

# NH<sub>3</sub>-Verbundanlagen mit Schraubenverdichtern kleiner Leistung\*

Thomas Helmke, Köln

## zum Autor

**Dipl.-Ing. Thomas Helmke**, beauftragt mit der Entwicklung und Konstruktion von Industriekälteanlagen bei der Firma Linde AG, Köln-Sürth



In diesem Beitrag werden Verbundkältesätze mit Schraubenverdichtern kleiner Leistung (Förderstrombereich bis ca. 250 m<sup>3</sup>/h) für das Kältemittel Ammoniak (NH<sub>3</sub>) vorgestellt. Entsprechend den Betriebsbedingungen bei Klima-, Normal- und Tiefkühlungsanwendung werden die zugehörigen Leistungsbereiche aufgezeigt. Die unterschiedlichen Verdichterausführungen und die technischen Aspekte, die diese Verdichter in ihrer Qualität und Wirtschaftlichkeit auszeichnen, werden dargestellt. Anhand des konstruktiven Aufbaus erfolgt die Beschreibung der weiteren Hauptkomponenten.

\* Als Vortrag gehalten am 18. November anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung 1999 des DKV in Berlin

Besondere Berücksichtigung finden hierbei die verschiedenen Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung. An Beispielen von werksgelieferten Flüssigkeitskühlsätzen sowie baustellenmontierten Kälteanlagen werden typische Einsatzmöglichkeiten der Schraubenverbundkältesätze beschrieben.

In dem abschließenden Vergleich zu Einzelverdichtersätzen mit großen Schraubenverdichtern wird auf die für die Betreiber wesentlichen Gesichtspunkte eingegangen. Der Vorteil der Verbundkältesätze liegt insbesondere in der erhöhten Betriebssicherheit durch Aufteilung der Gesamtleistung auf mehrere Verdichter, wodurch diese Konzeption für den mittleren Leistungsbereich von Industriekälteanlagen so interessant wird.

## Verbundkältesätze mit Schraubenverdichtern

### Definition

Unter einem Verbundkältesatz ist eine Parallelschaltung von mehreren Verdich-

tern zu verstehen, die auf einem gemeinsamen Kältemittelkreislauf arbeiten und zusammen mit allen erforderlichen Apparaten, Leitungen, Armaturen, Sicherheits- und Regelgeräten sowie Steuerungen in einem Maschinengestell zu einer Kompakteinheit anschlussfertig zusammengesetzt sind (Bild 1).

Je nach Anwendungsfall enthält der Verbundkältesatz drei bis sechs Schraubenverdichter mit den entsprechend ausgelegten Komponenten. Die Kälteleistung wird automatisch durch Zu- und Abschalten der einzelnen Verdichter dem Bedarf der Verbraucher angepasst.

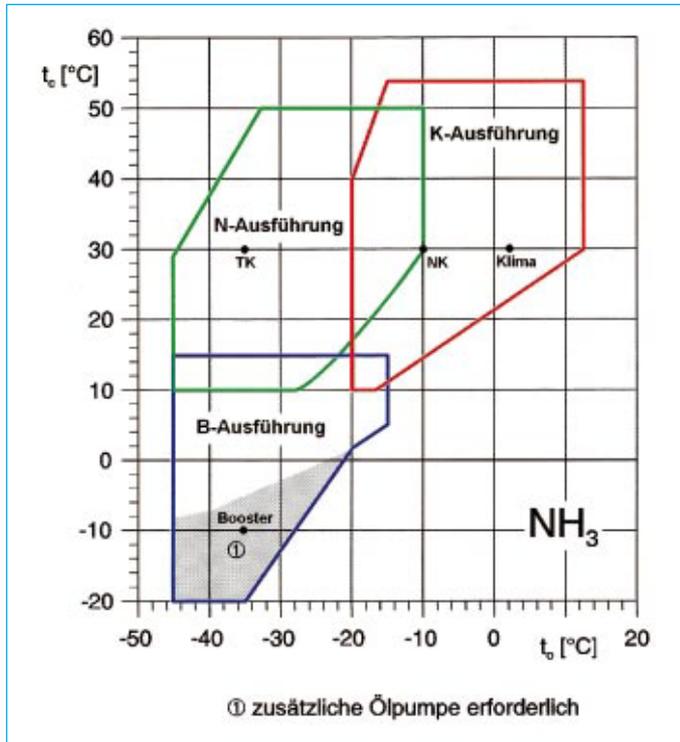
### Einsatzgrenzen und Leistungsbereiche

Für die genannten Betriebsbedingungen der Verbundkältesätze werden unterschiedliche Schraubenverdichterausführungen (K, N und B) verwendet. Die Unterschiede bestehen im wesentlichen in den jeweils eingebauten Volumenverhältnissen. Bild 2 zeigt die Einsatzbereiche



Bild 1 Verbundkältesatz mit Schraubenverdichtern kleiner Leistung

Bild 2 Einsatzgrenzen von Schraubenverdichtern unterschiedlicher Ausführungen



### Konstruktiver Aufbau mit Komponentenbeschreibung

Gemäß Bild 4 saugen die Schraubenverdichter den in den Verbrauchern durch Wärmeentzug entstehenden Kältemitteldampf an, verdichten und fördern ihn mit der umlaufenden Ölmenge in den Ölabscheider. Hier werden Öl und Kältemitteldampf getrennt. Der Ölabscheider ist standardmäßig für einen Restölgehalt im Kältemittel von 100 ppm ausgeführt. Sonderausführungen mit einem Restölgehalt bis zu 10 ppm sind bei Bedarf ebenfalls möglich. Der Kältemitteldampf gelangt in den Verflüssiger, das Öl sammelt sich im unteren Teil des Ölabscheiders und wird durch die Druckdifferenz zwischen Verflüssigungs- und Ansaugdruck den einzelnen Schraubenverdichtern zugeführt. Während der Startphase, bei der noch keine ausreichende Druckdifferenz aufgebaut ist, werden die Schraubenverdichter durch eine Anfahrlölpumpe mit Öl versorgt. Bei Erreichen der erforderlichen Druckdifferenz wird die Ölpumpe automatisch abgeschaltet.

Die Öltemperatur wird mittels Mischventil im Ölkreislauf geregelt. Eine Regelung auf der Wärmeträgerseite entfällt somit.

Bei den Ölkühlern hat sich in den letzten Jahren ein Trend von der Rohrbündelausführung zu  $\text{NH}_3$  beständigen Plattenwärmeübertragern gezeigt. Als Alternative zum wärmeträgergekühlten Ölkühler hat sich insbesondere bei luftgekühlten Anlagen die Ölkühlung mittels verdampfendem Kältemittelkondensat bewährt. Hierbei strömt das Kältemittelkondensat aus dem in ausreichender Höhe installierten Sammler nach dem Thermosiphonprinzip zum Ölkühler und verdampft dort teilweise. Der entstandene Kältemitteldampf wird im Verflüssiger wieder kondensiert. Die Betriebs- und Investitionskosten für einen zusätzlichen Wärmeträgerkreislauf oder einen Anschluß an das Wassernetz entfallen. Selbstverständlich muß bei der Auslegung des Verflüssigers der zusätzliche Leistungsanteil für die Ölkühlung berücksichtigt werden.

Der zentrale Ölfilter ist als Doppelölfilter ausgeführt und mit einer Wartungsanzeige ausgestattet. Ein erforderlicher Filterwechsel wird angezeigt und kann ohne Betriebsunterbrechung durchgeführt werden. Verdichter und Ölpumpe sind aus Gründen des Service mit Absperrventilen versehen.

der verschiedenen Ausführungen sowie einige typische Betriebspunkte bei mittleren jährlichen Umgebungstemperaturen. In der Boosteranwendung ist bei geringer Druckdifferenz der Einsatz einer Betriebsölpumpe zur ausreichenden Ölversorgung erforderlich.

Im Gegensatz zu Hubkolbenverdichtern, die bei höheren Verflüssigungstemperaturen und bei Verdampfungstemperaturen unter  $0^\circ\text{C}$ , bedingt durch die hohe Verdichtungsendtemperatur, eine aufwendige zweistufige Verdichtung mit Zwi-

schenkühlung erfordern, können Schraubenverdichter im genannten Anwendungsbereich einstufig betrieben werden.

Die in Bild 3 dargestellten Leistungsbereiche der Verbundkältesätze basieren auf den zuvor festgelegten Betriebspunkten. In der Kombination der vier Schraubenverdichtertypen, Fabrikat Bitzer, mit einem Förderstrom von 165, 192, 220 und  $250\text{ m}^3/\text{h}$ , ergeben sich für Verbundkältesätze von drei bis sechs Verdichtern die angegebenen Leistungsbereiche mit engen Leistungsabstufungen.

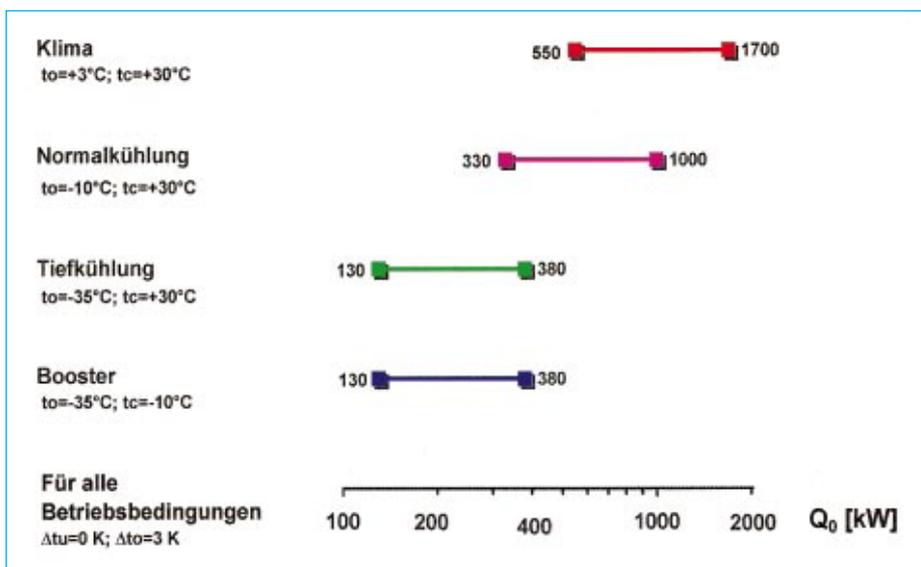


Bild 3 Leistungsbereiche der Verbundkältesätze mit Schraubenverdichtern und  $\text{NH}_3$

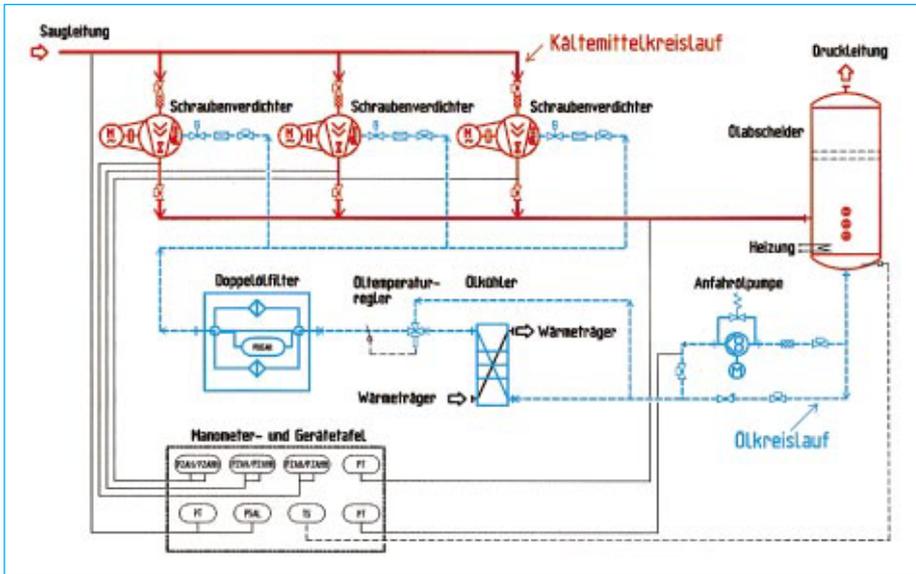


Bild 4 NH<sub>3</sub>-Verbundkältesatz mit drei Schraubenverdichtern; Standardausführung

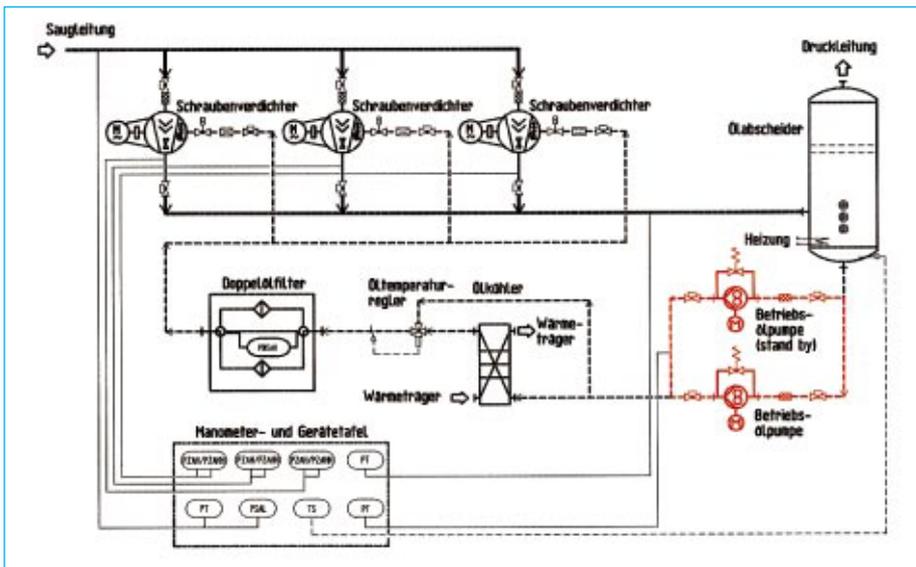


Bild 5 NH<sub>3</sub>-Verbundkältesatz mit drei Schraubenverdichtern; Boosterausführung

Jeder Verdichter ist durch einen kombinierten Druck-/Sicherheitsdruckbegrenzer abgesichert. Der Strömungswächter in der Einzelölleitung schützt den Verdichter vor Mangelschmierung. Der Hochdruck wird über einen Drucktransmitter erfaßt. Der Niederdrucktransmitter ist mit der Steuerung verknüpft, die die Anpassung der Kälteleistung an den Bedarf regelt. Schutz vor absinkendem Saugdruck bietet ein Niederdruckbegrenzer. Die Heizung im Ölabscheider wird bei Unterschreitung der Mindesttemperatur zugeschaltet. Der

Öldrucktransmitter erfaßt den Öldruck hinter der Pumpe.

Bei Boosteranwendung mit geringen Druckdifferenzen (Bild 5) muß eine Betriebsölpumpe den für die Öleinspritzung erforderlichen Druck erzeugen. Die Ölpumpenförderleistung ist auf die Gesamtzahl der Verdichter auszulegen. Da bei einem Defekt an der Pumpe alle Verdichter wegen Mangelölschmierung ausfallen würden, sei an dieser Stelle die Einbindung einer zusätzlichen Pumpe empfohlen.

Bei hohen Druckverhältnissen wie z. B. in der Tiefkühlanwendung (Bild 6) läßt sich sowohl die Kälteleistung als auch der Systemwirkungsgrad durch den sog. Economizer-Betrieb verbessern. Die Kältemittelflüssigkeit des Hauptstroms wird unter-

kühlt, indem ein Teilstrom der Flüssigkeit in einem Wärmeaustauscher unter Wärmeaufnahme bei Zwischendruck verdampft. Der überhitzte Dampf wird am Economizer-Anschluß des Verdichters eingeleitet und mit dem vorkomprimierten Dampf vermischt. Eine weitere Variante besteht in einer Ausführung mit zwei-stufiger Entspannung und einem Mittel-druckbehälter.

Der Schraubenverdichter kleinerer Leistung besitzt im Gegensatz zu großen Verdichtern keine aufwendige Schieberregelung. Er besteht gemäß Bild 7 im wesentlichen aus den beiden Rotoren, die im Gehäuse eingepaßt sind.

Der Antrieb erfolgt über die nach außen geführte Welle des Hauptrotors. Die Gleitringdichtung sorgt für eine sichere Abdichtung nach außen. Über einen saugseitigen Feinfilter wird der überhitzte Kältemitteldampf angesaugt, verdichtet und in die Druckkammer geführt. Zum Schutz gegen Rückwärtslauf im Stillstand ist ein Rückschlagventil eingebaut.

Stirnseitig am Schraubenverdichter sind Reglereinheiten montiert, die einen Teil des geförderten Gases wieder zur Saugseite zurückleiten. Die erforderliche Ansteuerung der hydraulisch betätigten Steuerkolben erfolgt elektrisch über zwei stirnseitig montierte Magnetventile. Mittels dieser Einrichtung kann beim Anfahrvorgang das Anzugsmoment des Motors und somit der Anlaufstrom reduziert werden.

Sobald die Zahnkämme der Rotoren den Verdichtungsraum zum Austrittsfenster freigeben, wird der komprimierte Dampf auf der Hochdruckseite ausgestoßen. Größe und Geometrie des Austrittsfensters im Druckflansch bestimmen das eingebaute Volumenverhältnis des Verdichters und sind für die verschiedenen Verdichterausführungen und Druckverhältnisse optimiert. Bei reduziertem Systemdruckverhältnis wird ein Teil des verdichteten Gases unter Umgehung des Austrittsfensters zur Hochdruckseite gefördert. Überkompression wird so abgebaut. Diese Vi-Anpassung bewirkt einen hohen Wirkungsgrad über einen breiten Anwendungsbereich.

Die offenen Schraubenverdichter sind auf der Seite des Wellendurchtritts mit einer Flanschfläche versehen. Mit Hilfe eines Kupplungsgehäuses können die Verdichter ohne besondere Maßnahmen zur Ausrichtung direkt an gängige IEC Normmotore der Bauform IMB 35 angebaut werden.

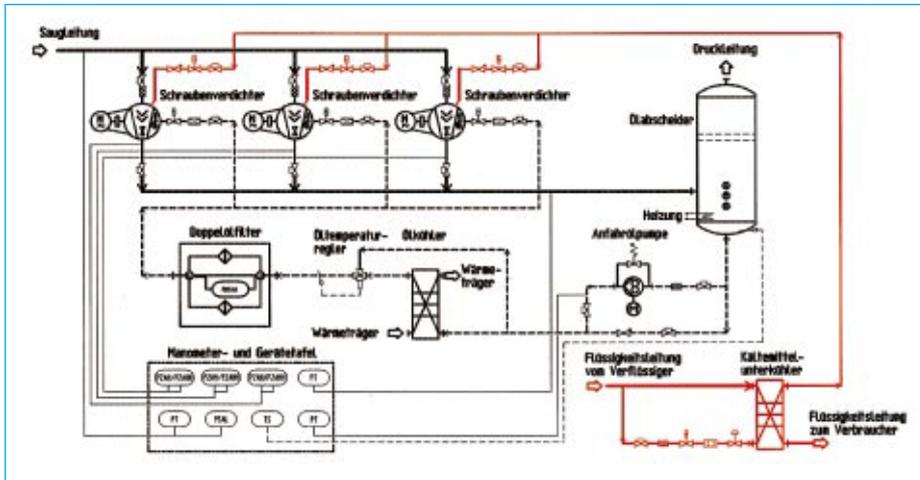


Bild 6 NH<sub>3</sub>-Verbundkältesatz mit drei Schraubenverdichtern; ECO-Ausführung

### Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung

Als Möglichkeiten der Wärmerückgewinnungsnutzung können gemäß Bild 8 zwei zusätzliche Wärmeaustauscher in den Verbundkältesatz integriert werden.

Diese bestehen in einem oben angeordneten Druckgasentwärmer und einem dem Standardölkühler vorgeschalteten Wärmerückgewinnungsölkühler. Soll in beiden Wärmeaustauschern Brauchwasser direkt erwärmt werden, sind gemäß der Trinkwasser-Verordnung sowie der DIN 1988 Teil 4 beide Druckbehälter mit einem Zwischenmedium als Sicherheitsraum zu versehen, so daß eine eventuelle Undichtheit sofort bemerkt wird und kein Öl oder Kältemittel in das Brauchwasser gelangt. Sind die Wärmeaustauscher nicht als solche Apparate konstruiert, so wird ein zusätzlicher Wärmeträgerkreislauf gefordert. Bei der Auslegung des Druckgasentwärmers ist zu berücksichtigen, daß die Druckgas-temperatur der Schraubenverdichter unter der Temperatur bei Hubkolbenverdichtern liegt, da das Kältemittel durch den Ölstrom eine intensivere Kühlung erfährt.

In Tab.1 sind die Leistungen für unterschiedliche Betriebsbedingungen aufgelistet, die zur Wärmerückgewinnung genutzt werden können.

### Einbindung der Verbundkältesätze in Kälteanlagen

Anhand von zwei praktisch ausgeführten Kälteanlagen werden typische Einsatzbeispiele von Verbundkältesätzen vorgestellt.

### Werksgemachter Flüssigkeitskühlsatz

Als erstes Beispiel sei ein komplett werksgemachter Flüssigkeitskühlsatz für ein Le-

bensmittellager in Luxemburg beschrieben (Bild 9).

Der Flüssigkeitskühlsatz weist eine Kälteleistung von 400 kW bei folgenden Betriebsbedingungen auf:  $t_o = -14\text{ °C}$ ,  $t_c = +35\text{ °C}$ . Mit der Vorlauftemperatur von  $-9\text{ °C}$  gelangt der Kälte-träger Propylenglykol-Wasser zu den Luftkühlern der Lagerräume. Die in Verflüssiger und Ölkühler abgegebene Wärme wird mittels dem Wärmeträger Aethylenglykol-Wasser über den außen aufgestellten Verdunstungskühler an die Umgebung abgegeben. Aus konstruktiven Gründen wurde in der Komponente Verbundkältesatz mit drei Verdichtern der im allgemeinen stehende Ölabscheider durch eine liegende Ausführung ersetzt. Ergänzt wurden Rohrbündelverflüssiger, Rohrbündel-spritzverdampfer, Expansionseinrichtung sowie die Verrohrung. Die abschließende Druck- und Dichtheitsprüfung erfolgte im Werk.

Der Flüssigkeitskühlsatz wurde mit Klemmenkasten und separatem Kraftsteuerschrank an den Aufstellungsort geliefert (Bild 10).

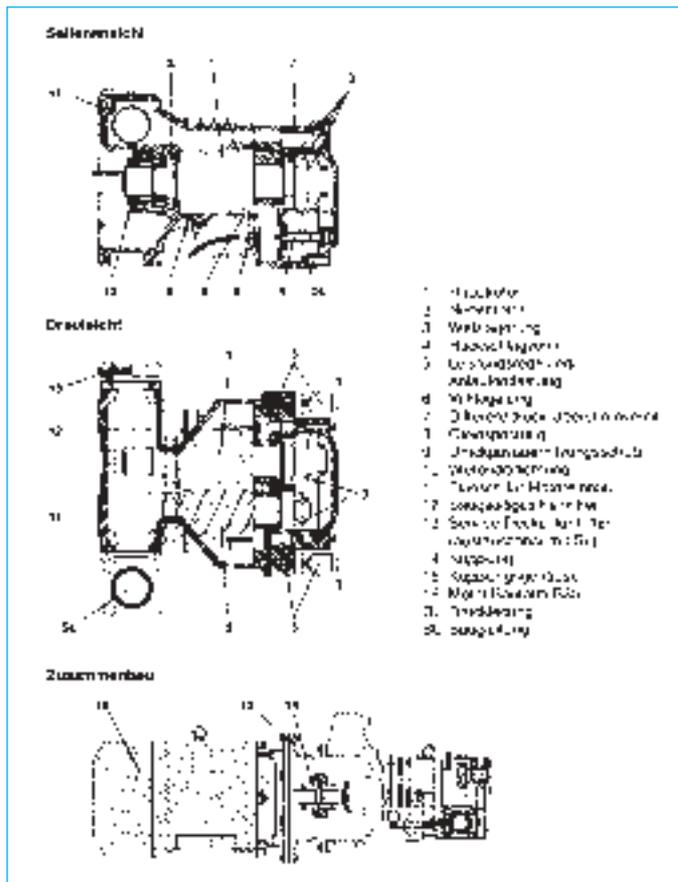


Bild 7 Konstruktiver Aufbau von Schraubenverdichtern

Betriebspunkt:	Enthitzung auf 50 °C	Ölkühlung auf 50 °C
Klimakühlung:	7,3 %	3,5 %
Normalkühlung:	7,4 %	9,2 %
Tiefkühlung:	7,5 %	33,6 %
Booster:	1,8 %	4,0 %

Tabelle 1 Nutzbare Wärmerückgewinnungsleistungen für Verbundkältesätze mit Schraubenverdichtern und NH<sub>3</sub>



Bild 10 Flüssigkeitskühlsatz in Luxemburg



tember 1999 Messungen durchgeführt, die einen Aufschluß über eine realistische Auslastung der Anlage geben soll.

Die Blockdiagramme dieser Anlage zeigen den prozentualen Anteil jeder einzelnen Laststufe an der Gesamtlaufzeit (Bilder 16 und 17). Durch den hohen Anteil der Teillast auch in den warmen Monaten August und September ergibt sich in diesem Fall ein deutlicher Betriebskostenvorteil für Verbundkältesätze, der sich bei Betrachtung der Jahresenergiebilanz noch weiter erhöht.

### Investitionskosten

Bei Betrachtung der Investitionskosten von Verbundkältesätzen wirkt sich günstig aus, daß die kleinen offenen Verdichter durch die Halbhermetik- und Kompakt-schraubenausführungen, die in hohen Stückzahlen Einzug in die Klimakälte gefunden haben, relativ günstig gefertigt werden können. Kostengünstig wirkt sich ebenfalls der einfachere Konstruktionsaufbau ohne Schiebersteuerung aus.

### Leistungsregelung

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Leistungsanpassung bei Verbundkältesätzen durch Zu- und Abschalten von Verdichtern, so daß die Stufung durch die Verdichteran-zahl festgelegt ist. Reicht diese Leistungsabstufung nicht aus, so ist die Ansteuerung der Leistungsreglereinheiten am Verdichter möglich, wodurch sich zwei zusätzliche Abstufungen pro Verdichter ergeben.

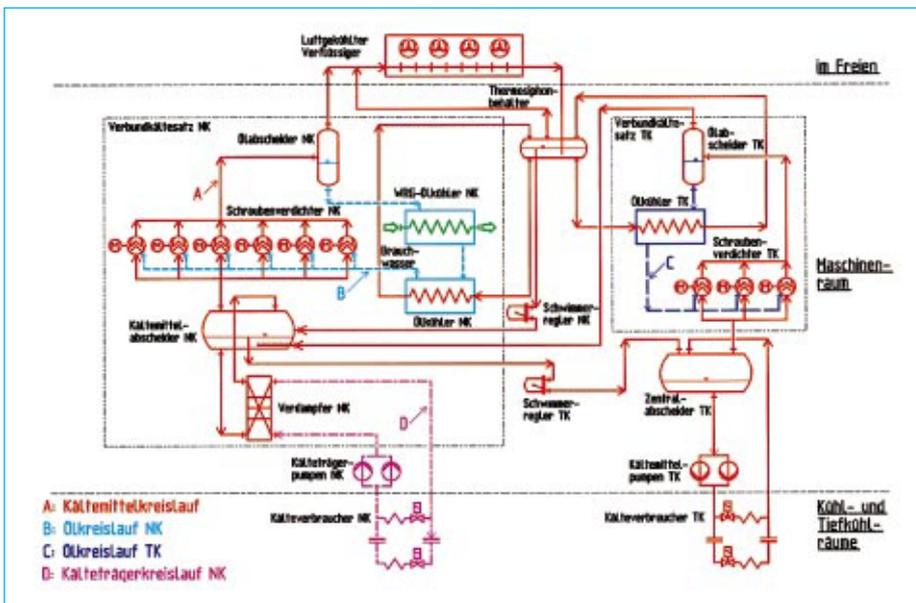


Bild 11 Kälteversorgung Normal- und Tiefkühlung (Brandenburg)

Der Förderstrombereich liegt zwischen 750 und 1750 m<sup>3</sup>/h.

Die aufgetragene Kälteleistungszahl des Verbundkältesatzes bleibt über alle Laststufen gleich. Im Gegensatz hierzu fällt die Kälteleistungszahl der Einzelverdichtersätze durch die verlustbehaftete Schiebersteuerung im Teillastbereich stark ab, wobei sich die Kurven der unterschiedlichen Betriebsbedingungen geringfügig unterscheiden. Der zusätzlich absinkende Motorwirkungsgrad bei Einzelverdichtern ist in dieser Betrachtung noch nicht berücksichtigt. Aus den Diagrammen ist für Einzelverdichtersätze ein geringer energetischer Vorteil ersichtlich, wenn die Anlage ausschließlich in der Vollaststufe betrieben wird. Bei überwie-

gendem Teillastbetrieb ergibt sich meistens ein Vorteil für Verbundkältesätze.

An den Normalkühlungs- und Tiefkühlungs-Verbundkältesätzen in Brandenburg wurden in den Monaten August und Sep-

### Unterschiedliche Temperaturniveaus

Bei Verbundkältesätzen besteht die Möglichkeit, einzelne Verdichter oder Verdichterguppen eines Satzes mit einer separaten Saugleitung bei abweichendem Saug-



Bild 12 Verbundkältesätze der Kälteanlage in Brandenburg

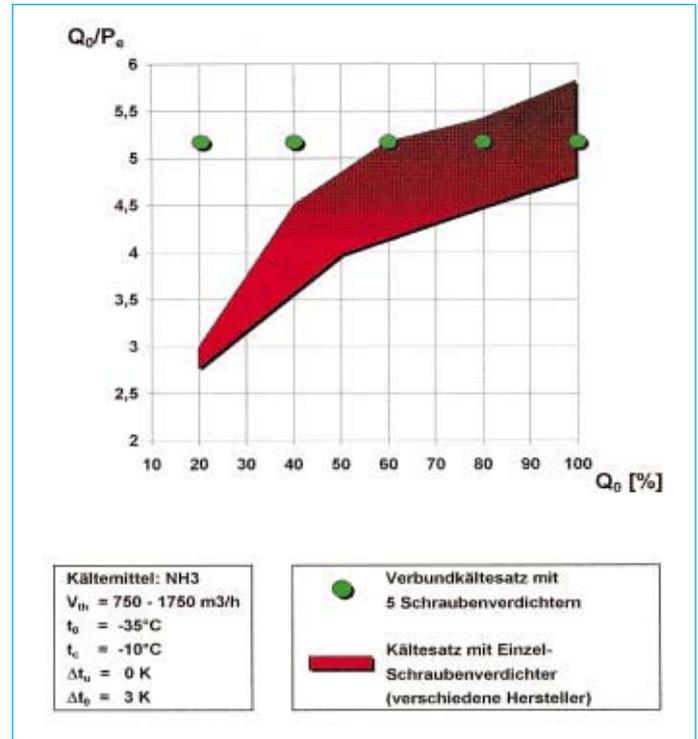
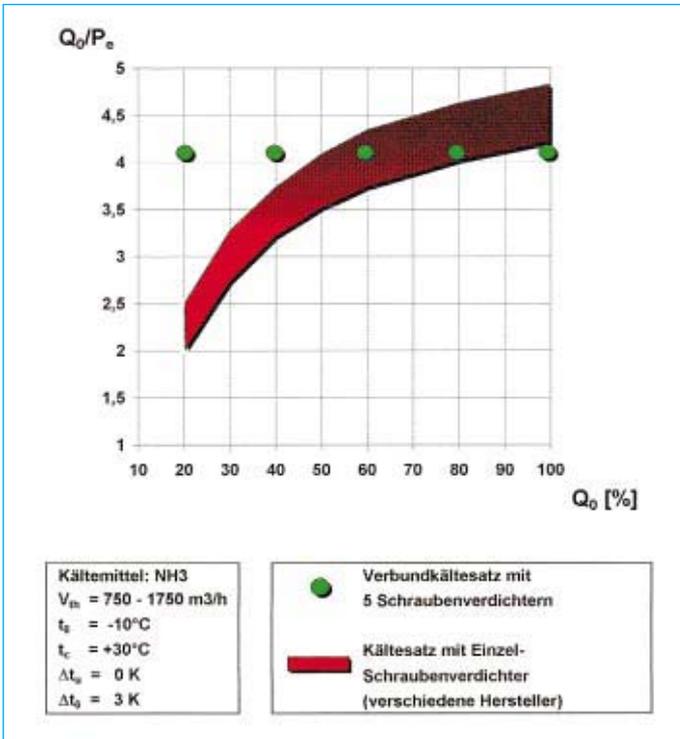
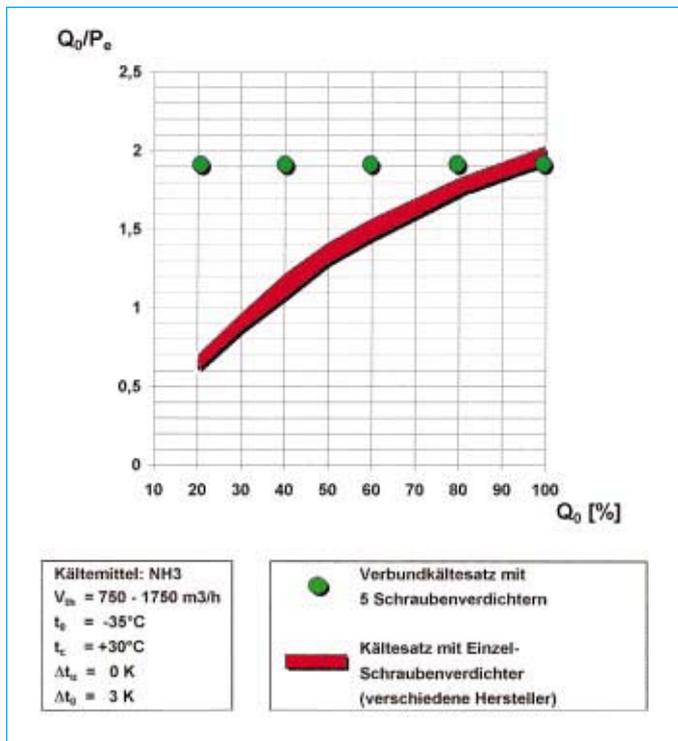


Bild 13 Kälteleistungszahlen der Verdichterkältesätze mit NH<sub>3</sub> für Normalkühlung bei Voll- und Teillast

Bild 14 Kälteleistungszahlen der Verdichterkältesätze mit NH<sub>3</sub> für Tiefkühlung im Booster-Betrieb bei Voll- und Teillast

Bild 15 Kälteleistungszahlen der Verdichterkältesätze mit NH<sub>3</sub> für Tiefkühlung bei Voll- und Teillast



mal auf den gesamten Kältebedarf sowie auf häufig auftretende Teillastbedarfe ausgelegt werden kann.

### Erweiterungsfähigkeit

An dieser Stelle wird auf die kostengünstige Erweiterungsfähigkeit von Verbundkältesätzen hingewiesen. Der Verbundkältesatz ist bezüglich der Komponenten- und Leitungsauslegung für die spätere Gesamtleistung konzipiert. Die Verdichter und Antriebsmotore der Erweiterungsstufe werden in der anfänglichen Lieferung nicht aufgebaut und können später auf den zuvor berücksichtigten freien Plätzen nachgerüstet werden.

### Anfahrstrom

Durch die geringere Leistung der einzelnen Antriebsmotore sowie die zusätzliche Ansteuerung der Anfahrentlastungen am Verdichter erfolgt im Gegensatz zu großen Einzelverdichtern eine geringere Beeinflussung des Stromnetzes in der Anlaufphase.

druck zu betreiben. So lassen sich Verbraucher mit unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen in einem Verbundkältesatz energetisch günstig betreiben.

### Unterschiedliche Verdichterleistungsgrößen

In einem Verbundkältesatz lassen sich nicht nur Verdichter identischer, sondern auch unterschiedlicher Leistungsgrößen einbinden, so daß der gesamte Satz opti-

### Ersatzteilkhaltung

Die Ersatzteilkhaltung bei Verbundkältesätzen stellt sich durch die Bevorratung gleicher kostengünstiger Komponenten als besonders wirtschaftlich heraus.

### Kompaktheit

Verbundkältesätze lassen sich mit zusätzlichen Wärmetauschern in Rohrbündel wie auch Plattenausführung äußerst kompakt gestalten.

### Schlußfolgerung

Abschließend ist festzuhalten, daß Schraubenverdichter-Verbundkältesätze mit NH<sub>3</sub> im Förderstrombereich von 500 bis 1500 m<sup>3</sup>/h eine wirtschaftlich interessante Alternative zu Einzelverdichtersätzen mit großen Schraubenverdichtern darstellen. □

#### Literatur

[1] Bitzer: Projektierungshandbuch für offene Schraubenverdichter; SH-500-1

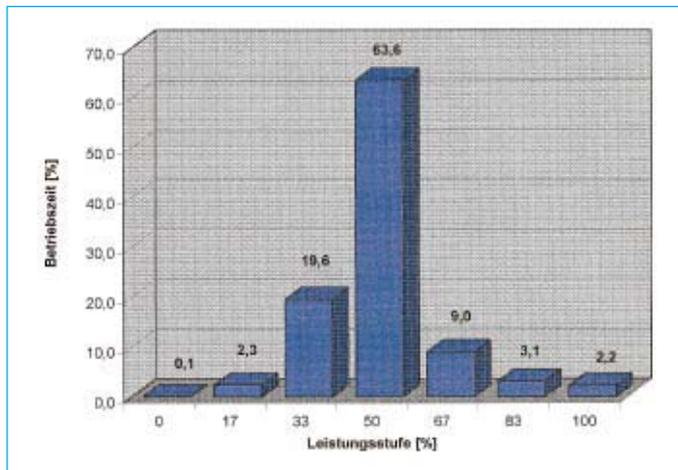


Bild 16 Auslastung des Normalkühlungs-Verbundkältesatzes in Brandenburg während der Monate August und September 1999

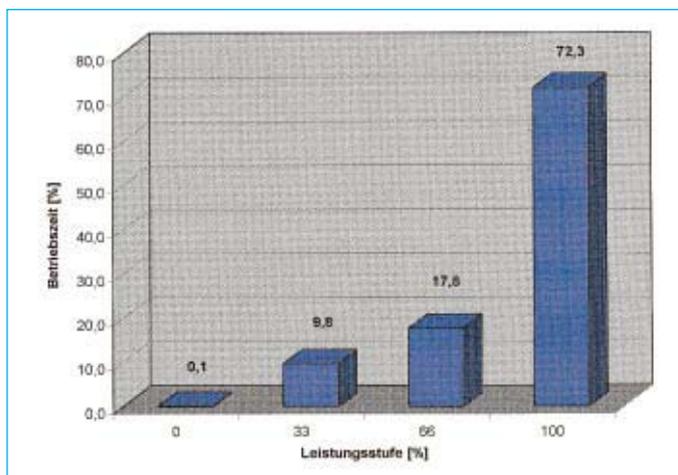


Bild 17 Auslastung des Booster-Verbundkältesatzes in Brandenburg während der Monate August und September 1999

## Großes Echo auf das KK-Schwerpunktthema „Bussysteme in der Kältetechnik“

Auf eine große Resonanz stieß in der Branche das Schwerpunktthema „Bussysteme in der Kältetechnik“ in KK-Ausgabe 3/2000, in der drei Fachbeiträge diesen Themenkomplex ausführlich behandelten. Gleich mehrfach tauchte in diesem Zusammenhang die Frage auf: „Was ist eigentlich ein Systemintegrator und welche Aufgaben hat er zu erfüllen?“. Richard Staub (BUS-House, Zürich), Autor des Beitrags „LON-Technologie in der Kältetechnik“ gibt hierzu die folgende fachkundige Auskunft:

Der Begriff „Systemintegrator“ wird sehr unterschiedlich angewandt. Systemintegration ist in erster Linie ein Prozeß, eine Methode und nicht eine Berufsbezeichnung. In der Sprachpraxis hat sich

der Begriff „Systemintegrator“ für den Spezialisten in der Ausführung durchgesetzt und kann wie folgt definiert werden:

„Der Systemintegrator setzt unter Mitarbeit der beteiligten Fachplaner alle notwendigen Komponenten gemäß den Funktionsvorgaben zu einer einheitlich funktionierenden und bedienbaren Anlage zusammen“.

Die Anforderungen an den Systemintegrator – gerade mit einer komplexen Technologie wie LON – sind sehr hoch. Seine Kompetenz reicht vom Prozeßverständnis der verschiedenen Anlagenteile und anderen Gewerken, Installationstechnik, Hard- und Software der Bussysteme, Digitaltechnik, Integration in

übergeordnete Systeme bis zu Projektmanagement und Teamführung. In den meisten Fällen wird wohl nicht ein einzelner Mitarbeiter all diese Fähigkeiten aufweisen, sondern die kompetente Systemintegration wird durch ein Team (aus Mitarbeitern einer oder verschiedenen beteiligten Unternehmungen) zusammengesetzt. Damit wird auch deutlich, daß für eine gute Erfüllung eines Systemintegratorauftrages nicht nur technische, sondern ebenso soziale Kompetenzen gefordert sind. Nur mit optimaler Kommunikation unter den Beteiligten und einer Höherbewertung des Ganzen vor den Einzelinteressen kann Systemintegration erfolgreich sein. □