

Trockene Schraubenvakuumpumpe mit hoher innerer Verdichtung

Dry Vacuum Pump with High Internal Compression

Dr. rer. nat. **H. Kösters**, Dr.-Ing. **J. Eickhoff**, Sterling Industry Consult GmbH, Itzehoe

Kurzfassung

Die Schraubenvakuumpumpen mit konstanter innerer Verdichtung sind für einen Arbeitspunkt ausgelegt, aber werden in einem weiten Druckbereich eingesetzt. Zudem bestimmen die Spalte im Förderraum die Verluste und somit die Leistungsdaten. Kennzeichnend sind minimale Spalte, abhängig von der Wärmeausdehnung in der Pumpe, bei verschiedenen Betriebspunkten.

Die verschiedenen Strömungsarten (Viskos-, Molekular- und Knudsen-Strömung) sind druckabhängig und zeichnen sich durch unterschiedliches Spaltströmungsverhalten aus. Durch Ausnutzung dieser Strömungsarten kann die Schraubenvakuumpumpe für einen großen Druckbereich ausgelegt werden. Allerdings müssen dafür die Spalte, besonders auf der Saugseite, bewusst größer ausgelegt werden, um gleichzeitig eine sehr viel höhere Verdichtung im Schraubenprofil zu ermöglichen.

1. Einleitung

Mechanische Vakuumpumpen nach dem Verdrängerprinzip werden über einen weiten Druckbereich betrieben. Einerseits ist für das Starten der Pumpe und das Evakuieren der angeschlossenen Apparatur ein Betrieb der Pumpe bei Atmosphärendruck erforderlich. Andererseits ist die Hauptaufgabe der Pumpe, das Vakuum bei niedrigen Drücken von 10 mbar bis 10^{-3} mbar zu erzeugen und zu halten. Daraus ergeben sich Druckverhältnisse von 1 bis 10^6 . Von großem Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten der Vakuumpumpe ist die effiziente Verdichtung. Der Wirkungsgrad der Pumpe ist umso besser, je näher die innere Verdichtung dem äußeren Druckverhältnis kommt.

2. Innere Verdichtung

Eine trockenlaufende Schraubenvakuumpumpe hat mehrere hintereinander liegende Kammern, deren Volumina zum Zwecke der inneren Verdichtung von der Saugseite zur Drucksei-

te abnehmen. Die Kammern weisen Leckspalte auf, insbesondere die Spalte zwischen Verdränger und Gehäuse sowie zwischen den Verdrängern.

Aufgrund veränderlicher Druckverhältnisse sind die klassischen ölgeschmierten Vakuumpumpen mit ölüberlagerten Ventilen ausgestattet, die die Förderkammer erst beim Erreichen des Auslassdrucks öffnen. Hierdurch kann das geometrische innere Volumenverhältnis (Verdichtungsverhältnis) der Pumpe dem äußeren Druckverhältnis in weiten Bereichen anpassen werden. Trotz vieler Versuche konnte sich eine derartige Lösung bei trockenlaufenden Vakuumpumpen bisher nicht durchsetzen. Die notwendige Zuverlässigkeit der Ventile wurde noch nicht erreicht. Die mangelnde Schmierung und die hohe Betriebsfrequenz der Auslassventile stellen die Haupthindernisse für den Einsatz derartiger Ventile dar. Zudem schränken Ventile auch bei Drehschieberpumpen die Robustheit ein.

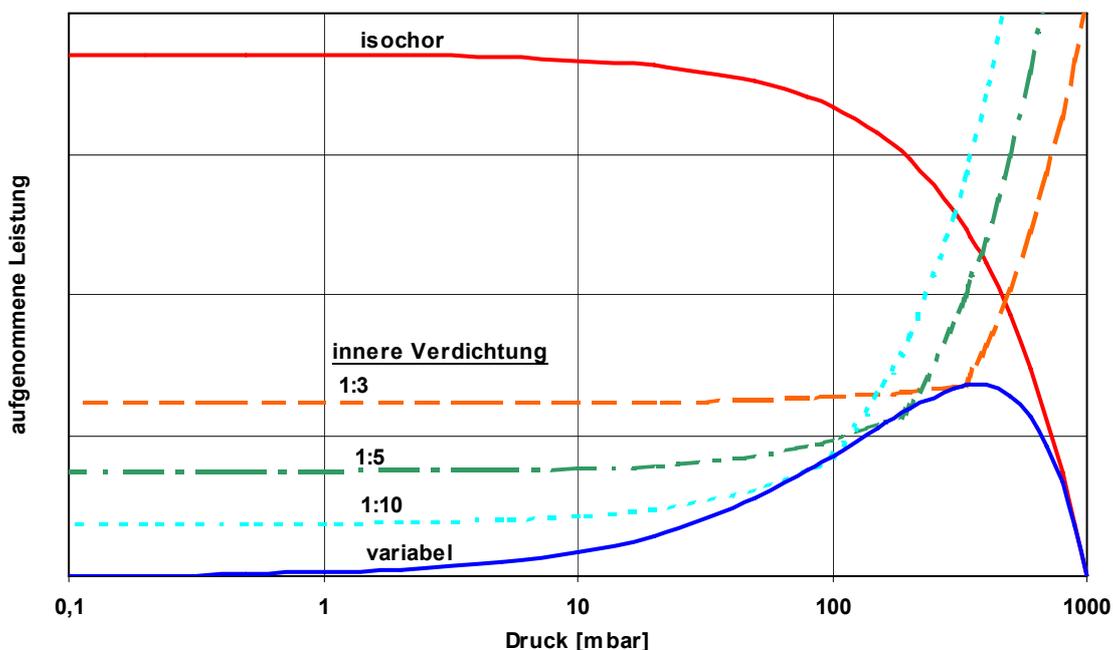


Bild 1: Leistungskurve für verschiedene Verdichtungen: isochor, festes Verdichtungsverhältnis und variable (ideale) Verdichtung.

Trockenlaufende Vakuumpumpen werden daher üblicherweise mit einem inneren Volumenverhältnis von 2 bis 5 hergestellt. Dies stellt einen Kompromiss für den Druckbereich dar. Insbesondere die Überverdichtung bei atmosphärischem Ansaugdruck begrenzt das maximale Verdichtungsverhältnis, da eine höhere innere Verdichtung bei hohen und mittleren Drücken zu thermischen und mechanischen Schwierigkeiten führt. Auch wenn die Pumpe an diesem Punkt durch Entlastungsventile oder entsprechende Antriebsdimensionierung betrie-

ben werden kann, ist der Hauptauslegungspunkt für die innere Verdichtung der Betrieb der Pumpe bei mittleren Drücken. Vor allem im Druckbereich um 300 mbar, in dem die theoretische Verdichterleistung am größten ist, ergeben sich hohe Temperaturen und Antriebskräfte. Deshalb ist es üblich, die Maschinen für diesen Bereich auszulegen. Das bedeutet, dass Antriebsleistung und Kühlung stärker dimensioniert werden müssen als es für den Hauptbetriebsbereich erforderlich wäre. In der neuen **SIHI^{dry}** V400 wurde dieser Auslegungskonflikt durch die Kombination eines neuen Schraubenprofils mit einem drehzahlvariablen Antrieb überwunden.



Bild 2: **SIHI^{dry}**

3. Auslegung der Spalte bei hoher innerer Verdichtung

Das Ziel bei trockenlaufenden Vakuumpumpen ist eine höhere innere Verdichtung ohne die oben genannten Nachteile zu erreichen. Dafür werden die Spalte auf der Saugseite größer als auf der Druckseite ausgelegt. Diese bewusste Vergrößerung der Lecköffnungen widerspricht bisheriger Anschauung, dass eine gute Verdichtung nur durch enge Spalte erreicht wird.

Die größeren Spalte auf der Saugseite bewirken einerseits bei hohem Ansaugdruck eine Verminderung der inneren Verdichtung und damit eine Verringerung der Probleme, der ansonsten hohen Leistungsaufnahme und Wärmeerzeugung. Andererseits sind die Leckverluste bei niedrigem Druck unerheblich. Das beruht auf der Tatsache, dass bei hohem Ansaugdruck die Rückströmung in den Spalten nach den Gesetzen der viskosen Strömung abläuft, während bei niedrigem Ansaugdruck Molekular- oder Knudsen-Strömung vorliegt.

Aus der Unterschiedlichkeit der Strömungsverhältnisse folgt, dass die Lecköffnungen bei niedrigen Ansaugdrücken sehr viel dichter sind als bei höheren Ansaugdrücken. Die effektive innere Verdichtung bestimmt sich nicht allein durch das geometrische Verdichtungsverhältnis, sondern auch durch das Verhältnis der saugseitigen Spaltströmung zum theoretischen Saugvermögen. Dadurch erreicht man bei niedrigen Ansaugdrücken bessere Verdichtungswerte als bei hohen Ansaugdrücken. Weiterhin wird die gewünschte Entlastung von Temperatur und Antriebsleistung bei hohen Drücken erreicht, ohne die entsprechenden Nachteile bei niedrigen Ansaugdrücken zu bekommen.



Bild 3: Verdränger mit verschiedenen inneren Verdichtungen.

4. Drehzahlregelung

Die variable Drehzahlregelung erlaubt ein Anfahren jedes beliebigen Betriebspunkts innerhalb des Kennfeldes. Zudem eröffnet es die Möglichkeit, bei hohen Drücken bewusst die Dreh-

zahl und somit auch die elektrische Leistungsaufnahme zu reduzieren. Dadurch können kleinere Motoren sowie Antriebsregler bzw. Frequenzumformer eingesetzt werden. Folglich entsteht weniger Verlustwärme und ein deutlich reduzierter Kühlbedarf. Darüber hinaus wird auch der Effekt der überdimensionierten saugseitigen Spalte durch Drehzahlabenkung bei hohen Ansaugdrücken verstärkt.

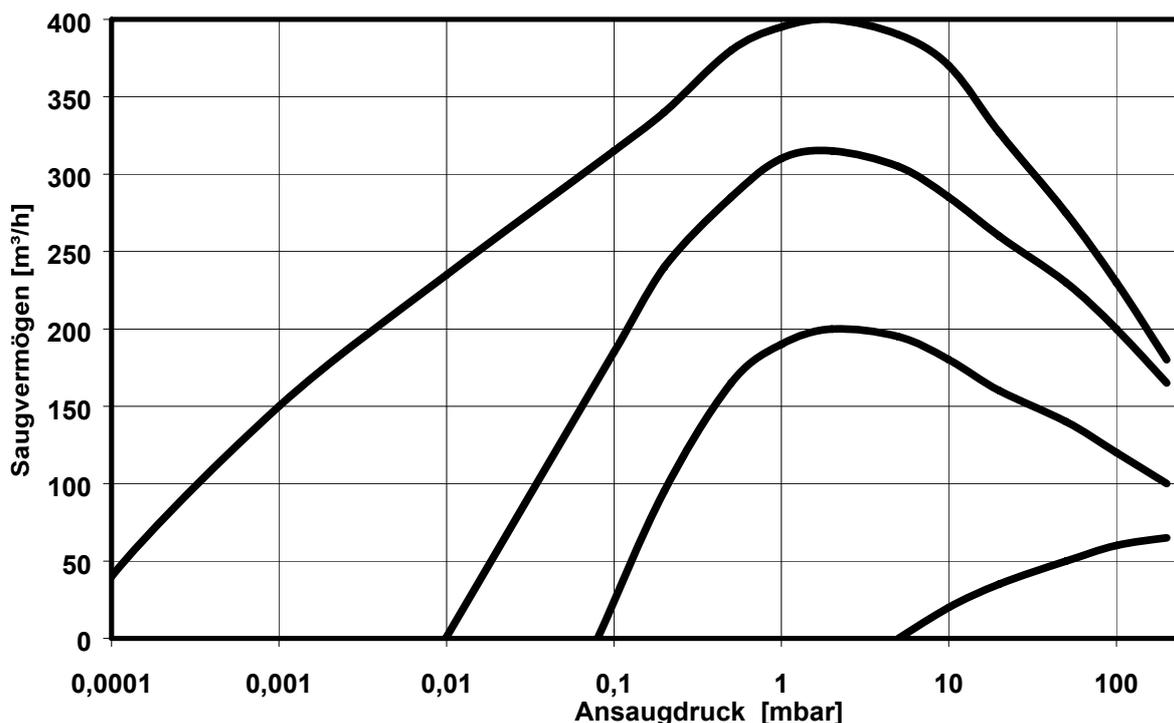


Bild 4: Saugvermögen der **SIHI^{dry}** V400 bei verschiedenen Drehzahlen.

Weiterhin wird durch die verringerte Drehzahl bei hohen Ansaugdrücken der Massenstrom durch die Vakuumpumpe begrenzt. Dieses bietet besonders auf der Auslassseite Vorteile. Die Module an der Auslassseite, z.B. Rohrleitung, Schalldämpfer, Gaswärmetauscher u.s.w., können kleiner und kostengünstiger ausgelegt werden. Außerdem kann die sonst oft übliche Installation einer Bypassleitung zur Reduzierung des Saugvermögens bei hohen Ansaugdrücken vermieden werden.

5. Ergebnis

Durch eine geschickte unterschiedliche Auslegung der Spalte kann die geometrische Verdichtung wesentlich vergrößert werden ohne die Probleme durch Überverdichtung bei atmosphärischem Druck. Die effektive innere Verdichtung passt sich dem Ansaugdruck an. Hier-

durch nimmt zwar das Saugvermögen bei hohen Drücken ab, dafür kann jedoch bei niedrigen Drücken, dem Hauptbetriebsbereich, ein wesentlich höheres Saugvermögen erreicht werden bei gleichzeitig niedrigerer Antriebsleistung.

Durch die effiziente Verdichtung bei niedrigen Drücken und der Drehzahlregelung bei hohen Drücken, mit gleichzeitiger Begrenzung der Leistungsaufnahme, wird eine geringe Leistungsaufnahme über den gesamten Druckbereich erzielt. Weitere Vorteile sind die kleinere Antriebstechnik, geringe Verlustwärme und somit geringerer Kühlbedarf. Daraus ergeben sich kompakte und kostengünstige Vakuumpumpen und dazugehörige Module.

Diese Erkenntnisse wurden in der neusten Entwicklung der **SIHI^{dry}** V400 umgesetzt. Das maximale Saugvermögen ist 400 m³/h (siehe Bild 4). Die maximale aufgenommene elektrische Leistung beträgt 5 kW und bei niedrigen Drücken nur 2,5 kW. Der Schalldruckpegel liegt unter 54 dB(A). Hierdurch wird ein bisher unerreichtes Verhältnis von Saugvermögen zur Pumpengröße ermöglicht.

Literatur

- [1] EP 1 571 340 A1
- [2] Max Wutz: Handbuch Vakuumtechnik, 7. Auflage, Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 2000