

Wärmepumpen – die sparsame und ökologische Heizungsalternative

Teil 1: Grundlagen der Wärmepumpe

Jochen Steffl, Produktmanager Wärmepumpe

Wolfgang Heller, Vermarktungsmanager Regenerative Energiesysteme

Bei der Wahl eines Heizsystems spielen die Energiekosten und die Wirtschaftlichkeit eine immer größere Rolle. Deshalb entscheiden sich zunehmend mehr Hauseigner für ein Heizsystem mit elektrisch angetriebener Wärmepumpe. Moderne Geräte decken ganzjährig den Heizungs- und Warmwasserbedarf und stoßen dank umweltverträglicher Technologien weit weniger CO₂ aus als konventionelle Heizgeräte. Bewährter Stand der Technik sind Erdwärmepumpen, die mit vertikalen Bohrsonden die Wärme des Erdreichs nutzen. Die Funktionsweise und die technischen Grundlagen von Wärmepumpen sowie die Wärmequellen, die für sie in Betracht kommen, werden im vorliegenden ersten Teil aufgezeigt. Teil 2 beschreibt, was bei Planung und Installation einer Wärmepumpe zu beachten ist. Dieser ist online abrufbar, siehe Abspann.



Abb.2 Neu installierte Heizungs-Wärmepumpen in Europa im Jahr 2005

1. DER UMWELT ZULIEBE

Moderne Elektrowärmepumpen setzen eine Kilowattstunde (kWh) elektrische Energie ein, um bis zu fünf kWh Heizenergie zu erzeugen. Mit wenig Energieeinsatz wird also viel Wärme erzeugt. Der zusätzliche ökologische Vorteil: Wärmepumpen geben im Betrieb keinen Feinstaub frei und mindern die CO₂-Emission im Vergleich zu gas- oder ölbefeuerten Heizungsanlagen deutlich, Abb.1.

2. WÄRMEPUMPEN-MARKT IN DEUTSCHLAND UND EUROPA

In der Schweiz wird derzeit jedes dritte neu gebaute Einfamilienhaus mit einem Erdwärmepumpen-Heizsystem ausgestattet. In Schweden liegt dieser Anteil sogar bei 90 %. Dort bezeichnen sich manche Gemeinden inzwischen als „heizölfreies Gebiet“. Der wesentliche Grund für das Vordringen der Wärmepumpen in Schweden ist der dortige Heizölpreis von derzeit rund 0,9 Euro pro Liter. Bei einem Strompreis von unter 0,3 Euro pro kWh hat die Wärmepumpe in diesem Land einen klaren Vorteil. In Deutschland hat die Wärmepumpe diese hohen Marktanteile noch

nicht erreicht. Doch die Zahl der installierten Heizungs- und Warmwasser-Wärmepumpen ist in den letzten Jahren kräftig gestiegen – 2005 gegenüber dem Vorjahr um zirka 41 % auf 20.000 Geräte. Mittlerweile liegt der Anteil von Erdwärmepumpen beim Neubau von Ein- und Zweifamilienhäusern bei fast 10 %. Diese Entwicklung lässt für die Zukunft ähnlich hohe Absatzzahlen wie in der Schweiz

oder in Schweden erwarten, Abb.2.

Durch Faktoren wie Fertigung, Wartung, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit ist es erst mit heutigen Mitteln möglich, eine wettbewerbsfähige Technik im Vergleich zu marktgängigen Heizverfahren zu erreichen. Heute können moderne Geräte den Bedarf an Wärme und Warmwasser ganzjährig decken und sind aufgrund der derzeitigen Energiepreise anderen Heizsystemen überlegen. Darüber hinaus wird heute dem Umweltschutz ein höherer Stellenwert eingeräumt.

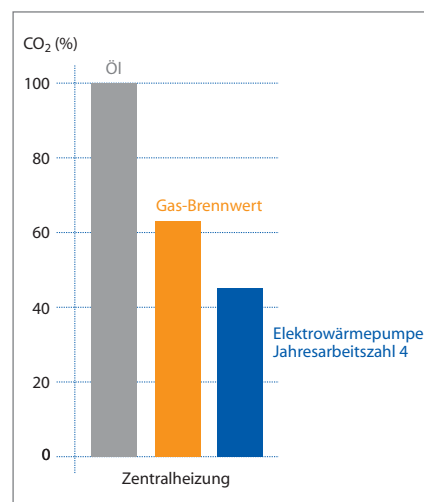


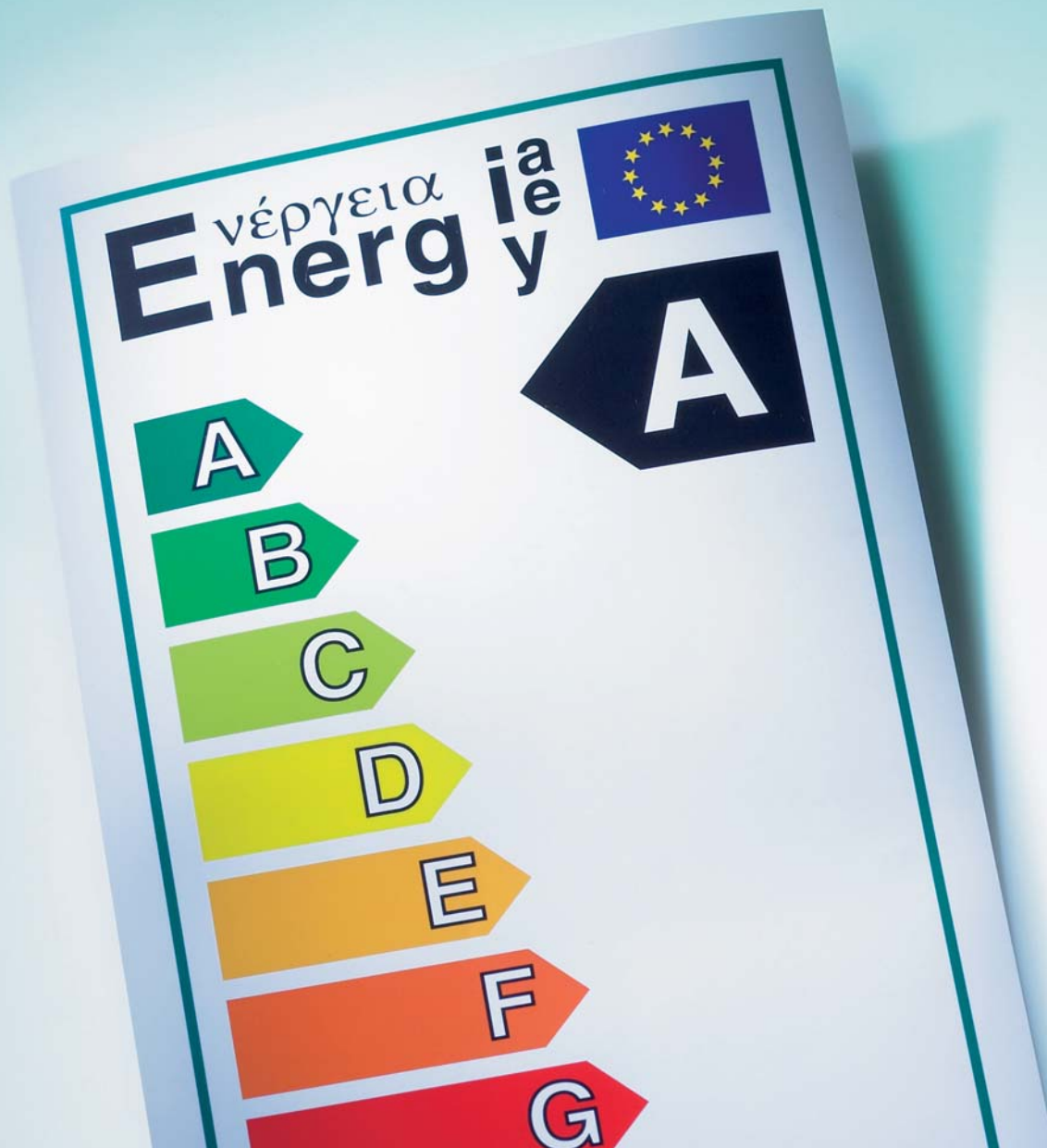
Abb.1 CO₂-Emissionen verschiedener Heizsysteme (Heizung und Warmwasserbereitung) im Vergleich
(Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

3.1 Prinzip und Komponenten

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

Es hat schon seinen Grund, warum Wilo Pumpen grün sind.



Hocheffizienz-Pumpe Wilo-Stratos.

Grün steht für niedrigsten Energieverbrauch! So wird es vom Energielabel definiert. Und das gilt jetzt auch für Heizungs-Pumpen. Referenz für das Energielabel ist die Wilo-Stratos: die erste Hocheffizienz-Pumpe der Welt. Sie hat bereits 2001 den Maßstab für die Energieeffizienzklasse A gesetzt. Und daran werden sich künftig alle Heizungs-Pumpen messen müssen. Vorbildlich? Wir nennen das Pumpen Intelligenz.



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, anschließend wird es 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, Abb.3.

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.

Spirale oszilliert kreisförmig exzentrisch, so dass am Umfang angesaugter Dampf kontinuierlich verdichtet und ins Zentrum geschoben wird. Scroll-Kompressoren 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
- ▶ Zukunftssicherheit, weil sie auch mit alternativen Hochdruck-Kältemitteln arbeiten

Der zweite Wärmetauscher im Kältemittelkreis ist der Verflüssiger, in dem der Kältemitteldampf kondensiert. 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, Abb.5.

Vierte Komponente des Kältemittelkreises ist das Expansionsventil, welches das Kältemittel bis zum Ursprungsdruck



Abb. 4 Scroll-Kompressor

weder nur die Raumheizung übernehmen oder die für den Anschluss eines externen Warmwasserspeichers ausgelegt sind. Abb.6 zeigt den Aufbau einer Sole/Wasser-Wärmepumpe aus der Junkers-TM-Serie.

3.2 Solekreislauf

Der Begriff Sole stammt aus vergangenen Zeiten, als man aus Lösungen von Salzen – vornehmlich Steinsalzen – in Wasser wertvolle Rohstoffe gewann. Kühltsole 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 minus 20 °C, minus 30 °C oder noch tiefer gewährleistet. Kühltsole 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.

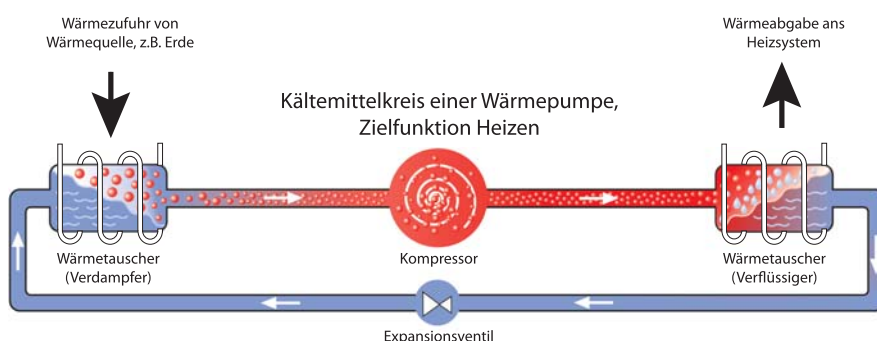


Abb.3 Kältemittelkreis einer Wärmepumpe mit Verdampfer, Kompressor, Verflüssiger und Expansionsventil

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, Abb.4, besitzt eine feststehende und eine bewegliche Spirale. Die bewegliche

entspannt. Anschließend strömt das Kältemittel zurück zum Verdampfer, womit sich der Kreislauf schließt. Der Markt bietet zwei moderne Gerätesysteme: Zum einen Modulgeräte für Heizung und Warmwasserbereitung mit integriertem Warmwasserspeicher, zum anderen Kompaktgeräte ohne Speicher, die ent-



Abb.5 Verflüssiger (Kondensator)

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.

3.3 Wärmequellen

Als Wärmequelle für eine Wärmepumpe kommen in Betracht:

- ▶ Erdreich mit vertikaler Sonde (Erdsonde)
- ▶ Erdreich mit horizontalem Kollektor (Flächenkollektor)
- ▶ Grundwasser mit Saug- und 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“



Abb.6 Sole/Wasser-Wärmepumpe (Junkers-TM-Serie)

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 Quadratmetern je Quadratmeter zu beheizender Fläche natürlich 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 Jahresarbeitszahlen. Allerdings ist eine wasserrechtliche Genehmigung Pflicht. Wasser/Wasser-Wärmepumpen können nur dort installiert werden, wo dies die Grundwassersituation zulässt. Darauf muss man beim Einsatz von Luftwärmepumpen keine Rücksicht nehmen: Luft/Wasser-Wärmepumpen können überall installiert werden, der Platz- und Investitionsbedarf ist gering. Auch sind sie nicht

genehmigungspflichtig. Jedoch ermöglicht Luft geringere Jahresarbeitszahlen als die anderen Wärmequellen, Abb.7. Die Geräuschbildung ist durch das Gebläse hoch, und die Filter machen eine häufigere Wartung notwendig.

Für Wärmepumpen nutzt man üblicherweise die Wärmeenergie der oberflächennahen Erdschichten bis maximal 100 Meter 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 Metern, Abb.8. In diese Bohrungen werden Sonden eingeführt, die aus U-förmigen Kunststoffrohren bestehen, in denen später Sole zirkulieren wird. Beim Eintritt in die Erdsonde hat die

	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

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

Sole mit zirka 2 bis 4 °C eine Temperatur, die unter der des Erdreichs liegt. Sie erwärmt sich auf ihrem Weg nach unten und wieder nach oben um zirka 3 bis 4 Kelvin (K), in der Regel also auf zirka 6 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 zirka 10 Metern mit etwa 10 °C praktisch konstant ist, Abb.9. In Bodennähe machen sich hingegen die jahreszeitlichen Schwankungen der Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur bemerkbar: Im August kann man eine Bodenoberflächentemperatur von 20 °C messen, Anfang Februar 0 °C. Diese Unterschiede sind nur in der obersten Schicht von zehn Metern relevant und damit bei einer Bohrtiefe von 50 bis 100 Metern 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.

3.4 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: das Verhältnis

von Leistungen – die Leistungszahl – und das Verhältnis von Energien beziehungsweise von Arbeiten – 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. Englisch: Coefficient of Performance (COP). 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 betrach-

bei sechs liegen, bei 40 °C Temperaturhub sinkt sie auf etwa vier. 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



Abb.8 Erdbohrung für die Erschließung der Wärmequelle

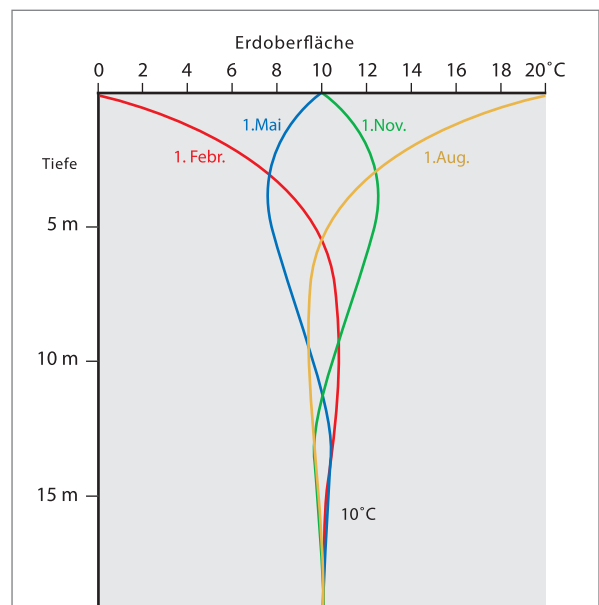


Abb.9 Einfluss der Jahreszeiten auf die Temperatur der obersten Erdschichten (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

tet werden, spricht man von der Jahresarbeitszahl. Englisch: Seasonal/Annual Performance Index (SPI/API).

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 25 °C Temperaturhub kann die Leistungszahl

höher: von etwa 4,5 auf 3,5, Abb.10.

Hier wird der Vorteil einer Sole/Wasser-Wärmepumpe offensichtlich, die bei zirka 35 °C maximaler Systemtemperatur eine Arbeitszahl zwischen 4,5 und 5 aufweist. Eine Luft/Wasser-Wärmepumpe erreicht zirka 3 bis 3,5 – das bedeutet einen rund 40 % höheren Stromverbrauch. Weiter wird offensichtlich, dass die Systemtemperatur auf der Heizkreisseite möglichst niedrig sein sollte. Ein Niedertemperaturheizsystem ist energetisch die sinnvollste Lösung, da konventionelle und Mitteltem-

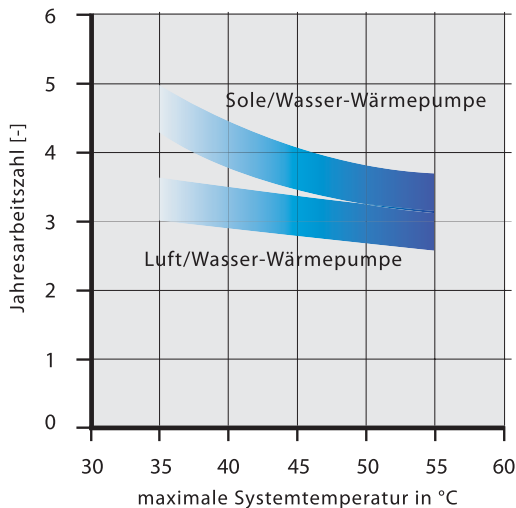


Abb. 10 Jahresarbeitszahlen zweier Wärmepumpen-Typen – Sole/Wasser und Luft/Wasser – in Abhängigkeit von der Systemtemperatur (Quelle: Vereinigung der deutschen Zentralheizungswirtschaft e.V.)

peratur-Heizsysteme den energetischen und damit auch den wirtschaftlichen Vorteil der Wärmepumpe mindern.

3.5 Mono- oder bivalente Betriebsweise ?

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-, tri-energetisch). 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.

QUALIFIZIERTE KENNTHNISSE AUSBAUEN

Durch Schulungen, die u.a. von Herstellern und Energieversorgern angeboten werden, können Fachleute ihre Kenntnisse rund um Wärmepumpen-Heizanlagen erweitern oder diese vertiefen.

Es wird auf die Planung, Installation und den Betrieb von Wärmepumpen eingegangen und auch rechtliche Aspekte sowie öffentliche und technische Anforderungen werden behandelt.

FAZIT

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.

In der zweiten Folge dieses Fachbeitrags erfahren Sie mehr über den Einsatz von Wärmepumpen mit Erdwärmesonden für Neubau und in bestehenden Gebäuden.

Teil 2 dieses Artikels ist online abrufbar unter www.ihks-fachjournal.de/artikel-online/junkers

Autoren

Jochen Steffl,

Produktmanager Wärmepumpe

Wolfgang Heller, Vermarktungsmanager

Regenerative Energiesysteme

Junkers, Wernau

Fotos und Grafiken: Junkers

www.junkers.com

SPIROVENT 'LUFT SUPERIOR S3

Automatischer Vakuumentgaser für Heizungs- und Kühlanlagen bis 10m³ / 3,5 bar

40 Watt Pumpenleistung
+ 49 dB(A) Schallpegel

= 100 % Entgasung

