

AT-744-1

Anwendungsleitfaden zum Einsatz von R744

Originaldokument

Deutsch 2

Application guide for the use of R744

Translation of the original document

English..... 27

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | BITZER Kältemittелеjektoren | 3 |
| 2.1 | Sicherheit | 3 |
| 2.1.1 | Allgemeine Sicherheitshinweise | 4 |
| 2.1.2 | Bei dem Kältemittel R744 beachten | 5 |
| 2.1.3 | Zusätzlich folgende technischen Dokumente beachten | 5 |
| 2.2 | Einleitung | 5 |
| 2.3 | Funktionsweise | 5 |
| 2.3.1 | Ejektor in Low-Lift-Anwendungen | 7 |
| 2.3.2 | Ejektor in High-Lift-Anwendungen | 8 |
| 2.4 | Kennwerte | 9 |
| 2.5 | Einbau in die Anlage | 10 |
| 2.6 | Anlagenausführungen | 12 |
| 2.6.1 | Anlagenausführung A Standard-Ejektor-Anlage | 13 |
| 2.6.2 | Anlagenausführung B Mit Ejektor, Parallelverdichtung und mechanischem Hochdruckregelventil für den Notbetrieb | 14 |
| 2.7 | Auslegungskriterien und Auswahl | 16 |
| 2.7.1 | Auslegungsbeispiel eines Ejektors in einer Low-Lift-Anwendung | 16 |
| 2.7.2 | Auslegungsbeispiel eines Ejektors in einer High-Lift-Anwendung | 19 |
| 2.8 | Regelung | 23 |
| 2.9 | Dokument als PDF | 26 |

1 Einleitung

Dieser Leitfaden beschreibt den Einsatz von BITZER Kältemittelgebläsen in R744-Anlagen.

Er wird stetig weiterentwickelt und soll künftig die Grundlagen und Besonderheiten von CO₂-Anwendungen im Bereich der Gewerbe- und Industriekälte, sowie Wärmepumpen abdecken. Da die einzelnen Themen sukzessive ergänzt werden, erhebt dieser Leitfaden momentan noch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2 BITZER Kältemittelgebläsen

2.1 Sicherheit

Autorisiertes Fachpersonal

Sämtliche Arbeiten an den Produkten und den Anlagen, in die sie eingebaut werden oder sind, dürfen nur von Fachpersonal ausgeführt werden, das in allen Arbeiten ausgebildet und unterwiesen wurde. Für die Qualifikation und Sachkunde des Fachpersonals gelten die jeweils landesüblichen Vorschriften und Richtlinien.

Restrisiken

Von den Produkten, dem elektronischen Zubehör und weiteren Bauteilen können unvermeidbare Restrisiken ausgehen. Jede Person, die daran arbeitet, muss deshalb dieses Dokument sorgfältig lesen! Es gelten zwingend

- die einschlägigen Sicherheitsvorschriften und Normen,
- die allgemein anerkannten Sicherheitsregeln,
- die EU-Richtlinien,
- nationale Vorschriften und Sicherheitsnormen.

Beispielnormen: EN378, EN60204, EN60335, EN ISO14120, ISO5149, IEC60204, IEC60335, ASHRAE 15, NEC, UL-Normen.

Persönliche Schutzausrüstung

Bei allen Arbeiten an Anlagen und deren Bauteilen: Arbeitsschutzschuhe, Schutzkleidung und Schutzbrille tragen. Zusätzlich Kälteschutzhandschuhe tragen bei Arbeiten am offenen Kältekreislauf und an Bauteilen, die Kältemittel enthalten können.



Abb. 1: Persönliche Schutzausrüstung tragen!

Sicherheitshinweise

Sicherheitshinweise sind Anweisungen, um Gefährdungen zu vermeiden. Sicherheitshinweise genauestens einhalten!



HINWEIS

Sicherheitshinweis um eine Situation zu vermeiden, die die Beschädigung eines Geräts oder dessen Ausrüstung zur Folge haben könnte.

**VORSICHT**

Sicherheitshinweis um eine potentiell gefährliche Situation zu vermeiden, die eine geringfügige oder mäßige Verletzung zur Folge haben könnte.

**WARNUNG**

Sicherheitshinweis um eine potentiell gefährliche Situation zu vermeiden, die den Tod oder eine schwere Verletzung zur Folge haben könnte.

**GEFAHR**

Sicherheitshinweis um eine unmittelbar gefährliche Situation zu vermeiden, die den Tod oder eine schwere Verletzung zur Folge hat.

Zusätzlich zu den in diesem Dokument aufgeführten Sicherheitshinweisen unbedingt auch die Hinweise und Restgefahren in den jeweiligen Betriebsanleitungen beachten!

2.1.1 Allgemeine Sicherheitshinweise

**GEFAHR**

Hohe Drucklagen des Kältemittels R744 beachten!

Bei Stillstand nimmt der Druck in der Anlage zu und es besteht Berstgefahr!

Am Verdichter und in jeweils beidseitig absperrbaren Anlagenabschnitten auf Saug- und Hochdruckseite Druckentlastungsventile installieren.

Anforderungen und Auslegung entsprechend EN 378-2 und EN 13136.

Kritische Temperatur 31,06°C entspricht 73,84 bar.

**GEFAHR**

Gefahr von Kaltverbrennungen und Erfrierungen!

Flüssiges R744 verdampft rasch, kühlt sich dabei ab und bildet Trockeneis!



Unkontrolliertes Abblasen von R744 unbedingt vermeiden!

Beim Befüllen der Anlage mit R744 Handschuhe und Schutzbrille tragen!

**Information**

Alle transkritischen BITZER R744-Verdichter sind optimal mit einem Druckentlastungsventil zur Atmosphäre auf der Hochdruckseite und auch auf der Niederdruckseite lieferbar.

Sie ersetzen jedoch nicht die Sicherheitssventile der Anlage (EN 12693)!

Sicherstellen, dass diese Druckentlastungsventile frei abblasen können.

Keine Rohre am Austritt der Druckentlastungsventile befestigen!

**GEFAHR**

Berstgefahr von Bauteilen und Rohren durch Flüssigkeitsüberdruck.

Behälter und Rohre platzen, kleine Bauteile schießen heraus. Die Druckwelle kann tödlich sein.

Abgesperrte Bauteile und Rohre niemals vollständig mit Flüssigkeit füllen oder gefüllt lassen. Über Flüssigkeiten ausreichend Volumen lassen.

Montage

**GEFAHR**

Berstgefahr des Druckgeräts durch mechanische Spannungen.

Schwere Verletzungen möglich.

Rohre last- und spannungsfrei an das Druckgerät montieren!

**GEFAHR**

Berstgefahr von Bauteilen und Rohren durch Flüssigkeitsüberdruck.

Schwere Verletzungen möglich.

Maximal zulässige Drücke nicht überschreiten!

Bei Arbeiten am Druckgerät, nachdem die Anlage in Betrieb genommen wurde



VORSICHT

Oberflächentemperaturen von über 60°C bzw. unter 0°C.
Verbrennungen und Erfrierungen möglich.



Zugängliche Stellen absperren und kennzeichnen.

Vor Arbeiten am Druckgerät: Anlage ausschalten und abkühlen bzw. erwärmen lassen.

Bei Arbeiten am Kältemittelkreislauf



WARNUNG

Druckgerät steht unter Druck!
Schwere Verletzungen möglich!



Druckgerät auf drucklosen Zustand bringen!

Schutzbrille tragen!



VORSICHT

Kältemittel kann sehr kalt sein.
Schwere Erfrierungen möglich.



Nicht in Kontakt mit Kältemittel kommen. Kälteschutzhandschuhe tragen.

2.1.2 Bei dem Kältemittel R744 beachten



GEFAHR

CO₂ ist ein geruchs- und farbloses Gas und wird bei Emissionen nicht direkt wahrgenommen!
Bewusstlosigkeit und Erstickungsgefahr beim Einatmen zu hoher Konzentrationen!

Austritt von CO₂ und unkontrolliertes Abblasen, v. a. in geschlossenen Räumen vermeiden!

Geschlossene Maschinenräume belüften!

Sicherheitsbestimmungen gemäß EN 378 einhalten!

2.1.3 Zusätzlich folgende technischen Dokumente beachten

CB-300: Betriebsanleitung Kältemittellejektoren

2.2 Einleitung

Ejektoren können in R744-Anlagen Verdichter entlasten bzw. das benötigte Fördervolumen reduzieren.

Ohne elektrische Antriebsenergie bewirken sie, angetrieben von der potentiellen und kinetischen Energie des Treibmassenstroms, einen Druckhub für einen Teilmassen- oder Saugmassenstrom.

Im Folgenden werden Kennwerte, mögliche Anlagenausführungen und Auslegungskriterien für BITZER Hochdruck-Ejektoren vorgestellt.

2.3 Funktionsweise

Ejektoren basieren auf dem Funktionsprinzip einer Strahlpumpe und können in unterschiedlichen Anordnungen in einer Anlage verwendet werden. Sie erzeugen dabei einen Unterdruck nach dem Venturi-Prinzip (siehe folgende Abbildung). Ein Ejektor hat eine Kennlinie ähnlich der einer Pumpe, mit steigendem Druckhub fällt der geförderte Massenstrom stark ab.

- Am Eintritt der Düse wird ein unter hohem Druck (hoher potentieller Energie) stehender Kältemittel-Massenstrom – auch Treibmassenstrom genannt - beschleunigt.

- Durch Umwandlung der potentiellen Energie in kinetische Energie sinkt der Druck des Treibmassenstroms, während die Geschwindigkeit zunimmt zu (siehe Abbildung unten).
- Die Druckabsenkung / Beschleunigung geht soweit, bis der Druck am Austritt der Düse so weit gesunken ist, dass an einem dort angebrachten Einlass ein Sog/Unterdruck entsteht.
- Ein sekundärer Kältemittel-Massenstrom – auch Saugmassenstrom genannt – wird dadurch angesaugt und mitgerissen.
- Die Massenströme vermischen sich und die kinetische Energie des Treibmassenstroms wird in potentielle Energie des addierten Massenstroms – auch Austrittsmassenstrom genannt – umgewandelt. Dies bewirkt eine Druckerhöhung über den Druck des Saugmassenstroms.

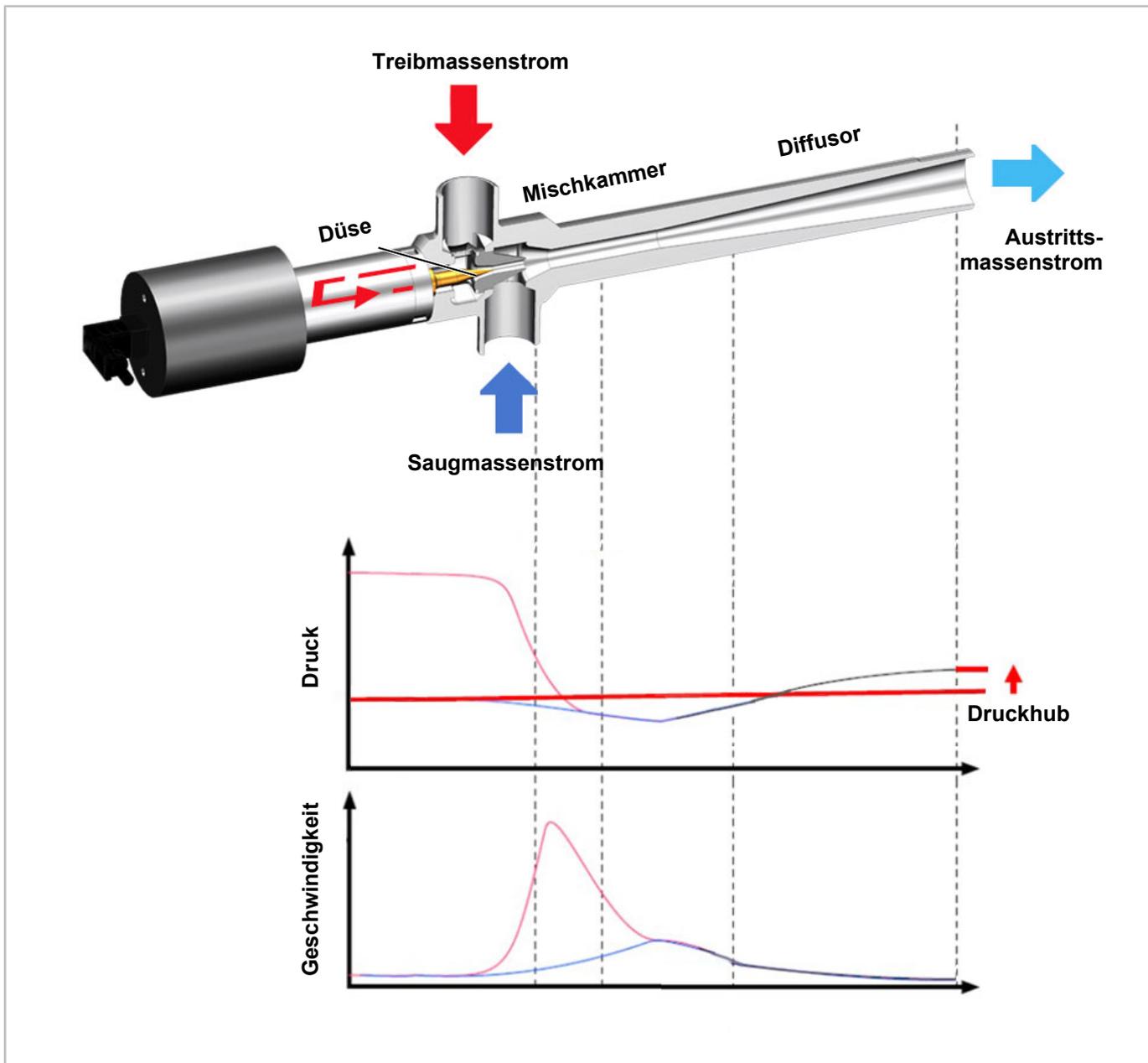


Abb. 2: Schematische Darstellung eines regelbaren Hochdruck-Ejektors mit Druck- und Geschwindigkeitsverlauf der Massenströme

Angewendet auf transkritische Anwendungen mit R744 heißt das, der Ejektor nutzt die im Kältemittel am Gaskühleraustritt vorhandene potenzielle und kinetische Energie, um einen anderen Teilmassenstrom anzusaugen und auf ein höheres Druckniveau zu fördern (siehe folgende Abbildung).

- Das auf Hochdruckniveau aus dem Verdichter austretende R744 [2] wird nach Gaskühlung / Wärmeabgabe im Gaskühler [2], in der Düse des Ejektors beschleunigt [3].
- Als Folge dessen sinkt der statische Druck und der Druck der aus der Düse austretende Strömung ist niedriger als der Sauggasdruck der Normalkühl-Verdichterstufe [4].
- Dadurch kann wahlweise Gas und/oder Flüssigkeit von einem niedrigen Druckniveau abgezogen werden [5].
- Beide Teilströme vermischen sich in der Mischkammer vor dem Diffusor [6] .
- Im Diffusor wird die Strömung wieder entschleunigt, wodurch sich der Druck auf Mitteldruckniveau erhöht [6].
- Nach dem Diffusor wird das Gemisch in den Mitteldruckbehälter geführt, die Gasphase abgeschieden [1] und auf Hochdruckniveau verdichtet [2].

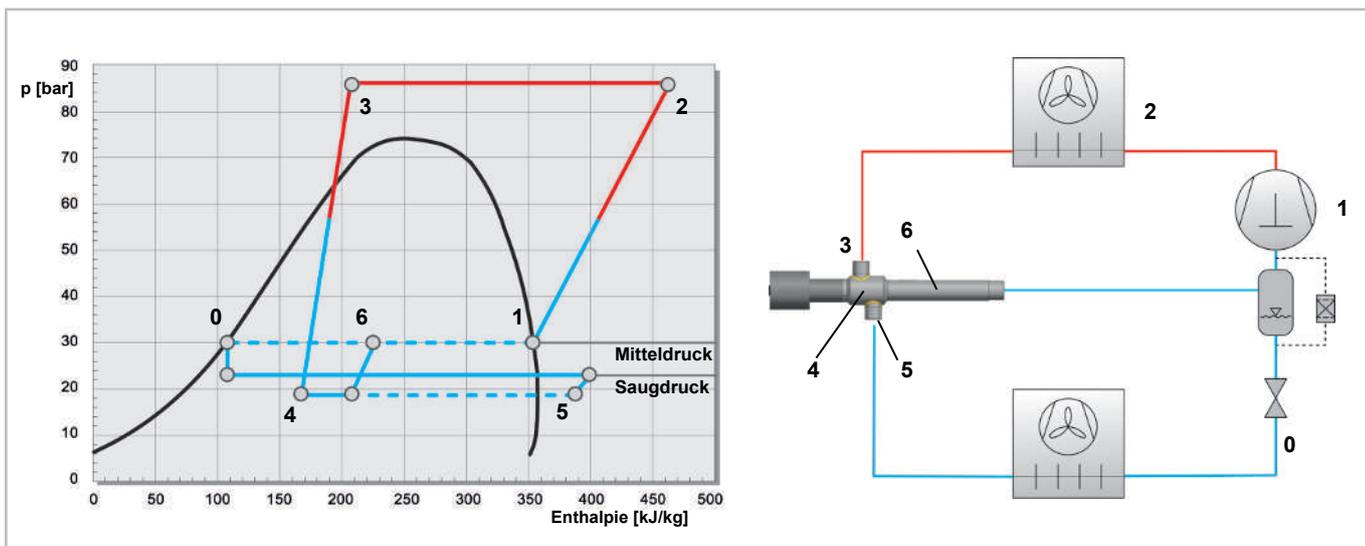


Abb. 3: Vereinfachter, schematischer Ejektorkreislauf, links im Druck-Enthalpie-Diagramm

| | | | |
|---|--|---|--|
| 0 | Drosselung von Mitteldruck auf Verdampferdruck | 4 | Entspannung unter Saugdruck |
| 1 | Austritt Verdichter / Verdichtung | 5 | Ansaugen des Saugmassenstroms |
| 2 | Gaskühlung / Verflüssigung | 6 | Mischung und Druckerhöhung des Treibmassen- / Saugmassenstroms |
| 3 | Austritt Verflüssiger/Gaskühler bzw. Eintritt in den Ejektor | | |

2.3.1 Ejektor in Low-Lift-Anwendungen

Ejektoren in Low-Lift-Anwendungen sollen einen möglichst hohen Massenstrom fördern. Sie werden in der Regel eingesetzt, um den gesamten Massenstrom, der in der Anlage verdampft wird, abzusaugen und zurück zum Mitteldruckbehälter zu fördern. Der limitierende Faktor ist hier der Massenstrom, der vorgibt, wie weit der Ejektor den Druck anheben kann, bzw. wie hoch der Mitteldruck sein darf, damit das Kältemittel zurückgeführt werden kann.

Flüssigkeits- und Gasphase werden im Mitteldruckbehälter getrennt. Die Gasphase wird durch den Verdichter abgesaugt und stellt den Treibmassenstrom dar. Die Flüssigkeitsphase steht weiter zur Versorgung des Verdampfers zur Verfügung und entspricht dem Saugmassenstrom.

Ejektoren in Low-Lift-Anwendungen werden als robuste „Kältemittelpumpen“ eingesetzt, da sie auch ein Gas-Flüssigkeitsgemisch fördern können. Dadurch besteht die Möglichkeit des Betriebs mit überflutetem Verdampfer. Die Verdampferfläche kann ohne Überhitzungsstrecke genutzt und die Verdampfungstemperatur angehoben werden, ohne den Verdichter zu gefährden.

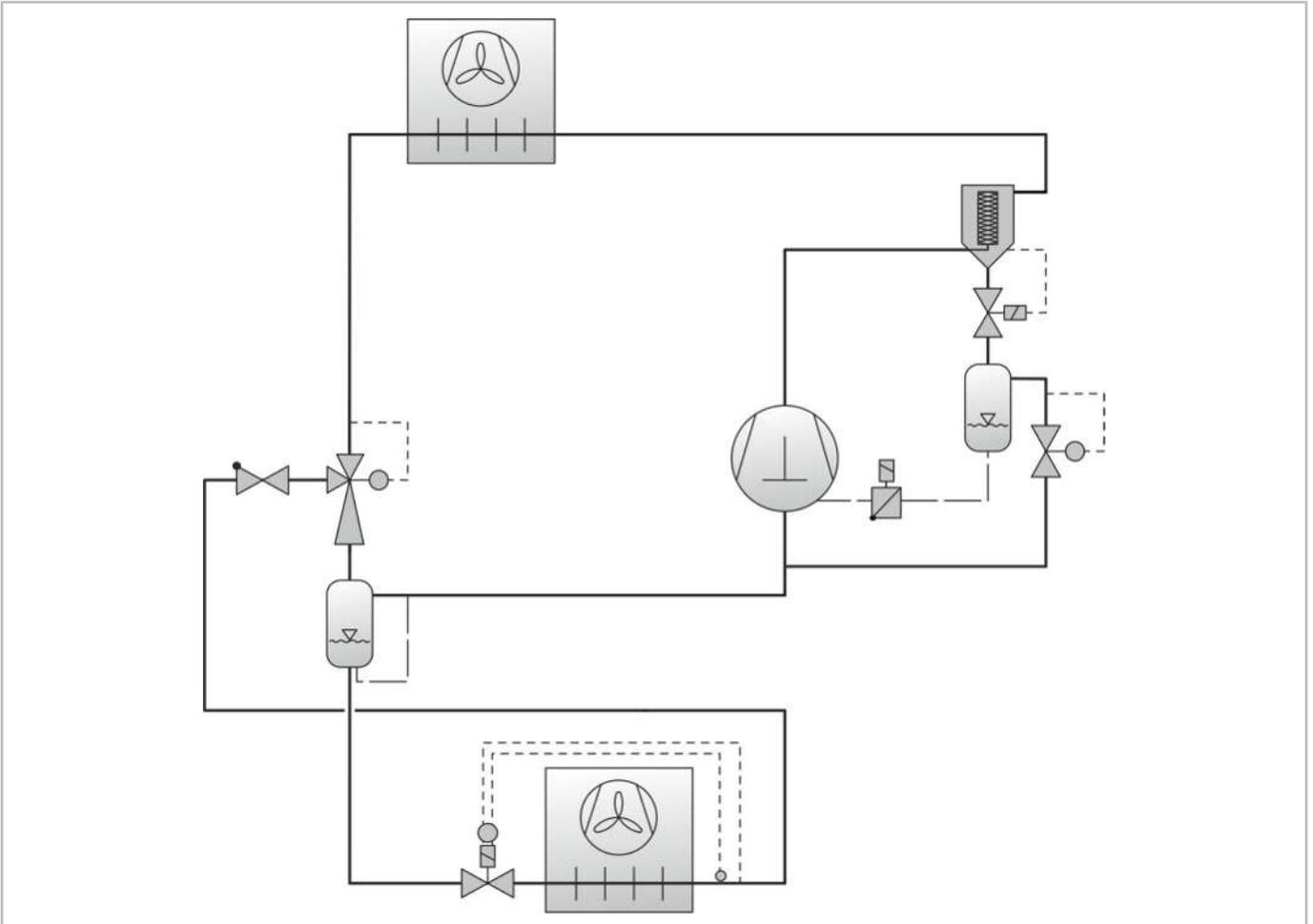


Abb. 4: Anlagenschema: Ejektor in Low-Lift-Anwendung (vereinfachte Darstellung)

Auslegungsbeispiel eines Low-Lift-Ejektors mit Hilfe der BITZER SOFTWARE *siehe Kapitel siehe hier, Seite 16.*

2.3.2 Ejektor in High-Lift-Anwendungen

Ejektoren in High-Lift-Anwendungen werden eingesetzt um einen möglichst hohen Druckhub bei niedrigerer Förderleistung zu erreichen. Hierbei sind der Druckhub sowie der zu fördernde Saugmassenstrom die limitierenden Faktoren und müssen in der Anlage so ausbalanciert werden, dass eine möglichst hohe Effizienz erreicht wird.

Ejektoren in High-Lift-Anwendungen werden in der Regel zur Förderung von überhitztem Gas eingesetzt, da sie nicht den gesamten Massenstrom aus dem Verdampfer fördern und ein Teilmassenstrom weiterhin von den Normkühl-Verdichtern gefördert werden muss. Der vom Ejektor geförderte Teilmassenstrom wird in den Mitteldruckbehälter der Anlage zurückgeführt, der hier auf einem höheren Druckniveau als bei einer Low-Lift-Variante gehalten wird. Das Gas wird dort von den Parallel-Verdichtern abgesaugt.

Der Vorteil liegt hier in der Vorverdichtung eines Teils des verdampften Kältemittels und der damit verbundenen Lastverschiebung auf die Parallel-Verdichter, die bei niedrigerem Druckverhältnis und damit effizienter arbeiten.

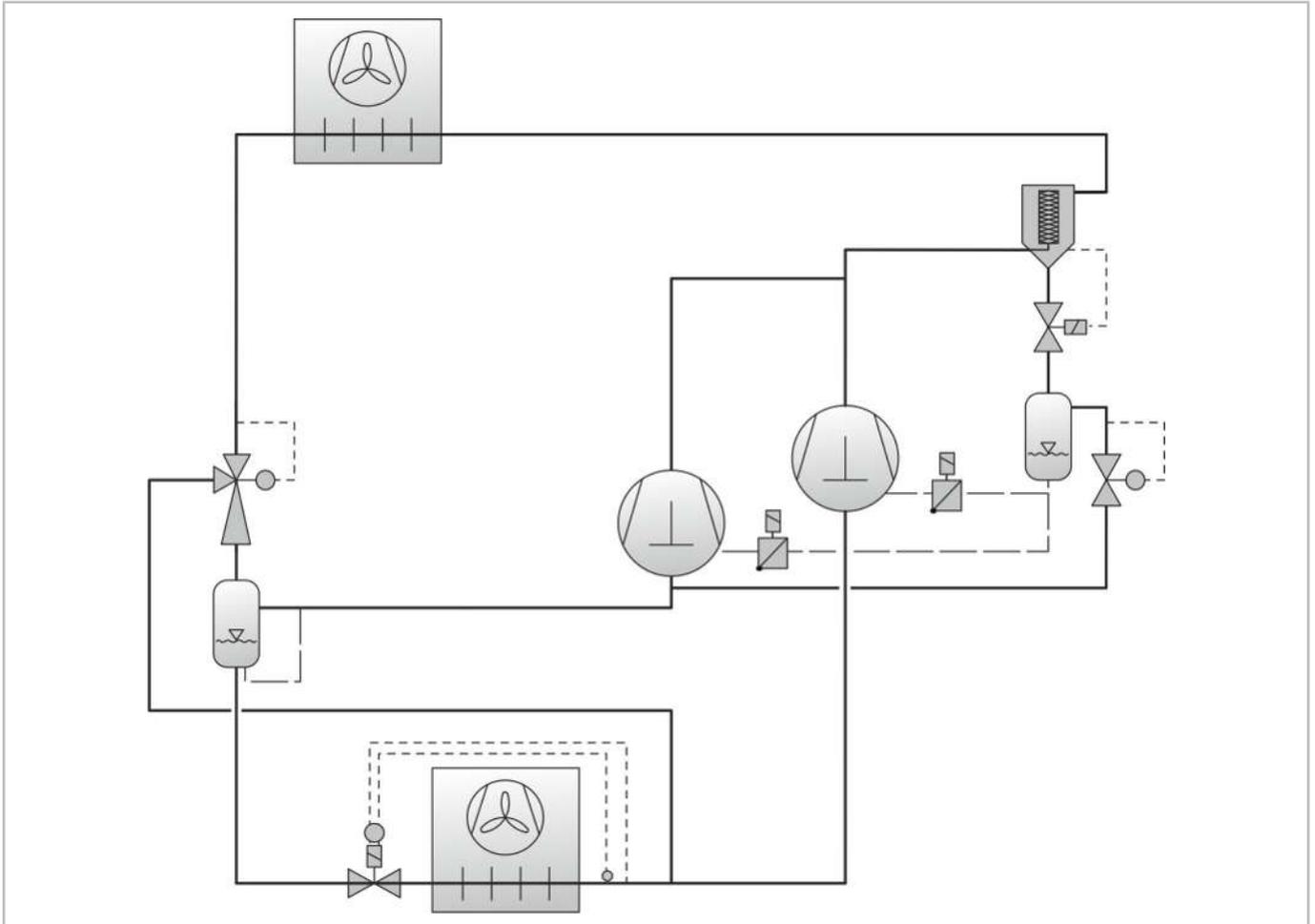


Abb. 5: Anlagenschema: Ejektor in High-Lift-Anwendung (vereinfachte Darstellung)

Auslegungsbeispiel eines High-Lift-Ejektors mit Hilfe der BITZER SOFTWARE [siehe Kapitel siehe hier, Seite 19.](#)

2.4 Kennwerte

Mit den folgenden Kennwerten kann das Verhalten eines Ejektors beschrieben und eine Anlagenauslegung durchgeführt werden:

Druckverhältnis

Das Druckverhältnis gibt an, in welchem Verhältnis der Druck am Austritt des Ejektors zum Saugdruck steht.

$$\Pi = p_{\text{Diffusor, aus}} / p_{\text{Saugdruck}}$$

Druckhub

Der Druckhub gibt an, wie stark der Druck des Saugmassenstroms auf das Austrittsniveau angehoben wurde (siehe [siehe Abbildung 2, Seite 6](#) und Abbildung unten).

$$\Delta p = p_{\text{Diffusor, aus}} - p_{\text{Saugmassenstrom, ein}}$$

Massenstromverhältnis

Das Massenstromverhältnis ist der Quotient aus Saug- zu Treibmassenstrom.

$$\varnothing = \dot{m}_{\text{Saug}} / \dot{m}_{\text{Treib}}$$

Ejektor-Effizienz

Die Ejektor-Effizienz ist das Verhältnis der Energie, die durch die Expansion des Treibmassenstroms des Ejektors gewonnen werden kann und der Arbeit, die durch den Druckhub des Treibmassen- und Saugmassenstroms am Ejektor-Austritt verrichtet wurde. Vereinfacht wird die Ejektor-Effizienz wie folgt definiert:

Annahme: Isentrope Expansion und Isentrope Verdichtung, überhitzt / trocken gesättigt

$$\eta_{Ejektor} = \frac{\dot{m}_{Saug}}{\dot{m}_{Treib}} \times \frac{\Delta h_{Verdichtung}}{\Delta h_{Expansion}}$$

Elbel, S., 2011. Historical and present developments of ejector refrigeration systems with emphasis on transcritical carbon dioxide air-conditioning applications. International Journal of Refrigeration 34 (2011) 1545 - 1561

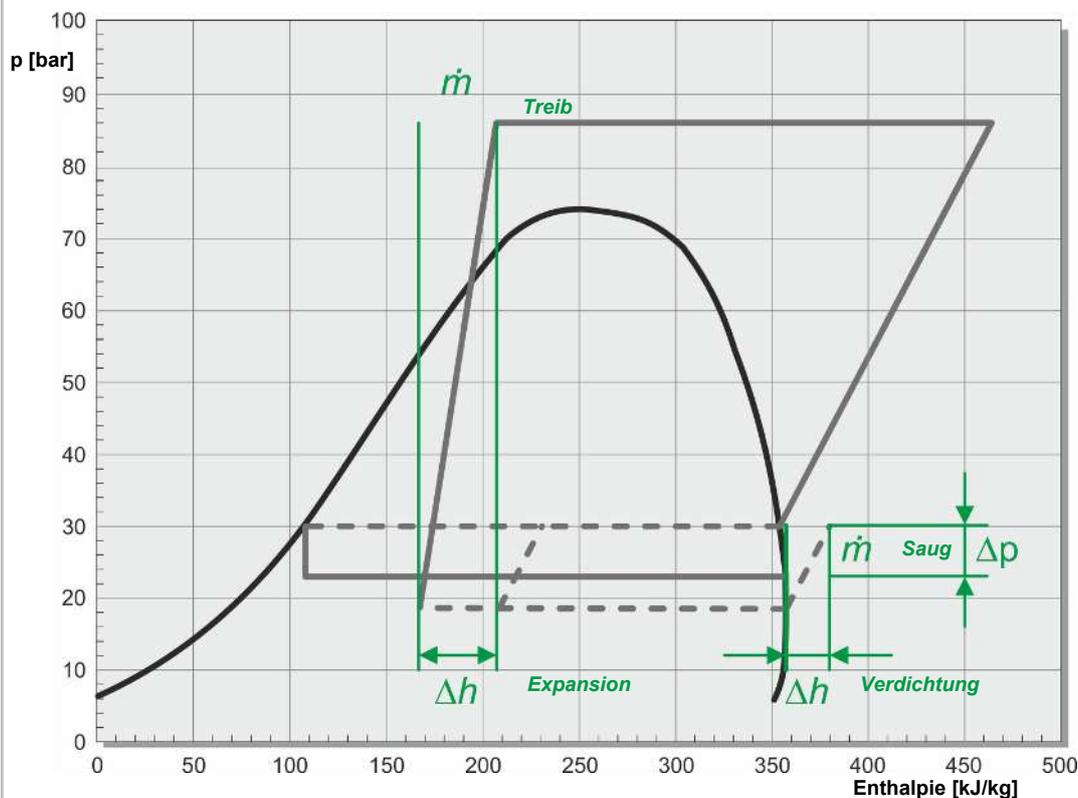


Abb. 6: Darstellung und Definition der Ejektor-Effizienz

Auslegungsbeispiel eines Low-Lift-Ejektors mit Hilfe der BITZER SOFTWARE [siehe Kapitel siehe hier, Seite 16](#).

Auslegungsbeispiel eines High-Lift-Ejektors mit Hilfe der BITZER SOFTWARE [siehe Kapitel siehe hier, Seite 19](#).

2.5 Einbau in die Anlage

- Ejektor(en) bevorzugt über den Verdichtern und von außen zugänglich einbauen.
- Einbau: liegend (a), oder stehend (Austritt nach unten, b).

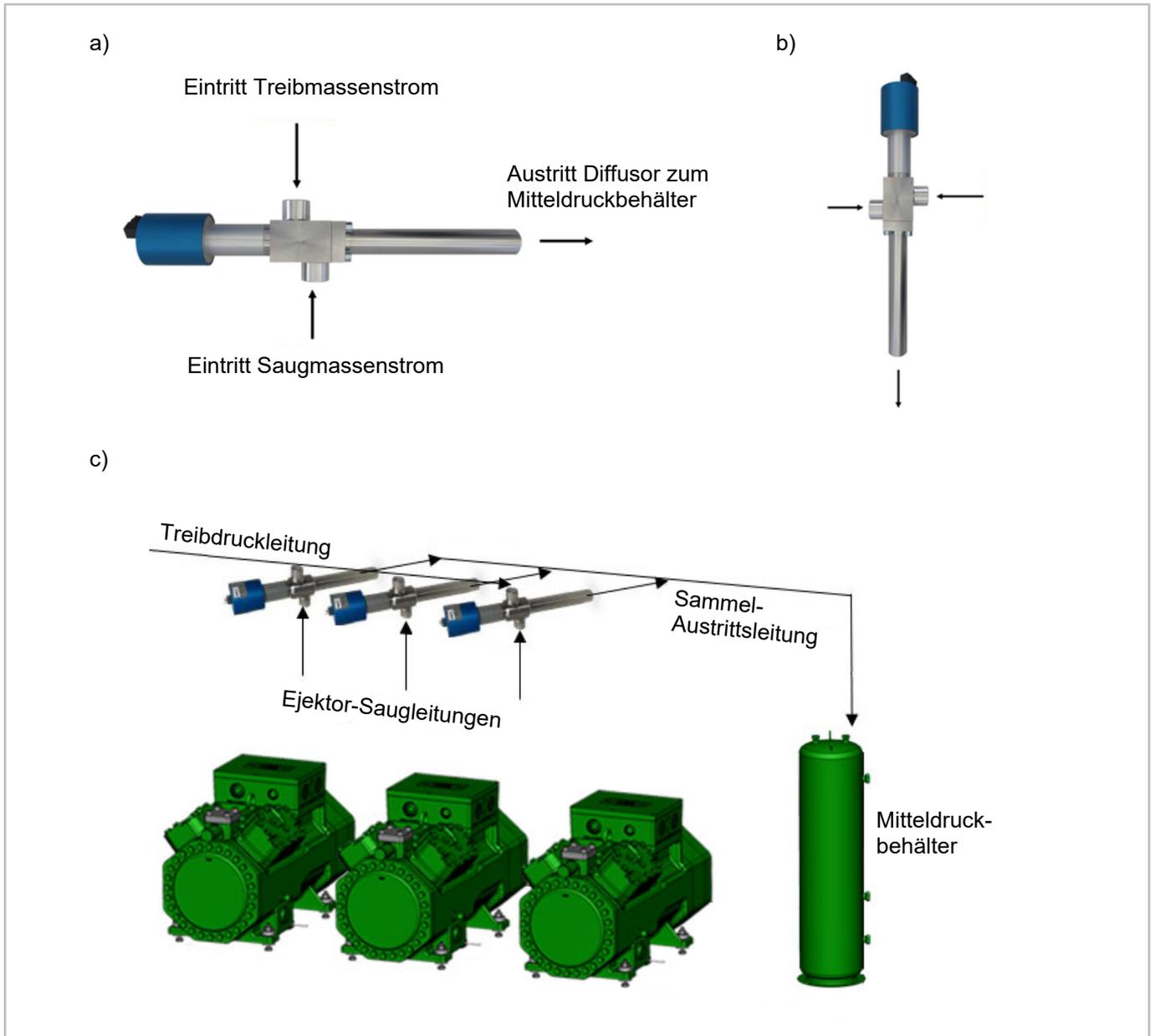


Abb. 7: Einbaupositionen eines Ejektors in die Anlage

- a) liegend
 b) stehend mit Austritt nach unten
 c) Anlage mit parallel geschalteten Ejektoren (Vereinfachte Darstellung)

- Parallel zum Ejektor kann ein mechanisches Hochdruckregelventil für den Notbetrieb installiert werden (*siehe Kapitel Anlagenausführung B Mit Ejektor, Parallelverdichtung und mechanischem Hochdruckregelventil für den Notbetrieb, Seite 14*).
- Schmutzfilter in der Treibdruckleitung, vor dem Eintritt in den Ejektor und dem parallelgeschalteten Hochdruckregelventil einbauen.
- Nur Rohrleitungen mit gebogenen Rohrleitungsstücken verwenden. Dies reduziert Turbulenzen und vermeidet Druckverluste. Keine Rohrbögen mit 90° (z. B. T-Stücke)!
- Absperrventile für Wartungszwecke in den Leitungen zum und vom Ejektor einbauen.
- In der Saugleitung des Ejektors zusätzlich ein Rückschlagventil installieren, um eine mögliche Rückexpansion des Saugmassenstroms aus dem Mitteldruckbehälter zu vermeiden. Dies kann passieren, wenn die Sogwirkung durch den Treibmassenstrom zu gering ist, um den Saugmassenstrom einzusaugen.

- Alternativ zum Rückschlagventil kann ein motorgesteuertes Ventil in die Saugleitung eingebaut werden, um eine mögliche Rückexpansion zu vermeiden. Die Steuerung erfolgt in Abhängigkeit einer minimalen Druckdifferenz zwischen Sauganschluss des Ejektors und dem Sauggasdruck (in Strömungsrichtung vor dem motorgesteuerten Ventil). Sobald eine minimale Druckdifferenz unterschritten wird, schließt das Ventil.
- Auf der Austrittsseite muss eine zum Diffusor fluchtende Beruhigungsstrecke eingebaut werden. Diese muss mindestens $1,5 \times$ so lang sein, wie der Ejektor ($l_{\text{Beruhigung}} = 1,5 \times l_{\text{Ejektor}}$).
- Die Sammel-Austrittsleitung am Diffusor darf zum Mitteldruckbehälter hin nicht ansteigen! Nur so wird ein ungehinderter Eintritt in den Behälter, ohne Überwindung des hydrostatischen Drucks gewährleistet.
- Der Strömungsquerschnitt der Sammel-Austrittsleitung entspricht vereinfacht der Summe der Querschnitte der Treibdruck- und Saugleitung.

Zusätzliche Einbauhinweise bei Anlagen mit parallel geschalteten Ejektoren

- Abgänge von den Sammelleitungen zu den Anschlüssen der Ejektoren auf der Treibdruck- und Saugseite ohne T-Stücke ausführen, dies reduziert Turbulenzen und vermeidet Druckverluste.
- Die Verbindungen von den Sammelleitungen zu den Einzelleitungen bevorzugt in einem Winkel von 45° ausführen.
- Die Zusammenführung der einzelnen Austrittsleitungen in den Kollektor ohne T-Stücke und bevorzugt mit einem Eintrittswinkel von 45° ausführen.
- Strömungsquerschnitt der Austrittsleitung so bemessen, dass eine Strömungsgeschwindigkeit von $0,3..1,0$ m/s bei Vollast im definierten Auslegungspunkt nicht überschritten wird.

2.6 Anlagenausführungen

| Anlagenausführung | A <i>siehe Kapitel Anlagenausführung A Standard-Ejektor-Anlage, Seite 13</i> | B <i>siehe Kapitel Anlagenausführung B Mit Ejektor, Parallelverdichtung und me- chanischem Hochdruckregelventil für den Notbetrieb, Seite 14</i> |
|---|---|---|
| Ejektor statisch | anwendbar | nicht anwendbar |
| Ejektor regelbar ① | anwendbar | anwendbar |
| Ejektor Treibmas- senstrom | Hochdruck-Kältemittel-Massenstrom | Hochdruck-Kältemittel-Massenstrom |
| Ejektor Saugmas- senstrom | Flüssigkeit | Flüssigkeit/Gas |
| Ejektor Saugdruck | $P_{o, NK}$ | $P_{o, NK}$ |
| Druckniveau Austrittsmassen- strom | Mitteldruck (MP) | Mitteldruck (MP) |
| Ejektor-Druckhub | gering | hoch |
| Anlage mit Mittel- druckbehälter | Ja | Ja |
| Betrieb Verdampfer | überflutet oder trocken | überflutet oder trocken |
| Anlage mit Abschei- der | Nein | Ja |
| Anlage mit Parallel- verdichtungsstufe | Nein | Ja |

Tab. 1: Übersicht: Anlagenausführungen A und B für Ejektor-Betrieb

① regelbar entweder durch Modulation von parallelgeschalteten, statischen Ejektoren oder durch Veränderung des Öffnungsgrades der Ejektor-Düse bzw. durch Parallelschaltung von Ejektoren mit regelbaren Öffnungsgraden der Ejektor-Düsen.

2.6.1 Anlagenausführung A Standard-Ejektor-Anlage

Standard-Anlagenausführung bei Einsatz von R744 in Wärmepumpen- und Kälteanlagen mit einstufiger Verdichtung und Expansion. Typischerweise mit nur einem Verdampfer.

Weitere Merkmale dieser Anlagenausführung:

- Der Abscheider befindet sich auf Mitteldruck und wird im weiteren Verlauf der Beschreibung als Mitteldruckbehälter bezeichnet, siehe Abbildung unten.
- Im Ejektor geschieht eine polytrope Expansion des Treibmassenstroms *(siehe Seite 13)* auf ein Druckniveau unterhalb des Verdampfungsdrucks in der Düse.
- Der Saugmassenstrom wird über den Ejektor angesaugt und in der Mischkammer mit dem Treibmassenstrom zusammengeführt *(siehe Kapitel Funktionsweise, Seite 5)*.
- Im Diffusor findet die Druckerhöhung auf Mitteldruck statt *(siehe Kapitel Funktionsweise, Seite 5)*.
- Der Austrittsmassenstrom strömt anschließend in den Mitteldruckbehälter. Flüssigkeit und Gas werden voneinander getrennt.
- Der Flüssigkeitsmassenstrom expandiert vor dem Verdampfer auf Verdampfungsdruck und entspricht dem Saugmassenstrom des Ejektors.
- Je nach Anlagenausführung kann dabei eine Überhitzungsregelung eingesetzt oder ein Betrieb mit überflutetem Verdampfer erfolgen.
- Der Flash-Gas-Massenstrom, der dem Treibmassenstrom des Ejektors entspricht, wird als Sattedampf vom Verdichter angesaugt und auf Hochdruckniveau verdichtet.
- Um den Anteil an Kältemittelflüssigkeit in der Ölrückführleitung möglichst gering zu halten, muss eine Ölrückführleitung am Mitteldruckbehälter angeschlossen und das Polyalkylen-Glykol-Öl BSG68K von BITZER verwendet werden.
Außerdem: Wärmeübertrager in die Ölrückführleitung einbauen!
- Je nach Anlagenausführung kann ein geregelter, oder ungeregelter Ejektor eingesetzt werden. Der geregelte Ejektor kann auch zur Optimierung des Hochdrucks genutzt werden.

i

Information

① Die zur Verfügung stehende Druckdifferenz ist bei luftgekühlten Anlagen von der Gaskühleraustrittstemperatur und dem Druck im Mitteldruckbehälter abhängig.
Die Gaskühleraustrittstemperatur hängt dabei wiederum von der Umgebungstemperatur und gaskühlerspezifischen Kriterien wie Wärmeabgabeleistung, Fläche und Luftvolumenstrom ab. Bei hohen Gaskühleraustrittstemperaturen ist die für den Ejektor verfügbare potentielle und kinetische Energie höher, als bei niedrigeren Temperaturen. Die untere Einsatzgrenze des Ejektors / der Ejektoren wird von einer minimalen Temperatur am Austritt des Gaskühlers definiert. Unterhalb dieser Temperatur bzw. der entsprechenden Druckdifferenz arbeitet der Ejektor nicht mehr zufriedenstellend, da die an der Düse zur Verfügung stehende Energie des Treibmassenstroms nicht mehr ausreicht, um eine Druckerhöhung des Saugmassenstroms zu ermöglichen.

den Verdampfern, von der Tiefkühl-Verdichterstufe aufgenommen und wieder auf Saugdruckniveau der Normalkühl-Verdichterstufe verdichtet.

- Auf der Saugseite der Normalkühl-Verdichterstufe kann entweder:
 - eine Überhitzungsregelung eingesetzt und der Saugmassenstrom des Ejektors direkt gasförmig angesaugt werden oder
 - ein Abscheider eingesetzt werden, für den Betrieb mit teilüberflutetem Verdampfer, der den Betrieb der Normalkühl-Kühlstellen mit geringer Überhitzung ermöglicht.
In diesem Fall ist der Ejektor ein Flüssigkeitsejektor, der den Anteil an überschüssiger Flüssigkeit aus dem Verdampfern der Normalkühl-Verdichterstufe zurück in den Mitteldruckbehälter fördert. Es muss eine Ölrückführung am Abscheider angeschlossen sein!

Im Betrieb außerdem beachten, dass:

- der Ejektor den optimalen Hochdruck auch im Teillastbetrieb mit sehr niedriger Last und bei niedrigen Außentemperaturen über einer Regelkennlinie regelt.
- durch diese Regelung des Hochdrucks, das Massenstromverhältnis (Entrainment) beeinflusst wird. Dies kann dazu führen, dass im Teillastbetrieb kein Saugmassenstrom vom Ejektor gefördert wird!

Es sind zwei verschiedenen Schaltungen der Anlage möglich:

1. **Betrieb mit Hochdruck-Ejektor(en) bei hohen Lastanforderungen und Gaskühleraustrittstemperaturen > 25°C:**
 - Der Massenstrom des Verdampfers der Normalkühl-Verdichterstufe wird nach Expansion und Wärmeaufnahme in den Verdampfern, von dem Ejektor / den Ejektoren aufgenommen und bildet den Saugmassenstrom. Dieser wird anschließend von Normalkühl-Saugdruck auf Mitteldruck verdichtet.
 - Das Flash-Gas-Bypass-Ventil, zwischen dem Mitteldruckbehälter und der Normalkühl-Saugseite, ist geschlossen, wodurch die Normalkühl-Verdichterstufe entlastet wird.
 - Durch den erzeugten Druckhub der Ejektor-Verdichtungsstufe reduziert sich das Druckverhältnis für die Verdichtung des Massenstroms (thermodynamisch wird von einem "Temperaturhub" gesprochen). Gleichzeitig erhöht sich die Sauggasdichte, wodurch der energetische Vorteil der Parallelverdichtung seine Wirkung entfaltet. Der Druck im Mitteldruckbehälter wird dabei von der Parallel-Verdichterstufe geregelt.
 - Bei Anlagen mit teilüberfluteten Verdampfern und einem Abscheider, muss der Ejektor lediglich den Flüssigkeitsüberschuss zurück zum Mitteldruckbehälter fördern. Der energetische Vorteil liegt hierbei hauptsächlich in der erhöhten Verdampfungstemperatur durch die volle Ausnutzung der Wärmeübertragungsfläche. Eine Überhitzungsregelung ist in diesem Fall nicht nötig.
2. **Standardbetrieb ohne Hochdruck-Ejektor(en) bei geringen Lastanforderungen und Gaskühleraustrittstemperaturen < 25°C:**
 - Beim Standardbetrieb mit Flash-Gas-Bypass-Betrieb ist das Regelventil (z. B. Magnetventil, oder Motorventil) vor dem Sauganschluss des Ejektors geschlossen.
 - Die Parallel-Verdichterstufe ist außer Betrieb und das Flash-Gas-Bypass-Ventil regelt den Druck im Mitteldruckbehälter durch Expansion des Flash-Gases auf Normalkühl-Saugdruck.
 - Der Massenstrom des Normalkühl-Verdampfers und der Flash-Gas-Massenstrom werden von der Normalkühl-Verdichterstufe aufgenommen und verdichtet.
 - Damit die Normalkühl-Verdichterstufe bei geringen Lasten und geringen Umgebungstemperaturen mit niedrigeren Hochdrücken betrieben werden kann, kann es vorteilhaft sein, parallel zu, Ejektor / zu den Ejektoren ein Hochdruckregelventil zu installieren (siehe folgendes, vereinfachtes Schema).

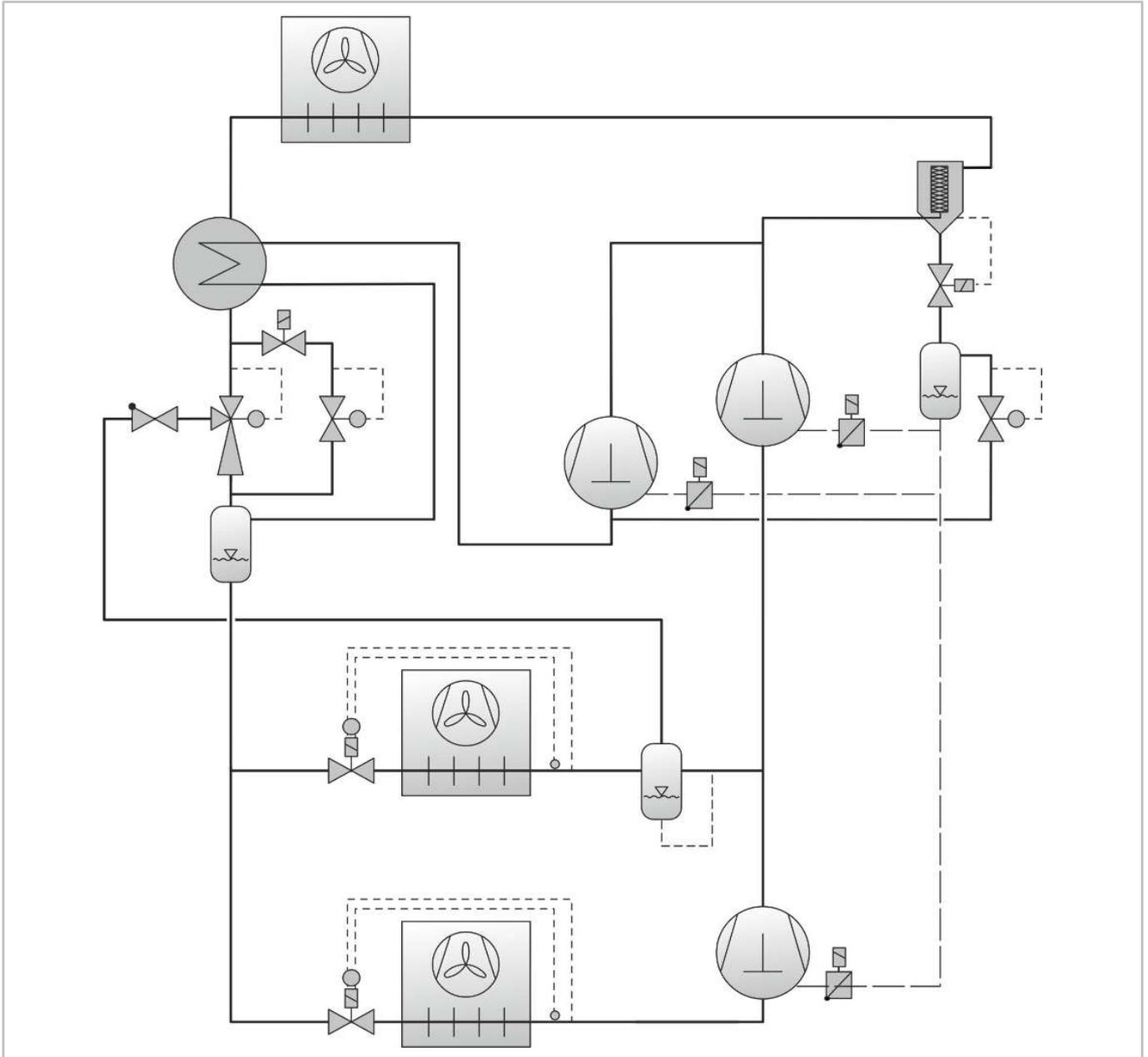


Abb. 9: Anlagenausführung B: mit Ejektor, Parallelverdichtung und mechanischem Hochdruckregelventil für den Notbetrieb (vereinfachte Darstellung)

2.7 Auslegungskriterien und Auswahl

2.7.1 Auslegungsbeispiel eines Ejektors in einer Low-Lift-Anwendung

In einer Low-Lift-Anwendung ist das Massenstromverhältnis das wesentliche Auswahlkriterium. Die Ejektoren wälzen hierbei das Kältemittel ähnlich einer Kältemittelpumpe um. Eine Druckerhöhung wird nur soweit angestrebt, wie es das Massenstromverhältnis des Pumpetriebs zulässt.

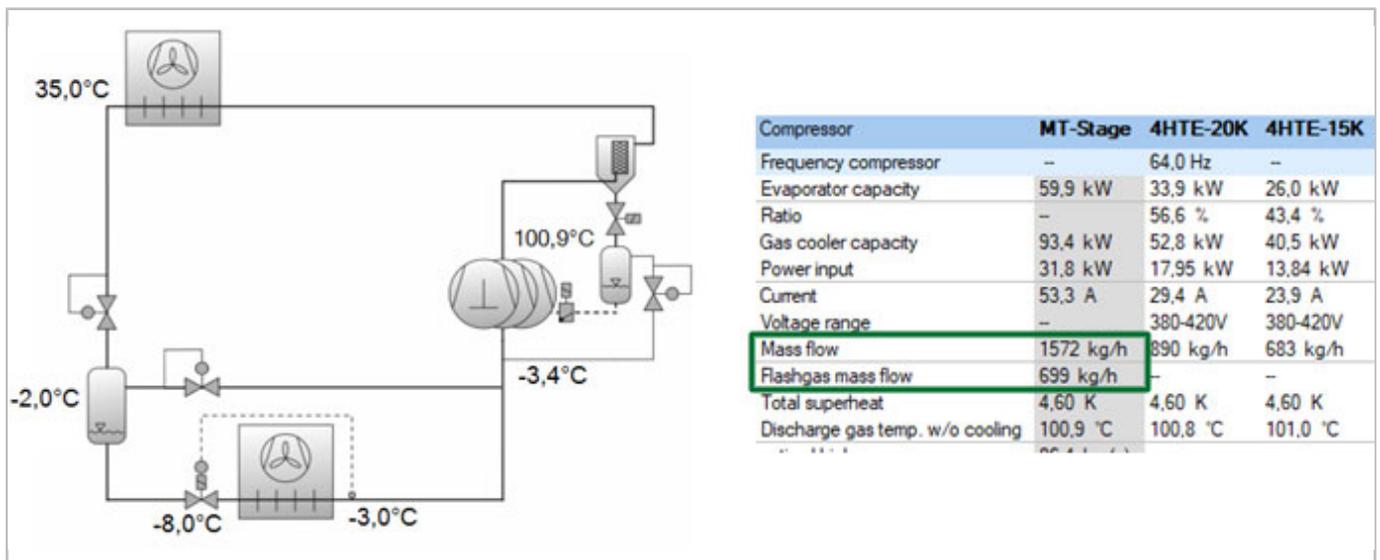
Aus der Kennlinie des gewählten Ejektors ergibt sich der Saugmassenstrom aus gegebenem Hochdruck, der Treibmassenstrom und der Mitteldruck. Der Mitteldruck wird hierbei von der Saugdruckregelung des Verdichters bestimmt.

Im folgenden Beispiel soll eine einstufige Anlage mit einem Ejektor berechnet werden:

Randbedingungen:

- Gaskühleraustrittstemperatur (t_{gc}) im Auslegungspunkt: 35°C
- Hochdruck, absolut (p_{HP}): 89 bar
- Verdampfungstemperatur in der Normalkühl-Verdichterstufe ($t_{o_{NK}}$): -8°C
- Kälteleistung der Normalkühl-Verdichterstufe ($Q_{o_{NK}}$): 60 kW
- Mitteldruck, absolut (geschätzt): 33 bar

Zunächst wird in der BITZER SOFTWARE unter "R744-Booster-Auswahl", eine Anlage ohne Ejektor, mit einer Standard-Überhitzungsregelung berechnet (siehe folgende Abbildung). Der Mitteldruck wird ca. 5 bar über dem Verdampfungsdruck gewählt. Dies entspricht nach einer ersten Schätzung dem Druckhub der Anlage mit Ejektor.



Mit diesen Annahmen wird im ersten Schritt der zu fördernde Massenstrom des Ejektors berechnet um die Kälteleistung von 60 kW zu erreichen. Durch die Abscheidung im Mitteldruckbehälter ist der **Netto-Massenstrom**, der durch den Verdampfer strömt und wieder vom Ejektor angesaugt wird, der Gesamtmassenstrom abzüglich des Flash-Gas-Massenstroms und liegt in diesem Beispiel bei 1572 kg/h - 699 kg/h = **873 kg/h**

Auf Basis des Massenstroms, der für das Erreichen der 60 kW Kälteleistung durch den Verdampfer strömen muss, kann über das Massenstromverhältnis des Ejektors die nötige Förderleistung der Verdichter ermittelt werden. Der im BITZER Berechnungstool vorausgewählte Ejektor HDV-E23 hat bei einem Hochdruck von 89 bar und bei einem Treibmassenstrom von 1572 kg/h ein **Massenstromverhältnis von 0,56** und einen **Druckhub von 4 bar**.

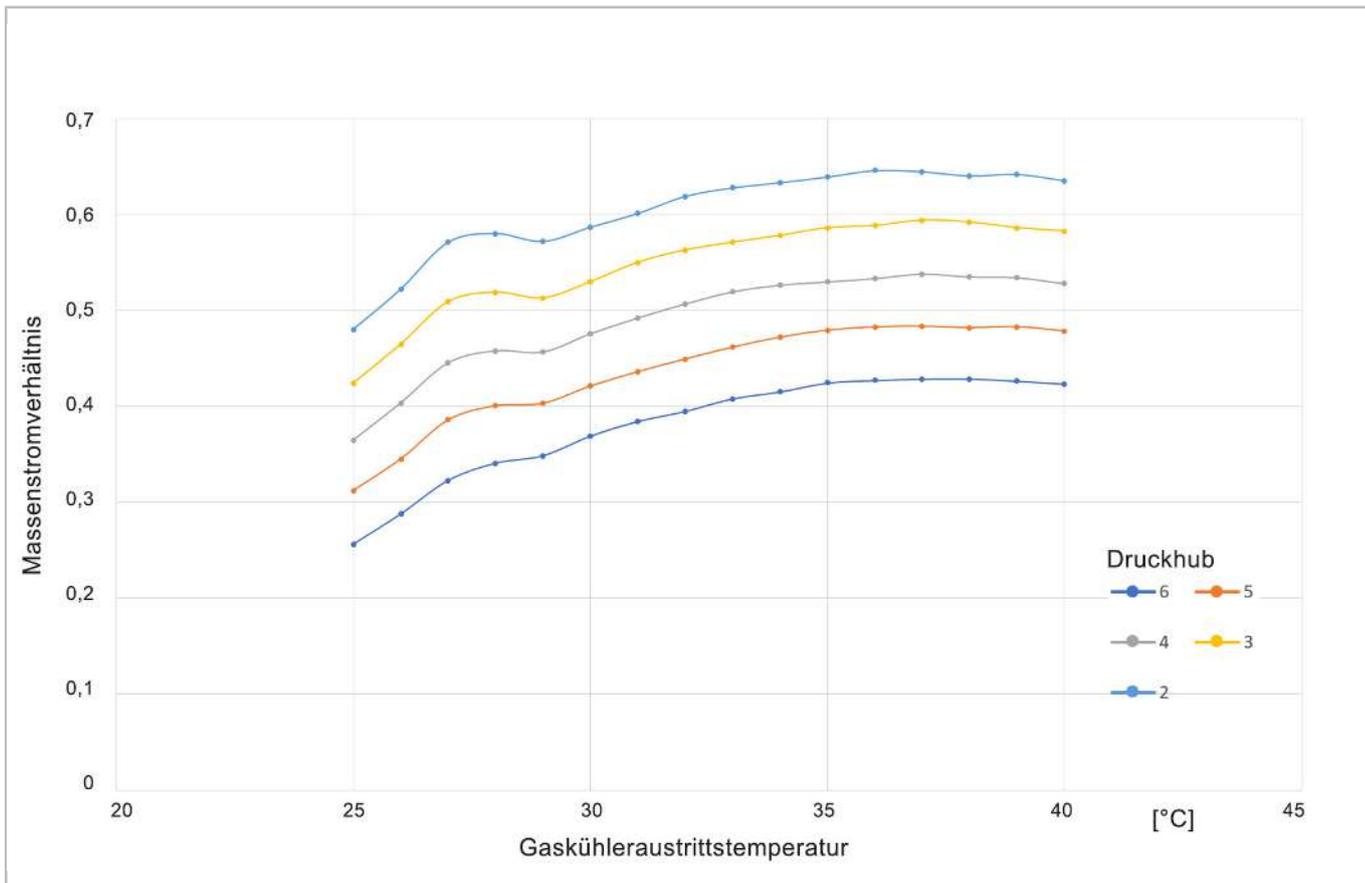


Abb. 10: Mitreißrate Ejektor HDV-E23 als Funktion der Gaskühleraustrittstemperatur für ausgewählte Druckhübe

Der empfohlene Ejektor HDV-E23 kann also 873 kg/h einsaugen und auf einen um 4 bar höheren Mitteldruck fördern.

Preliminary Ejector selection 

Input:

Gascooler outlet temperature: 35 °C

High pressure (Ejector HP inlet): 89 bar(a)

Suction pressure (Ejector LP inlet): 28 bar(a)

Motive mass flow: 1572 kg/h

Output:

Recommended Ejector type: HDV-E23

Utilization: 95 %

Mass entrainment ratio: 0,56

Suction mass flow: 873 kg/h

Interpressure (Ejector outlet): 32 bar(a)

Die Verdichter können durch den erhöhten Ansaugdruck nun kleiner ausgewählt werden. Die gezeigte Kälteleistung in der neuen Auswahl spielt dabei keine Rolle. Die Berechnung dient lediglich der neuen Verdichterkonfiguration anhand des Treibmassenstroms für den Ejektor, bei der höheren Drucklage und der Bestimmung der Leistungsaufnahme. Die Verdichter müssten nun bei 32 bar Saugdruck (-3°C) einen Massenstrom von 1572 kg/h aus dem Mitteldruckbehälter fördern (siehe Abbildung unten). Die dazugehörige Leistungsaufnahme ist die neue Verdichterleistungsaufnahme der Anlage mit Ejektor.

Evaporating SST: -3 °C

Evaporator superheat: 2 K

Suction line superheat: 0 K

High pressure: Auto

Gas cooler outlet: 35 °C

Intermed. pressure: 36 bar(a) 1,20 °C

Additional Configuration

IHX Flashg. - Gas c.: 10 K

Power supply

Power frequency: 50Hz

Power voltage: 400V

MT-Stage: Tentative Data.
MT-Stage: Power consumption at compressor inlet.
MT-Stage: Total superheat smaller than 10K / 18°F.

COP/EER Evaporator: 2.28

| Compressor | MT-Stage | 4JTE-15K | 4JTE-10K |
|---------------------------------|-------------|----------|----------|
| Frequency compressor | -- | 68,0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 59,3 kW | 34,7 kW | 24,6 kW |
| Ratio | -- | 58,5 % | 41,5 % |
| Gas cooler capacity | 85,2 kW | 49,9 kW | 35,3 kW |
| Power input | 26,0 kW | 15,14 kW | 10,84 kW |
| Current | 43,1 A | 24,6 A | 18,49 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 1571 kg/h | 920 kg/h | 651 kg/h |
| Flashgas mass flow | 655 kg/h | -- | -- |
| Total superheat | 5,10 K | 5,10 K | 5,10 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 89,9 °C | 89,7 °C | 90,1 °C |
| optimal high pressure | 86,4 bar(a) | -- | -- |

COP

Der **COP der Flash-Gas-Bypass-Anlage** liegt bei $Q_o / P_e = 59,9 \text{ kW} / 31,8 \text{ kW} = 1,9$

Der **COP der Anlage mit Ejektor** liegt bei $Q_o / P_e = 59,9 \text{ kW} / 26 \text{ kW} = 2,3$

Dabei muss beachten werden, dass der Vorteil der um ca. 3 K höheren Verdampfungstemperatur durch den Betrieb mit überflutetem Verdampfer noch nicht berücksichtigt ist.

2.7.2 Auslegungsbeispiel eines Ejektors in einer High-Lift-Anwendung

Maßgebend für die Auslegung eines Ejektors in einer High-Lift-Anwendung ist das Massenstromverhältnis in Abhängigkeit des Hochdrucks und des Druckhubs. Der Druckhub selbst ist dabei eine Variable, die in gewissen Grenzen frei gewählt werden kann und einen großen Einfluss auf die Auswahl der Verdichter in den einzelnen Verdichterstufen hat.

Bei der Auswahl des Ejektors muss zunächst die Regelstrategie festgelegt werden.

Entweder:

- wird der Mitteldruck in Abhängigkeit des Hochdrucks variiert, so dass Parallel-Verdichter und Ejektoren im optimalen Bereich betrieben werden.
Dies verspricht zwar die höchste Effizienz der Anlage, bedeutet aber auch einen erhöhten Regelungs- und Steuerungsaufwand.

Oder:

- der Mitteldruck wird konstant gehalten. Dies ist einfacher zu implementieren.

Im folgenden Beispiel soll ein Ejektor für eine Tiefkühl-/Normalkühl-Booster-Anlage mit Parallelverdichtung ausgewählt werden:

Randbedingungen:

- Gaskühleraustrittstemperatur (t_{gc}) im Auslegungspunkt: 35°C
- Verdampfungstemperatur in der Normalkühl-Verdichterstufe ($t_{o,NK}$): -8°C

- Verdampfungstemperatur in Tiefkühl-Verdichterstufe ($t_{o,TK}$): -28°C
- Kälteleistung der Normalkühl-Verdichterstufe ($Q_{o,NK}$): 60 kW
- Kälteleistung der Tiefkühl-Verdichterstufe ($Q_{o,TK}$): 15 kW
- Mitteldruck, absolut (p_{MP}): 37 bar

Zunächst wird in der BITZER SOFTWARE unter R744-Booster eine Anlage ohne Ejektor mit einer Standard-Überhitzung berechnet, siehe folgende Abbildung:

3 4MTE-7K

Operating point

Evaporating SST: °C °C

Evaporator superheat: K K

Suction line superheat: K K K

High pressure

Gas cooler outlet: °C

Intermed. pressure: bar(a) °C

Additional Configuration

Air Conditioning kW

IHX Flashg. - Gas c. K

Desuperheater °C

IHX Low temperature stage K

Power supply

Power frequency: Hz

Power voltage: V

Heat recovery

Heat exchanger: 1 2 3

| | | | | |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| Fluid inlet | <input type="text" value="20.00"/> | <input type="text" value="40.0"/> | <input type="text" value="60.0"/> | °C |
| Fluid outlet | <input type="text" value="40.0"/> | <input type="text" value="60.0"/> | <input type="text" value="80.0"/> | °C |
| Heating capacity | <input type="text" value="10.00"/> | <input type="text" value="10.00"/> | <input type="text" value="10.00"/> | kW |
| Spec. heat cap. | <input type="text" value="4.186"/> | <input type="text" value="4.186"/> | <input type="text" value="4.186"/> | kJ/(kg·K) |
| Min. pinch point | <input type="text" value="2.00"/> | <input type="text" value="2.00"/> | <input type="text" value="2.00"/> | K |

COP/EER Evaporator: 1.84

| Compressor | LT-Stage | 2KSL-1K | 2JSL-2K |
|---------------------------------|----------|------------|------------|
| Frequency compressor | -- | 70.0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 15.07 kW | 7.94 kW | 7.13 kW |
| Ratio | -- | 52.7 % | 47.3 % |
| Power input | 2.93 kW | 1.56 kW | 1.37 kW |
| Current | 6.16 A | 2.86 A | 3.30 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 219 kg/h | 115.4 kg/h | 103.6 kg/h |
| Total superheat | 19.90 K | 19.90 K | 19.90 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 52.5 °C | 52.9 °C | 52.0 °C |

| Compressor | M T-Stage | 4M TE-10K | 4M TE-7K | 4M TE-7K |
|---------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|
| Frequency compressor | -- | 70.0 Hz | -- | -- |
| Evaporator capacity | 60.0 kW | 25.2 kW | 17.40 kW | 17.40 kW |
| Ratio | -- | 42.0 % | 29.0 % | 29.0 % |
| Gas cooler capacity | 118.7 kW | 30.6 kW | 21.2 kW | 21.2 kW |
| Power input | 25.8 kW | 10.92 kW | 7.42 kW | 7.42 kW |
| Current | 44.3 A | 18.65 A | 12.82 A | 12.82 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 1132 kg/h | 475 kg/h | 329 kg/h | 329 kg/h |
| Total superheat | 14.90 K | 14.90 K | 14.90 K | 14.90 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 116.7 °C | 117.3 °C | 116.2 °C | 116.2 °C |
| optimal high pressure | 86.4 bar(a) | -- | -- | -- |

| Compressor | Parallel-Stage | 4KTE-12K |
|---------------------------------|----------------|----------|
| Frequency compressor | -- | 55.0 Hz |
| Ratio | -- | 100.0 % |
| Power input | 12.16 kW | 12.16 kW |
| Current | 20.4 A | 20.4 A |
| Voltage range | -- | 380-420V |
| Mass flow | 811 kg/h | 811 kg/h |
| Total superheat | 15.00 K | 15.00 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 95.2 °C | 95.2 °C |

Am Gaskühleraustritt liegt ein **Treibmassenstrom** von 1132 kg/h (NK) + 811 kg/h (Parallel) = **1943** vor. Der Druckhub, den der Ejektor von Normalkühl- auf Mitteldruckniveau leisten muss beträgt 9 bar (siehe Abbildung unten). Auf Basis des Treibmassenstroms (Massenstrom der Normalkühl- und Parallel-Verdichter) von 1943 kg/h, des Hochdrucks und des Druckhubs können ein Ejektor oder mehrere Ejektoren ausgewählt werden.

Es sind **zwei HDV-E16 Ejektoren** für diesen Auslegungsfall geeignet um den Treibmassenstrom vollständig zu nutzen. Hierbei arbeiten beide Ejektoren bei 100% Öffnungsgrad. Die Ejektoren sollten so ausgelegt und geregelt werden, dass der Betriebspunkt möglichst nahe an 100% Öffnungsgrad liegt. Einzelne Ejektoren können deaktiviert werden um die noch aktivierten Ejektoren in Teillast stärker auszulasten. Dies muss spätestens dann geschehen, wenn deren Öffnungsgrad unter 30% fällt, da darunter kein nennenswerter Massenstrom mehr angesaugt und verdichtet werden kann. Der Ejektor würde dann nur noch als reines Expansionsorgan mit isenthalper Drosselung arbeiten.

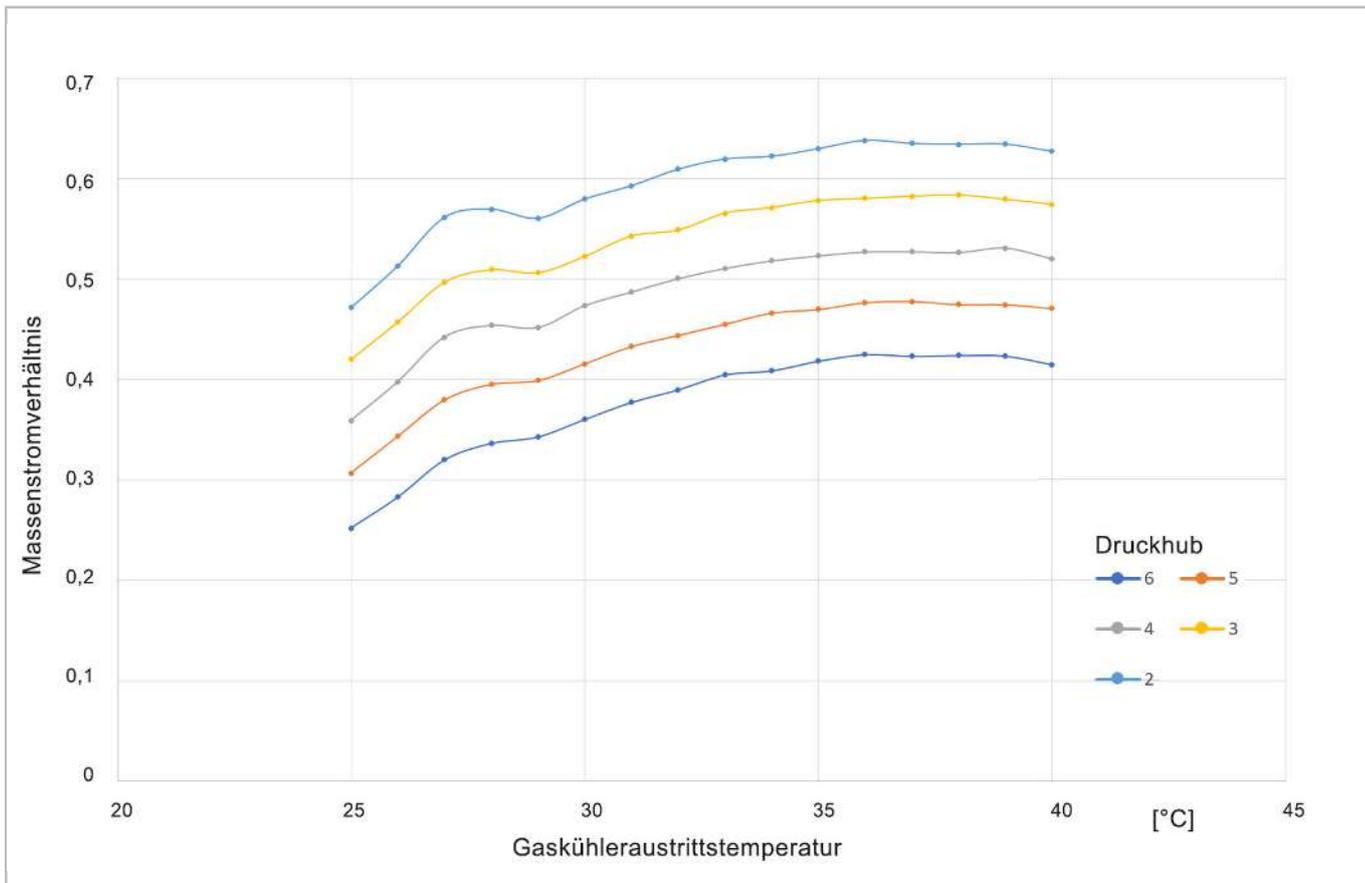


Abb. 11: Mitreißrate Ejektor HDV-E16 als Funktion der Gaskühleraustrittstemperatur für ausgewählte Druckhübe

Die beiden Ejektoren, die vom BITZER Berechnungstool vorgeschlagen werden, haben bei einem **Hochdruck von 86,4 bar** und bei einem **Druckhub von 9 bar** ein **Massenstromverhältnis von 0,29**. Der insgesamt angesaugte und auf **Mitteldruck** geförderte Massenstrom beträgt **560 kg/h (2x 280 kg/h)**.

Preliminary Ejector selection 

Input:

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Gascooler outlet temperature: | 35 °C |
| High pressure (Ejector HP inlet): | 86,4 bar(a) |
| Suction pressure (Ejector LP inlet): | 28 bar(a) |
| Interpressure (Ejector outlet): | 37 bar(a) |
| Motive mass flow: | 976 kg/h |

Output:

| | |
|---------------------------|----------------|
| Recommended Ejector type: | HDV-E16 |
| Utilization: | 100 % |
| Mass entrainment ratio: | 0,29 |
| Suction mass flow | 280 kg/h |

Diese Ergebnisse fließen nun in die weiteren Schritte der Auslegung mit ein. Die **Normalkühl-Verdichter werden um den Betrag 560 kg/h entlastet** und die Parallel-Verdichter entsprechend belastet. Da die

BITZER SOFTWARE die Parallel-Verdichter immer ideal auf die Massenströme der NK- und TK-Verdichter anpasst, muss die von dem Ejektor zusätzlich eingebrachte Lastverschiebung als "Klimalast" angegeben werden (in diesem Fall ca. 37 kW). Dadurch erhöht sich der geförderte Massenstrom der Parallel-Verdichter um 560 kg/h.

Die neuen Bedingungen lauten:

- Normalkühl-Verdichter: 572 kg/h
- Parallel-Verdichter: 1371 kg/h
- Davon Klimalast für Ejektor-Simulation: ca. 37 kW (entspricht dem Massenstrom von 560 kg/h)

Durch die Verschiebung der Massenströme hat sich die Verdichterauswahl erheblich verändert (siehe folgende Abbildung). Der ursprünglich in der Normalkühl-Verdichterstufe eingesetzte Verdichter 4MTE-10K, erscheint nun in der Parallel-Verdichterstufe.

Beachtet werden muss aber, dass sich durch das Wegfallen des Massenstroms aus dem Verdampfer, am Mischpunkt mit dem Druckgas der Tiefkühl-Verdichterstufe, die Mischtemperatur und damit die Sauggastemperatur stark erhöht hat. Dies hat einen starken Anstieg der Druckgastemperatur zur Folge und muss im Extremfall beachtet werden. Eine zusätzliche Sauggaskühlung kann notwendig werden!

| Operating point | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Evaporating SST | -28 °C | -8 °C | |
| Evaporator superheat | 5 K | 5 K | |
| Suction line superheat | 5 K | 5 K | 5 K |
| <input type="checkbox"/> High pressure | | Auto | |
| Gas cooler outlet | | 35 °C | |
| Intermed. pressure | | 37 bar(a) | 2.30 °C |
| Additional Configuration | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Air Conditioning | | | 37 kW |
| <input checked="" type="checkbox"/> IHX Flashg. - Gas c. | | | 10 K |
| <input checked="" type="checkbox"/> Desuperheater | | 30 °C | |
| <input checked="" type="checkbox"/> IHX Low temperature stage | | 10 K | |
| Power supply | | | |
| Power frequency | 50Hz | | |
| Power voltage | 400V | | |
| Heat recovery | | | |
| Heat exchanger | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 |
| Fluid inlet | 20.00 | 40.0 | 60.0 °C |
| Fluid outlet | 40.0 | 60.0 | 80.0 °C |
| Heating capacity | 10.00 | 10.00 | 10.00 kW |
| Spec. heat cap. | 4.186 | 4.186 | 4.186 kJ/(kg*K) |
| Min. pinch point | 2.00 | 2.00 | 2.00 K |
| 28/10/2021 11:03:42 | | | |

| COP/EER Evaporator: 2.01 | | | |
|---------------------------------|----------------|------------|------------|
| Compressor | LT-Stage | 2KSL-1K | 2JSL-2K |
| Frequency compressor | -- | 70.0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 15.07 kW | 7.94 kW | 7.13 kW |
| Ratio | -- | 52.7 % | 47.3 % |
| Power input | 2.93 kW | 1.56 kW | 1.37 kW |
| Current | 6.16 A | 2.86 A | 3.30 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 219 kg/h | 115.4 kg/h | 103.6 kg/h |
| Total superheat | 19.90 K | 19.90 K | 19.90 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 52.5 °C | 52.9 °C | 52.0 °C |
| Compressor | M T-Stage | 4M TE-10K | 4M TE-7K |
| Frequency compressor | -- | 42.0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 23.3 kW | 10.44 kW | 12.86 kW |
| Ratio | -- | 44.8 % | 55.2 % |
| Gas cooler capacity | 115.7 kW | 17.38 kW | 21.4 kW |
| Power input | 13.84 kW | 6.42 kW | 7.42 kW |
| Current | 26.4 A | 13.60 A | 12.82 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 574 kg/h | 257 kg/h | 317 kg/h |
| Total superheat | 20.00 K | 20.00 K | 20.00 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 125.4 °C | 127.8 °C | 123.5 °C |
| optimal high pressure | 86.4 bar(a) | -- | -- |
| Compressor | Parallel-Stage | 4KTE-12K | 4M TE-10K |
| Frequency compressor | -- | 59.0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 37.0 kW | -- | -- |
| Ratio | -- | 64.5 % | 35.5 % |
| Power input | 20.6 kW | 13.08 kW | 7.56 kW |
| Current | 35.2 A | 21.8 A | 13.41 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 1360 kg/h | 877 kg/h | 483 kg/h |
| Total superheat | 15.00 K | 15.00 K | 15.00 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 95.7 °C | 95.0 °C | 96.9 °C |

Die in der neuen Auswahl dargestellte Kälteleistung der Verdichterstufen hat keine Bedeutung. Es wurde lediglich die Verdichterauswahl den neuen Massenstromverhältnissen angepasst um die Verdichtergrößen und Leistungsaufnahmen zu bestimmen. Damit lässt sich mit der ursprünglich berechneten Kälteleistung und der neuen Leistungsaufnahme durch den Einsatz des Ejektors folgender COP berechnen:

COP

Der Gesamt-COP der Parallel-Anlage liegt bei:

$$Q_o / P_e = (15,07 \text{ kW} + 60 \text{ kW}) / (2,93 \text{ kW} + 25,8 \text{ kW} + 12,16 \text{ kW}) = 1,84$$

Der Gesamt-COP der Parallel + Ejektor-Anlage liegt bei:

$$Q_o / P_e = (15,07 \text{ kW} + 60 \text{ kW}) / (2,93 \text{ kW} + 13,84 \text{ kW} + 20,6 \text{ kW}) = 2,01$$

2.8 Regelung

- Regelbare Ejektoren (z. B. HDV-E30) haben einen bipolaren Stellmotor, durch den die Stellung eines Drosselorgans und damit die Querschnittsfläche der Düse im Ejektor verändert werden kann.
- Zur Regelung des Ventils braucht es:
 - ein analoges Stellsignal (0..10 V) vom übergeordneten Regler (Hersteller unabhängig)
 - das Steuergerät SVD1A1
 - die Ansteuerung des bipolaren Stellmotors (geschieht über das Steuergerät)

Das Steuergerät SVD1A1

Kabel nur mit Dichtung am Ejektor anschließen (im Lieferumfang enthalten). Anzugsmoment für den Stecker: 0,5 Nm.

Bei allen Arbeiten an der Anlagenelektrik: Die Schutzziele der EU-Niederspannungsrichtlinie , EN60204-1, die Sicherheitsnormenreihe IEC60364 und nationale Schutzbestimmungen berücksichtigen.



HINWEIS

Fehlfunktionen durch elektromagnetische Störungen!
Beim Anschluss von Ejektoren mit einer Kabellänge > 5m, geschirmte Anschlussleitung verwenden.
Den Schirm an Klemme 35 anschließen, die Erdung an Klemme 34 .



Information

Das SVD1A1 ist inaktiv, wenn die Kombination 0/0 an den Drehschaltern eingestellt ist!

Einstellung von Ejektorgruppe und Ejektortyp:

- An den Drehschaltern des Steuergeräts die Ejektorgruppe "8" (linker Drehschalter) und den Ejektortyp "0" oder "1" ((rechter Drehschalter) einstellen (siehe Abbildung unten).

| | |
|-------------------|--|
| Ejektorgruppe "8" | HDV-E23/HDV-E30 |
| Typ "0" | 100% des Kv-Wertes bei Einzelbetrieb |
| Typ "1" | 100% des Kv-Wertes bei Kaskadenbetrieb |

Tab. 2: Einstellungen am Steuergerät SVD1A1

Kabellängen und Querschnitte:

- < 5 m -> 0,5 mm²
- 5-30 m -> 0,5 mm² geschirmt
- 30-50 m -> 0,75 mm² geschirmt

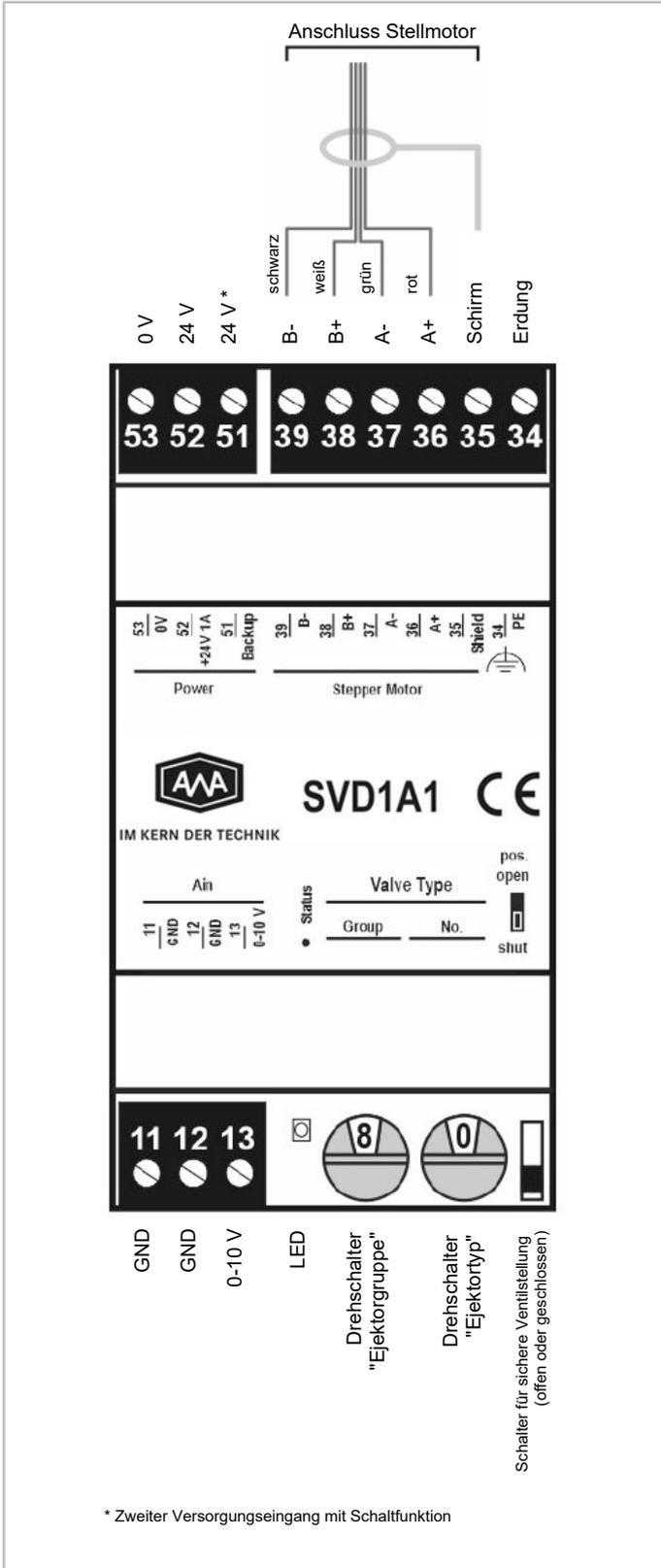


Abb. 12: Steuergerät SVD1A1

Einstellungen für Notbetrieb / bei Unterbrechung der Spannungsversorgung:

- Die Ejektorstellung (offen oder geschlossen) wird direkt am Schalter für die sichere Ventilstellung (Safe pos.) des SVD1A1 voreingestellt (siehe Abbildung oben, Schalter rechts neben den Drehschaltern).
- Das SVD1A1 hat für den Fall eines Notbetriebs / bei Unterbrechung der Spannungsversorgung eine integrierte Notschließfunktion.

Regelkennlinie

Bei den in dieser Technischen Information beschriebenen Anwendungen regelt der Ejektor den optimalen Hochdruck über eine Regelkennlinie (abhängig vom Hersteller des übergeordneten Reglers). Für die Regelung wird der gemessene Hochdruck, mit dem angestrebten Soll-Hochdruck, für die ebenfalls gemessene Temperatur am Gaskühleraustritt, mit der Regelkennlinie verglichen.

- In Abhängigkeit der Regelabweichung zwischen dem gemessenen Hochdruck und dem Soll-Hochdruck, erfolgt die Ausgabe eines analogen Stellsignals durch den übergeordneten Regler. Über das Steuergerät wird der bipolare Stellmotor und dadurch dann die Querschnittsfläche der Düse verändert.
- Durch die Regelung der Querschnittsfläche der Düse und somit des Hochdrucks wird das Massenstromverhältnis (Entrainment) beeinflusst. Beim Einsatz des Ejektors als Low-Lift- / Flüssigkeits-Ejektor muss diese Abhängigkeit bei der Planung und Auslegung der Anlage berücksichtigt werden.
- Der Druckhub darf nur so hoch gewählt werden, dass es auch bei geringem Hochdruck und Treibmassenstrom zu keinem Strömungsabriss (Stall-Effekt) im Ejektor kommt.
- Bei einigen Ejektor-Anwendungen kann zwischen verschiedenen Betriebszuständen unterschieden werden, z. B. mit offener oder geschlossener Saugleitung für den Ejektor.
- Ein Kriterium für die Aktivierung der verschiedenen Betriebszustände ist die Gaskühleraustrittstemperatur, bzw. die Eintrittstemperatur des Treibmassenstroms in den Ejektor. Allerdings gibt die Gaskühleraustrittstemperatur alleine keinen Aufschluss über die Lastanforderung an den Kühlstellen.
- Je nach Hersteller und Typ des übergeordneten Reglers, werden weitere Kriterien berücksichtigt, z. B. Öffnungsgrad des Flash-Gas-Bypass-Ventils, Öffnungsgrad Hochdruckregelventil, Betriebsrückmeldung der Verdichter, Überhitzung und Alarmmeldungen.

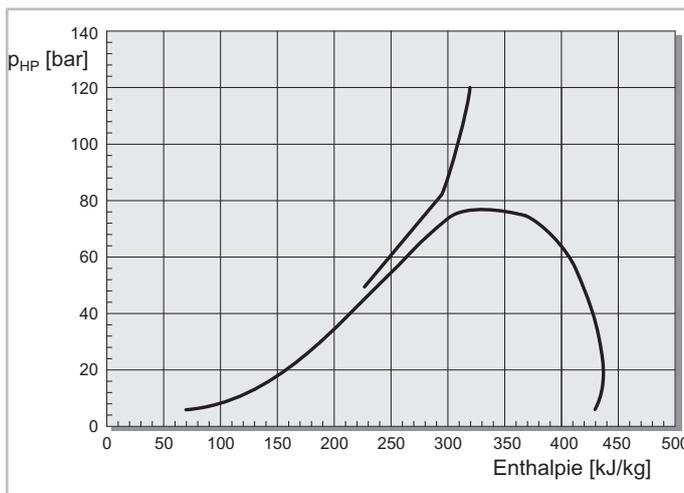


Abb. 13: Ejektor-Regelkennlinie im p,h-Diagramm

2.9 Dokument als PDF

[Dokument als PDF öffnen](#)

Dokumente hierzu

[AT-744-1.pdf \(Resources/pdf/522229387.pdf\)](#)

Table of contents

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduction..... | 28 |
| 2 | BITZER refrigerant ejectors | 28 |
| 2.1 | Safety..... | 28 |
| 2.1.1 | General safety instructions | 29 |
| 2.1.2 | Mind with the refrigerant R744..... | 30 |
| 2.1.3 | Also observe the following technical documents | 30 |
| 2.2 | Introduction | 30 |
| 2.3 | Operating principle..... | 30 |
| 2.3.1 | Ejector in low lift applications | 32 |
| 2.3.2 | Ejector in high lift applications..... | 34 |
| 2.4 | Characteristic values | 35 |
| 2.5 | Installation in the system | 37 |
| 2.6 | System designs | 39 |
| 2.6.1 | System design A standard ejector system..... | 39 |
| 2.6.2 | System design B with ejector, parallel compression and mechanical high-pressure control valve for emergency operation | 41 |
| 2.7 | Design criteria and selection..... | 44 |
| 2.7.1 | Design example of an ejector in a low lift application | 44 |
| 2.7.2 | Design example of an ejector in a high lift application | 46 |
| 2.8 | Control | 50 |
| 2.9 | Document as PDF | 53 |

1 Introduction

This guide describes the use of BITZER refrigerant ejectors in R744 systems.

It is constantly developed and will in future cover the basics and special features of CO₂ applications for commercial and industrial refrigeration as well as heat pumps. As the individual topics are added successively, this guide does not claim to be complete at the moment.

2 BITZER refrigerant ejectors

2.1 Safety

Authorized staff

All work done on the products and the systems in which they are or will be installed may only be performed by qualified and authorised staff who have been trained and instructed in all work. The qualification and competence of the qualified staff must correspond to the local regulations and guidelines.

Residual risks

The products, electronic accessories and further system components may present unavoidable residual risks. Therefore, any person working on it must carefully read this document! The following are mandatory:

- relevant safety regulations and standards
- generally accepted safety rules
- EU directives
- national regulations and safety standards

Example of applicable standards: EN378, EN60204, EN60335, EN ISO14120, ISO5149, IEC60204, IEC60335, ASHRAE 15, NEC, UL standards.

Personal protective equipment

When working on systems and their components: Wear protective work shoes, protective clothing and safety goggles. In addition, wear cold-protective gloves when working on the open refrigeration circuit and on components that may contain refrigerant.



Fig. 1: Wear personal protective equipment!

Safety references

Safety references are instructions intended to prevent hazards. They must be stringently observed!



NOTICE

Safety reference to avoid situations which may result in damage to a device or its equipment.

**CAUTION**

Safety reference to avoid a potentially hazardous situation which may result in minor or moderate injury.

**WARNING**

Safety reference to avoid a potentially hazardous situation which could result in death or serious injury.

**DANGER**

Safety reference to avoid an imminently hazardous situation which may result in death or serious injury.

In addition to the safety references listed in this document, it is essential to observe the references and residual risks in the respective operating instructions!

2.1.1 General safety instructions

**DANGER**

Observe the high pressure levels of the refrigerant R744!

At standstill the pressure in the system will rise and there is a risk of bursting!

Install pressure relief valves on the compressor and on the suction and high-pressure sides in system sections that are lockable from both sides.

Requirements and design according to EN 378-2 and EN 13136.

Critical temperature 31.06°C corresponds to 73.84 bar.

**DANGER**

Liquid R744 evaporates quickly, cools down at the same time and forms dry ice!

Danger of cold burns and frost bites!

Avoid uncontrolled deflating of R744!



When filling the system with R744, wear gloves and goggles!

**Information**

All transcritical BITZER R744 compressors are equipped with an optional pressure relief valve to the atmosphere on the high-pressure side and on the low-pressure side as well.

However, they do not replace the safety valves of the system (EN 12693)!

Make sure that the pressure relief valves can freely vent to the atmosphere.

Do not mount any pipes near the outlet of the pressure relief valve!

**DANGER**

Risk of bursting of components and pipes due to excess hydraulic pressure.

Vessel and pipes may burst, small components may shoot out. The pressure wave may be lethal.

Never charge blocked components and pipes completely with liquid or leave them charged. Leave sufficient volume above the liquids.

Mounting

**DANGER**

Risk of bursting the pressure equipment due to mechanical stress.

Serious injuries are possible.

Connect the pipes to the pressure equipment without load and stress!

**DANGER**

Risk of bursting of components and pipes due to liquid overpressure.

Serious injuries are possible.

Make sure not to exceed maximum admissible pressures!

For work on the pressure equipment after having put the system into operation



CAUTION

Surface temperatures of more than 60°C or below 0°C.
Risk of burns or frostbite.



Close off accessible areas and mark them.

Before performing any work on the pressure equipment: switch off the system and let it cool down or warm up.

Before performing any work on the refrigerating circuit



WARNING

The pressure equipment is under pressure!
Serious injuries are possible!



Depressurise the pressure equipment!
Wear safety goggles!



CAUTION

Refrigerant can be very cold
Risk of severe frostbite.



Avoid any contact with the refrigerant. Wear cold-protective gloves.

2.1.2 Mind with the refrigerant R744



DANGER

CO₂ is an odourless and colourless gas and cannot be perceived directly in case of emission!
Lost of consciousness and danger of suffocation by inhaling higher concentrations!

Avoid CO₂ emission and uncontrolled deflating, particularly in closed rooms!

Aerate closed machine rooms!

Make sure that the safety regulations in accordance with EN 378 are complied with!

2.1.3 Also observe the following technical documents

CB-300: Operating instructions refrigerant ejectors

2.2 Introduction

Ejectors can relieve compressors in R744 systems or reduce the required displacement.

Without electrical operating energy, driven by the potential and kinetic energy of the motive mass flow, they cause a pressure lift for a partial mass or suction mass flow.

Characteristic values, possible system designs and design criteria for BITZER high pressure ejectors are presented below.

2.3 Operating principle

Ejectors are based on the functional principle of a jet pump and can be used in different arrangements in a system. They generate negative pressure according to the Venturi principle (see following figure). An ejector has a characteristic curve which is similar to that of a pump; as the pressure lift increases, the delivered mass flow drops sharply.

- At the inlet of the nozzle, a refrigerant mass flow under high pressure (high potential energy) – also called motive mass flow – is accelerated.

- The conversion of the potential energy into kinetic energy decreases the pressure of the motive mass flow while increasing its velocity (see figure below).
- The pressure reduction / acceleration continues until the pressure at the outlet of the nozzle has dropped so far that suction / negative pressure is created at an inlet located there.
- A secondary refrigerant mass flow – also called suction mass flow – is thus sucked in and carried along.
- The mass flows mix and the kinetic energy of the motive mass flow is converted into potential energy of the accumulated mass flow – also called outlet mass flow.
This causes an increase in pressure above the pressure of the suction mass flow.

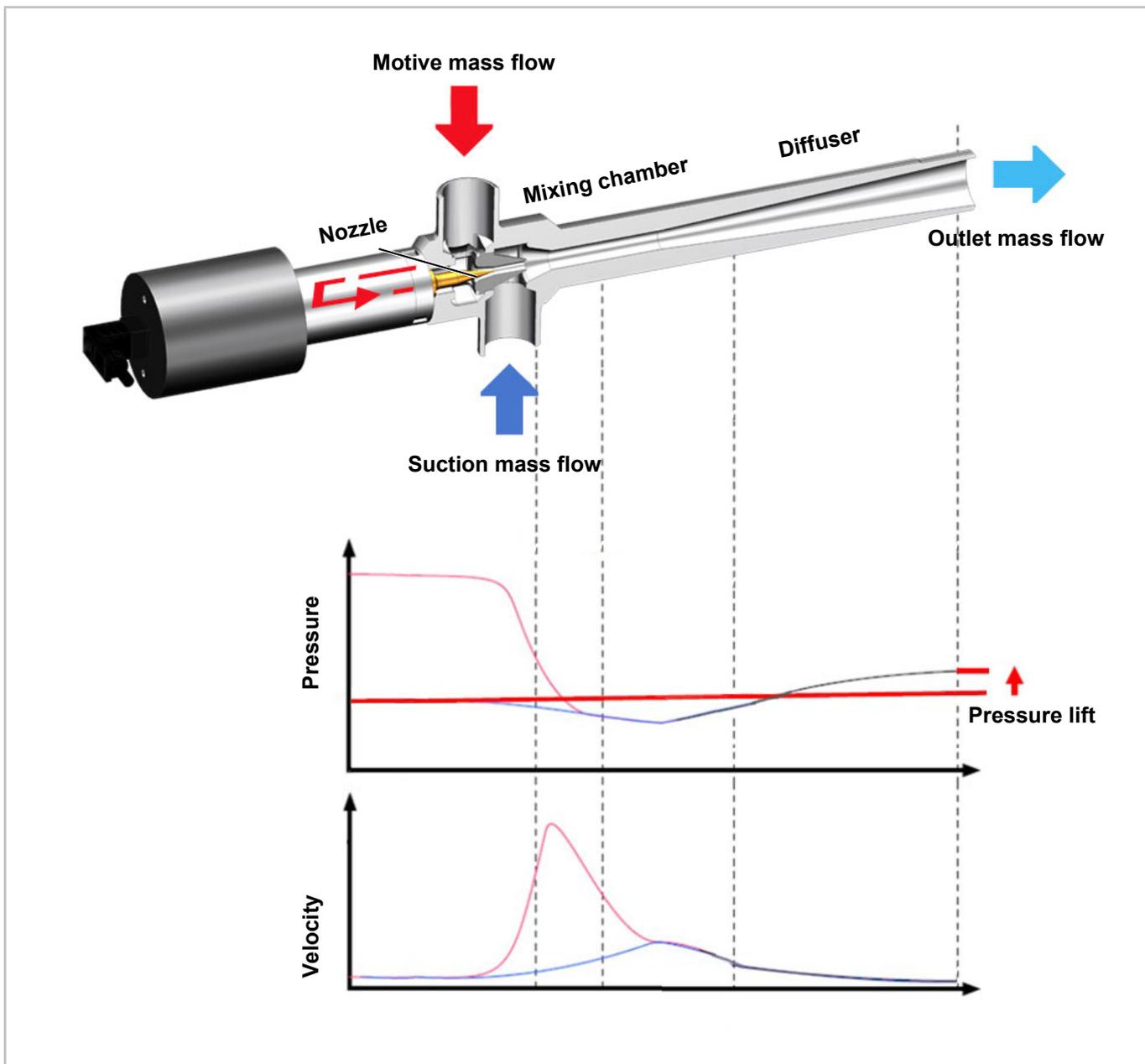


Fig. 2: Schematic representation of a controllable high pressure ejector with pressure and velocity curve of the mass flows

Applied to transcritical applications with R744, this means that the ejector uses the potential and kinetic energy present in the refrigerant at the gas cooler outlet to suck in another partial mass flow and bring it to a higher pressure level (see following figure).

- The R744 [2] leaving the compressor at high pressure level is accelerated in the ejector nozzle [3] after gas cooling / heat dissipation in the gas cooler [2].
- As a result, the static pressure drops and the pressure of the flow leaving the nozzle is lower than the suction gas pressure of the medium temperature compressor stage [4].
- This allows gas and/or liquid to be selectively extracted from a low pressure level [5].
- Both partial flows mix in the mixing chamber upstream of the diffuser [6].
- In the diffuser, the flow is decelerated again, thus increasing the pressure to intermediate pressure level [6].
- Downstream of the diffuser, the mixture is fed into the intermediate pressure vessel, the gas phase is separated [1] and compressed to a high pressure level [2].

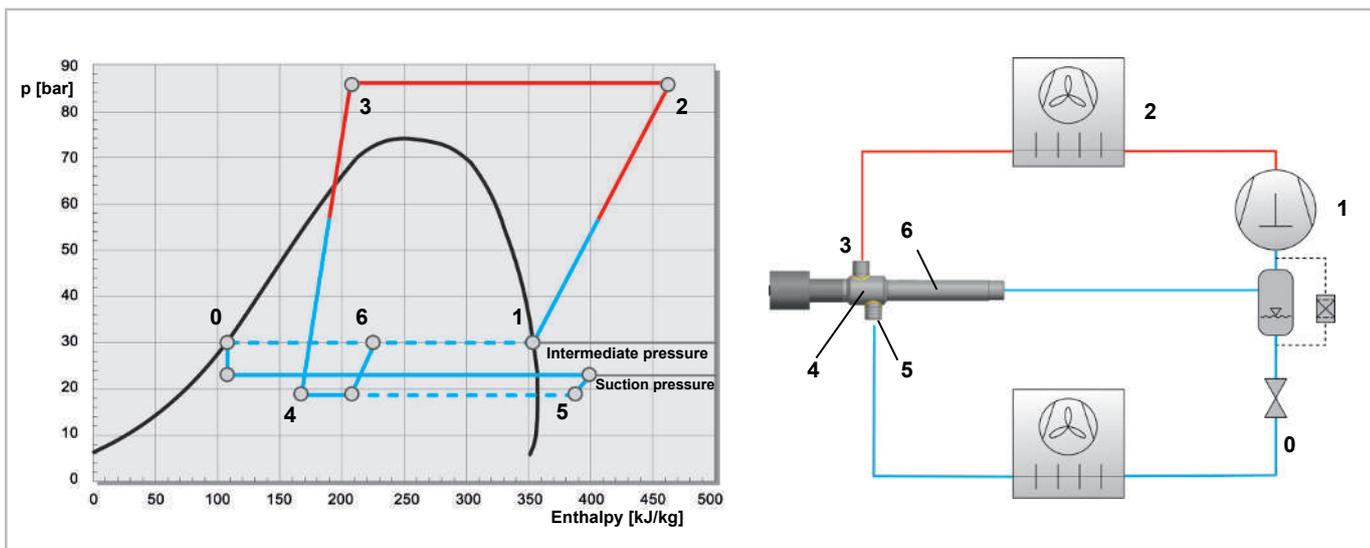


Fig. 3: Simplified, schematic ejector circuit, on the left in the pressure enthalpy diagram

| | | | |
|---|--|---|--|
| 0 | Throttling from intermediate pressure to evaporator pressure | 4 | Expansion under suction pressure |
| 1 | Compressor outlet / compression | 5 | Suction of the suction mass flow |
| 2 | Gas cooling / condensation | 6 | Mixing and pressure increase of the motive mass flow / suction mass flow |
| 3 | Gas cooler / condenser outlet / entry into the ejector | | |

2.3.1 Ejector in low lift applications

Ejectors in low lift applications should deliver the highest possible mass flow. They are usually used to extract the entire mass flow that is evaporated in the system and deliver it back to the intermediate pressure vessel. The limiting factor here is the mass flow which determines how much the ejector can raise the pressure or how high the intermediate pressure may be so that the refrigerant can be fed back.

Liquid phase and gas phase are separated in the intermediate pressure vessel. The gas phase is extracted by the compressor and represents the motive mass flow. The liquid phase is still available to supply the evaporator and represents the suction mass flow.

Ejectors in low lift applications are used as robust "refrigerant pumps", as they can also pump a gas-liquid mixture. This allows operation with a flooded evaporator. The evaporator surface can be used without a superheat section and the evaporating temperature can be raised without endangering the compressor.

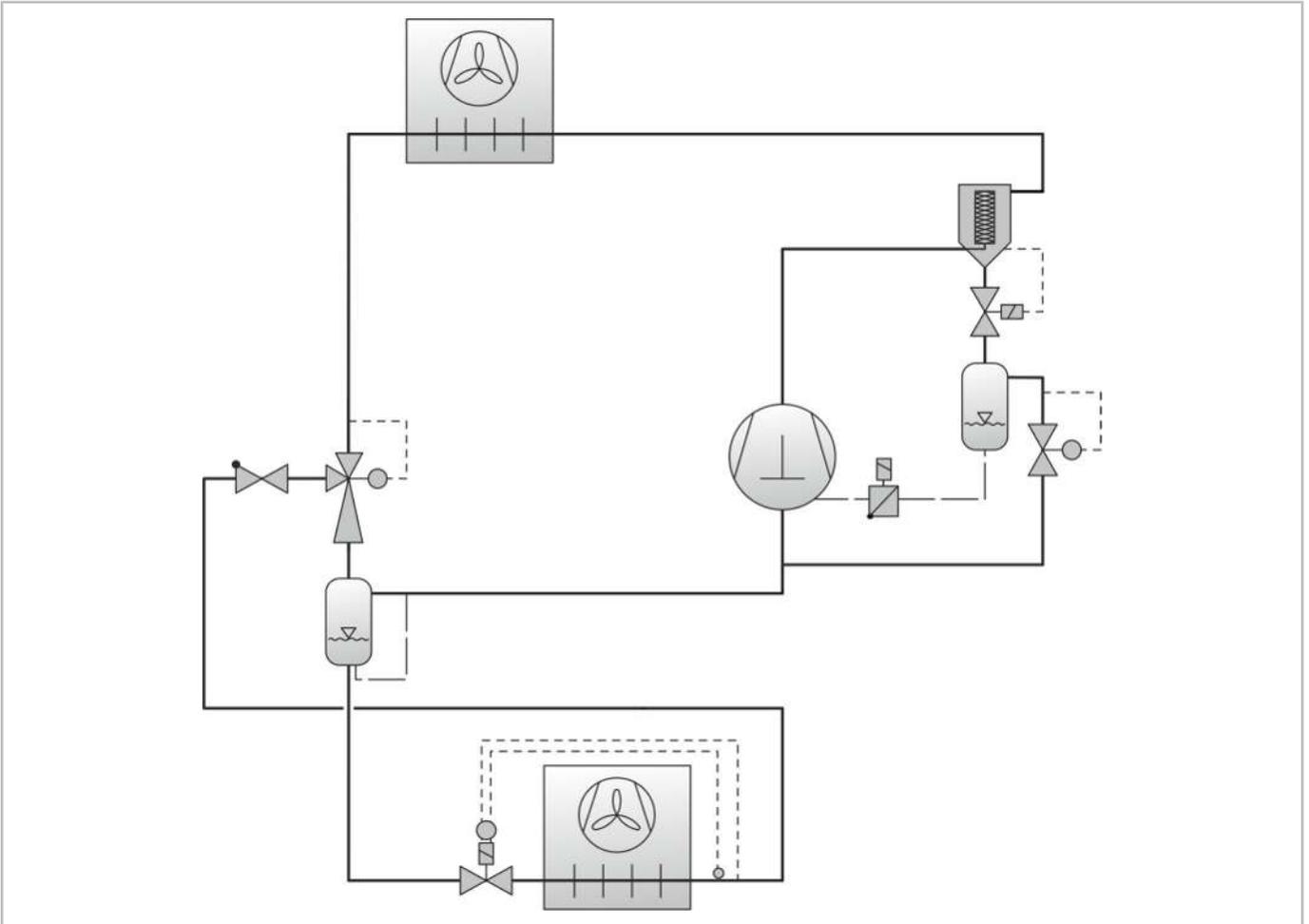


Fig. 4: System diagram: Ejector in low lift application (simplified representation)

Design example of a low lift ejector created with the help of BITZER SOFTWARE [see chapter see here, page 44.](#)

2.3.2 Ejector in high lift applications

Ejectors in high lift applications are used to achieve the highest possible pressure lift at a lower delivery rate. The pressure lift and the suction mass flow to be delivered are the limiting factors and must be balanced in the system such that the highest possible efficiency is achieved.

Ejectors in high lift applications are usually used to transport superheated gas, as they do not transport the entire mass flow from the evaporator and a partial mass flow must continue to be extracted by the medium temperature compressors. The partial mass flow transported by the ejector is returned to the intermediate pressure vessel of the system which is kept here at a higher pressure level than in a low lift version. The gas is extracted there by the parallel compressors.

The advantage lies here in the pre-compression of part of the evaporated refrigerant and the resulting load shift to the parallel compressors which operate at a lower pressure ratio and thus more efficiently.

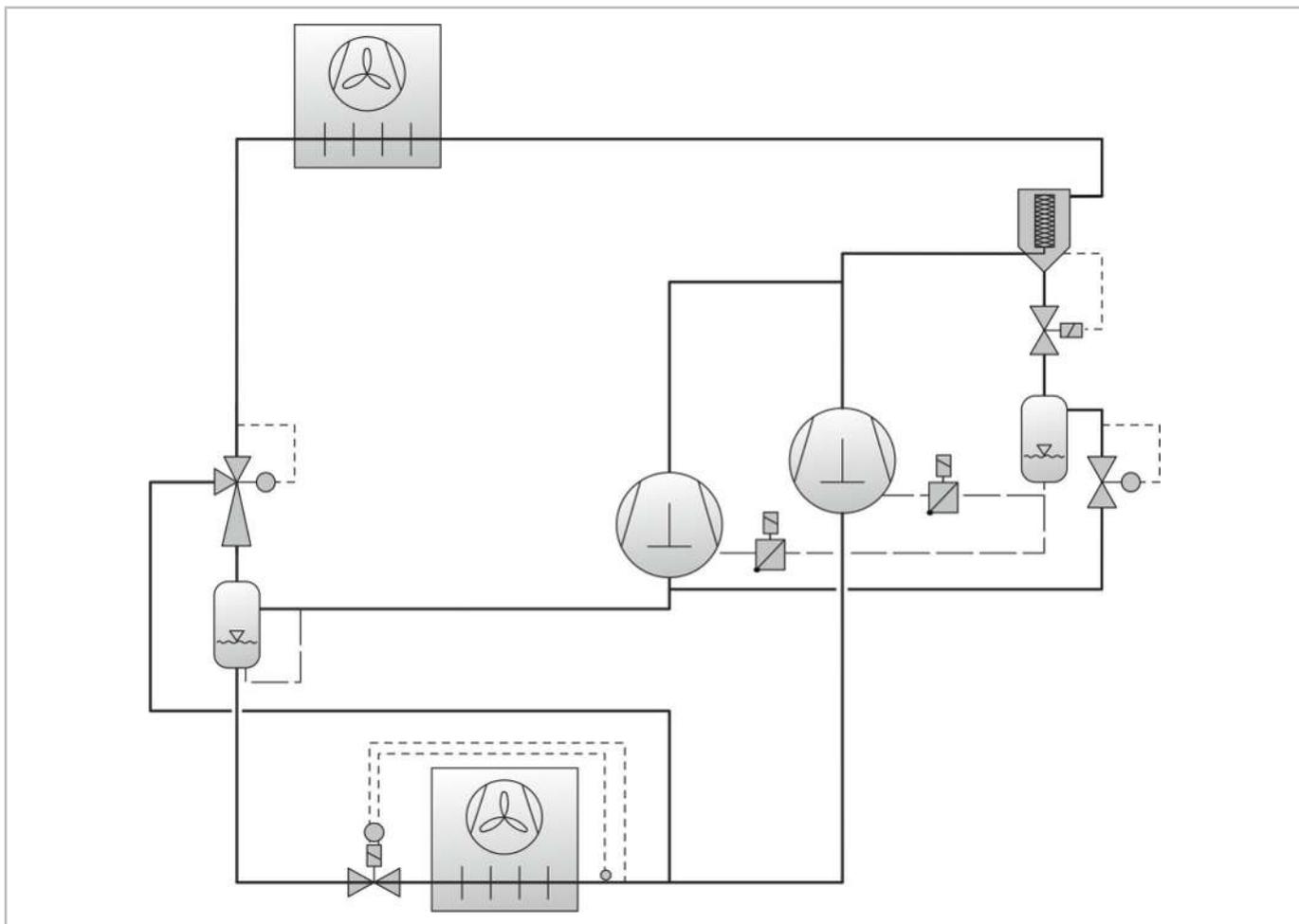


Fig. 5: System diagram: Ejector in high lift application (simplified representation)

Design example of a high lift ejector created with the help of BITZER SOFTWARE *see chapter see here, page 46.*

2.4 Characteristic values

The following characteristic values can be used to describe the behaviour of an ejector and to design a system:

Pressure ratio

The pressure ratio indicates the ratio of the pressure at the outlet of the ejector to the suction pressure.

$$\Pi = p_{\text{diffuser, off}} / p_{\text{suction pressure}}$$

Pressure lift

The pressure lift indicates how much the pressure of the suction mass flow has been raised to the outlet level (see [see figure 2, page 31](#) and figure below).

$$\Delta p = p_{\text{diffuser, off}} - p_{\text{suction mass flow, on}}$$

Mass flow ratio

The mass flow ratio is the quotient of suction mass flow to motive mass flow.

$$\varnothing = \dot{m}_{\text{suction}} / \dot{m}_{\text{motive}}$$

Ejector efficiency

The ejector efficiency is the ratio of the energy that can be gained by expanding the ejector's motive mass flow to the work done by the pressure lift of the motive mass flow and suction mass flow at the ejector outlet. In simplified form, ejector efficiency is defined as follows:

Assumption: Isentropic expansion and isentropic compression, superheated / dry saturated

$$\eta_{Ejektor} = \frac{\dot{m}_{suction}}{\dot{m}_{motive}} \times \frac{\Delta h_{compression}}{\Delta h_{expansion}}$$

Elbel, S., 2011. Historical and present developments of ejector refrigeration systems with emphasis on transcritical carbon dioxide air-conditioning applications. International Journal of Refrigeration 34 (2011) 1545 - 1561

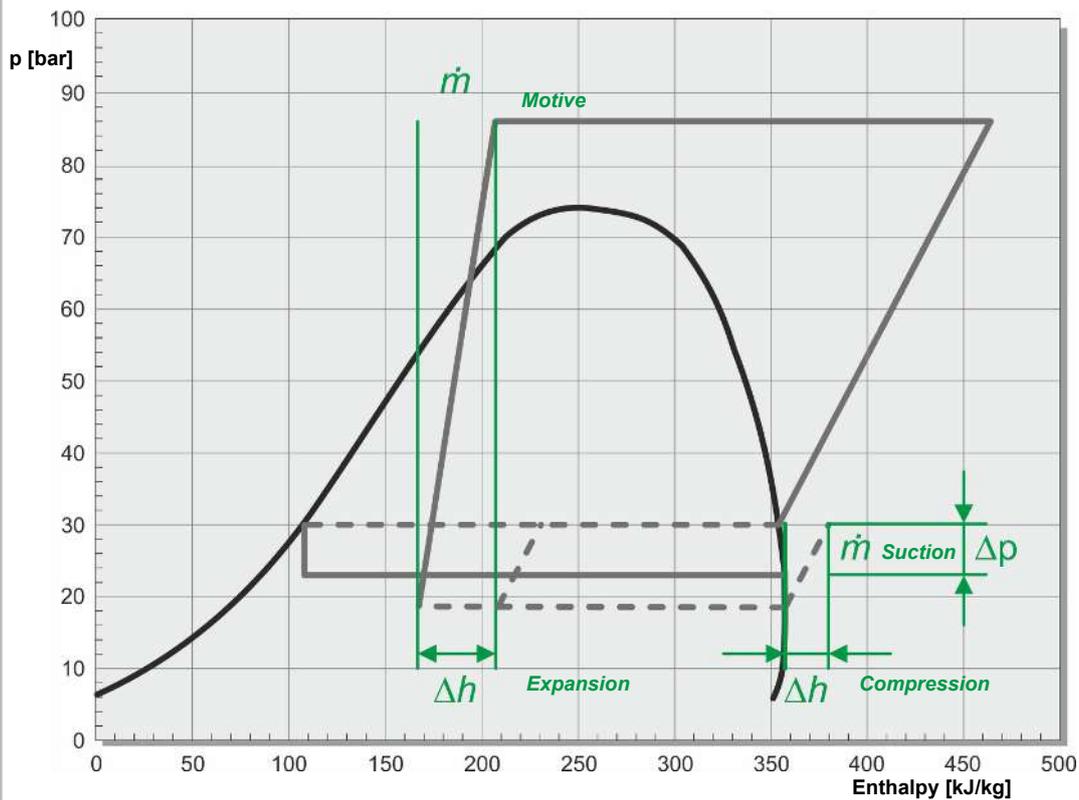


Fig. 6: Representation and definition of ejector efficiency

Design example of a low lift ejector created with the help of BITZER SOFTWARE [see chapter see here, page 44.](#)

Design example of a high lift ejector created with the help of BITZER SOFTWARE [see chapter see here, page 46.](#)

2.5 Installation in the system

- Install the ejector(s) preferably above the compressors, ensuring that they are accessible from the outside.
- Installation: horizontal (a) or vertical (outlet downwards, b).

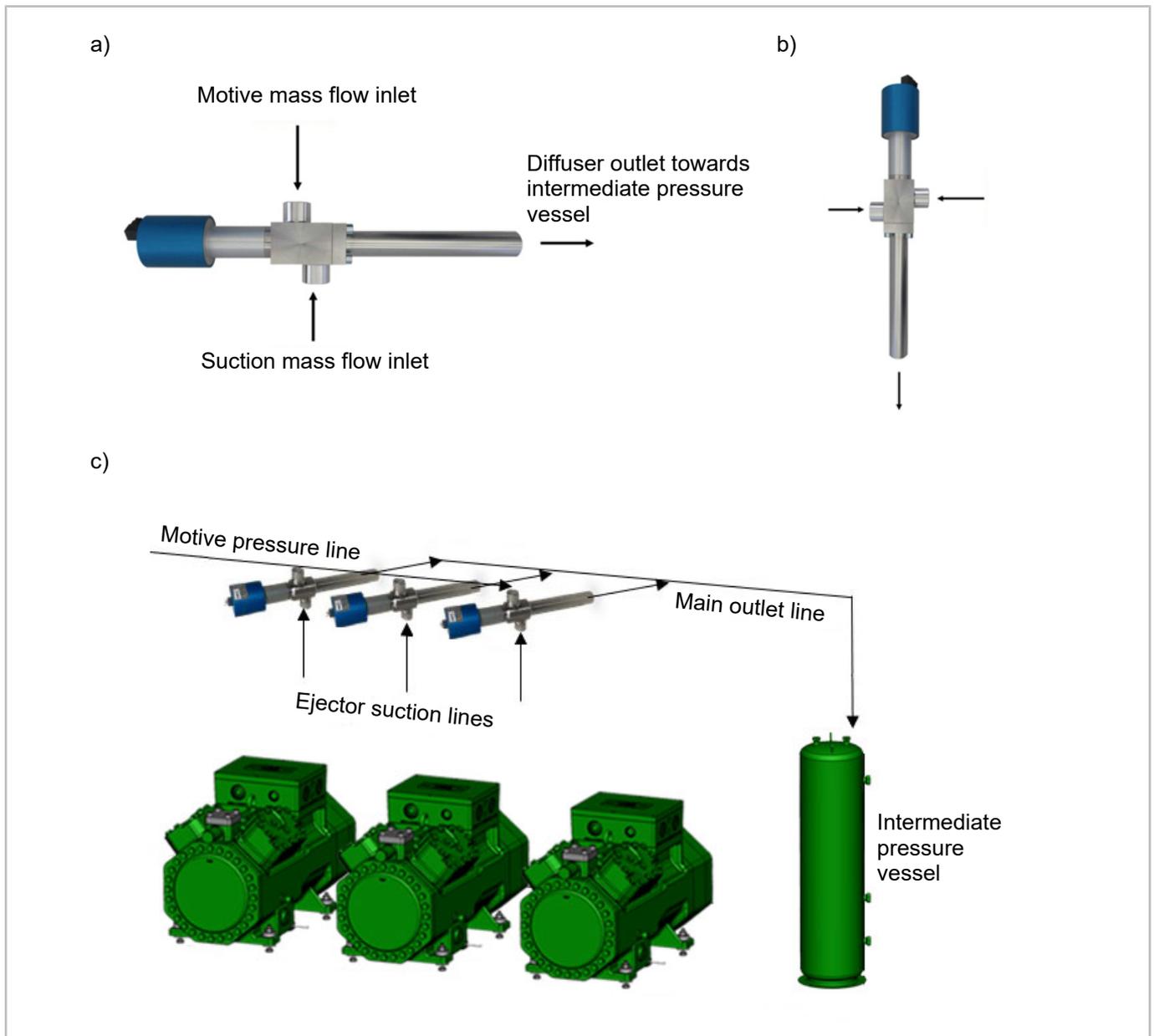


Fig. 7: Installation positions of an ejector in the system

- a) horizontal
- b) vertical with outlet downwards
- c) system with ejectors connected in parallel (simplified representation)

- A mechanical high-pressure control valve for emergency operation can be installed parallel to the ejector (*see chapter System design B with ejector, parallel compression and mechanical high-pressure control valve for emergency operation, page 41*).
- Install a filter in the motive pressure line upstream of the ejector inlet and the parallel-connected high-pressure control valve.

- Only use pipes with bent pipe sections. This reduces turbulence and avoids pressure drops. Do not use 90° pipe bends (e.g. T-pieces)!
- Install shut-off valves for maintenance purposes in the lines to and from the ejector.
- Install an additional check valve in the suction line of the ejector in order to prevent possible re-expansion of the suction mass flow from the intermediate pressure vessel. This may happen if the suction effect created by the motive mass flow is too low to suck in the suction mass flow.
- As an alternative to the check valve, a motor-controlled valve can be installed in the suction line to prevent possible re-expansion. The control is based on a minimum pressure difference between the suction connection of the ejector and the suction gas pressure (in the flow direction upstream of the motor-controlled valve). As soon as the pressure drops below a minimum pressure difference, the valve closes.
- A settling section aligned with the diffuser must be installed on the outlet side. This section must be at least 1.5 x as long as the ejector ($l_{\text{settling}} = 1.5 \times l_{\text{ejector}}$).
- The main outlet line at the diffuser must not rise towards the intermediate pressure vessel! This is the only way to ensure unhindered entry into the vessel without having to overcome any hydrostatic pressure.
- The flow cross section of the main outlet line corresponds, to put it simply, to the sum of the cross sections of the motive pressure line and suction line.

Additional installation instructions for systems with ejectors connected in parallel

- Make outlets from the main lines to the connections of the ejectors on the motive pressure side and suction side without T-pieces; this reduces turbulence and avoids pressure drops.
- The connections from the main lines to the individual lines should preferably be made at an angle of 45°.
- Join the individual outlet lines in the collector without T-pieces and preferably at an inlet angle of 45°.
- Dimension the flow cross section of the outlet line such that a flow velocity of 0.3..1.0 m/s is not exceeded at full load at the defined design point.

2.6 System designs

| System design | A <i>see chapter System design A standard ejector system, page 39</i> | B <i>see chapter System design B with ejector, parallel compression and mechanical high-pressure control valve for emergency operation, page 41</i> |
|--|--|--|
| Ejector static | Applicable | Non-applicable |
| Ejector adjustable ① | Applicable | Applicable |
| Ejector motive mass flow | High pressure refrigerant mass flow | High pressure refrigerant mass flow |
| Ejector suction mass flow | Liquid | Liquid/gas |
| Ejector suction pressure | $p_{o,MT}$ | $p_{o,MT}$ |
| Pressure level outlet mass flow | Intermediate pressure (IP) | Intermediate pressure (IP) |
| Ejector pressure lift | Low | High |
| System with intermediate pressure vessel | Yes | Yes |
| Evaporator operation | Flooded or dry | Flooded or dry |
| System with separator | No | Yes |
| System with parallel compression stage | No | Yes |

Tab. 1: Overview: System designs A and B for ejector operation

① Adjustable either by modulating static ejectors connected in parallel or by changing the opening degree of the ejector nozzle or by connecting ejectors in parallel with adjustable opening degree of the ejector nozzles.

2.6.1 System design A standard ejector system

Standard system design when using R744 in heat pump systems and refrigeration systems with single-stage compression and expansion. Typically with only one evaporator.

Further features of this system design:

- The separator is at intermediate pressure and is referred to as the intermediate pressure vessel in the further description, see figure below.
- In the ejector, a polytropic expansion of the motive mass flow *see page 40* to a pressure level below the evaporation pressure occurs in the nozzle.
- The suction mass flow is sucked in via the ejector and combined with the motive mass flow in the mixing chamber (*see chapter Operating principle, page 30*).
- The pressure is increased to intermediate pressure in the diffuser (*see chapter Operating principle, page 30*).
- The outlet mass flow then flows into the intermediate pressure vessel. Liquid and gas are separated from each other.

- The liquid mass flow expands to evaporation pressure upstream of the evaporator and corresponds to the suction mass flow of the ejector.
- Depending on the system design, a superheat control or operation with a flooded evaporator can be used.
- The flash gas mass flow, which corresponds to the motive mass flow of the ejector, is sucked in as saturated vapour by the compressor and compressed to a high pressure level.
- To keep the refrigerant liquid share in the oil return line as low as possible, an oil return line must be connected to the intermediate pressure vessel and the polyalkylene glycol oil BSG68K from BITZER must be used. Apart from that: Install a heat exchanger in the oil return line!
- Depending on the system design, an adjustable or a non-adjustable ejector can be used. The adjustable ejector can also be used to optimise the high pressure.

i

Information

① The available pressure difference in air-cooled systems depends on the gas cooler outlet temperature and the pressure in the intermediate pressure vessel.

The gas cooler outlet temperature in turn depends on the ambient temperature and gas cooler-specific criteria such as heat dissipation, surface and air volume flow. At high gas cooler outlet temperatures, the potential and kinetic energy available to the ejector is higher than at lower temperatures. The lower application limit of the ejector(s) is defined by a minimum temperature at the outlet of the gas cooler. Below this temperature or the corresponding pressure difference, the ejector no longer works satisfactorily, as the energy of the motive mass flow available at the nozzle is no longer sufficient to enable an increase in pressure of the suction mass flow.

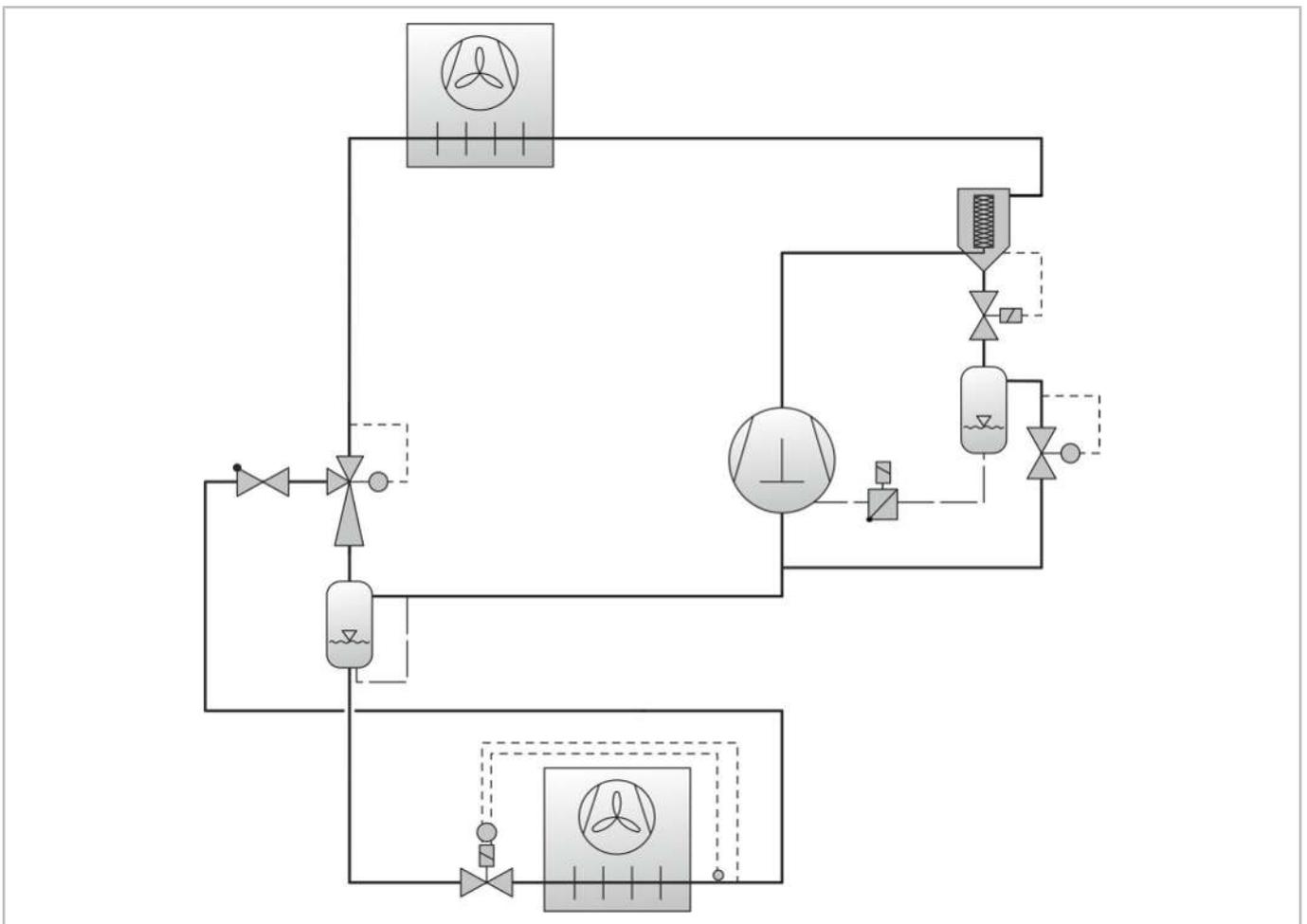


Fig. 8: System design A: Standard ejector system (simplified representation)

2.6.2 System design B with ejector, parallel compression and mechanical high-pressure control valve for emergency operation

- The parallel compression concept reduces the pressure ratio required to re-compress the flash gas to high pressure level.
- The flash gas is sucked in at a higher pressure level by a separate compressor or compressor stage that is directly connected to the intermediate pressure vessel.
- Transcritical R744 booster systems with parallel compression typically have four different pressure levels and consist of:
 - a low temperature compressor stage
 - a medium temperature compressor stage
 - a parallel compressor stage
- The high pressure ejector(s) is (are) installed upstream of the intermediate pressure vessel at the outlet of the gas cooler and use the compressor mass flow with the largest possible pressure difference in the system.
- Parallel to the ejector, a mechanical high-pressure control valve can optionally be installed for emergency operation.
- In the intermediate pressure vessel, the gas and liquid phases are separated *see page 40*. The liquid from the intermediate pressure vessel is fed as usual to the evaporators of the low temperature and medium temperature compressor stages.

After expansion and heat absorption in the evaporators, the mass flow of the evaporators of the low temperature compressor stage is absorbed by the low temperature compressor stage and re-compressed to the suction pressure level of the medium temperature compressor stage.
- On the suction side of the medium temperature compressor stage, either:
 - a superheat control is used and the suction mass flow of the ejector can be sucked in directly in gaseous form or
 - a separator is used for operation with a semi flooded evaporator, which enables operation of the medium temperature cooling points at low superheat.

In this case, the ejector is a liquid ejector that delivers the share of the excess liquid from the evaporators of the medium temperature compressor stage back into the intermediate pressure vessel. An oil return line must be connected to the separator!

During operation, also ensure that:

- the ejector controls the optimum high pressure via a control characteristic even during part load operation with very low load and at low outside temperatures.
- the mass flow ratio (entrainment) is influenced by this high pressure control. This can result in no suction mass flow being delivered by the ejector during part load operation!

Two different operating modes of the system are possible:

1. **Operation with high pressure ejector(s) with high load requirements and gas cooler outlet temperatures > 25°C:**
 - The evaporator mass flow of the medium temperature compressor stage is absorbed by the ejector(s) after expansion and heat absorption in the evaporators and forms the suction mass flow. This flow is then compressed from medium temperature suction pressure to intermediate pressure.
 - The flash gas bypass valve between the intermediate pressure vessel and the medium temperature suction side is closed, which relieves the medium temperature compressor stage.
 - The pressure lift generated by the ejector compression stage reduces the pressure ratio for the compression of the mass flow (in terms of thermodynamics, this is referred to as a "temperature lift"). At the same time, the

suction gas density increases, allowing the energetic advantage of parallel compression to take effect. The pressure in the intermediate pressure vessel is controlled by the parallel compressor stage.

- In systems with semi flooded evaporators and a separator, the ejector only has to transport the excess liquid back to the intermediate pressure vessel. The energetic advantage here lies mainly in the increased evaporation temperature due to the full utilisation of the heat transfer surface. A superheat control is not necessary in this case.
2. **Standard operation without high pressure ejector(s) with low load requirements and gas cooler outlet temperatures < 25°C:**
- During standard flash gas bypass operation, the control valve (e.g. solenoid valve or motor valve) is closed upstream of the ejector's suction connection.
 - The parallel compressor stage is out of operation and the flash gas bypass valve controls the pressure in the intermediate pressure vessel by expanding the flash gas to medium temperature suction pressure.
 - The mass flow of the medium temperature evaporator and the flash gas mass flow are picked up and compressed by the medium temperature compressor stage.
 - To enable operation of the medium temperature compressor stage at low loads and low ambient temperatures at lower high pressures, it may be advantageous to install a high-pressure control valve in parallel with ejector(s) (see the following simplified diagram).

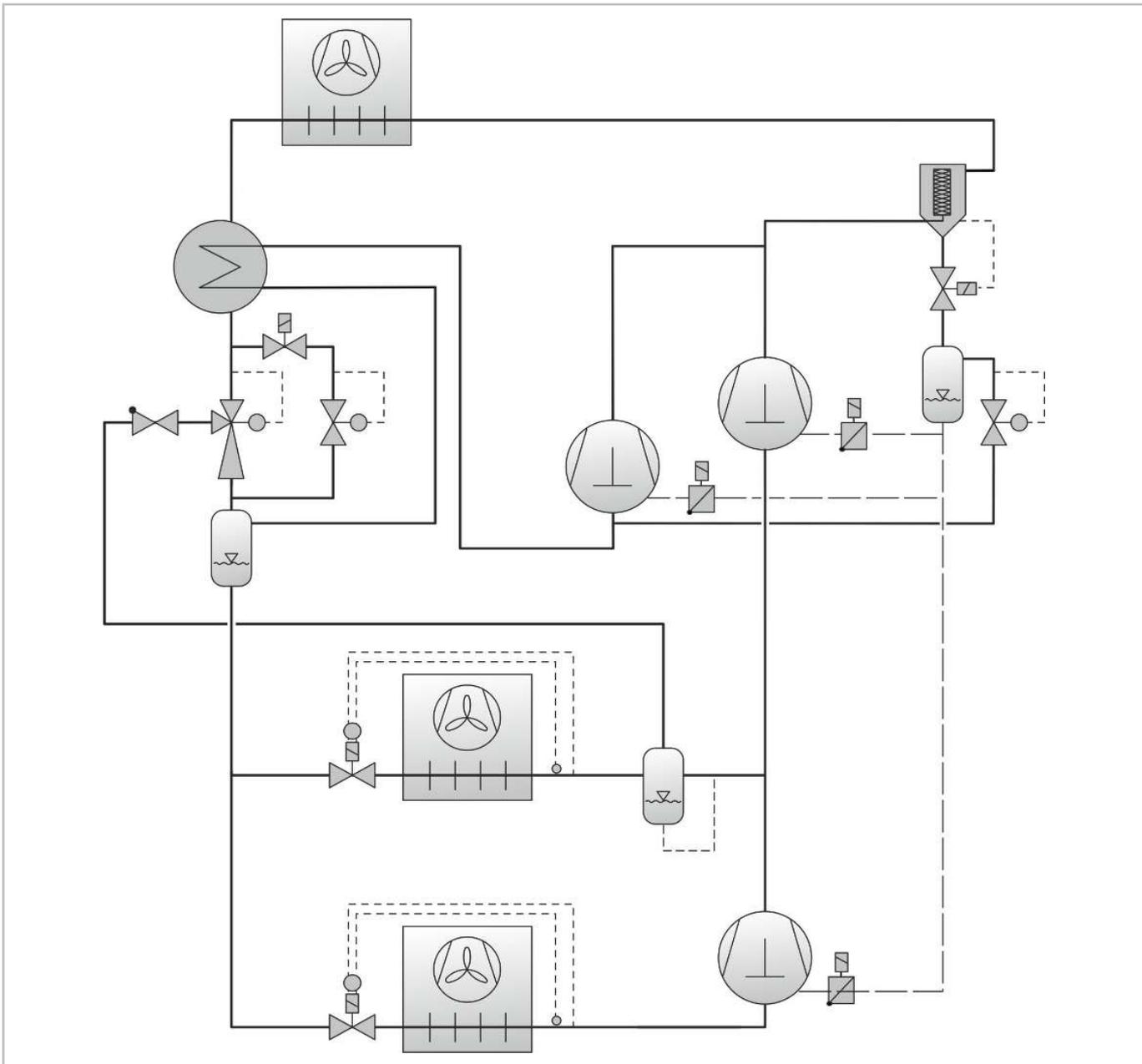


Fig. 9: System design B: with ejector, parallel compression and mechanical high-pressure control valve for emergency operation (simplified representation)

2.7 Design criteria and selection

2.7.1 Design example of an ejector in a low lift application

In a low lift application, the mass flow ratio is the essential selection criterion. The ejectors circulate the refrigerant in a similar way to a refrigerant pump. The goal is to increase the pressure only to the extent allowed by the mass flow ratio of the pumping operation.

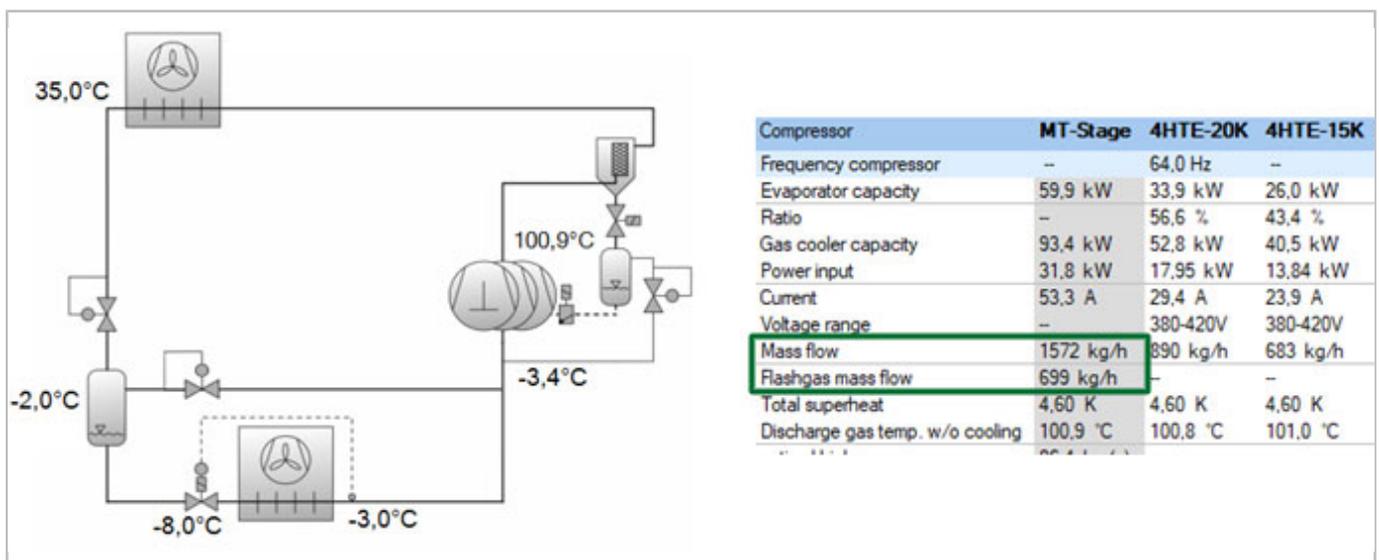
From the characteristics of the selected ejector results the suction mass flow at the given high pressure, motive mass flow rate and intermediate pressure. The intermediate pressure is determined by the suction pressure control of the compressor.

In the following example, a single-stage system with one ejector is to be calculated:

Boundary conditions:

- Gas cooler outlet temperature ($t_{g,c}$) at the design point: 35°C
- High pressure, absolute (p_{HP}): 89 bar
- Evaporation temperature in the medium temperature compressor stage ($t_{o,MT}$): -8°C
- Cooling capacity of the medium temperature compressor stage ($Q_{o,MT}$): 60 kW
- Medium pressure, absolute (estimated): 33 bar

First, a system without ejector with a standard superheat control is calculated in BITZER SOFTWARE under "R744 booster selection" (see following figure). The intermediate pressure is selected approx. 5 bar above the evaporation pressure. According to a first estimate, this corresponds to the pressure lift of the system with ejector.



With these assumptions, the first step is to calculate the ejector's mass flow to be delivered to achieve the cooling capacity of 60 kW. Due to the separation in the intermediate pressure vessel, the **net mass flow** that flows through the evaporator and is sucked in again by the ejector is the total mass flow minus the flash gas mass flow; in this example, this is 1572 kg/h - 699 kg/h = **873 kg/h**.

Based on the mass flow that must flow through the evaporator to achieve the cooling capacity of 60 kW, the necessary delivery rate of the compressors can be determined via the mass flow ratio of the ejector. The HDV-E23 ejector pre-selected in the BITZER calculation tool has a **mass flow ratio of 0.56** and a **pressure stroke of 4 bar** at a high pressure of 89 bar and a motive mass flow of 1572 kg/h.

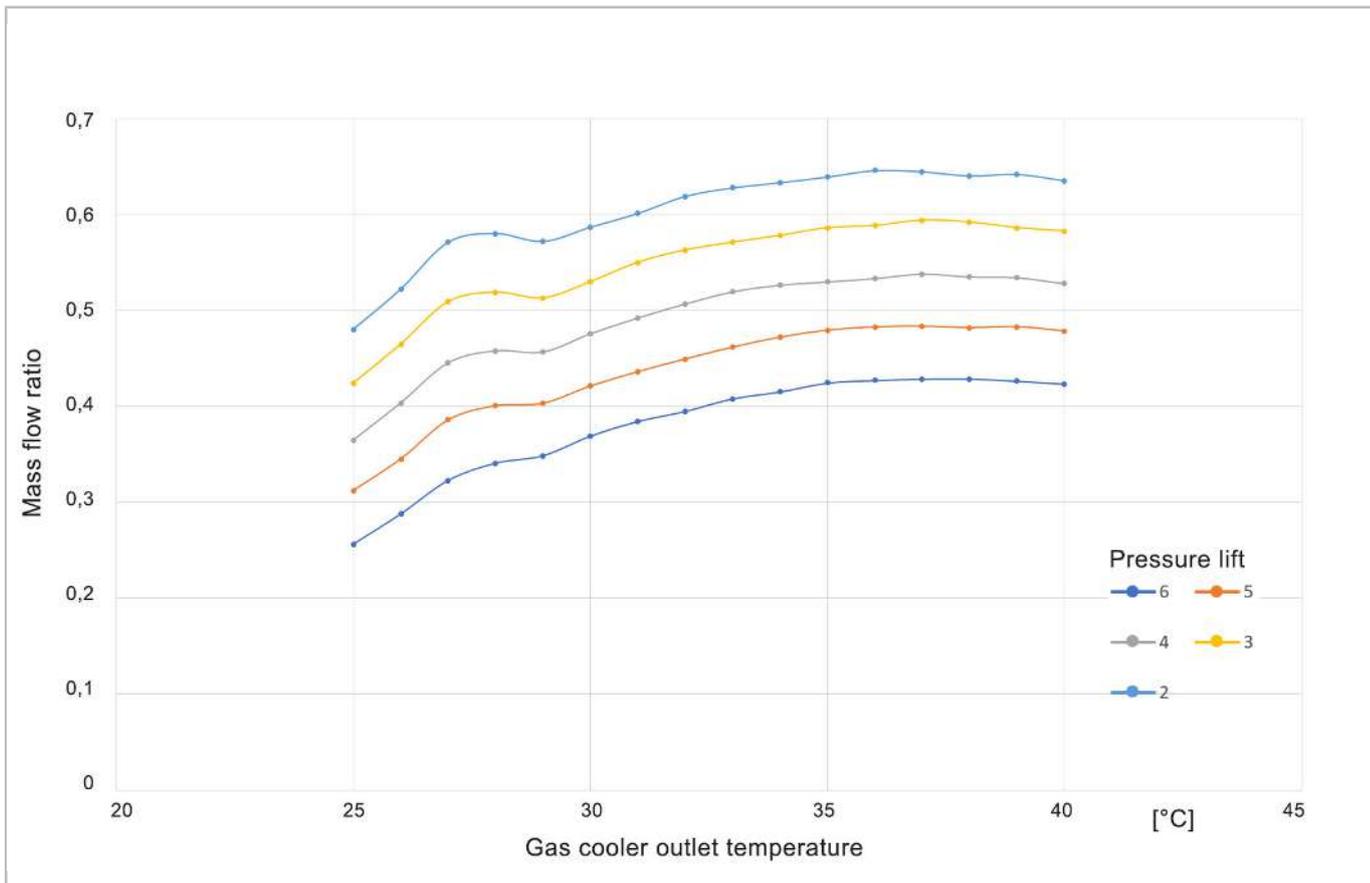


Fig. 10: Entrainment rate of the HDV-E23 ejector as a function of gas cooler outlet temperature for selected pressure lifts

The recommended ejector HDV-E23 can therefore suck in 873 kg/h and deliver to an intermediate pressure that is 4 bar higher.

Preliminary Ejector selection 

Input:

Gascooler outlet temperature: 35 °C

High pressure (Ejector HP inlet): 89 bar(a)

Suction pressure (Ejector LP inlet): 28 bar(a)

Motive mass flow: 1572 kg/h

Output:

Recommended Ejector type: HDV-E23

Utilization: 95 %

Mass entrainment ratio: 0,56

Suction mass flow: 873 kg/h

Interpressure (Ejector outlet): 32 bar(a)

Smaller compressors can now be selected due to the increased suction pressure. The cooling capacity shown in the new selection is irrelevant. The calculation is only used for the new compressor configuration based on the motive mass flow for the ejector at the higher pressure level and to determine the power consumption. The compressors would now have to deliver a mass flow of 1572 kg/h from the intermediate pressure vessel at 32 bar suction pressure (-3°C) (see figure below). The corresponding power consumption is the new compressor power consumption of the system with ejector.

| <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Evaporating SST</td><td style="text-align: right;">-3</td><td>°C</td></tr> <tr><td>Evaporator superheat</td><td style="text-align: right;">2</td><td>K</td></tr> <tr><td>Suction line superheat</td><td style="text-align: right;">0</td><td>K</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> High pressure</td><td style="text-align: right;">Auto</td><td></td></tr> <tr><td>Gas cooler outlet</td><td style="text-align: right;">35</td><td>°C</td></tr> <tr><td>Intermed. pressure</td><td style="text-align: right;">36</td><td>bar(a) 1,20 °C</td></tr> <tr><td colspan="3" style="border-top: 1px solid gray; border-bottom: 1px solid gray;">Additional Configuration</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> IHX Flashg. - Gas c.</td><td style="text-align: right;">10</td><td>K</td></tr> <tr><td colspan="3" style="border-top: 1px solid gray; border-bottom: 1px solid gray;">Power supply</td></tr> <tr><td>Power frequency</td><td style="text-align: right;">50Hz</td><td></td></tr> <tr><td>Power voltage</td><td style="text-align: right;">400V</td><td></td></tr> </table> | Evaporating SST | -3 | °C | Evaporator superheat | 2 | K | Suction line superheat | 0 | K | <input type="checkbox"/> High pressure | Auto | | Gas cooler outlet | 35 | °C | Intermed. pressure | 36 | bar(a) 1,20 °C | Additional Configuration | | | <input checked="" type="checkbox"/> IHX Flashg. - Gas c. | 10 | K | Power supply | | | Power frequency | 50Hz | | Power voltage | 400V | | <div style="background-color: #e0ffe0; padding: 2px; border: 1px solid #c0ffc0;"> MT-Stage: Tentative Data. MT-Stage: Power consumption at compressor inlet. MT-Stage: Total superheat smaller than 10K / 18°F. </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;"> COP/EER Evaporator: 2.28 </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr style="background-color: #e0f0ff;"> <th style="text-align: left;">Compressor</th> <th style="text-align: left;">MT-Stage</th> <th style="text-align: left;">4JTE-15K</th> <th style="text-align: left;">4JTE-10K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Frequency compressor</td><td>--</td><td>68,0 Hz</td><td>--</td></tr> <tr><td>Evaporator capacity</td><td>59,3 kW</td><td>34,7 kW</td><td>24,6 kW</td></tr> <tr><td>Ratio</td><td>--</td><td>58,5 %</td><td>41,5 %</td></tr> <tr><td>Gas cooler capacity</td><td>85,2 kW</td><td>49,9 kW</td><td>35,3 kW</td></tr> <tr style="border: 2px solid green;"><td>Power input</td><td>26,0 kW</td><td>15,14 kW</td><td>10,84 kW</td></tr> <tr><td>Current</td><td>43,1 A</td><td>24,6 A</td><td>18,49 A</td></tr> <tr><td>Voltage range</td><td>--</td><td>380-420V</td><td>380-420V</td></tr> <tr style="border: 2px solid green;"><td>Mass flow</td><td>1571 kg/h</td><td>920 kg/h</td><td>651 kg/h</td></tr> <tr><td>Flashgas mass flow</td><td>655 kg/h</td><td>--</td><td>--</td></tr> <tr><td>Total superheat</td><td>5,10 K</td><td>5,10 K</td><td>5,10 K</td></tr> <tr><td>Discharge gas temp. w/o cooling</td><td>89,9 °C</td><td>89,7 °C</td><td>90,1 °C</td></tr> <tr><td>optimal high pressure</td><td>86,4 bar(a)</td><td>--</td><td>--</td></tr> </tbody> </table> | Compressor | MT-Stage | 4JTE-15K | 4JTE-10K | Frequency compressor | -- | 68,0 Hz | -- | Evaporator capacity | 59,3 kW | 34,7 kW | 24,6 kW | Ratio | -- | 58,5 % | 41,5 % | Gas cooler capacity | 85,2 kW | 49,9 kW | 35,3 kW | Power input | 26,0 kW | 15,14 kW | 10,84 kW | Current | 43,1 A | 24,6 A | 18,49 A | Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V | Mass flow | 1571 kg/h | 920 kg/h | 651 kg/h | Flashgas mass flow | 655 kg/h | -- | -- | Total superheat | 5,10 K | 5,10 K | 5,10 K | Discharge gas temp. w/o cooling | 89,9 °C | 89,7 °C | 90,1 °C | optimal high pressure | 86,4 bar(a) | -- | -- |
|---|-----------------|----------------|----------|----------------------|---|---|------------------------|---|---|--|------|--|-------------------|----|----|--------------------|----|----------------|--------------------------|--|--|--|----|---|--------------|--|--|-----------------|------|--|---------------|------|--|---|------------|----------|----------|----------|----------------------|----|---------|----|---------------------|---------|---------|---------|-------|----|--------|--------|---------------------|---------|---------|---------|-------------|---------|----------|----------|---------|--------|--------|---------|---------------|----|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|--------------------|----------|----|----|-----------------|--------|--------|--------|---------------------------------|---------|---------|---------|-----------------------|-------------|----|----|
| Evaporating SST | -3 | °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaporator superheat | 2 | K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suction line superheat | 0 | K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> High pressure | Auto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gas cooler outlet | 35 | °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Intermed. pressure | 36 | bar(a) 1,20 °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Additional Configuration | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> IHX Flashg. - Gas c. | 10 | K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Power supply | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Power frequency | 50Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Power voltage | 400V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Compressor | MT-Stage | 4JTE-15K | 4JTE-10K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frequency compressor | -- | 68,0 Hz | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaporator capacity | 59,3 kW | 34,7 kW | 24,6 kW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ratio | -- | 58,5 % | 41,5 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gas cooler capacity | 85,2 kW | 49,9 kW | 35,3 kW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Power input | 26,0 kW | 15,14 kW | 10,84 kW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Current | 43,1 A | 24,6 A | 18,49 A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mass flow | 1571 kg/h | 920 kg/h | 651 kg/h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Flashgas mass flow | 655 kg/h | -- | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total superheat | 5,10 K | 5,10 K | 5,10 K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 89,9 °C | 89,7 °C | 90,1 °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| optimal high pressure | 86,4 bar(a) | -- | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

COP

The **COP of the flash gas bypass system** is $Q_o / P_e = 59.9 \text{ kW} / 31.8 \text{ kW} = 1.9$

The **COP of the system with ejector** is $Q_o / P_e = 59.9 \text{ kW} / 26 \text{ kW} = 2.3$

It must be kept in mind that the advantage of the approx. 3 K higher evaporation temperature due to operation with flooded evaporator has not yet been taken into account.

2.7.2 Design example of an ejector in a high lift application

The mass flow ratio as a function of the high pressure and the pressure lift is decisive for the design of an ejector in a high lift application. The pressure stroke itself is a variable that can be freely selected within certain limits and has a major influence on the selection of compressors in the individual compressor stages.

When selecting an ejector, the control strategy must first be determined.

Either:

- the intermediate pressure is varied depending on the high pressure so that parallel compressors and ejectors are operated within the optimum range.
Although this promises the highest efficiency of the system, it also means increased control effort.

Or:

- the intermediate pressure is kept constant. This is easier to implement.

In the following example, an ejector is to be selected for a low temperature/medium temperature booster system with parallel compression:

Boundary conditions:

- Gas cooler outlet temperature (t_{gc}) at the design point: 35°C
- Evaporation temperature in the medium temperature compressor stage ($t_{o,MT}$): -8°C
- Evaporation temperature in the low temperature compressor stage ($t_{o,LT}$): -28°C
- Cooling capacity of the medium temperature compressor stage ($Q_{o,MT}$): 60 kW

- Cooling capacity of the low temperature compressor stage ($Q_{o,LT}$): 15 kW
- Intermediate pressure, absolute (p_{IP}): 37 bar

First, a system without ejector with a standard superheat is calculated in the BITZER SOFTWARE under R744 booster, see following figure:

3 4MTE-7K

Operating point

Evaporating SST: °C °C

Evaporator superheat: K K

Suction line superheat: K K K

High pressure Auto

Gas cooler outlet: °C

Intermed. pressure: bar(a) °C

Additional Configuration

Air Conditioning -- kW

IHX Flashg. - Gas c. 10 K

Desuperheater 30 °C

IHX Low temperature stage 10 K

Power supply

Power frequency: Hz

Power voltage: V

Heat recovery

Heat exchanger: 1 2 3

| | | | | |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| Fluid inlet | <input type="text" value="20.00"/> | <input type="text" value="40.0"/> | <input type="text" value="60.0"/> | °C |
| Fluid outlet | <input type="text" value="40.0"/> | <input type="text" value="60.0"/> | <input type="text" value="80.0"/> | °C |
| Heating capacity | <input type="text" value="10.00"/> | <input type="text" value="10.00"/> | <input type="text" value="10.00"/> | kW |
| Spec. heat cap. | <input type="text" value="4.186"/> | <input type="text" value="4.186"/> | <input type="text" value="4.186"/> | kJ/(kg·K) |
| Min. pinch point | <input type="text" value="2.00"/> | <input type="text" value="2.00"/> | <input type="text" value="2.00"/> | K |

COP/EER Evaporator: 1.84

| Compressor | LT-Stage | 2KSL-1K | 2JSL-2K |
|---------------------------------|----------|------------|------------|
| Frequency compressor | -- | 70.0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 15.07 kW | 7.94 kW | 7.13 kW |
| Ratio | -- | 52.7 % | 47.3 % |
| Power input | 2.93 kW | 1.56 kW | 1.37 kW |
| Current | 6.16 A | 2.86 A | 3.30 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 219 kg/h | 115.4 kg/h | 103.6 kg/h |
| Total superheat | 19.90 K | 19.90 K | 19.90 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 52.5 °C | 52.9 °C | 52.0 °C |

| Compressor | M T-Stage | 4M TE-10K | 4M TE-7K | 4M TE-7K |
|---------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|
| Frequency compressor | -- | 70.0 Hz | -- | -- |
| Evaporator capacity | 60.0 kW | 25.2 kW | 17.40 kW | 17.40 kW |
| Ratio | -- | 42.0 % | 29.0 % | 29.0 % |
| Gas cooler capacity | 118.7 kW | 30.6 kW | 21.2 kW | 21.2 kW |
| Power input | 25.8 kW | 10.92 kW | 7.42 kW | 7.42 kW |
| Current | 44.3 A | 18.65 A | 12.82 A | 12.82 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 1132 kg/h | 475 kg/h | 329 kg/h | 329 kg/h |
| Total superheat | 14.90 K | 14.90 K | 14.90 K | 14.90 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 116.7 °C | 117.3 °C | 116.2 °C | 116.2 °C |
| optimal high pressure | 86.4 bar(a) | -- | -- | -- |

| Compressor | Parallel-Stage | 4KTE-12K |
|---------------------------------|----------------|----------|
| Frequency compressor | -- | 55.0 Hz |
| Ratio | -- | 100.0 % |
| Power input | 12.16 kW | 12.16 kW |
| Current | 20.4 A | 20.4 A |
| Voltage range | -- | 380-420V |
| Mass flow | 811 kg/h | 811 kg/h |
| Total superheat | 15.00 K | 15.00 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 95.2 °C | 95.2 °C |

At the gas cooler outlet there is a **motive mass flow** of 1132 kg/h (MT) + 811 kg/h (parallel) = **1943**. The pressure lift that the ejector must carry out from medium temperature level to intermediate pressure level is 9 bar (see figure below).

Based on the motive mass flow (mass flow of the medium temperature and parallel compressors) of 1943 kg/h, the high pressure and the pressure stroke, one ejector or several ejectors can be selected.

Two HDV-E16 ejectors are suitable for this design variant to fully utilise the motive mass flow. In this case, both ejectors operate at 100% opening degree. The ejectors should be designed and controlled such that the operating point is as close as possible to 100% opening degree. Individual ejectors can be deactivated in order to make greater use of the still activated ejectors working at part load. This must be done at the latest when their opening degree falls below 30%, as no significant mass flow can be sucked in and compressed below this point. The ejector would then only work as a pure expansion device with isenthalpic throttling.

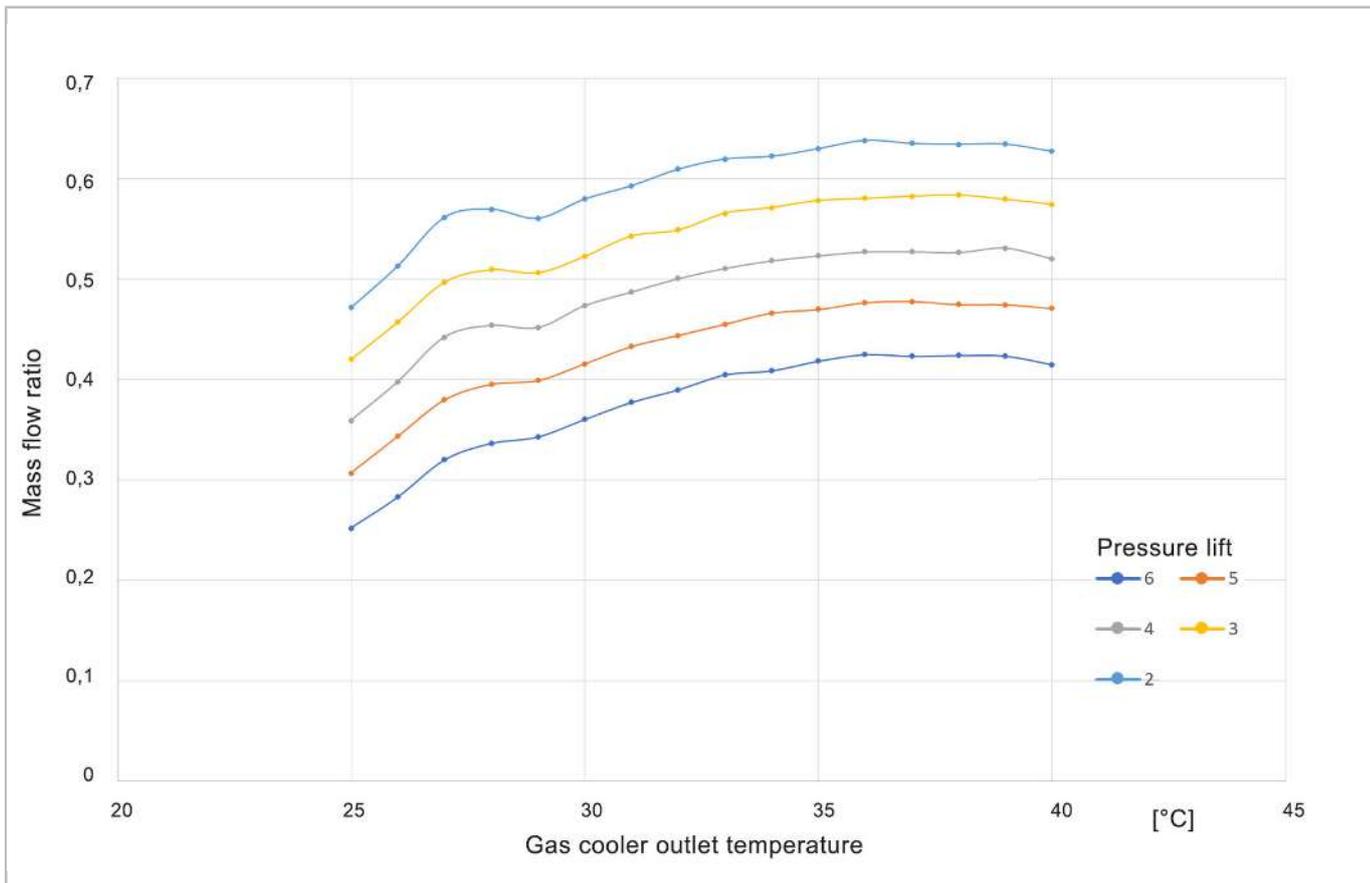


Fig. 11: Entrainment rate of the HDV-E16 ejector as a function of gas cooler outlet temperature for selected pressure lifts

The two ejectors proposed by the BITZER calculation tool have a **mass flow ratio of 0.29** at a **high pressure of 86.4 bar** and at a **pressure lift of 9 bar**. The **total mass flow sucked in and delivered to intermediate pressure is 560 kg/h (2x 280 kg/h)**.

Preliminary Ejector selection 

Input:

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Gascooler outlet temperature: | 35 °C |
| High pressure (Ejector HP inlet): | 86,4 bar(a) |
| Suction pressure (Ejector LP inlet): | 28 bar(a) |
| Interpressure (Ejector outlet): | 37 bar(a) |
| Motive mass flow: | 976 kg/h |

Output:

| | |
|---------------------------|----------------|
| Recommended Ejector type: | HDV-E16 |
| Utilization: | 100 % |
| Mass entrainment ratio: | 0,29 |
| Suction mass flow | 280 kg/h |

These results will be included in the further steps of the design. The **medium temperature compressors are relieved by 560 kg/h** and the parallel compressors are loaded accordingly. Since BITZER SOFTWARE always

ideally adapts the parallel compressors to the mass flows of the medium temperature and low temperature compressors, the additional load shift introduced by the ejector must be specified as "high temperature load" (in this case approx. 37 kW). This increases the delivered mass flow of the parallel compressors by 560 kg/h.

The new conditions are:

- Medium temperature compressor: 572 kg/h
- Parallel compressor: 1371 kg/h
- Of which high temperature load for ejector simulation: approx. 37 kW (corresponds to the mass flow of 560 kg/h)

The shift in mass flows has significantly changed the compressor selection (see following figure). The 4MTE-10K compressor, originally used in the medium temperature compressor stage, now appears in the parallel compressor stage.

However, it should be kept in mind that the elimination of the mass flow from the evaporator at the mixing point with the discharge gas of the low temperature compressor stage has greatly increased the mixing temperature and thus the suction gas temperature. This results in a sharp increase of the discharge gas temperature and must be considered in extreme cases. Additional suction gas cooling may be necessary!

Operating point

Evaporating SST: -28 °C, -8 °C

Evaporator superheat: 5 K, 5 K

Suction line superheat: 5 K, 5 K, 5 K

High pressure: Auto

Gas cooler outlet: 35 °C

Intermed. pressure: 37 bar(a), 2.30 °C

Additional Configuration

Air Conditioning: 37 kW

IHX Flashg. - Gas c.: 10 K

Desuperheater: 30 °C

IHX Low temperature stage: 10 K

Power supply

Power frequency: 50Hz

Power voltage: 400V

Heat recovery

Heat exchanger: 1, 2, 3

| | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-----------|
| Fluid inlet | 20.00 | 40.0 | 60.0 | °C |
| Fluid outlet | 40.0 | 60.0 | 80.0 | °C |
| Heating capacity | 10.00 | 10.00 | 10.00 | kW |
| Spec. heat cap. | 4.186 | 4.186 | 4.186 | kJ/(kg*K) |
| Min. pinch point | 2.00 | 2.00 | 2.00 | K |

28/10/2021 11:03:42

COP/EER Evaporator: 2.01

| Compressor | LT-Stage | 2KSL-1K | 2JSL-2K |
|---------------------------------|----------|------------|------------|
| Frequency compressor | -- | 70.0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 15.07 kW | 7.94 kW | 7.13 kW |
| Ratio | -- | 52.7 % | 47.3 % |
| Power input | 2.93 kW | 1.56 kW | 1.37 kW |
| Current | 6.16 A | 2.86 A | 3.30 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 219 kg/h | 115.4 kg/h | 103.6 kg/h |
| Total superheat | 19.90 K | 19.90 K | 19.90 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 52.5 °C | 52.9 °C | 52.0 °C |

| Compressor | M T-Stage | 4M TE-10K | 4M TE-7K |
|---------------------------------|-------------|-----------|----------|
| Frequency compressor | -- | 42.0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 23.3 kW | 10.44 kW | 12.86 kW |
| Ratio | -- | 44.8 % | 55.2 % |
| Gas cooler capacity | 115.7 kW | 17.38 kW | 21.4 kW |
| Power input | 13.84 kW | 6.42 kW | 7.42 kW |
| Current | 26.4 A | 13.60 A | 12.82 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 574 kg/h | 257 kg/h | 317 kg/h |
| Total superheat | 20.00 K | 20.00 K | 20.00 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 125.4 °C | 127.8 °C | 123.5 °C |
| optimal high pressure | 86.4 bar(a) | -- | -- |

| Compressor | Parallel-Stage | 4KTE-12K | 4M TE-10K |
|---------------------------------|----------------|----------|-----------|
| Frequency compressor | -- | 59.0 Hz | -- |
| Evaporator capacity | 37.0 kW | -- | -- |
| Ratio | -- | 64.5 % | 35.5 % |
| Power input | 20.6 kW | 13.08 kW | 7.56 kW |
| Current | 35.2 A | 21.8 A | 13.41 A |
| Voltage range | -- | 380-420V | 380-420V |
| Mass flow | 1360 kg/h | 877 kg/h | 483 kg/h |
| Total superheat | 15.00 K | 15.00 K | 15.00 K |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 95.7 °C | 95.0 °C | 96.9 °C |

The cooling capacity of the compressor stages shown in the new selection has no meaning. Only the compressor selection was adapted to the new mass flow ratios to determine the compressor sizes and power consumption. Thus, with the originally calculated cooling capacity and the new power consumption due to the use of the ejector, the following COP can be calculated:

COP

The total COP of the parallel system is:

$$Q_o / P_e = (15.07 \text{ kW} + 60 \text{ kW}) / (2.93 \text{ kW} + 25.8 \text{ kW} + 12.16 \text{ kW}) = 1.84$$

The total COP of the parallel + ejector system is:

$$Q_o / P_e = (15.07 \text{ kW} + 60 \text{ kW}) / (2.93 \text{ kW} + 13.84 \text{ kW} + 20.6 \text{ kW}) = 2.01$$

2.8 Control

- Adjustable ejectors (e.g. HDV-E30) have a bipolar servomotor by means of which the position of a throttle element and thus the cross-sectional area of the nozzle in the ejector can be changed.
- To control the valve, the following is needed:
 - an analogue control signal (0..10 V) from the superior controller (independent of the manufacturer)
 - the control device SVD1A1
 - the activation of the bipolar servomotor (via the control device)

Control device SVD1A1

Connect cables to the ejector only with a seal (included in delivery). Tightening torque for the connector: 0,5 Nm.

For any work performed on the electrical system: Observe the protection objectives of the EU Low Voltage Directive , EN60204-1, the IEC60364 series of safety standards and national safety regulations.



NOTICE

Malfunctions due to electromagnetic interference!
When connecting ejectors with a cable length > 5 m, use shielded connection cables.
Connect the shield to terminal 35 and the earth to terminal 34.



Information

The SVD1A1 is inactive when the combination 0/0 is set on the rotary switches!

Setting the ejector group and ejector type:

- Set ejector group "8" (left-hand rotary switch) and ejector type "0" or "1" (right-hand rotary switch) on the rotary switches of the control device (see figure below).

| | |
|------------------|--|
| Ejectorgroup "8" | HDV-E23/HDV-E30 |
| Type "0" | 100% of the Kv value |
| Type "1" | 100% of the Kv value at cascade operation |

Tab. 2: Settings on the control device SVD1A1

Cable lengths and cross sections:

- < 5 m -> 0.5 mm²
- 5-30 m -> 0.5 mm² shielded
- 30-50 m -> 0.75 mm² shielded

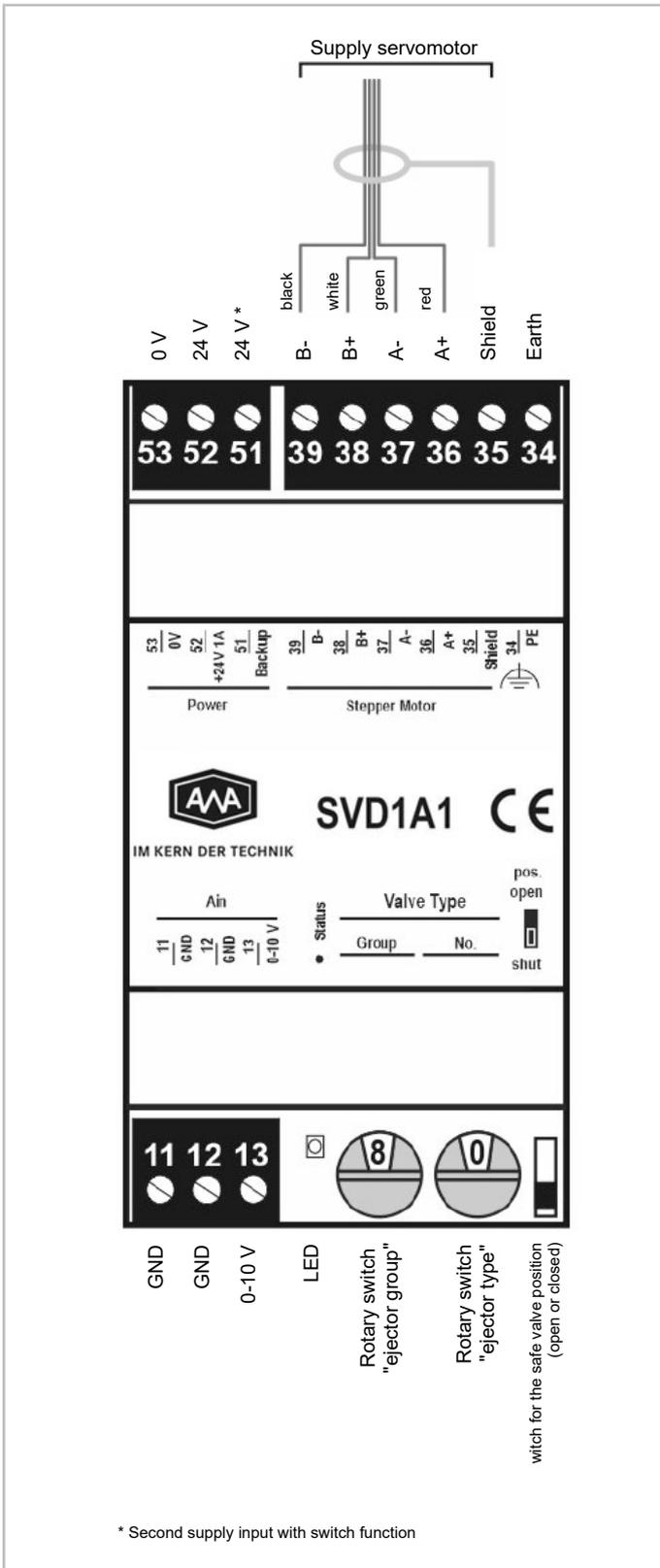


Fig. 12: Control device SVD1A1

Settings for emergency operation / in case of voltage supply interruption:

- The ejector position (open or closed) is preset directly on the switch for the safe valve position (safe pos.) of the SVD1A1 (see figure above, switch to the right of the rotary switches).
- SVD1A1 has an integrated emergency closing function for emergency operation / in case of voltage supply interruption.

Control characteristic

In the applications described in this Technical Information, the ejector controls the optimum high pressure via a control characteristic (depending on the manufacturer of the superior controller). For control, the measured high pressure for the temperature at the gas cooler outlet, which is also measured, is compared with the target high pressure using the control characteristic.

- Depending on the control deviation between the measured high pressure and the target high pressure, an analogue control signal is output by the superior controller. The control device is used to activate the bipolar servomotor and thus change the cross-sectional area of the nozzle.
- The mass flow ratio (entrainment) is influenced by controlling the cross-sectional area of the nozzle and thus the high pressure. When using the ejector as a low lift / liquid ejector, this dependency must be taken into account when planning and designing the system.
- The height of the pressure lift may only be selected such that no stall effect occurs in the ejector even at low high pressure and motive mass flow.
- For some ejector applications, a distinction can be made between different operating conditions, for example with an open or closed suction line for the ejector.
- One criterion for activating the various operating conditions is the gas cooler outlet temperature or the inlet temperature of the motive mass flow into the ejector. However, the gas cooler outlet temperature alone does not provide information on the load requirements at the cooling points.
- Depending on the manufacturer and type of the superior controller, further criteria are taken into account, for example opening degree of the flash gas bypass valve, opening degree of the high-pressure control valve, operation feedback of the compressors, superheat and alarm messages.

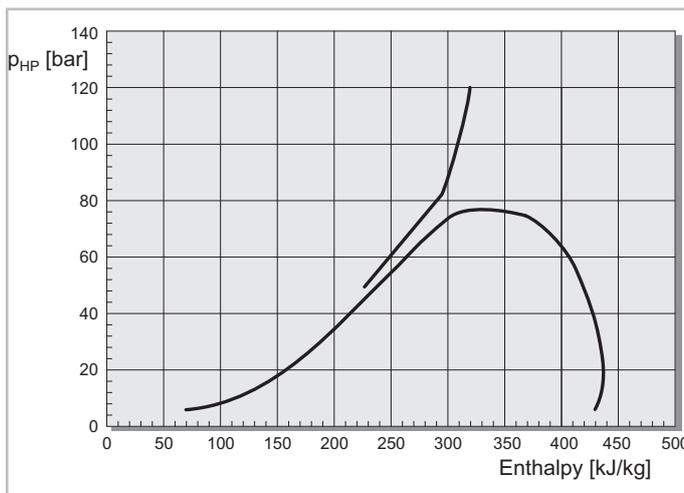


Fig. 13: Ejector control characteristic in the p,h diagram

2.9 Document as PDF

[Open document as PDF](#)

Related documents

[AT-744-1.pdf \(Resources/pdf/522229387.pdf\)](#)