



Westfalen

Infos für Praktiker 7



Natürliche Kältemittel.

Pronat® R-744 – Kohlendioxid.



Qualitätsmanagementsystem
DIN EN ISO 9001 Reg.Nr. 1709 für Deutschland und die Schweiz



Klimaneutral
Product Carbon
Footprint
www.tuv.com
ID 0000083479

Pronat® R-744 - Die wichtigsten Eigenschaften auf einen Blick.

Kohlendioxid – Kältemittel mit Vergangenheit und Zukunft

Eine Vielzahl synthetischer Kältemittel ist durch negative Umwelteinflüsse bekannt, so haben Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW/H-FCKW) ein hohes ozonabbauendes Potenzial (ODP = Ozone Depletion Potential). Chlorfreie synthetische Kältemittel tragen hingegen mit einem teilweise hohen Treibhauspotenzial (GWP = Global Warming Potential) zur Erderwärmung bei.

Natürliche Kältemittel wie Kohlendioxid überzeugen durch geringe direkte Umwelteinflüsse sowie durch innovative Kältetechnologien und eignen sich somit als praktikable Alternative. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts war Kohlendioxid (CO₂, R-744) ein gebräuchliches Kältemittel. Vorwiegend in der Schiffskälte gewann es als „Sicherheitskältemittel“ gegenüber dem weitverbreiteten Ammoniak an Beliebtheit. Mit der Entwicklung synthetischer FCKW verlor es ab Mitte des 20. Jahrhunderts allerdings an Bedeutung. Mit Beginn der Umweltdiskussion in der Kältetechnik rückte R-744 jedoch langsam wieder in den Fokus der Fachwelt.

Kältemittel im Vergleich: Umwelteinflüsse bei Freisetzung		
Produkt	ODP (R-11 = 1)	GWP (CO ₂ = 1)
R-12	1	10.900
R-22	0,055	1.810
R-134a	0	1.430
R-290 (Propan)	0	3
R-410A	0	2.088
R-717 (Ammoniak, NH ₃)	0	0
R-744 (Kohlendioxid, CO ₂)	0	1

Chemische und physikalische Eigenschaften

Unbrennbar

Kohlendioxid ist unbrennbar, erstickt Flammen und ist deshalb auch als Feuerlöschmittel im Einsatz.

Praktischer Grenzwert und Brennbarkeit im Vergleich

Produkt	Praktischer Grenzwert kg/m ³	Brennbarkeit LFL* kg/m ³
R-32	0,061	0,307
R-134a	0,25	nicht anwendbar
R-290 (Propan)	0,008	0,038
R-404A	0,52	nicht anwendbar
R-410A	0,44	nicht anwendbar
R-717 (Ammoniak)	0,00035	0,116
R-744 (Kohlendioxid)	0,1	nicht anwendbar

* Lower Flammability Limit = untere Explosionsgrenze

Quelle: DIN EN 378-1:2017-03

Reaktion mit anderen Stoffen

Kohlendioxid reagiert mit anderen Stoffen wie unter anderem mit Ammoniak. Das ist besonders bei der Planung und Errichtung von CO₂-NH₃-Kaskadenkälteanlagen zu berücksichtigen. Denn im Kaskadenwärmeübertrager mischt sich bei Undichtigkeit das unter höherem Druck stehende Kohlendioxid mit dem Ammoniak. Das dabei entstehende Ammoniumcarbonat – auch bekannt als Hirschhornsalz – kann zu irreparablen Anlagenschäden führen. Kohlendioxid und Wasser hingegen verbinden sich zu Kohlensäure (H₂CO₃), die korrodierend auf Kohlenstoffstahl (Verdichtergehäuse) und einige Buntmetalle wirkt.

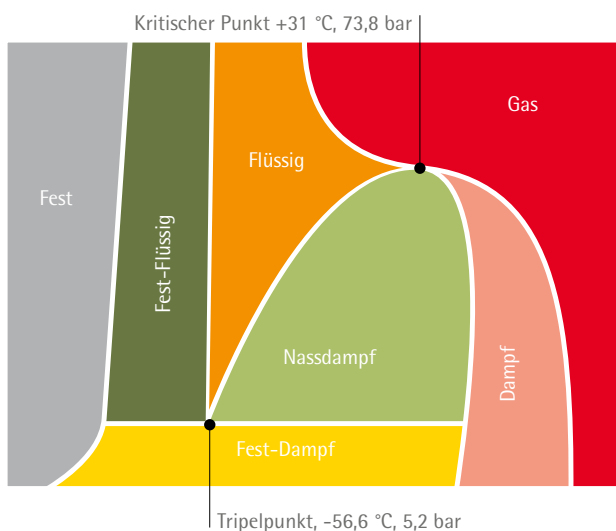
Gewicht

Kohlendioxid ist etwa 1,5-mal schwerer als Luft. Entweicht es unkontrolliert, fließt es in tiefer gelegene „Sammelbecken“ wie Kellerräume, Truhen oder Lichtschächte. Hohe Konzentrationen können bei geringer Luftbewegung aufgrund der erstickenden Wirkung gefährlich werden.

Aggregatzustände

Von besonderer Bedeutung sind die von Druck und Temperatur abhängigen Aggregatzustände – vor allem Tripelpunkt und kritischer Punkt sind für die Kältetechnik wichtig: Oberhalb der kritischen Temperatur ist CO₂ nicht mehr zu verflüssigen, unterhalb des Drucks am Tripelpunkt ist es entweder fest oder gasförmig.

Log-p-h-Diagramm für Kohlendioxid (R-744), Aufteilung der Zustände



Tritt flüssiges Kohlendioxid aus, unterliegt es Atmosphärendruck und wandelt sich dabei sofort in Gas und Trockeneis um. Der Sublimationspunkt – also der Übergang vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand – liegt bei -79 °C. Bei Hautkontakt können derart tiefe Temperaturen schwere Verbrennungen erzeugen. Auch wenn Trockeneis

aussieht wie Speiseeis: Es ist definitiv nicht zum Verzehr oder als Eiswürfeleratz geeignet. Die tiefe Temperatur sowie der durch die Verdampfung entstehende Druck können irreparable Organschäden hervorrufen.

Viskosität

In thermodynamischer Hinsicht zeichnet sich Kohlendioxid durch niedrige Viskosität und gute Wärmeübergangswerte aus. Vor allem aber die volumetrische Kälteleistung ist durch die hohe Drucklage nicht zu überbieten.

Spezifischer Wärmeentzug h in kJ/kg bei Verdampfungstemperatur t_0 und spezifisches Volumen v in dm³/kg bei 10 K Überhitzung

	R-134a	R-404A	R-717	R-744
h bei $t_0 = -35^\circ\text{C}$	220,1	195,4	1.372,6	312,7
v bei $t_{0ij} = -25^\circ\text{C}$	295,0	121,6	1.272,4	34,1

Verdampft ein Kilogramm R-744 zum Beispiel in einer Tiefkühlung, dann kann dieses eine Kilogramm 312,7 kJ Wärme abführen. Wird dieses dann gasförmige Kältemittel um 10 K bei gleichem Druck überhitzt, ist diese Wärmemenge in 34,1 Liter Gas enthalten. Vor allem Verdichter und Saugleitung fallen im Vergleich zu den anderen Kältemitteln deutlich kleiner aus.

Kritischer Punkt und Tripelpunkt im Vergleich

	R-134a	R-404A	R-717	R-744
Brennbar oder explosiv	nein	nein	ja	nein
Giftig	nein	nein	ja	nein
Natürlich	nein	nein	ja	ja
Kritischer Punkt bar	40,7	37,3	113	73,8
°C	101	72	132	31
Tripelpunkt bar	0,004	0,028	0,06	5,2
°C	-103	-100	-77,7	-56,6

Ungiftig, geruch-, farb-, und geschmackslos

Kohlendioxid ist nicht giftig. In der Kältetechnik ist R-744 nach DIN EN 378 in die Sicherheitsgruppe A1, also als „gering toxisch“ sowie „nicht brennbar“ eingestuft. Etwa 0,03 Volumenprozent befinden sich bereits in der Umgebungsluft. Kohlendioxid ist praktisch nicht wahrzunehmen, da es geruch-, farb- und geschmacklos ist. Der Arbeitsplatzgrenzwert für Kohlendioxid beträgt 5.000 ml/m³ (ppm) oder 0,5 Volumenprozent. Für Kälteanlagen mit R-744 ist der praktische Grenzwert nach DIN EN 378 auf 0,1 kg/m³ festgelegt.

Beispiel:

Die Freisetzung von 50 kg Kohlendioxid in einem Raum mit den Maßen 10 x 10 x 2,50 m erzeugt eine CO₂-Konzentration von circa elf Volumenprozent. Das wäre lebensbedrohlich. Nach dem in der DIN EN 378 fixierten Grenzwert darf die Füllmenge der in diesem Raum befindlichen Anlage 25 kg nicht überschreiten:

$$0,1 \text{ kg/m}^3 \times 250 \text{ m}^3 = 25 \text{ kg}$$

Das ist weniger als in vergleichbaren Anlagen mit synthetischen Kältemitteln.

Die Wirkung von Druck

Im Umgang mit R-744 ist der vergleichsweise hohe Anlagen- und Flaschendruck zu berücksichtigen. Deshalb ist die Prüfung auf Druckfreiheit vor dem Öffnen einzelner Anlagenteile (Ventile, Rohrleitungen, Filter etc.) unerlässlich. Zwar gilt dieser Grundsatz generell für alle Kältemittel, Nachlässigkeiten können sich beim Einsatz von CO₂ allerdings deutlich schwerwiegender auswirken.

Dampfdrücke bei Siedetemperaturen im Vergleich (BP = Bubble Point)

Produkt	Druck in bar bei				
	-35 °C	-10 °C	0 °C	25 °C	45 °C
R-134a	0,66	2,01	2,93	6,65	11,60
R-404A (BP)	1,73	4,44	6,15	12,61	20,71
R-410A (BP)	2,22	5,79	8,06	16,65	27,45
R-744	12,05	26,50	34,86	64,27	transkritisch

Dass das R-744 einen höheren Druck bei gleichen Temperaturen realisiert als andere Kältemittel ist weitläufig bekannt. Von größerer Bedeutung für die Praxis ist die Kenntnis, dass bei gleicher Temperaturdifferenz die zugehörigen Siededruck-Differenzen wesentlich größer sind. So ist bei R-134a bei einer Temperaturschwankung zwischen -10 bis 0 °C nur eine Drucksteigerung/-senkung von weniger als 1 bar zu erkennen, während diese bei R-744 mehr als 8 bar beträgt.

Für einen sicheren Umgang in der Praxis.

Inbetriebnahme von R-744-Anlagen

Für die Inbetriebnahme von R-744-Anlagen gelten grundsätzlich die gleichen Regeln, die auch beim Einsatz anderer Kältemittel zu berücksichtigen sind. Dazu zählen:

- Druckfestigkeitsprüfung
- Dichtheitsprüfung
- Funktions- und Sicherheitsprüfung
- Konformitätsprüfung

Nach dem Evakuieren erfolgt die Füllung mit R-744. Für jede Anlagengröße bieten wir Ihnen passende Gebindegrößen: Für kleinere Anlagen oder für Reparaturen reicht bereits die 10-kg-Flasche.

Für größere Systeme stellen wir zum Beispiel 33-Liter-Flaschen ebenfalls mit Doppelanschluss-Ventil bereit. Dieses Ventil ermöglicht die zunächst gasförmige Entnahme, um die Anlage auf einen Druck oberhalb des Tripelpunkts zu bringen. Danach kann das Kohlendioxid flüssig eingefüllt werden. Das schließt die Bildung von Trockeneis zuverlässig aus. Bitte beachten Sie: Bei der Flüssigentnahme sollten keine Druckminderer verwendet werden!

Für die Befüllung besonders großer Kälteanlagen eignen sich Bündel mit zwölf Flaschen à 50 Liter Nennvolumen. Um auch hier die Eisbildung sicher zu vermeiden, empfehlen wir, etwa ein Drittel der benötigten Füllmenge in Flaschen ohne Tauchrohr (für die gasförmige Entnahme) zu beziehen und diese zuerst in die Anlage zu füllen. Es sollte beachtet werden, dass alle Gebinde von Westfalen mit einer Rückschlagsicherung ausgestattet sind. Das ist notwendig, um ein Zurückfüllen in die Flaschen zu verhindern, was je nach Anlagendruck möglich wäre. Damit wird die Gefahr einer Überfüllung und das Verunreinigen der Flasche mit Maschinenöl verhindert. Es ist vor allem bei der Flüssigentnahme darauf zu achten, dass kein flüssiges Kältemittel in der Füllleitung eingeschlossen wird. Deshalb, bei Unterbrechung des Füllprozesses, nie das

Ventil an der Anlage absperren, sondern immer das Flaschenventil. Somit kann bei Wärmezufuhr in die Füllleitung der entstehende Druck in die Anlage abfließen.

Gebindegrößen für Pronat® R-744

Rauminhalt (l)	Füllgewicht (kg)	Ventil
13,4	10	Doppelanschlussventil
33	25	Doppelanschlussventil
50	37,5	mit Tauchrohr oder Doppelanschluss- ventil
12 x 50 (Bündel)	450	mit Tauchrohr

für Großverbraucher im Tankwagen nach Bedarf



Die 33-Liter-Flasche mit Doppelanschlussventil.

Für einen sicheren Umgang in der Praxis.

Wartung und Reparatur

Bei der Befüllung von Neuanlagen kann der Druck auf der Niederdruckseite nicht höher sein als der Flaschendruck. Das ist bei bestehenden Anlagen anders und muss deshalb bei Wartungs- und Reparaturarbeiten unbedingt berücksichtigt werden. Hier ist der Einsatz geeigneter Druckminderer anzuraten, vor allem, wenn der maximal zulässige Überdruck des Systems deutlich unter dem möglichen Flaschendruck liegt. Dieser ist wie bei anderen Kältemitteln temperaturabhängig.

Entscheidend ist der Regelbereich, da gängige Druckminderer mit einer Spanne zwischen 0 und 20 bar sehr schnell an ihre Grenzen gelangen: Bereits bei einer Verdampfungstemperatur von -10 °C kann ein solches System den Druck in der Kälteanlage nicht mehr abdecken. Noch höhere Drücke herrschen in Anlagen, die länger außer Betrieb waren. Die Verwendung eines darauf ausgelegten Druckminderers ist hier unbedingt erforderlich. Wir empfehlen Entnahmesysteme mit einem Regelbereich zwischen 0 und 40 bar.

Der maximal zulässige Druck richtet sich nach der Schaltungsvariante: Handelt es sich um eine Pumpanlage mit teilverdampftem Kohlendioxid (Brine-System), um eine Kaskadenanlage oder um eine Anlage im transkritischen Prozess? Die Temperatur-Druck-Tabelle zeigt zum Beispiel, dass in Kaskaden-Systemen mit einer CO₂-Verflüssigungstemperatur von -10 °C (Druck 26,5 bar) durchaus flüssiges R-744 bei 20 °C Umgebungstemperatur (Druck 57,24 bar) eingefüllt werden kann.

CO₂-Gebinde dürfen nicht an Anlagenteile mit höherem Druck als in der Gasflasche vorherrschend angeschlossen werden.

Es ist grundsätzlich wichtig, vor dem Öffnen der Ventile den Anlagendruck zu ermitteln und laufend zu beobachten. Immerhin können die Druckverhältnisse im transkritischen Prozess leicht 100 bar und mehr betragen.

t [°C]	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15
p [bar]	5,55	6,84	8,34	10,07	12,05	14,30	16,85	19,72	22,93
t [°C]	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
p [bar]	26,50	30,47	34,86	39,69	45,01	50,84	57,24	64,27	72,07

Was Sie nur von uns bekommen.

Höchste Kältemittelqualität

Die Erfahrung zeigt, dass bereits geringste Verunreinigungen im System zu Störungen, Korrosion, Materialabtragungen oder Säurebildung führen können. Insbesondere der Feuchtegehalt ist ein entscheidender Faktor: Bekannt ist, dass ein zu hoher Gehalt zu Eisbildung führen kann. Darüber hinaus entsteht vor allem an Stellen mit hoher Strömung wie Drossel oder Pumpe sogenanntes Hydrat. Dieser Feststoff kann den Durchfluss blockieren. Zudem fördert Feuchtigkeit im Kohlendioxid die Säurebildung. Insbesondere niedrig legierte Stähle reagieren darauf sehr empfindlich.

Der internationale Standard für Kältemittel AHRI 700 lässt einen maximalen Wasseranteil von 10 mg Wasser pro kg R-744 zu. Die Qualität von Pronat® R-744 ist mit maximal 5 Vol.-ppm besser.

Jetzt persönlich beraten lassen.

Unsere Kältemittel-Experten unterstützen Sie gerne direkt vor Ort, um mit Ihnen die sicherste und wirtschaftlichste Lösung für Ihren Anwendungsfall zu entwickeln.



Weitere
Informationen unter
westfalen.com





Westfalen

Gase | Energieversorgung | Tankstellen

Westfalen Austria GmbH

Betriebsstraße 6
2440 Gramatneusiedl
Österreich
Tel. +43 2234 73441
www.westfalen.at
info@westfalen.at

Westfalen BV-SRL

Watermolenstraat 11
9320 Aalst/Alost
Belgien
Tel. +32 53 641070
www.westfalen.be
info@westfalen.be

Westfalen France S.A.R.L.

Parc d'Activités Belle Fontaine
57780 Rosselange
Frankreich
Tel. +33 387 50-1040
www.westfalen-france.fr
info@westfalen-france.fr

Westfalen Gas Schweiz GmbH

Sisslerstr. 11
5074 Eiken AG
Schweiz
Tel. +41 61 855 25 25
www.westfalen.ch
info@westfalen.ch

Westfalen Medical BV

Rigastraat 14
7418 EW Deventer
Niederlande
Tel. +31 570 858-450
www.westfalenmedical.nl
info@westfalenmedical.nl

Westfalen Gassen Nederland BV

Postbus 779
7400 AT Deventer
Niederlande
Tel. +31 570 636-745
www.westfalengassen.nl
info@westfalengassen.nl

Westfalen AG

Industrieweg 43
48155 Münster
Deutschland
Tel. +49 251 695-0
www.westfalen.com
info@westfalen.com

Westfalen Medical GmbH

Einheitsstraße 3
57076 Siegen
Deutschland
Tel. +49 271 405 76-0
www.westfalenmedical.de
info@westfalenmedical.de