

Hauswärmepumpen - Heizen ohne Brennstoff

Grundlagen — Anwendung — Wirtschaftlichkeit

Ing. Helmut Lindner, VDI

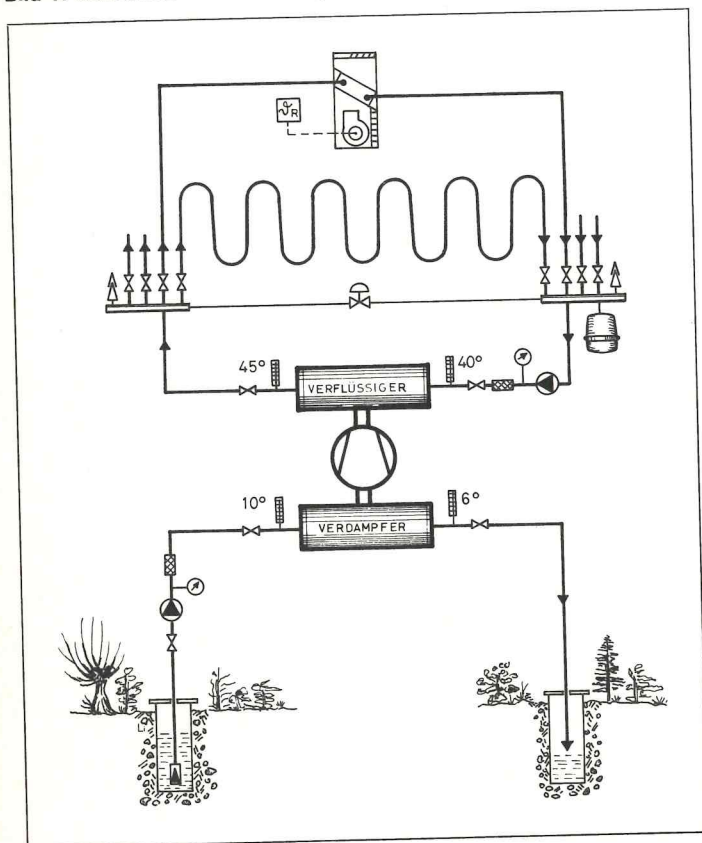
Wärmepumpen in Verbindung mit Niedertemperatur-Heizsystemen verzeichnen eine permanente Wachstumstendenz. Nicht zuletzt hat die Energiesituation der Vergangenheit dazu beigetragen, unabhängige zukunftsorientierte Heizsysteme zu betreiben. Mit den theoretischen Grundlagen der Wärmepumpe einschließlich Anwendung und Wirtschaftlichkeit sowie Praxiserfahrungen befaßt sich der nachfolgende Artikel.

Einführung

Die Wärmepumpe ist bei fachgerechter Planung und Berechnung in ihrer Konstruktion keine vorübergehende Konjunkturerscheinung, sondern vielmehr ein wertvolles Verfahren zur Verbesserung der Wärmewirtschaft und zur Einsparung von Primärenergie.

Für viele nicht unerwartet ist „Energie sparen“ zur Parole geworden. Die Wärmepumpe bietet hier neben anderen positiven Eigenschaften ein zukunftsorientiertes Heizsystem. Bei keinem anderen System tritt die wirtschaftliche Verwendung der Energie so deutlich hervor, wie bei der Wärmepumpe. Ihr Anwendungsgebiet ist sehr umfangreich und heute noch nicht voll ausgeschöpft. Angefangen bei der Wohnraumbeheizung über die Wärmerückgewinnungssysteme bei Klima- und Industrieanlagen, der thermischen und biologischen Entlastung der Flüsse bis zur Verwendung der Umgebungswärme mit niedriger Temperatur aus Grundwasser, Erdboden, Luft und Sonnenwärme, erstrecken sich die umweltfreundlichen Einsatzmöglichkeiten.

Bild 1: Schematische Darstellung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe



Grundlegendes der Wärmepumpe

Ein gutes Beispiel dafür, wie sehr wirtschaftliche Überlegungen die technische Entwicklung hemmen oder fördern können, ist die Wärmepumpe.

Das Prinzip der Wärmepumpe ist nicht etwa eine Erfindung der Neuzeit, sondern bereits seit über 100 Jahren bekannt. Im Jahre 1852 wurde die Maschine von dem englischen Physiker Sir W. Thomson (Lord Kelvin) zum Patent angemeldet und erprobt. Die Variabilität der Wärmepumpenmaschine verspricht einen für die Zukunft steigenden technischen Einsatz, was besonders begünstigt wird durch die steigenden und unsicheren Erdgas- und Rohölpreise, die größeren Anforderungen an die Umweltbedingungen, die zunehmenden Schwierigkeiten in bezug auf Beschaffung, Bezug und Lagerung von Öl und Flüssiggas sowie die Reinhaltung der Luft von Abgasen und Verbrennungsrückständen.

Kälteanlage und Wärmepumpe

Eine Kälteanlage und eine Wärmepumpe sind vom Grundaufbau her prinzipiell gleichartige thermodynamische Anlagensysteme. Zur Kälteerzeugung gibt es nur wenige technisch und wirtschaftlich vergleichbare Verfahren. Dagegen kann man Wärmeenergie mit verschiedenen Methoden aufwendig oder preiswert erzeugen. Mit diesen Verfahren, im besonderen der Verbrennung von Kohle, Gas und Öl, muß die Wärmepumpe konkurrieren können.

Was ist eine Wärmepumpenheizung?

Die Wärmepumpe ist ein modernes zukunftsorientiertes Heizsystem, das es möglich macht, ungenutzte, vorhandene und kostenlose Wärmequellen wie z. B. Grund-, See-, Flußwasser, Luft, Erdwärme, Sonnenenergie sowie humane- und industrielle Abwärme wirtschaftlich für Heizzwecke nutzbar zu machen. Das System einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung und Gebläsekonvektor ist in Bild 1 dargestellt.

Die Wärmepumpe selbst ist eine Arbeitsmaschine, die mit Hilfe einer höherwertigen Antriebsenergie — Elektrizität — Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau auf eine höhere, zur Heizung geeignete, Temperatur anhebt. Bei der Kälteanlage wird das wirtschaftliche Augenmerk auf die Kaltseite (Wärmeentzugsseite) und bei der Wärmepumpe auf die wärmeabgebende, d. h. Warmseite, gerichtet. Besonders wirtschaftlich interessante Anlagen sind jene, bei denen Kalt- und Warmseite gleichzeitig genutzt werden.

Wirkungsweise der Wärmepumpe

Auf den ersten Blick erscheint es als ein Widerspruch zum ersten Hauptsatz der Wärmelehre, daß die Wärmepumpe in der Lage ist, eine Wärmemenge „Q“ zu liefern, die ein Mehrfaches des Wärme-Äquivalentes der zugeführten Arbeit beträgt. Allgemein ist bekannt, daß 1 kWh in eine Wärmemenge von 860 kcal umgewandelt werden kann. Weniger übersichtlich sind die Zusammenhänge der Wärmepumpe, bei der ein Kreisprozeß durchgeführt wird, der aus mehreren Zustandsänderungen besteht.

Physikalisch und thermodynamisch gesehen folgt die Wärmepumpe in ihrer Funktion den drei Hauptsätzen der Wärmelehre. Mit der Wärmepumpe wird somit Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau (t_0 , T_0) auf ein höheres, für Heiz-

zwecke geeignetes Temperaturniveau (t, T) gepumpt. Die gesamte, bei der Verflüssigungstemperatur t, T nutzbare, Heizwärme Q setzt sich aus der hochgepumpten Wärmemenge Q_0 und dem Wärmeäquivalent der für das Hochpumpen benötigten elektrischen Arbeit AL zusammen.

$$Q = Q_0 + AL \cdot 860 \text{ kcal/h}$$

Damit ist auch zugleich die Kälteanlage definiert. Die unterschiedliche Bezeichnung „Kälteanlage oder Wärmepumpe“ weist lediglich auf die verschiedenartige Verwendung der Anlage hin.

Schematischer Aufbau

Die größte wirtschaftliche Bedeutung hat zur Zeit die Kaltdampf-Wärmepumpe mit mechanischer Verdichtung der Kältemitteldämpfe. Der Kreisprozeß findet im geschlossenen Anlagensystem statt. Eine derartige Anlage besteht im wesentlichen aus vier Hauptteilen: Verdichter mit Antriebsmotor, Verflüssiger, Verdampfer und Regelventil. Das Schaltbild einer Wärmepumpe ist in Bild 2 dargestellt. Der Kreislauf der Anlage ist mit einem Sicherheitskältemittel gefüllt, das auf den jeweiligen Einsatzbereich abgestimmt ist. Die Dampfdrücke bewegen sich im Bereich zwischen 1 bis 25 bar. Sicherheitskältemittel sind ungiftig, unbrennbar, nicht explosiv, außerdem kommen sie in keiner Weise mit dem Heiz- oder Grundwasser in Berührung.

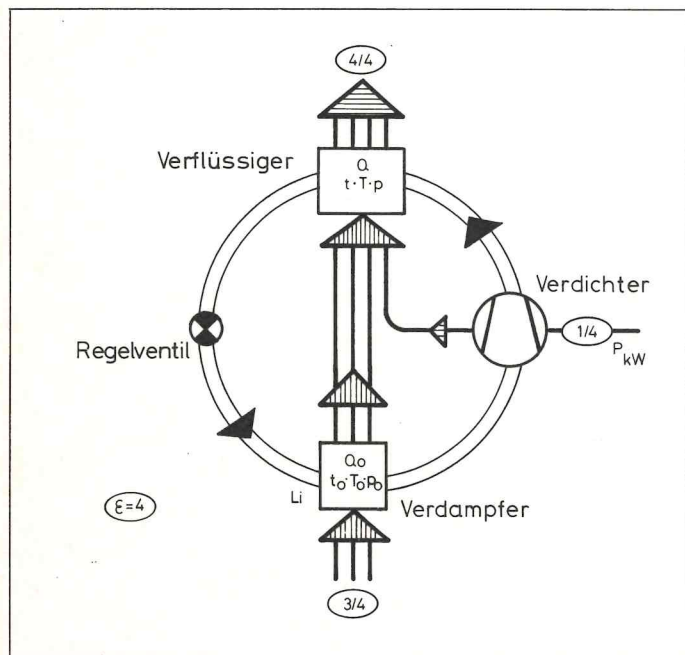


Bild 2: Schaltbild einer Kaltdampf-Wärmepumpe mit Leistungszifferdarstellung

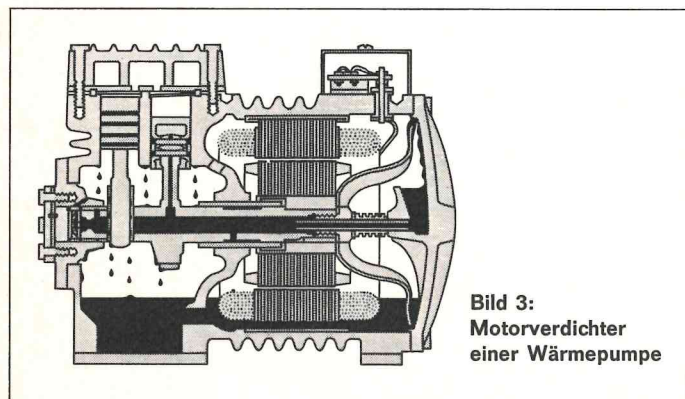


Bild 3: Motorverdichter einer Wärmepumpe

Nimmt man eine Wärmepumpe nach Bild 2, die zunächst in allen Teilen gleiche Temperatur aufweist, in Betrieb, so saugt der Verdichter gasförmiges Kältemittel aus dem Verdampfer, wodurch der Druck p_0 fällt. Das im Verdampfer befindliche flüssige Kältemittel beginnt zu verdampfen und kühlt sich auf die Verdampfungstemperatur t_0 ab. Wird der Verdampfer jetzt z. B. mit Brunnenwasser von $+10^\circ\text{C}$ beaufschlagt, so kühlt sich dieses auf z. B. $+4^\circ\text{C}$ ab. Die dem Wasser somit entzogene Wärmemenge Q_0 wird über das verdampfende Kältemittel transportiert. Die dabei entstehenden Dämpfe werden von einem Verdichter gemäß Bild 3 angesaugt, auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau verdichtet, bis es möglich ist, den Kältemittel-Dampf im Verflüssiger unter Abgabe der Verflüssigungswärme Q wieder zu verflüssigen. Die Wärmeabgabe erfolgt hierbei an den Heizwasser-Kreislauf, wo Vorlauftemperaturen bis $+50^\circ\text{C}$ zur Verfügung stehen. Das verflüssigte Kältemittel gelangt über ein Regelventil (zur Entspannung auf den Verdampfungsdruck p_0) in den Verdampfer. Hier beginnt der Kreisprozeß von neuem.

Leistungsziffer - Leistungszahl

Eine Wertgröße für die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe ist die Leistungsziffer, auch Leistungszahl genannt. Sie ist das Verhältnis zwischen Nutzen zu Aufwand und eine wichtige Bezugsgröße zur wirtschaftlichen Prozeßbeurteilung.

$$\epsilon_p = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\text{Verflüssigungswärme}}{\text{Leistungsaufnahme}} = \frac{Q}{P_e} [-]$$

Mit Hilfe des theoretischen Prozesses nach „Carnot“ läßt sich die Leistungsziffer vorausberechnen

$$\epsilon_c = \frac{T}{T - T_0} [-]$$

T und T_0 sind absolute Temperaturen in Kelvin, fälschlicherweise oft verwechselt mit der Wassertemperatur auf der Heiz- und Kaltseite. In der Praxis kann man annähernd davon ausgehen, daß die praktische Leistungsziffer ϵ_p etwa 50% der Carnot'schen Leistungsziffer entspricht

$$\epsilon_p = \epsilon_c \cdot 0,5 [-]$$

Mit Hilfe der errechneten Leistungsziffer lassen sich bereits im voraus wichtige Entscheidungen über Sinn und Zweck der einzusetzenden Wärmepumpe aussagen.

Wärmepumpen-Systeme

Wärmepumpen werden nach ihrer Primär- und Sekundärseite, daß heißt nach dem Energieträgermedium klassifiziert. So unterscheidet man folgende Bauformen von Wärmepumpen.

primärseitige Wärmeaufnahme am Verdampfer	}	Luft - Luft	} sekundärseitige Wärmeabgabe am Verflüssiger
		Luft - Wasser	
		Wasser - Luft	
		Wasser - Wasser	
		Erdreich - Luft	
Erdreich - Wasser			

Wärmequellen - Primärenergie

Die Leistungsziffer und damit die Wirtschaftlichkeit werden maßgeblich von der Wärmequelle bestimmt, von der die niederwertige Energie geliefert werden soll. Je höher die Temperatur und Konstanz der Wärmequelle bezogen auf das Jahr ist, um so kleiner ist das Temperatur- und Druckgefälle zwischen Hoch- und Niederdruckseite, um so größer ist die Leistungsziffer. Als verwendbare Wärmequellen für die Wärmepumpenheizung kommen in Frage: Grund-, Fluß-, See- und Meer-Wasser, Erdreich, Luft, Sonnenenergie, Prozeß-Abwärme von Industrie und Kraftwerken sowie rück-



etwa das ein- bis zweifache der Heizfläche betragen muß. Der große Wärmeaustauscher und die unbekannt thermischen geologischen Erdverhältnisse verunsichern und verteuern die Anlage. Reparaturen an der im Erdreich verlegten Rohrschlange sind fast unmöglich.

Sonnenenergie

Wärmepumpen können in den wassergekühlten Sonnenkollektorenkreislauf geschaltet werden. Wegen dem Antizyklus zum Wärmebedarf des Hauses muß über Speicher gefahren werden, so daß große bauliche Maßnahmen dazu erforderlich sind. Ob dieses Anlagensystem sich durchsetzen und das Versuchsstadium verlassen wird, hängt von den Investitionskosten derartiger Systeme ab.

Flächenheizungen kombiniert mit Wärmepumpen

In der Vergangenheit wurden Decken- und Fußbodenheizungen aus Stahl- oder Kupferrohren, eingegossen in Beton oder Estrich, meist nur für die Grundtemperierung ausgelegt. Bautechnisch sollte die Wärmedämmung in Ge-

Bild 7: Kompaktwärmepumpe mit Heiz- und Brunnenwasserleitungen. Heizleistung $Q_h = 45\,000$ kcal/h.

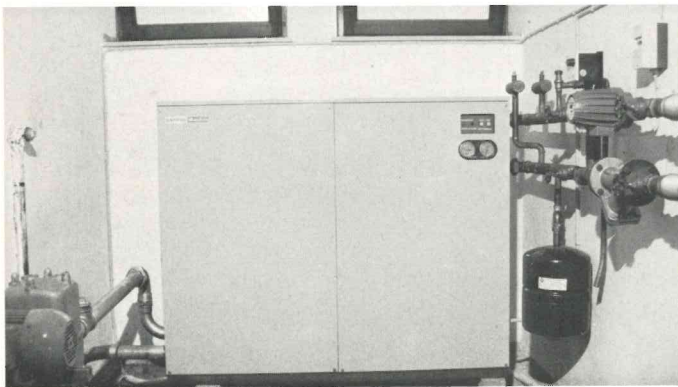
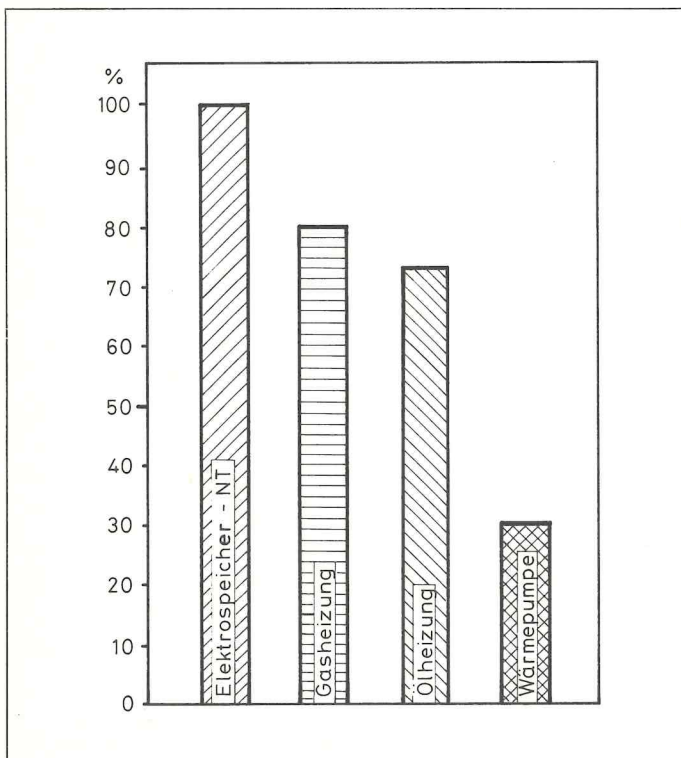


Bild 8: Betriebskosten der Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Energiekosten



bäuden konsequent so ausgelegt sein, daß ein spezifischer Höchstwärmebedarf von $Q = 80$ bis 90 kcal/m² · h nicht überschritten wird. Dieser Vollwärmeschutz wird erreicht, wenn die k-Werte der ans Freie grenzenden Bauteile nicht größer werden als:

Außenwände $k = 0,4 - 0,7$ kcal/m² h °C
 Dach/Obergeschoß/Decke $k = 0,3 - 0,5$ kcal/m² h °C
 Fenster-Isolierverglasung $k = 2,5$ kcal/m² h °C
 langfristige Fugendichtung der Fenster $a = 1,0$

Mit den bewährten Heizwasserrohren aus Spezialkunststoff, die vollauf dem vorherrschenden Temperatur- (+30 bis +50 °C) und Druckbereichen gerecht werden, gewinnt dieses moderne Heizsystem immer größeres Interesse. Die Verlegung der Kunststoffrohre, die mit Wärmepumpen-Heizwasser beaufschlagt werden, ist unproblematisch. Zeitsparende Montage und verschiedene Verlegearten sind Vorteile, die das System nicht zuletzt durch die Unempfindlichkeit gegen Korrosion immer beliebter machen. Bild 5 zeigt ein Fußbodenheizsystem nach erfolgter Verlegung. Sinnvoll ist die Kombination mit Gebläsekonvektoren, die auch bei niedrigen Vorlauftemperaturen wirtschaftlich arbeiten. In Verbindung mit Temperaturreglern, die das Gebläse direkt schalten, haben sie den Vorteil kurzer Ansprechzeit und guter Regelbarkeit.

Betriebseigenschaft der Wärmepumpen-Fußbodenheizung

Im Vergleich zur Elektro-Fußbodendirektheizung hat die Warmwasserheizung günstigere Betriebseigenschaften. Hohe Temperaturen unter Stellflächen oder ein Hitzestau können hier nicht auftreten, da die verminderte Wärmeabgabe, z. B. unter Stellflächen, nicht zur Temperaturerhöhung führt. Die Heizwassertemperatur bleibt gleich. Die verminderte Wärmeabgabe verringert die Temperaturdifferenz zwischen Heizrohr und Fußbodenoberfläche. Gleiche vorteilhafte Auswirkungen ergeben sich bei Sonneneinstrahlung, bei der die Raumtemperatur erhöht und die Wärmeabgabe der Fußbodenheizung vermindert wird. Diese betriebsgünstigen Eigenschaften tragen mit dazu bei, ein gutes Behaglichkeitsempfinden der Warmwasserfußbodenheizung zu gewährleisten, die der idealen Heizung, wie die Temperaturprofile gemäß Bild 6 zeigen, annähernd gleich kommt.

Regelung der Wärmepumpenheizung

Stets ist eine gleichmäßige Behaglichkeit anzustreben, wobei die Vorteile der Wärmepumpe und günstige Leistungsziffern genutzt werden sollten. Hierbei ist es sinnvoll, eine witterungsgeführte Warmwassertemperaturregelung einzusetzen. Sie sollte jedoch nicht als Mischregelung, wie herkömmlich bekannt, eingesetzt, sondern als Direktregelung auf die Temperatur der Wärmepumpe wirksam werden. Je nach Einstellung der Heizkurve ordnet der elektronische Regler jeder Außentemperatur eine bestimmte Vorlauftemperatur zu. Um den inneren Wärmepumpenkreislauf zu stabilisieren, sind sechs Schaltungen je Stunde nicht zu überschreiten. Aus den gleichen Gründen ist eine Mindestlaufzeit sicherzustellen. Diese wichtigen Punkte beeinflussen wesentlich die Betriebssicherheit und vor allem Dingen die Lebensdauer der Anlage (Bild 7).

Wirtschaftlichkeit

Ausschlaggebend für den Einsatz einer Heizwärmepumpe ist im wesentlichen die Wirtschaftlichkeit der Wärmeerzeugung gegenüber den konkurrierenden Heizarten. Für die jeweilige Anlage sind die örtlichen Gegebenheiten mit den Energiepreisen zu vergleichen (s. Bild 8). Bei frühzeitiger Planung einer Serien-Wärmepumpenanlage sind die

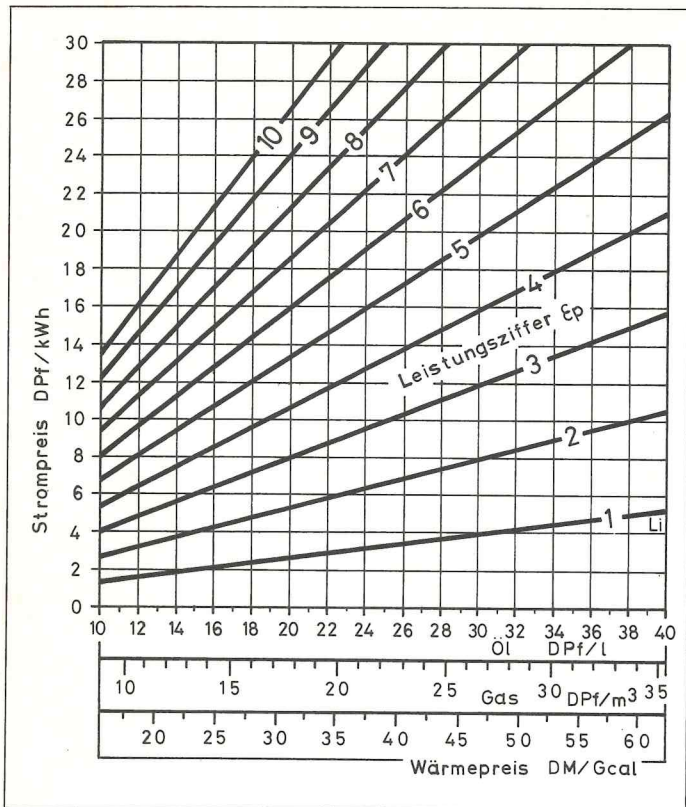
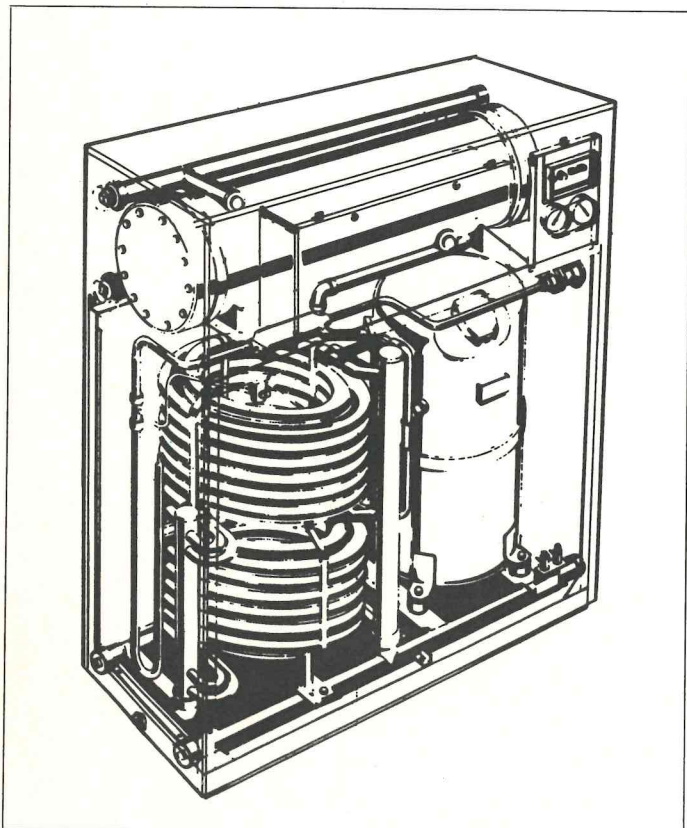


Bild 9: Betriebskenngrößen verschiedener Energiearten mit anlegbarem Strompreis und Leistungsziffer einer Wärmepumpe als Vergleichsbasis

Heizöl EL $H_u = 8\,600 \text{ kcal/l}$
 Erdgas $H_u = 7\,600 \text{ kcal/m}^3$
 Heizungswirkungsgrad $\eta_{ges.} = 0,75$

Bild 10: Serienmäßige Kompaktwärmepumpe (Happel KG)



Anlagekosten bis auf den Primärkreislauf nur unwesentlich höher gegenüber z. B. einer kompletten Ölheizung.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit gibt das Nomogramm in Bild 9 eine wichtige Entscheidungshilfe. Hier läßt sich bei gegebenen Energiepreisen ablesen, ob der Einsatz einer Wärmepumpe wirtschaftlich sinnvoll ist.

Beispiel:

Leistungsziffer $\epsilon_p = 4$, Strompreis 0,10 DM/kWh. Es besteht Energiekostengleichheit bei einem Heizölpreis von 0,19 DM/l und Erdgaspreis von 0,17 DM/m³. Liegen die effektiven Energiepreise höher, so sind die Betriebskosten der Wärmepumpe günstiger.

Vorteile der Hauswärmepumpe

- Vollautomatische Betriebsweise durch witterungsgeführte Regelung
- Geringer Raum- und Platzbedarf durch Serienherstellung in Kompaktbauweise
- Umweltfreundlich, keine Verschmutzung der Umwelt, keine Abgase, keine Niederschläge von Rußteilchen
- Keine Bevorratung von Brennstoff
- Schornstein und Reinigungskosten entfallen, keine lästigen Brennstoffgerüche
- Saubere Heizung, optimales Behaglichkeitsempfinden
- Geringe Betriebskosten
- Unabhängig von der Öl- und Gasversorgung
- Große Sicherheit der Energieversorgung durch Elektrizität
- Leichte und schnelle Montage.

Zusammenfassung

Energie ist die Grundlage für unseren Wohlstand, eine sinnvolle und optimale Energieanwendung ist nötiger denn je geworden. Die Einsatzmöglichkeiten der Wärmepumpen für Heizzwecke und die damit verbundenen Randgebiete wurden erörtert. Erfahrungen mit derartigen Anlagen liegen seit mehr als 30 Jahren vor. Schon heute zeichnet sich ab, daß Wärmepumpen mit Niedertemperatur-Heizsystemen die Zukunft bestimmen werden, da sie vollwertige Alternativlösungen darstellen. Es werden jährlich spezifische Heizkosten von ca. DM 5,- je m² Heizfläche erreicht. Die weiterentwickelten, serienmäßig hergestellten Kompaktwärmepumpen (siehe Bild 10) bieten relativ günstige Anlagekosten. Sie erfordern, bezogen auf die Heizleistung, wenig Aufstellungsraum und haben geringe Montage- und bauliche Kosten zur Folge. Nicht zuletzt dadurch werden diese energiesparenden Wärmepumpen-Heizungen staatlich gefördert.

Literatur

R. Plank: Handbuch der Kältetechnik
 DIN 4701 — Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, 1959
 VDI 2067 — Richtwerte zur Vorausberechnung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Brennstoffe
 DIN 8975 — Kälteanlagen — Sicherheitstechnische Grundsätze
 Kältemaschinen-Regeln, 5. Auflage 1958
 Wärmepumpen-Katalog der Firma Happel KG
 Engineering Manual Heat Pump, New York, USA, 1964
 Pohlmann: Taschenbuch für Kältetechniker, 15. Auflage