

Vergleich von Kältemittel-Optionen zu R 22

Umrüstung einer Carrier 10,5 kW Klimagerät-Wärmepumpe

P. F. Hearty, J. W. Linton, W. K. Snelson, Ottawa (Kanada)

HFCKW sind nach wie vor wertvolle Austauschstoffe für FCKW in zahlreichen Anwendungsgebieten der Kälte- und Klimatechnik. Ihre Aufnahme in das Montrealer Protokoll und nationale Gesetze bedeutet jedoch, daß die Tage für HFCKW bald auch in Altanlagen gezählt sind. Daher untersuchen mehr und mehr Unternehmen die Alternativen.

Für Konstrukteure von Neuanlagen ist die Auswahl recht groß und mehrere Optionen wie HFKW, Kohlenwasserstoffe, und Ammoniak kommen in Betracht. Für die Umrüstung bestehender Anlagen gibt es jedoch nur wenige geeignete Austauschstoffe, die keine größeren Änderungen an der Anlage erfordern.

Unter den nicht-entzündlichen Optionen hat sich R 407C als Hauptkandidat zum direkten Austausch von R 22 durchgesetzt. R 410A wird in Zukunft für einige Anwendungsgebiete ein wichtiges Produkt sein, jedoch immer auf den Einsatz in Neuanlagen beschränkt bleiben, da höhere Drücke, niedrige kritische Temperatur und hohe volumetrische Kälteleistung den Einsatz auf speziell dafür ausgelegte Anlagen begrenzen.

Ammoniak, Kohlenwasserstoff-Kältemittel und HFKW-Kohlenwasserstoff-Gemische werfen ebenfalls schwierige Fragen auf hinsichtlich ihres Einsatzes in bestehenden R 22-Anlagen, entweder aufgrund der mit hochentzündlichen, explosiven Produkten verbundenen Risiken oder aufgrund der Giftigkeit.

Bei der Bewertung geeigneter „Umrüstungsoptionen“ für Betriebe, die HFCKW nicht mehr einsetzen wollen, ragen zwei Produkte heraus: R 407C und eine neues,

bisher noch nicht vom ASHRAE klassifiziertes Gemisch, welches aus R 125, R 134a und Isobutan (im Massenverhältnis 46 %, 50 %, 4 %) besteht und als ozonverträgliches „Drop-In“ angeboten wird. Der Papierform nach sind beide Kältemittel in der Nennzusammensetzung nicht-entzündlich, beide sind ozonverträglich und beide werden als geeignete Austauschstoffe für R 22 angeboten. Das neue Gemisch zielt auf die Verwendung mit Mineralölen, während für R 407C Polyolesteröle (POE) empfohlen werden. Wie schneiden diese Kältemittel nun im Leistungsvergleich ab? In dieser Arbeit werden beide Kältemittel mit R 22 unter genau kontrollierten Bedingungen in einer typischen Anwendung verglichen, einem Wärmepumpe-Klima-Kombinationsgerät für Wohngebäude.

Vergleiche

Die Leistungen wurden mit einem Kalorimeter nach den Bewertungsrichtlinien des Air Conditioning and Refrigeration Institute (ARI) und der Canadian Standards Association (CSA) ermittelt.

In Tabelle 1 sind die fünf Normbedingungen für Innen und Außen für ein kombiniertes Luft/Luft-Wärmepumpe-Klima-Splitgerät aufgeführt.

Die Leistungen von R 407C und vom Gemisch (46, 50, 4) wurden mit dem gleichen offenen Kolbenverdichter und bei der gleichen Drehzahl wie R 22 gemessen (als sogenannter drop-in Vergleich). Leistungsparameter wie Kompressorantriebsleistung an der Welle, Kälte- und Heizleistung, Kältemittelmassenstrom, sowie Kälte- und Heizleistungszahl (COP) wurden gemessen.

zu den Autoren

P. F. Hearty,
J. W. Linton,
W. K. Snelson
wissenschaftliche Mitarbeiter im Thermal Technology Centre des National Research Council, Canada



Kältemittelzusammensetzungen

R 407C ist ein Gemisch aus R 32, R 125 und R 134a im Massenverhältnis 23 %, 25 %, 52 %. Das neue getestete Gemisch besteht aus R 125, R 134a und R 600a (Isobutan) im Massenverhältnis 46 %, 50 %, 4 %. Das Ziel der Untersuchung war der Leistungsvergleich von R 407C und dem Gemisch (46, 50, 4) mit R 22 unter Umrüstungsbedingungen bei Verwendung des gleichen Kompressors und bei gleicher nomineller Kompressordrehzahl.

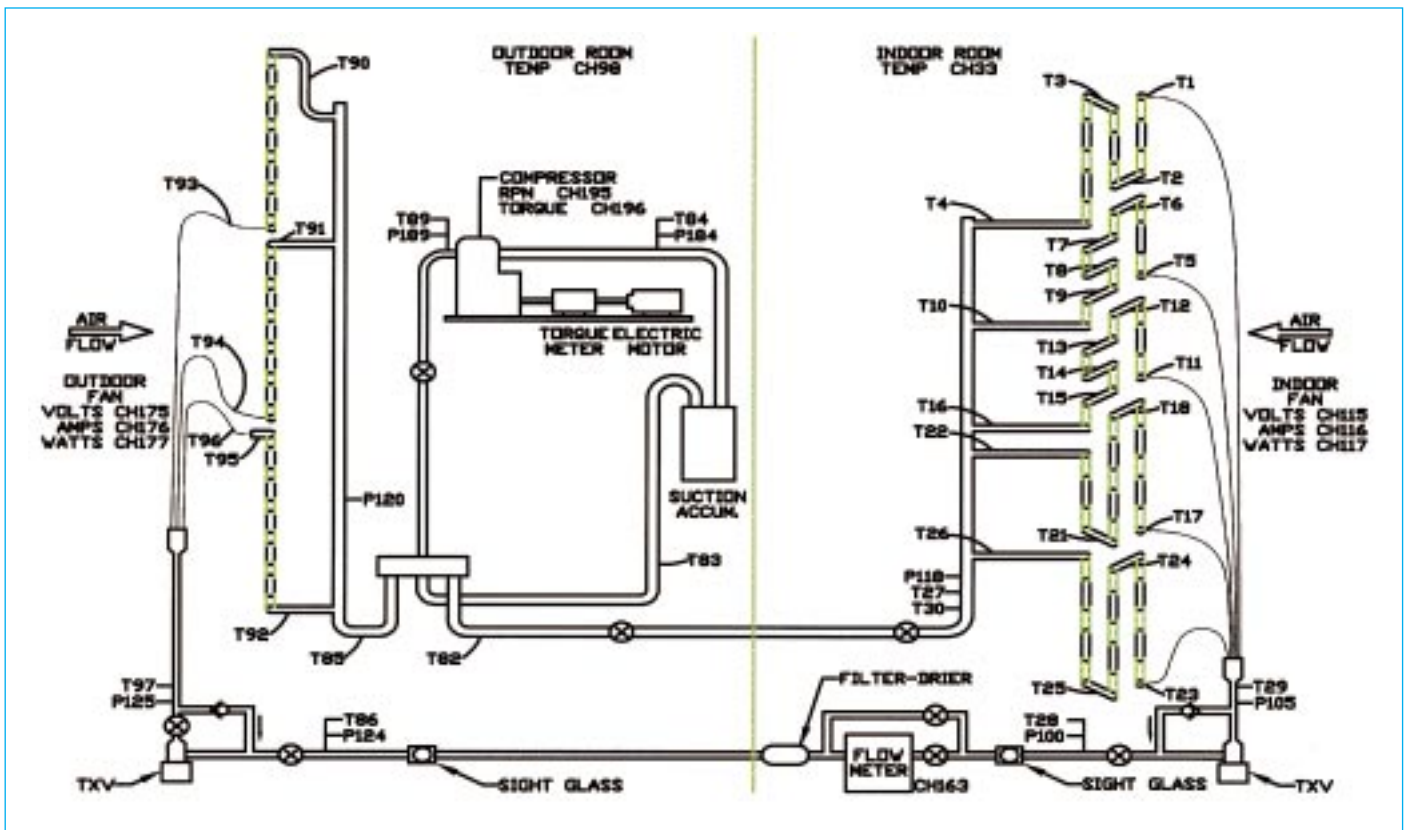


Bild 1 Schema der Wärmepumpe mit Instrumentierung

Die Untersuchung wurde auf der Kalorimeter-Testanlage beim Thermal Technology Centre des Canadian National Research Council durchgeführt. Das Kalorimeter besteht aus zwei klimatisierten Testkammern mit exakter Kontrolle von Lufttemperatur und Feuchte zur Simulation der Bedingungen für „Innen“ und „Außen“.

Um das Drehmoment des Motors und damit die Leistung bestimmen zu können, wurde der ursprünglich in die Anlage eingebaute Hermetik-Kolbenverdichter gegen einen offenen Zweizylinder Bock-Kolbenverdichter mit Antrieb durch einen 10 PS Elektromotor mit variabler Drehzahl ausgetauscht. Die Originalausführung der Wärmepumpe umfaßte weiterhin Kapillaren als Expansionsorgane in den Innen- und Außeneinheiten. Der Wärmetauscher im Innengerät bestand aus einem Lamellen-Rohr-System mit drei Rohrreihen und fünf Kältemittelzuführungen.

Zur Sicherstellung eines fairen Vergleiches zwischen beiden Kältemittelgemischen und R 22 war es notwendig, die Betriebsbedingungen des Kältekreislaufs zu definieren. Die Verdampfungstemperatur wurde definiert als das Mittel aus der Taupunkttemperatur beim Verdampferaustrittsdruck und der Verdampfer Eintrittstemperatur. Die Kondensationstempera-

tur wurde definiert als das Mittel aus Taupunkt und Blasenpunkt beim mittleren Kondensationsdruck. Die Überhitzung wurde ausgehend vom Taupunkt beim Kompressorausdruck bestimmt, die Unterkühlung wurde entsprechend ausgehend vom Blasenpunkt beim Druck am Expansionsventileinlaß ermittelt. Die Quelle der thermodynamischen Stoffdaten war für alle Kältemittel REFPROP Version 4.0.

Bild 1 zeigt die Lage der Meßpunkte an der umfassend instrumentierten Anlage. Zur Ermittlung der stationären Kälte- und Heizleistungen wurden Luftenthalpien und Kältemittel-Massenströme herangezogen. Die Energiebilanzen zwischen Luft- und Kältemittel-seite waren besser als 3%. Die in dieser Arbeit dargestellten Leistungszahlen (COP) basieren auf der Leistungsaufnahme an der Kompressorwelle. Die einzigen weiteren Änderungen an der Anlage waren die Installation von elektro-

nischen Expansionsventilen (EEV) und von Bypassventilen anstelle der werkseitigen Kombinationsventile mit festem Durchlaß und Bypass. Die EEV erlaubten die exakte Einstellung der Überhitzung für jedes Kältemittel.

Testmethode

Kältemittelfüllmenge und Expansionsventile wurden für jedes Kältemittel auf den optimalen Wirkungsgrad bei Testbedingung „A“ eingestellt. Die Ventileinstellung der Testbedingung „A“ wurde dann fixiert, um den Betrieb mit fester Öffnung zu simulieren. Nominelle Kompressordrehzahl und Kältemittelfüllmenge wurden für alle anderen Betriebsbedingungen beibehalten.

Entsprechend wurde für den Heizmodus die Ventilöffnung auf maximale Heizleistung bei der Hochtemperatur-Testbedingung eingestellt und diese Einstellung ebenso wie die nominelle Kompressordrehzahl und die Kältemittelfüllmenge für die anderen Tests im Heizmodus beibehalten. Die Einstellung der Expansionsventile auf diese Art und Weise ermöglicht eine gute Simulation der Anlagenleistung mit den werkseitig eingebauten Expansionsorganen mit fester Öffnung.

Die Leistungsmessungen mit R 22 und R 407C wurden mit einem ISO VG32 Polyol-Esteröl durchgeführt. Für die Leistungsmessungen mit dem Gemisch (46, 50, 4) wurde das ISO VG32 Mineralöl Calumet C-3 (R015) verwendet.

Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die Betriebsbedingungen für den Klima- und den Heizbetrieb dargestellt.

Tab. 1 Testbedingungen

Test	Innentemperatur °C	Innen (Feuchtkugel) °C	Innen Relative Feuchte	Außentemperatur °C	Außen (Feuchtkugel) °C	Außen Relative Feuchte
Klima 'A'	27.0	19.0	47%	35.0	---	N.B.
Klima 'B'	27.0	19.0	47%	28.0	---	N.B.
Klima 'Maximum'	27.0	19.0	47%	40.0	---	N.B.
Heizen (niedrige Temp.)	21.0	16.0	60%	-8.3	-9.4	68%
Heizen (hohe Temp.)	21.0	16.0	60%	8.3	6.1	73%

Tabelle 2 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse für R 22, R 407C und das Gemisch (46, 50, 4). Die gemessenen Werte für Kälte- und Heizleistungen wurden geringfügig angepaßt, um die entsprechenden Werte bei der mit R 22 verwendeten Kompressordrehzahl von 1683/min zu erhalten. Diese Anpassung war kleiner als 2,5 % bei R 407C und kleiner als 0,5 % beim Gemisch (46, 50, 4).

Zusammenfassung der Leistungsmessungen

Leistungszahlen (COP)

Leistungszahlen (COP) für die verschiedenen Bedingungen im Klima- und Heizmo-

Tab. 2 (a) Leistungszahlen

Leistungszahl (COP)	Klima Test 'A'	Klima Test 'B'	Klima 'Maximum'	Heizen 'Niedrige Temperatur'	Heizen 'Hohe Temperatur'
R-22	3.5	4.1	3.2	3.5	4.2
R-407C	3.3 (94%)	3.8	2.9	3.3	4.1
Gemisch (46,50,4)	3.3 (94%)	3.7	2.9	3.3	4.2

du sind in Tabelle 2 (a) dargestellt. Die COP-Werte wurden aus den entsprechenden luftseitig gemessenen Kälte- und Heizleistungen und den Eingangsleistungen an der Kompressorwelle ermittelt.

Kälteleistung

Alle Meßwerte der Kälte- und Heizleistung wurden angepaßt, um die Leistungen bei der mit R 22 benutzten Kompressordrehzahl (1683/min) wiederzugeben. Messungen mit R 407C wurden bei 1725/min

4) erfolgten bei 1690/min, sie wurden entsprechend um 0,4 % angepaßt.

Tabelle 2 (b) zeigt die Kälteleistungen für die drei Testbedingungen im Klimabereich. Die experimentellen Daten der Kälteleistungen wurden aus Messungen der Luftenthalpien zwischen Einlaß und Auslaß der Inneneinheit bestimmt. Bei der Bedingung „A“ lag die Kälteleistung mit dem Gemisch (46, 50, 4) um mehr als 20 % unter dem mit R 22 erhaltenen Wert. Deutlich reduzierte Kälteleistungen mit dem Gemisch (46, 50, 4) zeigen sich auch bei den Bedingungen „B“ und „Maximum“. Die Kälteleistungsverluste mit R 407C betragen ungefähr 3 %-6 % über die Bandbreite der Bedingungen im Klimabetrieb.

Heizleistung

Die durch Messen der Luftenthalpien zwischen Einlaß und Auslaß der Inneneinheit experimentell bestimmten Werte der Heizleistungen sind ebenfalls in Tabelle 2 (b) dargestellt. Die Werte zeigen wiederum eine reduzierte Heizleistung mit dem Gemisch (46, 50, 4), die Einbußen gegenüber R 22 betragen hier zwischen 11 und 15 %. Andererseits ergibt R 407C um 2 % bis 10 % höhere Heizleistungen als R 22.

Kälte- und Heizleistung (kW)	Klima Test 'A'	Klima Test 'B'	Klima 'Maximum'	Heizen 'Niedrige Temperatur'	Heizen 'Hohe Temperatur'
R-22	10,6	10,8	10,2	6,1	10,6
R-407C	10,3 (97%)	10,5	9,6	6,7 (110%)	10,8
Gemisch (46,50,4)	8,2 (77%)	8,3	7,9	5,4 (88%)	9,0

Tab. 2 (b) Kälte- und Heizleistungen (bei 1683/min)

durchgeführt, daher wurden die gemessenen Kälteleistungen vor der Einbringung in die Ergebnistabelle um ca. 3 % reduziert. Messungen mit dem Gemisch (46, 50,

Verdichterauslaßtemperatur

Tabelle 2 (c) zeigt die im Klimabetrieb gemessenen Verdichterauslaßtemperaturen. Die Verdichterauslaßtemperaturen mit R 22 sind hauptsächlich aufgrund seines relativ niedrigen Molekulargewichts (relative Molmasse von 86.5) am höchsten. Die nominellen Verdichterauslaßtemperaturen mit R 407C liegen um 5 K unter de-

Tab. 2 (c) Verdichterauslaßtemperaturen im Klimabetrieb

Auslaßtemperatur (°C)	Klima Test 'A'	Klima Test 'B'	Klima 'Maximum'
R-22	86.0	84.0	84.0
R-407C	82.0	79.0	—
Gemisch (46,50,4)	71.0	69.0	72.0

nen mit R 22. Das Gemisch (46, 50, 4) mit seiner relativ hohen Molmasse von 105.6 ergibt gegenüber R 22 um etwa 15 K niedrigere Verdichterauslaßtemperaturen.

Leistungsabschätzung

Die niedrigere Kälteleistung mit dem Gemisch (46, 50, 4) kann anhand seiner thermodynamischen Stoffdaten erklärt werden. Bei einer ungefähr dem Klimabetrieb entsprechenden Verdampfungstemperatur von 0 °C ist es möglich, für jedes Kältemittel die Verdampfungsenthalpie und die Dichte des Sattdampfes zu bestimmen.

Tab. 3 Bestimmung der Kälteleistung aus thermodynamischen Stoffdaten

	Spalte 1 Verdampfungsenthalpie (kJ/kg)	Spalte 2 Sattdampfdichte (kg/m³)	Spalte 1 * Spalte 2 Volumetrische Kälteleistung (kJ/m³)
R-22	204.8	21.6	4415.0
R-407C	220.0	20.8	4578 (104%)
Gemisch (46,50,4)	178.2	19.8	3528 (80%)

Das Produkt dieser Werte ist ein Maß für die zu erwartende Kälteleistung. Die so abgeschätzten in Tabelle 3 dargestellten Kälteleistungen stimmen recht gut mit den experimentell bestimmten Werten überein.

Zusammenfassung

Die Messungen ergaben für R 407C und das Gemisch (46, 50, 4) ungefähr gleiche Leistungszahlen, die Werte lagen für beide Kältemittel etwa 6 % niedriger als mit R 22. Jedoch wird deutlich, daß das Gemisch (46, 50, 4) bei allen drei Bedingun-

gen im Klimabetrieb eine gegenüber R 22 um mehr als 20% niedrigere Kälteleistung aufweist. Im Wärmepumpenbetrieb lag die Heizleistung ebenfalls unter derjenigen mit R 22. Im Vergleich dazu lag die Kälteleistung mit R 407C viel näher an der mit R 22 und die Heizleistung im Wärmepumpenbetrieb übertraf diejenige mit R 22.

Beide Kältemittel bieten eine umrüstbare Alternative zu R 22. R 407C erfordert die Verwendung von Esteröl, während das andere Gemisch in einigen Anlagen die Verwendung von Mineralöl erlauben könnte. Die Auswahl des Kältemittels für Um-

rüstungen beruht daher auf der Gewichtung der benötigten Anlagenleistung einerseits und des Wunsches, das bisherige Mineralöl weiter zu verwenden, andererseits. □

Leerlauf von Elektrogeräten vergeudet große Mengen Energie

Durch zeitweise unbenutzte, im Leerlauf betriebene Elektrogeräte werden in Europas Haushalten und Büros große Mengen Energie verschwendet: In der Europäischen Union verbrauchen zeitweise unbenutzte und trotzdem eingeschaltete Elektrogeräte schätzungsweise rund 100 Milliarden Kilowattstunden (kWh) Strom. Das entspricht pro Jahr einem Ausstoß von 40 Millionen Tonnen des wichtigsten Klimagases Kohlendioxid (CO₂) – soviel, wie die gesamte Schweiz jährlich ausstößt. Zu diesen Ergebnissen kommt eine neue Studie im Auftrag des Bundesumweltministeriums und des Umweltbundesamtes, die heute auf einer Veranstaltung der IEA (Internationale Energieagentur der OECD) in Paris vorgestellt wurde. Allein in Deutschland werden in Haushalten und Büros mindestens 11 % des Stroms durch Leerlaufverluste von Elektrogeräten verbraucht. Zur Erzeugung dieser 20 Milliarden kWh sind zwei Großkraftwerke notwendig. Der CO₂-Ausstoß durch diese Verluste ließe sich in den nächsten zehn Jahren durch geeignete Technik und bewußtes Käuferverhalten um 43 % verringern. Dadurch könnten in Deutschland jährlich rund 2 Milliarden DM Stromkosten gespart werden.

Auf den Energieverbrauch zu achten, rechnet sich: Bei einem durchschnittlich ausgestatteten Haushalt (Fernseh- und Videogerät, HiFi-Komplett-Anlage, Elektroherd mit Uhr und Wasser-Kleinspeicher) ergibt sich eine Leerlaufleistung von insgesamt rund 50 Watt. Bei einem Strompreis von 30 Pf pro kWh führt dies zu einem Verlust von rund 130 DM pro Jahr: mehr als 1/10 der Stromgesamtkosten eines Durchschnittshaushaltes.

Bezogen auf 1995 führen die Leerlaufverluste in Deutschland zu einem CO₂-Ausstoß von rund 14 Millionen Tonnen. Das entspricht 1,5 % des CO₂-Gesamt-Ausstoßes in Deutschland. Würden heutige Geräte durch die derzeit am Markt erhältlichen energieeffizientesten Neugeräte ersetzt, würde dies bei heutiger Zahl der Geräte den Leerlaufstrom und den CO₂-Ausstoß um 60 % gegenüber dem gegenwärtigen Stand senken (Quelle Umweltbundesamt).