

Für Kälte- und Wärmepumpenanwendungen

# Scroll Verdichter mit Dampfeinspritzung\*

Norbert Kämmer und Thomas Tomski, Welkenraedt

Scrollverdichter besitzen eine Reihe prinzipbedingter Vorteile im Vergleich zu Hubkolbenverdichtern. Durch den Einsatz der Dampfeinspritzung wird die Leistungsfähigkeit von Scrollverdichtern einmal mehr gesteigert. Dies äußert sich zum einen in einer Erhöhung der Kälte- bzw. Heizleistung bezogen auf den Kältemittelmassenstrom, und zum anderen in einer erhöhten Leistungszahl. Bei Anlagen in der Gewerbekälte und im Wärmepumpenbereich können somit erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden, die sowohl die Betriebskosten als auch das indirekte Treibhauspotenzial reduzieren. Die erhöhte Kälteleistung vermindert darüber hinaus auch das direkte Treibhauspotenzial. Im Wärmepumpenbereich wird durch die Verwendung der Dampfeinspritzung der Einsatz bei höheren Verflüssigungstemperaturen effizient möglich.

Dies hat besondere Vorteile für den Einsatz von Wärmepumpen in der Wohnungsmodernisierung, die in der Regel hohe Vorlauftemperaturen erfordert. Dieser Artikel erläutert das Prinzip der Dampfeinspritzung bei Scrollverdichtern, mit besonderem Schwerpunkt auf den Einspritzkreislauf. Die genannten Anlagenvorteile werden an Beispielen aus den Bereichen Tiefkühlung und Wärmepumpe dargelegt.

Scrollverdichter haben Hubkolbenverdichter in stationären Klimaanwendungen weitgehend verdrängt, aber auch im Bereich der Gewerbekälte und der Wärmepumpen ist diese Technologie auf dem Vormarsch. Dies ist auf die in der Literatur

mehrfach beschriebenen Vorteile des Scrollverdichters [1] zurückzuführen:

- Hohe Betriebssicherheit durch Minimierung der bewegten Bauteile und Anwendung des Compliance-Prinzips
- Kompaktheit und geringes Gewicht durch hohen Liefergrad und Verwendung von 2-Pol Motoren
- Hoher Gütegrad bei moderaten Druckverhältnissen durch Wegfall von Ventilverlusten
- Leckagesicherheit durch hermetische Bauweise

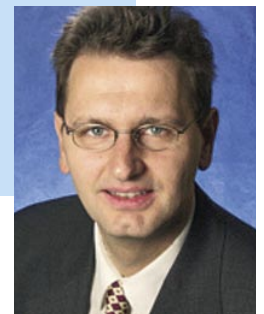
Grundlegende Unterschiede verschiedener Verdichtertechnologien lassen sich bei Betrachtung von Liefer- und isentropem Güte-

## zu den Autoren

**Dr. Norbert Kämmer,**  
Vice-President  
Engineering,  
Copeland Europe,  
Welkenraedt (B)



**Dr. Thomas Tomski,**  
Director  
Refrigeration  
Marketing,  
Copeland Europe,  
Welkenraedt (B)



grad über dem Druckverhältnis darstellen. Der Liefergrad des Scrollverdichters ist über dem Druckverhältnis nahezu konstant

\* Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV am 17. 11. 2005 in Würzburg

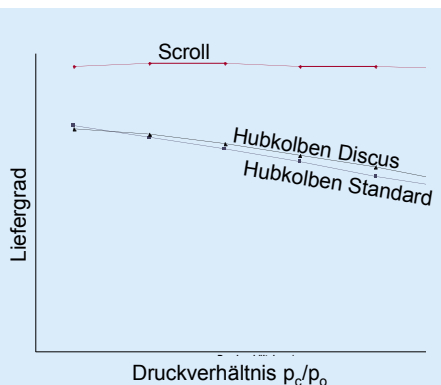
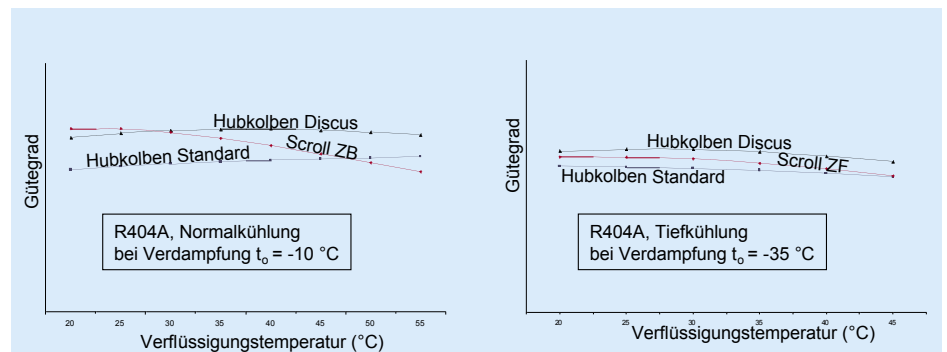


Bild 1 Liefergrad von Verdichtertechnologien bei steigendem Druckverhältnis



a) Normalkühlung

b) Tiefkühlung

Bild 2 Gütegrad von Verdichtertechnologien abhängig von Verflüssigungstemperaturen bei Normal- und Tiefkühlung



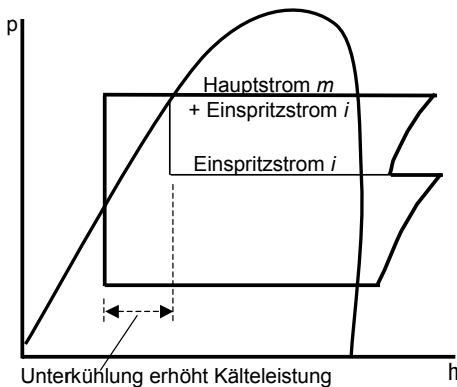


Bild 3 Kreisprozess des Copeland Scroll™ mit Dampfeinspritzung

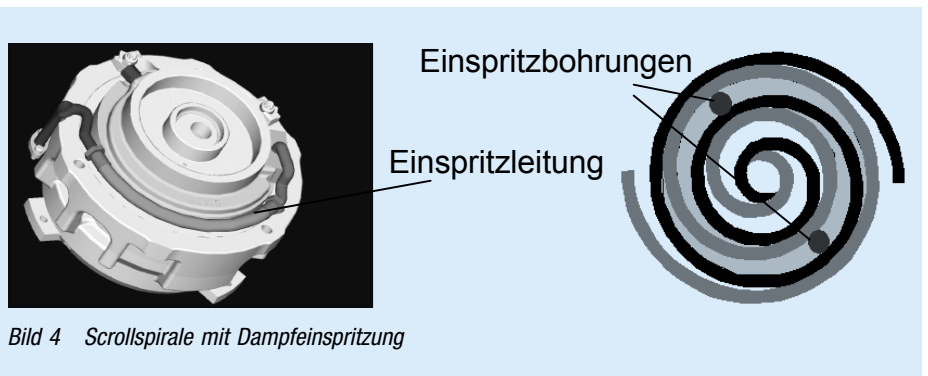


Bild 4 Scrollspirale mit Dampfeinspritzung

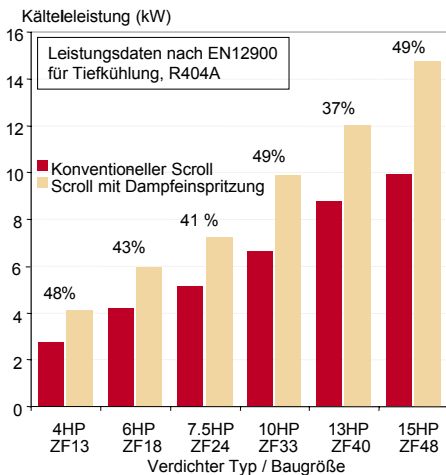


Bild 5 Leistungserhöhung durch Dampfeinspritzung für Scrolls gleicher Baugröße

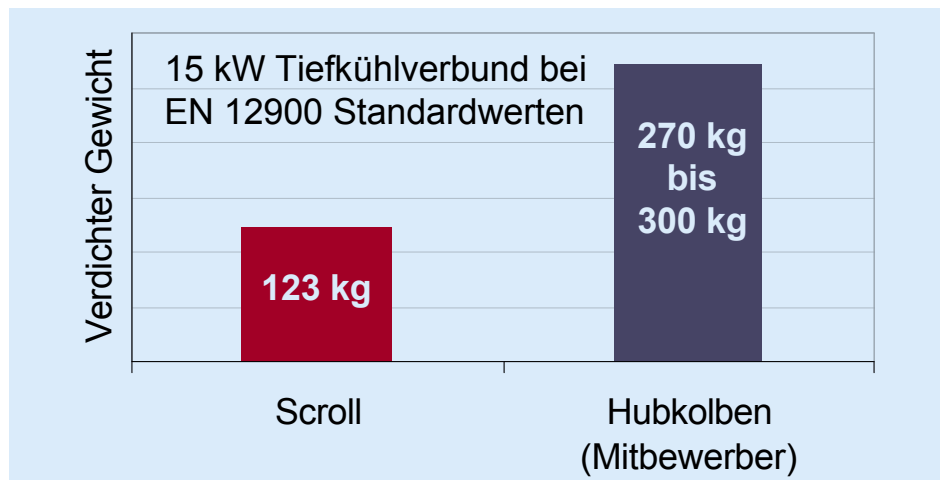


Bild 6 Gewichtsvorteil des Scroll mit Dampfeinspritzung für 15 kW TK-Verbund

und höher als bei den konkurrierenden Hubkolbentechnologien mit Discus und Standard Zungenventilen (Bild 1). Das Druckverhältnis für Kälteanlagen mit luftgekühltem Verflüssiger ergibt sich bei einer bestimmten Verdampfungstemperatur abhängig von der Verflüssigungstemperatur. Trägt man daher die Gütegrade der verschiedenen Technologien für die Betriebsbereiche Normalkühlung<sup>1</sup> (NK) und Tiefkühlung<sup>2</sup> (TK) auf, so ergeben sich die in Bild 2 dargestellten Kurven. Man sieht, dass der Scrollverdichter im NK-Bereich (Bild 2a) bei niedrigen Verflüssigungstemperaturen Gütegrade auf dem Niveau der Discus-Verdichter erzielt. Discus Verdichter sind Verdichtern mit Standard Zungenventilen aufgrund ihrer besonderen Ventilkonstruktion überlegen. Bei höheren Verflüssigungstemperaturen fällt der Scroll für den NK-Bereich dann stark ab und fällt unter das Niveau der Standard Hubkolbenverdichter.

Aus diesem Grunde wurden für den TK-Bereich optimierte Verdichter der Scroll Baureihe ZF entwickelt. Diese erzie-

len bei den in der TK üblichen Druckverhältnissen von 6...10 Gütegrade, die zwischen denen der Discus und Standard Hubkolbenverdichter oder auch darunter liegen (Bild 2b). TK Scrollverdichter verfügen über Flüssigkeitseinspritzung, um die Verdichtungsendtemperatur zu begrenzen. Im Folgenden sollen diese flüssigkeitseingespritzten Scrollverdichter als konventionelle Scrollverdichter bezeichnet werden.

Der Verlauf der Leistungszahlen (COP) für die genannten Technologien ist entsprechend. Um den COP von Scroll Verdichtern auch im TK-Bereich auf das Niveau der Discus Verdichter zu heben, wurden **Copeland Scroll™ Verdichter mit Dampfeinspritzung** entwickelt.

Der Artikel beschreibt im Weiteren zunächst die Technologie der Dampfeinspritzung bei Scrollverdichtern und veranschaulicht dann die Vorteile anhand von Beispielen aus den Bereichen Gewerbekälte und Wärmepumpe.

### Prinzip von Scrollverdichtern mit Dampfeinspritzung

Der beim Scrollverdichter mit Dampfeinspritzung umgesetzte Prozess ähnelt thermodynamisch dem eines zweistufigen Kreisprozesses (Bild 3). Dieser wird jedoch mit einem einzelnen Verdichtungselement realisiert. Das verflüssigte Kältemittel wird hinter dem Verflüssiger in einen Hauptstrom  $m$  und einen Einspritzstrom  $i$  aufgeteilt. Beide Ströme werden im Gegenstrom über einen Plattenwärmeaustauscher geführt. Der kleinere Einspritzstrom  $i$  wird hierbei mittels eines Expansionsventils eingespritzt und unterkühlt den Hauptstrom  $m$ . Der verdampfte Strom  $i$  wird dann bei Mitteldruck in den Scrollverdichter eingespritzt. Dieser erhöht die Leistungsaufnahme des Verdichters, ohne dass er direkt im Hauptverdampfer genutzt wird. Die Unterkühlung des Hauptstromes stei-

<sup>1</sup> Verdampfungstemperatur  $-10\text{ }^\circ\text{C}$

<sup>2</sup> Verdampfungstemperatur  $-35\text{ }^\circ\text{C}$

gert jedoch den Nutzkältegewinn der Anlage, so dass sich durch die Dampfeinspritzung insgesamt eine deutlich höhere Leistungszahl für den Kältekreislauf ergibt.

Konstruktionsbedingt kommt der Scrollverdichter der Realisierung dieses Prozesses entgegen. Der Mitteldruck kann durch entsprechendes Platzieren der Einspritzpunkte festgelegt werden, da einem geometrischen Punkt im Verdichtungsraum der Spirale immer ein bestimmter thermodynamischer Zustand zugeordnet ist. Durch die Wahl der Einspritzpunkte wird das Ausmaß der Effizienz- oder Kälteleistungssteigerung beeinflusst. Je tiefer der Einspritzdruck, desto größer ist die Kälteleistungssteigerung, aber auch die aufzuwendende Verdichtungsarbeit für den eingespritzten Massenstrom. Bild 4 zeigt eine Scrollspirale mit Einspritzstutzen, internen Leitungen und den angedeuteten Einspritzpunkten.

Die Dampfeinspritzung übernimmt zusätzlich auch die Aufgabe der Begrenzung der Verdichtungsendtemperatur, die bei konventionellen Scrollverdichtern durch die Flüssigkeitseinspritzung ausgeführt wird.

### ***Scroll Verdichter mit Dampfeinspritzung bei Supermarkt-Verbundanlagen***

#### ***Generelle Auswirkung auf den Kälteverbund***

Bild 5 zeigt die Erhöhung der Kälteleistung, die sich durch den Einsatz von Scrollverdichtern mit Dampfeinspritzung im Vergleich zu konventionellen Scrollverdichtern gleicher Baugröße ergibt. Im Auslegungspunkt ermöglicht die Dampfeinspritzung für den Verdichter ZF18 z.B. eine um 43% höhere Kälteleistung.

Für den Verbund mit einer bestimmten Last ermöglicht dies entweder die Verwendung von Verdichtern kleinerer Baugröße, oder die Verwendung von weniger Verdichtern gleicher Baugröße. In der Pra-

xis wird die erforderliche Leistungsstufe ein Kriterium für diese Entscheidung sein. Unabhängig von dieser Entscheidung führt die Verwendung der Dampfeinspritzung in der Regel zu kleineren und leichteren Aggregaten. Bild 6 zeigt den erheblichen Gewichtsvorteil eines herkömmlichen Scrollverbunds gegenüber einem Semihmetik Hubkolbenverbund, der sich allein aufgrund des Verdichtergewichts ergibt. Der Hubkolbenverbund ist dabei mehr als doppelt so schwer. Zusatzgewicht durch Unterkühler und Einspritz-

kreislauf, aber auch weitere Gewichtseinsparungen aufgrund kleinerer Rahmen, sind der Einfachheit halber vernachlässigt.

Je nach Gesamtkonzept des betreffenden Supermarktes kann diese Reduzierung von Gewicht und Baugröße ein entscheidender Vorteil sein. Dezentralen, dachaufgestellten Systemen kommt diese Einsparung besonders zugute.

Da die Kälteleistung mit einem geringeren Kältemittelmassenstrom erzielt wird, reduziert sich auch die Kältemittelmenge

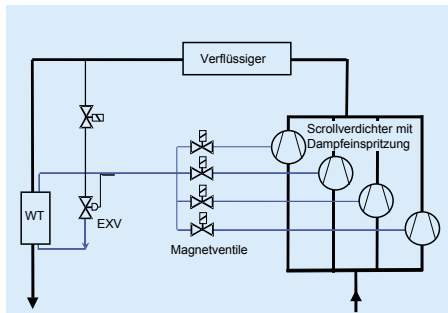


Bild 7 Einspritzkreislauf einer Scroll Verbundanlage mit Dampfeinspritzung

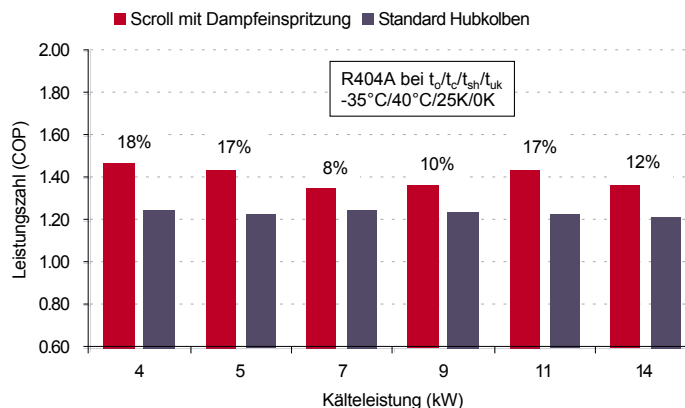


Bild 8 Vorteil des Scroll mit Dampfeinspritzung gegenüber Hubkolbenverdichter

im Vergleich zu einer herkömmlichen Anlage. Über das direkte Treibhauspotenzial hat dies auch positive Auswirkungen auf den TEWI-Faktor.

Weitere potenzielle Vorteile, die im Einzelfall anhand der Anlagenbedingungen zu prüfen sind, sind der Einfluss des reduzierten Massenstroms auf die Größe der Kältemittelleitungen bzw. auf die Druckverluste, sowie der Einfluss der insgesamt geringeren notwendigen elektrischen Verdichterleistung auf die Verflüssigergröße.

### Einspritzkreislauf

Verbundanlagen bestehend aus Scrollverdichtern mit Dampfeinspritzung unterscheiden sich von konventionellen Anlagen hauptsächlich durch den Einspritzkreislauf. Dieser besteht aus dem Kompaktwärmeaustauscher, einem Einspritzventil und Magnetventilen (Bild 7). Bei Mehrverdichteranlagen wird jedem Verdichter in der Einspritzleitung ein eigenes Magnetventil vorgeschaltet, welches bei Abschalten des jeweiligen Verdichters geschlossen ist. Flüssigkeits- und Einspritzleitungen sind isoliert auszuführen.

Eine besondere Problematik ergibt sich bei Verbundanlagen durch den üblichen Teillastbetrieb mittels Abschalten einzelner Verdichter. Nimmt man einen Tiefkühlverbund bestehend aus 4 Verdichtern an, so muss der Einspritzkreislauf einen Teillastbetrieb zwischen 25% und 100% abdecken. Da der Einspritzkreislauf aus kommerziellen Gründen in der Regel mit einem einzelnen Wärmeaustauscher ausgeführt sein wird, muss dieser auf die gesamte Bandbreite der Lastzustände ausgelegt sein. Dies gilt ebenso für die verwendeten

Expansions- und Magnetventile. Bewährt haben sich in diesem Zusammenhang elektronische Expansionsventile, die über einen weiten Teillastbereich verfügen.

### Energetischer Vorteil des Scrollverdichters mit Dampfeinspritzung

Bezüglich der Effizienz bietet die neue Technologie eine erhebliche Steigerung der Leistungszahl. Vergleicht man die Leistungszahlen von Scrollverdichtern mit Dampfeinspritzung mit denen „typischer“ semihertischer Verdichter bei TK üblichen Auslegungsbedingungen, so ist der dampfeingespritzte Scrollverdichter im Schnitt um 14% überlegen (Bild 8).

Bei realen Betriebsbedingungen, d.h. Verflüssigungstemperaturen unterhalb des Auslegungspunktes, steigert der Scrollverdichter mit Dampfeinspritzung wie Hubkolben- und konventionelle Scrollverdichter ebenfalls seine Leistungszahl. Der Vorteil der Unterkühlung wird mit fallender Verflüssigungstemperatur aber geringer. Der verbleibende Effizienzgewinn ist jedoch immer noch beträchtlich, wie die später folgende Zusammenfassung eines Feldtests zeigen wird.

### Geringere Leistungsschwankungen

Wie bereits erwähnt, verfügen Scrollverdichter im Gegensatz zu Hubkolbenverdichtern über einen annähernd konstanten Liefergrad über dem Druckverhältnis. In der Praxis bedeutet dies, dass bei konstanter Verdampfungstemperatur, aber sich aufgrund der Umgebungsbedingungen ändernder Verflüssigungstemperatur, die Leistung des Scrollverdichters weniger

stark schwankt. Die dadurch verursachten Schaltzyklen sind beim Scrollverdichter somit geringer. Bei Scrollverdichtern mit Dampfeinspritzung wird dieser Effekt zusätzlich durch den mit sinkender Verflüssigungstemperatur abnehmenden Enthalpiegewinn durch Unterkühlung verstärkt. Der Kurvenverlauf der Kälteleistung über Verflüssigungstemperatur ist abermals flacher (Bild 9). Dies ist u. a. auch bei Einzelanwendungen wie Verflüssigungsaggregaten ein Vorteil, da diese im Gegensatz zu Verbundanlagen oftmals über keine Möglichkeit der Leistungsstufung verfügen.

### Felderprobte Energieeinsparung von 8...10%

Um die vorgenannten Vorteile und die Zuverlässigkeit der neuen Technologie zu bestätigen, wurden in einem Supermarkt in Großbritannien zwei Verbundanlagen unter möglichst gleichen Lasten mit Datenaufzeichnung betrieben. Dabei handelte es sich um zwei dachaufgestellte Tiefkühl-Verbundanlagen. Verbund A wurde mit Copeland Scroll™ Verdichtern mit Dampfeinspritzung ausgeführt und Verbund B mit konventionellen Tiefkühl-Scrollverdichtern. Weitere Anlagen und Betriebsdaten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Seit mehr als zwei Jahren liefert der dampfeingespritzte Verbund die gleiche Kälteleistung wie der konventionelle Verbund – allerdings mit 3 Verdichtern weniger! Selbst wenn man die zusätzlichen Kosten für den Einspritzkreislauf und zusätzliche Arbeitskosten berücksichtigt,

stellt der dampfeingespritzte Verbund eine erhebliche Kostenreduzierung dar.

Bei einer durchschnittlich sehr niedrigen Verflüssigungstemperatur von 22 °C im Jahresmittel ist der Energieverbrauch des dampfeingespritzten Verbundes um 8...10% geringer als der des konventionellen Verbunds. Für den betreffenden Supermarkt bedeutet dies eine jährliche Einsparung von rund 750 Euro pro Verbund. Dies ist ein beachtenswertes Resultat, bedenkt man, dass die Leistungssteigerung durch Dampfeinspritzung bei den genannten niedrigen Verflüssigungstemperaturen geringer ist, als bei dem höheren Druckverhältnis im Auslegungspunkt bei 40 °C. Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren sich gleichermaßen.

Die ursprünglich erwarteten Energieeinsparungen lagen jedoch höher. Eine Analyse der Daten hat gezeigt, dass sich die Unterkühlung des dampfeingespritzten Verbunds durch Verluste in der 60 m langen Flüssigkeitsleitung um 4 K reduziert, während der flüssigkeitsingespritzte Verbund von einem Gewinn an Unterkühlung in etwa der gleichen Größenordnung profitiert hat. Für Anlagen mit kürzeren Flüssigkeitsleitungen kann ein Vorteil für den dampfeingespritzten Verbund von bis zu 15% bei ähnlichen Verflüssigungstemperaturen erwartet werden. Eine Analyse der Daten während der wärmeren Sommerperiode hat gezeigt, dass dieser Vorteil bei Verflüssigungstemperaturen von 34 °C auf 25% ansteigt.

Die Feldstudie hat weiterhin die Auslegungsparameter für den Einspritzkreislauf in der Praxis bestätigt und diese sind in der Auslegungssoftware Copeland SELECT [2] implementiert worden.

Lehrreiche Erfahrungen wurden auch im Bereich des Einspritzkreislaufs gemacht. Dieser wurde ursprünglich durch zwei Thermo-Expansionsventile und drei vorgeschaltete Magnetventile versorgt. Die Ventile wurden dabei entsprechend den Lastzuständen einer bestimmten Anzahl von Verdichtern zugeordnet. Obwohl diese Konfiguration mehr als 1 Jahr zuverlässig in Betrieb war, wurde sie zugunsten eines elektronischen Expansionsventils samt Treiber abgeändert. Der Anlagenaufbau vereinfachte sich dadurch erheblich und die Anzahl der durchschnittlichen Verdichterschaltzyklen konnte ebenfalls leicht reduziert werden. Dies ist durch die gleich-

mäßigere Beaufschlagung des WT durch das einzelne Expansionsventil beim Zu- und Abschalten von Verdichtern zu erklären. Dieser Nachweis sollte für zukünftige Anlagen erbracht werden.

Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Einspritzleitungen als gleich lange Sticleitungen von einem Sammelrohr ausgehend auszuführen sind.

### ***Scroll mit Dampfeinspritzung im Vergleich mit mechanisch unterkühlten Anlagen***

Das Konzept der Steigerung der Kälteleistung ist nicht neu. Bei Verbundanlagen sind so genannte mechanisch unterkühlte Anlagen wie in Bild 10 gezeigt durchaus üblich. Nachteilig ist bei diesen Anlagen, dass der Unterkühler vom NK-Verbund mit versorgt werden muss und dafür zusätzliche Verdichterleistung im NK-Verbund anfällt. Diese muss bei der energetischen Betrachtung berücksichtigt werden. Dadurch ist die Verbundanlage mit Copeland Scroll ZB Verdichtern für die Normalkühlung und **Copeland Scroll™ Verdichtern mit Dampfeinspritzung** mechanisch unterkühlten Verbundanlagen bestehend aus gewöhnlichen Hubkolbenverdichtern in der Praxis überlegen. Dies hat eine kürzlich durchgeführte Studie für Supermarktanlagen in Paris und Umgebung gezeigt [3]. Nur Copeland Discus Verdichter bieten hier höhere Energieeinsparungen. Die Unabhängigkeit von NK und TK Verbund geht jedoch verloren, wodurch die Betriebssicherheit der Gesamtinstallation reduziert wird. Für Einzelanwendungen, z. B. einzelnen TK-Räumen, kommt die mechanisch unterkühlte Ausführung wegen des nicht vorhandenen NK Verbundes nicht in Frage.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass die Technologie dampfeingespritzter Scrollverdichter seit einiger Zeit auch in den **Copeland EazyCool™** Verflüssigungssätzen zum Einsatz kommt. Sie wird insbesondere bei Tiefkühlräumen, die unabhängig von einer Verbundanlage betrieben werden, eingesetzt.

### ***Scroll Verdichter mit Dampfeinspritzung bei Wärmepumpen***

Auch im Bereich der Wärmepumpe hat die Technologie des dampfeingespritzten Scrollverdichters bereits Einzug gehalten. Im speziellen Segment der Modernisierung

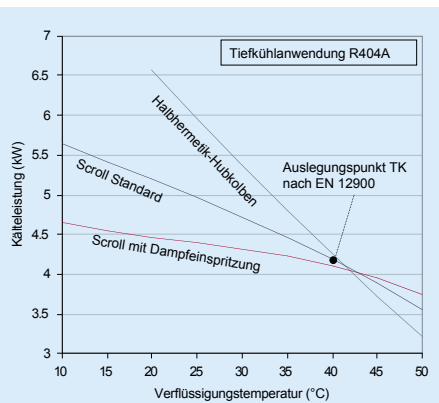


Bild 9 Geringere Überkapazität des Scrolls bei fallender Verflüssigungstemperatur

	Verbund A Scroll mit Dampfeinspritzung	Verbund B Scroll Standard
Verbund		
Auslegung Verflüssigung	5 x Copeland ZF18-KVE (mit Dampfeinspritzung), R404A 21 kW @ to/c/sh -36 °C / 40 °C / 25 K Min 20 °C, Temperaturdifferenz 8 K Unter Kühlung 2 K, Durchschnitt 22 °C	8 x Copeland ZF18-K4E (ohne Dampfeinspritzung), R404A identisch identisch baugleich mit Verbund A
Einspritzkreislauf	SWEP B10x20, 8.5 kW 5.2 bar a (-9.6 °C) / 5K 38 °C / -4.6 °C	
Unter Kühler	Alco Controls EX5-U21	
Mitteldruck/Überhitzung	Alco Controls EXD-35S CPL	
Flüssigkeit Ein/Aus		
Einspritzventil		
Ventiltreiber		
Kältemittelteilungen	Identische Abmessungen	
Jahresenergieverbrauch	91%	100%

Tabelle1 Scrollverbund mit und ohne Dampfeinspritzung im Feldvergleich

bietet sie den Vorteil, dass im Verflüssiger höhere Temperaturen erzielt werden können als bisher. Heizungsvorlauftemperaturen von 65 °C sind bei der Modernisierung von Wohnbauten erforderlich und durch Scroll mit Dampfeinspritzung nun auch realisierbar [4]. Bei dieser Anwendung wird die Dampfeinspritzung zusätzlich zur Leistungsregelung der Wärmepumpe unter dem Begriff EVI eingesetzt. Bild 11 zeigt das Prozessdiagramm mit und ohne Dampfeinspritzung, sowie das Modell Vitocal 350, bei welchem die beschriebene Technologie zum Einsatz kommt.

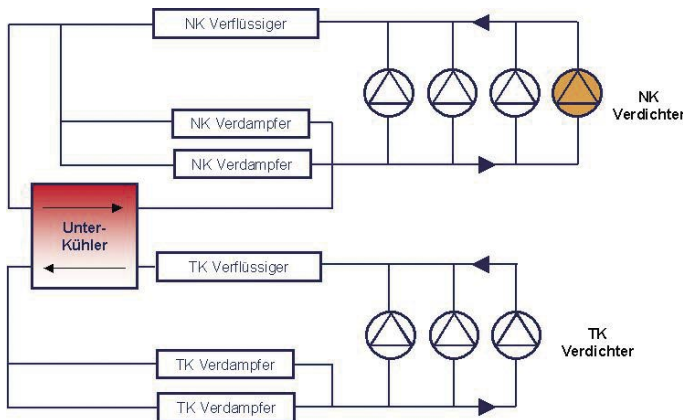


Bild 10 Mechanisch unterkühlte Verbundanlage mit zusätzlichem NK Verdichter

Zusammenfassung

Durch die Einführung der Copeland Scroll™ Verdichter mit Dampfeinspritzung kann die Leistungszahl von Anlagen, die bei hohem Druckverhältnis betrieben werden, enorm gesteigert werden. Dies sind z.B. Supermarkt Tiefkühlanlagen und Wärmepumpen. Bei Verbundanlagen in der Tiefkühlung steigt die Leistungszahl auf das Niveau der hocheffizienten Discus Verdichter.

Die Technologie ist seit über einem Jahr auf dem Markt als Einzelverdichter und auch als Verflüssigungssatz verfügbar. Während einer zweijährigen Testphase wurde sie in einer Verbundanlage felderprobt. Bei sehr niedrigen Verflüssigungstemperaturen konnte eine jährliche Einsparung des Energieverbrauchs gegenüber konventionellen Scrollverdichtern von 8...10% ermittelt werden. In Phasen höherer Verflüssigungstemperaturen von 35 °C wurden Einsparungen von 25% ermittelt. Energiekosteneinsparungen und Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes sind entsprechend.

Bei Verbundanlagen bietet sich die Verwendung elektronischer Schrittmotorventile im Gegensatz zu thermostatischen

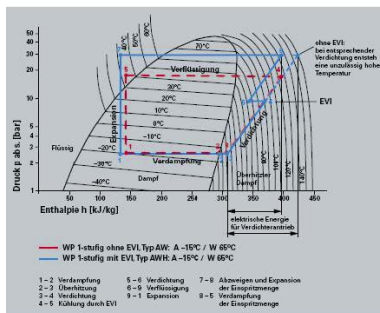


Bild 11 Viessmann Vitocal 350 Wärmepumpe basierend auf Copeland Scroll™ Verdichtern mit Dampfeinspritzung (Bild: Viessmann)

Expansionsventilen wegen des besseren Teillastverhaltens bei Zu- und Abschalten der Verdichter an.

Scroll Verdichter mit Dampfeinspritzung werden auch bereits im Wärmepumpenbereich eingesetzt. Dort ermöglicht die Verwendung der Dampfeinspritzung eine Bedienung von Vorlauftemperaturen von max. 65 °C. Damit wird der Einsatz dieser Technologie im Wärmepumpensegment Modernisierung möglich. ■

Literaturverzeichnis

- [1] Scroll Compressors – The Technology for the Third Millenium, Copeland S.A., Welkenraedt, 2002
- [2] Copeland Selection Software Version 6, Copeland S.A., Welkenraedt
- [3] Study of Energy Consumption In Low Temperature Supermarket Applications, Interner Report, Copeland S.A., Welkenraedt, 2005
- [4] Fachreihe Wärmepumpen, Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Allendorf