik überprüfen.
- Kosteneinsparungen durch Vereinfachungen im Anlagenaufbau realisieren.
- Effizienz und CO_2-Einsparung ermitteln.
- Wirtschaftlichkeit der Technologie auf Basis der Messergebnisse berechnen.

Autor

Dr.-Ing. Markus Ewert, Jahrgang 1963, war nach der Promotion (RWTH Aachen) bei Imtech in den Bereichen Anlagenplanung/-bau und Simulationstechniken tätig. Heute ist er in der Führungsgesellschaft der E.ON Energie AG u.a. für den Bereich Energieanwendungen zuständig.

		Solewärmepumpen														Andere Systeme			
Objekt		6	7	8	9	11	14	16	17	21	23	25	27	29	30	1	12	13	5
Haustyp		REH	RMH	DHH	DHH	DHH	EG-Whg.	DHH	EFH	DHH	DHH	DHH	DHH	EFH	DHH	EFH	MFH	MFH	DHH
ANutzfläche	m^2	141	136	141	131	141	165	140	173	137	129	137	131	153	129	128	1463	1463	225
QHzgEnEV[1]	kWh/a	7353	5787	7353	7411	7353	13194	6620	9223	8618	6418	8618	7411	8656	6418	6348	64900	64900	11775
QWWEnEV[1]	kWh/a	1768	1696	1768	1633	1768	2058	1752	2157	1715	1612	1715	1633	1907	1612	1606	18288	18288	2813
QEnEV[1]	kWh/a	9121	7483	9121	9044	9121	15252	8372	19915	10333	8030	10333	9044	10563	8030	7954	83188	83188	14588
QEnEV[1]	kWh/m^2 a	65	55	65	69	65	93	60	115	75	62	75	69	69	62	62	57	57	65
Wärmepumpe für		Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hzg	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hz + WW	Hzg	Hzg	Hz + WW
Heizungssystem		SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	SWP	Komp. LWP	GWP	GWP	Gas-therme
Warmwassersystem							–										–	–	
Heizlast nach DIN	kW	5,9	5,3	5,9	3,7	5,9	7,2	4,4	5,2	4,2	4,0	4,2	3,7	4,0	4,0	3,9	50,3	50,3	8,3
installierte Leistung WP	kW_{th}	6,4	4,8	4,8	5,9	6,4	6,4	6,0	8,4	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,5	29,3	29,3	25,0
installierte Leistung el. ZuHzg	kW_{th}	–	–	6,0	9,0	–	–	6,0	6,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	6,4	6,0	6,0	–
Messung:																			
$Q_{Hzg\ Verbrauch}$	kWh/a	11391	5209	9688	7053	7052	14671	14653	14858	6106	16604	12345	5645	16221	15755	8125	127620	111520	6535
$Q_{WW,\ Verbrauch}$	kWh/a	2051	1610	2854	713	4654	–	578	1416	644	1436	1927	762	2501	2513	2843	–	–	2625
$Q_{Hzg\ +\ WW,\ Verbrauch}$	kWh/a	13442	6819	12542	7766	11706	14671	15231	16274	6750	18040	14272	6407	18722	18268	10968	127620	111520	9160
$Q_{WP,\ Erzeugung}$	kWh/a	14569	7022	14048	8257	12248	15223	15882	17051	8026	20536	15462	7599	20102	19730	–	136578	116122	10945
β_{WP}[4]	–	3,91	4,23	4,01	–	3,87	4,82	4,66	4,08	–	–	–	–	–	–	3,55	4,72	4,71	–
$\beta_{WP,\ Hilfs}$[4]	–	3,05	3,21	3,26	4,27	3,41	3,79	3,92	3,28	3,58	3,92	3,70	3,33	3,74	3,73	[2] 2,93	3,51	3,48	[3] 1,61
$\beta_{WP,\ Hilfs,\ ZuHzg}$[4]	–	3,05	3,21	3,26	4,27	3,41	3,79	3,92	3,28	3,56	3,92	3,70	3,27	3,74	3,62	[2] 2,73	3,14	3,17	–
e_p[4]	–	0,98	0,93	0,92	0,70	0,88	0,79	0,77	0,91	0,84	0,77	0,81	0,92	0,80	0,83	1,10	0,95	0,95	1,86
e_p[5]	–	0,87	0,82	0,81	0,62	0,78	0,70	0,68	0,81	0,74	0,68	0,72	0,81	0,71	0,73	0,97	0,84	0,84	1,85

[1] Ohne Verteil- und Übergabeverluste
[2] Ohne Lüfterstrom für Zu-/Abluft mit WRG (Anmerkung: konservative Abschätzung)
[3] Primärenergetisch äquivalente $\beta_{WP,\ Hilfs}$ für Heizungsumwälzpumpe: 359 kWh
[4] Primärenergiefaktor Strom inkl. Erneuerbare 3,0
[5] Primärenergiefaktor Strom nur nicht Erneuerbare 2,65

SWP: Solewärmepumpe
GWP: Grundwasserwärmepumpe
LWP: Luftwärmepumpe mit Zu-/Abluftsystem

β_{WP} Jahresarbeitszahl Kältekreis (Wärmeerzeuger)
$\beta_{WP,\ Hilfs}$ Jahresarbeitszahl Kältekreis und Hilfsenergien (Steuerung, Sole- und Heizungsumwälzpumpen)
$\beta_{WP,\ Hilfs,\ ZuHzg}$ Jahresarbeitszahl Kältekreis, Hilfsenergien, el. Zusatzheizung

Tabelle 1

Energetische Kennzahlen der Gebäude und Anlagen, Messergebnisse als Jahresmittelwerte

Messaufbau

Der Messaufbau (**Bild 1**) ist zur möglichst vollständigen Erfassung der Energieströme konzipiert. Damit ist es möglich, die Messdaten zu plausibilisieren. Die Wärmeaufnahme aus der Umwelt, der Stromverbrauch sowie die Wärmeabgabe an das Warmwasser und die Heizung werden gleichzeitig gemessen. Neben der gesamten Stromaufnahme der Wärmepumpe und Umwälzpumpen werden separat auch die Stromaufnahme des internen Wärmepumpenkreises und der elektrischen Spitzenheizung betrachtet. Dadurch sind Aussagen möglich, wie effizient das eigentliche Heizsystem (Wärmepumpenkreis) ohne Hilfsenergie und Spitzenheizung ist und welchen Anteil am Heizenergiebedarf die elektrische Spitzenheizung abdeckt. Die Messwerte werden zeitlich im Abstand von 10 Minuten aufgezeichnet, wodurch auch eine begrenzte dynamische Analyse möglich ist.

Auslegung

Eine Gegenüberstellung der berechneten Heizlasten nach DIN mit den eingesetzten Wärmepumpen zeigt, dass der Heizenergiebedarf der Einfamilienhäuser mit ca. 5 kW Heizlast durch die Wärmepumpen mit ca. 5 bis 6 kW Leistung komplett abgedeckt werden (**Bild 2** und **Tabelle 1**). Die zusätzliche elektrische Spitzenheizung von ca. 6 kW erhöht die

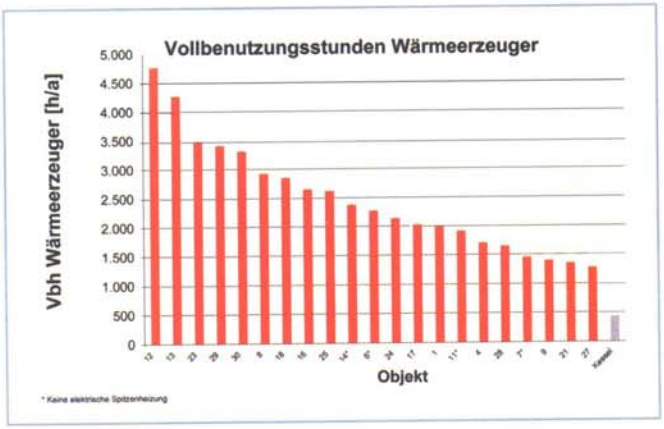

Bild 3

Vollbenutzungsstunden der Wärmepumpen und des Heizkessels

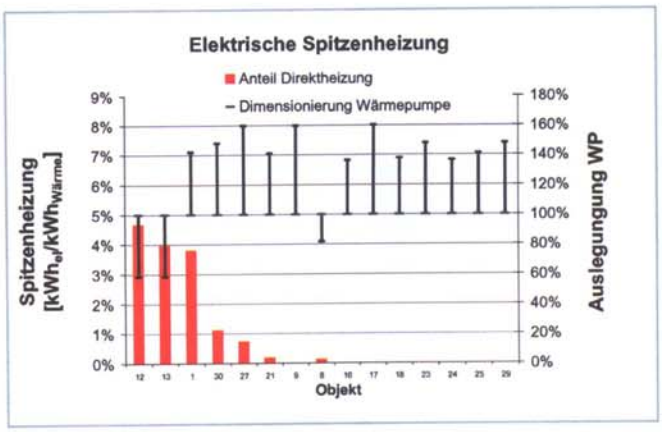

Bild 4

Anteil der elektrischen Spitzenheizung am Wärmeverbrauch und Abweichung der Wärmepumpenleistung von der Heizlast nach DIN (=100 %)

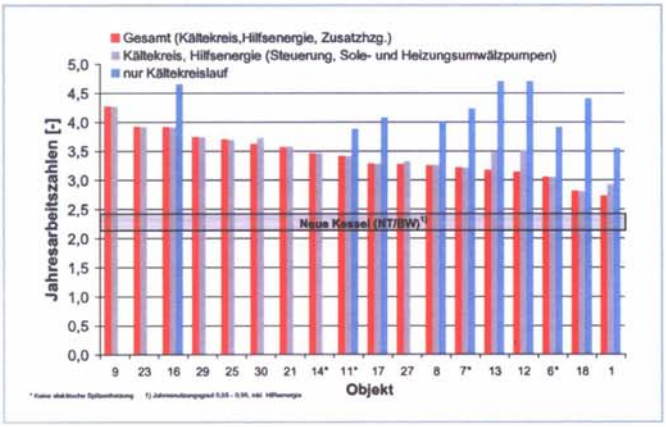

Bild 5

Ergebnisse der gemessenen Jahresarbeitszahlen

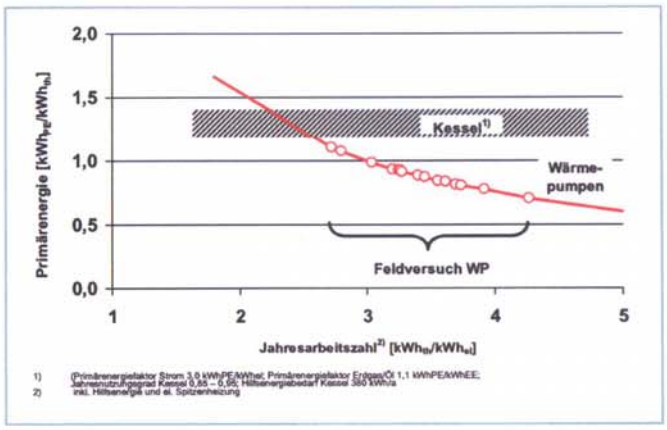

Bild 6

Vergleich der Primärenergiekennzahl bei unterschiedlichen Jahresarbeitszahlen (inkl. Hilfsenergie, Heizungsumwälzpumpen und elektrische Spitzenheizung) mit neuen Kesseln

zur Verfügung stehende Leistung auf das doppelte der berechneten notwendigen Heizlast. Die Anlagen stellen fast alle sowohl den Warmwasserbedarf als auch den Heizwärmebedarf bereit. In den Mehrfamilienhäusern (12 und 13) ist die Wärmepumpe um ca. 40 % kleiner als die berechnete Heizlast nach DIN. Hier ist der Betrieb besonders hinsichtlich des erforderlichen Spitzenstrombedarfs interessant. Die Leistung des Niedertemperaturkessels ist mit 25 kW ca. 3-mal so hoch wie die Heizlast.

In den folgenden Diagrammen sind die Auswertungen der 2. Heizperiode 2002/2003 dargestellt, die die Ergebnisse der 1. Heizperiode bestätigen. Eine Analyse der zweiten kälteren Heizperiode zeigt, dass die meisten Wärmepumpen zwischen 2 000 und 3 000 Vollbenutzungsstunden aufweisen (**Bild 3**). In den Mehrfamilienhäusern (12 und 13) erreichen die Wärmepumpen sogar 4 000 bis 4 500 Vollbenutzungsstunden. Trotz dieser hohen Vollbenutzungsstunden ist der Anteil der Direktheizung bei diesen und auch allen anderen Anlagen gering (**Bild 4**). Selbst bei einer Dimensionierung der Wärmepumpenanlage auf nur 60 % des Heizwärmebedarfs (12 und 13) bleibt der Anteil der Direktheizung in der Heizperiode 2002/2003 unter 5 %. Eine Auslegung der Wärmepumpen auf 60 % der berechneten Leistung führt also in Mehrfamilienhäusern nur zu einem geringen Einsatz der elektrischen Spitzenheizung, obwohl der jährliche Heizwärmeverbrauch während der Messperiode ca. 60 bis 80 % über dem nach EnEV berechneten lag.

Umwelteffekt

Vergleicht man die Ergebnisse der Wärmepumpen mit modernen Kesselanlagen hinsichtlich des Primärenergieeinsatzes je kWh erzeugter Wärme, so liegen die Wärmepumpen aufgrund der hohen Jahresarbeitszahlen im Primärenergieverbrauch ca. 20 bis 40 % unter den Kesselanlagen (**Bild 5** und **6**). Die Anlagenaufwandszahl der Wärmepumpenanlagen inkl. Hilfsenergie für Steuerung und Heizungsumwälzpumpen ist im Mittel 0,87. Der Wert für neue Niedertemperatur bzw. Brennwertkessel liegt bei ca. 1,4 bzw. 1,25 inkl. Strombedarf für Hilfsenergien.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass hier der Primärenergiefaktor für Strom von 3,0 entsprechend der EnEV zugrunde gelegt wurde. Nach Umweltgesichtspunkten ist dies eigentlich nicht sachgerecht. In diesem Faktor sind Stromerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien (Wasser, Wind, Solar, ...) enthalten. Um die Auswirkung einer Anwendungstechnologie primärenergetisch zu bewerten, müsste eigentlich der Primärenergieeinsatz an nicht erneuerbaren Energien für die Stromerzeugung eingesetzt werden. Dieser Faktor ist im deutschlandweiten Mix 2,65 [2]. Dass heißt, die tatsächliche Primärenergieeinsparung gegenüber fossil befeuerten Kesseln ist dann 25 bis 50 %. Die Anlagenaufwandszahl liegt dann im Mittel bei 0,77 (s. Tabelle 1, e_p).

Ähnlich positiv ist das Ergebnis bezüglich der CO_2-Emissionen, wobei die Einsparung gegenüber neuen Ölkesseln wegen des spezifisch höheren CO_2-Ausstoßes von Ölfeuerungen besonders hoch ist und bis zu 50 % betragen kann.

Kosten

Besonders interessant sind die Vollkosten der hier untersuchten Anlagen. Es wurde bei dem Versuch darauf geachtet, die Anlagen möglichst kostengünstig zu erstellen. Aus diesem Grund wurde auf Pufferspeicher grundsätzlich verzichtet. Alleine die Warmwasserspeicher dienten als Speicherelement.

Um möglichst zuverlässig die obere Grenze der tatsächlichen Mehrkosten der Wärmepumpenanlagen zu ermitteln, wurde die Differenz zwischen einer modernen Kesselanlage und der eingebauten Wärmepumpenanlage auf Basis von Angeboten bestimmt und als Förderung an die Haushalte, die an dem Feldversuch teilnahmen, ausgezahlt. Die so ermittelten Mehrkosten von 4 000 bis 5 000 Euro/Anlage sind im Zweifelsfall als obere Grenze anzusehen. Da die Energiekosten der Wärmepumpenanlagen ca. 50 % der Kesselanlagen betragen, sind die Vollkosten über die Betriebszeit von 15 bis 20 Jahren in der Regel niedriger. Im Neubau können mit der Wärmepumpe also CO_2-Einsparungen ohne Mehrkosten realisiert werden.

Zur Zeit schrecken die erhöhten Investitionen Bauherrn offensichtlich noch ab. Dabei wird allerdings nicht berücksichtigt, dass durch die hohe Effizienz der Wärmepumpen die Anforderungen an die Dämmung der Gebäude geringer sind und dort noch Einsparun-

gen möglich wären, die die Mehrkosten der Anlagentechnik kompensieren können.

Zusammenfassung

Aufgrund der Betriebsdaten der Wärmepumpenanlagen kann die Auslegung der Wärmepumpenleistung in Mehrfamilienhäusern auf bis zu 60 % der Heizlast als sinnvoll angesehen werden, da der Direktstromanteil < 5 % des Heizenergiebedarfs ist. In Einfamilienhäusern ist die Auslegung auf die Heizlast ausreichend, um sowohl die Heizung als auch die Warmwassererzeugung abzudecken.

Die untersuchten Wärmepumpenanlagen weisen eine hohe Effizienz auf (Jahresarbeitszahlen 3,0 bis 3,8 inkl. Hilfsenergie der Anlage, Heizungsumwälzpumpen und Spitzenheizung). Dadurch lassen sich selbst gegenüber neuen Kesseln Primärenergieeinsparungen von 25 bis 50 % realisieren.

Energiekosten sind bei heutigen Preisen ca. 50 % niedriger als bei Kesseln. Mit Mehrkosten für die Investition von ca. 4 000 bis 5 000 Euro liegen die Vollkosten im Neubau meist unter denen von Kesselanlagen. Die Mehrkosten lassen sich aufgrund der hohen Effizienz über Einsparungen im Gebäudebereich kompensieren.

Besonders in Gegenden, in denen kein Versorgungsnetz mit Fernwärme oder Erdgas zur Verfügung steht, d.h. bei geringen Bebauungsdichten, ist die Wärmepumpe ideal einsetzbar, da das Stromnetz immer vorhanden ist und die CO_2-Einsparung gegenüber den eingesetzten Ölkesseln hoch ist.

Literatur

[1] Wärmepumpenfeldtest der E.ON Energie AG und Partner über zwei Heizperioden 2001-2003, Interner Abschlussbericht Juni 2004, Informationen: markus.ewert@eon-energie.com

[2] GEMIS 4.14, Stand September 2002, www.gemis.de

Entdecken Sie die Lösung

Qualität und Komfort – das erwarten Ihre Kunden. Doch Qualität und Komfort sind nicht nur eine Frage der Technologie. Deshalb kombinieren wir hochwertige Produkte, abgestimmte Systeme und Serviceleistungen zu kompletten Heizlösungen. Heizlösungen, die begeistern, weil sie die individuellen Wünsche Ihrer Kunden am besten erfüllen und Ihre Beratungskompetenz langfristig stärken.

ELCO KLOCKNER Heiztechnik

ISH: Halle 8.0, Stand F44

Freuen Sie sich auf neue Perspektiven!