

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 4

Artikel: Die elektrische Raumheizung mit Wärmepumpe

Autor: Ledermann, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915356>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die elektrische Raumheizung mit Wärmepumpe

Von H. Ledermann

621.365 : 621.577

Der Artikel befasst sich mit dem Einsatz der Wärmepumpe für die Raumheizung unter Nutzung der Aussenluft als Wärmequelle und Warmwasser als Heizmittel. Die Abhängigkeit der erzielbaren Leistungsziffer von der Aussentemperatur, der Leistungsbedarf und die gegenüber der elektrischen Widerstandsheizung mögliche Einsparung an elektrischer Energie werden dargestellt.

Cet article concerne l'emploi de la pompe thermique pour le chauffage de locaux, en utilisant l'air atmosphérique comme source de chaleur et l'eau chaude comme agent de chauffage. La dépendance entre l'indice de puissance atteignable et la température à l'extérieur, la puissance nécessaire et l'économie en énergie électrique réalisable par rapport au chauffage électrique par résistance sont exposées.

1. Einleitung

Der Einsatz von Wärmepumpen zum Zweck der Raumheizung kann in zwei Gruppen unterteilt werden. Die eine Gruppe nutzt die Wärme von Grund-, Quell-, Fluss- und Seewasser, des Erdreichs oder der Aussenluft; diese bilden die Wärmequellen, aus welchen die Wärme auf ein höheres Temperaturniveau gepumpt wird. Die zweite Gruppe bezieht ihre Wärme aus Abwasser oder Abluft, die oft mit höherer Temperatur anfallen, als dies für die Wärmequellen der ersten Gruppe zutrifft. Diese Gruppe erfasst die nach dem thermodynamischen Prinzip arbeitenden Wärmerückgewinnungsanlagen.

Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich nur mit Wärmepumpen der ersten Art.

1.1 Wärmepumpensysteme

Für die Raumheizung kann die von der Wärmepumpe gelieferte Wärme mit Warmluft oder mit Warmwasser übertragen werden. Es bieten sich die folgenden Kombinationsmöglichkeiten

Wärmequelle	Heizmittel
Grundwasser	} Warmluft oder Warmwasser
Quellwasser	
Flusswasser	
Seewasser	
-Kältemittel	
Erdreich	
-Sole	
Aussenluft	

Über die Verhältnisse, wie sie bei einer Kombination Flusswasser-Warmwasser vorliegen können, gibt *Drafz* [1]¹⁾ für sein Einfamilienhaus Aufschluss. Die Warmwasserheizung ist als Fussbodenheizung ausgeführt; die gegenüber der Radiatorheizung geringere Warmwassertemperatur begünstigt die Leistungsziffer. *Waterkotte* [2] nutzt für sein Einfamilienhaus die Wärme des Erdreichs, ebenfalls in Verbindung mit Warmwasser-Fussbodenheizung, um eine günstige Leistungsziffer zu erzielen. Durch die im Erdreich verlegten Rohre zirkuliert Sole, welche die aufgenommene Wärme in einem Wärmetauscher an das Kältemittel der Wärmepumpe überträgt. Dieser Wärmeaustausch reduziert aber die Leistungsziffer; er kann vermieden werden mit direkter Zirkulation des Kältemittels in den Rohren.

Mit der Kombination Luft-Luft befasst sich ausführlich *Veith* [3] in Verbindung mit Klimageräten, wie sie in den USA grösste Verbreitung gefunden haben.

Wasser als Wärmequelle nutzen zu können ist auf Sonderfälle beschränkt; gerade diesen sollte jedoch ein vermehrtes Interesse zuteil werden. Das Erdreich stellt eine immense Wärmequelle dar, der Wärmefluss ist aber stark von der Bo-

denbeschaffenheit abhängig. Für bestimmte Bodenarten und besonders für grössere Wärmeleistungen dürfte an Stelle flach verlegter Rohrschlangen die Anwendung vertikaler Rohre nach dem Versuch von *Nygaard* von Vorteil sein. Luft steht in unbegrenzten Mengen zur Verfügung und ihr Transport ist einfach, wie auch der Wärmeentzug. Das System Luft-Luft setzt die Ausbildung der Heizungsanlage als Warmluftheizung voraus und schliesst die Möglichkeit der Wärmespeicherung aus. Die Warmluftheizung hat in der Schweiz, wie auch in vielen anderen Gebieten Europas, keine grosse Verbreitung für die Raumheizung erreicht, im Gegensatz zu deren Anteil in den USA. Die Warmwasserheizung herrscht vor. In Verbindung mit der Verwendung elektrischer Energie als Wärmelieferant bietet sie die Möglichkeit, in einfacher Weise Wärme zu speichern zur Deckung des Wärmebedarfs während der Sperrzeiten. Das Wärmepumpensystem Luft-Warmwasser weist offensichtliche Vorteile auf.

2. Das Wärmepumpensystem Luft-Warmwasser

Der heutige Stand der Kältetechnik erlaubt ohne Schwierigkeiten irgendwelcher Art Wärmepumpen Luft-Warmwasser für die Raumheizung zu erstellen, die auch bei tiefen Aussentemperaturen keine zusätzliche Direktheizung oder Speicherheizung mit elektrischer Energie benötigen. Der gesamte Wärmebedarf über die ganze Heizperiode kann unter Nutzung des thermodynamischen Prinzips gedeckt werden.

2.1 Aufbau und Arbeitsweise

Aus Fig. 1 gehen die wesentlichen Komponenten einer Wärmepumpenanlage für Luft als Wärmequelle und Wasser als Heizmittel hervor. Der Luftkühler 1 wird von Aussenluft durchströmt, gefördert durch den Ventilator 2. Steht das Kältemittel in den Rohren des Luftkühlers unter einem geringeren Druck P_0 , als der Temperatur der Aussenluft entspricht, wird von dieser Wärme an das Kältemittel übertragen. Dieses verdampft, der anfallende Kältemitteldampf wird vom Verdichter 3 angesaugt und in den Kondensator 5 gedrückt. Er wird vom Verdampfungsdruck P_0 auf den Kondensationsdruck P_2 verdichtet. Der Verdichter benötigt hierfür mechanische Energie, diese wird vom Motor 4 geliefert. Im Luftkühler wird die durchströmende Luft von der Eintrittstemperatur T_{Le} auf die Austrittstemperatur T_{La} gekühlt, die ihr entzogene Wärmemenge \bar{Q}_0 wird an das Kältemittel übertragen, welches bei der dem Druck P_0 entsprechenden Temperatur T_0 verdampft. Die dem Verdichter vom Motor zugeführte mechanische Energie geht als Wärme in den Kältemitteldampf über, entsprechend dem Wärmeäquivalent \bar{Q}_{AL} , dem Kondensator strömt die Wärmemenge \bar{Q}_2 zu, es ist demnach

$$\bar{Q}_2 = \bar{Q}_0 + \bar{Q}_{AL} \quad \text{kcal} \quad (1)$$

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Werden vom Motor A kWh aufgewendet mit einem Wirkungsgrad η , ergibt sich

$$\bar{Q}_2 = \bar{Q}_0 + 860 A \eta \quad \text{kcal} \quad (2)$$

Bei einem Verdichter halbhermetischer oder hermetischer Bauart bildet dieser mit dem Motor eine Einheit, und der angesaugte Kältemitteldampf kann über Stator und Rotor geführt werden. Mit dieser Sauggaskühlung werden auch die Motorverluste als Wärme an den Kältemitteldampf übertragen und durch diesen dem Kondensator zugeführt. Wird die Wärmepumpe mit einem sauggasgekühlten Verdichter ausgerüstet, kann der Motorwirkungsgrad mit 100 % eingesetzt werden, womit

$$\bar{Q}_2 = \bar{Q}_0 + 860 A \quad \text{kcal} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\text{gepumpte Wärmemenge} + \text{Wärmeäquivalent der aufgewendeten elektrischen Energie}}{\text{Wärmeäquivalent der aufgewendeten elektrischen Energie}} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{Q_0 + 860 A}{860 A}$$

Die Übertragung der Wärme von der Luft an das Kältemittel bedingt im Luftkühler ein Temperaturgefälle von T_{Le} zu T_0 und im Kondensator ein solches zwischen der dem Kondensationsdruck P_2 entsprechenden Kondensationstemperatur T_2 und der Temperatur T_{Wa} des aus dem Kondensator austretenden, in diesem erwärmten Wassers. Es ist

$$T_0 < T_{La} < T_{Le} \quad ^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$T_2 > T_{Wa} > T_{We} \quad ^\circ\text{C} \quad (5)$$

Je tiefer die Aussenlufttemperatur T_{Le} , desto tiefer ist auch die Temperatur T_0 , bei welcher das Kältemittel verdampft, desto niedriger stellt sich der Verdampfungsdruck ein und damit die Dichte des Kältemitteldampfes. Bei unverändertem

Hubvolumen des Verdichters fällt die geförderte Kältemittelmenge mit dem Druck P_0 und damit die Kälteleistung.

Je wärmer das den Kondensator verlassende Wasser ist, desto höher muss die Kondensationstemperatur T_2 liegen und entsprechend der Kondensationsdruck P_2 , auf welchen der Kältemitteldampf verdichtet werden muss. Mit zunehmendem Verdichtungsverhältnis P_2/P_0 verliert das Hubvolumen an Wirksamkeit, der Liefergrad und damit die Kälteleistung nehmen ab.

Ein erhöhtes Verdichtungsverhältnis bedingt einen grösseren mechanischen Aufwand bei unverändertem Q_0 , das Verhältnis zwischen gepumpter Wärmemenge und Pumpenergie wird ungünstiger. Mit der Wärmepumpe wird nach Gl. (3) die Summe von Q_0 und Q_{AL} der aufgewendeten elektrischen Energie genutzt; die Leistungsziffer ε berechnet sich zu:

Als hermetische Verdichter werden Verdichter bezeichnet, welche mit dem Motor in einem dicht schliessenden, geschweissten Gehäuse aus Stahlblech vereinigt sind. Diese Bauart ist heute mit Motornennleistungen bis zu 7,5 PS auf dem Markt (Fig. 2).

Die halbhermetische Bauart vereinigt Verdichter und Motor in einer dichten, aber lösbaren Gehäusekombination. Ihr Leistungsbereich umfasst Motornennleistungen von 2...125 PS (Fig. 3).

Die Wirksamkeit der Sauggaskühlung nimmt ab mit der Dichte des Kältemitteldampfes, also mit P_0 , damit auch die Belastbarkeit des Motors und das zulässige Verdichtungsverhältnis. Diesem Umstand muss beim Einsatz dieser Verdichterbauart für Wärmepumpenanlagen zur Raumheizung besonders Rechnung getragen werden.

2.2 Wärmeleistung und Leistungsbedarf bei Warmwasser-Heizung

Für die Raumheizung wird über den grössten Teil der Schweiz Warmwasser 90/70 $^\circ\text{C}$ bei 20 $^\circ\text{C}$ Raumtemperatur und - 15 $^\circ\text{C}$ Aussenatemperatur angewandt. Es sind jedoch Bestrebungen zu verzeichnen, den letzteren Wert anzuheben (SIA-Empfehlung Nr. 180), da solch tiefe Temperaturen im Tagesmittel sehr selten auftreten. Für die nachfolgenden Darlegungen sei dennoch der Wert von - 15 $^\circ\text{C}$ berücksichtigt.

Wie unter Abschn. 2.1 erläutert, muss die Kondensationstemperatur T_2 über der Wasseraustrittstemperatur T_{Wa} , welche der Vorlauftemperatur der Heizung entspricht, liegen. Mit den heute auf dem Markt erhältlichen Verdichtern hermetischer und halbhermetischer Bauart sind Kondensationstemperaturen von 65 bis max. 70 $^\circ\text{C}$ zulässig. Die Vorlauftemperatur ist dementsprechend auf ca. 65 $^\circ\text{C}$ begrenzt. Mit diesem Wert und 10 $^\circ\text{C}$ Differenz zwischen Vorlauftemperatur T_{Wa} und Rücklauftemperatur T_{We} sowie 20 $^\circ\text{C}$ Raumtemperatur, - 15 $^\circ\text{C}$ Aussenatemperatur, gibt das Diagramm in Fig. 4 die Abhängigkeit der Wassertemperaturen von der Aussenatemperatur wieder. Die Verdampfungsstemperatur T_0 verläuft tiefer als die Temperatur T_A der Aussenluft (wie unter 2.1 begründet) und die Kondensationstemperatur T_2 höher als die Vorlauftemperatur T_{Wa} . Die Temperaturdifferenzen zwischen T_A und T_0

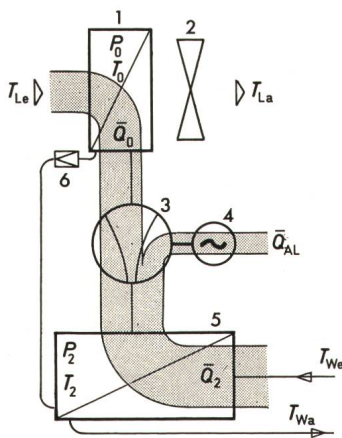


Fig. 1 Wärmepumpenschema «Luft-Warmwasser»

L	Luftkühler (Verdampfer)	T_0	Verdampfungsstemperatur
2	Ventilator	T_2	Kondensationstemperatur
3	Verdichter	Q_{AL}	Wärmeäquivalent
4	Elektromotor	Q_2	dem Kondensator zuströmende Wärmemenge
5	Wasserwärmer (Kondensator)	T_{We}	Temperatur des in den Kondensator eintretenden Wassers (Rücklauftemperatur)
6	Druckminderer	T_{Wa}	Temperatur des aus dem Kondensator austretenden Wassers
P_0	Verdampfungsdruck		
P_2	Kondensationsdruck		
T_{Le}	Eintrittstemperatur		
T_{La}	Austrittstemperatur		
Q_0	entzogene Wärmemenge		

sowie T_{Wa} und T_2 sind von der Bemessung des Luftkühlers und des Kondensators abhängig. Geringe Differenzen begünstigen die Leistungsziffer, erhöhen jedoch die Anlagekosten. Die aus dem Diagramm hervorgehenden Werte entsprechen einer angemessenen Auslegung.

Derart liegen nun T_0 und T_2 in Abhängigkeit der Aussentemperatur fest, welche einerseits den Wärmebedarf der Heizungsanlage bestimmt, andererseits über T_0 die Leistungsfähigkeit des Verdichters der Wärmepumpenanlage beeinflusst. Dieser Einfluss ist im Diagramm der Fig. 5 dargestellt. Die vom Verdichter angesaugte Wärmemenge \bar{Q}_0 fällt mit der Aussentemperatur als Folge der geringeren Dichte des Kältemitteldampfes und des mit steigendem Verdichtungsverhältnis abnehmenden Liefergrades. Als Folge des zunehmenden Verdichtungsverhältnisses geht der Energiebedarf für die Verdichtung nicht in demselben Ausmass zurück, und die im Kondensator verfügbare Wärmemenge \bar{Q}_2 erfährt eine etwas geringere Einbusse. Wird die bei der Heizgrenze von $T_A = 12^\circ\text{C}$ verfügbare Wärmemenge $\bar{Q}_2 = 100\%$ gesetzt, fällt sie bei $T_A = -15^\circ\text{C}$ auf 24%, der Anteil der gepumpten Wärmemenge \bar{Q}_0 von 76 auf 12%. Der Energiebedarf verzeichnet gegenüber 100% bei $+12^\circ\text{C}$ einen Rückgang auf 50% bei -15°C .

Die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe ist gerade dann am geringsten, wenn der grösste Wärmebedarf vorliegt. Zudem

sind nur wenige hermetische und halbhermetische Verdichter geeignet für das hohe Verdichtungsverhältnis, wie es sich aus dem Diagramm in Fig. 4 ergibt.

Der Bezug elektrischer Energie soll vorwiegend während der Zeiten geringer Netzbelastung erfolgen, zum günstigeren Niedertarif. Einzelne Elektrizitätswerke sperren den Energiebezug für Heizzwecke während der Zeit höchster Netzlast vollständig. Der Wärmebedarf der Heizung muss in den Stillstandszeiten aus Wärmespeichern gedeckt werden, wie dies aus Warmwasserspeichern in einfacher Weise erfolgen kann. Ein solcher Speicher bietet nun für den Wärmepumpenbetrieb zusätzliche Vorteile. Er gestattet längere Laufzeiten der im Aussetzbetrieb arbeitenden Wärmepumpe mit entsprechend geringerer Schalthäufigkeit, zudem aber den Übergang zu einem zweistufigen Betrieb bei tieferen Aussentemperaturen.

Fig. 6 zeigt den Aufbau einer solchen Anlage. Sie weist zusätzlich zum Luftkühler 1 den Wasserkühler 10 auf. Bis zu Aussentemperaturen um 0°C arbeitet die Anlage wie unter 2.1 dargelegt. Das im Kondensator 5 erwärmte Wasser wird durch die Pumpe 7 dem Warmwasserspeicher 8 zugeführt. Das Ventil 9 regelt die nach dem Kondensator vorliegende Wassertemperatur auf den der Aussentemperatur entsprechenden Wert der Heizungs-Vorlauftemperatur, auf welchen Wert der Speicher geladen wird. Die Aufladung könnte auch auf einen

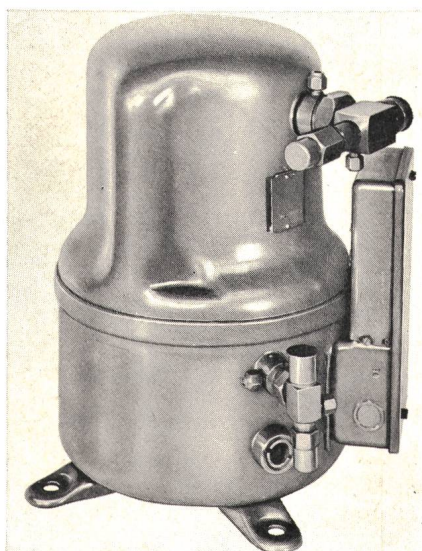


Fig. 2 Hermetischer Verdichter von 7,5 PS

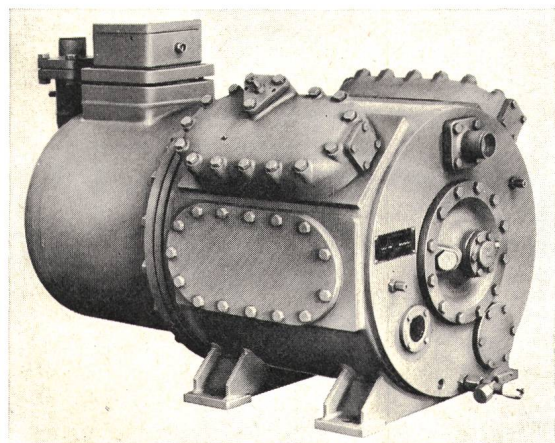


Fig. 3 Halbhermetischer Verdichter von 75 PS

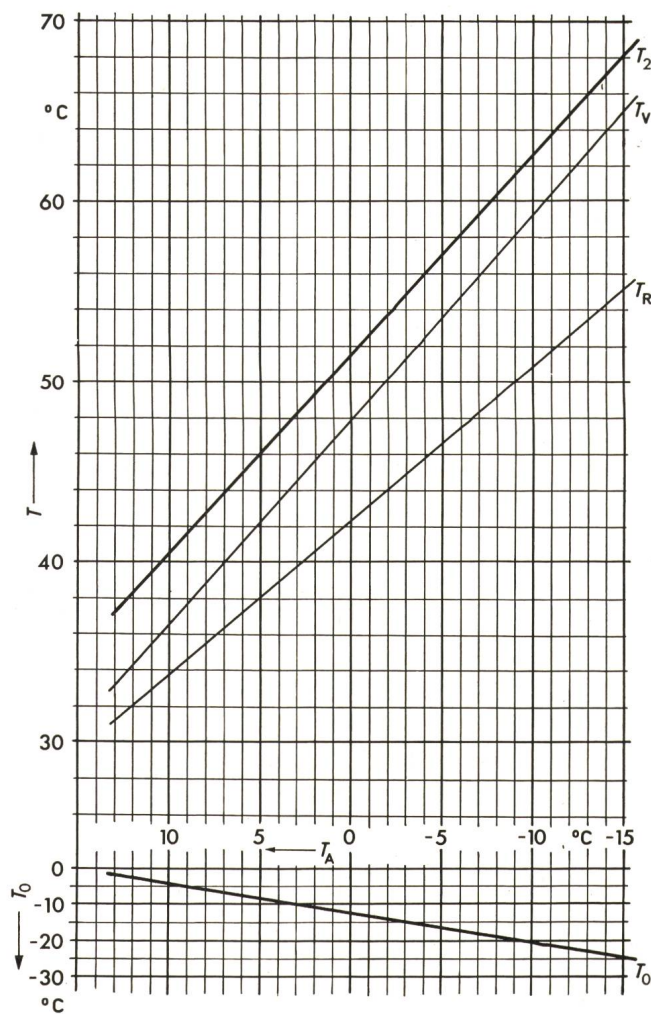


Fig. 4 Diagramm der Temperaturen

T_A Aussentemperatur T_0 Verdampfungstemperatur
 T_V Heizungsvorlauf T_2 Kondensationstemperatur
 T_R Heizungsrücklauf

höheren Wert erfolgen, dies wäre aber mit einem höheren Energieverbrauch verbunden als witterungsbedingt erforderlich. Für eine Aussentemperatur T_A von $0\text{ }^\circ\text{C}$ betragen gemäss Diagramm in Fig. 4 $T_0 = -12\text{ }^\circ\text{C}$ und $T_2 = 51,5\text{ }^\circ\text{C}$, die Wärmepumpenanlage weist nach Diagramm in Fig. 7 eine Wärmeleistung Q_2 von 63 % des Wertes bei $+12\text{ }^\circ\text{C}$ auf.

Bei Aussentemperaturen unter $0\text{ }^\circ\text{C}$ erfolgt der Übergang zum zweistufigen Betrieb. Zu dem Zweck wird der Speicher 8 sowohl als Wärmequelle wie als Wärmespeicher genutzt.

In der 1. Stufe ist der Luftkühler stillgesetzt, an dessen Stelle wirkt der Wasserkühler 10 als Verdampfer des Kältemittels, welches vom Verdichter 3 angesaugt und verdichtet in den Kondensator 5 gedrückt wird. Das Ventil 11 regelt die von der Kaltwasserpumpe geförderte Wassermenge in der Weise, dass dem Speicher auf ca. $10\text{ }^\circ\text{C}$ gekühltes Wasser zuströmt. Das aus dem Kondensator austretende Warmwasser wird durch das Ventil 9 auf den der Aussentemperatur entsprechenden Vorlaufwert geregelt, also z. B. bei $T_A = -15\text{ }^\circ\text{C}$ auf $65\text{ }^\circ\text{C}$. Der Kaltwassertemperatur von $10\text{ }^\circ\text{C}$ entspricht eine verhältnismässig hohe Verdampfungstemperatur T_0 , die Wärmepumpe arbeitet mit einer günstigen Leistungsziffer und hoher Wärmeleistung. Nach einer bestimmten Zeit wird der Betrieb auf Stufe 2 umgestellt. Wasserkühler 10 und Pumpe 12 werden stillgesetzt, an ihre Stelle treten der Luftkühler 1 und der Ven-

tilator 2; das Ventil 9 wird voll auf Durchgang gesteuert und das Ventil 13 auf Ablenkung. Im Kondensator 5 wird das Wasser, welches mit ca. $10\text{ }^\circ\text{C}$ zuströmt, nur um wenige Grade erwärmt und dem Speicher 8 mit entsprechend tiefer Temperatur zugeführt. Die Kondensationstemperatur liegt tief, das niedrige Verdichtungsverhältnis ergibt auch bei einer sehr tiefen Aussentemperatur noch eine annehmbare Wärmeleistung bei günstiger Leistungsziffer.

Mit wechselweisem Betrieb der Wärmepumpenanlage in den beiden Stufen wird die im Diagramm der Fig. 7 mit \bar{Q}_2' markierte Wärmeleistung erzielt. Der 2stufige Betrieb erweist sich bezüglich der Wärmeleistung um so vorteilhafter, je tiefer die Aussentemperatur liegt. Bei $T_A = -15\text{ }^\circ\text{C}$ beträgt sie mit 48 % das Zweifache des einstufigen Betriebes mit 24 % des Wertes bei $+12\text{ }^\circ\text{C}$.

Dieser Vorteil wird allerdings erkauft mit einer Einbusse bei der Leistungsziffer, welche mit ε' für den zweistufigen Betrieb in Fig. 7 eingetragen ist. Aussentemperaturen unter $0\text{ }^\circ\text{C}$ sind jedoch viel weniger häufig als darüberliegende Werte, die Einbusse kann deshalb in Kauf genommen werden.

Der zweistufige Betrieb mit dem Wasserkühler bietet beim vorliegenden System Luft-Wasser noch einen weiteren Vorteil. Über den grösseren Teil der Heizperiode wird die Luft im Luftkühler die 0-Grad-Grenze unterschreiten. Dies führt zu

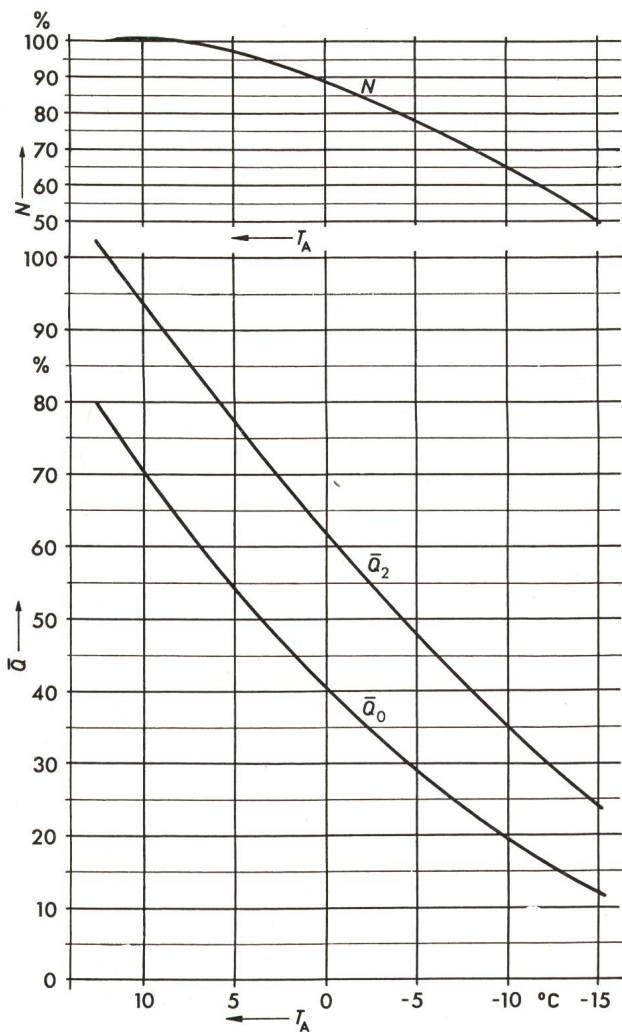


Fig. 5 Diagramm der Verdichterleistungen

T_A Aussentemperatur
 Q_0 vom Luftkühler
 übernommene
 Wärmemenge
 Q_2 an den Wassererwärmer
 abgegebene Wärmemenge
 N vom Elektromotor
 aufgenommene Energie

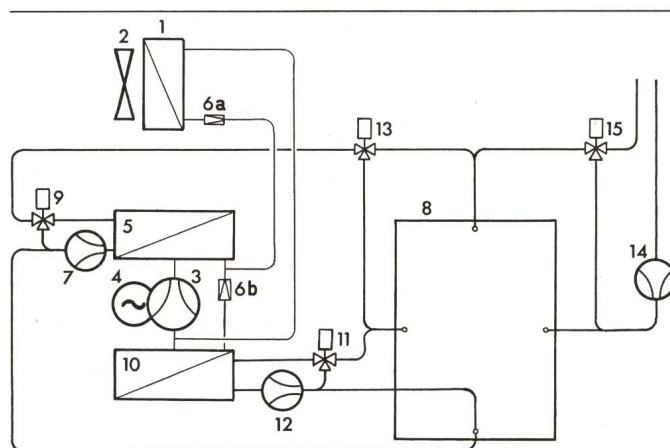


Fig. 6 Schema einer Wärmepumpe «Luft-Warmwasser» in Kombination mit Warmwasserspeicher für 2stufigen Betrieb

1...6a, b wie Fig. 1
 7 Warmwasserpumpe
 8 Warmwasserspeicher
 9 Warmwasserregelventil
 10 Wasserkühler
 (2. Verdampfer)
 11 Kaltwasserregelventil
 12 Kaltwasserpumpe
 13 Umlenventil
 14 Heizungspumpe
 15 Heizungsregelventil

Reifbildung an den Rohren und Rippen, verbunden mit erhöhtem Widerstand für die durchströmende Luft und vermindertem Wärmeübergang. Wie Nygard nachweist, ist die Bereifung am grössten bei Aussentemperaturen um $0\text{ }^\circ\text{C}$, der Einfluss des erforderlichen Abtauens auf die Leistungsziffer gering. Beim zweistufigen Betrieb, wie oben beschrieben, lässt sich das Abtauen in der sehr wirksamen Weise mit heissem Kältemitteldampf vornehmen, es wird keine zusätzliche Wärmequelle benötigt.

Bei $T_A = -15\text{ }^\circ\text{C}$ beträgt die Leistungsziffer ε' für den 2stufigen Betrieb 1,9. Um denselben Wärmebedarf zu decken, ist die zur Verfügung zu stellende elektrische Leistung nur rund die Hälfte des bei Widerstandsheizung erforderlichen Wertes. Mit derselben verfügbaren Netzleistung erlaubt die Wärmepumpen-Heizung die doppelte Zahl Abnehmer zu bedienen.

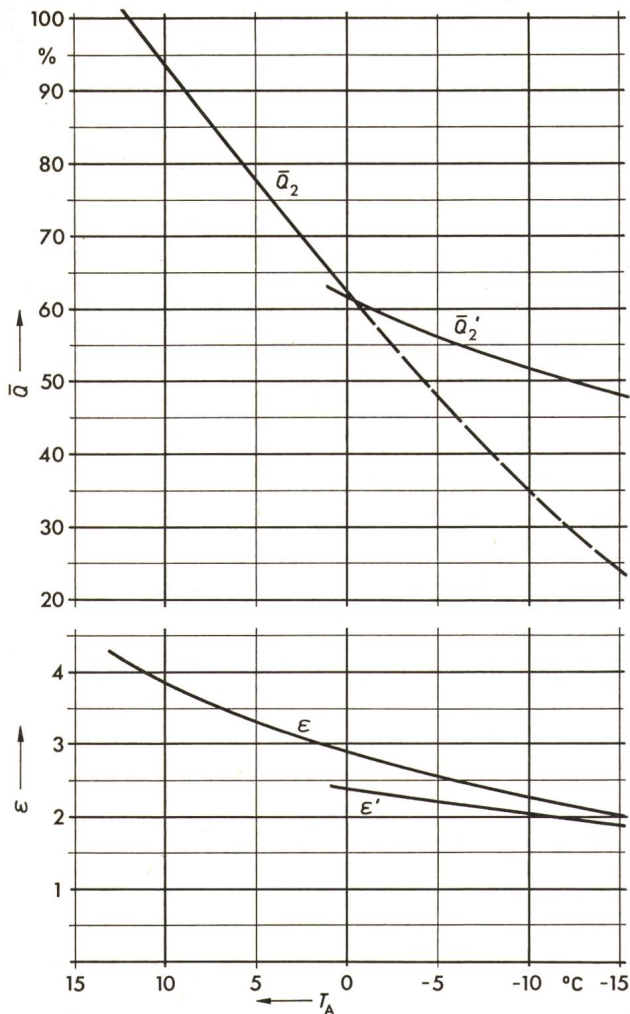


Fig. 7 Diagramm der Verdichterleistungen im 2stufigen Betrieb
 T_A Aussenlufttemperatur
 Q_2 an den Speicher abgegebene Wärme im 1stufigen,
 Q_2' im 2stufigen Betrieb,
 ϵ und ϵ' die entsprechenden Leistungsziffern

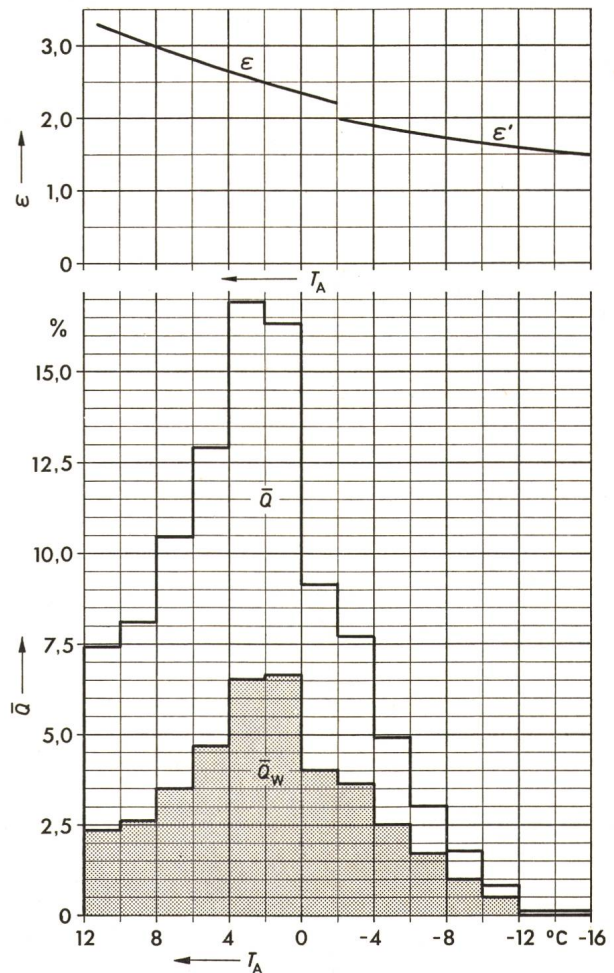


Fig. 8 Diagramm des Wärmebedarfes einer Heizperiode
 T_A Aussenlufttemperatur
 ϵ und ϵ' die entsprechenden Leistungsziffern
 Q Wärmebedarf der Temperaturintervalle nach der Zahl der Gradtage
 Q_W Wärmeaufwand der 2stufigen Wärmepumpe «Luft-Warmwasser», je in % des Jahreswärmebedarfes

2.3 Die Regulierung des Energiebezuges

Die Leistungsaufnahme hermetischer Verdichter ist nicht regelbar, jedoch ändert sich ihre Leistungsaufnahme mit der Verdampfungstemperatur und dem Verdichtungsverhältnis, wie dies aus dem Diagramm in Fig. 5 für N hervorgeht. Grössere halbhermetische Verdichter weisen abschaltbare Zylinder auf und bieten mit der sich damit ergebenden Reduktion des Hubvolumens die Möglichkeit, die Leistungsaufnahme zu beeinflussen. Dies ist aber stets mit einer Verschlechterung der Leistungsziffer verbunden, und die Sauggaskühlung des Motors wird ungünstig beeinflusst; dies führt zu einer Einschränkung des Arbeitsbereiches. Die Anpassung der Wärmeproduktion an den Wärmebedarf muss deshalb im Aussetzbetrieb erfolgen; dieses bereitet in Verbindung mit dem Warmwasserspeicher keine Schwierigkeiten oder Nachteile. Eine entsprechende Ausführung des Temperaturfühlers im Warmwasserspeicher gestattet sowohl die Temperatur wie auch den Wärmehalt desselben auf die der Aussentemperatur entsprechenden Werte zu bringen, und dies durch Kombination mit einem zeitabhängigen Glied in Intervallen verteilt über die ganze zur Verfügung stehende Aufheizzeit.

Für grössere Wärmeleistungen können mehrere Verdichter parallel arbeiten, durch Abschalten einzelner Verdichter kann die Wärmeproduktion dem Bedarf angepasst werden ohne Benachteiligung der Leistungsziffer oder des Arbeitsbereiches. Nur für sehr hohe Wärmeleistungen können die mit stetiger Leistungsregulierung ausgerüsteten Schrauben- und Zentrifugalverdichter in Betracht gezogen werden.

3. Die Wirtschaftlichkeit

3.1 Energieaufwand

Der über eine Heizperiode sich ergebende totale Wärmebedarf kann als der Zahl der Gradtage proportional betrachtet werden. Sie berechnet sich aus der durch die Heizgrenze festgelegten Zahl der Heiztage und den an diesen vorliegenden Differenzen zwischen Raum- und Aussentemperatur. Im Diagramm von Fig. 8 sind die Gradtage nach ihrer Häufigkeit in 2° -Intervallen für 20° Raumtemperatur und 12° Heizgrenze dargestellt, wie sie sich nach den Annalen der Schweiz. meteorologischen Zentralanstalt für Zürich berechnen. Sie können für einen grossen Teil des Mittellandes als annähernd gleich beurteilt werden.

Bei einer Warmwasserheizung mit Brennstoffeuerung oder elektrischer Widerstandsheizung kann der Brennstoff- bzw. der Aufwand an elektrischer Energie direkt der Summe der Gradtage proportional in Rechnung gestellt werden. Wird der Wärmebedarf mit einer Wärmepumpe gedeckt, reduziert sich der Energiebedarf entsprechend den für die einzelnen Temperaturintervalle zu beachtenden Leistungsziffern. Diese Reduktion ist für die Werte von ε' im Diagramm von Fig. 8 eingetragen. Über die Heizperiode ergibt sich ein Mittelwert ε_m' von 3,42. Es werden demnach im Mittel 71 % des Wärmebedarfes der Aussenluft entzogen und 29 % durch elektrische Energie aufgebracht. Nicht berücksichtigt ist der Verbrauch an elektrischer Energie des Ventilatormotors sowie der Motoren der Kalt- und der Warmwasserpumpe der Wärmepumpenanlage. Zusammengerechnet erreichen diese nicht 10 %. Der Verlust durch die Wärmespeicherung ist sehr gering, nachdem die Speichertemperatur über einen grossen Teil der Zeit niedrig ist. Diesen Faktoren kann mit einer Reduktion der mittleren Leistungsziffer ε_m von 3,0 Rechnung getragen werden. Die gegenüber Ölfeuerung zu erzielenden Ersparnisse an Energiekosten lassen sich mit

$$E = Q_a (k_{Oel} - 3,3 k_{el}) \text{ Fr./Jahr} \quad (7)$$

Q_a dem Jahreswärmebedarf in Gcal
 k_{Oel} als Preis des Heizöles in Fr./100 kg und
 k_{el} als Preis der elektrischen Energie in Rp./kWh
 berechnen zu

Der untere Heizwert des Heizöles ist mit 10 200 kcal/kg und der Wirkungsgrad von Ölbrenner und Heizkessel zusammen mit 0,83 eingesetzt. Keine Differenz ist zu erzielen, wenn

$$k_{el} = 0,3 k_{Oel} \quad (8)$$

Im Vergleich mit der Warmwasser-Speicherheizung mit elektrischer Widerstandsheizung erzielt die Wärmepumpenheizung eine Einsparung an Energie von

$$E = 100 \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_m}\right) = 100 \left(1 - \frac{1}{3,0}\right) = 67 \% \quad (9)$$

Die Gl. (7) und (8) erfassen nur die Energiekosten. Zu diesen ist zu beachten, dass das Heizöl in der Regel bezahlt wird, bevor es verbraucht ist, die elektrische Energie dagegen verbraucht wird, bevor sie bezahlt ist; die Zinsdifferenz begünstigt die elektrische Heizung, ob Wärmepumpe oder Widerstandsheizung, um einige Prozent. Die Ölfeuerung ist mit ansehnlichen Nebenkosten für Kaminreinigung, Ölbrenner-Service und Heizöltank-Kontrolle belastet.

3.2 Anlagekosten

Die Installationskosten einer Wärmepumpenanlage für die Raumheizung werden allgemein als hoch beurteilt [4].

Für die Ölfeuerungsanlagen sind die Komponenten Heizkessel, Ölbrenner, Regulierung und Heizöltank längst genormt; die Fertigung erfolgt in grossen Serien nach rationellsten Methoden. Auslegung und Ausführung sind einfach und mit geringem Zeitaufwand verbunden. Diese Umstände begünstigen die Preisstellung. Ähnlich verhält es sich bei der elektrischen Warmwasser-Speicherheizung. Wärmepumpen-Raumheizanlagen über Warmwasser sind dagegen heute Massschneiderei, die einzelne Anlage wird nach den örtlichen Verhältnissen geplant und gebaut. Dies wirkt sich sehr verteuern

aus und ist mit dem Risiko der Unvollkommenheit von Einzelherstellungen verbunden.

Wärmepumpen für Luft-Warmwasser können genormt werden unter Verwendung bewährter Komponenten der Kälte- und Klimatechnik.

Mit der Normung liessen sich die Stückzahlen je Typ derart steigern, dass mit tragbarem Kostenaufwand die Auslegung optimallisiert und die Herstellung rationalisiert werden kann.

Ein Haushalt-Kühlschrank kostet heute, bei gleicher Grösse, mit besserer Ausstattung, geringerem Energieverbrauch, kleinerem Platzbedarf, weniger Geräuschbildung und grösserer Betriebssicherheit, trotz der Geldentwertung weniger als vor 40 Jahren. Das wurde erreicht mit einer auf das Äusserste gesteigerten Optimalisierung in der Gestaltung und Herstellung sowie deren Rationalisierung. Eine analoge Kostensenkung ist für Wärmepumpen weder möglich noch notwendig, es würde genügen, die Möglichkeiten zu nutzen.

Bei einem Vergleich mit einer Ölfeuerungsanlage sind auch die Kosten der Kaminanlage und eventuell mit dieser verbundene Inkonvenienzen in der Baugestaltung zu berücksichtigen. Niedrige Anlagekosten der Ölfeuerung können mit kürzerer Lebensdauer gepaart sein, der geringere Zinsaufwand wird durch eine höhere Amortisationsquote kompensiert.

3.3 Unterhaltskosten

Für Wärmepumpen zur Raumheizung dürften heute nur mehr Verdichter der hermetischen und halbhermetischen Bauart Verwendung finden. Betriebsausfälle durch Kältemittelverlust, wie sie bei Verdichtern offener Bauart mit getrenntem Motor, etwa durch ein undichtes Wellensiegel, auftreten, sind

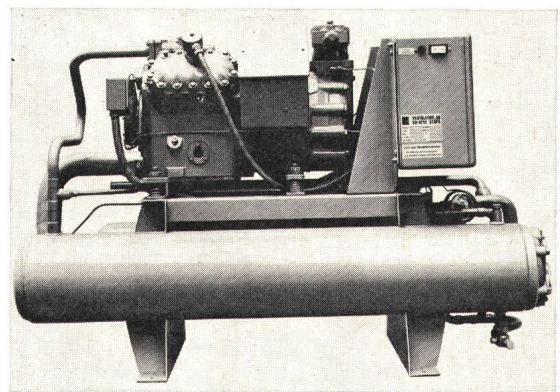


Fig. 9 Wärmepumpenaggregat für 100 000 kcal/h

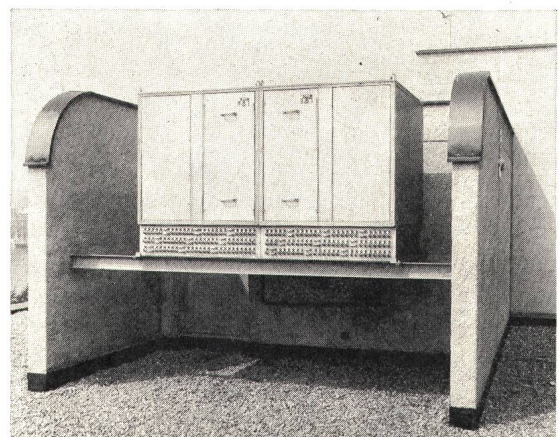


Fig. 10 Luftkühler zu Wärmepumpenaggregat

ausgeschlossen. Auch die übrigen Bestandteile des Kältesystems einer Wärmepumpe weisen heute einen zumindest ebenso hohen Stand an Betriebssicherheit auf wie jene einer Ölfeuerung. Nach den langjährigen Erfahrungen des Verfassers mit Ölfeuerungen und mit Kälteanlagen können die Unterhaltskosten annähernd als gleich beurteilt werden. In beiden Fällen sind Auslegung und Installation sowie die Qualität des Materials von entscheidendem Einfluss auf die Wartungskosten. Kaltwassereinheiten mit halbhermetischen Verdichtern und luftgekühlten Kondensatoren stehen seit über einem Jahrzehnt täglich im Betrieb, zum Teil durchgehend Tag und Nacht, Sommer und Winter mit einer Betriebsstundenzahl, die, als Wärmepumpe eingesetzt, nicht einmal in drei Jahrzehnten erreicht wird. Aufbau und Beanspruchung sind dieselben, der Anspruch an die Wartung ist denkbar bescheiden. Gegen den Einsatz der Wärmepumpe für die Raumheizung sind bezüglich Wartung und Betriebssicherheit Bedenken ebensowenig gerechtfertigt wie etwa gegen einen Kühlschrank.

4. Das Umweltverhalten

Zu den Forderungen wirtschaftlicher Arbeitsweise, Betriebssicherheit, Wartungsfreundlichkeit und geringer Anlagekosten gesellen sich in zunehmendem Mass und begründeter Weise jene nach ökologischem Verhalten. Für die Wärmepumpe Luft-Warmwasser sind die Geräuschbildung und der Energieverbrauch zu beachten.

4.1 Die Geräuschbildung

Eine Wärmepumpenanlage für Luft-Warmwasser weist verschiedene Geräuschquellen auf: Verdichter, Luftkühler und Pumpen. Diese letzteren sind geschlossene Umwälzpumpen, wie sie in Warmwasserheizungen gebräuchlich sind und kaum hörbare Geräusche verursachen.

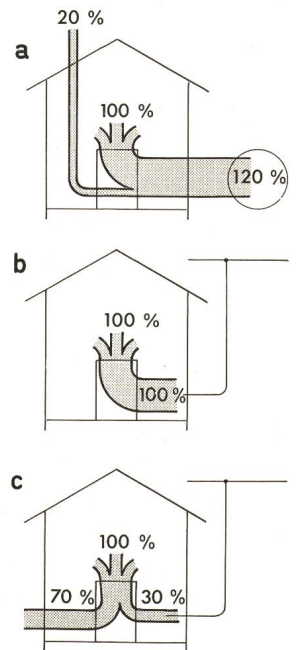
Die Verdichter der in Betracht kommenden Bauart, mit sauggasgekühltem Motor und ausgerüstet mit Schalldämpfer, verursachen weniger Geräusch als Ölbrenner gleicher Leistung, also kein Problem.

Fig. 9 zeigt die Ausführung einer Kältemaschine, wie sie als Wärmepumpe eingesetzt werden kann, mit Verdichter, Wasserkühler und Kondensator.

Bei den Luftkühlern treten Geräusche auf, verursacht durch Motor, Ventilator und Luftströmung. Mit der Verwendung geräuscharmer Motoren, langsamlaufender Radialventilatoren und angemessener Strömungsgeschwindigkeiten lassen sich die Umweltforderungen erfüllen. Der Luftkühler kann gleich gestaltet und installiert werden wie ein luftgekühlter Kondensator. Als Kondensator führt das Rippenroherelement Wärme an die durchströmende Luft ab, es verflüssigt die vom Verdichter der Kältemaschine zugeführten, unter erhöhtem Druck stehenden Kältemitteldämpfe. Für die Wärmepumpe wirkt es als Verdampfer der unter erniedrigtem Druck stehenden Kälte-

Fig. 11 Umweltbelastung

a mit Ölheizung
b mit elektrischer Widerstandsheizung
c mit elektrischer Wärmepumpenheizung «Luft-Warmwasser»



mittelflüssigkeit und entzieht der durchströmenden Luft Wärme.

Fig. 10 zeigt ein solches, als Kondensator wirkendes Gerät, installiert in einem offenen Dachaufbau. In ähnlicher, z. T. auch ganz offener Anordnung stehen luftgekühlte Kondensatoren seit Jahren störungsfrei und ohne Belästigung der Umwelt durch Geräusche im Betrieb.

4.2 Die Umweltbelastung durch Wärme

Mit der Fig. 11a...c wird dieses Verhalten für die Raumheizung mit Ölfeuerung, für die elektrische Widerstandsheizung und für die elektrische Heizung mit Wärmepumpe dargestellt. Die Wärmepumpenheizung ist nicht nur sauber, sie belastet die Umwelt mit einem Bruchteil jeder andern Heizungsart.

Zusammenfassend stellt die Wärmepumpe Luft-Warmwasser eine vorzügliche Lösung dar zur wirtschaftlichen Nutzung elektrischer Energie für die Raumheizung unter Beachtung ökologischer Forderungen und der Leistungsdisponibilitäten.

Literatur

- [1] H.-J. Drajz: Wasser-Wasser-Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus. *Elektrowärme International* 30(1972)A 1, S. A 25...A 30.
- [2] K. Watterkotte: Erdreich-Wasser-Wärmepumpe für ein Einfamilienhaus. *Elektrowärme International* 30(1972)A 1, S. A 39...A 43.
- [3] H. Veith: Wärmepumpen-Klimageräte. Teil I...III. *Der Kälte-Klima-Praktiker* 9(1969)5, S. 108...112, Nr. 6, S. 145...150 + Nr. 7, S. 173...178.
- [4] R. Allemann: Die technische Möglichkeit, elektrisch zu heizen. *Industrie-Rundschau* -(1969)12, S. 39...48.

Adresse des Autors:

H. Ledermann, Glärnischstrasse 30, 8612 Stäfa.