Inhaltsverzeichnis

1 Kohlendioxid als Kältemittel 11

1.1 Geschichte des Kältemittels CO_2 11

2 Einflüsse von CO_2 auf Gesundheit, Anlagensicherheit und Umwelt 13

3 Kältetechnische Eigenschaften und deren Bedeutung für Auslegung und Betrieb 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 21
3.3 Bedeutung von hohem Druck im Tripelpunkt 21
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 Kreisprozess 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 38
4.2.5 Berechnungsmethoden 40
4.3 Bedeutung des Gaskühlerdrucks für die Kälteleistung 40
4.4 Bedeutung des Gaskühlerdrucks 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 CO_2 ... 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 ... 54
5.3.2 Anlage mit Zwischendrucksammler, zweistufige Entspannung ... 55
5.3.3 Anlagen mit Zwischendruck- und Niederdrucksammler ... 58
5.3.4 Transkritischer, zweistufiger Prozess ... 59
5.3.5 Lösungen mit Kältebedarf auf zwei Temperaturniveaus ... 60

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 CO_2-Anlagen ... 69

7.1 Einfache Lösung der Wärmerückgewinnung auf einem Temperaturniveau ... 70

7.2 Wärmerückgewinnung auf verschiedenen Temperaturniveaus ... 71

8 CO_2-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 CO_2 ... 83

9.1 Druck und Temperatur – Sicherheitsbedingungen ... 83

9.2 Trockeneis – Sicherheits- und Betriebsbedingungen ... 84

10 Anwendungsbeispiele für CO_2-Kälteanlagen 87

10.1 Kaskadenkälteanlagen mit CO_2 als Kältemittel 88
10.1.1 Industrielle Anlagen 88
10.1.2 Kunsteisbahnen 89
10.1.3 Anlagen im Einzelhandel 90
10.1.4 Fischerboote 90

10.2 Transkritische Anlagen 93
10.2.1 Kleine Anlagen für den Einzelhandel 93
10.2.2 Leistungsstarke, zentrale Anlagen für den Einzelhandel und Industriekälteanlagen 94
10.2.3 Warmwasser-Wärmepumpen 106
10.2.4 Klimaanlagen 108
10.2.5 Transport 109
10.2.6 Mobile Klimaanlagen 110
10.2.7 Meerwasserkühler für die Fischindustrie 111
10.2.8 Fischerboote, Tiefkühlung 112
10.2.9 Andere Anwendungsbereiche für CO_2 als Kältemittel 113

11 Literatur 115