



Prof. Dr.-Ing. Hans Rudolf Engelhorn,
Leiter des Institutes für Kältetechnik, Fachhochschule Gießen-Friedberg.



Dipl.-Ing. Alexander Käs,
wissenschaftlicher Mitarbeiter.



Dr.-Ing. Josef Osthues,
Entwicklungsleiter bei der Firma Ernst Flitsch GmbH + Co in Fellbach.

Feuchteindikatoren für neue Kältemittel

H. R. Engelhorn und A. Käs, Gießen, J. Osthues, Fellbach

Mit Feuchteindikatoren ausgerüstete Schaugläser sind wichtige Bestandteile von mit organischen Kältemitteln betriebenen Kältemaschinen. Sie ermöglichen, mit einem Blick festzustellen, ob die Kältemittelfüllung stimmt und ob der Wassergehalt des Kältemittels im zulässigen Bereich liegt.

Da Schaugläser zum Lieferprogramm der Ernst Flitsch GmbH + Co (Flica) gehören, ergab sich infolge der Umstellung auf neue Kältemittel die Notwendigkeit, die Feuchteindikatoren den veränderten hygroskopischen Eigenschaften der Kältemittel und Schmieröle anzupassen.

Im Labor für Kältetechnik der Fachhochschule Gießen-Friedberg wurden in einer Diplomarbeit neue Indikatoren auf ihr Anzeigeverhalten geprüft und gewonnene Erkenntnisse als Verbesserungen umgesetzt. Vergleichsweise wurden Wettbewerbsprodukte in die Untersuchungen mit einbezogen.

Versuchsanlage

Das Schema der Versuchsanlage geht aus Abb. 1 hervor, Abb. 1a zeigt einen Blick auf die Anlage. Als Kältemaschine diente ein Kleinkälteaggregat, das für Laborzwecke mit einer umfangreichen Meß- und Regeleinrichtung ausgerüstet ist.

Tabelle 1 Schauglasbezeichnungen.

Kältemittel	chem. Formel	t _s (1,013bar) °C	t _k °C	ODP	HGWP
R 22	CHF ₂ Cl	-40,8	96,2	0,055 ^{*)}	0,37 ^{*)}
R 134a	CF ₃ -CH ₂ F	-26,2	101,15	0	0,3 ^{*)}
R 401A	CHF ₂ Cl/ CHClFCF ₂ / CH ₃ CHF ₂ / Masse % 53% R 22 34% R 124 13% R 152a	-33,1	108	0,03 ^{**)}	0,17 ^{**)}
R 402A	CHF ₂ Cl/ CF ₃ -CHF ₂ / C ₃ H ₈ Masse % 38% R 22 60% R 125 2% R 290	-49,2	75,5	0,02 ^{**)}	0,63 ^{**)}
R 404A	CF ₃ -CHF ₂ / CF ₃ -CH ₂ F/ CF ₃ -CH ₃ Masse % 44% R 125 4% R 134a 52% R 143a	-46,5	72,1	0	0,94 ^{*)}
R 407C	CH ₂ F ₂ / CF ₃ -CHF ₂ / CF ₃ -CH ₂ F Masse % 23% R 32 25% R 125 52% R 134a	ca. -44	86,41	0	0,35 ^{*)}

^{*)} Angabe Hoechst AG

^{**)} Angabe Du Pont

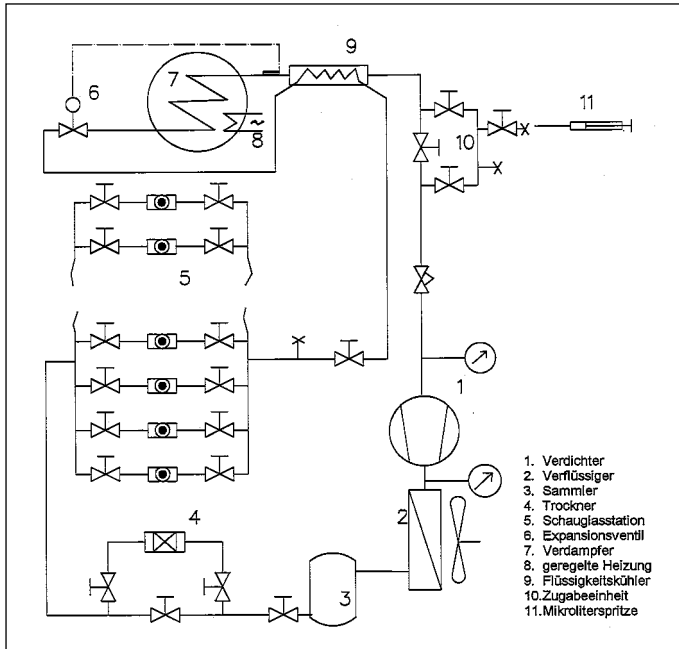


Abb. 1 Schema der Versuchsanlage.

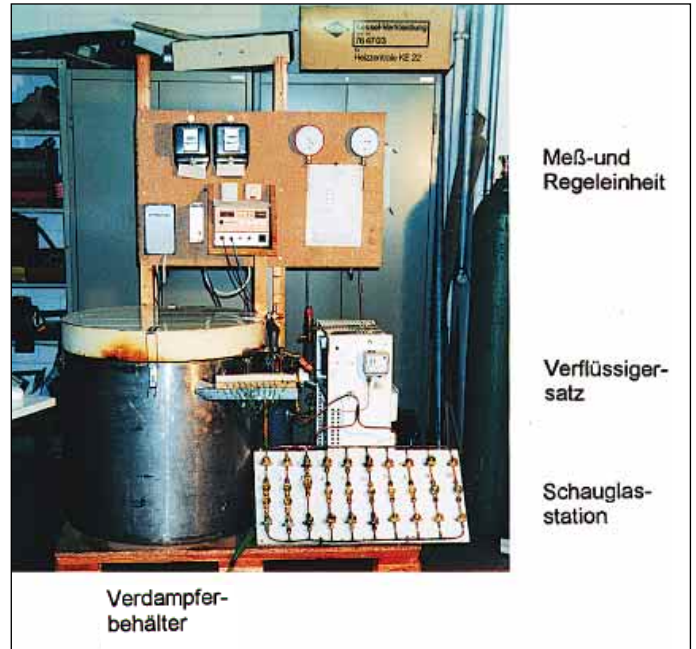


Abb. 1a Ansicht der Versuchsanlage.

Das Aggregat wurde ergänzt durch eine aus 8 Schaugläsern bestehende Schauglasstation (Pos. 5), eine Einrichtung zur genauen und definierten Wasserzugabe (Pos. 10 und 11) und, zur Vergrößerung der Kältemittelmengen, einen Kältemittelsammler (Pos. 3). Zusätzlich wurden für den Trockner (Pos. 4) Ventile angebracht, damit dieser vor der Wasserzugabe zur Trocknung zugeschaltet und danach außer Betrieb genommen werden kann. Die Mikroliterspritze (Pos. 11), mit einem Kolbendurchmesser von wenig mehr als $\frac{3}{10}$ mm, erlaubt, die Wasserzugabe je Füllhub auf die sehr kleine Menge von 0,005 ml zu begrenzen, wodurch die Zugabegenauigkeit sehr hoch ist.

Versuchsdurchführung

Nach Entleerung des zuvor eingefüllten Kältemittels wurde die Anlage mehrere Tage evakuiert, mehrmals mit dem neu zu untersuchenden Kältemittel gespült, wieder evakuiert und die Kältemittelmengen in der Flüssigphase unter Zuhilfenahme einer Präzisionswaage eingefüllt.

Das Wasser wurde mit der Mikroliterspritze in Intervallen von 6 Stunden zugegeben, bis der Wasseranteil 160 mg je kg Kältemittel erreicht hatte. Die Farablesung an den Indikatoren erfolgte zu gleichen Zeiten wie die Wasserzugabe. Die Reaktionsgeschwindigkeit der neuen Indikatoren erwies sich als praxisgerecht, wengleich

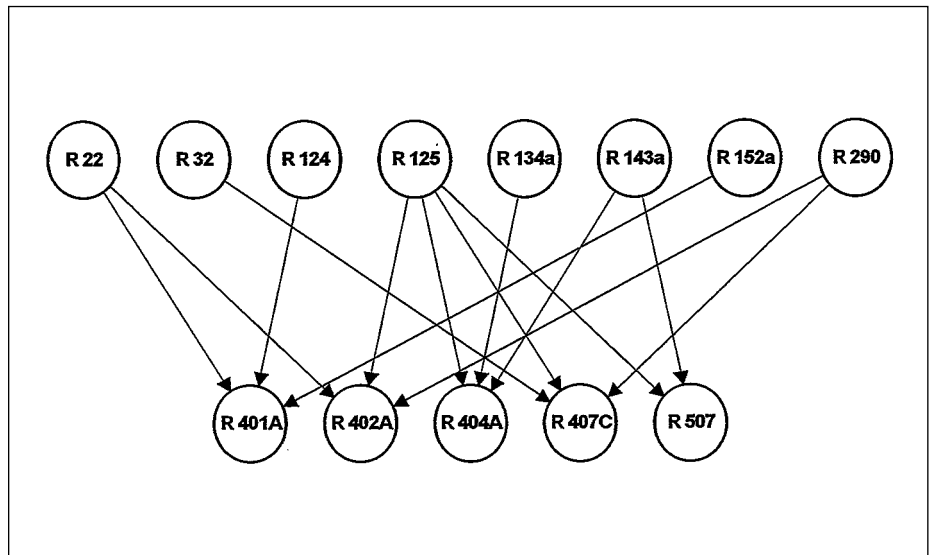


Abb. 2 Untersuchte Gemische und deren Einzelkomponenten.

Schauglas Nr.	Firma/ Kältemittel (neu/alt)
1	Flica /neu
2	Flica /neu
3	Flica /neu
4	Flica /alt
5	Wettbewerb A /neu
6	Wettbewerb A /alt
7	Wettbewerb B /alt
8	Wettbewerb C /alt

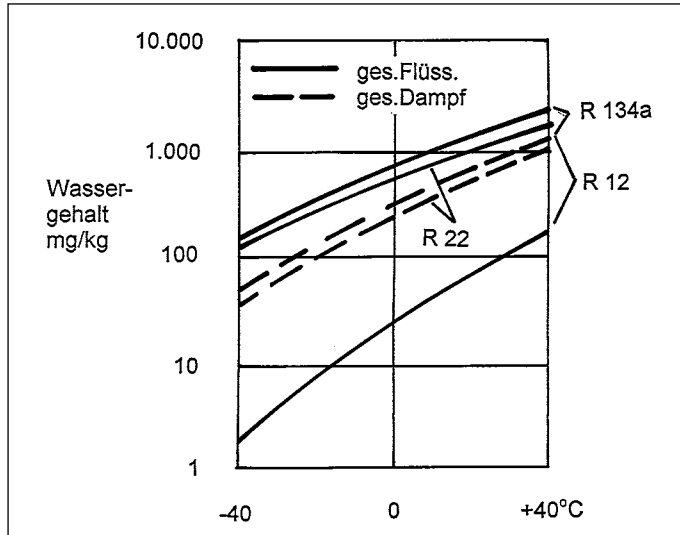
Tabelle 2 Daten der untersuchten Kältemittel.

auch etwas langsamer als die der bisher verwendeten Indikatoren. Die Versuche fanden bei einer Verdampfungstemperatur von 0 °C und einer Verflüssigungstemperatur von 30 °C statt.

Schaugläser

Von den untersuchten 8 Schaugläsern stammen 4 von Flica und 4 von Wettbewerbsfirmen, die hier namentlich nicht genannt werden. Die Schauglasbezeichnungen werden für nachstehende Darlegungen wie folgt verschlüsselt:

Abb. 3 Wasserlöslichkeit von R 12, R 22 und R 134a in der Flüssigkeits- und Dampfphase (Quelle: Hoechst AG).



Kältemittel und Kältemaschinenöl

Stoffe und Daten

In Tabelle 2 sind die bei den Versuchen verwendeten Kältemittel eingetragen. Neben R 22 – als Vergleichsstoff – waren dies u. a. die neuen Kältemittel R 134a und die nahe-azeotropen Gemische R 401A, R 402A, R 404A und R 407C, deren Komponenten samt Anteilen in der Tabelle angegeben sind.

Weiterhin eingetragen sind die Normalsiedetemperaturen (t_s), die kritischen Temperaturen (t_k) und die ODP- und die HGWP-Werte. Bei den Gemischen stellt die Normalsiedetemperatur den Siedebeginn dar.

In Abb. 2 sind in numerischer Reihung die Gemische den Komponenten gegenübergestellt.

Wassergehalt und Wasserlöslichkeit

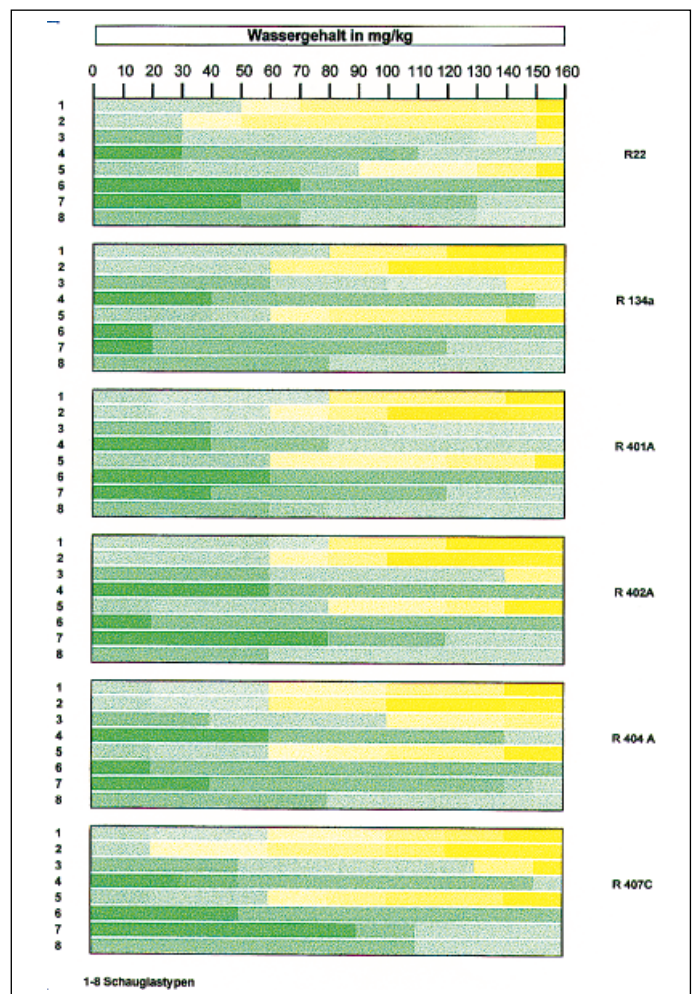
Der Wassergehalt der Gemische wurde vom Lieferanten mit 10 mg/kg angegeben. Näherungsweise wurde dies durch eigene, auf der P_2O_5 -Methode beruhende Analysen bestätigt, bei denen Werte zwischen 11 bis 16 mg/kg ermittelt wurden.

Nach heutigem Wissensstand ist davon auszugehen, daß der maximale Wassergehalt etwa 60 bis 80 mg/kg nicht überschreiten soll, d. h., daß bei höheren Werten der Farbumschlag am Indikator nach gelb erfolgt sein muß.

Einen Eindruck von der unterschiedlichen Wasserlöslichkeit vermittelt Abb. 3, worin für R 12, R 22 und R 134a die Löslichkeit im Sättigungszustand von Flüssigkeit und Dampf bei Temperaturen von -40 bis +40 °C eingetragen ist. Danach weisen die polaren Stoffe R 134a

und R 22 ein gänzlich anderes Verhalten als das unpolare R 12 auf; die Aufnahmefähigkeit in der Flüssigphase unterscheidet sich nicht nur um 1 bis 2 Größenordnungen, sondern ist in der Flüssig- und der Dampfphase vertauscht.

Abb. 4 Farbanzeigen der Indikatoren für die untersuchten Kältemittel.



Für die eigenen Versuche waren keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen R 22 und den neuen Stoffen zu erwarten, was sich auch bestätigte.

Meßergebnisse

Eine Zusammenstellung aller mit den 8 Schaugläsern und den 6 genannten Kältemitteln gefundenen Farbanzeigen zeigt Abb. 4. Wie üblich, bedeutet grün „trocken“, gelb „feucht“. Zu berücksichtigen ist, daß die Farbermittlung vom Betrachter abhängig und damit subjektiv und die Ergebnisse somit eine gewisse Unschärfe besitzen.

Die visuell ermittelten Farben wurden mit einer definierten Farbskala verglichen und dieser zugeordnet (Pantone Color Formula Guide 3000). Die Farbabstufungen in Abb. 4 sind durch die Zeitintervalle zwischen den Ablesungen bedingt; in Wirklichkeit ist der Farbübergang kontinuierlich.

Aus Abb. 4 ist zu erkennen, daß bei den bisherigen Indikatoren (Nr. 4, 6, 7 und 8) innerhalb des gesamten Feuch-

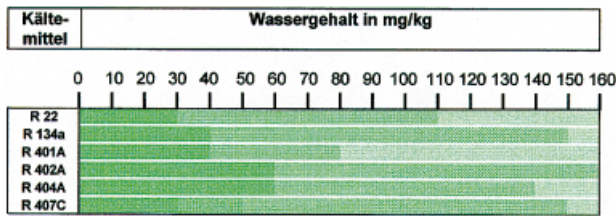


Abb. 5 Farbanzeige von Indikator Nr. 4.

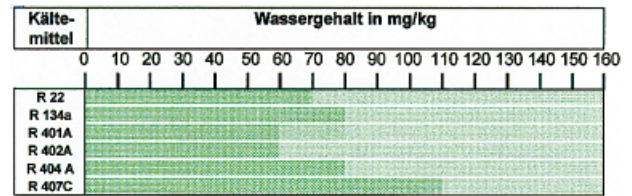


Abb. 6 Farbanzeige von Indikator Nr. 8.

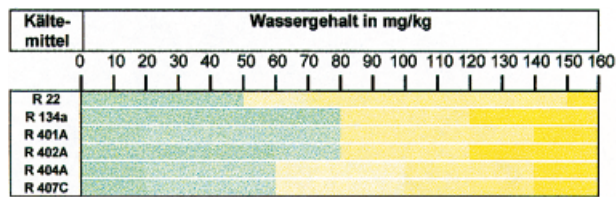


Abb. 7 Farbanzeige von Indikator Nr. 1.

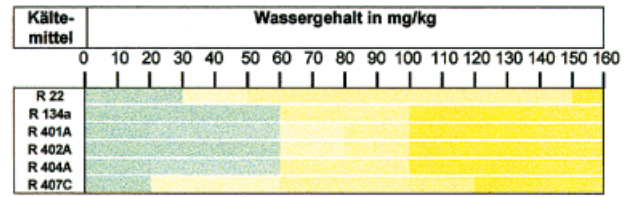


Abb. 8 Farbanzeige von Indikator Nr. 2.

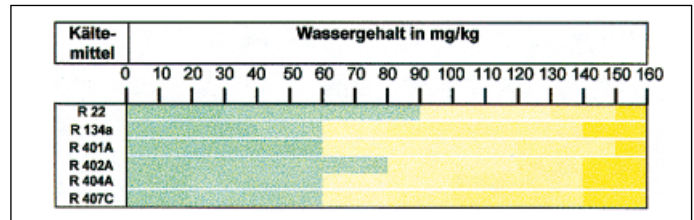
tebereiches kein Farbumschlag nach gelb erfolgt, was demgegenüber bei den neuen Indikatoren (Nr. 1, 2, 3 und 5) der Fall ist. Der neue Indikator Nr. 3 erwies sich als zu unempfindlich, was zur Folge hatte, daß die Indikatoren 1 und 2 später ergänzt wurden.

Abb. 5 zeigt die Ergebnisse für den Indikator Nr. 4. Der dunkelgrüne Bereich, somit die Anzeige für hohen Trocknungsgrad, reicht fälschlicherweise bis maximal 60 mg/kg, der hellgrüne Bereich erstreckt sich bis zur maximalen Feuchte, ohne daß ein Umschlag erfolgt. Auch das Wettbewerbsprodukt Nr. 8 (Abb. 6) verhält sich ganz ähnlich.

Insgesamt war festzustellen, daß die bisherigen Indikatoren für die neuen Kältemittel ungeeignet sind.

Die Ergebnisse für die neuen Indikatoren Nr. 1 und 2 zeigen, wie bereits angedeutet, daß der Umschlag zu deut-

Abb. 9 Farbanzeige von Indikator Nr. 5.



lich niedrigeren Wassergehalten verschoben werden konnte. So erfolgt der Umschlag bei Indikator 1 (Abb. 7) zwischen 50 und 80 mg/kg, bei Indikator 2 (Abb. 8) zwischen 20 und 60 mg/kg, der somit die größere Empfindlichkeit von beiden aufweist. Das Fremdprodukt Nr. 5 (Abb. 9) verhält sich bezüglich des Umschlagbereiches ähnlich wie Nr. 1.

Folgerungen

Die früher verwendeten Indikatoren sind für die neuen Kältemittel ungeeignet; innerhalb des bis 160 mg/kg reichenden Untersuchungsbereiches erfolgt kein Farbumschlag nach gelb und damit eine Anzeige von zu hoher Feuchte. Die neuen Indikatoren erfüllen die Anforderungen, indem der Farbumschlag bei max. 80 mg/kg stattfindet. Mit einer gewissen Toleranz im Umschlagbereich (ca. 30 bis 40 mg/kg) erweisen sie sich zudem als universell einsetzbar.

Tiefbewegt von der großen Anteilnahme, den Beweisen der Achtung und Wertschätzung, welche durch Blumen, Kränze, stillen Händedruck, herzlich geschriebene Worte und persönliches Geleit in den schweren Stunden des unerwarteten Abschiedes von unserem hochgeschätzten Obermeister, stellv. Bundesinnungsmeister, Kreishandwerksmeister

Herrn Gotthardt Kohl

geboren am 31. 12. 1932 gestorben am 17. 12. 1996

entgegengebracht wurden, bedanken wir uns auf diesem Wege ganz herzlich.

Möge in unserem Gedenken sein Vermächtnis weiterleben und uns ständig zu weisen Entscheidungen zum Wohle des Handwerks beflügeln.

Sächsische Kälteanlagenbauer-Innung
VDKF – Landesverband Sachsen

Annaberg, im Januar 1997