Technische und energetische Betrachtungen von Ammoniak-Kälteanlagen für die industrielle Anwendung

0. Allgemeines

Das Kältemittel Ammoniak (NH_3) ist in Großkälteanlagen für die industrielle Anwendung das bestimmende Betriebsmittel. NH_3 hat sich in der Zeit seiner Verwendung als Kältemittel bestens bewährt. Große Kälteanlagen, z. B. für die Nahrungsgüter-, Getränke- und chemische Industrie, wurden und werden erfolgreich mit NH_3 betrieben.

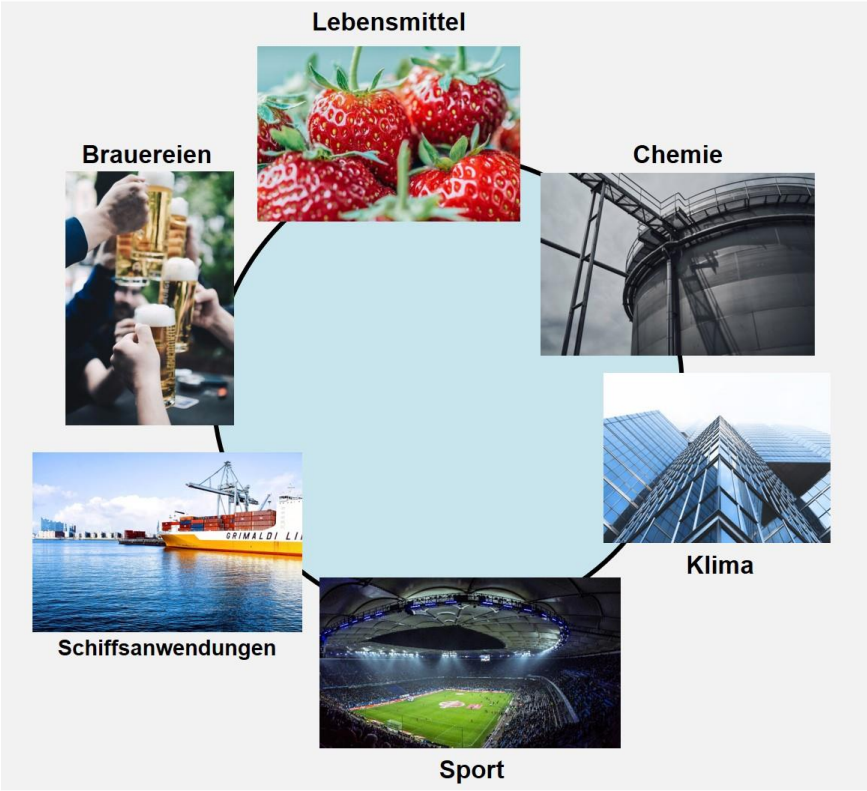

Bild 1: Kälteanwendungen mit NH_3

Diese meist in Molkereien, Brauereien, Schlachthöfen und großen Gefrieranlagen befindlichen Anlagen, teils mit mehreren Tonnen Kältemittelfüllung, wurden über Jahrzehnte betrieben und nach Ablauf ihrer Lebensdauer auch wieder entsorgt. Damit besitzt NH_3 den nicht zu übersehenden Vorteil, dass im Umgang mit diesem natürlichen Kältemittel jahrelange umfangreiche Erfahrungen und Erkenntnisse vorliegen, die stets in den o. g.

Bereichen, aber auch in Einsatzgebieten, die bisher als sensibel gegenüber NH_3 (z. B. die Komfortklimatisierung) galten, genutzt werden.

Die aus den hervorragenden thermodynamischen Eigenschaften resultierende Wirtschaftlichkeit ist ein weiterer wichtiger Grund dafür, dass der Einsatz von NH_3 in vielen Bereichen der Industriekälte seit Jahrzehnten unbestritten ist. Die Effizienz, ausgedrückt in den Gesamtkosten, ist eines der wichtigsten Kriterien bei der Entscheidung „für“ oder „gegen“ eine NH_3-Anlage. Höhere Anschaffungskosten auf Grund der aufwändigeren technischen Leistungen bei der Herstellung stehen ein geringer Kältemittelpreis und niedrige Energiekosten zum Betreiben der Kälteanlage gegenüber, so dass sich die Gesamtkosten für eine NH_3-Kälteanlage äußerst günstig darstellen. Das Verhältnis von Kälteleistung zu Antriebsleistung (COP-Wert, Coefficient of Performance) einer NH_3-Anlage ist oft viel vorteilhafter als bei Anlagen mit synthetischen Kältemitteln. Die Energiekosten lassen sich auf diese Weise deutlich verringern, wodurch sich die zusätzlichen Investitionen in relativ kurzer Zeit – in ein bis drei Jahren – amortisiert haben.

Die Anzahl der jährlichen Betriebsstunden von Großkälteanlagen in den o. g. Bereichen, aber insbesondere in der Nahrungsgüterindustrie, ist sehr hoch. Dadurch ist dem sparsamen Umgang mit Energie zur Erfüllung der kältetechnischen Anforderungen unbedingt Vorrang einzuräumen. Hierbei sollte ein besonderes Augenmerk auf die Schwankungen der Außenlufttemperaturen ($t_A \approx$ -15 bis +35 °C) gelegt werden und auf die Möglichkeit, diese zur Energieeinsparung beim Betrieb der Kälteanlage zu nutzen. Folgender, in Bild 2 schematisch dargestellter Kreisprozess einer Kälteanlage soll diese Tatsache verdeutlichen:

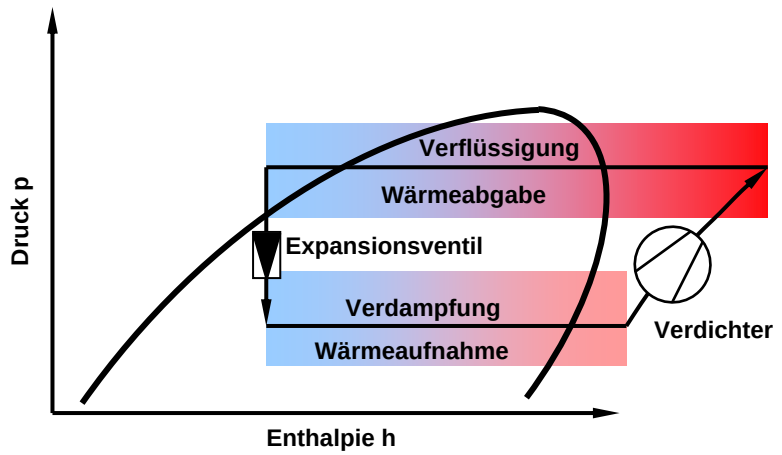

Bild 2: Kreisprozess einer Kälteanlage im lg p, h-Diagramm

Erläuterungen:

Die Kälteanlage transportiert Wärme von einer niedrigen Temperatur auf eine höhere Temperatur. Der dafür erforderliche Energiebedarf des Verdichters hängt von der Wärmemenge und von der Temperaturdifferenz ab. Daraus ergeben sich folgende Ansatzpunkte für die rationelle Anwendung von Energie:

- Die Wärmelast (Fremdwärme, Transmission, Verpackung, Ventilatorabwärme u. ä.) des zu kühlenden Raumes ist möglichst klein zu halten.
- Die Temperatur im zu kühlenden Raum soll nur so tief wie nötig sein (regelmäßige Kontrollen, Servicezyklen).
- Die Verflüssigungswärme sollte an verfügbare Kühlmedien (Luft/Wasser) bei niedrigst möglicher Temperatur abgeführt werden. Hierbei sollten jahreszeitlich bedingte Temperaturschwankungen berücksichtigt werden.

Beachte:

Je tiefer die Temperatur für die Wärmeaufnahme und je höher die Temperatur für die Wärmeabgabe, desto mehr Leistung (Energiebedarf steigt) ist erforderlich.

1. Anlagenkonzeption

Auf Grund des umfangreichen Anwendungsbereichs von NH_3-Kälteanlagen in der industriellen Kühlung erstreckt sich der Verdampfungstemperaturbereich von ca. -50 °C bis +5 °C (Gefriertrocknung von Kaffee über Kühlung von Verarbeitungsräumen in der Fleisch- und Wurstherstellung bis zur Gebäudeklimatisierung). NH_3-Kälteanlagen werden ein- und zweistufig ausgeführt. Der Schraubenverdichter hat im genannten Anwendungsbereich gegenüber dem einstufigen Hubkolbenverdichter mehr und mehr Einfluss erlangt. Nicht zuletzt deshalb, weil seine Verdichtungsendtemperatur bei einstufiger Verdichtung mit großen Druckverhältnissen durch Öleinspritzung begrenzt werden kann. Einige grundlegende Anlagenkonzeptionen sind in Tabelle 1 aufgeführt:

Kälteanlage	**Direktes Kühlsystem**		**Indirektes Kühlsystem**	
	DX [1])	überflutet [2])	DX	Überflutet [2])
1-stufig	X	X	X	X
2-stufig	X	X	X	X
HD-Stufe in Kaskade NH_3/CO_2	X	X	–	–

[1]) Direktexpansion
[2]) Pumpenzwangsumlauf/Schwerkraftumlauf (vorzugsweise)

Tabelle 1: Anlagenkonzeptionen für NH_3-Kälteanlagen

Die in der Planungsphase festgelegte Anlagenkonzeption mit den dazugehörigen Betriebsparametern hat Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des zukünftigen Kälteanlagenbetriebs. Neben der Auswahl effizienter Verdichter sind auch die eingesetzten Wärmeübertrager sowohl auf der Seite der Wärmeaufnahme (Verdampfer) als auch auf der Seite der Wärmeabgabe (Verflüssiger) maßgebend für die Wirtschaftlichkeit der Kälteanlage. In den folgenden Bildern 3 bis 6 sind einige Anlagenkonzeptionen schematisch dargestellt.

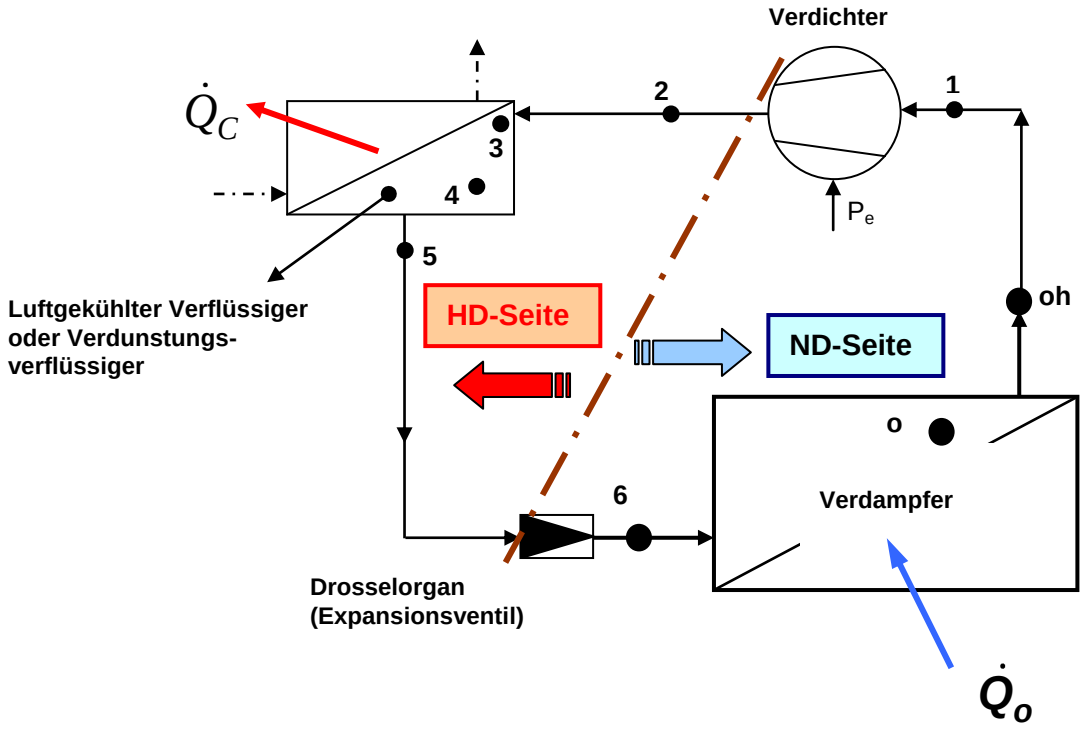

Bild 3: Prinzipschaltbild eines einstufigen Kältemittelkreislaufes mit Direktexpansion.

<u>Legende:</u>

1	Verdichtereintritt
1e	Verdichtereintritt Economiserseite
1v	Zustand des verdichteten Kältemittels im Verdichter
2	Verdichteraustritt / Verflüssigereintritt
3	Verflüssigungsbeginn
4	Verflüssigungszustand
5	Verflüssigeraustritt (unterkühltes Kältemittel)
6	Verdampfereintritt (entspanntes Kältemittel)
7	Verdampfereintritt (entspanntes Kältemittel)
o	Sättigungszustand (vollständig verdampftes Kältemittel)

oh Verdampferaustritt (verdampftes überhitztes Kältemittel)

Eine einstufig arbeitende Kälteanlage mit Schraubenverdichtern kann durch den Einsatz eines Economizers (Betrieb mit Mitteldruck-Aufladung, Bild 4) in ihrer Leistung Q_o gesteigert werden, wobei die Antriebsleistung des Verdichtermotors P_e in geringerem Maße zunimmt. als die Kälteleistung.

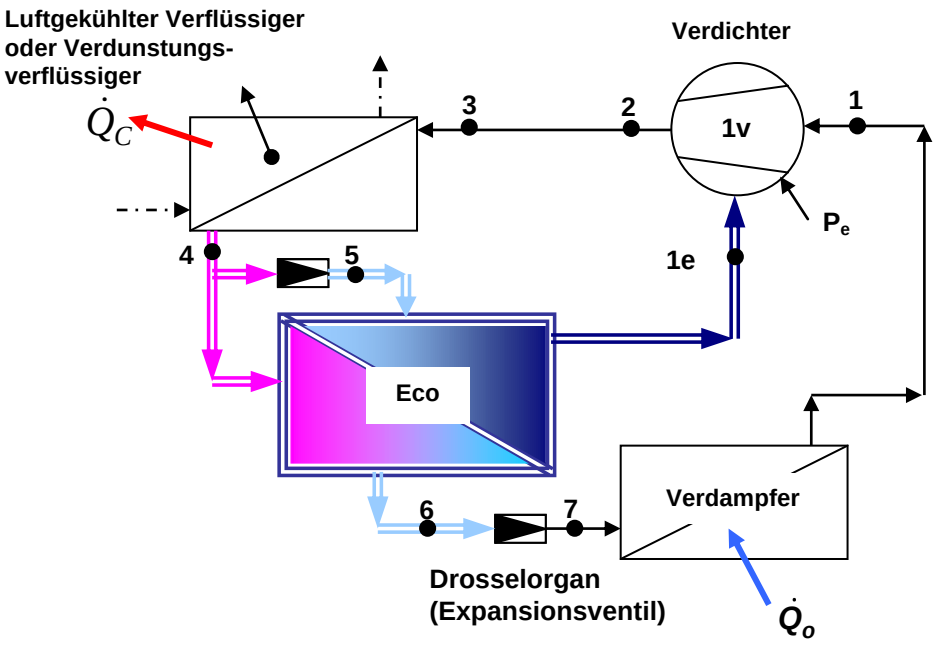

Bild 4: Prinzipschaltbild eines einstufigen Kältemittelkreislaufes mit Economizer und Direktexpansion

<u>Legende:</u>

1 Verdichtereintritt – Verdampferseite

1e Verdichtereintritt – Economizerseite

1v Zustand des verdichteten Kältemitteldampfes im Verdichter

2 Verdichteraustritt

3 Verflüssigereintritt

4 Verflüssigeraustritt

5 Economizereintritt – Aufladeteilstrom

6 Economizeraustritt – Verdampferseite

7 Verdampfereintritt (entspanntes Kältemittel)

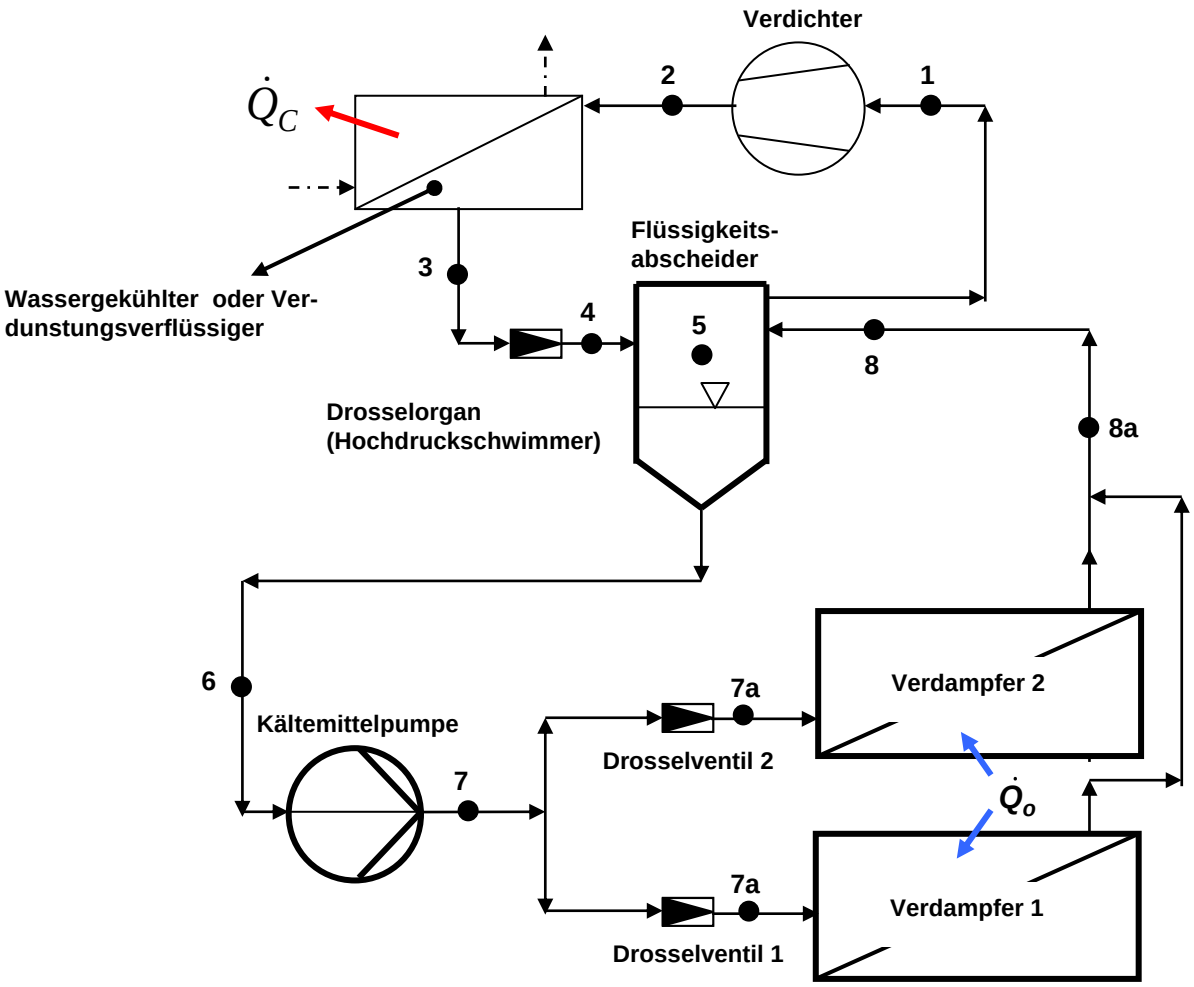

Bild 5: Prinzipschaltbild eines einstufigen Kältekreislaufes mit Pumpenzwangsumlauf und zwei Kühlstellen

<u>Legende:</u>

1 – 2 Verdichtung

2 – 3 Verflüssigung

3 – 4 Drosselung auf Abscheiderdruck

5 Zustand im Abscheider

5 – 6 Statische Druckhöhe des flüssigen Kältemittels

6 – 7 Förderhöhe der Pumpe

7 – 7a Drosselung im Regulierventil der Verdampfer

7a – 8a Verdampfung auf x = 1/n

8a – 8 Druckabfall in der Rückleitung

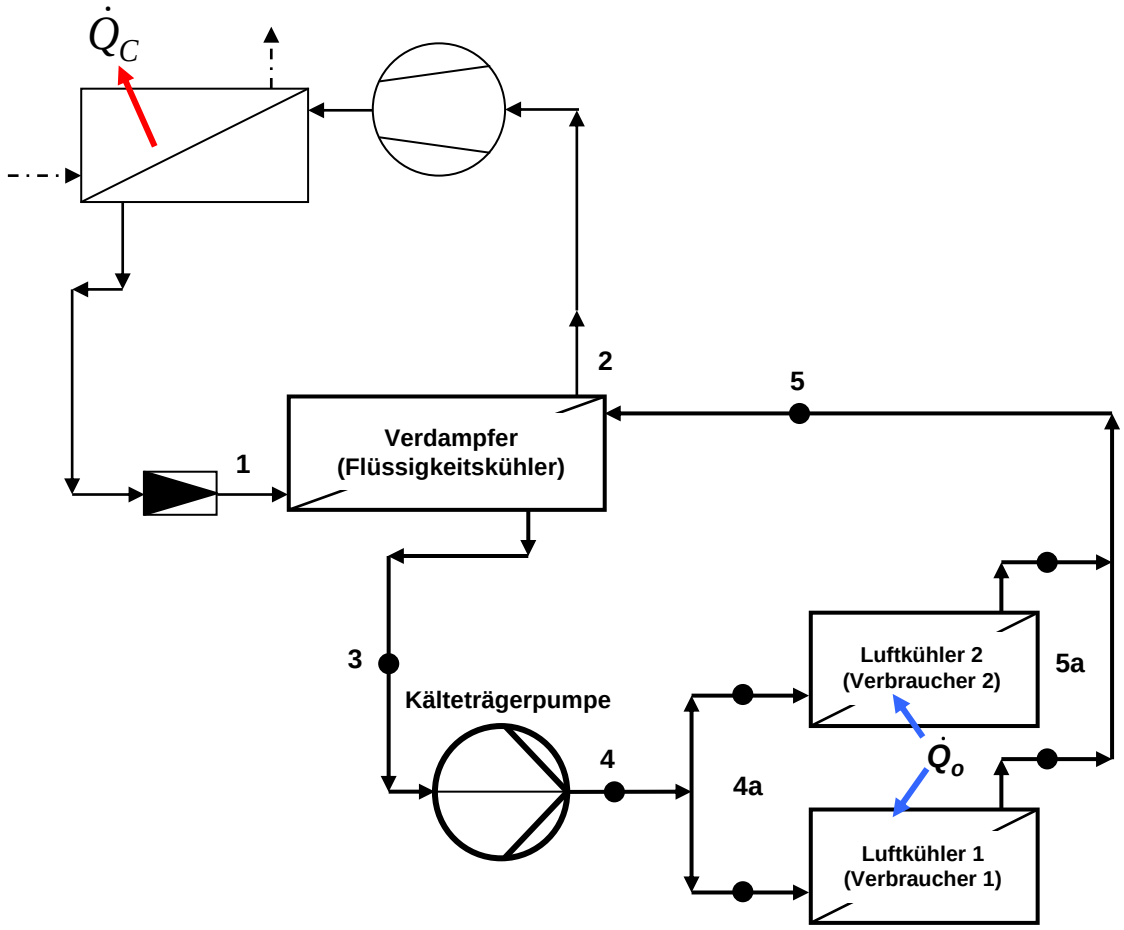

Bild 6: Prinzipschaltbild eines indirekten Kühlsystems

Legende:

1	Verdampfereintritt
2	Verdampferaustritt
3	Flüssigkeitskühleraustritt, Kälteträgerpumpeneintritt
4	Kälteträgerpumpenaustritt
4a	Verbraucher-(Luftkühler-)eintritt
5a	Verbraucher-(Luftkühler-)austritt
5	Flüssigkeitskühlereintritt

2. Kälteanlage / Hochdruckseite (Wärmeabgabeseite)

Der Energiebedarf und damit die Wirtschaftlichkeit einer Kälteanlage wird durch die Wärmeabgabetemperatur bei der Verflüssigung beeinflusst. Wärme wird mit Luft (luftgekühlte Verflüssiger), mit Luft/Wasser (Verdunstungsverflüssiger) oder mit Wasser (Bündelrohr- oder Plattenwärmeübertrager) an die Umgebung abgeführt. Die

Wärmeableitung mit Wasser (Oberflächenwasser, Fluss- oder Seewasser) erfolgt im europäischen Raum für Landkälteanlagen insbesondere in der Lebensmittelkühlung und -lagerung nur in Einzelfällen. In der chemischen Industrie wird in der Regel mit Wasser gekühlt, das auch aus Flüssen und Brunnen kommt. Bei Schiffskälteanlagen ist die Nutzung von Seewasser zur Wärmeabführung generell üblich. Für Landkälteanlagen werden gleichermaßen Ausführungen im Trocken- (luftgekühlte Verflüssiger) oder im „Nassbetrieb“ (Verdunstungsverflüssiger) angewendet. Für die Auswahl der jeweiligen Betriebsart sind unterschiedliche Faktoren ausschlaggebend − z. B. Nutzung des Nachtbetriebs, Aufstellanforderungen, Aufstellgewicht, Anlagengröße, Möglichkeit der Kaltwasserspeicherung, Wasserkosten. Aber auch die Variante, Trocken- und Nassbetrieb miteinander zu kombinieren, wird in der Praxis angewandt.

Bei der Verflüssigerauswahl sind sich ändernde Außenlufttemperaturen t_A zu berücksichtigen,um möglichst lange bei der minimal zulässigen Verflüssigungstemperatur t_{Cmin} zu arbeiten. Dadurch werden minimale Betriebskosten für Energie und Wasser erreicht. An dem nachfolgenden Diagramm (Bild 7) lässt sich erkennen, wie Energie- und Wasserverbrauch von Kälteanlagen durch die Annäherung an die minimal zulässige Verflüssigungstemperatur t_{Cmin} beeinflusst werden.

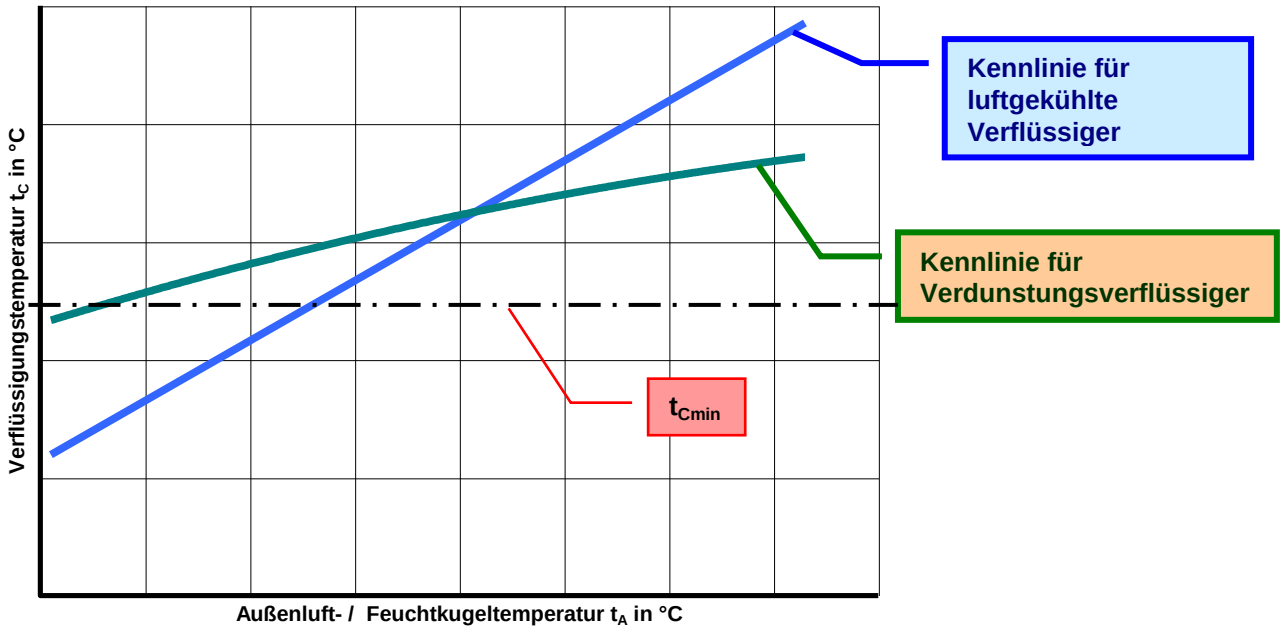

Bild 7: Verflüssigungstemperatur t_C (Bereich +20 bis +50 °C) in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur t_A (-15 bis +35 °C) und der Feuchtkugeltemperatur t_F (0 bis +23 °C)

Der Einsatz von Schraubenverdichtern mit den dort integrierten Ölkreisläufen wird die beim Verdichtungsvorgang entstehende Wärme zu einem Teil im Ölkreislauf durch den Ölkühler abgeführt und entlastet somit den Verflüssiger. Die abgeleitete Ölkühlerwärme kann zur Wärmerückgewinnung ohne besonderen apparativen Aufwand genutzt werden. Durch das hohe Temperaturniveau des Verdichtungsprozesses (bis ca. +90 °C/ +65 °C Öltemperatur) ergibt sich ein großer Anwendungsbereich für diese Abwärme.

3. Kälteanlage / Niederdruckseite (Wärmeaufnahmeseite)

Auf der Niederdruckseite der Kälteanlage erfolgt die Wärmeaufnahme aus dem zu kühlenden Raum bzw. dem dort befindlichen Produkt über den Verdampfer. Der Verdampfer kann Bestandteil folgender Kühlsysteme sein:

Kühlsystem	
Direktes Kühlsystem	Indirektes Kühlsystem
Funktion: Zwischen dem Kältemittel in einem geschlossenen Kreislauf und der zu kühlenden Luft erfolgt eine direkte Wärmeübertragung („einfache Trennung“)	*Funktion:* Zwischen dem Kältemittel in einem geschlossenen Kreislauf und der zu kühlenden Luft zirkuliert ein Kälteträger („zweifache Trennung“).

Betriebsarten:
• Trockene Verdampfung (DX-Betrieb)
• Überfluteter Betrieb
  ○ Pumpenzwangsumlauf
  ○ Schwerkraftumlauf	

Tabelle 2: Kühlsysteme

Bei der Auswahl der Betriebsart der Kälteanlage ist zu berücksichtigen, dass Temperaturdifferenzen in jedem Wärmeübertrager in der Kälteanlage, also auch im Verdampfer, den COP-Wert und damit die Wirtschaftlichkeit der Kälteanlage beeinflussen. Unter dem Aspekt der Energieeinsparung sind möglichst kleine Temperaturdifferenzen zwischen dem verdampfenden Kältemittel und der zu kühlenden Luft zu wählen. Ein indirektes Kühlsystem verursacht gegenüber einem direkten eine zusätzliche Temperaturdifferenz.

Die trockene Verdampfung (DX-Betrieb) mit thermostatischer Expansion verlangt immer eine Überhitzungsstrecke im Verdampfer, damit das thermostatische Expansionsventil

ordnungsgemäß arbeiten kann. Durch die geringe Massenstromdichte des Kältemittels NH_3 (die Dichte von NH_3 Flüssigkeit beträgt nur ca. die Hälfte der gängigen synthetischen Kältemitteln) ist die Auslegung der Verdampfer nicht unproblematisch und verlangt sehr viel Erfahrung. Die Besonderheiten des Kältemittels NH_3 :

- hohe Verdampfungswärme,
- geringerer Entspannungsdampfanteil
- geringerer Kältemittelmassenstrom ,

sind beider konstruktiven Gestaltung des Verdampfers und des Expansionsventils zu berücksichtigen. Dennoch lassen sich die Temperaturdifferenzen zwischen dem verdampfenden Kältemittel und der zu kühlenden Luft nicht erreichen, wie sie bei Verdampfern mit überflutetem Betrieb erzielt werden. Der Vorteil des DX-Betriebs liegt in der geringeren Kältemittelfüllung der Kälteanlage und damit in der Einsparung von Kältemittel (Umwelt- und Sicherheitstechnik).

In der industriellen Anwendung, dem Haupteinsatzgebiet von NH_3-Kälteanlagen, kommt für mittlere und große Leistungen üblicherweise der <u>überflutete Betrieb</u> zur Anwendung. Bei Kälteanlagen, bei denen die Verdampfer mit überfluteter Verdampfung arbeiten (s. Abs. 1, Bild 5), muss in der Kälteanlage ein Flüssigkeitsabscheider vorgesehen werden. Aus dem Flüssigkeitsabscheider gelangt flüssiges Kältemittel in die Verdampfer, die in diesem Fall überflutet arbeiten. Die Größe des Flüssigkeitsabscheiders ist so auszulegen, dass es zum einen nicht zu einem Ansaugen von flüssigem Kältemittel in den Verdichter kommt und zum anderen die Versorgung des Verdampfers mit flüssigem Kältemittel gesichert ist. Industriekälteanlagen arbeiten überwiegend mit Pumpenzwangsumlauf, um eine weit voneinander entfernt liegende Vielzahl von Verbrauchern, wie zum Beispiel in der Lebensmittelindustrie, mit Kältemittel zu versorgen. . Kälteanlagen mit Schwerkraftumlauf finden sich darüber hinaus auch in Kühl- und Schockgefrierräumen der Lebensmittelindustrie.In kompakten Kälteanlagen für Prozesskühlung und Klimatisierung kommt üblicherweise der Schwerkraftumlauf zum Einsatz

Das Funktionsprinzip für Verdampfer mit <u>Pumpenzwangsumlauf</u> ist notwendig, wenn

- weit voneinander entfernt liegende Verbraucher mit Kältemittel versorgt werden,
- die Strömungswiderstände durch die Verdampfer einschließlich der Zu- und Ableitungen groß sind und
- eine besonders gleichmäßige Verdampfung gefordert wird (gleiche Strömungsform und damit gleiche Wärmeübergangskoeffizienten bei der während der Verdampfung

im durchströmten Rohr auftretenden Zweiphasenströmung), insbesondere im Teillastbetrieb bzw. bei mehreren Rohrreihen in der Tiefe.

Damit wird eine sehr sichere Kältemittelversorgung der Verdampfer gewährleistet und es kann auch mit geringen Temperaturdifferenzen zwischen verdampfendem Kältemittel und zu kühlender Luft (ca. 3 K) gerechnet werden. Dadurch ist es möglich, den Ansaugdruck des Verdichters anzuheben und somit den COP-Wert und die Energieeffizienz der Kälteanlage zu verbessern (s. Abs. 0, Bild 2).

Beim Schwerkraftumlauf wird das Kältemittel durch Dichteunterschiede in Flüssigkeitsabscheider und Verdampfer sowie durch die Zulaufhöhe vom Flüssigkeitsabscheider zum Verdampfer gefördert. Das erfordert eine genaue Zuordnung von Flüssigkeitsabscheider und Verdampfer. Dabei ist die Höhe des Flüssigkeitsabscheiders so festzulegen, dass Strömungswiderstände in der Rohrleitung zum Verdampfer und im Verdampfer überwunden werden. Wird der Flüssigkeitsabscheider sehr hoch angebracht, verursacht die Flüssigkeitssäule in der Zulaufleitung eine Druckerhöhung im Verdampfer , die eine höhere Verdampfungstemperatur und einen Siedeverzug nach sich zieht.

Neben der Energieeinsparung durch Anhebung der Verdampfungstemperatur ist bei der Auswahl des Verdampfers auch auf seine Funktionen im Kühlsystem zu achten. Dazu gehören:

- angepasstes Luftvolumen von energetisch optimierten Ventilatoren (Wirkungsgrad Ventilator/Motor, Größe des dynamischen Druckanteils)
- Einhaltung geringer Temperaturdifferenzen zwischen verdampfendem Kältemittel und zu kühlender Luft mit folgenden Vorteilen:
    - geringe Bereifung
    - Verlängerung der Zeiten zwischen den Abtauvorgängen
    - Energieeinsparung beim Abtauen
- angepasste relative Luftfeuchte der zu kühlenden Luft zur Erhaltung der Qualität der zu kühlenden Produkte
- optimale Luftführung in Tiefkühllagern, Nutzung der natürlichen Thermik nach dem Kaltluftsee-Prinzip

4. Kälteanlage mit indirektem Kühlsystem

Kälteanlagen mit indirektem Kühlsystem (s. Abs. 1, Bild 6) kommen dort zum Einsatz, wo aus sicherheitstechnischen Gründen, auf Grund von Forderungen nach Einsparung von

Kältemittel oder durch Betreiberwünsche ein direktes Kühlsystem nicht in Frage kommt. Das heißt auch in nicht traditionellen NH_3-Anwendungsgebieten, in denen kältemittelführende Teile mit dem zu kühlenden Gut nicht in Berührung kommen dürfen, lässt sich NH_3 einsetzen, wenn ein indirektes Kühlsystem installiert wird. Dadurch wird eine Trennung zwischen Kältemittel und zu kühlender Luft realisiert. Indirekte Kühlsysteme mit NH_3 als Kältemittel werden sowohl im Industrie- als auch im Klimamarkt eingesetzt.
Hauptanwendungsgebiete hier sind:

- Industrie- und Humanklima
- Lebensmittelindustrie
- Chemische Industrie
- Autoindustrie

Insbesondere bei NH_3-Klimaanlagen sind Kältemittelfüllungen von weniger als 0,03 kg/kW für die Herstellung von Kaltwasser möglich (s. *eurammon*-Information Nr. 9). Als Richtwert für wassergekühlte Maschinen können 0,040 - 0,100 kg/kW für überflutete Verdampfer angenommen werden.
Auch bei der industriellen Anwendung ergeben sich neben der Erfüllung sicherheitstechnischer Anforderungen bedeutende Kältemitteleinsparungen gegenüber Kälteanlagen mit direktem Kühlsystem, da die NH_3-Kälteanlage üblicherweise zentral in einem speziellen Maschinenraum untergebracht ist. Besonders in Verarbeitungsräumen werden überwiegend Luftkühler mit Kälteträger eingesetzt (entsprechend Bild 6).

Als Kälteträger werden vorwiegend Gemische aus Ethylenglykol bzw. Propylenglykol (im Lebensmittelbereich) mit Wasser in verschiedenen Mischungsverhältnissen und mit den unterschiedlichsten Firmenbezeichnungen verwendet. Kälteträger für tiefe Temperaturen sind z.B. Gilotherm D12 oder Pekasol 2000, eine Kombination organischer Salze, welche bis zu -70 °C bei noch vertretbaren Viskositäten eingesetzt werden. Zu beachten sind dabei immer die Sicherheitsdatenblätter der Hersteller. Die traditionellen Kälteträger früherer Zeiten, Solen, kommen heutzutage nur noch in geringem Maße zum Einsatz (Materialeinsatz beachten!). Solen sind Salz-Wasser-Lösungen mit Natriumchlorid (NaCl), Magnesiumchlorid (MgCl) oder Kalziumchlorid (CaCl).

Im Temperaturbereich unter +15 °C kann Kohlendioxid (CO_2, Gefrierpunkt -56,7 °C) als Kälteträger verwendet werden. Besonders die Möglichkeit, bei CO_2 mit Phasenumwandlung zu arbeiten, führt in Kälteanlagen mit indirektem Kühlsystem zu bedeutenden

Verbesserungen der Auslegungsparameter gegenüber herkömmlichen Kälteträgern (s. Tabelle 3).

Kälteträger	**Ethylenglykol 40 %**	**Kaliumformiat**	**CO_2**
Phasenumwandlung	nein	nein	ja
Kälteleistung in kW	50	50	50
Kälteträgertemperatur in °C Eintritt Austritt	 -25 -20	 -25 -20	–
Verdampfungstemperatur in °C	–	–	-22
Pumprate	–	–	2,5 (2–3)
Massenstrom in kg/h	10.537	12.732	1.573
Dichte in kg/m³ Flüssigkeit Dampf	 1.083 –	 1.228 –	 1.040 48,4
Volumenstrom in m³/h Eintritt Austritt	} 9,73	} 10,37	1,51 (Flüssigkeit) 12,95 (Dampf)
Anschlüsse in mm / Kälteträger-geschwindigkeit in m/s Eintritt Austritt	} DN 50 / 1,3	} DN 50 / 1,47	DN 20 / 1,33 DN 32 / 4,5
Zähigkeit; flüssig in Pa s	$2{,}45*10^{-2}$	$1{,}06*10^{-2}$	$1{,}4*10^{-4}$

Tabelle 3: Vergleich Kälteträger mit und ohne Phasenwechsel

Daraus lassen sich Einsparungen bei Verwendung des Kälteträgers CO_2 mit Phasenumwandlung in folgenden Bereichen ableiten:

- Rohrdimensionierung; Reduzierung um ca. zwei bis drei Nennweiten
- Pumpenleistung; Verringerung des Volumenstromes um das ca. 5,5-Fache; günstigere Zähigkeitswerte um ca. zwei Zehnerpotenzen
- Anhebung der Verdampfungstemperatur z.B. von -28°C auf -25°C in der Kälteanlage möglich (Temperatur Kälteträgereintritt ohne Phasenumwandlung -25 °C ; mit Phasenumwandlung -22 °C, siehe auch Tabelle 2)

Referenzobjekt hierfür ist das modernste Fischverarbeitungszentrum Europas in Sassnitz auf der Insel Rügen. Der Kälteträger CO_2 befindet sich hierbei in einem Sekundärkreislauf

einer Kaskadenkälteanlage mit einer zweistufigen NH_3-Kälteanlage als Primärkreislauf (Bild 8). Die Kälteanlage ist zentral in einem Kältemaschinenraum installiert. Entgegen herkömmlichen Kälteträgerkreisläufen erfährt das CO_2 bei der Wärmeaufnahme im Luftkühler eine Phasenänderung – es wird dampfförmig. Der CO_2-Dampf gelangt dann in den NH_3/CO_2-Kaskadenwärmeübertrager und wird hier verflüssigt. Die einzelnen Arbeitsbereiche der Gesamtanlage werden mit unterschiedlichen Kälteträgerkreisläufen beaufschlagt, wie in Bild 8 ersichtlich ist.

Die Verwendung von Propylenglykol-Wasser-Gemisch als Kälteträger im Kreislauf für die Verarbeitungsräume ergibt sich aus dem hohen Druckniveau (insbesondere für die Auslegung von Rohrleitungen und Armaturen), das bei der Verwendung von CO_2 bei diesen Bedingungen auftreten würde.

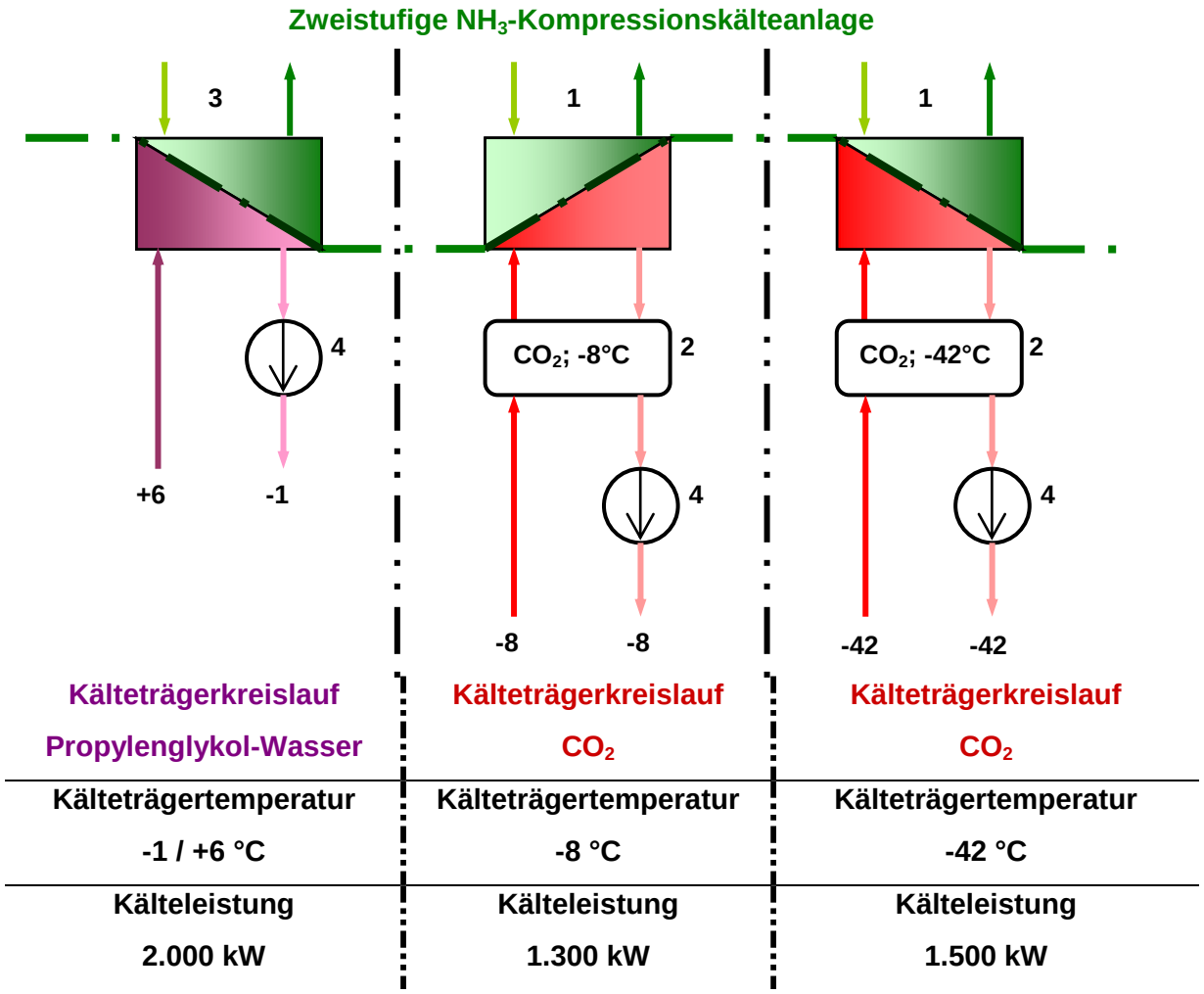

Bild 8: Prinzipschema des Kälteträgerkreislaufs Fischverarbeitung Sassnitz

Legende:

1 Kaskadenwärmeübertrager NH_3/CO_2

2 CO_2-Flüssigkeitsabscheider

3 Flüssigkeitskühler für Kälteträger Propylenglykol

4 Flüssigkeitspumpe für Kälteträger (Propylenglykol bzw. CO_2)

Neben den genannten Vorteilen (Sicherheits- und Umwelttechnik, Einsparung von Kältemittel) hat die Kälteanlage mit indirektem Kühlsystem Nachteile durch die Notwendigkeit, zusätzlich einen Wärmeübertrager zu installieren. Dieser Wärmeübertrager benötigt eine treibende Temperaturdifferenz, die sich wiederum negativ auf die Verdampfungstemperatur auswirkt (muss abgesenkt werden). Plattenwärmeübertrager mit ihren realisierbaren hohen Wärmestromdichten (22 bis 28 kW/m²) ermöglichen den Einsatz von kompakten Geräten, mit denen sich Temperaturdifferenzen in sehr engen Grenzen zwischen verdampfendem Kältemittel NH_3 und dem Kälteträger bis zu 4 K realisieren lassen. Bei dem genannten Referenzobjekt Fischverarbeitung Sassnitz konnte diese Temperaturdifferenz auf Grund der Phasenumwandlung (Verdampfung) des Kälteträgers auf 2 bis 3 K verringert werden.

5. Schlussbetrachtungen

Die vorangegangenen technischen und energetischen Ausführungen zeigen, dass mit den vielen Vorzügen des natürlichen Kältemittels NH_3 sämtliche Anlagenkonzeptionen sowohl mit direktem als auch mit indirektem Kühlsystem mit hoher Energieeffizienz zu realisieren sind. Entscheidend ist, dass die Anforderungen an NH_3-Kälteanlagen bereits in der Planungsphase sorgfältig bewertet werden, damit Komponentenlieferanten und Anlagenbauern klare technische Vorgaben für die Realisierung gegeben werden können.

Die Auslegung der Hochdruckseite einer Kälteanlage (Wärmeabfuhr, Verflüssigung) ist weitestgehend von den meteorologischen Verhältnissen (Temperatur und relative Feuchte der Außenluft, Häufigkeitsverteilung der Außenlufttemperatur, Aufstellhöhe über NN u. Ä.) abhängig. Die Merkmale des Betriebs der Kälteanlage (Nutzung des Nachtbetriebs, kombinierte Betriebsweise, Gleichzeitigkeitsfaktor etc.) und die Berücksichtigung der minimal zulässigen Verflüssigungstemperatur beeinflussen darüber hinaus die Auswahl des Verflüssigers. Die Auslegung der Niederdruckseite (Wärmeaufnahme, Verdampfung) wird fast ausschließlich durch die Forderung der Anwender nach der Betriebstemperatur (Kühlen, Gefrieren, Lagern, Auftauen) und den luftseitigen Parametern Luftvolumina und Luftführungen bestimmt. Bei Anwendung des indirekten Kühlsystems hat der Betrieb mit

CO_2 als Kälteträger mit Phasenumwandlung erhebliche Vorteile (Einsparung an Kältemittel, Reduzierung der Rohrleitungsdurchmesser, Anhebung der Verdampfungstemperatur).

Herausgegeben von *eurammon*

Postfach 71 08 64 ◆ D-60498 Frankfurt

Telefon +49 69 6603 1277 ◆ Fax +49 69 6603 2276

e-mail: karin.jahn@eurammon.com

http://www.eurammon.com