

Ammoniak ist ein hervorragendes Kältemittel

Energieverbrauch bei direkter und indirekter Kühlung mit Ammoniak

Anders Lindborg, Viken, Schweden*

Immer wieder wird diskutiert, ob ein direkthühendes oder ein indirektes Kältesystem effektiver zu betreiben ist. Für die endgültige Beurteilung sind eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen. In der Praxis gibt es Beispiele für gute Lösungen mit beiden Möglichkeiten, aber ebenso Belege für gegenteilige Ergebnisse. Unser Autor gibt im folgenden Aufsatz seiner Überzeugung Ausdruck, daß man mit dem Kältemittel Ammoniak indirekte Systeme mit besserer Effektivität als direkte Systeme ausführen kann.

Indirekte Kältesysteme für den Supermarktbereich können für den Normalkühlbereich mit höherer Energieeffektivität ausgeführt werden als direkte. Es gibt schon seit ca. 30 Jahren immer wieder Installationsbeispiele, bei denen Energievergleiche für ein indirektes und ein direktes Kältesystem unter gleichen Bedingungen durchgeführt wurden. Für praktische Kälteanwendungen im Tiefkühlbereich mit Lagertemperaturen unter -18°C ist es dagegen schwer, indirekte Systeme energiesparender zu machen als direkte, ohne im Sekundärkreis die Phasenumwandlung auszunutzen. Diese Systeme bieten andere Vorteile und führen oft gemeinsam mit der Normalkühlung zu einer guten Rentabilität. Zur günstigen energetischen Situation kommen die Vorteile bei Betrieb und Wartung indirekter Ammoniakanlagen.

Beim Vergleich der Systeme muß man Anlagen mit jeweils gutem Niveau betrachten. Schlecht oder gar falsch ausgeführte Systeme sind fast immer schlechter, ohne Rücksicht darauf, ob es sich um direkte oder indirekte Kühlung handelt.

Systemprinzip

Bei direkten Kühlsystemen verdampft das Kältemittel im Verdampfer direkt an der Kühlstelle, während bei einem indirekten System das verdampfende Kältemittel zuerst einen Kälteüberträger abkühlt, der dann in einem Sekundärwärmeübertrager die Wärmelast der Kühlstelle abführt. Das bedeutet, daß für dieselbe Lufttemperatur ein System mit indirekter Kühlung wegen der zusätzlichen Temperaturdifferenz theoretisch mit niedrigerer Verdampfungstemperatur arbeiten muß als bei direkter Kühlung. Das ist allgemein bekannt und daraus leitet sich die Auffassung ab, daß Systeme mit direkter Kühlung einen geringeren Energieverbrauch haben als indirekte. Die Verflüssigung soll weiterhin direkt erfolgen.

Hintergrund

Die veränderte Kältemittelsituation bedeutet, daß wir neue synthetische FKW-Kältemittel, wohlbekannt natürliche Kältemittel und auch indirekte Kältesysteme verwenden müssen. In der Kältebranche war man dabei schon immer der Auffassung, daß indirekte Systeme im Vergleich zu direkten einen höheren Energieverbrauch bedeuten. Die Ursache für dieses Vorurteil ist einerseits objektiv in der o. g. Bedingung der größeren Temperaturdifferenz auf der Verdampfer- und Verflüssigerseite zu suchen, aber andererseits wahrschein-

zum Autor

Anders Lindborg,
M. Sc. Mech.
Eng. Ammonia
Partnership AB,
Viken,
Schweden



lich auch darin, daß viele Kälteunternehmer direkte Systeme verteidigen, weil man diese beherrscht und sein Brot damit verdient.

Trotzdem gibt es indirekte Anlagen, bei denen erfreut oder verwundert festgestellt werden kann, daß der Energieverbrauch pro m^3 Lagerraum oder pro laufendem Meter Kühltheke im Geschäft über das Jahr betrachtet geringer als bei direkten ist. Damit erweisen sich diese Anlagen als eine echte Alternative, vor allem unter dem zusätzlichen Gesichtspunkt der Reduzierung der Kältemittelfüllung und der Anlagensicherheit. Wie kommt dieses energetische Ergebnis zustande?

Praktische Erfahrung

Meine eigene Erfahrung lehrt, daß viele indirekte Kältesysteme beim Vergleich mit direkten deutlich niedriger liegen, bezogen auf vergleichbare Kühlleistungen, je laufendem Meter Tiefkühlgondel, je Kubikmeter Lager- oder Handhabungsraum, je zu klimatisierendem Bus und dgl.

Beim Vergleich muß man unterscheiden, ob man den Leistungsbedarf für den maximalen Lastpunkt durchführt, der nur kurze Zeit im Jahr anliegt, oder ob man den gesamten Jahresenergiebedarf betrachtet. Während beim ersten Fall das direkte System wegen der zusätzlichen Temperaturdifferenz tatsächlich besser ab-

* Redaktionell bearbeitet von Dr.-Ing. Ulrich Adolph

schneiden kann, s. Bild 1, kommen die Vorteile des indirekten Systems beim zweiten Fall wirklich zum Ausdruck. Und natürlich interessieren den Betreiber in erster Linie die jährlich zu bezahlenden Kilowattstunden am Energiezähler.

Wie kommt es zu diesem Ergebnis?

Wir verwenden selbstverständlich den wirtschaftlich lohnendsten Kälteprozeß, den Kompressionsprozeß, um schon von dieser Voraussetzung her die energetisch wirtschaftlichste Lösung zu betrachten, s. Bild 2. In der Praxis kann man den Energieverbrauch einer Anlage verhältnismäßig einfach

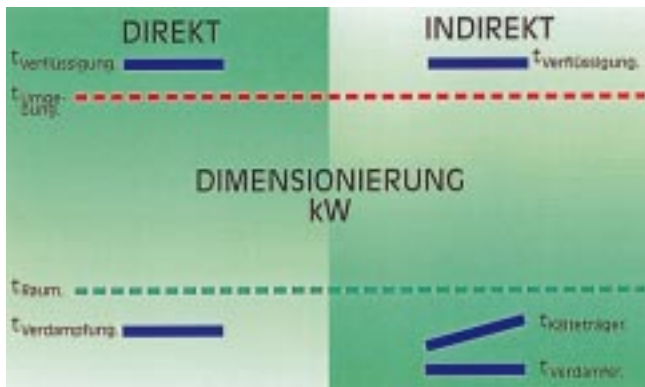


Bild 1 Temperaturverläufe bei direkter und indirekter Kühlung

messen, wenn man die Energieversorgung der Anlage entsprechend separat ausführt, während die Messung der Kälteleistung bzw. -arbeit als Verdampfungs- oder Verflüssigungsenergie außerhalb eines Labors mit ausreichender Genauigkeit schon Schwierigkeiten bereitet und deshalb meist unterbleibt.

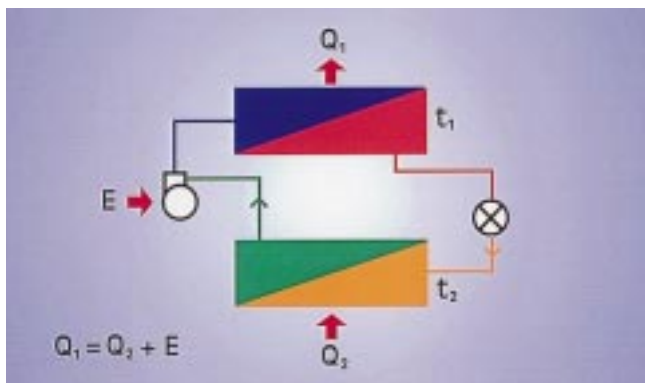
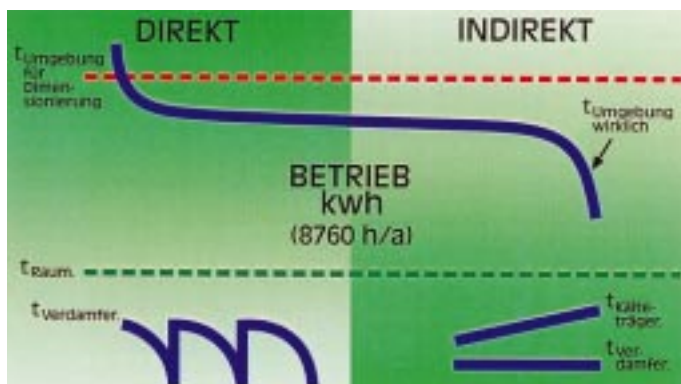


Bild 2 Energieströme am direktgekühlten Kompressionskältekreislauf

Wenn man wirklich vergleichbare Kühlaufgaben mit beiden Systemen parallel betreibt und den Jahresenergieverbrauch mißt, wird man feststellen, daß das indirekte System Energie spart. Auch wenn man ein direktes System gegen ein indirektes tauscht und den Energievergleich zwischen vorher und nachher für die gleiche Kühlaufgabe vergleicht, kann man die Verbesserung feststellen. Natürlich darf das ausgetauschte alte System noch keine derartigen Abnutzungserscheinungen aufweisen, daß es schon deshalb schlechter abschneidet.

Bild 3
Anlagenvergleich
unter Berücksichtigung
des Jahres-
energiebedarfes



Ganzjahresbetrieb

Bei der Betrachtung des Jahresbetriebsregimes gegenüber der Vollastpunkt Betrachtung kommen zwei wesentliche und für den Vergleich vorteilhafte Unterschiede zum Ausdruck:

Man kann in den Betriebsstunden mit niedrigerer Außentemperatur, als es der Maximalauslegung entspricht, mit niedrigerer Verflüssigungstemperatur und dadurch mit einer verringerten Antriebsleistung des Verdichters rechnen.

Der Vergleich wird auch bei direkten Systemen mit thermostatischem Expansionsventil durchgeführt. Dieser Vergleich sieht auf dem Papier sehr gut aus. Aber das Expansionsventil funktioniert bei Teillast nicht so wie bei Vollast, es pendelt wie in Bild 3 dargestellt. Ein System mit thermostatischem Expansionsventil führt zur Vollastverdampfungstemperatur und dem entsprechenden niedrigen Verdampfungsdruck und hält den niedrigen Verdampfungsdruck, bis der Verdichter durch die Leistungsregelung ausgeschaltet wird. Danach steigt der Saugdruck und später startet der Kompressor wieder. Der Prozeß wiederholt sich periodisch, außer bei voller Last. Und um volle Last handelt es sich nur wenige Stunden pro Jahr. Bild 3 stellt diese beiden Fakten vergleichsweise schematisch dar.

Nachteile indirekter Kälteanlagen

Die Investitionskosten werden für ein indirektes System im Vergleich mit einem direkten höher sein. Aber der erfahrene Unternehmer wird nur unwesentlich höhere Kosten gewähren können. Er kann einem potentiellen Käufer die Vorteile geringeren Energieverbrauchs nahe bringen, so daß der Käufer selbst eigene Rentabilität mit einem indirekten Kühlsystem kalkulieren kann.

Vorteile indirekter Kälteanlagen

Die Wirklichkeit zeigt uns, daß wir im Jahresverlauf unterschiedliche Umgebungs-

temperaturen und Lastzustände haben. Die Energiekosten sind im Verhältnis zum Vollastpunkt während der gesamten Betriebszeit entsprechend niedriger. Für die Projektierung ergeben sich darüber hinaus folgende Vorteile:

- Der Projektant kann Anlagenschaltung und Kältemittel frei wählen.
- Ein größeres System hat einen besseren energetischen Gütegrad als viele kleine Systeme.
- Bei indirekter Kühlung kann man bei mehreren Kühlstellen die Ungleichzeitigkeit der Einlagerungsmengen nutzen. Dadurch kann die Kälteanlage für eine geringere Maximallast ausgelegt werden als ein oder mehrere Systeme für Direktverdampfung.
- Man ist von einem thermostatischen Expansionsventil unabhängig, das unter den wechselnden Betriebsverhältnissen schwer auf eine stabile Verdampfungstemperatur einzustellen ist.
- Es wird möglich, die Wärmeübertragerflächen vollständig auszunutzen, da die sonst bei Verdampfern erforderliche Überhitzungsstrecke entfällt.
- Das Abtauen kann schonender und energieeffektiver erfolgen. Man wird die hohen lokalen Temperaturen um den Verdampfer los, die direkte Systeme mit elektrischer Abtauerung mit sich bringen. Der Abtaubedarf kann reduziert werden, weil indirekte Systeme qualitativ besseres Abtauen ermöglichen.

Für den Betreiber ergeben sich folgende Vorteile:

- Mit einem größeren System statt mehrerer kleiner Systeme bekommt der Nutzer einen niedrigeren elektrischen Anschlußwert, und damit einen niedrigeren Leistungspreis.

- Der Nutzer bekommt bessere Lagerbedingungen für empfindliche Waren im Kühlfall, weil die Temperatur konstant und die Luftfeuchtigkeit hoch gehalten werden können.
- Man bekommt erhöhte Zugänglichkeit zur „Kälte“, die man gekauft hat und größere Flexibilität bei der im Laufe der Zeit evtl notwendigen Umstellung der Kühlstellen.
- Der Nutzer hat weniger Kältemittelverluste und weniger Bedarf an Service und regelmäßiger Betriebskontrolle. Man hat eigenes befähigtes Personal nicht nötig und kann statt dessen einen günstigen Servicevertrag abschließen.
- Kältespeicherung im Kälte-träger ist für den praktischen und stabilen Betrieb des Systems ein Vorteil, die Kompressoren werden durch die geringere Schalt-häufigkeit geschont. Die Lebensdauer wird sich verlängern und die technischen Abschreibungszeiten ebenso.
- Die „Life Cycle Costs“ werden wegen des geringeren Energieverbrauches und Wartungsaufwandes niedriger.
- Es ist leicht und auch nicht kostspielig, den eigenen Betrieb zu verfolgen, so daß der Nutzer sieht, welche Maßnahmen er zu treffen hat, um immer einen rentablen und kostengünstigen Betrieb zu haben.

Umbau von direkten Systemen zu indirekten unter Beibehaltung der Wärmeübertrager

In den letzten 10 Jahren sind viele ältere direkte Systeme zu indirekten umgebaut worden. Die Verdampfer hat man prinzipiell als Lastwärmeübertrager beibehalten können, lediglich die Rohrverschaltung wurde beim Wechsel vom Kältemittel zum Kälte-träger wegen des Wegfalls der Einspritzverteilung variiert. Viele Anwender haben die Erfahrung gemacht, daß derselbe Wärmeübertrager bei indirekter Kühlung ein besseres Klima hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit ergibt. Die Erklärung hierfür ist, daß die Wärmeübertragerfläche korrekt dimensioniert war, aber die Verdampfungstemperatur bei direkter Kühlung dagegen oft zu niedrig lag. Direkte Kühlung arbeitet mit pendelndem thermostatischem Expansionsventil. Die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Verdampfer ist bei direkter Kühlung größer im Vergleich zu indirekter. Das Austrocknen der gekühlten Luft und der Produkte ist bei direkter Kühlung größer. Mit der Überhitzungszone, die ein

Verdampfer mit thermostatischem Expansionsventil benötigt, kann die Fläche des Wärmeübertragers nicht völlig für die Wärmeübertragung ausgenutzt werden. In Kühlräumen, die von direkter zu indirekter Kühlung umgebaut worden sind, hat man unverkennbare Energieersparnisse ermittelt, wenn man die Wärmeübertragerflächen beibehalten hat. Das ist ein guter Beweis dafür, daß indirekte Systeme im Vergleich mit direkten Systemen energiesparend sind.

Die zentrale Kälteerzeugung und die indirekte dezentrale Verteilung ermöglicht, daß die Kapazität der installierten Kälteanlage geringer ausgeführt werden kann, und man kann eine kleinere Kältemaschine benutzen. Auch können die Hauptsicherungen kleiner sein.

Die Zukunft der Kältetechnikbranche

Dem geschickten Unternehmer sind korrekt ausgeführte Systeme ein geschäftsmäßiger Vorteil. Das indirekte System soll mit derselben hohen Qualität ausgeführt werden wie die ursprüngliche direkte Kühlanlage. Der Unternehmer soll dabei die volle Verantwortung für Projektierung und Ausführung des Kälte-trägersystems übernehmen.

Das führt zu einem Nutzeffekt sowohl für den Betreiber der Kälteanlagen als auch für die Kältetechnikbranche insgesamt!

Anmerkungen des redaktionellen Bearbeiters zur Analyse des Autors

Dieser Artikel unseres verehrten Fachkollegen aus Schweden zeugt von seinem hohen Engagement für Ammoniak, das alle, die ihn kennen, an ihm so sehr schätzen. Er spricht ein Thema an, das seit der Suche nach Ersatzkältemitteln immer wieder Gegenstand von Erörterungen und Auseinandersetzungen war und ist. Die Fachzeitschriften und Tagungsberichte der letzten Jahre enthalten viele sachkundige Arbeiten zu dieser Problematik, auch mit Zahlenmaterial, das sowohl für als auch gegen indirekte Ammoniakkälteanlagen spricht. Für beide Richtungen gibt es eine Vielzahl von berechtigten Argumenten. Um so bedauerlicher ist es, daß sich dieser Aufsatz mit verbaler Argumentation begnügt, zumal ihm offensichtlich eine schwedische Studie zu Grunde liegt, die viel konkretes Material in seinem Sinne enthält.

Wie stellt sich die Situation aus heutiger Sicht dar?

Wahrscheinlich ist es so, daß ein wirklich stichhaltiger Vergleich von zwei Anlagen für das gleiche Betriebsregime nicht möglich ist, da sich die Vielzahl der Parameter, die man dabei berücksichtigen muß, gar nicht wirklich vergleichbar gestalten läßt. *Kruse* und *Enkemann* sowie *Paul* äußern sich diesbezüglich übereinstimmend [1]. Weiterhin muß man davon ausgehen, daß es eine direkt gekühlte Supermarktanlage mit Ammoniak nicht gibt. Also kann man einen Vergleich einer indirekten Supermarktanlage mit Ammoniak als Kältemittel nur mit einer direktgekühlten HFKW-Anlage durchführen. Dafür gibt es einige umfassende Untersuchungen. *Blindauer* und *Riesenbeck* [2] legen eine sehr gründliche Un-

tersuchung vor, die zu dem Ergebnis eines höheren Energieverbrauches der indirekten Ammoniakanlage kommt, und zwar mit einer ziemlichen statistischen Sicherheit. Am Ende relativieren die Verfasser aber selbst das Ergebnis, weil sie der Tiefkühlung und der Normalkühlung einen zu schlechten Anlagenwirkungsgrad zuschreiben müssen. Sie sehen es aber trotzdem als noch nicht endgültig entschieden bzw. als nicht unerreichbar an, daß die indirekte Anlage mit dem Energieverbrauch der direkten auskommen kann. Haaf [3] kommt in seinem Vergleich auch zu erhöhten Energiekosten des indirekten Ammoniak-Systems von ca. 15 %, sieht aber noch Verbesserungspotential für die Reduzierung bis auf nur noch 5 %. Vorher hatte schon Heggelin [4] auf Optimierungspotentiale hingewiesen und aus Projektvergleichen geschlußfolgert, daß die 4 bis 10 % höheren Investitionskosten indirekter Systeme über die Jahre bei energieoptimiertem Betrieb und auch unter Einbeziehung der von Lindborg erwähnten niedrigeren Wartungskosten nicht zu höheren Gesamtkosten führen müssen. Einen sehr gründlichen Vergleich lieferte Paul [5] schon 1997. Er bezieht zusätzlich zum Solesystem das Binäreissystem ein und kann zumindest dafür die nahezu erreichte Gleichheit des Energieverbrauches nachweisen und begründen. In gleicher Weise sind bei einem solchen Vergleich diejenigen Anlagen vorteilhaft, die in der Tiefkühlstufe einen verdampfenden Kälte-träger, z. B. CO₂, benutzen [6, 7] worauf auch Lindborg in seiner Einleitung hinweist. Auch dieser Fakt läßt sich gedanklich nachvollziehen. Mit der Einbeziehung der Kältespeicherung kann man weitere energetische Effekte erzielen. Im Bericht über die Herrmannsdorfer Landwerkstätten von Schmidt [8] heißt es zusammenfassend zum indirekten Kühlsystem mit Speicher: „Die theoretisch vergleichbaren Mehrkosten gegenüber einer direktverdampfenden Kälteanlage wurden mit etwa 15 % ermittelt. Diese können mit einer Energiekosteneinsparung innerhalb von 3 Jahren ausgeglichen werden.“ Auch wenn es sich um eine Sonderlösung mit dem Ziel optimistischer Ergebnisse handelt, darf man doch daraus die weitere Hoffnung ableiten, daß man indirekte Anlagen ohne höheren Energieverbrauch gegenüber direkten betreiben kann.

Der Umweltgesichtspunkt spricht meist für die indirekte Ammoniakanlage, wenn diese energetisch nicht so schlecht ist, daß

der CO₂-Ausstoß bei der Energieerzeugung die Werte verdirbt. Aber solche Anlagen stehen hier einerseits nicht zur Debatte, andererseits ist der Umweltgesichtspunkt kaum kostenrelevant wirksam zu machen. Das damit gezeigte Verantwortungsbewußtsein ist einerseits kaum jemand bereit zu bezahlen, andererseits ist es für zukunfts-trächtige Lösungen unerläßlich.

Ein weiteres Problem ist bei der Bewertung von Vergleichen jedoch nicht von der Hand zu weisen, nämlich der verglichene Entwicklungsstand. Die indirekten Ammoniak-Systeme sind zumeist technisch ausgefeilte Lösungen mit Vorzeigecharakter, die schon wegen des damit verbundenen Zieles so vorteilhaft ausgeführt wurden, daß sie bestehen können. Andererseits äußern verschiedene Autoren ihre Überzeugung, daß man bei entsprechendem Entwicklungsaufwand auch für die direkte Kühlung im Supermarkt ein Verbesserungspotential berücksichtigen muß. Tatsächlich ist in keinem der angezogenen Vergleiche bei der direkten Kühlung eine moderne Verbundanlage mit Frequenzumformerbetrieb und den damit verbundenen weiteren Optionen [9, 10, 11] berücksichtigt. Auch vom Discpac 2-System ist bei solchen Vergleichen bisher noch nicht die Rede gewesen. Unter Berücksichtigung der dabei möglichen Energieeinsparungen, immer als Jahresenergieverbrauch bewertet, dürfte es für die indirekte NH₃-Anlage dabei wieder schwieriger werden. Aber natürlich kann man auch diese z. B. mit der cpc- oder Discpac 2-Technik aus-rüsten. **Also, die Entwicklung ist nicht abgeschlossen und eine gute Anlage kann offensichtlich in beiden Technologien bestehen.**

Man sollte wirklich nicht so erbittert gegeneinander diskutieren, sondern nach der jeweils technisch und wirtschaftlich besten Lösung suchen. Man muß aber auch die sich anbahnende Entwicklungstendenz berücksichtigen, daß man die einzelnen Verkaufsmöbel im Supermarkt direkt mit kleinen optimal eingepaßten Kältesätzen ausstattet, um freie Standortwahl innerhalb des Supermarktes zu haben. Das ist

eine ernst zu nehmende Sache, auch wenn die Energieökonomie dabei auf der Strecke bleibt.

Schließlich läßt sich aber doch eine Tendenz im Sinne der Lindborgschen Ausführungen ableiten:

Ammoniak erweist sich als natürliches Kältemittel auch für Supermarktanlagen als günstig, wobei im Supermarkt dieses Kältemittel nur in Anlagen mit indirekter Kühlung in Betracht kommt.

Supermarktanlagen mit direkter Kühlung sind in ihrer Energieeffektivität sehr stark von den Temperaturdifferenzen auf der Verdampferseite und dem Saugdruckverlust in der Saugleitung abhängig. Anlagen mit geringer Verdampfer-temperaturdifferenz und geringem Saugdruckverlust führen zu höheren Investitionskosten gegenüber Standardanlagen und würden beim Vergleich den energetischen Nachteil des indirekt benutzten Ammoniaks verringern.

Indirekte Ammoniakanlagen mit Binäreis oder verdampfendem CO₂ als Kälte-träger repräsentieren gegenwärtig den höchsten Stand der Supermarktkühlung, während es bei der Direktverdampfung die cpc-gesteuerten Verbundanlagen bzw. diesen ähnlichen Techniken sind. Beide Systeme stellen vorteilhafte Lösungen dar, die man bei der Neuprojektierung ernsthaft gegeneinander abwägen oder miteinander kombinieren sollte, um zur Entscheidung für die jeweils beste konkrete Lösung zu kommen. U. A.

Literaturhinweise

- [1] KI-Forum: Supermarkt mit indirektem Kühlsystem, KI Luft- und Kältetechnik 2/1997, S. 74–80
- [2] Blindauer, G. u. G. v. Riesenbeck: Betriebsverfolgung von Ammoniak-Sole-Anlagen in zwei SB-Warenhäusern, KI Luft- und Kältetechnik 1/2000, S. 28–32
- [3] Haaf, S.: Ammoniak-Kälteanlagen für Supermärkte, KK DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK, 8/1998, S. 520–532
- [4] Heggelin, A.: Supermarktkühlung – in welche Technologie investieren? KI Luft- und Kältetechnik 5/1997, S. 221–225
- [5] Paul, J.: Binäreis-Anwendungserfahrungen in der Supermarktkälte, KI Luft- und Kältetechnik 5/1997, S. 209–213
- [6] Kauffeld, M.: Indirekte Kälteanlagen, KK DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK, 9/1998, S. 702–712
- [7] Ochsner, E.: CO₂ als Kälte-träger für die Tiefkühlung, KK DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK, 2/1999, S. 42–45
- [8] Schmidt, H. G.: NH₃ und Binäreistechnologie für die Herrmannsdorfer Landwerkstätten, KK DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK, 6/2000, S. 30–43
- [9] Trauer, M.: Supermarktkette dreht an der Kostenschraube, KK DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK, 5/1998, S. 296–300
- [10] Adolph, U.: Vorteile durch Frequenzstellung und Softstart, KK DIE KÄLTE & KLIMATECHNIK, 10/1999, S. 90–97
- [11] Berger, U.: Indirekte Systeme für Supermarktkälteanlagen, KI Luft- und Kältetechnik 1/1998, S. 28–30