

Einsatz von Schraubenkompressoren, insbesondere in der chemischen und petrochemischen Industrie

Ing. K.-D. Lelgemann, Oberhausen

Gliederung:

Schraubenkompressorstufen für die verschiedensten Anwendungsfälle, synchronisierte trocken verdichtende Kompressorstufen im Vergleich zu einspritzgeschmierten Kompressorstufen mit Einsatzbeispielen.

Konstruktionsmerkmale der Prozeßgaskompressorstufen. Charakteristik, Mechanik, kritische Drehzahlen, Schwingungsverhalten und Schwingungsüberwachung.

Werkstoffe der Kompressorstufen

Hauptanwendungen der Prozeßgasschraubenkompressoren in Prozessen der chemischen und petrochemischen Industrie.

Bevor die klassischen Prozeßgasschraubenkompressoren ausführlicher abgehandelt werden, werden für bestimmte Anwendungsfälle gebaute Kompressorstufen vorgestellt, die im begrenzten Umfang auch in der Chemie eingesetzt werden.

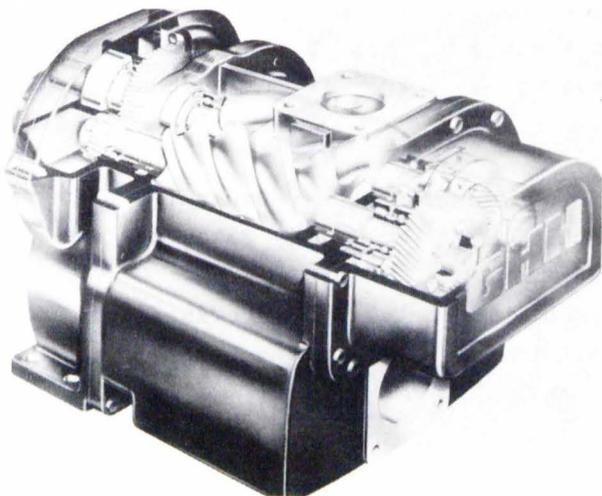


Bild 1

Das Bild 1 zeigt einen kleinen einstufigen Schraubenkompressor, bei dem die Läufer zueinander synchronisiert sind. Diese Maschine verdichtet ohne Zusatz von Schmiermitteln im Kompressionsraum. Da die Förderleistung dieses Kompressors bezogen auf die Größe und das Gewicht des Kompressors, sehr groß ist, wird dieser Kompressor hauptsächlich auf Fahrzeugen eingesetzt.

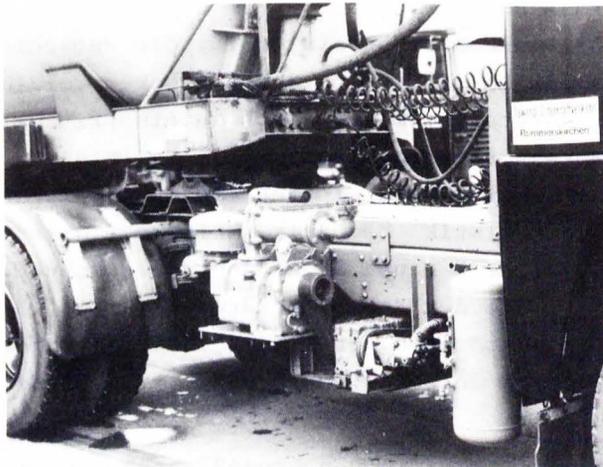


Bild 2

Diese Fahrzeuge, Bild 2, sind aus dem Straßenbild bekannt. Es werden pulverförmige Schüttgüter mit Luft emulgiert und durch Schläuche und Rohre transportiert wie Flüssigkeiten. Der Kompressor verdichtet bis zu 400 m³/h Luft oder inerte Gase von 1 auf 3 bar abs. Damit sind Entladeleistungen am Fahrzeug von 20 Tonnen in 20 Minuten erreichbar.

Die Palette der Förderstoffe reicht über Baustoffe wie Zement, Kalk, über Lebensmittel wie Mehl, Kakao bis zu den Kunststoffstäuben und Granulaten.

Bei den elektrostatisch aufladbaren Kunststoffstäuben wird der Transport mit inerten Gasen vorgenommen, um Explosionen zu verhindern.

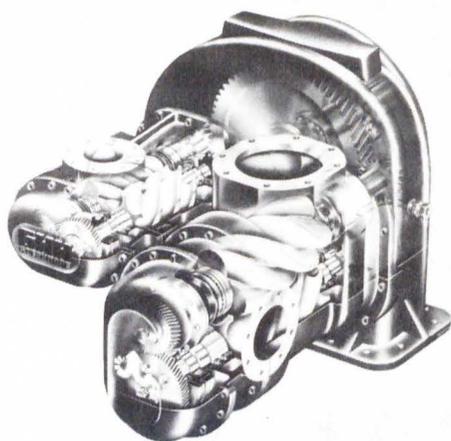


Bild 3

Das Bild 3 zeigt einen Kompressorblock. Zwei unterschiedlich große Kompressorstufen sind an einem Getriebe angeflanscht.

Die Läufer auch dieser Kompressorstufen sind zueinander synchronisiert, so daß auch bei diesem Kompressor kein Kontakt zwischen Schmiermittel und Fördergut möglich ist.

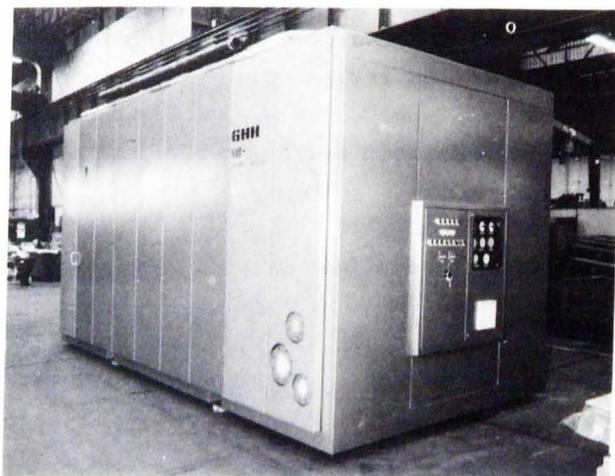


Bild 4

Das Bild 4 zeigt das aus dem Kompressorblock gefertigte Endprodukt. Ein schallisolierter Kompaktkompressor, der auf Gummifüßen gelagert ist.

5 Kompressorgrößen mit einem Fördermengenbereich von 900 bis 8500 m³/h stehen für Luft oder inerte Gase zur Verfügung. Eine Verdichtung von 1 auf 11 bar ist vorgesehen. Diese Kompressorbaureihe findet in allen Industriezweigen, so auch in der chemischen Industrie Anwendung.

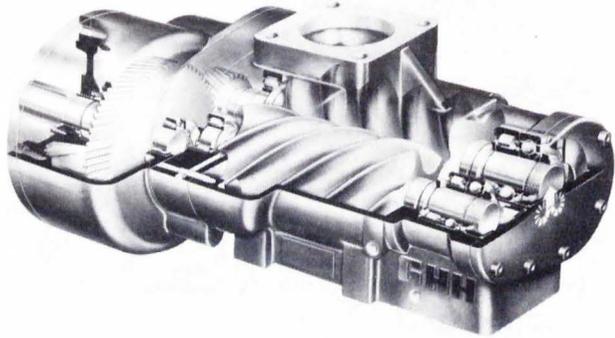


Bild 5

Das Bild 5 zeigt nun eine Schraubenkompressorbauart, bei der das Synchronisationsgetriebe zwischen den Rotoren nicht vorhanden ist.

Es wird bewußt ein Schmiermittel in den Kompressionsraum eingespritzt.

Dabei erfüllt das Schmiermittel 3 Aufgaben:

1. Die Zahnflanken der Rotoren werden geschmiert, so daß der Hauptläufer den Nebenläufer oder umgekehrt, der Nebenläufer den Hauptläufer, antreiben kann.
2. Durch die intensive Berührung zwischen dem Schmiermittel und dem Fördermedium findet eine Kühlung während der Kompression statt. Druckverhältnisse von 10 und mehr sind dadurch in einer Kompressorstufe realisierbar. Die Endtemperatur bleibt dabei unter 100 °C.
3. Der Flüssigkeitsfilm auf den Rotoren dichtet die Spiele zwischen den Rotoren und im Gehäuse teilweise ab, so daß schon bei geringen Umfangsgeschwindigkeiten gute Wirkungsgrade erzielt werden.

Praktisch hat diese Kompressorbauart bei den fahrbaren Einheiten fast alle anderen Systeme vom Markt verdrängt.

Diese Kompressorstufen sind robust, wartungsarm, leicht und laufen schwingungsfrei und darüber hinaus, sie sind preiswert.



Bild 6

Das Bild 6 zeigt einen mit einer solchen Kompressorstufe gebauten fahrbaren Luftkompressor, wie diese zu tausenden existieren.

Es werden z.Zt. Kompressorstufen mit Förderleistungen von 0,8 bis 72 m³/min hergestellt.

Diese Kompressorbauart verunreinigt zwar das Fördermedium mit dem Schmiermittel, findet aber aufgrund der geschilderten Eigenschaften und vor allem wegen des geringen Preises bei einfachen sauberen Gasen zunehmend Anwendung als Prozeßgaskompressor. Zusätzlich muß noch erwähnt werden, daß dieser Kompressor erheblich leiser als die klassischen Prozeßgaskompressoren verdichtet.

Ein großes Handicap, das es unmöglich macht, diesen Kompressor universell in Prozessen einzusetzen, ist der intensive Kontakt zwischen Schmiermittel und dem Fördermedium. Denn die Wechselwirkung der Beeinflussung muß erst noch abgeklärt werden und es liegen erst Betriebserfahrungen mit einigen wenigen Gasen vor. Es wird also nicht nur das Gas vom Schmiermittel verunreinigt (was für den nachgeschalteten Prozeß von Wichtigkeit ist), sondern auch das Schmiermittel vom Gas. Oft ist es nicht das Hauptfördergas, sondern einige Gasbestandteile, die die Schmierfähigkeit des Schmiermittels zerstören. Denn schließlich dient das Schmiermittel in erster Linie als Schmierstoff für die stark belasteten Lager. So wirken Spuren von Stäuben, Wasserdampf, saure- und basische Beimengungen und auch die höheren Kohlenwasserstoffe störend auf die Schmierfähigkeit.

Aber es werden ständig neue Anwendungen erschlossen, zumal immer neue Schmierstoffe vorgeschlagen werden, bis zum Flüssigkeitsmetall. In diesem Feld stecken noch große Innovationsmöglichkeiten, und es wird sich später ein festes Anwendungssegment herauskristallisieren.

Im Moment sind diese Kompressoren aber in der Chemie und Petrochemie nur begrenzt einsetzbar.

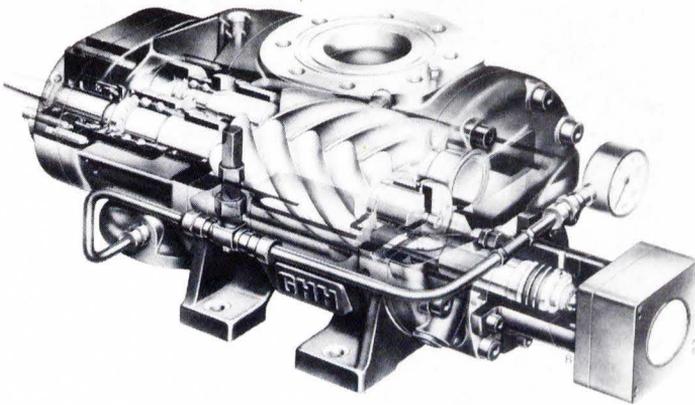


Bild 7

Das Bild 7 zeigt nun eine Weiterentwicklung des vorgestellten einspritzgeschmierten Kompressors. Im Gehäuse (Kompressionsraum) ist ein Schieber angeordnet, der verfahren werden kann. Dadurch kann bei Beginn der Kompression, in der jeweiligen Profilhöhlenspalte, eine Kompression verhindert werden, indem die den Läufer umgebende Gehäusewand entfernt wird (durch Verschieben). Ein Teil des Gases strömt dadurch wieder aus der Zahnspalte aus und mit dem Rest des in der Zahnspalte verbleibenden Gases beginnt die Kompression später.

Der Zweck dieses Schiebers ist also die Regelung der Fördermenge zwischen 20 und 100 % bei konstanter Antriebsdrehzahl.

Der Leistungsverbrauch (das Teillastverhalten) entspricht nicht der Regelkennlinie, aber das tritt bei dem hauptsächlichlichen Einsatz dieses Kompressors in der Kälte- und Klimatechnik in den Hintergrund.

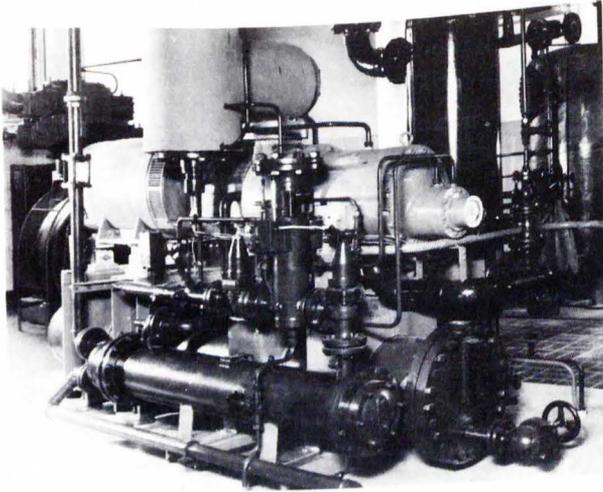


Bild 8

Das Bild 8 zeigt den Einsatz als Kältekompressor. Denn die Regelbarkeit bei Kühlhäusern, Flüssiggaslagern, Eisstadien sowie bei Heizeinsatz in Schwimmbädern und Gebäuden ist das wichtigste Faktum. Es stehen Kompressor-Modelle von 100000 bis 4000000 Kcal/h Wärmeleistung zur Verfügung. Auch dieser Kompressor wird schon bei einigen Gasen in der Chemie und Petrochemie verwendet.

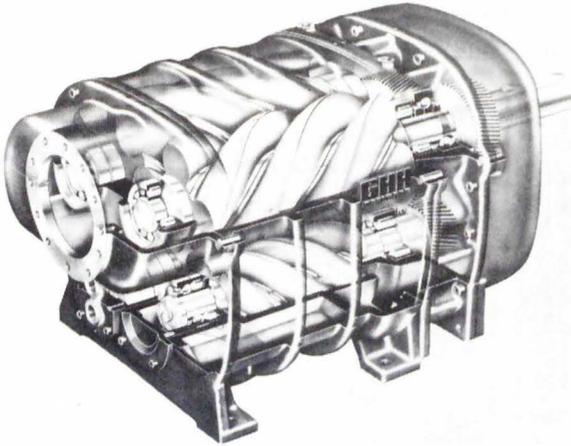


Bild 9

Das Bild 9 zeigt eine weitere Variante eines eingespritzten Kompressors. Es handelt sich um einen zweistufigen Kompressor, der in einem Gehäuse untergebracht ist. Der Zweck dieses Kompressors ist nicht die Verdichtung des Fördermediums auf etwa 20 bar, diesen Kompressor gibt es auch bereits, sondern eine energetisch günstigere Verdichtung von 1 auf 11 bar abs. Diese Kompressorvariante benötigt 12 % weniger Antriebsleistung als die einstufige Maschine.

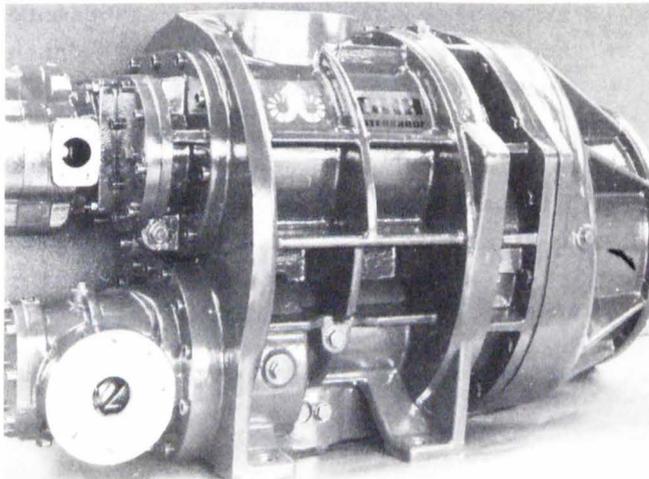


Bild 10

Bild 10 zeigt noch eine andere Variante des einspritzgeschmierten Kompressors. Dieser Kompressor ist dreistufig und verdichtet Luft ohne jede Zwischenkühlung von 1 auf über 40 bar.



Bild 11

Wie das Bild 11 zeigt, findet dieser Kompressor hauptsächlich auf Bohrwagen Anwendung. Der Bohrer der Bohreinrichtung wird mit Druckluft gekühlt und das ausgebohrte Gestein wird mit dieser Druckluft aus dem Bohrloch geblasen. Diese Bohreinrichtungen werden vorzugsweise in Wüsten oder arktischen Zonen eingesetzt.

Teilweise findet dieser Kompressor aber auch eine Anwendung in der Industrie und in chemischen Betrieben.

Es existieren noch weitere Schraubenkompressormodelle für Spezialanwendung und es werden ständig neue Modelle entwickelt, zu erwähnen sind da die Schraubenmotoren (Expander), aber im Rahmen dieses Artikels können diese nicht behandelt werden.

Bei den klassischen Prozeßgasschraubenkompressoren liegen die Einsatzparameter vor der Konstruktion nicht klar fest, so daß man Parameter festlegt und einen möglichst universellen Baukasten schafft, aus dem man später nach Möglichkeit alle Bedarfsfälle abdecken kann.

Man benötigt zunächst ein standardisiertes Profil, von dem man die präzise Fertigung, die Thermodynamik und die Mechanik beherrscht. Zusätzlich einen großen Mengenbereich in kleiner Abstufung.

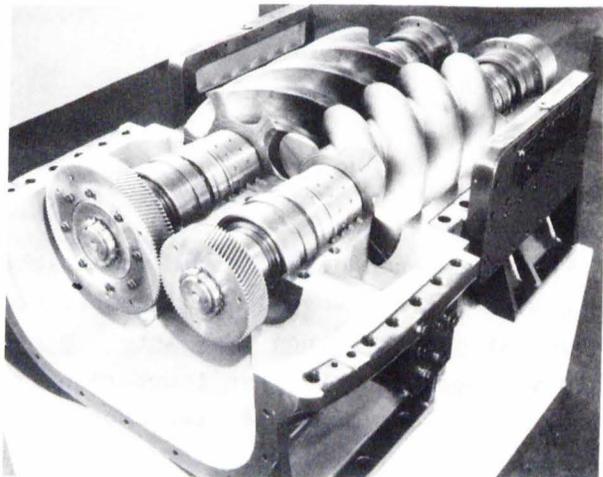


Bild 12

Das Bild 12 zeigt die Darstellung eines kleinen und großen Läuferpaares zwischen denen die Fördermenge 350 bis 55000 m³/h beträgt.

Außerdem benötigt man unterschiedliche Modelle hinsichtlich der Druckstufe, der zulässigen Druckdifferenz (ΔP) und der Kompressionstemperatur. Die Druckdifferenz wirkt direkt auf die Mechanik wie Läuferdurchbiegung, Oberflächenspannung und Lagerbelastung. Die Temperatur beeinflusst unmittelbar die Laufspiele.

Bild 13



Das Bild 13 zeigt die Grundbauart einer Prozeßgaskompressorstufe. Typisch ist stets das Synchronisationsgetriebe, das jede Berührung in dem Kompressionsraum ausschließt. Dadurch muß kein Schmiermittel in den Kompressionsraum eingeführt werden, so daß eine Verunreinigung des Fördergases ausgeschlossen ist.

Der Saugstutzen ist oben, der Druckstutzen unten angeordnet. Eine großzügige Dichtungspartie erlaubt den Einbau aller verfügbaren Dichtungssysteme.

Die Lager sind reichlich dimensioniert.

Der Kompressor hat einen Kühlmantel.

Das Gehäuse hat eine Druckfestigkeit von 16 bar eff.

Druckdifferenz zulässig mechanisch bis 7.

Es stehen 8 Kompressorgrößen von 1600 bis 45000 m³/h eff. Fördermenge zur Verfügung.

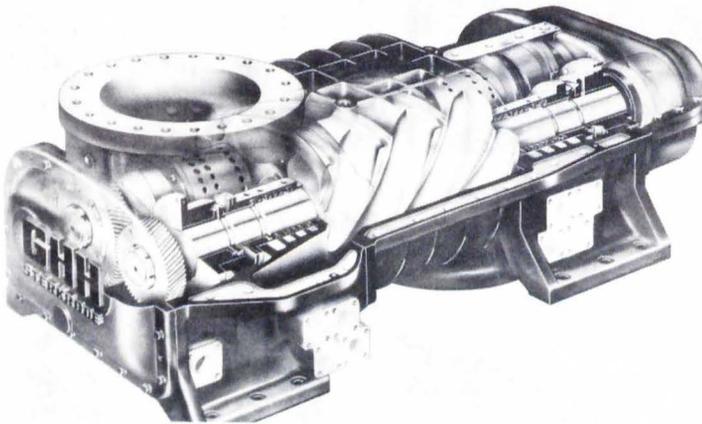


Bild 14

Das Bild 14 zeigt eine weitere Bauart von Prozeßgasschraubenkompressorstufen.

Die beschriebenen Merkmale und technischen Daten sind baugleich mit der vorgenannten Kompressorstufe. Das Gehäuse hat jedoch keinen Kühlmantel. Dieser Kompressor wird vorzugsweise bei fast isothermen Prozeßgaseinsätzen verwendet. Es stehen 5 Kompressorgrößen von 5000 bis 55000 m³/h eff Fördermenge zur Verfügung.

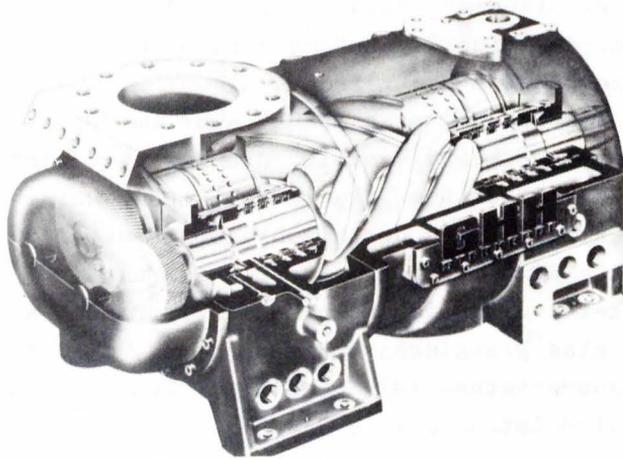


Bild 15

Das Bild 15 zeigt eine Prozeßgasschraubenkompressorstufe, bei der das Gehäuse eine Druckfestigkeit von 40 bar eff aufweist.

Druckdifferenz zulässig mechanisch bis 12, teilweise bei einigen Stufengrößen bis 17.

Der Kompressor hat einen Kühlmantel.

Es stehen 7 Kompressorgrößen von 350 bis 5000 m³/h eff Fördermenge zur Verfügung.

Der Schraubenkompressor hat die gleiche Charakteristik wie der Kolbenkompressor.

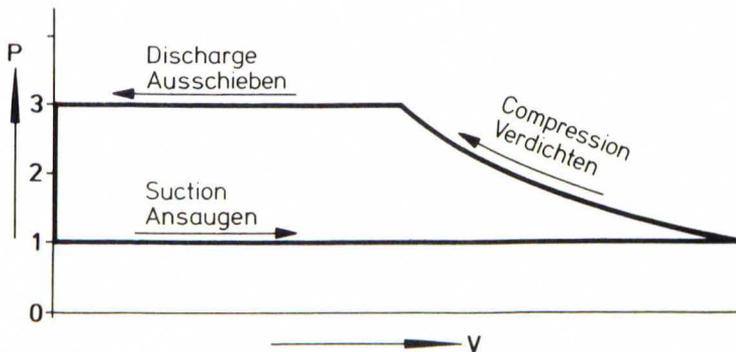


Bild 16

Das PV-Diagramm, Bild 16, zeigt die einfachste mögliche Form, da keine Schadräume vorhanden sind, durch die eine Rückexpansion stattfindet.

Der Schraubenkompressor hat aber im Gegensatz zum Kolbenkompressor keine Ventile, die gewartet werden müssen, keine Kolbenringe die verschleifen, keine funktionswichtigen Teile, die der Mischreibung unterliegen, wie Kreuzköpfe, Kolbenbolzen, Stützplatten usw.

Da keine oszillierenden Massen vorhanden sind, läuft die Maschine praktisch schwingungsfrei, so daß eine einfache Fundamentierung auf Fahrzeugen, Schiffen und auf Schlitten möglich ist.

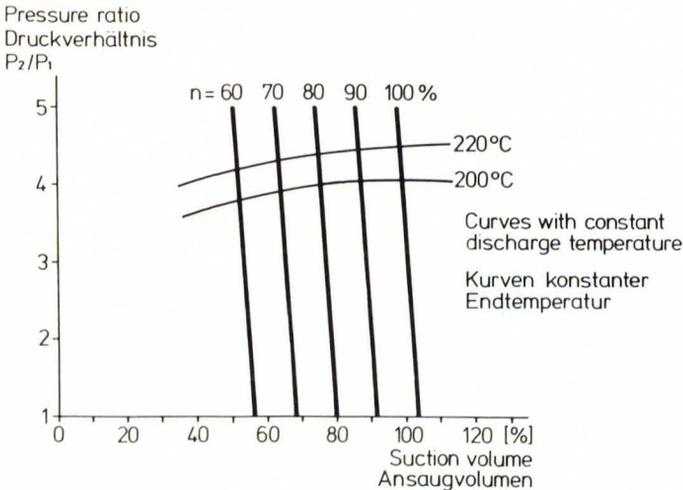


Bild 17

Das Bild 17 zeigt ebenfalls die starre Kennlinie, die von der Kolbenverdichtercharakteristik herrührt. Enddruckschwankungen innerhalb der zulässigen Grenzen, die durch die Endtemperatur und durch die max. zulässige Druckdifferenz gebildet werden, beeinflussen die Fördermenge kaum. Auch sind Abweichungen in der Gaszusammensetzung, auch wenn sie Molekulargewichtsänderungen hervorrufen, in weiten Grenzen bedeutungslos.

Der Kompressor kennt keinen instabilen Bereich wie z.B. die Pumpgrenze.

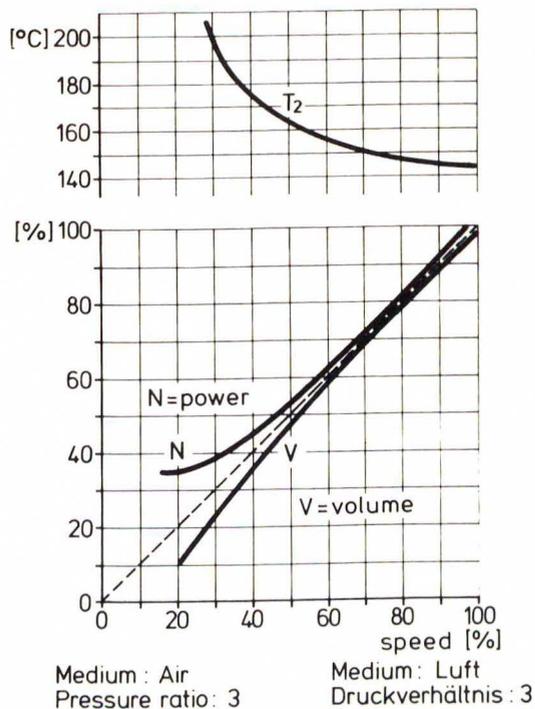


Bild 18

Im Bild 18 ist dargestellt, wie sich aufgrund der Kolbenverdichtercharakteristik bei Drehzahlregelung ein hervorragendes Teillastverhalten ergibt. Man kann grob sagen: 50 % Drehzahl = 50 % Fördermenge und das bei 50 % Leistungsbedarf. Bei fast isotherm arbeitenden Kompressoren (Kompressoren mit Flüssigkeitseinspritzung) kann die Drehzahlregelung noch tiefer erfolgen.)

Selbst wenn eine stetige Drehzahlregelung nicht realisiert wird, kann aber jeder Schraubenkompressor, auch später im Prozess durch Änderung der Drehzahl im Fördervolumenstrom verändert werden. Bei Kompressoren ohne Einspritzkühlung und bei der Kompression von leichten Gasen, sollten die Grenzen der Regelbarkeit aber vom Kompressorhersteller festgelegt werden (das Molekulargewicht bzw. die Schallgeschwindigkeit des Gases hat hierbei einen starken Einfluß auf die Drehzahlregelbarkeit).

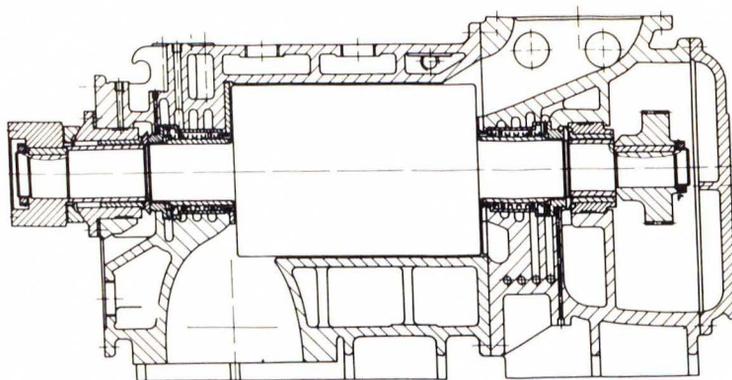


Bild 19

Das Bild 19 zeigt die wesentlichen Merkmale der Konstruktion:

Der Haupt- und der Nebenläufer bestehen aus einem Stück Schmiedestahl. Es gibt keine angefügten oder aufgesetzten Teile, die einer Spaltkorrosion unterliegen oder sich lösen können. Dieses ist bei H_2S -haltigen Gasen besonders wichtig.

Die Läufer kämmen beim Betrieb ineinander und halten sich gegenseitig sauber. Beläge können also nur gebildet werden, soweit das Laufspiel dieses zuläßt. Dadurch wirkt beim Schraubenkompressor ein Belag wirkungsgradverbessernd (beim Turboverdichter wirkt ein Belag wirkungsgradverschlechternd, beim Kolbenkompressor bedeutet er Verschleiß bzw. wirkt störend auf die Funktion der Ventile).

Außerdem kann eine Unwucht, durch Beläge im Profil nicht entstehen, da sich Beläge nur gleichmäßig und sehr dünn bilden können.

Bei dem dargestellten Kompressor ist der Saugstutzen oben und der Druckstutzen unten angeordnet. Die Druckdifferenz wirkt voll als Reaktionskraft, sowohl axial als auch radial auf die Läufer. Daraus resultiert, daß die Läufer eines Schraubenkompressors sehr biegesteif ausgeführt sein müssen, damit eine Berührung im Profil, oder vom Profil zum Gehäuse, ausgeschlossen wird.

Aus der angeführten Biegesteifigkeit resultiert aber, daß die 1. biegekritische Drehzahl sich normalerweise oberhalb des Betriebsdrehzahlbereiches befindet, so daß auch eine Drehzahlregelung oder Drehzahlverstellung nicht durch biegekritische Drehzahlen behindert wird.

Sie erkennen sonst das Synchronisationsgetriebe, das kombinierte Axial- und Radiallager auf der Druckseite des Kompressors, das Radiallager auf der Saugseite des Kompressors und die lange Zone der Dichtungspartie. Es werden alle Dichtungssysteme, die dem Stand der Technik entsprechen, montiert.

Dieses sind:

Labyrinthdichtungen, Kohleringlabyrinthdichtungen, Schwimmringdichtungen und mechanische Gleitringdichtungen (letztere sind hermetisch dicht und können auch stillstandsicht ausgeführt werden). Die vorgenannten Dichtungen sind auch kombiniert einsetzbar.

Der gezeigte Kompressor hat einen Kühlmantel, dieser ist aber nicht bei allen Kompressoren notwendig.

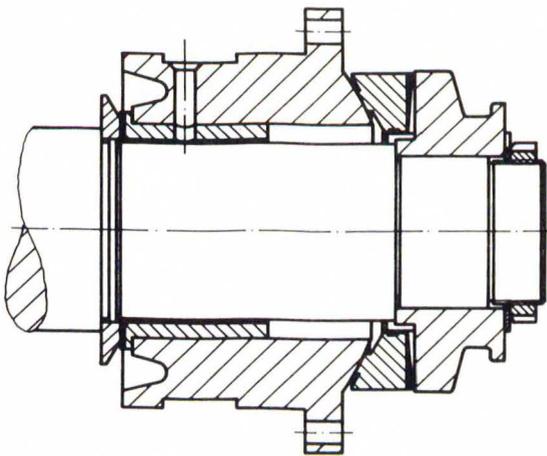


Bild 20

Das Bild 20 zeigt das kombinierte Axial- und Radiallager auf der Druckseite des Kompressors noch einmal vergrößert im Detail.

Es wurde schon ausgeführt, daß die Rückstellkräfte der Druckdifferenz aus dem Gas voll auf die Läufer und damit auf die Lager wirken. Die Belastungen der Lager sind zwar im Leerlauf erheblich geringer als unter Last, aber die Wirkrichtungen der Kräfte sind immer gleich. Daraus resultiert, daß der Schraubenkompressor auch keine ölkritische Drehzahl (oil whip) kennt. Es werden zylindrische Lager mit Weißmetallüberzug verwendet.

Bei den Axiallagern ist ebenfalls erkennbar, daß die Hauptbelastung aus der Rückstellkraft der Druckdifferenz des Gases nur in einer Richtung wirkt. Dieses Lager ist mit vielen einzelnen Druckkeilflächen ausgerüstet (tapered land ring) und außerdem auf einer kugeligen Fläche angeordnet, die bei elastischer Durchbiegung des Läufers der Bewegung des Läufers folgt und somit stets eine gleichmäßige Belastung des Axiallagers am Umfang sicherstellt. Kantenpressung ist bei diesem Lager nicht möglich.

Das Axiallager in Negativrichtung ist relativ klein ausgeführt, da dieses nur beim Start und Stopp des Kompressors gering belastet wird.

Die Lager eines Schraubenkompressors für Prozeßgas sind stets mit Druckölschmierung versehen. Die Umfangsgeschwindigkeiten und Belastungen werden so ausgeführt, daß immer ein hydrodynamischer Schmierfilm ausgebildet wird. Es kann eine Lebensdauer von 100000 h als durchaus gegeben angesetzt werden.

Im Gegensatz zum Turboverdichter wirken die Rückstellkräfte der Gaskräfte, dieses ist schon mehrfach angesprochen worden, beim Schraubenkompressor, sowohl axial als auch radial voll auf die Lager (beim Turboverdichter tragen die Lager normalerweise nur das Läufergewicht und axial werden die Gaskräfte durch Entlastungskolben ausgeglichen). Außerdem benötigt der Schraubenkompressor doppelt so viele Lager wie der Turboverdichter (Haupt- und Nebenläufer).

Während also beim Turboverdichter die Lagerreibung nur etwa 2-3 % der Kompressorleistung beträgt, kann die Lagerreibung beim Schraubenkompressor bis zu 6 % der Kompressorleistung betragen.

Das ist nicht nur von Nachteil, sondern bei Betrachtung der torsionskritischen Drehzahlen sehr von Vorteil, da die Dämpfungskräfte im System eines Schraubenkompressors, vorallem bei mehrstufigen Kompressoren so groß sind, daß auch die torsionskritischen Drehzahlen kaum beachtet werden müssen.

Nur bei Antrieben, die starke Drehschwingungen erzeugen, vorallem bei Kolbenmotoren mit geringen Zylinderzahlen und kleinen Schwungmassen, sollte man die torsionskritischen Drehzahlen prüfen.

Zum Abschluß der Mechanik möchte ich noch zum Thema Schwingungsmessung und Axialstandsmessung an Schraubenkompressoren Stellung nehmen.

Zunächst zur Schwingungsmessung und -überwachung.

Es wird vielfach der Fehler begangen, die in API 617 (Turboverdichter) geforderten Wellenschwungsmeßeinrichtungen auf den Schraubenkompressor zu übertragen. Dieses wird auch in der API 619 (Schraubenkompressor), Ausgabe 1975, empfohlen.

Grundsätzlich muß man sich über einige Unterschiede zwischen diesen beiden Maschinenarten im Klaren sein, bevor man dieses Thema erörtert.

Wie bereits ausgeführt, gibt es keine angefügten Teile am Läufer, die sich lösen können. Außerdem kann eine Schmutzablagerung keine Unwucht hervorrufen. Darüber hinaus läuft der Läufer stets unterkritisch, was die biegekritische Drehzahl betrifft. Es gibt keine ölkritische Drehzahl und kein Pumpen.

Alle diese Faktoren lassen die Dringlichkeit der Schwingungsüberwachung gegenüber anderen Maschinensystemen nicht so zwingend erscheinen.

Lassen Sie mich aber noch ausführen, daß auch eine Schwingungsüberwachung beim Schraubenkompressor größere Schäden vermeiden kann und zwar dann, wenn eine Profilberührung oder ein Lagerschaden vorliegt. Nur, sind die angebotenen komplexen Wellenschwingsmeßsysteme mit "Key phasor" zu teuer, um nur eine Abschaltung durch eine zu starke Schwingung zu bewerkstelligen. Darüber hinaus erfüllen diese Geräte eine ständige Analyse der Schwingungen vorzunehmen und damit die Qualität der Maschine zu beurteilen, beim Schraubenkompressor nicht.

Beim Schraubenkompressor kann die dynamische Laufruhe, Qualitätsgruppe 2,5, bezogen auf die Drehfrequenz nach VDI 2056, vorausgesetzt werden. Es ist aber normal, daß Schwingungen bis zu 4 mm/s Schwingschnelle mit der Ausstoßfrequenz der Zähnezahl des Läuferpaares auftreten. Diese Schwingungen entstehen aus der Reaktion der Pulsation und beeinträchtigen die Funktion und die Qualität der Maschine nicht.

Die Erfassung aller dieser Daten und deren Analyse ist nur mit einem Echtzeitanalysator oder einem Schwingungsanalysator möglich.

Es ist also empfehlenswert, jede Kompressorstufe mit einer breitbandigen Schwingungserfassung auszurüsten, die nur bei einem dramatischen Schwingungsanstieg (über eine Sekunde) eine Abschaltung vornimmt. Breitbandig deshalb, damit der Nebenläufer, der langsamer läuft als der Hauptläufer und die Ausstoßfrequenz der Zähnezahl, die normalerweise 4 x Drehfrequenz beträgt, mit erfaßt werden. Extrem breitbandig muß die Schwingungserfassung der drehzahlgeregelten Schraubenkompressoren sein.

Die geringfügige Verzögerung der Abschaltung ist notwendig, um nicht durch Schocks, die in der Umgebung der Maschine produziert werden, eine Abschaltung zu provozieren.

Zum Schutz eines Schraubenkompressors genügt durchaus eine einkanalige Schwingungserfassung, die außen am Gehäuse in Form eines Beschleunigungsaufnehmers (Seismicprobe, Accelerometer) angebracht ist und ein Schwingungsmonitor, der lediglich die beschriebenen Eigenschaften aufweist.

Die auf dem Markt befindlichen Schwingungsmonitore sind für Dampfturbinen, Turboverdichter, Gasturbinen usw. konzipiert und müssen für Schraubenkompressoren meistens modifiziert werden.

Es ist dann angebracht, mit einem portablen Echtzeitanalysator oder mit einem Schwingungsanalysator in festgelegten Zeitabständen die Laufruhe und damit die Qualität des Kompressors zu prüfen und die gemessenen Werte zu dokumentieren.

Zur Beurteilung der Qualität des Kompressors sind die Schwingungswerte Nebenläufer, Hauptläufer einfache Pulsationsfrequenz sowie die Harmonischen getrennt zu erfassen. Die Analyse der speziellen Schwingungsprobleme am Schraubenkompressor soll aber nicht den Eindruck erwecken, als würde es eine Ablehnung geben, Wellenschwingungsmeßeinrichtungen zu montieren. Wenn ein Betreiber diese verlangt, bekommt er sie auch. Es sollte nur eine differenziertere Betrachtung einsetzen. Es ist auch zu erwarten, daß in der nächsten Publikation der API 619 eine modifizierte Empfehlung der Wellenschwingungsmessung vorgenommen wird.

Es ist hierzu interessant, daß der Schraubenkompressor in der API 670, die sich ausschließlich mit Schwingungs-, Axialstand- und Lagertemperaturmessung befaßt, nicht gesondert behandelt wird.

Die Axialstandsmessung und Überwachung.

Hierzu ist es ebenfalls notwendig, die spezifischen Unterschiede der Maschinensysteme zu untersuchen. Es gibt eine Vielzahl Maschinen, die eine axiale Verschiebung erlauben, bevor eine Berührung, z.B. zwischen Labyrinthstreifen, Laufräder an Gehäuse, Laufschaufeln an statische Schaufeln usw. stattfindet.

Hierzu gehören Axialverdichter, Radialverdichter mit Deckscheiben, Dampfturbinen, Turboexpander, Gasturbinen, E-Motore, Getriebe.

In der API 670 werden die Meßbereiche axial mit $\pm 0,6$ mm Alarm und $\pm 0,8$ mm Abschaltung definiert.

Ein Meßgerät mit kleinerer Auflösung führt zu Fehlabschaltungen.

Beim Schraubenkompressor sind zwei Läufer parallel angeordnet. Es ist kaum möglich, daß beide Axiallager auf einmal defekt werden. Wenn ein Läufer sich aber axial bewegt, kommt es zur Profilberührung in dem sich kämmenden Profilteil. Es genügt zu dieser Berührung bei kleinen Kompressoren eine axiale Bewegung von etwa 0,1 mm und bei größeren Kompressoren eine solche von etwa 0,15 mm

Die Axialstandsmessung und Überwachung ist also bei manchen Maschinensystemen von großer Bedeutung, beim Schraubenkompressor jedoch wertlos.

Eine axiale Läuferverschiebung wird durch die automatisch stattfindende Profilberührung beim Schraubenkompressor von der Schwingungsüberwachungseinrichtung mit erfaßt.

Ich möchte noch kurz die möglichen Werkstoffe ansprechen, aus denen Schraubenkompressoren gefertigt werden.

Zunächst muß die Beständigkeit zum Fördergas (Korrosion und Erosion) geprüft werden und der Werkstoff muß sich auch zur Herstellung des Kompressors eignen.

Hier sind Gießbarkeit, Schmiedbarkeit, Zerspanbarkeit, aber auch die Festigkeit angesprochen.

Es liegen Erfahrungen aus hunderten von gebauten Prozeßgasschraubenkompressoranlagen vor. Es werden aber auch ständig neue Werkstoffe in Zusammenarbeit mit den Chemikern, Verfahreningenieuren und Metallurgen der Kunden sowie den hauseigenen Fachleuten ausgewählt. Die Läufer werden aus Vergütungsstahl, martensitischen Stählen mit einem großen Anteil von Chrom und Nickel, speziell für Gase mit hohem H_2S -Anteil, und austenitischen Stählen, speziell bei SO_2 -haltigen Gasen, gefertigt. Es werden auch Überzüge vorgenommen. Die Gehäuse werden in Grauguß, Sphäroguß, Stahlguß, martensitischem Stahlguß und austenitischem Stahlguß gefertigt. Auch bei den Gehäusen sind einige Überzüge üblich.

Anwendung des Schraubenkompressors in Prozessen.

Es gibt Prozesse und Verfahren, in denen sich der Schraubenkompressor aufgrund seiner speziellen Eigenschaften und Vorteile gegenüber anderen Maschinensystemen einen festen Platz erobert hat.

Lassen Sie mich dazu einige typische Beispiele nennen.

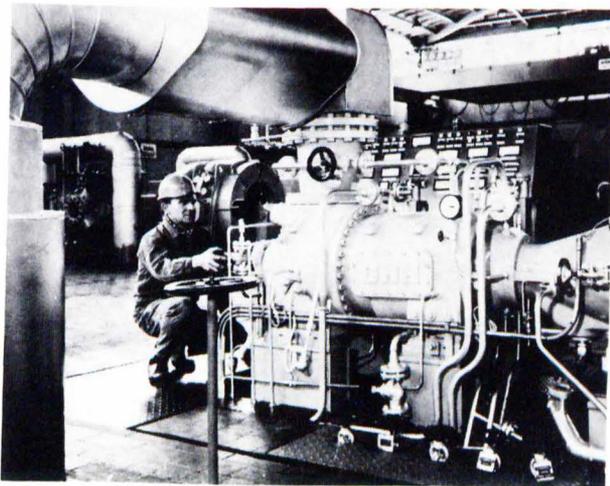


Bild 21

Das Bild 21 zeigt den Einsatz in einem großen Chemiewerk als Industriekältekompressor. Die Maschine verdichtet Ammoniak mit einem Eddruck um 20 bar eff. Die hermetische Dichtigkeit und vorallem die Stillstandsichtigkeit wird mit mechanischen Gleitringdichtungen erzielt. Der Schraubenkompressor wurde hier gewählt, da der Prozeß einen Kälteverstellbereich von 40 - 100 % erfordert. Dieses wird mit einem drehzahlregelbaren Antrieb (Dampfturbine) bei hervorragendem Teillastverhalten erreicht. Die Verfügbarkeit, die der Schraubenkompressor erreicht, kann mit einem Kolbenkompressor nur schwerlich erreicht werden. Es ist nur eine Maschine vorhanden, die zwischen den Revisionen 2 Jahre lang betrieben wird. Außerdem ist der Schraubenkompressor unempfindlich, wenn unverdampfte Ammoniaktröpfchen in die Saugseite eintreten.

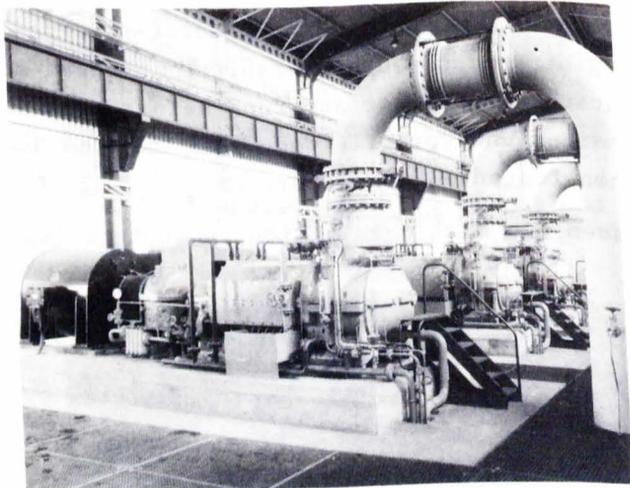


Bild 22

Das Bild 22 gilt als Beispiel für den Einsatz von Schraubenkompressoren bei leichten Gasen, als Vakuumpumpen und als Brüdendampfkompressor.

Der Turboverdichter ist eine Strömungsmaschine, die unmittelbar vom Gasgewicht beeinflusst wird.

Bei leichten Gasen sind pro Laufrad nur kleine Druckziffern erzielbar, so daß viele Laufräder und bei sehr leichten Gasen auch mehrere Gehäuse notwendig sind. Der Schraubenkompressor ist ein Volumenförderer, der die Charakteristik des Kolbenverdichters mit der mechanischen Laufruhe des Turboverdichters verbindet. Bei leichten Gasen hat sich der Schraubenkompressor einen festen Platz in den verschiedensten Prozessen erobert.

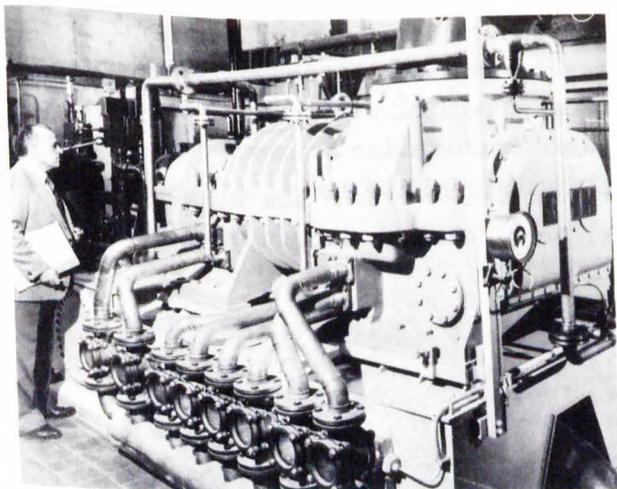


Bild 23

Das Bild 23 dokumentiert den Einsatz von Schraubenkompressoren bei staubigen Gasen. Der abgebildete Kompressor verdichtet Kalkofengas in einer Sodafabrik von 0,95 auf 4,5 bar abs. Es ist ein Regelbereich von 9000-24000 m³/h mit einem drehzahlregelbaren Antrieb (Dampfturbine) installiert. Die Maschine wurde Mitte 1980 in Betrieb genommen und bis heute (1984 September) noch nie zerlegt. Diese Verfügbarkeit wird mit keinem anderen Kompressorsystem in Sodafabriken erzielt. Es sind weltweit Kompressoren in Sodafabriken eingesetzt, die nachweislich 100000 Betriebsstunden mit dem Originalläufer und Originalgehäuse absolviert haben und es ist daher nicht verwunderlich, wenn bei neu erstellten Sodafabriken und bei der Erneuerung von Kompressoren fast nur noch Prozeßgas-schraubenkompressoren zum Einsatz kommen.

Es sind Staubgehalte bis zu 300 mg pro m^3 Gas vom Kompressor verarbeitbar. Die Unempfindlichkeit gegen Staub wird nicht nur durch die geringe Umfangsgeschwindigkeit erzielt, sondern auch durch die Einspritzung von großen Mengen Flüssigkeit direkt in den Kompressionsraum. Die Flüssigkeit überzieht alle Oberflächen mit einem Film, so daß der Staub mit den Oberflächen der Maschine nicht in Berührung kommt. Auch die Dichtungen dieses Kompressors sind mit Flüssigkeit beaufschlagt, so daß auch kein Staub die Dichtungen in der Funktion beeinflusst. Die Maschine ist stets sauber und kann problemlos gestoppt und gestartet werden. Das Gas wird nicht nur fast isotherm verdichtet, sondern auch teilweise gewaschen.

Diese Kompressorbauart ist hervorragend zum Einsatz bei Gichtgas, Röststoffgas, Karbidofengas und in Direktreduktionsanlagen geeignet.

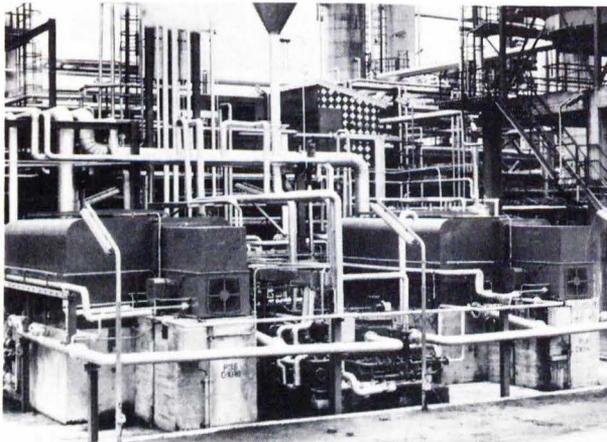


Bild 24

Das Bild zeigt den Einsatz von Schraubenkompressoren bei Gasen, die ständig die Gaszusammensetzung und damit das Molekulargewicht ändern. Das Bild zeigt Rohgasverdichter in einer bedeutenden Raffinerie. Diese Rohgase enthalten auch große Anteile von H_2S .

Noch extremer sind aber Molekulargewichtsänderungen beim Fackelgas. Dabei schleusen die unterschiedlichsten Betriebsabschnitte in einer Raffinerie oder in einer petrochemischen Anlage die verschiedensten Abfallgase in die Fackelleitung ein. Die Gaszusammensetzung schwankt von einem Extrem - große Anteile sehr leichter Gase - bis zum anderen Extrem - große Anteile schwerer Gase in Mischung mit inerten Gasen und großen Anteilen H_2S .

Seidem diese Fackelgase wegen der stattfindenden Umweltverschmutzung nicht mehr an der Fackel abgebrannt werden dürfen und verdichtet werden müssen, um umweltunschädlich im Kraftwerk (in einer Großfeuerungsanlage) beseitigt zu werden, werden trocken verdichtende Schraubenkompressoren ein- und mehrstufig aus CrNi-Stählen eingesetzt. Es sind Kompressoren für Molekulargewichtsschwankungen von 9 bis 44 kg/kmol realisiert. Da die Gasmengen ebenfalls schwanken, sind diese Kompressoren meistens mit drehzahlregelbaren Antrieben ausgestattet.

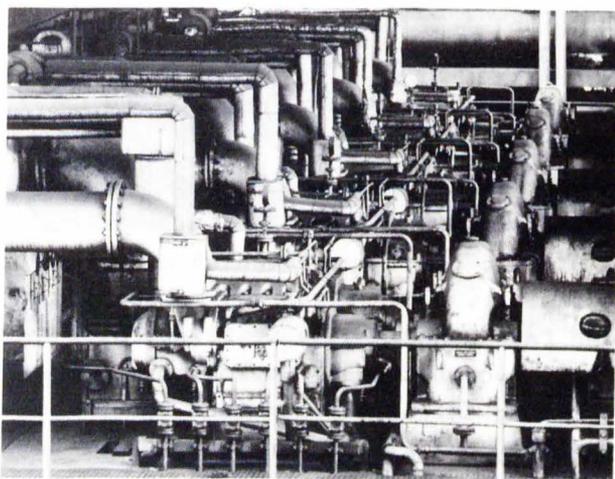


Bild 25

Das Bild 25 zeigt Kompressoren für Gase, die chemisch reagieren. Gase, die ohne Gegenwart von Sauerstoff zerfallen und darum während der Verdichtung nicht wesentlich erhitzt werden dürfen. Acetylen ist z.B. so ein Gas.

Ein bedeutender Chemiekonzern in Deutschland verwendet zur Verdichtung von Acetylenmischgas aus einem Reaktor 9 Prozeßgasschraubenkompressoren, die zur Verdichtung von 1 auf 11 bar abs. eingesetzt sind und zusätzlich 2 Schraubenkompressoren als Vakuumpumpen, die von 0,3 auf 1,3 bar abs. einstufig zur Extraktion des Acetylen aus Lösungsmitteln arbeiten.

Dieser Prozeß wurde in Lizenz weltweit nachgebaut und ist ohne fast isotherm verdichtende Schraubenkompressoren kaum realisierbar, denn aus dem Reaktor werden in manchen Betriebsphasen auch Ruß und Stäube mitgeführt.

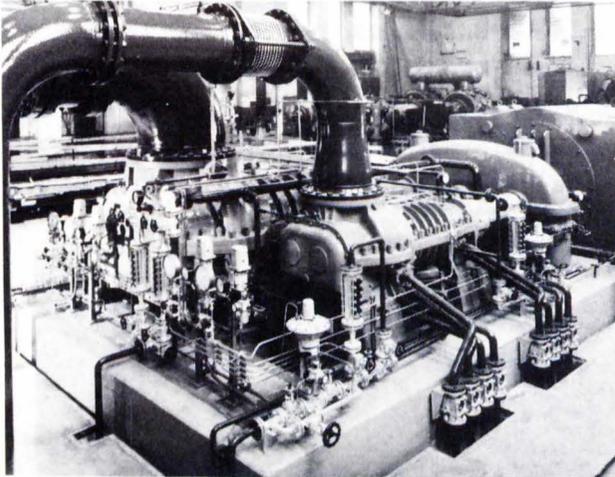


Bild 26

Das Bild 26 zeigt zum Abschluß einen Kompressor, der Gas komprimiert, welches zur Polymerisation neigt; im speziellen Fall Koksofengas. So bildet sich Gummi bei der Verdichtung von Butadien, Styrol im Styrene-Prozeß, Asphalt bei der Koksofengasverdichtung, aber auch alle Gase aus der Pyrolyse (Verschmelzung) sind hier angesprochen.

Alle diese Gase erfordern fast isotherm verdichtende Kompressoren mit Einführung von Flüssigkeiten zur Kühlung und zum Waschen. Es kann nur soviel Flüssigkeit eingespritzt werden, daß nur die Verdampfung bis zur Sättigung abgedeckt wird. Es ist aber auch bei entsprechender

Werkstoffauswahl möglich, große Flüssigkeitsmengen einzuspritzen, um zusätzlich einen Wascheffekt und Schutz gegen feste Stäube zu erhalten.

Der abgebildete zweistufige Koksofengaskompressor hat gerade 50000 h mit einer Verfügbarkeit von über 99 % absolviert.

Eine zweite, später installierte Maschine, 10000 h ebenfalls mit einer Verfügbarkeit von über 99 %. Dieses stellt nach meinem Wissen ein Novum in der Welt dar.

Jeder Kompressor verdichtet 33000 m³/h Koksofengas von 1 auf 11 bar abs.

Nachwort:

Allen Kreisen, die sich mit Schraubenkompressoren für die chemische und petrochemische Industrie zu beschäftigen haben, sei das Studium der PNEUROP 6608-1 empfohlen.

Titel: Schrauben und verwandte Kompressoren für die Verfahrensindustrie, Ausgabe 1981, technische Anforderungen. Die Empfehlung ist in den wichtigsten europäischen Sprachen erschienen und wird von allen europäischen Fachverbänden und von der Industrie anerkannt.

In englischer Sprache "Screw and Related Compressors für the Process Industrie", Code of Practice 5618-2.