

Großwärmepumpen in Kaskaden für Gebäude mit hoher Heizlast

Grundlagen der Anlagenplanung

Dipl.-Ing. (FH) Frank Röder, Leiter Planungsabteilung für erneuerbare Energien



Circa ein Drittel der in Deutschland eingesetzten Primärenergie wird von privaten Haushalten verbraucht [1]. Davon entfallen 89 % auf die Raumheizung und die Bereitung von Trinkwarmwasser [2]. Nicht zuletzt deshalb konzentrieren sich Maßnahmen der Bundesregierung auf die Förderung von energieeinsparenden Neubau- und Renovierungsvorhaben und den Einsatz erneuerbarer Energien für die Wärmeengewinnung.

Neu eingeführt wurde seit Anfang des Jahres die Förderung des energieeffizienten Einsatzes von Wärmepumpen in Gebäuden [3]. Die Verbesserung der Energieeffizienz und der sorgsame

Umgang mit Ressourcen sind wesentliche Ziele der Energiepolitik im privaten wie auch im gewerblich industriellen Bereich. Große Potenziale bestehen zudem bei der Erstellung von Prozesswärme und -kälte beispielsweise durch die Nutzung von Abwärme. Elektrisch angetriebene Wärmepumpen bieten gute Voraussetzungen, nachhaltig Primärenergie einzusparen und den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Wärme wie auch Kälte lassen sich effizient, schadstoffarm und kostengünstig erzeugen. Geräte kleiner und großer Heizleistung sind Stand der Technik. Letztere erfahren hohes Interesse und ein überdurchschnittliches Wachstum, Abb.1. Neben den traditionellen Wärmequellen für Heizungswärmepumpen lassen sich Prozesswärme und Kälte besonders effizient nutzen respektive erzeugen.

Heizungswärmepumpen lassen sich, abhängig von ihrer Heizleistung, in Klassen einteilen [4]. Kleinwärmepumpen, Abb.2, Säule a, sind in der Regel Serien- und Einzelgeräte, die mittels Standardschaltungen in die Wärmeerzeugung eingebunden werden. Zur mittleren Klasse, Abb.2, Säule b, zählen ebenfalls Serienprodukte, die an die Planung und Installation bereits komplexere Anforderungen stellen. Großwärmepumpen, Abb.2, Säule c, sind oft im Verbund (in Kaskaden) angeordnete Geräte, die entweder speziell für ein Vorhaben gefertigt sind oder aber aus einer Serienproduktion stammen können. Die Großwärmepumpe WPF 20..66 von Stie-

bel Eltron beispielsweise ist seriell sowohl als Einzelgerät für den Bedarf bis zu 66 kW als auch für eine Kaskade von bis zu sechs Geräten ausgelegt, so dass eine maximale Heizleistung von etwa 400kW erreicht werden kann. Der Vorteil einer kaskadierten Anlage gegenüber einer denkbaren extrem großen Einzelmaschine besteht darin, dass je nach Leistungsabfrage nur die tatsächlich benötigten Geräte arbeiten, wodurch eine höhere Effizienz erreicht wird.

Mittlere und Großwärmepumpen bieten individuell auf das Gebäude/den Prozess abgestimmte Lösungen und Möglichkeiten. Mitunter weisen sie aber unbefriedigende Ergebnisse, sprich Jahresarbeitszahlen,

auf [4]. Wesentlich für den Erfolg ist die integrale Anlagenplanung und die Kenntnis grundlegender Unterschiede zu Kleinwärmepumpen.

WÄRMEQUELLENANLAGEN FÜR GROSSWÄRMEPUMPEN

Die Wahl der Wärmequelle wird für Großwärmepumpen tendenziell schwieriger. Die Quelle muss entsprechend ergiebig sein, denn sie dominiert je nach Art die Investitionskosten. Außerdem können Nebentriebe hohe Antriebsenergien verursachen sowie ein spezielles Management erfordern. Abb.3 zeigt Wärmequellen und nutzbare Temperaturniveaus. Je Kelvin hö-

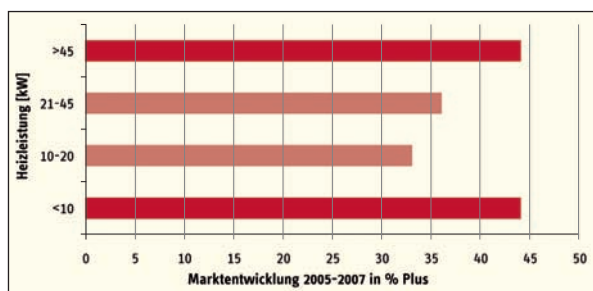


Abb. 1 Marktentwicklung, Heizungswärmepumpen nach Heizleistung

herer Verdampfungs- bzw. Quellenaustrittstemperatur erhöht sich die Jahresarbeitszahl um 2 – 2,5 %, [4].

WÄRMEQUELLE GRUNDWASSER

Grundwasser bietet ein günstiges Temperaturniveau für gute Jahresarbeitszahlen und eine leistungsstarke, effiziente passive Gebäudekühlung. Es muss jedoch in ausreichenden Mengen und passender Qualität verfügbar sein und zudem für die Nutzung genehmigt werden. Um Ergiebig-

keit und Qualität im Vorfeld zu testen, fallen Kosten für die Probebohrung an. Die Investitionskosten steigen dann jedoch nicht proportional zur Entnahmeleistung. Großer Wert ist auf die Auslegung der Nebenantriebe zu legen. Optimal ist eine Wasserauskühlung von 3 – 3,5 K. Der für kleinere Spreizungen notwendige Hilfsenergieaufwand übersteigt den Gewinn an höherer Effizienz. Ein abgestimmter Teillastbetrieb schont die Quelle und erhöht die Gesamteffizienz. Vor allem in „offenen“ Systemen mit Bohrtiefen von über 10 m sollten mehrere lastabhängige Umwälzpumpen einer drehzahlgeregelten Pumpe vorgezogen werden. Trennwärmetauscher verringern die Effizienz und Heizleistung. Gleichermaßen erhöhen sie jedoch die Betriebssicherheit, schützen das Aggregat

und mindern die Wartungskosten. Je nach Wasserqualität und Aggregat kann der Einsatz daher sinnvoll sein.

WÄRMEQUELLE ERDREICH

Flächenkollektoren sind aufgrund des immensen Platzbedarfes enge Grenzen gesetzt. Vorteilhafter sind oft Erdsondenfelder, obwohl auch hier der verfügbare Platz zum begrenzenden Faktor werden kann. Die Erstellungskosten steigen proportional zur Entnahmeleistung und sind maßgebend für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit. Die Kosten pro Meter Erdsonde sinken um bis zu 10 % im Vergleich zu Kleinwärmepumpen. Trotz hoher Erstellungskosten sind Erdsondenfelder interessant, da Nebenantriebe die Jahresarbeitszahl kaum mindern, ein Wartungsaufwand vernachlässigt werden kann und passive Kühlanwendungen realisierbar sind. Bivalente Wärmepumpenanlagen erfordern eine genaue Dimensionierung

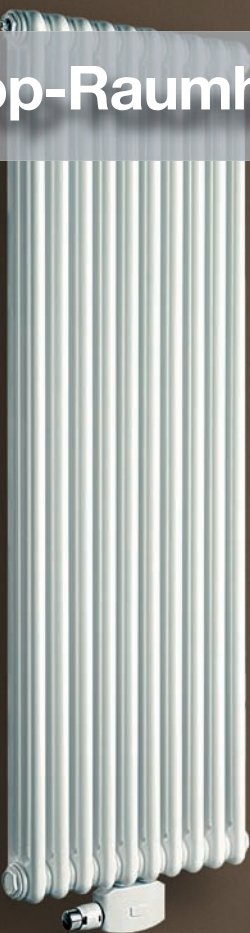
Top-Raumheizkörper mit M-Ventil 50 mm

6 Serien, 180 Modelle sofort aus Werkslager

NEU:
liNear Industriepartner

BEMM
Qualitäts-Heizkörper

BEMM GmbH
FON 0 51 21 / 93 00 - 0
FAX 0 51 21 / 93 00 84
info@bemm.de
www.bemm.de



MERA M Ventil-Röhrenradiator

Extra Lamellenradiator

Krera Kreuzrohr radiator

PawaV Panelheizwand

Alpa Aluminium-Heizpaneele

Badheizkörper · Röhren-, Säulen-, Lamellenradiatoren · Modernisierungsheizkörper · Aluminium-Heizpaneele · Panelheizwände · Panelkonvektoren

der Wärmequelle. Abb.4 zeigt typische Vollbenutzungsstunden für die Dimensionierung. Maßgebend ist das Verhältnis von Wärmepumpenheizleistung zu Gebäudeheizlast. Pro Meter Doppelrohr-Erdsonde sollten nicht mehr als 80 - 100 kWh/Jahr entzogen werden. Monovalente Anlagen können mit typischen Entzugsleistungen pro Meter Sonde überschlägig ausgelegt werden. Besonders Erdsondenfelder > 30kW erfordern jedoch numerische Simulationen, d. h. eine detaillierte Aussage zu möglichen Entzugsleistungen und langfristigen Entwicklungen bei kombinierten Heiz-/Kühlanwendungen.

WÄRMEQUELLE PROZESSWASSER

Die Nutzung von Abwärme ist in doppelter Hinsicht interessant. Nutzt eine Heizungswärmepumpe z. B. Abwärme eines geschlossenen Kühlkreislaufs, profitiert dieser von der entzogenen Kältearbeit. Letztere

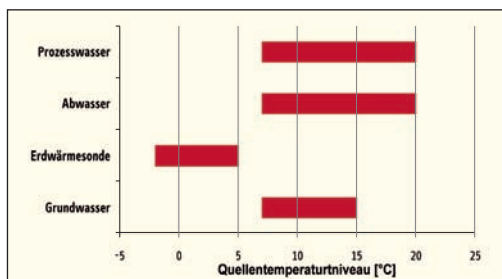


Abb.3 Temperaturniveau unterschiedlicher Wärmequellen

kann wiederum mit einer hohen Effizienz für die Erzeugung von Wärme genutzt werden. Sind Wärme und Kälte für einen definierten Prozess wie beispielsweise in einer Brauerei nötig, bieten Heizungswärmepumpen in Kombination mit prozesseigenen Speichermassen die ideale Lösung. Folgende Fragen sind für den Anlagenplaner essentiell:

- ▶ Wird der Auslegungspunkt durch die Wärmesenke oder Wärmequelle definiert?
- ▶ Sind Volumenströme, Temperaturniveaus, Wärmeträger und Einsatzgrenzen für Heizungswärmepumpen geeignet?
- ▶ Ist mit wechselnden Randbedingungen zu rechnen und sind die Komponenten dafür ausgelegt?

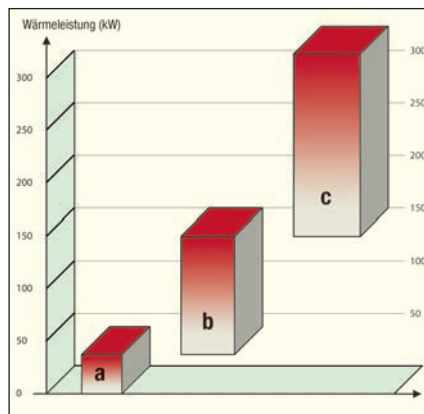


Abb.2 Wärmepumpenklassen nach Heizleistung

- ▶ Ist der Aufbau zusätzlicher Speichermassen sinnvoll?
- ▶ Beeinflusst das Wärmepumpensystem den Prozess negativ (Bsp. minimale Kühlmitteltemperatur)?
- ▶ Wie gestalten sich der zeitliche Ablauf und die Kontinuität des Prozesses und welche regelungstechnischen Anforderungen sind nötig?

WÄRMEQUELLE ABWASSER

Die im Abwasser enthaltene Wärme wird meist ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Heizungswärmepumpen eignen sich durchaus für die Nutzung der Abwärme. Wirtschaftlich wird die Anwendung sinnvoll, wenn Wohnsiedlungen oder Nahwärmenetze eine Heizlast von mindestens 150kW erfordern und eine Abwassermenge von 15 Litern pro Sekunde zur Verfügung steht. Voraussetzung ist auch die Nähe des Objektes zu einem großen Abwasserkanal oder einer Kläranlage. Für die Übertragung der Wärme aus dem Abwasser werden überwiegend Wärmetauscher in die Sole von Abwasserkanälen eingebracht. Für den Einbau ist ein Leitungsdurchmesser von mindestens 0,8m erforderlich. An die Form des Kanals werden keine besonderen Anforderungen gestellt [5]. Um Abwärme aus einem Kanal zu gewinnen, ist in jedem Fall das

Einverständnis der Betreiber von Kläranlage und Kanalisation erforderlich, da die Abkühlung den Betrieb der Abwasserrei-

nigungsanlage beeinflussen kann. Nicht zu vernachlässigen sind die Betriebskosten von Abwasser-Wärmequellen. Mit der Zeit bildet sich ein Biofilm, der den Wärmeübergang reduziert und eine regelmäßige Reinigung oder eine entsprechende Überdimensionierung notwendig macht.

BETRIEBSWEISEN VON GROSSWÄRMEPUMPEN

Die grundsätzlichen Möglichkeiten, Heizungswärmepumpen zu betreiben, gelten auch für mittlere und Großwärmepumpen. Voraussetzung für einen alleinigen, also monovalenten Betrieb, Abb.5/1, ist die Einhaltung der Einsatzgrenzen Vorlauftemperatur und Quelltemperatur über den Betrachtungszeitraum. Ist dies aufgrund des Wärmeverteilsystems nicht gegeben, kann das System bivalent, d. h. mit einem zweiten Wärmeerzeuger kombiniert betrieben werden. Erreicht die System-Vorlauftemperatur einen für Wärmepumpen ungeeigneten und unwirtschaftlichen Bereich, schaltet das System auf den alternativen Erzeuger um, Abb.5/2.

Die neben dem monovalenten Betrieb wirtschaftlich interessanteste Betriebsweise ist der bivalent parallele Betrieb, Abb.5/3. Übersteigt die Gebäudeheizlast die installierte Wärmepumpenheizleistung am sogenannten Bivalenzpunkt, arbeiten Grund- und Spitzenlastwärmeerzeuger parallel. Für den Anlagenplaner stellt sich die Frage, ob eine Kombination sinnvoll, und wenn, welches Verhältnis von Grund- zu Spitzenlast am wirtschaftlichsten ist. Eine pauschale Beantwortung dieser Frage ist nicht mög-

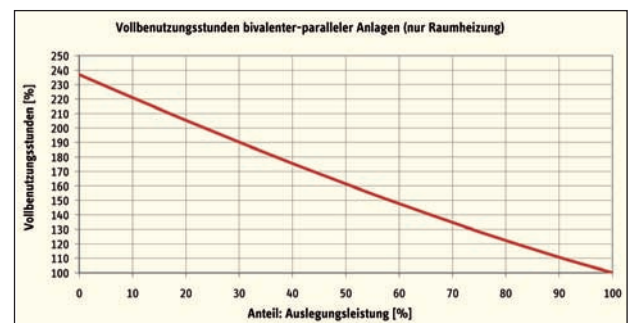


Abb.4 Vollbenutzungsstunden bivalent-paralleler Anlagen

lich. Vielmehr lässt sich feststellen, dass sowohl monovalente als auch bivalent parallele Lösungen wirtschaftlich sein können.

Eins ist sicher!



Grundfos gibt **5 1/4 JAHRE** Gewährleistung für Heizungsumwälzpumpen der Energieeffizienzklasse A.



MAGNA



ALPHA2

Die Gewährleistung von **5 Jahren plus 3 Monate** gilt für die Pumpen der Baureihen ALPHA und MAGNA der Energieeffizienzklasse A mit Herstellungsdatum ab 1. April 2007. Für diese Pumpen trägt Grundfos zudem das Qualitätszeichen der Handwerkermarke. Damit sind die SHK-Mitgliedsbetriebe bei Mängeln an allen Pumpenteilen bestens geschützt und können so ihren Kunden Grundfos-Pumpen der Energieeffizienzklasse A mit sicherem Gefühl empfehlen.



Heizungsumwälzpumpen der Energieeffizienzklasse A

Basis für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist der zu erwartende Deckungsanteil für bivalent parallele und alternative Kombinationen, Abb.6. Je geringer die Kosten für das Wärmequellensystem und je höher die zu erwartende Effizienz des Wärmepumpensystems, desto eher rechnet sich die monovalente Betriebsweise. Hohe Heizungsvorlauftemperaturen erfordern und rentieren meist eine Kombination mit Spitzenlastwärmeerzeugern. Das optimale Verhältnis liegt zwischen 40 und 70 % und wird vor allem durch die Kosten für den alternativen Erzeuger und die Mehrkosten für die Wärmequellenanlage (Erdreich) bestimmt. Abb.7 zeigt beispielhaft den Neubau eines Mehrfamilienhauses in verschiedenen Kombinationen.

HEIZEN UND KÜHLEN MIT GROSSWÄRMEPUMPEN

Der Anlagenplaner sieht sich häufig mit verschiedensten Verbrauchern und Kombinationen konfrontiert. Unterschiedliche Temperaturniveaus, Haustechnikfunktionen und große Distanzen für die Verteilung sind für die Planung anspruchsvoll und entscheiden über Erfolg und Misserfolg.

WÄRMENETZ / NAHWÄRMENETZE

Der Entscheidung für eine Großwärmepumpe geht oft der Wunsch nach einer zentralen Lösung für größere Heizleistungen voraus. Folglich ist Wärme über längere, oft auch erdverlegte Distanzen zum Verbraucher zu transportieren. Je Kelvin höherer Vorlauf-temperatur sinkt die Jahresarbeitszahl um ca. 1,25 % [4]. Wesentlich sind daher die Reduzierung der Verluste im Verteilsystem und des Hilfsenergieaufwandes für Nebenantriebe. Empfehlungen:

- ▶ Nahwärmenetze gleitend betreiben
- ▶ Wärmepumpensystem hydraulisch entkoppeln
- ▶ Nebenantriebe drehzahl geregelt auslegen
- ▶ Hausübergabestationen (Wärmetauscher) möglichst vermeiden
- ▶ Mittlere Strömungsgeschwindigkeit 1,0 – 1,5 m/s, Temperaturspreizung 7 – 10 K
- ▶ Kurze Wege, kleine U-Werte

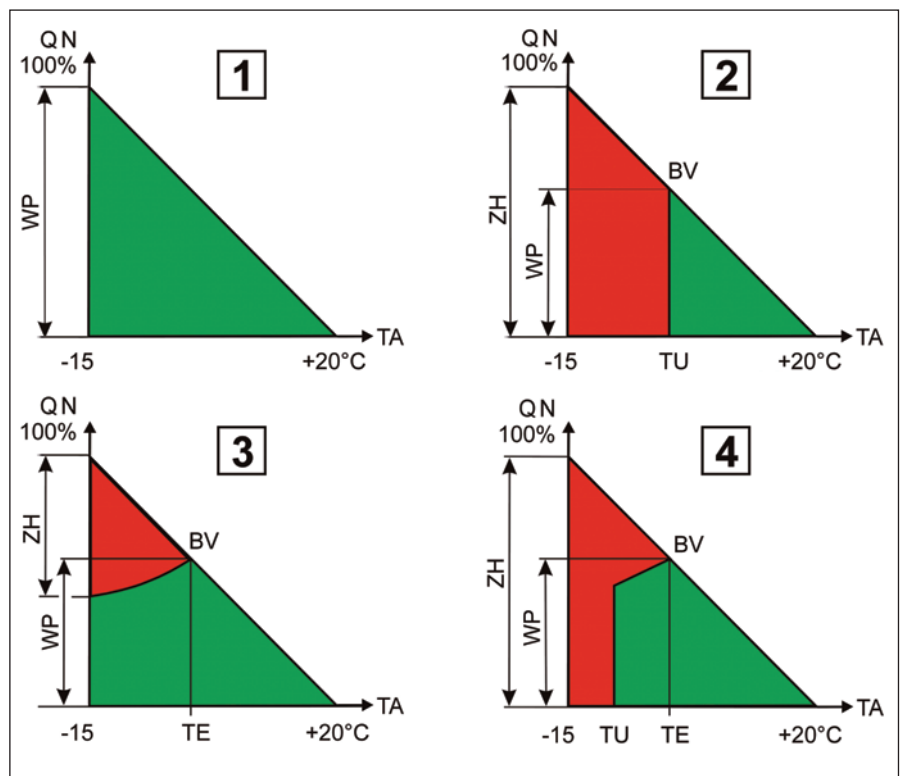


Abb.5 Betriebsweisen von Wärmepumpenanlagen
 Legende: WP = Wärmepumpe, QN = Heizlast, TU = Umschalt-
 punkt, BV = Bivalenzpunkt, ZH= Zusatzheizung, TE =
 Einschaltung Zusatzheizung, TA = Außentemperatur

Bivalenzpunkt $\vartheta_{Biv.}$ [°C]	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3
Leistungsanteil μ [-]	0,77	0,73	0,69	0,65	0,62	0,58	0,54	0,50
Deckungsanteil α_{Hg} [-] bei biv.-paral. Betrieb	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96
Deckungsanteil α_{Hg} [-] bei biv.-altern. Betrieb	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,87	0,83

Bivalenzpunkt $\vartheta_{Biv.}$ [°C]	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Leistungsanteil μ [-]	0,46	0,42	0,38	0,35	0,31	0,27	0,23	0,19
Deckungsanteil α_{Hg} [-] bei biv.-paral. Betrieb	0,95	0,93	0,90	0,87	0,83	0,77	0,70	0,61
Deckungsanteil α_{Hg} [-] bei biv.-altern. Betrieb	0,78	0,71	0,64	0,55	0,46	0,37	0,28	0,19

Abb.6 Deckungsgrade bivalenter Wärmepumpenanlagen gemäß DIN 4701-10

TRINKWARMWASSERBEREITUNG

Große Heizleistungen lassen sich über externe Wärmeübertrager an das Trinkwarmwasser übertragen. Kurze Aufheizzeiten und verhältnismäßig hohe Ladetemperaturen garantieren einen hohen Komfort. Dennoch fungieren über ein Wärmepumpensystem geladene Trinkwasserspeicher aus hygienischen Gründen meist als Vorwärmstufe. Nacherwärmer sichern Auslauf-temperatur und Legionellenschutz, müssen bei guter Auslegung aber weniger als 5 % des Wärmebedarfs decken. Kon-

zeptionelle Fehler im Nahwärmenetz reduzieren die Jahresarbeitszahl erheblich. Im Sommer temporär geheizte Verteilnetze sowie lange Distanzen erzeugen unnötige Verluste. Dezentrale Lösungen sind in einem solchen Fall zu empfehlen.

GEBÄUDEKÜHLUNG

Die überaus attraktive Möglichkeit, eine Sole-/Wasser- oder Wasser-/Wasser-Wärmepumpe für die Gebäudekühlung nutzen zu können, ist bekannt. Dies gilt auch für mittlere und große Wärmepumpen. Beson-

ders passiv kühlende Anlagen lassen sich günstig erstellen, effizient nutzen und quasi emissionsfrei betreiben. Abb.8 zeigt eine typische Anlagenhydraulik. Im Kühlbetrieb fördern lastabhängig gesteuerte Antriebe den Quellen- und Systemvolumenstrom über einen Wärmeaustauscher. Sekundär lassen sich, besonders für die Bauteilaktivierung, günstige Vorlauftemperaturen von 15° – 19° C erzielen.

Werden gleichzeitig Teile des Gebäudes beheizt oder wird Warmwasser bereit, profitiert das Wärmepumpensystem von höheren Quelleneintrittstemperaturen. Überschlüssig leistet eine Erdsonden-Quellenanlage 50 – 70 % der Auslegungskälteleistung im Kühlbetrieb. Eine genaue Simulation unter Berücksichtigung der Gebäude-Kühllast ist dennoch unerlässlich und sichert den langjährigen Erfolg.

SCHLUSSBEMERKUNG:

Sorgfältig geplant können Heizungs-wärmepumpen größerer Heizleistung genauso gute Ergebnisse wie Kleinwärmepumpen erzielen. Im Vergleich trifft der Anlagenplaner häufig konzeptionelle Entscheidungen, die die Gesamteffizienz des Systems erheblich beeinflussen können.

Vollkostenbetrachtungen sind Grundlage für jede Anlage und entscheiden über die Betriebsweise des Systems. Besonders Augenmerk liegt auf den im Vergleich größeren Verlusten (Nebenantriebe, Wärmeverluste im Verteilsystem). Der Planer von Großwärmepumpen bindet die Systeme zudem in die Gebäudeleittechnik ein,

		Erdgas		Sole/Wasser Wärmepumpe		
		-		monovalent		bivalent parallel
		Brennwert	WP	Elektrisch	WP	Brennwert
Heizleistung:	kW	70	70	-	46	24
Deckungsanteil:	%	100	100	-	91	9
Deckungsanteil: WW	%	100	96	4	96	4
JAZ / Erzeuger-Wirkungsgrad	-	0,99	4,80	0,99	4,80	0,99
JAZ / Erzeuger-Wirkungsgrad WW	-	0,80	3,30	0,99	3,30	0,80
Jahresenergiebedarf Heizen	kWh/a	101.010	20.833	0	18.958	9.091
Jahresenergiebedarf WW	kWh/a	50.143	11.670	1.621	11.670	2.006
Jahresenergiebedarf Hilfsenergie	kWh/a	2.020	2.940	0	1.932	182
Energiekosten für Heizen/WW	€/a	9.674	3.481		3.834	
Energiekosten für Hilfsenergie	€/a	368	535		352	
Festkosten/Zähler/Grundpreis	€/a	465	110		575	
Energiekosten gesamt	€/a	10.507	4.126		4.761	
Wärmeerzeuger	€	12.000	37.500	600	21.500	3.600
Wärmequellenanlage	€	-	63.000	-	75.600	-
Hausanschluss	€	1.500	-	-	-	1.200
Abgasanlage/sonst. Baukosten	€	2.000	-	-	-	750
Kapitalgebundene Kosten	€/a	1.141	5.123		4.773	
Betriebsgebundene Kosten	€/a	480	190		260	
Gesamtkosten	€/a	12.127	9.438		9.794	
Gesamtkosten	Cent/kWh	8,78	6,83		7,09	
Energiekosten-Verhältnis	%	100	39		45	
CO₂-Emission-Verhältnis	%	100	58		71	

Abb.7 Beispiel einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

sieht im Vergleich wesentlich komplexere Elektroinstallationen vor und stellt sich der Einbindung und Kombination unterschiedlichster Verbraucher und Wärmeerzeuger.

Autor

Dipl.-Ing. (FH) Frank Röder,
Leiter Planungsabteilung für
erneuerbare Energien

Stiebel Eltron, Holzminde

Foto und Grafiken: Stiebel Eltron

www.stiebel-eltron.de

Literatur:

- [1] „Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2006“, Stand: November 2007, ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN e.V.
- [2] „Anteile der Energieverbraucher im Haushalt“, Der Bundesverband WärmePumpe (BWP) e.V.
- [3] „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt vom 5. Dezember 2007“, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, www.bafa.de.
- [4] „Großwärmepumpen, Energetische und planerische Analyse von 10 Anlagen, Vergleich verschiedener Anlagenkonzepte“, Peter Hubacher und Prof. Dr. Max Ehrbar.
- [5] „Heizen und Kühlen mit Abwasser. Ratgeber für Bauherrschaften und Gemeinden“, EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE.

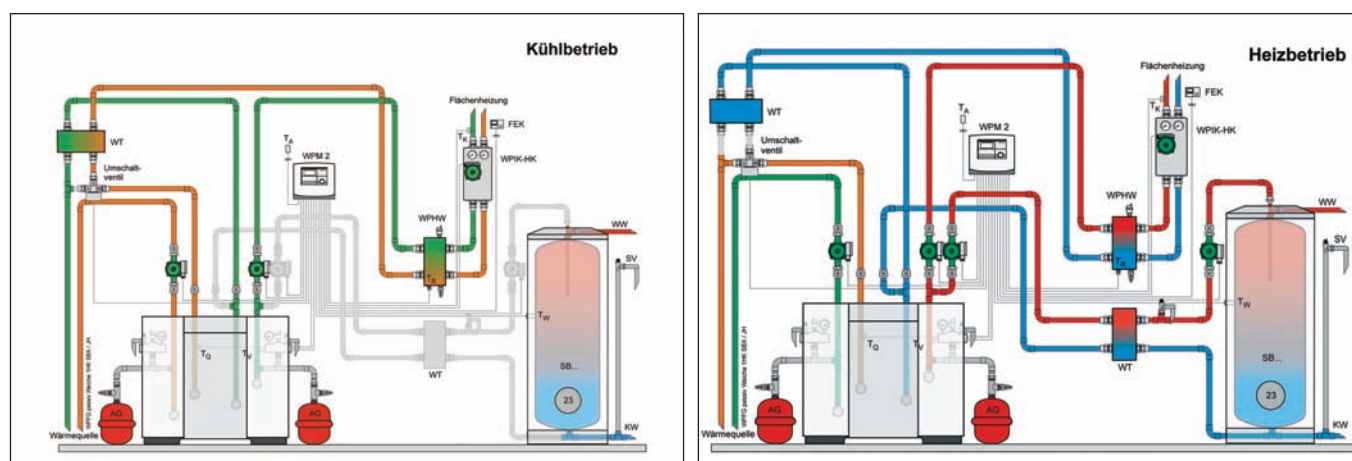


Abb.8 Heizen und passives Kühlen – Anlagenbeispiele

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]

Anmeldung
Service-Box



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.**Journal**

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne