

Ausstieg aus R 22

Anforderungen an Komponenten- und Systemauslegung beim R 22-Ausstieg*

Hermann Renz, Sindelfingen

Die derzeit aussichtsreichsten R 22-Substitute werden vorgestellt und ihre Eignung in verschiedenen Anwendungen beurteilt. Anhand der spezifischen Eigenschaften und Stoffdaten werden auch die wichtigsten Kriterien zur Komponenten- und Systemauslegung aufgezeigt – u. a. mit Blick auf verschiedene Bauarten von Verdrängerverdichtern und deren jeweils günstigste Betriebsweise.

Einführung

Bekanntlich werden schon seit einigen Jahren chlorfreie HFKW-Kältemittel und -Gemische als R 22-Substitute angeboten und auch in realen Anlagen verwendet. Zudem kommen Kohlenwasserstoffe und Ammoniak in erweitertem Umfang zum Einsatz.

Inzwischen wurde auch eine größere Anzahl von Fallstudien veröffentlicht, deren Ergebnisse zu relativ kontroversen Auffassungen über den idealen Ersatzstoff führen. Aus dieser Situation resultieren schon heute sehr unterschiedliche Entwicklungskonzepte für Neuprodukte und Retrofit-Maßnahmen.

Unabhängig davon zeigen bereits die Stoffdaten und vergleichende Testprogramme [1], daß keine dieser Alternativen das Kältemittel R 22 in allen Belangen ersetzen kann. Dies gilt besonders unter dem Gesichtspunkt bestehender Anlagen, deren sicherer und wirtschaftlicher Betrieb auch nach einer Umstellung gewährleistet sein muß. Dieser Sachverhalt

zum Autor

Hermann Renz,
Leiter Anwendungstechnik in der Firma Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH, Sindelfingen



schränkt die Anwendung der verfügbaren Alternativen ein und erschwert damit eine einfache Umstellung.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen in erster Linie auf die klassischen R 22-Anwendungen (Klima-/Nor-

Verfügbare Alternativen und deren allgemeine Bewertung

Bei der Beurteilung verfügbarer Alternativen (Bild 1) zeigt sich, daß die Möglichkeiten mit direkt vergleichbaren Einstoff-kältemitteln stark eingeschränkt sind. Aus der Kategorie nicht-brennbarer HFKW kommt nur R 134a in Betracht, dessen volumetrische Kälteleistung aber im Vergleich zu R 22 wesentlich niedriger ist. Für eine definierte Kapazität wird dadurch ein Verdichter mit höherem Fördervolumen erforderlich.

Hinsichtlich des Leistungsverhaltens eher vergleichbar sind die zeotropen Gemische R 407C und Isceon 59, die aber bedingt durch große Siedepunktunterschiede der Einzelkomponenten einen ausgeprägten Temperaturglide [2] aufweisen.

Günstigere Bedingungen in dieser Hinsicht bieten die nahe-azeotropen bzw.

R22-Substitute		
HFKW-Kältemittel		Halogenfreie Kältemittel
Einstoff-Kältemittel	Gemische (Blends)	Einstoff-Kältemittel
R134a	R407C (R32/125/134a) Isceon 59 (R125/134a/600a) R404A (R125/143a/134a) R507 (R125/143a) R410A (R32/125)	R290 (Propan) R1270 (Propylen) R717 (NH ₃)

Bild 1 Alternativkältemittel für R 22 (strukturelle Übersicht)

malkühlung) und berücksichtigen nur Kreisprozesse mit unterkritischer Betriebsweise. Außerdem wird Ammoniak wegen der relativ umfassenden Einsatzkriterien nicht in allen Belangen berücksichtigt.

azeotropen Kältemittel R 404A und R 507. Zu berücksichtigen sind allerdings die höheren Drucklagen, Dampfdichten sowie Massenströme und die relativ niedrige kritische Temperatur. Sie schränken den wirtschaftlichen Einsatz bei höheren Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen erheblich ein.

Das Azeotrop R 410A wird häufig als „die Zukunftslösung“ dargestellt, wobei

* Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV vom 19.-20. 11. 1998 in Würzburg.

Leistungsverhalten von Verdichtern – resultierende Auslegungs- und Anwendungskriterien

Die in Bild 2 dargestellten Leistungsdaten zeigen eine große Bandbreite zwischen den in Frage kommenden Kältemitteln. Die Unterschiede resultieren hauptsächlich aus der stoffspezifischen volumetrischen Kälteleistung, sind aber auch durch das Liefergradverhalten des Verdichters bestimmt. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß Liefer- und Gütegrad nicht nur von Druckverhältnis und Drucklage, sondern – in Abhängigkeit von Verdichterbauart und Kältemittel – auch von einer Reihe kältemittelrelevanter Faktoren bestimmt wird. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die optimale Betriebsweise von Verdichter und System.

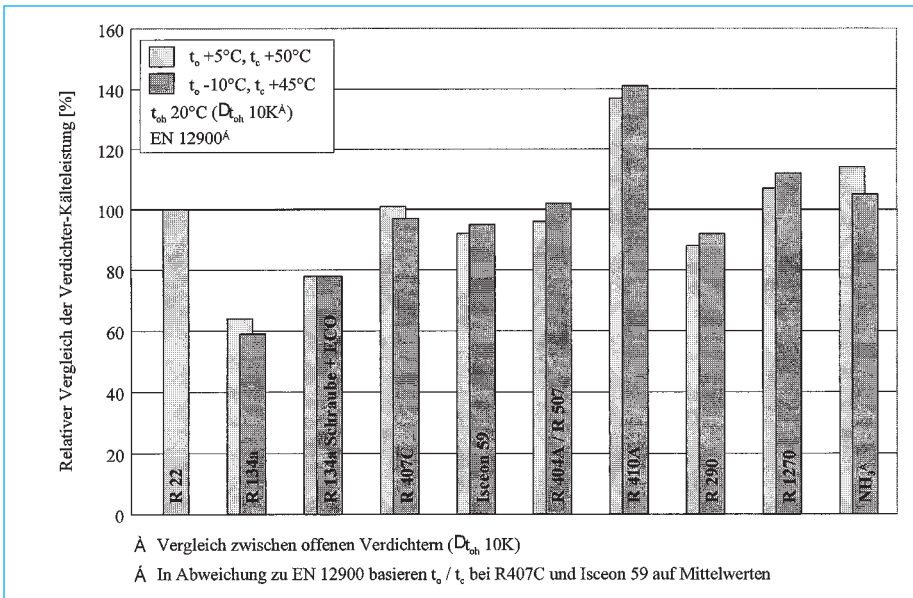


Bild 2 Relativer Vergleich der Verdichter-Kälteleistung

aber selten klar zum Ausdruck kommt, daß dieses Substitut besonders gravierende Unterschiede zu R 22 aufweist. Es ist deshalb nicht pauschal für jede Anwendung und Verdichterbauart optimal geeignet.

Besonders überzeugend aus Sicht der thermophysikalischen Eigenschaften sind Propan (R 290), Propylen (R 1270) und NH₃ (R 717), deren allgemeine Verwendung aber wegen leichter Entflammbarkeit der Kohlenwasserstoffe und Toxizität von NH₃ wiederum spezifischen Sicherheitskriterien unterliegt. Die bei üblichem Wassergehalt korrosive Wirkung von NH₃ auf Kupferwerkstoffe und dessen hohe elektrische Leitfähigkeit erschweren zudem die Entwicklung von halbhermetischen Motorverdichtern.

Spezifische Kältemiteleigenschaften – resultierende Anforderungen an Verdichter und Systemausführung

Für eine qualifizierte Bewertung der einzelnen Substitute ist schon ein Vergleich der wichtigsten thermophysikalischen Eigenschaften aufschlußreich. Neben dem zu erwartenden Leistungsverhalten läßt sich der günstigste Anwendungsbereich beurteilen, aber auch eine Einschätzung über Liefer- und Gütegradverlauf ver-

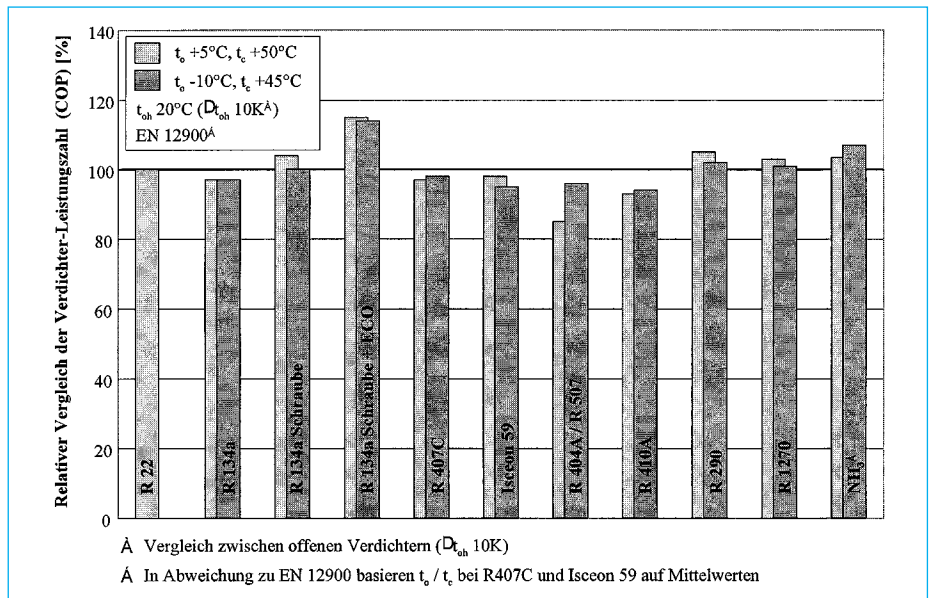


Bild 3 Relativer Vergleich der Verdichter-Leistungszahl (COP)

schiedener Verdichterbauarten vornehmen. Zudem ist eine Bewertung der Effizienz von Verdampfern und Verflüssigern möglich, die neben dem Verdichter als wichtigste Kreislaufkomponenten gelten.

Darüber hinaus läßt sich auch beurteilen, ob und mit welchem Kältemittel ein innerer Wärmeaustauscher und/oder Flüssigkeitsunterkühlung durch sog. Economiser-Betrieb (Potential bei Schrauben- und Scrollverdichtern) von Vorteil sind.

Im folgenden werden die wichtigsten Parameter unter Berücksichtigung von Testergebnissen bewertet und die jeweils für Verdichter, Wärmeaustauscher und System-resultierenden Anforderungen aufgezeigt.

R 134a

Dieses Kältemittel liegt am unteren Ende der Leistungsskala und zwar hauptsächlich bedingt durch die relativ geringe volumetrische Kälteleistung. Andererseits ist aber die Leistungszahl (Bild 3) bei Kolben- und Scrollverdichtern nur unwesentlich geringer und bei Schrauben sogar besser als mit R 22. Besonders interessant mit Schrauben ist auch der zusätzliche Ver-

gleich bei Economiser-Betrieb. Die Leistungsdifferenz zu R 22 (ohne ECO) reduziert sich deutlich und die Leistungszahl erreicht besonders günstige Werte.

Gewichtige Gründe für die vorteilhafte Charakteristik von Schrauben mit R 134a sind die niedrige Druckdifferenz (HD/ND) und das günstige thermische Verhalten (Bild 7). Bedingt dadurch verringern sich die inneren Rückströmverluste zwischen den einzelnen Arbeitsräumen mit der Folge eines außergewöhnlich hohen Liefergrades bei bester Leistungszahl. Dieser Sachverhalt ist mit der Grund für eine Reihe von Neuentwicklungen bei Flüssigkeitskühlern mit Schraubenverdichtern und R 134a als Kältemittel.

R 407C

Dieses Gemisch ist R 22 in der volumetrischen Kälteleistung ähnlich und deshalb als Alternative sehr naheliegend. Messungen zeigen bei Verdrängerverdichtern auch ähnliche Liefer- und Gütegrade wie bei R 22, wodurch aber bei höheren Verflüssigungstemperaturen (thermodynamisch bedingt) tendenziell schlechtere Leistungszahlen resultieren.

Verdichtertests zeigen einen im Vergleich zu R 22 größeren Einfluß der Ölzirkulationsrate im System auf das Leistungsverhalten. Bedingt durch eine selektive Löslichkeit – mit überproportional hohem R 134a-Anteil im Öl – kommt es bei hoher Ölzirkulation und geringer Sauggasüberhitzung zu starker Leistungsminderung. Dies ist u. a. durch nachverdampfendes Kältemittel über der Motorwicklung und im Zylinder- oder Arbeitsraum des Verdichters zu erklären. Voraussetzung für hohe Wirtschaftlichkeit und Kälteleistung ist deshalb eine Verdichterkonstruktion mit minimalem Ölauswurf sowie Betrieb mit ausreichender und stabiler Sauggasüberhitzung.

Isceon 59

Obwohl Isceon 59 ein ähnliches Leistungsverhalten wie R 407C aufweist, bestehen doch gravierende Unterschiede in den Stoffwerten und im Öltransportverhalten. Der große R 125-Anteil bewirkt einen Anstieg des Massenstroms, deutlich geringere Druckgastemperatur und eine

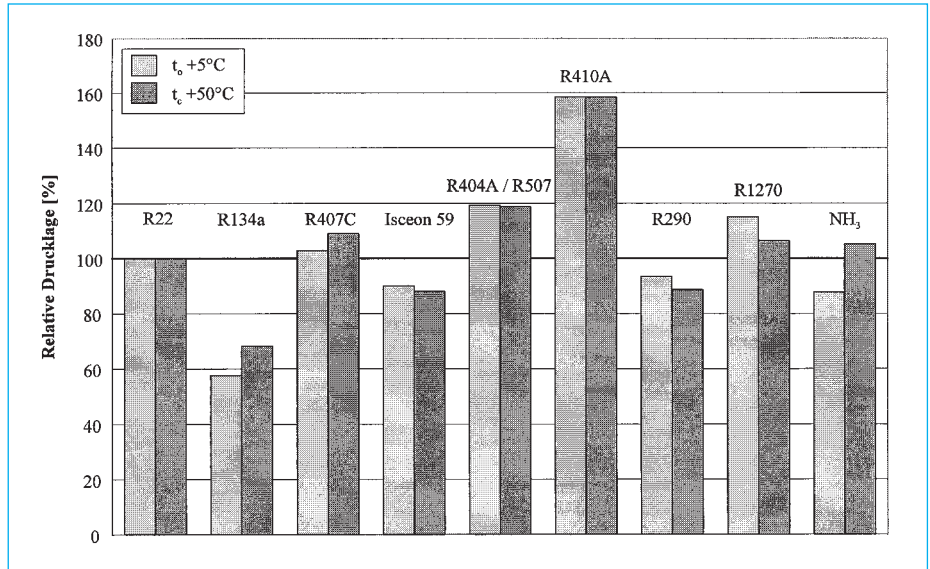


Bild 4 Relativer Vergleich der Drucklagen

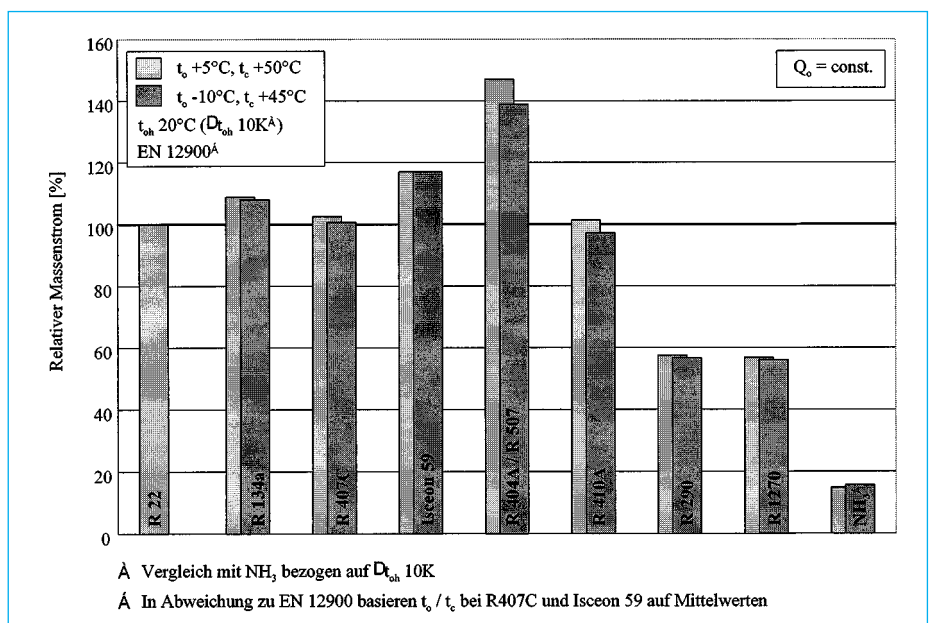
beträchtliche Überhitzungsenthalpie. Mit diesen Eigenschaften ist die beste Wirtschaftlichkeit bei höherer (nutzbarer) Sauggasüberhitzung zu erwarten, was sich in Labortests bestätigt hat.

R 404A/R 507

Auch diese beiden Gemische zeigen in den volumetrischen Leistungswerten nur geringe Unterschiede zu R 22. Sie werden deshalb häufig dort als Alternative in Erwägung gezogen und auch bereits eingesetzt, wo der Temperaturglide problematisch ist und R 134a aus anderen Erwägungen ausscheidet. Trotz ähnlicher Leistung weichen die Stoffeigenschaften stark von R 22 ab – dies betrifft Massenstrom, Dampf-

dichte, Verdampfungs- und Überhitzungsenthalpie, kritische Temperatur (ca. 72 °C) sowie Druckgastemperatur (Bild 7). Auf Grund der Enthalpie-Verhältnisse profitieren auch diese Kältemittel in der Wirtschaftlichkeit von hoher (nutzbarer) Sauggasüberhitzung.

Diese Charakteristik ist relativ optimal bei Normkühlung und speziell bei niedrigen Verdampfungsstemperaturen, aber nachteilig bei Klima-anwendung und höherer Verflüssigungstemperatur. Bereits bei theoretischer Betrachtung zeigt sich (Beispiel: t_0 5 °C/ t_c 50 °C/ t_{oh} 20 °C) ein um ca. 14 % höherer spezifischer Leistungsbedarf gegenüber R 22, der durch zusätzliche Druckverluste im Verdichter – infolge hö-



Ä Vergleich mit NH₃, bezogen auf $D_{th, 10K}$

Ä In Abweichung zu EN 12900 basieren t_0 / t_c bei R407C und Isceon 59 auf Mittelwerten

Bild 5 Relativer Vergleich der Massenströme

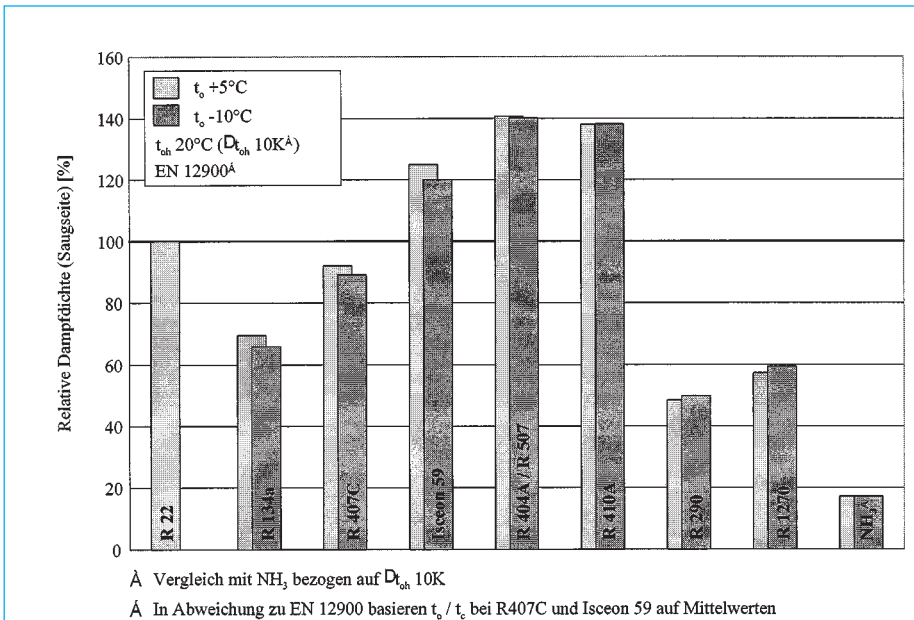


Bild 6 Relativer Vergleich der Dampfdichten

herer Dampfdichte – in der realen Anwendung noch ungünstiger ausfallen kann.

Bedingt durch diesen Sachverhalt sind R 404A und R 507 für die Klimaanlage als weniger geeignet einzustufen, wobei andererseits die Voraussetzungen für Normal- und Tiefkühlung sehr günstig sind.

R 410A

Wesentliches Merkmal ist eine gegenüber R 22 um bis zu 45 % höhere Kälteleistung (Bild 2), allerdings mit der Konsequenz eines ebenso deutlichen Anstiegs der Drucklagen (Bild 4). Damit können Verdichter mit entsprechend reduziertem Fördervolumen eingesetzt werden, die jedoch an die höheren Drücke, Massenströme (Bild 5) und Dampfdichten (Bild 6) angepasst werden müssen. Verdichter in bisher üblicher Standardausführung sind bestenfalls für Normal- und Tiefkühlung, bei gleichzeitig eingeschränkter Verflüssigungstemperatur (43 °C entsprechend 26 bar) geeignet. Demzufolge wäre R 410A in solchen Anwendungen eher als Ersatz für R 13B1 einzustufen.

Bezogen auf den klassischen Alternativeinsatz für R 22 bei Klima- und Normalkühlung zeigen sich selbst bei speziell an-

gepaßten Hubkolben- und Scrollverdichtern Einbußen bei Leistungszahl bzw. Wirtschaftlichkeit von 5 bis 10 %. Maßgebend sind die thermophysikalischen Eigenschaften, eine relativ niedrige kritische Temperatur (73 °C), aber auch erhöhte Lässigkeitsverluste bei der Verdichtung durch die etwa 50 % höhere Druckdifferenz. Wegen der dynamischen Abdichtung bei Schraubenverdichtern sind dort die Verluste sogar noch größer.

Im Gegensatz zu den eingangs behandelten Kältemitteln erfordert R 410A entsprechende Änderungen bei Verdichtern, die fast immer zu einer Neukonstruktion führen. Neben den durch die Drucklage

bedingten Anpassungen der Wanddicken, ergeben sich völlig andere Verhältnisse zwischen Motorgröße, Fördervolumen und Triebwerksgeometrie. Hubkolbenverdichter erfordern dabei sehr anspruchsvolle konstruktive Konzepte bei der Optimierung von Arbeitsventilen und Kolbenbolzenlagerung. Bei Scrolls ist die Abstimmung der Spiralgeometrie und des Compliance-Systems eine besondere Herausforderung und bei Schrauben die Profilform, Lagerauslegung und der Schmierstoff. Vereinfachte Lösungen sind nur für Systeme mit niedrigen Verflüssigungstemperaturen möglich, wie z. B. Flüssigkeitskühlsätze mit wassergekühltem Verflüssiger.

R 290 und R 1270

Aus thermophysikalischer Sicht sowie hinsichtlich der Verträglichkeit mit Werkstoffen und Schmiermitteln wären beide Kältemittel als geradezu ideale Alternativen für R 22 zu bewerten. Wesentliches Handicap ist bekanntlich die leichte Entflammbarkeit und die damit einhergehenden Sicherheitsaspekte.

Bei Klima- und Normalkühlung liegt die Kälteleistung von R 290 etwa 10 bis 12 % unterhalb, die von R 1270 um eine ähnliche Größenordnung oberhalb der von R 22. Selbst die Drucklage von R 1270 ist nur unwesentlich höher, in jedem Fall aber noch mit bisher üblichen Verdichterkonstruktionen beherrschbar.

Trotz ähnlicher Leistungswerte wie R 22, sind Massenstrom, Dampfdichte und Druckgastemperatur deutlich geringer. Die erstgenannten Eigenschaften wirken sich günstig auf das Gütegradverhalten bei höheren Verdampfungstemperaturen aus

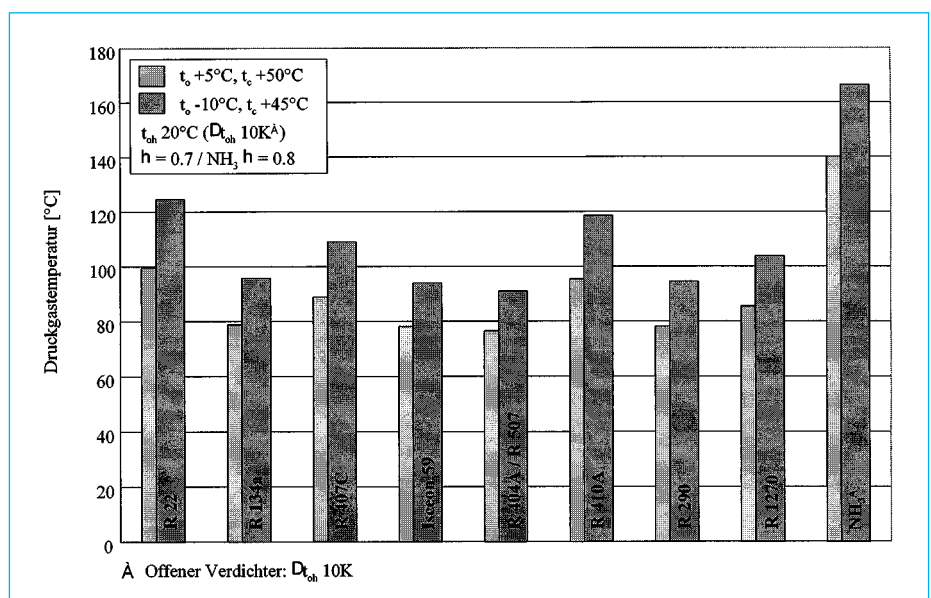


Bild 7 Vergleich der Verdichter-Druckgastemperaturen

und bewirken tendenziell sogar bessere Leistungszahlen als mit R 22. Wegen hoher Kältemittellöslichkeit im Öl, aber auch aus Sicht der Überhitzungsenthalpie, ist der Betrieb bei höherer Sauggastemperatur vorteilhaft.

Im Prinzip sind bestehende Verdichterkonstruktionen geeignet, sofern die sicherheitsrelevanten Kriterien einzuhalten sind. Anpassungen der Arbeitsventile bei Hubkolbenverdichtern wären jedoch vorteilhaft und mit vertretbarem Aufwand auch realisierbar.

Bei Schraubenverdichtern ergeben sich durch den hochdruckseitig angeordneten Ölvorrat – wegen der hohen Löslichkeit – besondere Anforderungen, wodurch die Anwendung erschwert ist. Zufriedenstellende konzeptionelle Lösungen sind zumindest für halbhermetische Verdichter relativ aufwendig, da wegen der niedrigen elektrischen Durchschlagsfestigkeit keine geringlöslichen PAG-Öle eingesetzt werden sollten.

Ammoniak (NH₃)

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ist NH₃ ohne Zweifel jeder anderen Alternative bei Klimateinsatz überlegen und im Normalkühlbereich mindestens ebenbürtig. Auch die volumetrische Kälteleistung ist der von R 22 ziemlich ähnlich.

Bedingt durch die außergewöhnlich geringe Dampfdichte und den hohen Adiabatenexponenten ergeben sich besondere Anforderungen an die Verdichterkonstruktion. Die extreme thermische Belastung erfordert zudem schon bei mittleren Druckverhältnissen eine wirksame Zusatzkühlung und erschwert damit den erweiterten Einsatz speziell von Kolbenverdichtern.

Schraubenverdichter sind besonders für NH₃ prädestiniert, da durch Ölkühlung auch einstufig ein großer Anwendungsbereich abgedeckt werden kann.

Scrollverdichter wären vom Konstruktions- und Verdichtungsprinzip her ebenfalls geeignet, zumal durch direkte Kältemittelspritzung in einen geschlossenen Arbeitsraum die thermische Belastung relativ einfach abgesichert werden könnte. Der geringe Bedarf an Verdichtern in der

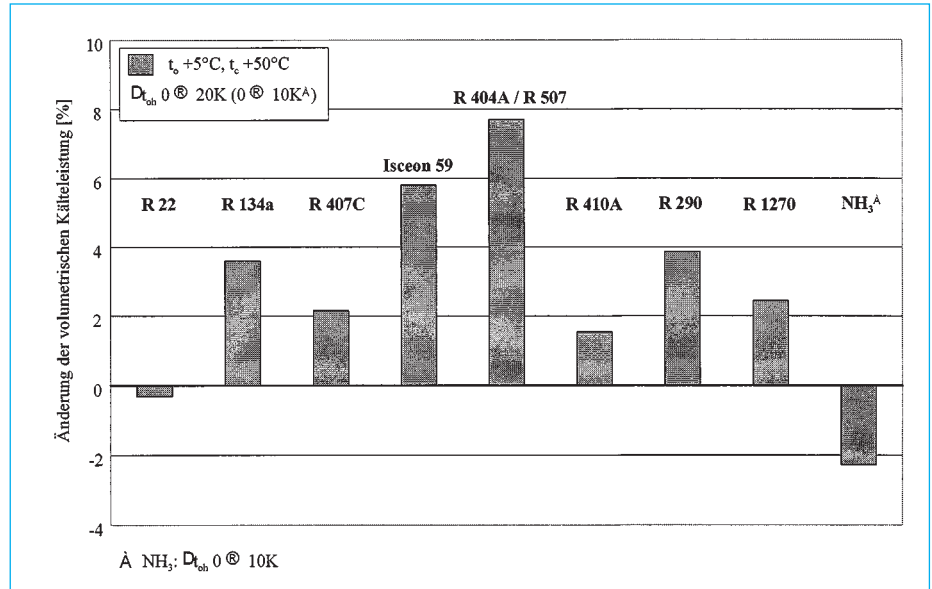


Bild 8 Änderung der volumetrischen Kälteleistung bei Überhitzung von Sättigungszustand auf 20 K (10 K^A) Überhitzung

betreffenden Leistungsgröße rechtfertigt jedoch derzeit keine derartige Entwicklung.

Wesentliche Einschränkungen in der Anwendung gibt es bekanntlich durch die korrosive Wirkung auf Buntmetalle und die damit verbundene Problematik bei der Entwicklung von halbhermetischen Verdichtern.

Auslegungskriterien für Verdampfer, Verflüssiger sowie Systemausführung und -steuerung

Die vorausgehenden Vergleiche zeigen, daß die Wirtschaftlichkeit der Verdichter bei Einsatz der bisher als Substitute favorisierten HFKW tendenziell meist schlechter ist als mit R 22. Damit kommen der Konstruktion und Auslegung von Verdampfern, Verflüssigern sowie der Systemausführung und -steuerung besondere Bedeutung zu.

Konstruktion und Auslegung von Verdampfern und Verflüssigern

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit ist zu berücksichtigen, daß die Leistungszahl des Verdichters und somit des Systems pro 1 K höherer Verdampfungstemperatur um 2 bis 2,5 % und bei 1 K reduzierter Verflüssigungstemperatur um bis zu 3 % ansteigt. Damit läßt sich bereits bei Kon-

struktion und Auslegung dieser Bauelemente das Verbesserungspotential exakt beurteilen.

Bei den zum Vergleich gewählten Einstoffkältemitteln, aber auch mit R 404A, R 507 und R 410A zeigen alle Untersuchungen relativ gute Wärmeübertragungskoeffizienten, die besonders bei Einsatz moderner Rohrgeometrien äußerst kompakte und effiziente Apparate ermöglichen. Herausragend sind R 410A, u. a. wegen der hohen Drucklage und den vorteilhaften Stoffeigenschaften, aber auch Ammoniak, bei dem die enorme Volumenänderung bei der Verdampfung ein besonders intensives Blasensieden bewirkt.

Diese äußerst günstigen Bedingungen sind mit ein Grund, weshalb R 410A-Systeme trotz Nachteilen bei der Energieeffizienz des Verdichters mindestens ebenso wirtschaftlich betrieben werden können wie mit R 22. Sie erklären aber auch die zumindest hinsichtlich des Energiebedarfs bestehende Überlegenheit von Anlagen mit NH₃.

Bei einigen Neuentwicklungen von Flüssigkeitskühlern haben überflutete Verdampfer – optimiert für geringen Kälte-

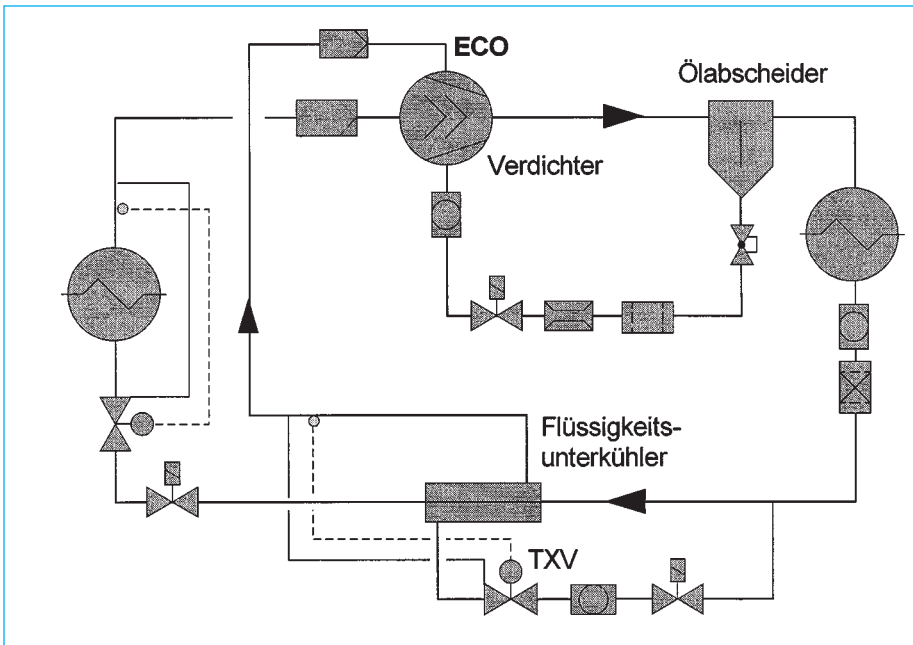


Bild 9 Schraubenverdichter mit Unterkühlungskreislauf für Economiser-Betrieb

mittelnhalt – wieder eine Renaissance erlebt. Diese Technologie erlaubt bei Voll- und Teillastbedingungen geringstmögliche Temperaturdifferenzen zwischen zu kühlendem Medium und Verdampfungstemperatur und bietet damit ideale Voraussetzungen für einen guten saisonalen Wirkungsgrad.

Allgemein gesehen weniger günstig sind die Voraussetzungen mit den zeotropen Gemischen R 407C und Isceon 59. Auf Grund des Temperaturglides sind nur mit Gegenstromapparaten und Direktverdampfung gute Wärmeübertragungsleistungen zu erzielen. Überfluteter Betrieb mit herkömmlicher Technologie führt wegen extremer Verschiebung der Gemischkonzentration zu starken Leistungseinbußen. Andererseits läßt sich der Temperaturglide sogar vorteilhaft nutzen. Dies gilt beispielsweise für Anwendungen mit hohem Temperaturgradienten auf der Seite des zu kühlenden Mediums, wie zum Beispiel in Klimasystemen mit Direktverdampfung.

Einsatz eines inneren Wärmeaustauschers zwischen Saug- und Flüssigkeitsleitung

Wärmeaustauscher sind nur mit Kältemitteln vorteilhaft, bei denen die Enthalpiedifferenz im Überhitzungsbereich relativ stärker zunimmt als das spezifische Volumen. Dies führt zu einer verbesserten volumetrischen Kälteleistung bei nahezu gleichem Leistungsbedarf; damit erhöht sich auch der Systemwirkungsgrad. Voraussetzung für gute Ergebnisse ist jedoch

der Einsatz von Wärmeaustauschern mit geringem Druckabfall auf der Saugseite.

In Bild 8 sind die Verhältnisse der einzelnen Kältemittel zwischen Sättigungszustand und 20 K Überhitzung dargestellt. Es

wird offensichtlich, daß die relative Enthalpiezunahme bei R 404A/R 507 mit Abstand am größten ist und deshalb Wärmeaustauscher generell vorteilhaft sind. Obwohl der relative Anstieg bei R 134a, R 290 und R 1270 weniger ausgeprägt ist, können Wärmeaustauscher auch bei diesen Kältemitteln sinnvoll sein. Dies gilt besonders für Systeme, die bei kleinen Druckverhältnissen und geringer Verdampferüberhitzung betrieben werden. Der jeweils kleine Adiabatenexponent bewirkt sehr niedrige Druckgas- und Ölttemperaturen, die zu hoher Kältemittelanreicherung im Öl und damit zu verminderter Schmierfähigkeit, aber auch zu reduzierten Liefer- und Gütegraden führen können.

Obwohl in Leistung und bei der Phasenänderung vergleichbar, weicht Isceon 59 in wesentlichen Eigenschaften von R 407C ab, u. a. beim Enthalpieverhältnis im überhitzten Bereich, aber auch hinsichtlich Massenstrom und Dampfdichte. Dieses Substitut profitiert deshalb ebenfalls vom Einsatz eines inneren Wärmeaustauschers.

Economiser-Betrieb

Schrauben- und Scrollverdichter (letztere unter Einschränkung) können für sog. „Economiser-Betrieb“ [3] ausgeführt wer-

	R22	R134a	R134a Schraube ECO	R407C	Isceon 59	R404A/ R507	R410A	R290	R1270	R717 (NH ₃)
Kälteleistung	○	--	-	○	○	○	++	-	+	○
Verdichter-COP (Klima)	○	○	+	○	○	-	-	○ ⁺	○ ⁺	+
Verdichter-COP (Normalkühlung)	○	○	+	○	○	○	-	○	○	○
Drucklagen	○	++	++	○	○	-	--	○	-	○
Massenstrom	○	-	-	○	-	--	○	+	+	++
Kritische Temp.	○	○	○	○	○	--	--	+	+	++
Druckgastemperatur	○	++	++	○	++	++	○	++	+	--
Wärmeübertragung	○	○	○	--	--	○	+	○	○	+
Sicherheitsaspekte	○	○	○	○	○	○	○	--	--	--

Vergleich zu R22: ○ ähnlich wie R22 +/+ + günstiger -/- - ungünstiger

Bild 10 R 22-Substitute – Vergleich der Eigenschaften

den; die Verdichter erhalten dazu einen zusätzlichen Mitteldruckanschluß. Bei dieser Betriebsart werden mittels eines Unterkühlungskreislaufes (Bild 9) oder 2stufiger Kältemittelspannung sowohl Kälteleistung als auch Systemwirkungsgrad verbessert. Vorteile gegenüber der Standardanwendung ergeben sich insbesondere bei höheren Druckverhältnissen.

Wie schon zuvor erläutert, lassen sich mit dem Economiser-System die Leistungsunterschiede zwischen R 134a und R 22 reduzieren sowie gleichzeitig auch die Leistungszahl erhöhen (Bilder 2 und 3). Selbstverständlich ist die Methode auch mit den anderen Alternativen anwendbar, wobei aber im Klimabereich wegen der höheren Belastung von Verdichtermechanik und Motor eine individuelle Prüfung der Einsatzgrenzen erforderlich wird.

Für die Dimensionierung der Komponenten und Rohrleitungen sind die gegenüber Standardbetrieb unterschiedlichen Verhältnisse zwischen Kälteleistung und Massenstrom auf der Saugseite zu berücksichtigen. Wegen der starken Kältemittelunterkühlung – reduzierter Dampfgehalt nach der Expansion – können außerdem Anpassungsmaßnahmen bei Verdampfern und Expansionsventil erforderlich werden.

Verdichter- und Systemsteuerung

Ein außerordentlich hohes Potential zur Reduzierung des saisonalen Energiebe-

darfs liegt in einer optimierten Systemsteuerung. Beste Voraussetzungen hierfür sind die kontrollierte Absenkung des Verflüssigungsdruckes bei niedrigen Außentemperaturen, Betrieb bei höchstmöglichem Saugdruck, geringe Schalzhäufigkeit der Verdichter und minimaler Energieeinsatz für Hilfsaggregate.

Um diese Anforderungen optimal zu erfüllen, sind speziell bei Systemen mit starken Lastschwankungen qualitativ hochwertige Systemsteuerungen in Verbindung mit Leistungsregelung der Verdichter (ggf. auch von Lüftern und Pumpen) notwendig.

Zusammenfassung

Bei der vergleichenden Querbetrachtung (Bild 10) wird der schon eingangs erwähnte Sachverhalt belegt, **daß keines der zum Vergleich herangezogenen Substitute das Kältemittel R 22 in allen Belangen ersetzen kann!**

Bei Neuanlagen lassen sich zwar mit einem optimiertem Systemkonzept die teilweise kältemittelbedingten Nachteile

ausgleichen, aber ohne Mehrinvestitionen in Komponenten und Steuerung auch keine Vorteile erzielen. Dies hat nahezu durchweg wesentliche konstruktive Änderungen zur Folge, besonders bei fabrikmäßig gefertigten Kühlsätzen.

Bei der Umrüstung bestehender Anlagen ist die Situation aber noch schwieriger, da in vielen Fällen der Umrüstungsaufwand und/oder ein beträchtlicher Anstieg im Energiebedarf nicht vertretbar sind. Letzteres gilt in besonderem Maße für Anlagen mit überflutetem Verdampfer. **Vor allem mit Blick auf den Energiebedarf und damit auf das indirekte Treibhauspotential wäre es demzufolge sehr nachteilig, wenn R 22 für solche Anwendungen nicht mehr eingesetzt werden dürfte.** □

Literatur

- [1] ARI USA: AREP Reports 1993–1997 (Alternative Refrigerants Evaluation Program)
- [2] Bitzer: Kältemittel Report A-500, Seiten 12/13
- [3] Bitzer: Projektierungshandbuch für Schraubenverdichter SH-100