

Heizung

Der deutsche Wärmepumpenmarkt boomt. Vor allem der sparsame Betrieb dieser Produkte überzeugt Bauherren und Modernisierer. Wie funktionieren Wärmepumpen, welche Wärmequellen gibt es und was ist bei der Planung und Installation zu beachten? Antworten darauf liefert der folgende Beitrag. Im 1. Teil werden die technischen Grundlagen vorgestellt. Der 2. Teil geht dann auf den Einsatz von Wärmepumpen im Neu- und Altbau sowie auf Planung, Betrieb und Kosten ein.

Der Wärmepumpenmarkt wächst in Deutschland mit rasantem Tempo. So hat sich die Zahl der neu installierten Einheiten im Jahr 2006 gegenüber 2005 auf ca. 50 000 Stück verdoppelt. Die Heizungsbranche ist auch für das Jahr 2007 sehr optimistisch gestimmt und erwartet eine weitere Absatzsteigerung.

Bei der Wahl eines Heizsystems spielen – vor dem Hintergrund deutlich steigender Preise für fossile Energieträger – die Energiekosten und die Wirtschaftlichkeit eine immer größere Rolle. Deshalb entscheiden sich zunehmend mehr Hauseigner für ein Heizsystem mit elektrisch angetriebener Wärmepumpe. Auch wer die Umwelt entlasten und die endlichen fossilen Energiereserven schonen will, wird sich mit dem Thema Wärmepumpe



Bild 1 Auch Ex-Rennfahrer Joachim Winkelhock (r.) beheizt seinen 300 m² großen Neubau mit einer Erdwärmepumpe. Installateurmeister Selami Sen (Sen Haustechnik, Waiblingen) hat seinen prominenten Bekannten von Erdwärme als alternativer Energiequelle überzeugt

Technik, Funktion, Einsatz von Wärmepumpen, Teil 1

Sparsam und umweltfreundlich

beschäftigen. Denn mit wenig Energieeinsatz wird viel Wärme erzeugt: So setzen moderne Elektrowärmepumpen eine Kilowattstunde (kWh) elektrische Energie ein, um bis zu fünf kWh Heizenergie zu erzeugen. Der zusätzliche ökologische Vorteil: Wärmepumpen geben im Betrieb keinen Feinstaub frei und mindern die CO₂-Emission im Vergleich mit den gas- oder ölbefeuerten Heizungsanlagen deutlich (Bild 2).

Im Prinzip wie ein Kühlschrank

Warum hat es seit der Erfindung der Wärmepumpe Ende des 19. Jahrhunderts so lange gedauert, bis marktfähige Produkte entstanden sind? Gründe sind Material, Fertigung, Wartung, Lebensdauer und – wie häufig – Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit. Erst mit den heutigen Mitteln hat man eine im Vergleich mit marktgängigen Heizverfahren wettbewerbsfähige Technik erreicht: Moderne Geräte können den Bedarf an Wärme und Warmwasser ganzjährig decken. Aufgrund der derzeitigen Energiepreise sind Wärmepumpen anderen Heizsystemen

überlegen, weil sie einen Großteil der Energie kostenlos aus dem Erdreich gewinnen. Und schließlich hat sich die öffentliche Meinung so gewandelt, dass viele Menschen den Umweltschutz mit höherer Bedeutung in ihre Entscheidung einbeziehen.

In wohl jedem Haushalt steht ein Kühlschrank – er funktioniert viele Jahre lang leise und zuverlässig. Seine Aufgabe ist es, den Lebensmitteln im Inneren Wärme zu entziehen und diese Wärme an die Umwelt abzugeben. Eine Wärmepumpe funktioniert nach dem gleichen technischen Prinzip. Sie entzieht der Umwelt – Erde, Wasser oder Luft – Wärme und führt sie dem Heizsystem zu. Im Unterschied zum Kühlschrank nutzen die Hausbewohner jedoch nicht die Kälte, sondern die gewonnene Wärme. Dafür sind drei geschlossene Kreisläufe notwendig: Der Solekreislauf erschließt das Erdreich (auch Grundwasser und Luft sind möglich) als Wärmequelle. Die Erdwärme wird über einen Wärmetauscher, den Verdampfer, auf den Kältemittelkreislauf innerhalb des Wärmepumpengerätes übertragen. Das Kältemittel verdampft aufgrund der Energiezufuhr und wird somit gasförmig.

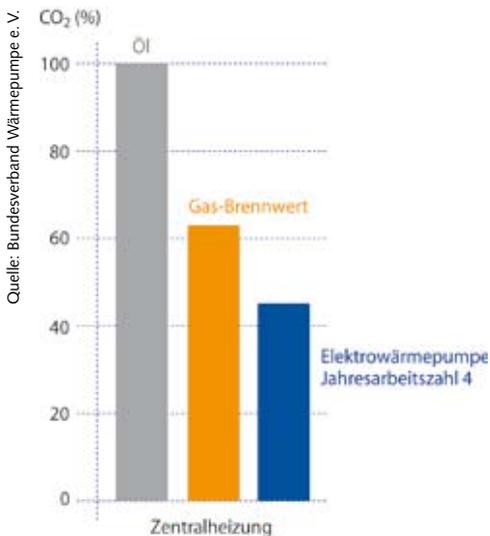


Bild 2 Vergleich der CO₂-Emissionen verschiedener Heizsysteme (Heizung und Warmwasserbereitung) im Vergleich

Das gasförmige Kältemittel wird mit Hilfe eines Kompressors auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau verdichtet. Über einen zweiten Wärmetauscher, den Verflüssiger, wird die Wärme nun an den dritten Kreislauf, das Heizsystem, abgegeben (Bild 3).

Kern-Komponenten im Überblick

Zentrale Komponente im Kreislauf der Wärmepumpe ist der Kompressor. Er verdichtet den Kältemitteldampf, wobei sich der Druck, aber auch die Temperatur des Dampfes erhöht. Die Temperatur des Kältemittels ist nach der Verdichtung höher als die Temperatur, die für Heizung und Warmwasserbereitung erforderlich ist.

Marktgängige Kompressoren unterscheiden sich im Wesentlichen in Einsatzgebiet, Lebensdauer und Leistungsziffer. Zwei Verdichterprinzipien werden in modernen Wärmepumpen angewandt: zum einen der Hubkolben-Kompressor, zum anderen der Scroll-Kompressor, auch Spiral-Verdichter genannt. Ein Hubkolben-Kompressor saugt den Dampf durch auf- und abgleitende Kolben an und verdichtet ihn. Ein Nachteil sind die Geräusche, die durch die Beschleunigungs- und Verzögerungsbewegungen entstehen.

Ein Scroll-Kompressor (Bild 4) besitzt eine feststehende und eine bewegliche Spirale. Die bewegliche Spirale oszilliert kreisförmig exzentrisch, so dass am Umfang angesaugter Dampf kontinuierlich verdichtet und ins Zentrum geschoben wird. Scroll-Kompressoren,



Bild 4 Scroll-Kompressoren sind deutlich leiser als Hubkolben-Kompressoren

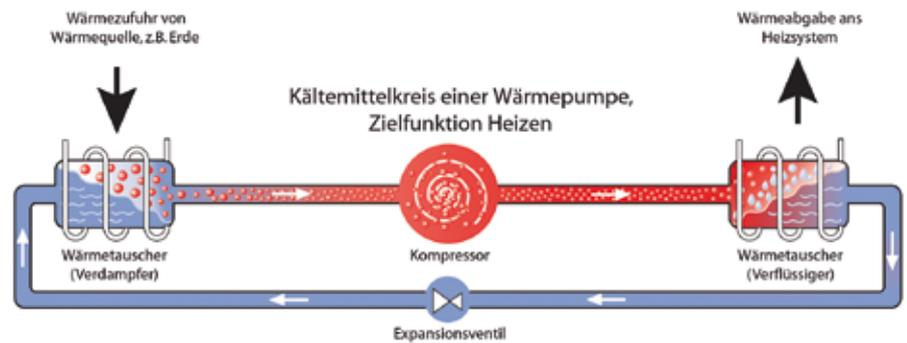


Bild 3 Kältemittelkreis einer Wärmepumpe mit Verdampfer, Kompressor, Verflüssiger und Expansionsventil

mit ihren beständigen Bewegungen der Spiralen, sind deutlich leiser als Hubkolben-Kompressoren und damit besser für Wärmepumpen geeignet. Weitere Vorteile sind:

- Robustheit und Zuverlässigkeit (sie sind weitgehend resistent gegen mögliche Flüssigkeitsschläge)
- ideale Leistungskurve für die Wärmepumpen-Anwendung
- kaum Wärmeverluste über das Verdichtergehäuse
- hohe Jahresarbeitszahlen
- zukunftssicher, weil sie auch mit alternativen Hochdruck-Kältemitteln arbeiten

Der zweite Wärmetauscher im Kältemittelkreis ist der Verflüssiger. In ihm kondensiert der Kältemitteldampf. Die bei der Kondensation frei werdende Wärme wird dabei auf das Heizwasser des Heizkreises übertragen. Der Verflüssiger ist üblicherweise als kompakter Plattenwärmetauscher ausgeführt, der – bezogen auf sein Volumen – viel Wärme überträgt (Bild 5).

Das Expansionsventil entspannt dann das Kältemittel bis zum Ursprungsdruck. Anschließend strömt das Kältemittel zurück zum Verdampfer. Damit schließt sich der Kreislauf.

Preiswertes Transportmedium

Der Begriff Sole stammt aus vergangenen Zeiten, als man aus Lösungen von Salzen – vornehmlich Steinsalzen – in Wasser wertvolle Rohstoffe gewann. Kältsolen dienen heute als preiswerte Transportmedien in Kälteanlagen. Sie bestehen zum größeren Teil aus Wasser, zum kleineren Teil aus Gefrierschutzmitteln. Dies sind in der Regel Kohlenstoff-Wasserstoff-Verbindungen wie Methanol, Ethanol, Isopropanol, Ethylenglykol, Glycerin und andere. Gefrierschutzmittel werden zugegeben, um den Schmelz- und Gefrierpunkt auf eine tiefere Temperatur abzusenken. Je nach Glykol-Anteil ist ein Gefrierschutz bis -20°C , -30°C oder noch tiefer gewährleistet.

Kältsolen aus den oben genannten Gefrierschutzmitteln senken den Gefrierpunkt und haben weitere vorteilhafte Eigenschaften: Sie sind ungiftig, nicht entflammbar, und greifen die Materialien der Leitungen, Verbindungen und Dichtungen nicht an. Sie bleiben während einer langen Betriebszeit chemisch stabil und bilden keine schädlichen oder flüchtigen Zerfallsprodukte.

Durch die Erdwärmesonden fließt also eine im Vergleich mit anderen Kältemitteln wie Ammoniak oder Frigenen ökologisch und toxikologisch harmlose Flüssigkeit mit hohem Wasseranteil. Im Solekreislauf wird die von der Umgebung aufgenommene Wärme zum Verdampfer transportiert. In diesem geschlossenen Kreislauf zirkuliert die Sole von der Erdsonde zum Verdampfer und zurück zur Erdsonde.



Bild 5 Der Verflüssiger ist üblicherweise als Plattenwärmetauscher ausgeführt

Heizung



Bild 6 Aufbau einer Sole/Wasser-Wärmepumpe aus der Junkers-TM-Serie (Heizleistung: 10,9 kW bei 5 °C/W 35 °C; COP: 5,0). Im Bedarfsfall erhöht ein elektrischer Zuheizler die maximale Heizleistung um 9 kW. Im Gehäuse integriert sind ein 163-l-WW-Speicher sowie ein Heizwasser-Puffer mit 57 l

Wärmequellen im Überblick

Als Wärmequelle für eine Wärmepumpe kommen in Betracht:

- Erdreich mit vertikaler Sonde (Erdsonde)
- Erdreich mit horizontalem Kollektor (Flächenkollektor)
- Grundwasser mit Saug- und mit Schluckbrunnen
- Luft mit unterschiedlich ausgeführten Wärmetauschern

Die Vorteile der Erdsonde sind Zuverlässigkeit, geringer Platzbedarf und sehr hohe Jahresarbeitszahlen der Erdwärmepumpe. Erdsonden sind in vielen Regionen möglich. Hinweise zur behördlichen Genehmigung erteilen die unteren Verwaltungsbehörden.

Flächenkollektoren können mit einem hohen Anteil an Eigenleistung des Bauherrn verlegt werden und erscheinen deshalb auf den ersten Blick günstiger. Bei der Einbringung der Rohrleitungen ist auf eine exakt horizontale Verlegung zu achten, so dass sich beim Befüllen und Spülen der Anlage keine „Luftsäcke“ bilden und der Solekreis vollständig entlüftet ist. Ein fachmännisch verlegter Flächenkollektor sorgt für ausreichend gute Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe. Der hohe Flächenbedarf ist mit – überschlägig gerechnet – 1,5 m² je m² zu beheizender Fläche nicht zu vernachlässigen. Eine Überbauung der Fläche ist nicht möglich, und auch als Garten ist sie nur eingeschränkt nutzbar.

Saug- und Schluckbrunnen haben einen geringen Raumbedarf bei hohen Jahresarbeits-

zahlen. Allerdings ist eine wasserrechtliche Genehmigung Pflicht. Wasser/Wasser-Wärmepumpen können nur dort installiert werden, wo dies die Grundwassersituation zulässt. Luft/Wasser-Wärmepumpen dagegen können überall installiert werden, der Platz- und Investitionsbedarf ist gering. Auch sind sie nicht genehmigungspflichtig. Jedoch ermöglicht Luft geringere Jahresarbeitszahlen als die anderen Wärmequellen (Bild 7). Die Geräuschbildung ist durch das Gebläse hoch, und die Filter machen eine häufigere Wartung notwendig.

	Erdwärmesonde	Erdwärmekollektor	Grundwasser	Luft
Örtliche Verfügbarkeit	überall	überall	nicht überall	überall
Platzbedarf für Erschließung	gering	hoch	gering	gering
Durchschnittstemperatur der Wärmequelle im Winter	0° bis +10°C	-5° bis +5°C	+8° bis +12°C	-25° bis +15°C
Wasserrechtlich genehmigungspflichtig	fast immer	nein	immer	nein
Mittlere Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	bis 4	bis 4	bis 5	bis 3,3

Bild 7 Kenndaten häufig verwendeter Wärmequellen für Wärmepumpen-Anlagen im privaten Wohnungsbau unter mitteleuropäischen Klimabedingungen

Wärmeenergie aus der Erde

Für Wärmepumpen nutzt man üblicherweise die Wärmeenergie der oberflächennahen Erdschichten bis maximal 100 m Tiefe. Bis zu dieser Tiefe ist das Genehmigungsverfahren relativ einfach und kurz, eine tiefere Bohrung ist mit einem zusätzlichen Genehmigungsverfahren verbunden. Abhängig vom Leistungsbedarf des Hauses und den lokalen geotechnischen Bedingungen bohrt ein Bohrunternehmen ein oder mehrere Löcher bis zu einer Tiefe von 50 bis 100 m (Bild 8). In diese Bohrungen werden Sonden eingeführt, die aus U-förmigen Kunststoffrohren bestehen. Darin wird später die Sole zirkulieren. Beim Eintritt in die Erdsonde hat die Sole mit ca. 2 °C bis 4 °C eine Temperatur, die unter der der Erdoberfläche liegt. Sie erwärmt sich auf ihrem Weg nach unten und wieder nach oben um ca. 3 bis 4 Kelvin (K), in der Regel also auf ca. 6 °C bis 8 °C. Mit dieser Temperatur fließt die Sole in den Verdampfer und liefert so die für die Verdampfung des Kältemittels notwendige Wärme.

Aus längerfristigen Messungen weiß man, dass die Bodentemperatur in Tiefen unter ca. 10 m mit etwa 10 °C praktisch konstant ist (Bild 9). In Bodennähe machen sich hingegen die jahreszeitlichen Schwankungen der Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur bemerkbar: Im August kann man eine Bodentemperatur von 20 °C messen, Anfang Februar 0 °C. Diese Unterschiede sind nur in der obersten Schicht von 10 m relevant und damit bei einer Bohrtiefe von 50 bis 100 m vernachlässigbar. Relevant sind sie dagegen bei Flächenkollektoren, die horizontal in geringer Tiefe eingebracht werden: Deren Wärmeentzugsleistung kann entsprechend der Oberflächentemperatur schwanken.

So unterschiedlich der Aufbau, die Zusammensetzung und die Feuchtigkeit der oberflächennahen Schichten, so vielfältig sind die Anwendungskriterien. Es bedarf erfahrener Bohrfachleute, um die Erschließung der Wärmequellen optimal zu planen. Fachorganisationen und deren Adressen bringen Installateure am besten über den Wärmepumpen-Hersteller in Erfahrung.

Wichtige energetische Kenngrößen

Etwas Theorie sollte für das Verständnis von Wärmepumpen nicht fehlen. Nur so kann der Heizungsfachmann Prospektangaben mit hohen Zahlen, aber ohne Nennung der Randbedingungen, hinterfragen. Wärmepumpen werden mit mehreren thermodynamischen Kenngrößen beschrieben, wobei hier nur auf zwei hingewiesen werden soll: die Leistungs- und die Arbeitszahl. Die folgenden Angaben beziehen sich auf Wärmepumpen mit elektrischem Antrieb des Kältemittelverdichters. Die Leistungszahl ist das Verhältnis von momentan nutzbarer thermischer Leistung in Kilowatt (kW) (Nutzen, Output) zur momentan

aufgewendeten elektrischen Leistung (Aufwand, Input) in kW. Die Leistungszahl lässt allerdings die Leistung elektrischer Aggregate, die nicht unmittelbar zum Wärmepumpen-Prozess gehören, unberücksichtigt. Der COP-Wert (Coefficient of Performance) dagegen gibt u. a. auch die Leistungsaufnahme aller Steuer-, Regel- und Sicherheitseinrichtungen und die anteiligen Leistungsaufnahme der Sole- bzw. Heizungspumpe zum Transport der Sole bzw. des Heizungswassers innerhalb der Wärmepumpe wider.

Ein Maß für die energetische Umsetzung über eine gewisse Zeit ist die Arbeitszahl. Sie ist das Verhältnis von Nutzwärme in kWh zur aufgewendeten elektrischen Energie in kWh. Wenn die Energiemengen über den Zeitraum eines Jahres betrachtet werden, spricht man von der Jahresarbeitszahl.

Die Leistungs- oder Arbeitszahlen von Wärmepumpen hängen von den Temperaturen ab, unter denen die Wärmepumpe betrieben wird, beziehungsweise vom Temperaturhub zwischen kalter Seite – beim Verdampfer – und warmer Seite – beim Verflüssiger. Je niedriger der Temperaturhub, desto höher können Leistungs- und Arbeitszahl sein. Bei

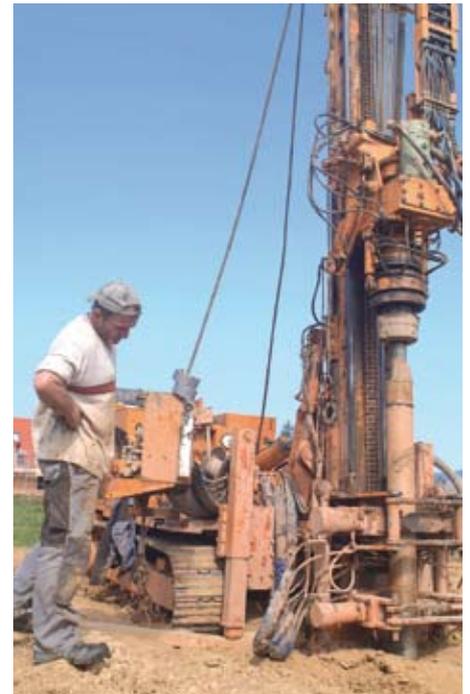


Bild 8 Erdwärmepumpe: Es bedarf erfahrener Bohrfachleute, um die Erschließung der Wärmequellen optimal zu planen

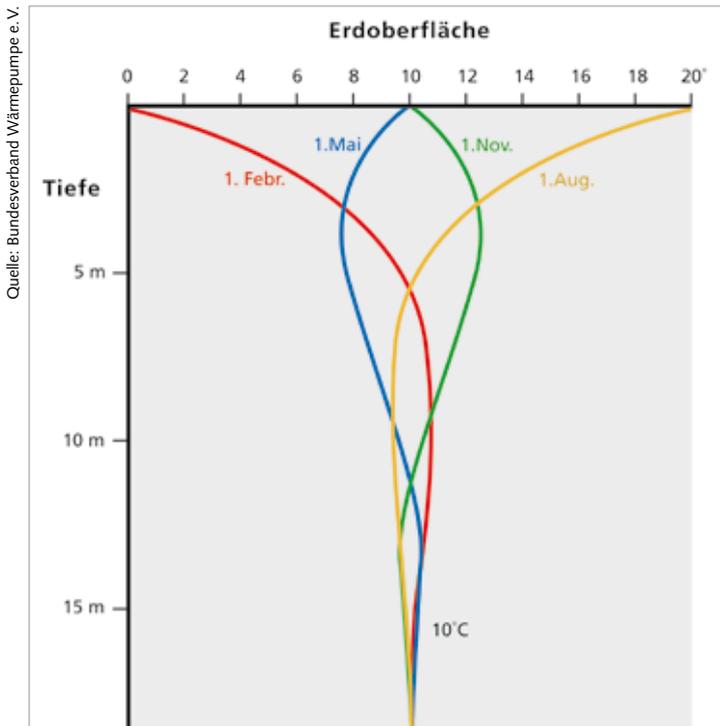


Bild 9 Einfluss der Jahreszeiten auf die Temperatur der obersten Erdschichten

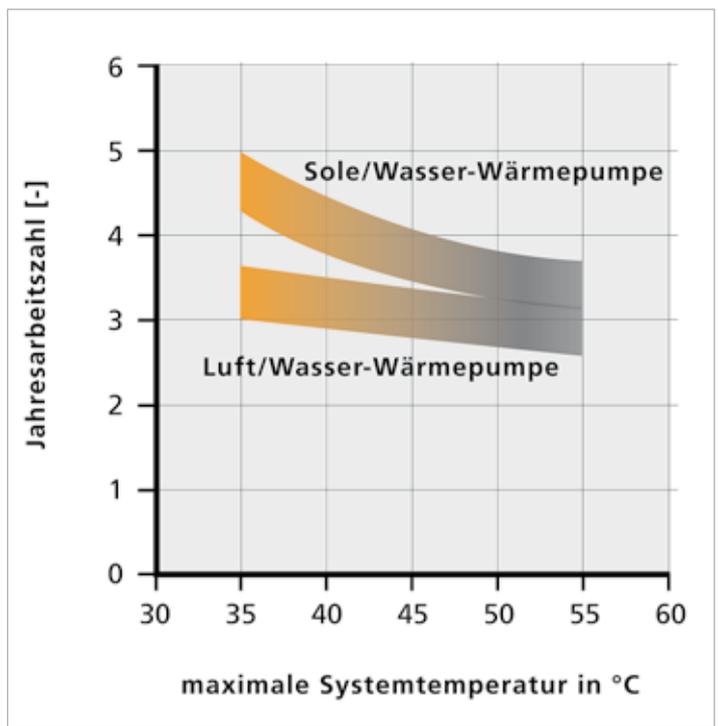


Bild 10 Jahresarbeitszahlen zweier Wärmepumpen-Typen – Sole/Wasser und Luft/Wasser – in Abhängigkeit von der Systemtemperatur

25°C Temperaturhub kann die Leistungszahl bei 6 liegen, bei 40°C Temperaturhub sinkt sie auf etwa 4. Diese Werte ergeben sich, wenn man den theoretischen Carnot-Prozess (ein idealer Vergleichsprozess in der Thermodynamik) und eine Halbierung der Leistungszahl vom theoretischen zum realen Kältekreislaufprozess annimmt.

Die Höhe der Jahresarbeitszahlen unterscheidet sich bei Sole/Wasser-Wärmepumpen und Luft/Wasser-Wärmepumpen in Abhängigkeit von der maximalen Systemtemperatur. Die Jahresarbeitszahlen von Luft/Wasser-Wärmepumpen haben einen relativ flachen Abfall von 3,5 auf 3 bei steigenden Systemtemperaturen. Die Zahlen von Sole/Wasser-Wärmepumpen fallen steiler ab, liegen aber insgesamt höher: von etwa 4,5 auf 3,5 (Bild 10).

Hier wird der Vorteil einer Sole/Wasser-Wärmepumpe offensichtlich, die bei ca. 35°C maximaler Systemtemperatur eine Arbeitszahl zwischen 4,5 und 5 hat. Eine Luft/Wasser-Wärmepumpe erreicht ca. 3 bis 3,5 – das bedeutet einen rund 40% höheren Stromverbrauch. Weiter wird offensichtlich, dass die Systemtemperatur auf der Heizkreiseite möglichst niedrig sein soll. Ein Niedertemperaturheizsystem ist energetisch die sinnvollste Lösung. Konventionelle und Mitteltemperatur-Heizsysteme mindern den energetischen und damit auch den wirtschaftlichen Vorteil der Wärmepumpe.

Mono- oder bivalent?

In älteren Lehrbüchern über Wärmepumpen nahm die Systematik der Betriebsweisen noch breiteren Raum ein. Man unterschied die Valenz, das heißt die Abhängigkeit von einem Wärmeerzeuger (mono-, bi-, trivalent, bivalent-alternativ, -parallel, -teilparallel) und die Abhängigkeit von Energieträgern (mono-, bi-, trienergetisch). Diese Vielfalt ist aus heutiger Sicht verständlich, aber zum größten Teil nicht mehr notwendig, wenn man als Wärmequelle die Erdwärme aus Vertikalsonden nutzt. Diese Quelle hat das ganze Jahr über praktisch die gleiche Temperatur. Damit entfällt die Notwendigkeit eines zusätzlichen Wärmeerzeugers, wie sie für Luft-Wasser-Wärmepumpen prinzipbedingt gegeben ist. Wer heute einen Neubau mit einer Wärmepumpenheizung ausstatten möchte, braucht in der Regel keinen zweiten Wärmeerzeuger. Die Wärmepumpe mit Erdwärme aus Vertikalsonden kann monovalent und monoenergetisch sowohl die Raumwärme als auch erwärmtes Trinkwasser bereitstellen. Interessierte und Kunden zu Wärmepumpen-Heizanlagen zu beraten, erfordert von den SHK-Handwerkern eine besondere Kompetenz. Diese lässt sich in Schulungen aneignen und vertiefen. Anbieter dieser Spezialisierungsangebote sind die Hersteller, Energieversorger und Berufsfach- und Branchenverbände. Solche Schulungen umfassen die Pla-

nung, Installation und den Betrieb von Wärmepumpen und beinhalten auch rechtliche Aspekte wie Genehmigungsfragen für Erdsondenbohrungen und andere öffentliche und technische Anforderungen.

Geothermie erweist sich immer mehr als zukunftsichere, kostengünstige und unabhängige Art der Energiegewinnung. Unter mehreren Möglichkeiten der Nutzung von Erdwärme hat sich die Technik mit vertikalen Erdsonden erfolgreich etabliert. Das Preis-Leistungs-Verhältnis stimmt, die thermische Ausbeute ist vergleichsweise gut und die Beeinträchtigung der Gartennutzung ist beim Bohren und während der späteren Nutzungsdauer gering. Wärmepumpen haben einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Sie sind heute wettbewerbsfähig, umweltfreundlich und haben eine lange Lebensdauer.

Im zweiten Teil dieser Fachbeitragsreihe (SBZ 5/2007) erfahren Sie mehr über den Einsatz von Wärmepumpen mit Erdwärmesonden im Neubau und in bestehenden Gebäuden.

Zu den Autoren des Fachbeitrags: **Jochen Steffl** ist Produktmanager Wärmepumpe und **Wolfgang Heller** ist Vermarktungsmanager Regenerative Energiesysteme bei BBT Thermotechnik, Junkers Deutschland, 73249 Wernau, Telefon (0 18 03) 33 73 33, www.junkers.com, E-Mail: jochen.steffl@de.bosch.com und wolfgang.heller@de.bosch.com