

Inhaltsverzeichnis

1	Geschichte des Kältemittels CO₂	11
2	Einflüsse von CO₂ auf Gesundheit, Anlagensicherheit und Umwelt	13
3	Kältetechnische Eigenschaften und deren Bedeutung für die Auslegung und den Betrieb von R744-Anlagen	17
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
4	Transkritischer Kälte-/Wärmepumpenprozess	33
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

4.5	Optimale Hochdruckregelung von CO ₂ -Prozessen	43
4.5.1	Grundlagen zur Optimierung	43
4.5.2	Regelungsstrategie	44
5	Technische Lösungen mit CO₂	47
5.1	CO ₂ als verdampfender Kälteträger	47
5.2	CO ₂ 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	Methoden zur Prozessverbesserung	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	Wärmerückgewinnung mit CO₂-Anlagen	69
7.1	Einfache Lösung der Wärmerückgewinnung auf einem Temperaturniveau	70
7.2	Wärmerückgewinnung auf verschiedenen Temperaturniveaus	71
8	CO₂-Wärmepumpen	77
8.1	Allgemeines	77
8.2	Produktion von warmem Nutzwasser	77
8.3	Kombinierte Raumheizung und Warmwasseraufbereitung	82
9	Sicherheit bei der Anwendung von CO₂	83
9.1	Druck und Temperatur – Sicherheitsbedingungen	83
9.2	Trockeneis – Sicherheits- und Betriebsbedingungen	84

10	Anwendungsbeispiele für CO₂-Kälteanlagen	87
10.1	Kaskadenkälteanlagen mit CO ₂ 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 Industrie- kälteanlagen.	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 ₂ als Kältemittel	112
11	Literatur	113