

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Geschichte des Kältemittels CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Einflüsse von CO<sub>2</sub> auf Gesundheit, Anlagensicherheit und Umwelt .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Kältetechnische Eigenschaften und deren Bedeutung für die Auslegung und den Betrieb von R744-Anlagen .....</b>	<b>17</b>
3.1	Einführung und Definitionen.....	17
3.2	Bedeutung der relativ niedrigen kritischen Temperatur.....	19
3.2.1	Transkritischer Prozess .....	19
3.2.2	Geringere effektive Leistungszahl .....	20
3.2.3	Andere Bedingungen.....	21
3.3	Bedeutung von hohem Druck im Tripelpunkt.....	22
3.4	Bedeutung des generell hohen Druckniveaus .....	23
3.4.1	Typische Drucklagen im Betrieb und im Stillstand.....	23
3.4.2	Druckauslegung .....	25
3.4.3	Hubvolumen und Wirkungsgrad des Verdichters .....	27
3.4.4	Druck- und Temperaturverluste im Gas- und Zweiphasengebiet .....	28
3.5	Bedeutung guter Wärmeübertragungseigenschaften .....	29
3.6	Bedeutung des hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Flüssigkeit.....	30
<b>4</b>	<b>Transkritisches Kälte-/Wärmepumpenprozess .....</b>	<b>33</b>
4.1	Der Prozess im Druck-Enthalpie-Diagramm.....	33
4.2	Temperaturverlauf im Gaskühler.....	35
4.2.1	Temperaturverläufe im Temperatur-Enthalpie-Diagramm (T,h-Diagramm) .....	35
4.2.2	Pinch-Punkt in Gaskühlern .....	36
4.2.3	Temperaturannäherung.....	37
4.2.4	Temperaturanpassung für Heizbedarf mit mehreren Temperaturstufen .....	39
4.2.5	Berechnungsmethoden .....	40
4.3	Bedeutung des Gaskühlerdrucks für die Kälteleistung.....	40
4.4	Die Bedeutung des Drucks im Gaskühler für die Leistungszahl.....	42

## Inhaltsverzeichnis

---

4.5	Optimale Hochdruckregelung von CO <sub>2</sub> -Prozessen .....	43
4.5.1	Grundlagen zur Optimierung .....	43
4.5.2	Regelungsstrategie .....	44
5	<b>Technische Lösungen mit CO<sub>2</sub>.....</b>	47
5.1	CO <sub>2</sub> als verdampfender Kälteträger.....	47
5.2	CO <sub>2</sub> im konventionellen Kälteprozess – Kaskadenanlage .....	49
5.3	Der transkritische Prozess – grundlegende Lösungen .....	53
5.3.1	Anlage mit Niederdrucksammler und einfacher Entspannung.....	53
5.3.2	Anlage mit Zwischendrucksammler, zweistufige Entspannung .....	55
5.3.3	Anlagen mit Zwischendruck- und Niederdrucksammler .....	58
5.3.4	Transkritischer, zweistufiger Prozess.....	58
5.3.5	Lösungen mit Kältebedarf auf zwei Temperaturniveaus.....	59
6	<b>Methoden zur Prozessverbesserung.....</b>	61
6.1	Zwischenkühlung in zweistufigen Anlagen .....	61
6.2	Parallelverdichtung .....	61
6.3	Abkühlung des überkritischen Gases nach dem Gaskühler .....	62
6.4	Rückgewinn von Expansionsarbeit .....	64
7	<b>Wärmerückgewinnung mit CO<sub>2</sub>-Anlagen.....</b>	69
7.1	Einfache Lösung der Wärmerückgewinnung auf einem Temperaturniveau .....	70
7.2	Wärmerückgewinnung auf verschiedenen Temperaturniveaus .....	71
8	<b>CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen .....</b>	77
8.1	Allgemeines.....	77
8.2	Produktion von warmem Nutzwasser .....	77
8.3	Kombinierte Raumheizung und Warmwasseraufbereitung.....	82
9	<b>Sicherheit bei der Anwendung von CO<sub>2</sub>.....</b>	83
9.1	Druck und Temperatur – Sicherheitsbedingungen.....	83
9.2	Trockeneis – Sicherheits- und Betriebsbedingungen .....	84

<b>10</b>	<b>Anwendungsbeispiele für CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen</b>	87
10.1	Kaskadenkälteanlagen mit CO <sub>2</sub> als Kältemittel	87
10.1.1	Industrielle Anlagen	87
10.1.2	Kunsteisbahnen	88
10.1.3	Anlagen im Einzelhandel	89
10.1.4	Fischerboote	90
10.2	Transkritische Anlagen	92
10.2.1	Kleine Anlagen für den Einzelhandel	92
10.2.2	Leistungsstarke, zentrale Anlagen für den Einzelhandel und Industriekälteanlagen	93
10.2.3	Warmwasser-Wärmepumpen	105
10.2.4	Klimaanlagen	108
10.2.5	Transport	109
10.2.6	Mobile Klimaanlagen	109
10.2.7	Meerwasserkühler für die Fischindustrie	110
10.2.8	Fischerboote, Tiefkühlung	111
10.2.9	Andere Anwendungsbereiche für CO <sub>2</sub> als Kältemittel	112
<b>11</b>	<b>Literatur</b>	113