

Einsatz von Ammoniak in Supermarkt-Kälteanlagen*

Eng. Alexandre Presotto Jr., Eng. Carlos Guilherme Süffert, Porto Alegre (Brasilien)
und Frank Hillerns (für die Überarbeitung)

Der Artikel beschreibt die Arbeitsweise indirekter Supermarkt-Kälteanlagen, in denen Ammoniak als Kältemittel fungiert und die „Kälte“ mittels einer Kühlsole zu den Kühlstellen transportiert wird. Die Vor- und Nachteile, die solche Kälte-trägersysteme in technischer und ökonomischer Hinsicht aufweisen, werden denen konventioneller R 22-Direktverdampferanlagen gegenüber gestellt.

Die Einführung sekundärer Kälteanlagen in den Bereich der Supermarktkühlung erfolgte zunächst vorrangig in der Absicht, die Füllmengen an halogenierten Kältemitteln zu reduzieren. Bei Verwendung einer sorgfältig konzipierten Kältemaschinenraum-Entlüftung wurde dann weiterhin auch der Einsatz des natürlichen Kältemittels Ammoniak möglich, so daß ein solches System eine technisch und ökonomisch gleichermaßen sinnvolle Lösung im Sinne der Substitution halogenierter Kältemittel darstellt.

Basierend auf den Erfahrungen, die in diversen brasilianischen Supermärkten mit indirekten Kälteanlagen gesammelt wurden, zeigt der Artikel die Weiterentwicklung dieses Konzeptes auf. Als Folge der Systemoptimierung konnte für den Bereich der Normalkühlung auf die Abtauung verzichtet werden, was sich u. a. im Hinblick auf die Temperaturstabilität der Kühlung – und damit auf die Produktqualität – vorteilhaft auswirkt. Zielsetzung hinsichtlich des Tiefkühl-Kreislaufs war weiterhin, die Leistungsdaten eines vergleichbaren DX-Systems zu erreichen.

zu den Autoren

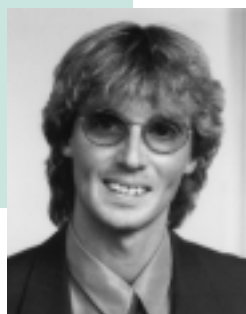
Eng. Alexandre Presotto Jr.,
SPM Engenharia S/C Ltda,
Porto Alegre/
Brasilien



Eng. Carlos Guilherme Süffert,
SPM Engenharia S/C Ltda,
Porto Alegre/
Brasilien



Dr. Frank Hillerns, Leiter
Forschung und
Entwicklung
Tyforop Chemie
GmbH,
Hamburg



Ende der siebziger Jahre wiesen Naturwissenschaftler vermehrt auf die schädlichen Auswirkungen von Halogenen bzw. halogenierten Gasen auf die Ozonschicht der Erdatmosphäre hin. In dem im Zusammenhang mit diesem Phänomen 1987 von 31 Nationen in Kanada unterzeichneten „Montreal-Protokoll“ wurde ein Fristenplan für den stufenweisen Ausstieg aus der FCKW-Technologie festgelegt, dessen Ablauf ursprünglich um das Jahr 2000 herum terminiert war. Der seither beständig gewachsene gesellschaftliche Druck zur Verringerung der solchermaßen „geächteten“ Gase beschleunigte in der Folgezeit den Ausstiegsprozeß erheblich und zwang gleichzeitig den Markt, sich den neuen Erfordernissen in technischer Hinsicht anzupassen. Vor diesem Hintergrund befaßte sich unser Unternehmen während der vergangenen zehn Jahre verstärkt mit der Entwicklung von Kälte-trägersystemen (nachfolgend abgekürzt mit KT) für den Bereich der Supermarktkühlung in Brasilien. Im Vordergrund stand dabei zunächst die Verringerung der Menge an Kältemittel durch dessen Beschränkung auf den Primärkreis der Anlage, während die Kühlsole den Transport der „Kälte“ zu den in den Verkaufsräumen befindlichen Kühlmöbeln bzw. zu den Kühllagern übernimmt. In einem weiteren Schritt war es dann möglich, FCKW durch Ammoniak vollständig zu ersetzen.

Beschreibung der Anlage

Der Aufbau der Kälteanlage ist in Abbildung 1 dargestellt. Das System besteht aus einem Flüssigkeitskühlsatz, der eine Wasser/Gefrierschutzmittel-Mischung abkühlt (Anmerkungen des Übersetzers: Die Konzentration der gefrierpunktniedrigsten Komponente (z. B. Glykol, anorganisches oder organisches Salz) hängt dabei von der jeweiligen Arbeitstemperatur der Kühlsole ab). Der Kälte-träger wird

* Dieser Aufsatz wurde unter dem Titel „Refrigeration Systems in Supermarkets with Utilization of Ammonia“ im Rahmen der 2001 IAR – Ammonia Refrigeration Conference and Exhibition in Long Beach/USA, 18.–21. März 2001, präsentiert. Im Original erfolgte die Angabe sämtlicher Daten und Meßwerte sowohl in SI-Einheiten als auch in den Einheiten des britischen Maßsystems. Letztere Daten wurde bei der Überarbeitung aus Platzgründen weggelassen. Inhaltliche Ergänzungen sind als solche gekennzeichnet.

mit Hilfe einer im Kältemaschinenraum befindliche Solepumpe über ein Rohrnetz zu den Kühlmöbeln und Kühlräumen gepumpt. Die jeweils produktspezifisch erforderliche Kühltemperatur wird durch einen sorgfältigen Abgleich der Temperaturniveaus des Kälträgers bzw. der Übertragungsflächen der Wärmeaustauscher garantiert. Als Folge einer derart vereinfachten Kälteverteilung – anstelle eines Gases zirkuliert eine wasserbasierte Sole im System – können sämtliche Meß- und Regelsysteme zur Überwachung von Parametern wie Anlagenleistung, Überhitzung, Kältemittel-Leckagerate usw. auf den Primärkreis der Anlage beschränkt werden.

Bei herkömmlichen Kälträgersystemen beträgt die Arbeitstemperatur der Kühlsole üblicherweise $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Folglich könnte die Auslegung der Wärmeübertragungsflächen der bei DX-Systemen verwendeten Lamellenblöcke auch für die Kälträger(KT)-Anlage beibehalten werden. Nach wie vor besteht für die Kühlstellen jedoch die Anforderung der Temperaturüberwachung/-steuerung bzw. Abtaugung. Ohne weitere Modifikation der anlagentechnischen Konzeption wäre eine signifikante Verschlechterung der Leistungszahl unausweichlich.

Die von uns entwickelte Lösung basiert auf dem Ansatz, die Arbeitstemperatur des Kälträgers auf ca. $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$

anzuheben, um so die Temperaturdifferenz zwischen Kälträger und Kühlgut deutlich zu verringern. Eine sorgfältige Abstimmung von Soledurchsatz und Wärmeübertragungsflächen der Kühlstellen ermöglicht dabei, die zur Einhaltung der Produktqualität erforderliche Kühltemperatur zu garantieren. Als Konsequenz kann auf die Temperaturregelung sowie auf die Abtaugung von Kühlmöbeln und Kühlräumen verzichtet werden, wodurch sich die Leistungszahl des gesamten Systems verbessert.

Ergebnisse

Die Messungen wurden während des normalen Supermarktbetriebs (mit entsprechender Einstellung der Kühlmöbel-Belüftung) durchgeführt. Hinsichtlich der Produkthaltbarkeit wurden mit den indirekten Systemen über den Untersuchungszeitraum die gleichen Ergebnisse wie bei den konventionellen R 22-Direktverdampferanlagen erzielt. Bedingt durch den Wegfall der Abtaugung bleibt die Temperatur in den Kühltheken und -vitrinen über den gesamten Tag hinweg konstant, wodurch auch langfristig eine perfekte Kühlung der Produkte entsprechend den geltenden Qualitätsstandards gewährleistet ist, wie Abbildung 2 belegt.

Leistungszahlen

Die durch Anhebung der Verdampfungstemperatur bewirkte Erhöhung der Leistungszahl kompensiert den für die

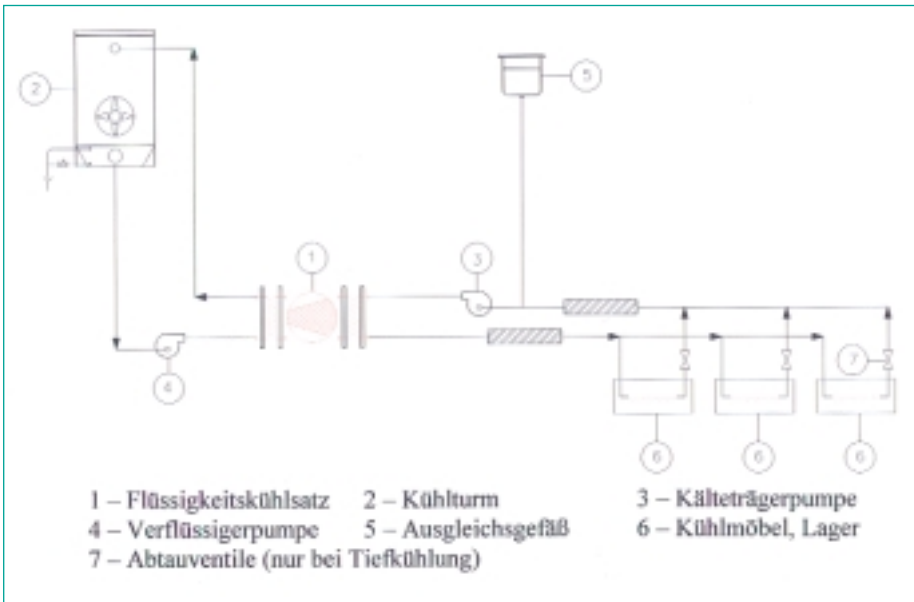


Bild 1
Schema des Kälträgersystems

Die Normalkühlung

Für den Bereich der Supermarkt-Normalkühlung werden im allgemeinen DX-Systeme (Kältemittel: R 22) verwendet, die mit Verdampfungstemperaturen von etwa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ arbeiten. Entsprechend sind die Übertragungsflächen der Wärmeaustauscher und alle weiteren Komponenten der Anlage auf diese Betriebsbedingungen hin ausgelegt. Aufgrund der großen Differenz zwischen Verdampfungs- und Produkttemperatur sind meß- und regeltechnische Einrichtungen zur Abtaugung der Kühlstellen bzw. zur Überwachung und Konstanthaltung der Kühltemperaturen bei wechselnden Kühllasten unverzichtbar.

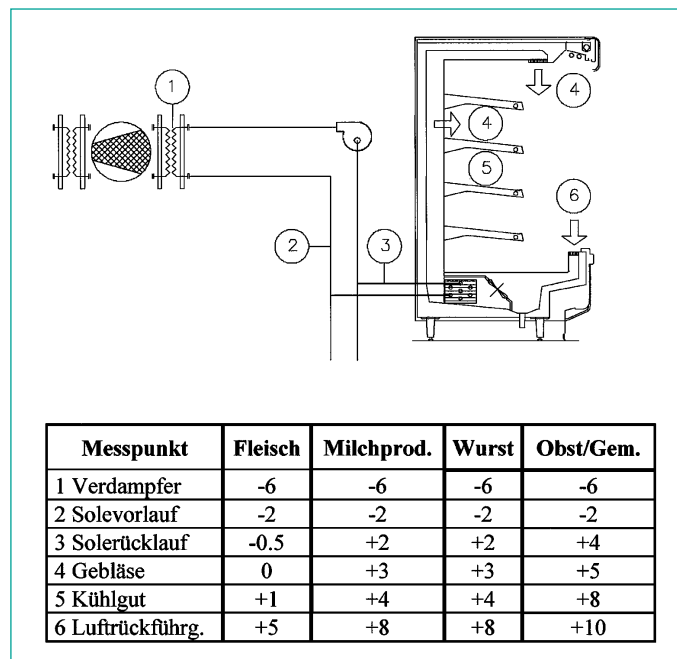


Bild 2 Normalkühl-Kreislauf gemessene Temperaturen in $^{\circ}\text{C}$

Kälte­träger­pumpen der indirekten Systeme zusätzlich erforderlichen Energieaufwand, wie ein Vergleich mit den COP-Werten direktverdampfender Anlagen unterstreicht (Tabelle 1).

Anlage	Kälte­mittel	Verflüs­sigertyp	T _{Verd} /T _{Verf} [°C]	COP VerdichtL.	COP Verd.+Pumpe
DX	R22	Luft	-10/+45	2.99	-
DX	R22	Wasser	-10/+40	3.36	-
DX	R22	Wasser	-10/+37.5	3.57	-
KT	R22	Luft	-6/+45	3.41	2.91
KT	R22	Wasser	-6/+37.5	4.11	3.61
KT	R717	Wasser	-6/+37.5	4.08	3.58

Tabelle 1
Normalkühlung – COPs von DX- und KT-Systemen

Bei Betrachtung der COP-Werte unter Teillastbedingungen – zugrunde gelegt werden hier die Ortstemperaturen für São Paulo im Jahresmittel (Trockenkugelt­emperatur 21 °C, Feuchtkugelt­emperatur 17,5 °C), nicht der Sommerdurchschnitt – ergibt sich für die Kälte­träger­systeme im Verhältnis zu den Direktverdampferanlagen ein stärkerer Anstieg. Dieses ist auf den Umstand zurückzuführen, daß, bedingt durch die thermostatischen Expansionsventile der DX-Anlagen, eine bestimmte Druckdifferenz erforderlich ist, um die jeweils geforderte Kälteleistung erbringen zu können. Bei indirekten Systemen ist die Aufrechterhaltung dieser

lich schlechter als diejenigen reinen Wassers (bei +5 °C) sind, wurden keine weiteren Untersuchungen zur Findung eines eventuell besser geeigneten Mediums durchgeführt. Zum Vergleich: Spezi-

fische Wärmeleitfähigkeit λ: PG 20 %: 0,462 W/mK, Wasser: 0,564 W/mK. Spezifische Wärmekapazität Cp: PG 20 %: 3,93 J/gK, Wasser: 4,20 J/gK. Kinematische Viskosität ν: PG 20 %: 4,26 mm²/s, Wasser: 1,55 mm²/s.

Propylenglykol/Wassergemische weisen gegenüber Kupfer bzw. Messing extrem niedrige Korrosionsraten auf. Bei Einsatz inhibierten, d. h. zusätzlich mit Schutzstoffen additvierten PGs ist auch die Korrosivität gegenüber Stahl gering. (Anm. des Übersetzers: Grundsätzlich sollten ausschließlich inhibierte Produkte verwendet werden. Zwar ist bei Arbeitstemperaturen unter 0 °C die Korrosivität

gegenüber den o. g. Werkstoffen nur gering. Gleichwohl unterliegt PG in wäßriger Lösung auch dann Abbaureaktionen, in deren Verlauf vorrangig Carbonsäuren entstehen. Hierdurch wird der pH-Wert der Lösung schnell in den korrosionstechnisch kritischen Bereich < 7 verschoben. Zur Neutralisation der Säuren enthalten handelsübliche Kälte­träger zusätzlich zu den materialspezifisch wirksamen Inhibitoren immer auch Pufferstoffe, die die sogenannte Reservealkalität bilden). In Tabelle 3 sind die gemäß ASTM D 1384 ermittelten Korrosionsraten einiger Werkstoffe in reinem Wasser, PG/Wasser bzw. inhibiertem PG/Wasser einander gegenübergestellt.

Material	H ₂ O	PG/H ₂ O 30%	PG Inh/ H ₂ O 30%
Kupfer	2	4	3
Messing	5	5	4
Stahl	212	214	1

Tabelle 3 Korrosionsraten in g/m²

Inhibierte PG/Wassergemische sind mit fast allen der üblicherweise im Kälteanlagenbau eingesetzten Metallwerkstoffe und Dichtungsmaterialien kompatibel. Lediglich der Kontakt mit Zink bzw. verzinktem Stahl ist zu vermeiden. Weiterhin darf das Mischwasser keine hohen Chlorid- bzw. Sulfationen-Gehalte aufweisen.

Anlage	Kälte­mittel	Verflüs­sigertyp	T _{Verd} /T _{Verf} [°C]	COP VerdichtL.	COP Verd.+Pumpe
KT	R22	Wasser	-6/+30	5.01	4.51
KT	R717	Wasser	-6/+30	5.01	4.51

Tabelle 2
Normalkühlung COPs von KT-Systemen/-Teillastbetrieb

Druckdifferenz wegen der Verwendung von Kältsätzen bzw. elektronischen Expansionsventilen nicht notwendig. Aus diesem Grund können wir zusätzlich zur Erhöhung der Verdampfungstemperatur auch die Verflüssigungstemperatur absenken und erreichen so eine insgesamt höhere Leistungszahl, wie exemplarisch anhand der beiden letztgenannten Anlagen der Tabelle 1 gezeigt wird.

Der Kälte­träger

Als Kälte­träger für die Normalkühlung finden in den meisten der bereits vorhandenen Supermärkte Propylenglykol (PG)/Wassergemische in etwa 20 vol-%iger Konzentration Verwendung. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die thermophysikalischen Eigenschaften einer solchen Mischung bei einer Arbeitstemperatur von –2 °C nicht wesent-



Bild 3 Zentrale Kälteanlage für Supermärkte bis 10 000 m² Verkaufsfläche. NH₃-Flüssigkeitskältsätze mit Schraubenverdichtern für Kühlwasser/Klimaanlage, TYFOXIT® 1.20 und PG/Wasser (von links nach rechts)

Propylenglykol in USP-Qualität (entsprechend den amerikanischen bzw. brasilianischen Arzneibüchern) findet als Grundstoff in der Lebensmittel-, kosmetischen und pharmazeutischen Industrie weitreichende Anwendung und ist als Lebensmittel- und Futtermittelzusatzstoff zugelassen. Der Flammpunkt von PG/Wassermischungen in Konzentrationen oberhalb 80 % liegt bei ca. 102 °C, wäßrige Lösungen mit geringerem PG-Anteil sind nicht entzündlich.

Die Tiefkühlung

Konventionelle DX-Systeme mit R 22 als Kältemittel arbeiten für den Bereich der Tiefkühlung normalerweise mit Verdampfungstemperaturen von -30 °C und darunter. Das Anlagenkonzept des Kälte-trägersystems sah darum für den Flüssigkeitskühlsatz eine Verdampfungstemperatur von ebenfalls -30 °C und für den Kälte-träger eine Arbeitstemperatur von -27 °C vor. Bei Verwendung der gleichen Wärmeübertragerblöcke wie in den konventionellen DX-Anlagen konnten die für die Tiefkühlräume und -möbel geforderten -20 °C garantiert werden. Als wichtige Faktoren auf dem Wege zur Verringerung der Temperaturdifferenzen seien u. a. der Einsatz von Gegenstrom-Wärmeüber-tragern, eine vergleichmäßigte Wärmeübertragung über den gesamten Bereich der Lamellenblöcke sowie minimierte Überhitzung genannt. Hinsichtlich des Ab-tauprozesses ist hervorzuheben, daß die elektrische Abtauung der Kühlstellen mit Sole im Vergleich zur Trockenexpansion durch effektivere Verteilung der Wärme zu kürzeren Abtauzeiten führt. Die deutlich schnellere Wiedereinstellung der Kühl-temperatur nach beendeter Abtauung schlägt ebenfalls positiv zu Buche.

Ergebnisse

Die Messungen wurden wiederum während des normalen Supermarkt-betriebs (mit entsprechender Einstellung der Kühlmöbel-Belüftung) durchgeführt. Die nach dem oben beschriebenen Prinzip operierenden Tiefkühl-Systeme erfüllten sämtlich die für die Lagerung und Auslage von Tiefkühlprodukten bestehenden Qualitätsanforderungen. Zwar konnte nicht auf die Abtauung verzichtet werden. Es wurde jedoch registriert, daß, verglichen mit den

Schwankungen der Verdampfungstemperatur, die während der Abtauung bei DX-Systemen auftreten, die im Kälte-träger nach dem Abtau-prozeß festgestellten Temperaturdifferenzen deutlich geringer ausfielen.

Leistungszahlen

Wie schon bei den Normalkühl-Systemen ist bei Vollastbetrieb ein geringfügiges Absinken der Leistungszahl zu konstatieren, was auf die zusätzlich be-

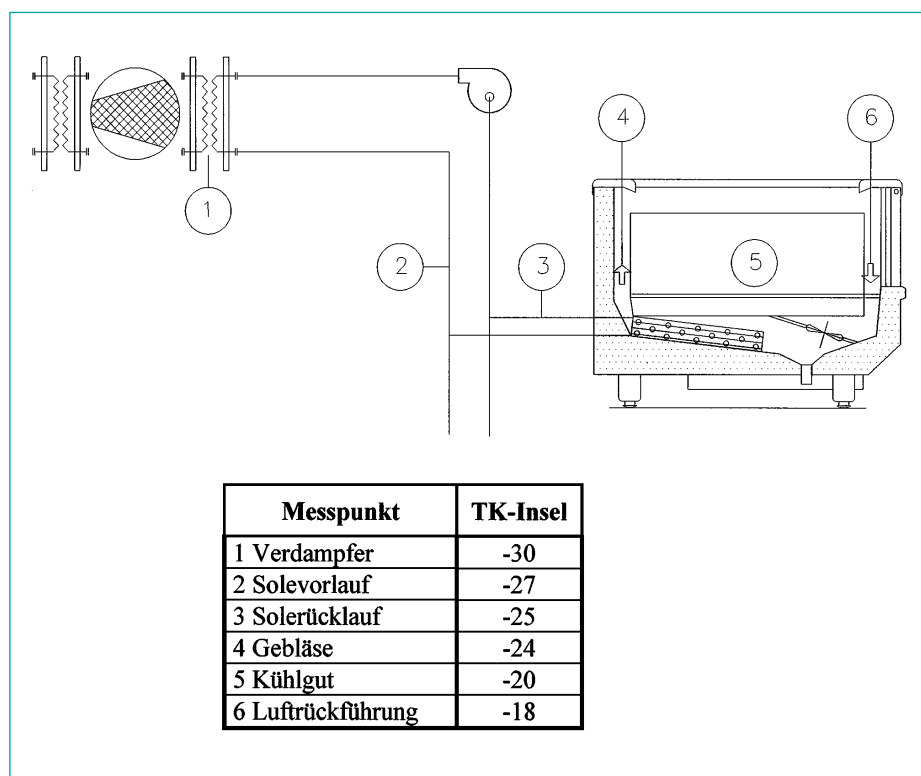


Bild 5 Tiefkühl-Kreislauf – gemessene Temperaturen in °C



Bild 4 Pumpenanlage für TYFOXIT® 1.20, PG/Wasser, Kühlwasser/ Klimaanlage und Kühltürme (von links nach rechts)

nötigte Energie zum Umpumpen des Kälte-trägers zurückzuführen ist. Wird jedoch Ammoniak als Kältemittel verwendet, so ergeben sich im Vergleich zu den in bestehenden Supermärkten zumeist verwendeten DX-Anlagen mit luftgekühltem Verflüssiger bessere Leistungszahlen:

Auch für die indirekten Tiefkühl-anlagen ergeben sich unter Teillastbedin-gungen höhere COP-Werte, wie wiederum durch die Ergebnisse für die in Tabelle 4 zuunterst aufgeführten Systeme belegt wird:

Anlage	Kältemittel	Verflüssigertyp	T _{Verd./T_{Verd.}} [°C]	COP Verdicht.	COP Verd.+Pumpe
DX	R22	Luft	-30/+45	1.71	-
DX	R22	Wasser	-30/+40	1.82	-
DX	R22	Wasser	-30/+35	1.98	-
KT	R22	Luft	-30/+45	1.82	1.52
KT	R22	Wasser	-30/+40	1.93	1.63
KT	R22	Wasser	-30/+35	2.11	1.81
KT	R717	Wasser	-30/+35	2.15	1.85

Tabelle 4
Tiefkühlung – COPs von DX- und KT-Systemen

Anlage	Kältemittel	Verflüssigertyp	T _{Verd./T_{Verd.}} [°C]	COP Verdicht.	COP Verd.+Pumpe
KT	R22	Wasser	-30/+29	2.22	1.92
KT	R717	Wasser	-30/+29	2.37	2.07

Tabelle 5
Tiefkühlung – COPs von KT-Systemen, Teillastbereich

Der Kälte­träger

Anders als im Fall der Normalkühlung lagen für den Bereich der Tiefkühlung mit indirekten Systemen in Brasilien kaum Erfahrungen vor, so daß zunächst der für diesen Einsatzzweck am besten geeignete Kälte­träger ermittelt werden mußte. Aus diesem Grund haben wir die Eigenschaften einiger in Frage kommender Fluide bei einer Arbeitstemperatur von -30 °C miteinander verglichen (Anmerkungen des Übersetzers: Neben lange bekannten Medien wie Ethylen- (EG) und Propylenglykol, Calciumchlorid sowie synthetischen Wärmeträgern wurde auch ein Vertreter der zum damaligen Zeitpunkt neuartigen, in Mittel- und Nordeuropa im Zuge des FCKW-Ausstiegs entwickelten Kälte­träger auf Basis organischer Salze mit einbezogen). An einen leistungsfähigen Kälte­träger sind folgende Anforderungen zu stellen:

- Hohe spezifische Wärmeleitfähigkeit λ
- Hohe Dichte ρ
- Hohe spezifische Wärmekapazität Cp
- Niedrige kinematische Viskosität ν
- Geringe Toxizität
- Materialverträglichkeit
- Löslichkeit in Wasser

In Tabelle 6 sind die wichtigsten Stoffwerte einiger in Frage kommender Medien aufgeführt.

Medium	ρ kg/m ³	Cp J/gK	λ W/mK	ν mm ² /s
Tyfoxit 1.20	1.220	2.97	0.435	23.9
PG 60% v/v	1.073	3.12	0.300	280
EG 60 % v/v	1.105	2.87	0.312	59
Siliconöl	0.908	1.67	0.121	4.38
Dowtherm J	0.900	1.69	0.40	2.50
Dowtherm Q	1.010	1.49	0.128	34.9
CaCl ₂ 30%	1.280	2.81	0.490	20.9

Tabelle 6
Stoffdaten von Kälte­trägern bei -30 °C

Der Vergleich der thermophysikalischen Daten führte uns zu dem Schluß, daß TYFOXIT[®], eine inhibierte wäßrige Lösung des Lebensmittelzusatzstoffes Kaliumacetat (Hersteller: TYFOROP GmbH, Deutschland) für den Einsatz als Tieftemperatur-Kälte­träger am besten geeignet ist. Verwendet wurde eine Mischung von 80 Vol.-% TYFOXIT[®]-Konzentrat mit 20 Vol.-% Wasser (Abkühlungsgrenze -40 °C, TYFOXIT[®] 1.20).

TYFOXIT[®]-Wassermischungen sind mit den meisten der im Kälteanlagenbau verwendeten Werkstoffe und Dichtungsmaterialien verträglich, ausgenommen auch hier verzinkter Stahl und Weichlot. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die gemäß ASTM D 1384 für einige Kälte­träger ermittelten Materialabträge:

Material	H ₂ O	CaCl ₂ 30%	Tyfoxit 1.20	EG/H ₂ O 60%
Kupfer	2	30	2	3
Messing	5	93	1	3
Stahl	212	245	2	1

Tabelle 7 Korrosionsraten in g/m²

Wie schon weiter zuvor für Propylenglykol erwähnt, sollte die Cl-Konzentration in Mischwasser so gering wie möglich sein. Vermischungen mit anderen Kälte­trägern sind grundsätzlich zu vermeiden.

Dichtungsmassen auf Silikonbasis sind nur bedingt beständig. Bei PTFE-Dichtungsband ist dessen problematisches Ausdehnungsverhalten bei hohen Temperaturunterschieden zu beachten. TYFOXIT[®] ist nicht brennbar und nicht gesundheitsschädlich. Aufgrund des leicht alkalischen pH-Werts (ca. 10) wird beim Umgang mit dem Produkt das Tragen von Schutzhandschuhen empfohlen.

Regelung und Überwachung

Verglichen mit Direktverdampferanlagen ist der meß- und regeltechnische Aufwand für Kälte­trägersysteme relativ gering. Es sind lediglich zwei auf den Flüssigkeitskühlsatz beschränkte Regelkreise zur Steuerung von Kälte­trägere­temperatur bzw. Expansionsventil vorzusehen, deren Überwachung durch den Mikroprozessor des Chillers erfolgt. Auf diese Weise kann die Arbeitstemperatur des Kälte­trägers bis auf +/- 1 °C konstant gehalten werden. Die Überwachung und Steuerung der automatisch erfolgenden Abtauroutinen von Tiefkühlmöbeln und Tiefkühlräumen erfolgt unabhängig voneinander durch hierfür vorgesehene, synchron arbeitende Regler, um ein gleichzeitiges Anlaufen der Abtauzyklen zu vermeiden. Temperaturmeßfühler registrieren den Zeitpunkt, an dem die Wärmeübertragerblöcke wieder frei sind, und beenden den Abtauzyklus gegebenenfalls vor Ablauf der ursprünglich veranschlagten Zeit. Hierdurch wird eine Überhitzung der Komponenten des Kühlkreises vermieden und die Wiederherstellung der normalen Betriebsbedingungen nach beendeter Abtauerung erleichtert. Sämtliche gesammelten Daten werden über ein Netzwerk zu einem Zentralcomputer transferiert. Das dort implementierte Programm zur Überwachung aller anlagenrelevanter Vorgänge hat nicht die Aufgabe, selbsttätig in die Systemsteuerung einzugreifen. Vielmehr setzt es die Daten in für den Operator möglichst leicht verständliche Diagramme und Meldungen um bzw. ermöglicht durch Datenfernübertragung eine externe Überwachung.

Kosten

In den beiden Tabellen 8 und 9 sind die Implementierungs- und Betriebskosten einer indirekten Kälteanlage denen eines DX-Systems für einen Supermarkt mit ca. 5000 m² Verkaufsfläche (Standort: Porto Alegre) gegenübergestellt. Die in Tabelle 8 aufgeführten Zahlen basieren auf Herstellerangaben aus dem Juli 1998. Overhead- und Transportkosten sind nicht enthalten.

Posten	KT-System (R717)	DX-System (R22)
Zentr. K-Anl.	130000	90000
Verflüssiger	22000	22000
Kältemittel	450	4000
Kälteträger	10000	0
Regelung	13000	35000
Kühlräume/ Ventilatoren	185000	175000
Kühltheken	370000	355000
Material	90000	105000
Arbeit	70000	90000
Summe	890450	876000

Tabelle 8 Anlagenkosten in US-\$

Betriebskosten

Der Vergleich der Betriebskosten basiert auf folgenden Rahmenbedingungen:

- Wärmelast der gekühlten Produkte: 291 kW
- Wärmelast der Tiefkühlprodukte: 70 kW
- Beide Anlagen arbeiten mit Ø 70 % Leistung
- Durchschnittliche Energiekosten 0.10 US-\$/kWh
- Die verwendeten Leistungszahlen stammen von Anlagen mit wassergekühlten Verflüssigern.
- Die für den Kältemittlersatz veranschlagten Kosten entsprechen den ASHRAE-Vorgaben. Demnach ist für Trockenexpansionsanlagen eine jährliche Leckage von 25 % der Gesamtfüllmenge (800 kg) anzusetzen.
- Die verringerte Wärmelast in den Produktkühlanlagen wird nicht berücksichtigt.

Posten	KT-System (R717)	DX-System (R22)
Stromkosten	67000	76000
Kältemittel	650	5200
Kälteträger	0	0
Summe	67650	81200

Tabelle 9 Jährliche Betriebskosten US-\$

Vor- und Nachteile

Abschließend seien die Vor- und Nachteile indirekter Systeme gegenüber R 22-Direktverdampferanlagen aufgeführt:

Die Vorteile

- Äquivalente Baukosten.
- Verringerter Energieverbrauch.
- Geringere Kühllast für den Normalkühl-Kreislauf.
- Abtauung für den Normalkühl-Kreislauf nicht erforderlich.
- Kühlstellen-Temperaturregelung nicht erforderlich.

- Effizientere Wärmeübertrager.
- Geringere Kältemittel-Füllmenge = geringere Leckagerate.
- Vereinfachte Installation = weniger Aufwand für Instandhaltung/Wartung.
- Höhere Betriebssicherheit = weniger Aufwand für Instandhaltung.
- Vereinfachtes Meß- und Regelsystem.
- Verwendung natürlicher Kältemittel möglich.

Die Nachteile

- Zusätzlicher Platzbedarf im Kältemaschinenraum.
- Größere Wärmeübertragungsflächen für die Kühlräume und Kühlmöbel im Falle des NK-Kreises notwendig.

Tab. 10) belegen, daß sekundäre Kälteanlagen gegenüber DX-Systemen wesentliche Vorteile besitzen. So eröffnen sie einerseits die Möglichkeit, anstelle der ozoanabbauenden FCKW das natürliche Kältemittel Ammoniak einzusetzen, und zeichnen sich andererseits durch einfachere Fahrweise, verringerten regel- und überwachungstechnischen Aufwand, niedrigeren Energieverbrauch sowie erhöhte Betriebssicherheit bzw. Temperaturkonstanz aus. Letzteres gilt besonders für die Normalkühl-Kreisläufe, bei denen nach erfolgter Optimierung keine Abtauung mehr notwendig ist und die Arbeitsbedingungen nur noch in Abhängigkeit von der jeweiligen Kühllast des Supermarktes variieren. Für den Bereich der Tiefkühl-Systeme gelang

Supermarkt	Stadt	Baujahr	Fläche [m ²]	Kältem.	NK	TK
Bourbon Assis Brasil	Porto Alegre	1990	11000	R22	PG	Tyfoxit
Master Sonda Erechim	Erechim	1993	4500	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Anita Garibaldi	Porto Alegre	1993	1500	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Marechal Floriano	Porto Alegre	1994	2500	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Fernandes Vieira	Porto Alegre	1995	1000	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Fernando Machado	Porto Alegre	1996	2000	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Higienópolis	Porto Alegre	1996	7000	R717	PG	Tyfoxit
Real Menino Deus	Porto Alegre	1996	4000	R22	PG	Tyfoxit
Real Rio Grande	Rio Grande	1996	4000	R22	PG	Tyfoxit
Real Novo Hamburgo	Novo Hamburgo	1996	3000	R22	PG	Tyfoxit
Big Criciúma	Criciúma	1996	5000	R22	PG	Tyfoxit
Big Porto Alegre	Porto Alegre	1996	16000	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Ipiranga	Porto Alegre	1997	7000	R22	PG	Tyfoxit
Bourbon Canoas	Canoas	1997	10000	R717	PG	Tyfoxit
Zaffari Lima e Silva	Porto Alegre	1997	3500	R22	PG	Tyfoxit
Master Sonda Centro	Erechim	1997	2000	R22	PG	Tyfoxit
Big Florianópolis	Florianópolis	1997	10000	R22	PG	Tyfoxit
Big Joinville	Joinville	1997	10000	R22	PG	Tyfoxit
Real Iguatemi	Porto Alegre	1997	4500	R22	PG	Tyfoxit
Real São Leopoldo	São Leopoldo	1997	3000	R22	PG	Tyfoxit
Real Curitiba	Curitiba	1997	1500	R22	PG	Tyfoxit
Real Pelotas	Pelotas	1997	1500	R22	PG	Tyfoxit
Sonda Jacaraá	São Paulo	1997	3000	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Carazinho	Porto Alegre	1998	1200	R22	PG	Tyfoxit
Sonda Cidade Dutra	São Paulo	1998	4000	R22	PG	Tyfoxit
Sonda Maria Amália	São Paulo	1998	2500	R22	PG	Tyfoxit
Bourbon Ipiranga	Porto Alegre	1998	10000	R717	PG	Tyfoxit
Carrefour Pres., Prudente	Pres., Prudente	1998	6000	R22	PG	Tyfoxit
Carrefour Campo Grande	Campo Grande	1998	8000	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Cavahada	Porto Alegre	1999	5500	R22	PG	Tyfoxit
Bourbon Passo Fundo	Passo Fundo	1999	9500	R717	PG	Tyfoxit
Zaffari Cristóvão Colombo	Porto Alegre	1999	3500	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Bordini	Porto Alegre	2000	1600	R22	PG	Tyfoxit
Zaffari Menino Deus	Porto Alegre	2000	1900	R22	PG	Tyfoxit
Carrefour Diadema	São Paulo	2000	7600	R22	PG	Tyfoxit
Sonda Mooca*	São Paulo	2001	6000	R22	PG	Tyfoxit
Bourbon João Wallig*	Porto Alegre	2001	10000	R717	PG	Tyfoxit
Master Sonda F. Caneca*	São Paulo	2001	2000	R22	PG	Tyfoxit

Tabelle 10 Indirekte Supermarktkälteanlagen in Brasilien (* im Bau)

Resümee

Die im Verlaufe von mehr als zehn Jahren in Brasilien gesammelten Erfahrungen mit Supermarkt-Kälteanlagen-Systemen (s.

der Nachweis, daß durch Verwendung von Kälteanlagen die Wärmetransportleistung in den Kühlstellen verbessert werden kann, was sich hinsichtlich der Temperaturkonstanz vorteilhaft auswirkt. □