

Basis für eine Kaltwassersatzbaureihe

# Quantum, eine revolutionäre Turboverdichtertechnologie

Holger König und Rüdiger Roth, Lindau

Die QUANTUM Baureihe [1] mit 600–1800 kW Kälteleistung zeichnet sich durch parallel geschaltete, 2-stufige Radialturboverdichter, ölfreie Lagerung durch Magnetlager, halbhermetische Bauweise zur Emissionsreduzierung, Vordrall- und Drehzahlregelung sowie eine integrierte intelligente Elektronik aus. Die Technologie führt zu extrem schall- und schwingungsarmen Kaltwassersätzen mit hervorragendem Teillastverhalten.

Ausgehend von der Fragestellung nach einer idealen Kälteanlage ist ein komplett neues Konzept, basierend auf Turboverdichtertechnologie realisiert worden. Das Konzept realisiert eine Komponentenphilosophie, wie sie in der Automobiltechnik bereits üblich ist: Integration von Kennfeldern und Steuerungsalgorithmen zur Realisierung von Eigensicherheit und bester Leistungseffizienz. In der Kältetechnik hat der auf dieser Basis entwickelte Verdichter des kanadischen Unternehmens Turbocor Inc. bereits intensive Beachtung gefunden [2, 3]. Auf kürzlich durch Axima Refrigeration realisierte Projekte mit diesem Verdichter wird im vorletzten Abschnitt eingegangen.

## Merkmale von drehzahlregulierten ölfreien Turboverdichtern

Der in der Axima QUANTUM-Baureihe eingesetzte Verdichter weist folgende herausragenden Merkmale auf:

- Ölfreie Lagerung durch Magnetlager.
- 2-stufiger Turboverdichter mit Vorleitschaufelregelung.

- Integrierte Drehzahlregelung von 0–37 000 (45 000) U/min, Steuerungselektronik und Sensorik für eigensichere Betriebsweise.
- Extrem geringer Anlaufstrom (< 5A).
- Halbhermetische Bauweise bei Kälteleistungen bis 315 kW bei 12/6 °C Kaltwasser, Saugvolumen 480 m<sup>3</sup>/h.
- ARI-Standard 550-590-98 konform: steigende COP-Werte bei Teillastbetrieb, stufenlose Leistungsregelung.
- Keine Schwingungen und Pulsationen, sehr geringe Schallemission, Schalldruck < 75 dB (A) in 1 m Abstand.
- Kompaktes Design und geringes spezifisches Gewicht.

## Vorteile der ölfreien Verdichtung bei Flüssigkeitskühlsätzen

Eine wesentliche Neuerung in diesem Leistungsbereich der Kältetechnik ist bei diesem Verdichter realisiert: Die ölfreie Lagerung.

Bisher sind ölfreie Verdichterkonzepte nur in Ausnahmen realisiert worden. Beispiele für Anwendungen mit ölfreien Verdichtern sind bei extremen Anforderungen gegeben: in der Gasverflüssigungstechnik, bei der Verdichtung von reaktiven, toxischen oder brennbaren Gasen mit trockenlaufenden Hubkolbenverdichtern

### zu den Autoren

**Dipl.-Ing. Holger König,**  
Leiter Entwicklung,  
Axima Refrigeration GmbH,  
Lindau



**Dipl.-Ing. (FH) Rüdiger Roth,**  
Entwicklungsingenieur,  
Axima Refrigeration GmbH,  
Lindau



bei sehr großen Leistungen [4]. Nachteile einer ölfreien Verdichtung werden in dieser Arbeit nicht diskutiert, da diese bis auf die früher oft zu verzeichnenden hohen Kosten bei diesem Konzept nicht anzufüh-

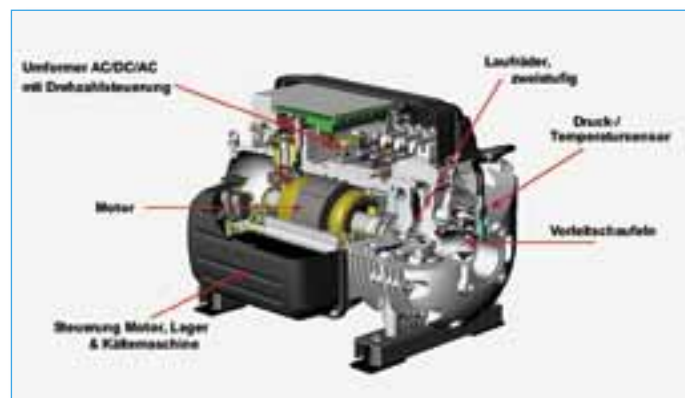


Bild 1 Schnittbild des ölfreien Turboverdichters (Werkbild Turbocor Inc. [2])



Bild 2 Welle mit Laufrädern und Magnetlagern (Werkbild Turbocor Inc. [2])

ren sind. Vielmehr ist die Anwendung der Magnetlagertechnologie inzwischen soweit fortgeschritten, dass sich eine deutliche Kostenreduktion bereits durch Massenherstellung ergeben hat.

Die Anordnung der Magnetlager und der Welle mit den Laufrädern ist in Bild 2 dargestellt.

Für die Steuerung der Lage der Welle ist eine ständige elektronische Kontrolle und Korrektur erforderlich. In Bild 2 sind die Anschlüsse für die übergeordnete Steuerung zu erkennen. Die Abtastung der Lage der Welle und die anschließende Korrektur erfolgt 60 mal je Umdrehung. Dies bedeutet eine Abtastung nach jeweils 6 Winkelgraden. Durch die hohe Abtastrate zur Lageauswertung wird beispielsweise eine maximale Schwankung der Wellenmittellage von +/-12 µm erzielt.

### Ölfreier Wärmeübergang im Verdampfer und Verflüssiger

Flüssigkeitskühlsätze werden mit hoch-effizienten Verdampfern und Verflüssigern mit Temperaturdifferenzen zum Kühlfluid von z. T. deutlich unter 1 K konzipiert, die eingesetzten Hochleistungsrohre werden kontinuierlich weiter verbessert und optimiert. Die Optimierung selbst erfolgt für die reinen Kältemittel, der Einfluss des Öles wird in der Regel abgeschätzt oder durch Messungen ermittelt. Bemerkenswert ist, dass bei Hochleistungsrohren der neuen Generation der früher bekannte Effekt der Verbesserung des Wärmeübergangs bei Ölanteilen von 2–4 % nicht zu-

trifft [5]. Vielmehr verschlechtert sich der Wärmeübergang insbesondere bei hohen Wärmestromdichten und zunehmendem Anteil von Öl erheblich. Aus diesem Grund ist der ölfreie Betrieb, auch im Bezug auf mögliche Alterungsbestandteile aus dem Öl (Additive, Verschmutzung) von erheblichem Vorteil.

### Eliminierung der Bauteile und Einrichtungen zum Ölhandling

Das bei herkömmlichen Verdichtern (Kolben-, Schrauben-, Scrollverdichtern, etc.) verwendete Öl für die Schmierung ist im Kältemittelkreislauf unerwünscht. Bei löslichen Ölen, wie sie in Flüssigkeitskühlsätzen verwendet werden, wird das Öl durch geeignete Einrichtungen im Kreislauf transportiert.

Insbesondere bei Schraubenverdichtern ist das Öl ein wesentliches Konstruktionselement zur Abdichtung der Rotoren untereinander. Die Wärmeabfuhr aus dem

Verdichtungsprozess erfordert Abscheider und i.d. R. Ölkühler, beide Apparate erhöhen einerseits die Kosten und reduzieren des Weiteren die Energieeffizienz des kältetechnischen Prozesses.

Bei Kälteanlagen mit großer Leistung und herkömmlichen ölgeschmierten Verdichtern muss zunächst der gesamte Ölkreislauf beim Start der Maschinen in Betrieb gesetzt werden. Der regeltechnische Aufwand zum Ölhandling ist zum Teil erheblich und führt auf erhöhte Kosten und zu apparativem Mehraufwand.

### Wassergefährdung

Öle in Kältemaschinen sind als wassergefährdende Stoffe eingestuft. Beim Aufbau von Kälteanlagen sind entsprechende Einrichtungen wie Öl-Auffangwannen erforderlich, die verhindern, dass Öl im Falle einer Undichte unkontrolliert auslaufen kann. Diese Einrichtungen können bei ölfreien Maschinen entfallen.

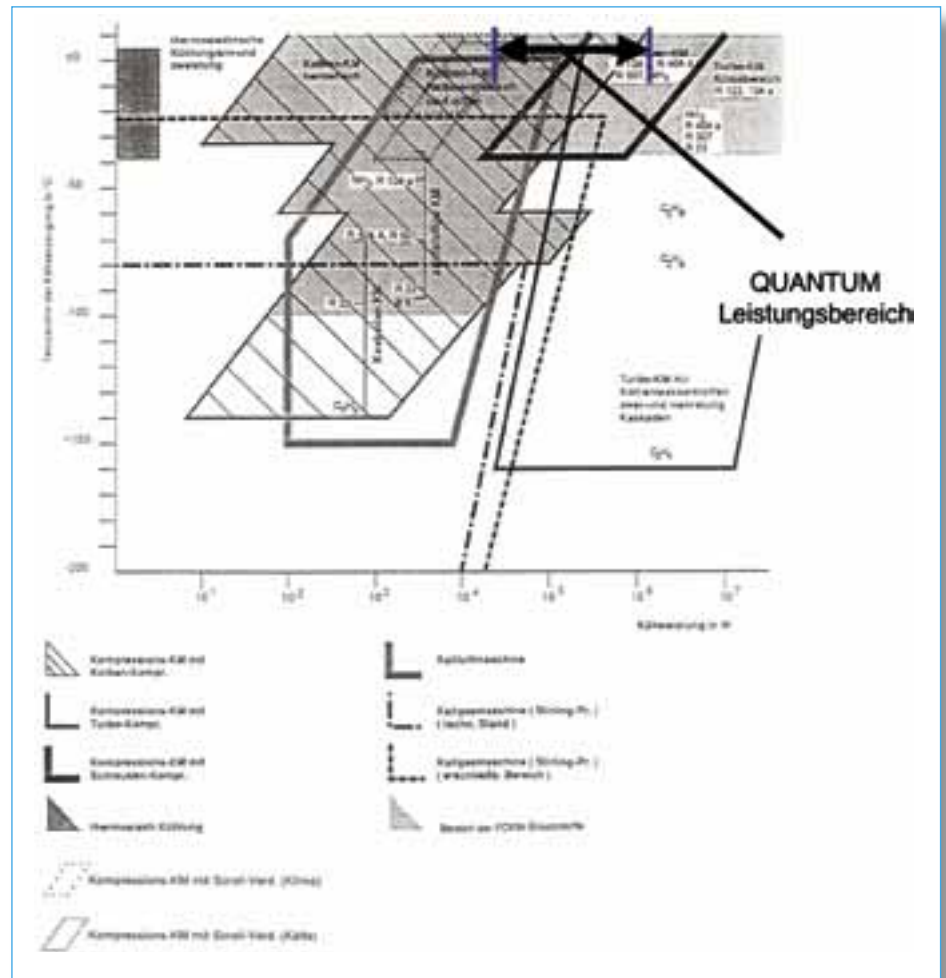


Bild 3 Einsatzgebiete von Verdichtern als Funktion der Kälteleistung, Erweiterung des Einsatzbereiches von Turboverdichtern zu kleinen Leistungen durch ölfreie Lagerung und halbhermetische Bauweise [6]

### Reduzierung der Wartungskosten

Die Wartung eines ölfreien Verdichters reduziert sich auf ein Minimum. Dadurch, dass es keinen Verschleiß an drehenden Teilen usw. gibt, sind auch die Maschinen-Laufzeiten und Wartungsintervalle deutlich größer. Allerdings werden die Aufwendungen für die Wartung der komplexen Verdichters mittels elektronischer Überwachung größer, wobei diese automatisiert werden können. Das Monitoring, welches bei dieser Kaltwassersatzbaureihe realisiert wurde, bezieht auch die Turboverdichter mit ein. Der Turboverdichter selbst verfügt über eine eigene Monitoring-Software, die optional auch über übliche Schnittstellen, die z. B. über TCP/IP (Internet) ausgelesen werden können. Dieses Monitoring erlaubt somit auch die Fernüberwachung und auch die frühzeitige Diagnose im Bezug auf Veränderungen, beispielsweise des Orbits der Turboverdichterwelle.

### Einsatz von Turboverdichtern

Beste Gesamtwirkungsgrade bei größtem Saugvolumen weisen Axialverdichter auf. Radialverdichter, die bei höheren Druckverhältnissen als Axialturboverdichter eingesetzt werden, erreichen ähnlich hohe Wirkungsgrade. Scroll-, Schrauben- und Hubkolbenverdichter erreichen geringere Werte. Eine wesentliche Besonderheit bei den Strömungsmaschinen ist hervorzuheben; Strömungsmaschinen haben kein eingebautes Volumenverhältnis und können somit auf den jeweiligen Betriebspunkt im Kennfeld weitgehend verlustfrei eingestellt werden. Im Kennfeld eines Turboverdichters bleiben die Wirkungsgrade auf einem sehr hohen Niveau. Wesentlicher Schwachpunkt war es bisher, die dann erforderliche komplexe Regelung zu realisieren.

Turboverdichter wurden früher nur im großen Leistungsbereich eingesetzt. In Bild 3 sind die üblichen Anwendungsbereiche als Funktion der Kälteleistung für verschiedene Verdichterbauarten aufgezeigt [6]. In das Diagramm wurde das Anwendungsgebiet des neuen Turboverdichters eingetragen. Es wird die Erweiterung der Anwendung von Turboverdichtern radialer Bauart zu kleineren Kälteleistungen deutlich, wobei auch der Leistungsbereich bei Teillast berücksichtigt wurde. Es ergibt sich eine Überlappung bzw. Ergänzung im Kälteleistungsbereich von Schraubenverdichtern und großen Hubkolbenverdichtern.

### Turboverdichterregelung

Die Regelung von Turboverdichtern wird mittels Drehzahl-, Vordrall- und Diffusorregelung realisiert. Oft werden aus Kostengründen nicht alle Regelmöglichkeiten ausgenutzt, auch ist die Betriebsweise von Turboverdichtern in der Regel auf einen Hauptbetriebspunkt und einige Teillastbetriebspunkte ausgelegt. Werden alle Regelmöglichkeiten realisiert, können sehr hohe Wirkungsgrade auch im Teillastbereich, d. h. bei verändertem Hubvolumen und Druckverhältnis realisiert werden. Der Regelbereich ist dann nur von der Schluckgrenze und der Pumpgrenze abhängig.

In der hier vorgestellten Anwendung bei Kaltwassersätzen wird ein paralleler Betrieb von Turboverdichtern realisiert. Jeder Verdichter verfügt hierbei über eine Drehzahlregelung zur Anpassung an den Betriebspunkt (Kalt- und Kühlwassertemperaturen). Die Regelung ermöglicht eine Leistungsregelung im Bereich von 100 % bis ca. 30 % Kälteleistung, wobei der untere Wert je nach Betriebspunkt variieren kann. Bei kleineren Leistungen kann der Verdichter über eine Vordrallregelung weiter geregelt werden, die Grenzen sind jedoch stärker vom Betriebspunkt abhängig. Wie bei allen Turboverdichtern kommt die Vordrallregelung beim Anfahren und Abschalten des Verdichters zum Einsatz.

Der Verdichter verfügt über eine sehr

komplexe Steuerung, welche neben den Magnetlagern auch die Drehzahl- und Vordrallregelung zur Fahrweise im optimalen Betriebspunkt realisiert. Die Regelung hat u. a. folgende weitere Aufgaben:

- Erfassen und Auswerten der Sensordaten: Diverse Temperaturen und Drücke des Kälteprozesses, Leistungswerte des Antriebsmotors,
- Regelung der Motorkühlung und Leistungselektronik: der halbhermetische Verdichtermotor und die Leistungselektronik zur Frequenzregelung werden mit flüssigem Kältemittel gekühlt. Die Regelung erfolgt stufenweise über zwei Magnetventile. Das Kältemittel wird zur Saugseite des Verdichters über den Motor und die Elektronik entspannt.
- Überwachen und ggf. Abschalten des Verdichters.

Der Betrieb mit bis zu sechs parallel geschalteten Turboverdichtern stellt erhebliche Anforderungen an die übergeordnete Regelung und Fahrweise. Problematisch ist beispielsweise das Zuschalten von Verdichtern auf ein schon vorhandenes Druckverhältnis, welches von laufenden Verdichtern aufrecht erhalten wird. Durch geeignete Maßnahmen, ggf. auch apparativ, muss für diesen Betriebsfall eine Anfahrsteuerung entwickelt werden, welche es erlaubt, Verdichter zu- und abzuschalten, wenn der Kaltwassersatz im extremen Teillastbereich betrieben werden soll.

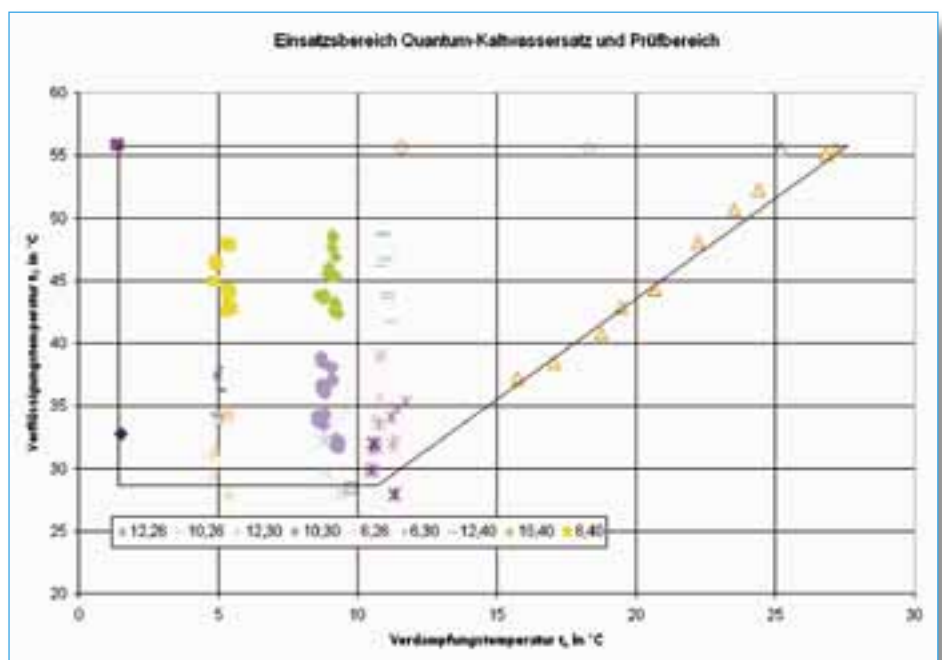


Bild 4 Prüfbereich des Kaltwassersatzes im Prüfstand, Abschaltwerte durch Frostschutz ( $t_0 = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ), Sicherheitsdruckbegrenzer Verflüssiger ( $t_c = 56 \text{ }^\circ\text{C}$ ) und Kreuzstrombauweise des Prüfstands (Dreiecke)

## Baureihenentwicklung mit neuem Turboverdichterkonzept

Flüssigkeitskühlsätze für industrielle Anwendungen in hoher Qualität werden bei Axima Refrigeration (ehemals Sulzer-Escher Wyss) als Baureihe UNITOP mit den UNITURBO-Turboverdichtern bei Leistungen von 1,5 MW bis zu 30 MW gefertigt.

Auf der Basis des in [2] vorgestellten Verdichters wurde die QUANTUM-Baureihe entwickelt, welche die vorhandene UNITOP-Baureihe zu kleineren Kälteleistungen erweitert. Die neue Baureihe ist als Standard-Baureihe konzipiert, insbesondere für den Einsatz in der Klimatisierung und Industriekälte mit üblichen Kalt- und Kühlwassertemperaturen (12/6 °C und 26/32 °C). Die Baureihe mit Nennkälteleistungen von 600 kW bis 1800 kW ist derart konzipiert, dass der Betrieb bei abweichenden Bedingungen, wie höhere Verflüssigungstemperaturen ebenso realisiert werden kann.

Die Baureihe ist mit überfluteten Verdampfern konzipiert, um höchste Kälteleistungszahlen bei optimaler Verdampfung zu garantieren.

## Leistungsmessungen

Es wurden Leistungsmessungen an einem 4-Verdichteraggregat durchgeführt. Die Leistungsmessungen wurden einerseits vorgenommen, um die Gütegrade des Verdichters in allen möglichen und zugelassenen Betriebspunkten zu ermitteln, andererseits um so genannte Worst Case Bedingungen zu erzeugen, bei der die Betriebsweise im Parallelbetrieb getestet wird. Die Leistungsdaten wurden an einem kalibrierten Kaltwasserprüfstand gewonnen, mit dem Leistungen bis ca. 1 MW bei  $t_{KW} = 12/6$  °C,  $t_{WW} = 26/32$  °C gefahren werden können. Ebenso wurden einzelne Verdichter im Detail untersucht, insbesondere im Hinblick auf die strömungstechnische Auslegung des Turboverdichters.

Ein weiteres Kriterium für die Versuche war die Überprüfung des Anwendungsbereiches des Kaltwassersatzes. In Bild 4 sind Messpunkte im Einsatzbereich des Prüfstandes für den Kaltwassersatz eingetragen. Der Einsatzbereich des Verdichters selbst ist dabei deutlich größer, als sie mit dem Prüfstand und dem Kaltwassersatz gefahren werden können.

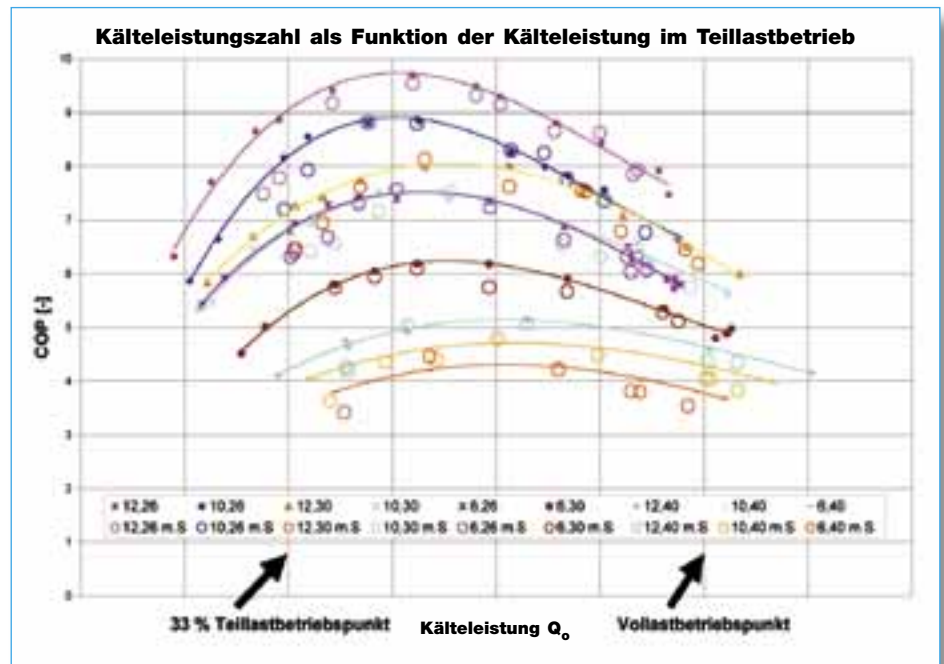


Bild 5 Kälteleistungszahl (COP) über der Kälteleistung bei Teillastbetrieb, qualitativer Verlauf bei Teillast

Bei Verdampfungstemperaturen unter 2 °C wird der Verdichter als auch der Kaltwassersatz durch den Frostschutz begrenzt, obwohl der Verdichter bezüglich seiner Konstruktion auch tiefere Verdampfungstemperaturen fahren könnte. Bei Verflüssigungstemperaturen von 56 °C ist die Druckgrenze (Designpunkt) des Aggregates erreicht, die Abschaltung erfolgt mittels Verflüssigungsdruckbegrenzung. Die Linie rechts in Bild 4 stellt die Grenzen des Prüfstandes dar, sie wird begrenzt durch die verwendete Kreuzstromschaltung: Wärmeübertragung vom Verflüssiger an den Verdampfer und Restenergieabfuhr an einen Kühlturm.

Die Leistungsmessungen selbst wurden im Hauptanwendungsbereich und im Teillastbetrieb durchgeführt. Die Kälteleistungszahlen (COP) des Kaltwassersatzes wurden aus den Messwerten ermittelt und den Angaben des Berechnungsprogramms für den Verdichter gegenüber gestellt. In Bild 5 sind die Ergebnisse für die Variation der Kälteleistung vorgestellt.

Deutlich wird die gewählte Charakteristik des Turboverdichters und damit des Flüssigkeitskühlsatzes, die stark steigenden Wirkungsgrade bei Teillastbetrieb. Diese Charakteristik ist für den Einsatzfall des Kaltwassersatzes in der Gebäudeklimatisierung und bei Industrieanwendungen mit stark schwankenden Betriebsbedingungen optimiert. Auch treten im Frühjahr und Herbst oft Bedingungen auf, bei denen die Verflüssigungstemperaturen zum Teil erheblich reduziert werden kön-

nen. Die Volllastpunkte treten von ihrer Häufigkeit nur relativ selten auf.

Die Hauptlaufzeiten eines Kaltwassersatzes stellt der Betrieb bei Teillast dar. Aus diesem Grund wurde zuerst in USA eine so genannte Teillastbewertung eingeführt. Dieser jetzt gültige ARI-Standard [7] wird zunehmend auch in Europa angewandt. Der neue Standard berücksichtigt die Jahreshäufigkeiten des Betriebs bei Teillast.

Aus Bild 5 wird auch deutlich, dass die berechneten Werte (Kreise) sehr gut mit den gemessenen übereinstimmen. Die teilweise vorhandenen Abweichungen sind auf die Konstruktion des Kaltwassersatzes zurückzuführen, insbesondere bei extremer Teillast liegen die gemessenen Werte zum Teil deutlich über den errechneten Werten.

## Schall- und Schwingungsmessungen

Die Verdichter und der Kaltwassersatz wurden einer eingehenden Schall- und Schwingungsanalyse unterzogen.

Zur Messung des Schalldrucks wurde ein Mikrophon benutzt, dessen Signale mit einem Echtzeitanalysator im Terzband aufgezeichnet wurden. Die Ergebnisse sind in Bild 6 für verschiedene Frequenzen dargestellt.

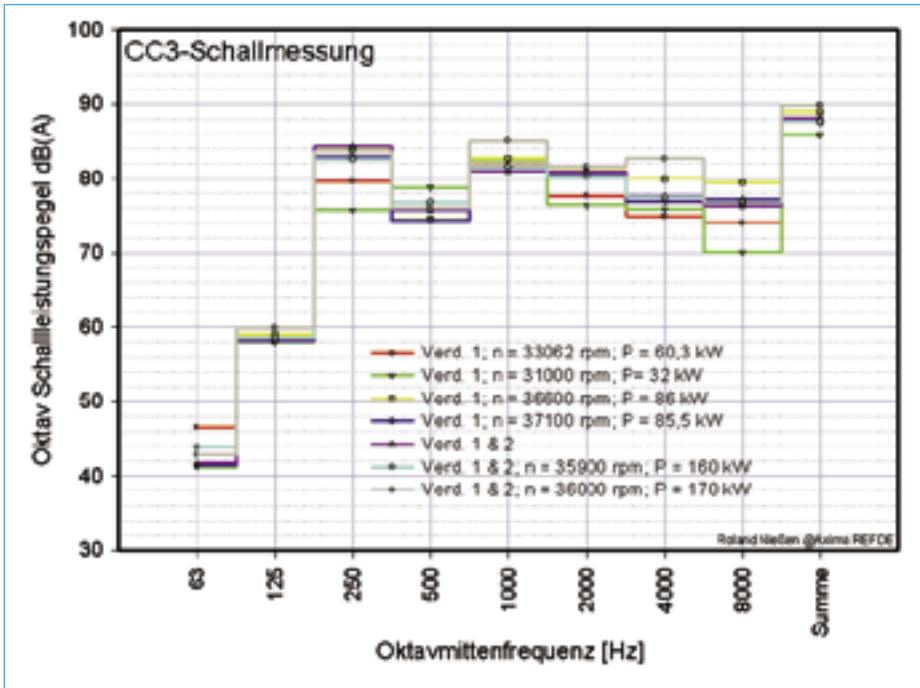


Bild 6 Schalleistungspegel über der Oktavmittelfrequenz für verschiedene Betriebspunkte

Sämtliche Schallwerte weisen ein für Kaltwassersätze sehr tiefes Niveau auf. Aus den Messwerten der Schalleistungspegel wurden die Schalldruckpegel für 1 m Abstand für Konfigurationen mit 2 bis 6 Verdichtern errechnet. Es ergeben sich für die Baureihe mit Kälteleistungen von 600–1200 kW Schalldruckpegel von 72–75 dB(A), weitere Daten sind in Tabelle 1 dokumentiert. Derart geringe Werte werden mit keinem anderen Verdichtertyp erreicht.

Das Maß für die Beurteilung der Schwingung ist die Schwinggeschwindigkeit, gemessen in mm/s, die für verschiedene Frequenzen ermittelt wird. Basierend auf der Richtlinie VDI 2056 werden folgende Werte angegeben:

- > 5 mm/s: schlecht, akute Schwingbruchgefahr,
- 3 - 5 mm/s: normal, Dauerbetrieb,
- 2 - 3 mm/s: gut bis sehr gut.

Für die Schwingungsmessungen wurde ein triaxialer Beschleunigungsaufnehmer mit hoher Empfindlichkeit verwendet. In Bild 7 sind die Ergebnisse dargestellt.

Sehr deutlich wird, dass quasi überhaupt keine Schwingungen aus dem Aggregat in das Fundament eingeleitet werden. Vielmehr konnten bei diesem tiefen Niveau der Schwingungen die Fundamentbasisschwingungen als Hauptsignal erkannt werden. Die Werte liegen mit Schwinggeschwindigkeiten < 0,4 mm/s für alle Frequenzen mehr als eine 10er Potenz unter dem in VDI 2056 als sehr gut eingestuftem Niveau von 2 - 3 mm/s.

### Baureihenentwicklung

Die Baureihenentwicklung wurde mit dem Ziel der möglichst hohen Standardisierung realisiert. So sind die Hauptmerkmale, die Betriebsweise von parallelen Turboverdichtern mit überfluteter Verdampfung und die Behältergrößen einheitlich ausgeführt. Auch die Längen der Hochleistungsrohre

sind identisch, ebenso die Verrohrung der Turboverdichter und diverse andere Bauteile. In Tabelle 1 sind die Hauptmerkmale eingetragen.

In Bild 8 ist die Konstruktion für zwei Verdichter dargestellt, in Bild 9 ist ein Aggregat mit 1800 kW Kälteleistung bei der Werksabnahme gezeigt.

### Betriebserfahrungen und erste Referenzen

Neben den zahlreichen Betriebserfahrungen, die auf weltweiter Basis mit diesem Verdichtertyp bestehen, wurde der parallele Betrieb von Turboverdichtern erstmalig erfolgreich in kompakten Aggregaten realisiert. Diese Erfahrungen konnten nur aufgrund des bereits seit Jahrzehnten vorhandenen Kenntnisstandes im Bereich der Turboverdichter in der Kürze der zur Verfügung stehenden Entwicklungszeit realisiert werden. Seit Ende 2002 laufen intensive Versuche, die unter anderem die parallele Betriebsweise, Leistungsmessungen, Störfälle und Start/Stop Betrieb beinhalten.

Die Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass sowohl die Maschine bei Stromausfall eigensicher abgeschaltet wird, als auch der parallele Betrieb bei extremer Teillast beherrscht werden kann. Bei einer Lagerung mit Magnetlagern ist die Steuerung und Regelung sehr komplex, aus diesem Grund ist im Betrieb die Versorgung mit Spannung Voraussetzung. Bei Stromausfall erfolgt die

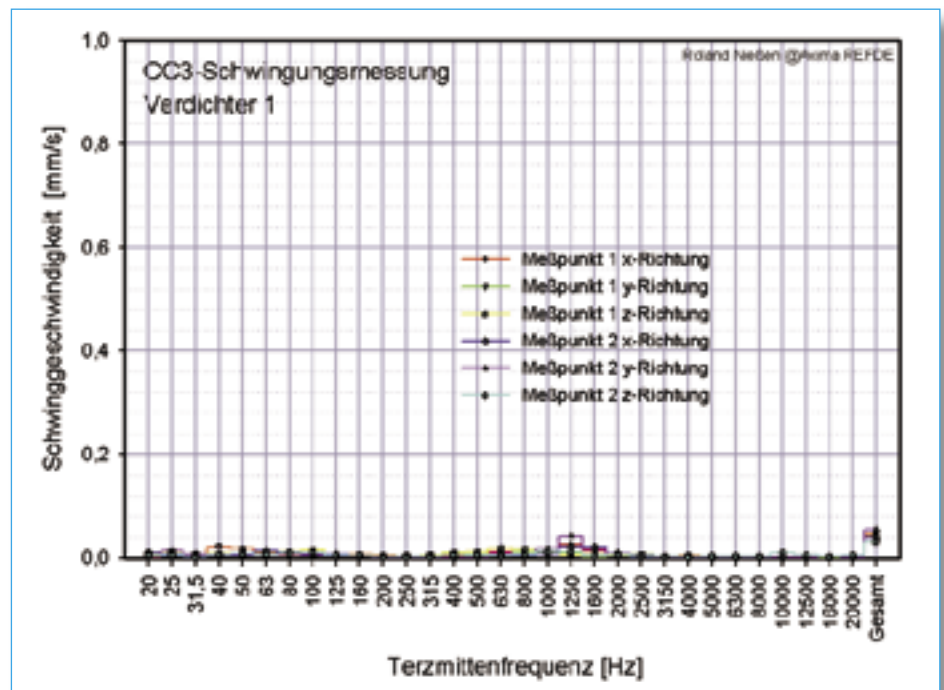


Bild 7 Schwinggeschwindigkeiten als Funktion der Terzmittelfrequenz am Fundament des Kaltwassersatzes

TECHNISCHE DATENÜBERSICHT QUANTUM - BAUREIHE

QUANTUM 6		26/32 Kühlwasser [°C]		30/36 Kühlwasser [°C]		40/45 Kühlsole Eth.glyk. 34Vol.% [°C]		Abmaße L x B x H		Gewicht	Schallleistungspegel <sup>2</sup>	Schalldruck in 1m Abstand <sup>2</sup>
		Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	mm	mm	kg	dB(A)	dB(A)
12/6	Kaltwasser [°C]	1730	320	1787	389	1762	521	5498		Leer-		bei Drucklegung noch
14/8	Kaltwasser [°C]	1759	300	1846	373	1867	524	2200		ca. 6900		
16/10	Kaltwasser [°C]	1760	281	1876	352	1902	503	2195		Betriebsgewicht		nicht verfügbar
18/12	Kaltwasser [°C]	1769	259	1902	326	1902	460			ca. 8000		

QUANTUM 5		26/32 Kühlwasser [°C]		30/36 Kühlwasser [°C]		40/45 Kühlsole Eth.glyk. 34Vol.% [°C]		Abmaße L x B x H		Gewicht	Schallleistungspegel <sup>2</sup>	Schalldruck in 1m Abstand <sup>2</sup>
		Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	mm	mm	kg	dB(A)	dB(A)
12/6	Kaltwasser [°C]	1442	267	1489	325	1468	434	5498		Leer-		bei Drucklegung noch
14/8	Kaltwasser [°C]	1466	250	1538	311	1556	437	2050		ca. 6300		
16/10	Kaltwasser [°C]	1467	235	1563	293	1585	419	2195		Betriebsgewicht		nicht verfügbar
18/12	Kaltwasser [°C]	1475	216	1585	272	1585	384			ca. 7500		

QUANTUM 4		26/32 Kühlwasser [°C]		30/36 Kühlwasser [°C]		40/45 Kühlsole Eth.glyk. 34Vol.% [°C]		Abmaße L x B x H		Gewicht	Schallleistungspegel <sup>2</sup>	Schalldruck in 1m Abstand <sup>2</sup>
		Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	mm	mm	kg	dB(A)	dB(A)
12/6	Kaltwasser [°C]	1154	214	1191	260	1174	347	3840		Leer-	95	75
14/8	Kaltwasser [°C]	1172	200	1230	248	1245	349	1650		3900	95	75
16/10	Kaltwasser [°C]	1173	188	1250	234	1268	335	2050		Betriebsgewicht	95	75
18/12	Kaltwasser [°C]	1180	172	1268	218	1268	307			4700	95	75

QUANTUM 3		26/32 Kühlwasser [°C]		30/36 Kühlwasser [°C]		40/45 Kühlsole Eth.glyk. 34Vol.% [°C]		Abmaße L x B x H		Gewicht	Schallleistungspegel <sup>2</sup>	Schalldruck in 1m Abstand <sup>2</sup>
		Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	mm	mm	kg	dB(A)	dB(A)
12/6	Kaltwasser [°C]	865	160	893	195	881	260	3840		Leer-	93,8	73
14/8	Kaltwasser [°C]	879	150	923	186	934	262	1650		3300	93,8	73
16/10	Kaltwasser [°C]	880	141	938	176	951	251	2050		Betriebsgewicht	93,8	73
18/12	Kaltwasser [°C]	885	129	951	163	951	230			3900	93,8	73

QUANTUM 2		26/32 Kühlwasser [°C]		30/36 Kühlwasser [°C]		40/45 Kühlsole Eth.glyk. 34Vol.% [°C]		Abmaße L x B x H		Gewicht	Schallleistungspegel <sup>2</sup>	Schalldruck in 1m Abstand <sup>2</sup>
		Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	Kälteleistung [kW]	el. Leistungsaufn. [kW]	mm	mm	kg	dB(A)	dB(A)
12/6	Kaltwasser [°C]	577	107	596	130	587	174	3806		Leer-	92	72
14/8	Kaltwasser [°C]	586	100	615	124	622	175	980		2300	92	72
16/10	Kaltwasser [°C]	587	94	625	117	634	168	1870		Betriebsgewicht	92	72
18/12	Kaltwasser [°C]	590	86	634	109	634	153			2850	92	72

<sup>1</sup> in Anlehnung an DIN EN 12900 und DIN 8976

<sup>2</sup> in Anlehnung an das Vergleichsverfahren nach DIN EN ISO 3743-1

<sup>3</sup> mittlerer Schalldruckpegel in 1 m Abstand bei freier Schallausbreitung in den freien Halbraum

Tabelle 1 Kennwerte<sup>1</sup> der Baureihe QUANTUM 2 bis 6 (Kälteleistung, Leistungsaufnahme, Schallwerte, Gewicht, Abmaße)

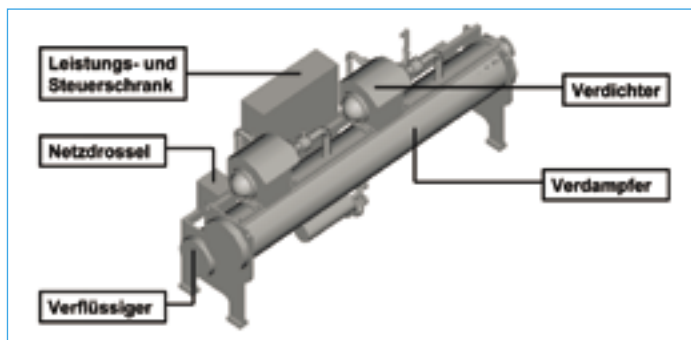


Bild 8 Konstruktionszeichnung für Kaltwassersatz mit einer Kälteleistung von 600 kW

Abschaltung über integrierte elektrische Kondensatoren. Die Kondensatoren werden vor dem Start des Verdichters geladen und stehen während des Betriebs immer unter Spannung. Die Regelung und die Magnetlager werden für den Fall des Stromausfalles über diese Kondensatoren für die verbleibende Zeit bis zum Stillstand der Welle und dem Absetzen derselben gespeist.

Weitere Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass diese neue Technologie der parallel betriebenen ölfreien Turboverdichter

mit einer Einzelleistung von ca. 315 kW zu erheblichen Vorteilen für den Anwender führt. Insbesondere durch die hohen Teillastwirkungsgrade und der extremen Schwingungs- und Schallarmut.

**Zusammenfassung und Ausblick**

Die neue Entwicklung im Bereich der Turboverdichter zeigt ein erfolgreiches Konzept der Integration von neuen Technologien in der Kältetechnik. Insbesondere die Magnetlagertechnologie als auch die konsequente Anwendung der Turboverdich-

tertechnologie bei kleiner Kälteleistung bis 315 kW sind hervorzuheben.

Basierend auf dieser neuen Technologie wurde eine Baureihe mit bis zu sechs parallelen Turboverdichtern entwickelt und erfolgreich erprobt. Die Vorteile der Baureihe konnten herausgearbeitet werden, vor allem die Schall- und Schwingungsarmut sowie die hohen Teillastwirkungsgrade sind herausragend im Vergleich zu anderen Kaltwassersatzen. Bereits heute (September 2003) sind Typen der Baureihe QUANTUM 6, 4, 3, 2 im Bereich der Kaltwassererzeugung realisiert und in Kürze im Einsatz.

Es wird erwartet, dass sich diese Konstruktion zukünftig zu einem erheblichen Anteil am Markt in der Kältetechnik etablieren wird. □

**Literatur**

- [1] QUANTUM-Baureihe, Technische Mitteilungen Axima Refrigeration GmbH, Juli 2003.
- [2] Conry, R., Whelan, L.: Magnetic Bearings, Variable Speed Centrifugal Compressor and Digital Control applied in a small Tonnage Refrigerant Compressor Design, 16th Int. Comp. Conf. at Purdue, West Lafayette, Indiana, July 2002.
- [3] ASHRAE: „Energy Innovation Award“, AHR-Exposition, Februar 2003.
- [4] Laby, The Ultimate Choice for Oil-free Compression, Sulzer-Burkhardt Engineering Works Ltd., Technical Information 20.10.14.40, Winterthur, Switzerland, 2003.
- [5] Forschungsrat Kältetechnik: „Wärmeübergang beim Sieden von Kältemittel/Öl-Gemischen – Einfluss der Ölviskosität –“ Universität Stuttgart, Abschlussbericht 2002.
- [6] Cube et. al.: Lehrbuch der Kältetechnik, C. F. Müller Verlag, Band 1, 4. Auflage, Heidelberg 1997.
- [7] ARI Standard 550-590-98 Standard for water chilling packages using the vapour compression cycles, 1998, (www.ari.org)

<sup>1</sup> Vorläufige Daten

Bild 9 Kaltwassersatz QUANTUM 6 bei Werksabnahme, 1800 kW Kälteleistung

