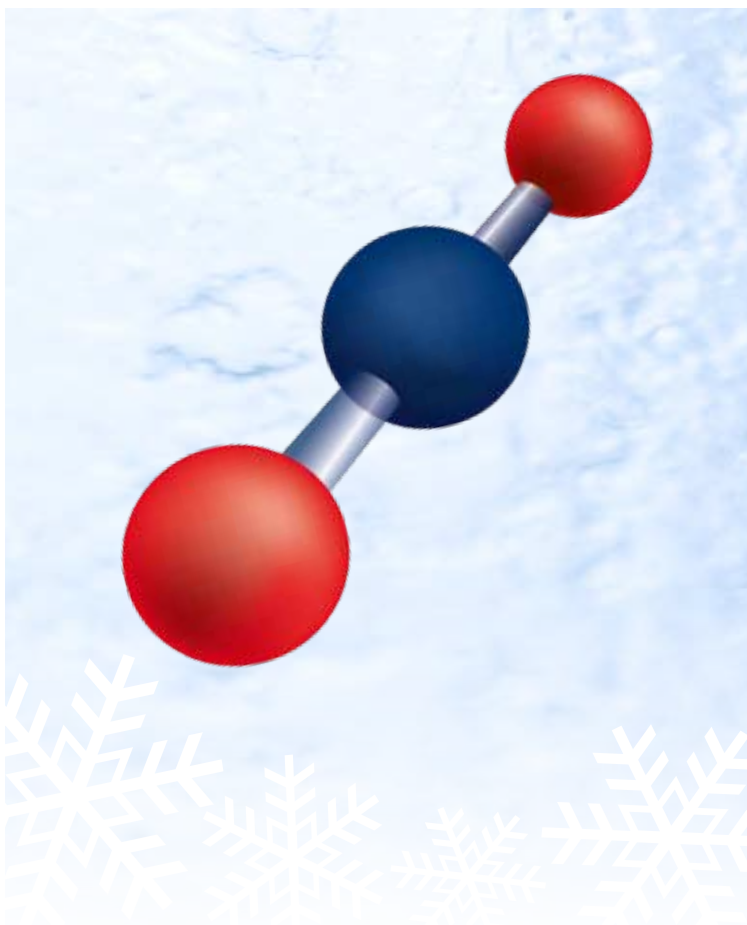




Ganz natürlich: Das Kältemittel R-744 – Kohlendioxid.



Das CO₂-Molekül: Als natürliches Kältemittel R-744 überzeugt Kohlendioxid zum Beispiel durch seine Umwelteigenschaften.

Manches synthetische Kältemittel hat in den vergangenen Jahren für Gesprächs- und Zündstoff gesorgt. Im Fahrwasser politischer Entscheidungen fielen so die Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW/H-FCKW) ihrem Ozonabbaupotenzial (ODP = Ozone Depletion Potential) zum Opfer. Doch auch die chlor-freien synthetischen Ersatzstoffe sind keine „Umweltengel“, denn viele verfügen über ein hohes direktes Treibhauspotenzial (GWP = Global Warming Potential).

Welche Alternativen gibt es?

Kohlendioxid:

Kältemittel mit Vergangenheit und Zukunft.

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 büßte es ab Mitte des 20. Jahrhunderts seine Bedeutung allerdings ein. Mit Beginn der Umweltdiskussion in der Kältetechnik jedoch rückte R-744 langsam wieder in den Fokus der Fachwelt. Die geringen direkten Umwelteinflüsse einerseits sowie innovative Kältetechnologie andererseits machen das natürliche Kältemittel Kohlendioxid heute wieder zu einer hochinteressanten Alternative.

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

Der Umgang mit R-744 und die sachgerechte, wirtschaftliche Anwendung setzen indes spezifisches Fachwissen voraus. Diese Publikation vermittelt Einblicke und skizziert entscheidende Rahmenbedingungen. Sie ersetzt jedoch nicht das persönliche Gespräch. Nutzen Sie unser Beratungsangebot: Bei Detailfragen zu konkreten Projekten sind wir jederzeit gern für Sie da!

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-404A	0	3 922
R-717 (Ammoniak, NH ₃)	0	0
R-744 (Kohlendioxid, CO ₂)	0	1

Ein ganz eigener Charakter:

Chemische und physikalische Eigenschaften.

Kohlendioxid ist unbrennbar, erstickt Flammen und ist deshalb auch als Feuerlöschmittel im Einsatz. Es reagiert mit anderen Stoffen, 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.

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.

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. Diese Eigenschaften müssen unbedingt berücksichtigt werden: Während andere Kältemittel oft nach Evakuierung einer neuen Kälteanlage flüssig in die Hochdruckseite (Sammler) gefüllt werden können, ist das bei R-744 nicht empfehlenswert. Denn dabei würde sich in der Füllleitung sofort festes CO₂ als Trockeneis bilden – Resultat: Leitungsblockade. Die Füllung mit R-744 erfordert einen vorherigen Druckaufbau von deutlich über 5,2 bar absolut in der Anlage – das entspricht einer Manometeranzeige von mehr als 4,2 bar.

Der Einsatz von R-744 – zum Beispiel in CO₂-NH₃-Anlagen – setzt Wissen über die chemischen und physikalischen Eigenschaften des natürlichen Kältemittels voraus.



Spezifischer Wärmeentzug und spezifisches Volumen.

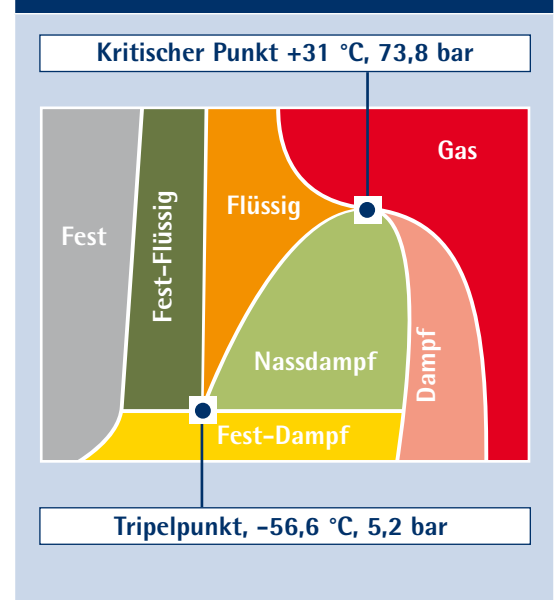
Spezifischer Wärmeentzug h in kJ/kg bei Verdampfungstemperatur t_0 und spezifisches Volumen v in dm³/kg bei 10 K Überhitzung.

	R-134a	R-404A	R-717	R-744
h bei $t_0 = -35\text{ °C}$	220,10	195,40	1 372,59	312,68
h bei $t_0 = -10\text{ °C}$	204,39	177,08	1 294,77	258,29
h bei $t_0 = 0\text{ °C}$	197,20	168,88	1 260,66	231,05
v bei $t_{00} = -25\text{ °C}$	295,0	121,6	1 272,4	34,1
v bei $t_{00} = 0\text{ °C}$	104,0	48,56	437,4	15,3
v bei $t_{00} = 10\text{ °C}$	72,5	35,12	302,9	11,4

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 40,7 101	bar 37,3 72	bar 113 132	bar 73,8 31
Tripelpunkt	bar 0,004 -103	bar 0,028 -100	bar 0,06 -77,7	bar 5,2 -56,6

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



Achtung, Konzentration!

Kohlendioxid ist nicht giftig. In der Kältetechnik ist R-744 nach DIN EN 378 in die Sicherheitsgruppe A1, also als „nicht oder gering toxisch“ sowie „nicht brennbar“ eingestuft. Etwa 0,03 Volumenprozent befinden sich bereits in der Umgebungsluft. Dennoch erfordert der Umgang mit Kohlendioxid, das erstickend wirkt, Sensibilität. Denn es ist geruch-, farb- und geschmacklos und daher von den Sinnesorganen des Menschen praktisch nicht wahrzunehmen. Eine zu hohe CO₂-Konzentration löst also keine Warnwirkung aus.

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 0,07 kg/m³ festgelegt.

Musterrechnung:

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 17,5 kg nicht überschreiten:

$$0,07 \text{ kg/m}^3 \times 250 \text{ m}^3 = 17,5 \text{ kg}$$

Das ist weniger als in vergleichbaren Anlagen mit synthetischen Kältemitteln.



Volumenprozent und Massenanteile CO₂ in der Atemluft (auszugsweise).

Vol.-%	g/kg	Wirkung auf den Menschen
0,03-0,04	0,36-0,48	Allgemeiner Bestandteil der Luft
3-5	36-60	Atmungsreizung, Kopfschmerzen, Herzklopfen
8	96	Wirkt erstickend, Lebensgefahr
10-18	120-216	Krämpfe, Bewusstlosigkeit, Schockzustand bis zum Tod

Praktischer Grenzwert und Brennbarkeit im Vergleich.

Produkt	Praktischer Grenzwert kg/m ³	Brennbarkeit LFL* kg/m ³
R-134a	0,25	nicht anwendbar
R-290 (Propan)	0,008	0,038
R-404A	0,48	nicht anwendbar
R-407C	0,31	nicht anwendbar
R-410A	0,44	nicht anwendbar
R-717 (Ammoniak)	0,00035	0,104
R-744 (Kohlendioxid)	0,07	nicht anwendbar

* Lower flammability limit = untere Explosionsgrenze

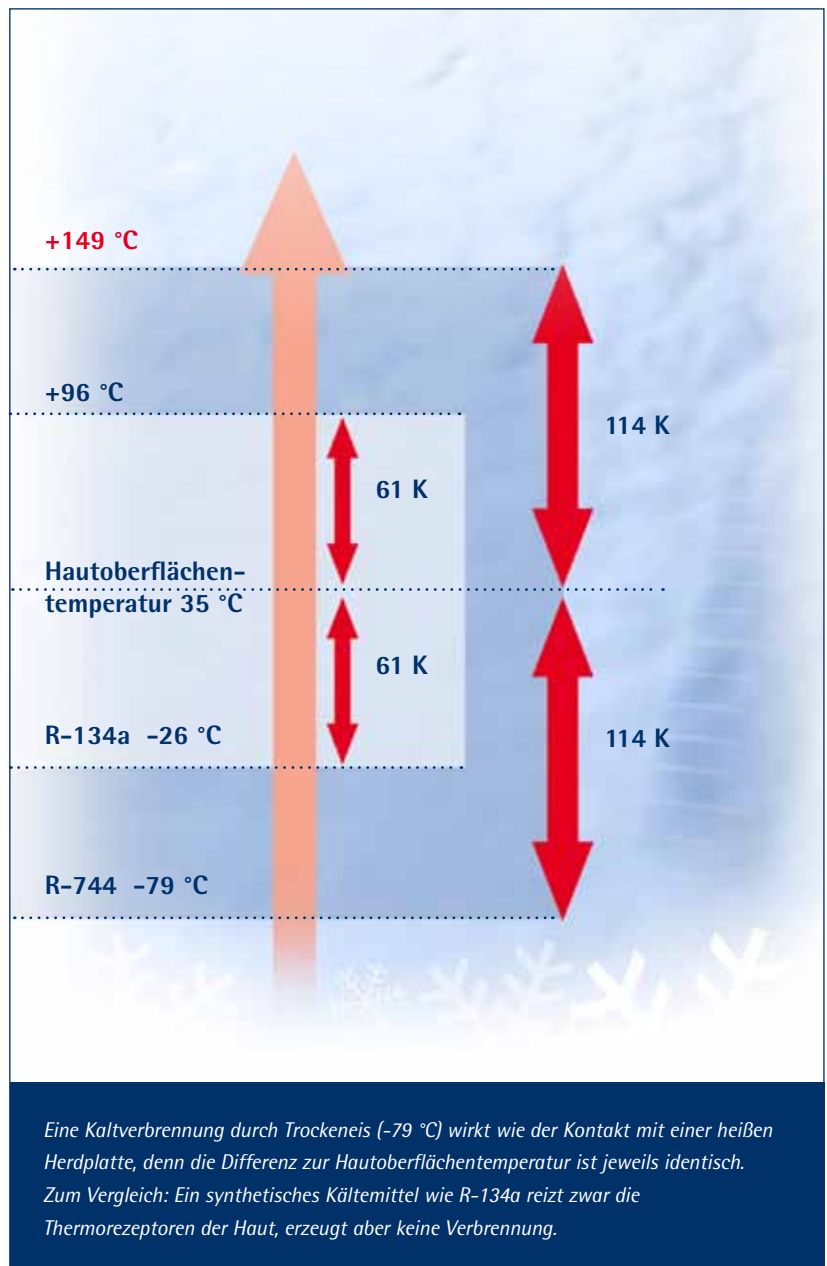
Die Wirkung von Kälte und Druck.

Der sicherheitsbewusste Umgang mit Kältemitteln zählt zum elementaren Repertoire eines Kältefachbetriebs. Anders als bei den gängigen synthetischen Produkten ist bei R-744 jedoch zusätzlich die Wirkung von Kälte und Druck zu beachten:

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. Denn das hochsensible menschliche Organ empfindet extreme Kälte ähnlich wie extreme Hitze. Die Haut reagiert deshalb auf Trockeneis ähnlich wie auf die „Begegnung“ mit einer heißen Herdplatte.

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

Im Umgang mit R-744 ist außerdem der vergleichsweise hohe Anlagen- und Flaschendruck zu berücksichtigen. Deshalb ist die Prüfung auf Druckfreiheit vor dem Öffnen einzelner Anlagenteile (Ventile, Rohrleitungen, Filter etc.) unabdingbar. Zwar gilt dieser Grundsatz generell für alle Kältemittel – Nachlässigkeiten können sich beim Einsatz von CO_2 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

So läuft's: 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 gibt es bei der Westfalen AG die passenden Gebinde:

Für kleinere Anlagen reicht bereits die 10 kg-Flasche. Dabei kann aufgrund der Druckunterschiede auf ein Tauchrohr-Ventil verzichtet werden. Bei größeren Systemen beschleunigt die Befüllung mit flüssigem R-744 den Füllprozess. Hierfür stellen wir zum Beispiel 33 Liter-Flaschen 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 ideal. 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.

Gebindegrößen für R-744.

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

für Großverbraucher im Tankwagen nach Bedarf



Praktische Größe:
Die 33 Liter-Flasche mit
Doppelanschluss-Ventil.

Qualität für Profis.

Die Qualitätsanforderungen an Kältemittel sind in Deutschland in der DIN 8960 festgeschrieben. Allerdings: R-744 suchen Sie in diesem Regelwerk vergeblich. Leider – denn damit kann praktisch jede Kohlendioxid-Qualität als R-744 angeboten werden. Dabei zeigt die Erfahrung, dass bereits geringste Verunreinigungen zu Störungen, Korrosion, Materialabtragungen oder Säurebildung führen können. Vor allem der Feuchtegehalt ist ein entscheidender Faktor: Wie viel Wasser darf R-744 enthalten? 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. Vor allem niedrig legierte Stähle reagieren darauf sehr empfindlich.

Die Westfalen AG hat einen internen Produktstandard festgelegt, der den Reinheitsgehalt für R-744 definiert und zugleich klare Grenzwerte für Fremdbestandteile setzt. Diese Westfalen-Spezifikation sichert die exzellente, einwandfreie, dokumentierbare und reproduzierbare Kältemittel-Qualität. Für Kältefachbetriebe ist das die Gewähr, jederzeit R-744 beziehen zu können, das uneingeschränkt für Kälteanlagen geeignet ist.

Sichern Sie Ihren Wissensvorsprung!

Gern stehen wir Ihnen bei weiteren Informationswünschen und zur Beantwortung von Detailfragen zum natürlichen Kältemittel R-744 zur Verfügung. Nutzen Sie unser Beratungsangebot!

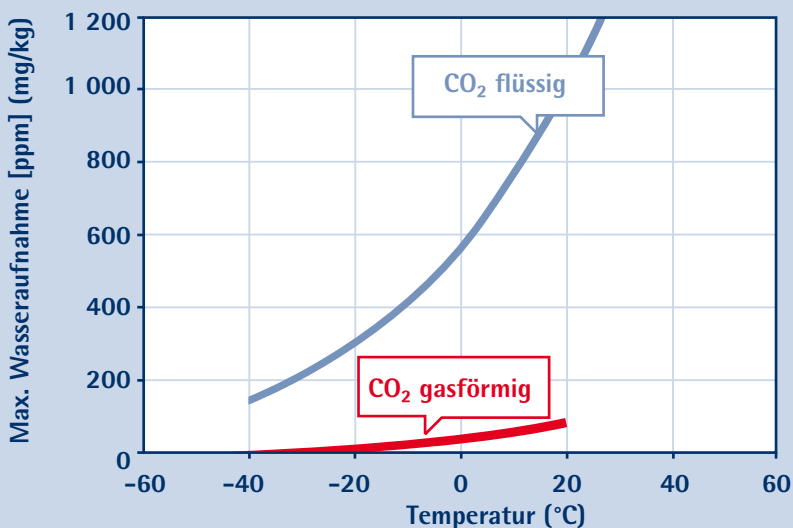
Noch mehr Know-how über Kältemittel vermitteln die bisher in der Reihe „Infos für Praktiker“ erschienenen Publikationen:

- Infos für Praktiker (1): Umgang mit zeotropen Kältemitteln.
- Infos für Praktiker (2): Sachgemäßer Umgang mit synthetischen Kältemitteln.
- Infos für Praktiker (3): Auf einen Blick: Die Kältemittelflaschen.
- Infos für Praktiker (4): Rücknahme und Aufarbeitung gebrauchter Kältemittel.
- Infos für Praktiker (5): Leitfaden für die Kältemittelauswahl.
- Infos für Praktiker (6): Die Bedeutung der Kältemittelkurzzeichen.

Wichtige Grundlagen über das Kältemittelsortiment der Westfalen AG, die Kältemittelaufarbeitung, Anwendungen und rechtliche Aspekte liefert darüber hinaus der Prospekt:

- Coole Konzepte: Zukunftsweisende Kältemittel.

Löslichkeit von Wasser in gasförmigem und flüssigem Kohlendioxid.





Westfalen AG

Technische Gase | Westfalengas | Tankstellen

Westfalen AG
Industrieweg 43
48155 Münster
Fon 02 51/6 95-4 55
Fax 02 51/6 95-6 73
www.westfalen-ag.de
info@westfalen-ag.de