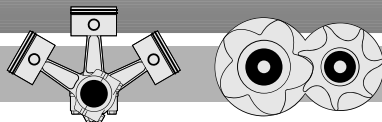


Technische Information Technical Information Information Technique



KT-640-2

Einsatz von Ammoniak (NH₃) als Alternativ-Kältemittel

Inhalt

1. Stand der Entwicklung
2. Eigenschaften von NH₃ – resultierende System- und Ausführungskriterien
3. Verdichtertechnik
4. Schmierstoffe und deren Einfluß auf die Systemausführung

1. Stand der Entwicklung

Relativ einfache Anlagentechnik, Einsatzmöglichkeiten halbhermetischer und hermetischer Verdichter sowie geringe Sicherheitsauflagen bei (H)FCKWs führten in den vergangenen 30 Jahren zu einer dominierenden Stellung dieser Kältemittel in allen Bereichen der gewerblichen Kälte- und Klimatechnik. Ammoniak verlor in diesem Marktsegment immer mehr an Bedeutung.

Mit der zunehmenden Umweltdiskussion rücken NH₃-Systeme neuerdings wieder in den Vordergrund. NH₃ (R717) hat weder Ozonabbaupotential noch Treibhauseffekt – bei gleichzeitig günstigen thermodynamischen Eigenschaften und niedrigem Energiebedarf. Es ist zudem konkurrenzlos billig und weltweit verfügbar. Nachteilig sind allerdings die Brennbarkeit und eine hohe Toxizität, die besondere Sicherheitsvorschriften für den Bau und Betrieb solcher Anlagen erfordern. Zudem bedingen die äußerst hohe Druckgastemperatur und wesentliche Einschränkungen in der Materialverträglichkeit eine spezielle Verdichter- und Anlagentechnik.

Aufgrund dieser besonderen Anforderungen lag der bevorzugte Anwendungsbereich von NH₃ bisher bei industriellen Kälteanlagen. Inzwischen werden große Anstrengungen unternommen, um einfache und preiswerte Systeme zu entwickeln, die sich auch im Gewerbebereich wirtschaftlich, sicher und mit geringem Serviceaufwand einsetzen lassen.

Derartige Anlagen sind ökologisch vorteilhaft und genießen allgemein eine hohe Akzeptanz. Allerdings stehen sie in direktem Wettbewerb zu Systemen mit chlorfreien HFKW-Kältemitteln und Kohlenwasserstoffen, die weitgehend in der von (H)FCKWs bekannten Technik ausgeführt werden können.

Application of Ammonia (NH₃) as an alternative refrigerant

Contents

1. State of development
2. Characteristics of NH₃ – resulting system and design criteria
3. Compressor technology
4. Lubricants and their influence on the system design

1. State of development

The relatively simple plant technology, possibilities to use accessible hermetic and hermetic compressors and also the low requirements of the safety regulations with (H)CFC's led in the last 30 years to a dominating position of these refrigerants in all areas of commercial refrigeration and air conditioning. Ammonia increasingly lost in significance in this market sector.

With increasing environmental discussion however NH₃ systems are recently returning to the front. NH₃ (R717) does not have an ozone depletion potential nor a global warming effect, at the same time it has favourable thermodynamic properties and a low energy requirement. It is in addition incomparably cheap and is available world-wide. The flammability and high toxicity are however disadvantages which require special safety regulations for the construction and operation of such plants. The very high discharge gas temperature and limited material compatibility lead additionally to special compressor and plant technology.

Due to these special demands the preferred application area for NH₃ was previously in the field of industrial refrigeration plants. In the mean time great efforts are being made to develop simple and favourably priced systems which can also be efficiently and safely applied in the commercial area with a minimum maintenance requirement.

These types of plants have environmental advantages and generally have a high degree of acceptance. They are however in direct competition to systems with chlorine free HFC refrigerants and hydro-carbons, which can mainly be constructed with the technology already known from (H)CFCs.

2. Eigenschaften von Ammoniak – resultierende System- und Ausführungskriterien

2.1 Allgemeine chemische und physikalische Eigenschaften von Ammoniak

- Natürlicher, halogenfreier Stoff ohne Ozonabbaupotential (ODP = 0) und ohne Treibhauseffekt (GWP = 0)
- Hohe Toxizität (MAK 50 ppm)
 - intensiver Geruch, dadurch gute Wahrnehmbarkeit bereits bei ungefährlicher Konzentration (ab ca. 5 ppm)
 - beginnende Belästigung ab ca. 250 ppm
 - bei plötzlich auftretender hoher Konzentration: Reizung der Schleimhäute, Panikreaktion, Husten, Krämpfe – bis hin zu Lähmung und Erstickung
- Explosiv zwischen 15 und 30 Vol.-% in Luft. Aufgrund der hohen Zündenergie und -temperatur wird die Explosionsgefährdung als gering eingestuft – besondere Maßnahmen zum Explosionsschutz sind nicht notwendig.
- NH₃-Dampf ist leichter als Luft und strömt deshalb nach oben ab. Bei Emission ist eine natürliche oder maschinelle Entlüftung relativ einfach zu gewährleisten.

Resultierende Auslegungskriterien und Vorschriften:

Ausführung und Absicherung des Systems entsprechend den Vorschriften und Normen für Kältemittel der Gruppe L2 (gültig für Deutschland):

- Unfallverhütungsvorschriften VBG 20, Sicherheitsnorm EN 378
- Druckbehälterverordnung, "Technische Regeln Druckbehälter" (TRB), "Technische Regeln Rohrleitungen" (TRR), AD-Merkblätter

Aus genannten Vorschriften ergeben sich u.a. folgende Konsequenzen (Auflistung nur auszugsweise):

- Nachweis besonderer Sachkunde des Fachpersonals für Installation, Inbetriebnahme, Bedienung und Service
- spezielle Anforderungen an die Planung und Ausführung des Systems
- gesonderte Maschinenräume bei Kältemittelfüllung über 50 kg (z.B. mit kontrollierter Entlüftungseinrichtung)
- Prüfung von Schweißverbindungen kältemittelführender Rohre (ab DN 28) durch Sachverständige
- Zutritt zur Anlage nur durch befugte Personen mit entsprechender Unterweisung
- Einschränkungen in Bereichen mit Publikumsverkehr – erfordert Einsatz von Anlagen mit Sekundär(Sole)-Kreislauf

Alle wesentlichen Richtlinien sind im Bericht zum AiF Forschungsvorhaben 9404B "Sicherheit von Ammoniak- Kälteanlagen" zusammengefaßt.

- NH₃ wirkt korrosiv auf Kupferwerkstoffe sowie Buntmetalle und ist unverträglich mit einer Reihe von Kunststoffen.

Erforderliche Maßnahmen

- Einsatz von geeigneten Metallen (z.B. Stahl, Aluminium) und beständigen Kunststoffen bzw. Elastomeren
- Verdichter mit offenem Antrieb (siehe auch Abschnitt 3)

- NH₃ hat eine ausgeprägte Löslichkeit in Wasser und hohe elektrische Leitfähigkeit

Resultierende Auslegungskriterien (s. auch Abschn. 3 + 4)

- Besondere Anforderungen an elektrische Komponenten innerhalb des Kältekreislaufs

2. Characteristics of Ammonia – resulting system and design criteria

2.1 General chemical and physical properties of Ammonia

- Natural, halogen free substance with no ozone depletion potential (ODP = 0) nor global warming effect (GWP = 0)
- High toxicity (AEL 50 ppm)
 - intensive smell, can thereby already be well perceived with a non-dangerous concentration (from about 5 ppm)
 - effects begin from around 250 ppm
 - with a sudden release in a high concentration: irritation of soft tissues, panic reaction, coughing, cramps, up to paralysis and suffocation can occur
- Explosive between 15 and 30 vol-% in air. Due to the high ignition energy and temperature the risk of explosion is classed as low – special explosion proof measures are not required.
- NH₃ vapour is lighter than air and therefore flows away upwards. Natural or mechanical ventilation is relatively easy to ensure in case of an emission.

Resulting design criteria and regulations:

Design and protection of the system according to the regulations and standards for refrigerants of Group L2. The following list shows the actual German regulations. Equivalent national standards should be observed.

- Rules for the prevention of accidents VBG 20, safety standard EN 378
- Pressure vessel regulations (technical rules "Pressure Vessels" TRB, AD guide-lines)

The following consequences result, amongst others, based on the above regulations (only extracts are given):

- evidence of the certified qualifications of installation, commissioning, operating and service personnel
- special requirements to the planing and the carrying out of the system
- special machine room with a charge over 50 kg (e.g. with a controlled venting system)
- examination by an expert of welded joints in refrigerant carrying pipes (from DN 28)
- access to plant only by authorized personnel, special instruction is required
- limitations in public areas, requires the use of plants with secondary refrigerant circuit

All important guide-lines are summarized in the report on the German AiF research project 9404B "Safety of Ammonia refrigeration plants".

- NH₃ has a corrosive effect upon copper and copper alloys and is incompatible with a series of plastics.

Measures required

- Use of suitable metals (e.g. steel, aluminium) and resistant plastics and elastomers
- Open drive compressors (see also section 3)

- NH₃ has a distinct solubility in water and high electrical conductivity

Resulting design criteria (see also sections 3 and 4)

- Special demands for electrical components inside the refrigeration circuit

- Durch die besonderen Bedingungen bei Kompaktsystemen bestehen hohe Anforderungen an die Trockenheit (NH₃ mit max. 400 ppm Wassergehalt, ggf. spezielle NH₃-Filtertrockner).

- NH₃ ist nahezu unlöslich mit herkömmlichen Schmierstoffen

Resultierende Auslegungskriterien bzw. Maßnahmen
(siehe auch Abschnitt 4)

- Bei überfluteten Verdampfern Einsatz von hocheffizienten Ölabscheidern und Ölrückführsystem (automatisch oder bei regelmäßiger Wartung manuell)
- Bei Kompaktsystemen mit "trockenen" oder teilüberfluteten Verdampfern Einsatz gut fließfähiger Öle; ggf. in Kombination mit speziellen Ölabscheide- und Rückführvorrichtungen

2.2 Thermodynamische Eigenschaften von Ammoniak

NH₃ hat überwiegend günstige thermodynamische Eigenschaften und niedrigen Energiebedarf. Als Nachteil sind allerdings die hohen Betriebstemperaturen bei der Verdichtung anzusehen.

- Sehr hohe Verdampfungsenthalpie
(bei -10/40°C etwa 7fach gegenüber R22)
- Äußerst niedriger Kältemittel-Massenstrom
(ca. 14% im Vergleich zu R22)
- Besonders niedrige Dampf- und Flüssigkeitsdichte
- Ausgezeichnete Wärmeübertragungswerte, u. a. durch intensives Sieden (Volumenveränderung Flüssigkeit zu Dampf etwa 3fach gegenüber R22)

Resultierende Auslegungskriterien bzw. Maßnahmen

- relativ kleine Dimensionen für Rohrleitungen, Kältemittelpumpen, Regelapparaturen
- allgemein sehr niedrige Druckverluste

		NH ₃	R22
Molmasse Molmass	kg/mol	17.03	86.5
Adiabatexponent Isentropic compression index		1.31	1.18
Siedetemperatur Boiling temperature	°C	-33.4	-40.8
Dichte der Flüssigkeit Density of liquid	kg/dm ³ (40°C)	0.58	1.13
Dampfdruck Vapour pressure	bar (-10/40°C)	2.9 / 15.5	3.55 / 15.3
Kritische Temperatur Critical temperature	°C	132	96
Kritischer Druck Critical pressure	bar	113.5	49.9
Brennbarkeit Flammability	Vol. %	15 .. 30	-
Toxizität Toxicity	AEL(TVL) ppm	50	1000
Ozon-Verarmungspotential Ozone depletion potential	ODP*	0	0.05
Treibhauspotential Global warming potential	GWP*	0	1600

* ODP R11 = 1.0 GWP CO₂ = 1.0 (100a)

Abb. 1 Eigenschaften von NH₃ (R717) im Vergleich zu R22
Fig. 1 Properties of NH₃ (R717) in comparison to R22

- Because of the special conditions encountered in compact systems a high degree of dehydration is required (NH₃ with a max. 400 ppm water content, where necessary special NH₃ filter dryer)

- NH₃ is practically insoluble with traditional lubricants

Resulting design criteria resp. measures
(see also section 4)

- The use of flooded evaporators combined with high efficiency oil separators and oil return systems (automatic or in case of regular maintenance manual)
- For compact systems with "DX" or semi flooded evaporators the use of well flowing oil is necessary, possibly in combination with special oil separators and oil return devices

2.2 Thermodynamic properties of Ammonia

NH₃ has mainly favourable thermodynamic characteristics and a low energy requirements. The high operating temperatures with compression must however be seen as a disadvantage.

- Very high enthalpy of evaporation
(at -10/40°C about 7 times that of R22)
- Very low refrigerant mass flow
(about 14% compared to R22)
- Especially low liquid and vapour densities
- Outstanding heat transfer values, partly due to intensive boiling (volume change from liquid to vapour about 3 times greater than with R22)

Resulting design criteria resp. measures

- relatively small dimensions for pipes, refrigerant pumps, regulating devices
- generally very low pressure drops

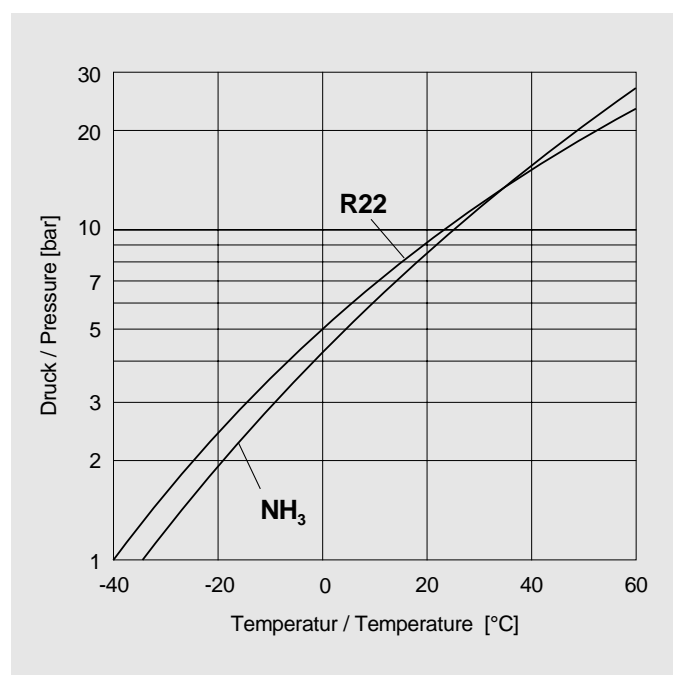


Abb. 2 Vergleich der Drucklagen NH₃ / R22
Fig. 2 Comparison of pressure levels NH₃ / R22

- hoher Ölabscheider-Wirkungsgrad
- minimale Kältemittelfüllung möglich, insbesondere bei Kompaktsystemen (optimierte Flüssigkeitskühler mit bis zu ca. 30 kW Kälteleistung pro kg NH₃)
- besonders hohe Leistungszahlen bei Normal- und Klimabedingungen
- spezifische Anpassung der Wärmeaustauscher und Expansionsorgane an Massenstrom- und Volumenverhältnisse (siehe auch Abschnitt 4)
- bei "trockener Verdampfung" höchste Anforderungen an Kältemittelverteilung, insbesondere bei stark unterkühlter Flüssigkeit (z.B. 2-stufig, Economizer)
- geeignete Schutzmaßnahmen gegen Naßbetrieb und Flüssigkeitsschläge (Abscheider, Expansionsorgane mit besonders stabilem Regelverhalten)

□ Hoher Adiabatenexponent (NH₃ = 1.31 / R 22 = 1.18) mit der Folge hoher Druckgas- und Öltemperatur und damit Einschränkungen im Anwendungsbereich des Verdichters (Abschnitt 3)

□ Relativ geringe Enthalpiedifferenz in der überhitzten Dampfphase – führt zu ausgeprägter Temperatur- und Volumenveränderung bei Wärmetransmission

Resultierende Auslegungskriterien

- Einschränkungen im Anwendungsbereich des Verdichters (Abschnitt 3) – Tiefkühlung mit 2-stufiger Verdichtung oder Schraubenverdichter mit Ölkühlung
- Auslegung der Wärmeaustauscher für kleine Temperaturdifferenzen (niedriges Druckverhältnis) und geringe Sauggasüberhitzung
- kurze, gut isolierte Saugleitungen

□ Vakuumbetrieb bereits unterhalb einer Verdampfungstemperatur von -33,4°C

Resultierende Maßnahmen

- Einsatz hochwertiger Wellenabdichtungen, Dichtungen und Stopfbuchsen
- Automatische Entlüftungseinrichtung

- high oil separator efficiency
- minimum refrigerant charge possible, especially with compact systems (optimized chillers with up to approx. 30 kW refrigerating capacity per kg NH₃)
- especially high COP with medium and high temperature conditions

• specific matching of heat exchanger and expansion device to the mass and volume flow characteristics (see also paragraph 4)

• with direct expansion highest demands exist for the refrigerant distribution especially with strongly subcooled liquid (e.g. 2-stage, Economizer)

• suitable measures to protect against wet operation and liquid slugging (suction accumulator, expansion device with an especially stable control characteristic)

□ High isentropic compression exponent (NH₃ = 1.31 / R 22 = 1.18) resulting in high discharge gas and oil temperatures and therefore limiting the application ranges of the compressor (paragraph 3)

□ Relatively small enthalpy difference in the superheated vapour phase, leads to distinctive temperature and volume changes by a gain in heat

Resulting design criteria

- limitations in application range of the compressor (section 3); low temperature with 2-stage compression or screw compressors with oil cooling
- Selection of heat exchangers for small temperature differences (low pressure ratio) and low suction gas superheat
- short, well insulated suction lines

□ Vacuum operation already occurs at an evaporating temperature of -33.4°C

Resulting measures

- Use of high quality shaft seals, gaskets and stem packings
- Automatic air purging device

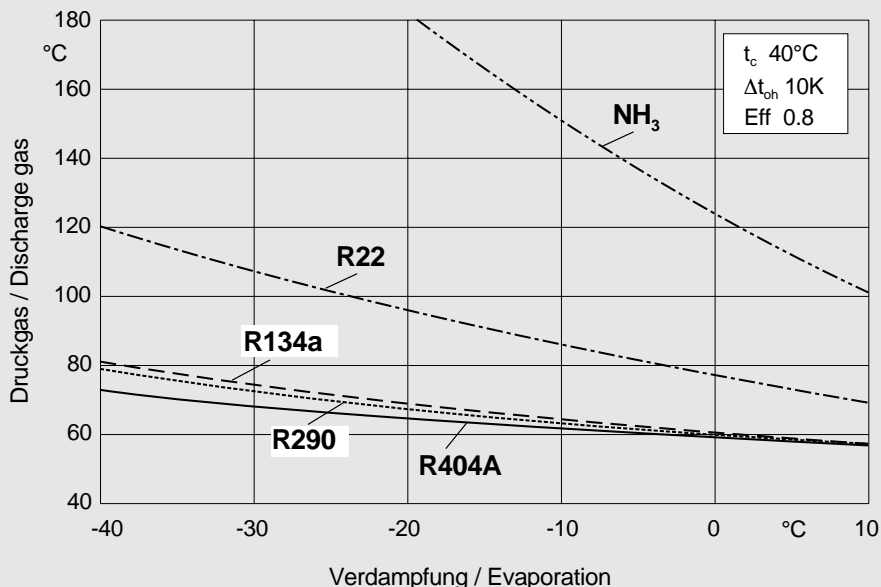


Abb. 3 Druckgastemperaturen im Vergleich

Fig. 3 Comparison of discharge gas temperatures

3. Verdichtertechnik

Für NH_3 werden bisher in erster Linie Verdichter mit offenem Antrieb eingesetzt; der Motor befindet sich außerhalb des Kältekreislaufs. Mit dieser Bauart lassen sich die besonderen Anforderungen hinsichtlich Materialverträglichkeit gut erfüllen. Gleichzeitig sind die Betriebstemperaturen, bedingt durch Abfuhr der Motorverlustwärme an die Umgebung, über einen relativ großen Anwendungsbereich gut zu beherrschen.

Halbhermetische Verdichter in üblicher Bauart sind für NH_3 nicht geeignet. Ursache ist die korrosive Wirkung auf Kupfer und Buntmetalle, die Unverträglichkeit mit gängigen Isolierstoffen und eine hohe elektrische Leitfähigkeit von NH_3 . Hinzu käme eine erhöhte thermische Belastung durch Motorverlustwärme und damit eine wesentliche Einschränkung im Anwendungsbereich. Eine Reihe von Projekten für speziell angepasste Motorverdichter sind derzeit in Entwicklung.

Das BITZER-Produktionsprogramm umfasst bereits heute eine breite Angebotspalette ausgereifter und sehr wirtschaftlicher Hubkolben- und Schraubenverdichter:

Hubkolbenverdichter

- Leistungsbereiche:
 - Einstufige 2-, 4- und 6-Zylindermodelle (Hubvolumen von 19 bis 152 m^3/h bei 1450 min^{-1}) für Klima-, Normal- und Tiefkühlung (2-stufig mit individuellen Booster- und Hochdruckverdichtern)
 - 2-stufige 6-Zylindermodelle mit elektronisch gesteuerter Zwischenkühlung (ND-Hubvolumen 84 und 101 m^3/h bei 1450 min^{-1}) für erweiterte Normalkühlanwendung und Tiefkühlung
- Ausführungsvarianten für konventionelle Ölrückführung und automatische Ölzirkulation im System (siehe auch Abschnitt 4)

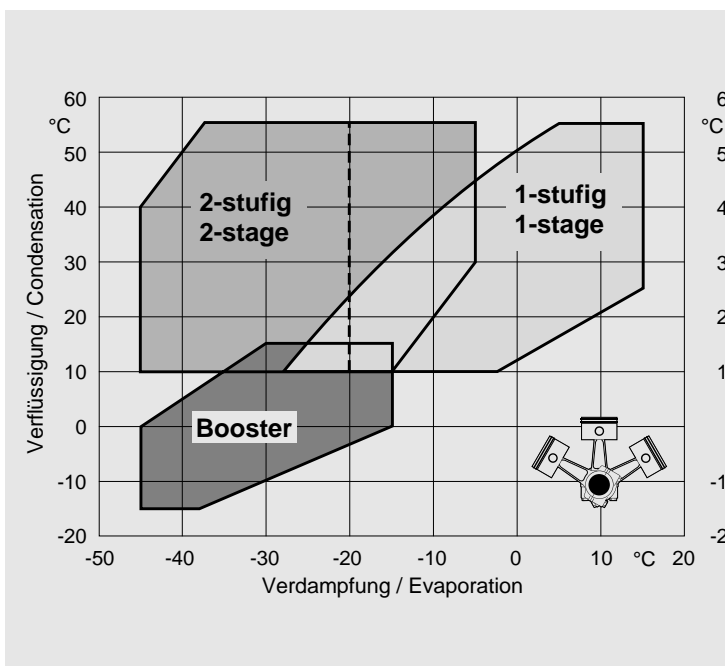


Abb. 4 Einsatzbereiche bei NH_3 für Hubkolben- bzw. Schraubenverdichtern

3. Compressor technology

For NH_3 open drive compressors have mainly been used. The motor is situated outside the refrigeration circuit. This construction meets the special demands concerning material compatibility very well. At the same time the operating temperatures can be kept under control over a relatively wide application range as the increased thermal loading due to the motor losses are transferred to the atmosphere.

Accessible hermetic compressors of normal construction are not suitable for NH_3 . The reasons are the corrosive effect of NH_3 upon the copper windings and copper alloys, the incompatibility with the usual insulation materials and its high electrical conductivity. In addition the thermal loading is increased due to the heat from the motor losses which causes a significant restriction in the application range. A series of development projects are taking place at present for specially equipped motor compressors.

The BITZER production programme already has available today a wide palette of proven and highly efficient reciprocating and screw compressors.

Reciprocating compressors

- Capacity range:
 - Single stage 2-, 4- and 6-cylinder models (displacements from 19 to 152 m^3/h at 1450 RPM) for high, medium and low temperature cooling (2-stage with separate Booster and high stage compressors)
 - 2-stage 6-cylinder models with electronic controlled interstage cooling (LP-Displacements 84 and 101 m^3/h at 1450 RPM) for extended medium and low temperature applications
- Varying designs for conventional oil return and automatic oil circulation in the system (see also section 4)

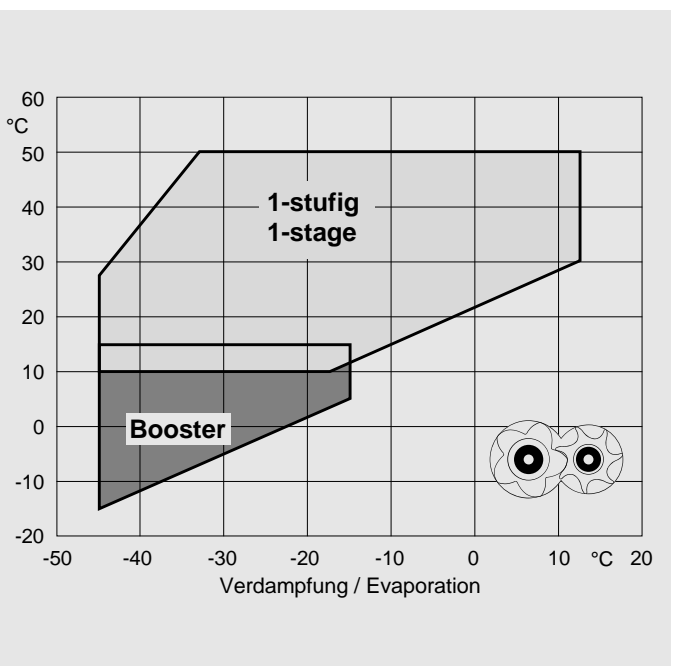


Fig. 4 Application ranges with NH_3 for reciprocating and screw compressors

- Wesentliche Konstruktionsmerkmale:
 - Riemen- und Kupplungsantrieb (direkter Motoranbau mittels Kupplungsgehäuse)
 - oberflächenvergütete Kurbelwelle, optimierte Kolbenform, verchromte Verdichtungsringe
 - hocheffiziente und robuste Ventilplattenkonstruktion
 - reversible Zahnrad-Ölpumpe
 - öl- und sauggasgekühlte Wellenabdichtung, einfach zu wechseln
 - Sonderausstattung: wassergekühlte Zylinderköpfe, reinigbare Saugfilter, Ölpumpheizung, Anlaufentlastung, Leistungsregler, Öl-Serviceventil, Druckgasüberhitzungsschutz, Ausführung für Schiffsbetrieb
 - einfache Wartung, kein Spezialwerkzeug erforderlich
- Zubehör
 - Ölabscheider
 - Flüssigkeitssammler
- Weitere Informationen und Leistungsdaten siehe Typenblätter 3500
- Einsatzbereiche siehe Abb. 4

Schraubenverdichter

BITZER gehört heute zu den bedeutendsten Herstellern von Schraubenverdichtern im mittleren Leistungsbereich. Diese Verdichterbauart ist besonders gut für den Betrieb mit NH₃ geeignet. Sie ist sowohl einzeln (für kleinere Anlagen) als auch im Parallelverbund (in industriellen Systemen) einsetzbar.

- Leistungsbereiche: einstufige Modelle (Fördervolumen von 84 bis 250 m³/h – im Parallelbetrieb bis 1500 m³/h) für Klima-, Normal- und Tiefkühlung

Optionen für Tiefkühlung:

 - einstufige Betriebsweise
 - einstufig mit Economizer
 - 2-stufig mit individuellen Booster- und Hochdruckverdichtern
- Wesentliche Konstruktionsmerkmale:
 - Kupplungsantrieb (direkter Motoranbau mittels Kupplungsgehäuse)
 - Rotoren aus hochwertigem Sphäroguß
 - hocheffizientes Rotorprofil mit Zahnverhältnis 5:6 bzw. 5:7
 - reichlich dimensionierte Wälzlager (Tandem-Axiallager)
 - öl- und sauggasgekühlte Wellenabdichtung mit Metall-Faltenbalg
 - Ölfeinfilter
 - elektronischer Druckgasüberhitzungsschutz und Öldurchflußwächter
 - Primär- und Sekundär-Ölabscheider mit besonders hohem Abscheidegrad
 - einfacher Aufbau zu Parallelverbund (besonders wirtschaftlich im Teillastbereich, hohe Betriebssicherheit)
 - einfache Wartung
- Zubehör:
 - Primär- und Sekundär-Ölabscheider
 - wassergekühlte Ölkühler
 - Flüssigkeitssammler
- Weitere Informationen und Leistungsdaten siehe Prospekt SP-500 und Handbuch SH-500.
- Einsatzbereiche siehe Abb. 4

- Important construction features:
 - belt and coupling drive (motor flanged on directly by means of a coupling housing)
 - surface treated crankshaft, optimized pistons, chrome plated compression rings
 - highly efficient and robust valve plate construction
 - reversible gear type oil pump
 - oil and suction gas cooled shaft seal, easy to exchange
 - special equipment: water cooled cylinder heads, cleanable suction filter, crankcase heater, oil pressure safety switch, start unloading, capacity control, oil service valve, discharge gas temperature protection, design for ship operation
 - Simple maintenance, no special tools required
- Accessories
 - oil separators
 - liquid receivers
- For further information and performance data refer to Data Sheets 3500
- Application range refer to Fig. 4

Screw compressors

BITZER is today one of the leading manufacturers of medium capacity screw compressors. This compressor design is especially suitable for operation with NH₃ and can be individually applied (for smaller plants) or parallel compounded (for industrial systems).

- Capacity range: Single stage models (displacement from 84 to 250 m³/h, in parallel operation up to 1500 m³/h) for high, medium and low temperature cooling

Options for low temperature cooling:

 - single stage operation
 - single stage with Economizer
 - 2-stage with separate Booster and high stage compressors
- Important construction features:
 - coupling operation (motor flanged on directly by means of a coupling housing)
 - rotors of high quality spheroidal cast iron
 - high efficiency rotor profile with ratio 5:6 / 5:7
 - generously dimensioned rolling contact bearings (tandem axial bearings)
 - oil and suction gas cooled shaft seal with metal bellows
 - fine oil filter
 - electronic discharge gas temperature and oil flow protection
 - primary and secondary oil separators with especially high degree of separation
 - simple assembly of parallel compounded packs (especially efficient with part load operation, high operational reliability)
 - simple maintenance
- Accessories:
 - primary and secondary oil separators
 - water cooled oil coolers
 - liquid receivers
- For further information and performance data refer to brochure SP-500 and manual SH-500.
- Application range refer to Fig. 4

4. Schmierstoffe und deren Einfluß auf die Systemausführung

In herkömmlichen NH₃-Systemen (mit überflutetem Verdampfer) werden überwiegend Mineralöle, teilweise auch Polyalpha-Olefine (PAO) und Alkylbenzole eingesetzt. Diese Schmierstoffe haben keine Löslichkeit mit NH₃.

Für die Verdichterschmierung ist Unlöslichkeit von Vorteil – Ölverdünnung durch Kältemittelanreicherung ist ausgeschlossen. Hinzu kommen gute Bedingungen für die Ölabscheidung mit der Folge geringer Ölabwanderung. Die niedrige Dichte von NH₃ begünstigt zudem den Öltransport im System. Das Öl sammelt sich an der niedrigsten Stelle von Flüssigkeitsbehältern und kann zum Beispiel im überfluteten Verdampfer bzw. Saugabscheider unten abgezogen werden. Je nach System ist eine Wiederaufbereitung und/oder automatische Rückführung in den Verdichter möglich.

Hinweis: Ölauswurf von Kolbenverdichtern und der Wirkungsgrad von Ölabscheidern sind u.a. stark abhängig von der Druckgastemperatur und dem Dampfdruck des verwendeten Öls.

Bei der neuen Generation kompakter Flüssigkeitskühler und Kühltürme werden häufig "trockene" oder teilüberflutete Verdampfer eingesetzt. Mit Blick auf gute Wärmeübertragung und automatischen Ölumlaufl sind dafür Schmierstoffe erforderlich, die eine genügende Fließfähigkeit im Verdampfer aufweisen.

Die vor wenigen Jahren entwickelten und bereits in einigem Umfang eingesetzten löslichen Polyglykol-Öle (PAG) erweisen sich in dieser Hinsicht als vorteilhaft. Die bisherigen Erfahrungen zeigen allerdings, daß Anlagen mit PAG-Ölen in der Praxis nur schwer zu beherrschen sind.

Diese Öle sind außerordentlich hygroskopisch, eine Eigenschaft, die sich in mehrfacher Hinsicht als problematisch erweist. Bei dem in NH₃-Systemen häufig vorhandenen hohen Wassergehalt kann es im Verdichter zu erheblicher Korrosion, Beeinträchtigung der Schmierfähigkeit und Minderung der thermischen und chemischen Stabilität des Öls kommen. Die bei unlöslichen Ölen vorhandene Schutzwirkung ist bei PAG durch die gute Löslichkeit mit Wasser stark gemindert. Selbst bei Einsatz spezieller NH₃-Trockner sind die Betriebserfahrungen nicht immer zufriedenstellend.

Außerdem führt die Löslichkeit von NH₃ in Öl auch zu einer wesentlich veränderten Situation hinsichtlich der Schmierung. Bei hoher Kältemittelleinlagerung infolge Naßbetrieb oder unzureichender Öltemperatur kommt es zu einem extremen Ausgasungseffekt in Ölsumpf und Schmierspalt und damit zu starkem Verschleiß an Lagerstellen und Gleitringdichtung. Dieser Vorgang ist wesentlich intensiver als bei anderen Kältemitteln und zwar bedingt durch die enorme Volumenveränderung von verdampfendem NH₃ (mehr als 3-fach gegenüber R22).

Obwohl in einer größeren Anzahl von BITZER-Verdichtern auch PAG-Öle mit zufriedenstellenden Betriebsergebnissen verwendet werden, sind diese Schmierstoffe wegen der beschriebenen Nachteile nicht allgemein zugelassen.

Hubkolbenverdichter werden standardmäßig mit Mineralöl **Shell Clavus (G)68** ausgeliefert. Dieses Öl ist auch für Schraubenverdichter geeignet, Alternativen siehe Schmierstoffempfehlung im Handbuch SH-500.

4. Lubricants and their influence on the system design

In conventional NH₃ systems (with flooded evaporators) predominately mineral oils are used, partly also poly-alpha olefin (PAO) and alkyl benzene. These lubricants have no solubility with NH₃.

For the compressor lubrication insolubility is an advantage, oil dilution due to refrigerant can be excluded. In addition good conditions exist for oil separation with the result of reduced oil migration. The low density of NH₃ also favours oil transport in the system. The oil collects at the lowest point of liquid receivers and can for example be bled off from the bottom of flooded evaporators and suction separators. According to the system used recycling and/or an automatic return to the compressor is possible.

Note: Oil carry over of reciprocating compressors and the efficiency of the oil separator are also strongly dependent upon the discharge gas temperature and the vapour pressure of the oil used.

With the new generation of compact liquid chillers and cooling units, "DX" or semi flooded evaporators are often used. With regards to good heat transfer and automatic oil circulation, lubricants are therefore required that have sufficient flow characteristics in the evaporator.

A few years ago, soluble Polyglycol oils (PAG) were developed and are already being used to some extent where they have proven to be advantageous in the above sense. Previous experiences have shown however, that the practical handling with PAG oils can only be managed with difficulty.

These oils are extraordinarily hygroscopic, a characteristic that shows to be in several respects problematical. With the high moisture content frequently found in NH₃ systems, this can lead to serious corrosion problems in the compressor, a lowering of the lubricating qualities and a reduction of the thermal and chemical stability of the oil. The protective effect present with insoluble oils is very much reduced with PAG oils due to the good solubility with water. Even with the use of special NH₃ dryers, the operating experiences are not always satisfactory.

Besides, the solubility of NH₃ in oil also leads to an essentially different situation with regard to the lubrication. With high refrigerant dilution due to wet operation or insufficient oil temperature, an extreme degassing effect occurs in the crankcase and lubricating gaps causing strong wear at the bearing and shaft seals. This process is essentially more intensive than with other refrigerants and is of course, dependant on the tremendous volume change of evaporating NH₃ (approx. 3 times more than R22).

Although PAG oils have been used in numerous BITZER compressors with adequate operating results, these lubricants are not generally permitted because of the disadvantages mentioned above.

Reciprocating piston compressors are delivered as standard with mineral oil **Shell Clavus (G)68**. This oil is also suitable for screw compressors. For alternatives, see lubricant recommendations in the Manual SH-500.

Erfahrungen zeigen, daß sich bei NH_3 auch unlösliche Öle für "trockene" oder teilüberflutete Verdampfer eignen. Bedingt durch die hohe Druckgastemperatur und geringe Flüssigkeitsdichte von NH_3 ist der Öltransport auf der Hochdruckseite unproblematisch. Besondere Anforderungen gelten allerdings für die Ölrückführung aus dem Verdampfer, wobei u.a. folgenden Ausführungskriterien zu berücksichtigen sind:

"Trockene" Verdampfer

- Expansionsventil mit besonders stabilem Regelverhalten
- Optimierte Einspritzverteilung und Rohrstranglänge
- Genügend hohe Gasgeschwindigkeit und Turbulenz – ggf. Mehrkreiskühler bei Leistungsregelung
- Schmierstoff mit günstigem Viskositätsverlauf für den betreffenden Anwendungsbereich

Teilüberflutete Verdampfer

- Hochwertiges Einspritzsystem
- Bei Bedarf, nachgeschalteter Abscheider
- Separate Ölrückführung aus dem unteren Flüssigkeitsniveau des Verdampfers oder Abscheiders, kombiniert mit Ölaustreiber (Wärmeaustauscher) – Rückspeisung des Öls in den Sauggasstrom.
- Schmierstoff mit Pourpoint unterhalb der niedrigsten Verdampfungstemperatur.

Neben dem als Standardöl gelieferten Mineralöl haben sich auch hydrogenisierte Mineralöle und Polyalpha-Olefine in der Praxis bewährt. Beide Ölsorten haben einen günstigen Viskositätsverlauf und besonders niedrigen Dampfdruck. Letzteres garantiert niedrigen Ölauswurf und begünstigt damit die Ölrückführung.

Der Einsatz dieser Schmierstoffe oder direkter Alternativen zum Standardöl bedarf der individuellen Abstimmung mit BITZER.

Achtung! Die für HFKW-Kältemittel entwickelten Polyolesteröle sind nicht für NH_3 geeignet; es kommt zu chemischer Zersetzung.

Hinweis: Obige Ausführungshinweise sind nur als allgemeine Richtlinien zu verstehen. NH_3 -Kompaktsysteme stellen besonders hohe Ansprüche an die Auslegung und gegenseitige Abstimmung der Komponenten. Hinzu kommen die spezifischen Anforderungen hinsichtlich der Schmierstoffauswahl. **Es ist deshalb erforderlich, derartige Systeme mit größter Sorgfalt zu planen und vor dem Serieneinsatz einer längeren Erprobung unter realen Bedingungen zu unterziehen.**

Experiences show, that insoluble oils are also suitable for "DX" or semi flooded evaporators with NH_3 . Due to the high discharge gas temperature and low liquid density of NH_3 , the oil transportation on the high pressure side is virtually guaranteed. Special requirements apply however, for the oil return from the evaporator. The following design criteria, amongst other things, are to be taken into consideration:

"DX" Evaporators

- Expansion valve with an especially stable control behaviour.
- Optimised injection distribution and pipe lengths.
- Sufficiently high gas velocity and turbulence – possibly multiple circuits with capacity control.
- Lubricants with a favourable viscosity span for the concerned application range.

Semi Flooded Evaporators

- High quality injection system.
- If necessary, additional accumulator.
- Separate oil return from the lower liquid level of the evaporator or accumulator combined with oil rectifier (heat exchanger) – return supply of the oil into the suction gas flow.
- Lubricant with pour point below the lowest evaporating temperature.

Beside the standard mineral oil delivered, hydro-treated mineral oils and polyalpha-olefines have also proven reliable in practice. Both oil types have a favourable viscosity behaviour and especially low vapour pressure where the latter guarantees low oil carry over and with this improves oil return.

The use of these lubricants or direct alternatives to the standard oil requires an individual consultation with BITZER.

Attention! The polyol-ester oils which have been developed for HFC refrigerants are not suitable for NH_3 , a chemical decomposition will occur.

Comment: The above design information are to be understood only as general guidelines. NH_3 compact systems put especially high demands on the design and mutual assessment of the components. Moreover, specific requirements are needed with regard to the lubricant selection.

It is therefore necessary that such systems be designed with great care and should undertake longer testing under real conditions before series release.