

# Anwendung von sauggasgekühlten und direktansaugenden luftgekühlten halbhermetischen Verdichtern

Stephan Engelking, Frickenhausen

Die seit 1994 produzierten halbhermetischen Verdichter von Bock, die Baureihen HA und HG, wurden unter speziellen Gesichtspunkten entwickelt. Im Vordergrund stand die zur Schonung der Ozonschicht und zur Reduzierung der Emission von Treibhausgasen erforderliche Verminderung von Kältemittelleckagen. Daher war die Hermetisierung der wichtigste Aspekt.

Heute steht neben der Verminderung von Leckagen der Energieverbrauch im Vordergrund. Zur Erfüllung des Kyoto-Protokolls, in dem sich die Unterzeichnerstaaten verpflichten die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren, ist der Einsatz energetisch optimierter Verdichter wesentlich.

Bock sei dank, wurde bereits bei der Entwicklung der halbhermetischen Bock-Verdichter HA und HG auch eine energetische Optimierung durchgeführt. Diese Optimierung ist der wesentliche Grund dafür, daß zwei Baureihen, eine für tiefe Temperaturen (Baureihe HA: Hermetic

Air-cooled, Bild 1) und eine für höhere Temperaturen (Baureihe HG: Hermetic Gas-cooled, Bild 2) entwickelt wurde.

Neben diesen Aspekten wurden auch eine optimale Laufruhe, geringe Druckgaspulsationen und nicht zuletzt auch eine Preisoptimierung verwirklicht. Gut fünf Jahre nach Einführung der halbhermetischen Verdichter von Bock stehen heute Verdichter in allen Baugrößen, angefangen von 13,5 m<sup>3</sup>/h (Baureihe HA3, HG3: 2-Zylinder-Verdichter) bis 122,7 m<sup>3</sup>/h (Baureihe HA6, HG6: 4-Zylinder-Verdichter) zur Verfügung. Im nächsten Jahr wird die Produktpalette nach oben erweitert. Mit der neuen Baureihe 7 werden dann bis zu



Bild 1 Direktansaugender luftgekühlter halbhermetischer Verdichter HA5 von Bock



## zum Autor

Dr. Stephan Engelking,  
Bereich Verdichter-Entwicklung in der Bock-Kältemaschinenfabrik Frickenhausen



185 m<sup>3</sup>/h erreicht. Der gesamte Bereich ist zur Zeit in 16 Leistungsstufen aufgeteilt, was für den Kunden eine sehr gute Stafelung bedeutet. Mit der Produktpalette lassen sich alle üblichen Anwendungen abdecken. Insgesamt kann heute auf Erfahrung zurückgegriffen werden, die belegt, daß das Konzept zwei verschiedene halbhermetische Verdichter zu entwickeln richtig war. Das wichtigste Argument dafür ist die Möglichkeit zu bieten, energetisch optimierte Varianten für tiefe und für höhere Temperaturen zur Verfügung zu stellen. Energetische Optimierung bedeutet dabei einerseits die Minimierung von Verlusten und andererseits die Auswahl des richtigen Prinzips.

Bild 2 Sauggasgekühlter halbhermetischer Verdichter HG5 von Bock

## Minimierung von Verlusten

Zur Minimierung von Verlusten wurden bei Bock u. a. folgende Punkte bei der Entwicklung berücksichtigt:

- Reibung reduzieren: Durch den Wegfall der Wellendichtung und die Verwendung von verbesserten Gleitlagern ist die Reibung minimal. Bei Versuchen mit verschiedenen Gleitlagern hat sich ergeben, daß hinsichtlich der Antriebs- und Kälteleistung kaum Auswirkungen bestehen. Mit Hilfe von Dauerlaufversuchen konnte erreicht werden, daß die Betriebssicherheit und die Lebensdauer erhöht wurde.
- Liefergrad erhöhen: Eine Verminderung des Schadraums hätte einen größeren Massenstrom und damit mehr Kälte- und mehr Antriebsleistung zur Folge. Insgesamt ergäbe sich eine leichte Verbesserung in der Kälteleistungszahl. Nachteilig ist eine geringere Betriebssicherheit. Bei Flüssigkeitsschlägen ist beispielsweise die Gefahr, daß Ventillamellen brechen größer, wenn der Schadraum kleiner ist. Eine Optimierung dahingehend, daß beide Forderungen, hohe Betriebssicherheit und maximale Leistung, erreicht werden, wurde experimentell durchgeführt.
- Druckverluste reduzieren: Das Ventilsystem, die Saug- und Druckgasführung sowie Querschnittsflächen am Ein- und Austritt wurden so gewählt, daß die Druckverluste gering sind.
- Ölpumpe: Die Ölpumpe darf nur so viel Energie verbrauchen wie erforderlich ist, um eine ausreichende Schmierung der Lagerstellen zu gewährleisten. Wegen der geforderten hohen Betriebssicherheit wurde hier ein Sicherheitsfaktor berücksichtigt, wodurch die Ölpumpe grundsätzlich überdimensioniert ist.
- Integrierter Lüfter beim HA-Verdichter: Eine minimale Lüfterleistung, die zur Motorkühlung ausreicht, ist vorzusehen. Da die notwendige Lüfterleistung vom Betriebspunkt abhängt, ergeben sich auch Auswirkungen auf den Einsatzbereich. Durch die Wahl einer möglichst geringen Lüfterleistung haben wir den Einsatzbereich zwar bei hohen Temperaturen eingeschränkt, bei niedrigen Temperaturen

aber energetische Vorteile erreicht. Hier beträgt der Anteil der Lüfterleistung an der gesamten Leistungsaufnahme nämlich nur 4 %.

Zu allen genannten Punkten wurden während der Entwicklung sowohl experimentelle wie auch theoretische Untersuchungen durchgeführt. Zusammen mit der langjährigen Erfahrung im Verdichterbau wurde kompromißlos das Optimum hinsichtlich Leistung und Betriebssicherheit angestrebt.

## Auswahl des richtigen Prinzips

Im Hinblick auf die Auswahl des richtigen Prinzips ist zu beachten, daß mit steigender Sauggastemperatur die Kälteleistung abnimmt. Hier bietet Bock die Auswahl zwischen direktansaugenden Verdichtern (HA) vgl. Bild 3, wo praktisch keine Saug-



Bild 3 Schnittbild HA5-Verdichter. Das Sauggas gelangt über das Saugabsperrentil direkt in den Verdichter. Die Motorkühlung erfolgt über den Lüfter

gasaufheizung auftritt (Einsatz bei tiefen Temperaturen), und klassischen sauggasgekühlten Verdichtern (HG) vgl. Bild 4, in denen das Sauggas zur Motorkühlung verwendet wird (Einsatz bei hohen Temperaturen). Die Einschränkungen bei beiden Varianten sind einerseits die notwendige



Bild 4 Schnittbild HG5-Verdichter. Das Sauggas wird durch das Motorgehäuse geführt

Kühlleistung aufzubringen, und andererseits die Sauggasaufheizung so gering wie möglich zu halten.

Zur Verdeutlichung ist in Bild 5 die Verlustleistung eines Antriebsmotors für halbermetische Verdichter als Funktion der Verdampfungstemperatur dargestellt. Als Grundlage wurde hier ein Bock HA-Verdichter mit R 404A gewählt, Parameter ist die Kondensationstemperatur.

Bei niedrigen Verdampfungstemperaturen nähern sich alle Linien einem Endwert, der die Leerlaufleistung darstellt. Für diesen Motor liegt diese bei etwa 600 W. Mit steigender Verdampfungstemperatur nimmt die Leistung erheblich zu.

Beim luftgekühlten HA-Verdichter kann über die Gehäuseoberfläche etwa 1,3 kW Verlustleistung an die Umgebung abgeführt werden. Daher ist der Einsatzbereich bei hohen Verdampfungstemperaturen eingeschränkt. Bei  $t_c = 40^\circ\text{C}$  ergibt sich eine maximal zulässige Verdampfungstemperatur von  $-15^\circ\text{C}$ . Bei niedrigen Verdampfungstemperaturen ist zu erkennen, daß die durch die Lüftung installierte Kühlleistung von 1,3 kW deutlich höher ist, als die zur Motorkühlung erforderliche. Dadurch ergibt sich der positive Effekt, daß die Kühlleistung effektiv zur Kühlung der Zylinderköpfe verwendet werden kann. Das bedeutet eine geringe Verdichtungsendtemperatur auch bei sehr hohen Druckverhältnissen. Experimente hierzu belegen, daß z. B. bei R 22 mit abnehmender Verdampfungstemperatur auch die Verdichtungsendtemperatur abnimmt, was die Effektivität der Kühlung unter Beweis stellt. Die maximale Verdichtungsendtemperatur, gemessen am Druckgasstutzen, liegt bei R 22 für  $40^\circ\text{C}$  Kondensation bei  $130^\circ\text{C}$ . Das Maximum tritt bei etwa  $-30^\circ\text{C}$  Verdampfung auf, d. h. bei steigender und bei fallender Verdampfungstemperatur verringert sich die Verdichtungsendtemperatur.

Bild 5 Verlustleistung eines Antriebsmotors für halbhermetische Verdichter als Funktion der Verdampfungs- und Kondensationstemperatur

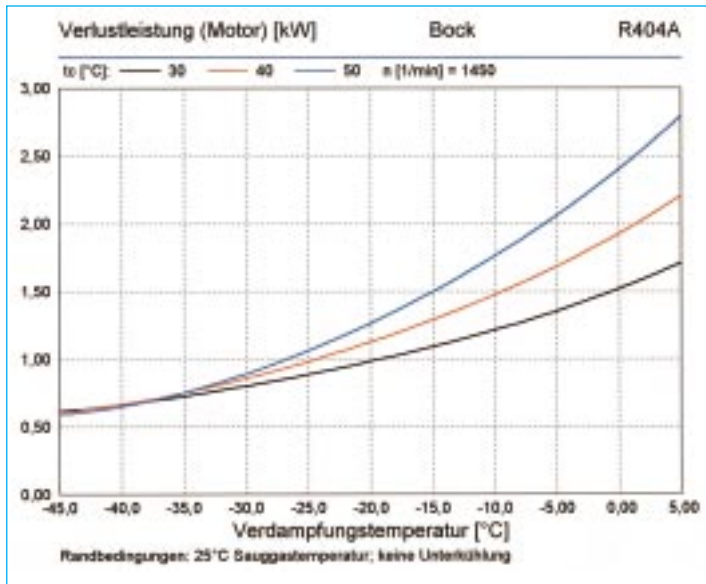
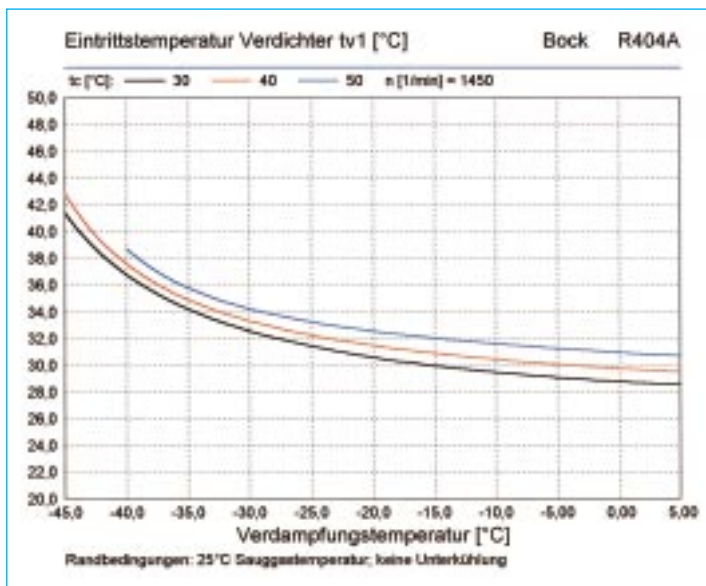


Bild 6 Temperatur am Eintritt in den Verdichter als Funktion von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur



Beim sauggasgekühlten HG-Verdichter, für den der gleiche Antriebsmotor verwendet wird, muß die Verlustleistung des Antriebsmotors über das Sauggas abgeführt werden. Das bedeutet zwangsläufig eine Erwärmung des Sauggases. Damit wird gleichzeitig die Sauggasdichte geringer, der Kältemittelmassenstrom verringert sich und die Kälteleistung ist entsprechend kleiner. Am Beispiel des HG-Verdichters sei hier der Unterschied zu dem oben beschriebenen direktansaugenden Verdichter erläutert. Für die Verlustleistung ergibt sich ein sehr ähnlicher Zusammenhang wie in Bild 5 gezeigt. Sie ist unwesentlich geringer als dargestellt, was

daran liegt, daß die Antriebsleistung bei gleichen Randbedingungen wegen der geringeren Sauggasdichte etwas niedriger ist. In Bild 6 ist die tatsächliche Temperatur am Eintritt in den Verdichter als Funktion der Verdampfungstemperatur dargestellt.

Bei hoher Verdampfungstemperatur erwärmt sich das Sauggas je nach Kondensationstemperatur um etwa 5 K. Obwohl bei abnehmender Verdampfungstemperatur die Motor-Verlustleistung sinkt, ergibt sich wegen des gleichzeitig abnehmenden Kältemittelmassenstroms eine deutlich stärkere Sauggasaufheizung. Hohe Sauggastemperaturen bedeuten wegen der geringeren Sauggasdichte weniger Kälteleistung. Daher ist eine geeignete Sauggasführung im Motorraum konstruktiv so vorzusehen, daß die Verlustleistung gerade noch über das Sauggas abgefahren werden kann. Damit wird die geringstmögliche Sauggasaufheizung und die geringstmögliche Leistungsabnahme erreicht. Beim Bock HG-Verdichter tritt das Sauggas an der Motorseite in das Gehäuse ein und strömt am Motor vorbei in den Verdichter. Konstruktiv wurde auf eine gleichmäßige Sauggasverteilung geachtet. Zusätzlich wurde die Oberfläche, an der das Sauggas vorbeiströmt, so gestaltet, daß die Kühlung ausreicht und die Sauggasaufheizung gering bleibt.

### Zusammenfassung

Mit der Umstellung auf Kältemittel mit geringem bzw. keinem Ozonabbaupotential und der Hermetisierung der Verdichter ist ein wesentlicher Schritt zur Reduzierung der Umweltbelastung getan. Der nächste Schritt ist die energetische Optimierung, die bei Bock-Verdichtern auch durch die oben beschriebenen Detailverbesserungen zur Minimierung der Verluste bereits durchgeführt wurde. Je nach Einsatzgebiet bietet Bock die Möglichkeit zwischen direktansaugenden HA-Verdichtern und sauggasgekühlten HG-Verdichtern zu wählen. Dadurch ergeben sich erhebliche energetische Vorteile, da beide Verdichter für den entsprechenden Einsatzbereich optimiert wurden. Beim sauggasgekühlten HG-Verdichter ergibt sich im Klimabereich durch eine optimale Sauggasführung eine minimale Sauggasaufheizung. Der direktansaugende HA-Verdichter ist optimal für tiefe Temperaturen, da hier keine zusätzliche Sauggasaufheizung auftritt. Die integrierte Luftkühlung kann dabei effektiv zur Kühlung der Zylinderköpfe genutzt werden. Damit ergibt sich eine hohe Betriebssicherheit bei einem sehr geringen Einsatzbereich für tiefe Temperaturen. □