

Hubkolbenverdichter ade?

# Zum Einsatz von Scroll-Verdichtern in Wärmepumpen

Wolfgang Zaremski, Maintal

## zum Autor

Dipl.-Ing. Wolfgang Zaremski,  
Direktor  
Verkauf, Copeland GmbH,  
Niederlassung  
Frankfurt,  
Maintal



Die nach dem Boom Ende der siebziger Jahre ein Schatten-dasein fristende Heizungswärmepumpe hat in den letzten 5 Jahren wieder gewaltige Zuwachsraten zu verzeichnen. Wurden im Jahr 1990 in Deutschland ca. 400 Wärmepumpen neu installiert, erwarten die Hersteller für das laufende Jahr, daß ca. 4200 Wärmepumpen (Abb. 1) neu in den Markt kommen.

Einher mit dem Anstieg der Verkaufszahlen wurden die in den Geräten eingebauten traditionellen Hubkolben-Verdichter zum größten Teil durch moderne Copeland-Compliant-Scroll-Verdichter abgelöst. In diesem Zusammenhang stellt sich für den Betrachter zwangsläufig die Frage: Warum Scroll-Verdichter in Wärmepumpen?

## Die Ausgangslage

Die Einführung der neuen Wärmeschutzverordnung WSO95 schuf hervorragende Bedingungen für den Einsatz von Wärmepumpen. Besonders in „Niedrigenergiehäusern“ weist die elektrische Wärmepumpe erhebliche Vorteile gegenüber Öl- und Gasheizungen auf. Unter umweltrelevanten Betrachtungen kann man durch Einsparung von Primärenergie deutliche Reduzierungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen, im Vergleich zu Öl- oder Gasheizungen feststellen. Ausschlaggebend für diese Energieeffizienz ist eine möglichst hohe Jahresarbeitszahl. Jahresarbeitszahlen größer 4 bei Nutzung des Erdreichs (z. B. BO/W35) sind heute mehr die Regel denn die Ausnahme. Ermöglicht werden diese Spitzenwerte durch den Einsatz entsprechend optimierter Bauteile, durch effiziente Regler, sowie auf den Bedarfsfall abgestimmte Auslegungen. Einen nicht unerheblichen Beitrag zur Wirkungsgradverbesserung konnte der Copeland-Scroll-Verdichter leisten.

## Wirkungsprinzip von Scroll-Verdichtern

Das Verdichtungsprinzip des Scroll-Verdichters beruht auf dem Ineinandergreifen von 2 Evolventenspiralen. Während die bewegliche (orbitierende Spirale) auf der festen Spirale abrollt, bilden sich stetig verändernde Gastaschen aus. Sobald das Kältemittelgas symmetrisch in die zwei Einströmöffnungen am Außenrand eingetreten ist, haben sich nach dem Schließen der Einströmöffnungen die volumetrisch größtmöglichen Gastaschen ausgebildet. Während die orbitierende Spirale jetzt weiter umläuft, wird das Gas in einer laufend kleiner werdenden Gastasche bis zum relativen Volumen Null verdichtet. Nach Erreichen des Mittelpunktes der Spiralförmigen wird das nunmehr unter hohem Druck stehende Gas ausgeschoben. Da während des Betriebs dieser Verdichterprozeß (Abb. 2) vollkommen gleichmäßig abläuft, wird ein kontinuierlicher, pulsationsarmer Gastransport gewährleistet.

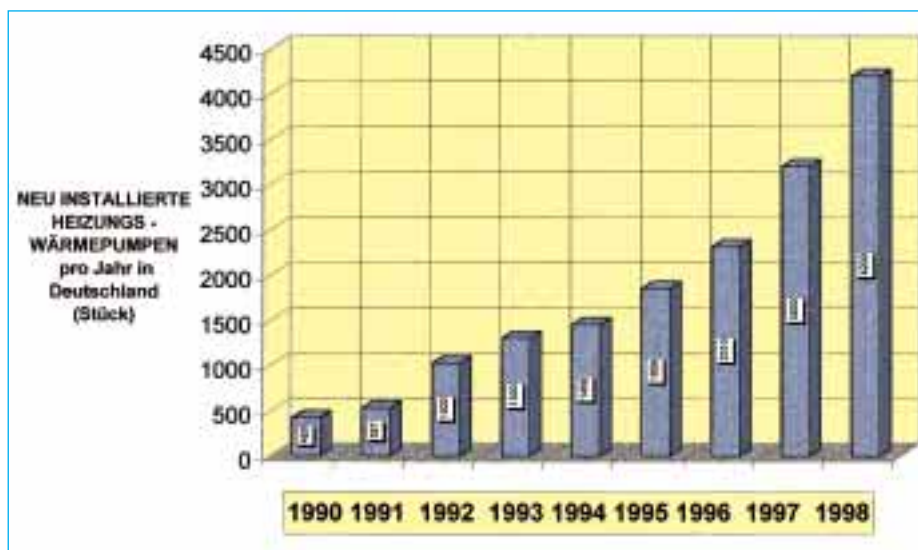


Abb. 1 Entwicklung der Verkaufszahlen von Heizwärmepumpen im deutschen Markt (Quelle: Stiebel-Eltron)



Abb. 2 Darstellung des Wirkungsprinzips eines Copeland-Compliant-Scroll-Verdichters

Vergleich der Kälteleistungszahl (Abb. 3) wird ein COP unter ARI Bedingungen von durchschnittlich 3,3 beim Scroll-Verdichter erreicht. Dieser Wert liegt um ca. 10 bis 20 % über dem COP-Wert eines vergleichbaren Hubkolbenverdichters.

Bei Betrachtung des COP über das Druckverhältnis  $P_c/P_o$  (Abb. 4) ist ebenfalls deutlich der Scroll-Verdichter im Vor-

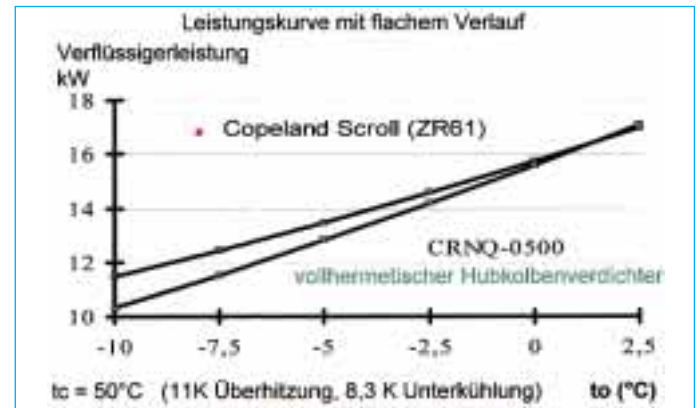
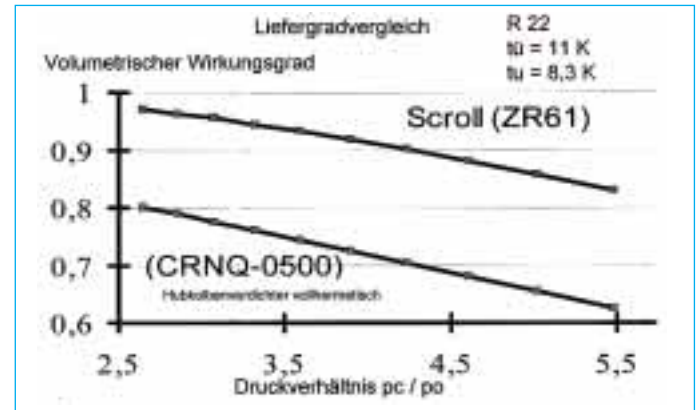


Abb. 6 Leistungskurve mit sehr flachem Anstieg bei Einsatz des Copeland-Scroll-Verdichters

### Scroll-Charakteristik im Vergleich zu Hubkolbenverdichtern

Bei der Beurteilung und Auswahl des Verdichters für den gewünschten Anwendungsfall werden die Kriterien wie Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit, Laufruhe und geräuscharmer Betrieb besonders geschätzt. Vergleicht man einen Copeland-Compliant-Scroll-Verdichter mit einem vollhermetischen Hubkolbenverdichter, werden entscheidende Vorteile gerade in der Wärmepumpenanwendung sichtbar. Beim

Abb. 5 Liefergradvergleich über das Druckverhältnis  $P_c/P_o$

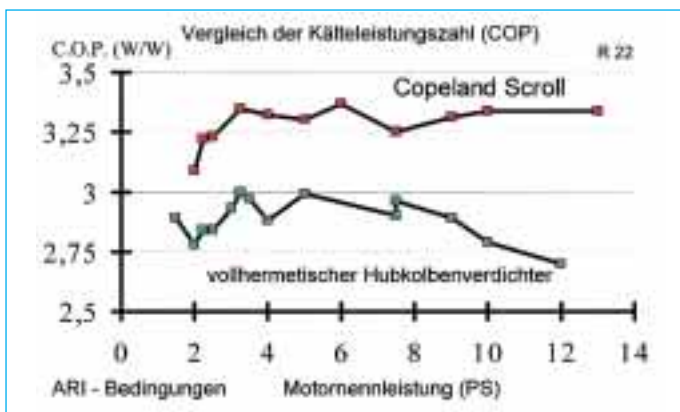
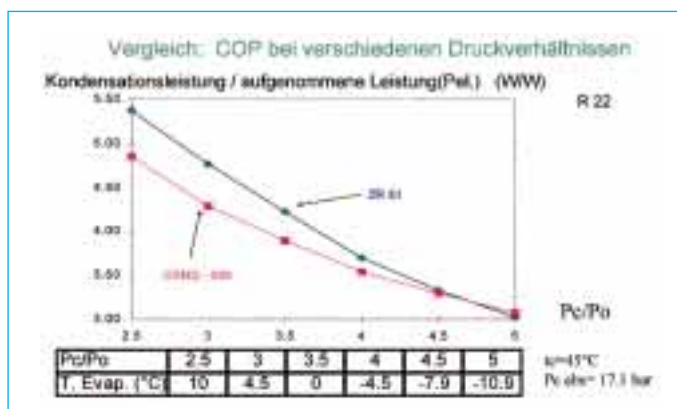


Abb. 3 Vergleich der Kälteleistungszahl zwischen Scroll- und Hubkolbenverdichter

Abb. 4 Beurteilung des COP in Bezug zum Druckverhältnis  $P_c/P_o$



teil. Es fällt besonders auf, daß bei den üblicherweise im Wärmepumpenbetrieb vorhandenen geringen Druckverhältnissen ( $P_c/P_o = \text{kleiner } 3$ ) der COP-Wert des Scroll-Verdichters besonders deutlich über dem eines vergleichbaren Hubkolbenverdichters liegt.

Der in Abb. 5 dargestellte Liefergradvergleich über das Druckverhältnis  $P_c/P_o$  zeigt ebenfalls einen bedeutend höheren Lambda-Wert über den gesamten Bereich beim Scroll-Verdichter. Aufgrund des daraus resultierenden hohen volumetrischen Wirkungsgrades ist der Scroll-Verdichter geradezu prädestiniert für die Wärmepumpenanwendung. Hinzu kommt, daß die Leistungskurve (Abb. 6) einen sehr fla-

chen Verlauf hat. Ein Leistungsabfall bei tieferen Verdampfungstemperaturen ist somit nicht gegeben. Diese Leistungskurve ist aus zwei Gründen ideal für den Wärmepumpenbetrieb. So wird erstens sichergestellt, daß bei niedrigen Außentemperaturen, wenn große Heizleistungen erforderlich sind, auch entsprechend Leistung zur Verfügung steht. Vielfach ist diese Leistung während der gesamten Heizperiode vollkommen ausreichend, so daß eine elektrische Zusatzheizung kaum zugeschaltet werden muß. Evtl. kann auf den Einsatz von elektrischen Zusatzheizungen vollkommen verzichtet werden. Bei Anstieg der Außentemperaturen reduziert sich naturgemäß der Heizungs-Wärmebedarf. Jetzt könnte die durch den Verdichter erbrachte Leistung über den tatsächlichen Bedarf steigen. Unerwünschtes häufiges Ein- und Ausschalten ist die Folge. Die Gefahr eines vorzeitigen Verdichterausfalls ist latent gegeben und darf nicht unerwähnt bleiben.

Abb. 7 Leistungskurvenvergleich Hubkolben- und Scrollverdichter im Wärmepumpeneinsatz



In Abb. 7 ist diese Auslegungsproblematik bei der Auswahl eines Hubkolben-Verdichters für den Wärmepumpeneinsatz dargestellt. Wird für den Hubkolbenverdichter der Auslegungspunkt  $T_0 = +2\text{ °C}$  gewählt, wird bei Verdampfungstemperaturen kleiner  $T_0 = +/- =0\text{ °C}$  eine sehr starke Leistungsreduzierung eintreten. Der Verdichter ist zu klein. Wird als Auslegungspunkt eine Verdampfungstempera-

tur von z. B.  $T_0 = -8\text{ °C}$  als Basis gewählt, kann bei Erhöhung der Verdampfungstemperatur auf  $T_0 = +2\text{ °C}$  die jetzt vorhandene Mehrleistung zum Takten des Verdichters führen. Die Lösung dieser Auslegungsproblematik könnte durch den Einsatz eines Scroll-Verdichters gelingen. Ein richtig ausgewählter Scroll-Verdichter (Abb. 7) sollte sowohl die Frage der Mehr- bzw. Mindere Leistung gar nicht erst aufkommen lassen.

### Geräuschverhalten

Nervige Geräuschemissionen können sehr schnell die gesamte Beurteilung eines Produktes nur negativ erscheinen lassen. Da Kleinwärmepumpen der Leistungsklassen bis ca. 14 kW Heizleistung besonders im Einfamilienhausbereich eingesetzt werden, stören schon die geringsten Nebengeräusche. Die hohe Erwartungshaltung der Endnutzer in dieser Frage wird oft zum wichtigen Entscheidungskriterium.

Der Scroll-Verdichter kann hier wieder überzeugen. Durch den besonderen Verdichtungsablauf im Scroll ist ein kontinuierlicher Gasfluß ohne nennenswerte Pulsationen gewährleistet. Die bei Hubkolbenverdichtern üblichen umkehrenden Kolbenhübe mit oszillierenden Massen und Massenkräfte entfallen.

Durch den Verzicht auf Arbeitsventile kann der Saug- und Druckgasfluß ungehindert erfolgen, so daß daraus resultierende Geräusche nicht entstehen können. Nicht unerwähnt bei dieser Thematik sollen die nur beim „Compliant“-Scroll vorhandenen Abrollmechanismen der beweglichen Spirale bleiben. Das durch das Compliance-Prinzip (Compliance = Beweglichkeit) mögliche Abrollen der beweglichen Spirale auf der festen Spirale ohne große Kontaktbelastung trägt wesentlich zum niedrigen Geräuschpegel des Copeland-Scroll-Verdichters bei.

Die Gesamt-Schall-Leistung des Compliant-Scroll liegt im Vergleich durchschnittlich 6 dB (A) unter dem Niveau vergleichbarer Hubkolbenverdichter. Vom Empfinden entspricht dies etwa viermal weniger Lärm oder vergleichbar mit dem Unterschied zwischen Straßenlärm und Bürogeräuschen.

Das Schallspektrum im Vergleich ist in Abb. 8 dargestellt. Hervorzuheben ist der gleichmäßige Geräuschpegel. Die von Hubkolbenverdichtern bekannten Geräuschspitzen, besonders bei niedrigen Frequenzen, entfallen.

Ein evtl. weiteres Verringern von Körperschallausbreitungen kann mit wenig Aufwand durch einfaches Isolieren des Verdichter-Gehäuses realisiert werden. In

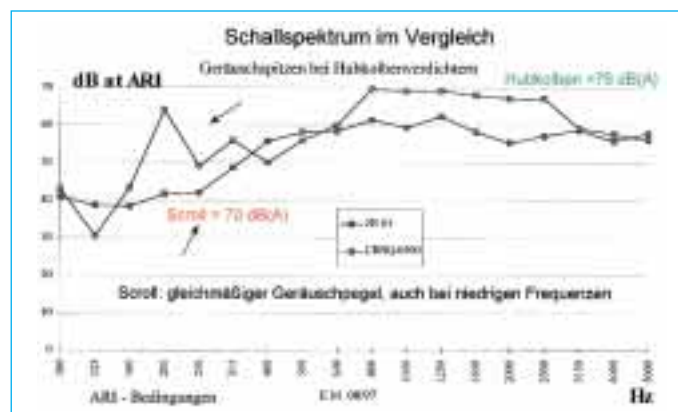


Abb. 8 Schallspektrum im Vergleich Hubkolben- und Scrollverdichter

aller Regel ist eine Isolierung des Kopfreiches schon ausreichend.

### Der Anwendungsbereich

Wärmepumpen können grundsätzlich in zwei Hauptgruppen unterteilt werden:

- luftgekoppelte Wärmepumpen,
- sonstige Wärmepumpen.

Wählt man aus der letztgenannten Gruppe Wasser/Wasser-Wärmepumpen aus, so wird es bezüglich der Verdichter-Anwendungsgrenzen kaum Probleme geben. Bei den Umgebungsbedingungen W10/W35 wird der Verdichter ohne Ausnahme im Bereich A (s. Abb. 9) seinen Betriebspunkt haben. Bei Luft/Wasser bzw. Luft/Luft-Wärmepumpen werden bei niedrigen Umgebungstemperaturen die Betriebspunkte auch in den Bereichen B oder C zu finden sein.

### Betriebskältemittel für Wärmepumpen

Aufgrund der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung muß ab dem Jahr 2000 auch für das zur Zeit noch relativ häufig verwendete R 22 ein Ersatzstoff gefunden werden. Werden die möglichen Alternativ-Kältemittel genauer betrachtet, bieten sich für WP-Neuanlagen nachfolgende Lösungen an: R 407 C, R 410 A oder die brennbaren Stoffe Propan bzw. Propylen.

R 407 C ist mittlerweile als Ersatzstoff für R 22 voll akzeptiert. Die Mehrzahl der Wärmepumpenhersteller bietet neben An-

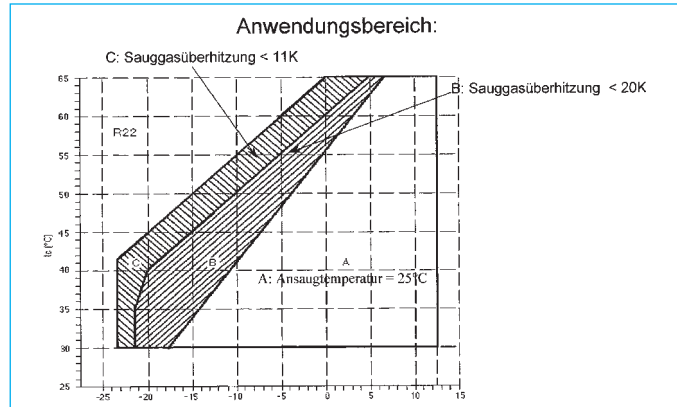


Abb. 9 Anwendungsbereiche der Scroll-Verdichter in Heizungswärmepumpen. Für Wasser/Wasser-Wärmepumpen gilt der Bereich „A“

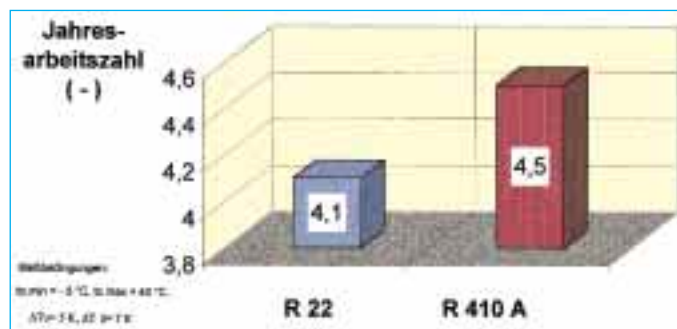


Abb. 10 Gemessene Jahresarbeitszahl für die Kältemittel R 22 und R 410 A mit verkleinertem Verdichter und Kapillarrohr-entspannung beim Einsatz von R 410 A

lagen mit R 22 auch mit R 407 C gefüllte Anlagen an. Analysen der im Schweizer Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum Töss vorgestellten Geräte belegen diesen Trend. Vergleichende Messungen an Wärmepumpen-Splitgeräten mit Kühlfunktion ergaben Abweichungen im Saison-Wirkungsgrad SEER (Tabelle 1) von ca. 5 % zu Gunsten von R 22 gefüllten Anlagen bei dem direkten Vergleich zu Anlagen mit R 407 C.

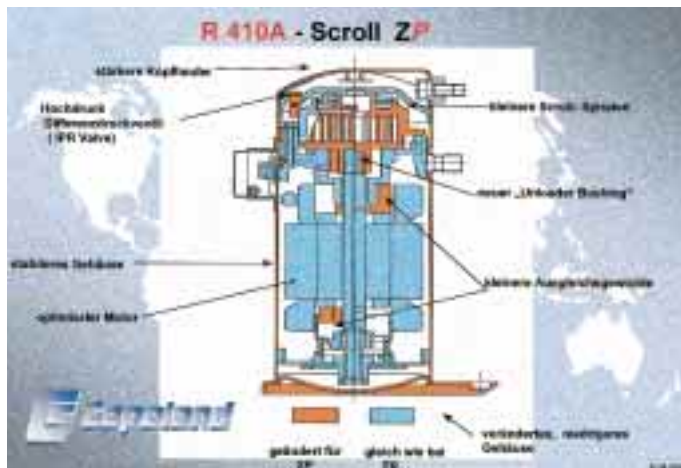
Wird unter sonst identischen Bedingungen der Saison-Wirkungsgrad zwischen Anlagen mit Copeland-Scroll-Verdichtern und vollhermetischen Hubkolbenverdichtern ermittelt, kann eine SEER-Wirkungsgradverbesserung von ca. 8 % ermittelt werden.

Werden brennbare Kältemittel aus grundsätzlichen Erwägungen (Unfallrisiko, unklare Rechtslage) ausgeklammert, bleibt als langfristige Alternative das Kältemittel R 410 A für die Wärmepumpenanwendung interessant. Im Vergleich zu R 22, R 407 C oder Propan kann mit kleineren Verdichterbaugrößen eine gleichwertige bzw. bessere Jahresarbeitszahl realisiert werden. Umfangreiche Praxismessungen bestätigen die im theoretischen Vergleich ermittelten Werte. So hat die Firma Heliotherm Solartechnik, Österreich, bereits frühzeitig die Einsparpotentiale bei Einsatz von R 410 A durch Verkleinerung der Verdichterbaugröße und den äußeren Geräteabmessungen, Wegfall von zusätzlichen Sicherheitseinrichtungen bei Verzicht auf brennbare Kältemittel, sowie

Vergleich Kältemittel R22 / R407C													
Frankfurt /M.	Heizbetrieb					Kühlbetrieb				Heizbetrieb			SEER
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Faktor	100%	86%	50%	38%	32%	21%	36%	29%	7%	38%	60%	86%	
t umg.	6	7	12	16	19	23	25	24	21	16	10	7	
t <sub>o</sub>	-6	-5	0	4	7	2,5	2,5	2,5	2,5	4	-2	-5	
t <sub>c</sub>	45	45	45	45	45	41	43	42	39	45	45	45	
Scroll ZR61KC	R 22												
Kälteleistung W						13391	13096	13244	13679				
P el. W	3495	3501	3546	3607	3673	3304	3439	3371	3174	3607	3525	3501	
Heizleistung W	12350	12760	14980	16950	18540					16950	14060	12760	
COP Heizen	3,53	3,64	4,22	4,7	5,05					4,7	3,99	3,64	3,97
COP Kühlen						4,05	3,81	3,93	4,31				
Scroll ZR61KCE	R 407C												
Q <sub>o</sub> W						13584	13214	13400	13948				
P el. W	3750	3760	3785	3800	3810	3472	3630	3550	3322	3800	3775	3760	
Heizleistung W	12380	12800	15140	17260	19010					17260	14170	12800	
COP Heizen	3,30	3,40	4,00	4,54	4,99					4,54	3,75	3,40	3,77
COP Kühlen						3,91	3,64	3,77	4,2				
Delta COP W/W	7%	7%	6%	3%	1%	4%	5%	4%	3%	3%	6%	7%	5%

Tabelle 1 Vorteile der Copeland-Scroll-Verdichter im Wärmepumpeneinsatz  
 $\Delta t$  Verdampfer = 12 K im Heizbetrieb (Annahme),  $\Delta t$  Verflüssiger = 8 K im Kühlbetrieb (Annahme),  
 $t_c = 45 \text{ °C}$  im Heizbetrieb,  $t_o = 2,5 \text{ °C}$  im Kühlbetrieb, Überhitzung = 11 K, Flüssigkeitsunterkühlung = 1 K

Abb. 11  
Copeland R 410A-  
Baureihe „ZP“



gleichzeitige Verbesserung der Jahresarbeitszahl, erkannt.

Die mit Copeland-Scroll-Verdichtern für R 410 A durchgeführten Langzeittests ergaben fast 10 % günstigere Jahresarbeitszahlen (Abb. 10) gemessen im direkten Vergleich zu Anlagen mit R 22. Aufbauend auf diese positiven Ergebnisse, wird Copeland die R 410A-Scroll-Baureihe „ZP“ (Abb. 11) ab Herbst 98 mit zunächst

4 Modellen speziell für den Wärmepumpenmarkt anbieten. Langfristig gesehen, sind bei Wahl von R 410A Kosteneinsparungen in der Größenordnung von 15 % bis 20 % für die Wärmepumpenhersteller realistisch. Auch unter Umweltaspekten spricht nichts gegen R 410A. Die TEWI Werte von R 410A-Wärmepumpen sind zumindest gleichwertig zu R 22 oder Propangefüllten Anlagen.

## Warum Scroll-Verdichter in Wärmepumpen?

Das war die Ausgangsfrage. Am einfachsten kann die Antwort durch einen Vergleich der für den Anwender wichtigen Fakten beantwortet werden. Diese sind:

- Robust und zuverlässig,
  - weitgehend resistent gegen unvermeidliche Flüssigkeitsschläge,
- ideale Leistungskurve für die Wärmepumpenanwendung,
- kaum Wärmeverluste durch Abstrahlung über das Verdichtergehäuse,
- konkurrenzlose Jahresarbeitszahlen realisierbar,
- Flüsterbetrieb im Vergleich zu vollhermetischen Hubkolbenverdichtern,
- zukunftssicher, auch alternative Hochdruckkältemittel sind beherrschbar.

Diese Fakten haben die Mehrzahl der Wärmepumpenhersteller zumindest überzeugt. □

**Literatur/Quellenverzeichnis**  
Stiebel Eltron, Holzminden  
Heliotherm Solartechnik, Kirchberg, Österreich

## Wird der Bundesrat dupiert?

Auf absolute Tauchstation geht derzeit das Bundesumweltministerium bis hoch zum Abteilungsleiter im Rang eines Ministerialdirektors. Es werden auch keine sachlichen Anfragen mehr beantwortet, ein äußerst bemerkenswerter Umgang mit der Fachpresse! Kostprobe. Der KK-Chefredakteur beehrte am 5. Mai bei Ministerialdirektor Hohnstock schriftlich mit nachfolgendem Wortlaut Auskunft:

„Ich nehme dieses Schreiben nun auch zum Anlaß, bei Ihnen anzufragen, ob die Bundesrat-Drucksache 299/98 vom 18. 3. 1998 nach wie vor Gültigkeit hat, oder inzwischen widerrufen wurde. Bekanntlich hatte Frau Bundesumweltministerin Dr. Angela Merkel unter diesem Datum dem Präsidenten des Bundesrates einen abschließenden Bericht der Bundesregierung zum vorliegenden „Bericht der Bundesregierung über Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht“ übersandt. Darin enthalten ist die Feststellung (Zitat):

„Mit der Bekanntgabe von Ersatzkältemitteln für den Fluorchlorkohlen-

wasserstoff (FCKW) R 12 durch das Umweltbundesamt am 21. Dezember 1995 (Bundesanzeiger vom 30. Dezember 1995 S. 12 994) ist dessen Verwendung in Kälteanlagen nach dem 30. Juni 1998 untersagt.“

Ich bitte um kurzfristige Überprüfung der Rechtsqualität der Bundesratsdrucksache 299/98 und um einen verwertbaren Bescheid, den ich in meine persönliche Mitteilung an den Präsidenten des Bundesrates einfließen lassen möchte.“

Kein Bescheid, stattdessen hat sich Ministerialdirektor Hohnstock Ende Mai in den wohlverdienten Ruhestand verabschiedet. Seltsam.

Nicht auf Tauchstation gehen dafür andere und handeln ökologisch vorbildlich. Zum Beispiel das Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt. Dieses hat mit Datum vom 19. Mai ein Informationsblatt zum Ablauf der Umstellungsfrist auf FCKW-freie Kältemittel zur vielfältigen Veröffentlichung herausgebracht. Kostprobe:

„Wie bereits mehrfach angekündigt, läuft die Übergangsfrist für die Umstellung der FCKW-betriebenen Kälte- und Klimaanlage auf die bekanntgegebenen Ersatzstoffe am 30. 6. 1998 aus.“

Weitere Kostprobe. Das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung gibt am 19. Mai folgende schriftliche Weisung heraus:

„Bis zum 30. 6. 1998 müssen Anlagen mit dem Kältemittel R 12 umgerüstet sein. Als Ersatzkältemittel stehen unter anderem R 134a und R 22 zur Verfügung ... [...] Ausgenommen hiervon sind steckerfertige Geräte, in denen das Kältemittel in einem hermetisch geschlossenen Kreislauf geführt wird und die Kältemittelmenge unter 1 kg liegt.“

Mittlerweile geht der juristische Eiertanz einer Mehrzahl von BMU-Juristen um „R 12, die heiße Ware zum Kühlen“ wohl weiter – und die ökologischen Ziele der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung sowie der Umgang mit der Fachpresse nehmen Schaden.

P. W.