

**Inhalt:**

1	Einführung.....	2
2	Funktionsprinzip von Kältemaschinen .....	3
3	Kompressortypen .....	3
4	Kältemittel .....	5
5	Maschinenbauarten / Thermische Energiequellen .....	6
6	Wärmepumpe.....	7
7	Kälteindustrie .....	9
8	Kompressor-Steuerungsvarianten .....	11
9	Dimensionierung von FU's für Kältekompresoren .....	12
10	Parametrierung von Kompressor-FU's .....	14
11	Haftungsausschluss .....	14

*Bild 2 i550 protec IP66 / NEMA 4X**Bild 1 i550 cabinet IP20 / NEMA Open Type*

## 1 Einführung

Kälte- oder Wärmepumpenanlagen für gewerbliche und industrielle Anwendungen finden in einer Vielzahl von Endverbraucheranwendungen Verwendung. Sie sind die effizienteste Technologie zur Erzeugung kalter oder warmer Flüssigkeiten durch Nutzung der Energie der Umgebungsluft. Herzstück dieses thermodynamischen Prozesses ist ein von einem Kompressor angetriebener Kältekreislauf. Die Energieeffizienz solcher Kälte-/Wärmepumpenanlagen wird durch den COP (Coefficient of Performance) bzw. SSEPR (Seasonal Energy Performance Ratio) definiert. Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen der thermischen Energie und der verbrauchten elektrischen Energie. Je nach Produkt, Anwendungsfall und Umgebung liegt dieser Wert zwischen 4 und 7. Eine Anlage mit einem COP von 5 würde bei durchschnittlich 45 kW elektrischer Leistung im Jahresdurchschnitt eine thermische Leistung von 225 kW erreichen.

Es gibt eine große Auswahl an unterschiedlichen Geräten, die sich entweder durch **die Endanwendung** (z. B. Gebäudekühlung, Rechenzentren usw.), **den Kompressortyp** (z. B. Scroll-, Kolben-, Schraubenkompressor), **die Bauart** (z. B. Kompaktgerät, Splitgerät), **das Kältemittel** (z. B. Propan R290), **die Wärmequelle** (z. B. luftgekühlt, wassergekühlt) oder **die Kompressorsteuerung** (z. B. FU-gesteuert, Ein-/Ausgesteuert) unterscheiden lassen. Darüber hinaus können sie mit mehreren parallel geschalteten Kompressoren (Volumenerhöhung) mit einem oder zwei separaten Kältekreisläufen auf einem Gestell für unterschiedliche Temperaturen (z. B. Kühl- und Gefrierschrank) aufgebaut werden.

Lenze Frequenzumrichter unterstützen:

1. Größte Anforderung: Energieeffizienter Betrieb **des Kältekompessors** in **gewerblichen** oder **industriellen** Anwendungen. Unsere Produkte eignen sich besonders für Kolben- und Schraubenkompressoren.
2. **Lüftermotoren** in Lüfterpaketen auf Verflüssigungs-/Verdampfereinheiten werden typischerweise mit integrierten DC-Wechselrichtern, sogenannten EC-Lüftern, gesteuert. Unter **anspruchsvollen Umgebungsbedingungen** empfiehlt sich jedoch eine herkömmliche PM-Lösung mit separaten Frequenzumrichtern wie den i5x0-Wechselrichtern.
3. **Umwälzpumpen** werden typischerweise ebenfalls ein- und ausgeschaltet. Für eine präzise Prozesssteuerung (z. B. zur Batteriekühlung) oder eine höhere Effizienz empfiehlt sich der Einsatz eines Frequenzumrichters.

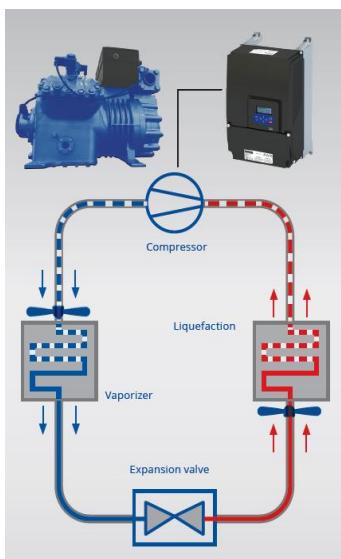


Bild 3 Umwälzpumpe optional mit VFD i550 motec

## 2 Funktionsprinzip von Kältemaschinen

### Übersicht über den Kühlprozess

Der Kältekreislauf ist der Prozess, bei dem Wärme aus einem Raum entzogen und in einen anderen übertragen wird. Der Kühler pumpt ein Kältemittel durch einen Kompressor, verdichtet es und erhöht seine Temperatur. Das erwärmte Kältemittel fließt dann zu einem Kondensator, wo es abkühlt und seine Wärme über einen Wärmetauscher an Wasser oder Luft abgibt. Das kalte Kältemittel wird anschließend einem Kondensator zugeführt, nimmt dort die Wärme aus dem Raum auf und wird zum Kompressor zurückgeführt.

### Weitere Details

#### Kompressionskühlung

Kompressionskältetechnik ist ein wichtiger Bestandteil einer Kälteanlage. Dabei wird ein Kältemittel (meist ein Gas) mithilfe eines Kältekompessors verdichtet und anschließend verflüssigt. Durch die Kondensation wird Wärme freigesetzt, die aus dem Gebäude- oder Rauminnenraum abgeführt wird.

#### Kondensation

Nachdem das Kältemittel unter Druck gesetzt wurde, fließt es durch einen Kondensator, wo es auf eine niedrigere Temperatur gebracht wird. Dabei wird Wärme freigesetzt und das Kältemittel verflüssigt sich.

#### Verdampfung

Nach der Kondensation wird das abgekühlte Kältemittel in den Verdampfer geleitet. Dort erwärmt sich das Kältemittel und verdampft, wobei Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Diese Wärme wird vom Kälteaggregat aufgenommen und über einen Ventilator nach außen abgeleitet.

Während des Verdampfungsprozesses nimmt das Kältemittel Energie aus der Umgebung auf. Diese Energie wird genutzt, um das Kältemittel vom flüssigen in den gasförmigen Zustand zu überführen.

Durch die Verdampfung entsteht im Verdampfer ein Unterdruck. Dieser Unterdruck drückt das Kältemittel zurück in den Kompressor, wo es erneut komprimiert und kondensiert wird. Dieser Zyklus aus Kompression, Kondensation und Verdampfung wiederholt sich so lange, bis die gewünschte Kühlleistung erreicht ist.

## 3 Kompressortypen

### **Spiral(Scroll) Kompressor**

Typischer Leistungsbereich von 1,5 bis 11 kW. Dieser Kompressor benötigt Ölschmierung. Werden diese Kompressoren für den Betrieb mit variabler Drehzahl eingesetzt, ist ein spezielles Design erforderlich, das eine korrekte Schmierung über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Während ein normaler Scrollkompressor mit 2,2 kW 300 € kostet, kostet ein für den VFD-Betrieb geeigneter Kompressor bei gleicher Leistung 1.000 € zuzüglich der Kosten für den Wechselrichter. Aus diesem Grund arbeiten die meisten dieser Einheiten immer noch direkt online. In der VFD-Konfiguration bieten sie üblicherweise ein effizientes BLDC-Design. Lenze-Wechselrichter können dies bis zur Nenndrehzahl von z. B. 3.000 U/min im „U/f-Modus“ gut betreiben. Der Betrieb im Feldschwächbereich bis 6.000 U/min ist jedoch schwierig bzw. nicht möglich.



Mögliche Kompressorlieferanten: Hitachi, Panasonic, Danfoss, Siam, Mitsubishi, Emerson Electric, Atlas Copco, Copeland (bieten oft auch ein Paket aus Kompressor und Wechselrichter an).

Verwendung: Kompakte Industriekältemaschinen, Wärmepumpen.

## Kolbenkompessoren

Die typische Leistung liegt zwischen 5,5 und 90 kW. Dies ist das Arbeitspferd der meisten Kälteanlagen. Das Gehäuse umschließt einen Asynchronmotor und die Kolben. Die Schmierung im Drehzahlbereich von 0 bis 20 Hz ist typischerweise kritisch und erfordert einen sehr schnellen Anlauf. Der i550 bietet daher zwei verschiedene Rampenzeiten, um diese Anwendung optimal zu meistern.

Diese Kompressoren haben eine Kolben-Zylinder-Anordnung ähnlich der eines Verbrennungsmotors. Das Kältemittel im Zylinder wird durch die Hin- und Herbewegung des Kolbens verdichtet. Diese Kompressoren können Gase auf hohe Drücke komprimieren.



### Was versteht man unter offener bzw. hermetischer Bauweise?

Bei offenen Kompressoren sind Motor und Kompressoreinheit lediglich durch eine Welle oder einen Riemen verbunden. Eine Dichtung sorgt dafür, dass kein Kältemittel durch die Welle austritt. Hermetische Kompressoren besitzen eine geschlossene, meist verschweißte Hülle um Motor und Kompressoreinheit. Eine Zwischenlösung stellen halbhermetische Kompressoren dar. Hier sind Motor und Kompressoreinheit durch einen Flansch lösbar miteinander verbunden.

Mögliche Kompressorlieferanten: Bitzer, Dorin, Bock (Teil von Danfoss), Sabor

Verwendung: Gebäudekühlung, Rechenzentren, Supermärkte, Industrieprozesse

## Schraubenkompressoren

Die typische Leistung liegt zwischen 75 und 250 kW (manchmal sogar mehr). Diese Kompressoren benötigen zudem eine spezielle Schmierung. Große Einheiten verfügen sogar über eine separate, frequenzgeregelte Schmierpumpe.



Mögliche Kompressorlieferanten: Sabor, GEA Refrigeration

Verwendung: Große Industrieprozesse, Wärmepumpen mit hohen Temperaturen (90 °C)

## Bauarten von Kompressoren

Abhängig von der Trennung der Flüssigkeit von mechanischen/elektrischen Komponenten gibt es verschiedene Varianten:

- Vollhermetische Kompressoren
- Halbhermetische Kompressoren (typischste Bauart)
- Offene Kompressoren
- Saugdampfgekühlte Kompressoren

## 4 Kältemittel

Das Kältemittel ist das Wärmetransportmedium und der Lebensnerv jeder Kälteanlage. Es nimmt im Verdampfer bei niedriger Temperatur Wärme auf, wird im Kompressor unter Druck gesetzt, erwärmt sich und gibt die Wärme im Kondensator wieder ab. Von der Planung bis zum Betrieb der Kälteanlage sind im Zusammenhang mit Kältemitteln verschiedene Aspekte zu beachten: Kältemittel können die Energieeffizienz beeinträchtigen, entflammbar, giftig oder klimaschädlich sein! Jedes Kältemittel wird mit einem **GWP-Wert** (Global Warming Impact) klassifiziert, der ein Vielfaches des CO<sub>2</sub>-Gases beträgt. OEMs müssen diese Werte in der Regel jährlich entsprechend den regionalen Gesetzen senken. In Asien gelten heute weniger strenge Gesetze als in Europa. Die sogenannte **F-Gas-Richtlinie** regelt dies.

Der Trend ist jedoch weltweit derselbe, und die OEMs entwickeln ihre Geräte ständig neu, um den schrittweise strengerem Gesetzen gerecht zu werden. Es gibt zwei Arten von Kältemitteln:

### Synthetische Kältemittel

Synthetische, luftstabile Kältemittel (HFKW1 und HFKW2) basieren auf Fluorkohlenwasserstoffen. Sie werden als stabil bezeichnet, weil sie sich in der Luft langsam zersetzen (durchschnittliche Verweilzeit mehr als zwei Jahre). Bei Freisetzung (z. B. durch ein Leck) wirken sie langfristig klimaschädlich und haben ein **hohes Treibhauspotenzial**.

Die neuen, nicht luftstabilen synthetischen HFO-Kältemittel weisen ebenfalls viele der positiven Eigenschaften synthetischer Kältemittel auf. Im Gegensatz zu anderen synthetischen Kältemitteln sind sie jedoch nicht atmosphärisch stabil. Das bedeutet, dass sie nur wenige Tage (deutlich weniger als zwei Jahre) in der Atmosphäre verbleiben *und somit nur eine sehr geringe klimaschädliche Wirkung haben*.

### Natürliche Kältemittel

Natürliche Kältemittel bestehen aus Stoffen, die auch in der Natur vorkommen. Sie haben keine oder nur geringe Umweltbelastung und werden immer häufiger eingesetzt. Allerdings haben sie auch Nachteile. CO<sub>2</sub> erfordert eine sehr robuste Auslegung (bis zu 100 bar), um einen einigermaßen effizienten Betrieb zu gewährleisten. Propan überträgt Wärme äußerst effizient, ist jedoch entzündlich und unterliegt daher zahlreichen Vorschriften für Erstausrüster und Betreiber (z. B. maximale Menge, Leckageerkennung, aktive Lüfter, regelmäßige Wartung usw., abhängig von der verwendeten Kältemittelmenge).

### Kältemittel Beispiele

**R134a & R410A** – synthetische Kältemittel, luftstabil, nicht entzündbar, leicht giftig, GWP 1430 (**A1**)

**R513a** – neues synthetisches Kältemittel, luftstabil, nicht entzündbar, leicht giftig, GWP 573 (**A1**)

**R1234ze & yf** – synthetische Kältemittel, nicht luftstabil, leicht entzündlich und giftig, GWP 6 (**A2L**)

**R290 (Propan)** – natürliches Kältemittel, brennbar, leicht giftig, GWP 3 (**A3**)

**R744 (CO<sub>2</sub>)** – natürliches Kältemittel, nicht entzündbar, leicht giftig, GWP 1 (**A1**)

**R717 (Ammoniak)** – natürliches Kältemittel, schwer entflammbar, hochgiftig, GWP 0 (**A2L**)

#### A2L- und A3-Zertifizierung

Bei Installationen in entflammbaren Umgebungen (Propan, Ammoniak) müssen die installierten Geräte entsprechend zertifiziert sein. Um Risiken für Frequenzumrichter und andere Komponenten zu vermeiden, verbauen viele OEMs ihre Wechselrichter in einem „sicheren“ Gehäuse, sodass keine spezielle Frequenzumrichter-Zertifizierung erforderlich ist.

Lenze prüft und zertifiziert seine Frequenzumrichter der i500-Familie derzeit gemäß A2L- und A3-Zertifizierung. Dabei wird die Oberflächentemperatur dieser Frequenzumrichter geprüft und sichergestellt, dass sie innerhalb der in der Norm festgelegten Sicherheitsgrenzen liegt. Darüber hinaus dürfen im Normalbetrieb keine Lichtbögen oder Funken entstehen. Daher gelten diese Frequenzumrichter gemäß Prüfnorm IEC/UL 60335-2-40 nicht als potenzielle Zündquelle, wenn sie in der Nähe von Kältemitteln der Klassifizierung A2L oder A3 eingesetzt werden.

## 5 Maschinenbauarten / Thermische Energiequellen

### System Übersicht

- Kombinierte Anlagen
- Heißgas-Kombianlagen
- Solekühlung
- CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen
- Glykol-Kälteanlagen
- Kaskaden-Kälteanlagen
- Luftgekühlte Anlagen
- Wassergekühlte Anlagen
- Split-Anlagen
- Kompaktanlagen
- Wärmepumpen

Kühl- und Klimaanlagen gibt es in vielen verschiedenen Arten und Größen und jedes System hat seine eigenen Vor- und Nachteile.

### Kompleteinheiten

Diese Geräte vereinen den kompletten Kältekreislauf vom Kondensator, Kompressor bis zum Verdampfer in einem Gehäuse. DOAS (Dedicated Outdoor-Systems) / Dachklimaanlagen integrieren zusätzlich die Gebäudelüftungsanlage, die die Frischluft des Gebäudes im selben Gebäude kühlt.

### Split-Systeme

Split-Systeme zählen zu den am häufigsten eingesetzten Kälte- und Klimaanlagen. Sie bestehen aus zwei Einheiten: einer Außeneinheit mit Kompressor und Kondensator und einer Inneneinheit mit Verdampfer. Die beiden Einheiten sind durch Rohrleitungen und elektrische Leitungen miteinander verbunden.

Split-Systeme eignen sich gut für Wohngebäude, Büros und kleine Unternehmen. Sie sind relativ einfach zu installieren und in verschiedenen Größen und Leistungsklassen erhältlich.

## VRV/VRF-Systeme

Systeme mit variablem Kältemittelvolumen (VRV) oder variablem Kältemittelfluss (VRF) sind eine Art Multi-Split-System. Sie bestehen aus einem Außengerät und mehreren durch Rohrleitungen verbundenen Innengeräten. Jedes Innengerät verfügt über einen eigenen Thermostat und kann individuell geregelt werden.

VRV/VRF-Systeme eignen sich besonders für größere Gebäude und Unternehmen mit mehreren Räumen oder Zonen. Sie ermöglichen erhebliche Energieeinsparungen, da sie die Kältemittelmenge an den aktuellen Bedarf anpassen können. Darüber hinaus arbeiten VRV/VRF-Systeme geräuschärmer als herkömmliche Split-Systeme.

## Kühlwassersysteme

Kühlwassersysteme sind eine weitere häufig eingesetzte Kälte- und Klimaanlagenart. Sie erzeugen mithilfe eines zentralen Kühlers kaltes Wasser, das dann über Rohrleitungen zu den Kühlseinheiten im gesamten Gebäude bzw. Prozess transportiert wird. Kühlwassersysteme eignen sich gut für große Gebäude wie Hotels, Krankenhäuser, Bürogebäude oder Industrieprozesse. Sie sind energieeffizient und bieten eine bessere Temperaturregelung als herkömmliche Split-Systeme. Allerdings sind sie aufgrund ihrer Komplexität und des zusätzlichen Rohrleitungs- und Pumpenbedarfs auch teurer in Anschaffung und Wartung.

## Geothermieanlagen

Geothermieanlagen nutzen die konstante Temperatur des Erdreichs sowohl als Wärmequelle als auch als Wärmesenke. Sie können als Wärmepumpe fungieren, um Wärme aus dem Erdreich zu gewinnen und zum Heizen zu nutzen, oder umgekehrt, um Wärme aus dem Gebäude zu gewinnen und in das Erdreich zurückzugeben.

Geothermieanlagen können sehr energieeffizient sein und helfen, Heiz- und Kühlkosten zu senken. Sie bieten außerdem den Vorteil, dass ganze Jahr über konstante Temperaturen zu gewährleisten, unabhängig von der Außentemperatur. Geothermieanlagen sind jedoch teurer in der Anschaffung und erfordern spezielle Kenntnisse und Erfahrung für Installation und Wartung.

## 6 Wärmepumpe

### Wie funktioniert eine Wärmepumpe?

Eine Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank – nur umgekehrt. Während ein Kühlschrank Wärmeenergie aus dem Inneren des Gebäudes entzieht und nach außen abgibt, verhält sich eine Wärmepumpe umgekehrt: Sie entzieht der Umgebung außerhalb des Gebäudes Wärmeenergie und nutzt diese zur Erwärmung von Wasser/Luft. Neben der Innen- oder Außenluft kann eine Wärmepumpe auch Wärmeenergie aus Grundwasser und Erde nutzen. Da die Temperatur dieser gewonnenen Wärme meist nicht ausreicht, um ein Gebäude zu heizen oder Warmwasser zu erzeugen, wird der thermodynamische Prozess genutzt.

### Kältekreislaufprozess Kern des Wärmepumpenprinzips

Unabhängig davon, welche Wärmequelle zur Wärmeerzeugung genutzt wird, ist der in vier Schritten ablaufende Kältekreislaufprozess immer Teil der Funktionsweise der Wärmepumpe.

1. Verdampfung
2. Komprimieren eines Gases
3. Kondensation
4. Entspannung

## Ständige Wiederholung des Prozesses

Diese Prozesse laufen innerhalb der Wärmepumpe in einem geschlossenen Kreislauf ab. Zum Wärmetransport dient eine Flüssigkeit (Kältemittel), die bereits bei sehr niedrigen Temperaturen verdampft. Zum Verdampfen dieser Flüssigkeit wird Wärmeenergie, beispielsweise aus dem Erdreich oder der Außenluft, genutzt. Temperaturen von bis zu minus 20 Grad Celsius sind hierfür ausreichend. Der beispielsweise minus 20 Grad Celsius kalte Kältemitteldampf wird anschließend stark verdichtet. Dabei erhitzt er sich auf bis zu 100 Grad Celsius. Dieser Kältemitteldampf kondensiert und gibt die Wärme an das Heizsystem ab. Anschließend wird der Druck des flüssigen Kältemittels stark reduziert. Dadurch sinkt die Temperatur der Flüssigkeit auf ihr ursprüngliches Niveau. Der Prozess kann von neuem beginnen.

## Prinzip der Wärmepumpe am Beispiel einer Luft-Wasser-Wärmepumpe

Dieser Vorgang lässt sich am einfachsten am Beispiel einer Luft-Wasser-Wärmepumpe erklären: Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe kann aus einer oder zwei Einheiten bestehen. In beiden Fällen saugt ein eingebauter Ventilator aktiv Umgebungsluft an und leitet sie zu einem Wärmetauscher. Ein Kältemittel durchströmt den Wärmetauscher selbst, wodurch sich sein Aggregatzustand selbst bei sehr niedrigen Temperaturen ändert. Beim Kontakt mit der Umgebungsluft erwärmt sich das Kältemittel und verdampft allmählich. Ein Kompressor bringt die entstehende Wärme auf die gewünschte Temperatur. Dadurch wird der Dampf komprimiert und sowohl Druck als auch Temperatur des Kältemitteldampfes erhöht.

**Große Wärmepumpen für Industrie-/Fernwärme mit Kolben- oder Schraubenkompressoren eignen sich hervorragend für die i550. Wärmepumpen für Wohn- und Gewerbegebäude arbeiten mit kosten-günstigen BLDC-Motoren. Dieser Motortyp kann mit der i500-Familie noch nicht gesteuert werden. Daher sollte diese Frage dem Kunden zu Beginn des Projekts gestellt werden.**



## 7 Kälteindustrie

Es gibt ein breites Spektrum an Anwendungen mit steigender Nachfrage. OEMs oder Systemintegratoren können sich auf eine oder mehrere verschiedene Anwendungen konzentrieren.

### Gebäudekühlung

Ein sehr großer Markt: Kälteanlagen versorgen den Luft-Wasser-Wärmetauscher der Gebäudelüftungsanlagen mit kaltem Wasser, das anschließend die Räume mit kalter Frischluft versorgt. Diese Systeme können als Split- oder Kompaktgeräte installiert werden. Lenze-Geräte mit einem breiten Umgebungstemperaturbereich und flexiblen Leistungsgrößen eignen sich ideal für Gewerbe- und Industriebauten.

### Gewerbliche Lebensmittelkühlung (Supermärkte, Großküchen)

Großer Markt: Typische Anwendung zentraler Kälteanlagen zur Versorgung von Kühl- und Gefriermöbeln für Lebensmittel, Fleisch- oder Milchprodukte. Typische Anwendung in mittleren und großen Supermärkten. Die Anlage besteht typischerweise aus zwei Kühlkreisläufen (Kühl- und Gefrierschrank) mit jeweils 1 bis 4 Kolbenkompressoren. Die ersten ein bis zwei Einheiten werden üblicherweise mit Frequenzumrichtern gesteuert, die zweite und vierte Einheit werden kaskadengesteuert oder bedarfsabhängig zugeschaltet.



Bild 5 CO2-Booster-Kompaktsystem, mit halbhermetischem Kolbenkompressor, Ölabscheider, Schaltschrank etc. für Supermarktkühlung

### Kühlung von Rechenzentren

Riesiger und sehr schnell wachsender Markt. Geräte zur Kühlung bei 18 °C. Sehr stark wachsende Nachfrage. Manchmal wird ein niedriger Leistungsfaktor benötigt – i550 motec.

### Kühlsysteme für Lebensmittel und Getränke

Die Ausrüstung kann verwendet werden für: Gefriertrocknung von Lebensmitteln (-60 °C), Kühl Lagerung (-20 °C), Prozesskühlung von Getränken (-10 °C)

### Industrielle / Prozesskühlung

Anwendungsbeispiele sind: Kunststoffspritzguss, Werkzeugmaschinenbau, chemische Industrie im Allgemeinen

## Wärmepumpen

Gleiches Gerät in umgekehrter Richtung. Einsatz in industriellen Prozessen (bis 90 °C), Fernwärme oder Gewächshäusern (50 °C). Auch in Gewerbegebäuden wird zunehmend von Gas-/Ölfeuerung auf Wärmepumpen umgestellt, die sowohl zum Heizen im Winter als auch zum Kühlen im Sommer eingesetzt werden können.

## Sonstige

- a) **Batteriekühlung:** Kühlungen für fest installierte Batterien zum Ausgleich schwankender Anforderungen. Die Anwendungen nehmen zu und erfordern typischerweise auch präzise drehzahlgeregelte Umwälzpumpen.
- b) **Medizinische Anwendungen:** Laserkühlung, Funktechnik, Organlagerung
- c) **Eisbahnen, Bobbahnen, Beschneiungsanlagen**
- d) **Windkanäle** (Automobilindustrie)

## 8 Kompressor-Steuerungsvarianten

Bei großen Leistungsunterschieden einzelner Kühlstellen in einem System kommt ein Leistungsregler zum Einsatz. Dieser stellt sicher, dass der Kompressor im optimalen Bereich arbeitet und verhindert unnötiges Ein- und Ausschalten des Kompressors. Verschiedene Leistungsregler kommen zum Einsatz:

- Frequenzumrichter
- Kaltgasbypass
- Heißgasbypass mit Nacheinspritzung
- Heißgasbypass ohne Nacheinspritzung
- Zylinderkopfanhebung
- Vergrößerter Freiraum

<b>Schrittsteuerung</b>	Bei dieser Regelungsart arbeiten mehrere Kompressoren gleicher oder unterschiedlicher Leistung zusammen. Je nach Kühlbedarf können einzelne Kompressorstufen zu- oder abgeschaltet werden. Die Lösung ist relativ einfach, aber ungenau.
<b>Geschwindigkeitsregelung</b>	Die Drehzahlregelung arbeitet unter anderem mit einem Frequenzumrichter und gilt als besonders energieeffizient. Diese Technologie verändert die Parameter der Stromversorgung und ermöglicht so eine stufenlose Anpassung der Motordrehzahl an den Kühlbedarf.
<b>Bypass-Steuerung</b>	Beim Einsatz von Verdrängerkompressoren kann die Leistung zusätzlich über einen internen Bypass angepasst werden. Dabei fließt bereits verdichtetes Kältemittel über ein Ventil zur Saugseite zurück, um die Gesamtkühlleistung zu reduzieren. Nachteilig ist der höhere Energieverbrauch im Vergleich zur Drehzahlregelung.

## 9 Dimensionierung von FU's für Kältekompessoren

Die Dimensionierung eines Frequenzumrichters für einen Kältemittelverdichter kann grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Nachfolgend sehen Sie ein Beispiel zur Auswahl des passenden Umrichters für den Bitzer-Verdichter 4TES-8Y im Vergleich.

- Manuelle Berechnung: Ausgelegt auf den maximalen Strom des Kältemittelverdichters.
- Dimensionierungstool: Auslegung auf die Betriebspunkte (Kondensation und Verdampfung), sofern diese bekannt sind; hierfür gibt es gute Berechnungsprogramme (z. B. von Bitzer). [BITZER SOFTWARE](#)

### Manuelle Berechnung anhand des Maximalstroms

**Kompensationsfaktor für Kolbenkompressoren** (ausgelegt für maximalen Strom) Berücksichtigen Sie die Überlastfähigkeit beim Anlaufen des Kompressors.

Zusätzlich muss ein Kompensationsfaktor Fc für den Strom beim Anlaufen des Kompressors berücksichtigt werden. Da das Drehmoment von Kolbenkompressoren nicht konstant mit dem Drehwinkel ist (je höher die Zylinderanzahl, desto konstanter das Drehmoment), ist bei geringerer Zylinderanzahl ein höheres Anlaufdrehmoment erforderlich. Die Kompensationsfaktoren lauten wie folgt:

- 2-Zylinder-Kolbenkompressor für CO<sub>2</sub>: FC = 3
- Anderer 2-Zylinder-Kolbenkompressor: FC = 2
- 4-Zylinder-Kolbenkompressor: FC = 1,6 •
- 6-Zylinder-Kolbenkompressor: FC = 1,5 •
- 8-Zylinder-Kolbenkompressor: FC = 1,4

Daraus ergibt sich die Auslegung des Frequenzumrichters für einen 4-Zylinder-Hubkolbenkompressor:

**Kompressorspezifikationen: 4TES-8Y**

**Zylinderzahl x Bohrung x Hub: 4 x 60 mm x 42 mm**

**Motorspezifikationen: 3-phäsig, 380–420 V / 50 Hz, max. Betriebsstrom: 12,1 A**

- I<sub>max</sub> des Kompressormotor (siehe Typenschild) x Kompensationsfaktor Fc x 1,10 (Reserve) / 1,50 (Überlaststrom des Frequenzumrichters, während 60 s) = Nennstrom, den der Frequenzumrichter liefern muss.

Beispiel: 12,1 A (Imax) x 1,60 (Fc) x 1,10 (Res.) / 1,50 (Überlast Frequenzumrichter) = 14,20 A

Beispiel: Frequenzumrichterauswahl I55AP275F0710K03S / 7,50 kW / 400 V / 16,5 A. Der 7,50-kW-Frequenzumrichter hat einen Dauernennstrom von 16,5 A.

Bei Umrichtern mit z. B. nur 110 % Überlast für 1 Minute muss der Nennstrom höher sein.

12,1 A (Imax) x 1,60 (Fc) x 1,10 (Res.) / 1,10 (Überlast Frequenzumrichter) = 19,36 A => 11 kW Frequenzumrichter

## Dimensionierung mit dem Dimensionierungstool

Beispieldesign basierend auf dem mit der OEM-Dimensionierungssoftware für Kompressoren berechneten Wert, z.B. Bitzer:

Eingangswerte		Resultat	
Kompressormodel	4TES-8Y	Kompressor	4TES-8Y-40P
Modus	Kälte- und Klimatechnik	Kompressor Frequenz	65,0 Hz
Kältemittel	R134a	Kühlleistung	15,97 kW
Referenztemperatur	Taupunkttemperatur	Kälteleistung *	15,97 kW
Verdampfungstemperatur SST	-10,00 °C	Verdampferleistung	15,97 kW
Kondensationstemperatur SDT	45,0 °C	Leistungsaufnahme	6,40 kW
Flüssigkeitsuntertemperatur (im Kondensator)	0 K	Strom (400V)	10,41 A
Sauggastemperatur	20,00 °C	Verflüssigerleistung	22,4 kW
Betriebsart	Auto	COP/EER	2,50
Stromversorgung	400V-3-50Hz	COP/EER *	2,50
Nutzbare Überhitzung	100%	Massenstrom	374 kg/h
		min. Kühlleistung	5,83 kW (25 Hz)
		max. Kühlleistung	17,12 kW (70 Hz)
		Druckgastemperatur ohne Kühlung	97,0 °C

## 10 Parametrierung von Kompressor-FU's

Die Regelung eines Kolbenkompressors ist nicht mit jedem Frequenzumrichter möglich, da bei einer 360°-Drehung der Kurbelwelle unterschiedliche Drehmomente auftreten. Dieses Phänomen tritt nur bei der Kompressorregelung auf, nicht jedoch beispielsweise bei der Drehzahlregelung von Pumpen oder Lüftern, und kann daher bei einem ungeeigneten Frequenzumrichter zu Fehlfunktionen führen. Zudem kann eine falsche Parametrierung der Beschleunigungsrampe auf die Betriebsfrequenz innerhalb kürzester Zeit zum Kompressorausfall führen. Insbesondere zu lang eingestellte Beschleunigungsrampen können verheerende Folgen für die **Schmierung des Kompressors** haben.

Bei einem Kolbenkompressor mit einer Betriebsfrequenz von ca. 25 Hz sollte daher eine **Beschleunigungsrampe 1** von 0,8 Sekunden gewählt werden. Je nach Anwendung kann eine **Beschleunigungsrampe 2** von 5,0 bis 10,0 Sekunden verwendet werden, um die Drehzahl von der minimalen Betriebsfrequenz auf die maximale Betriebsfrequenz (üblicherweise zwischen 65 und 70 Hz) zu erhöhen.

Alle Einzelheiten finden Sie in der Kurzanleitung zur Kältetechnik.

## 11 Haftungsausschluss

Dieser Leitfaden dient ausschließlich zu Informationszwecken. Obwohl wir uns größte Mühe gegeben haben, die Richtigkeit der Informationen zu gewährleisten, können wir keine Garantie für Fehlerfreiheit oder Vollständigkeit übernehmen. Wir empfehlen Nutzern, alle Informationen zu überprüfen, bevor sie sich auf sie verlassen. Wir übernehmen keine Haftung für Verluste oder Schäden, die durch das Vertrauen auf diesen Leitfaden entstehen.