

CO₂-Kompressionskälteanlagen in der Industriekälte

Kai Selmer, Flensburg

Kurz und prägnant gibt der nachfolgende Artikel einen guten Überblick über den Stand der CO₂-Technik im Zeitraum von 2001 bis 2005. Es werden stichpunktartig die wesentlichen Fakten zur technischen Konzeption und zur Sicherheitstechnik von ausgeführten Anlagen genannt. Betriebserfahrungen mit diesen Anlagen runden die übersichtliche Darstellung ab.

Status quo CO₂-Kompressionskälteanlagen (2001–2005)

Ausgehend von einer CO₂-Kaskadenkälteanlage für die Firma M+P in Bielefeld (Vorstellung DKV-Tagung, Ulm, 2001) wurden bis dato insgesamt 12 CO₂-Industriekälteanlagen geplant und durch die YORK Deutschland GmbH realisiert.

Der Schwerpunkt lag in dieser Zeit in der Entwicklung und Umsetzung von sinnvollen Anwendungsfällen, denn nicht jeder technisch mögliche Einsatz von CO₂ als Kältemittel ist auch wirtschaftlich sinnvoll.

Der Autor hat grundsätzlich bei den realisierten Projekten vergleichende Betrachtungen mit den technisch / wirtschaftlichen Alternativvarianten bekannter Technik angestellt und aufgrund der zu diesem Zeitpunkt noch begrenzten Wettbewerbssituation bei CO₂-Kompressionskälteanlagen auch im vollen Wettbewerb zur bekannten Technik gestanden.

Ausgehend von den Hauptanwendungsgebieten

- Luftkühlung / TK-Lager / Frostung
- Gaskühlung / Kondensation
- Medienkühlung / Solekühlung
- Gefriertrocknung

wurden nachfolgende Projekte realisiert:

Installierte Gesamtkälteleistung
CO₂-Kreisläufe: 5719 kW

Temperaturbereich CO₂-Einsatz:
Verdampfung: -35 °C bis -54 °C
Kondensation: -15 °C bis -2 °C

Anzahl eingesetzter
Verdichteraggregate: 24 Stck.
Fabrikat SABROE

zum Autor

**Dipl.-Ing.
Kai Selmer,**
Ingenieurbüro
für Kälte- und
Energietechnik,
Sachverständiger
nach §29a
BlmSchG für
NH₃-Kälteanlagen,
Flensburg



Typen:

HPO 24–28:

Hubvolumen 97–194 m³/h (1500 U/min.)

HPC 104S–108S:

Hubvolumen 226–452 m³/h (1500 U/min.)

Technische Konzeption

1. Verdichteraggregate

- SABROE HPO 24–28
(Drehzahl 1000–1800 U/min.)
- SABROE HPC 104S–108S
(Drehzahl 1000–1500 U/min.)

Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV am 18. November 2005 in Würzburg.



Außenansicht (Container) der zweistufigen CO₂/NH₃-Kälteanlage bei M+P Tiefkühlkost, Bielefeld



CO₂-Teil im Container

Anlage	Marktbereich	Kälteleistung (kW)/t ₀ (°C)	Verbraucher	Kältemittel HD-Stufe	Anzahl Verdichter CO ₂	Baujahr
1.	Fertiggerichte	475/-52	TK + Froster	NH ₃	2	2001
2.	TK - Lager	520/-42	Froster	NH ₃	2	2002
3.	Bäckerei	425/-44	Froster	NH ₃	2	2002
4.	Erdgefrieren	525/-41	Solekühlung	NH ₃	2	2003
5.	Fertiggerichte	925/-40	TK + Froster	R 507	3	2003
6./7.	Erdgefrieren	2 x 275/-43	Solekühlung	NH ₃	4	2004
8.	Brauerei	60-120/-35 bis -54	Gas-kondensation	NH ₃	1	2004
9.	Fleisch	100/-45	Froster	NH ₃	1	2004
10.	Fertiggerichte	367/-40	TK + Froster	R 507	2	2004
11.	Bäckerei	1262/-45	TK + Froster	NH ₃	3	2005
12.	Fertiggerichte	450/-52	TK + Froster	R 507	2	2005



NH₃-Teil im Container

5. Verdampfer

- Kassettengeschweißte PLWAT für Solekühlung
- Vollverschweißte PLWAT für CO₂-Gaskondensation
- Kühlraum- oder Froster-Verdampfer für Pump- bzw. DX-Betrieb. Abtauung elektrisch / Warmsole / Warmgas
- Eingesetzte Materialien: Stahl verzinkt, Edelstahl oder Kupfer / Aluminium / Titan

6. Rohrleitungen

- St 35.8 bzw. TTSTE mit PUR / AlMg₃-Isolierung
- Edelstahlrohr
- Cu-Rohr
- Druckstufen 40 bzw. 50 bar Überdruck

7. Stillstandsdruckhaltung

- R 404a-Kondensationsaggregate
 $Q_N = 1,5 \text{ kW} - 4,0 \text{ kW}$
 $t_0 = -25 \text{ °C}$
 $t_C = +40 \text{ °C}$ (luftgekühlt)
- Anordnung HD-Sammler im TK-Raum

Sicherheitstechnik

1. Sicherheitsventile / Abblasen CO₂

- Anordnung der Doppelsicherheitsventile im Bereich der Gasphase des abzuschließenden Behälters.
- Keine negativen Erfahrungen beim Öffnen und Schließen von Sicherheitsventilen.
- Überwachung der Ausblaseleitung mit Gasdetektoren.

2. CO₂-Überwachung

- Grundsätzlich muss der Maschinenraum, Abblaseleitungen und auch große Kälteverbraucher (z.B. Froster in Arbeitsräumen) mit geeigneten Gaswarnanlagen überwacht werden. Siehe auch EN 378.
- Geeignete Maßnahmen zur Stillstandskühlung sind vorzusehen. Gute Erfahrungen gibt es mit separaten Kühlaggregaten (1,5 – 2 kW Kälteleistung, R 404a, t₀ = -25 °C) und Kühlung der CO₂-Füllung über den Verdampfer in der Gasphase des CO₂-Behälters. Alternativ ist die Anordnung von Behältern, z.B. HD-Sammler im TK-Raum im Rahmen geeigneter Anlagenkonzepte, möglich.

Regelung zusätzlich über Zylinderabschaltung

- E-Motore mit Festdrehzahl bzw. variabler Drehzahl
- Verdichtersteuerung: speicherprogrammierbare Steuerung / PLC, Fabrikat SABROE UNISAB II
- Druckstufen: HPO 26 u. 28 sowie HPC-Baureihe: 40 bar Überdruck, HPO 24: 50 bar Überdruck auf Wunsch
- Redundanz wird in der Regel nicht verwirklicht, sondern häufig Aufteilung der notwendigen Gesamtleistung auf mehrere CO₂-Verdichteraggregate.

2. Ölkreisläufe

- POE oder PAO Schmierstoffe im Einsatz
- Grundsätzlich Feinstölabscheidung realisiert
- 40 bis 50 bar Überdruck ausgeführt für Ölabscheider und Kondensator / HD-Seite

3. CO₂-Kaskadenkondensatoren

- Es wurden Kassettengeschweißte und vollverschweißte / vollverlötete Apparate verschiedener Hersteller eingesetzt, in der Regel Einsatz mit Naturumlauf / Thermosiphonschaltung. Ferner sind Rohrbündelapparate mit Zwischenraumüberwachung (überflutete Bauweise) im Einsatz.
- Druckstufe 40 bzw. 50 bar Überdruck, je nach Fahrweise / Projekt

4. Kältemittelarmaturen

- HD-Schwimmer (Witt / Danfoss)
- Ventile (HERL / Danfoss / AWP)
- Automatik allg. (Danfoss)
- Sicherheitsventile (HERL / Danfoss)
- Kältemittelpumpen (Hermetic)

- Im Einzelfall ist die Standüberwachung der CO₂-Füllung über Sonden / Reifrohre oder andere Messtechnik, wie auch bei sonstigen Anlagen bekannt, auszuführen.

3. Anlagensteuerung

CO₂-Kreislauf

- Bedingt durch große Lastsprünge beim Einsatz von Kolbenverdichteraggregaten ist eine geeignete Regelung für Wochenend- und Schwachlastbetrieb zu realisieren. Möglich ist hier die Zylinderabschaltung von einzelnen Zylindern bzw. der Einsatz von drehzahlge-regelten Antrieben.
- Anfahr- und Abfahrzustände bei geänderter CO₂-Verdampfungstemperatur führen zu starken Schwankungen bei der Belastung der zweiten Kaskadenstufe. Gegebenenfalls sind hier Saugdruckregler bzw. Lastbegrenzer oder ein HG-Bypass einzuplanen.

HD-Kaskadenstufe

- Die HD-Kaskadenstufe muss in Bezug auf Verdampfer, Verdichter und Kondensator auf alle im Normalbetrieb inkl. Anfahr- und Abfahrzustände vorkommenden Belastungsfälle (Kälteleistung, Kondensationsleistung) entsprechend ausgelegt werden. Zu beachten ist hierbei, dass eine um 10 K angehobene Verdampfungstemperatur auf der CO₂-Seite die Kälte- / Kondensationsleistung der Verdichter gravierend erhöht.

Betriebserfahrung

1. Verdichteraggregate

- Frequenzgeregelter CO₂-Kolbenverdichter führen zu geringen Lastsprüngen und erleichtern den Teillastbetrieb.
- Vereinzelt gab es Probleme mit ungeeigneten Druckschaltern / Transmittern (mittlerweile sind betriebssichere Komponenten verfügbar).
- Gelegentlich sind Muffler bzw. geeignete Ölabscheider zu prüfen.
- Standzeit und Verschleißbild der Verdichter sind positiv.
- Keine Triebwerksschäden bei Anlagen in Deutschland seit 2001 mit dem Kältemittel CO₂ bei den vom Autor betrachteten Kälteanlagen.

2. Ölkreislauf

- Kältemaschinenöl / Schmierstoff Polyoleester (POE), bzw. Polyalphaolefin (PAO) haben sich bewährt.
- Eine 2-stufige Ölabscheidung ist aus Sicht des Autors sehr sinnvoll → hoher Ölabscheidegrad → kaum Ölverbrauch → gute Wärmeübergänge auf der Verbraucherseite.
- Druckfeste Komponenten (≥ 50 bar) sind verfügbar.

3. Kaskadenkondensatoren

- Die Apparate sollten ausreichend groß hinsichtlich Kälteleistung / Kondensationsleistung ausgelegt werden; dabei ist auch der Anfahrbetrieb zu beachten → hohe Leistung CO₂-Kreislauf.
- Bei großen Anlagen bzw. erhöhten Verfügbarkeitsanforderungen sind Redundanz-Konzepte zu betrachten.
- Der Markt bietet mittlerweile ein ausreichendes Angebot hinsichtlich Apparatetypen, Baugrößen und Lieferzeiten.

4. Kältemittelarmaturen

- Ventile verfügbar, gute Erfahrungen
- Automatikventile, allg. verfügbar, gute Erfahrungen
- DX-Ventile, gute Erfahrungen → Vorfilter beachten
- Kältemittelpumpen, gute Erfahrungen
- Sicherheitsventile, verfügbar, gute Erfahrungen → Ventilanordnung beachten (Gasphase)

5. Rohrleitungen

- Keine Unterschiede bei Materialwahl und Ausführung zwischen NH₃ und CO₂
- ND-Kreislauf (CO₂) PN25, HD-Kreislauf (CO₂) PN40/PN50 → gute Erfahrungen
- Die Auslegung von CO₂-Rohrleitungen bietet bei großen Anlagen durch kleinere Nennweiten gegenüber NH₃-Anlagen eine interessante Kostensituation.

6. Luftkühler

- Gute Erfahrungen mit DX-Systemen.
- Mittlerweile ist ein ausreichendes Angebot vorhanden.
- Elektrische Abtauung muss nicht grundsätzlich schlecht sein, der Aufwand für Warmgas bzw. Warmsole sollte dem gegenübergestellt werden.

- Zukünftig wird es sicher auch Isolierkühler und Sonderkühler für CO₂ auf dem Markt geben.
- Anlagen mit Fallluftsystem.

7. Temperaturerhaltung / CO₂-Verlust

- Das Konzept der Stillstandskühlung mit einem kleinem Kühlaggregat hat sich bewährt.
- Alternativ ist z.B. ein HD-Sammler im TK-Lager bei großen Anlagen sinnvoll.

8. Abtausysteme

- Elektrisch, gute Erfahrungen
- Warmgas, gute Erfahrungen mit beiden Systemen (Verdichter / Heizung)
- Warmsole, gute Erfahrungen

Grundsätzlich ist eine klare Luftführungstrennung im Abtaubetrieb unerlässlich sowie eine klare Festlegung von Temperaturen und Massenströmen zwischen Kälteanlagenbauer und Verdampferhersteller.

Ausblick

Das Ergebnis der letzten Jahre beim Bau und Betrieb von CO₂-Kälteanlagen ist sowohl aus Sicht des Autors als auch von seiten YORK positiv.

Beide erwarten für die Zukunft speziell im Lebensmittelbereich und in der Prozess-technik eine Zunahme der Anlagen mit CO₂ als Kältemittel und damit auch mehr Wettbewerb.

Mit Erweiterung des Angebotes von Kälteanlagenkomponenten inkl. Verdichteraggregaten für den Druckbereich > 40bar und einer größeren Betriebserfahrung aus den bis dato gebauten Anlagen, insbesondere auf der Betreiberseite, wird hier in wenigen Jahren ein nennenswerter Marktanteil entstehen, auch ohne zusätzliche Förderung bzw. Reglementierung von staatlicher oder halbstaatlicher Seite.

Wichtig ist nicht so sehr die Wahl des Kältemittels, sondern die Qualität der Anlage in Bezug auf Standfestigkeit, Verfügbarkeit und Lebensdauer. Nur wenn alle Komponenten mit einer guten ingenieurtechnischen Anlagenkonzeption harmonisieren, erhalten wir einen zufriedenen Kunden. ■