

## Praktische Erfahrungen beim Einsatz von gasgeschmierten Gleitringdichtungen in Prozeßgas-Schraubenkompressoren

Dipl.-Ing. **N. Tewes**, Oberhausen; Dipl.-Ing. **H.-W. Laarmann**, Dortmund

### Zusammenfassung

Von GHH BORSIG wurden die bisher eingesetzten Dichtungsvarianten um die gasgeschmierte Gleitringdichtung erweitert. Nach den guten Erfahrungen mit der ersten so ausgerüsteten Maschine liegen inzwischen mehrere Referenzen für dieses Abdichtungskonzept vor. Die umfangreichen Versuche sowohl bei den Dichtungsherstellern als auch bei GHH BORSIG zeigten ein sehr gutes Betriebsverhalten und Leckagewerte auf einem sehr niedrigen Niveau.

Mit den gesammelten positiven Erfahrungen aus dem Betrieb der Maschinen bei verschiedenen Kunden mit Originalgas steht damit auch für Prozeßgas - Schraubenkompressoren neben den bereits vorhandenen bewährten Abdichtungen eine zusätzliche moderne Abdichtungsvariante zur Verfügung.

### Summary

GHH BORSIG has added the dry gas seal to the family of sealing systems. Following the good experiences with the first machine equipped with dry gas seals references for several other applications can be listed. Extensive testing by the manufacturers of the dry gas seals and by GHH BORSIG shows excellent performance and very low leakage flow.

Positive results during operation at different customers under job conditions prove the dry gas seal to be a competitive modern sealing system for process-gas screw compressors.

## 1 Prozeßgas-Schraubenkompressoren

GHH BORSIG entwickelt, fertigt und liefert seit über 40 Jahren Schraubenkompressoren für Luft und andere Gase. Während die öleinspritzgeköhlten Schraubenkompressoren hauptsächlich zur Druckluftherzeugung und in Kälteprozessen eingesetzt werden, haben sich die trockenlaufenden Kompressoren für die vielfältigsten Einsätze in der Prozeßindustrie bei verschiedensten Gasarten und Druck- sowie Temperaturniveaus in dieser Zeit hervorragend bewährt und sind kontinuierlich weiterentwickelt worden. Im Vergleich zu den auch in diesen Prozessen eingesetzten Kolben- und Turbomaschinen weisen Schraubenmaschinen mehrere Vorteile auf:

- keine wartungsintensiven Ventile sowie weniger Verschleißteile
- keine oszillierenden Massen, d.h. besseres Schwingungsverhalten
- einsetzbar für schmutzige, staub- oder tropfenbeladene Gase
- Möglichkeit der Flüssigkeitseinspritzung zur Absenkung der Endtemperatur bzw. zum Waschen des Gases
- hervorragendes Teillastverhalten bei drehzahlvariablen Antrieben  
z.B. 50% Drehzahl  $\approx$  50% Ansaugvolumen  $\approx$  50% Leistungsverbrauch
- unterkritischer Betrieb (1. biegekritische Drehzahl > Betriebsdrehzahl)
- hohe Verfügbarkeit

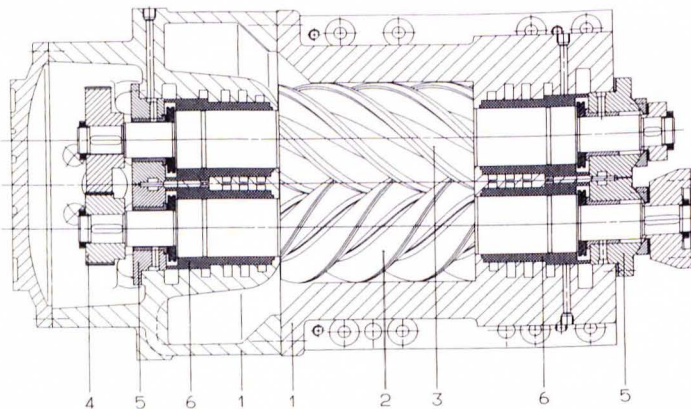


Bild 1 Prozeßgas-Schraubenkompressor

Figure 1 Process-Gas Screw Compressor

Bild 1 zeigt einen Prozeßgas-Schraubenkompressor mit den Hauptbauteilen:

- |                                         |                                  |
|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1 zweiteiliges Kompressorgehäuse        | 2 Hauptläufer                    |
| 3 Nebenläufer                           | 4 Gleichlaufgetriebe             |
| 5 Gleitlager (radial bzw. radial/axial) | 6 Dichtungspartie (siehe Bild 2) |

## 2 Abdichtungen für Prozeßgas-Schraubenkompressoren

Je nach Art des Prozesses, in dem Prozeßgas-Schraubenkompressoren eingesetzt werden, kommen verschiedene Dichtungsarten zur Abdichtung zwischen Kompressionsraum und Lagerpartie bzw. Umgebung zum Einsatz. Die Auswahl der Dichtungsart erfolgt in enger Abstimmung zwischen GHH BORSIG und dem Kunden, um für den jeweiligen Einsatzfall unter Berücksichtigung der kundenspezifischen Randbedingungen die optimale Abdichtung zu konzipieren. Mit den im folgenden dargestellten Abdichtungen liegen seit vielen Jahren gute Betriebserfahrungen vor.

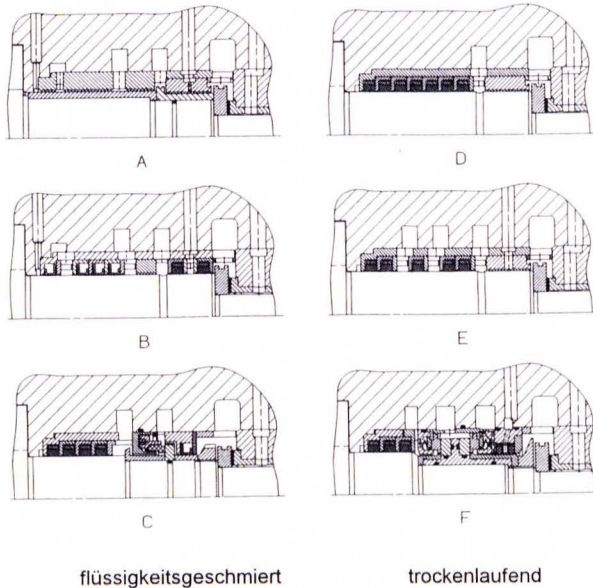


Bild 2 Abdichtungsvarianten

Figure 2 Sealing Systems

Beispiele für diese Dichtungen sind:

1. wasserbeaufschlagte Labyrinth- und Schwimmringabdichtungen (Bild 2: A, B) sowie die mechanischen Gleitringdichtungen (Bild 2: C),
2. Kohle- und Labyrinthabdichtungen mit und ohne Sperrgas (Bild 2: D, E).

Speziell mechanische Gleitringdichtungen werden bei Prozeßgas - Schraubenkompressoren in den letzten Jahren verstärkt eingesetzt. Sie werden im Regelfall mit Öl gesperrt, bei neueren Anwendungen kommen auch zunehmend andere Sperrflüssigkeiten wie zum Beispiel Wasser oder auch flüssige Kohlenwasserstoffe zur Anwendung.

Ergänzend zu den ölgeschmierten Gleitringdichtungen werden seit ca. 15 Jahren die gasgeschmierten Gleitringdichtungen, auch trockene Gasdichtung oder nur Gasdichtung genannt, entwickelt und gefertigt (Bild 2: F). Besonders im Bereich der Turbomaschinen haben sie sich in diesem Zeitraum bereits in vielen Anwendungsfällen als sicheres Maschinenelement bewährt.

### 3 Vergleich von gas- und flüssigkeitsgeschmierten Gleitringdichtungen

Flüssigkeitsgeschmierte axiale Gleitringdichtungen erfüllen seit Jahrzehnten in Turbo-, wie auch in Schraubenkompressoren ihre Abdichtaufgaben mit Erfolg.

Generell wurden bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten jedoch die großen Verlustleistungen und die damit verbundenen Dichtspalttemperaturen von  $> 120\text{ }^{\circ}\text{C}$  kritisiert. Diese Temperaturen überschreiten in einigen Fällen die Betriebsgrenzen der eingesetzten Schmieröle. Nicht selten sind in solchen Fällen erhöhte Leckagen die Folge von Gleitflächenveränderungen durch Ablagerungen von Ölinhaltsstoffen auf den Gleitflächen.

Die Forderungen von Verdichterherstellern und Betreibern, die Verlustleistung der Dichtungen zu reduzieren, produktverträgliche Sperrmedien zu benennen, aufwendige Ölsysteme zu vereinfachen und eine längere, servicefreie Betriebszeit zwischen geplanten Wartungsintervallen zu erreichen, führten Anfang der 80er Jahre zur Entwicklung und Serienreife von gasgeschmierten Gleitringdichtungen.

Die geforderten Merkmale wurden erreicht.

Die Verlustleistung solcher Dichtungen wurde erheblich reduziert.

Teile der aufwendigen Ölsysteme wurden durch einfache Gasversorgungs- und Kontrolleinheiten, die sogenannten Panels, ersetzt.



Produktverträgliche Gase wie Stickstoff, Wasserstoff, Edelgase oder gefilterte Prozessgase ersetzen die Sperrflüssigkeit. Eine Anreicherung des Sperrmediums mit Inhaltsstoffen des abzudichtenden Gases, wie es bei flüssigkeitsgeschmierten Gleitringdichtungen in speziellen Prozessen ermittelt wurde, trat bei gasgeschmierten Dichtungen nicht auf.

Die Dichtspalttemperatur, die bei flüssigkeitsgeschmierten, speziell bei ölgeschmierten Dichtungen bis zu ca. 100 °C über der Sperröltemperatur liegt, wird bei gasgeschmierten Dichtungen von der Dichtungsumgebungstemperatur bestimmt. Sie liegt im Regelfall max. 20 °C über der Temperatur der Bauteile der Dichtungsumgebung.

Die Standzeiten von gasgeschmierten Gleitringdichtungen sind theoretisch unbegrenzt. Die aus der Praxis vorliegenden Erfahrungen zeigen, daß diese Dichtungen 5 Jahre und länger ohne Nacharbeit oder Austausch der Nebendichtungen erfolgreich betrieben werden können.

Der prinzipielle Aufbau einer gasgeschmierten Gleitringdichtung unterscheidet sich nicht grundsätzlich von dem einer konventionellen flüssigkeitsgeschmierten Gleitringdichtung.

Beide Dichtungen stellen ein Tribosystem dar, bestehend aus einem stationären, befederten Baukörper und einem rotierenden Baukörper, die durch einen Zwischenstoff wie Flüssigkeit oder Gas getrennt sind. Die spezifische Flächenpressung aus der Federkraft und der Gaskraft ist erheblich kleiner als bei einer flüssigkeitsgeschmierten Gleitringdichtung.

#### **4 Wirkungsweise und Aufbau gasgeschmierter Gleitringdichtungen**

Grundlage für die Funktion gasgeschmierter Gleitringdichtungen ist u. a. die richtige Auswahl der Geometrie der Tragstruktur.

Die schnelle aerodynamische Trennung der beiden Gleitflächen wird durch Strukturen wie z.B. sogenannte T-Nuten erreicht (siehe Bild 3), die in die rotierenden Gegenringe der Gasdichtungen eingebracht werden. Neben dem Vorteil der Drehrichtungsunabhängigkeit weisen diese T-Nuten eine hohe Steifigkeit und ein gutes Dämpfungsvermögen des Arbeitsspalt auf.

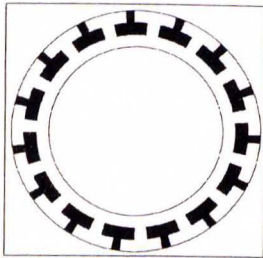
Während des Betriebes beeinflussen Verformungen aus Druck und Temperatur die Spaltgeometrie. Baukörper aus Siliziumcarbid mit hoher Formstabilität, geringer Wärme-

ausdehnung und hoher Wärmeleitfähigkeit garantieren den Erhalt der gefertigten Dichtflächengeometrien in den kalkulierten Betriebsbereichen.

Die Gleitkörper sind so ausgelegt, daß bereits bei niedrigen Relativgeschwindigkeiten in den Nuten Drücke aufgebaut werden, die auf den Rastflächen als druckwirksame Fläche eine Öffnungskraft aufbauen, die die Gleitflächen betriebssicher voneinander trennt und einen betriebssicheren Arbeitsspalt in einer Stärke von ca 3 bis 5  $\mu\text{m}$  bildet. Über den Damm am Innendurchmesser der Gleitflächen strömt eine geringe Gasmenge als Leckage ab.

Da die Spaltdrücke bei gasgeschmierten Dichtungen wesentlich geringer als bei flüssigkeitsgeschmierten Dichtungen sind, müssen bei der Auslegung die Schließkräfte aus der Befederung und dem Belastungsfaktor der Dichtung genaue Berücksichtigung finden. Auch Einflüsse aus schlecht gleitenden oder unter Temperatur- bzw. chemischem Einfluß quellenden Dichtelementen (Nebendichtungen) können das Gleichgewicht zwischen Schließ- und Öffnungskraft stören und so zu ungewollten Dichtflächenkontakten führen.

Gasgeschmierte Dichtungen haben bei Berücksichtigung der dichtungsspezifischen Umgebung eine nachweislich hohe Betriebssicherheit.



**Bild 3** T-Nuten im Gegenring

**Figure 3** T-Grooves in the Rotating Ring

In Prozeßgas-Schraubenkompressoren gelangen bevorzugt Gasdichtungen im Doppeldichtungsaufbau, sogenannte face to face Ausführungen mit nachgeschalteten Kohle-Schwimringdichtungen zum Einsatz (s. Bild 4).

Diese Dichtung setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

Rotierender Teil (Bild 4, Position 1)

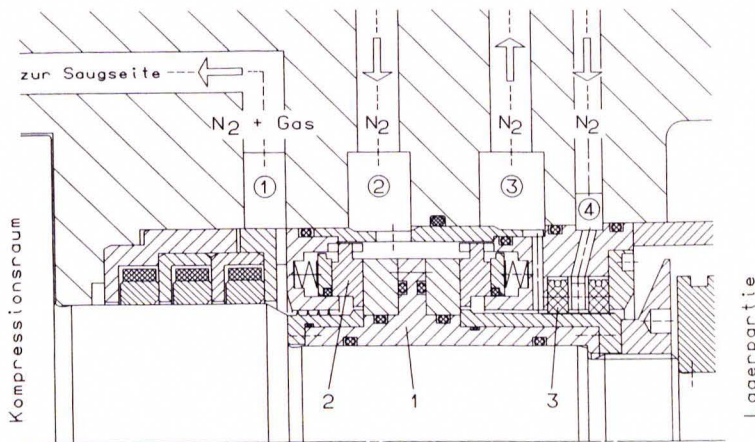
bestehend aus Wellenhülse, 2 SiC-Gegenringen und 2 Endhülsen, die die Gegenringe in axialer Richtung fixieren.

Die Gegenringe werden mittels einer Schlauchfeder am Innendurchmesser zentriert.

In die Gleitflächen der Gegenringe sind die in Kompressoren bewährten drehrichtungsunabhängigen Nuten eingebracht.

Als Nebendichtungen werden auf der Rückseite der Gegenringe aus Service- und Beständigkeitsgründen federunterstützte PTFE-Manschetten oder O-Ringe eingesetzt.

Die O-Ringe zwischen Wellenhülse und Welle haben eine Doppelfunktion. Sie dienen der Abdichtung und auch der Zentrierung des gesamten Rotors.



**Bild 4** Doppeltwirkende Gasdichtung für Prozeßgas-Schraubenkompressoren

**Figure 4** Double Dry Gas Seal for Process-Gas Screw Compressor

Zwei stationäre befederte Einheiten (Bild 4, Position 2)

bestehend aus je einem Mitnehmer mit einem SiC-Gleitring, dessen Gleitfläche mit DLC (Diamant like Carbon) beschichtet ist, sowie einem Druckring und einer Befederung durch Schraubenfedern.

Die Nebendichtungen zwischen Gleitring und Druckring müssen eine niedrige Verstellkraft aufweisen und werden orientiert an den chemischen Anforderungen und den Betriebsparametern als O-Ring aus Fluorcarbonkautschuk, Perfluorkautschuk oder ähnlichen Werkstoffen oder als PTFE-Manschette ausgeführt.

Sekundärdichtung (Bild 4, Position 3)

Die geteilten Kohleschwimringe umschließen die im Laufbereich mit Chromoxid beschichtete Endhülse mit sehr kleinem radialen Spalt. Schlauchfedern am Außendurchmesser der geteilten Ringe sichern eine kalkulierbare radiale Schließkraft, die sich an den maßlichen Verhältnissen aus der Fertigung und den thermischen Betriebsbedingungen der Bauteile orientiert.

## **5 Gasgeschmierte Gleitringdichtungen in Schraubenkompressoren**

### **5.1 Einbauraum**

Im Gegensatz zu Turbomaschinen wurden gasgeschmierte Gleitringdichtungen bei Schraubenmaschinen in der Vergangenheit so gut wie nie verwendet. Hauptgründe dafür waren die hohen Investitionskosten (vier Dichtungen pro Maschine und zusätzliches Sperrgasversorgungssystem) und der erforderliche große radiale Einbauraum, der nicht in allen Einsatzfällen zur Verfügung steht.

Bei Schraubenmaschinen wirken, anders als bei Turbomaschinen, aufgrund der Gaskräfte im Profil radiale Kräfte auf die Läufer. Damit diese radialen Kräfte keine unzulässig hohen Spannungen hervorrufen, sind, speziell bei hohen Enddrücken und/oder großen Druckdifferenzen, relativ große Durchmesser für die Wellenzapfen erforderlich. Der sich in diesen Fällen ergebende, relativ kleine radiale Einbauraum zwischen den beiden Rotoren reicht dann u.U. nicht aus, um die ursprünglich für den Einsatz in einwelligen Maschinen konzipierten trockenen Gasdichtungen einzubauen, da die Gleitflächen von gasgeschmierten Gleitringdichtungen üblicherweise die doppelte bis dreifache radiale Erstreckung als die in Prozeßgas-Schraubenkompressoren eingesetzten flüssigkeitsgeschmierten Gleitringdichtungen aufweisen.



Aus diesem Grund wurden die ersten Anwendungen von trockenen Gasdichtungen in Prozeßgas-Schraubenkompressoren auf Einsatzfälle im unteren Druckbereich beschränkt. In diesen Fällen konnten die Dichtungen durch Verringerung des Zapfendurchmessers integriert werden.

Für weitere Anwendungen wurden von den Dichtungsherstellern modifizierte Konzepte erarbeitet, die bei verkleinerten radialen Abmessungen der Abdichtung ohne Modifikation des Einbauraumes und damit ohne Einschränkung des Kompressoreinsatzbereiches und bei gleichbleibender Betriebssicherheit eine Integration der Dichtung in den Prozeßgas-Schraubenkompressor ermöglichen.

## 5.2 Ausgeführte Maschinen

| Aufstellung | Gasart                                   | Anzahl | $p_1$ [bar] | $p_2$ [bar] | $D_{HL}$ [mm] | $v_G$ [m/s] | in Betrieb seit |
|-------------|------------------------------------------|--------|-------------|-------------|---------------|-------------|-----------------|
| Thailand    | CH-Mix                                   | 1      | 1,26        | 7,66        | 204           | 72          | 06/96           |
| Belgien     | H <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> + CH-Mix | 2      | 5,40        | 7,00        | 255           | 75          |                 |
| D           | Propylen                                 | 1      | 1,80        | 17,00       | 255           | 76          | 05/98           |
| D           | H <sub>2</sub> + CH-Mix                  | 2      | 0,27        | 2,50        | 510           | 86          |                 |
| D           | CH-Mix                                   | 2      | 3,34        | 5,90        | 255           | 47          |                 |
| China       | N <sub>2</sub> + Methylchlorid           | 2      | 3,00        | 5,00        | 255           | 70          |                 |

**Tabelle 1** Referenzliste der GHH BORSIG Prozeßgas-Schraubenkompressoren mit gasgeschmierten Gleitringdichtungen

**Table 1** Reference List of GHH BORSIG Process-Gas Screw Compressors with Dry Gas Seals

$p_1$ : Saugdruck       $D_{HL}$ : Hauptläuferdurchmesser  
 $p_2$ : Enddruck       $v_G$ : Gleitgeschwindigkeit im Dichtspalt

Von GHH BORSIG wurden trockene Gasdichtungen bisher in mehreren ausgeführten Aufträgen mit Schraubenkompressoren für verschiedene Prozesse eingesetzt. Insgesamt umfassen diese Aufträge zehn Kompressorstufen. Mit den mitgelieferten Reser-

verdichtungen ergibt sich damit ein Umfang von 52 Dichtungen. Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Daten der bisher verkauften Maschinen auf.

Diese Betriebsparameter sowie die bei üblichen Prozeßgas-Schraubenkompressoren maximal auftretenden Werte von ca. 90m/s Gleitgeschwindigkeit im Dichtspalt und Gasdrücke von ca. 40 - 45 bar liegen weit innerhalb der bereits bei Turbomaschinen bewährten Einsatzbereiche von Gasdichtungen.

### 5.3 Ausgeführte Dichtung

Die grundsätzlich verwendete typische trockene Gasdichtung ist in Bild 4 dargestellt. Es handelt sich um eine doppeltwirkende, drehrichtungsunabhängige Dichtung. Über den Anschluß 2 wird die Dichtung mit Stickstoff beaufschlagt. Die prozeßseitige Stickstoff-Leckage wird zusammen mit Prozeßgas, das vom Kompressionsraum über Kohleringe oder ähnliche Dichtelemente angedrosselt wird, über den Anschluß 1 zur Saugseite des Kompressors zurückgeführt. Durch diese Rückführung ist gewährleistet, daß auf der Prozeßgasseite aller Dichtungen derselbe Produktdruck (Saugdruck) vor der Abdichtung ansteht, so daß mit einem Druckregelventil der Sperrdruck für alle Dichtungen geregelt werden kann. Der Sperrgasdruck liegt im Regelfall ca. 3 bar über dem Produktdruck.

Zur Vermeidung des Übertritts von Lagerschmieröl in den Dichtungsbereich ist zwischen der trockenen Gasdichtung und der Lagerpartie eine Sekundärabdichtung mit zwei Kohleringen vorgesehen. Diese Kohleringe werden über Anschluß 4 mit Stickstoff von 1,2-1,4 bar abs beaufschlagt. Ein Teil dieses Sperrgases gelangt in die Lagerpartie und damit über die Entlüftung des Ölsystems in die Atmosphäre. Der restliche Teil des Sperrgasstroms wird mit der atmosphärenseitigen Stickstoff-Leckage der Gasdichtung über den Anschluß 3 ebenfalls zur Atmosphäre geführt.

### 5.4 Sperrgasversorgungssystem

Zur Versorgung der Abdichtung mit Sperrstickstoff ist ein Sperrgasversorgungssystem erforderlich. Art und Umfang dieses Sperrgasversorgungssystems hängen natürlich neben den Mindestanforderungen der Dichtungshersteller hauptsächlich von der Sicherheitsphilosophie der jeweiligen Kunden bzw. Betreiber der Maschine ab. Bild 5 zeigt beispielhaft ein Schema eines möglichen Sperrgasversorgungssystems.

Nach Durchströmen eines umschaltbaren Doppelgasfilters erfolgt die Aufteilung des Gasstroms in die beiden Teilströme zur Versorgung der trockenen Gasdichtungen und der Sekundärabdichtungen (Kohleringe).

In den Zuführleitungen zu den trockenen Gasdichtungen wird der zur Verfügung stehende Gasdruck auf den erforderlichen Druck reduziert. Der Sperrgasdruck wird sowohl angezeigt als auch überwacht, wobei bei zu geringem Druck zunächst ein Alarm ausgelöst und bei weiterem Druckabfall die Maschine abgeschaltet wird. Bei Einsatzfällen mit stark schwankenden Prozeßgasdrücken kann es erforderlich sein, daß statt des einfachen Druckregelventils ein Differenzdruckregelventil zum Einsatz kommt. Nach dem Druckregelventil werden sowohl der Gesamtstrom als auch die Teilströme zu jeder einzelnen Dichtung gemessen. Bei einer Schädigung einer oder mehrerer trockener Gasdichtungen und dem daraus resultierenden Anstieg des Durchflusses erfolgt ein Alarm. Die einzelnen Durchflußmesser ermöglichen dann eine genauere Lokalisierung der beschädigten Dichtung.

Analog dazu erfolgt die Überwachung des Teilstromes zu den Sekundärabdichtungen, mit dem Unterschied, daß der Durchfluß zu den einzelnen Dichtungen nur angezeigt wird und bei Druckabfall eine Alarmierung erfolgt.

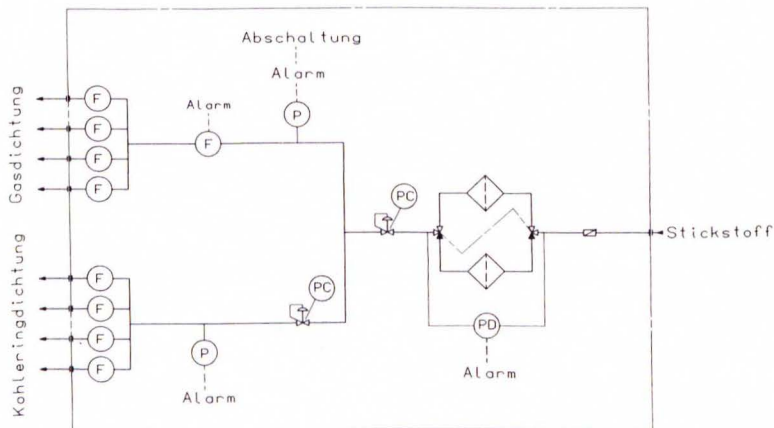


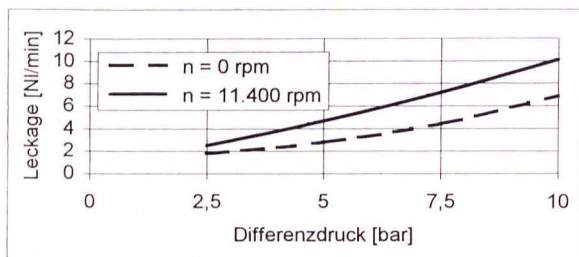
Bild 5 Sperrgasversorgungssystem

Figure 5 Dry Gas Seal Panel

## 6 Erprobung

### 6.1 Erprobung der Dichtungen

Bei den Herstellern der Dichtungen wurden bisher alle Dichtungen sowohl einer statischen als auch einer dynamischen Erprobung unterzogen. Bei verschiedenen Differenzdrücken bis zum Auslegungsdruck wurden sowohl im Stillstand als auch bei Betriebsdrehzahl die Leckagen über die Dichtflächen gemessen. Die gemessenen Leckagewerte für eine beispielhafte Dichtung (erste Anwendung aus Tabelle 1) sind in Bild 6 in Abhängigkeit vom Differenzdruck und von der Drehzahl aufgetragen. Es handelt sich dabei um die gemittelten Meßwerte aus den Probeläufen von acht Dichtungen. Die Leckagen liegen auf einem insgesamt sehr niedrigen Niveau. Für den Betrieb im Kompressor mit einem Differenzdruck von ca. 4 bis 4,5 bar liegt die Leckage bei allen gemessenen acht Dichtungen unter 5 Nl/min je Dichtung, d.h. unterhalb von 20 Nl/min für die Maschine.



**Bild 6** Gemessene Dichtungsleckage

**Figure 6** Measured Seal Leakage

Die rechnerisch ermittelten Leckagewerte konnten sowohl bei der Dichtungserprobung als auch bei der Kompressorerprobung mit eingebauten Dichtungen verifiziert werden.

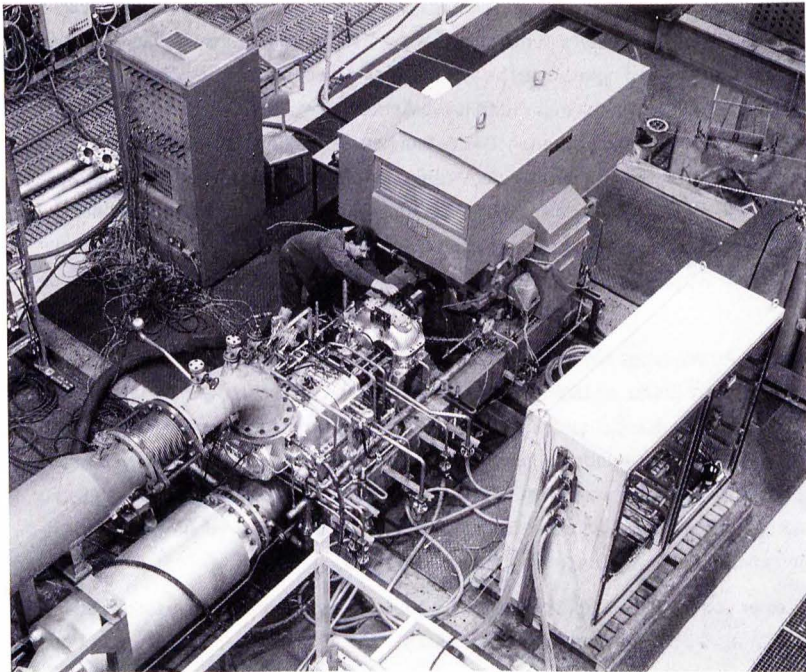
Um das Produkt „trockene Gasdichtung“ für weitere Anwendungen preislich attraktiver zu gestalten, ist es daher denkbar und auch technisch sinnvoll vertretbar, zukünftig auf die dynamischen Probeläufe ganz oder zum Teil zu verzichten. Die ordnungsgemäße Funktion der Dichtung wird schließlich auch noch beim grundsätzlich durchgeführten mechanischen und thermodynamischen Probelauf des Kompressors überprüft.



## 6.2 Erprobung der Kompressoren mit eingebauten Dichtungen

Bei GHH BORSIG werden alle Prozeßgas-Schraubenkompressoren vor der Auslieferung einem kombinierten mechanischen und thermodynamischen Probelauf unterzogen. Dazu werden die Kompressoren im Regelfall mit Luft bei den Originaldrücken des späteren Betriebs erprobt. Im Einzelfall, abhängig von den Randbedingungen des Prüffeldes, erfolgt die Erprobung auch bei abgesenkten Drücken.

Auch die Maschinen mit trockenen Gasdichtungen wurden entsprechend dieser Vorgehensweise erprobt (s. Beispiel in Bild 7). Zur Versorgung der trockenen Gasdichtungen wurden die Sperrgasversorgungssysteme des jeweiligen Auftrages verwendet.



**Bild 7** Probelauf Prozeßgas-Schraubenkompressor  
**Figure 7** Test Run Process-Gas Screw Compressor

Über die gesamte Erprobungsdauer zeigten die Dichtungen ein gutes Betriebsverhalten mit Leckagewerten gleich oder kleiner den beim Dichtungshersteller gemessenen Werten. Auf eine separate Darstellung der Ergebnisse kann daher verzichtet werden. Die gute Übereinstimmung der Werte des Kompressorprobelaufs mit den Werten der Dichtungserprobung zeigt, daß bei ausreichender Sicherheit für den Betrieb beim Kunden zukünftig auf die dynamische Erprobung der Dichtungen verzichtet werden kann.

## **7 Erfahrungen und Ausblick**

Als einer der ersten Hersteller setzte GHH BORSIG gasgeschmierte Gleitringdichtungen Mitte der 90er Jahre in Prozeßgas-Schraubenkompressoren ein. Aufgrund der vorliegenden positiven Betriebserfahrungen seit dieser Zeit kann man inzwischen auch von einem in Schraubenkompressoren bewährten Maschinenelement sprechen. Über die bisherige Laufzeit der Maschinen wurde keine Änderung im Laufverhalten der Maschine oder in der Leckage der trockenen Gasdichtungen festgestellt. Vor dem Hintergrund dieser Erfahrungen und wegen der deutlichen Vorteile der gasgeschmierten Gleitringdichtung ist es verständlich, daß immer mehr Kunden diese fortschrittliche Technologie auch in Schraubenkompressoren einsetzen möchten. Wie in Tabelle 1 dargestellt, liegen bei GHH BORSIG inzwischen sechs Referenzen bei weltweit operierenden Kunden vor.

Zukünftige Anwendungen im Bereich der Prozeßgas-Schraubenkompressoren betreffen den eventuellen Ersatz anderer Dichtungen als der mechanischen Gleitringabdichtung durch die trockene Gasdichtung. Denkbar wäre z.B. der Austausch von wassergesperrten Schwimmringabdichtungen durch trockene Gasdichtungen mit den Vorteilen Einsparung der Wasseranlage, verringerte Verlustleistung und verschleißfreier Betrieb. Hierzu wäre es erforderlich, daß von den Dichtungsherstellern die Betriebssicherheit der Dichtungen auch bei feuchter Umgebung sichergestellt wird.

Nach einer von BASF durchgeführten Studie haben sich die höheren Investitionskosten in weniger als 5 Betriebsjahren bereits amortisiert.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß der Anteil von Prozeßgas - Schraubenkompressoren mit gasgeschmierten Gleitringdichtungen in den nächsten Jahren deutlich zunehmen wird.

## 8 Literaturverzeichnis

- /1/ Kirchner, Ch.: Ausrüstung eines Schraubenkompressors mit gasgeschmierten Gleitringdichtungen (GLRD), VDI-Berichte Nr. 1135, VDI-Verlag, Düsseldorf (1994)
- /2/ Tietze, W. Handbuch Dichtungspraxis, Vulkanverlag, Essen (1998)
- /3/ Tewes, N.: Gasdichtungen in Prozeßgas-Schraubenkompressoren, Konstruktion 48, S. 407-410, Springer-Verlag (1996)