

**T10**  
**Anwendungsgebiete für CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen**

## Inhalt

1. Einführung
2. Querhinweis auf Normen und andere Schriftstücke
3. Thermodynamik des Kohlendioxids
4. Einsatzmöglichkeiten des Kältemittels CO<sub>2</sub>
5. Anwendungsmöglichkeiten von Wärmepumpen mit Kältemittel CO<sub>2</sub>

## 1. Einführung

Ausgehend von den Vorschriften und Regelungen für den Ausstieg aus der Anwendung von FCKW und H-FCKW nimmt das Interesse an natürlichen Kältemitteln als Alternative zu. Natürliche Kältemittel wie Ammoniak, Wasser, Kohlenwasserstoffe, Luft (Edelgas) und Kohlendioxid stehen für den gesamten Temperaturbereich der Kompressionskältemaschinen (-120°C bis 20°C) zur Verfügung. Sie haben kein Ozonzerstörungspotential und kein oder nur ein geringes Treibhauspotential. Zum Teil wurden sie seit dem vorigen Jahrhundert genutzt, bis sie in der Mitte des letzten Jahrhunderts von den FCKW allmählich verdrängt wurden.

Ammoniak, das 1864 erstmals verwendet wurde, hat sich in Grosskälteanlagen bewährt. Es gewinnt im Zusammenhang mit der FCKW-Ablösung im Bereich mittlerer und kleiner Leistungen weiter an Bedeutung.

Kompressionskältemaschinen mit Wasser als Kältemittel dienen vorzugsweise der Kaltwassererzeugung für Klimaanlageanlagen im Kälteleistungsbereich ab 500 kW.

Kohlenwasserstoffe sind als Kältemittel in Haushaltsgeräten eingeführt. Weitere Einsatzmöglichkeiten werden durch sicherheitstechnische Aspekte bestimmt. Dazu sind klare Vorschriften und Regelungen, die das Herstellerrisiko kalkulierbar machen, zu schaffen.

Einsatzmöglichkeiten für Kaltluftkältemaschinen bestehen bei tiefen Nutzttemperaturen und bei Abgasenergienutzung. Die Anwendung wird auf Spezialgebiete beschränkt bleiben.

Zur Palette der natürlichen Kältemittel gehört auch das nicht brennbare und nicht toxische Kohlendioxid. Forschungen zum Kohlendioxid, das 1866 erstmals als Kältemittel verwendet wurde und in den fünfziger Jahren aus der Anwendung verschwand, erlebten Ende der achtziger Jahre durch die Arbeiten von *Lorentzen und Mitarbeitern* eine Renaissance. Zukünftige Einsatzgebiete liegen bei der Fahrzeugklimatisierung, Wärmepumpen, transportablen Klimageräten kleiner Leistung, Luftentfeuchtungsgeräten und Trocknern.

## 2. Querhinweis auf Normen und andere Schriftstücke

- TU Dresden; Lehrstuhl für Kälte und Kryotechnik; Dr. Erhard Kraus

Literatur:

- Peter Heyl, Hans Quack, Maik Kühne  
Kombinierte Expansions-Kompressionsmaschinen für CO<sub>2</sub> in Freikolbenbauweise  
Industriepumpen + Kompressoren 2000; H.1, S. 26-33
- Peter Heyl, Hans Quack  
Transkritischer CO<sub>2</sub> Prozess mit arbeitsleistender Entspannung  
Betriebserfahrung und Versuchsergebnisse  
DKV Tagungsbericht 26 (1999)
- Peter Heyl, Hans Quack, Eberhard Kraus  
CO<sub>2</sub> Wärmepumpe zur Warmwasseraufbereitung  
Ergebnis und Erfahrungen  
DKV Tagungsbericht 24 (1997)

### 3. Thermodynamik des Kohlendioxids

Ein Weg, um die Effizienz des überkritischen CO<sub>2</sub>-Kreisprozesses zu verbessern, ist der Ersatz der üblichen Drosselentspannung durch eine Arbeit leistende Entspannung. Die dabei gewonnene mechanische Arbeit kann dann für einen Teil der Verdichterarbeit eingesetzt werden. Setzt man Kohlendioxid als Kältemittel in der Kältetechnik oder in Wärmepumpen ein, so ist mit Blick auf die Prozessführung die kritische Temperatur entscheidend. Sie liegt für Kohlendioxid bei 31°C. Oberhalb dieser Temperatur ist Kohlendioxid auch unter Anwendung stärkster Drücke nicht mehr zu verflüssigen. Daraus ergeben sich für die Prozessführung im Bereich der kritischen Temperatur Besonderheiten. Zum einen erreicht man nach der Verdichtung hohe Endtemperaturen, die bei vielen Anwendungen ungenutzt bleiben. Zum anderen tritt nach der Verdichtung und Wärmeabgabe nicht wie bei anderen Kältemitteln die Kondensation des Kältemittels bei konstanter Temperatur ein. Vielmehr findet nach der Verdichtung im Wärmeübertrager eine isobare Abkühlung unter „stark gleitender“ Temperatur statt.

Durch nicht-isotherme Wärmeabgabe weicht ein derartiger Kreisprozess deutlich vom Carnot-Prozess ab. Für die Leistungszahl ist dabei die Austrittstemperatur des Kohlendioxids aus dem Wärmeübertrager entscheidend. Je niedriger die Temperatur, umso höher ist die erreichbare Leistungszahl. Wird am Wärmeübertrager unter die kritische Temperatur gekühlt, so erreicht man, dass die thermodynamischen Verluste bei der anschließenden Entspannung des noch unter Druck stehenden Kältemittels geringer bleiben (Prozess A). Eine derartige Prozessführung eignet sich für die industrielle Prozesswärme – wenn beispielsweise Wasser von 10 auf 60 bis 90°C erwärmt werden soll. Für Heizungswärmepumpen oder Luft-Luft-Klimaanlagen ist jedoch Prozess B typisch. Hier liegt die Austrittstemperatur des Kohlendioxids aus dem Hochdruckwärmeübertrager über der kritischen Temperatur. Dies führt bei der Entspannung des verdichteten Kältemittels zu erhöhten thermodynamischen Verlusten.

Ansatzpunkt für eine Effizienzsteigerung des Prozesses B ist u.a. die Nutzung einer Expansionsmaschine, um die Arbeit auf den Verdichter zu übertragen.

Da gerade im Bereich der Heizungswärmepumpe meist nur kleine Leistungen benötigt werden, ist der Einsatz von Expansionsmaschinen zum heutigen Zeitpunkt noch keine sinnvolle Lösung.

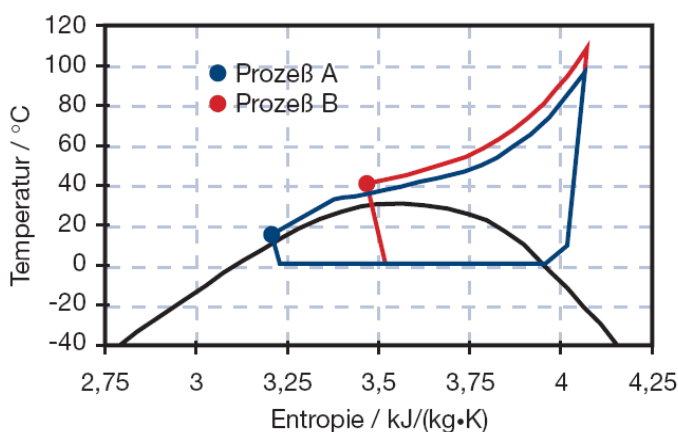


Abb. 1

#### 4. Einsatzmöglichkeiten des Kältemittels CO<sub>2</sub>

Für viele thermodynamisch gut geeignete, aber leider umweltschädigende Kältemittel sind inzwischen eine Reihe von Alternativen entwickelt worden. Allerdings sind „Drop-In“-Verfahren, bei denen der Austausch des Kältemittels ohne technische Änderung an den Anlagenkomponenten erfolgen kann, eher die Ausnahme. Die thermodynamischen Eigenschaften der Alternativkältemittel, einschliesslich des Kohlendioxids, machen in der Regel Komponenten Anpassungen erforderlich.

Kohlendioxid wird jetzt schon in Kaskadenkälteanlagen für den Tieftemperaturbereich eingesetzt. Überkritische Prozesse, wie z.B. bei der Wärmepumpenanwendung in konventionellen Heizungssystemen, sind noch im Entwicklungsstadium. Die kombinierte Expansions-Kompressionsmaschine ist ein vielversprechender Weg für die Effizienzsteigerung von CO<sub>2</sub>-Anlagen.

Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten COHEPS-Projektes wurde das Kältemittel CO<sub>2</sub> für verschiedene Anwendungen untersucht. Geeignete Einsatzbereiche für die CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe sind industrielle Trocknungsprozesse, Luftentfeuchtungsgeräte und die Warmwassererzeugung, aber auch die Substitution von konventionellen Heizkesseln für die Raumheizung mit hohen Vorlauftemperaturen. Das denkbare Marktpotential für derartige Wärmepumpen wäre enorm. Um sich allerdings in diesem Marktsegment behaupten zu können, sind Jahresarbeitszahlen erforderlich, die einen energetischen und möglichst auch ökonomischen Vorteil bieten.

#### 5. Anwendungsmöglichkeiten von Wärmepumpen mit Kältemittel CO<sub>2</sub>

Wie oben beschrieben, sind Anwendungen zu suchen, welche der Eigenheit des Kältemittels CO<sub>2</sub> entgegenkommen. Üblicherweise sind dies Anwendungen mit tiefen Eintrittstemperaturen auf der Senkenseite. In der Praxis haben sich Lösungen zur Warmwasseraufbereitung bereits bewährt. Bei Wassereintrittstemperaturen in den Gaskühler (Kondensator) von 10°C und Austrittstemperaturen von 65°C kommen die Stärken des CO<sub>2</sub> richtig zum tragen und ein COP von 4 ist realisierbar.

Zur Zeit sind aufgrund der Charakteristik des Kältemittels Wärmepumpen mit CO<sub>2</sub> zum Einsatz für Raumwärme, d.h. als Heizwärmepumpen, (noch) nicht geeignet. Die Heizungs-Rücklauftemperaturen sind zu hoch bzw. die Temperaturspreizung Vorlauf/Rücklauf des Heizkreises ist zu gering. Dadurch resultiert ein schlechter COP und/oder ein schlechter Systemwirkungsgrad in heute üblichen Heizanlagen, verglichen mit den heute üblichen Wärmepumpen und Kältemitteln. Es sind Gesamtsystemüberlegungen im Gange, die möglicherweise die Nachteile mit heute üblichen Heizungen zukünftig überwinden können. Das wird dann der Zeitpunkt sein, dieses Merkblatt zu revidieren.