

## Der Ein-Schrauben-Kompressor (Hallscrew) im Einsatz für ölfreie Verdichtung von Kältemittel-Dämpfen

Dr. K. M. Pohl VDI, Stuttgart

### Zusammenfassung:

Ein-Schrauben-Kompressoren sind wegen ihrer speziellen Konstruktionsprinzipien möglicherweise besser als andere Maschinen für ölfreie Verdichtung geeignet. Aus der erfolgreichen Entwicklung von ölfreie Ein-Schrauben-Kompressoren resultierten bisher u.a. Serien von R 22-Kältemittelsätzen mit weitem Anwendungsbereich. Isentrope und volumetrische Wirkungsgrade werden für Druckverhältnisse bis etwa 2 bis 3 durch den praktischen Fortfall der Ölschmierung nicht verändert. Ölfreie Aggregate bedürfen keiner Ölseparatoren und benötigen weniger Platz; mehrstufige Anlagen mit reduziertem Energiebedarf können in der Zukunft wirtschaftlich gebaut werden. Eine grosse Anzahl ölfreier Hallschrauben befindet sich inzwischen im Einsatz. Die Betriebserfahrungen aus vielen tausend Betriebsstunden sind gut.

### Summary:

Single screw-compressors appear to have better potential than other machines to operate in oil reduced mode because of their special design. The successful development of oilreduced compressors has until now also resulted in serials of R 22 based water chillers with wide application ranges. The elimination of oil lubrication has not affected the isentropic and volumetric efficiencies for compression ratios up to approx. 2 to 3. As oil reduced sets do not need separators but require less space, multistage plants with reduced power demands can economically be built in the future. A larger number

of oilreduced HallScrews is meanwhile in operation. Operation experiece collected during many thousands of running hours is good.

-----

Über die ölgeschmierte und ölgedichtete HallSchraube, einen Vertreter der Ein-Schrauben-Kompressoren ist auf der Schraubenmaschinen-Tagung des VDI im Jahre 1984 schon berichtet worden. Da angenommen wird, dass dieser Schraubenkompressor-Typ für ölfreie oder streng genommen ölreduzierte Betriebsweise besonders geeignet ist, sollen (lediglich) im Sinne des vorliegenden Berichtes relevante Besonderheiten nochmals herausgestellt werden.

- Kompression der Kältemittelgase/Dämpfe zwischen den Rotorgängen und den Zähnen zweier Sternräder;
- Rotor-achsialer Kräfteausgleich im Rotor selbst und orthogonal dazu durch das um 180° versetzte Sternradpaar; infolgedessen Belastung der Hauptrotorlager praktisch nur durch das Rotorgewicht;
- Unkonventionelle, reibungsgünstige Werkstoffpaarung Kunststoff/Grauguss für Sternradzähne und Rotor; infolgedessen gute Gleiteigenschaften zwischen diesen beiden bzw. drei Elementen;
- Möglichkeit der internen Kühlung durch Einspritzen von flüssigem Kältemittel in die Rotorgänge; gute Bewährung in der Praxis;
- Einteilige Gehäuseausführung und dadurch Möglichkeit zur Einhaltung genauer und knapper Spalttoleranzen zwischen den sich relativ zueinander bewegenden Elementen Gehäusebohrung, Rotor, Sternräder und Dichtflächen;

Anstelle weiteren Kommentars wird auf den Bericht anlässlich der vorigen VDI-Tagung verwiesen /1/.

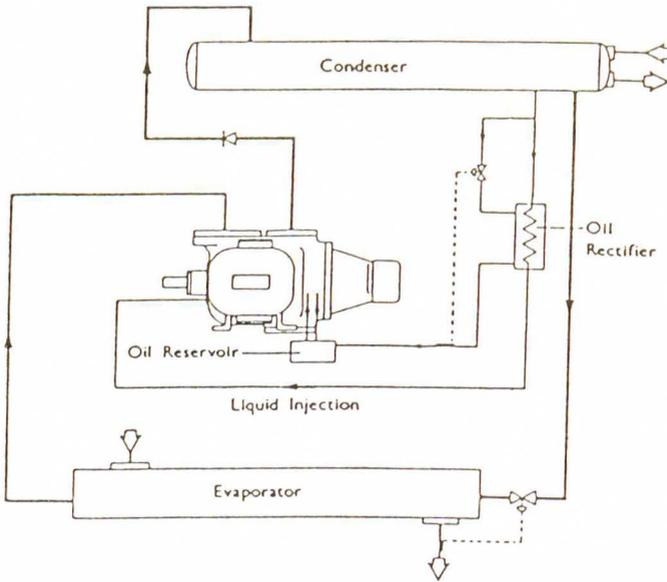
Nachdem es erfolgreich gelungen war, von den drei Funktionen des Öls im Schraubenkompressor, der Schmierung, der Dichtung und der Kühlung die letzte durch Flüssig-

Kältemittel-Einspritzung zu ersetzen, lag der Versuch nahe, auch die Schmierung mit flüssigem Kältemittel durchzuführen und die Übernahme der Dichtfunktion durch konstruktive Massnahmen anzugehen.

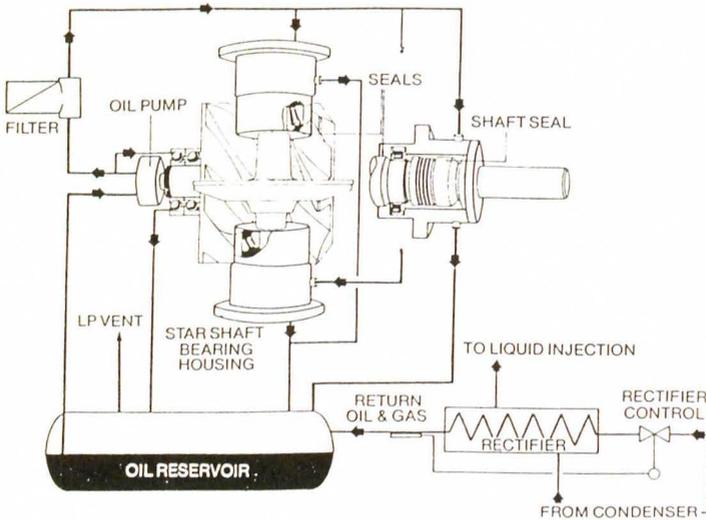
Der schliesslich erfolgreichen Entwicklung des ölreduzierten Prinzips schlossen sich jahrelange Erprobungen, auch im industriellen Einsatz an. Heute ist ein so sicherer Stand erreicht, dass innerhalb der derzeit technischen Anwendungsgrenzen Kompressorsätze mit gutem Erfolg in Serie produziert werden. Besonderheiten des ölreduzierten Prinzips gehen aus den Diagrammen Abb. 1 und 2 hervor.

Ohne auf die Entwicklungsschritte einzugehen, soll im folgenden über den erreichten Stand kurz berichtet und auf die erreichbaren Möglichkeiten hingewiesen werden.

Die entsprechenden HallSchrauben-Kompressoren werden der besonderen Korrektheit wegen nicht als ölfrei, sondern als ölreduziert bezeichnet. Ölreduziert heisst, dass mit Absicht nur die zwei Hauptrotorlager und die vier Sternradlager mit Kältemaschinenöl geschmiert werden. Dabei werden die Lager durch handelsübliche Lagerdichtungen gegenüber dem kältemittel-führenden Innengehäuse abgedichtet, durch die ungewollt Spuren von Öl in das Kältemittel gelangen können und tatsächlich auch gelangen. Da die ölreduzierten HallSchrauben-Kompressoren derzeit im wesentlichen in sogenannten Kaltwassersätzen verwendet werden, ist es wegen deren Kompaktheit relativ einfach, die geringen Öllackagen durch Ausdampfen aus einem Kältemittel-Teilstrom zwischen Kondensator und Verdampfer unter Wärmezufuhr aus dem flüssigen Kältemittel-Reststrom in den Lager-Ölkreis zurückzuführen. Es ist denkbar, dass diese Ölsuren eine Schmierwirkung haben, die aber nicht beträchtlich ist und deren Ausfall das Prinzip nicht beeinträchtigen würde.



**Bild 1** Schema des Kältemittel-Umlaufs



**Bild 2** Schema des Schmieröl-Umlaufs

Für die Realisierung des ölreduzierten Prinzips ist es wichtig, die optimale Einspritzstelle für das flüssige Kältemittel aufzufinden und auszubilden. Hier lag der wesentliche Teil der nunmehr abgeschlossenen Entwicklung. Das Ergebnis ist überraschend gut. Sowohl der volumetrische als auch der isentrope Wirkungsgrad ölreduzierter HallSchrauben-Kompressoren sind gleich gut wie die der ölgeschmierten Ausführungen mit interner Einspritzkühlung, allerdings mit der Einschränkung eines Kompressions-Druckverhältnisses von etwa 2 bis 3. Trotz dieser Einschränkung gibt es besondere Einsatzchancen, auf die weiter unten noch eingegangen wird.

Die Tatsache, dass beide Wirkungsgrade trotz der ausschliesslichen Einspritzung von flüssigem Kältemittel in den umrissenen Grenzen unverändert bleiben, findet ihre Erklärung darin, dass mehr Kältemittel als in ölgeschmierte Maschinen eingespritzt wird und die Verdichtung entlang oder in der Nähe der Sättigungslinie verläuft. Bei der so verbesserten Kühlung können die Spalttoleranzen kleiner gehalten werden. Selbst ein Über-Einspritzen wäre unbedenklich, da der zusätzliche Energieaufwand vernachlässigbar ist. Bei ölgeschmierten Aggregaten mit Einspritzkühlung könnten sich hingegen erhebliche Schwierigkeiten im Ölabscheider ergeben.

Aus den Ergebnissen der Entwicklung heraus wurden Kompressoren der üblichen Leistungen und eine Reihe von Kaltwassersätzen auf der Basis von drei Kompressortypen mit Rotordurchmessern von 180, 200 und 220 mm entwickelt, die für R 22 als Kältemittel Kaltwasser-Austrittstemperaturen von 5 bis 11 C und Kälteleistungen zwischen 229 und 680 kW bei Wasser-Austrittstemperaturen am Kondensator zwischen 22 und 36 C und Antriebsleistungen zwischen 57 und 159 kW erbringen. Durch die für Schraubenkompressoren bekannte Rückströmregelung können bei konstanten Volumenverhältnissen energetisch optimal die Kälte-

leistungen auf 20% der vorstehenden Zahlen reduziert werden, wobei sich die Antriebsleistungen zwar nicht proportional, aber wie bei ölgeschmierten Kompressoren, entsprechend verringern.

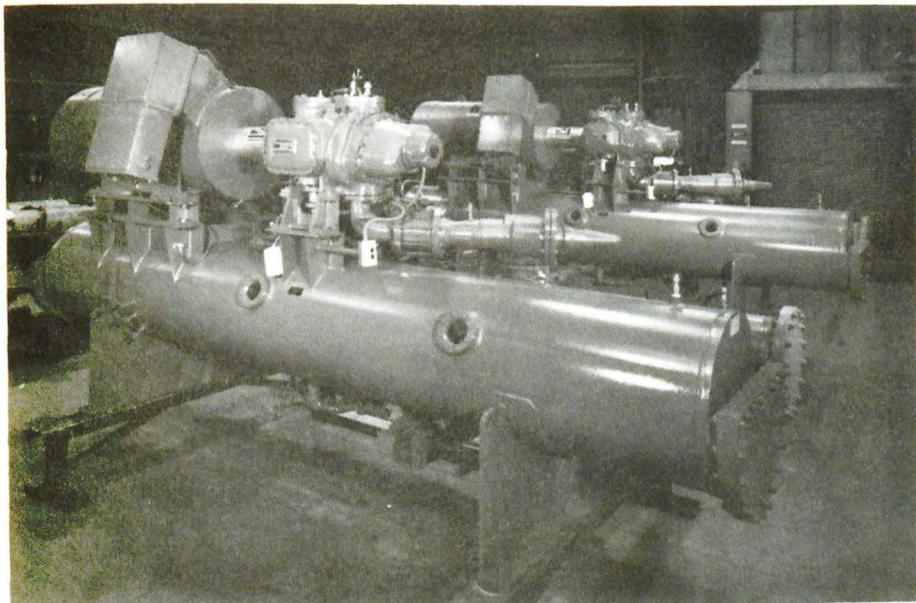
Das flüssig eingespritzte Kältemittel wird unter Kondensatordruck zugeführt. Hierzu bedarf es keiner Pumpe. Das Öl wird aus einem kleinen Reservoir mit einer von der Hauptrotorwelle angetriebenen, innenliegenden Pumpe an die Lagerstellen gefördert. Diese Pumpe ist klein und ihre Antriebsleistung vernachlässigbar.

Nun wäre Ölfreiheit oder genauer gesagt Ölreduktion, um namensgleich zu bleiben, nicht ein Vorteil an sich. Aber reduzierter Öleinsatz bedeutet

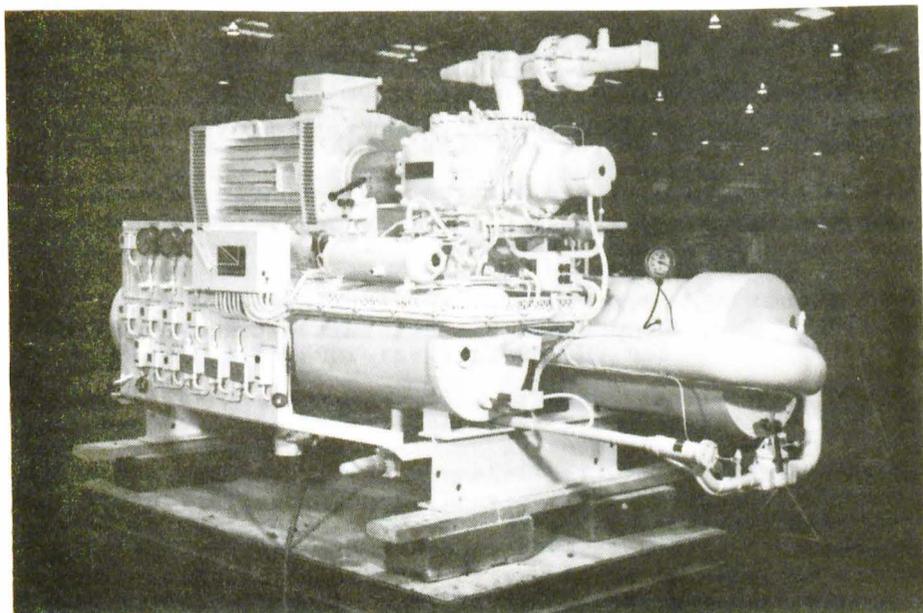
- eine praktische Elimination von Ölkosten;
- die Elimination des Ölabscheiders und damit verringerte Aggregatekosten;
- einen verringerten Platzbedarf für Verdichteraggregate.

Die beiden zuletzt genannten Vorteile relativieren die Bedeutung der von den Wirkungsgraden (noch) gesetzten Grenzen für die wirtschaftlichen Druckverhältnisse. Anlagen für höhere erforderliche Druckverhältnisse können mehrstufig ausgeführt werden und haben dann eine verbesserte Gesamtwirtschaftlichkeit.

Die guten Schalldämmeigenschaften der HallSchraube bleiben trotz fehlender Ölschmierung auch ohne zusätzliche Isoliermassnahmen erhalten. Die Abwesenheit der Ölabscheider wirkt sich eher günstig aus. Im übrigen wird auch in diesem Zusammenhang auf den Bericht der vorigen einschlägigen VDI-Tagung verwiesen. Der geringere Ölverbrauch und die Abwesenheit des Ölabscheiders eliminieren zwei Nachteile, die Schraubenkompressoren gegenüber Kolbenkompressoren haben.



**Bild 3** HS 28 Kompressor-Kaltwassersatz;  
überfluteter Verdampfer; Q/P= 1107 kW/282 kW  
5 C Kaltwasser/ 30 C Kühlwasser



**Bild 4** HS 22 Kompressor-Kaltwassersatz;  
Verdampfer mit Trockenexpansion; Q/P= 523 kW/136 kW;  
5 C Kaltwasser/ 30 C Kühlwasser

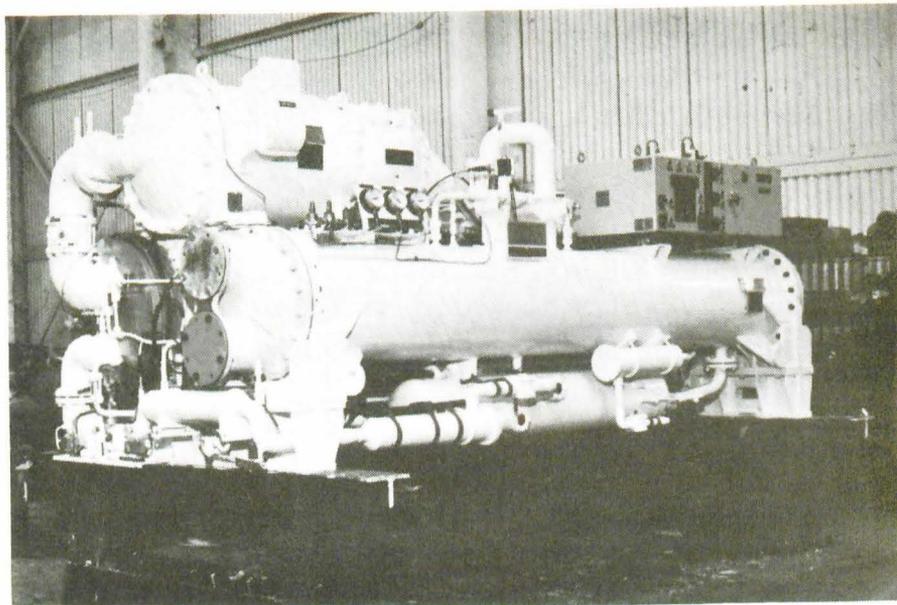


Bild 5      HS 255 Kompressor-Kaltwassersatz;  
Sonderkonstruktion für die Royal Navy in  
halbhermetischer Ausführung

Derzeit liegen über industriellen Einsatz Erfahrungen mit etwa 40 Maschinen bei einer Gesamt-Laufzeit von über 20 000 Betriebsstunden vor. Die Beurteilung ist positiv.

Die Abbildungen 3, 4 und 5 zeigen ausgeführte Anlagen, von denen eine halbhermetisch ist.

Schrifttum: /1/ Dr.K.M.Pohl, Der Einrotor-Schraubenkompressor als Kältemitteldampf-Verdichter VDI-Bericht 521/1984; VDI-Verlag.