

Schraubenverdichter im Wärmepumpeneinsatz

Dipl.-Ing. **E. Ganter**, Lindau

1. Einleitung

Im Zuge des rationellen Einsatzes von Energie haben Wärmepumpen einen hervorragenden Platz eingenommen. Der Schraubenverdichter wird dabei im Bereich mittlerer und großer Leistungen eingesetzt. Über Randbedingungen, Einsatzgrenzen und Kriterien wird berichtet, die Besonderheiten des Schraubenverdichters im Wärmepumpeneinsatz werden erarbeitet. Anhand von ausgeführten Anlagen werden Problemlösungen mit Schraubenverdichtern vorgestellt.

2. Leistungsbereiche

Schraubenverdichter werden heute in Wärmepumpen mittlerer bis großer Leistung eingesetzt, also im Bereich der Heizleistungen von ca. 400 bis 2 000 kW. Es handelt sich hierbei um geregelte Verdichter. Im Bereich kleinerer Leistungen ist der unregelmäßige Schraubenverdichter auf dem Vormarsch. Dort ist bisher der Leistungsbereich der Kolbenverdichter. Für große und größte Leistungen ist der Turboverdichter prädestiniert (Leistungen pro Einheit bis 85 MW). Bild 1 zeigt die verschiedenen Verdichterbauarten in einem Grobraster.

3. Betriebsbereiche

Der heute mögliche Bereich der Arbeitstemperaturen ist in Bild 2 dargestellt (1). Zu berücksichtigen ist dabei, daß die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe umso höher ist, je kleiner der zu erbringende Temperaturhub ist, je geringer also die "Pumphöhe" des Verdichters ist. Das dem Schraubenverdichter eigene eingebaute Volumenverhältnis ist aus der Anzahl der möglichen Varianten sorgfältig auszuwählen; sich verändernde Betriebsbedingungen der Wärmepumpe und deren Häufigkeitsverteilung sind dabei zu berücksichtigen.

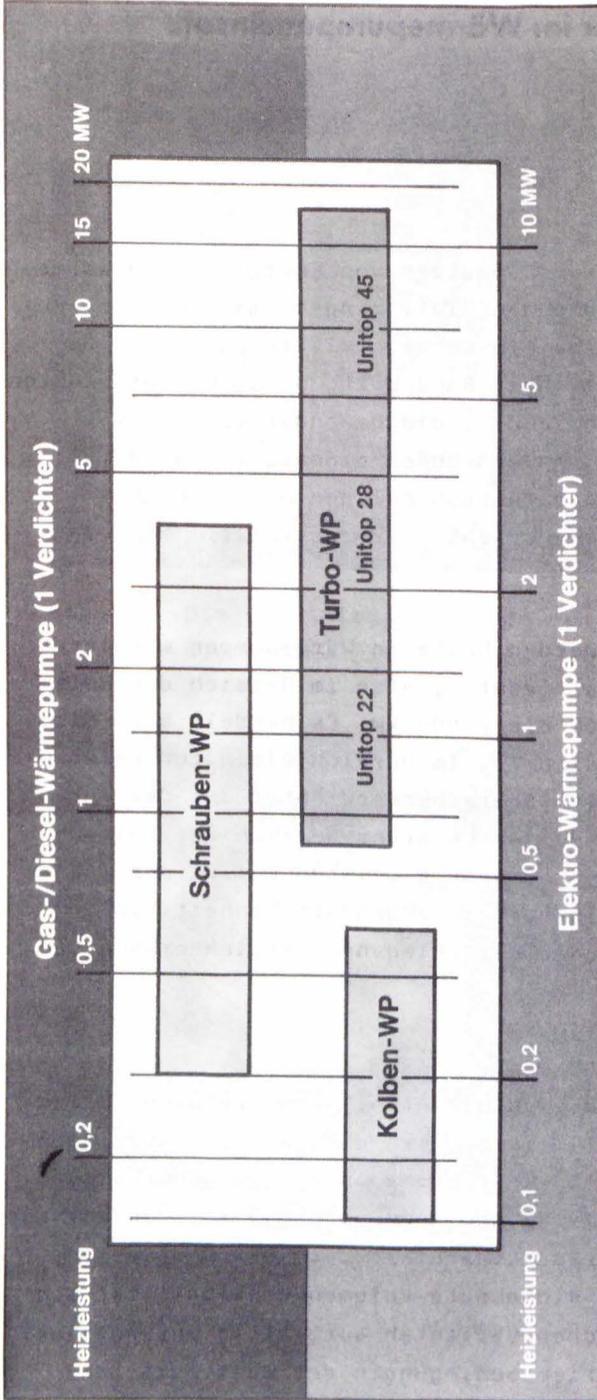


Bild 1: Leistungsbereiche von Wärmepumpen

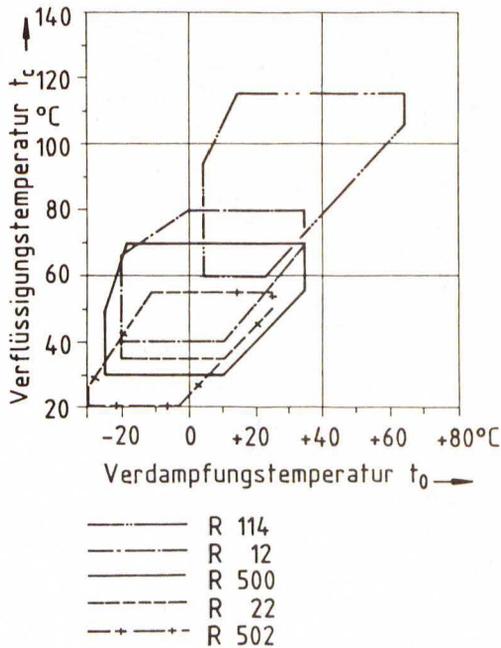


Bild 2: Betriebsbereiche verschiedener Kältemittel für Wärmepumpenverdichter

So können sich beispielsweise jahreszeitlich sowohl die Wärmequellentemperatur und damit die Verdampfungstemperatur als auch das Temperaturniveau der Wärmesenke und damit die Kondensationstemperatur des Schraubenverdichters stark ändern.

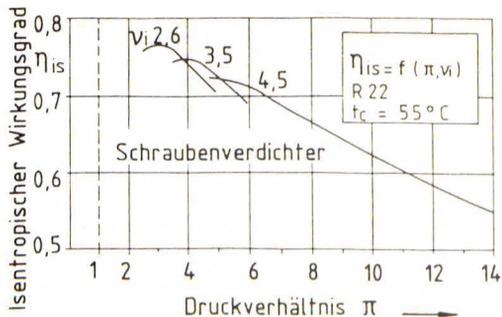


Bild 3: Schraubenverdichter - Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom Druckverhältnis

Die Änderung des isentropischen Wirkungsgrades abhängig vom vorliegenden Druckverhältnis zeigt Bild 3 (1).

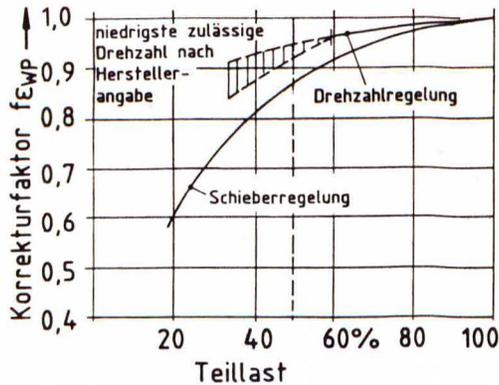


Bild 4: Teillastbetrieb eines Schraubenverdichters

4. Teillastbetrieb

Schraubenverdichter können durch den eingebauten Steuerschieber den Massendurchsatz variieren und so bis auf ca. 20 % ihrer Leistung reduziert werden. Bei der Regulierung durch Drehzahlveränderung ist eine Absenkung bis auf ca. 60 % möglich. Bild 4 (1) zeigt den Korrekturfaktor der Leistungszahl bei Teillast an – in jedem Fall ist es also vorteilhaft, den Schraubenverdichter bei Vollast zu betreiben. Allein die Drehzahlregelung, die besonders beim Antrieb durch Gasmotoren vorgenommen wird, ist im oberen Lastbereich günstig.

5. Merkmale

Wie bekannt, zeichnet sich der Schraubenverdichter durch eine Reihe markanter Merkmale aus:

- Hohe Druckverhältnisse und hohe Druckdifferenzen werden sicher beherrscht
- Stufenlose Regelung durch Steuerschieber, problemlos in der Teillast
- Relativ unempfindlich gegen flüssige Kältemittelanteile
- Frei von unausgeglichenen Kräften, also schwingungsarm

- ① CR-Schraubenkompressor
- ② Antriebsmotor
- ③ Ölbehälter mit Grob- und Feinabscheidung
- ④ Ölkühler
- ⑤ Ölfilter
- ⑥ Ölpumpe
- ⑦ einstellbares Drosselventil
- ⑧ Steuerventil-Volumenregelung
- ⑨ Feinstabscheider (falls erforderlich)
- ⑩ Manometer

- a Öleinspritzung Haupt- bzw. Nebeläufer
- b Öldruck Steuerkolben
- c Gasdruck Entlastungskolben
- d Schmieröl saugseitige Lager
- e Schmieröl druckseitige Lager
- f Kühlöl Gleitringdichtung

-  Kältemittel
-  Kältemittel/Öl-Gemisch
-  Ölleitung
-  Impulsleitung
-  Steuerenergie

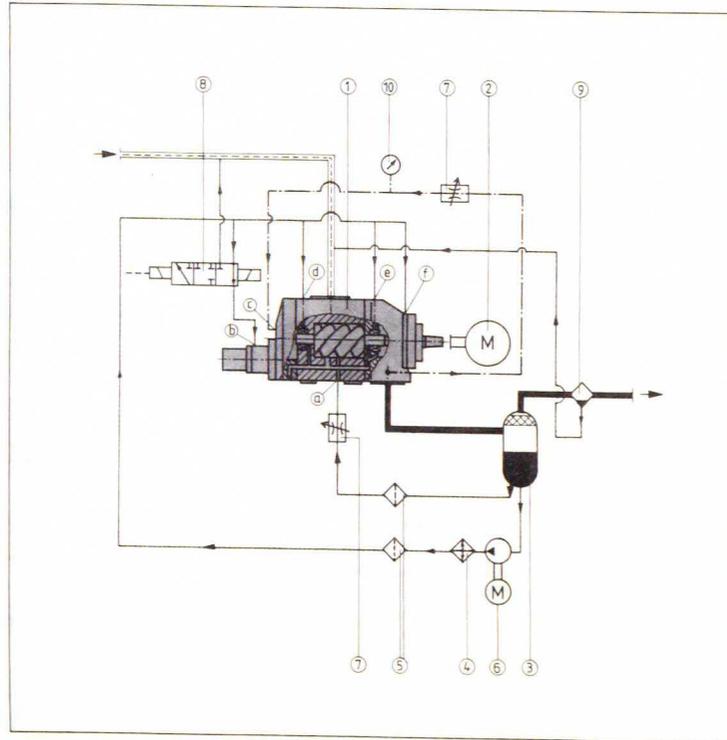
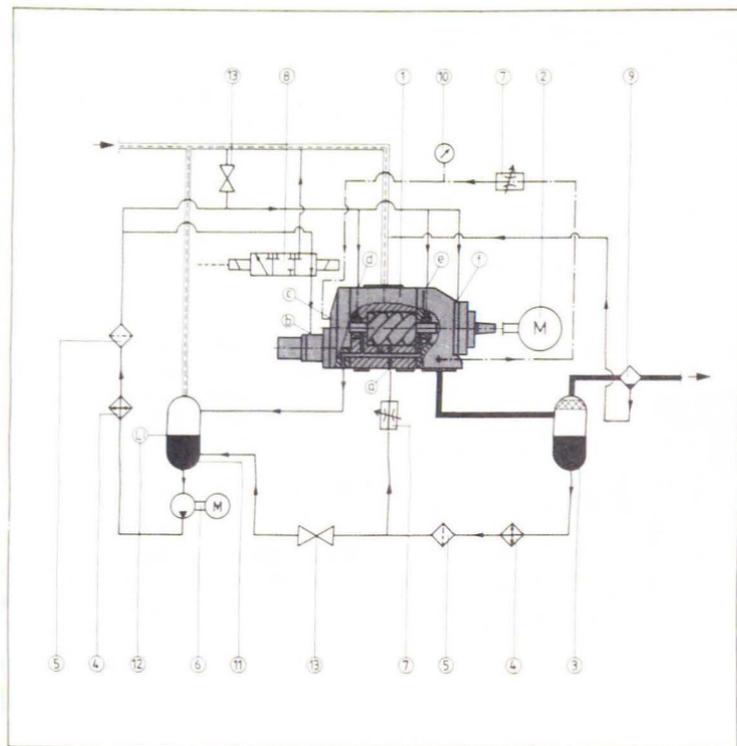


Bild 5: Standardschema Schraubenverdichter



- ① CR-Schraubenkompressor
 - ② Antriebsmotor
 - ③ Ölbehälter mit Grob- und Feinabscheidung
 - ④ Ölkühler
 - ⑤ Ölfilter
 - ⑥ Ölpumpe
 - ⑦ einstellbares Drosselventil
 - ⑧ Stellventil-Volumenregelung
 - ⑨ Feinstabscheider (falls erforderlich)
 - ⑩ Manometer
 - ⑪ Ölbehälter (unter Saugdruck)
 - ⑫ Ölstands-Überwachung
 - ⑬ Absperrventil-Ausgleichsleitung (Öl)
-
- Ⓐ Öleinspritzung Haupt- bzw. Nebeläufer
 - Ⓑ Öldruck Steuerkolben
 - Ⓒ Gasdruck Entlastungskolben
 - Ⓓ Schmieröl saugseitige Lager
 - Ⓔ Schmieröl druckseitige Lager
 - Ⓕ Kühlöl Gleitringdichtung

- - - - - Kältemittel
 ————— Kältemittel/Öl-Gemisch
 ————— Ölleitung
 - - - - - Impulsleitung
 - - - - - Steuerenergie

Bild 6: Schraubenverdichter mit getrennten Ölkreisläufen

- Gegenüber dem Kolbenverdichter keine Arbeitsventile und nur wenige rotierende Teile und damit verringerter Wartungsaufwand

Bild 5 zeigt das Standardschema eines Schraubenverdichters und seines Ölkreislaufes. Werden Schraubenverdichter bei extremen Bedingungen (z. B. bei Luft/Wasser-Wärmepumpen im extremen Winter) gefahren, so daß bei den öllöslichen Kältemitteln keine ausreichende Viskosität des Öl-Kältemittelgemisches mehr vorhanden ist, ist es ratsam, den Schraubenverdichter entsprechend Bild 6 einzusetzen: hierbei sind der Lagerschmieröl-Kreislauf und der Kältemittel/Öl-Kreislauf nahezu getrennt. Die Lösung des Kältemittels im Lagerschmieröl und damit die Herabsetzung der Viskosität wird vermieden. Das Schmieröl wird über seinen eigenen Kreislauf den Versorgungsstellen zugeführt. Vor den Lagern und der Dichtung fließt es über den Ölrückführkanal zurück in den eigenen Ölbehälter (2).

6. Antrieb

Für Schraubenverdichter im Wärmepumpeneinsatz kommen als Antriebsmaschinen bevorzugt Elektromotoren (Bild 7) und Gasmotoren (Bilder 8 und 9) infrage. Bild 10 zeigt den Energiefluß der Primärenergie bei Antrieb durch Elektromotor. Das Prinzipschema der Gaswärmepumpe ist in Bild 11 dargestellt: Die Abwärme des Gasmotors aus dem Motorkühlwasser und dem heißen Abgas wird der Wärmenutzung der Wärmepumpe zugeführt. Dabei kann die auf hohem Temperaturniveau (ca. 80 °C, bei Heißkühlung bis 120 °C) anfallende Abwärme dem gemeinsamen Heizkreis zugeführt werden, oder aber einen getrennten Hochtemperaturheizkreis versorgen. Der Zugewinn an nutzbarer Wärme aus dem Gasmotor zeigt sich deutlich in Bild 12; eine Erhöhung der Primärenergieausnutzung ist die Folge.

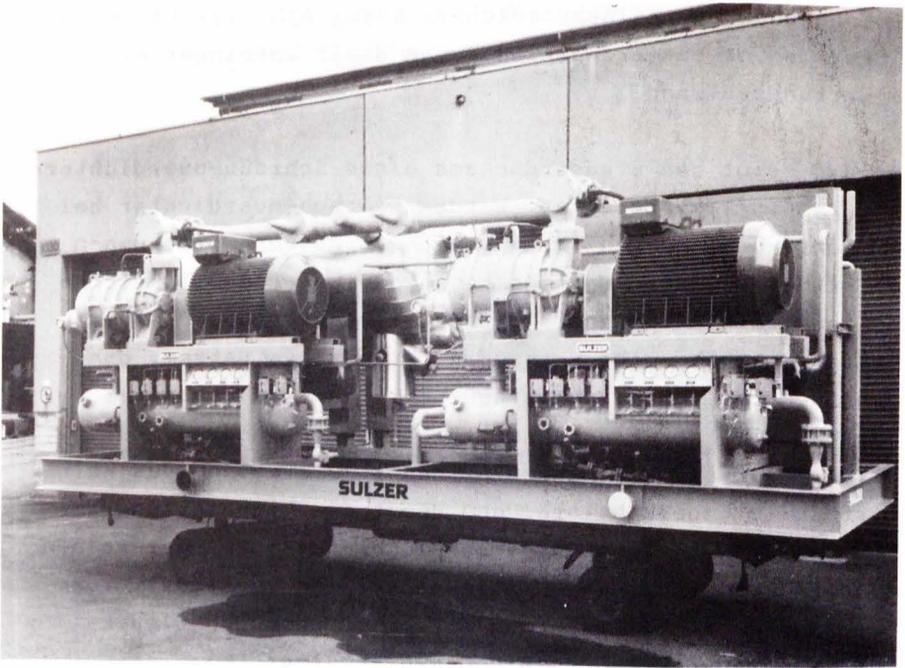


Bild 7: Schraubenverdichter mit E-Motor

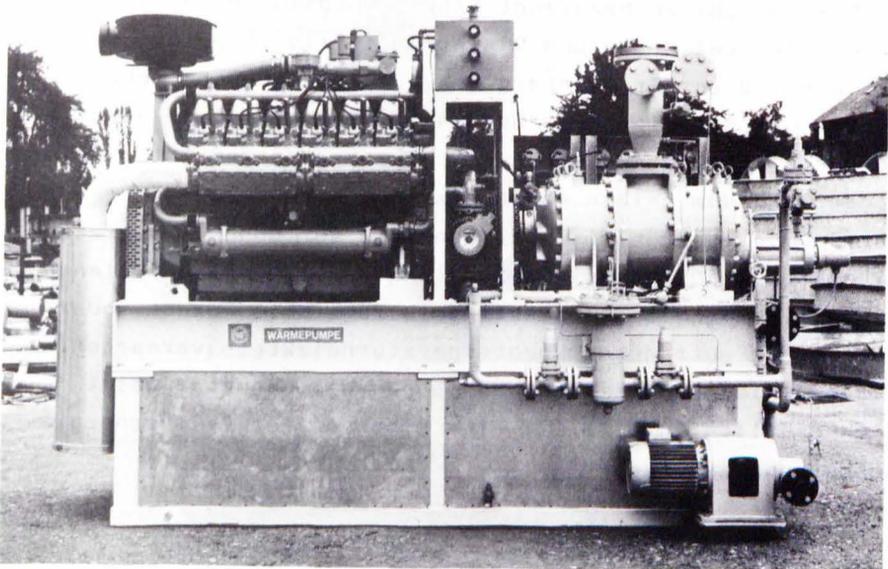


Bild 8: Schraubenverdichter mit Gasmotor

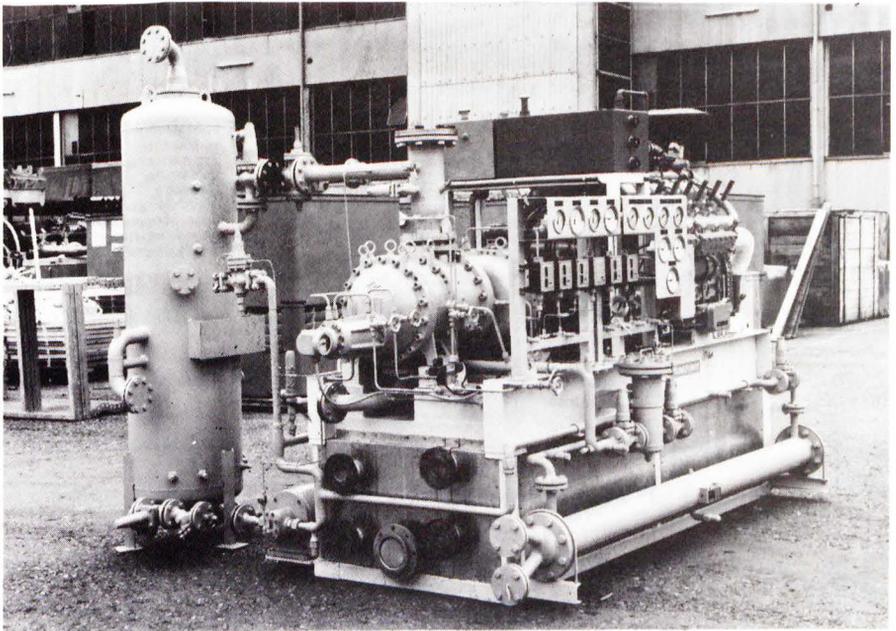


Bild 9: Schraubenverdichter mit Gasmotor
(mit integrierten Wärmeaustauschern)

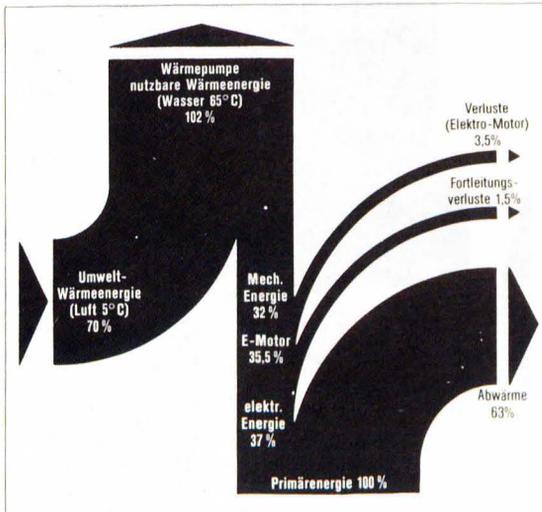


Bild 10: Energieflußbild Elektrowärmepumpe

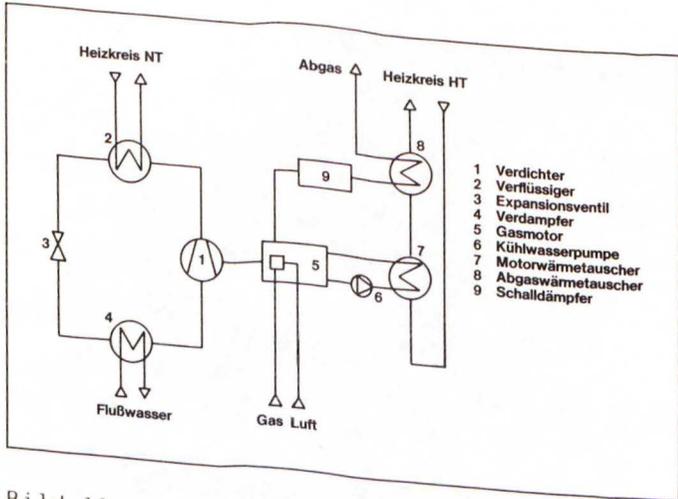


Bild 11: Gaswärmepumpe, Prinzipschema

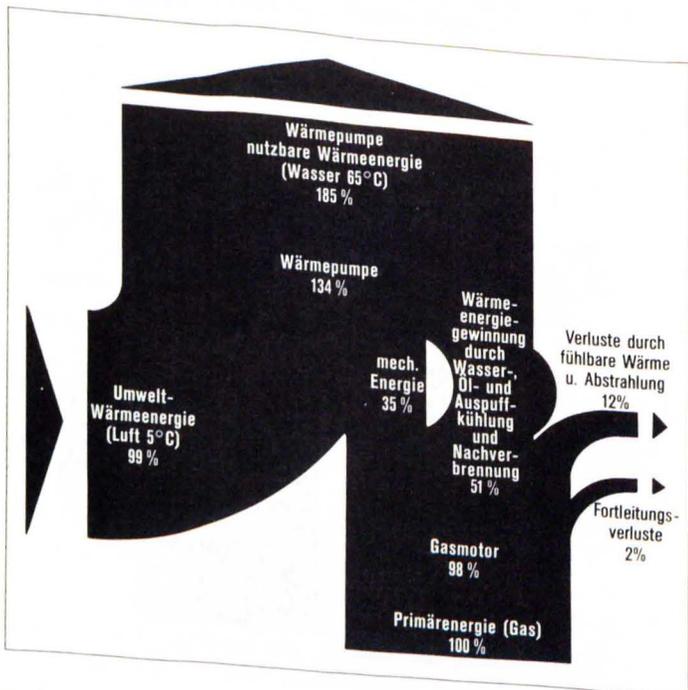


Bild 12: Energieflußbild Gaswärmepumpe

7. Wärmepumpen im Heizkreis

Die von der Wärmepumpe erzeugte Heizenergie ist Hilfsmittel. Damit ist die Wärmepumpe nur Teil eines Gesamtsystems. Von entscheidender Bedeutung für die Funktionstüchtigkeit einer Wärmepumpenanlage ist ihre gekonnte Einbindung in das Heizsystem - und zwar hydraulisch wie regeltechnisch. Sämtliche Randbedingungen und die Dynamik des Gesamtsystems sind damit von entscheidendem Einfluß.

Zwei Möglichkeiten zeichnen sich generell ab: entweder wird die Wärmepumpe an das System angepaßt oder aber das System wird der Wärmepumpe angepaßt.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen dies auf. Bei den Beispielen werden mögliche Stufen geschildert:

- Kälteanlage mit Abwärmenutzung
- reine Wärmepumpenanlage
- integrierte Wärmepumpe mit Doppelnutzung

8. Beispiel 1

Schraubenverdichter in der Lebensmitteltechnik

(Klassische Kälteanlage mit Abwärmenutzung)

Aufgabenstellung:

In einem Molkereibetrieb sollte eine vorhandene Eiswasseranlage für die Milchkühlung ersetzt und leistungsmäßig erweitert werden. Die Wirtschaftlichkeit der Anlage sollte erhöht werden durch Nutzung der Abwärme für Heizzwecke bei der Milchpasteurisierung. Die Kälteleistung sollte dabei Priorität besitzen. Der Kühlbetrieb setzt um 3 Uhr ein und endet um 16 Uhr. Die einzelnen Abteilungen arbeiten mit geringer Phasenverschiebung.

Der Kältebedarf und seine zeitliche Verteilung wurden ermittelt und der Dimensionierung zugrunde gelegt. In die Zeit des maximalen Kältebedarfs fällt betriebsbedingt auch der maximale Heizwasserbedarf.

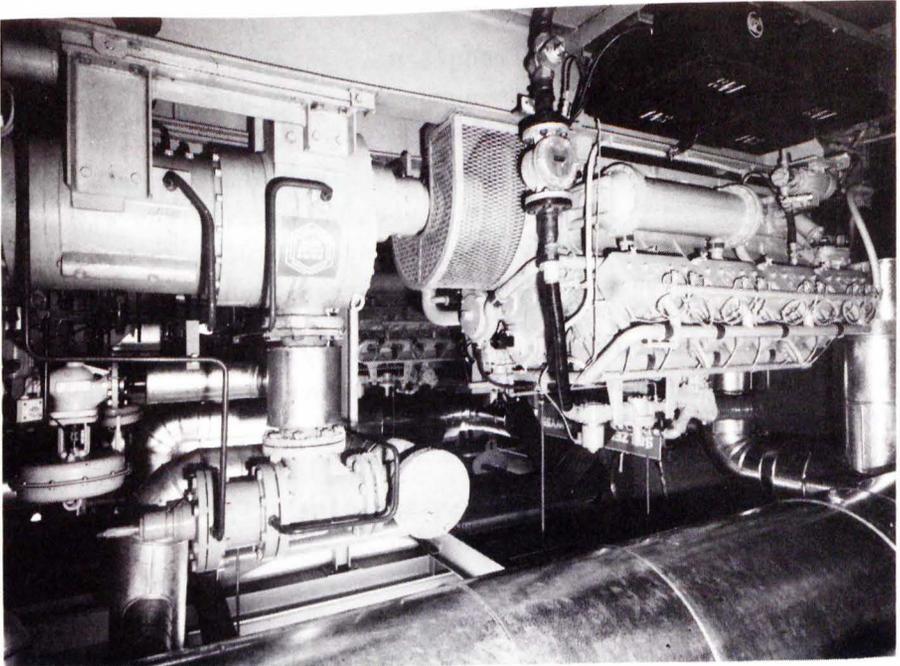


Bild 13: Schraubenverdichter mit Gasmotor in einer Molkerei

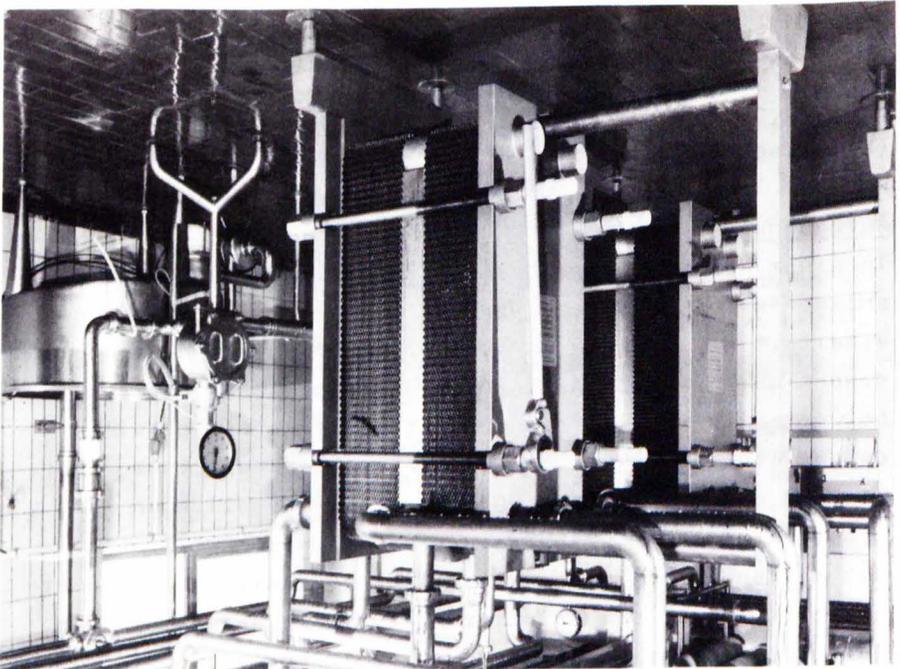


Bild 14: Plattenwärmeaustauscher für Milchkühlung

Der Kältebedarf schwankt entsprechend der jahreszeitlich unterschiedlichen Menge der Milchlieferung.

Problemlösung

Durch den Einsatz einer Eiswasseranlage mit Eisspeicherung kann die Kälteleistung für die Milchkühlung in der Spitze der Betriebszeit gedeckt werden und die durchschnittlich zu erbringende Kälteleistung verringert werden. Hier wird die Erstarrungswärme als Kältespeicher genutzt, der kurzfristig durch Abschmelzen zur Verfügung steht.

Da der Heizbetrieb für die Milchpasteurisierung analog zum Kältebetrieb verläuft, ist die Ausnutzung von Abwärme besonders wirtschaftlich. Die erforderliche hohe Heizwassertemperatur wird durch Einsatz von Gasmotoren und Nutzung deren Abwärme erreicht.

Ausführung der Anlage

Aus Gründen der Verfügbarkeit und eines günstigen Teillastbetriebes wurden zwei Schraubenverdichter mit Gasmotorenantrieb eingesetzt (Bild 13). Die Anlage wurde so dimensioniert, daß die Gasmotoren mit niedriger Drehzahl arbeiten. Im Störfall kann die Kälteleistung jedes Verdichters durch Drehzahlerhöhung nahezu um die Hälfte gesteigert werden.

Die Kälteanlage wurde für Pumpenbetrieb und überflutete Verdampfer mit Ammoniak als Kältemittel konzipiert.

Technische Daten der Schraubenverdichter, Fabrikat GHH, Typ SKK 204 G:

Kälteleistung	1 860 kW
Drehzahl	2 889 min ⁻¹
Verdampfungstemperatur	-5 °C
Verflüssigungstemperatur	+35 °C
Kältemittel	NH ₃
Kraftbedarf je	199 kW

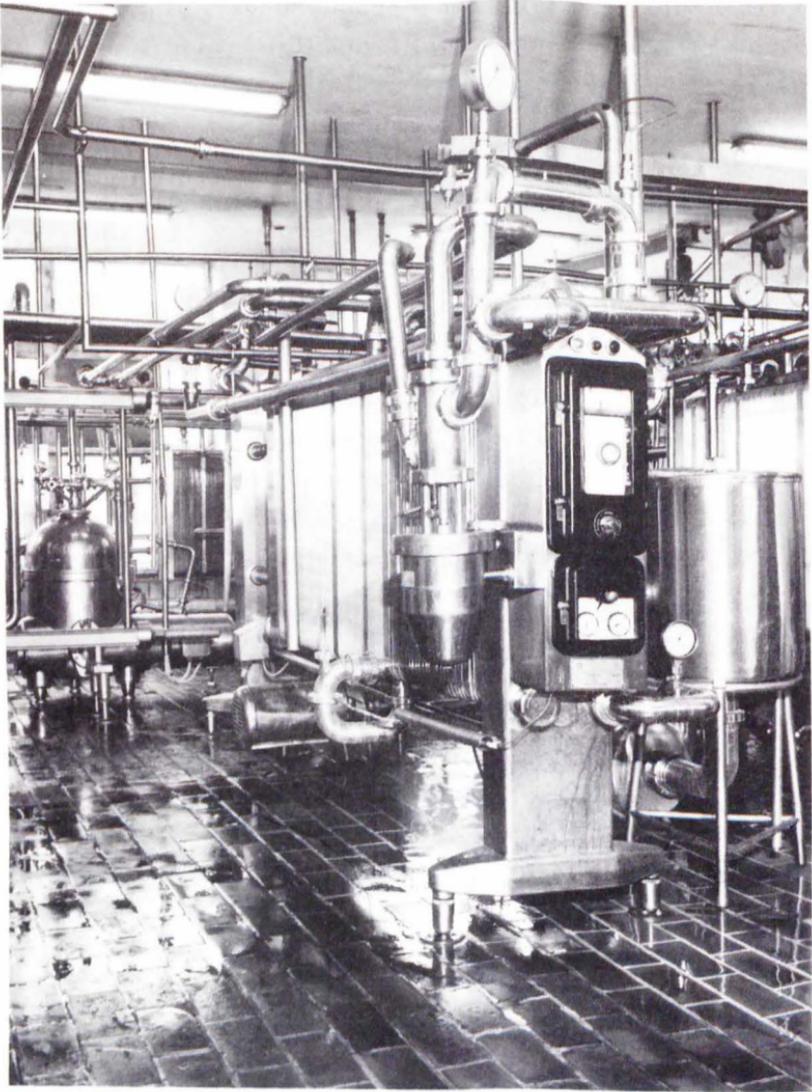
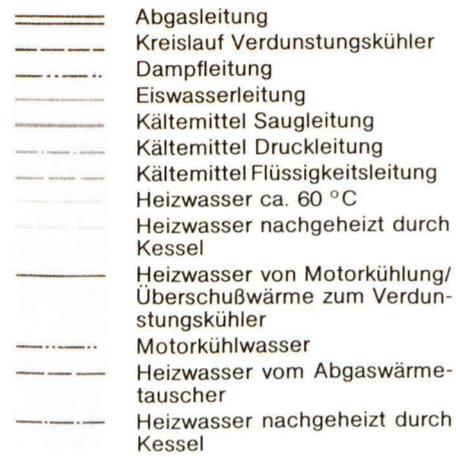


Bild 15: Plattenwärmeaustauscher
für Milchpasteurisierung

Die Kühlung aller notwendigen Betriebseinrichtungen, wie Plattenwärmeaustauscher für die Milchkühlung (Bild 14), Tanks und Kühlwannen erfolgt mit Eiswasser. Die Speicherleistung beträgt bei einem maximalen Eisansatz von 30 mm ca. 3 500 kW. Mit im Eisspeicher montierten Rührwerken



- 1 Verdichter
 2 Kältemittelsammler/-abscheider
 3 Eiswasserbehälter mit Plattenverdampfer
 4 Verdunstungsverflüssiger
 5 Hochdrucksammler
 6 Enthitzer
 7 Gasmotor
 8 Motor-Kühlwasserwärmetauscher
 9 Abgas-Wärmetauscher
 10 Heizwasser Speicherbehälter 4-zellig
 11 Dampf für Heizzwecke
 12 Dampfer/Wasser-Wärmetauscher
 13 Wasser/Wasser-Wärmetauscher
 14 Druckkessel Eiswasser
 15 Milchkühlung/ -erhitzung
 16 Rahmkühlung/ -erhitzung
 17 Milchannahme - Kühlung
 18 Tankkühlung - Sauermilch
 19 Verdunstungskühler
 20 Brauchwasser
 21 Kesselspeisewasser
 22 Bruträume
 23 Heizung Büros
 24 Heizung Küche

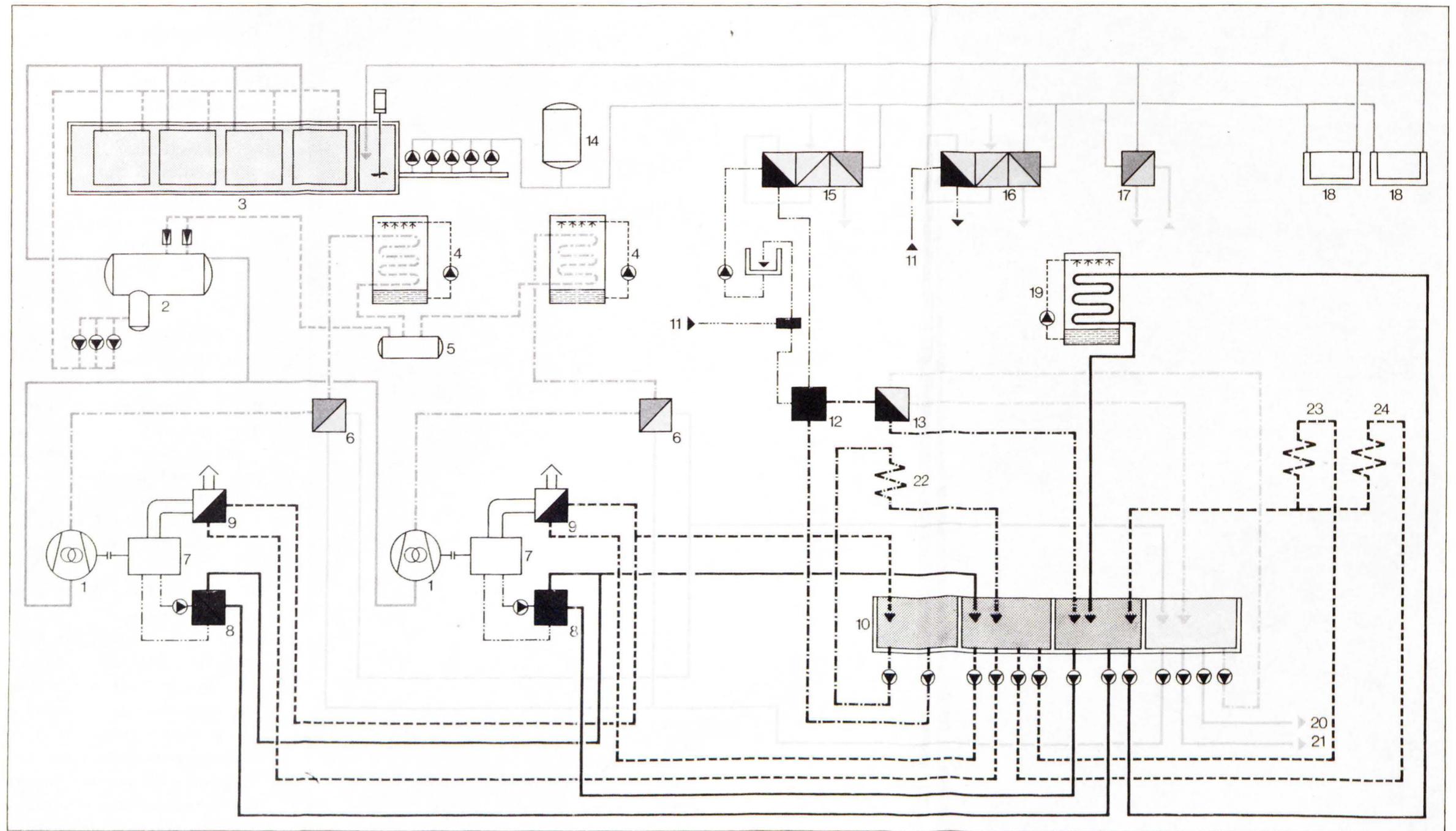


Bild 16: Betriebsschema

wird eine konstante Eiswassertemperatur gehalten und ein gleichmäßiges Abschmelzen des Eises erreicht.

Technische Daten der Gasmotoren, Fabrikat Jenbach,
Typ JW 260 G0:

Dauerleistung	246 kW
Maximalleistung	331 kW
Zylinderzahl	16
Antriebsenergie	Erdgas
Drehzahlbereich	1 000/1 500 min ⁻¹
Kühlwasserwärme	238 kW
Abgasabwärme	134 kW

Die Abwärme der Gasmotoren wird über Heizwasser in einem vielzelligen Behälter gespeichert. Das Motorkühlwasser dient mit seinem Niveau von 75 °C allgemeinen Heizzwecken. Die Abgasabwärme mit einem Niveau von 80 °C wird zur Milchpasteurisierung (Bild 15) genutzt, außerdem zur Kesselspeisewasservorwärmung und Brauchwasserbereitung. Bei zeitweiligem Überschuß kann Heizwasser höherer Temperatur in Behälterabteile niederer Temperatur überlaufen. Verdunstungskühler halten die vom Motor her geforderten maximalen Temperaturen bei weiterem Überschuß in Grenzen.

Die Funktion der Gesamtanlage geht aus dem Betriebsschema (Bild 16) hervor:

Die Kälteerzeugung hat Priorität und wird von einer Zeitschaltuhr gesteuert. Der Eisansatz an den Plattendampfern erfolgt durch Steuergeräte mit Widerstandsfühlern. Die Kältemaschinen werden durch Kontaktmanometer gesteuert, die Leistungsregulierung erfolgt elektronisch durch Volumenstromänderung in den Schraubenverdichter sowie durch Drehzahländerung der Gasmotoren.

Die Eiswasserpumpen werden druckabhängig von einem Druckerhöhungskessel aus gesteuert.

Über Pumpstationen werden die einzelnen Heizkreisläufe aus dem Heizwasserspeicherbecken versorgt. Die Kondensationswärme des Kältekreislaufes wird über Verdunstungskühler abgeführt.

9. Beispiel 2

Schraubenverdichter in der Energieversorgung

(Klassische Wärmepumpenanlage)

Aufgabenstellung:

Für verschiedene historische Gebäude im Altstadtkern von Amberg war die Sanierung von Heizanlagen zu planen. Es galt, im Rahmen des Umweltschutzes die Emissionsbelastung zu senken, außerdem sollte der Energieaufwand reduziert werden; eine Eigenstromversorgung mit Spitzenlastabdeckung sollte untersucht werden (3).

Problemlösung

Nach dem Erstellen einer Energiebilanz und einer Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde eine Nahwärmeschiene (Bild 17) mit Versorgung durch bivalente Gaswärmepumpen mit Schraubenverdichtern bei gleichzeitiger Stromerzeugung geplant. Als Wärmequelle dient der durch Industriekühlwasser thermisch belastete Fluß Vils. Bis zu einer Flußwassertemperatur von +2 °C kann mit der Gaswärmepumpe die Wärmeversorgung der Gebäude übernommen werden.

Die erforderliche Spitzenlast für den bivalenten Betrieb wird durch einen Heizkessel mit Gasfeuerung abgedeckt. Der Spitzenlastkessel kann auch annähernd die Gesamtlast der Anlage übernehmen, wenn die Wärmepumpenanlage bei zu niedriger Flußwassertemperatur nicht betrieben werden kann. Dies kann vorliegen bei zu geringer Abwärme aus der Industrie in arbeitsfreien Zeiten im Winter oder bei starker Schneeschmelze. Während dieser Zeit oder durch Prioritätsschaltung können die Gasmotoren über direkt gekoppelte Generatoren Strom erzeugen. Dieser Strom dient zur Reduzierung des Spitzenstrombedarfs der Stadtwerke.

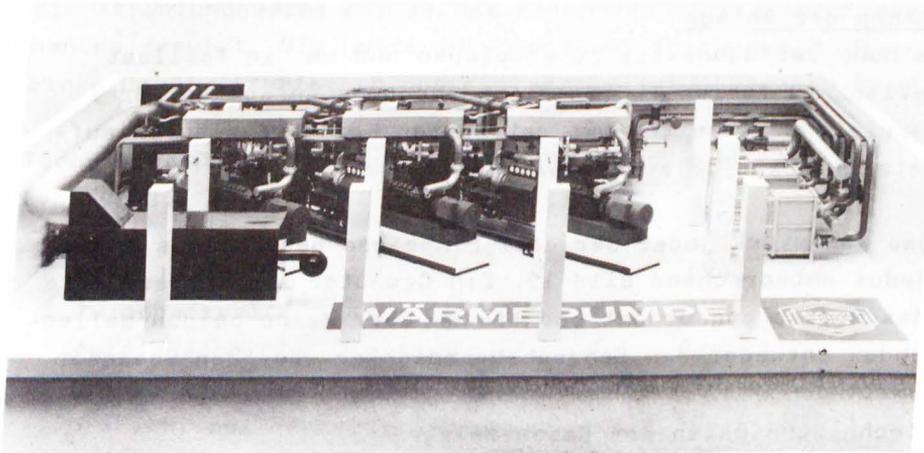


Bild 18: Modell der Anlage

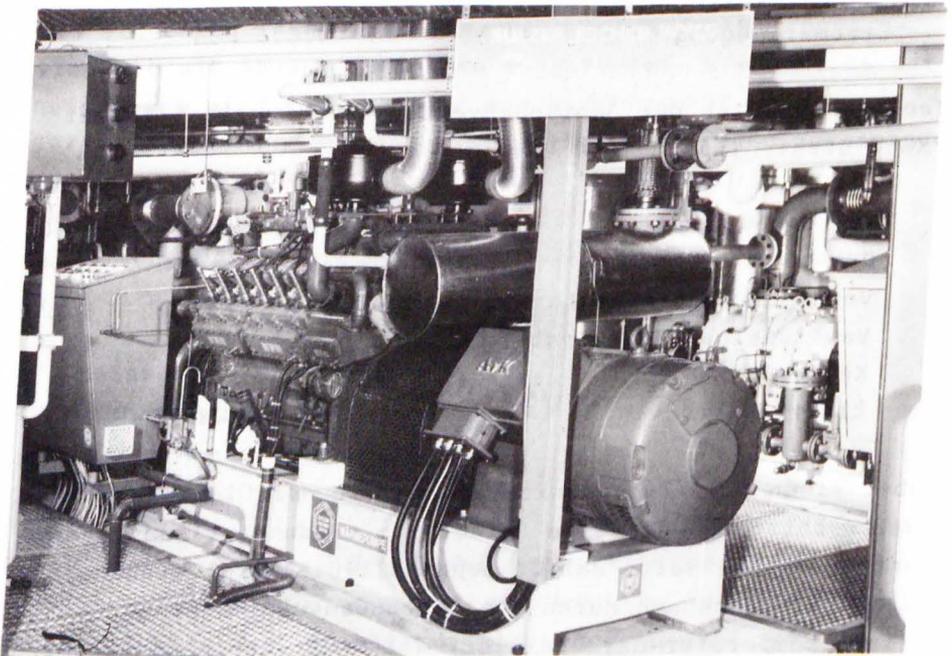


Bild 19: Modul BHKW

Aufbau der Anlage

Um hohe Verfügbarkeit zu erreichen und um in Teillast optimal zu fahren, wurde die Wärmepumpenanlage auf drei baugleiche Einheiten mit getrennten Kältekreisläufen aufgeteilt. Bild 18 zeigt das Modell der Anlage.

Das Kernstück jeder der drei Einheiten besteht aus einem Modul entsprechend Bild 19. Ein Gasmotor ist in der Mitte des Moduls angeordnet und treibt über seine beiden Wellenden entweder den Schraubenverdichter oder den Gasmotor an.

Technische Daten der Gesamtanlage:

Gesamtheizleistung	2,25 MW
Vorlauftemperatur	60 °C
Stromerzeugung	0,675 MVA

Technische Daten der Schraubenverdichter, Fabrikat Sulzer /Kobe Steel, Typ KS 1600 LG:

Kälteleistung	296	kW
Drehzahl	4 530/3 460	min ⁻¹
Verdampfungstemperatur	-6	°C
Verflüssigungstemperatur	+60	°C
Kältemittel	R 12	
Kraftbedarf	169	kW

Über einen Sole-Zwischenkreislauf wird dem Flußwasser Wärme entzogen. Die Sole fließt zum Verdampfer zum Wärmeentzug (kalte Seite der Wärmepumpe). Die Wärme wird durch Temperaturerhöhung durch die Schraubenverdichter an den Niedertemperatur-Heizkreislauf 45/59 °C abgegeben (warme Seite der Wärmepumpe). Als zusätzliche Wärmequelle wird

die Strahlungswärme der im Maschinenraum montierten Komponenten genutzt. Die dabei rückgewonnene Energie wird über einen Raumluftkühler an den Kältekreislauf abgegeben.

Technische Daten der Gasmotoren, Fabrikat MWM,
Typ TGB 232 V 12:

Dauerleistung		196	kW
Zylinderzahl		12	
Antriebsenergie		Erdgas	
Drehzahlbereich	1 200/1	570	min-1
Drehzahl bei Generatorbetrieb	1 500		min-1
Motorabwärme		183	kW
Abgasabwärme		70	kW

Die Gasmotoren sind zur Erreichung optimaler Wirtschaftlichkeit mit Abgasturboladern ausgerüstet. Die Abwärme der Gasmotoren wird als Zugewinn dem Hochtemperaturkreislauf 59/80 °C zugeführt. Dadurch wird ein hoher Ausnutzungsgrad der eingesetzten Primärenergie erzielt (Bild 20).

Technische Daten der Generatoren, Fabrikat AvK,
Typ DKB 55/225-45S:

Leistung		225	kVA
Drehzahl	1 500		min-1
Spannung		380	V
Frequenz		50	Hz

Über eine vorprogrammierte Jahresuhr erhält der Generatorbetrieb Priorität zur Spitzenstromerzeugung an ca. 60 Tagen im Jahr. Über Magnetkupplungen werden dann die Schraubenverdichter ausgekuppelt und die Generatoren eingekuppelt. Ein Mischbetrieb der einzelnen Module ist möglich. Während der Zeit der Stromerzeugung wird die Abwärme der Gasmotoren wie beim Wärmepumpenbetrieb in die Nahwärmeschiene oder in die Pufferspeicher eingespeist. Den Energiefluß bei der Stromerzeugung zeigt Bild 21.

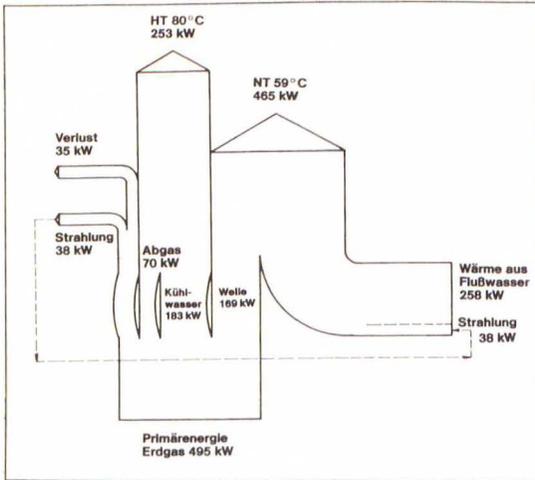


Bild 20: Energieflußbild Gaswärmepumpe

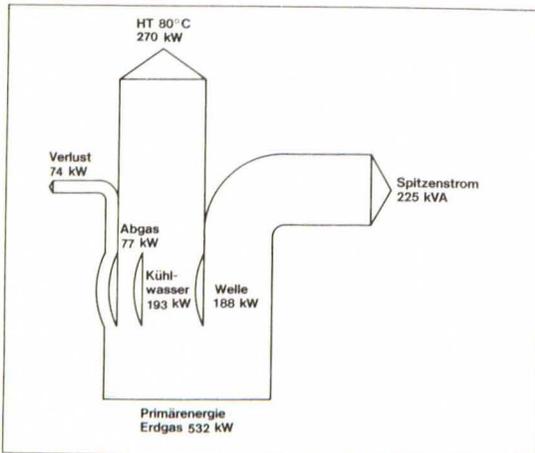


Bild 21: Energieflußbild BHKW

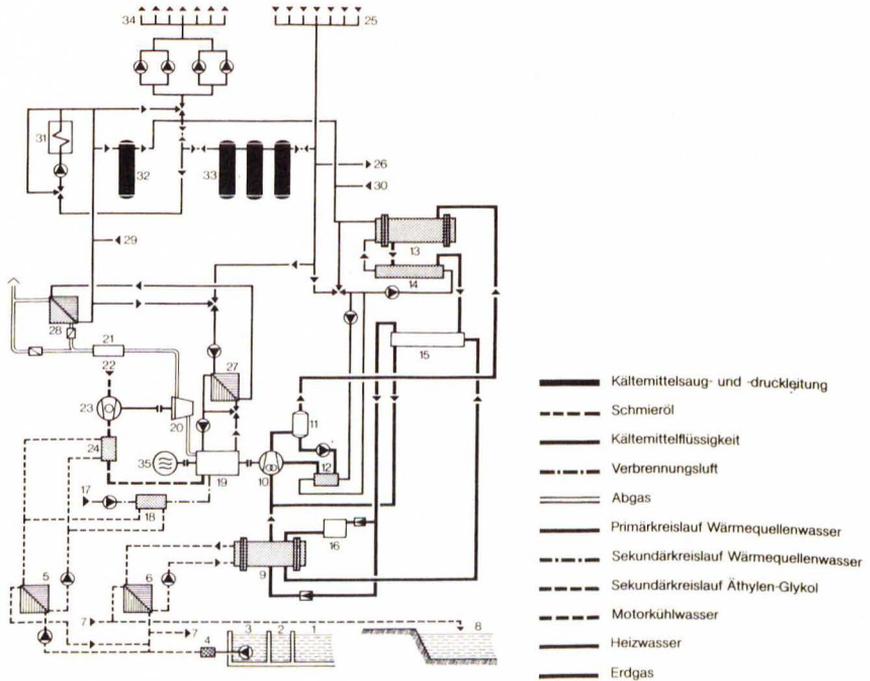


Bild 22: Betriebssystem

- | | |
|---|--|
| 1 Einlaufbauwerk Flußwasser | 19 Gas-Antriebsmotor |
| 2 Absetzbecken | 20 Abgasturbine |
| 3 Filterkammer mit Pumpen | 21 Abgas-Schalldämpfer |
| 4 Filter | 22 Verbrennungsluft |
| 5 Wärmeaustauscher Gas/Ladeluftkühler | 23 Turbolader |
| 6 erster Wärmeaustauscher Äthylen-Glykol | 24 Ladeluftkühler |
| 7 zweiter und dritter Wärmeaustauscher Äthylen-Glykol | 25 Heizwasser-Rücklaufverteiler |
| 8 Fluß | 26 Zu Wärmepumpe 2 und 3 Hochtemperatur/Niedertemperatur |
| 9 Kältemittelverdampfer | 27 Wärmeaustauscher Motorkühlung |
| 10 Schraubenverdichter | 28 Wärmeaustauscher Abgas |
| 11 Ölabscheider | 29 Von Wärmepumpe 2 und 3 Hochtemperatur |
| 12 Ölkühler | 30 Von Wärmepumpe 2 und 3 Niedertemperatur |
| 13 Verflüssiger | 31 Heizkessel |
| 14 Kältemittelunterkühler | 32 Speicher Hochtemperatur |
| 15 Kältemittelausdampfer | 33 Speicher Niedertemperatur |
| 16 Raumluftkühler | 34 Heizung Vorlaufverteiler |
| 17 Erdgaszuleitung | 35 Generator |

Die Funktion der Anlage ist im Betriebssystem Bild 22 dargestellt. als Besonderheit ist zu vermerken, daß das Flußwasser im Einlaufbauwerk so geführt wird, daß die Filterkammern durch Rückspülung gereinigt werden. Die Steuerung und Regelung der Anlage wurde als frei-programmierbares System ausgeführt. Als Führungsgröße für die Regelung der Heizleistung der Anlage dient die Heiz-

wasservorlauftemperatur. Ein Optimierungsprogramm wählt nach den vorliegenden Randbedingungen (Flußwassertemperatur zwischen +2 und +28 °C) die Stellung der Steuerschieber der Schraubenverdichter und die Drehzahl der Gasmotoren. Sonderprogramme fahren die Anlage an und ab.

10. Beispiel 3

Schraubenverdichter in der chemischen Industrie

(Klassische Wärmepumpenanlage mit Doppelnutzung Kälte/Wärme)

Aufgabenstellung:

Für eine Anlage der Vakuumdestillation war die Energieversorgung mit Wärme und Kälte zu planen. Dabei sollten die Sumpferhitzer der Kolonnen mit Wärme versorgt werden; gleichzeitig waren die Kopfkondensatoren mit Kälte zu versorgen. Die Arbeitstemperaturen waren festgelegt mit +50 °C bzw. -5 °C.

Bild 23 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Destillations-säule: aus einem Gemisch von Lösungsmittel und Extrakt wird durch Wärmezufuhr das Lösungsmittel verdampft. Zurück bleibt das stark aufkonzentrierte Extrakt. Das verdampfte Lösungsmittel wird durch Auskondensation unter Wärmeabgabe wieder für den Extraktionsprozeß zurückgewonnen.

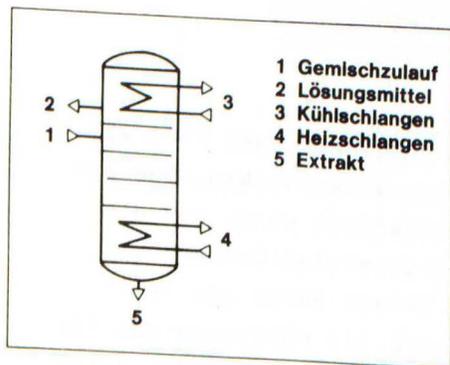


Bild 23:

Destillationskolonne, Prinzip

Problemlösung

Die konventionelle Lösung der Energieversorgung besteht darin, daß die Sumpferhitzer mit Dampf bzw. Warmwasser beheizt werden; für die Kopfkondensatoren wird die Kälte aus einer zentralen oder dezentralen Kälteanlage geliefert.

Im Zuge der Überlegungen zu rationellem Einsatz der Energie zwang sich eine Kombination Kälte/Wärme geradezu auf, wird doch im Prinzip die Wärme innerhalb der Kolonne nur verschoben (Bild 24). Es war also dafür zu sorgen, daß die abgeführte Wärme dem System wieder zugeführt wird (Bild 25). Die durch Abstrahlung entstehenden Verluste sind zu ersetzen.

Für beide Destillationsanlagen, die vom Produkt her miteinander verkoppelt sind, wurde der Einsatz einer Wärmepumpe vorgesehen.

Die Anlage ist vom Aufbau her Kälteanlage und Wärmepumpe zugleich, da sowohl die kalte Seite der Anlage als auch deren warme Seite genutzt wird. Durch diese Doppelnutzung ergeben sich höchste Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit.

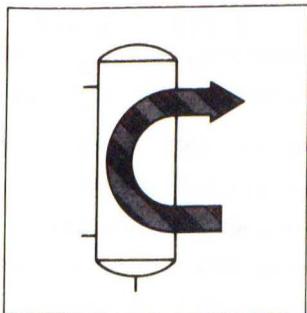


Bild 24:
Destillationskolonne,
Wärmefluß



Bild 25:
Destillationskolonne
Wärmefluß bei Wärmerückgewinnung

Aufbau der Anlage

Die Wärmepumpe wurde mit Schraubenverdichtern konzipiert. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Verfügbarkeit steht eine Reservemaschine bereit.

Die Wärmeaustauscher der Anlage wurden voll in die Chemieranlage integriert:

- Der Kondensator der Kältemaschine/Wärmepumpe ist gleichzeitig der Sumpferhitzer der Kolonne; während auf der einen Rohrseite also das Kältemittel kondensiert, verdampft auf der anderen Seite das Lösungsmittel aus dem Lösungsmittelgemisch der Destillationskolonne.
- Der Verdampfer der Kältemaschine/Wärmepumpe ist gleichzeitig der Kopfkondensator der Kolonne; während auf der einen Rohrseite also das Kältemittel verdampft, kondensiert auf der anderen Seite das Lösungsmittel der Destillationskolonne.

Technische Daten der Anlage:

Kälteleistung	1 100	kW
Wärmeleistung	1 300	kW

Technische Daten des Schraubenverdichters:

Kälteleistung	1 120	kW
Drehzahl	2 950	min ⁻¹
Kraftbedarf	375	kW
Verdampfungstemperatur	-5	°C
Verflüssigungstemperatur	+50	°C
Unterkühlungstemperatur	+38	°C
Ölkühler	wassergekühlt	
Kältemittel	NH ₃	

Das Kältemittel Ammoniak wurde gewählt aus Gründen der Verträglichkeit mit dem Lösungsmittel bei eventuellen Undichten in den Wärmeaustauschern.

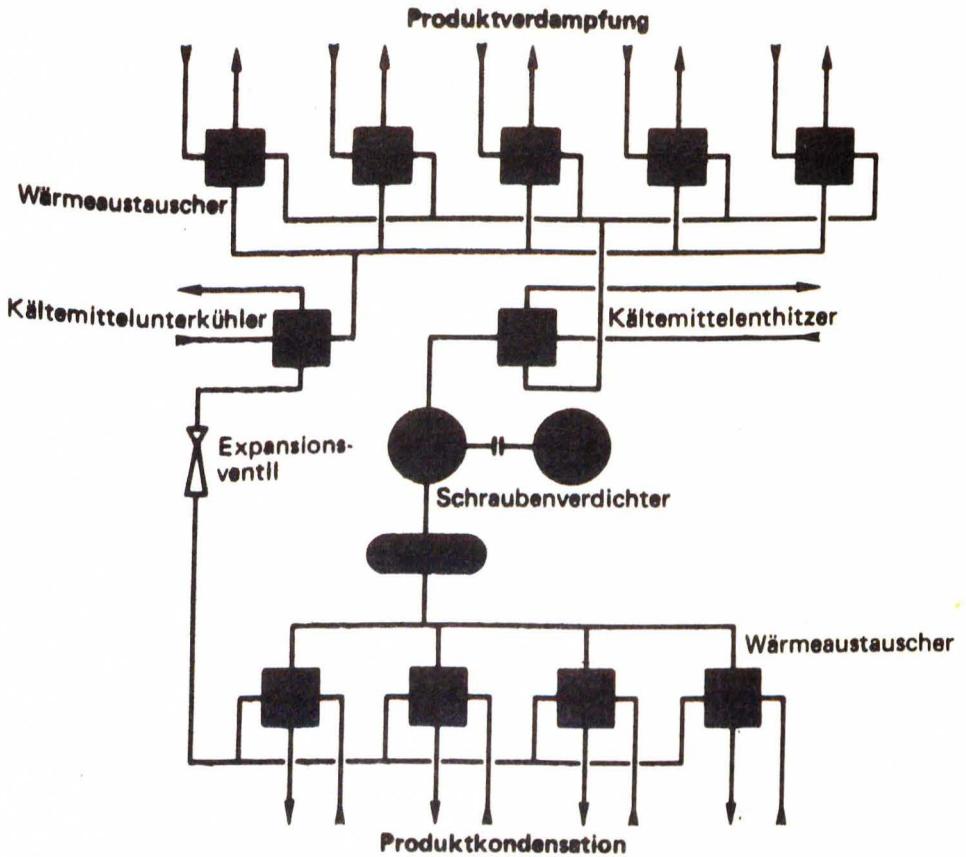


Bild 26: Betriebssystem

Der Antrieb des Schraubenverdichters erfolgt durch direkt gekoppelten Elektromotor.

Bild 26 zeigt das aus Gründen der Vermeidung der Weitergabe von Produkt-know how stark vereinfachte Betriebssystem. Durch entsprechende Regelgeräte kann sowohl die Verdampferseite als auch die Kondensatorseite geregelt werden. Ein Kältemittelenthitzer mit Teilkondensation fährt überschüssige Wärme ab. Besondere Sicherheitsvorkehrungen halten die Arbeitstemperaturen an den Wärmeaustauschern in engen Grenzen.

Die Regelung der Kältemaschine/Wärmepumpe ist, besonders beim Anlauf des Prozesses, recht komplex : die Produktseite verlangt beim Anlauf sofort Wärme, die aber erst nach angelaufenem Prozeß von der Wärmepumpe zur Verfügung gestellt werden kann. Bei kleiner Teillast genügt jedoch die durch die Umgebung eingestrahlte Wärme, um den Kreislauf in Gang zu bringen. Bei Anlaufvorgängen während der kalten Jahreszeit wird auf der Produktseite Wasserdampf als Anfahrerenergie mit eingespeist.

Die Anlage wird über ein Prozeßbleitsystem vollautomatisch gefahren und überwacht. Die Energiekosten für die Anlage werden laufend erfaßt: bereits nach einem halben Betriebsjahr war, bedingt durch die beträchtliche Einsparung durch Doppelnutzung, die Anlage amortisiert.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wird der Einsatz des Schraubenverdichters in Wärmepumpenanlagen untersucht. Dabei werden Leistungsbereiche, Betriebsbereiche sowie das Teillastverhalten vorgestellt. Die Merkmale des Schraubenverdichters werden beurteilt. Die Antriebsmöglichkeiten werden auf ihre Vorteile hin gewertet. Kriterien für die Einbindung der Wärmepumpen in Gesamtsysteme werden aufgestellt.

Anhand von ausführlichen Beispielen wird der Einsatz des Schraubenverdichters geschildert in Kälteanlagen mit Wärmenutzung, in reinen Wärmepumpenanlagen und in Anlagen mit Doppelnutzung. Die geschilderten Beispiele stammen aus den Bereich der Lebensmitteltechnik, der Energieversorgung und der Chemie.

Schrifttum:

- /1/ FTA Fachbericht 4: "Wärmepumpeneinsatz in Industrie und Gewerbe" (1983)
- /2/ R. Klein: "Schraubenverdichter für den Einsatz in Wärmepumpenanlagen". Druckschrift GHH (1978)
- /3/ E. Ganter, J. Blaha, W. Karrer VDI: "Integrierte Energieversorgung von kommunalen Gebäuden im historischen Kern der Stadt Amberg". VDI-Bericht 486 (1983)