

Neues Konzept für Schraubenvakuumpumpen in der Prozeßtechnik

Anforderungen an eine trockenlaufende Vakuumpumpe für die Prozeßtechnik, Realisierung und Erfahrungen

Dr. rer. nat. **H. Kösters**, Itzehoe

Zusammenfassung

Die Prozeßindustrie stellt besondere Anforderungen an die Bauart und Robustheit von Vakuumpumpen. Explosionsschutz, Korrosion und der weite Arbeitsbereich in dem die Pumpen betrieben werden, erfordern schon bei der Konzeption der Maschine eine gänzlich andere Vorgehensweise. Aus diesem Grund haben sich trockenlaufende Vakuumpumpen in diesem Bereich noch nicht richtig durchsetzen können, obwohl das Prinzip gerade hier beträchtliche Vorteile bringt. In diesem Beitrag werden Aufbau und Betriebserfahrungen einer trockenlaufenden Vakuumpumpe beschrieben, bei deren Entwicklung die Anforderungen aus dem Einsatz in der chemischen Industrie konsequent umgesetzt wurden.

Abstract

The special applications in chemical and process industry leads to special requirements for design and reliability of vacuum pumps. Explosion protection, corrosion and the wide working range, need a different concept for the design of a dry vacuum pump. Therefore the known dry vacuum pumps had not the success, which was expected due to their advantages in saving service liquid and avoiding contamination. It follows a description of development and operation of a dry vacuum pump, consequently designed for the chemical industry.

Einleitung

In den letzten Jahren hat sich die Kostenstruktur für die Entsorgung und Aufarbeitung von Betriebsmitteln aufgrund der zunehmend verschärften Umweltvorschriften stark verändert. Hierdurch finden trockenlaufende Vakuumpumpen in der Verfahrenstechnik ein zunehmendes Interesse. Die besonderen Anforderungen, die sich aus dem Einsatz von trockenlaufenden Vakuumpumpen in der Verfahrenstechnik und der damit verbundenen

Forderung nach Leckfreiheit, Robustheit und Temperaturführung ergeben, wurden bisher jedoch nur teilweise schon bei dem Maschinenkonzept berücksichtigt.

Die Aufgabe bei der hier beschriebenen Entwicklung war es daher, nach einer sorgfältigen Analyse der bestehenden Probleme, eine trockenlaufende Vakuumpumpe zu entwickeln, die optimal an den Einsatz in der Prozeßtechnik angepaßt ist.

Anforderungsprofil

Bei der Analyse ergaben sich folgende Eckpunkte für die Entwicklung einer robusten und wirtschaftlichen trockenlaufenden Vakuumpumpe.

- **Temperaturführung**

Die Kühlung und Temperaturführung innerhalb der Pumpe spielt in der chemischen Industrie aus mehreren Gründen eine besondere Rolle. Der wichtigste Punkt ist hierbei zweifellos der Explosionsschutz, der die höchsten erlaubten Temperaturen innerhalb der Pumpe festlegt. Nicht zu unterschätzen sind jedoch auch die Anforderungen, die sich aus der Förderung thermisch instabiler und / oder korrosiver Substanzen ergeben.

- **Wellendurchführungen**

Viele trockenlaufende Vakuumpumpen werden aus Gründen des Umweltschutzes zur Förderung problematischer Stoffe eingesetzt. Unverständlich bleibt daher, daß bisher die Wellendurchführungen mit ihren Leckagen und Ausfallrisiken relativ wenig Beachtung gefunden haben. Zudem bedeutet der Verzicht auf verschleißende Wellendichtungen auch gleichzeitig Senkung der Betriebskosten.

- **Wartungsfreiheit**

Das zunehmende Kostenbewußtsein der Anwender bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sollte durch eine weitgehende Wartungsfreiheit und Zustandsüberwachung berücksichtigt werden.

- Servicefreundlichkeit

Servicearbeiten und Reinigungen des Förderraumes sollten ohne aufwendige Demontage und Einstellarbeiten möglich sein.

- Prozeßanpassung

Die Auslegung von Vakuumpumpen erfolgt fast immer aufgrund einer angenommenen maximalen Leckrate, daher werden Vakuumpumpen im allgemeinen mit einer Druckregelung betrieben. Die herkömmliche Methode, den Ansaugdruck über einen Bypass zu regeln, sorgt für eine fast konstante Leistungsaufnahme, unabhängig vom wirklich benötigten Saugvermögen. Hier bietet eine trockene Vakuumpumpe mit weitem Drehzahlbereich und Frequenzumformern ein beträchtliches Einsparungspotential.

- Robustheit

Mit Robustheit ist hier besonders die Unempfindlichkeit der Pumpe gegenüber äußeren Störungen und Fehlbedienung gemeint.

- Korrosionsbeständigkeit

Bei trockenlaufenden Vakuumpumpen wird die Korrosionsfestigkeit weniger durch den verwendeten Werkstoff sondern durch die Kondensationsvermeidung während der Verdichtung erreicht, daher spielt dieser Punkt bei der Entwicklung des Förderprinzips und bei der Steuerung der Pumpe eine entscheidende Rolle.

Ausgehend von diesen Anforderungen wurde eine trockenlaufende Schraubenspindelmaschine entwickelt, die konsequent auf die Bedürfnisse in der Prozeßindustrie zugeschnitten ist. Die **SIHI^{dry}** stellt in dieser konsequenten Umsetzung weniger eine Pumpe, sondern vielmehr ein System zur Vakuumerzeugung dar.

Aufbau der SIHI^{dry}

Die **SIHI^{dry}** als trockenlaufende Vakuumpumpe ist eine Zweiwellenverdrängermaschine mit einem berührungslos arbeitenden Schraubenspindelmechanismus (D) in vertikaler Anordnung. Der notwendige Gleichlauf der Schraubenspindeln wird

durch die elektronische Synchronisation mittels eines Motorpaares (E) sichergestellt, so daß sich weder die Synchronisationszahnräder (G) noch die Spindeln (D) berühren. Bei einer Störung der Elektronik, z.B. bei Stromausfall übernimmt das trockenlaufende Zahnradpaar die Synchronisation, damit ein Berühren der Spindeln ausgeschlossen wird und die Pumpe kontrolliert zum Stillstand kommt.

Jede Welle ist mit einem separaten Motor und einem Winkelgebersystem (H) ausgestattet. Die Motoren sind integraler Bestandteil der Pumpe, weshalb auf schleifende Wellendichtungen verzichtet werden kann und die Pumpe nach außen hermetisch dicht ist.

Die Schraubenspindeln (D) drehen sich gegenläufig, ohne sich gegenseitig oder die Gehäusewandung (C) zu berühren. Durch die Drehung wird Gas von der oberliegenden Saugseite (A) zur geodätisch tieferliegenden Druckseite (B) verdichtet. Die **SIHIdry** kann Gas aus dem Bereich des Feinvakuums auf Atmosphärendruck verdichten. Die Abdichtung zwischen den Spindeln (D) untereinander und zwischen Gehäuse (C) und Spindeln (D) erfolgt über enge Spalte, so daß keine Flüssigkeit zum Dichten oder Schmieren erforderlich ist. Das verdichtete Gas kommt im Schöpfraum (J) nicht mit Schmiermittel in Berührung; es wird trocken gefördert.

Zur besseren Abführung der Verdichtungswärme aus der Pumpe bei Betriebszuständen mit hoher Leistung, wird über die Voreinlaßbohrungen kaltes Gas seitlich durch das Gehäuse in die Förderkammer gegeben, bevor sie zur Druckseite (B) hin öffnet.

Auch der Antriebsraum (K) mit der Lagerung (F), der Notsynchronisation und den Motoren (E) ist frei von Öl, da auf die mechanische, ölgeschmierte Zahnrad synchronisation im herkömmlichen Sinne verzichtet wird. Der Antriebsraum (K) ist über enge Spalte zur Druckseite (B) hin abgesichert. Die für Trockenlauf beschichteten Zahnräder (G) stehen zwar im Eingriff, berühren sich im Betrieb jedoch wegen der elektronischen Synchronisation nicht. Nur bei einer Störung kommen sie kurzzeitig zum Einsatz.

Explosionsschutz und Temperaturen im Förderraum

Die zunehmende Verbreitung von trockenlaufenden Vakuumpumpen in der chemischen Industrie hat die Diskussion um Zündpotentiale und Temperaturen im Förderraum an Bedeutung gewinnen lassen. In Ermangelung ausreichend konkreter Richtlinien wurden bisher die trockenlaufenden Vakuumpumpen lediglich mit Detonationssicherungen ausgerüstet und die Gehäuse druckstoßfest ausgeführt. Im Zusammenhang mit der Anwendung der EU-Richtlinie 94/9/EG (auch ATEX100 genannt) ist jedoch eine genauere Risikobewertung erforderlich. Eine allgemeinere Bewertung wurde im Zusammenhang mit Vakuumpumpen für die Gasrückführung an Tankstellen von der PTB [1] durchgeführt. Hiernach ist (zumindest bei Zone 0) der Betrieb von Vakuumpumpen, die im störungsfreien Betrieb Zündquellen darstellen, nicht zulässig. Die Ausstattung mit zusätzlichen Schutzmaßnahmen (z.B. Detonationssicherungen) ist hier im allgemeinen zusätzlich erforderlich, um auch bei selten auftretenden Störungen Zündungen zu verhindern. Für die Hersteller trockenlaufender Vakuumpumpen bedeutet dies, daß die trockenlaufenden Vakuumpumpen auch im Förderraum keine Zündquellen besitzen. Da die am Markt befindlichen Trockenläufer durchweg berührungsfrei arbeiten, kommt als Zündquelle vor allem die Temperaturerhöhung durch adiabatische Kompression in Betracht.

Die hohen Temperaturen innerhalb von trockenlaufenden Vakuumpumpen resultieren vor allem aus dem hohen Druckverhältnis, bei dem Vakuumpumpen üblicherweise betrieben werden. Während die Druckdifferenz normalerweise nicht wesentlich oberhalb von 1000 mbar liegt, ist ein Druckverhältnis von 10000 (bei 0,1 mbar) und mehr durchaus nichts Ungewöhnliches. Erschwerend kommt bei der Konstruktion einer Vakuumpumpe hinzu, daß im gesamten Arbeitsbereich vom Enddruck bis hin zum Atmosphärendruck, die Pumpe dauerhaft betrieben werden kann und die Grenztemperaturen nicht überschritten werden dürfen. Diese besondere Betriebsweise von Vakuumpumpen hat gleich in mehrfacher Hinsicht Auswirkungen auf das Temperaturverhalten im Förderraum. Das sehr hohe Druckverhältnis im

trockenen Förderraum führt zu hohen Gastemperaturen gerade in den Bereichen niedriger Gasdichte. Der niedrige Druck hat weiterhin einen schlechten Wärmeübergang zwischen Gas und Gehäuse bzw. Verdränger zur Folge und der fehlende bzw. sehr geringe Massenfluß führt keine Verdichtungs-wärme ab. Der sehr geringe Massedurchfluß in trockenlaufenden Vakuumpumpen ist von entscheidender Bedeutung für das Verständnis des Temperaturverhaltens. So beherrschte lange Zeit die Auslaßtemperatur des Gases die Diskussion um den Explosionsschutz, ohne Rücksicht darauf, daß auf der Strecke zwischen Ende der Verdichtung und Auslaß schon eine beträchtliche Abkühlung des Gases stattfindet. Vom Standpunkt des Explosionsschutzes ist die Verdichtungsendtemperatur sehr viel wichtiger, da die Temperaturen innerhalb des Förderraums an keiner Stelle oberhalb der Zündtemperatur liegen dürfen. Das läßt sich nur gewährleisten, wenn durch kombinierten Einsatz verschiedener Maßnahmen die Temperatur gezielt geführt wird. Dies heißt bei der **SIHI^{dry}**, durch den Einsatz der Rotorinnenkühlung auch bei niedrigen Drücken die Verdichtungs-wärme aus dem Verdränger abzuführen. Weiterhin ermöglicht die Schraubenspindel den intensiven Einsatz der Gaskühlung, ohne die Leistungsdaten merklich zu beeinflussen. Zusätzlich kann mit dem programmierbaren Kennfeld der Enddruck und damit das maximal erreichbare Druckverhältnis begrenzt werden. Durch den Einsatz all dieser Möglichkeiten können die Temperaturen innerhalb des Förderraums sogar auf Werte von maximal 135°C begrenzt werden, ohne die Leistungsdaten soweit zu reduzieren, daß der zusätzliche Einsatz einer Wälzkolbenpumpe erforderlich wird.

Vorteile der elektronischen Synchronisation

Mit der elektronischen Synchronisation der Verdränger in der **SIHI^{dry}** wurde ein völlig neuer Weg bei der Entwicklung derartiger Vakuumpumpen beschritten. Die Vorteile, die ein solcher mechatronischer Ansatz (d.h. die Integration von Elektronik und Mechanik) liefert, liegen nicht nur in dem Verzicht auf Öl und

Wellendichtungen. Die Integration der Elektronik in die Pumpe eröffnet auch völlig neue Möglichkeiten im Betrieb und bei der Robustheit eines derartigen Vakuumsystems. Zum Beispiel dadurch, daß die Elektronik über die Motoren und Sensoren einen direkten Zugriff auf die Drehmomente der einzelnen Wellen hat, kann bei Störungen von außen, wie Flüssigkeitsschläge o.ä., gezielt reagiert und somit eine Beschädigung der Pumpe sicher verhindert werden. Darüber hinaus ermöglicht die Elektronik auch die Anpassung des Vakuumsystems an den Prozeß. Diese Anpassung und Regelung ist gerade für Vakuumpumpen von besonderer Bedeutung. Der weite Arbeitsbereich, die stark schwankenden Zusammensetzungen und die zumeist unbekanntenen Leckströme erfordern ein gut anpassbares Vakuumsystem um eine optimale Prozeßführung zu erreichen. Dem trägt die **SIHI^{dry}** mit ihren Schnittstellen und ihrer Programmierbarkeit optimal Rechnung. Darüber hinaus werden von der Elektronik Steuerungs- und Überwachungsfunktionen übernommen, die sonst durch entsprechende Erweiterungen des Betreibers realisiert werden müßten.

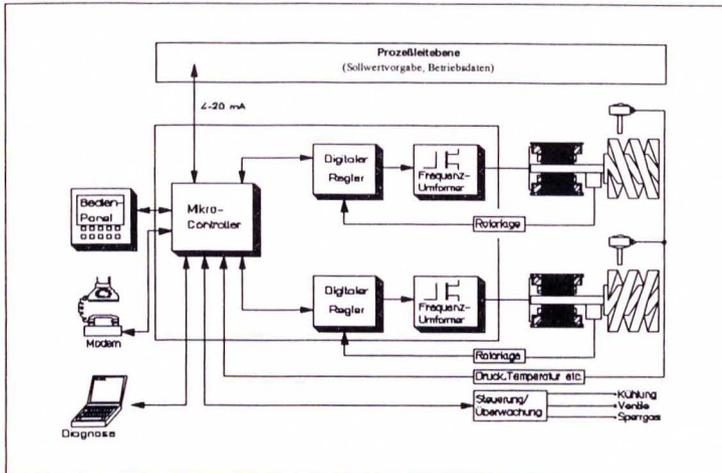


Abbildung 2: Elektronische Synchronisation und Schnittstellen

Betriebserfahrungen

Über die Betriebserfahrungen mit der **SIHIdry** ist schon an verschiedenen Stellen berichtet worden [2],[3]. An dieser Stelle sollen vor allem die Auswirkungen der oben beschriebenen Maßnahmen und konstruktiven Lösungen auf den praktischen Einsatz beispielhaft an typischen Applikationen beschrieben werden.

A) Eine der ersten Pumpen, wurde im Rahmen eines Feldversuches, ein Jahr lang in einem deutschen Chemiebetrieb an einer sehr korrosiven Anwendung betrieben. An einem Batchprozeß waren hier, teilweise salzsaure, SO_2 -Dämpfe zu fördern. Um auch bei den teilweise sehr hohen

Ansaugdrücken Kondensation und somit Korrosion in der Pumpe zu vermeiden, wurde die **SIHI^{dry}** sehr warm betrieben (ohne Gaskühlung, ca. 70°C Kühlwassertemperatur). Nach ca. einem Jahr Betriebszeit wurde die Pumpe vollständig zerlegt und untersucht, hierbei konnten keine nennenswerten Veränderungen an den Leistungsdaten und Spalten, oder sonstige Korrosionseffekte gefunden werden[2].

- B) Ein anderer Einsatzfall, der von seinen Anforderungen ein gewisses Extrem darstellt, erforderte sowohl die Einhaltung von T4-Bedingungen im Förderraum (Gas- und Oberflächentemperaturen <135°C), als auch die Kondensationsvermeidung in der Pumpe. Die im Förderstrom vorhandenen salzsauren Anteile würden bei Kondensation innerhalb der Pumpe zu massiven Korrosionsproblemen führen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde die Pumpe mit einer intensiven Gaskühlung über einen Graphitkondensator am Auslaß ausgestattet. Hierdurch kann trotz Verdichtungsendtemperaturen von unter 100°C Kondensation und somit Korrosion innerhalb der Pumpe sicher vermieden werden. Auch hier konnten nach einer Betriebszeit von über einem Jahr keinerlei Veränderungen festgestellt werden.
- C) Die Möglichkeiten, die das Systemkonzept der **SIHI^{dry}** bietet, zeigen besonders Applikationen, bei der, durch Kombination mit einem Membranmodul, eine Abgasreinigung integriert ist. Hierbei wird das System zur Evakuierung von Prozessen mit hoher Lösungsmittelbeladung eingesetzt und erreicht am Auslaß die TA-Luft, so daß direkt gegen Atmosphäre gearbeitet werden kann. Die nähere Beschreibung einer derartigen Anlage findet sich in [3].

Zusammenfassung

Der erfolgreiche Einsatz trockenlaufender Vakuumpumpen in der chemischen Industrie erfordert, aufgrund der besonderen Anforderungen, besondere Lösungen.

Die Anforderung an eine Vakuumpumpe wird hier im wesentlichen durch die Korrosion und die Robustheit der Pumpe bestimmt. Bei der hier vorgestellten Entwicklung wurde daher ein völlig neuer Ansatz bei der Entwicklung einer Schraubenvakuumpumpe gewählt. Bei dieser Pumpe sollten die Eigenschaften einer trockenlaufenden Vakuumpumpe, wie Korrosionsbeständigkeit und Reinheit des Fördermediums, ohne Einschränkung in der Robustheit der Pumpe gegenüber Störungen erreicht werden. Hierzu wurde sowohl bei der Gestaltung der Verdränger, als auch bei dem Antrieb ein für Vakuumpumpen völlig neuer Weg beschritten. Die Konstruktion der Pumpe und der Antrieb ermöglicht eine optimale Anpassung der Pumpe an den Prozeß mit seinen verfahrenstechnischen Anforderungen. Dies betrifft sowohl die thermische Auslegung der Pumpe, als auch die Anbindung an die Prozeßleittechnik sowie die automatische Anpassung an verschiedene Betriebszustände. Die Möglichkeiten, die sich durch einen optimalen Einsatz verschiedener Kühlungsmechanismen und eine elektronische Regelung und Maschinendiagnose ergeben, werden anhand von Betriebserfahrungen aufgezeigt.

Literatur

- [1] Grabs, E.: Anforderungen an explosionsgeschützte Vakuumpumpen. PTB-Mitteilungen **106** (5/1996), S.345-351
- [2] Friedrichsen, U.: Konzept erfolgreich getestet, Chemie Technik **27** (6/1998), S. 28ff
- [3] Friedrichsen U., Kösters H., Stürken K.: Geregelte Luftlosigkeit, Verfahrenstechnik **32** (5/1998), S.39f