



**Dr.-Ing. Václav Havelký,**  
Forschungsinstitut für Kälte-  
und Klimatechnik in Rovinka  
(Slowakei).



**Dipl.-Ing. Peter Tomlein,**  
Sekretär des Slowakischen  
Verbandes für Kälte- und  
Klimatechnik in Bratislava.



**Dipl.-Ing. Jozef Löffler,**  
Forschungsinstitut für Kälte-  
und Klimatechnik in Rovinka  
(Slowakei).

## Energetische und ökologische Vorteile von R 12-Ersatzstoffen

Václav Havelký, Peter Tomlein, und Jozef Löffler, Rovinka (Slowakei)

**Gegenwärtig kommen als Ersatzkältemittel für R 12 vorwiegend Derivate der halogenierten Wasserstoffe H-FKW und deren Gemische mit einem Ozonabbaupotential (ODP) von Null sowie übergangsweise auch H-FCKW-Gemische mit relativ kleinem ODP in Betracht. Von den reinen H-FKW kommt besonders das Kältemittel R 134a mit sehr ähnlichen thermophysikalischen Eigenschaften in Betracht, so daß man die einzelnen Bestandteile des bestehenden Kältekreislaufes nicht zu ändern oder zu bearbeiten braucht; andererseits ist ein Austausch des Mineralöls gegen Ester- oder Alkylbenzolöle notwendig. Von den H-FCKW-Gemischen kommen als Ersatzstoffe besonders die ternären Gemische R 401A, R 401B und R 409 in Betracht, die keinen Austausch des eingesetzten Mineralöls erfordern und als Drop-In-Kältemittel verwendet werden können. Hinsichtlich der kommerziellen und preislichen Zugänglichkeit sowie der technischen Eignung im Bereich der mittleren und kleinen Kühlung wurden für die experimentellen Untersuchungen energetischer Parameter an einer älteren Kälteanlage mittlerer Leistung die Kältemittel R 134a, R 401A und R 409A verwendet. Die Messungen wurden ebenfalls mit dem Kältemittelgemisch R 12/R 134a durchgeführt, das man bis zu einem Anteil von 20 Gew.-% R 12 ohne Ölaustausch einsetzen kann; ebenfalls untersucht wurde das Kältemittel R 22, das noch eine relativ lange Zeit ohne Begrenzung eingesetzt werden darf.**

### Experimentelle Untersuchung der R 12-Ersatzstoffe

Die experimentellen Untersuchungen wurden an der Versuchsanlage TSU Piešťany in einer doppelmanteligen kalorischen Kammer nach ISO R 848 durchgeführt. Es wurde eine Kondensationskälteanlage benutzt, die seit 1988 in der landwirtschaftlichen Produktion zur Milchkühlung auf 5 °C eingesetzt wird. Diese Anlage besteht aus einem halbhermetischen Verdichter mit einer Kälteleistung von 8,3 kW bei einer Verdampfungstemperatur von -10 °C (mit dem Kältemittel R 12) und einem Verflüssiger in Lamellenkonstruktion mit Zwangsluftzirkulation. Die Kondensationseinheit war in einer Kammer mit einer konstanten Temperatur von 32 °C untergebracht. Es wurde eine Variation der Verdampfungstemperatur durchgeführt; dabei wurden die Temperaturen an einzelnen Stellen des Kältekreislaufes mittels eines automatischen Meßsystems mit einem Multimeter und Umschalter der Meßsorte mit digitaler und graphischer Auswertung gemessen. Die gemessenen experimentellen Angaben der einzelnen Kältemittel wurden durch polynomische Regression verarbeitet (ersetzt), die beste Approximation erhielten wir mit einem Polynom dritten Grades. Der Vergleich der energetischen Effizienz der gegebenen Kälteanlage mit den verschiedenen R 12-Ersatzstoffen ist in den Abbildungen 1 und 2 aufgetragen, wo die Werte der erreichten Kälteleistung  $Q_c$  und die Leistungszahl  $COP_c$  in Abhängigkeit von der Verdampfungstemperatur  $t_c$  dargestellt sind.

Aus den gezeigten Vergleichen in den Abb. 1 und 2 ist zu erkennen, daß die vorübergehenden Gemische R 401A

und R 409A sowie das reine Kältemittel R 134a im gesamten Bereich der Verdampfungstemperaturen aufgrund des höheren COP<sub>c</sub>-Wertes eine höhere energetische Effizienz aufweisen als das Kältemittel R 12. Dabei steigen die absoluten Werte der Differenzen zwischen den einzelnen COP<sub>c</sub>-Werten mit niedrigeren Verdampfungstemperaturen. Ähnliche Schlußfolgerungen gelten auch für das Kältemittel R 22, mit dem Messungen bis zu einer maximalen Verdampfungstemperatur von -12 °C durchgeführt wurden.

Aufgrund der durchgeführten Messungen ist es also möglich festzustellen, daß der Betrieb einer Kälteanlage mit den Ersatzkältemitteln R 134a, R 401A und R 409A energetisch günstiger ist, also der Energieverbrauch bezogen auf eine Einheit der erzeugten Kälte im Vergleich mit dem Kältemittel R 12 sinkt. Der energetisch günstigere Betrieb der Kälteanlage hat, wie es im folgenden Teil beschrieben wird, einen entscheidenden Einfluß auf den verringerten Beitrag der betrachteten Anlage zum Treibhauseffekt.

**Ökologische Betrachtung der gewonnenen Daten der R 12-Ersatzstoffe**

Die Auswertung des Einflusses einzelner Ersatzstoffe auf die Umwelt wird unter Betrachtung des Treibhauseffektes – der globalen Erwärmung der Erdatmosphäre – durchgeführt. Die ODPs der einzelnen untersuchten Ersatzstoffe sind im Verhältnis zu R 12 relativ gering, und ihr Einfluß auf die Zerstörung der Ozonschicht ist vernachlässigbar, besonders hinsichtlich der bestehenden technischen Möglichkeiten, ein Entweichen des Kältemittels in die Atmosphäre auf ein Minimum zu reduzieren.

Der Einfluß auf die globale Erwärmung der Erdatmosphäre ist auf der komplexeren Basis des TEWI auszuwerten, das sich aus der Summe des direkten Treibhauspotentials des Kältemittels durch Entweichen in die Atmosphäre und des indirekten Treibhauspotentials über den Energieverbrauch zusammensetzt

Zur Berechnung der TEWI-Werte für die verschiedenen Ersatzstoffe nehmen wir an:

- jährliche Verluste durch Leckagen 0,65 kg (5 % der Kältemittelfüllung in der Anlage),
- Betriebsstunden der Anlage bis zum Ende der Lebensdauer 5 Jahre,

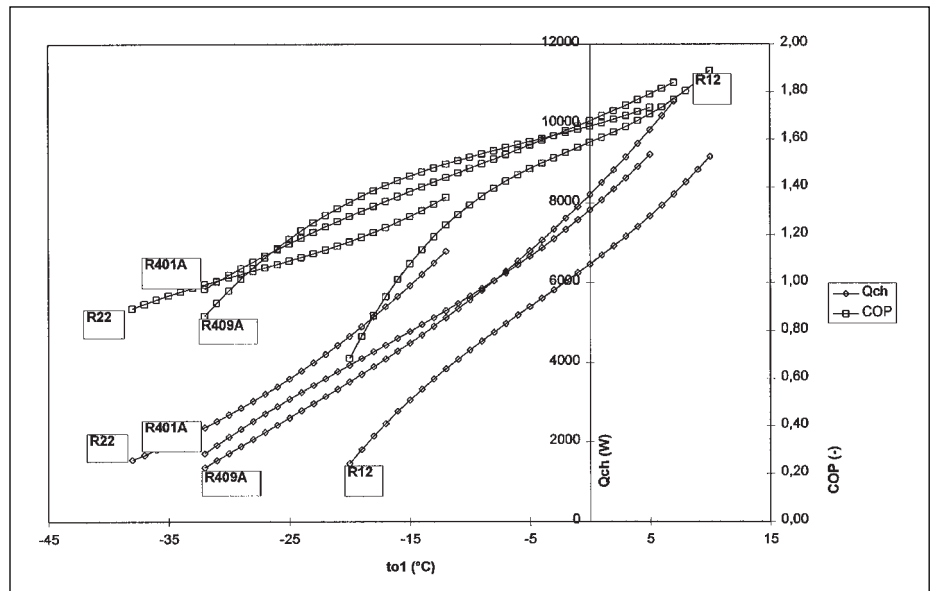


Abb. 1 Vergleich der gemessenen Werte der energetischen Effizienz einzelner Kältemittel auf der Basis von R 22 durch polynomische Regression.

- Faktor der Kältemittelrückgewinnung 70 %,
- CO<sub>2</sub> Emission auf 1 kWh der verbrauchten Energie ist 0,65 kg.

Die TEWI-Werte der verschiedenen Ersatzstoffe, das GWP und der jährliche Energieverbrauch der Anlage für 1800 Betriebsstunden für eine Kälte-

Kältemittel	GWP	L (kW)	E (kWh)	TEWI
R12	18 000	4,093	7 367	152 642
R134a	1 200	3,827	6 887	30 961
R401A	1 080	3,907	7 033	30 579
R409A	1 440	3,854	6 937	32 841
ZM1	9 600	4,171	7 508	93 041
ZM2	4 560	3,955	7 119	42 403

Tabelle 1 TEWI-Werte von R 12 und verschiedener Ersatzstoffe.

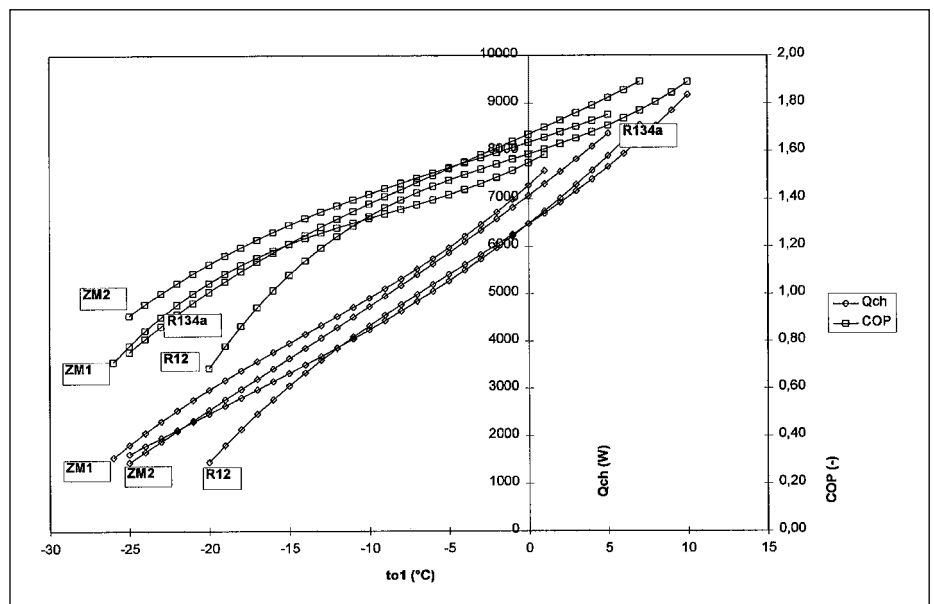


Abb. 2 Vergleich der gemessenen Werte der energetischen Effizienz einzelner Kältemittel auf der Basis von R 134a durch polynomische Regression.

leistung mit dem Kältemittel R 12 bei einer Verdampfungstemperatur von 0 °C sind in Tabelle 1 angeführt (in welcher P die Leistungsaufnahme der Kälteanlage und E den jährlichen Stromverbrauch bezeichnen). Aus der Tabelle wird deutlich, daß im Hinblick auf die Bildung des Treibhauseffektes in der bestehenden Kälteanlage die Kältemittel R 134a, R 401A und R 409A im Vergleich zum Kältemittel R 12 und seinen Gemischen mit R 134a (Mischung ZM1 – 50 % R 134a, Mischung ZM2 – 80 % R 134a) deutlich vorteilhafter sind.

Die TEWI-Werte der untersuchten R 12-Ersatzstoffe mit der Abbildung des direkten und indirekten Beitrages der Kälteanlage zum Treibhauseffekt bei einer Verdampfungstemperatur von 0 °C sind in der Abb. 3 graphisch dargestellt. Aus den angeführten Werten ist ein wesentlich höherer Einfluß des indirekten Treibhauseffektes auf den TEWI-Wert bei den Kältemitteln R 401A, R 409A und R 134a im Vergleich zu R 12 und seinen Gemischen mit R 134a zu erkennen. Die Erhöhung der energetischen Effizienz der Kälteanlage mit diesen Ersatzstoffen, also die Verringerung des Stromverbrauches bezogen auf eine Einheit der erzeugten Kälte, hat darum einen entscheidenden Einfluß auf die Verminderung des gesamten Äquivalentes der TEWI-Belastung.

**Kältemittelaustausch im Betrieb**

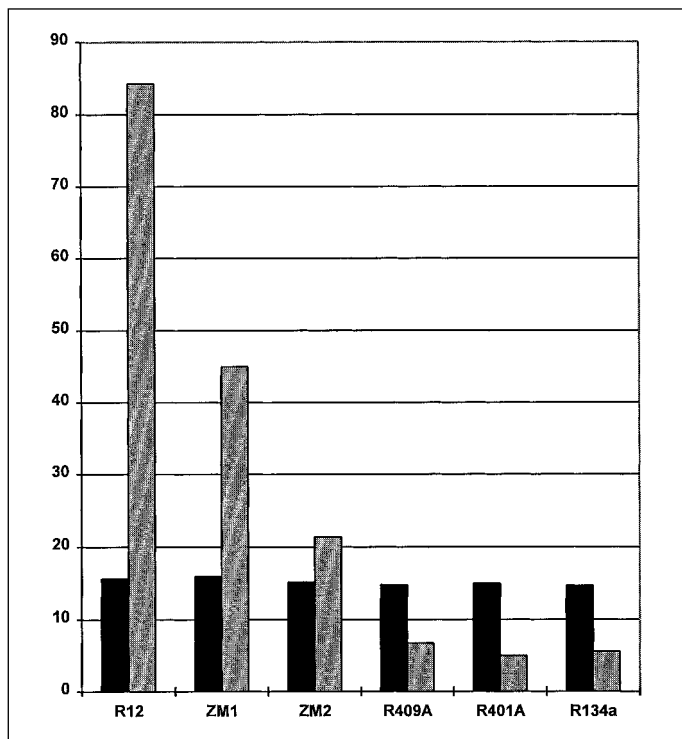
Auf die praktische Durchführung des Kältemittelaustausches in Kälteanlagen haben einen entscheidenden Einfluß:

1. Alter und technischer Zustand der Kälteanlage.
2. Das eingesetzte Kältemittel.
3. Das eingesetzte Öl und dessen Zustand.
4. Der Arbeitsvorgang des Kältemittelaustausches.

Im Rahmen der vorgenommenen Untersuchung wurde in einer Milchkuhfarm das Kältemittel R 12 jeweils gegen die Ersatzstoffe R 134a, R 401A und R 409A zur Milch Kühlung ausgetauscht; bei den Kälteanlagen handelte es sich um drei CHKJ in gutem technischen Zustand mit einer Kältemittelfüllmenge von je 13 kg R 12. In einem Obstlager mit 15 CHKJ in gutem technischen Zustand mit einer Kältemittelfüllmenge von je 25 kg R 12 wurde das Kältemittel R 12 einmal gegen R 401A und einmal gegen R 409A ausgetauscht. Ein

**Abb. 3 Darstellung des direkten und indirekten Beitrages einer Kälteanlage zum Treibhauseffekt für die untersuchten Kältemittel.**

■ – indirekter Treibhauseffekt gegeben durch den Stromverbrauch.  
 ■ – direkter Treibhauseffekt gegeben durch Kältemittelleckagen.



Retrofit wurde im Jahr 1993 in einer Milchkuhfarm an einer Milchkühlanlage mit einer Kältemittelfüllmenge von 15 kg durchgeführt. Die Anlage arbeitet seit vier Jahren zuverlässig. Der Entschluß, einen Kältemittelaustausch durchzuführen, hängt nicht nur von den gezeigten technischen Möglichkeiten ab, sondern vor allen Dingen:

- von der Effektivität der Kosten zur Durchführung des R 12-Austausches,
- der Wirtschaftlichkeit des Betriebes mit dem neuen Kältemittel,
- dem Maß an Risiko hinsichtlich des technischen Zustandes der Anlage, Servicemöglichkeiten u. ä.

Wie man aus der Tabelle 2 erkennt, ist das gemeinsame Kennzeichen aller untersuchten Kältemittel eine geringfügige Saugdruckerhöhung und die Verminderung des Druckverhältnisses, was einen positiven Einfluß auf den Betrieb des Verdichters hat. Selbstverständlich muß die Überhitzung kontrolliert und eventuell das Expansionsven-

til nachreguliert werden, damit die Kälteleistung nicht sinkt.

Als servicegeeignete Kältemittel anstatt des ökologisch schädlichen Kältemittels R 12 kommen diese Ersatzstoffe in Frage:

**R 134a** – als einzige Alternative eines reinen H-FKW geeignet für ein „Drop In“ mit Zusatz von Alkylbenzol

**R 401, R 409A** – als H-FCKW-Gemische

**R 12/R 134a** – als Gemisch mit mindestens 20 Gew.-% R 12.

Auch ältere Anlagen kann man weiter mit relativ geringen nachträglichen Kosten im Umfang von 5 000–7 000 Stück in der mittleren Kühlung mit geringeren Energiekosten ökologisch betreiben. Damit gewinnt man die Kosten für den Kältemittelaustausch binnen zwei bis vier Jahren zurück. Aus den gemessenen energetischen Daten geht eine günstige Lösung durch den Einsatz der Ersatzkältemittel R 401A und R 409A hervor. Diese Kältemittel

Ort	Druck	R12/ R134a	p <sub>a</sub> /p <sub>s</sub>	R12/ R401A	p <sub>a</sub> /p <sub>s</sub>	R12/ R409A	p <sub>a</sub> /p <sub>s</sub>
VM Agromed	p <sub>a</sub>	10,5/10,6	R12=8,75	11,2/11,8	R12=9,33	10,4/13,6	R12=8,6
	p <sub>s</sub>	1,2/1,3	R134=8,2	1,2/1,3	R134=9,1	1,2/1,4	R134=9,7
Ovocentrum	p <sub>a</sub>	-	-	7,5/11	R12=7,5	9,7/11	R12=8,73
	p <sub>s</sub>	-	-	1/1,8	R134=6,1	0,9/1,4	R134=7,8

Tabelle 2 Vergleich der Druckänderungen nach dem Kältemittelaustausch.



Abb. 4 VM Agromed a.s. Vefl<sup>3</sup>/<sub>4</sub>ký Meder an den Anlagen ZD6 mit Verdichtern KP 101 mit 13 kg Kältemittel R 12 ausgetauscht durch Kältemittel R 134a, R 404A, R 409A.

sind ökologisch nicht 100 % rein, da sie einen gewissen Prozentsatz R 22 enthalten und mit einem Temperaturgleit arbeiten. Aus dieser Sicht zeigt sich im Vergleich der Einsatz des Kältemittels R 134a vorteilhaft, das mit dem zugesetzten Alkylbenzol mischbar ist. Die beschriebenen Vorgänge sind in der Praxis erprobt und werden bereits angewendet. Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Anwendung des Kältemittels R 134a vergleichbar mit den Kältemitteln R 401A und R 409A, und für den Fall, daß auch ein Ölwechsel notwendig ist, kann das Kältemittel R 134a günstiger sein.

**Literatur**

- [1] Havelský, V., Tomlein, P., Löffler, J.: Forschung und experimentelle Überprüfung der Servicekältemittel als Ersatz für das ökologisch schädliche Kältemittel R 12. Das ökologische Projekt des Umweltministeriums der Slowakischen Republik, Bratislava, 1996, Slowakei.
- [2] Tomlein, P.: Untersuchung umweltfreundlicher Kältemittel zum Einsatz in der Landwirtschaft. Forschungsaufgabe. Forschungsinstitut Rovinka, 1993, Slowakei.



Abb. 5 Ovocentrum s.r.o. Košice an den Anlagen CHZP mit 25 kg Kältemittel R 12 ausgetauscht durch R 401A, R 409A.

## Erste Transportkältemaschine mit Propan als Kältemittel

*Das allgemein gewachsene Umweltbewußtsein bewog einige große Lebensmittelhandelsketten wie z. B. die REWE-Gruppe zu der Überlegung, zukünftig bei Neuanschaffungen von Kälteanlagen, soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, nur noch umweltfreundliche Kältemittel einzusetzen, die weder ein Ozon-Abbaupotential besitzen noch einen direkten Beitrag zum Treibhauseffekt leisten. Das heißt, es wird eine „doppelte Null-Lösung“ angestrebt, bei der sowohl der ODP-Wert (Ozon-Depletion-Potential) als auch der GWP-Wert (Global-Warming-Potential) praktisch Null sind.*

Da FRIGOBLOCK bereits vor mehr als 5 Jahren umfangreiche Untersuchungen mit brennbaren Kältemitteln durchgeführt hat und Propan (R 290) das Kältemittel ist, das allgemein als das umweltgerechteste Kältemittel angesehen wird, hat sich FRIGOBLOCK gemeinsam mit der REWE entschlossen, ein Versuchsfahrzeug mit Propan als Kältemittel auszurüsten, das nun auf seine Praxistauglichkeit untersucht werden soll.

Hierzu bot sich eine besonders gute Möglichkeit, da die REWE derzeit in Zusammenarbeit mit MAN und Messer Griesheim ein neues Fahrzeugkonzept testet, das mit flüssigem Methan als Treibstoff arbeitet. Diese Antriebsvariante ist in bezug auf die Abgasqualität und auch die Geräuschemission allen dieselbetriebenen Fahrzeugen bei weitem überlegen. Gleichzeitig stellt Propan als Kältemittel bei diesem speziel-

len Fahrzeug kein zusätzliches Risiko dar, da ohnehin alle Sicherheitseinrichtungen für das deutlich leichter zu entzündende Methangas eingebaut wurden.

Als Ausgangskältemaschine wurde ein FRIGOBLOCK FK 13 eingebaut, der nicht nur besonders leistungsstark ist, sondern auch die meistverkaufte FRIGOBLOCK-Kältemaschine am Markt darstellt. Von den brennbaren Kohlenwasserstoffen wurde Propan als Kältemittel gewählt, da es fast die hohe Leistung von R 22 erreicht und dabei einen ebenso niedrigen spezifischen Energieverbrauch gewährleistet. Damit ist Propan allen anderen ozonunschädlichen Ersatzkältemitteln wie R 404a, R 507 und R 134a in bezug auf den Gesamttreibhauseffekt (TEWI) deutlich überlegen.

Um jedoch auch die Praxistauglichkeit von Propan für Transportkälteanlagen



Der mit flüssigem Methan angetriebene MAN-Frischdienst-Verteiler-Lkw der Firma REWE soll ca. 25 bis 30 % der benötigten Kälteenergie „kostenlos“ durch Verdampfung des tiefkalten Methangases ( $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) erzeugen. Deshalb wurde zusätzlich neben dem generatorbetriebenen Standard-FRIGOBLOCK FK 13 mit außerhalb des Laderaums liegendem Verdampfer (rechts) ein von Messer Griesheim modifizierter FRIGOBLOCK-Flachverdampfer (links) für die Verdampfung des Lkw-Motor-Treibstoffes eingebaut.



FRIGOBLOCK testet als erster Hersteller das umweltgerechte Ersatzkältemittel Propan, das bei minimalem Energieverbrauch eine hohe Kälteleistung bis  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  Aufbauatemperatur ermöglicht. Damit stellt FRIGOBLOCK die erste Transportkälteanlage vor, deren Kältemittel weder eine Schädigung der Ozonschicht verursacht noch einen Beitrag zum Treibhauseffekt leistet.

zu untersuchen, wurde die Sicherheitstechnik der FRIGOBLOCK-Kälteanlage so modifiziert, daß das leicht brennbare Propan zukünftig auch für Standard-Lkw ohne die Zusatzeinrichtungen, die für den Methan-Betrieb erforderlich sind, eingesetzt werden kann. So gibt es, um jegliche Leckagemöglichkeit im Laderaum auszuschließen, im gesamten Verdampferbereich der FRIGOBLOCK-Kältemaschine keine lösbaren Rohrleitungsverbindungsstellen, sondern alle Rohrleitungen wurden verschweißt bzw. absolut gasdicht hart verlötet.

Da FRIGOBLOCK-Generatoranlagen ausschließlich mit sehr robusten, zuverlässigen und wartungsarmen Drehstrombauteilen arbeiten, konnten alle Auflagen in bezug auf die Explosionschutzrichtlinien problemlos eingehalten bzw. noch durch zusätzliche Schutzklassen überboten werden. So erreichen alle Elektrobauteile nur ca. 30 % der maximal zulässigen Oberflächentemperaturen, und sie entsprechen grundsätzlich der Schutzart IP 54, meist sogar der Schutzart IP 65. Elektrobauteile, wie Temperatur- und Druckschalter, in denen elektrische Zündfunken entstehen können, wurden dauerhaft mit einer elastischen Kunststoff-Vergußmasse gasdicht verschlossen. Ein Gas-Sensor schaltet die komplette Kälteanlage bei eventuellen Leckagen rechtzeitig aus, weit bevor ein brennbares bzw. explosionsfähiges Gas-/Luftgemisch entstehen kann.

So wurden die für Fahrzeuge mit Flüssiggasantrieb bestehenden Vorschriften und auch alle übrigen bestehenden Unfallverhütungsvorschriften übertroffen und ein störungsfreier Betrieb ohne zusätzliche Risiken ist gewährleistet. Transportkälteanlagen mit eingebautem eigenen Verbrennungsmotor, mit Hydraulikantrieb oder auch mit Direktantrieb vom Lkw-Motor mit aus der Fahrzeugbatterie betriebenen Gleichstromlüftern, können diese strengen Sicherheitsanforderungen nicht erfüllen. Die FRIGOBLOCK-Generatortechnik bietet dagegen alle Voraussetzungen hierzu; für den Transport von bestimmten Chemikalien werden FRIGOBLOCK-Anlagen z. B. bereits seit Jahren in explosionsgeschützter Ausführung geliefert.

Mit dem besonders umweltverträglichen Kältemittel Propan erprobt FRIGOBLOCK derzeit als erster Hersteller ein Kältemittel, das sowohl in bezug auf die Ozongefährdung als auch die Treibhausbelastung absolut

unschädlich ist und auch relativ kurzfristig in der Praxis einzusetzen ist. Zugleich ist es in bezug auf den spezifischen Energieverbrauch allen anderen Ersatzkältemitteln – außer dem ebenso von FRIGOBLOCK eingesetzten neuen Sicherheitshochdruckkältemittel R 410A (AZ 20) – deutlich überlegen.

Da aber R 410A wegen der höheren Drucklage nicht in vorhandene Altanlagen eingefüllt werden kann und Propan wegen der zusätzlichen Sicherheitsauflagen als Ersatzkältemittel für R 502-Altanlagen in aller Regel ausscheidet, besteht derzeit nur die Möglichkeit, als Ersatzkältemittel für R 502-Altanlagen R 22 zu benennen oder aber R 22-Kältemittelgemische. Es bleibt zu hoffen, daß hier baldmöglichst eine offizielle Lösung gefunden wird, um nicht in letzter Minute auch noch den R 22-Verbotstermin zum 1. 1. 2000 für neue Kälteanlagen in der Bundesrepublik zu gefährden.

#### Beilagenhinweis:

Dieser Ausgabe liegen Beilagen der Firmen Airedale Kälte-Klima GmbH, Mühlheim/M., Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, und Deutsche ICI GmbH, Frankfurt/M., bei.

Wir bitten unsere Leser um freundliche Beachtung.