

# Ersatz des Kältemittels R22 in bestehenden Kälte- und Klimaanlage

- Aktueller Stand -

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH, Hannover

### Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In dieser Studie wurde der aktuelle technische Sachstand bei der Umstellung mit dem H-FCKW-Kältemittel R22 betriebenen Kälteanlagen ermittelt. Dabei wurde die im Auftrag des Umweltbundesamtes zum gleichen Thema erstellte Studie des Jahres 1998 zugrunde gelegt, die schon die technischen Grundlagen der Anwendung von Kältemitteln und die Einsatzbereiche des R22 in der deutschen Kältetechnik aufgezeigt hat. Im weiteren wurden die zum damaligen Zeitpunkt vorliegenden Erkenntnisse zu möglichen Ersatzkältemitteln für R22 und zu deren Einsatz in bestehenden Anlagen ermittelt und bewertet. Gleichzeitig wurde der Erfahrungsstand bei der Umrüstung von R22-Anlagen recherchiert.

Damit ergänzen sich die beiden Studien zu einer umfassenden Betrachtung des Kältemittels R22 und seinem Ersatz im Anlagenbestand in den betroffenen Anwendungsbereichen in der Gewerbekälte, der Industriekälte, stationären Klimaanlage sowie in Transportkälteanlagen und Wärmepumpen, die in dieser Reihenfolge zum Verbrauch von R22 in Deutschland beitragen.

Die für einen Ersatz des R22 prinzipiell geeigneten Kältemittel werden auf ihre Einsetzbarkeit für Umstellungen von R22-Altanlagen untersucht. Dazu werden ihre Charakteristika in Bezug auf die Anforderungen an die Stoffeigenschaften wie Lage der Dampfdruckkurve, Stabilität, Materialverträglichkeit, Sicherheit, energetisches Verhalten im Vergleich zu R22 sowie die ökologischen Eigenschaften dargestellt und bewertet sowie toxikologische und ökotoxikologische Daten zusammengestellt.

Die Aktualisierung des Standes der Forschung und Entwicklung führt zunächst zu dem Ergebnis, daß sich mittlerweile die H-FKW-Kältemittel R134a, R404A, R407C, R410A, R417C und R507A in den klassischen R22-Anwendungsbereichen durchgesetzt haben. Im weiteren werden die Kohlenwasserstoffe Propan (R290), Propen (R1270) und CARE 50 (R290/R170 (Ethan)) sowie Ammoniak als geeignet angesehen, R22 in Teilbereichen zu ersetzen. Die wesentlichen Eigenschaften dieser Kältemittel wurden insbesondere in Hinblick auf den Einsatz im Anlagenbestand dargestellt und mögliche Folgen für diese Verwendung diskutiert. Hier wird zunächst deutlich, daß R410A und Ammoniak nur in Neuanlagen zur Anwendung kommen können. Die übrigen Kältemittel sind unter Beachtung ihrer spezifischen Eigenschaften und der jeweiligen Gegebenheiten der Altanlage, wie der Ausführung der Anlage und des Einsatzbereiches, zum Drop-In-Einsatz (R417A, Kohlenwasserstoffe) oder zum vergleichsweise aufwendigeren Retrofit in R22-Anlagen geeignet.

In der Gewerbekälte sind aufgrund ihrer thermodynamischen Eigenschaften vor allem R404A und R507A geeignet, unter Beachtung des Rückgangs der Kälteleistung bei tiefen Temperaturen möglicherweise auch R407C oder R417A.

Das gleiche gilt in R22-Anwendungsbereichen der Industriekälte, wie für Kühlhäuser oder die Lebensmittelindustrie, wobei R407C und R417A, wiederum unter Beachtung der geringeren Kälteleistung, im allgemeinen wegen der fraktionierenden Verdampfung der zeotropen Gemische nur in Systemen mit Direktexpansion zum Einsatz kommen werden. In der Industriekälte sind einige R22-Systeme auf den späteren Einsatz von Ammoniak vorbereitet. In der Prozeßkühlung, z.B. der chemischen Industrie werden oftmals überflutete Verdampfer eingesetzt, so daß aus diesem Grund hier die nahezu-azeotropen bzw. azeotropen R404A und R507A die Wahl sein werden.

Für luftgekühlte Klimaanlage und Wärmepumpen wird R407C, das sich in diesem Bereich bereits international in Neuanlagen durchgesetzt hat, in Hinblick auf seine Eigenschaften das günstigste Ersatzkältemittel für R22 sein. Eine Alternative kann R417A sein. In regelmäßig mit überfluteten Verdampfern ausgestatteten Kaltwassersätzen wird wiederum die Zeotropie von R407C und R417A wesentlicher Nachteil sein. Insbesondere zur Umstellung von Turbo-Kaltwassersätzen ist R134a ein geeigneter Ersatzstoff, wobei jedoch ein Anpassung von Bauteilen des Turboverdichters erfolgen muß.

Der Einsatz von R22 als Drop-In-Ersatzstoff für R12 und R502 hat für Kälteanlagen der Transportkälte im besonderen Umfang stattgefunden. Für bereits durchgeführte Umstellungen von R22 auf ein Ersatzkältemittel konnten in der Transportkälte keine Hinweise gefunden werden. Die Anlagen der Frisch-, Normal- und Tiefkühlung lassen als Systeme mit Direktverdampfung jedoch keine wesentlichen Probleme bei der R22-Umrüstung erwarten, so daß hier Erfahrungen aus entsprechenden anderen Bereichen übertragbar sind.

Schließlich werden die Kohlenwasserstoffe aufgrund ihrer Sicherheitsanforderungen trotz ihrer sonst guten Eigenschaften als R22-Drop-In nur in Kälteanlagen sehr kleiner Füllmenge eingesetzt werden können.

Auf der Basis der jetzt vorliegenden zweiten Studie kann festgestellt werden, daß Umrüstungen von Kälteanlagen mit dem Kältemittel R22 grundsätzlich technisch möglich sind. Es bleibt aber bei der Feststellung, daß die Wahl des Ersatzstoffes ganz wesentlich von der gegebenen Anlagenkonfiguration und dem Anwendungsfall abhängt.

Die Daten der betrachteten R22-Ersatzstoffe wurden in Hinblick auf ihre toxikologischen und ökotoxikologischen Eigenschaften ergänzt. Soweit diese Untersuchungen bislang verfügbar sind, stellen die Ersatzkältemittel keine höhere toxikologische Gefährdung dar, als die bisher in der Kältetechnik eingesetzten Arbeitsstoffe. Die erforderlichen Grenzwerte für ihre Anwendung liegen vor. Ökotoxikologisch sind Kältemittel vor allem in Hinblick auf die Schädigung der Ozonschicht und ihren Beitrag zum Treibhauseffekt charakterisiert. Die halogenierten Kältemittel haben als Treibhausgase im Vergleich zu den Kohlenwasserstoffen und vor allem zu Ammoniak ein sehr hohes Treibhauspotential. Aufgrund der hohen Stabilität weisen sie bei einer Freisetzung in die Atmosphäre eine lange Verweildauer auf.

Die ökologische Analyse des R22-Ersatzes muß neben der ursprünglichen Zielsetzung der Vermeidung von ozonschichtschädigenden Arbeitsstoffen und dem Entsorgungsaufwand der bei der Umstellung anfallenden Reststoffen auch die mittlerweile sehr bedeutend betrachtete Auswirkung der Kältetechnik auf den Treibhauseffekt umfassen. Die Einordnung der durch den vollständigen Verzicht auf den H-FCKW R22 in den bestehenden Kälteanlagen erzielbaren Vermeidung von ozonrelevanten Emissionen in die durch den FCKW-Ausstieg bereits vollzogene Minderung weist hier einen gegebenen, vergleichsweisen geringen Effekt aus, verglichen mit den verbleibenden ozonzerstörenden Stoffen nach dem FCKW-Ausstieg

ist der Beitrag von R22 bei den restlichen H-FCKW relativ groß. Für den Vergleich der Ersatzkältemittel für R22 in Hinblick auf den TEWI-Beitrag ist zunächst die im allgemeinen etwas geringeren energetischen Effizienz und damit der höhere Energieverbrauch der Ersatzkältemittel wesentlich. Dies gilt im besonderen beim Einsatz in nicht für deren Einsatz optimal ausgelegten, sondern für R22 konzipierten, bestehenden Anlagen. Bei gleicher Leckagemenge führen mit Ausnahme von R407C und R134a zusätzlich die höheren GWP-Werte der H-FKW-Ersatzkältemittel zu einem höheren Treibhauseffekt. Bei Verwendung von R134a wird darüber hinaus die Leckrate gegenüber R407C aufgrund des niedrigeren Druckniveaus geringer sein.

Damit ergeben sich beim R22-Ersatz durch H-FKW außer beim Einsatz von R134a und R407C in der Summe höhere Treibhauseffekte der Kälteanlagen (TEWI). Für R134a wird der TEWI kleiner als mit R22 sein, für R407C etwa von gleicher Größe. Wegen der kleineren volumetrischen Kälteleistung ist die Umstellung auf R134a im allgemeinen nur kostenintensiv durch einen Verdichterwechsel möglich. Damit bleibt R407C aus ökologischer Sicht der empfehlenswerte R22-Ersatzstoff aus der Gruppe der H-FKW für den Anwendungsbereich Klima und trockener Verdampfung. In den Anwendungsbereichen Gewerbe und Industrie ist das nahezu azeotrope Gemisch R404A trotz des höheren GWP als R22-Ersatz einsetzbar.

Der im weiteren ermittelte Stand der Forschung und Entwicklung zur Umstellung vom Kälteanlagen auf Ersatzkältemittel läßt den Schluß zu, daß die Kenntnisse der stofflichen und technischen Bedingungen und der Vorgehensweise bei der Anlagenumstellung in ausreichendem Maße gegeben sind. Die aktualisierte Sichtung der Erfahrungen, die durch eine Umfrage im deutschen Kälteanlagenbauerhandwerk vertieft wurde, macht deutlich, daß mittlerweile vor allem in der Gewerbe-, Industrie- und Klimakälte ausreichende Erfahrungen zum Einsatz aller betrachteter Ersatzkältemittel in ursprünglichen R22-Anlagen vorliegen. Die Entscheidung über eine Durchführung muß unter Berücksichtigung des zu erreichenden umweltrelevanten Effektes und der wirtschaftlichen Vertretbarkeit fallen. Das mit einer Durchführung der Umstellungen beauftragte Handwerk kann die Eignung eines Ersatzkältemittels in einer gegebenen Anlage und für den betreffenden Anwendungsfall beurteilen. Diese Einzelfallentscheidung wird notwendig bleiben, da kein Ersatzstoff das R22 in allen seinen Eigenschaften und Anwendungsbereichen gänzlich ersetzen kann.

## Abstract and conclusions

In this study the actual technical status when retrofitting refrigeration systems with the refrigerant HCFC 22 has been evaluated. Basis for this evaluation was the study concerning the same topic and performed in 1998 under order of the Umweltbundesamt which already has shown the technical fundamentals of the application of refrigerants and especially those of R22 in Germany. The results concerning possible alternatives for R22 and their application in existing refrigeration systems as well as the experience when retrofitting R22 systems have been elaborated and evaluated at that time.

In so far the two studies together form a complete consideration of the refrigerant R22 and its substitution in existing systems in the application fields of commercial refrigeration, industrial refrigeration, stationary air conditioning systems as well as in transport refrigeration and heat pumps, which all together in this order contribute to the R22 consumption in Germany.

The refrigerants principally suitable for these substitution of R22 have been investigated concerning their application for retrofitting existing R22 systems.

For this purpose their characteristic behavior concerning their material properties as for instance wiper pressure temperature relationship, stability, material compatibility, safety and energetic behavior in comparison to R22 have been shown and evaluated as well as their toxicological and ecotoxicological data.

The updated actual state of research and development shows first that meanwhile the HCF refrigerants are R134A, R404A, R407C, R410A, R417C and R507A have been applied in a wide range of the classical R22 application areas. Further on, the hydro carbons propane (R290), propene R1270 and CARE 50 (R290/R170 (ethane)) as well as ammonia have been considered to substitute R22 in certain applications. The important properties of these refrigerants are shown especially in concerning the application in existing systems and possible consequences for their application have been discussed. The result is that R410A and ammonia are only applicable in new systems where as the other refrigerants can be used under the consideration of their special properties and the special existing system concerning their design and application range for drop in (R417A, hydro carbons) or for the comparable more expensive retrofit in R22 systems.

For commercial refrigeration the refrigerants R410A and R507A are preferably suitable, also possibly R407C or R417A take into account their decrease of the refrigeration capacity at low temperatures.

The same holds for R22 application in industrial refrigeration as for example refrigerated cold stores or the food industry where by R407C and R417A again under the consideration of the decrease refrigeration capacity can be used only in systems with direct expansion because of the fractional evaporation of the zeotropic mixtures. In industrial refrigeration some R22 systems have already been prepared for a later application of ammonia. In process cooling as for example in the chemical industry very often flooded evaporators are implied so that here the near-azeotropic or azeotropic refrigerant mixtures R404A and R507A will be preferred.

For air-cooled air-conditioning systems and heat pumps R407C which already internationally has been gained in new systems abroad application will be the preferred substitute for R22 because of its properties. Another alternative could be R417A. For waterchillers, normally using flooded evaporators the azeotropic behavior of R407C and R417A again show an important disadvantage. Especially for retrofitting centrifugal waterchillers R134A is a suitable alternative whereby components of the turbocompressor have to be modified.

Substitution of R12 and R502 by using R22 as drop in has been performed in a broad range for transport refrigeration system whereby no retrofits of R22 have been reported. For systems

of fresh-, normal- and low temperature food with direct evaporation no important problems when substituting R22 can be expected. Therefore the experiences of comparative other application fields can be applied.

Further on, the hydrocarbons which show good properties as R22 drop in can be applied because of the safety requirements only in refrigeration systems with very low charge.

Based on the newly performed second study it can be stated, that retrofitting existing R22 systems is principally technical possible but the choice of the substitute depends very much from the design of the system and its application range.

The data of the considered R22 substitutes have been completed concerning that toxicological and ecotoxicological properties. As far as these data are available so far, the substitutes do not show a higher toxicological danger as the formally used refrigerants in the refrigeration applications. The limits for their application are available. Concerning their ecotoxicological behavior the refrigerants are characterize especially concerning their depletion of the ozone layer and their contribution to the green house warming effect. The halogenated refrigerants as green house gases show a very high global warming potential in comparison to the hydrocarbons and especially to ammonia because of their high stability and long life time in the atmosphere.

The ecological analysis of the R22 substitution has to take into consideration additionally to the former goal of avoiding ozone depleting substances taken also to account the efforts for the rest substances when retrofitting systems also the meanwhile very important influence on the global warming effect. Whereas the face out of the HCFC R22 in existing systems in order to avoid ozone depleting emissions shows a comparable low effect concerning the already performed face out of CFC's a rather high contribution can be stated in comparison to the HCFC's still in application. For the evaluation of the substitutes for R22 concerning the TEWI contribution the in general lower energetic efficiency and therefore the higher energy consumption of these alternatives are important. This is especially the case in systems designed for R22 and not optimized for the alternatives. Assuming equal leakages the higher GWP-Values of the HCF alternatives lead to a higher global warming effect with exception of R407C and R134A. When using R134A because of the lower pressure level the leakage rate will be lower. Therefore, when substitution R22 by HFC's with acceptance of R134A and R507C the total equivalent warming impact of the systems will be higher. For R134A the TEWI will be lower as using R22 whereby for R407C it will be nearly equal. Because of the lower volumetric capacity the substitution of R22 by R134A in general will be more expensive because of a necessary compressor change. Therefore, from ecological considerations R407C will be the preferred R22 alternative between the HFC substitutes for air-condition systems with dry evaporation. In commercial and industrial refrigeration the near azeotropic mixture R404A despite its higher GWP is applicable as R22 alternative.

Concerning the newly evaluated status of research and development regarding the retrofitting of existing systems with R22 substitutes it can be stated that the knowledge of the fluid behavior and the technical conditions as well as the retrofitting procedure is available to its efficient amount. The actual evaluation of the experiences gained by a questionnaire in the German refrigeration industry, shows clearly that meanwhile especially in the commercial and industrial refrigeration as well as in air-conditioning applications sufficient knowledge for using all considered alternatives in existing R22 systems are available. The decision for retrofitting must be made under consideration of the ecological effect to be gained and the agreeable economical effort. The companies employed with retrofitting existing systems have the knowledge of choosing the alternative refrigerant for a special planned and application case. This decision for an individual case is necessary because for substituting R22 is no

alternative available which can substitute R22 with all its properties and in its application fields.