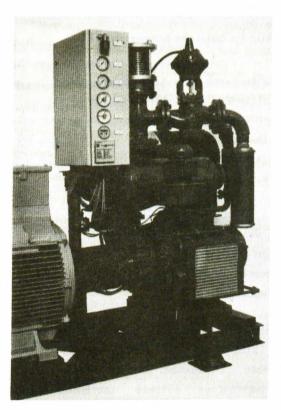
# Erweiterung der Einsatzgrenzen für einstufige ölfreie Schraubenverdichter auf 5 bar Überdruck

Dipl.-Ing. G. Seidel, Aerzen

## Zusammenfassung

Durch weitergehende Forschung und Entwicklung konnten die Einsatzgrenzen für ölfreie, einstufige Schraubenkompressoren auf 5 bar Überdruck erweitert werden. Voraussetzung hierfür war eine Anpassung an die gestiegenen Druckverhältnisse und eine Verbesserung des thermischen Verhaltens. Mit einer Wassereinspritzkühlung konnte die Endtemperatur auf 180 bis 220°C gesenkt und eine Wirkungsgradsteigerung erreicht werden.



**VDI** BERICHTE

## Einleitung und Einsatzmöglichkeiten

Vor drei Jahren wurden konstruktiv verbesserte, ölfrei fördernde Schraubenkompressoren vorgestellt, die 37er VM-Baureihe. Für einstufige, trocken komprimierende Maschinen wurde die maximale Druckbelastung von vormals 3 auf 3,5 bar angehoben. Diese Erweiterung konnte durch verbesserte Profile (Bild 1) und optimierte Kompressionsverhältnisse erreicht werden.

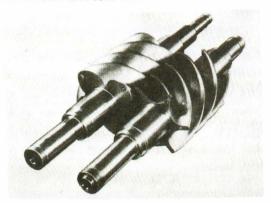


Bild 1 : Optimierte Schraubenprofile

Mit diesen Merkmalen haben sich Schraubenkompressoren in den letzten Jahrzehnten in folgenden Einsatzfällen bewährt:

- ° Pneumatischer Transport,
- ° Homogenisieren von Schüttgütern,
- Abwassertechnik,
- ° Glasindustrie,
- ° Papierindustrie,
- ° Eisfreihaltung von Seen und Hafenbecken,
- ° Regeneration von Gewässern,
- ° Gas-/Luft-Mischanlagen und
- ° Starten von Flugzeugtriebwerken.

Weitergehende Entwicklung und Forschung erlauben es, mit den 37er VM-Kompressoren (Bild 2) den maximal zulässigen Enddruck auf 5 bar Überdruck anzuheben. In diesem Bereich werden häufig Hubkolben-kompressoren, zweistufige ölfreie Schrauben- oder Drehzahn-

kompressoren oder öleingespritzte Schraubenkompressoren mit aufwendiger Filtertechnik eingesetzt.

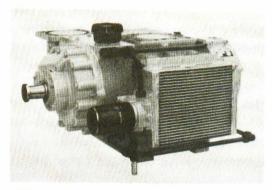


Bild 2 : Schraubenkompressor der 37er VM-Baureihe

Zu diesen Systemen gibt es jetzt eine Alternative durch die ölfreie, einstufige Schraube mit folgenden Merkmalen:

- einfache Bauweise, nur eine Kompressorstufe anstatt zwei, keine Trennung eines Öl-Luft-Gemisches erforderlich,
- ° günstiger Platzbedarf bezogen auf das Fördervolumen,
- ° ruhiger Lauf, keine oszillierenden Massenkräfte,
- ° geringer Verschleiß mit Wartungsinvervallen der Hauptkomponenten von über 20 000 h und
- ° völlig ölfreier Kompressionsvorgang

Mit dieser neuen Technik ergeben sich in den folgenden Industriezweigen weitere Anwendungsmöglichkeiten für Druckluft bis 5 bar Überdruck:

- ° Nahrungs- und Genußmittelindustrie,
- ° Pfopfenförderung in der Pneumatik,
- Niederdruck-Druckluftnetze,
- ° Getränkeindustrie,
- Pharmazie,
- Lebensmittelindustrie,
- ° Chemische und petrochemische Industrie,

- Kunststoffindustrie,
- · Brennereien und
- Kraftwerke

Im Unterdruckbetrieb konnten die Einsatzgrenzen für eine einstufige Verdichtung auf 0,1 bar Absolutdruck abgesenkt werden.

#### Volumenstrombereich

Im wesentlichen entspricht der Volumenstrombereich dem der VM-Kompressoren bis 3,5 bar Überdruck. Zur Auswahl stehen sechs Baugrößen mit Volumenströmen von 300 bis 8 000 m³/h (Tabelle 1)

Volumenstrom	Baugröße	
300 bis 500 m <sup>3</sup> /h	VM 037 i	
500 bis 950 m <sup>3</sup> /h	VM 137 i	
950 bis 1800 m <sup>3</sup> /h	VM 237 i	
1800 bis 3000 m <sup>3</sup> /h	VM 337 i	
3000 bis 4600 m <sup>3</sup> /h	VM 437 i	
4600 bis 8000 m3/h	VM 537 i	

Tabelle 1 : Volumenstrombereich der sechs Baugrößen

### Druckanhebung und Wirkungsgrad

Eine Begrenzung der bisherigen einstufigen Systeme war durch die maximal zulässige Endtemperatur in Abhängigkeit des Druckverhältnisses und der Ansaugtemperatur gegeben. Für eine Anhebung des Druckverhältnisses und des Enddruckes mußte demzufolge die Temperaturentwicklung verbessert werden. Erreicht wurde das durch eine geregelte Innenkühlung mit Kondensat oder Wasser entsprechender qualität.

Eine Temperaturabsenkung ähnlicher Ausführung ist bei "trocken" verdichtenden Schraubenmaschinen seit Jahrzehnten bekannt.

Dabei wurde Wasser oder eine zum Prozeß passende Spülflüssigkeit in den Ansaugstrom gedüst und entsprechend geregelt.

Hierzu sind Maschinen mit einer Förderrichtung von oben nach unten, speziellen Rotorenwerkstoffen und Dichtungsausführungen für maximal mögliche Flüssigkeitsmengen erforderlich.

Die Verdichtungsendtemperatur kann dabei beliebig eingeregelt werden. Zum Teil wird mit Mischkühlung und hohen Flüssigkeitsanteilen gefahren.

Der Nachteil bei einer Wassereinspritzung auf der Saugseite ist der, daß die Temperatur der angesaugten Luft erhöht werden kann, wenn das Temperaturniveau des Einspritzwassers über der Temperatur des angesaugten Mediums liegt. Dadurch würde der Ansaugvolumenstrom verringert.

Die Ansaugvolumenverringerung durch das Einspritzwasser ist kleiner 1%.

Schraubenmaschinen mit den vorherigen Merkmalen entsprechen den Prozeßgasschrauben mit dem dazugehörigen Preis und scheiden deshalb aus Kostengründen für viele Anwendungsmöglichkeiten aus.

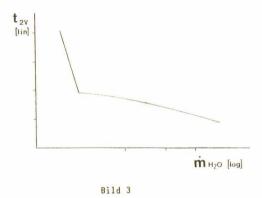
An dieser Stelle begann die "Neue Technik" mit den drei Hauptforderungen des ursprünglichen Lastenheftes:

- 1.) Ülfreie Verdichtung
- 2.) Minimalaufwand und -kosten
- 3.) Serienmaschinen einsetzen

Zur Erfüllung dieser Aufgaben wurde bewußt auf eine maximal mögliche Absenkung der Endtemperatur verzichtet, um die Punkte 2.) und 3.) zu erfüllen.

Aus Bild 3 ist ersichtlich, daß hierzu eine reine Verdampfungskühlung mit geringen Wassermassen ausreichend ist.

Für einen bestmöglichen Wirkungsgrad sind diese Bedingungen nicht ideal. Dazu wären möglichst niedrige Endtemperaturen in Richtung einer isothermen Verdichtung anzustreben.



Einen betriebssicheren und gleichzeitig preislich wettbewerbsfähigen Verdichter in dieser idealen Ausführung gibt es zur Zeit jedoch nicht auf dem Markt.

Die Forderungen nach Betriebssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit bis zu einem Druck von 5 bar Überdruck sind jedoch mit einem Einspritzsystem möglich geworden, bei dem normale Serienmaschinen verwendet werden.

Das Verhältnis der zugeführten Einspritzmenge zum Ansaugvolumenstrom ist in Bild 4 zu sehen.

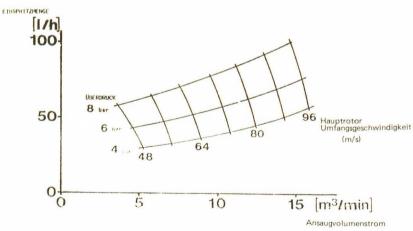


Bild 4 : Kennfeld der Wassereinspritzmenge

Auf die entwickelten Einspritz- und Regelsysteme soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden. Einen Teil des Einspritzsystems zeigt das Bild 5.

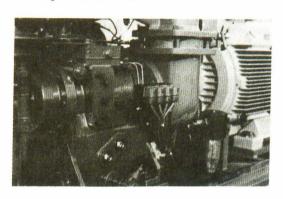


Bild 5 : Teil des Einspritzsystems für die geregelte Innenkühlung

Ein Vergleich dieses einstufigen innengekühlten Systems mit anderen ölfreien Systemen kann am anschaulichsten in einem p,v-Diagramm (Bild 6) vorgenommen werden. Es sind deshalb drei Vergleichsprozesse bei atmosphärischer Ansaugung mit p $_1$ =1 bar absolut und 20 °C dargestellt:

## a: ölfrei, einstufig, trocken

Bei einer trockenen Kompression mit einem Schraubenkompressor auf 6 bar absolut beträgt bei einer Endtemperatur von 320°C das Volumen 34 Prozent. Dieser Prozeß benötigt die größte Fläche unter der Kurve und entspricht dem schlechtesten Wirkungsgrad. Gehäuse und Rotorenmaterial werden der höchsten Belastung ausgesetzt. Maschinen dieser Art sind aus Japan bekannt.

## b: ölfrei, zweistufig, trocken

Bei einer zweistufigen Kompression mit einem Zwischendruck von 2,5 bar wird bei einer Luft-Luft-Zwischenkühlung auf 40°C ein Wirkungsgrad erreicht, der noch über dem der innengekühlten Anlage liegt. Dieser Vorteil wiegt aber bei weitem nicht die höheren Investitionskosten für eine zweite Kompressorstufe auf.

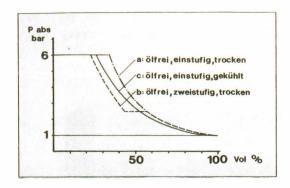


Bild 6 : p,v-Diagramm verschiedener Prozesse

### c: ölfrei, einstufig, innengekühlt

Die vergleichbare Kompression auf 6 bar geschieht bei diesem System mit einer Wassereinspritzkühlung auf 180 bis 220°C. Der Vorteil dieser Temperaturen liegt in der völligen Kondensatfreiheit während des Kompressionsprozesses und der Verwendung von normalen Gehäuseund Dichtungsbauteilen. Ein weiterer Vorteil ist mit der Keimfreihaltung von wieder zurückgewonnenem Einspritzwasser gegeben. Es sind andere Systeme mit wesentlich niedrigeren Temperaturen bekannt, in denen sich nach einer gewissen Zeit Bakterienkolonien bilden. Der Wirkungsgrad dieses Systems ist infolge der Innenkühlung besser als der einer rein trockenen Kompression.

### Aufwand und Wirtschaftlichkeit

Die zur Innenkühlung benötigte Wassermenge ist relativ gering, da mit Verdampfungskühlung und nicht mit Mischkühlung gearbeitet wird. Zudem beträgt die abzukühlende Temperaturdifferenz bei 5 bar Überdruck nur 140°C. Diese geringen Wassermengen können in Kraftwerken oder Betrieben, in denen Kesselspeisewasser ohnehin vorhanden ist, ständig zugesetzt werden, wenn in dem nachfolgenden Prozeß kein Kondensatausfall auftritt oder wenn dieser in Kauf genommen werden kann.

In diesem Fall ist lediglich eine normale trockene Anlage mit einer temperaturgesteuerten Einspritzanlage zu ergänzen. In anderen Fällen wird mit einem Nachkühler das eingespritzte Wasser kondensiert, über einen Abscheider einem Vorratsbehälter zugeführt und erneut

eingespritzt. Liegt die Austrittstemperatur der Luft über der Ansaugtemperatur des Kompressors, dann ist von Zeit zu Zeit die Verlustmenge an Wasser zu ergänzen.

Ideale Einsatzbedingungen für das neue System sind mit einem nachgeschalteten Kältetrockner gegeben, d.h. vom Schraubenkompressor mit Einspritzvorrichtung gelangt die Luft über einen Nachkühler in den Kältetrockner und wird auf einen Taupunkt unter der Ansaugtemperatur des Kompressors zurückgekühlt. Damit steht Wasser im Überschuß für die Einspritzung zur Verfügung.

Mit dem neuen System sind günstige Investitionskosten bei geringfügig schlechterem Wirkungsgrad im Vergleich mit zweistufigen Systemen möglich geworden. In Abhängigkeit der jährlichen Betriebsstunden ist eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchzuführen. Je geringer die jährlichen Betriebsstundenzahlen sind, um so stärker fallen Unterschiede bei den Investitionskosten ins Gewicht.

### Betriebssicherheit und Verfügbarkeit

Ölfreie, einstufige Schraubenkompressoren haben sich in den letzten Jahrzehnten bewährt. Bei der Weiterentwicklung der Baureihe wurde aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen eine noch stabilere und stärkere Maschine (Bild 7) konzipiert. Bereits ausgeführte einstufige, ölfreie, innengekühlte Pilot-Anlagen bis 7 bar Überdruck geben die Gewißheit für die richtige Konzeption der Serienausführung mit 5 bar Überdruck. Unabhängig vom System ist ein einstufiges Aggregat sicherer als ein zweistufiges. Bauteile, die nicht vorhanden sind, können nicht ausfallen.



Bild 7 : Ölfreies einstufiges Kompaktaggregat

**VIDI** BERICHTE

Ein sicherheitstechnischer Vorteil des neuen Systems liegt in der ölfreien Kompression. Aufwendige Sicherheitssysteme und nachgeschaltete Filtersysteme sind nicht notwendig. Entzündungen, Verpuffungen und Brände sind ausgeschlossen. Ebenso ist kein konstanter Verlust von Restöl in der Druckluft möglich.

#### Ausblick

Vielleicht entwickelt sich die beschriebene Technik in den nächsten Jahrzehnten auf jenes Niveau, auf das sich in den zurückliegenden Jahrzehnten der Schraubenkompressor mit Öleinspritzung emporgearbeitet hat.