

Energetische und ökologische Vorteile von R 12-Ersatzstoffen

Václav Havelský, 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 Alkybenzolöle 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_c-Wertes eine höhere energetische Effizienz aufweisen als das Kältemittel R 12. Dabei steigen die absoluten Werte der Differenzen zwischen den einzelnen COP_c-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 folgendem 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,

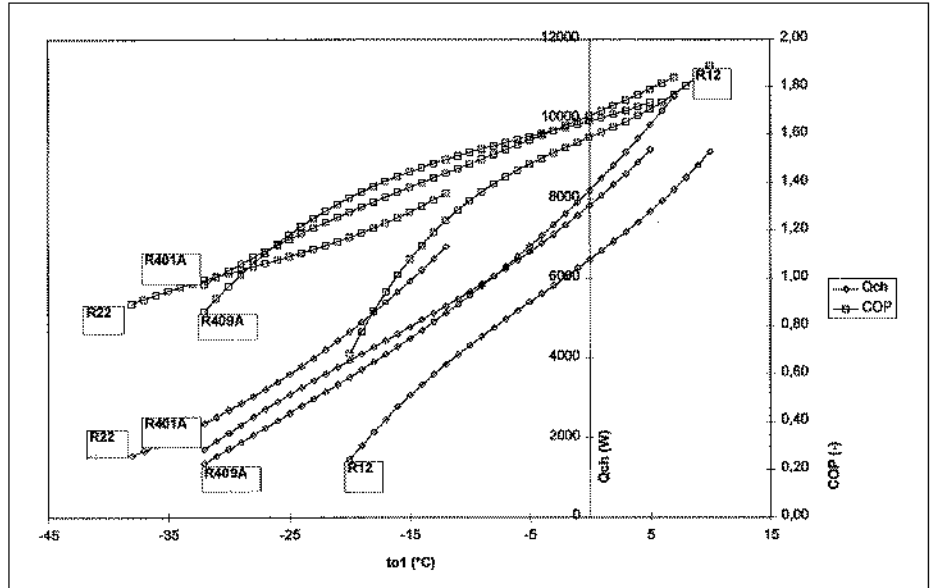


Abb. 1 Vergleich der gemessenen Werte der energetischen Effizienz einzelner Kältemittel auf der Basis von R 22 durch polynomische Regression.

- Faktor der Kältemittelrückgewinnung 70 %,
- CO₂ 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.

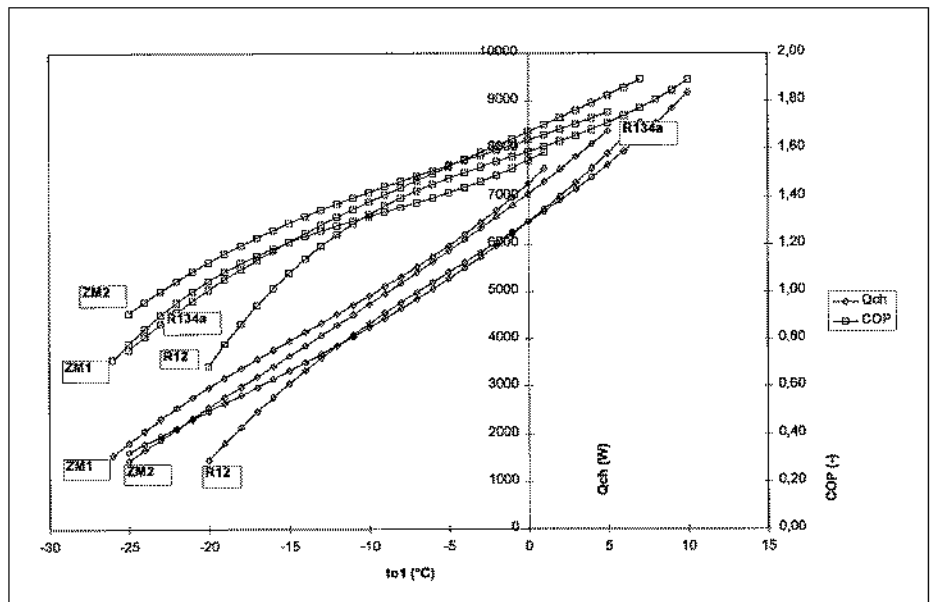


Abb. 2 Vergleich der gemessenen Werte der energetischen Effizienz einzelner Kältemittel auf der Basis von R 134a durch polynomische Regression.

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.

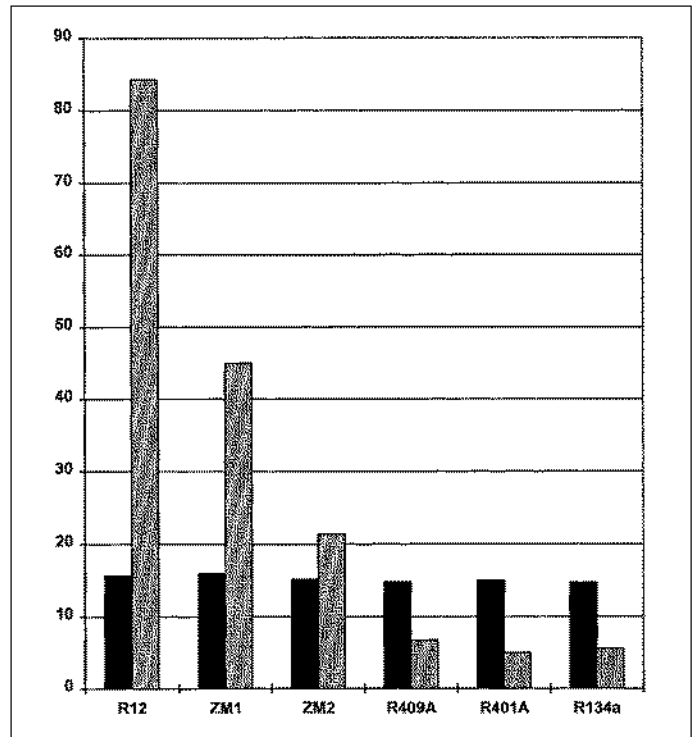
Kältemittelaustausch im Betrieb

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 Milchkühlung 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_s/P_s	R12/ R401A	P_s/P_s	R12/ R409A	P_s/P_s
VM Agromed	P_s	10,5/10,6	R12=8,75	11,2/11,8	R12=9,33	10,4/13,6	R12=8,6
	P_s	1,2/1,3	R134=8,2	1,2/1,3	R134=9,1	1,2/1,4	R134=9,7
Ovocentrum	P_s	-	-	7,5/11	R12=7,5	9,7/11	R12=8,73
	P_s	-	-	1/1,8	R134=6,1	0,9/1,4	R134=7,8

Tabelle 2 Vergleich der Druckänderungen nach dem Kältemittelaustausch.

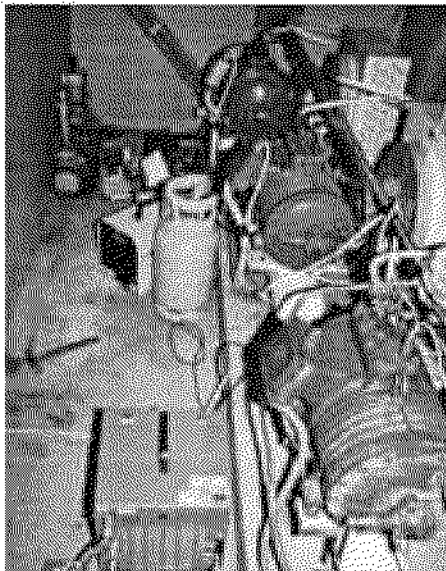


Abb. 4 VM Agromed a.s. Vefl³/₄ký Meder an den Anlagen ZD6 mit Verdichtern KP 101 mit 13 kg Kältemittel R 12 ausgetauscht durch Kältemittel R 134a, R 404A, R 409A.

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.

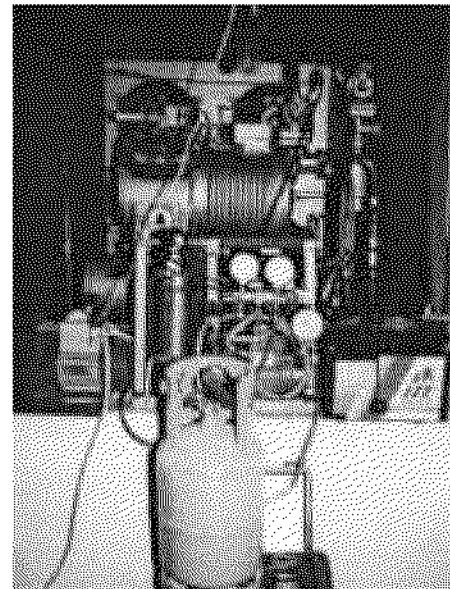
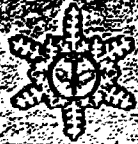


Abb. 5 Ovocentrum s.r.o. Košice an den Anlagen CHZP mit 25 kg Kältemittel R 12 ausgetauscht durch R 401A, R 409A.

KK DIE KÄLTE und Klimatechnik



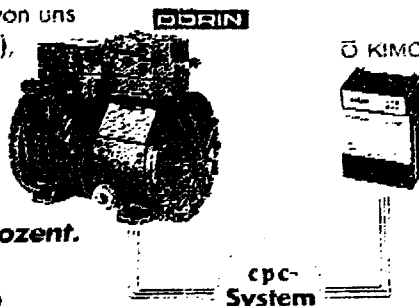
Offizielles Organ des Bundesinnungsverbandes
des Deutschen Kälteanlagenbauerhandwerks

Frequenzumrichter bieten viele an.
Wir liefern das Komplettpaket.



Fix und fertig vorprogrammiert erhalten Sie von uns das **cpc-System** (constant pressure cooling), mit dem Sie die Leistung von Kälteanlagen stufenlos dem kundenspezifischen Bedarf anpassen. Damit bieten Sie Ihren Kunden einen optimalen Anlagenbetrieb, verbunden mit einer **Energieeinsparung von bis zu 40 Prozent.**

Mit dem **cpc-System** sichern Sie sich einen Vorsprung im Markt. Informieren Sie sich noch heute.



Das **cpc-System** mit **KIMO-Frequenzumrichtern**, **DORIN-Kompressoren** und **MSR-Software** revolutioniert die Steuerung von Kälteanlagen

PAUL D. A. BISCHOFF

Brockdorfsstraße 3b
22149 Hamburg
Tel. (0 40) 6 72 07 56
Fax (0 40) 6 73 93 12

Uwe Langer

Alte Poststraße 20
09619 Mulda
Tel./Fax (03 73 20) 91 15
Funk (01 72) 82 92 301

FRIGOTEAM

Melnholtzstraße 15
80636 München
Tel. (089) 12 79 90 67
Fax (089) 18 61 18

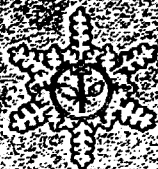
FRIGOTEAM

Am Raufang 3-5
12469 Potsdam
Tel. (03 31) 5 671 571 + 52 01 05
Fax (03 31) 2 07 05

Erba Kälte

GmbH

Robert-Bosch-Straße 23 · 71106 Magstadt
Postfach 11 47 · 71102 Magstadt
Tel. (071 57) 94 26 0 · Fax (071 57) 94 26 50
und weitere Partner



E 4031 E
51. Jahrgang, März 1998
Gentner Verlag Stuttgart
Postfach 10 17 42 · ISSN 0343-2246

3