

Mehrstufige  
**Dampfstrahl-  
Vakuumsysteme**



THE EJECTOR COMPANY

Technisches Vakuum  
bis 0,05 mbar

Unser Know-how für Ihre Vakuumanwendung

# Mehrstufige Dampfstrahl-Vakuumsysteme

## OPTIMALE LÖSUNGEN

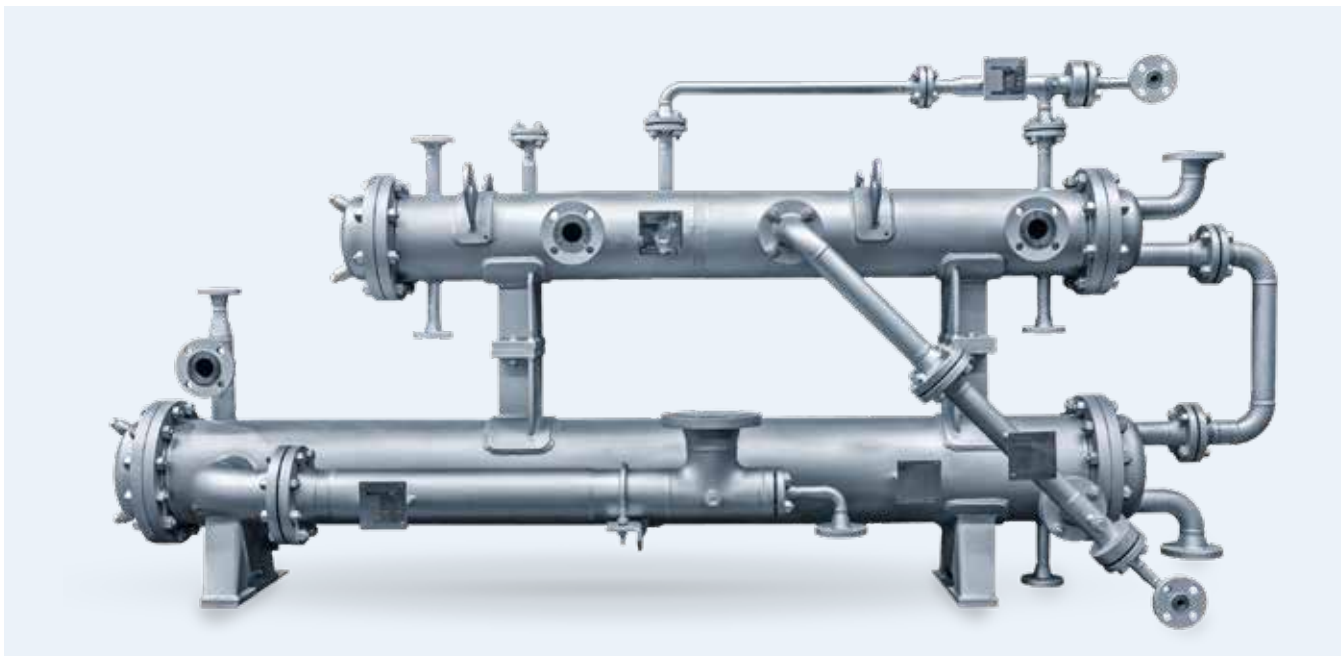
### FÜR JEDEN ANWENDUNGSFALL

Die Anwendungsmöglichkeiten für mehrstufige Dampfstrahl-Vakuumsysteme (DVS) in der Prozessindustrie sind nahezu unbegrenzt. Abhängig vom Anwendungsfall kommen verschiedenste Varianten dieser Systeme zum Einsatz. Typischerweise besteht ein DVS aus einer oder mehreren Dampfstrahl-Vakuumpumpen (**DVP**), einem oder mehreren vor-, zwischen- oder nachgeschalteten **Kondensatoren** sowie als letzter Stufe einer weiteren DVP oder alternativ einer Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe (**FRVP**). Das erforderliche Prozessvakuum, die abzusaugenden Prozessströme, die Kühlwassertemperatur und der verwendete Treibdampfdruck bestimmen maßgeblich die Anzahl der Stufen, die Auswahl der Kondensatoren und die Ausführung der DVP. Wichtig zum sicheren Betrieb eines mehrstufigen DVS sind des Weiteren die verwendeten Werkstoffe, die Umgebungsbedingungen und die einzuhaltenden Auslegungsbedingungen, Normen und Spezifikationen des Kunden und des Betreibers. Aus all diesen Vorgaben entwickelt die Körting Hannover GmbH für jede Kundenanfrage das optimale **Vakuumsystem**.

Für den Bau mehrstufiger DVS nimmt die Körting Hannover GmbH eine Spitzen- und Sonderstellung ein. Entwicklung, Vertrieb, Konstruktion, Fertigung und Prüfung, alles erfolgt aus einer Hand - und das seit über 150 Jahren. Unter diesen Voraussetzungen werden mehrstufige DVS von höchster Qualität hergestellt.

Im Vordergrund steht heute die Reduzierung aller eingesetzten Betriebsmittel, insbesondere des Treibdampfes. Dieser Forderung trägt die Körting Hannover GmbH Rechnung und stützt sich bei der Auslegung von DVP auf ein dichtes Kennfeld von Messergebnissen aus tausenden Versuchsreihen, das ständig verfeinert und weiterentwickelt wird. Denn geeignete theoretische und numerische Methoden zur optimalen Auslegung von DVP gibt es bis heute nicht. Bei Körting sind Auslegungen auch in Grenzbereichen einer DVP abgesichert. Ein Vakuum bis 0,05 mbar wird erreicht, Treibdampf unter 100 °C kann verwendet werden und DVP mit einem Verdichtungsverhältnis von 16:1 sind im Einsatz.

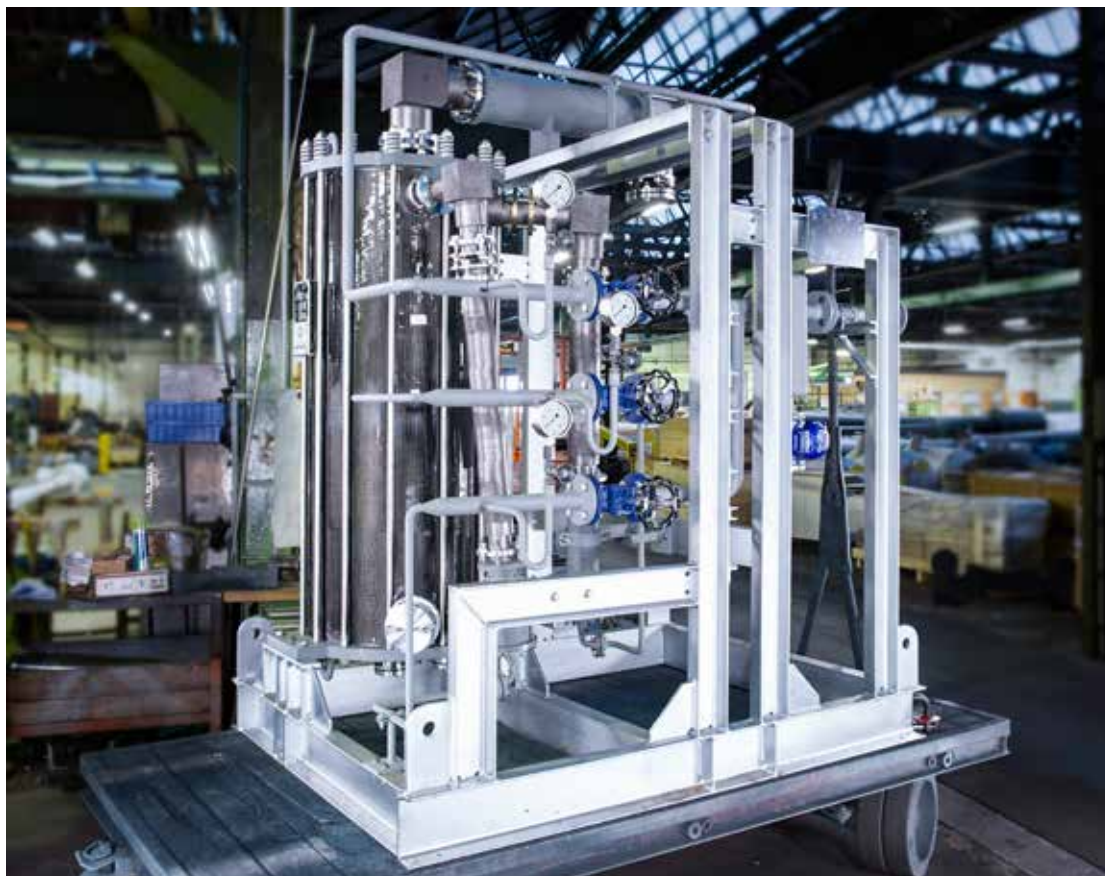
Dreistufiges Dampfstrahl-Vakuumsystem





Den praktischen Fragebogen für eine schnelle  
Angebotsanfrage finden Sie u. a. auf  
[koerting.de/de/mehrstufige-dvs.html](https://www.koerting.de/de/mehrstufige-dvs.html)

Dreistufiges Dampfstrahl-Vakuumsystem  
aus Graphit montiert auf Grundrahmen



### VORTEILE DER KÖRTING DAMPFSTRAHL-VAKUUMSYSTEME

- ✓ keine mechanisch bewegten Teile
- ✓ möglicher Einsatz von Sonderwerkstoffen
- ✓ minimale Anforderungen hinsichtlich Wartung
- ✓ höchste Verfügbarkeit (auch nach längeren Stillständen)
- ✓ höchste Betriebssicherheit in allen Betriebspunkten (z. B. keine Kavitationsgefahr)
- ✓ minimaler Aufwand an Sicherheitstechnik und Prozessüberwachung
- ✓ hermetisch dicht ohne zusätzliche Einrichtungen
- ✓ keine eigenen potenziellen Zündquellen, dadurch nicht im Anwendungsbereich der EU-Explosionsschutzrichtlinie ATEX
- ✓ bester (kleinster) Dampfverbrauch abgesichert durch kontinuierliche Leistungsprüfungen unter realen Prozessbedingungen

# Prozessführung in mehrstufigen Dampfstrahl-Vakuumsystemen

Die Prozessauslegung, dabei vor allem die Wahl der Kondensatoren, richtet sich unter anderem nach der Verschmutzungsneigung der Prozessmedien.

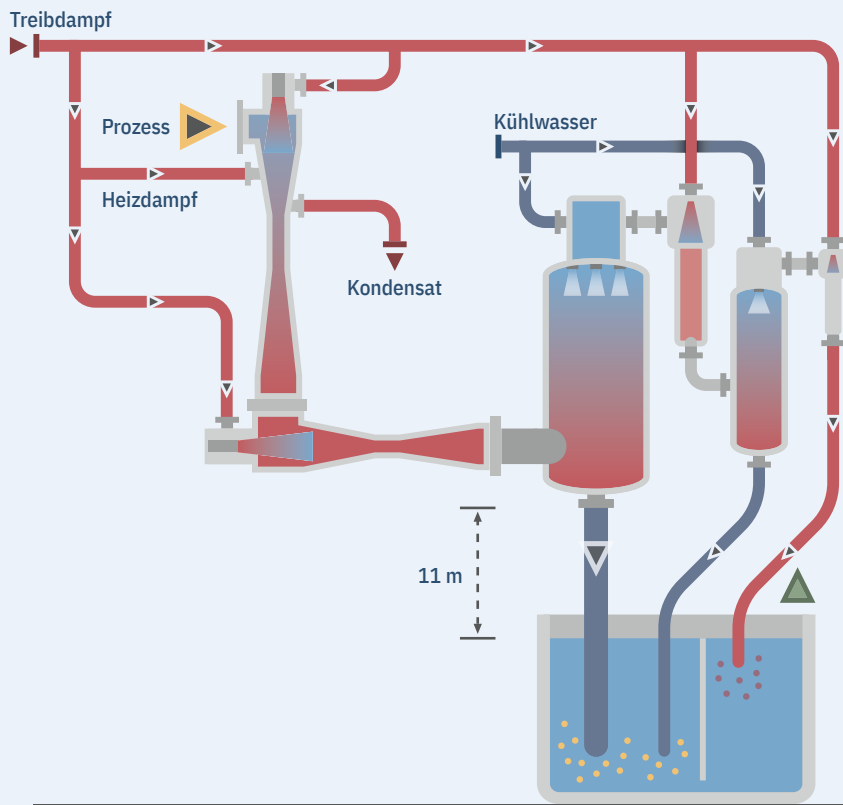
Die Art der Prozessauslegung und die Auswahl der Werkstoffe werden den jeweiligen Anforderungen angepasst.

## Diese Varianten kommen bei der Auslegung von DVS zum Einsatz:

- Mischkondensatoren mit Kühlwasser oder Prozessmedium, offen oder geschlossene Kühlkreisläufe
- Oberflächenkondensatoren mit Kühlturm- oder Kaltwasser
- Oberflächenkondensatoren mit Prozess im Rohr- oder Mantelraum, vertikal oder horizontal
- Oberflächenkondensatoren mit festen Rohrböden oder ziehbarem Rohrbündel, Schwimmkopf- oder U-Rohr-Bauweise
- unbeheizte, teil- oder vollbeheizte DVP, um Eisbildung und Anhaftungen zu vermeiden
- DVP mit Wasserdampf oder organischen Dämpfen als Treibmedium (u. a. EG, BDO, Phenol)
- FRVP mit Wasser oder organischen Fluiden
- Betriebsweise der FRVP mit offenem oder geschlossenem Kreislauf
- Materialauswahl je nach Prozessanforderung und Kundenwunsch
- Einsatz von Stahl und Guss sowie allen gängigen Edelstahl-Qualitäten, diese auch in jeglicher Kombination
- Graphit und hochlegierte Werkstoffe ebenfalls möglich sowie Beschichtungen und Auskleidungen

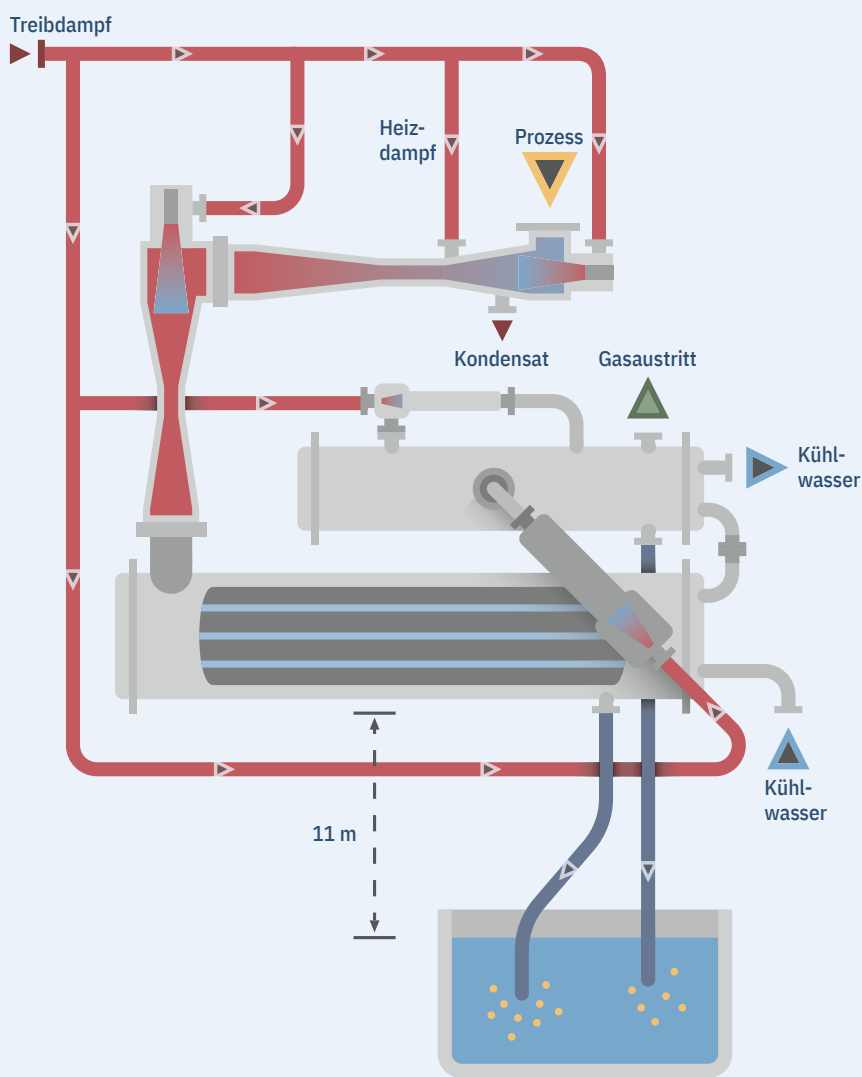
Zweistufiges Dampfstrahl-Vakuumsystem mit Oberflächenkondensator nach Endmontage





### DAMPFSTRAHL-VAKUUMSYSTEM MIT MISCHKONDENSATOREN

Bei diesem 4-stufigen Dampfstrahl-Vakuumsystem mit Mischkondensatoren sind zwei Strahlpumpenstufen hintereinander geschaltet. Diese verdichten in einen Hauptkondensator. Anschließend entlüften zwei weitere Strahlpumpen den Hauptkondensator. Ein zwischengeschalteter Mischkondensator kondensiert den Treibdampf der dritten Strahlpumpenstufe. Ein solches Vakuumsystem kann, je nach Kühlwassertemperatur im ersten Mischkondensator, einen Saugdruck unter 1 mbar erreichen.



### DAMPFSTRAHL-VAKUUMSYSTEM MIT OBERFLÄCHENKONDENSATOREN

Im Schema ist ein 4-stufiges Dampfstrahl-Vakuumsystem mit Oberflächenkondensatoren dargestellt. In diesem Beispiel werden zwei Strahlpumpenstufen direkt hintereinander geschaltet, um einen Saugdruck unter 1 mbar zu erreichen. Zwei weitere Strahlpumpenstufen verdichten die nicht kondensierbaren Bestandteile des Saugstromes aus dem ersten Oberflächenkondensator bis auf Atmosphärendruck. Im zwischen- und nachgeschalteten Oberflächen-Doppelkondensator wird der Treibdampf der jeweils vorgeschalteten Strahlpumpe kondensiert.

# Die Auswahl der Entlüftung

## HYBRIDSYSTEM ODER MEHRSTUFIGES

### DAMPFSTRAHL-VAKUUMSYSTEM ALS ENTLÜFTUNGSGRUPPE

Jedes Vakuumsystem muss für eine bestimmte Menge Inertgas, mindestens jedoch für die Leckluft der Prozessanlage ausgelegt werden. In einem mehrstufigen DVS hat die sogenannte Entlüftungsgruppe (eine oder mehrere Stufen) dabei die Aufgabe, die dampfgesättigte Inertgasmenge aus dem Hauptkondensator letztendlich an die Atmosphäre zu fördern. Dabei ist die Menge der anhängenden Dämpfe durch den Druck und die Temperatur am Austritt des Kondensators bestimmt.

Die Entscheidung zwischen einer FRVP oder einer mehrstufigen DVP als Entlüftungsgruppe ergibt sich dabei aus den wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen. Für eine FRVP spricht der geringere Energiebedarf und die hohe Evakuierungsleistung. Betriebssicherheit und Unempfindlichkeit gegenüber inneren Verschmutzungen und äußeren Einflüssen sprechen hingegen für den Einsatz einer DVP.

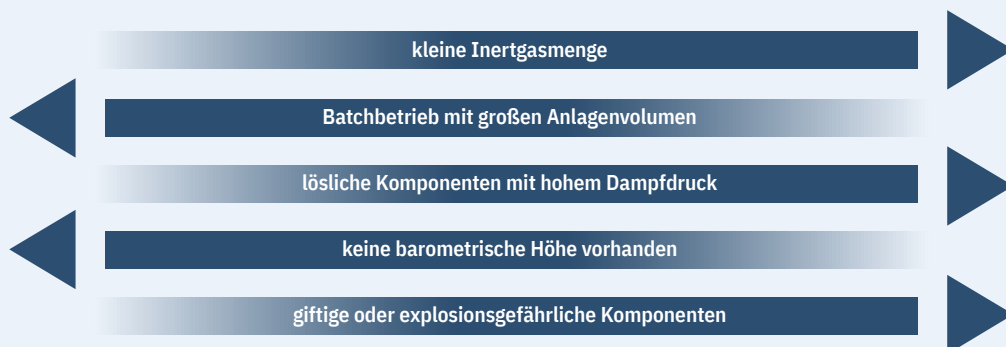
Neben den klassischen DVP liefert die Körting Hannover GmbH seit 2016 auch FRVP in alleiniger Verantwortung für die Auswahl der Komponenten, Fertigung, Montage und Prüfung. Über 100 FRVP wurden bereits fertiggestellt und weltweit erfolgreich in Betrieb genommen. Die Stärken des Unternehmens sind komplett montierte Einheiten inkl. Instrumentierung, Regelung und Leistungsprüfung.

Die Kombination aus jahrzehntelanger Erfahrung um den Einsatz von Dampfstrahlpumpen, Kondensatoren und Ringpumpen macht die Körting Hannover GmbH heute zum weltweit kompetentesten Anbieter dieser Vakuumsysteme und bietet den Kunden Systemlösungen aus einer Hand.

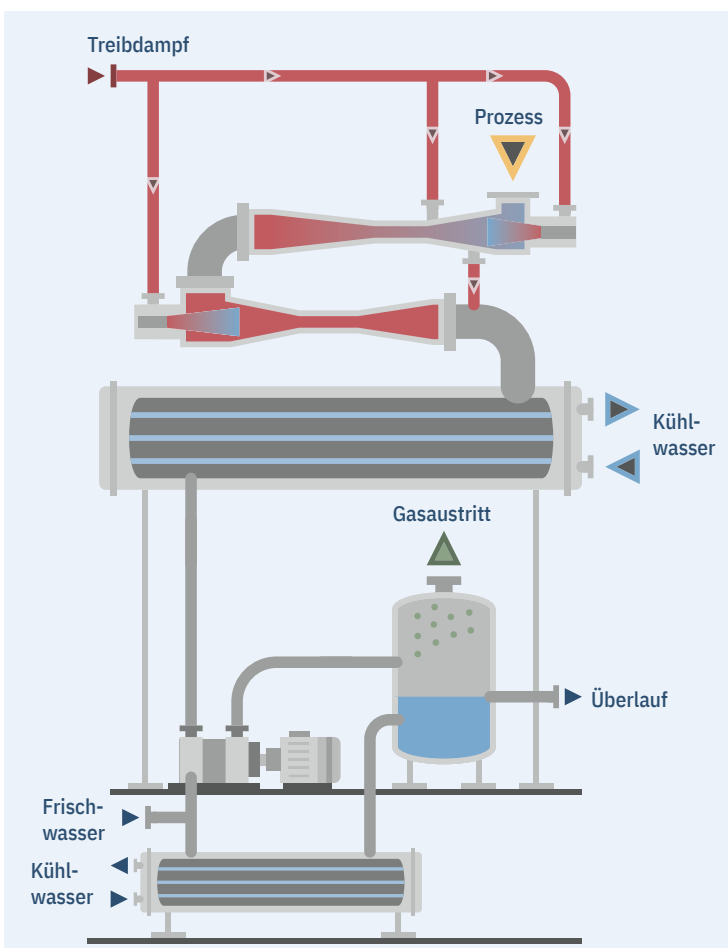
## KRITERIEN FÜR DIE AUSWAHL DES ENTLÜFTUNGSSYSTEMS

Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe

Dampfstrahl-Vakuumpumpe



Hybrid-System bestehend aus zwei Dampfstrahl-Vakuumpumpen mit Oberflächenkondensator und einer Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe



### HYBRID-VAKUUMSYSTEM MIT OBERFLÄCHENKONDENSATOREN UND FLÜSSIGKEITSRING-VAKUUMPUMPE

Dies ist ein 3-stufige Hybrid-Vakuumsystem mit Oberflächenkondensatoren. Der Oberflächenkondensator wird durch eine Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe entlüftet. Diese mechanische Pumpe bildet die letzte Stufe des Vakuumsystems. Durch den Einsatz von Dampfstrahl-Vakuumpumpen und mechanischen Vakuumpumpen bezeichnet man dieses auch als Hybridsystem.

# Regelung von DVS

Drei unterschiedliche Varianten können dabei betrachtet werden:

- Regelung der Saugleistung bei einstufigen DVP
- Anpassung der Treibdampfmenge
- Regelung des Vakuums bei mehrstufigen Vakuumsystemen

Der Treibdampfstrom einer DVP wird durch den Durchflussquerschnitt in der Treibdüse und dem anliegenden Treibdampfzustand bestimmt. Nur durch diese Parameter kann er auch verändert werden. Der Einsatz einer sog. Düsennadel ist dabei der einfachen

Drosselung des Treibdampfes energetisch überlegen. Je geringer der zur Verfügung stehende Treibdampfdruck ist, desto größer ist der Vorteil der Düsennadel.

Beim Betrieb von DVP mit kleinen Verdichtungen wird durch den Einsatz einer Düsennadel gleichzeitig der Treibdampfstrom, der Austrittsdruck und die Saugleistung verändert. So ist eine komplexe Regelung aller Parameter möglich. Die Körting Hannover GmbH verfügt über eigene Berechnungsprogramme, die eine individuelle Auslegung dieser DVP und ihre Regelung passend für den jeweiligen Anwendungsfall möglich macht.





In mehrstufigen DVS arbeiten die einzelnen Stufen auf verschiedenen Druckniveaus. Die dabei erzielten Verdichtungen je Stufe sind üblicherweise größer als 3:1 (Austrittsdruck zu Saugdruck).

Diese Verdichtungsverhältnisse können nur erzeugt werden, wenn der Treibdampf auf Überschall expandiert und in der Mischstrecke einer DVP zusammen mit dem Saugstrom Schallgeschwindigkeit erreicht wird. Dieser Gemischstrom ist damit für einen Arbeitspunkt der DVP maximal und kann nicht weiter gesteigert werden.

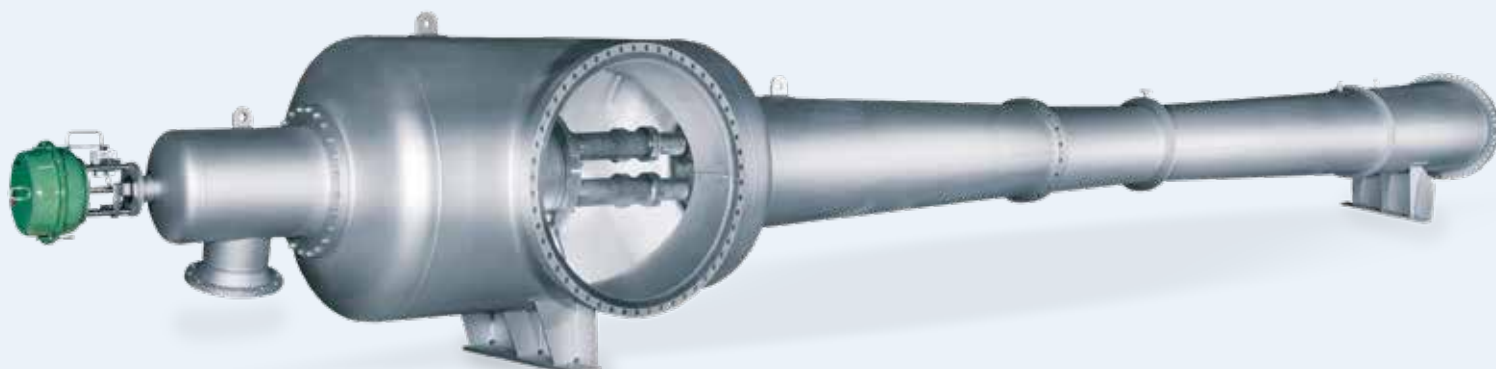
Ein Zurücknehmen des Treibmassenstromes (Androsseln, Düsennadel) bewirkt eine kleine Änderung des Saugvermögens einer DVP. Der viel entscheidendere Effekt tritt aber am Austritt der DVP auf. Die reduzierte Treibenergie verringert auch den erreichbaren Austrittsdruck.

Der Treibampfdruck darf daher in mehrstufigen DVS nur reduziert werden, wenn der erforderliche Austrittsdruck (i. d. Regel der Kondensatordruck) dies zulässt. Der Einsatz einer Düsennadelsteuerung oder das Drosseln des Treibdrucks dient in mehrstufigen DVS also nur der Reduzierung der Treibdampfmenge zur Energieeinsparung. Eine Saugdruckregelung ist hierdurch nicht möglich.

#### **DIE REGELUNG DES VAKUUMS EINES MEHRSTUFIGEN DVS ERFOLGT SINNVOLL DURCH**

- **Androsseln auf der Saugseite bei kleinen und mittleren Leistungen**
- **Zugabe von Treibdampf als Ballast auf die Saugseite bei kleinen Regelbereichen**
- **Rückführung von Gemischdampf von der Austrittsseite der DVP über ein Regelventil auf die Saugseite**
- **Parallelbetrieb von DVP**
- **Kaskadenregelung**

Dampfstrahl-Vakuumpumpe mit Düsennadel zur Reduzierung von Treibdampf



# Treibdampfbedarf mehrstufiger DVS

Der Treibdampfbedarf eines DVS wird bei der Auslegung für ein Angebot oder im Auftragsfall individuell berechnet. Die optimale Auslegung mit einer minimalen Treibdampfmenge sollte dabei immer das Ziel sein.

Viele Faktoren beeinflussen die Treibdampfmenge der einzelnen DVP als auch den Bedarf aller Stufen.

Die Höhe der Verdichtung je DVP, die Anzahl der gewählten Stufen eines DVS, das verwendete Kühlwasser, der Treibdampfdruck, die Leckluftmenge und die Ausführung der letzten Stufe entscheiden wesentlich über die Treibdampfmenge.

Im Bereich von Saugdrücken unterhalb 10 mbar (abs) liegt das Verdichtungsverhältnis einer DVP oft um den Faktor 8, im Bereich unterhalb 2 mbar (abs) sogar höher. Diese Verdichtungen werden auch mit niedrigen Treibdrücken erreicht, da die Expansion des Treibdampfes auf das Prozessvakuum sehr hoch ist.

In der Entlüftungsgruppe sind die Verdichtungen deutlich kleiner und liegen bei Faktor 3 bis 4. Hier hat der gewählte Treibdruck einen großen Einfluss auf den Treibdampfbedarf. Je höher der Treibdruck desto kleiner der Dampfbedarf. Der Expansionsfaktor des Treibdampfes wirkt sich aus.

Durch Erhöhung der Stufenzahl mit kleineren Verdichtungen kann dieser Nachteil wieder ausgeglichen werden. Bei kleinen Treibdampfdrücken von 2 bis 4 bar lassen sich so die guten Verbrauchszahlen wie bei 8 bis 16 bar erreichen.

Die Temperatur des Kühlwassers bestimmt den Druck im Kondensator, wo Treib- und Saugdampf soweit wie möglich kondensieren. Dies reduziert den Saugstrom (Volumen und Masse) für die nächste Stufe und macht den Betrieb eines mehrstufigen DVS erst möglich. Der Einfluss der Kühlwassertemperatur auf die Treibdampfmenge ist dabei erheblich, denn bei der Auslegung muss immer die maximale Kühlwassertemperatur

berücksichtigt werden. Eine spätere Anpassung des DVS an die jahres- oder tageszeitliche Abkühlung des Wassers ist möglich (siehe Regelung). Die größte Einsparung wird erst bei Einsatz von konstant „kaltem“ Wasser erreicht. Ein klassisches DVS benötigt bei 30 °C Kühlwasser ca. 50 % mehr Treibdampf als bei 15 °C, sogar 65 % mehr als bei 5 °C Kaltwasser.

In Oberflächenkondensatoren ist der „Kondensator- druck“ immer höher als in Mischkondensatoren, was den Treibdampfbedarf um 10 bis 30 % erhöht.

Um sowohl den Treibdampfbedarf als auch die Höhe der Abgasmenge zu reduzieren, muss die Reduktion der Leckluftmenge einer Vakuumanlage angestrebt werden. Berechnet wird sie mit einer Druckanstiegs- messung, für die Auslegung des DVS wird jedoch immer ein höherer Wert angesetzt.

Treibdampf einzusparen wird bei neuen wie bei bereits installierten DVS durch

- Einsatz von Kaltwasser in den Kondensatoren
- Einsatz einer FRVP als letzte Stufe
- Erhöhung der Stufenzahl der DVP
- Überprüfung und Einstellung des richtigen Treibdrucks
- Regelmäßige Überprüfung der inneren Querschnitte einer DVP auf Verschleiß
- Ersetzen von defekten Dichtungen
- Überprüfung und Reduzierung von Leckagen
- Ersatz von überdimensionierten DVP

erreicht.

Gerne unterbreiten wir Ihnen ein Angebot zur Überprüfung Ihres DVS vor Ort. Unsere Expertinnen und Experten nehmen die aktuellen Messwerte auf, finden die Störquelle, schulen Ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und erarbeiten im engen Austausch mit Ihnen zielgerichtet Lösungskonzepte.

## Eigene Fertigung

Durch die Fertigung der Strahlpumpen und Kondensatoren im hauseigenen Werk in Hannover können prozessoptimierte Auslegungen mit höchster Fertigungsqualität schnell in effizient arbeitende Systeme umgesetzt werden. Verarbeitungsmöglichkeiten für alle gängigen Stahlsorten sind genauso gegeben wie auch für hochlegierte Edelstähle, Duplexstähle sowie zahlreiche Sondermaterialien und Kunststoffe.

Die Körting Hannover GmbH ist unter anderem zertifiziert nach:

- TÜV-Cert DIN EN ISO 9001
- AD 2000 HP0/DIN EN ISO 3834-2
- DGRL 2014/68/EU
- ASME Certification Mark
- Manufacture License of Special Equipment People's Republic of China

Diese und viele weitere Zertifikate finden Sie unter [koerting.de/de/zertifikate-und-zulassungen.html](http://koerting.de/de/zertifikate-und-zulassungen.html)



## Eigene Forschung und Entwicklung

Hersteller führender Technologien in der Strahlpumpen-, Vakuum- und Umwelttechnik zu sein, setzt eine anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung voraus. Sie bildet die Basis für kontinuierliche Verbesserungen und ist eine unverzichtbare Voraussetzung für die Markteinführung innovativer technischer Lösungen.

Zur Verfügung stehen eigene Prüfstände und Prüfmöglichkeiten für nahezu alle Produkte und Komponenten. Dampfstrahl-Vakuumpumpen können bis DN 1 000 und 4 000 kg/h Treibdampf von 1 bis 20 bar getestet werden.





**Körting Hannover GmbH**

Badenstedter Str. 56

30453 Hannover

+49 511 2129-360

sales@koerting.de

**KOERTING.DE**

