

R 22-Ausstiegsprojekt bei Nestlé-England

Umrüstung einer industriellen Tieftemperaturkälteanlage von R 22 auf CO₂/NH₃

Holm Gebhardt, Schweiz

Die Umrüstung bestehender Kälteanlagen sowie die Neukonzeption mit natürlichen Kältemitteln wann immer technisch machbar und sinnvoll, ist beim Lebensmittelkonzern Nestlé Programm. Dadurch konnten seit 1989 die ODP-Emissionen von Nestlé-Industriekälteanlagen weltweit um mehr als 90 % reduziert werden. Jüngstes Beispiel ist ein R 22-Ausstiegsprojekt im englischen Hayes, wo eine Kaffeegefrier- und Trocknungsanlage auf die Kältemittel CO₂ und NH₃ umgerüstet wurde. In dieser Konstellation handelt es sich dabei um eine Pionierleistung im Lebensmittelbereich mit einer Kälteleistung im MW-Bereich.

Im Juli dieses Jahres wurden die Leistungen in Hayes aufgrund der beispielhaften umwelt- und sicherheitstechnischen Verbesserungen in England mit einer ehrenvollen Auszeichnung honoriert.

zum Autor

Dipl.-Ing. Holm Gebhardt,
Nestec Ltd,
Vevey (CH),
Engineering
Department



Kältebedarf für die Kaffeegefrier- und Trocknung

Die Herstellung von gefriergetrocknetem, löslichem Kaffee hat für Nestlé einen wichtigen Stellenwert. Das Fabrikationsverfahren ist sehr energieintensiv, speziell wegen der für Produktgefrieren und Sublimationstrocknung bereitzustellenden Kälteleistungen.

Kälte wird an drei Stellen benötigt:

1. Kaffeeextraktvorkühlung:

Der thermisch vorkonzentrierte Kaffeeextrakt wird mittels Kratzkühlern **vorgekühlt**. Typisch erforderliche Kälteleistung pro Produktionslinie: Ca. **60 kW bei ca. -20 °C** Kältemittelverdampfung. Kratzkühlerprinzip (siehe Bild 1).

2. Kaffeeextraktgefrieren:

Der vorgekühlte Extrakt wird mittels kalter Luft in einem speziellen Kaltraum gefroren. Typisch erforderliche Kälteleistung pro Produktionslinie: Ca. **400 kW bei ca. -50 °C** Kältemittelverdampfung.



Bild 1

3. Vakuumtrocknung des gefrorenen Extraktes:

Der gefrorene und mechanisch granuliert Extrakt wird in der Trockenkammer bei tiefem Vakuum beheizt, so daß die Restfeuchte als Wasserdampf ausgetrieben wird (Sublimation). Dieser Dampf

wird dann auf den kalten Oberflächen der Eiskondensatoren (ca. -40 °C) als Eis resublimiert. Typisch erforderliche Kälteleistung pro Produktionslinie: Ca. **800 kW bei -45 °C**. Vereinfachte Darstellung des Gefrier- und Trocknungsprozesses siehe Bild 2.

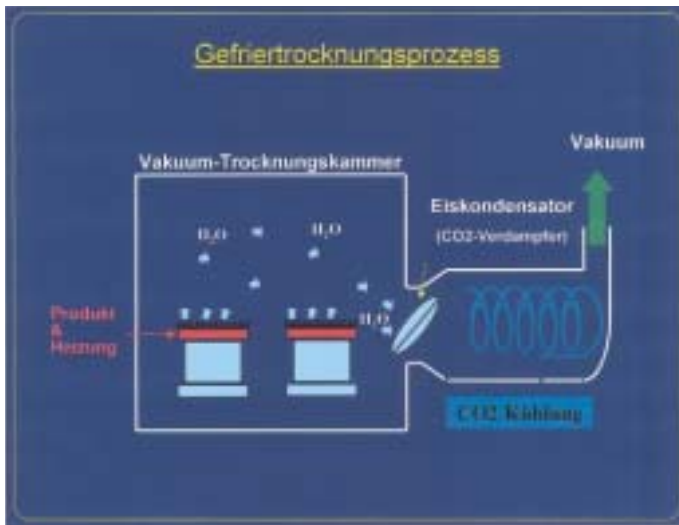


Bild 2

Kontinuierlich arbeitende Gefriertrocknungsanlagen vorgenannter Größenordnung zeichnen sich durch eine relative Konstanz aus. Ein 3-Schichtbetrieb (24h/d) an 7 Tagen pro Woche ist typisch. Lastschwankungen treten normalerweise nur beim zyklischen Umschalten von beladenen auf saubere (abgetaute) Verdampfer (Kaltraumlüftkühler, Eiskondensatoren) auf. Die Schwankungsbreite der mittleren maximalen Kälteleistung beträgt üblicherweise +/- 15 %. Typisch installierte Gesamtkälteleistungen betragen je nach Fabrikgröße 1 bis 6 MW.

Rückblick 1: FCKW-/HFCKW-Kältemittel in Nestlé Kaffeefriertrocknungsanlagen

Das kontinuierliche Nestlé-Kaffeefriertrocknungsverfahren wurde um 1965 in den USA entwickelt. Industrielle Produktionsanlagen wurden dann ab ca. 1970 zunächst in den USA (2), in Europa (3) und Japan (2) installiert und betrieben. Aufgrund des großen Kältebedarfs, der relativ niedrigen Verdampfungstemperaturen, der geringen Lastschwankungen und wegen der in den USA mit großem Erfolg eingeführten und bewährten Freon-„Sicherheitskältemittel“ erwiesen sich zu dieser Zeit R 12- oder R 22-Turboälteanlagen als die am besten geeignete Lösung. Von den sieben erwähnten Anlagen wurden zwei mit dem Kältemittel R 12 und fünf mit dem Kältemittel R 22 ausgeführt. Der Vollständigkeit wegen sei erwähnt, daß parallel zu dieser US-bedingten Entwicklung auch NH₃-Kälteanlagen (2 Absorptionssysteme in Europa und 2 Schraubenverdichtersysteme in Asien) in Nestlé-Kaffeefabriken betrieben werden.

Rückblick 2: FCKW-/HFCKW-Problematik der Jahre 1985 und 1995

In den Jahren nach 1970 kamen zu den vorgenannten Freon-Kälteanlagen im Kaffeebereich einige weitere hinzu: R 13B1 für eine Tiefkühlkostfabrik (Frankreich), R 12 für eine Fleischfabrik (in Deutschland durch Übernahme), R 12 für eine Schokoladefabrik (USA). Desweiteren eine R 22-Kälteanlage für eine Kaffeefriertrocknungsfabrik in Japan. Für dieses Projekt scheiterte der Versuch, NH₃ als Kältemittel durchzusetzen (erforderliche NH₃ Füllmenge > 20 t!). Dies wegen für NH₃ geltender scharfer lokaler Sicherheitsvorschriften (Erdbebenrisiko). Im Kälteanlageninventar des Nestlé-Konzerns waren damit also sowohl FCKWs (hauptsächlich R 11, R 12 und R 13B1), als auch HFCKWs (im wesentlichen R 22) im Einsatz.

Um 1985 wurde dann die Ozonschicht-Problematik aktuell. Das diesbezüglich beschlossene Montrealprotokoll hatte zur Folge, daß der Verwendung von ozonschichtzerstörenden FCKWs und HFCKWs zeitliche Grenzen gesetzt wurden. In erster Linie betraf dies zunächst die FCKWs, die sich gegenüber den HFCKWs durch einen wesentlich größeren ODP-Wert (Ozon Depletion Potential) unterscheiden. Nestlé reagierte mit einem massiven FCKW-Ausstiegs- und Emissionsreduktionsprogramm: Zwischen 1989 und 2000 wurden weltweit 8 Großkälteanlagen von FCKW-Kältemittel durch Neuanlagen mit dem Kältemittel R 717 (NH₃) ersetzt. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum die ODP-Emissionen von Nestlé-Industrie-kälteanlagen weltweit um mehr als 90 % reduziert.

Um 1995 kamen dann die HFCKWs verstärkt unter Druck: Dies nicht nur wegen ihres ODP sondern vor allem wegen ihres vergleichsweise hohen direkten Treibhauseffekts (GWP) im Falle von Kältemittelleckagen in die Atmosphäre. Das voraussehbare HFCKW-Produktionsverbot für die Zeit nach dem Jahr 2000 resultierte bei Nestlé in eine 2. Phase des Kältemittelaustiegs: Das für die Industriekälte wichtigste HFCKW-Kältemittel R 22 war betroffen und damit 5 Großkälteanlagen in Kaffeefriertrocknungsfabriken. Sollten nun einfach der für die erste Umrüstungsphase gewählte Weg fortgesetzt und wie bei R 12 und R 13B1 praktiziert das Kältemittel R 22 durch das Kältemittel NH₃ ersetzt werden?

Nestlé UK: Die Fabrik in Hayes

Die Situation: Die Fabrik in Hayes entstand um 1900 – zunächst als Schokoladenproduktionszentrum. Die umfangreichen Fabrikgebäude aus jener Zeit stehen heute unter Denkmalschutz, ein Aspekt, der nicht ohne Bedeutung für das R 22-Ausstiegsobjekt war, da die Bausubstanz in ihrem Kern nicht verändert werden durfte.

Die Produktion von zunächst sprühgetrocknetem Nescafé startete um 1947. Der Übergang zum Gefriertrocknungsverfahren erfolgte über mehrere Bauphasen:

- Um 1963: Einführung des **diskontinuierlichen** Gefriertrocknungsprozesses (Chargenbetrieb).
- Um 1968: Einführung des **kontinuierlichen** Gefriertrocknungsprozesses mit R 22-Turboverdichterkälteanlage.
- Um 1990: Kapazitätserweiterung mit zusätzlicher R 22-Schraubenverdichterkälteanlage.
- Die Situation 1995: Die Fabrik betreibt 2 Kälteanlagen:
 - Anlage 1 (1968): R 22-Turboverdichterkälteanlage, ca. 2 MW bei -56/+ 35 °C, ca. **15 t R 22-Charge**
 - Anlage 2 (1990): R 22 Schraubenverdichterkälteanlage, ca. 0,8 MW bei -56/+ 35 °C, ca. **10 t R 22-Charge**

R 22-Ausstiegsprojekt „Hayes“: Welches Ersatzkältemittel?

Schon im Jahr 1995 wurde aufgrund strategischer Überlegungen die R 22-Kälteanlage der Nescafé-Fabrik Hayes, England, als erstes R 22-Ausstiegsobjekt bestimmt. Nestlé-England hatte in einer Vorstudie bereits 1994/95 CO₂/NH₃ in Kaskadenschaltung als interessante und machbare Lösung identifiziert. Da auch in anderen

JETZT EISKALT ZUGREIFEN

DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK

Offizieller Organ des Fachleistungsvorstandes
des Deutschen Kälteanlagenbauverbandes

SICHERN SIE SICH 12-MAL IM JAHR NÜTZLICHE BRANCHENINFORMATIONEN

Mit einem Abonnement von DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK erhalten Sie Monat für Monat detailliert recherchierte Beiträge zu allen Fachthemen aus der Kälte-, Klima- und Lüftungstechnik

NOCH MEHR FACHINFORMATIONEN ÜBER WWW.DIEKAELTE.DE

Mit einem Abonnement von DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK haben Sie exklusiven Zugang zum umfangreichen Online-Archiv im Internet

BESTELLEN SIE NOCH HEUTE PER POST ODER ÜBER DIE FAX-HOTLINE (07 11) 63 67 27 11

Vertrauensgarantie: Dieser Auftrag kann innerhalb von 14 Tagen beim Alfons W. Gentner Verlag GmbH & Co. KG, Postfach 10 17 42, 70015 Stuttgart, widerrufen werden. Die rechtzeitige Absendung der Mitteilung genügt.

VORTEILSCOUPON

Schicken Sie mir **DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK** ab der nächsten Ausgabe für zunächst ein Jahr (12 Ausgaben) zum Vorteilspreis von € 118,20 zzgl. Versandanteil (Inland: € 15,60/Ausland: € 22,80).

Vorzugspreis für Schüler und Studenten (gegen Nachweis) € 59,10 zzgl. Versandanteil.

Schicken Sie mir die nächsten beiden Ausgaben kostenlos zu, damit ich **DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK** kennenlernen kann.

Nur wenn ich diesen Auftrag nicht bis 14 Tage nach Erhalt der zweiten Ausgabe widerrufe, erhalte ich **DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK** für mindestens ein Jahr (12 Ausgaben) zum Vorteilspreis von € 118,20 zzgl. Versandanteil (Inland: € 15,60/Ausland: € 22,80).

Vorzugspreis für Schüler und Studenten (gegen Nachweis) € 59,10 zzgl. Versandanteil.

Nach Ablauf des ersten Bezugsjahres habe ich die Möglichkeit, die Zeitschrift mit einer Frist von drei Monaten zum Jahresende schriftlich beim Verlag zu kündigen. Ansonsten verlängert sich das Abonnement um ein weiteres Jahr.

**Alfons W. Gentner Verlag
GmbH & Co. KG
Postfach 10 17 42
70015 Stuttgart**

Firma/Nachname, Vorname

z. Hd.

Straße

Nr./Postfach

Land PLZ Ort

Telefon Telefax

E-Mail-Adresse

Branche/Tätigkeitsbereich

Gewünschte Zahlungsweise Bankeinzug Rechnung

Geldinstitut, Ort

Bankleitzahl Kontonummer

Kontoinhaber

Datum Unterschrift

EAC161002

Nestlé-Organisationen weitere R 22-Ausstiegsprojekte anstanden, bekam das Hayes-Projekt Pilot- und Schrittmacherfunktion. Es galt, eine technische Lösung zu finden, die aus Sicherheits- und Umweltaspekten optimal war: Das Risiko zukünftiger kostspieliger Ausstiegsprogramme, wie bei FCKW- und HFCKW-Kältemitteln leidvoll erfahren, sollte so klein wie möglich gehalten werden.

Ein multinationales Nestlé-Spezialistenteam ging an die Arbeit. Über einen Zeitraum mehrerer Monate wurden fünf verschiedene Ersatzkältemittel für die neu zu bauende Kälteanlage analysiert:

- HFKW-Kältemittel (hauptsächlich R 410A)
- R 717: Ammoniak
- HC-Kältemittel (hauptsächlich R 1150: Ethylen)
- R 729: Luft (Gaskälteprozeß, CCAR = Closed Circuit Air Cycle)
- R 744/R 717: CO₂/NH₃-Kaskadensystem

Die Option „CO₂/NH₃“ wurde unter Berücksichtigung aller Bewertungskriterien als die am besten geeignete Lösung ermittelt. Die Option „NH₃“ landete auf Platz 2. Eine daraufhin von Nestlé-England in Auftrag gegebene detaillierte Ver-

gleichsstudie „CO₂/NH₃-Kaskade“/„Mehrstufige NH₃-Kälteanlage“ mit den Hauptentscheidungskriterien

- Kosten,
- Sicherheit,
- Betriebszuverlässigkeit und
- ortsspezifische Montagerandbedingungen (z. B. Gebäude)

bestätigte das Ergebnis der Vorstudie.

Damit fiel 1999 die Entscheidung, daß bestehende R 22-Kältesystem durch eine

neue CO₂/NH₃-Kälteanlage zu ersetzen. Außerdem wurde die Grundlage zu einem Meilenstein der gegenwärtigen industriellen Kältetechnik in der Nahrungsmittelindustrie gelegt: Der Realisierung der ersten CO₂/NH₃-Kaskadenkälteanlage im MW-Kälteleistungsbereich, für CO₂-Verdampfungstemperaturen (-45/-54 °C) in der Nähe des Tripelpunktes (-56,6 °C). Das Bild 3 illustriert die Grundkonzeption dieser Anlage.

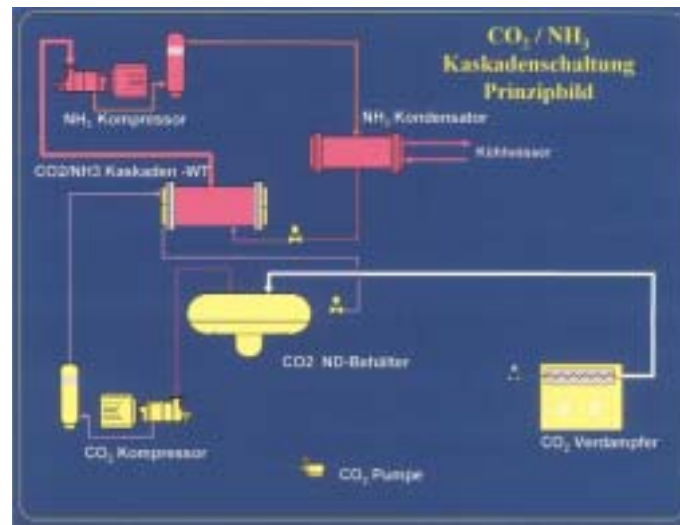


Bild 3

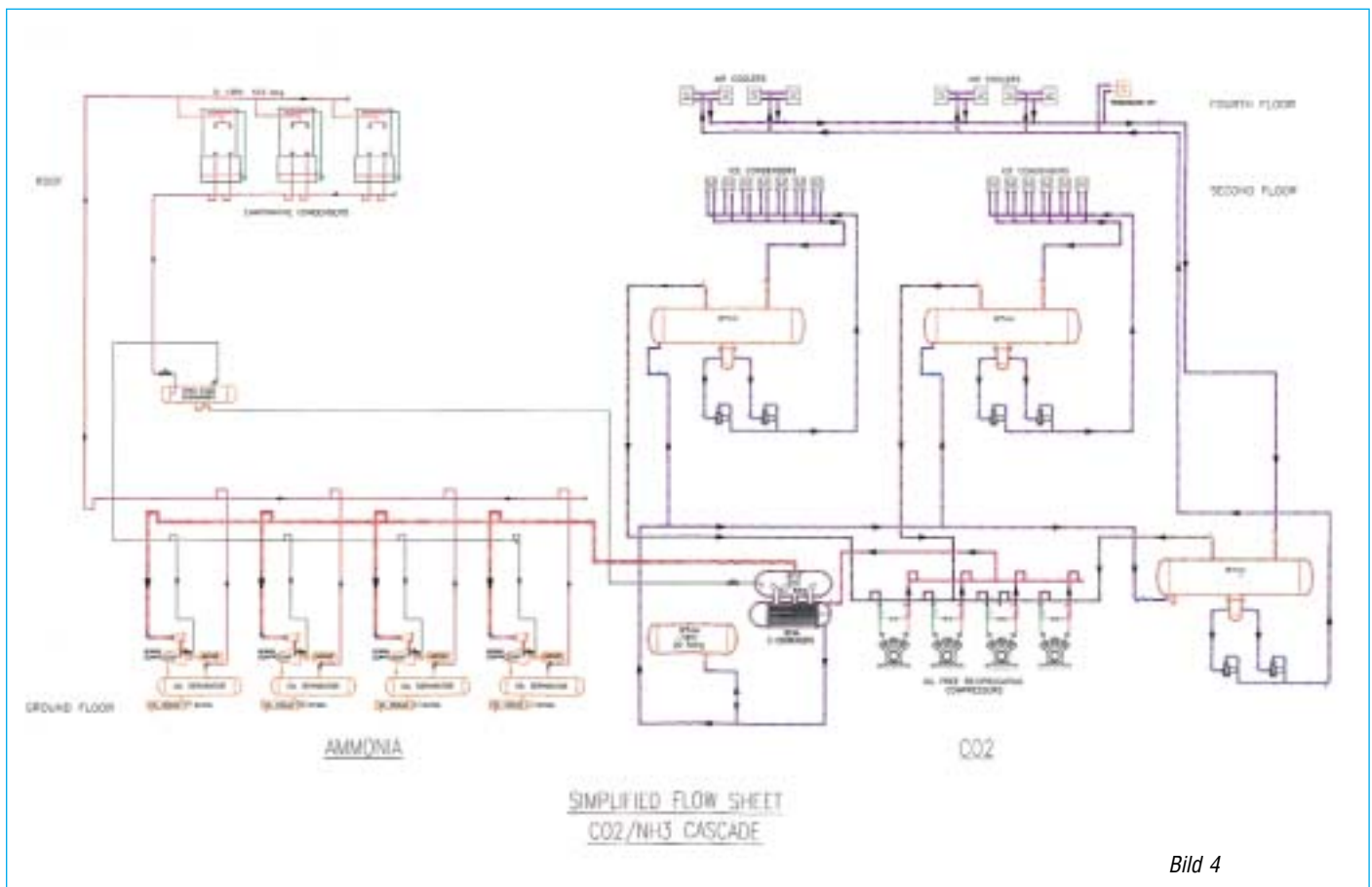


Bild 4

Technische Projektinformationen

Auslegungsdaten

Bild 4 zeigt den Aufbau der CO₂/NH₃-Kälteanlage „Hayes“ mit prinzipiellen Details. Die Gesamtkälteleistung beträgt 2400 kW bei ca. –50 °C. Diese Leistung ist auf drei Einheiten von je 800 kW aufgeteilt, dies sowohl für den CO₂-Kreislauf, als auch für den NH₃-Kreislauf.

CO₂-Kreislauf

Drei Kälteverbrauchergruppen mit ca. –50°C Verdampfungstemperatur (2 Eiskondensatorgruppen, 1 Luftkühlergruppe) werden durch drei verschiedene CO₂-Rezirkulationssysteme mit CO₂-Flüssigkeit versorgt. Die Extraktvorkühler, auf dem Schema (Bild 4) nicht gezeigt, arbeiten als überflutete Verdampfer. Sie erhalten ihre CO₂-Flüssigkeit aus dem CO₂-HD-Behälter bei –18 °C. Vier CO₂-Verdichter (1 × Reserve) wurden installiert. Diese saugen das CO₂-Gas bei ca. –50 °C an (7 bar) und verdichten es auf Kondensationsdruck (22 bar) entsprechend –18 °C Verflüssigungstemperatur. Das verdichtete CO₂-Gas wird in 2 parallel arbeitenden CO₂/NH₃-Kaskadenwärmeaustauschern verflüssigt. Die abzuführende Kondensationswärme wird an verdampfendes NH₃ (–22 °C) übertragen. Das verflüssigte CO₂ fließt anschließend über HD-Sammler und Entspannungsventile den ND-Pumpenbehältern der drei Rezirkulationssysteme zu.

NH₃-Kreislauf

Der NH₃-Teil der Kaskade ist konventionell ausgeführt: Vier NH₃-Verdichter (1 × Reserve), drei Verdunstungsverflüssiger und ein Flash-Economiser. NH₃-Verdampfer sind die zuvor genannten CO₂/NH₃-Kaskadenwärmeübertrager.

Einige Hinweise zu den Anlagenhauptkomponenten

NH₃-Kompressoren:

Die 4 ölinjizierten, einstufigen Schraubenverdichteraggregate des Fabrikats Star/Howden liefern in Economiser-Schaltung je ca. 1100 kW bei –23/+ 35 °C. Bild 5 zeigt die installierten Maschinen.



Bild 5



Bild 6

NH₃-Kondensatoren:

Bild 6 zeigt die dachmontierten 3 Verdunstungsverflüssiger von je ca. 1300 kW Verflüssigungsleistung bei 35 °C Verflüssigungstemperatur und 22 °C Feuchtkugeltemperatur.

CO₂-Kompressoren:

Ein besonderes Thema bei der Wahl des Kompressortyps für den CO₂-Kreislauf war die CO₂/Kompressoröl-Problematik. Für die speziellen Betriebsbedingungen – Anlagengröße, Temperaturbereich (T_o = – 50/– 54 °C, T_c – 15/– 20 °C) und Verdampferbetriebsweise (Rezirkulationssystem) – lagen zum Zeitpunkt der Planung keine überzeugenden praktischen Referenzen bezüglich Langzeitverhalten Kompressoröl/CO₂ vor. Als Problempunkte seien genannt:

- Ölwahl: CO₂-löslich oder CO₂-unlöslich
- Mischbarkeit, Löslichkeit CO₂/Öl
- Chemische Ölstabilität: Langzeitverhalten unter den genannten Betriebsbedingungen
- Ölabscheidung auf der CO₂-HD-Seite: Art und erforderlicher Umfang
- Technik der Ölfentfernung aus den CO₂-Pumpbehältern bei zu erwartendem Ölwurf der Verdichter. Problematik:
 - Öl schwimmt auf, da leichter als CO₂-Flüssigkeit
 - Ölviskosität bei – 45/– 54 °C
 - Risiko der Verdampferverschmutzung/Leistungsminderung

Statt ursprünglich in Betracht gezogener geschmierter Schrauben- oder Kolbenverdichter fiel nach reiflicher Überlegung und basierend auf Erfahrungen mit einer CO₂-Testanlage die Entscheidung zugunsten ölfreier Kreuzkopfkolbenverdichter (sogenannte Trockenläufer). Dies gemäß der Devise: *Kein Öl im CO₂-Kreislauf – weniger Betriebsprobleme.*

Demzufolge wurden vier einstufige Maschinen (Trockenläufer) des Fabrikates Quiri/Axima von je 800 kW bei – 50 °C/– 18 °C „Trockenläufer“ installiert. Es sind doppelwirkende Kreuzkopfmotoren mit im Bereich von 375/750 UpM drehzahlvariablen Antriebsmotoren:

CO₂/NH₃-Kaskadenwärmeübertrager:

Aus Gründen der Betriebszuverlässigkeit wurde entschieden, zwei parallel arbeitende CO₂/NH₃-Kaskadenwärmeübertrager einzubauen. Installiert sind 2 Apparate in Röhrenkesselausführung je von rund 1400 kW Übertragungsleistung bei – 22 °C NH₃-Verdampfung und – 18 °C CO₂-Kondensation. Die 1400 kW entsprechen 50 % der Gesamtleistung. NH₃ verdampft im Mantelraum, CO₂ kondensiert im 2-Paß-Rohrsystem. Jeder Apparat ist wegen der Reduzierung des CO₂/NH₃-Leckagerisikos mit doppeltem Rohrboden ausgeführt.

CO₂-Rezirkulationssystem (ND-Abscheider, Pumpen):

Aufgrund der wärmetechnischen Eigenschaften von CO₂ (z. B. Verdampfungswärme, Dichte, Dampfdruckkurve) ist zu erwarten, daß man mit einer im Vergleich zu NH₃ geringeren nominalen Flüssigkeitsrezirkulation auskommt: z. B. n = 2 für CO₂ anstatt n = 4 bei NH₃. Um auf der

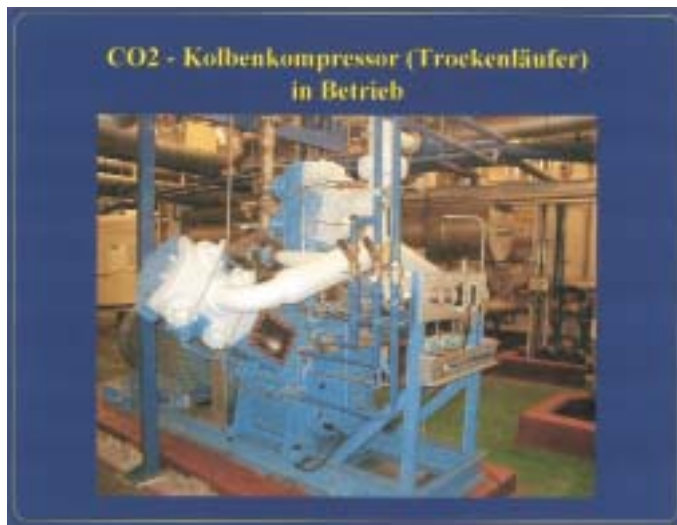


Bild 7
Sich im Betrieb befindliche Maschine

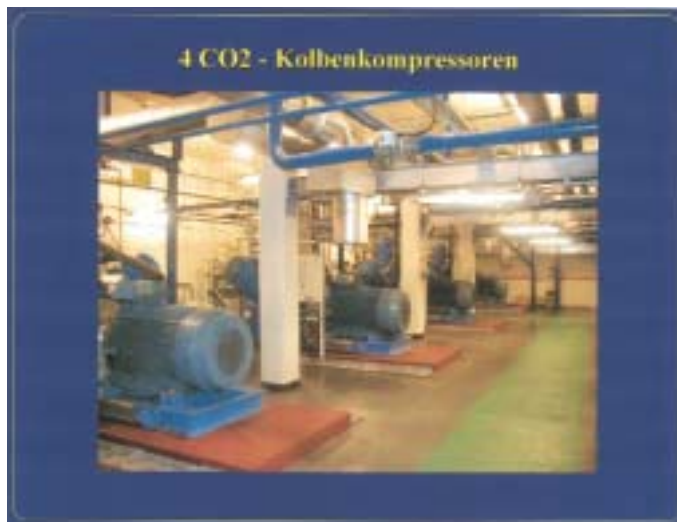


Bild 8
Gesamtansicht der 4 Maschinen (Antriebsseite)



Bild 9 Unisolierter Kaskadenwärmeübertrager vor dem Einbau ...

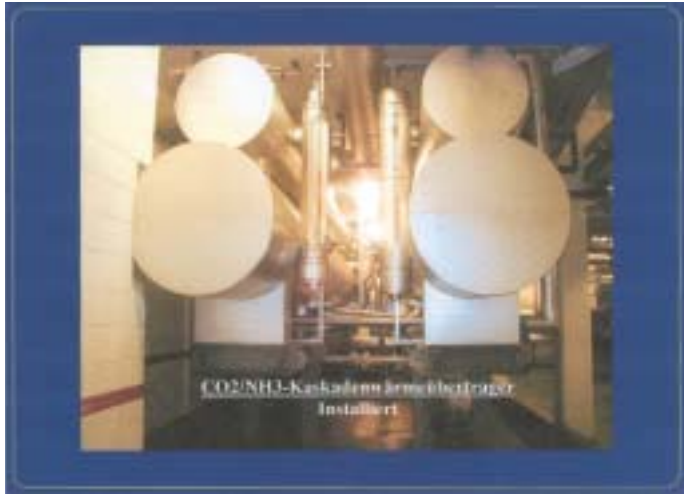


Bild 10 ... und beide Apparate nach der Installation

sicheren Seite zu liegen und um Erfahrungen zu sammeln, wurden die CO₂-Pumpen (Fabrikat Nikiso) für n = 4 dimensioniert. Je ND-Rezirkulationsbehälter sind 2 Pumpen installiert.

2. Kaltraum-Luftkühler
Die Luftkühler erzeugen die zum Einfrieren des Kaffeeextraktes notwendige Kaltraumtemperatur von ca. -40 °C. Die wärmetechnischen Eigenschaften von

CO₂ erfordern spezifische Kenntnisse und Erfahrungen beim Bau optimal funktionierender Apparate. Dies bezieht sich z. B. auf die Materialauswahl, die hydraulische Gestaltung der CO₂-Seite und die



Bild 11 Ansicht eines installierten kompletten CO₂-Rezirkulationssystems

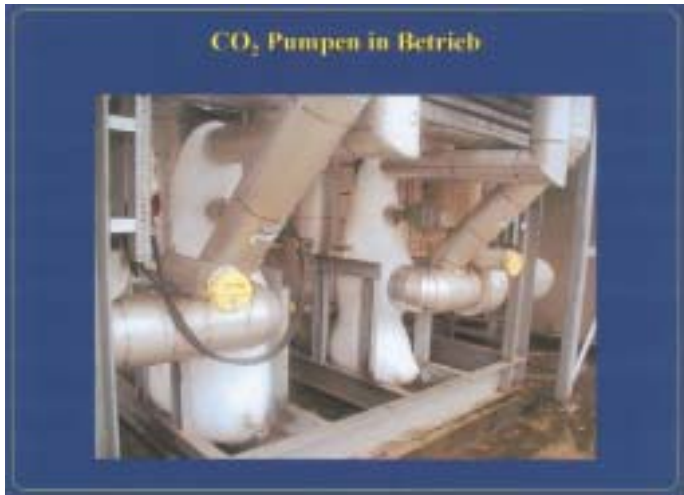


Bild 12 Detailansicht von in Betrieb befindlichen CO₂-Pumpen

Kälteverbraucher (CO₂-Verdampfer):
1. Extraktvorkühler
Besondere Mühe bereitete es, Extraktvorkühler zu finden, die dem neuen Kühlmedium CO₂ sowohl druck- (25 bar), als auch regelungstechnisch gerecht wurden. In enger Zusammenarbeit mit den Lieferanten wurden die Probleme jedoch erfolgreich gelöst.



Bild 13 Die installierte Kühlereinheit

Wahl der Flüssigkeitsrezirkulationszahl. Ein optimaler CO₂-Luftkühler unterscheidet sich von Standardapparaten für NH₃ oder R 22. Es gibt verschiedene Lieferfirmen (z. B. Raffel, Güntner, Goedhard), die über gute Referenzen verfügen. In Hayes sind 8 Einheiten von je 100 kW Kälteleistung bei -52 °C CO₂ Verdampfung installiert. Das zyklische Abtauen erfolgt mittels Wasser.

CO₂: Aspekte der Betriebssicherheit

Mit der Wahl der beiden natürlichen Kältemittel CO₂ und NH₃ wurde die umweltbezogene Sicherheit auf breiter Ebene gewährleistet.

Durch die Kaskadentechnik konnte zudem die Beschränkung der NH₃-Füll-

menge auf ca 4 t erreicht werden. Das sind weniger als 20 % der Füllmenge, die für eine äquivalente 100%ige NH₃-Anlage erforderlich gewesen wäre.

NH₃ ist lediglich im Kompressorraum vorhanden, da die Kälterverbraucher im Fabrikationsbereich nun mit CO₂ anstatt mit NH₃ als Kältemittel arbeiten.

Dies bedeutet definitiv mehr Sicherheit für das Personal, da CO₂, vergleichbar mit HFCKWs und HFKWs, der Kältemittelgruppe 1 (nicht brennbar und ohne erhebliche gesundheitsschädigende Wirkung auf den Menschen) angehört. Das gesamte CO₂-System ist gegen Überschreiten des maximal zulässigen Betriebsdrucks seiner Komponenten durch Drucksicherheitschalter und geeignete Sicherheitsabblasseventile gesichert.

Ein wichtiger Unterschied zwischen CO₂ und NH₃ besteht im Falle einer Flüssigkeitsleckage in die Umgebung (Raum- oder Außenatmosphäre): Es gibt kein Spritzen von Flüssigkeit.

Da der Umgebungsdruck (1 bar) unterhalb des Tripelpunktes (5,2 bar) liegt, wandelt sich die CO₂-Flüssigkeit bei einem eventuellen Austritt in CO₂-Gas und CO₂-Puder („Trockeneis“). Letzteres sublimiert unter Wärmeaufnahme aus der Umgebung ebenfalls schnell zu CO₂-Gas. Dieser Sachverhalt bedeutet im Vergleich zu NH₃ eine weitere Verringerung des Gefahrenpotentials für das Betriebspersonal.

CO₂ ist im Unterschied zu NH₃ praktisch geruchlos und schwerer (statt leichter) als Luft. Daher besteht ein gewisses Sicherheitsrisiko für das Personal, falls keine adäquaten Kontrollmaßnahmen gegen unerwartete aber mögliche Leckagen getroffen werden. CO₂ wirkt in hohen Konzentrationen (> 3%)



Bild 14
Ansicht eines
Luftkühlers
vor dem Einbau

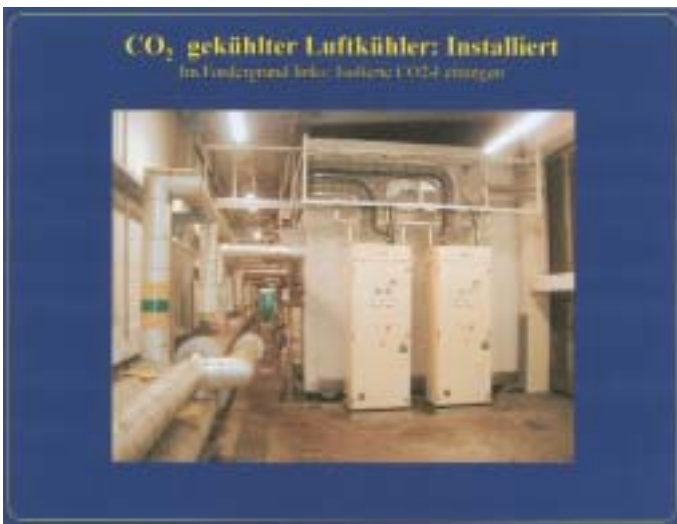


Bild 15
Eingebaute
Luftkühlgruppe

3. Die Eiskondensatoren

Für die zwei bestehenden Vakuumtrockenkammern von leicht unterschiedlicher Leistung sind insgesamt 13 Eiskondensatoren von jeweils 150 kW Kälteleistung installiert: Sechs für Kammer 1 und sieben für Kammer 2. Das zyklische Abtauen der Eiskondensatoren erfolgt mittels Wasserdampf.



Bild 16
Gruppe installierter
Eiskondensatoren

atmungsirritierend, narkotisierend, erstickend. Der MAK-Wert für CO₂ ist jedoch mit 5000 ppm hoch, verglichen mit NH₃ (50 ppm).

Bei dem Projekt in Hayes wurden, wo erforderlich, CO₂-Detektoren (Alarm) und CO₂-Notabsaugvorrichtungen im unteren Raumbereich installiert.



Bild 17 Beispiel für einen eingebauten CO₂-Detektor mit Alarm

Projektentwicklung

Randbedingungen

Bei der Ausführung des innovativen Projektes mußten verschiedene Bedingungen eingehalten werden:

- Budget,
- Zeitplan,
- keine signifikante Produktionsunterbrechung und natürlich,
- ein zuverlässig funktionierendes neues Kältesystem.

Die beiden erstgenannten Bedingungen wurden erfüllt.

Die dritte Bedingung hatte zur Folge, daß die Umrüstung der Kälteverbraucher – alle bestehenden Verdampfer wurden durch neue ersetzt – schrittweise durchzuführen war: Für jeden demontierten R 22-Verdampfer mußte ein leistungsäquivalenter neuer CO₂-Verdampfer installiert und in Betrieb genommen werden. Bis zum Ersatz des letzten R 22-Verdampfers waren also ständig beide Kälteanlagen, R 22 und CO₂/NH₃, in Betrieb.

Die im Vergleich zu R 22 oder NH₃ wesentlich kleineren CO₂-Saugleitungen erleichterten installationsseitig erheblich die Umrüstung wegen des geringeren Platzbedarfs.

Betriebserfahrungen

Die Projektentwicklung erstreckte sich von August 1999 bis September 2001 und umfaßte die folgenden Meilensteine:

- | | |
|-----------------|--|
| August 1999: | Beginn der detaillierten Engineeringarbeit |
| Mai 2000: | Montagebeginn CO ₂ /NH ₃ -Maschinenraum |
| August 2000: | Beginn der Installation CO ₂ -Verdampfer |
| Dezember 2000: | Inbetriebnahme CO ₂ /NH ₃ -Maschinenraum |
| April 2001: | Schrittweise Inbetriebnahme CO ₂ -Verdampfer |
| September 2001: | Vollständige Nescaféproduktion mit CO ₂ /NH ₃ -Kälte |

Nach gut 12monatigem Betrieb des beschriebenen innovativen CO₂/NH₃-Kältesystems konnte folgendes festgestellt werden:

1. Die CO₂-Verdampfer arbeiten besser als erwartet. Dies ist auf den im Vergleich zu R 22 besseren Wärmeübergang zurückzuführen.
2. Die für die Kaffeeproduktion erforderliche Kälteversorgung ist zuverlässig.
3. Das Kälteanlagenbetriebspersonal der Fabrik hat nach entsprechendem Training die „neuen“ Kältemittel CO₂ und NH₃ voll akzeptiert und im Griff. Der Umgang mit CO₂ wird im Vergleich zu R 22 als „leichter“ eingestuft. Dies vor allem, weil die CO₂-ND-Seite noch bei -50 °C/7 bar unter Überdruck anstatt unter Vakuum steht.
4. Erwähnenswerte Probleme bei der Inbetriebnahme (die inzwischen behoben wurden):
 - CO₂-Verdichter: Kolbenringmaterialverschleiß Schwingungsprobleme
 - CO₂-Pumpe: Lagerprobleme (ölfreies CO₂)
 - CO₂-Leckage: Lecksuche schwierig wegen Anlagengröße und Geruchlosigkeit von CO₂
 - Ölverschmutzung der NH₃-Seite des CO₂/NH₃-Kaskadenwärmeübertragers durch Versagen eines NH₃-Verdichterölabscheiders

Schlußfolgerungen und Ausblick

Die CO₂/NH₃-Kaskadenkälteanlage erwies sich als erfolgreiche Lösung für das Hayes R 22-Ausstiegsprojekt. Kosten- und

energieseitig hat sich die gewählte Lösung im Vergleich zu einer leistungsgleichen NH₃-Kälteanlage als überlegen erwiesen. Dies ist vor allem auf das tiefe Niveau der CO₂-Verdampfungstemperaturen zurückzuführen: Wesentlich kleinere CO₂-Kompressoren (anstelle größerer NH₃ ND-Maschinen) und wesentlich kleinere CO₂-Saugleitungen (verglichen mit NH₃) gaben dafür den Ausschlag.

Der Mut, die beschriebene innovative Kältetechnologie in großem Stil erfolgreich für ein wichtiges Einsatzgebiet zu realisieren, wurde durch eine ehrenvolle Auszeichnung honoriert:

Nestlé erhielt in England im Juli 2002 anlässlich der IChemE-Gala für das CO₂/NH₃-Kälteprojekt „Hayes“ **The Cremer & Warner Medal**. Diese Auszeichnung wird vom IChemE alljährlich dem besten und innovativsten Projekt des Jahres zuerkannt. Daß im Jahr 2002 ein Unternehmen der Nahrungsmittelindustrie den Sieg davontrug, macht alle Verantwortlichen natürlich besonders stolz. Maßgebend für die Vergabe waren die mit dem Projekt realisierten beispielhaften umwelt- und sicherheitstechnischen Verbesserungen.

Weitere Projekte

Das Hayes-Projekt war das erste große CO₂/NH₃-Kaskadenkälteprojekt im Nestlé-Konzern. Die damit erzielten guten Ergebnisse haben natürlich Konsequenzen für zukünftige Kälteprojekte: Die CO₂/NH₃-Kaskadenkältetechnik schreitet weiter voran. Gegenwärtig arbeitet Nestlé an drei neuen CO₂/NH₃-Industriekälteprojekten:

Nestlé-USA: Dort entsteht gegenwärtig eine neue Tiefkühlkostfabrik mit einer Kälteanlage von > 8 MW bei -45 °C Verdampfung. Das wird die weltweit größte Anlage dieser Art sein. Inbetriebnahme ist für Anfang 2003 geplant.

Nestlé-Schweiz: In der Schweiz wird eine Neuanlage, ähnlich dem Projekt „Hayes“ installiert.

Nestlé-Japan: Dort wird das nächste R 22-Ausstiegsprojekt realisiert. Es ist ähnlich dem Projekt „Hayes“ und die Inbetriebnahme ist für Anfang 2004 geplant.

Angestrebte technische Verbesserungen

„Das Bessere ist der Feind des Guten!“ – Wo sind Verbesserungen im Vergleich zum Projekt „Hayes“ erforderlich? Hierzu zwei Beispiele:

1. Geschmierte bzw. ölinjizierte CO₂-Verdichter anstelle von Trockenläufern.
Grund: Kostenreduzierung.
Für das Schweizer Projekt werden CO₂-Kolbenverdichter zum Einsatz kommen. Für das USA- und das Japan-Projekt werden es CO₂-Schraubenverdichter sein.
2. Plattenwärmeaustauscher anstelle von überflutet arbeitenden Kaskadenwärmeübertragern.
Gründe: Besserer Wärmeübergang, kleinere Temperaturdifferenz zwischen verdampfendem NH₃ und kondensierendem CO₂ (2 K); Verringerung der NH₃-Füllmenge; Verringerung des Platzbedarfs und ... der Investitionskosten. □

Anzeige

Literatur:

- [1] H. Gebhardt: „Nestlé setzt auf NH₃ und den Kälte-träger CO₂“, Die Kälte & Klimatechnik 11/2001, Seite 50 bis 55
- [2] L. Rolfmann: „CO₂ als Kältemittel“, Die Kälte & Klimatechnik 9/2001, Seite 56 bis 64
- [3] eurammon-Information Nr. 15/März 2002
- [4] A. Page: „CO₂/NH₃ Refrigeration replaces R 22 in a large Freeze-Drying Plant“, Technical Paper # 1, in Proceedings of 2002 IAR Ammonia Refrigeration Conference, 01-27.