Analyse von Wärmepumpenanlagen mit Direktverdampfung mit dem AIT – Standardmonitoring

Zusammenfassung: Die Effizienz von Wärmepumpenheizungsanlagen mit Direktverdampfung sowie der Einfluss von aktuellen Planungstrends auf die Effizienz dieser Anlagen wird analysiert und diskutiert. Als Basis dienen die Monitoring Daten von 16 über ein Jahr lang vermessene Anlagen. Die Analyse bestätigt Wärmepumpen als effiziente Technologie, sofern gewisse Kriterien bei der Planung und Ausführung der Anlagen eingehalten werden. Generell zeichnet sich ein Trend zu immer höheren, die Vorgaben für Investitionsförderungen, übersteigenden Jahresarbeitszahlen ab.

Analysis of heat pump systems with direct evaporation using Austrian Institute of Technology (AIT) standard monitoring

Summary: The efficiency of heat pump heating installations with direct evaporation, as well as the impact of present design trends on the efficiency of such plant, is analysed and discussed. This is based on the data from 16 systems monitored over a year. The analysis has proved heat pumps to be an efficient technology provided certain criteria are observed in the design and construction of such systems. There is a general trend towards increasing annual generation levels, which are higher than those required for investment promotion schemes.

1. Einleitung

In Kapitel 1 werden nach einer kurzen Darstellung des Energieverbrauchs in Österreich, die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen sowie die sich daraus ergebende Notwendigkeit der Umstellung der Energieversorgung behandelt.

1.1. Allgemeine Energiesituation

Die Energieversorgung in Österreich wird nach wie vor von den fossilen Brennstoffen dominiert. So lag ihr Anteil am Bruttoinlandsverbrauch Ende 2007 bei 73,1 %, wobei Öl einen mit 40,8 % einen über dem

EU-Schnitt liegenden Verbrauchswert aufwies, während der Kohleanteil unter dem EU Durchschnitt liegt. (BMWFJ 2009). Den größten Anteil am Energieverbrauch hat dabei der Verkehr mit 35 %, gefolgt von der Industrie (29 %) und den Haushalten (24,3 %), wobei die privaten Haushalte Energie primär für Raumheizung und Warmwasserbereitung verbrauchen (BMWFJ 2009).

1.2. Zielvorgaben

Da Treibhausgase (THG) ganz allgemein als der Hauptverursacher der globalen Erderwärmung gesehen werden, wurden in den letzten Jahren vermehrt Anstrengungen auf nationaler, internationaler sowie supranationaler Ebene unternommen, um ihren Ausstoß zu reduzieren. So sehen sowohl das Kyoto Protokoll als auch die so genannte „Erneuerbare-Energien-Richtlinie“ verbindliche THG-Reduktionsziele vor.

Im Rahmen des erst genannten Abkommen hat sich die EU völkerrechtlich verbindlich verpflichtet, ihre THG-Emissionen im Zeitraum 2008 bis 2012 im Vergleich zum Basisjahr 1990 um 8 % zu senken. Für Österreich gilt aufgrund einer EU-internen Lastenaufteilung ein Reduktionsziel von –13 %. Diese Reduktion soll durch eine Forcierung der drei Säulen „Nutzung von Reduktionspotenzialen“, „Förderung der Entwicklung neuer Technologien“ und „Nutzung der flexiblen Instrumente“ erreicht werden. Ein wichtiger Teil kommt dabei, aufgrund der bereits dargestellten Bedeutung, der Steigerung der Energieeffizienz im Sektor Raumwärme zu (BMLFUW 2007). Die EU hat Ende 2008 in einer Richtlinie zur „Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ den Mitgliedsstaaten konkrete Zielvorgaben gesetzt, um die in einer Ratsitzung im März 2007 beschlossenen so genannten 20-20-20 Ziele bis zum Jahr 2020 zu erreichen. Für Österreich wurde dabei ein Zielwert von 34 % Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch im Jahr 2020 festgelegt. (Richtlinie 2009/28/EG (EU 2009))

Abb. 1: Darstellung der Energieströme einer Wärmepumpe (Eigene Darstellung).

Abb. 2: Gütesiegel für Wärmepumpen, EHPA.

Abb. 3: EU-CERT HP „Europäischer Zertifizierter“ Wärmepumpeninstallateur.

1.3. Umstellung der Energieversorgung

Österreich kann obige Zielvorgaben nur erreichen, wenn verstärkt auf Energieversorgungstechnologien gesetzt wird, die für Umwelt und Lebewesen dauerhaft verfügbar und nachhaltig verträglich sind, konkret durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern. Energieeffizienz wird dabei als eine wesentliche Voraussetzung gesehen, um einen solchen Energieträgerwechsel zu schaffen. Die Wärmepumpe kann eine der Schlüsseltechnologien bei diesem Energieträgerwechsel sein, da durch sie Umweltwärme, welche in der Erneuerbaren-Energierichtlinie als erneuerbare Energie anerkannt wurde, erschlossen wird.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieser Arbeit, die Effizienz von Wärmepumpenheizungsanlagen, im besonderen solche mit Direktverdampfung, sowie den Einfluss von aktuellen Planungstrends auf die Effizienz dieser Anlagen, zu analysieren und diskutieren. Als Basis dienen Monitoring-Daten von 16 Anlagen, welche im Zeitraum von 1986 bis 2005 in Betrieb genommen und im Rahmen des dreistufigen AIT-Monitorings über einen Zeitraum von jeweils einem Jahr vermessen wurden.

2. Wärmepumpen eine Schlüsseltechnologie?

Das nachfolgende Kapitel 2 beschreibt kurz die Funktionsweise einer Wärmepumpe, bevor die 3 Säulen der Qualitätssicherung, der Gütesiegel als Ausdruck für die Qualität des Produktes, die Notwendigkeit einer qualifizierten Ausbildung sowie das Monitoring von Wärmepumpenanlagen, näher dargestellt werden.

2.1. Allgemein

Als Wärmepumpen werden Aggregate bezeichnet, die Wärme bei einem niedrigen Temperaturniveau aufnehmen und unter Zufuhr von Antriebsenergie (mechanische Energie oder Wärme mit höheren Temperaturen) Wärme auf einem höheren, nutzbaren Temperaturniveau abgeben, siehe *Abbildung 1*. Damit nutzt eine Wärmepumpe die in Luft, Wasser und Erdreich gespeicherte Umweltenergie zur Wärmeversorgung eines Hauses, zur Warmwasserbereitung oder in der Industrie zur Wärmerückgewinnung. Diese Wärme wird zum Beispiel bei einem Einfamilienhaus aus dem Erdreich bei Temperaturen von etwa -5°C bis $+10^{\circ}\text{C}$ gewonnen und mit ca. 30°C – 45°C an das Heizsystem abgegeben. Je kleiner dabei der Temperaturhub

ist (z. B. 0°C auf 35°C), desto weniger Antriebsenergie wird benötigt, und umso höher ist die Energieeffizienz dieses Systems (Huber 2006, S. 10).

Eine Wärmepumpenanlage benötigt für das „Ernten“ der Umweltenergie einen speziellen Anlagenteil, der mit dem Fachbe-

griff „Wärmequellenanlage“ oder „Wärmequellensystem“ bezeichnet wird. Als solche Systeme kommen Konstruktionen zum Einsatz, die es ermöglichen, die Wärme aus der Luft, dem Grundwasser und dem Erdreich zu gewinnen. Da die Wärmequellenanlage einen großen Einfluss auf die Effizi-

Abb. 4: Datenfluss von der Datenerhebung bis zur Auswertung (Huber 2005).

Abb. 5: Schema einer Wärmepumpe mit Direktverdampfung (Eigene Darstellung).

TABELLE 1

Standorte und Jahr der Inbetriebnahme der untersuchten Wärmepumpenanlagen

PLZ	Ortsname	Inbetriebnahmejahr	PLZ	Ortsname	Inbetriebnahmejahr
6330	Kufstein	2001	3920	Gr. Gerungs 2	1999
2651	Reichenau/Rax	2002	3844	Schönfeld	1998
7341	St. Martin	2003	3500	Gneixendorf*	1999
5222	Pfaffstätt	2003	3133	Stollhofen*	1986
4824	Gosau	2001	3710	Ziersdorf	2001
3830	Götzles	2002	4694	Ohlsdorf	2001
3920	Gr. Gerungs 1*	1997	3813	Dietmanns	2004
2801	Katzelsdorf	2000	84364	Brombach	2004

enz der Wärmepumpenheizungsanlage hat, ist es wesentlich die Wärmequelle ausreichend groß zu dimensionieren. Nur so kann die Wärmepumpe der Wärmequelle die Energie auf möglichst hoher Temperatur entziehen. Die Norm VDI 4640 (2001) und das ÖWAV-Regelblatt 207 (2009) beinhalten wesentliche Informationen für die Planung der Wärmequellenanlagen.

2.2. Qualitätssicherung

Die Qualität von Wärmepumpenanlagen lässt sich im Wesentlichen auf zwei Teilbereiche zurückführen. Zum einen muss das Gerät bestimmten Leistungskriterien genügen; zum anderen sind die Planung, Dimensionierung und Ausführung der gesamten Anlage wesentlich für die Errichtung einer energieeffizienten Anlage.

Dies wird auch von den Förderstellen anerkannt. Sie knüpfen die Vergabe von Förderungen für die Anschaffung von innovativen Wärmepumpenheizungsanlagen zunehmend an Qualitätssichernde Maßnahmen.

2.2.1. Gütesiegel

Bereits 1998 wurde von der D-A-CH Gruppe (Initiativkreis Wärmepumpe, Deutschland; Fördergemeinschaft Wärmepumpe, Schweiz; Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe, Österreich) ein „Gütesiegel für Wärmepumpen“ ins Leben gerufen. Dieses Gütesiegel war im deutschsprachigen Raum so erfolgreich und wichtig geworden, sodass es 2007 vom europäischen Wärmepumpenverband (EHPA) übernommen wurde. Mittlerweile ist das, in *Abbildung 2* dargestellte, nun europäische Wärmepumpengütesiegel in weiteren vier Ländern verfügbar (EHPA 2010).

Dieses Gütesiegel soll dem Kunden/der Kundin die Kaufentscheidung zwischen unterschiedlichen Wärmepumpen erleichtern und helfen, das inzwischen aufgebaute Vertrauen in die Zuverlässigkeit von Wärmepumpen zu erhalten.

2.2.2. Ausbildung

Wie bereits im Zusammenhang mit dem Gütesiegel angesprochen, hängt die Qualität einer Wärmepumpenanlage u. a. ganz wesentlich von der Planung, Dimensionierung und Ausführung der Anlage ab. Die Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe hat es sich bereits 2001 gemeinsam mit dem damaligen arsenal research – heute AIT – zur Aufgabe gemacht, eine Zertifizierung von Wärmepumpen-Installateuren zu realisie-

ren. Diese in Österreich entwickelte Ausbildung wurde im Rahmen des europäischen Projekts EU-CERT HP von 2004 bis 2006 weiterentwickelt und ist mittlerweile in 8 anderen EU-Ländern (Italien, Frankreich, UK, Irland, Schweden, Finnland, Slowenien, Deutschland) als Ausbildung zum „EU-Zer-

tifizierten Wärmepumpeninstallateur“, siehe *Abbildung 3*, eingeführt (EHPA 2010).

2.2.3. Monitoring

Als dritte Säule der Qualitätssicherung ist die Durchführung von Langzeitbeobachtun-

Abb. 6: Geplante spezifische Heizleistung pro Bruttogeschosßfläche [W/m²].

Abb. 7: Entwicklung der geplanten spezifischen Heizleistung pro Bruttogeschosßfläche von 1986–2004 [W/m²].

Abb. 8: Gegenüberstellung der Anlagen und der ermittelten Jahresarbeitszahlen.

gen, also ein Monitoring der Anlage, unerlässlich, um die Qualität einer installierten Anlage zu dokumentieren und evaluieren zu können. Das AIT - Austrian Institute of Technology bietet ein standardisiertes Monitoring an, bei dem die aufgenommene elektrische Energie, die abgegebene Wärmeenergie und weitere wichtige und zur Beurteilung der Anlage aussagekräftige Parameter wie z.B. Energieströme und Temperaturen der Wärmequelle und des Heizungsverteilsystems aufgezeichnet und bei der Beurteilung berücksichtigt werden.

3. Monitoring von Anlagen

In Kapitel 3 wird zum einen das 3 stufige-Monitoringkonzept des AIT dargestellt; zum anderen werden die für die Bewertung der Effizienz von Wärmepumpenanlagen üblicherweise verwendeten Kennzahlen dargestellt.

3.1. Konzept des Monitorings

Die Durchführung eines Monitorings wird am AIT in drei Stufen gegliedert. In einem ersten Schritt werden alle erforderlichen Daten der Anlage, welche nicht von der Datenerfassung gemessen werden, mittels eines Fragebogens abgefragt. Weiters werden die Messwerte von der Anlage mittels Datenloggern automatisch erfasst und durch GSM-Modems an den Monitoring - Server im AIT weitergeleitet. In einem zweiten Schritt werden die an den Server übertragenen Daten periodisch auf Plausibilität geprüft. Im dritten Schritt werden die Daten mittels einer dafür entwickelten Datenbank ausgewertet und analysiert. Die Abbildung 4 zeigt den Datenfluss des Monitorings grafisch (Zottl 2002, Huber 2005).

3.2. Kennzahlen von Wärmepumpen und Wärmepumpenheizungsanlagen

Die Effizienz einer Wärmepumpenanlage hängt zum einen von der Performance des Wärmepumpenaggregats selbst und zum anderen von ihrer Integration in das gesamte Heizungssystem ab. Damit der effiziente Energieeinsatz ermittelt und bewertet werden kann, wurden Kennzahlen formuliert, die beim Wärmepumpenaggregat die gewonnene Nutzleistung mit der dafür notwendigen elektrischen Leistung bzw., bei der gesamten Wärmepumpenheizungsanlage, die Nutzenergie in Beziehung mit der elektrischen Energie setzen.

Besonders wichtig sind diese Kennzahlen bei Kompressionswärmepumpen, die elektrische Energie, welche nicht notwen-

digerweise aus erneuerbaren Quellen wie Wasserkraft oder Biomasse stammen muss, zum Antrieb ihres Verdichters benötigen.

Die Effizienz der Wärmepumpe selbst wird durch die Leistungszahl bewertet, die der Wärmepumpen-Prüfnorm EN 14511

(2008) oder dem EHPA/DACH Gütesiegelreglement (EHPA 2008) entsprechend, gemäß folgender Formel ermittelt wird.

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_H}{P_V + P_P}$$

Abb. 9: Entwicklung der ermittelten Jahresarbeitszahlen von 1986–2004.

Abb. 10: Entwicklung des Verhältnisses der Kollektorfläche zur beheizten Wohnfläche von 1986–2004 [m²/m²].

Abb. 11: Entwicklung der Verlegeabstände von den Kollektorleitungen von 1986–2004 [m].

wobei:

COP ... Coefficient of Performance oder Leistungszahl

$\dot{Q}_H$... Nutzleistung, in kW

P_V ... Elektrische Leistung des Verdichters und Regelung, in kW

P_p ... Anteilige elektrische Leistung der Umwälzpumpen der Wärmequelle und Wärmesenke, die bei einem bestimmten Massenstrom zur Überwindung des Druckverlustes im Wärmeübertrager notwendig ist, in kW

Die gesamte Wärmepumpenheizungsanlage kann dagegen mit der Jahresarbeitszahl (JAZ), auch als Seasonal Performance Factor (SPF) bezeichnet, bewertet werden. Diese Jahresarbeitszahl wird wie folgt berechnet:

$$JAZ = \frac{\Sigma \text{Nutzwärme}}{\Sigma \text{Elektrische Energie}}$$

Diese Jahresarbeitszahl ist nicht zu verwechseln mit der Leistungszahl, welche aufgrund der Anlagencharakteristik und der Nutzereinflüsse sehr unterschiedlich sein kann. Deswegen ist für die Ermittlung der Arbeitszahl und vor allem für den Vergleich mit Arbeitszahlen anderer Anlagen die Definition der Systemgrenzen wichtig. Eine unterschiedliche Auswahl der Systemgrenzen macht die Vergleichbarkeit der Anlagen sehr schwer bzw. unmöglich (Erb 2004).

4. Durchführung eines Monitorings

Im nachfolgenden Kapitel 4 werden nach einer allgemeinen Beschreibung der untersuchten Wärmepumpenanlagen, die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrunde liegenden Monitoringarbeiten dargestellt.

4.1. Beschreibung der untersuchten Wärmepumpenanlagen

Die im Rahmen dieser Arbeit präsentierten Monitoringergebnisse basieren auf 16 untersuchten Anlagen, welche alle eine spezielle Form der erdreichgekoppelten Wärmequelle, die allgemein als Direktverdampfung bekannt ist, nutzen.

Bei diesem Quellensystem wird die Wärme durch mehrere, im Erdreich horizontal verlegte Kupferrohre, in denen das Kältemittel verdampft, entzogen. Das Schema in der Abbildung 5 zeigt die Funktionsweise einer Wärmepumpe mit Direktverdampfung.

Die Anlagen wurden im Zuge mehrerer Monitoringprojekte im Zeitraum von 2003 bis 2008 zumindest ein Jahr lang vermessen und analysiert. Während des Messzeitraums wurden die Messdaten in einem 2 Sekunden Intervall erfasst und danach alle 15 Minuten als Mittelwerte abgespeichert.

Bei den für die Analyse ausgewählten Anlagen handelte es sich ausschließlich um Einfamilienhäuser mit einer durchschnittlichen Bruttogeschoßfläche von 212 m². Bei den mit Stern markierten Anlagen in Gr. Gerungs 1, Gneixendorf und Stollhofen wurde mit der Heizungswär-

Abb. 12: Gemittelte Temperatur und Standardabweichung des Heizungsvorlaufs [°C] bzw. [K].

Abb. 13: Installierte Heizleistung bezogen auf die Kollektorrohrlänge [kW/m].

Abb. 14: Installierte Heizleistung bezogen auf die Kollektorfläche [kW/m²].

mepumpe auch das Warmwasser bereitet. Wie *Abbildung 6* veranschaulicht, schwanken die geplanten spezifischen Heizleistungen der untersuchten Anlagen – bezogen auf die Bruttogesoßfläche im Bereich von 27,4 und 99,2 W/m².

Die spezifische Heizleistung der Gebäude ist, wie aus nachfolgender *Abbildung 7* ersichtlich, über den Monitoringzeitraum betrachtet aufgrund verbesserter Wärmedämmstandards kontinuierlich gesunken.

4.2. Analyse der Monitoringdaten

Die Jahresarbeitszahlen der untersuchten Anlagen schwanken, wie aus *Abbildung 8* hervorgeht, im Bereich von 2,9 (Stollhofen, 1986) und 5,4 (Ternitz, 2001), wobei der Mittelwert bei 4,4 liegt.

Dieser Mittelwert liegt etwas über den von der EHPA publizierten Richtwert von 4,2 für diese Quellsysteme (EHPA 2008). Weiters erfüllt ein Großteil der Anlagen, die in der 15a-Vereinbarung für Wohnbauförderung geforderten mindest JAZ von 4 (BGBl 2009).

Über die Jahre hinweg betrachtet, ist dabei ein eindeutiger Trend von steigenden Jahresarbeitszahlen zu erkennen, siehe *Abbildung 9*.

Daraus lässt sich schließen, dass trotz steigender Leistungszahlen der Wärmepumpen (FWS 2010, WPZ 2008) und der daraus resultierenden größeren Entzugsleistungen, das Erdreich nicht mehr belastet wird. Niedrigere Heizleistungen und ein gleich bleibendes Flächenverhältnis zwischen der Kollektorfläche und zur beheizten Wohnfläche wirken dem entgegen, wie in *Abbildung 10* dargestellt.

In der folgenden *Abbildung 11* ist die Entwicklung der Verlegeabstände dargestellt, die über die Kollektorfläche und der Länge der Kollektorleitung zurückgerechnet wurde.

Die Vorlauftemperaturen der einzelnen Wärmepumpen werden in *Abbildung 12* gegenübergestellt. Diese Werte wurden prinzipiell zu einem Zeitpunkt berechnet, als die Wärmepumpe zumindest solange in Betrieb war, dass sich ein quasi-stationärer Zustand eingestellt hatte. Die mit dem Δ gekennzeichneten Werte stellen den Mittelwert von 100 maximal auftretenden Temperaturen dar. Die mit $\circ$ markierten Werte bezeichnen die Mittelwerte aller Heizungsvorlauftemperaturen während der Messperiode während die Länge der senkrechten Linien die Standardabweichung dieser Mittelwerte reprä-

sentiert. Zuletzt sind die mit – dargestellten Werte die Mittelwerte von etwa 100 minimal auftretenden Temperaturen.

Es zeigt sich, dass jene Anlagen bei denen mit der Heizungswärmepumpe auch Brauchwasser bereitet wird, das sind die Anlagen in Gr. Gerungs 1, Gneixendorf

und Stollhofen, die Mittelwerte eine große Standardabweichung und die Mittelwerte große Abstände zu den maximalen Mittelwerten, aufweisen.

Alle jene Anlagen, bei denen die Mittelwerte mit einer geringen Standardabweichung um die 30 °C liegen, weisen eine

Abb. 15: Entwicklung der spezifischen Entzugsleistung bezogen auf die Kollektorrohrlänge von 1986–2004 [W/m].

Abb. 16: Entwicklung der spezifischen Entzugsleistung bezogen auf die Kollektorfläche von 1986–2004 [W/m²].

Abb. 17: Entwicklung der spezifischen Entzugsarbeit bezogen auf die Kollektorfläche von 1986–2004 [kWh/m².a].

TABELLE 2

Mögliche spezifischen Entzugsleistung gemäß VDI 4640 (2001)

Untergrund	spezifische Entzugsleistung	
	bei 1800 h	bei 2400 h
Trockener, nicht bindiger Boden	10 W/m ²	8 W/m ²
Feuchter, bindiger Boden	20–30 W/m ²	16–24 W/m ²
Wasser-gesättigter Sand/Kies	40 W/m ²	32 W/m ²

Abb. 18: Entwicklung der spezifischen Entzugsarbeit pro Kollektorrohrlänge von 1986–2004 [kWh/m.a.].

Jahresarbeitszahl größer 4 auf, vgl. *Abbildung 8*. Damit ist der Einfluss der Wärmesenkentemperaturen auf die Jahresarbeitszahl deutlich ersichtlich. Für den Anlagenvergleich wurden spezifische Werte, z. B. die Heizleistung bezogen auf den Meter Rohrlänge des Erdreichkollektors oder den Quadratmeter der Kollektorfläche herangezogen.

Die *Abbildung 13* und *Abbildung 14* zeigen die jeweiligen Verteilungen von installierter Heizleistung pro Kollektorrohrlänge und -fläche. Im Mittel ergibt sich daraus eine spezifische Rohrlänge von 45 m und einer spez. Fläche von 29 m² pro 1 kW Heizleistung. Nach einer Untersuchung von Sanner (1992), der Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen analysierte, betrugen diese Werte 52 m Rohr und 37 m² für 1 kW Heizleistung.

Mit diesem Ergebnis lässt sich rasch abschätzen wie groß die notwendige Kollektorfläche bzw. wie lange die Kollektorrohrleitungen bei der Konzeptionierung der Wärmequelle sein müssen.

Bei der ingenieurmäßigen Dimensionierung des Flachkollektors wird die spezifische Entzugsleistung des Untergrundes zugrunde gelegt, die von hauptsächlich von dessen Wärmeleitfähigkeit abhängig ist. Sie ist jene Leistung, die durch die Wärmepumpe dem Erdreich entzogen und in W/m Kollektorrohrlänge oder in W/m² Kollektorfläche ausgedrückt werden kann. In der *Abbildung 15* ist die Entwicklung der spezifischen Entzugsleistungen bezogen auf die Kollektorrohrlänge dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die spezifischen Entzugsleistungen der untersuchten An-

lagen im Bereich von 10 bis 25 W/m schwankten.

Die Entwicklung der spezifischen Entzugsleistung bezogen auf die Kollektorfläche ist in der *Abbildung 16* dargestellt. Die Werte bewegten sich in einem Bereich von 20 bis 44 W/m².

Die Anlage mit einer spezifischen Entzugsleistung von ca. 40 W/m² hat eine Arbeitszahl von >5, was auf ein Erdreich mit einem hohen Leitwert oder zumindest auf einen nahen Grundwasserhorizont schließen lässt.

Gemäß der VDI 4640 (2001) sind, die in der *Tabelle 2* dargestellten, spezifischen Entzugsleistungen für unterschiedliche Bodenqualitäten und von 1800 bis 2400 Jahresbetriebsstunden für die Planung von Flachkollektoren festgelegt. Die nur für Wärmeentzug zu Heizzwecken und ohne Warmwasserbereitung gelten.

Da bei den Erhebungen der Anlagen keine Bodenanalyse bezüglich Wärmeleitwert und Grundwassernähe durchgeführt wurde, kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob der Kollektor entsprechend der zulässigen spezifischen Entzugsleistung ausgelegt wurde.

Ergeben sich bei der Anlagenplanung längere Laufzeiten, so ist neben der spezifischen Entzugsleistung auch die spezifische jährliche Entzugsarbeit, welche gemäß der VDI 4640 im Bereich von maximal 50 bis 70 kWh/m².a liegen sollte, zu berücksichtigen. Auch dies gilt nur für den reinen Heizbetrieb. Die *Abbildung 17* zeigt die Entwicklung der spezifischen Entzugsarbeit der Anlagen bezogen auf die Kollektorfläche. Die Ergebnisse liegen im Bereich von 20 bis 67 kWh/m².a, woraus sich ein Mittelwert von 47 kWh/m².a ergibt, das entspricht dem von der VDI 4640 empfohlenen Bereich.

LITERATUR

- BGBI (2009) Vereinbarung gemäß Art. 15a. B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen. BGBl. II Nr. 251/2009, 13.08.2009
- BMWFJ (2009) Energiestatus Österreich 2009, Mai 2009
- BMLFUW (2007) Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008 – 2012. BMLFUW; Abteilung V/4, Stubenbastei 5, 1010 Wien, 2007
- EEA (2009) Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009, Tracking progress towards Kyoto targets, EEA Report 09/2009, ISSN 1725-9177, Kopenhagen, 2009
- EHFA (2008) European Heat Pump Action Plan. European Heat Pump Association, Brussels, 2008
- EHFA (2010) <http://www.ehpa.org>, letzter Zugriff 16.01.2010
- Erb et al. (2004) Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen, FAWA 1996–2003. Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2004
- EU (2009) Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. 2008/0016 (COD), 2009 Richtlinie 2009/28/EG
- FWS (2010) http://www.fws.ch/zahlen_04.html,

letzter Zugriff 21.01.2010

- Huber H (2005) Analyse von Wärmepumpenanlagen mit dem arsenal research – Standardmonitoring. Tagungsbericht 2005, 32. Jahrgang, Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V., Stuttgart, 2005, ISBN: 3-932715-38-1
- Huber H (2006) Wärmepumpenanlagen - Skripten zum Meisterkurs der Zentralheizungs- und Lüftungsbauer, arsenal research, Wien, 2006
- Lutz G (2007) Wärmepumpen-Aktionsplan für Österreich (Endfassung), Linz 2007
- Sanner B (1992) Erdgekoppelte Wärmepumpen – Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation. IZW Bericht 2/92, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftliche-technische Information mbH, Karlsruhe, 1992, ISSN 0940-3442
- ÖWAV-Regelblatt 207 (2009) Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes – Heizen und Kühlen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien, 2009
- VDI 4640 (2001) VDI 4640 Blatt 2, Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 2001
- Zottl A (2002) Monitoring und Analyse der Qualität von Wärmepumpenanlagen, Diplomarbeit, FH-Pinkafeld, 2002

Abbildung 18 stellt das Verhältnis der spezifischen Entzugsarbeit zur Kollektorrohrlänge dar, welche zwischen 12 und 58 kWh/m.a liegen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend sind Wärmepumpen mit Direktverdampfung als Wärmequellensystem eine Technologie, mit der es möglich ist, effizient Wärme für die Raumheizung und Warmwassererwärmung bereitzustellen, sofern wesentliche Kriterien wie möglichst niedere Vorlauftemperaturen im Heizverteilsystem und möglichst hohe Wärmequellentemperaturen bei der Planung und Ausführung der Wärmepumpenheizungsanlagen berücksichtigt werden. Die Monitoringergebnisse zeigen klar, dass die Größe der Kollektorfläche, die Wahl der mittleren Heizmitteltemperatur des Heizverteilsystems oder die Nutzung der

Anlage auch für Zwecke der Warmwasserbereitung, Auswirkungen auf die Jahresarbeitszahl haben. Vor allem bei Anlagen, die auch der Warmwassererwärmung dienen bzw. bei Nachrüstanlagen entsteht der Eindruck, dass noch zu wenig auf die Laufzeit bzw. auf die Entzugsarbeit Rücksicht genommen wird.

Die untersuchten Anlagen haben eine durchschnittliche Jahresarbeitszahl von 4,4 und liegen damit über der, in den österreichischen Wohnbauförderungen, geforderten Jahresarbeitszahl 4.

Generell zeichnet sich ein Trend zu steigenden Jahresarbeitszahlen ab, welcher durch die großzügigere Auslegung der Kollektorfläche, die sinkende spezifische Heizlast und niedrigere Heizungs-vorlauftemperaturen erklärt werden kann. Daraus lässt sich schließen bzw. es wird bestätigt, dass die richtige Dimensionierung der Wärmequellen- und Wärmenutzeranlage einen wesentlichen Einfluss auf

die Effizienz der Wärmepumpenanlage haben.

Im Zuge der Weiterführung des AIT Monitoringprogramms ist geplant noch weitere unterschiedliche Wärmepumpenanlagen zu untersuchen um neue Erkenntnisse zu gewinnen bzw. die bereits gewonnenen zusätzlich zu untermauern. Ein besonderer Schwerpunkt wird zum einen auf den neuen, modulierenden Wärmepumpenheizungsanlagen liegen und zum anderen sollen Analysetools entwickelt werden, welche z. B. das Nutzerverhalten besser erfassen. ■

Korrespondenz:

Ing. Heinrich Huber, MSc
Dl(FH) Andreas Zottl
Dl(FH) Christian Pirker
Mag. Annemarie Schneeberger
Austrian Institute of Technology
Department Energy
Giefinggasse 2
1210 Wien