

# Drehzahlgeregelte Halbhermetik-Verdichter

## Tipps für die Praxis – was man beachten sollte

**Karl Huber,**  
HKT GmbH, 83128 Halfing

Nach langen Anlaufschwierigkeiten ist es heute als Stand der Technik anzusehen, dass die Leistung für Kältemittelverdichter über die Drehzahl und unter Einsatz eines Frequenzumformers geregelt wird. Die Vorteile dieser Technik sind mittlerweile in vielen Veröffentlichungen dargestellt und durch ausführliche Messungen erhärtet worden. Ebenso bekannt ist aber auch, dass ein reibungsloser Einsatz eines Frequenzumformers einige wichtige Details verlangt, die in der Praxis, vor allem beim Bau der Anlagen und Aggregate, leider nicht immer beachtet werden.

Dieser Artikel soll nun auf Probleme hinweisen, die beim FU-Betrieb auftreten können, sowie entsprechende Lösungen vorstellen, um diese – vorrangig im Zusammenhang mit unerwünschten Schwingungen – auszuschließen bzw. zu vermindern.

Es gibt bekanntlich viele Wege, Erfahrungen zu sammeln. Die teuersten sind dabei meist die selbst gemachten. So zeigt die Vergangenheit, dass zwar schon viel geschrieben, aber das Geschriebene leider nicht immer gelesen wurde. [1] (S.211). Vielleicht können wir Ihnen also etwas sparen helfen, wenn Sie an dieser Stelle weiterlesen.



**Bild 1:** Die Kombination Verdichter mit Frequenzumformer wird vorzugsweise dann eingesetzt, wenn große Lastschwankungen anstehen

### Gestern und Heute

Als Einstieg möchte ich Ihnen zwei Aussagen gegenüberstellen, die einmal 1964 und dann 1988 gemacht wurden. So schrieb 1964 Hans Goeldner in seinem Goeldner-Handbuch [1] (S. 144) über den Heißgas-Bypass „Dem Leistungsregler, einem einfachen Gerät, das zwischen Hoch- und Niederdruckseite eingebaut wird...“ als einer Art der Leistungsregelung, die nur die Kälteleistung, nicht aber die Aufnahmeleistung des Verdichters regelt und dadurch als absolut nicht mehr zeitgemäß anzusehen ist.

Diese Aussage vor 38 Jahren konnte noch keine modernen Frequenzumformer und zeigt, wie sehr sich der Stand der Technik in diesem

Bereich mittlerweile geändert hat. Vorbehalte gegen Frequenzumformer gab es allerdings auch noch 24 Jahre nach Hans Goeldners Einschätzung, jedoch aus anderen Gründen. 1988 heißt es im Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik [2] (S.186): „... die Anpassung des Kältemittelmassenstromes an den jeweiligen Kältebedarf durch stufenlose Drehzahlregelung des Verdichters ist die einfachste Art der Regelung... Die Anschaffungskosten sind jedoch hoch, so dass diese Regelungsart für normale Verwendungszwecke ausscheidet“.

Auch diese Aussage ist mittlerweile nicht mehr aktueller Stand. Fre-

quenzumformer sind seither extrem im Preis gefallen und so verwundert es nicht, dass die Stückzahlen der verkauften und verbauten Systeme „Frequenzumrichter mit Verdichter“ stetig steigen.

Die Kombination „Frequenzumformer mit Verdichter“ (Bild 1) wird vorzugsweise immer dann eingesetzt, wenn eine große Lastschwankung ansteht, die von der Kälteanlage abgefahren werden soll, wenn kurzzeitig auftretende Leistungsspitzen bewältigt werden müssen oder eine Verdampfungstemperatur mit nur sehr geringen Schwankungen gewährleistet sein soll. Damit dies reibungslos verläuft, möchte ich im Folgenden auf einige wesentliche Punkte eingehen, die beim Bau und Betrieb einer solchen Anlage zu beachten sind.

### Resonanzen beachten

Drehzahlgeregelte Verdichter sollen aufgrund der Anforderungen ein möglichst großes Frequenzband durchfahren. In unserem Fall einen Bereich von 20 Hz bis 60 Hz, entsprechend einer Drehzahl von rund 600 U/min bis 1800 U/min.

Festzustellen ist, dass in diesem Bereich immer Abschnitte mit etwas stärkeren Schwingungen durchfahren werden. Es handelt sich dabei um sogenannte Resonanzen. Diese sind, physikalisch bedingt, von niemandem wegzuleugnen, aber weitestgehend in den Griff zu bekommen, wenn nur einige simple Dinge beachtet werden.

Von Resonanz wird allgemein gesprochen, wenn die Eigenfrequenz des Systems mit der Erregerfrequenz übereinstimmt bzw. das Verhältnis der beiden gleich eins wird [3] (S.305). In der Praxis entspricht

die Erregerfrequenz der Drehfrequenz der Maschine.

Dabei ist die Eigenfrequenz immer systembedingt. Sie hängt also in starkem Maße nicht nur vom Verdichter ab, sondern von der Art der Aufstellung, der Rahmenkonstruktion, der Verrohrung, dem Kältemittel und den Drücken, die gefahren werden, und vielem mehr.

Die Schwierigkeit dabei ist, dass Frequenzen, bei denen eine Resonanz auftritt, immer erst nach Fertigstellung der Anlage, d.h. bei der Inbetriebnahme und nach Erreichen des Betriebszustandes, mit endgültiger Sicherheit ermittelt werden können.

Wurden also beim Bau der Anlage Fehler gemacht, treten sie häufig erst in diesem Stadium zu Tage und deren Beseitigung geht meist auf Kosten des Anlagenbauers. Deshalb

gilt es für den Anlagenbauer, schon beim Bau der Anlage möglichst viele Fehlerquellen auszuschließen. Denn Kompromisse an dieser Stelle können teuer werden.

### Rahmen

Der erste wichtige Punkt zur Vermeidung von Resonanzen ist bereits bei der Dimensionierung des Rahmens bzw. der Rahmenprofile zu beachten. Wer hier spart, sollte genau wissen, was er macht, denn wie gesagt, im Nachhinein ist das Gesparte oft der Anfang für eine endlose Reihe von Folgekosten.

Als Faustregel für die Dimensionierung des Rahmes gilt nach unserer Erfahrung, und das sind bei Goeldner nun 70 Jahre, dass für ein Aggregat von 30 kg – 100 kg ein U-Profil mit den Abmessungen 50 x 40 x 4 mm verwendet wird. Dies soll nicht heißen, dass andere Profile nicht die gleichen Anforderungen erfüllen. Wir beziehen uns hier nur auf unsere Erfahrung und lassen Sie als Leser daran teilhaben. So werden anstelle eines U-Profils auch gerne Systemschienen verwendet, gegen die nichts einzuwenden ist, sofern sie ausreichend dimensioniert sind.

**Bild 2 + 3:** Die Konsole wurde nicht direkt an die Wand geschraubt, sondern frei aufgestellt



Lassen Sie mich das Problem quantifizieren. Der Preisunterschied bei Systemschienen in der Abmessung 40 x 50 x 2,5 mm zu der nächst größeren Abmessung 40 x 60 x 3,0 mm beträgt bei einem Maschinengestell mit 5 lfm gerade einmal 20,00 Euro. Für diesen Betrag kann kein Monteur in unserem Lande auch nur einmal umsonst zum Betreiber fahren.

### Befestigung

Ein nächster zu beachtender Punkt ist, dass laut Empfehlungen der Verdichterhersteller drehzahlregelte Verdichter möglichst starr auf dem Rahmen zu befestigten sind (siehe auch Bild 1). Dies gilt übrigens auch für Verbundanlagen. Es hat sich gezeigt, dass diese Empfehlung in jeder Hinsicht ernst genommen werden sollte: Je steifer der Rahmen bzw. die Befestigung, desto weniger Probleme sind zu erwarten.

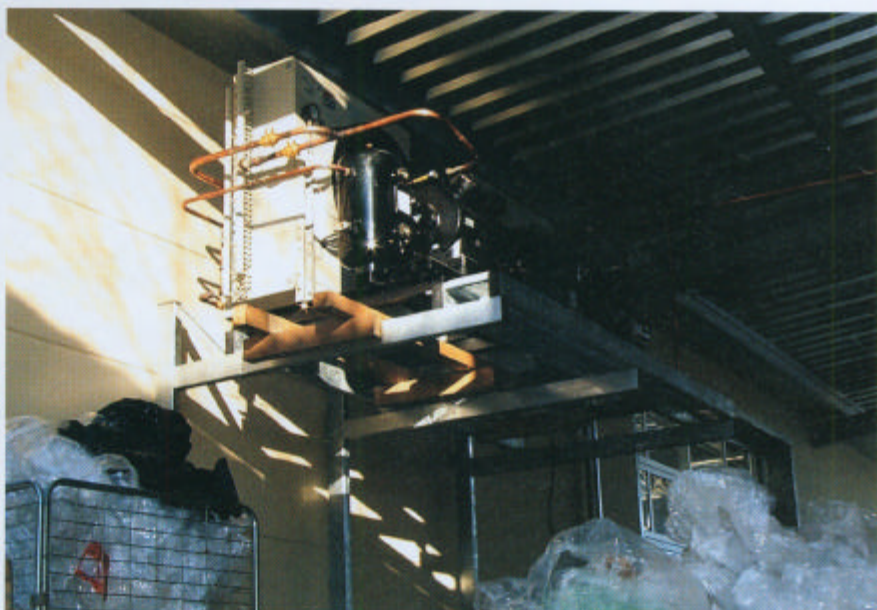
### Aufstellung-Rahmen

Auch der Aufstellung des Aggregates kommt eine wichtige Bedeutung zu. Hierzu sollte man wissen: Kältemittelverdichter leiten über die Befestigungsschrauben Kräfte in den Unterbau und in das mit dem Verdichter verbundene Rohr-

leitungssystem ein. Diese Kräfte resultieren aus nicht ausgeglichenen Massekräften (bei Hubkolbenverdichtern), Restunwuchten, Dreh-schwingungen und Gaspulsationen. Diese Störkräfte müssen von den Gebäuden weitgehend ferngehalten werden (nachzulesen in Referenzwerk [5]; S.1345; 16.2. Montage von Kälteanlagen). Die Hersteller für Komponenten der Körperschalldämmung bieten hierzu ein breites Angebot, das allen Anforderungen gerecht wird.

Bei der Rahmenaufstellung gilt es zu bedenken, dass mehrere kleinflächige Dämpfungselemente besser sind als ein großflächiges. Die Dämpfungselemente dürfen an keiner Stelle durch starre Verbindungen überbrückt werden und sollten auf einem möglichst steifen und schweren Fundament stehen (Bild 4+5).

So lässt sich beim Einsatz von Dämpfungselementen, wie z. B. Schwingmetallpuffern, die unter den Rahmen montiert werden, allgemein feststellen: Ein Absenken der Resonanzfrequenz wird durch weichere Lagerung (= niedriger Shorewert des Elastomers), das Gegenteil durch härtere Lagerung (= höherer Shorewert des Elastomers) erreicht.



In der Praxis erschließt sich dadurch die Möglichkeit, Resonanzen des unteren Drehzahlbereichs durch weicherer Lagern noch weiter nach unten zu drücken, bis sie aus dem Bereich, in dem die Anlage betrieben wird, herausfallen. Umgekehrt gilt dies für die Erhöhung der Resonanzen für den Bereich über 60 Hz, wenn eine härtere Lagerung gewählt wird.

Auf den Bildern 6 und 7 sind zwei Extreme zu ersehen. Es handelt sich um Wärmepumpen, ausgeführt mit baugleichen Verdichtern, beide sind drehzahl geregelt. Die Anlage in Bild 6 musste aufgrund starker Schwingungen – der Verdichter wurde auf einem 4 mm Stahlblech montiert – umgebaut werden. Bild 7 zeigt eine Ausführung, bei der keinerlei Resonanzen auftreten. Hier wurde der Verdichter auf Gewindestangen



**Bild 4 + 5: Verbundanlage mit 2 Drehzahl-geregelten Verdichtern, Schallpegel unter 50 dB bei 1 m Abstand**

montiert, die durch ein Sandbett (= dämpfende Masse) geführt wurden.



### Verrohrung-Rohrverbindung

Schwingungen können sich sehr unangenehm auf die Verrohrung auswirken. Das Ergebnis sind dann fast immer Rohrbrüche. Deshalb sind Bördelverbindungen beson-

ders bei FU-geregelten Verdichtern nicht zu tolerieren. Diese Erfahrung entspricht auch den Empfehlungen in der EN378-2, Punkt 6.2.1.: „Nichtlösbare Verbindungen werden lösbaren Verbindungen vorgezogen. Und weiter in 6.2.3.2.: „Bördelverbindungen sind, wenn vernünftigerweise möglich, zu vermeiden“. Wenn überhaupt, dann sind laut EN378 nur Bördelverbindungen zwischen 9 mm bis 19 mm erlaubt. Wir raten aber im Zusammenhang mit Drehzahlregelung generell davon ab.

**Verrohrung-Rohrverlegung** Bei der Rohrverlegung gilt das Prinzip von Ursache und Wirkung. So werden zwar Vibrationsabsorber empfohlen – da es sich bei Schwingungen aber auch um mechanische Energie handelt (die in diesen Schwingungsausgleichern abgearbeitet wird), bedeutet dies Verschleiß in diesem Bauteil. Deshalb sollten Schwingungen so weit als möglich vermieden werden, denn wir erleben es immer wieder, dass auch Schwingschläuche reißen können. Der Fehler ist dann nicht bei den Schwingschläuchen zu suchen. In diesem Zusammenhang setzen wir natürlich die richtige Einbaulage der Elemente, d.h. entsprechend



der Hersteller-Montageanleitung, voraus.

Die Wegamplituden der Rohrleitungen liegen bei normalem Betrieb in einer Größenordnung von 200  $\mu\text{m}$  [5]. Im Resonanzfall und bei Hochlauf des Verdichters kann aber ein Vielfaches davon auftreten.

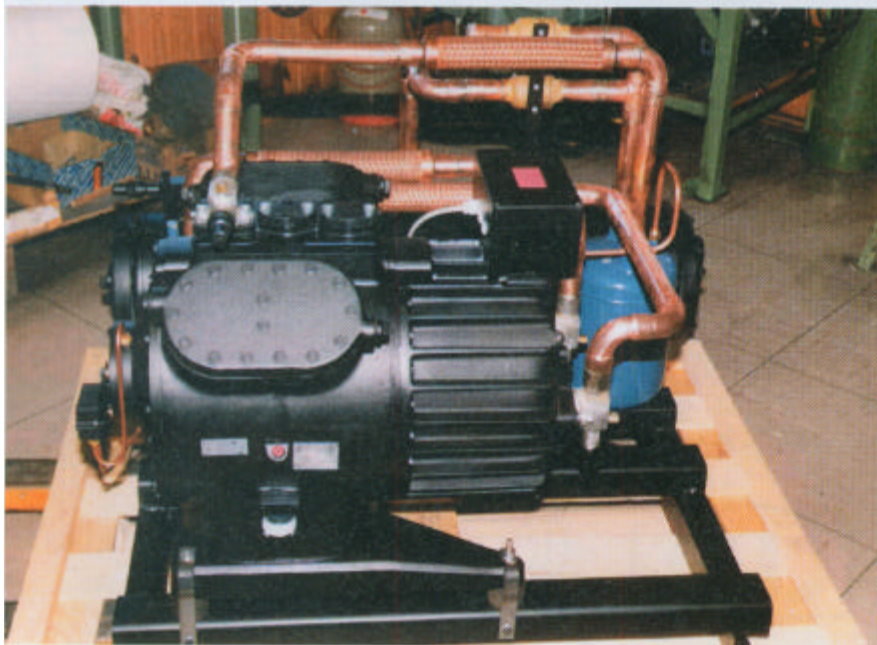
Die Schwingungen hängen ab von der Verdichterdrehzahl entsprechend der vom FU eingestellten Frequenz, von Durchmesser, Wandstärke und Länge der Rohrleitung sowie der Lage und Art der Befesti-



**Bild 6+7: Zwei Extreme in der Art der Aufstellung**

gung. Aber auch die Form der Rohrleitung spielt eine Rolle: Ein gerades Rohr verhält sich anders als ein gebogenes gleicher Länge und gleichen Durchmessers. Eine Rohrleitung darf auf keinen Fall durch Schwingungen auf Zug oder Druck beansprucht werden. Sie ist so zu verlegen, dass sie auf Biegung oder Verdrehung beansprucht wird. Es empfiehlt sich eine freie Rohrlänge vor der ersten Wandbefestigung von ca. 0,5 m in waagrechter und senkrechter Richtung [1] (S. 169).

Bei laufruhigen Verdichtern kann unter Beachtung der Rohrführung und serienmäßiger Herstellung oftmals auf einen Schwingungsdämpfer verzichtet werden. Auch bei den kleineren frequenzgeregelten Goeldner-Motion-Verdichtern hat sich gezeigt, dass unter Beachtung obiger Ratschläge Schwingungsdämpfer nicht notwendigerweise verwendet werden müssen. Empfohlen sei an dieser Stelle die VDI-Richtlinie Nr. 3733 „Geräusche bei Rohrleitungen“.



**Bild 8: Wassergekühlter Verflüssigungssatz mit div. montierten Abscheidern**

### Frequenz Ausblendung

Treten nun entgegen aller Erwartung Resonanzen auf, so ist die Inbetriebnahme der Anlage jener Zeitpunkt, bei dem man die Frequenzen mit zu starken Vibrationen ausblenden muss. Dies wird erreicht, indem man diese Frequenzen über das Menü des Umformers ausblendet.

Hier gibt man z.B. die auszublendende Frequenz und die Bandbreite in Prozent vom Eingabewert oder mit einem Plus-Minus-Wert zum Eingabewert ein. Ein FU, der eine Ausblendung nicht zulässt, ist nicht zu verwenden.

Trotz dieser Möglichkeit, Resonanzen im Nachhinein auszublenden, sei darauf hingewiesen, dass grundsätzlich das Prinzip von Ursache und Wirkung beachtet und Fehler beim Bau der Anlage bereits im Vorfeld vermieden werden sollten. Die Frequenzausblendung vertuscht oft nur die Wirkung der bereits gemachten Fehler, beseitigt aber nicht deren Ursache. Zudem geht bei einer Ausblendung von Frequenzen ein Teil der Regelcharakteristik verloren.

Passend hierzu möchte ich eine Anmerkung eines unserer Anwender weitergeben, der viel Erfahrung im Bereich der Drehzahlregelung hat: „Wenn schon mal ausgeblendet werden muss, dann ist es sowieso nichts Gescheites“.

Ich konnte ihm nicht widersprechen. Denn leider gibt es immer wieder Anlagen, bei denen ausgeblendet werden muss, eben weil oben Beschriebenes zum Teil entgegen besseren Wissens nicht beachtet wurde.

Abschließend kann man sagen, dass Probleme in einer drehzahlgeregelten Kälteanlage meist nicht in der Tatsache der Regelung zu suchen sind, sondern immer in der Art und Weise wie die Anlage ausgeführt wurde. Grundsätzlich stellt zum heutigen Zeitpunkt eine mit Frequenzumformer geregelte Anla-

ge keine größere technische Herausforderung mehr dar und sollte somit noch häufiger als Lösung in Betracht gezogen werden. ■