

Aus Sicht des Verdichterherstellers

Möglichkeiten zur Emissionsreduzierung

Holger König, Sindelfingen

zum Autor

**Dipl.-Ing.
Holger König,**
Leiter Anwendungstechnik
bei Bitzer Kühl-
maschinenbau
GmbH, Sindelfingen



Beide Aspekte die zum Treibhauseffekt beitragen, der Energieverbrauch und die Kältemittelleckagen, werden im vorliegenden Beitrag besprochen. Es zeigt sich, daß die Energieeinsparung und damit das Potential zur Verringerung des indirekten Treibhausbeitrags durch Anpassung an den jeweiligen Kälteleistungsbedarf bei geringen Außentemperaturen in zum Teil größeren Einsparungen an CO₂-Emission resultiert als der Ersatz von Kältemitteln mit Treibhauspotential.

Die Reduzierung von Emissionen von Arbeitsstoffen, die im kältetechnischen Kreislauf verwendet werden, ist ohne Rücksicht auf deren Umweltrelevanz zu minimieren. Erste Priorität müssen, neben der Betriebssicherheit, Sicherheitsaspekte haben, die als lokale Wirkung auftreten können. Beispielsweise bei fluorierten Kohlenwasserstoffen aufgrund ihrer Anreicherung am Boden und der damit verbundenen Erstickungsgefahr, bei NH₃ aufgrund der toxischen Wirkung und der Paniksicherheit, bei Kohlenwasserstoffen aufgrund der Explosionsgefahr und bei CO₂ aufgrund des hohen Drucks des Kältemittels.

Erste Konferenz IPCC/TEAP zum Kyoto- und Montreal-Protokoll

Die Reduzierung von treibhausrelevanten Stoffen auf die globale Umwelt ist grundsätzlich anzustreben, die Möglichkeiten zur Limitierung von Emissionen wurden anlässlich des Joint Expert Meetings¹ des UNEP-TEAP² und des IPCC³

¹ Options for the Limitation of Emissions of HFC, PFC and SF₆, Joint Expert Meeting UNEP-TEAP and IPCC, May, 26–28, 1999, Petten, The Netherlands

² UNEP-TEAP: United Nations Environmental Program – Technology and Economic Assessment Panel

³ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

für fluorierte Kohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid am 26.–28. Mai 1999 in Petten, Holland, diskutiert.

Das Treffen der beiden Arbeitsgruppen aus den implementierenden Organisationen UNEP-TEAP und IPCC, die wiederum die anlässlich der Vertragsstaatenkonferenzen gefaßten Beschlüsse zum Montreal-Protokoll umsetzen sowie die Ratifizierung des Kyoto-Protokolls vorantreiben, ist die logische Weiterverfolgung des Ziels, insbesondere auch Kälteanlagen nach ihrer gesamten Umweltrelevanz zu bewerten und gegebenenfalls Alternativen zu benennen. Eine Bewertung muß immer ganzheitlich erfolgen, streng genommen muß für kältetechnische Anlagen eine Ökobilanz entwickelt und ausgewertet werden, das heißt auch, daß die indirekten CO₂-Emissionen mit berücksichtigt werden müssen, obwohl sie nicht zum eigentlichen Mandat des zuvor genannten gemeinsamen Komitees gehörten.

Ergebnisse des Joint Expert Meetings

Als Gesamtergebnis kann festgehalten werden, daß sich in den unterschiedlichen Bereichen (Inhalations- und Asthmaspray, Schaumtreibmittel, Lösemittel, Kältemit-

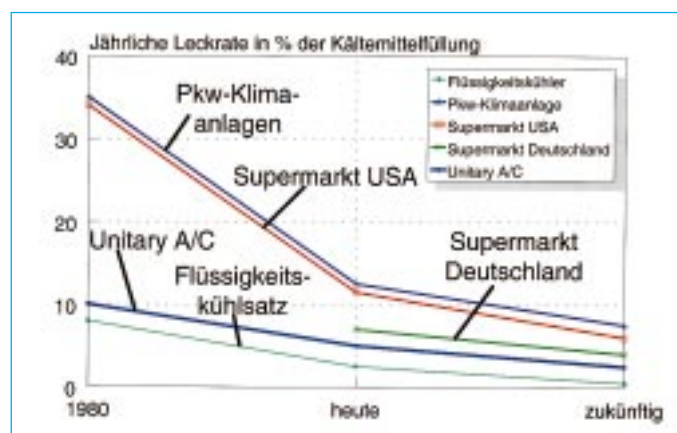


Bild 1 Prognose für die zukünftige Entwicklung der jährlichen Leckraten bei Kälteanlagen, Bivens [1], Leckraten in Supermärkten Deutschland [2]

tel und Isoliergas) keine allgemeine Lösungen anbieten. Für die Kältetechnik werden in dem 30 Seiten umfassenden Report zu allen GWP-Substanzen (H-FKW, PFC, SF₆) einige Kernaussagen herausgearbeitet.

Direkte Auswirkungen sind für die Kältetechnik in den nächsten 10 Jahren auf internationaler Ebene nicht zu erwarten, nationale Regelungen werden jedoch wahrscheinlicher. Die Möglichkeit der Besteuerung von Kältemitteln und das Führen von sogenannten Logbüchern – wie in Holland – wird allerdings als Maßnahme empfohlen.

Global wird zunächst ein Anstieg des Verbrauches der H-FKW bis zum Jahr 2050 erwartet. Für den Bereich Kältetechnik wird die Emission von Kältemitteln nach Bivens [1] zukünftig um ca. 20–30 % geringer ausfallen als vor 10 Jahren, insbesondere Supermarktkälte und die Transportkälte weisen große Einsparpotentiale auf.

Die genannten Emissionen für Supermärkte konnten allerdings im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Forschungsrat Kältetechnik: Dichtheit von Kälteanlagen [2] nicht bestätigt werden. Für Deutschland wurden bei Supermarktanlagen Leckraten von 2–11 % per Anno nachgewiesen, die deutlich unter den amerikanischen Zahlen liegen. Weiterhin konnte den Einzelkomponenten, insbesondere dem Verdichter, ein hohes Maß an Dichtheit zugeschrieben werden.

Der Bereich Kältetechnik wurde in die Untergruppen: Flüssigkeitskühlsätze, Industrie- und Gewerbekälte, Kühlschränke und Transportkälte untergliedert. Für Transportkälte, Unterbereich Auto A/C sind bei Übergang auf alternative Systeme (CO₂ oder indirekte Kohlenwasserstoff-Systeme) die in Tabelle 1 dargestellten Potentiale zu erwarten.

	Kosten	Energieverbrauch
R 134a Stand der Technik	100 %	100 %
CO ₂ -Anlage	100–135 %	100–130 %
Kohlenwasserstoff (indirekt)	110–135 %	110–130 %

Anlässlich des SAE Automotive Alternate Refrigerant Systems Symposiums 1999 in Phoenix, USA, wurden die angegebenen Werte allerdings bereits wiederum diskutiert, sowohl für die bestehenden R 134a-Systeme als auch für mögliche zukünftige Systeme.

GWP, TEWI oder Ökobilanz zur Bewertung von Kälteanlagen

Für eine Reduzierung von treibhausrelevanten Stoffen (GWP) ist die Berücksichtigung des direkten und des indirekten Treibhauseffektes erforderlich. Als Ansatz zur Beurteilung hat sich der TEWI-Wert etabliert.

Eine erste vorbereitende Studie zur Ökobilanzierung in der Kältetechnik für den Forschungsrat Kältetechnik von Frischknecht et al. [3] hat aber auch die Komplexität des Themas gezeigt. In Teilbereichen sind bereits Ökobilanzen erstellt worden, Beispiele sind Haushaltskühlgeräte, für R 134a in Pkw-Klimaanlagen und Wärmepumpen [3]. Die Ökobilanz hat den Nachteil, daß nur eingeschränkt Anlagentechnologien untereinander verglichen werden können. Für die Komponente Verdichter allein ist eine Ökobilanz weniger aussagekräftig zur Bewertung der Treibhausrelevanz der kältetechnischen Anlage insgesamt.

Das TEWI-Konzept erlaubt bei klar definierten Randparametern die Bewertung alternativer kältetechnischer Prozesse und die Analyse der direkten und indirekten Anteile. Eine sehr detaillierte Analyse für verschiedene Anwendungen und Kältemittel wurde von Sand et al. [4] im Rahmen des AFEAS⁴ Programmes durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse wurde von Hellmann et al. [5] gegeben.

Reduzierung von Emissionen durch kältetechnische Anlagen

In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten zur Reduzierung von direkten und indirekten Emissionen für die gesamte Anlage und für den Verdichter angewandt.

Das Potential zur Optimierung von Komponenten ist sehr unterschiedlich, Verdichter sind bereits jetzt weitgehend energetisch optimiert, demgegenüber ist das Energieeinsparpotential durch die Ausführung der kältetechnischen Anlage erheblich größer. Insbesondere die Temperaturdifferenzen an Wärmeübertragern, Zusatzenergie durch Hilfsantriebe und Ab-

tauung sowie Systemsteuerung sind Einflußfaktoren mit großem Energieeinsparpotential.

Grundsätzliche Möglichkeiten zur Reduzierung von direkten Emissionen

Die Verringerung der Kältemittelfüllmengen durch indirekte Systeme, die Verwendung von inneren Wärmetauschern oder durch Betriebsweise mit Economizerschaltung (geringerer Massenstrom und kleinere Rohrdurchmesser) und trockene Verdampfung sind Optionen. Weiterhin können auch Einzelkomponenten oder Bauteile auf kleine Volumen und damit Füllmengen und ihre Dichtheit hin optimiert werden, alle lösbaren Verbindungen und offene Wellen sind neben dem Gesamtkreislauf zu prüfen. Auch das Betriebsverhalten der Anlage ist zu beachten, insbesondere bei starken Schwingungen oder Pulsationen kann es auch bei nicht-lösbaren Verbindungen zu Mikrorissen, aber auch zu Abrissen und Durchscheuern von Rohren und Schlauchleitungen kommen.

Reduzierung von Leckagen durch modifizierte Komponenten

Die Wellendichtungen bei offenen Verdichtern, und hier insbesondere bei der Transportkälte und Pkw-Klimatisierung, sind ein zu akzeptablen Kosten konstruktiv nur schwer beherrschbares Bauteil. Insbesondere bei häufigem Start-Stopp-Betrieb, unter sehr harten Einsatzbedingungen, beim Stillstand über längere Perioden und bei unzureichender Wartung kann es zur Emission von Kältemittel über die Wellendichtung kommen. Auch bei der Verwendung von Kältemitteln mit hoher Volumenzunahme bei der Verdampfung (NH₃, CO₂) und Ölen mit hoher Kältemittellöslichkeit sind besondere konstruktive Maßnahmen zu ergreifen.

In Bild 2 ist die Schnittzeichnung einer neueren Entwicklung einer Wellenabdichtung für offene Schraubenverdichter dargestellt. Bei dieser Konstruktion werden einerseits die Gleitringe durch Öleinspritzung gekühlt und geschmiert, andererseits ist der Ölkreislauf so gestaltet, daß bei

Tabelle 1 Abschätzung des Energieverbrauchs und der Kosten von alternativen Konzepten in der Pkw-Klimatisierung

⁴ AFEAS: Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study

Stillstand Welle und Gleitrings eine Ölvorlage haben.

Die statische und dynamische Einheit gewährleisten die Dichtheit bei ruhender als auch bei drehender Welle über O-Ringe. Die rotierende Einheit ist über einen Mitnehmerstift und Stiftschrauben kraftschlüssig mit der Welle verbunden. Bei üblichen Wellenabdichtungen ist die Werkstoffpaarung die eigentliche Herausforderung: bei Stillstand der Welle diffundiert Kältemittel durch Mikrorisse und Dichtspalte in den Raum zwischen statischer und dynamischer Einheit. Beim nächsten Start ist das Öl zwischen der Werkstoffpaarung durch Kältemitteldiffusion verdünnt, hierdurch kommt es unter Umständen zu Mangelschmierung mit partiellen Überhitzungen und in der Folge zum sofortigen Verglasen der Dichtflächen. Durch besondere hochwertige Werkstoffpaarung, wie in der beschriebenen Ausführung, kann dieser Effekt weitestgehend beherrscht werden. Bei Konstruktionen ohne Ölvorlage tritt die geringe Menge Kältemittel, die durch die Passung diffundiert, insbesondere bei Stillstand aus, hier entstehen die Mikroleckagen der offenen Wellendichtung herkömmlicher Bauart.

Bei der in Bild 2 gezeigten Ausführung steht die Welle im Öl, die Paßgenauigkeit

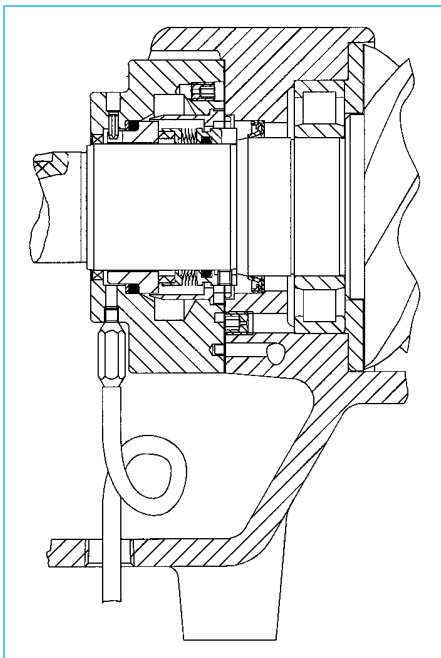


Bild 2 Konstruktion der Bitzer-Wellenabdichtung für offene Verdichter [6]

der Axialdichtringe und die Ölvorlage verhindern wirkungsvoll das Austreten von Kältemittel.

Eine weitere konstruktive Möglichkeit, Kältemittlemissionen zu vermeiden, ist die Verwendung von Löt- oder Schweißverbindungen anstelle von Schraub- oder Bördelanschlüssen. Hier kann wiederum auf das Forschungsvorhaben des Forschungsrates Kältetechnik verwiesen werden [2].

Auch Rohrbrüche durch Pulsation oder Körperschallschwingungen können durch schwingungsoptimierte und laufuhige Verdichterkonstruktionen vermieden werden. Beispielhaft können der von Sandkötter [7] beschriebene Octagon-Verdichter in der 2 und 4 Zylindervariante sowie Schraubenverdichter, wie von Renz [8] beschrieben, genannt werden.

Verwendung von Kältemitteln mit geringerem Treibhauspotential

Wie schon zuvor unter der Zwischenüberschrift „GWP, TEWI oder Ökobilanz zur Bewertung von Kälteanlagen“ beschrieben, können auch Kältemittel mit geringerem Treibhauspotential verwendet werden, allerdings sind sowohl der direkte Effekt als auch der indirekte Effekt zu bilanzieren. Die notwendige Optimierung des Rohrsystems und der aufzuwendenden Kosten bei indirekten Systemen mit Kälteüberträger ist hierfür beispielhaft genannt. Optionen sind u. a. im TEWI III Report [4] beschrieben.

Möglichkeiten zur Reduzierung von indirekten Emissionen

Der indirekte Treibhausanteil und damit auch der jährliche Energieverbrauch kann durch Leistungsregelung des Systems, Drehzahlregelung des Verdichters, Lüftermotoren, angepaßte Temperaturhübe bei Teillast oder niedrigeren Außentemperaturen und intelligente Regelkonzepte teilweise erheblich reduziert werden. Auf die Leistungsregelung durch Anpassung des Fördervolumens des Verdichters wird im Folgenden näher eingegangen.

Leistungsregelung von Verdichtern, reduzierter Temperaturhub bei Teillast

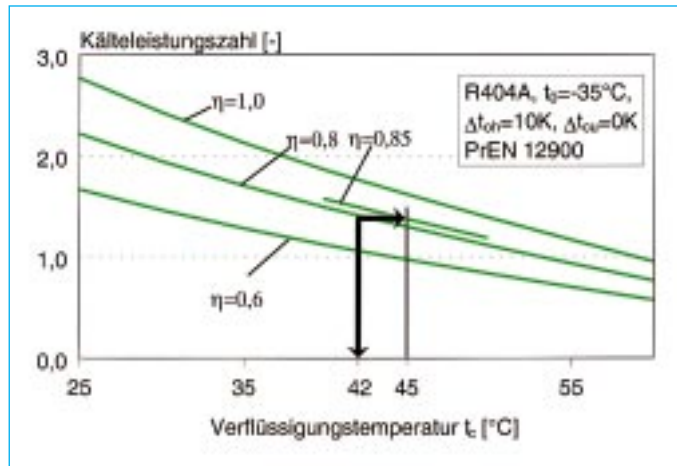
Bei Teillast kann einerseits ein An-/Abschalten der oder des Verdichters zu Bereitstellung der erforderlichen Kälteleistung erfolgen. Andererseits ist auch die

Teilabschaltung bei Hubkolbenverdichtern (Zylinderabschaltung) und die Verstellung des Fördervolumens bei Schraubenverdichtern üblich. Demgegenüber kann diese Option zur Energieeinsparung durch Veränderung des Fördervolumens bei hermetischen Scrollverdichtern nicht erfolgen, Regelbar ist der Scrollverdichter nur durch Abschalten oder durch Einsatz eines Frequenzumrichters (ca. 40–60 Hz). Die Economizerschaltung ist ein zusätzliches Regelement [8].

Insbesondere in der Übergangsperiode ist eine Absenkung der Verflüssigungstemperatur durch entsprechende Steuerung und Leistungsregelung sinnvoll, das erreichbare Einsparpotential ist für eine Tiefkühlanwendung in Bild 3 dargestellt. Als Kältemittel wurde R 404A bei einer Verdampfungstemperatur von -35°C und den im Bild angegebenen Randparametern zur Berechnung der Werte verwendet. Grundlage für die Berechnung mit der Basis-Taupunkttemperatur nach PrEN 12 900 sind durch ASERCOM zertifizierte Stoffdatenprogramme. Bereits anhand dieser einfachen Rechnung wird deutlich, daß eine Verbesserung des Verdichtergütegrades sich nur gering auf die Kälteleistungszahl und damit auf den Energieverbrauch auswirkt. Wird dagegen die Anlage mit reduziertem Fördervolumen und entsprechend geringeren Verflüssigungstemperaturen betrieben, ergeben sich bei diesem Beispiel im Bereich $t_c = 50\text{--}60^{\circ}\text{C}$ ca. 2,7 ($\eta_{is} = 1$) bis 3,6 % ($\eta_{is} = 0,6$) Energieeinsparung pro Kelvin reduzierter Verflüssigungstemperatur. Eine nur mit erheblichem Aufwand erreichbare Steigerung der schon vorhandenen hohen Gütegrade um 5 % von $\eta = 0,8$ auf 0,85 ist gleichzusetzen mit ca. 3 K geringerer Verflüssigungstemperatur. Ähnliche Werte gelten bei Verringerung der Überhitzung, wobei Werte unterhalb 5–10 K Überhitzung (je nach Kältemittel) im Ansaugzustand des Verdichters bei dynamischen Lastzuständen zu Naßbetrieb und damit zur Minderung von Kälteleistung und Kälteleistungszahl sowie zu übermäßigem Verschleiß führen können.

Als Kernaussage ergibt sich somit, daß durch die Wahl der Verdichtertechnologie, d. h. regelbares Fördervolumen Energieeinsparpotentiale, die nach [4] in erheblich größerer Region liegen als das durch Leckage verursachte direkte Treibhauspotential einiger Kältemittel. Eine dynami-

Bild 3 Kälteleistungszahl über der Verflüssigungstemperatur bei Teillastbetrieb für verschiedene Gütegrade, Quelle: interne Bitzer Software DTAFEL 02/99



sche Anpassung der Leistung des Verdichters, wie beispielsweise bei Schraubenverdichtern mit dem Potential zur Leistungsregelung über den gesamten Anwendungsbereich, kann somit einen erheblichen Beitrag zur Verringerung der indirekten Treibhausgasemission leisten.

Eine weitere sehr effektive Maßnahme, den Energieverbrauch zu senken, ist auch die Verringerung der Temperaturdifferenzen zwischen Verflüssigungs- bzw. Verdampfungstemperatur und zu kühlendem bzw. Kühlmedium (Luft, Wasser, etc.).

Zusammenfassung und Ausblick

Auf internationaler Ebene wird zunehmend die Ozonproblematik zusammen mit der Treibhausproblematik bewertet. Insbesondere bei neuen Technologien wird ein Erfolg von der Energieeffizienz der Kältemittel, den Anlagenkomponenten und am stärksten von der Anlagenkonzeption und Steuerung abhängen. Der Energieverbrauch bzw. die Gesamtemission darf bei neuen Technologien keinesfalls höher sein. Zukünftig sind weiter sinkende Emissionsraten zu erwarten, die erheblich durch die Wahl der Verbindungstechnologie beeinflusst werden kann.

Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Komponenten als Einzelteil ist begrenzt, ein erheblich größeres Potential zur Energie- und Emissionseinsparung bieten die Regelung und Steuerung der kältetechnischen Anlagen im Verbindung mit den Verbrauchern. Die Energieeinsparung und damit das Potential zur Verringerung des indirekten Treibhausbeitrags durch Anpassung an den jeweiligen Kälteleistungsbedarf bei geringen Außentemperaturen resultiert in z. T. größeren

Einsparungen an CO₂-Emission als der Ersatz von Kältemitteln mit Treibhauspotential. □

Literatur

- [1] Bivens, D. B.: Refrigeration and Air Conditioning with reduced Environmental Impact, IPCC/TEAP Joint Expert Meeting, Petten, Netherlands, 26–28 May 1999
- [2] Forschungsrat Kältetechnik: Dichtheit von Kälteanlagen, FKT 21-96, unveröffentlichter Forschungsbericht, Frankfurt, März 1999
- [3] Frischknecht, R., Hofstetter, P.: Ökobilanzierung in der Kältetechnik, Stand heute und zukünftiges Potential; Forschungsrat Kältetechnik: Frankfurt, März 1999
- [4] Sand, J. R.; Fischer, S. K.; Baxter, V. D.: Energy and Global Warming Impact of HFC Refrigerants and Emerging Technologies; ORNL, Tennessee, USA, 1997
- [5] Hellmann, J.; Barthelemy, P.: TEWI 3-Studie: Ergebnisse und Bewertung von alternativen Kältemitteln, KK Die Kälte und Klimatechnik, Heft 3, 1998
- [6] BITZER Technische Information SW-500, 1999
- [7] Sandkötter, W.: Die neuen Octagon-Verdichter, Ki Luft- und Kältetechnik, Heft 10, S. 472–476, 1998
- [8] Renz, H.: Einsatz kleiner Schraubenverdichter in gewerblichen und industriellen Kälteanlagen, KK Die Kälte und Klimatechnik, Heft 7, Seite 448–458, 1998

Acal

Beilagenhinweis

Dieser Ausgabe liegen Beilagen der Firmen Airedale Kälte-Klima GmbH, Mühlheim/M., Fravid International, München, Cool Compact Kühlgeräte GmbH, Nehren, sowie der Deutschen ICI GmbH, Frankfurt, bei.