



Westfalen

Info voor koudemiddelengebruikers 7



Natuurlijke koudemiddelen.

R-744 – Koolzuur.

R-744 - de belangrijkste eigenschappen op een rij.

Kooldioxide – koudemiddel met een verleden en een toekomst

Van een groot aantal synthetische koudemiddelen is bekend dat ze negatieve milieueffecten hebben. Zo hebben chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's/HCFK's) bijvoorbeeld een hoog ozonafbraakpotentieel (ODP – Ozone Depletion Potential). Anderzijds dragen chloorvrije synthetische koudemiddelen met een deels hoog aardopwarmingspotentieel (GWP – Global Warming Potential) bij aan de opwarming van de aarde.

Natuurlijke koudemiddelen zoals kooldioxide overtuigen vanwege hun geringe directe milieueffecten en door innovatieve koeltechnologieën, waardoor ze een haalbaar alternatief zijn. Al aan het eind van de 19e eeuw was kooldioxide (CO₂, R-744) een gebruikelijk koudemiddel. Vooral in de scheepskoeling won het als "veiligheidskoudemiddel" aan populariteit tegenover het wijdverspreide ammoniak. Met de ontwikkeling van synthetische CFK's nam de populariteit echter vanaf het midden van de 20e eeuw af. Maar: met het begin van de milieudiscussie in de koeltechnologie kwam R-744 langzaam weer in de focus van experts.

Een vergelijking van koudemiddelen: milieueffecten bij vrijkomen		
Product	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 (kooldioxide, CO ₂)	0	1

Chemische en fysische eigenschappen

Onbrandbaar

Kooldioxide is onbrandbaar, dooft vlammen en is daarom ook te gebruiken als brandblusmiddel.

Vergelijking van praktische grenswaarde en brandbaarheid		
Product	Praktische grenswaarde kg/m ³	Brandbaarheid LFL* kg/m ³
R-32	0,061	0,307
R-134a	0,25	n.v.t
R-290 (propan)	0,008	0,038
R-404A	0,52	n.v.t
R-410A	0,44	n.v.t
R-717 (ammoniak)	0,00035	0,116
R-744 (kooldioxide)	0,1	n.v.t

* Lower Flammability Limit = onderste explosiegrens
Bron: DIN EN 378-1:2017-03

Reactie met andere stoffen

Kooldioxide reageert met andere stoffen, waaronder ammoniak. Vooral bij de planning en opstelling van CO₂-NH₃-cascadekoelsystemen moet hier rekening mee gehouden worden, omdat in een cascadewarmtewisselaar het onder hoge druk staande kooldioxide zich in geval van lekkage mengt met de ammoniak. Het ammoniumcarbonaat dat daarbij ontstaat – ook wel bekend als hertschoornzout – kan tot onherstelbare schade aan het systeem leiden. Kooldioxide en water verbinden zich daarentegen tot koolzuur (H₂CO₃), dat een corrosief effect heeft op koolstofstaal (compressorhuis) en sommige non-ferrometalen.

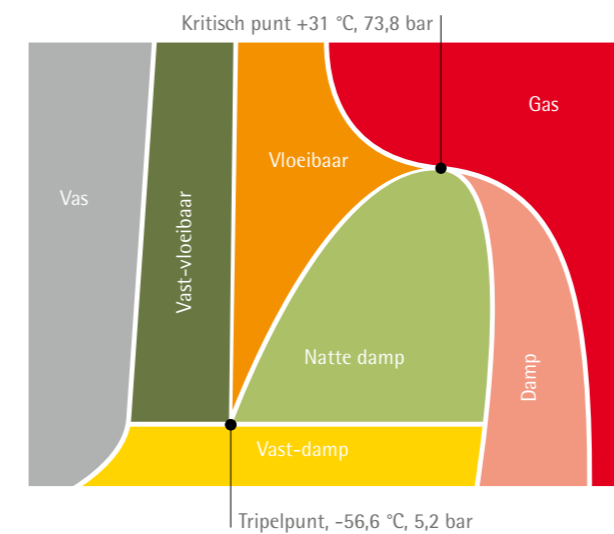
Gewicht

Kooldioxide is ongeveer 1,5 keer zo zwaar dan lucht. Als het ongecontroleerd ontsnapt, stroomt het in dieper gelegen ruimtes, zoals kelders, kisten of lichtkokers. Hoge concentraties kunnen bij een geringe luchtbeweging gevaarlijk zijn vanwege het verstikkende effect.

Aggregatietoestanden

De van druk en temperatuur afhankelijke aggregatietoestanden spelen een belangrijke rol – vooral het tripelpunt en het kritische punt zijn belangrijk voor de koeltechniek: boven de kritische temperatuur kan CO₂ niet meer vloeibaar gemaakt worden, onder de druk op het tripelpunt is het of vast of gasvormig.

Log-p-h-diagram voor kooldioxide (R-744), opsplitsing van de toestanden



Als vloeibare kooldioxide ontsnapt, is het onderhevig aan atmosferische druk en wordt het onmiddellijk omgezet in gas en droogijs. Het sublimatiepunt – dus de overgang van vaste naar gasvormige aggregatietoestand – ligt bij -79 °C. Bij huidcontact kunnen dergelijke lage temperaturen zware verbrandingen veroorzaken. Ook al ziet droogijs eruit als

eetbaar ijs: het is absoluut niet geschikt om te eten of als vervanging voor ijsblokjes. De lage temperatuur en de door verdamping ontstane druk kunnen onherstelbare schade aan organen veroorzaken.

Viscositeit

In thermodynamisch opzicht wordt kooldioxide gekenmerkt door een lage viscositeit en goede warmteoverdrachtswaarden. Echter, vooral de volumetrische koelcapaciteit is door de hoge druk niet te overtreffen.

Specifieke warmteafvoer h in kJ/kg bij verdampingstemperatuur t ₀ en specifiek volume v in dm ³ /kg bij 10 K oververhitting				
	R-134a	R-404A	R-717	R-744
h bij t ₀ = -35°C	220,1	195,4	1.372,6	312,7
v bij t ₀ = -25°C	295,0	121,6	1.272,4	34,1

Als bijvoorbeeld 1 kilogram R-744 verdampt in een vriezer, dan kan deze kilogram 312,7 kJ warmte afvoeren. Als dit dan gasvormige koudemiddel met 10 K bij gelijke druk wordt oververhit, is deze hoeveelheid warmte aanwezig in 34,1 liter gas. Bovendien zijn de compressor en aanzuigleiding veel kleiner dan bij andere koudemiddelen.

Vergelijking van kritisch punt en tripelpunt				
	R-134a	R-404A	R-717	R-744
Brandbaar of explosief	nee	nee	ja	nee
Giftig	nee	nee	ja	nee
Natuurlijk	nee	nee	ja	ja
Kritisch punt	bar 40,7	37,3	113	73,8
°C	101	72	132	31
Tripelpunt	bar 0,004	0,028	0,06	5,2
°C	-103	-100	-77,7	-56,6

Niet giftig, geur-, kleur- en smaakloos

Kooldioxide is niet giftig. In de koeltechniek behoort R-744 conform DIN EN 378 tot veiligheidsgroep A1, dus "gering toxisch" en "niet brandbaar". Ongeveer 0,03 volumeprocent bevindt zich al in de omgevingslucht. Omdat het geur-, kleur- en smaakloos is, is kooldioxide praktisch niet waarneembaar. De grenswaarde van kooldioxide voor werkplekken is 5.000 ml/m³ (ppm) of 0,5 volumeprocent. Voor koelsystemen met R-744 draagt de praktische grenswaarde conform DIN EN 378 0,1 kg/m³.

Voorbeeld:

Het vrijkomen van 50 kg koolstofdioxide in een ruimte van 10 x 10 x 2,50 m levert een CO₂-concentratie van ongeveer 11 volumeprocent op. Dit zou levensgevaarlijk zijn. Conform de in DIN EN 378 vastgelegde grenswaarde mag de capaciteit van het systeem in deze ruimte maximaal 25 kg zijn:

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

Dat is minder dan in vergelijkbare systemen met synthetische koudemiddelen.

De werking van druk

Bij de omgang met R-744 moet rekening worden gehouden met de relatief hoge systeem- en cilinderdruk. Daarom moet voor het openen van afzonderlijke systeemonderdelen (afsluiters, pijpleidingen, filters, enz.) absoluut gecontroleerd worden of deze drukloos zijn. Hoewel dit principe in het algemeen voor alle koudemiddelen geldt, kan nalatigheid een veel grotere impact hebben bij het gebruik van CO₂.

Vergelijking van dampdruk bij kooktemperaturen (BP = Bubble Point)					
Product	Druk in bar bij				
	-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	trans-kritisch

Dat R-744 bij dezelfde temperaturen een hogere druk realiseert dan andere koudemiddelen is algemeen bekend. Van groter belang voor de praktijk is het feit dat bij hetzelfde temperatuurverschil de bijbehorende kookdrukverschillen aanzienlijk groter zijn. Zo is bij R-134a bij een temperatuurschommeling tussen -10 °C en 0 °C slechts een verhoging/verlaging van de druk van minder dan 1 bar te zien, terwijl deze bij R-744 meer dan 8 bar is.

Voor een veilige omgang in de praktijk.

Ingebruikname van R-744-systemen

Voor de ingebruikname van R-744-systemen gelden in principe dezelfde regels als bij het gebruik van andere koudemiddelen. Daartoe behoren:

- Druksterktecontrole
- Dichtheidscontrole
- Functie- en veiligheidscontrole
- Conformiteitscontrole

Na het evacueren volgt het vullen met R-744. Voor elk systeem bieden wij geschikte cilinderformaten: voor kleinere systemen of voor reparaties zijn de cilinders van 10 kg voldoende;

voor grotere systemen leveren wij bijvoorbeeld cilinders van 33 liter, eventueel met afsluiter met dubbele aansluiting. Dankzij deze afsluiter kan R-744 aanvankelijk gasvormig worden afgetapt om zo het systeem op een druk boven het tripelpunt te brengen. Daarna kan het kooldioxide vloeibaar gevuld worden. Dit voorkomt de vorming van droogijs. Let op: bij het aftappen van vloeibare kooldioxide mag geen reduceertoestel gebruikt worden!

Voor het vullen van zeer grote koelsystemen zijn bundels van twaalf cilinders met elk een nominaal volume van 50 liter geschikt. Om ook hier de vorming van ijs te voorkomen, raden wij aan om ongeveer een derde van de benodigde hoeveelheid kooldioxide in cilinders zonder dompelbuis (voor het aftappen in gasvormige toestand) te bestellen en hiermee eerst het systeem te vullen. Houd er rekening mee dat alle cilinders van Westfalen met een terugslagklep zijn uitgerust. Dat is noodzakelijk om te voorkomen dat het koudemiddel terug in de cilinder stroomt, wat afhankelijk van de systeemdruk mogelijk is. Zodoende wordt het gevaar van een te volle cilinder en verontreiniging met machineolie voorkomen. Vooral bij het aftappen in vloeibare toestand moet erop gelet worden dat er geen vloeibaar

koudemiddel in de vulleiding terecht komt. Daarom moet bij onderbreking van het vulproces niet de afsluiter van het systeem afgesloten worden, maar altijd de afsluiter van de cilinder. Zo kan bij warmtetoever in de vulleiding de ontstane druk naar het systeem wegstromen.

Cilindergrootten voor R-744		
Inhoud ruimte (l)	Vulgewicht (kg)	Afsluiter
13,4 4 aluminium	10	Afsluiter met dubbele aansluiting
33	25	Afsluiter met dubbele aansluiting
50	37,5	Met of zonder stijgbuis of afsluiter met dubbele aansluiting
12 x 50 (Bündel)	450	Met stijgbuis
Voor grootverbruikers in tankwagens, naar behoefte		



De cilinder van 33 liter met afsluiter met dubbele aansluiting.

Voor een veilige omgang in de praktijk.

Onderhoud en reparatie

Bij het vullen van nieuwe systemen mag de druk aan de lagedrukzijde niet hoger zijn dan de druk in de cilinder. Deze is bij bestaande systemen anders en daarom moet hier bij onderhouds- en reparatiewerkzaamheden rekening mee gehouden worden. Hier is het gebruik van geschikte reduceertoestellen aan te raden, vooral als de maximaal toegestane overdruk van het systeem aanzienlijk onder de mogelijke cilinderdruk ligt. Deze is net als bij andere koudemiddelen temperatuurafhankelijk.

Bepalend is het regelbereik, omdat gangbare reduceertoestellen met een bereik tussen 0 en 20 bar al zeer snel hun grenzen bereiken: al bij een verdampingstemperatuur van -10 °C kan een dergelijk systeem de druk in het koelsysteem niet meer aan. Er heerst een nog hogere druk in systemen die langere tijd niet gebruikt zijn. Het gebruik van een daarop afgestemd reduceertoestel is hier absoluut noodzakelijk. Wij raden een aftapsysteem aan met een regelbereik tussen 0 en 40 bar.

Temperatuur-druk-tabel									
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

De maximaal toegestane druk is afhankelijk van de circuitvariant: gaat het om een pompsysteem met deels verdampte kooldioxide (brinesysteem), om een cascadesysteem of om een systeem in het transkritische proces? De temperatuur-druk-tabel laat bijvoorbeeld zien dat in cascadesystemen met een CO₂-condensatietemperatuur van -10 °C (druk 26,5 bar) volledig vloeibaar R-744 bij een omgevingstemperatuur van 20 °C (druk 57,24 bar) kan worden gevuld.

CO₂-cilinders mogen niet op systeemonderdelen met een hogere druk dan die in de gascilinder worden aangesloten.

Het is vooral belangrijk om voor het openen van de afsluiters de systeemdruk te bepalen en deze in de gaten te houden. De drukcondities in het transkritische proces kunnen immers gemakkelijk 100 bar of meer zijn.

Wat u alleen bij ons krijgt.

Koudemiddel van de hoogste kwaliteit

De ervaring leert dat zelfs de minste vervuiling in het systeem al kan leiden tot storingen, corrosie, materiaalafbraak of zuurvorming. Vooral het vochtgehalte is een beslissende factor: het is bekend dat een te hoog gehalte tot ijsvorming kan leiden. Daarnaast ontstaat vooral op plaatsen met een hoge stroming zoals in kleppen of pompen zogenaamd hydraat. Deze vaste stof kan de doorstroom blokkeren. Bovendien bevordert vocht in kooldioxide zuurvorming. Met name laaggelegeerde staalsoorten zijn hier erg gevoelig voor.

De internationale norm voor koudemiddelen AHRI 700 staat een maximaal watergehalte van 10 mg water per kg R-744 toe. De kwaliteit van de koudemiddelen van Westfalen is met maximaal 5 vol.-ppm beter.

Laat u persoonlijk adviseren.

Onze koudemiddelexperts ondersteunen u graag direct ter plaatse om samen met u de meest veilige en gunstige oplossing voor uw toepassing te ontwikkelen.



Meer informatie vindt u op westfalen.com





Westfalen

Gassen | Energievoorziening | Tankstations

Westfalen Austria GmbH

Aumühlweg 21/Top 323
2544 Leobersdorf
Oostenrijk
Tel. +43 2256 63630
Fax +43 2256 63630-330
www.westfalen.at
info@westfalen.at

Westfalen BVBA-SPRL

Watermolenstraat 11
9320 Aalst/Alost
België
Tel. +32 53 641070
Fax +32 53 673907
www.westfalen.be
info@westfalen.be

Westfalen Gas s.r.o.

Chebská 545/13
322 00 Plzeň 5 – Křimice
Tsjechische Republiek
Tel. +420 379 420-042
Fax +420 379 420-032
www.westfalen.cz
info@westfalen.cz

Westfalen France S.A.R.L.

Parc d'Activités Belle Fontaine
57780 Rosselange
Frankrijk
Tel. +33 387 501040
Fax +33 387 501041
www.westfalen-france.fr
info@westfalen-france.fr

Westfalen Gas Schweiz GmbH

Sisslerstr. 11
5074 Eiken AG
Zwitserland
Tel. +41 61 8552525
Fax +41 61 8552526
www.westfalen.ch
info@westfalen.ch

Westfalen Gassen Nederland BV

Postbus 779
7400 AT Deventer
Nederland
Tel. +31 570 636745
Fax +31 570 630088
www.westfalengassen.nl
info@westfalengassen.nl

Westfalen AG

Industrieweg 43
48155 Münster
Duitsland
Tel. +49 251 695-0
Fax +49 251 695-194
www.westfalen.com
info@westfalen.com

Westfalen Medical BV

Rigastraat 14
7418 EW Deventer
Nederland
Tel. +31 570 858450
Fax +31 570 858451
www.westfalenmedical.nl
info@westfalenmedical.nl