

Leitlinie für die Auslegung von Verbundsätzen mit frequenzgeregelten Verdichtern

Inhalt

- 1 ANWENDUNGSBEREICH UND ZWECK
- 2 AUSWAHL DER VERDICHTER
- 3 AUSLEGUNGSMERKMALE
- 4 REGELFUNKTIONEN
- 5 STABILE BETRIEBSWEISE UND ENERGIEEINSPARUNG
- 6 VERLÄNGERUNG DER LEBENSDAUER – BETRIEBSSICHERHEIT
- 7 KONFORMITÄT MIT SICHERHEITSNORMEN

1 ANWENDUNGSBEREICH UND ZWECK

Dieses Dokument gibt Hinweise zur Konstruktion von Verdichter-Verbundsätzen, die mit frequenzgeregelten Verdichtern und Verdichtern mit fester Drehzahl ausgerüstet sind.

Die Leitlinie betrifft ausschließlich Anwendungen in Kälteanlagen, in denen halbhermetische oder hermetische Verdichter mit Scroll-, Hubkolben- oder Schraubentechnologie zum Einsatz kommen.

Informationen zur Anwendung von Einzelverdichtern mit Frequenzumrichter entnehmen Sie bitte folgendem ASERCOM Dokument:

„EMPFEHLUNGEN FÜR DEN EINSATZ VON FREQUENZUMRICHTERN MIT KÄLTEMITTEL-VERDRÄNGERVERDICHTERN“

Die gängigsten Verdichter-Verbundsätze sind folgende:

- **Zwei oder mehr Verdichter: ein Verdichter ist mit Frequenzumrichter ausgestattet**
 - Der Verdichter mit variabler Drehzahl ist kontinuierlich in Betrieb.
 - Verdichter mit fester Drehzahl werden in Sequenz geregelt.
- **Zwei Verdichter: beide sind mit Frequenzumrichter ausgestattet**
 - Das Hubvolumen der beiden Verdichter ist gleich.
 - Der Frequenzbereich des ersten Verdichters mit variabler Drehzahl (V_sC) wird über die erste Hälfte des Signalbereichs geregelt (z. B. 0–5 V).
 - Der Frequenzbereich des zweiten V_sC wird über die zweite Hälfte des Signalbereichs geregelt (z. B. 5–10 V).

Letzte Aktualisierung: September 2017

2 AUSWAHL DER VERDICHTER

Für die Auslegung des Verdichter-Verbundsatzes sollte eine genaue Beurteilung des erforderlichen Leistungsbereichs vorgenommen werden. Die notwendigen Informationen sind folgende:

- Leistung bei niedrigster Last (Wartung, Nachtbetrieb, niedrigere Verflüssigungstemperatur usw.)
- Leistung bei höchster Last (anwendungsabhängig, beim Befüllen von Kühlräumen oder nach Abtauvorgängen)
- Anzahl der in Betrieb befindlichen Kühlstellen und Aktivierungsalgorithmus (sofern vorhanden)

Falls der Aktivierungsalgorithmus nicht verfügbar ist, kann die Anwendung eines Korrekturfaktors wichtig sein, um die Maximallast gleichzeitig in Betrieb befindlicher Kühlstellen zu berücksichtigen. Siehe Beispiel unten:

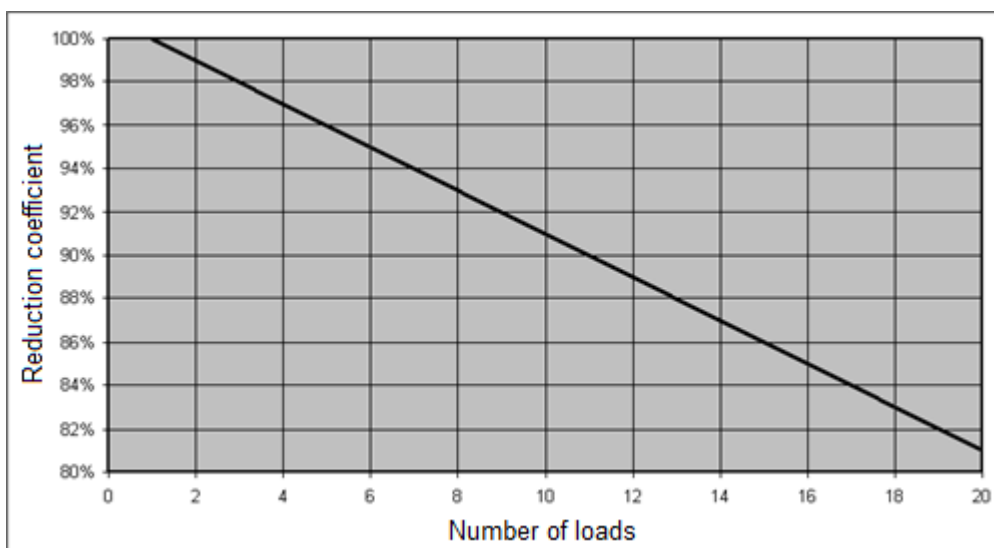


Abb. 1 – Korrekturfaktor in Abhängigkeit der Anzahl von Kühlstellen

Da jede Kühlstelle einen unterschiedlichen Einfluss auf die Gesamtlast haben kann, ist es ggf. erforderlich, die einzelnen Lasten danach zu gewichten, wie viel sie über eine bestimmte Betriebsdauer zur Gesamtlast beitragen.

Das beste Auslegungsergebnis wird erzielt, wenn der Verdichterverbund den Kältebedarf durch Variieren der Kälteleistung zwischen Minimum und Maximum erfüllen kann. Ein zu kleiner Leistungsvariationsbereich führt zur Instabilität der Gesamtleistung des Verbundsatzes.

Letzte Aktualisierung: September 2017

Sprünge treten in der Regel in Anlagen mit mehreren Verdichtern/Verbrauchern auf, wenn:

- die Verdichter ein- oder ausgeschaltet werden
- die Magnetventile in der Flüssigkeitsleitung geöffnet oder geschlossen werden
- die Abtauzyklen aktiviert oder deaktiviert werden
- der Anlage große Wärmelasten zugeschaltet oder diese abgeschaltet werden

Die Sprünge wirken sich negativ auf die Stabilität des Sauggasdrucks und den Wirkungsgrad der Anlage aus.

HINWEIS: Der Einsatz von Verdichtern mit variabler Drehzahl in Verbundsätzen stellt eine sinnvolle Lösung für eine stabile Prozessregelung dar, sofern die Drehzahl- und Leistungsschwankungen die Leistungslücken abdecken, die von anderen Verdichtern des Verbunds beim Ein- und Ausschalten hervorgerufen werden.

Die Auslegung eines Verdichters mit variabler Drehzahl in einem Verbundsatz sollte mindestens die folgenden Schritte umfassen:

I. Festlegen der Verdichterleistung mit den Auswahlprogrammen des Herstellers und unter Berücksichtigung folgender Informationen:

- Gesamtanzahl der Verdichter im Verbund
- Einschränkungen durch den Aufstellungsort (Energienetz, Fläche, Geräuschpegel usw.)
- Sicherheitsabstand
- Auslegungsbetriebsbedingungen und zulässige Temperaturbereiche (Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur)
- Größe des Frequenzumrichters und Art des Verdichtermotor-Anschlusses (z. B. Stern oder Dreieck)

II. Festlegen der Verdichterleistung unter Berücksichtigung des Regelkoeffizienten CF (siehe den folgenden Abschnitt)

III. Prüfen der Grenzfrequenzen des Verdichters mit variabler Drehzahl bei den Auslegungsbetriebsbedingungen und zulässigen Bereichen anhand der Auswahlprogramme des Herstellers:

- Höhere und niedrigere Grenzfrequenz bei Auslegungsbedingungen und auf Grundlage des ausgewählten Kältemittels

IV. Ggf. Änderung der Leistungsgröße des Verdichters mit variabler Drehzahl oder Auswahl eines anderen Motoranschlusses, um die maximale Grenzfrequenz zu erhöhen

V. Mögliche Beeinflussung durch andere modulierende Geräte und Auswahl geeigneter Regelgeräte ist zu berücksichtigen:

- Verflüssiger mit Lüfterdrehzahlregelung
- Elektronische Expansionsventile (EEV)
- Mechanische Leistungsregelung
- Eigenschaften des Regelgeräts

Letzte Aktualisierung: September 2017

WICHTIGER HINWEIS

Um eine kontinuierliche, stufenlose Leistungsregelung zu erreichen, müssen die Verdichtergrößen so gewählt werden, dass sie die Vorgaben der folgenden Gleichung erfüllen:

$$Qvs_{max} - Qvs_{min} \geq Qfs$$

Wobei gilt:

- Qvs_{max} = Leistung des Verdichters mit variabler Drehzahl bei maximaler Frequenz
- Qvs_{min} = Leistung des Verdichters mit variabler Drehzahl bei minimaler Frequenz
- Qfs = Leistung des Verdichters mit fester Drehzahl

Das in der unten stehenden Gleichung definierte Verhältnis und der Regelkoeffizient (CF) können bei der Auswahl der Verdichtergröße hilfreich sein:

$$CF = \frac{(QVsC_{max} - QVsC_{min})}{QFsC} 100\%$$

Wobei gilt:

$QVsC_{max}$ Kälteleistung des VsC bei maximaler Drehzahl
 $QVsC_{min}$ Kälteleistung des VsC bei minimaler Drehzahl
 $QFsC$ Minimale Kälteleistung des FsC (unter Berücksichtigung der Leistungsregelung, sofern vorhanden)

VsC Verdichter mit variabler Drehzahl

FsC Verdichter mit fester Drehzahl

Die Regelgüte kann für folgende CF-Werte berechnet werden:

- ≥ 100 % Hervorragend, wenige Saugdruckschwankungen
- ≥ 80 % Gut, einige Saugdruckschwankungen
- ≥ 70 % Akzeptabel, jedoch mehrfache Saugdruckschwankungen
- ≤ 69 % Inakzeptabel, mehrfache Saugdruckschwankungen und instabile Regelung

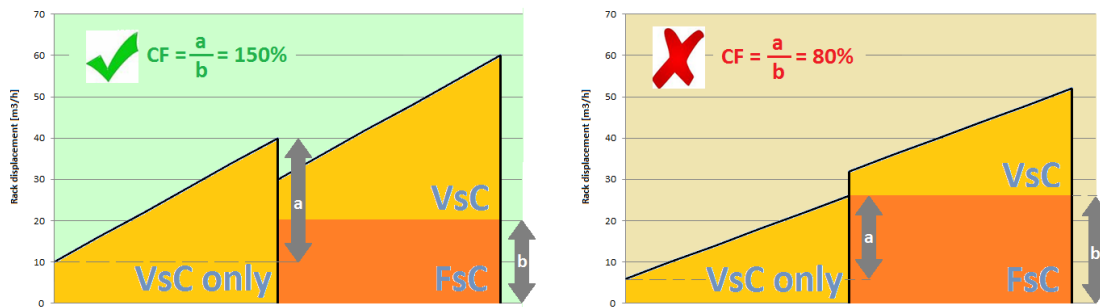


Abb. 2 – Unterschied beim Hubvolumen in Bezug auf eine optimale und nicht optimale Auslegung

Letzte Aktualisierung: September 2017

HINWEIS:

Die Grenzfrequenzen sollten vom Verdichterhersteller bereitgestellt werden. Wenn keine Informationen verfügbar sind, kann folgende ASERCOM Leitlinie zurate gezogen werden:

„EMPFEHLUNGEN FÜR DEN EINSATZ VON FREQUENZUMRICHTERN MIT KÄLTEMITTEL-VERDRÄNGERVERDICHTERN“

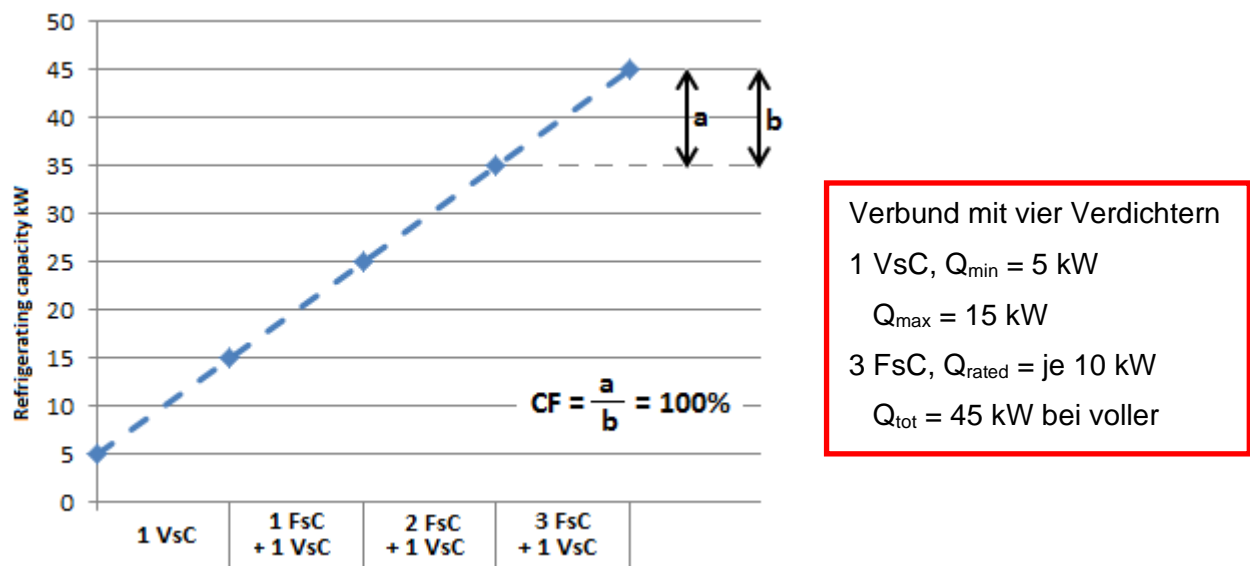
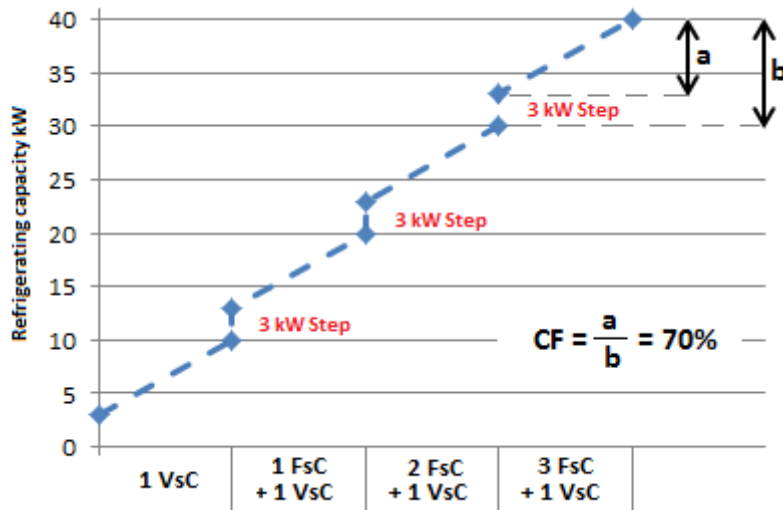


Abb. 3 – Kälteleistung eines Verdichter-Verbundsatzes – optimale Auslegung

Letzte Aktualisierung: September 2017



Verbund mit vier Verdichtern

1 VsC, $Q_{\min} = 3 \text{ kW}$

$Q_{\max} = 10 \text{ kW}$

3 FsC, $Q_{\text{rated}} = \text{je } 10 \text{ kW}$

$Q_{\text{tot}} = 40 \text{ kW}$ bei voller

Abb. 4 – Kälteleistung eines Verdichter-Verbundsatzes – nicht optimale Auslegung

Bitte beachten Sie, wie die zweite Auswahl (Abb. 4) zu Unregelmäßigkeiten bei der Leistungsregelung führt. Wenn die Leistungssprünge erheblich sind, können sie zu instabilen Betriebsbedingungen führen.

3 AUSLEGUNGSMERKMALE

Die allgemeinen Kriterien zur Auslegung von Verdichter-Verbundsätzen sind weithin anerkannt und wurden von verschiedenen Herstellern über viele Jahre hinweg angewendet.

Diese Leitlinie bezieht sich auf Konstruktionsbelange, die durch Drehzahlregelung beeinflusst werden können, wie z. B.:

- Ölabscheidung, Ölstandsregelung und Ölverteilung zwischen Verdichtern
- Bemessung der Saug- und Druckgasleitung und deren Ausführung
- Messstellen für Druck- und Temperaturerfassung
- Schwingungsdämpfung – Geräuschminderung
- Interaktion mit mechanischer Leistungsregelung
- Sicherheitseinrichtungen

Die Auslegungskriterien für die Regelung werden im Kapitel 4 ausführlicher thematisiert.

Wichtiger Hinweis: In diesem Kapitel werden die allgemeinen Auslegungsleitlinien beschrieben. Die empfohlenen Auslegungskriterien sollten für jede spezifische Anwendung geprüft werden.

Letzte Aktualisierung: September 2017

3.1 Ölabscheidung, Ölstandsregelung und Ölverteilung

In einer Anlage mit drehzahlgeregelten Verdichtern erfordert das Ölmanagement besondere Aufmerksamkeit.

In weit verzweigten Anlagen mit großen Lastschwankungen kann die Ölrückführung eine Herausforderung darstellen. Daher spielen die Anlagenausführung und die Auswahl des Ölabscheiders/der Ölabscheider eine wichtige Rolle.

In einer Tandemverdichter-Anordnung mit ein oder zwei frequenzgeregelten Motoren für variable Drehzahl kann der Ölstand zwischen den Verdichtern variieren. In diesem Fall ist es ggf. erforderlich, eine speziell ausgeführt Öl-und-Gas-Ausgleichsvorrichtung oder ein aktives Ölstands-Regelsystem zu verwenden (je nach Spezifikation des Herstellers).

In einer Anlage mit mehreren Verdichtern können die Rohrleitungen, der Ölabscheider, das Ölreservoir usw. für den Betrieb eines einzelnen Verdichters mit niedriger Frequenz zu groß bemessen sein. Dies kann die Ölrückführung zum Verdichter beeinflussen.

Die Regelung des Ölstands im Verdichter mit variabler Drehzahl wird schwierig und einfache Ausgleichsvorrichtungen sind ggf. nicht ausreichend. Für ein effektives Ölmanagement wird empfohlen, bei jedem Verdichter eine Ölstandsregelung einzusetzen.

In vielen Fällen wird eine Anlage mit einem einzigen Ölabscheider und Ölreservoir (Behälter) ausgewählt, wobei der Behälter mit der Saugleitung verbunden wird. Zwischen Behälter und Saugleitung wird dabei ein Differenzdruckventil montiert, um einen höheren Druck von ca. 1,4 bar aufrechtzuerhalten (bei CO₂ als Kältemittel ein entsprechend höherer Wert). Das Reservoir kann auch in den Ölabscheider integriert sein und steht dann unter Hochdruck. Beide Lösungen ermöglichen eine präzise Ölverteilung zu jedem Verdichter über Ölstandsregler, die jedoch für einen Nieder- oder Hochdruckbetrieb entsprechend ausgelegt sein müssen:

Letzte Aktualisierung: September 2017

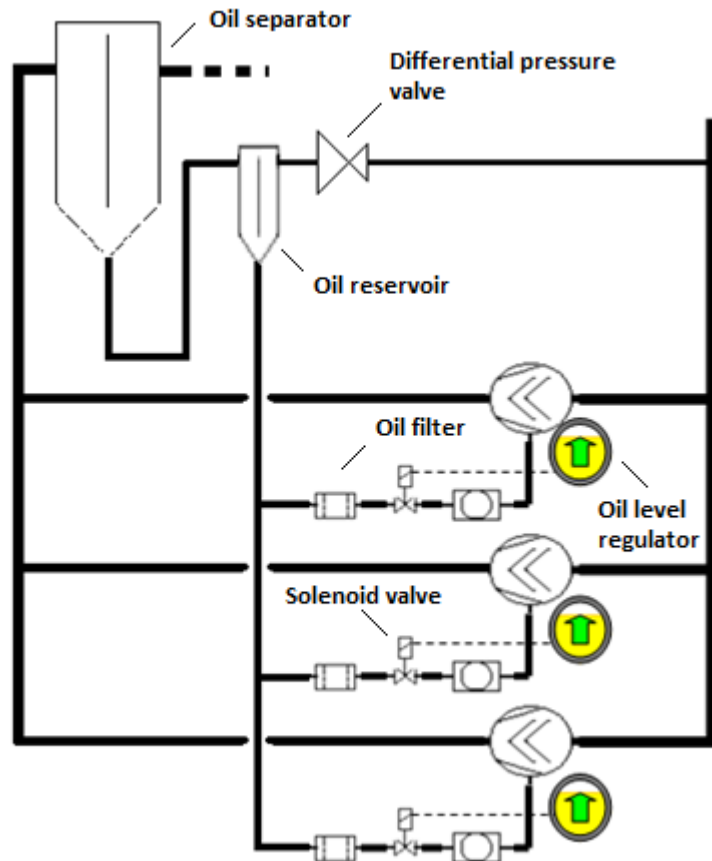


Abb. 5 – Schema der Ölverteilung in einem Verdichterverbund – optimale Ausführung

3.2. Bemessung der Saug- und Druckgasleitung

Bei Festlegung der Rohrleitungsdimensionen sollte das Hubvolumen des drehzahlgeregelten Verdichters auch beim Betrieb mit voller Drehzahl berücksichtigt werden. Durch die richtige Auslegung können übermäßige Druckverluste bei hohen Frequenzen vermieden werden. Dadurch werden jedoch bei niedrigeren Frequenzen die Geschwindigkeiten in Gas- und Flüssigkeitsleitungen verringert.

Schwingungskompensatoren (Metallschläuche) auf der Saug- und Druckgasseite der Verdichter können dabei helfen, stärkere Schwingungen zu dämpfen. Diese können auftreten, wenn die Pulsations- oder Schwingungsfrequenz der Verdichter mit variabler Drehzahl mit der Eigenfrequenz der Rohrleitungen in Resonanz gerät. Durch Schwingungskompensatoren werden Schallwerte reduziert und anormale Schwingungen vermieden.

Bei der Montage der Schwingungskompensatoren sollten die Herstelleranweisungen beachtet werden. Im Allgemeinen ist es am besten, die Schwingungskompensatoren an Stellen zu montieren, an denen ihre Achsen parallel zur Kurbelwelle des Verdichters stehen. Gleichzeitig sollten sie so nah wie möglich am Verdichtergehäuse geführt werden, um Beschädigungen aufgrund von Materialermüdung zu vermeiden.

Letzte Aktualisierung: September 2017

Bei Verdichtern mit variabler Drehzahl treten in einem großen Frequenzbereich Gaspulsationen auf, die in der Druckgasleitung zu Resonanzproblemen führen können. Bei der Auslegung und Ausführung von Druckgasleitungen sollten sogenannte „kritische Leitungslängen“ weitestgehend vermieden werden. Die kritische Leitungslänge entspricht der Länge der pulsierenden Sinuswelle (oder deren Oberschwingung). Die Sinuswelle ist wiederum abhängig von der Schwingungsfrequenz (Druckgasimpulse pro Sekunde) und der Schallgeschwindigkeit des Kältemittels bei Enddruck und -temperatur.

Aufgrund des großen Frequenzbereichs und der Beschränkungen im Leitungssystem ist es oftmals schwierig, eine ideale Länge zu finden. Aus diesem Grund kann es zweckmäßig sein, einen Druckgas-Schalldämpfer zu installieren, um die Pulsationsamplitude zu glätten. Dies gilt insbesondere für Verdichter, die bei relativ geringen Drehzahlen (Pulsationsfrequenz) und hohen Druckverhältnissen betrieben werden können. In kritischen Fällen ist es auch möglich, definierte Resonanzfrequenzen über eine Frequenzumrichter-Konfiguration zu überspringen (siehe auch Kapitel 3.5).

3.3 Relative Position der Verdichter mit fester und mit variabler Drehzahl

Die einfachste und gleichzeitig eine der gängigsten Anordnungen ist im Sauggasleitungsschema (Abb. 6) dargestellt.

Es besteht jedoch das Risiko, dass durch die scharfe Umlenkung des Gasflusses ein Zentrifugaleffekt ausgelöst wird, der zu einer Ölabscheidung führt, wenn der VsC an erster Stelle montiert ist. Das Öl wird aufgrund seiner höheren Dichte am blinden Ende der Leitung abgetrennt. Dies kann beim Anlauf eines Verdichters, der nahe an dieser Position angeordnet ist, zu starken Ölschlägen führen.

Diese Konfiguration wird deshalb nur empfohlen, wenn an jedem Verdichter ein Ölregelsystem eingesetzt wird.

Eine bevorzugte Lösung ist, die Leitung so auszulegen, dass Gas und Öl gleichmäßig umgelenkt werden (siehe Abb. 7). Der Verdichter mit variabler Drehzahl kann an jeder beliebigen Stelle montiert werden. Eine optimal ausgeführte Anlage kann mitunter ohne ein Ölregelsystem betrieben werden.

Letzte Aktualisierung: September 2017

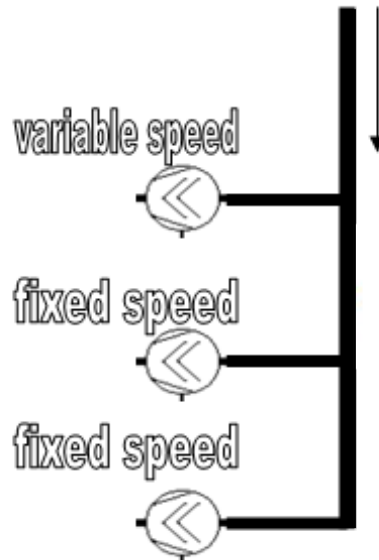


Abb. 6 – Leitungsverteilung auf der Saugseite von Verdichtern in einem Verbundsatz

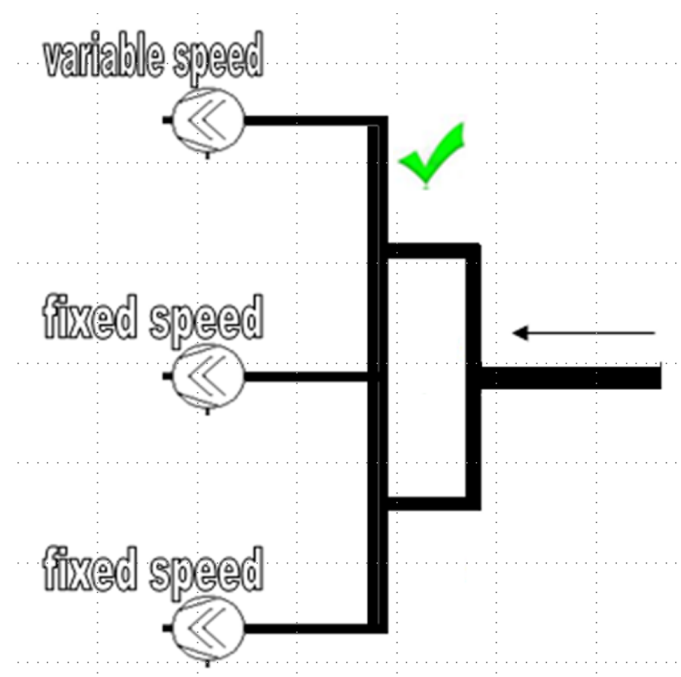


Abb. 7 – Alternative Anlage in optimaler Ausführung, die ggf. den Betrieb ohne Ölstandsregelung ermöglicht

Letzte Aktualisierung: September 2017

3.4 Messstelle des Saugdrucks

Bei einer Saugdruckregelung ist die Messstelle für den Druck in der Saugleitung entscheidend, um eine gute Regelung zu gewährleisten. Um die Druckstöße zu verringern, wird empfohlen, den Druckmessumformer an der Saugsammelleitung zu montieren.

Ein größerer Abstand zwischen der Messstelle und dem Saugleitungsanschluss des Verdichters mit variabler Drehzahl trägt ebenfalls dazu bei, die Druckschwankungen zu dämpfen, wenn die Verdichter mit fester Drehzahl ein-/ausgeschaltet werden.

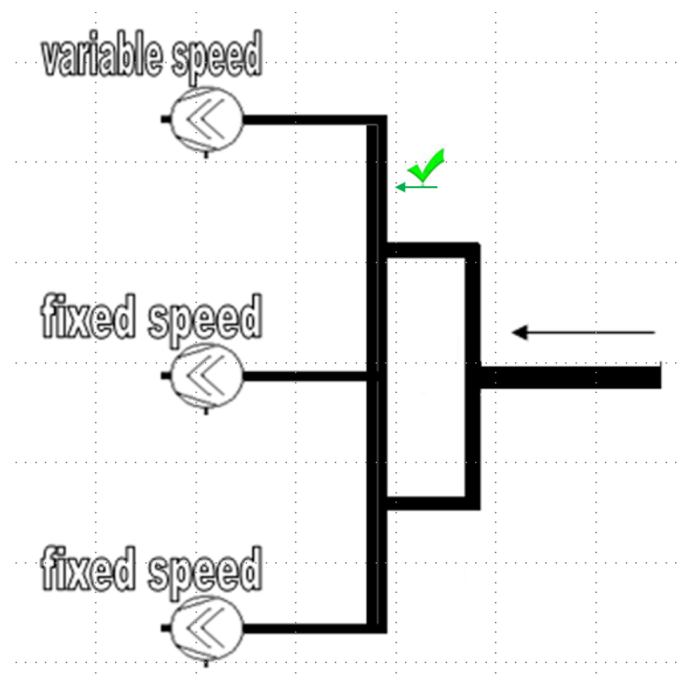


Abb. 8 – Bevorzugte Messstelle für den Saugdruck

3.5 Schwingungsdämpfung

Die mit den meisten Verdichtern gelieferten Gummi-Schwingungsdämpfer sind für einen Betrieb bei 50 und 60 Hz ausgelegt. Beim Betrieb mit niedriger Frequenz können starke Verdichterschwingungen auftreten. Daher sind für gewöhnlich alternative Lösungen erforderlich, wie das Verwenden von starren Montageelementen zwischen Verdichtern und Rahmen.

Es kann insbesondere von Vorteil sein, die im Folgenden dargestellten Leitlinien einzuhalten:

1. Verwenden von starren Befestigungen aus Kunststoff- oder Metallbuchsen unterhalb des Montagefußes des Verdichters
2. Verwenden von flexiblen Befestigungen unterhalb des Verdichter- oder Verbundrahmens mit Schwingungsdämpfern, die mindestens doppelt so weit auseinander angeordnet sind wie die Montagefüße des Verdichters

Letzte Aktualisierung: September 2017

Die folgenden Abbildungen zeigen einige Alternativen bei der Montage:

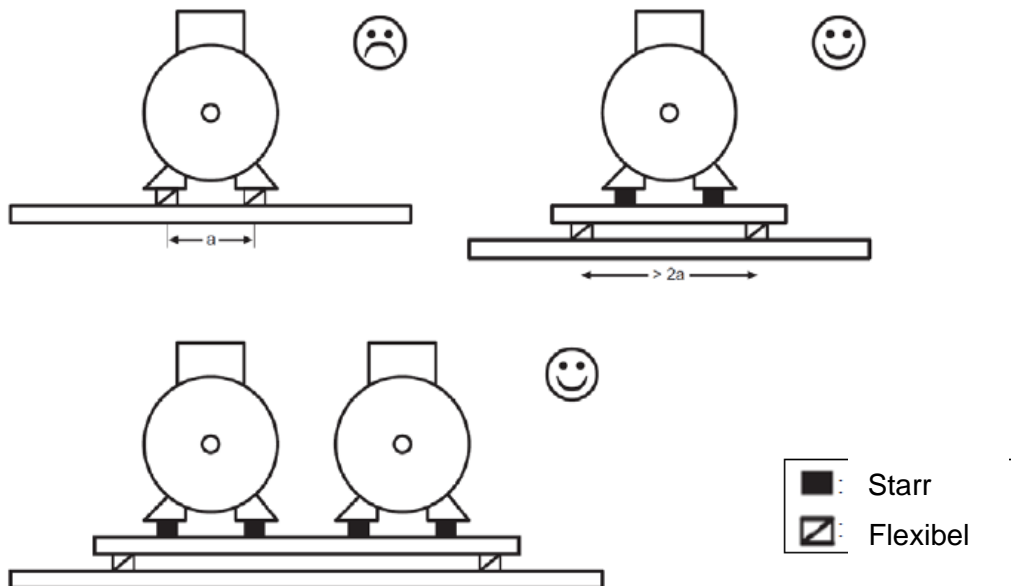


Abb. 9 – Beispielhafte Montage von Schwingungsdämpfern

Wenn bei bestimmten Frequenzen stärkere Schwingungen auftreten, können diese nur mit Hilfe von Regelfunktionen des Frequenzumrichters (sofern vorhanden) verringert werden. In vielen Fällen ist es möglich, definierte Resonanzfrequenzen zu überspringen, ohne relevante Unregelmäßigkeiten in der Leistungsregelung zu verursachen.

Es wird empfohlen, die gesamte Installation sorgfältig zu prüfen und Maßnahmen zu ergreifen, um anormale Schwingungen und Resonanzen innerhalb des Betriebsfrequenzbereichs zu vermeiden und dadurch Leitungsbrüche sowie andere mögliche Störungen (Lärm usw.) zu verhindern.

Bei einem Verdichterverbund wird immer empfohlen, die Verdichter elektrisch so anzuschließen, dass ihre Drehrichtung gleich ist.

3.6 Interaktion mit mechanischer Leistungsregelung, EEV und Lüfterdrehzahlregelung

Wie in Kapitel 2 beschrieben, wird bei Verbundanwendungen empfohlen, die Leistungssprünge zu minimieren, die entstehen, wenn Verdichter mit fester Drehzahl ein- oder ausgeschaltet werden. Dadurch soll das Betriebsverhalten verbessert und stabilisiert werden.

Dies lässt sich erreichen, indem eine mechanische Leistungsregelung in die Verdichter mit fester Drehzahl integriert wird, die die Anzahl der Leistungsstufen erhöht und die Amplitude

Letzte Aktualisierung: September 2017

reduziert. Damit kann die Prozessstabilität verbessert und die Größe der Verdichter mit variabler Drehzahl verringert werden.

Ob eine mechanische Leistungsregelung bei einem Verdichter mit variabler Drehzahl eingesetzt werden kann, hängt jedoch von der verwendeten Technologie ab. In der Regel wird eine solche Leistungsregelung nicht empfohlen (siehe auch „ASERCOM Frequenzumrichter-Handbuch“).

Bei standardmäßigen Verbundsätzen wird empfohlen, elektronische Expansionsventile (EEV) und eine Lüfterdrehzahlregelung (am Verflüssiger) einzusetzen, um eine stabile und effiziente Regelung zu erreichen. Dabei sind besonders der sehr große Kälteleistungsbereich und die schwankenden saisonalen Umgebungstemperaturen zu berücksichtigen.

3.7 Interaktion mit anderen Geräten

Verdichter, die vom Hersteller für eine Drehzahlregelung freigegeben sind, werden in der Regel mit einem ausreichenden Motorschutz geliefert, der auch eine thermische Überwachung umfasst. Wenn der Verdichter mit einer Schutzvorrichtung zur Überwachung der Drehrichtung ausgestattet ist (z. B. Schrauben-, Scroll- oder Rollkolbenverdichter) sind ggf. spezifische Maßnahmen erforderlich. Es wird empfohlen, den Hersteller zu kontaktieren. Wenn Verdichter mit fester Drehrichtung ohne Schutzmodule zur Phasenfolgeüberwachung eingesetzt werden, muss über die Einstellung des Frequenzumrichters sichergestellt werden, dass die ordnungsgemäße Phasenfolge vorliegt. Zudem muss vor der Inbetriebnahme geprüft werden, ob der Anschluss zwischen dem Frequenzumrichter und den Motorklemmen die korrekte Phasenfolge aufweist.

Wenn der Frequenzumrichter dazu verwendet wird, die Spannungsversorgung zum Verdichter zu unterbrechen (Safe Torque Off), um einen unerwarteten Anlauf zu vermeiden, oder wenn eine elektrische Sicherheitseinrichtung anspricht, muss der Frequenzumrichter die Anforderungen der europäischen Maschinenrichtlinie erfüllen. In diesem Fall muss eine sichere und schnelle Abschaltung erfolgen. Sie sollte zudem nicht über einen elektronischen Zwischenregelkreis geführt werden. Alternativ können die Sicherheitseinrichtungen in den Stromkreis eines Schützes eingebunden werden, der sich zwischen dem Frequenzumrichter und dem Verdichtermotor befindet. Weitere Informationen finden Sie im Kapitel 7.

Wenn der mit Frequenzumrichter betriebene Verdichter über eine Ölpumpe verfügt, ist die sichere Mindestdrehzahl in der Herstelleranleitung zu prüfen, um zu verhindern, dass die Öldifferenzdrucküberwachung auslöst. Es sollte sichergestellt werden, dass Druckbegrenzer im gesamten variablen Frequenzbereich nicht auslösen bzw. nicht dann auslösen, wenn Verdichter mit fester Drehzahl ein-/ausgeschaltet werden.

Verdichter mit variabler Drehzahl sollten nach Möglichkeit mit einer in den Sicherheitskreis eingebundenen Ölniveauüberwachung ausgerüstet werden.

HINWEIS: Jede Sicherheitsvorrichtung sollte die richtige EMI-Unempfindlichkeit aufweisen, um einen Komplettschutz sicherzustellen (hauptsächlich Niederspannungsgeräte).

4 REGELFUNKTIONEN

Es gibt verschiedene Methoden, um den Verdichter mit variabler Drehzahl (VsC) zu regeln, u. a. über:

- einen externen Regler mit analogem Ausgangssignal (in der Regel 0–10 V), der die Umrichter-Frequenz und -Spannung zum Verdichtermotor stufenlos verändert
- in den Frequenzumrichter integrierte Regelfunktionen, die den Saugdruck oder die Verdampfungstemperatur regeln. Diese Regelfunktionen basieren für gewöhnlich auf einer PI-Regelung (Proportional + Integral).

Ein hochentwickelter Regler kann auch den Saugdruck (oder die Verdampfungstemperatur) regeln, indem er die Frequenz schrittweise anpasst, um den Betrieb beim höchsten zulässigen Wert sicherzustellen. Dadurch wird der Energieverbrauch reduziert.

Des Weiteren gibt es Funktionen, um die Ölrückführung zu optimieren und um sicherzustellen, dass der Verdichter innerhalb der zulässigen Betriebsgrenzen und elektrischen Parametern betrieben wird.

Es existieren mehrere wichtige Beschränkungen, um einen zuverlässigen Betrieb des VsC und eine lange Lebensdauer sicherzustellen, u. a.:

- Anzahl der Anläufe pro Stunde (mit Frequenzumrichter?)
- Mindestlaufzeit
- Mindestdauer zwischen den Anläufen

Die Regelung des Verdichters mit variabler Drehzahl (VsC) in einem Verbund mit mehreren Verdichtern wird üblicherweise mit der Regelung eines oder mehrerer Verdichter mit fester Drehzahl (FsC) kombiniert. Bei dieser Konfiguration sind die oben dargestellten Beschränkungen ebenfalls gültig. Es werden zwei vorherrschende Regelmethoden eingesetzt:

- „Neutralzonen“-Methode der Leistungsregelung eines Verdichterverbunds, die es dem VsC erlaubt, entsprechend den Lastschwankungen die Drehzahl zu verändern, wenn der Saugdruck oberhalb/unterhalb der definierten Neutralzone liegt. Wenn der VsC die maximale/minimale Drehzahl erreicht und sich der Saugdruck weiter erhöht/verringert, wird der FsC nach einer definierten Zeitverzögerung ein-/ausgeschaltet.
- Aktivierung eines weiteren FsC, wenn der VsC länger als eine definierte Dauer (Zeitverzögerung) bei maximaler Frequenz betrieben wird. Ebenso wird ein FsC abgeschaltet, wenn der VsC länger als eine definierte Dauer bei minimaler Frequenz betrieben wird.

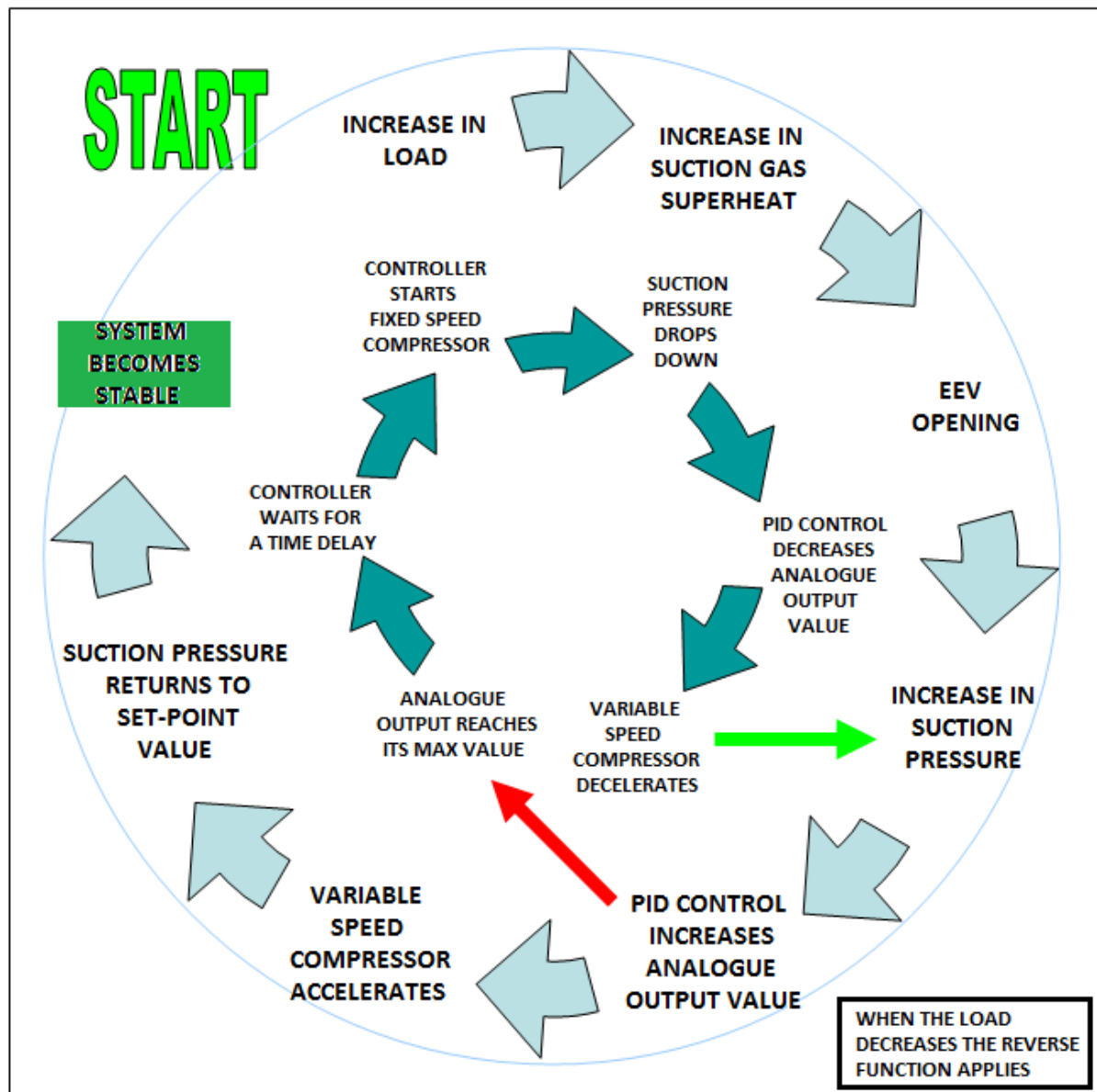
Der in Kapitel 2 thematisierte Regelkoeffizient (CF) ist sehr wichtig, um einen stabilen, energiesparenden Betrieb zu erreichen.

Mit den obigen Regelungsmethoden gleicht der VsC die Leistungsschwankungen im Normalbetrieb aus. Nur wenn große Leistungsschwankungen auftreten, ist es erforderlich, einen FsC in einem Verdichterverbund ein-/auszuschalten. Die Lebensdauer der Verdichter wird verlängert, da die Anzahl der Ein- und Ausschaltungen erheblich reduziert wird.

Diese Regelungsmethode wird in Abb. 10 dargestellt, wobei:

- der äußere Kreis den Betrieb des VsC darstellt, der die normalen Schwankungen der Kälteleistung ausgleicht
- der innere Kreis die Maßnahmen darstellt, die ergriffen werden, wenn ein weiterer FsC erforderlich wird, um die Leistungsanforderungen zu erfüllen

Letzte Aktualisierung: September 2017



OUTER LOOP: CONTRIBUTE BY V_s COMPRESSORS

INNER LOOP: CONTRIBUTE BY F_s AND V_s COMPRESSORS

Abb. 10 – Regelmethode in Verbundsätzen mit Verdichtern mit variabler Drehzahl

Letzte Aktualisierung: September 2017

5 STABILE BETRIEBSWEISE UND ENERGIEEINSPARUNG

Bei Anlagen, die mit einzelnen oder mehreren Verdichtern mit fester Drehzahl ausgeführt sind, tritt immer eine inhärente Abweichung der Verdampfungstemperatur auf (Leistung zu hoch oder zu gering). Die tatsächliche Abweichung hängt von der Auslegung der Anlage ab.

Wenn ein ordnungsgemäß ausgelegtes Verdichtersystem mit variabler Drehzahl (VsC) verwendet wird, kann diese Abweichung typischerweise durch einen Faktor 5 (oftmals höher) verringert werden, siehe Abb. 11. Eine Analyse der Verdichterdaten zeigt auf, dass dies zu einer erheblichen Senkung des Energieverbrauchs führt.

Darüber hinaus kann die Regelung des Expansionsventils (mit einer relativ langsamen Reaktionszeit) besser sicherstellen, dass der Verdampfer optimal befüllt wird. Dies spielt auch eine wichtige Rolle bei der Reduzierung des Energieverbrauchs.

Wärmeübertrager sind immer für den Vollastbetrieb ausgelegt. Die Fähigkeit, mit der Frequenzumrichter-Regelung bei Teillast einen stabilen Betrieb aufrechtzuerhalten, ermöglicht den Betrieb mit höheren Verdampfungs- und niedrigeren Verflüssigungstemperaturen bei gleichem Kältebedarf. Die Leistungszahl (COP) der Verdichter ist höher und führt zu einem geringeren Energieverbrauch. Dies ist vor allem deshalb relevant, da die Verdichter überwiegend bei Teillast betrieben werden.

Die konstanteren Betriebsbedingungen bei Einsatz von Verdichtern mit Frequenzumrichter führen auch zu folgenden Vorteilen:

- In Systemen mit Flüssigkeitskühlsätzen werden oftmals Speichertanks eingesetzt, um Temperaturschwankungen auszugleichen. Durch eine präzise Leistungsregelung lässt sich das Tankvolumen entsprechend reduzieren.
- Eine bessere Temperaturregelung für kritische Anwendungen wie z. B. in der Lebensmittelverarbeitung und bei Kunststoffspritzgussmaschinen. Bedingt durch eine deutlich verbesserte Temperaturkonstanz wird weniger Ausschuss produziert.

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen den reduzierten Energieverbrauch und die COP-Verbesserung unter Teillastbedingungen.

Letzte Aktualisierung: September 2017

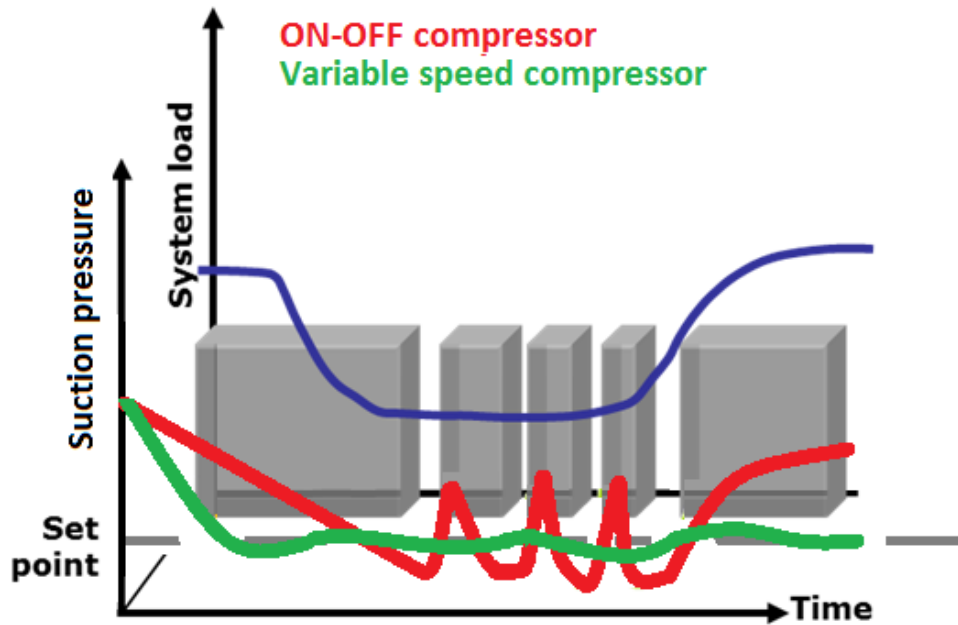


Abb. 11 – Darstellung der Saugdruckregelung – Vergleich der Drehzahlregelung und Ein/Aus-Regelung

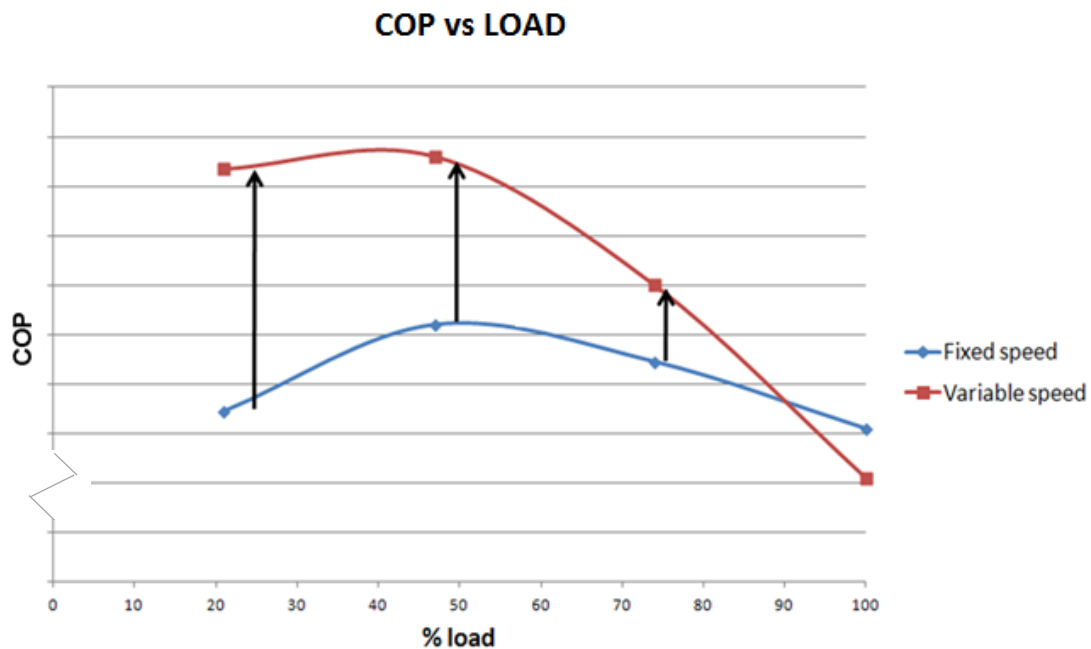


Abb. 12 – Beispielhafter Vergleich der COP-Eigenschaften eines Verdichters mit variabler Drehzahl und eines Verdichters mit fester Drehzahl und mechanischer Leistungsregelung

6 VERLÄNGERUNG DER LEBENSDAUER – BETRIEBSSICHERHEIT

6.1 Betriebssicherheit der Verdichter

- **Start/Stop-Sequenz**
Der größte mechanische Verschleiß in einem Verdichter tritt während starker Schwankungen der Betriebsbedingungen auf und vor allem beim Start.

Der Verdichter mit variabler Drehzahl wird meistens so betrieben, dass sehr wenige Ein/Aus-Zyklen auftreten. Dies trifft auch auf Verdichter mit fester Drehzahl in Verbundsätzen mit mehreren Verdichtern zu, da sie auch weniger häufig ein- und ausgeschaltet werden. Das bedeutet:
 - weniger elektrische Belastung der Motorwicklung
 - weniger mechanische Beanspruchung aller beweglichen Teile der Verdichter
- **Sanftanlauf**
Wenn die Parameter des Frequenzumrichters ordnungsgemäß eingestellt wurden, reduziert der drehzahlgeregelte Anlauf des Verdichters die Beanspruchung der mechanischen Teile. Der durch den Umrichter verringerte Anlaufstrom sorgt ebenfalls für eine geringere Beanspruchung der Motorwicklung.
- **Schutzvorrichtungen des Umrichters**
Die meisten Frequenzumrichter bieten eine Stromüberwachung und reduzieren bei Überlast die Verdichterdrehzahl.
In Umrichtern sind Schutzvorrichtungen gegen Taktbetrieb, Phasenausfall und falsche Drehrichtung gängig.

Alle obigen durch die Frequenzumrichter gebotenen Schutzvorrichtungen verlängern die Lebensdauer der Verdichter.

6.2 Betriebssicherheit eines Verbundsatzes mit mehreren Verdichtern

- **Schwingungen**
Der Verbund aus mehreren Verdichtern ist vor allem Schwingungen ausgesetzt, die vom Verdichter mit variabler Drehzahl erzeugt werden. Der große Drehzahlbereich kann möglicherweise zu kritischen Resonanzschwingungen beim Betrieb des Verbundsatzes in der Nähe der Eigenfrequenz führen. Dies ist bei der Inbetriebnahme sorgfältig zu prüfen. Einige Frequenzumrichter können bestimmte Frequenzbereiche überspringen, um starke Resonanzen zu vermeiden, die zu Beschädigungen der Leitungen oder des Rahmens führen können. Die zu überspringenden Frequenzen werden manuell in die Parameter des Frequenzumrichters eingegeben.
Diese Funktion kann auch vor Ort genutzt werden, nachdem der Verbund in der Kälteanlage installiert wird. Die Eigenfrequenz des Verbundsatzes kann sich verändern,

Letzte Aktualisierung: September 2017

nachdem die zur Anlage führenden Rohrleitungen angeschlossen sind und der Verbund montiert ist.

- Materialermüdung der Leitungen
Eine verringerte Anzahl von Ein-/Ausschaltungen der Verdichter mindert die Materialermüdung der Verbundleitungen zusätzlich.

7 KONFORMITÄT MIT SICHERHEITSNORMEN

Die Vorschriften für Kälteanlagen beziehen sich auf die Sicherheitsnorm EN 60204-1 (Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen).

Es ist anerkannte und bewährte Praxis, dass Sicherheitskreise (einschließlich Druckbegrenzungsgeräte) mit elektromechanischen Vorrichtungen wie Relais oder Schützen ausgeführt werden.

Es ist nicht zulässig, standardmäßige auf Software basierende Automatisierungsregelungen (wie SPS) zu verwenden, da diese nicht ausfallsicher sind und ein Softwarefehler zu gefährlichen Betriebsbedingungen führen kann.

Bei einem Notfall (z. B. Druckgrenzwert erreicht) eignet sich die Stoppkategorie 0 (sofortige Trennung der Stromversorgung).

Bei Unterbrechung der Stromversorgung durch einen Schütz handelt es sich um eine bewährte Schaltungstechnik zur sofortigen und sicheren Ausschaltung der Verdichtermotoren in einem Notfall.

Die integrierte STO-Funktion (Safe Torque Off) eines Frequenzumrichters kann alternativ verwendet werden, sofern kein Bypass-Schütz eingesetzt wird. Durch eine ordnungsgemäße Installation kann das Sicherheits-Integritätslevel SIL3 erreicht werden. Ein typischer Sicherheitskreis umfasst in der Regel folgende Elemente:

- Wichtige sicherheitsrelevante Vorrichtungen wie zugelassene Überdruckschalter
- Optionale Vorrichtungen wie Niederdruckschalter, Öldruck- oder Ölstands-Überwachungsgeräte
- Vorrichtungen mit hoher Ansprechempfindlichkeit wie Motorüber Temperatur-Relais

Bei den zuvor beschriebenen Normen und Empfehlungen handelt es sich um allgemeine Leitlinien für die sicherheitsrelevante Ausführung der Installation.

Es liegt jedoch in der Verantwortung des Installateurs oder des Anlagenbauers, das Risiko jeder Installation zu bewerten und dabei sicherzustellen, dass alle Sicherheitsmaßnahmen geeignet und funktionsfähig sind.

Diese Empfehlungen richten sich an professionelle Hersteller bzw. Installateure von industriellen oder gewerblichen Kälteanlagen sowie Kühlgeräten für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke. Die Empfehlungen wurden auf Grundlage dessen entwickelt, was ASERCOM zum Zeitpunkt des Entwurfs als Stand der wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse erachtet hat. ASERCOM und seine Mitgliedsunternehmen können jedoch dafür keine Verantwortung übernehmen. Insbesondere für die Zuverlässigkeit der auf Basis dieser Empfehlungen vorgenommenen Maßnahmen (Handlungen oder Unterlassungen) übernehmen ASERCOM und seine Mitgliedsunternehmen keine Verantwortung.
