

NH₃/DME = R 723

Karl Huber, Halfing

Dieser Beitrag soll zeigen, daß natürliche Kältemittel in vielen Fällen eine absolut sinnvolle Alternative zu den momentan etablierten Stoffen sein können. Dies kann auch als Resümee der 3. KK-Fachtagung in Bingen angesehen werden, auf der sich gezeigt hat, daß es Ziel für unsere Branche sein muß, für den jeweiligen Kühlfall das optimale Kältemittel – im Hinblick auf Umweltverträglichkeit in Verbindung mit energetischer Effizienz – einzusetzen. Einen durchaus gangbaren Weg zeigt unter diesem Gesichtspunkt das Kältemittel R 723, eine Mischung aus Ammoniak (NH₃ = R 717) und Dimethylether (DME = R E 170).

Diese Äußerung wird in aller Verantwortlichkeit getätigt und nicht wie oft angenommen nur aus Publizitätsgründen. Unternehmen wie die HKT Huber-Kälte-Technik GmbH äußern sich seltener als große Unternehmen in der Öffentlichkeit, gehen aber deshalb keineswegs unverantwortlicher mit ihren Äußerungen um. Mit dem HKT NH₃/DME (Azeotrop R 717 + R E 170) Kaltwassersatz soll nachgewiesen werden, daß hier ein praktikables Kältemittel der Klasse 2 zur Verfügung steht, mit dem man auch wieder von Fall zu Fall über den Einsatz von Ammoniak unter 100 kW Kälteleistung nachdenken muß und sollte.

Voraussetzungen, Hintergrund, Kältemittel

Laboruntersuchungen und damit verbundene Messungen an Goeldner-Verdichtern [1] haben gezeigt, daß man mit NH₃/DME die 3 Hauptprobleme, die man bisher bei kleinen NH₃-Anlagen unter 100 kW hatte, wie in Tabelle 1 dargestellt beseitigen kann:

Konkret bedeutet dies, die Verdichtungsendtemperatur wird bei Verwendung von R 723 um bis zu 25 K reduziert. Ein sinnvoller einstufiger Einsatz von NH₃-Verdichtern mit luftgekühltem Verflüssiger, bei t_c = +42 °C, in einem Verdampfungsbereich von +10 °C bis -16 °C ist nicht nur möglich, sondern auch sinnvoll unter dem Gesichtspunkt „Kosten-Nutzen“ (COP, TCO).

Die logische Konsequenz für eine ökologische und ökonomische Verantwortlichkeit eines Unternehmens ist, diesen Laborergebnissen durch kontrollierte Praxistests nachzugehen. Denn wir haben

zum Autor
Dipl.-Ing. (FH)
Karl Huber,
Geschäftsführer
der Firma
HKT GmbH,
Halfing



1992 bereits erlebt, daß theoretisch hervorragende Modelle in Zusammenhang mit NH₃ in der Praxis nicht oder nur schwer funktionierten. Es sei an die Thematik „ammoniaklösliche Kältemaschinenöle“ erinnert.

Wenn sich aber nach 2 Jahren Betrieb einer Anlage keine negativen Symptome zeigen, heißt dies, daß in dem natürlichen Kältemittel NH₃ trotz der negativen Erfahrungen der 90er Jahre, doch noch enor-

Problem bei kleinen NH ₃ -Anlagen	Folgen in der Vergangenheit	Eigenschaften R 723	Auswirkung auf Anlagenkonzept
Öltransport	Verdichterschäden	Die Komponente DME ist öllöslich	Ölrückführung problemlos
Verdichtungsendtemperatur	Einsatzbereich stark eingeschränkt	um bis zu 25 K niedriger	luftgekühlte Kondensator möglich
trockene Expansion	nur schwer möglich	gut möglich	Kostensenkung

Tabelle 1 Vorteile von R 723 im Verhältnis zu R 717

	R 717	DME	Gemisch R 723
Anteil	60 %	40 %	azeotrop
Chem. Formel	NH ₃	C ₂ H ₆ O	
Qualität	3.8	3.0	
Kältemittelklasse EN 378	2	3	2

Tabelle 2 Daten zum Kältemittel R 723



Bild 1 Prototyp R 723 Kaltwassersatz von HKT für die Produktionskühlung

Bei der für den Eigenbedarf im Unternehmensverbund von HKT betriebenen Anlage handelt es sich um einen Wasserkühlsatz zur Kühlung der Kunststoffteilproduktion. Zugleich wird die Abwärme in die Heizung des Wohnhauses eingespeist (Bild 2).

Der Kaltwassersatz, der bei HKT von der Firma Fröde Kälte-Klimaanlagen gebaut wurde, besteht aus einem offenen direktgekuppelten Goeldner-Verdichtersatz vom Typ O 44 2 DK 160 (Bild 3). Der Verdichter wurde mit Hilfe der HKT-Verdichter-Auslegungssoftware bestimmt, allerdings für NH₃. In Bild 4 ist sehr schön die hohe Verdichtungsendtemperatur von 118,5 °C zu erkennen, die sich mit reinem NH₃ ergeben würde. Das Kältemittel R 723 verdampft trocken über ein thermostatisches Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich. Als Verdampfer wird ein gelöteter WTT-Plattenwärmetauscher

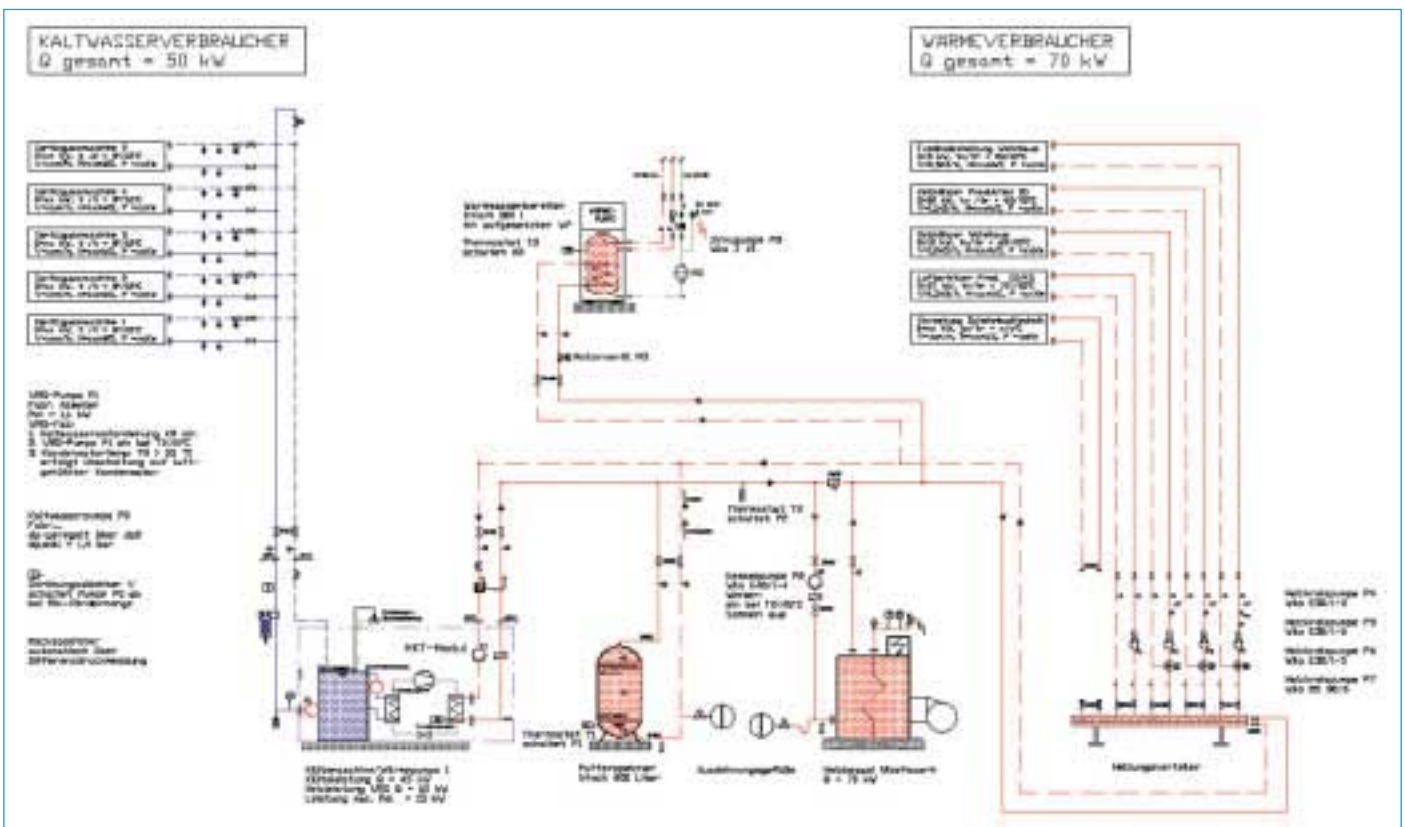


Bild 2 Funktionsschema Ing. Büro Kas, Kälte/Wärme; AH-Produktion und Wohnhaus

me Potentiale stecken. Insbesondere in Hinblick auf das azeotropische Gemisch mit DME.

An dieser Stelle gemäß Tabelle 2 einige Daten zum Kältemittel R 723, wie in unserem Fall eingesetzt. Sollten weitere Informationen benötigt werden, können diese in [2] für die Komponenten und [3] für das Gemisch nachgelesen werden.

Anlagenbeschreibung

Vorher Gesagtes soll nun hier an Hand der abgebildeten Anlage (Bild 1) vorgestellt werden.

eingesetzt (Bild 5). Für die Wärmerückgewinnung wird ebenfalls ein Plattenwärmetauscher eingesetzt. Die Wärmerückgewinnung wird über Magnetventile temperaturabhängig geschaltet. Der Außenkondensator ist ein luftgekühlter Wärmetauscher, die beiden Lüfter sind drehzahlregelt.



Bild 3 Hubkolbenverdichter Typ O 44 2DK 160, Fabrikat Goeldner, mit angeflanschem Elektromotor



Bild 5 Verdampfer und Expansionsventil, dahinter die Pumpen für die Wasserkreise

Um eine gute Trockenheit der Anlage zu erreichen, wurden sowohl saug- als auch druckseitig Filtertrockner mit Wechselkern eingebaut. (siehe auch Bild 7). Die Kaltwasserbereitung erfolgt in einem 2 m³ Edelstahl-Pufferspeicher. Es sind 3 Kreiselpumpen auf dem Rahmen installiert. Die Pumpe (P1) für den Verdampfer-Kreislauf, die mittels Frequenzumformer drehzahlregelte Pumpe (P2) für den Kühlkreislauf der Maschinen und die Pumpe (P3) für den Wärmerückgewinnungskreislauf.

Die Tatsache, daß offene Verdichter mit einer Wellenabdichtung (WAD), die

ein Verschleißteil darstellt, eingesetzt werden, ist nicht als großer Nachteil zu sehen. Von der bisherigen Erfahrung mit Anlagen, die mit reinem NH₃ betrieben werden ausgehend, ist ein Wechsel nur ca. alle 10 000 Betriebsstunden nötig. Dies kann im Zuge einer Wartung mit geringem Aufwand erledigt werden. Auch wissen erfahrene Anlagenbauer, daß es möglich ist, NH₃-Anlagen zu erstellen, bei denen man daneben stehen kann, ohne den Ammoniakgeruch wahrzunehmen. Und genau das ist der Punkt. Würde man die Lecks aller Kältemittel riechen, wäre eine Wartung, wenn nicht schon Pflicht, so doch schon lange

Usus, denn kein Betreiber würde eine „stinkende“ Anlage akzeptieren. In dieser Beziehung ist Ammoniak das einzige sozusagen ehrliche Kältemittel.

Als Besonderheit ist zu erwähnen, daß die **Verrohrung des Kaltwassersatzes**, ebenso wie der Außenkondensator, **in Kupfer ausgeführt** wurde. Da aber bereits in Laboruntersuchungen [3] nachgewiesen wurde, daß es möglich ist, Cu-Legierungen mit NH₃ einzusetzen, ist nach meiner Ansicht und weiteren mit dieser Thematik befaßten Experten von dieser Seite kein Problem zu erwarten. Es gilt lediglich zu wissen, daß NH₃ unter Benutzung von H₂O als Katalysator mit Cu-Legierungen reagiert. Das bedeutet jedoch zugleich, man darf keine Feuchtigkeit in die Anlage bekommen bzw. es muß trocken, vergleichbar mit Esteröl befüllten Anlagen, gearbeitet werden. Dazu ist jeder Kältefachmann in der Lage.

Wenn also noch weitere praxisnahe Untersuchungen genauso positiv verlaufen und damit die theoretischen Erkenntnisse untermauern, **kann die Verwendung von Cu-Rohren bei NH₃/DME-Anlagen durchaus in Betracht gezogen werden**. Denn in der DIN EN 378-2, in Absatz 8.3.1, heißt es eindeutig, wenn die Verträglichkeit von Kupfer mit Ammoniak vorher festgestellt wurde, darf es in diesem Zusammenhang verwendet werden.

Es werden 2mal jährlich Kältemittelproben gezogen und auf Feuchtigkeit überprüft. Zugleich ist ein herausnehmbares Rohrstück unmittelbar nach dem Ver-

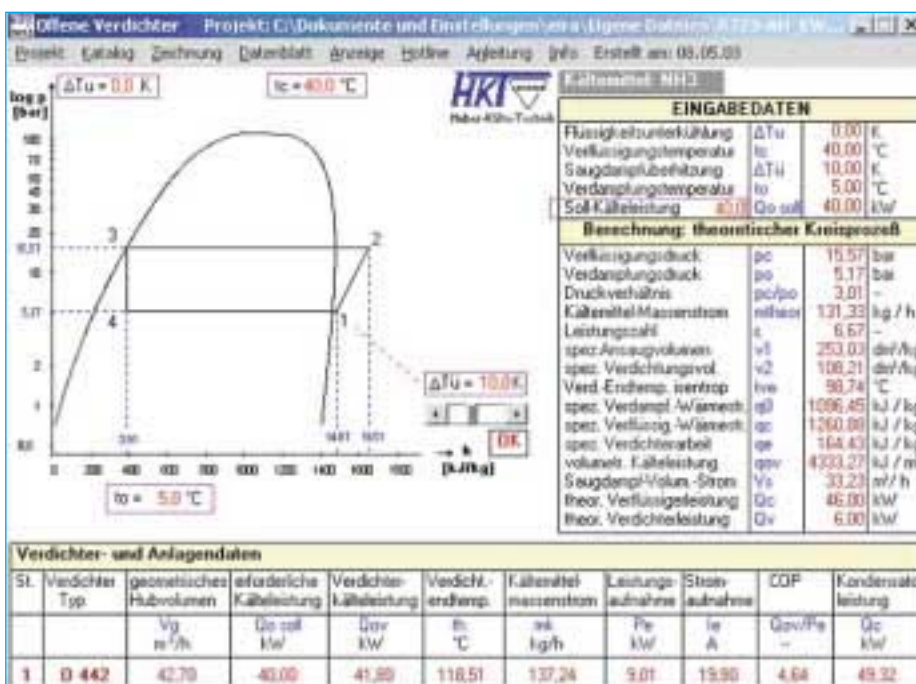


Bild 4 Auslegungsdaten des Verdichters

Protokoll	NH3/DME						AH			Stromzähler		KW-Satz		Wärmezähler		OLSG Stand	FLSG
	Temperaturanzeigen				Produktion		Manometer			(innen)		Betr.std.		Wärmezähler			
Dat./Zeit J/M/Tg	Verdampfer		Platten WT		Verl.	Rückl.	HD	ND	OD	gesamt	Kompr.	Kompr.	WRG	VD	WRG		
	ein	aus	ein	aus	°C	°C	bar/°C	bar/°C	bar	kWh	kWh	Std.	Std.	MWh	MWh		
03.03.20	13	9	48	48	12,4	16,4	23,0	4,0	5,8	28323	14084	1546	1440	32,81	27,04	u.k.	o.k.
03.03.25	12	9	50	51	13,7	16,4	23,5	3,4	5,8	28420	15019	1550	1443	32,91	27,13		
03.03.26	12	10	48	49	12	18,4	22,0	3,3	4,9	28471	15039	1552	1445	32,97	27,19	u.k.	o.k.
03.04.10	12	9	46	47	12,3	14,1	21,0	3,2	5,1	28979	15246	1573	1467	33,64	27,79	u.k.	o.k.
03.04.16	12	9	50	51	11,6	15,5	24,5	3,6	5,2	29182	15326	1582	1476	33,89	28,02	u.k.	o.k.
Summe 20.3.	12,2	9,2	48,4	49,2	12,4	16,2	22,8	3,5	5,36	859	342	36	36	1,080	0,980		

Bild 6 Auszug aus dem Datenmeßprotokoll für den Monat März

dichter, in der Heißgasleitung befindlich, eingebaut. Auch dieses wird einmal pro Jahr begutachtet.

Hier nun noch einige Eckdaten der Anlage:

- Kältemittel: R 723
- Kühlleistung: 41 kW bei $t_c = 5\text{ °C}$;
 $t_0 = 40\text{ °C}$
- Verdichter
Hubvolumen: 42,7 m³/h
- Antriebsmotor: 11,0 kW
- P1: 1,1 kW; 9 m³/h
- P2: 1,0 kW; 5 m³/h
- P3: 1,1 kW; 9 m³/h
- Heizleistung: 50 kW

Die Anlage wurde vom TÜV Süd-deutschland einer Einzelabnahme unterzogen und gemäß VGB 20/BGV D4 und DIN EN 378 überprüft.

Die Füllmenge liegt mit 9 kg unter 10 kg, so daß bezüglich der Aufstellung kein gesonderter Maschinenraum notwendig ist. Bei Verzicht auf den direkten Außenkondensator könnte die Füllmenge auf ca. 2 kg reduziert werden. Allerdings müßte man die Verluste durch den zusätzlich erforderlichen Plattenwärmetauscher in Kauf nehmen.

Erfahrung

Im ersten Jahr (1300 Betriebsstunden) wurde bei $-15/55\text{ °C}$ der Kaltwassersatz betrieben. Mit dem einstufigen offenen Goeldner-Verdichter, Typ O 44 2 DK 160, ohne Zusatzkühlung. Zustände kam diese tiefe Verdampfungstemperatur durch den zuerst verwendeten Bündelrohrverdampfer, in dessen Rillenrohren der Wärmeübergang durch den dicken Ölfilm stark behindert wurde. Unter Versuchsbedingungen ist es sicherlich interessant, die Anlage so zu betreiben. Doch energetisch gesehen, war dies eine hochgradige Energieverschwendung, so daß ein Umbau nötig wurde.

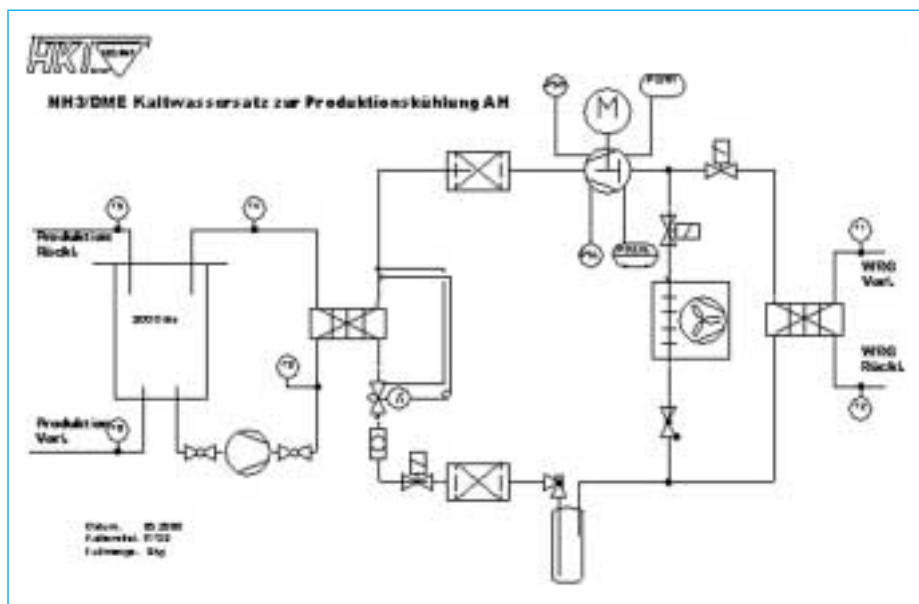


Bild 7 Fließbild R 723 Kaltwassersatz für die Produktionskühlung

Seit 1 Jahr wird nun ein neu ausgelegter Plattenwärmetauscher als Verdampfer eingesetzt, mit dem jetzt das 10grädige Kühlwasser bei $t_0 = +5\text{ °C}$ und $t_c = 57\text{ °C}$ bei Wärmerückgewinnung bzw 40 °C bei Außenkondensation, produziert wird. Die Gesamtlaufzeit des Verdichters beträgt derzeit 1623 Stunden, wobei davon 1199 Stunden mit Wärmerückgewinnung gefahren wurden.

Meßdaten und Auswertung

Die Verdichtungsendtemperatur beträgt beim Wärmerückgewinnungs-Betrieb, gemessen am Zylinderkopf, 137 °C . Zum Vergleich mit reinem NH₃ käme ein Betrieb ohne Zusatzkühlung nicht in Frage und die Temperatur würde sich an gleicher Stelle mit 165 °C einstellen. In dem gesamten Zeitraum des Versuchs wurden die wichtigsten Temperaturen, Drücke, Wärme- und Stromzählerstände 110mal abgelesen. Hier ein kleiner Auszug des Monats März 2003.

Im Zeitraum vom 20. 3. 2003 bis zum 16. 4. 2003 lief der Verdichter 36 Stunden. Es wurden vom Verdichter 342 kWh Strom aufgenommen und 1080 kWh Wärme der Produktion entzogen. Zugleich wurden 980 kWh Heizwärme erzeugt. Für den Verdichter ergibt sich somit ein praktischer COP von 3,16. Insgesamt wurden bis dato 34 520 kWh Wärme der Produktion entzogen und 28 460 kWh der Wärmerückgewinnung zugeführt. Dies entspricht einer Heizölsparsnis von ca. 4000 l.

Fazit

Jeder Anlagenbauer sollte in seine Überlegungen von Anlagenkonzepten die natürlichen Kältemittel mehr denn je einbeziehen. **Zum Einsatz sollte immer das Kältemittel kommen, das seinen Job am energieeffektivsten erfüllt und damit die eventuell auftretenden Mehrkosten in einem vertretbaren, möglichst kurzen Zeitraum amortisiert.**

Bei einer Anwendung wie oben geschildert, gilt in meinen Augen R 723 als Konzept Nr. 1. Es tritt also der Vergleich von direkt verdampfenden R 723 zu einem anderen Kältemittel, z. B. R 407C ein.

NH₃-Kältemaschinen sind einstufig bei Nutzungstemperaturen $t_n > -10$ °C effektiver als R 22-Kältemaschinen [5]; mit der Beimischung von DME dürfte sich diese Aussage auf -15 °C erweitern lassen. R 22 ist in diesem Bereich effektiver als R 407C, R 134a, R 404A oder R 507. Das heißt, wann immer es möglich ist, eine Anlage mit NH₃/DME zu bauen, ist das die beste Lösung. Daß eine derartige Anlage auch funktioniert, ist im hier beschriebenen Fall Fakt und sollte ohne Probleme auch auf andere Anwendungen übertragbar sein.

Die Kosten, auch wenn die Anlage Stahl-verrohrt werden sollte, übersteigen eine Lösung mit H-FKW nur unwesentlich. Bei diesen kurzen Kreisläufen betragen die vom Autor geschätzten Mehrkosten ca. 10 %.

Wenn aus der Suche nach dem besten COP einer Anlage ein natürliches Kältemittel resultiert, sollte es unser aller Pflicht sein, diese dem Betreiber anzubieten. Auch wenn man dazu seine persönliche „Komfortzone“ verlassen und altbewährtes überdenken muß.

Ausblick

Die Laufzeit des Verdichters ist zeitlich noch zu gering, um endgültige Aussagen über die Praxistauglichkeit treffen zu können. Nimmt man jedoch die Erfahrungen mit den Goeldner-Verdichtern im Zusammenhang mit reinem NH₃ hinzu, steht dem Bau von Kaltwassersätzen wie hier zuvor angeführt nichts mehr im Wege.

Leider waren in dem hier speziell beschriebenen Anwendungsfall die Angaben des Kühlbedarfs für die Produktion zu ungenau. Denn es wurden im genannten Zeitraum neue Spritzgußmaschinen angeschafft, die bei gleicher Leistung mit weniger Kühlung auskommen. Zugleich ist auch die Skalierbarkeit der Produktion durch zusätzliche Maschinen und Schichten zu berücksichtigen. Dem wird Rechnung getragen werden, indem der momentan im Einsatz befindliche Verdichter durch einen baugleichen mit kleinerer Kolbenhubstufe ersetzt wird. Dieser wird 20 % weniger Leistung haben und damit werden 20 % mehr Laufzeit erreicht werden können.

Das Potential des Kältemittels R 723 ist noch nicht ausgeschöpft, es gibt noch viel zu tun. Erste Schritte in diese Richtung werden sein:

- Baugröße reduzieren.
- COP noch weiter steigern (Wärmetauscher + Pumpen + Verdichter).
- Kaltwassersatz-Baureihe mit der Abstufung 25, 50, 75, 100 kW wird aufgelegt und vermarktet.
- FU-Regelung des Verdichters. □

Literatur

- [1] Neue Forschungsergebnisse mit NH₃/DME und Kupferwerkstoffen in der NH₃-Kältetechnik, Dr. Lippold, Dr. Schenk, ILK Dresden.
- [2] Dimethylether als Kältemittelkomponente, Hans Lippold, Rudolf Heide, KI Luft und Kältetechnik 5/1997.
- [3] Leistungsmessungen mit NH₃ bzw. NH₃/DME, Dipl.-Ing. (FH) Heinz Friedrich, ILK Dresden.
- [4] Das natürliche Kältemittel Ammoniak, euramon Information Nr. 2/Juli 1996.
- [5] Ammoniak-Verdichter-Kälteanlagen, Band 2, S. 27, Hans Dölz/Dieter Otto (Hrsg.), Verlag C. F. Müller Karlsruhe.
- [6] Gasebuch, 5. Auflage, Neufassung, GHC Gerlin, Holz + Co. Handelsges.mbH(Hrsg.)
- [7] DIN EN 378.