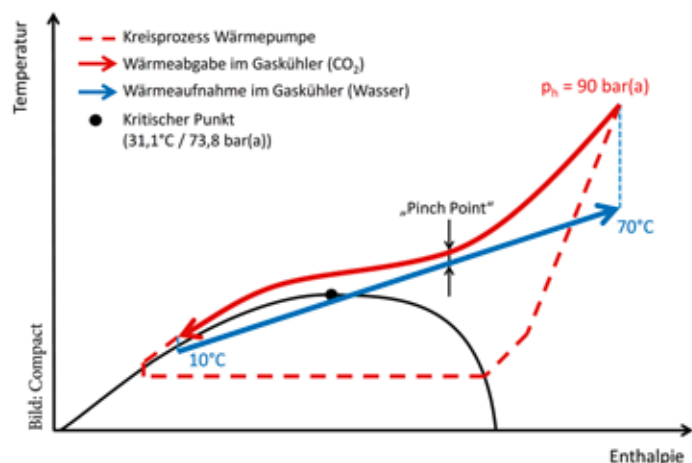


CO<sub>2</sub>-WÄRMEPUMPE IM HOCHTEMPERATURBEREICH

# Förderfähig in die Zukunft

Wärmepumpen werden überall dort verwendet, wo viel warmes oder weniger sehr heißes Wasser benötigt wird. Bestenfalls stehen eine Erdsonde oder ein Kollektorfeld zur Verfügung. Dies ist zunehmend im öffentlichen Bereich, aber auch in Gewerbe und Industrie der Fall. Typische Einsatzgebiete sind Hotels, Altenheime, Bäder, Schulen, Altgebäudesanierungen, aber auch die Fleisch verarbeitende Industrie und Fertigungsbetriebe mit großer Heizungsunterstützung.

CO<sub>2</sub>-Wärmepumpenprozess bei niedriger Wassereintrittstemperatur



CO<sub>2</sub>-Wärmepumpenprozess bei hoher Wassereintrittstemperatur

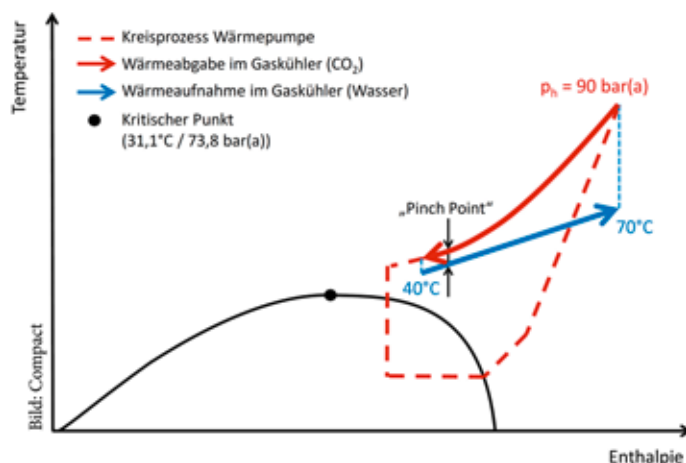


Bild 1 und 2: CO<sub>2</sub>-Wärmepumpenkreisläufe im t,h-Diagramm zur Verdeutlichung des Unterschieds zwischen niedriger und hoher Wasserrücklauftemperatur im Gaskühler

Im Zuge der F-Gase-Verordnung und der verbundenen Einschränkungen auf dem Kältemittelsektor wird die Auswahl der hierfür verfügbaren Kältemittel sehr eingeschränkt. Soll ein natürliches und umweltfreundliches Kältemittel verwendet werden, welches darüber hinaus auch förderfähig ist, stehen nur Propan (GWP 3) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>, GWP 1) zur Verfügung. Propan hat erstklassige Eigenschaften als Kältemittel, ist aber durch seine Brennbarkeit und das damit einhergehende Sicherheitskonzept

gerade für die Innenaufstellung nicht immer ein mögliches Szenario. CO<sub>2</sub> als Hochdruckkältemittel mit sehr guten Wärmeübertragungseigenschaften hingegen kann durch seine Einstufung als A1-Kältemittel ohne größere Einschränkungen eingesetzt werden. Tripelpunkt und kritischer Punkt können im normalen Arbeitsbereich einer Kältemaschine erreicht werden. Musste man diesen Besonderheiten vor etwa 10 Jahren noch große Bedeutung schenken, ist es aufgrund der häufig verwendeten Boosteranlagen in der Gewerbekälte zum Standardkältemittel geworden. Im Wärmepumpenbereich kommt CO<sub>2</sub> bislang in Deutschland nur sehr selten zum Einsatz. Das hängt zum einen damit zusammen, dass die Wassereintrittstemperatur auf der warmen Seite eine extrem große Bedeutung für die Effizienz des CO<sub>2</sub>-Kreisprozesses hat (je niedriger desto bes-

ser), und zum anderen, dass der Aufbau und die Regelung dieser Maschinen noch nicht geläufig sind. CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen werden i.d.R. ganzjährig transkritisch betrieben. Dieser Prozess oberhalb des kritischen Punkts ermöglicht eine gleitende Temperaturabgabe an ein Sekundärmedium (z.B. Wasser) im Gaskühler, und das bei deutlich geringeren Exergieverlusten verglichen mit einem subkritischen Prozess mit konstanter Kondensationstemperatur im Verflüssiger. Bild 1 und Bild 2 zeigen einen transkritischen Wärmepumpenprozess im Temperatur-Enthalpie-Diagramm. Die Temperaturen des jeweiligen Kreislaufs lassen sich hierbei direkt ablesen. Die Länge der Pfeile entspricht auch der entsprechenden Wärmeleistung. Bild 1 zeigt den Wärmepumpenkreislauf bei einer optimal niedrigen Wassereintrittstemperatur und einem CO<sub>2</sub>-



**Dipl.-Ing. Stephan Leideck,**  
Projektierung | Forschung & Entwicklung bei compact Kältetechnik GmbH

typisch sehr hohen Temperaturhub. Der „Pinch Point“ (minimale Temperaturdifferenz zwischen Kältemittel und Sekundärmedium), welcher v.a. bei überkritischen CO<sub>2</sub>-Anwendungen für die Auslegung der Wärmerückgewinnung bzw. des Gaskühlers sehr wichtig ist, darf dabei keineswegs unterschritten werden (Empfehlung > 4 K). Bild 2 zeigt den Wärmepumpenprozess bei einer für CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen recht untypisch hohen Rücklauf­temperatur. Der Kreisprozess ist hierbei gerade so noch abbildbar, jedoch auf Kosten der Effizienz. Würde man für beide Varianten einen größeren 4-Zylinder-Hubkolbenverdichter bei den dargestellten Bedingungen und  $t_0=0^\circ\text{C}$  einsetzen, würde man für Bild 1 eine nutzbare Heizleistung von beispielsweise 140 kW bei einem COP von 4,7 erzielen. Bei Bild 2 würde der gleiche Verdichter lediglich eine Heizleistung von 60 kW bei einem COP von 2,1 erreichen. Die Begründung liegt hierbei

Schematische Darstellung, unvollständig!

**compact**  
KÄLTETECHNIK

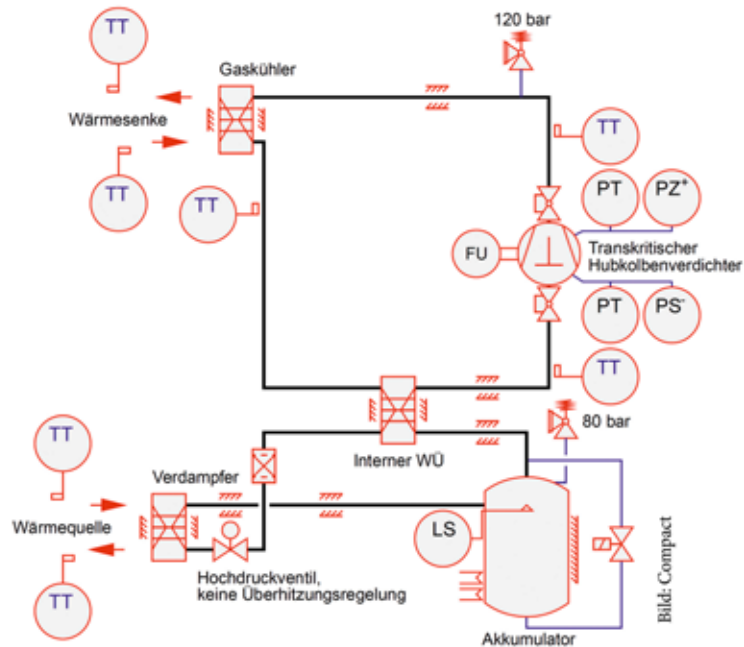


Bild 3: RI-Schema einer typischen CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe



Bild: Compact

Bild 4: CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe vom Typ \*carboHeat18 von compact Kältetechnik

vorrangig in der Positionierung des kältemittelabhängigen Zweiphasengebiets. Wäre der Dampfanteil nach der Entspannung bei Bild 1 ca. 5 Prozent, so wäre er bei Bild 2 bei über 70 Prozent.

Typischerweise werden CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen einstufig ohne Flashgasbypass ausgeführt (siehe Bild 3). Flüssigkeitsabscheider und Sauggasüberhitzer sind dabei zwingend notwendig, da das Hochdruckregelventil gleichzeitig das Einspritzventil am Verdampfer ist und dieser quasi-überflutet betrieben wird.

Für diese Anlagenschaltung hat die compact Kältetechnik GmbH die Baureihe \*carboHeat entwickelt. Typische Heizleistungen der \*carboHeat bei  $t_g=30^\circ\text{C}$ ,  $t_0=-5^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{Wasser}}=20/70^\circ\text{C}$ ,  $p_h=92\text{ bar(a)}$ :

*carbo-Heat01	*carbo-Heat04	*carbo-Heat07	*carbo-Heat09
7 kW	22 kW	35 kW	50 kW
*carbo-Heat12	*carbo-Heat18	*carbo-Heat38	
70 kW	100 kW	250 kW	

Die \*carboHeat ist als kompletter Kältekreis ausgestattet mit je einem transkritischen halbhermetischen Hubkolbenverdichter (wahlweise mit FU), ein bis drei Gaskühlern, Hochdruckventil, Verdampfer, Akkumulator und einem internen Wärme-

übertrager in eigensicherer Ausführung mit 120 bar auf der Hochdruckseite und 80 bar auf der Saugdruckseite. Dabei ist im Stillstandsfall keine Notkühlung erforderlich. Mit Schaltschrank komplett verkabelt (Regelungstechnik wahlweise mit Siemens S7, Danfoss oder Wurm) erhält der Kunde ein „Plug and Play“-Gerät. Für eine Unterstützung bei Inbetriebnahme oder Service und Wartung steht Ihnen compact Kältetechnik jederzeit als Ansprechpartner zur Verfügung. CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen sind förderfähig nach der BMU Kälte-Klima-Richtlinie. Die Baureihe von compact Kältetechnik ist bei der BAFA gelistet. Die Berechnung der Gesamtjahresarbeitszahl erfolgt in Anlehnung an die VDI 4650 und erzielt beispielsweise für die \*carboHeat18, welche auch in Bild 4 abgebildet ist, eine fiktive Gesamtjahresarbeitszahl von 4,3. Aktuell wurde diese CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe an einen namhaften Maschinenbaubetrieb im Raum Stuttgart zur Heizungsunterstützung des Fertigungsbetriebs geliefert. Ausgelegt als monovalente Wasser/Sole-Wärmepumpe, bei Auslegungsbedingungen von Wasser 25/50°C auf der warmen Seite und Ethylenglykol 30% + 12/+8°C als Wärmequelle erreicht diese \*carboHeat18 eine Heizleistung von ca. 100 kW, bei FU-Betrieb mit 53 Hz. Im Betriebspunkt erreicht diese Wärmepumpe einen COP von 4,54. Gemäß der zuvor beschriebenen BAFA-Förderung wurde für den Betreiber eine Förderung von

ca. 8 500 Euro errechnet. Gemessen an den etwas höheren Investitionskosten bedingt durch das Hochdruckkältemittel CO<sub>2</sub> ergeben sich durch die Förderung spürbare Kostenvorteile für den Kunden.

**Zusammenfassung:**

- CO<sub>2</sub> ist prädestiniert als Kältemittel für Hochtemperaturwärmepumpen.
- Transkritischer Prozess energetisch vorteilhaft für die Wärmerückgewinnung und als Wärmepumpenanwendung (sehr kleine Grädigkeiten zwischen den Medien bei geringeren Exergieverlusten als mit jedem anderen Kältemittel)
- Für CO<sub>2</sub>-Wärmepumpenprozesse existiert ein anderer „optimaler Hochdruck“ als für Kältemaschinen. Dieser ist direkt abhängig von den sekundärseitigen Temperaturen und dem daraus resultierenden „Pinch Point“ im Gaskühler.
- CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen werden typischerweise grundlegend anders aufgebaut als z. B. CO<sub>2</sub>-Kaltwassersätze (simpler Aufbau ohne Flashgasbypass bei quasi-überfluteter Verdampfung).
- Optimale Voraussetzungen für eine CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe:
  - stetiger Wasserzulauf bei gleichbleibend niedriger Temperatur am Gaskühler
  - hoher Bedarf an warmem Wasser (z. B. mind. 50°C) oder geringer Bedarf an sehr heißem Wasser (bis 85...90°C möglich)
  - Wärmequelle sollte idealerweise eine Erdsonde/-kollektor mit ganzjährig konstanten Bedingungen sein.
- Je nach Betriebsbedingungen sind Heiz-COP-Werte von 3 bis 6 erreichbar, was deutlich höher ist als bei konventionellen Wärmepumpen.
- Mit Einsatz des Kältemittels CO<sub>2</sub> und seiner enorm hohen volumetrischen Kälteleistung ist es möglich, platzsparende und vergleichsweise kleine Maschinen für große Leistungsanforderungen zu bauen.
- CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen erfordern seltenere Serviceintervalle und werden auch in Zukunft keiner Beschränkung durch die F-Gase-VO unterliegen. ■

→ [www.compact-kaeltetechnik.de](http://www.compact-kaeltetechnik.de)