



VERGLEICH VON KOHLENSTOFFDIOXID „CO₂ R744“ UND AMMONIAK „NH₃ R717“

1. Sicherheit

1.1. Raumbelüftung

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH ₃ Ammoniak R717
Raumluft über dem Boden absaugen, Frischluft an Decke einbringen	2/3 Raumabluft an Decke absaugen, 1/3 Raumabluft über Boden absaugen (wegen möglichem Flüssigkeitsaustritt mit daraus folgendem, sehr kaltem Ammoniakdampf)

1.2. Raumüberwachung

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH ₃ Ammoniak R717
Gemäss EN 378 ist Gaswarnung in Maschinenräumen erforderlich, wenn die CO ₂ Füllmenge grösser ist als der Grenzwert von 0.1 kg CO ₂ /m ³ Raumvolumen oder bei Füllmengen > 25 kg	Gemäss EN 378 ist Gaswarnung in Maschinenräumen erforderlich bei Füllmengen > 50 kg
CO ₂ Sensor Standort nahe am Boden (sowohl in Maschinenräumen wie auch in anderen Räumen, wie Kühlräume, Verkaufsräume mit CO ₂ Kühlgeräten)	NH ₃ Sensor Standort in Maschinenräumen an Decke und bei Flüssigbehältern unterhalb des Behälters oder in Pumpensumpfruben
	NH ₃ Sensor Standort in Arbeitsräumen auf Kopfhöhe bis Decke

1.3. Warnwirkung

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH ₃ Ammoniak R717
CO ₂ wird in der Raumluft erst bei gefährlich hohen Konzentrationen wahrgenommen	NH ₃ wird bei Konzentrationen die weit unter der Gefahrenschwelle sind wahrgenommen. Wahrnehmungsschwelle bei ca. 5 ppm

2. Vorschriften

2.1. Füllmengen

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
A1	Sicherheitsgruppe nach EN 378	B2
2	Fluidgruppe nach DGRL	1
keine	Bewilligungspflicht	Störfallverordnung (CH) ab 2000 kg Inhalt, BImSchG (D) ab 3'000 kg. TRAS 110 ab 3'000 kg
Keine Bewilligungspflicht	Chem RRV	Keine Bewilligungspflicht
Keine Meldepflicht	Meldepflicht BAFU	Keine Meldepflicht



3. Einfluss auf Menschen

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
Fast geruchslos, resp. schwach säuerlich	Geruch	Charakteristisch stechend
Ab ca. 2 - 3 Vol % {37'000 – 56'000 ppm [mg/m ³]} wahrnehmbar Prickeln in der Nase	Wahrnehmungsgrenze	5 ppm [mg/m ³] {0.0007 Vol %}
<ul style="list-style-type: none"> • 1 – 2 Vol.% {19'000 – 37'000 ppm} keine Gefährdung • 2 – 4 Vol.% {37'000 – 74'000 ppm} Verstärkte Atmung, erhöhte Pulsfrequenz • 4 – 8 Vol.% {74'000 – 148'000 ppm} Kopfschmerzen, Schwindel, Brechreiz, Ohrensausen • 8 – 10 Vol.% {148'000–185'000 ppm} Krämpfe, Bewusstlosigkeit, Tod durch Atemstillstand • Über 10 Vol.% {185'000 ppm} schnelle Lähmung der lebens- wichtigen Zentren, tödlich 	Gesundheitsgefährdung	<ul style="list-style-type: none"> • 250 ppm {0.035 Vol %} Belästigungsschwelle • 500 – 1000 ppm {0.07 – 0.14 Vol %} Erträglichkeitsgrenze • 2500 ppm {0.35 Vol %} Vergiftungserscheinungen • >5000 ppm {0.7 Vol %} Tödliche Konzentration
9100 ppm [mg/m ³], (0.5 Vol %)	AGW- vormals MAK - Wert	20 ppm ppm [mg/m ³], {0.007 Vol %}

4. Umwelteinfluss

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
1	GWP, Treibhauspotential	0
0	ODP, Ozonabbaupotential	0
Weniger günstig (stark abhängig von Klimazone)	TEWI, Gesamttreibhausbelastung	Günstig
Ungiftig bis ca. 4 Vol%	Giftigkeit	giftig
Nicht explosiv	Explosionsgefahr	Explosiv Explosionsgrenze 15 – 34 Vol.%



5. Physikalische und Thermodynamische Daten

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
-78.4 °C (Sublimationspunkt, CO ₂ verwandelt sich direkt von Trockeneis in CO ₂ Gas)	Siedetemperatur bei Atmosphärendruck (1013 mbar)	-33.3 °C
64 bar	Druck bei Umgebungstemperatur (25 °C)	10 bar
44.01 kg/kmol	Molmasse	17.03 kg/kmol
31.06 °C	Kritische Temperatur	132.35 °C
73.8 bar	Kritischer Druck	113.53 bar
< 5.2 bar, -56.6°C (Gefahr von Trockeneisbildung)	Tripelpunkt	-77.9 °C
-	Zündtemperatur	650 °C
38 Jahre	Halbwertszeit in der Atmosphäre	14 Tage
0.04 Vol %	Konzentration in der Atmosphäre	Nicht feststellbar
Schwerer als Luft, $\gamma = \text{ca. } 1.85 \text{ kg/m}^3$ Sinkt in der Umgebungsluft ab (hohe Konzentration am Boden)	Verhalten gegenüber Umgebungsluft (bei 15°C, 1 bar) $\gamma_{\text{Luft}} = \text{ca. } 1.225 \text{ kg/m}^3$	Leichter als Luft, $\gamma = \text{ca. } 0.71 \text{ kg/m}^3$ steigt in der Umgebungsluft auf (hohe Konzentration an der Decke) (dies gilt bei einer rel. Feuchte $\leq 50\%$)

6. Spezielle Eigenschaften

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
Geringe Wasseraufnahmefähigkeit	Wasseraufnahme	Stark hygroskopisch (starke Wasseraufnahmefähigkeit)
Gute Löslichkeit in Wasser (Bildung von Kohlensäure) Ca. 2g/Liter Wasser bei 20 °C	Löslichkeit in Wasser	Sehr gute Löslichkeit in Wasser (Bildung von Ammoniakwasser, Salmiakgeist) Ca. 0.52 kg NH ₃ /kg Wasser bei 20 °C
Sehr hoch ca. 18'400 kJ/m ³	Volumetrische Kälteleistung -10°C	Hoch ca. 3'100 kJ/m ³
Gering 260 kJ/kg	Verdampfungsenthalpie bei -10°C	Sehr hoch ca. 1'300 kJ/kg
Sehr hoch (45 %, -40 auf +20°C)	Ausdehnung des flüssigen Kältemittels bei Erwärmung	Eher gering (13%, -40 auf +20°C)
<p>Verträglichkeit von Ammoniak und Kohlendioxid</p> <p>Treffen Ammoniak und Kohlendioxid in geschlossenen Kältesystemen zusammen entsteht eine heftige chemische Reaktion. Das Reaktionsprodukt ist Ammoniumcarbamat, welches sich an der Leckstelle bildet und sich als weisses Pulver, in Form eines ziemlich festen Belags an Oberflächen niederschlägt. Dies kann bei Anlagen mit Kaskadenwärmetauschern zu einem totalen Ausfall des Systems führen</p>		



7. Materialien

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
Bei kleineren Anlagen kann das einfach zu verarbeitende Kupferrohr eingesetzt werden. Für grössere Anlagen ist normaler Stahl oder Edelstahl geeignet. Bei transkritischem Betrieb, in Funktion der Nennweite, Edelstahl erforderlich	Rohrleitungen	Für alle Anlagengrössen ist normaler Stahl bestens geeignet. Bei Leitungen mit häufig und stark ändernden Temperaturen ist Edelstahl vorzuziehen (z.B. Abtauleitungen). Kupferleitungen oder andere Buntmetalleitungen sind nicht geeignet
Alle Metalle sind geeignet (Buntmetall, Alu, Stahl, Edelstahl)	Armaturen, Ventile	Stahl, Edelstahl, Grauguss, Stahlguss (Je nach Druck oder Temperatureinsatz kann es Beschränkungen geben)
PTFE, PCTFE, PA, PE, PP, ALU	Dichtungen	PTFE, PCTFE, PA, PE, PP, ALU
Kupfer, Buntmetall, Alu, Stahl, Edelstahl	Wärmetauscher	Edelstahl, Stahl
Reinheitsklasse N 4.5 oder vergleichbar Reinheit min. 99.9 % (Masse) Wassergehalt max. 5 ppm (Masse)	Anforderung an die Reinheit von Kältemittel	Reinheit min. 99.95 % (Masse) Wassergehalt max. 400 ppm (Masse)

8. Schmierstoffe

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
Ester Öle (POE) → gut geeignet, PAO → nur begrenzt geeignet Mineralöle → ungeeignet	Kältemaschinenöl	Mineralöl, PAO → gut geeignet Synthetische Öle → gut geeignet Ester Öle → ungeeignet

9. Kosten

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
Ca. 2 bis 6 Fr/kg (je nach bezogener Menge)	Kältemittel	Ca. 3 bis 9 Fr/kg (je nach bezogener Menge)
Über Anlagekosten kann keine generelle Aussage gemacht werden, weil verschiedene Faktoren, wie Temperaturniveaus, Anlagegrösse und Anlagentyp einen grossen Einfluss auf den Preis haben und diesen sowohl positiv wie negativ beeinflussen können	Anlagekosten	Über Anlagekosten kann keine generelle Aussage gemacht werden, weil verschiedene Faktoren, wie Temperaturniveaus, Anlagegrösse und Anlagentyp einen grossen Einfluss auf den Preis haben und diesen sowohl positiv wie negativ beeinflussen können



10. Vorteile / Nachteile

10.1. Vorteile

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
Ungiftig bis ca. 4 Vol%		Feuchtigkeit im Kältesystem ist wenig kritisch
Nicht explosiv		Lecksuche einfach
ODP = 0		ODP = 0
GWP = 1		GPP = 0
Preisgünstig und gut verfügbar		Preisgünstig
Kein Recycling notwendig		Gute Warnwirkung bei Austritt
Gute Wärmeübertragungseigenschaften		Seit über 120 Jahren erfolgreich im Einsatz
Kleines Druckverhältnis der Verdichter, besserer Verdichtereffizienzgrad		Hohe Energieeffizienz
Für Wärmepumpen mit hohem Temperaturhub auf der Abgabeseite vorzüglich geeignet (Brauchwarmwassererwärmung, Speisewassererwärmung für Dampferzeuger)		
Gute Drucklage auf Verdampferseite, d.h. nie Unterdruck, kein Eindringen von Feuchtigkeit und Fremdgase bei einer Leckage		
Für eine bestimmte Leistung können, im Vergleich zu NH ₃ wesentlich kleinere Verdichter eingesetzt werden (geringere Verdichtervolumen notwendig), insbesondere bei Tiefkühlanlagen (-30 bis -50°C)		
Die Leitungsquerschnitte sind wesentlich geringer als bei gleichen Anlagen mit NH ₃		

**10.2. Nachteile**

CO₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH₃ Ammoniak R717
Giftig ab ca. 4 Vol. %		Giftig
Absicherung mit Sicherheitsventilen notwendig		Explosiv bei sehr hohen Konzentrationen, aber grosse Zündenergie notwendig
Kondensation ist nur bis ca. +25°C möglich. Darüber ist ein transkritischer Prozess notwendig		Gefahrenpotential bei unsachgemäsem Umgang mit NH ₃ – Anlagen, d.h. erfordert gut geschultes Unterhaltspersonal
Mögliche Trockeneisbildung bei der Expansion unter 5,2 bar		
Feuchtigkeit im Kältesystem ist sehr kritisch		
Hohe Ausdehnung des flüssigen CO ₂ bei Erwärmung		
Keine Warnwirkung bei zu hoher CO ₂ – Konzentration in der Atemluft		
Gesundheitsgefährdung bei zu hoher CO ₂ – Konzentration in der Atemluft		Gesundheitsgefährdung bei zu hoher NH ₃ – Konzentration in der Atemluft
Lecksuche schwierig		
Hoher Stillstands Druck (63,3 bar bei +25 °C)		

11. Einsatzgebiete, Anwendungen**11.1. Allgemein**

CO₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH₃ Ammoniak R717
Ca. -56°C (Tripelpunkt -56.56°C)	Tiefste Verdampfungstemperatur	Ca. -75°C (begrenzt durch tiefen Druck und grosses Gasvolumen)
unter + 31 °C Kondensation (unterkritisch) über +31°C Gaskühlung (transkritisch)	Höchste Kondensationstemperatur	Ca. +90 °C (Begrenzung durch Verdichter Konstruktion, Maximaldruck)
Sehr gut geeignet für Tiefkühlanlagen -30 bis -45 °C als Kaskadenanlage	Einsatzbereich	Einsatz im gesamten Anwendungsbereich von ca. -60°C Tiefkühlung bis ca. +80°C als Wärmepumpe
Sehr gut geeignet als verdampfender Kälte­träger in Temperaturbereichen von ca. 0 bis -45 °C	Einsatzbereich	Geeignet für grosse Kälteleistungen
Bei Wärmeabgabe mit Umgebungstemperatur höher als 20°C ist transkritischer Betrieb notwendig (hohe Drücke bis 150 Bar)		

**11.2. Als Kältemittel bei Pluskühlung $\geq 0^\circ\text{C}$**

CO₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH₃ Ammoniak R717
Unterkritischer Betrieb nur möglich bei Umgebungstemperaturen welche 20°C nicht überschreiten	NH ₃ kann im Pluskühlbereich uneingeschränkt angewendet werden. Die COP Werte sind gut
Bei Umgebungstemperaturen $> 20^\circ\text{C}$ ist der Prozess transkritisch, was sehr hohe Drücke und entsprechend schlechtere COP zur Folge hat	
Bei variablen Umgebungstemperaturen (Sommer/Winter, Tag/Nacht) kann jeweils zwischen den beiden Betriebsarten umgeschaltet werden. Dies bedeutet ein erhöhter technischer Aufwand, hat aber bessere COP Werte zur Folge	

11.3. Als Kältemittel bei Tiefkühlung $\leq -20^\circ\text{C}$

CO₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH₃ Ammoniak R717
CO ₂ ist gut geeignet als Tieftemperatur Kältemittel in der unteren Stufe von Kaskadenanlagen. Durch die hohe Gasdichte ergeben sich kleine Komponenten (Verdichter, Rohrleitungen und Armaturen). Der COP Wert ist besser als bei NH ₃ Anlagen	Für tiefe Verdampfungstemperaturen ist NH ₃ weniger geeignet. Die Gründe liegen in der geringen Gasdichte, was grosse Saugvolumen der Verdichter erfordert und in der niedrigen Drucklage, was unter -33°C Vakuum bedeutet
Transkritische Anlagen sind grundsätzlich auch möglich, sind aber 2 – stufig auszuführen und werden dadurch aufwendig, mit entsprechend schlechterem COP	

11.4. Als Kältemittel in Wärmepumpen

CO₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH₃ Ammoniak R717
CO ₂ eignet sich in Wärmepumpen mit transkritischem Prozess insbesondere zur Brauchwasser- oder Speiswasser- Erwärmung (Dampferzeugung). Massgebend für den guten COP ist dabei der Grad der Wassererwärmung, d.h. je grösser die Wassererwärmung ist, umso tiefer liegt die Gaskühler – Austrittstemperatur, was sich positiv auf den COP auswirkt.	NH ₃ eignet sich als Kältemittel für Wärmepumpen in einem grossen Anwendungsbereich.
Für Wärmepumpen mit geringer Warmwassererwärmung (z.B. Gebäudeheizung) ist CO ₂ im transkritischen Prozess schlecht geeignet, weil der COP durch die hohe Gaskühler- austrittstemperatur negativ beeinflusst wird.	Sehr günstige COP-Werte liefert eine NH ₃ Wärmepumpe wenn sie die NH ₃ Sauggase direkt von der Druckseite einer Kälteanlage bezieht. Diese Technik erhöht aber den Komplexitätsgrad einer Anlage wesentlich.



11.5. Als Kälte-träger

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH ₃ Ammoniak R717
<p>CO₂ kann sehr gut als verdampfender Kälte-träger in Kältesystemen mit Temperaturen von ca. -30 bis +10°C eingesetzt werden.</p> <p>Gegenüber konventionellen Kälte-träger (Glycol etc.) ergeben sich geringere Rohrquerschnitte und Pumpenleistungen.</p> <p>Ein grosser Vorteil ist auch, dass das flüssige CO₂ während der ganzen Wärmeübertragung die gleich tiefe Temperatur hat.</p> <p>Einziger Nachteil ist die hohe Drucklage im Betrieb und der hohe Stillstandsdruck.</p>	<p>Reines NH₃ wird wegen seiner Giftigkeit und Explosionsgefahr nicht als Kälte-träger eingesetzt</p>
	<p>Ammoniakwasser oder Salmiakgeist eignen sich wegen der tiefen Viskosität (dünnflüssig) hervorragend als Kälte-träger für tiefere Temperaturen. Dadurch ergeben sich geringe Pumpenleistungen und gute Wärmeübertragungswerte in den Wärmetauschern. Nachteilig ist, dass bei einer Leckage Ammoniak in die Umgebungsluft gelangen kann, mit möglicher Personengefährdung und dass im System keine Buntmetalle eingesetzt werden können (günstige Armaturen)</p>

12. Äquivalente Rohrdurchmesser

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744		NH ₃ Ammoniak R717
Ca. 70 m ³ /h	Verdichter Saugvolumen bei 125 kW, -35/-5°C	Ca. 440 m ³ /h
42.1 mm	Saugleitungsdurchmesser bei 125 kW, -35/-5°C	112.6 mm
29.8 mm	Druckleitungsdurchmesser bei 125 kW, -35/-5°C	71.4 mm
31.3 mm	Flüssigkeitsleitungsdurchmesser bei 125 kW, -35/-5°C	17.8 mm
100 % (z.B. 29 cm ²)	Prozentualer Vergleich der Leitungsquerschnitte für Saugleitung, Flüssigkeitsleitung und Druckleitung zusammen	Ca. 500 % (z.B. 143 cm ²)



13. Lecksuche

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH ₃ Ammoniak R717
Druckprobe und Abseifen	Druckprobe und Abseifen
Lecksuche mittels störungsanfälligen, elektronischen Lecksuchgeräten	Kleine Leckagen können noch mit der Nase festgestellt werden
	Lecksuche mittels Schwefelgas aus Flasche oder Schwefelschnitten (Beim Zusammentreffen von Schwefelgas und geringer Ammoniakmenge bildet sich gut sichtbarer Nebel)

14. Herstellung

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH ₃ Ammoniak R717
Industrielle Herstellung mittels verschiedener chemischen Prozessen	Industrielle Herstellung mittels verschiedener chemischen Prozessen

15. Entsorgung

CO ₂ Kohlenstoffdioxid R744	NH ₃ Ammoniak R717
Übliche Entsorgung durch Ablassen in Atmosphäre. CO ₂ kann ohne spezielle Hochdruckverdichter nicht mehr in Flaschen zurückgebracht werden.	Entsorgung mittels Recycling Behälter und bei ausreichender Reinheit (Wassergehalt, Restöl und andere Verunreinigungen) Wiederverwendung in anderen Anlagen
Abfüllen mittels Hochdruckverdichter und Kondensationseinheit in Recycling Flaschen. Bei ausreichender Reinheit (Wassergehalt, Restöl und andere Verunreinigungen) Wiederverwendung in anderen Anlagen	Entsorgung mittels Recycling Behälter und Verbrennung in speziellem Verbrennungssofen bei Entsorgungsfirma
	Kleinere, besonders gasförmige Mengen können in Wasser gelöst werden. Neutralisierung des Wassers oder Entsorgung in ARA
	Sehr kleine Mengen (Inhalt von Ventilstationen etc.) können dosiert an die Aussenluft abgegeben werden
	Grössere Mengen können vor Ort mittels eines speziellen Verbrennungssofen verbrannt werden