



▶ Störquellensuche

Leistungsüberprüfung und Abhilfe

Körting

THE EJECTOR COMPANY

Dampfstrahl-Vakuumpumpen
und Vakuumsysteme

Körting Akademie

Störquellensuche und Leistungsüberprüfung

Körting Dampfstrahl-Vakuumpumpen (DVP) haben selten eine Minderleistung oder einen Leistungsabfall, wenn sie bei Betriebsbedingungen arbeiten, für die sie ausgelegt sind. In unseren Betriebsanleitungen sind bereits Hinweise auf mögliche Störungen und Fehlerquellen aufgeführt, falls die gewünschte Leistung der Anlage wegen eines Montagefehlers nicht erreicht wird.

Die in den Richtlinien dargestellten Erklärungen und Hinweise gelten im Prinzip auch für einen Leistungsabfall, der nach längerer Betriebszeit allmählich oder plötzlich eintreten kann.

Typische Ursachen für einen Leistungsabfall sind Abnutzungen oder Verschmutzungen. Um den spezifischen Fehler schneller zu identifizieren und die Zeit der Fehlersuche zu minimieren, empfehlen wir nach folgender Anleitung – je nach Art der Störungsmerkmale – vorzugehen.

Nach der primären äußerlichen Sichtkontrolle und der Überprüfung / Abtastung der für DVPs charakteristischen Temperaturbereiche erfolgt die stufenweise Untersuchung und Leistungsprüfung. Nur in Ausnahmefällen wird eine Besichtigung von innen, und damit eine Demontage, notwendig sein.

Leistungsmessungen an Dampfstrahl-Vakuumpumpen oder Aggregaten, die DVPs enthalten, dienen dem Nachweis von Leistung (Saugdruck, Saugstrom, Anfahrzeit) und Verbrauch (Treibdampf, Kühlwasser).

Leistungsmessungen können auf dem Körting eigenen Prüfstand (empfohlenes Szenario) oder am Aufstellungsort durchgeführt werden. Sie dienen zur Kontrolle und Gewährleistung der Auslegungsdaten sowie zur Überprüfung laufender oder gewarteter Anlagen. Die Bestimmungen des Saugdrucks und des Saugstroms im Problemfall vor Ort stehen im Fokus der folgenden Ausführungen.



Diese Information enthält eine Kurzform der Leistungsmessung. In dieser Form kann die Leistungsmessung in Problemsituationen schnell und einfach durchgeführt werden. Eine vollständige Beschreibung mit allen Möglichkeiten der Versuchsdurchführung und den Regeln zur Messung von Temperaturen, Drücken und Massenströmen steht in der DIN 28430: Messregeln für Dampfstrahl-Vakuumpumpen und Dampfstrahlkompressoren sowie in Veröffentlichungen des HEAT EXCHANGE INSTITUTE (HEI, New York).

Maßnahmen und empfohlene Reihenfolge bei der Fehlersuche

Wenn eine mehrstufige Dampfstrahl-Vakuumpumpe nach längerer Betriebszeit allmählich oder plötzlich in der Leistung abfällt, können äußere Einflüsse oder interne Veränderungen die Ursachen sein.

Ist die Fehlerquelle nicht klar zu erkennen, beginnen die Schritte der Fehlersuche grundsätzlich bei der letzten Stufe, die an die Atmosphäre fördert. Nur wenn diese Stufe das vorgesehene Vorvakuum liefert, kann auch

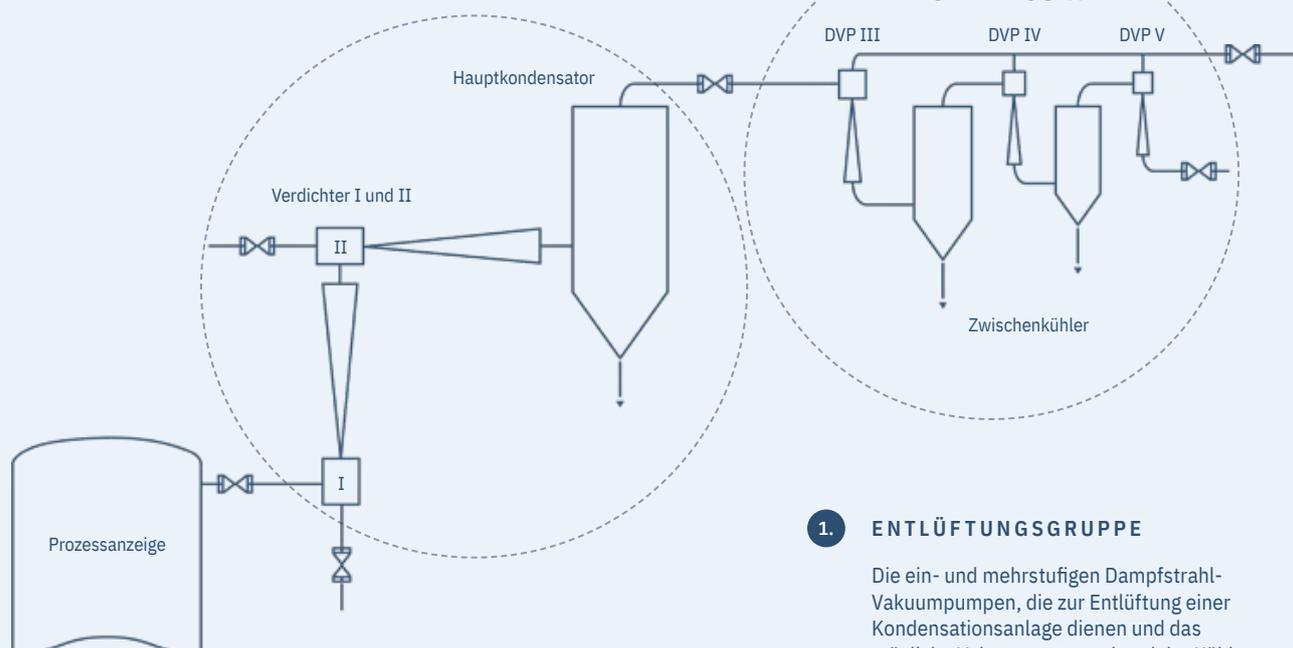
die Vorstufe mit dem für sie vorgesehenen Gegendruck arbeiten.

Die Stufen werden in Richtung Atmosphärendruck gezählt.

Die erste Stufe ist an die zu evakuierende Prozessanlage oder an einen Kondensator angeschlossen. Um die Fehlersuche weiter in ein System zu bringen, sollte man die zwei Bauarten beachten (siehe Schema):

MEHRSTUFIGE

DAMPFSTRAHL-VAKUUMPUMPE



2. EIN ODER MEHRERE DAMPFSTRAHLVERDICHTER VOR DEM HAUPTKONDENSATOR

Die mehrstufigen Dampfstrahlpumpen, die ein höheres Vakuum als das Kondensatorvakuum erzeugen und zu diesem Zweck vor dem Hauptkondensator mit einem oder mehreren Dampfstrahlverdichtern (Booster) ausgerüstet sind.

Hier sollte zuerst der Hauptkondensator auf seine Kühlwassertemperaturen überprüft werden – erst danach kann, wenn notwendig, dessen Entlüftungsgruppe kontrolliert werden. Hat die Anlage einen oder mehrere Vorverdichter, muss zuerst ihr Gegendruck (also der Druck im nachgeschalteten Hauptkondensator) kontrolliert werden (Druck der Betriebsanweisung entnehmen!). Ist der Kondensatordruck in Ordnung, kann die Suche auf die Verdichter (Stufe 1 oder 2) fokussiert werden.

1. ENTLÜFTUNGSGRUPPE

Die ein- und mehrstufigen Dampfstrahl-Vakuumpumpen, die zur Entlüftung einer Kondensationsanlage dienen und das mögliche Vakuum entsprechend der Kühlwasserablauftemperatur aufrecht erhalten (Entlüftungsgruppe).

Plötzlicher Vakuumverlust

Bei plötzlichem Vakuumverlust prüfen Sie bitte zuerst die Messinstrumente (evtl. kalibrieren), ob der Leistungsabfall valide ist. Dazu überzeugen Sie sich, dass verstopfte oder spröde Messleitungen und Wassersäcke als Fehlerursache ausgeschlossen werden können. Vergleichen Sie die Messwerte mit den Angaben in der Betriebsanweisung. Die angegebenen Kühlwasseraustrittstemperaturen dürfen auf keinen Fall überschritten werden, da sonst der Gegendruck für die Dampfstrahlpumpen zu hoch ist.

> Wenn die Messinstrumente richtig anzeigen, die Fehlersuche fortsetzen!

Besteht die Möglichkeit, die Entlüftungsgruppe vom Hauptkondensator zu trennen (Absperrschieber oder Blindflansch),

> Nulllast-Test durchführen!

Wird der halbe Kondensatordruck nicht erreicht, muss der Fehler bereits in der Entlüftungsgruppe liegen, alternativ im Hauptkondensator oder davor.

Dampfstrahlverdichter in den Fertigungshallen in Hannover



ANGENOMMENE URSACHE KÜHLWASSER

1. Tasten Sie mit der Hand alle Ein- und Austrittsleitungen an den Kondensatoren ab, um Temperaturunterschiede festzustellen. Vergleichen Sie die Unterschiede mit der Betriebsanweisung. Können Sie bei einem der Mischkondensatoren keine Temperaturunterschiede wahrnehmen (alles ist gleichmäßig heiß), ist möglicherweise die Kühlwasserdüse im Mischkondensator teilweise oder ganz verstopft.

➤ In diesem Fall die Düse herausnehmen und reinigen! Dabei den Streuwinkel kontrollieren!

2. Tritt Wasser aus dem Austritt der Dampfstrahlpumpe der Atmosphärenstufe aus, ist der vorhergehende Zwischenkondensator voll mit Wasser. Vergewissern Sie sich durch Klopfen, ob er hohl oder voll klingt.

Den Auslauf der Fallrohre im Fallwasserkasten auf ungehinderten Ablauf überprüfen. Bei barometrischer Aufstellung ist auch die erforderliche Fallhöhe zu überprüfen. Sie kann sich geringfügig durch den Barometerstand ändern oder auch deutlich, wenn durch einen hohen Gasanteil im Wasser das spezifische Gewicht geändert ist.

➤ Fallrohre auf Rost und Lecks prüfen!

Undichtigkeiten in den Fallrohren führen zu einem Einströmen von Luft und können den Abfluss blockieren.

Starke Blasenbildung im Fallwasserkasten deutet auf viel Luft oder Gase hin, die u. U. schon von der Prozessanlage kommen!

3. Bei Oberflächenkondensatoren mit Fallrohren soll das Kondensat ebenfalls in den Sammelbehälter ungehindert ablaufen. Wenn Kondensatschleifen

vorhanden sind, tasten Sie diese ab, ob sie evtl. verstopft sind und der Zwischenkühler voll Kondensat steht.

Bei Kondensatleitungen hinter Kondensstöpfen kann man das regelmäßige Öffnen fühlen, wenn sie einwandfrei arbeiten.

➤ Kühler abklopfen, er muss leer klingen!

Werden die Oberflächenkondensatoren durch Pumpen entwässert, sind diese und deren Sperrstopfbuchsen zu überprüfen. Sperrstopfbuchsen müssen einen externen Wasseranschluss haben.

4. Nun prüfen Sie, ob der Fallwasserkasten genügend Puffervolumen (insbesondere beim Anfahren zur Füllung der Fallrohre) hat, oder ob dieses durch Schlamm etc. verringert ist.

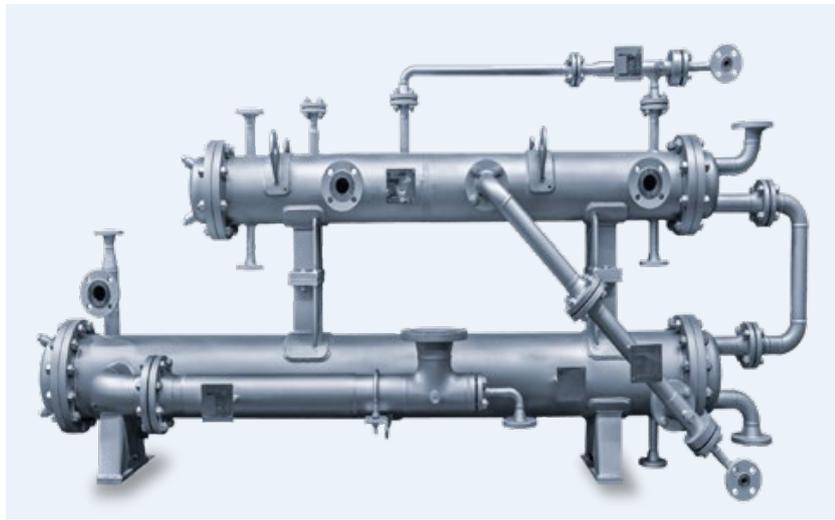
➤ Dann reinigen!

5. Prüfen Sie danach, ob der Wasserdruck vor dem Kondensator konstant ist. Ist inzwischen eine Änderung der Kühlwasserzuführung erfolgt oder sind an die Leitung weitere Entnahmen angeschlossen? Prüfen Sie desweiteren, ob am Saugstutzen der Kühlwasserpumpe Luft mit angesaugt wird. Dieses kann der Fall sein, wenn das Kühlwasser vom Vakuum angesaugt wird.

➤ Auf Strudelbildung an der Einsaugstelle und Blasenbildung im Fallwasserkasten achten!

6. Die Kühlwasserablauftemperaturen dürfen nicht überschritten werden!

➤ Anzeigewerte mit der Betriebsanweisung vergleichen!



Dreistufiges Dampfstrahl-Vakuumsystem

ANGENOMMENE URSACHE TREIBDAMPF

1. Zur Prüfung der Dampfqualität werden alle Ausblasemöglichkeiten der Treibdampfleitung geöffnet. Nasser Dampf wird mit einer weißen Fahne ins Freie strömen. Lassen Sie solange den Dampf ausblasen, bis die „Fahne“ verschwindet und der Dampf ohne „Stottern“ austritt.
2. Überprüfen Sie den Treibampfdruck vor der Düse. Werden Zeigermanometer verwendet, achten Sie darauf, dass sich beim Abstellen des Treibampfes das noch vorhandene Vakuum der Anlage auf das (zwischen Dampfventil und Strahlpumpe montierte) Manometer ausdehnen und den Zeiger bis zu 1 bar Fehlanzeige verstellen kann. Der tatsächliche vor der Düse vorhandene Treibampfdruck wäre dann effektiv 1 bar niedriger.
 - > In diesem Fall ein Mano-Vakuummeter verwenden oder den Anschlagstift entfernen! Siebe, Wassersackrohre und längere Messleitungen überprüfen!
3. Tasten Sie die Zwischenkondensatoren und Strahlpumpen ab. Hat ein Zwischenkondensator tiefere Temperaturen als in der Betriebsanleitung angegeben sowie keine Warmzonen am Dampfeintritt und am Kühlwasseraustritt, so deutet das auf eine Verstopfung der Treibdüse der vorgeschalteten Strahlpumpe hin.
 - > Inspektion der Treibdüse!
4. Eine Verstopfung der Treibampfdüse lässt sich leicht überprüfen, da die Düse mit der Dampfkammer oder dem Krümmer abgenommen werden kann. Halten Sie dabei die Düse so, dass Schmutz oder Fremdkörper vor der Überprüfung nicht herausfallen.
 - > Fremtteile sorgfältig entfernen, ohne die Düsenbohrung zu beschädigen! Herkunft der Fremtteile bestimmen, um eine Wiederholung zu vermeiden!
 - > Bei kleinen Strahlpumpen auch den Diffusor durch eine Sichtkontrolle überprüfen!
 - > Nach festgestellter Verstopfung von Treibdüsen auch die Treibampfleitung durchblasen!
5. Beim Lösen, bzw. Herausschrauben der Treibampfdüsen aus Dampfkammer oder Krümmer kontrollieren Sie unbedingt die Dichtung. Vorbeiströmender Treibampf würde die Absaugleistung entsprechend verringern.

Die Strahlpumpen nehmen bei der Verdichtung die Temperaturen entsprechend den Druckbereichen an – sofern sie Luft oder Dämpfe ansaugen, die nicht überhitzt sind. Saugstutzen und Misch-

Vergleichen Sie, ob die von uns in der Betriebsanleitung angegebenen Düsenbohrungen mit den gereinigten Düsen übereinstimmen. Auf Zehntelmillimeter kalibrierte Spiralbohrer können notfalls als Messdorn verwendet werden.

ANGENOMMENE URSACHE LECKAGEN

Die Absaugleistung der Dampfstrahl-Vakuumpumpe ist entsprechend einer maximal zu erwartenden Leckluftmenge der Prozessanlage festgelegt. Nach längerer Betriebszeit können zusätzliche Leckluftmengen zum allmählichen oder auch plötzlichen Vakuumabfall führen.

Ursachen sind u.a.:

- rissige Dichtungen.
- Stopfbuchsen an Schiebern und Kondensatpumpen, deren Packungen trocken und undicht geworden sind. Sperrwasser für Kondensatpumpen sollte Fremdwasser sein.
- korrodierte Fallrohre.
- Erosion des Krümmers hinter einer Strahlpumpe bei nassem Treibdampf.
- Gewindeauswaschungen. Wenn Treibdüsen mit Gewinde eingesetzt sind, können sich diese lockern und Dampf durch diese Verbindung zusätzlich in die Strahlpumpe strömen.
- Durchschläge am Kondensator an der Aufschlagfläche des Kühlwassers (Abspritzkegel der Wasserdüsen) und an der Aufschlagfläche des Dampfes (nur bei horizontal liegender Strahlpumpe).

➤ Nachweis durch eine Dichtheitsprüfung!



Langsamer, aber stetiger Vakuumverlust nach längerem Betrieb

Während ein plötzlicher Vakuumverlust meistens von einer einzigen Fehlerquelle verursacht wird, deutet der langsame Abfall nach längerer Betriebszeit auf beginnenden allgemeinen Verschleiß bei der Entlüftungsgruppe und insbesondere bei der letzten Stufe hin.

> **Höchste Zeit, Ersatzdüsen zu beschaffen!**

1. Überprüfen Sie zu Beginn die Messinstrumente, um die Validität der Anzeige sicherzustellen. Auch spröde gewordene Messleitungen können die Anzeige verfälschen.

Nach längerem Betrieb kann die letzte Stufe (zur Atmosphäre hin) erodiert oder die Austrittsleitung verschmutzt und verkrustet sein.

- > **An der Messmuffe des vorgeschalteten Zwischenkühlers das Zwischenvakuum messen und mit der Betriebsanweisung vergleichen!**
- > **Rohrleitung hinter der letzten Stufe entfernen und reinigen! Die letzte Stufe frei ausblasen lassen und Zwischenvakuum erneut messen!**
- > **Wenn noch nicht in Ordnung, dann innere Besichtigung dieser Dampfstrahlpumpe und Durchmesserkontrolle von Treibdüse und Diffusor!**
- > **Wenn verkrustet: Reinigen! Wenn verschlissen: Ersatzdüsen einbauen. Dabei auf einwandfreie Dichtungen achten. Aufbohren als Notlösung nur nach Rücksprache mit Körting!**



Dreistufiges Dampfstrahl-Vakuumsystem (mit Oberflächenkondensator) von Körting

2. Sind die Zwischenkühler als Oberflächenkondensatoren ausgeführt, können die Kondensatorrohre sowohl innen als auch außen verschmutzt und sogar verkrustet sein. Das erforderliche Zwischenvakuum wird dann nicht mehr erreicht.

> **Überprüfen und reinigen!**

3. Der Verdacht auf entstehende Leckagen ist auch hier angezeigt.

> **Stopfbuchsen überprüfen und Dichtheitsprüfung durchführen!**

4. Wenn die äußere Besichtigung und das Abtasten keine Hinweise auf den Fehler bringen:

> **Einbau von Messinstrumenten an jeder Stufe vornehmen, um die Zwischenvakua mit den Angaben aus der Betriebsanleitung zu vergleichen!**

> **Trennung der Dampfstrahl-Vakuumpumpe von der Prozessanlage und einen Leistungstest durchführen!**

5. Eine weitere Fehlerquelle stellen undichte Treibdüsenzuführungen dar. Hierdurch strömt Treibdampf in die Saugkammer.

> **Dichtung wechseln!**

Schwankendes Vakuum

Für ein schwankendes Vakuum gibt es mehrere Ursachen, die innerhalb, aber auch außerhalb der Anlage liegen können.

1. Das geforderte Vakuum wird erreicht. Die Endstrahlpumpe arbeitet jedoch pulsierend und dabei sind Pfeiftöne zu hören? Dann kann die Instabilität oft durch Zugabe von Dampf behoben werden.

Das Pulsieren kann aber auch durch Überreißen von Wasser aus einem überfluteten Zwischenkühler kommen.

➤ **Auf Kalkablagerungen in der Strahlpumpe achten sowie den Kühlwasserdruck und die Fallrohre kontrollieren!**

2. Wenn eine mehrstufige Dampfstrahlpumpe (für z. B. 10 mbar) in seiner Absaugmenge zu groß ausgelegt wurde, kann der Verdichter bei sehr kleiner Last den Gefrierpunkt 5 mbar und darunter

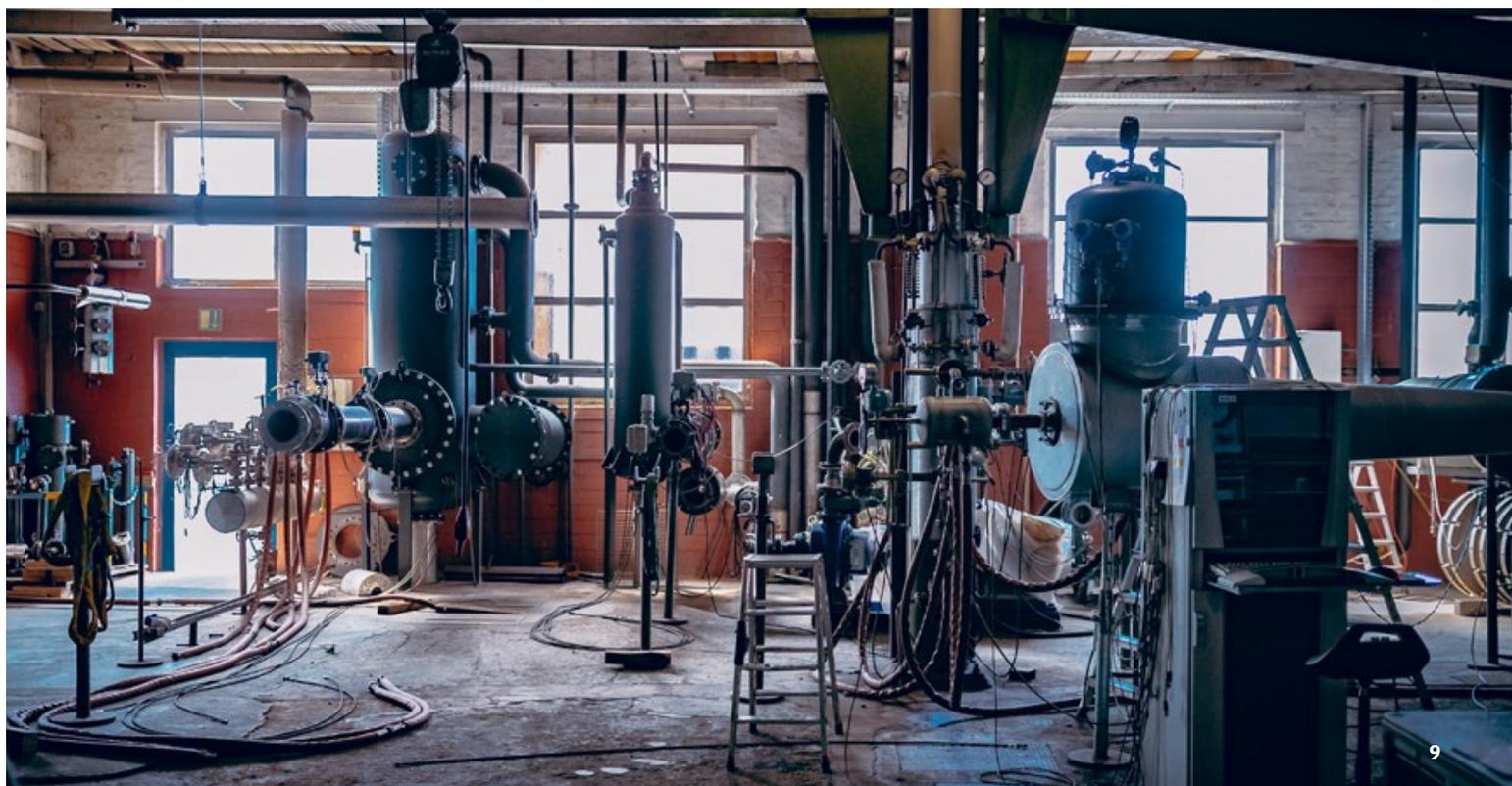
erreichen (wenn er an sich noch keine Beheizung erhält). In diesem Fall wird er zwischen Vereisen und Wiederauftauen pulsieren.

➤ **Beheizung vornehmen! Wenn eine Beheizung bereits vorhanden ist, diese überprüfen!**

3. Die Charakteristik der Strahlpumpen verlangt, dass sich bei zwei Stufen die Gegendrucklinie der ersten und die Saugdrucklinie der zweiten Stufe immer ausreichend überschneiden müssen. Ist dieses, bei prozessseitig stark wechselnder Belastung, nicht mehr der Fall, kann es zu Pulsationen kommen.

➤ **Dampf- und Gasanfall aus dem Prozess überprüfen! Verdichter überprüfen! Dazu die Prozessanlage abtrennen und mit den Verdichtern einen Leistungstest mit verschiedenen Belastungen durchführen!**

Hauseigenes Prüffeld für Leistungsproben an Dampfstrahlpumpen



Demontage und innere Besichtigung

Ist der Fehler durch Überprüfung der äußeren und inneren Einflüsse und auch durch eine stufenweise Leistungsprüfung nicht gefunden oder lokalisiert, wird die Anlage stufenweise demontiert.

1. Bei der stufenweisen Inspektion der Strahlpumpen ist auf die Nummerierung zu achten, die im vorderen Bereich auf den Treibdüsen sowie bei den Diffusoren auf dem Flanschrand eingeschlagen ist. Sind die Zahlen durch Farbe oder aus anderen Gründen verdeckt, muss die Kennzeichnung sichergestellt bzw. nachgeholt werden.

➤ Bei der Entlüftungsgruppe (siehe Grafik auf Seite 3) mit der Atmosphärenstufe beginnen! Die Treibdüse überprüfen (siehe Beschreibung auf Seite 6)!

Um den Verschleiß einer Bohrung festzustellen, nimmt man jeweils den nächstgrößeren Durchmesser des Prüfdorns (Schaft des Spiralbohrers) als in den Betriebsanleitungen angegeben ist.

Haben die Düsen Rillen im engsten Querschnitt oder sind sie ausgewaschen,

➤ Ersatzdüsen einsetzen!

Ein Aufbohren als Notlösung darf nur nach vorheriger Freigabe und Anweisung durch Projekt Ingenieure von Körting erfolgen!



2. Dasselbe gilt für die Diffusoren.
3. Auch die korrekte Lage und der Zustand der Dichtungen in den Verbindungsleitungen sind zu kontrollieren. Versetzte Dichtungen drosseln die Leistung und können rissig werden.
4. Jetzt folgt die innere Besichtigung des Zwischenkühlers sowie anschließend bei den vorhergehenden Stufen, bis der Fehler gefunden ist.
5. Kontrollieren Sie den Sprühwinkel der Kühlwasserdüsen im Hauptmischkondensator (wenn ein solcher vorhanden ist).
6. Eine Anleitung für die Demontage der Strahlpumpen und der Kühldüsen ist in der Betriebsanleitung gegeben.
7. Sind Vorverdichter (vor dem Hauptkondensator) vorhanden, sollten vorerst nur die Treibdüsen und - wenn vorhanden - die Beheizung kontrolliert werden.

Messung des Saugdruckes/Vakuums

Der Saugdruck wird am Saugstutzen oder am Kopf der Strahlpumpe gemessen. Hier herrscht bei uneingeschränkter Funktion der garantierte Auslegungsdruck. Unter Berücksichtigung eventueller Verluste der Zuleitung (Einlauf, Länge) ist dieser Saugdruck maßgeblich für das Vakuum in der zu evakuierenden Anlage verantwortlich (im Prozess).

MESSORT UND MESSANSCHLUSS

Der Saugdruck wird an einer (bereits vorhandenen) Messstelle direkt am Saugstutzen oder am Kopf der Strahlpumpe gemessen. Wird eine neue Anschlussstelle benötigt, sollte diese als Bohrung (Durchmesser 10 mm, senkrecht zur Strömungsrichtung, ohne Grat) an einer geraden Rohrleitungsstelle mit ungestörter Strömung ausgeführt werden.

Die Anschlussleitungen (Minstdurchmesser 10 mm, aus Kupfer, dickwandigem Gummi oder durchsichtigem Kunststoff) sollten möglichst kurz und ohne Durchhang verlegt sein.

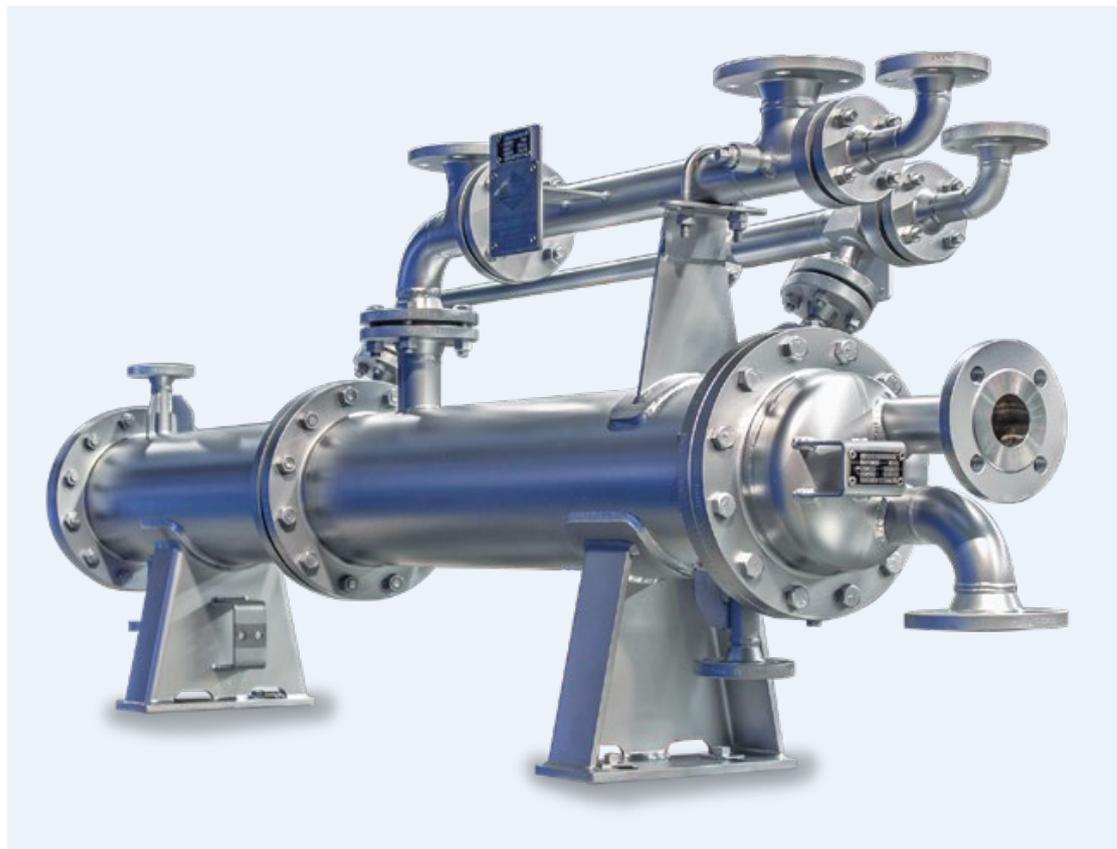
Um störendes Kondensat (Ausdampfen, Verschließen der Messleitung) zu vermeiden, müssen die Messleitungen regelmäßig belüftet werden. Halten Sie die Röhren sauber. Transparente Röhren ermöglichen jederzeit eine visuelle Kontrolle des Rohrzustands. Kühlfallen und chemische Trocknungseinrichtungen sind nicht zulässig. Behandeln Sie Verbindungsstellen mit besonderer Sorgfalt. Bedingt durch die relativ kleine Messleitung würden eventuelle Leckagen die Messung erheblich verfälschen. Eine Absperrvorrichtung in der Messleitung ermöglicht den Anschluss des Messgerätes an das Vakuum, ohne dabei den zu messenden Druck zu beeinflussen.

DRUCKMESSGERÄTE (FÜR VAKUUM)

Verwenden Sie zum Messen des Saugdruckes ein geeignetes Absolutdruckmessgerät. (Empfehlungen für geeignete Messgeräte geben Ihnen Projektingenieure von Körting gerne auf Anfrage.)

Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Druckaufnehmer müssen vor jedem Messzyklus kalibriert werden (absoluter Nullpunkt und mindestens ein Punkt für die Spanne). Sollte eine Kalibriervorrichtung nicht verfügbar sein, muss zumindest eine Plausibilitätskontrolle durchgeführt werden (2 unterschiedliche Messgeräte zeigen genau den gleichen Wert an).
- Die Klasse der Messgeräte muss beachtet werden. Der angegebene Messfehler (meist bezogen auf den Messbereichsendwert) muss für den aktuellen Messpunkt umgerechnet werden und sollte $\leq 1\%$ sein. Diese Anforderung erfüllen meist nur Labormessgeräte. Betriebsmessgeräte sind oft zu ungenau für diesen Einsatzfall.
- Der Messbereich des eingesetzten Gerätes muss auf den zu messenden Druck abgestimmt sein, d.h. der gemessene Druck sollte nicht $\leq 10\%$ des Messbereichsendwertes sein.
- Eine eventuelle Lageabhängigkeit des Messgerätes (siehe Betriebsanleitung des Messgerätes) ist zu berücksichtigen.
- Die Messgeräte dürfen nicht zu hohen Temperaturen ausgesetzt werden – besonders wenn der Druck an Stellen mit hoher Temperaturbelastung gemessen wird. Bei nicht vollständig temperaturkompensierten Geräten führt eine zu hohe Temperatur zu verfälschten Messwerten (siehe Betriebsanleitung des Messgerätes).
- Die Messgeräte müssen frei von Fremdkörpern sein. Eventuelle Tröpfchen oder Feststoffpartikel auf der Messmembran verfälschen durch ihr Gewicht das Messergebnis.



Zweistufiges Dampfstrahl-Vakuumssystem mit Oberflächenkondensator, ausgelegt für chemische Prozesse

Messung des Saugstromes

Der tatsächliche Saugstrom kann aus verschiedenen Gasen und Dämpfen oder aus Gemischen der unterschiedlichsten Zusammensetzungen bestehen. Daher besteht die Möglichkeit, dass der Saugstrom für einen Leistungsnachweis in vielen Fällen nicht reproduzierbar sein wird. Aus diesem Grund muss man geeignete Äquivalentströme aus Luft bzw. Wasserdampf ermitteln und mit diesen dann die Vakuumpumpe prüfen. Zum Nachweis der richtigen Arbeitsweise einer Vakuumpumpe genügt es vielfach schon, mit einem Äquivalentstrom atmosphärischer Luft (ohne Berücksichtigung des Anteils kondensierbarer Dämpfe) die Prüfung durchzuführen. Grundsätzlich kann man eine mehrstufige Vakuumpumpe als vollständige Einheit mit dem beschriebenen Prozess prüfen. Es ist aber auch möglich, jede Stufe einzeln zu prüfen. Dabei müssen die Druckverhältnisse an der Saug- und Gegendruckseite jeder Stufe nachgewiesen werden.

MESSMETHODEN

Um den kontinuierlichen Saugstrom eines gasförmigen Mediums zu ermitteln, gibt es verschiedene Methoden wie z.B. Druckdifferenzmessungen an Drosselstellen

(Blenden oder Düsen) oder direkte Messungen nach dem Verdränger- oder Schwimmkörper-Prinzip.

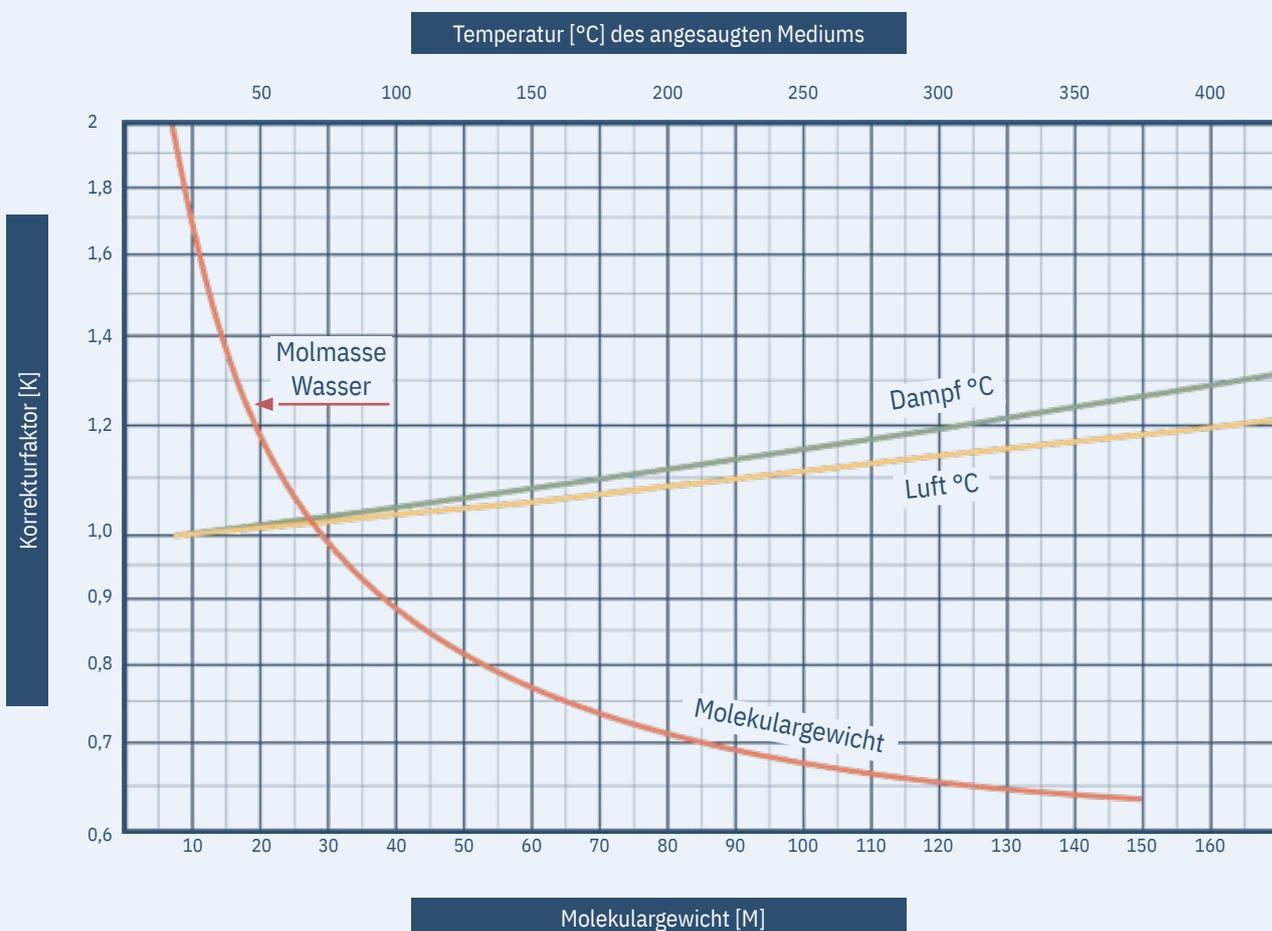
Bei Dampfstrahl-Vakuumpumpen hat sich das Messen des Saugstroms beim überkritischen Durchströmen von entsprechend bemessenen Düsen als einfache und hinreichend genaue Methode erwiesen.

Durch eine oder mehrere Düsen lässt man in den saugseitigen Vakuumraum einer Dampfstrahl-Vakuumpumpe atmosphärische Luft oder auch Wasserdampf einströmen, wobei der Saugstrom lediglich durch den Zustand vor der Düse und durch die engste Düsenbohrung bestimmt wird. Um das überkritische Druckgefälle zu erreichen, muss also z.B. bei atmosphärischer Luft vor der Düse, im Saugraum vor der Dampfstrahlpumpe ein Druck ≤ 500 mbar vorhanden sein, was auch bei einer einstufigen Dampfstrahl-Vakuumpumpe fast immer gegeben ist. Wenn am Aufstellungsort außer Luft und Wasserdampf noch andere Gase oder Dämpfe abzusaugen sind, müssen diese Saugströme unter Berücksichtigung der tatsächlichen Temperaturen zuvor in Luft- bzw. Wasserdampf-Äquivalente (kg/h) umgerechnet werden (siehe Grafik auf der folgenden Seite).

Bei Messungen mit atmosphärischer Luft können bei hinreichender Genauigkeit die Einflüsse des unterschiedlichen Barometerstandes, der Feuchtigkeit und der Temperatur vernachlässigt werden. So lässt sich

einer bestimmten Düsenbohrung ein bestimmter Luftstrom zuordnen. Bei Wasserdampf müssen darüber hinaus Druck, Temperatur und ggf. Feuchtigkeit berücksichtigt werden.

KORREKTURFAKTOR FÜR SAUGSTRÖME IN ABHÄNGIGKEIT VON MOLEKULAR-GEWICHT UND TEMPERATUR



Beispiel 1
 5 kg Gas (M = 80), 20°C \cong 5 x 0,71 = 3,55 kg Luftäquivalent (M = 29), 20°C

Beispiel 2
 20 kg Wasserdampf (M = 18), 20°C \cong 20 x 1,25 = 25 kg Wasserdampf, 20°C

Beispiel 3
 100 kg Wasserdampf 150°C \cong 100 x 1,08 = 108 kg
 \cong 108 x 1,25 = 135 kg/h Luftäquivalent (M = 29), 20°C



Nutzen Sie auch unser Berechnungstool auf service.koerting.de/berechnungen/berechnungen-/aequi

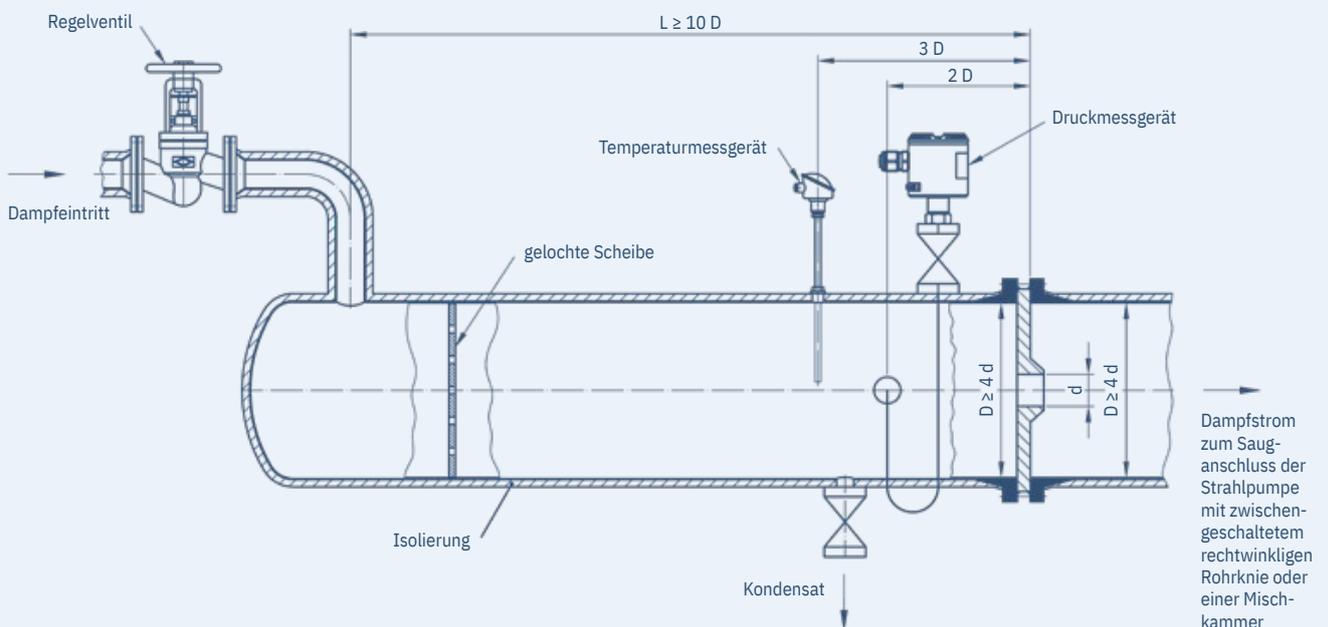
ANWENDUNGSBEREICH

Steht der reale Saugstrom für eine Leistungsprüfung zur Verfügung, kann die gesamte Vakuumanlage als eine Einheit geprüft werden. Muss auf einen äquivalenten Saugstrom zurückgegriffen werden, können nur noch alle direkt hintereinander geschalteten Strahlpumpen als eine Einheit geprüft werden. Der äquivalente Saugstrom hat seine Gültigkeit nur für Strahlpumpen. Die Umrechnung basiert auf strömungsmechanischen Größen. In eventuell vorhandenen Kondensatoren bestimmen dagegen die Partialdrücke des Stoffstromes die Vorgänge. Sie dürfen somit in einer zu prüfenden Baugruppe nicht vorhanden sein. Direkt hintereinander geschaltete Strahlpumpen können auch einzeln geprüft werden. Dabei sollte zusätzlich ihr maximaler Gegen- druck, auf den sie fördern, mitbestimmt werden.

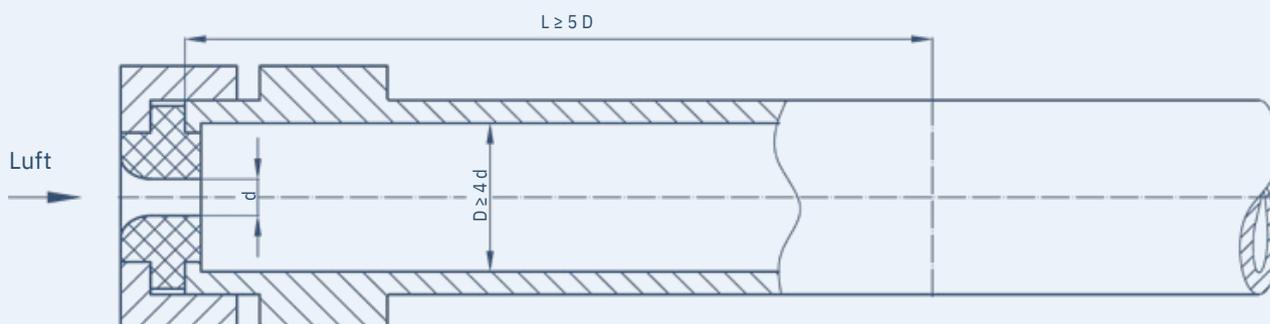
MESSORT UND MESSANSCHLUSS

Der benötigte (äquivalente) Saugstrom kann über mehrere Düsen eingegeben werden. Dabei ist es sinnvoll, wenn die Düsen nicht direkt am Kopf der Strahlpumpe angeschlossen werden, sondern an einer zwischengeschalteten Beruhigungsstrecke (siehe unten). In dieser kann sich der Saugstrom für eine notwendige gleichmäßige Anströmung im Pumpenkopf über den Querschnitt verteilen. Wenn die Strahlpumpe von der zu evakuierenden Anlage nicht abgesperrt werden kann, muss sie eventuell gedreht und mit einer Düsenaufnahmevorrichtung versehen werden.

ANORDNUNG FÜR DAS MESSEN EINES WASSERDAMPFSTROMES BEI ÜBERKRITISCHEM DRUCKVERHÄLTNIS



ANORDNUNG FÜR DAS MESSEN EINES LUFTSTROMES MIT HEI-DÜSE BEI ÜBERKRITISCHEM DRUCKVERHÄLTNIS



MESSGERÄTE UND MESSDÜSEN

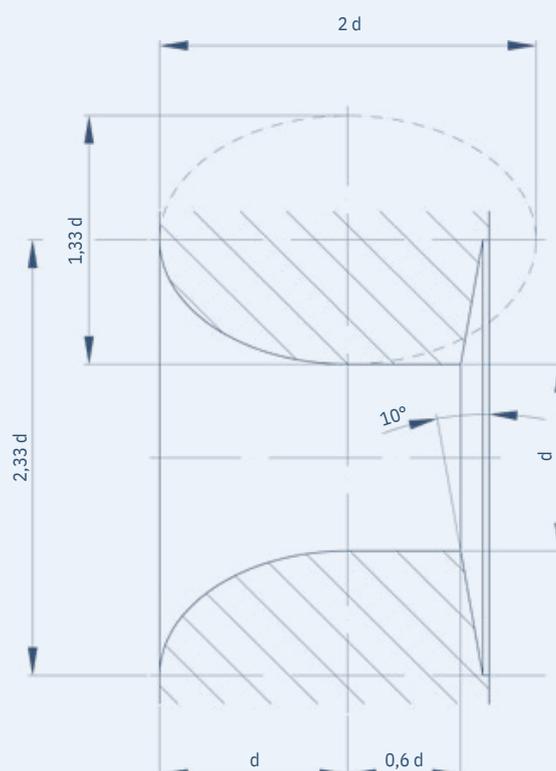
Wird nur mit atmosphärischen Luftdüsen gearbeitet, sind keine weiteren Messgeräte notwendig. Zum Verkleinern des Messfehlers kann hier durch ein genaues Barometer der Luftdruck bestimmt werden und damit der Massenstrom der Düsen korrigiert werden. Das gilt gleichermaßen für die Umgebungstemperatur. Wird mit anderen Gasen und Dämpfen bei nicht atmosphärischen Bedingungen vor der Düse gearbeitet, müssen Druck und Temperatur dort gemessen werden. Für die Druckmessgeräte gelten die Aussagen von Seite 11.

Zur Leistungsmessung werden Düsen nach HEI-Standard (HEAT EXCHANGE INSTITUTE, New York) eingesetzt (siehe Grafik rechts). Durch ihre vorgegebene Kontur und Oberflächenqualität ist der Düsenverlustfaktor eindeutig definiert und reproduzierbar. Diese Düsen können deshalb bei sorgfältiger Fertigung unkalibriert eingesetzt werden.



Zur Bestimmung des Massenstrom können die Gleichungen der DIN 28430 verwendet werden oder Sie nutzen unser Berechnungstool auf service.koerting.de/berechnungen/berechnungen-gadue

MASSVERHÄLTNIS DER HEI-DÜSEN



Messung der Evakuierungszeit

Die Evakuierungszeit ist die Zeit, in der die Vakuumanlage das zu evakuierende Volumen von Umgebungsdruck auf das Endvakuum gemäß Auslegungsdaten evakuiert hat.



Zweistufiges Dampfstrahl-Vakuumsystem mit Oberflächenkondensatoren aus Graphit und Hastelloy

Messung des Treibstromes

Der Treibstrom ist der Dampfstrom, der durch die Treibdüse einer Dampfstrahl-Vakuumpumpe strömt. Er muss trocken (frei von Kondensat), gesättigt oder leicht überhitzt sein. Als Messmethode wird wie bei der Saugstrombestimmung die Durchströmung von Düsen mit überkritischem Druckgefälle angewendet.

Als Messdüse wird hier die vorhandene Treibdüse benutzt. Die von der HEI-Düse abweichende Form bewirkt einen kleineren Düsenverlustfaktor und damit

einen kleineren Dampfstrom als nach HEI berechnet.

Druck und Temperatur müssen direkt vor der Treibdüse gemessen werden. Der Treibdüsendurchmesser kann entweder ausgemessen oder einfach der Betriebsanleitung entnommen werden.



Für gesättigten Treibdampf kann bei bekanntem Treibdruck und bekanntem Treibdüsendurchmesser der Dampfstrom eindeutig mit Hilfe der DIN 28430 ermittelt werden oder Sie nutzen unser Berechnungstool auf service.koerting.de/berechnungen/berechnungen-/gadue

Messung des Kühlwasserstromes

Der Kühlwasserstrom ist der Wassermassenstrom, der in einen Kondensator eintritt.

Gemessen werden muss die Aufwärmung – also die Ein- und Austrittstemperatur des Kühlwassers. Die Messung sollte möglichst direkt an den Ein- und Austrittsstutzen erfolgen. So können Einflüsse der Umgebung minimiert werden. Die Thermometer können direkt oder mit Tauchhülse eingebaut werden. Empfohlen wird der Einsatz von elektrischen Temperaturfühlern (z.B. PT100). Wichtig ist, dass die Thermometer regelmäßig kalibriert werden. Die zu messenden Aufwärmungen in

den Hauptkondensatoren betragen zum Teil nur 3 °C.

Ist der in den Kondensator eintretende Dampfstrom bekannt, so kann bei bekannter Kühlwasseraufwärmung der tatsächliche Kühlwasserstrom aus der Wärmebilanz berechnet werden. Eine direkte Bestimmung des Kühlwasserstroms mit Hilfe von Durchflussmessgeräten ist natürlich ebenfalls möglich.

Eine Abschätzung des Kühlwasserstromes ist auch über die Kennlinie der Kühlwasserpumpe möglich – vorausgesetzt, die Druckerhöhung an der Pumpe ist bekannt.

Leistungsprüfung

Eine Leistungsprüfung der Dampfstrahlpumpen sollte immer getrennt von der Prozessanlage erfolgen. Ist kein Vakuumabsperrschieber vorhanden, kann die Dampfstrahlpumpe der ersten Stufe in der Längsachse je nach Lochzahl im Flansch gedreht werden. Der Saugstutzen erhält einen Blindflansch mit einem Gewindeanschluss $\frac{1}{2}$ " , in den die gekaufte oder selbst gefertigte Prüfdüse, bzw. Blende, geschraubt wird (siehe auch Seite 15 sowie Betriebsanleitung, in der ein Blendendurchmesser angegeben ist, der einer Luftmenge gemäß Auslegung entspricht, sofern die Blende scharfkantig ausgeführt ist).

Ein zusätzlicher Anschluss am Blindflansch muss für ein Absolutdruckmessgerät vorgesehen werden. Die Muffen zur Messung der Zwischendrücke in den einzelnen Stufen mehrstufiger Dampfstrahl-Vakuumpumpen befinden sich an den Zwischenkondensatoren.

Vergleichen Sie die gemessenen Werte mit den in der Betriebsanleitung angegebenen Referenzwerten. Bitte notieren Sie die Werte für spätere Vergleiche.

Nulllast-Test (shut-off)

Für eine schnelle und einfache Zwischenprüfung genügt oft eine Überprüfung des „shut-off-Verhaltens“. Bei abgeschalteter Prozessanlage und ohne Zugabe von Luft – also bei Nullabsaugung – soll eine Dampf-

strahl-Vakuumpumpe etwa den halben Auslegedruck erreichen (z.B. etwa 5 mbar statt 10 mbar Auslegungsdruck). Wird dieser Wert erreicht, kann kein grober Fehler vorhanden sein.

Dreistufige Dampfstrahl-Vakuumpumpe auf dem Körting Leistungsprüfstand



Dichtheitsprüfung/ Lecklokalisierung

Leckagen können sowohl in der Dampfstrahl-Vakuumpumpe als auch in der Prozessanlage auftreten. Man kann beide Komponenten gemeinsam oder getrennt überprüfen. Die Ortung der Leckage wird aber vereinfacht, wenn der untersuchte Bereich so klein wie möglich ist.

Geeignete Verfahren und ihre Anwendung sind in der DIN EN 1779 beschrieben. Grundsätzlich unterscheidet man Verfahren, die unter Vakuum oder Überdruck durchgeführt werden. Zu den Vakuum-Prüfverfahren zählen beispielsweise

- der Anschluss eines geeigneten Detektors, der ein entsprechendes Prüfgas erkennt, das auf vermutete Leckage-Stellen gesprüht wird

oder

- die Leckage-Ortung über Ultraschalldetektoren.

Bei den Überdruck-Verfahren ist im Besonderen der Blasennachweis zu erwähnen. Dabei werden die vermuteten Leckagestellen mit einem Tensid bepinselt. Ausströmende Luft verursacht dann Blasen, die die Ortung ermöglichen.

Achten Sie bei allen Dichtheitsprüfungen auf die Eignung des Prüfverfahrens. Prüfdrücke müssen zur mechanischen Auslegung der Anlage passen. Außerdem ist auf die chemische Beständigkeit der Anlage bei verwendeten Prüfgasen zu achten.

- **Achtung: auch das Dichtungsmaterial beachten!**



Prüfliste und Maßnahmen bei Abfall des Vakuums

Prüfpunkte	Maßnahmen	Beschreibung in Kapitel	Seite
Messinstrumente	Anzeige überprüfen!	Plötzlicher Vakuumverlust	4
	Muss neu geeicht werden?	Messgeräte und Messdüsen	15
Abtasten	Temperaturunterschiede?	Angenommene Ursache Kühlwasser	5
Nulllastprüfung (shut off)		Nulllast-Test (shut-off)	17
Treibdampf	Druckabfall? Nasser Dampf?	Angenommene Ursache Treibdampf	6
Kühlwasser	Mangel oder Überfluss? Temperatur? Abtasten!	Angenommene Ursache Kühlwasser	5
Leckage		Angenommene Ursache Leckagen	7
		Dichtheitsprüfung/Lecklokalisierung	18
Strahlpumpen	Sieb prüfen!	Angenommene Ursache Treibdampf	6
	Treibdüse verstopft?	Demontage und innere Besichtigung	10
	Treibdüse Erosion?		
	Diffusor Erosion?		
End-Strahlpumpe	Auspuff Gegendruck?	Angenommene Ursache Treibdampf	6
	Erosion?	Langsamer aber stetiger Vakuumverlust	8
	Nulllastprüfung!	Schwankendes Vakuum	9
	Instabil?	Nulllast-Test (shut-off)	17
Kondensator	Druck, Temperatur? Abtasten!	Angenommene Ursache Kühlwasser	5
	Korrosion?	Langsamer aber stetiger Vakuumverlust	8
Mischkondensator	Düse, Fallrohr, Kasten?		
Oberflächenkondensator	Kondensatabführung? Rohrverschmutzung?		
Verdichter	Gegendruck?	Maßnahmen und empfohlene Reihenfolge	3
	Eisansatz, Beheizung?	Angenommene Ursache Treibdampf	6
	Verkrustet?	Schwankendes Vakuum	9
	Düse erodiert?		
Prozessanlage	Leckage?	Schwankendes Vakuum	9
		Dichtheitsprüfung/Lecklokalisierung	18
Leistungsprüfung		Leistungsprüfung	17
Demontage		Demontage und innere Besichtigung	10



Körting Hannover GmbH

Badenstedter Straße 56

30453 Hannover

+49 511 2129-0

service@koerting.de

K O E R T I N G . D E