

Froster und TK-Lagerkühlung mit CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>-Kompressionskälteanlage**CO<sub>2</sub> kompakt verpackt\***

Kai Selmer, Flensburg\*\*

Der folgende anwendungsbetragene Beitrag befaßt sich mit der beispielhaften Darstellung einer CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>-Kaskadenkälteanlage mit Sabroe-Kolbenverdichtern auf der Hochdruck(NH<sub>3</sub>)- und Niederdruckseite der Kaskade anhand einer im Frühjahr 2001 in Bielefeld ausgeführten Anlage.

Zur Frostung und Lagerung von Fertig-Menü-Produkten entschied sich die M+P Tiefkühlkost GmbH, Bielefeld, eine York-Kälteanlage einzusetzen, in der für die Frostung und Lagerung CO<sub>2</sub> als Kältemittel eingesetzt wird. Durch die Verwendung von CO<sub>2</sub> ist eine um 10 K niedrigere Lufttemperatur im Froster wirtschaftlich zu erzeugen. Dadurch werden die verpackten Fertigenmenüs in kürzester Zeit auf -20 °C gefrostet. Mit einem kleineren Froster sind außerdem um ca. 20 % höhere Produktionsmengen zu realisieren. Ein weiterer Vorteil der Anlage besteht in der Vermeidung von NH<sub>3</sub> im Froster und in den nachfolgenden TK-Lagerräumen. Die Einhaltung von gesetzlichen Auflagen und die Reduzierung von Versicherungskosten für tiefgekühlte Warenbestände ist leichter möglich.

Um kurze Bauzeiten und eine hohe Qualität zu realisieren, wurde die gesamte Maschinenanlage in einen 40'-Container als Maschinenraum gemäß UVV/VBG 20 integriert. Dieser Aggregatcontainer beinhaltet die Verdichteraggregate, Abscheider-Behälter für NH<sub>3</sub> und CO<sub>2</sub>, die CO<sub>2</sub>-Kondensatoren, Schaltanlage und HD-Sammler CO<sub>2</sub>.

**Die Kälteanlage**

Die Produktionskälteanlage mit einer Gesamtkälteleistung von 450 kW versorgt bei einer CO<sub>2</sub>-Verdampfungstemperatur von t<sub>0</sub> = -52 °C einen Frigoscandia Gyrocompact-Spiral-Froster (350 kW) und

3 Gefrierräume (125 kW) mit Kälteenergie. Der Spiral-Froster wird dabei über ein CO<sub>2</sub>-Pumpensystem mit Kältemittel versorgt. Die insgesamt 5 Deckenluftkühler erhalten die notwendige CO<sub>2</sub>-Menge über direktexpandierende Magnetventile. Die Verbindung zwischen CO<sub>2</sub>- und NH<sub>3</sub>-Kreislauf der Anlage stellen 2 Alfa-Laval Plattenwärmeaustauscher in vollverschweißter Ausführung her. Sowohl auf der CO<sub>2</sub>- wie auch auf der NH<sub>3</sub>-Seite sind jeweils 2 Sabroe-Kolbenverdichteraggregate zur Kälteerzeugung eingesetzt. Die Kondensationswärme des NH<sub>3</sub>-Kreises wird über einen luftgekühlten Kondensator abgeführt.

**Froster und TK-Lagerkühlung****Technische Daten: CO<sub>2</sub>-Kreislauf**

- Gesamtkälteleistung CO<sub>2</sub>-Kreis 450 kW bei t<sub>0</sub> = -52 °C, CO<sub>2</sub>-Pumpenabscheider mit 2 hermetischen Kältemittelpumpen
- 2 Sabroe-Hochdruck-Kolbenverdichter Typ HPC 106S/104S, 40 bar Betriebsdruck max., 25 bar Druckdifferenz max., ausgeführter Betriebspunkt t<sub>0</sub> = -52 °C/t<sub>C</sub> = -8 °C.

HPC 104S Q<sub>N</sub> = 207,9 kW  
P<sub>E</sub> = 70,5 kW  
n = 1460 U/min  
226 m<sup>3</sup>/h Q<sub>K</sub> = 277,7 kW  
cop = 2,95

HPC 106S Q<sub>N</sub> = 311,8 kW  
P<sub>E</sub> = 105,8 kW  
n = 1460 U/min  
339 m<sup>3</sup>/h Q<sub>K</sub> = 416,5 kW  
cop = 2,95

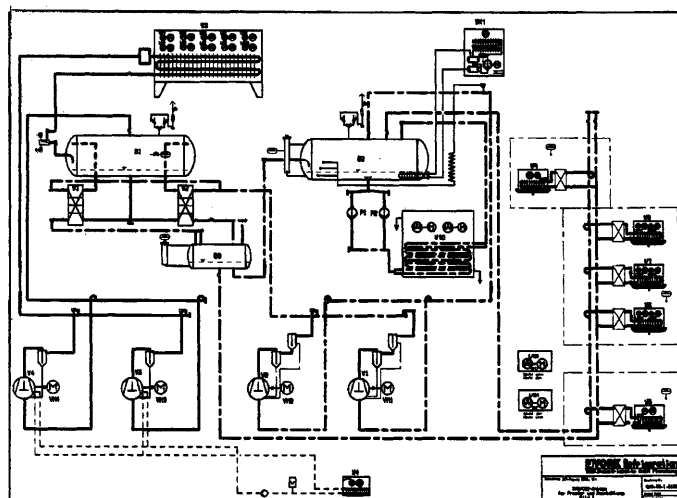


Bild 1 Rohrschema der CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>-Kälteanlage mit je 2 Sabroe-Kolbenverdichteraggregaten

\* Als Vortrag gehalten am 24.11.2001 anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV in Ulm.

\*\* Kai Selmer, Projekt- und Vertriebsleiter Deutschland, York Industriekälte GmbH, Flensburg.

Jeweils ausgestattet mit Doppelölabscheidern für quasi ölfreien Kältekreislauf, Ölinhalt je Verdichter 30 l Unisab II-Steuerung.

- 2 Kaskadenkondensatoren Fabrikat Alfa-Laval vom Typ Alfa-Rex:  
Kondensationsleistung  $Q_K = 2 \times 300 \text{ kW}$   
Kondensationstemperatur  $t_C \text{ CO}_2 = -8 \text{ °C}$   
Verdampfungstemperatur  $t_0 \text{ NH}_3 = -10 \text{ °C}$   
 $\text{NH}_3$ -seitig überfluteter Betrieb
- $\text{CO}_2$ -Pumpenabscheider mit 2 hermetischen Kältemittelpumpen, separatem Temperaturkälteaggregat, automatischer Ölrückführeinrichtung, zul. Betriebsüberdruck 25 bar.
- $\text{CO}_2$ -Hochdrucksammler, zul. Betriebsüberdruck 40 bar.

Der Frigoscandia-Spiral-Froster Typ GCM 76 ist ausgeführt als Standard-Froster ( $\text{NH}_3$ -Verdampferpaket mit großem Rohrvolumen) mit einem zulässigen Betriebsüberdruck von 25 bar und wird versorgt über den  $\text{CO}_2$ -Pumpenkreislauf (Kälteleistung 350 kW, Umwälzrate  $n = 3$ , Verdampfungstemperatur  $t_0 \text{ CO}_2 = -50 \text{ °C}$ , Lufttemperatur  $t_{\text{Luft}} = -45 \text{ °C}$ , Produkttemperatur ein/aus =  $+50 \text{ °C} / -20 \text{ °C}$ ).

Produkt: verpackte Fertimentis,  
84 Packungen/Minute, Durchlaufzeit 100 Minuten

Die Abtaugung erfolgt über Umgebungs-luft bei Frosterstillstand.

- 5 Stck. Deckenluftkühler mit elektrischer Abtaugung in Block und Wanne Kälteleistung  $5 \times 25 \text{ kW}$ ,  $t_0 = -40 \text{ °C}$ ,  $t_{\text{Luft}} = -28 \text{ °C}$   
Betrieb über  $\text{CO}_2$ -Einspritzsystem mit HD- $\text{CO}_2$ -Flüssigkeit. Expansionsorgane ausgeführt als phasenmodulierende Magnetventile, Überhitzung 6 K.
- Kältemaschinenöl/Schmierstoff Polyester (POE), alternativ Polyalphaolefin (PAO) möglich. Ölabscheidesystem und Ölrückführung auf beide Systeme abgestimmt.

### Technische Daten: $\text{NH}_3$ -Kreislauf

- Gesamtkälteleistung  $\text{NH}_3$ -Kreis 600 kW bei  $t_0 = -10 \text{ °C}$ ,  $\text{NH}_3$ -Naturumlaufabscheider oberhalb von 2  $\text{CO}_2/\text{NH}_3$ -Kaskadenkondensatoren.

- 2 Sabroe-Kältekolbenverdichter Typ SMC 108S, 28 bar Betriebsüberdruck  
max.,  $t_0 = -10 \text{ °C} / t_C = +42 \text{ °C}$   
SMC 108S  $Q_N = 296,2 \text{ kW}$   
 $P_E = 94,7 \text{ kW}$   
 $n = 1460 \text{ U/min.}$   
452  $\text{m}^3/\text{h}$   $Q_K = 373,4 \text{ kW}$   
 $\text{cop} = 3,13$

Jeweils ausgestattet mit Ölabscheider, Ölinhalt je Verdichter 30 l Unisab II-Steuerung.

- 1 luftgekühlter  $\text{NH}_3$ -Kondensator  
Kondensationsleistung  $Q_K = 800 \text{ kW}$   
Kondensationstemperatur  $t_C = +42 \text{ °C}$   
Lufttemperatur  $t_L = +32 \text{ °C}$   
Zul. Betriebsüberdruck = 28 bar

- $\text{NH}_3$ -Naturumlaufabscheider mit automatischer Ölrückführeinrichtung, zul. Betriebsüberdruck 16 bar. Einspeisung über HD-Schwimmer.

- Füllmengen: 150 kg  $\text{NH}_3$   
1200 kg  $\text{CO}_2$   
60 l synthetisches Kältemaschinenöl  $\text{NH}_3$ -Kreislauf  
60 l POE  $\text{CO}_2$ -Kreislauf

Die Anlage ist seit März 2001 im Normalbetrieb und läuft im vorgenannten Betriebspunkt und Leistungsbereich ohne Probleme und zur vollen Zufriedenheit des Kunden in Bielefeld.

### Status Quo

An dieser Stelle soll nicht erneut auf die bereits in letzter Zeit häufig veröffentlichten Vorteile, Nachteile und Besonderheiten von  $\text{CO}_2$  als Kältemittel oder Kälte-träger eingegangen werden. Dies wird als bekannt vorausgesetzt. Ziel dieses Beitrags ist es, das Kältemittel  $\text{CO}_2$  als Alternative zu den gebräuchlichen Kältemitteln  $\text{NH}_3$ , R 507, R 404a und R 290 in der Industriekälte zur Diskussion zu stellen, und vor allem Marktanwendungen für seinen Einsatz aufzuzeigen.

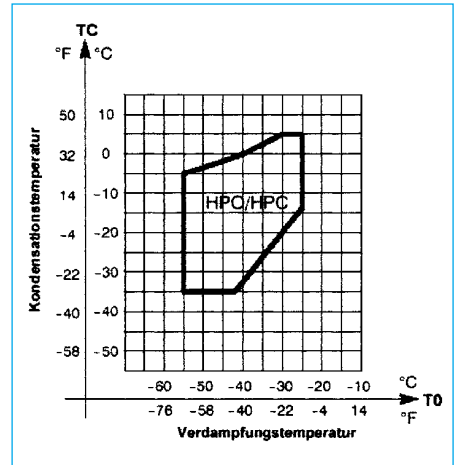


Bild 2 R744 – Einsatzgrenzen HPO & HPC



Bild 3 HPO-28-Verdichterblock

Unterhalb von ca.  $-45 \text{ °C}$  Verdampfungstemperatur ist die Kombination  $\text{CO}_2/\text{NH}_3$  im Vergleich zu  $\text{NH}_3$  2stufig (offenes System) bei einem Vergleich der cop-Werte besser, vorausgesetzt, der Kaskadenkondensator ist groß genug gewählt (2–3 K  $\Delta t$  zwischen Verdampfung und Kondensation). Auch ist die Abtaugung bei  $\text{CO}_2$ -Kälteanlagen mittels verschiedener Systeme gelöst. Hier sind neben Warmgas (Nacherhitzung o. Verdichtung) und elektrischer Abtaugung auch Warm-

Modell	Anz. Zylinder	Hub (mm)	Bohrung (mm)	U/min. max.	Fördervolumen ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
HPO 24	4	70	70	1800	116
HPO 26	6	70	70	1800	175
HPO 28	8	70	70	1800	233
HPC 104S	4	80	100	1500	226
HPC 106S	6	80	100	1500	339
HPC 108S	8	80	100	1500	452

Daten für HPO- und HPC-Verdichter

solesysteme zu nennen. York favorisiert für die Zukunft die Warmgasabtauung und die elektrische Abtauung.

Wünschenswert und notwendig ist die Weiterentwicklung von Komponenten (Armaturen, Ventilen, Wärmeaustauschern) für Drücke  $\geq 40$  bar. Seitens York ist die Hochdruckverdichterbaureihe HPO/HPC in 6 Leistungsstufen verfügbar.

Diese Kolbenverdichterbaureihe ist seit 1992 im Bereich von  $\text{NH}_3$ -Wärmepumpen im Einsatz und eignet sich hervorragend für den Einsatz mit  $\text{CO}_2$  als Kältemittel.

Darüber hinaus befindet sich im Hause York eine Schraubenverdichterbaureihe für den 40-bar-Einsatz in der Enderprobung. Diese Baureihe schließt lückenlos an die größte Kolbenverdichtervariante (HPC 108S, 452  $\text{m}^3/\text{h}$ ) an.

### COP-Vergleich im Bereich Chemie/Prozßkühlung

Zur Veranschaulichung der energetischen Vorteile von  $\text{CO}_2/\text{NH}_3$ -Kaskadensystemen gegenüber 2stufigen  $\text{NH}_3$ -Systemen wurde als Beispiel eine Synthese-Kühlung mit  $t_0 = -48^\circ\text{C}$  gewählt.

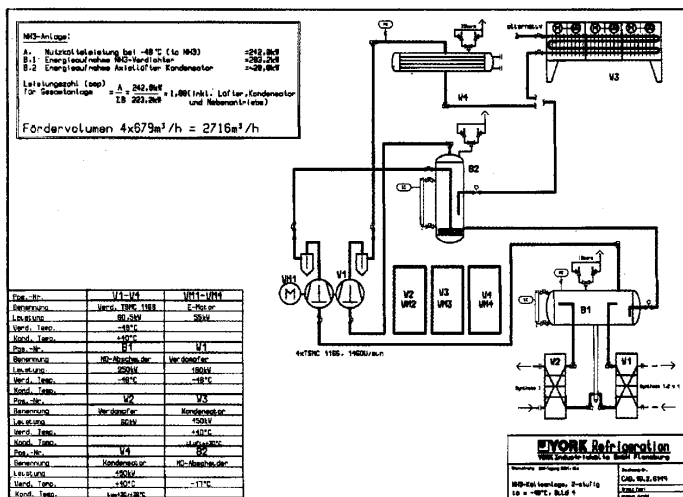


Bild 4  $\text{NH}_3$ -Kälteanlage,  $Q_N = 242 \text{ kW}$ ,  $t_0 = -48^\circ\text{C}$ ,  $\text{cop-Wert} = 1,08$

Im direkten Vergleich der Gesamtcop-Werte ist das  $\text{CO}_2/\text{NH}_3$ -System 16% besser. Einen Eindruck in Bezug auf die Investitionskosten mag der Vergleich der benötigten Verdichtervolumina vermitteln.

$\text{NH}_3$ -System, 2stufig: 2716  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $\text{CO}_2/\text{NH}_3$ -System: 789  $\text{m}^3/\text{h}$

### Zukünftige Anwendungsmöglichkeiten in der Industriekälte

Für York besteht der derzeit sinnvolle Anwendungsbereich für  $\text{CO}_2$  zwischen den Verdampfungstemperaturen  $-35^\circ\text{C}$  und  $-54^\circ\text{C}$ . Oberhalb dieser Temperaturbereiche ist eine 2stufige  $\text{NH}_3$ -Anlage – offener Bauart – im Energieverbrauch

günstiger und die wirtschaftlichen Vorteile von  $\text{CO}_2$ , wie zum Beispiel kleine Verdichter, kleine Rohrleitungen und Behälter, kommen nicht entsprechend zur Geltung. Unterhalb von  $-54^\circ\text{C}$  ist der Abstand zum Tripelpunkt ( $-56,6^\circ\text{C}$ ) bei Industrieanwendungen regelungstechnisch eine natürliche Begrenzung.

Die idealen Kombinationskältemittel bei der  $\text{CO}_2$ -Kaskade sind aus heutiger Sicht  $\text{NH}_3$  (natürliches Kältemittel), R 507 (erprobtes Ersatzkältemittel) und in der Chemie verschiedene Kohlenwasserstoffkältemittel (ex-Schutz notwendig).

Für York liegt die Zukunft möglicher  $\text{CO}_2$ -Anwendungen in den nachfolgenden 4 Bereichen:

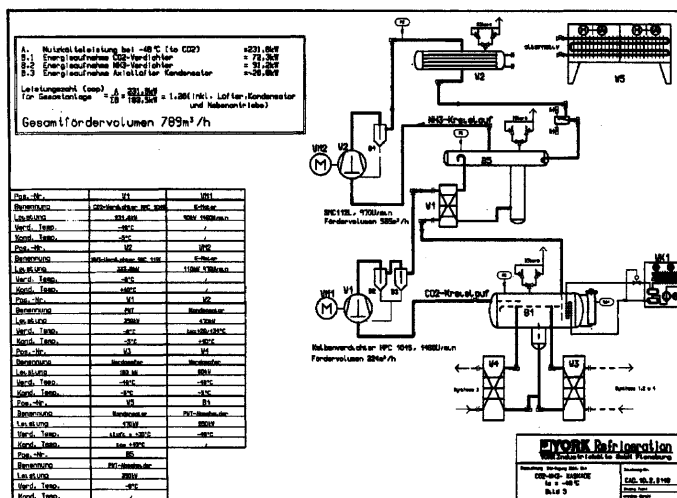
1. Luftkühlung/TK-Lager/Frostung
2. Gaskühlung/Kondensation
3. Medienkühlung/Solekühlung
4. Gefriertrocknung

Als Beispiel sind in Bild 6 die 4 vorgenannten Anwendungen als Rohrsysteme dargestellt.

Zur Zeit werden für den Anwendungsbereich 3 ausgiebige Tests im York-Werk in Århus/DK durchgeführt. Im Jahr 1999/2000 wurden bereits die Testreihen für Bereich 1 und 2 durchgeführt und abgeschlossen.

Aus der Sicht von York bietet  $\text{CO}_2$  vielfältige Möglichkeiten in der industriellen Kältetechnik, und erwartet wird in den vorgenannten Anwendungsbereichen innerhalb der kommenden Jahre ein erheblicher Marktanteil von  $\text{CO}_2$ -Kaskadenkälteanlagen.

Bild 5  $\text{CO}_2/\text{NH}_3$ -Kälteanlage,  $Q_N = 232 \text{ kW}$ ,  $t_0 = -48^\circ\text{C}$ ,  $\text{cop-Wert} = 1,26$



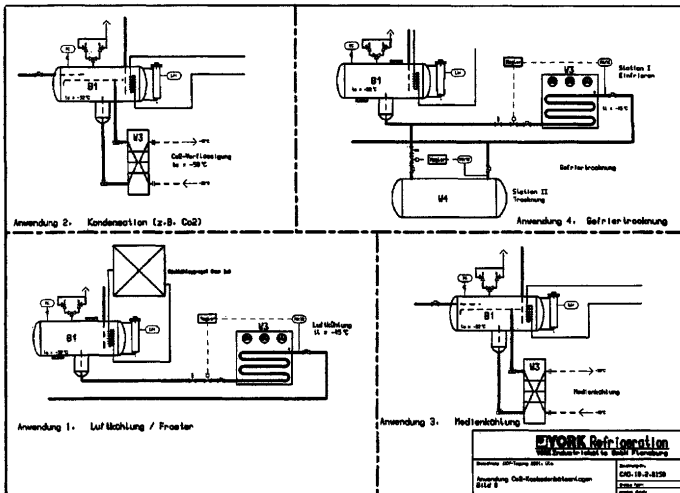


Bild 6 Vier mögliche Bereiche für CO<sub>2</sub>-Anwendungen

Als Gründe für diese Entwicklung sind zu nennen:

- Füllmengenreduzierung bei großen Kälteanlagen mit NH<sub>3</sub>. Auflagen in verschiedenen EU-Mitgliedsstaaten leichter einzuhalten. Reduzierung von Versicherungskosten für TK-Lagerwarebestände und Haftpflichtpolice.
- Reduzierte Energiekosten aufgrund besserem cop-Wert  $t_0 < -45^\circ\text{C}$  im Vergleich zu 2stufigen NH<sub>3</sub>-Kälteanlagen.
- Niedrigere Investitionskosten beim Bau von Kälteanlagen  $t_0 < -35^\circ\text{C}$  durch kleinere Verdichter, Behälter und Rohrleitungen.
- Optimiertere Kühl- und Gefrierprozesse durch neuen CO<sub>2</sub>-Temperaturbereich bis zu  $t_0 = -54^\circ\text{C}$ .

Speziell zum letzten Punkt sind auch Verfahrens- und Lebensmitteltechniker gefordert. Die Kältetechnik kann nur die Kälte im gewünschten Temperaturbereich zur Verfügung stellen. Die passende kältetechnische Anwendung und damit unter Umständen auch der innovative Ansatz muß aus den Bereichen der Kunden in der Verfahrenstechnik, Lager- und Lebensmitteltechnik kommen.

Da in der Kältetechnik nunmehr 10 K tiefere Temperaturen zu „normalen Kosten“ zur Verfügung gestellt werden können, werden die kommenden Jahre auf Seiten der Anwender einiges verändern und vielleicht auch energetisch und produkttechnologisch verbessern. □