



CO₂-VERDICHTER IM REALBETRIEB – TYPISCHE HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGEN

BIV Lehrtreffen - BSZ Lindau - 11.05.2026

Thilo Roller – BITZER Kühlmaschinenbau





INHALT

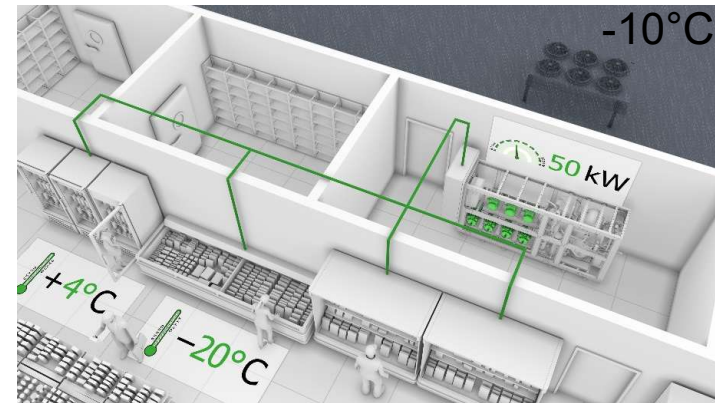
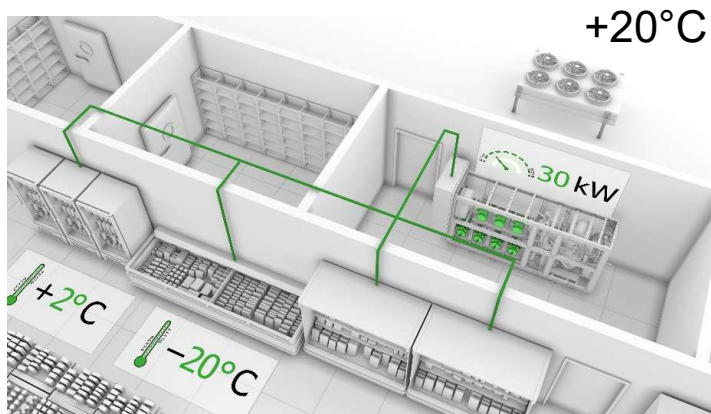
- // Herausforderungen an Verdichter und Regelung
- // Typische Schadensbilder an Verdichtern und Praxiserfahrungen
- // Innovative Lösungen im Bereich der Leistungsregelung
- // Beispiel aus der Praxis



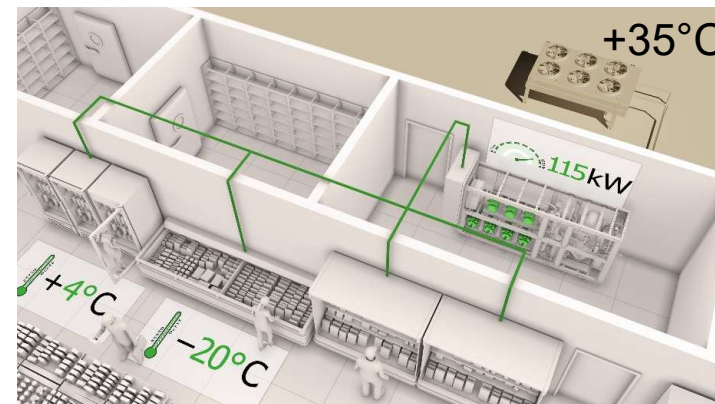
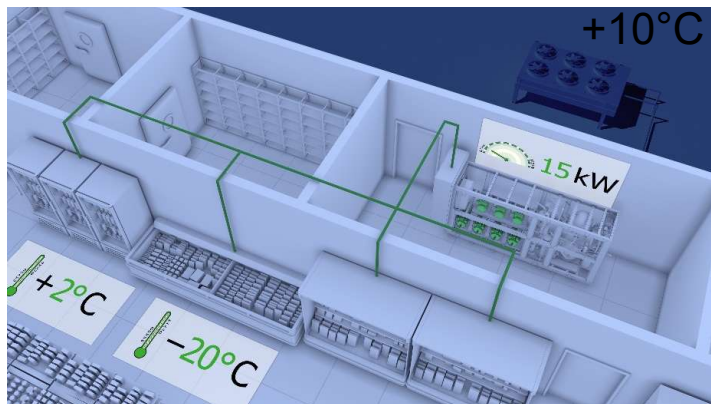
Spezielle Anforderungen in Supermarktanwendungen

- // Anhaltende Verglasung der NK Kühlmöbel (Reduzierung der Kälteleistung von 1200 W / lfm auf < 400W / lfm)
- // Stetiger Ausbau der Tiefkühlung (Verdopplung der Leistung innerhalb von 20 Jahren)
- // WRG nimmt an Bedeutung zu
- // Anforderungen an Energieeffizienz steigt. Mit steigender Effizienz wird Anlagentechnik immer komplexer (Parallelverdichter, Ejektor,....)
- // Schnelle Inbetriebnahme
- // Betriebssicherheit muss weiterhin gewährleistet sein

HERAUSFORDERUNGEN HEUTIGER UND ZUKÜNFTIGER SYSTEME



Beispiel Supermarkt: Ein Supermarkt hat aufgrund von Kunden, wechselnden Wetterbedingungen und Öffnungszeiten immer wieder unterschiedliche Auslastungsbedingungen und das System muss auf diese Bedingungen reagieren.



TYPISCHE SCHADENSBILDER AN VERDICHTERN UND PRAXISERFAHRUNGEN



- // Betrieb außerhalb der Einsatzgrenze
- // zu hohe Betriebstemperaturen z.B. durch zu hohe Sauggastemperaturen / Überhitzungen
→ Starke Verfärbungen "Ölkohle"
- // Flüssiges Kältemittel auf der Saugseite → Flüssigkeitsschläge an Verdichtern → hohe Anreicherung des Kältemittels im Öl → Mangelschmierung
- // Geringere Teillast → Hohe Anzahl an Schaltspiele / Takten der Verdichter → Mangelschmierung



LÖSUNGEN DIESE SCHADENSBILDER ZUKÜNFTIG ZU VERMEIDEN

- // Gute Planung / gutes Regelkonzept
 - Ermittlung des minimalen als auch maximalen Leistungsbedarfs
- // Leistungsregelung und Überwachung der Verdichter
- // Regelgüte des Verbundsystems – Kälteleistung sollte stufenlos zwischen Minimum und Maximum variiert werden können

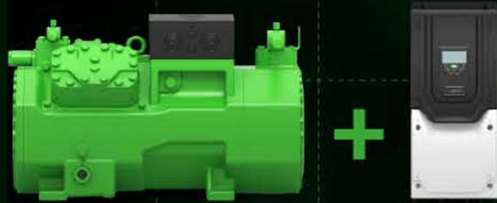


LEISTUNGSREGELUNG IST EIN MUSS FÜR MODERNE VERBUNDANLAGEN

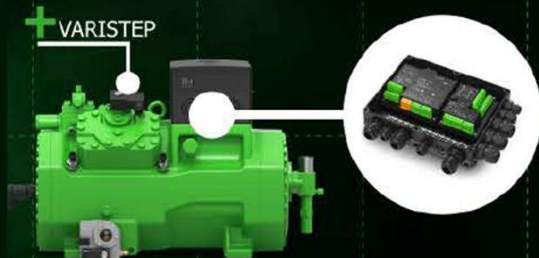
UNTERSCHIEDLICHE MÖGLICHKEITEN,
GLEICHES ZIEL

Steigerung der Energieeffizienz,
Produktqualität und Zuverlässigkeit der
Aktivlage durch eine präzise Abdeckung des
Kühl- oder Wärmebedarfs

OPTION 1



OPTION 2



OPTION 3 (Feldtest)





LEISTUNGSREGELUNG IST EIN MUSS FÜR MODERNE VERBUNDANLAGEN

OPTION 1

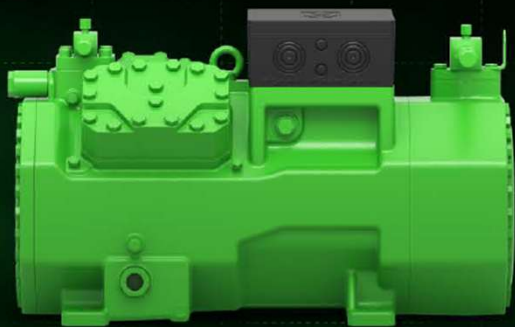
MIT VARIPACK Frequenzumrichter
stufenlose Leistungsregelung

// 2-Zylinder 30-75 Hz \approx 34-100 %

// 4-6-Zylinder 25-70 Hz \approx 34-100 %

// Beispiel 10kW Verdichter bei 70Hz

- Max. Leistung 10kW
- Min. Leistung 3,4 kW (25Hz)





LEISTUNGSREGEL IST EIN MUSS FÜR MODERNE VERBUNDANLAGEN

OPTION 2

Mit IQ MODULE: VARISTEP quasi stufenlos

// 2-Zylinder 25%-100%

// 4-Zylinder 10-100 %

// 6-Zylinder 33-100 %

// Beispiel 10kW Verdichter bei 50Hz

- Max. Leistung 10kW
- Min. Leistung 1,0 kW (10%)
2,5kW (25%)
3,3kW (33%)



FUNKTIONSPRINZIP DES VARISTEP SYSTEMS



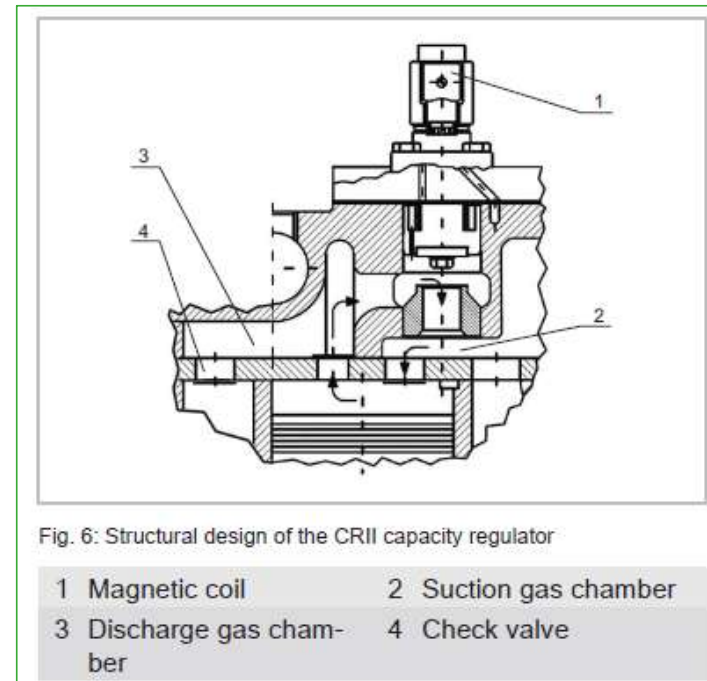
ECOLINE+ mit mechanischer Leistungsregulierung VARISTEP

/ Das VARISTEP-System basiert auf der Zylinderabschaltung

/ Der interne Bypass wird über einen Steuerkolben aktiviert > Druckausgleich bis zum Rückschlagventil

/ Das Rückschlagventil an der Ventilplatte verhindert einen Rückfluss von der HD-Seite des Systems

/ VARISTEP wird durch das IQ MODULE ein- und ausgeschaltet und ermöglicht einen stufenlosen Betrieb



VARISTEP MÖGLICHKEITEN



Mit IQ Modul
Quasi stufenlose Kapazitätsregelung

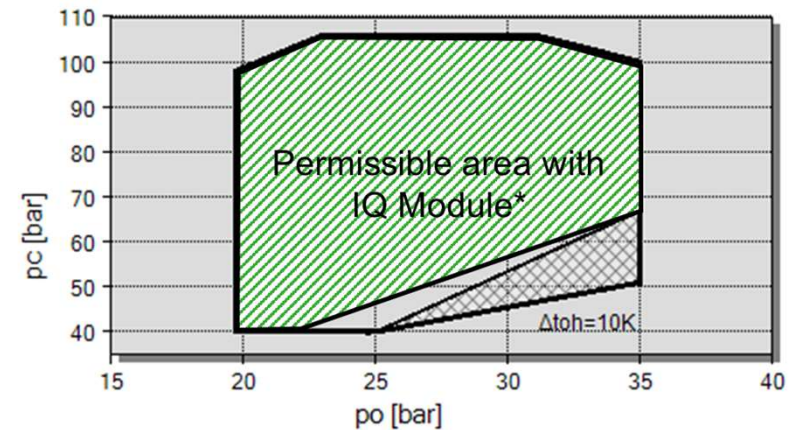
/ 4 Zylinder 10*-100%

/ 6 Zylinder 33%-100%

* Der Betrieb in dem begrenzten Bereich ist nicht ständig erlaubt und wird durch das IQ Modul eingeschränkt. Das IQ-Modul erhöht die minimal zulässige Kapazität, um eine Überhitzung des Verdichters zu verhindern.

Auftragshülle 10-100%

Limits



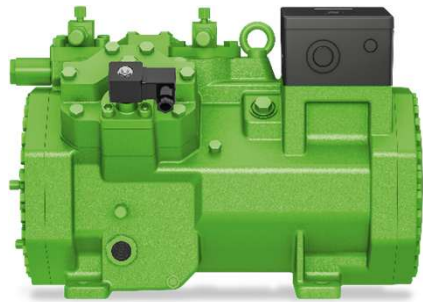
M2: motor 2

----- Operation above designated line not allowed for following compressor models: 4PTE, 4PTC

mind operating parameters

● A

VARISTEP MÖGLICHKEITEN



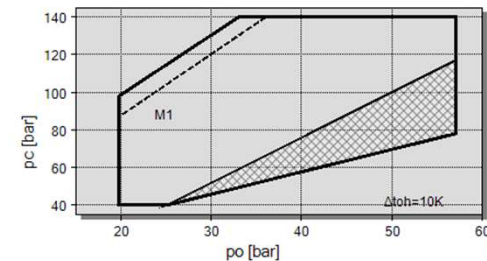
Ohne IQ Modul als CR Gestufte Leistungsregelung*

/ 4 Zylinder 50 oder 100%

/ 6 Zylinder 33%, 66% oder 100%

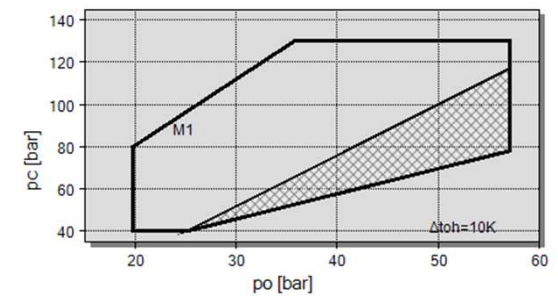
*Umhüllung mit CR finden Sie jetzt in BITZER Software

4GTE-30K CR100 %



■ Betriebsparameter beachten
— M1: Motor 1
- - - Betrieb oberhalb dieser Linie unzulässig für folgende Verdichter-Modelle: 4PTE, 4PTC
● A

4GTE-30K CR50 %





LEISTUNGSREGEL IST EIN MUSS FÜR MODERNE VERBUNDANLAGEN

OPTION 3 (Feldtest 2025)

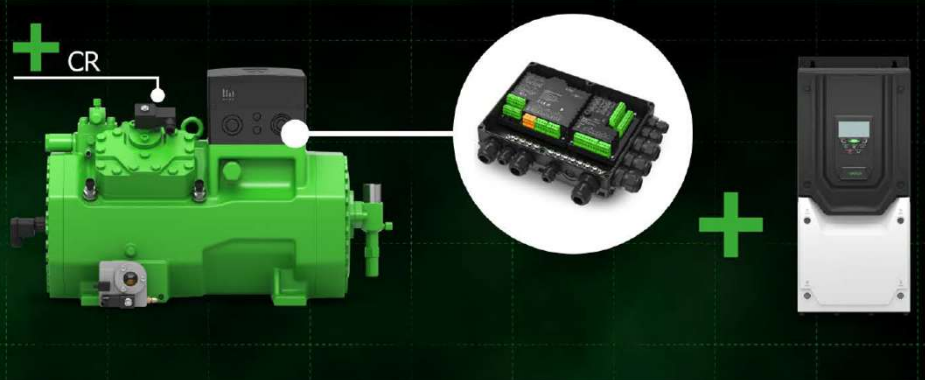
Mit IQ MODULE: VARIPACK (30-70 Hz) +
Mechanische Leistungsregelung (CR; 50/100 %)

Stufenlose Leistungsregelung

// 4-Zylinder 21-100 %

// Beispiel 10kW Verdichter bei 70Hz

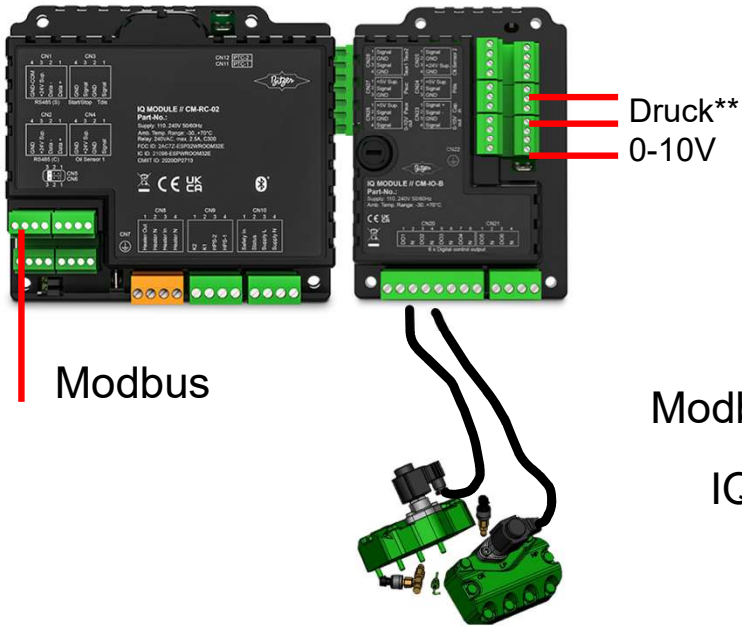
- Max. Leistung 10kW
- Min. Leistung 2,1 kW (21%)



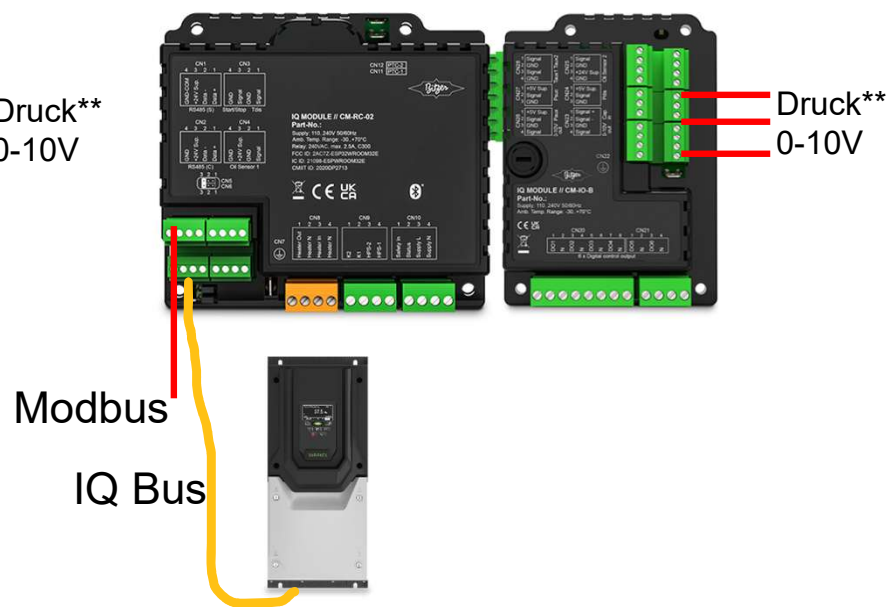
NEU LEISTUNGSREGELUNGSFUNKTIONEN CM-IO MODULE



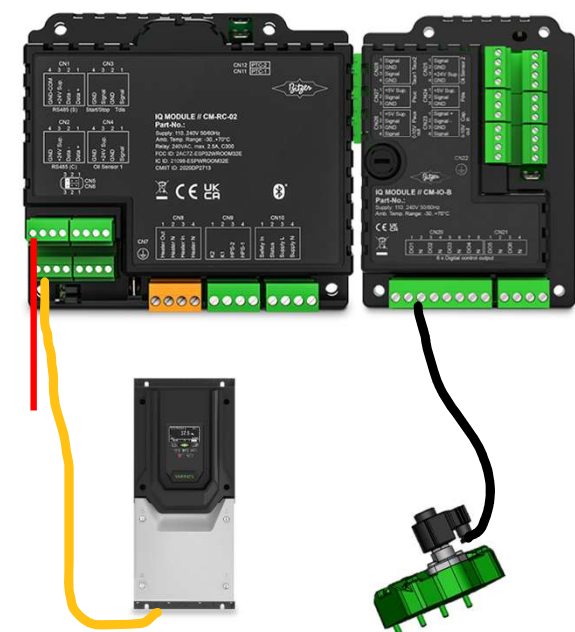
CM-I-A CM-IO-B



CM-IO-B



CM-IO-B



VARISTEP

Kontrollwert
CM-IO-A Modbus oder 0-10V
CM-IO-B Modbus oder 0-10V
Saugdruck

Regelbereich
10-100%
(2-Zylinder, 6 & 8Zylinder CO₂ begrenzt)

Frequenzumrichter

CM-IO-B Modbus oder 0-10V
Saugdruck

~34-100%

Frequenzumrichter + CR

CM-IO-B Modbus oder 0-10V
Saugdruck

~21-100% (4-Zylinder)

DESIGNEMPFEHLUNGEN FÜR VERBUNDSYSTEME



Um eine stufenlose Leistungsmodulation zu erreichen, ist es wichtig, die Größen der Verdichter zu wählen, die der folgenden Gleichung entsprechen:

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

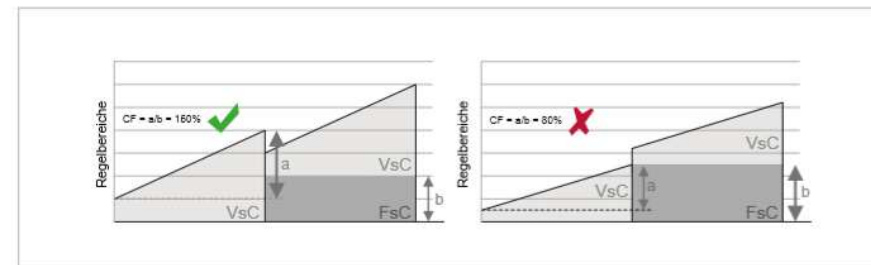


Abb. 1: Beispiele für die Regelgüte eines Parallelverbunds mit 2 Verdichtern (Quelle: ASERCOM)
 VsC: Verdichter mit variabler Drehzahl
 FsC: Verdichter mit fester Drehzahl
 CF: Regelgüte in %

Der unten definierte Zusammenhang und der Steuerfaktorkoeffizient (CF) können bei der Auswahl der Verdichtergröße hilfreich sein:

- // **VsC** : Verdichter mit variabler Drehzahl
- // **FsC** : Verdichter mit fester Drehzahl
- // **QVsC_{max}** : Kälteleistung des Verdichters mit variabler Drehzahl bei maximaler Drehzahl
- // **QVsC_{min}** : Kälteleistung des Verdichters mit variabler Drehzahl bei minimaler Drehzahl
- // **QFsC** : Mindestkältekapazität von FsC (unter Berücksichtigung der Leistungsregelung, falls vorhanden)
- // Die Kontrollleistung kann für die folgenden Werte von CF bewertet werden:

➡ Ideal CF ≥ 100% Gut ≥ 80% akzeptabel ≥ 70% Nicht akzeptabel CF ≤ 69%

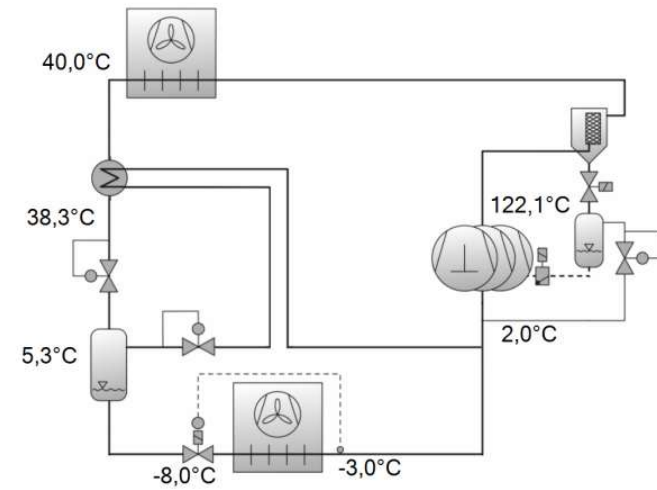
Quelle: ASERCOM

Das folgende Beispiel zeigt eine Auswahl der MT-Verdichter für eine Supermarket-Anwendung mit den folgenden Bedingungen:

Benötigte Mindestleistung Winter* ~15 kW

Geforderte maximale Leistung Sommer* ~ 100 kW

Die erste Auswahl ist der aktuelle Marktstandard, der eine Kapazitätsregelung per FU bietet.



Selection: CO2 Systems

COP/EER Evaporator: 1,48

Input Values

System	
Series	
Operating mode	
Number compressors	
Evaporating SST	
Evaporator superheat	
Suction line superheat	
High pressure	
Gas cooler outlet	
Intermed. pressure	
Power frequency	50Hz
Power voltage	400V

*Sommer

MT-Stage

Flashgas	
Standard	
Transcritical	
3	
-8,00 °C	
5,00 K	
5,00 K	
Auto	
40,0 °C	
40,0 bar(a) / 5,30 °C	

Selection: CO2 Systems

COP/EER Evaporator: 5,41

Input Values

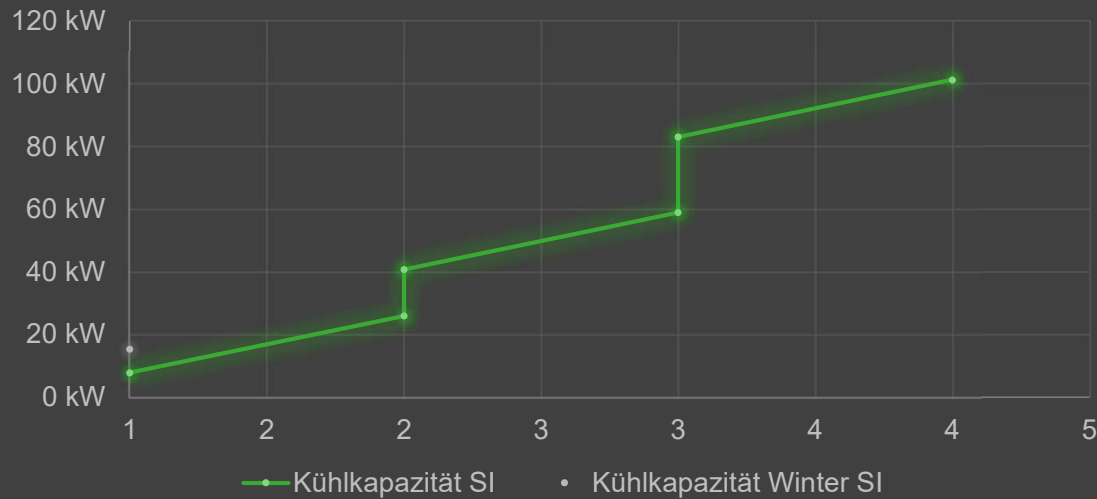
System	
Series	
Operating mode	
Number compressors	
Evaporating SST	
Condensing SDT	
Evaporator superheat	
Suction line superheat	
Liq. subc. (in subcooler)	
Intermed. pressure	
Power frequency	50Hz
Power voltage	400V

*Winter

MT-Stage

Flashgas	
all	
Subcritical	
3	
-8,00 °C	
15,00 °C	
5,00 K	
5,00 K	
2,00K	
40,0 bar(a) / 5,30 °C	

S 1 3 Verdichter mit FU



CF SOMMER: 55%
CF WINTER: 54%

	4JTE-15K	4FTE-20K	4DTE-25K
S 1-2	25Hz-70Hz	OFF	OFF
S 2-3	25Hz-70Hz	100%	OFF
S 3-4	25Hz-70Hz	100%	100%



Schlechte Lösung aufgrund des niedrigen CF-Faktors

Standard mit FU am Führungsverdichter

Verdichter 1: 4JTE + FI 25Hz-70Hz

Verdichter 2: 4FTE FIX

Verdichter 3: 4DTE FIX

Min. Leistung Winter 15 kW

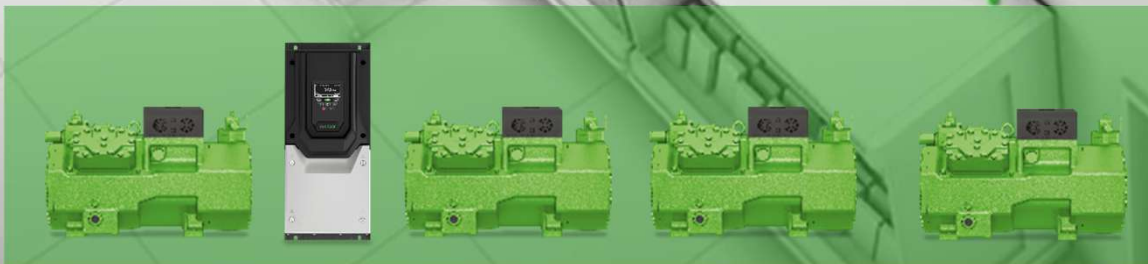
Maximale Leistung Sommer 100kW

S2 4 Verdichter mit FU



CF SOMMER: 99%
CF WINTER: 102%

	4HTE-20K	4HTE-15K	4HTE-15K	4HTE-15K
S 1-2	25 Hz-70Hz	OFF	OFF	OFF
S 2-3	25 Hz-70Hz	100%	OFF	OFF
S 3-4	25 Hz-70Hz	100%	100%	OFF
S 4-5	25 Hz-70Hz	100%	100%	100%



\$\$ Teure Lösung

FU am Führungsverdichter gut ausbalanciert

Verdichter 1: 4HTE + FI 25Hz-70Hz

Verdichter 2: 4HTE FIX

Verdichter 3: 4HTE FIX

Verdichter 4: 4HTE FIX

Min. Leistung Winter **19 kW**

Maximale Leistung Sommer 100 kW

VARISTEP (CR/50%/100%) V1



CF SOMMER: 109%
CF WINTER: 107%



	4JTE-20K	4FTE-20K	4DTE-25K
S 1-2	25 Hz-70Hz	OFF	OFF
S 2-3	25 Hz-70Hz		50% OFF
S 3-4	25 Hz-70Hz		100% OFF
S 4-5	25 Hz-70Hz		50% 100%
S 5-6	25 Hz-70Hz		100% 100%



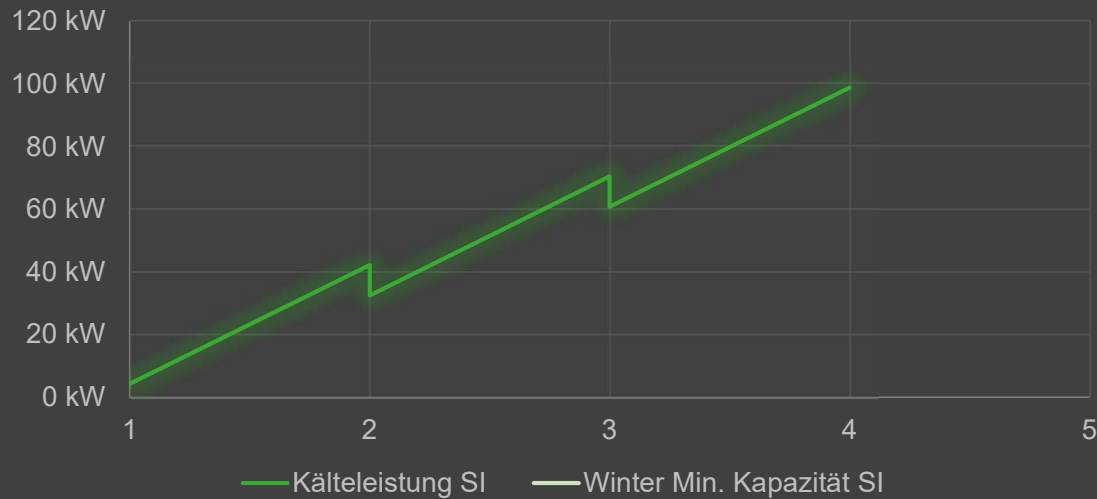
Gute und kostengünstige Lösung

Basisregler 5 Stufen
FU am Führungsverdichter und VARISTEP
50% oder 100% an Verdichter.2

Verdichter 1: 4JTE + FI 25Hz-70Hz
Verdichter 2: 4FTE FIX (CR50%-100%)
Verdichter 3: 4DTE FIX

Min. Leistung Winter 15 kW
Maximale Leistung Sommer 101 kW

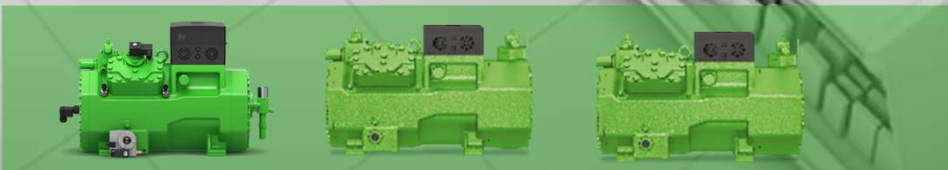
S4 VARISTEP Leitung



CF SOMMER: 136%
CF WINTER: 135%



	4DTEU-25LK-40S	4GTE-20K-40P	4GTE-20K-40P
S 1-2	10-100%	OFF	OFF
S 2-3	10-100%	100%	OFF
S 3-4	10-100%	100%	100%



Gute, einfache und kostengünstige

VARISTEP 10-100% auf dem Führungsverdichter gut ausbalanciert:

Verdichter 1: 4DTEU +IQ 10-100%

Verdichter 2: 4GTE FIX

Verdichter 3: 4GTE FIX

Min. Leistung Winter* **8,2 kW**

Maximale Leistung Sommer* 99 kW

IQ-MODUL (CM-RC-02) – LEISTUNGSREGELUNG



VARIPACK

IQ Modul

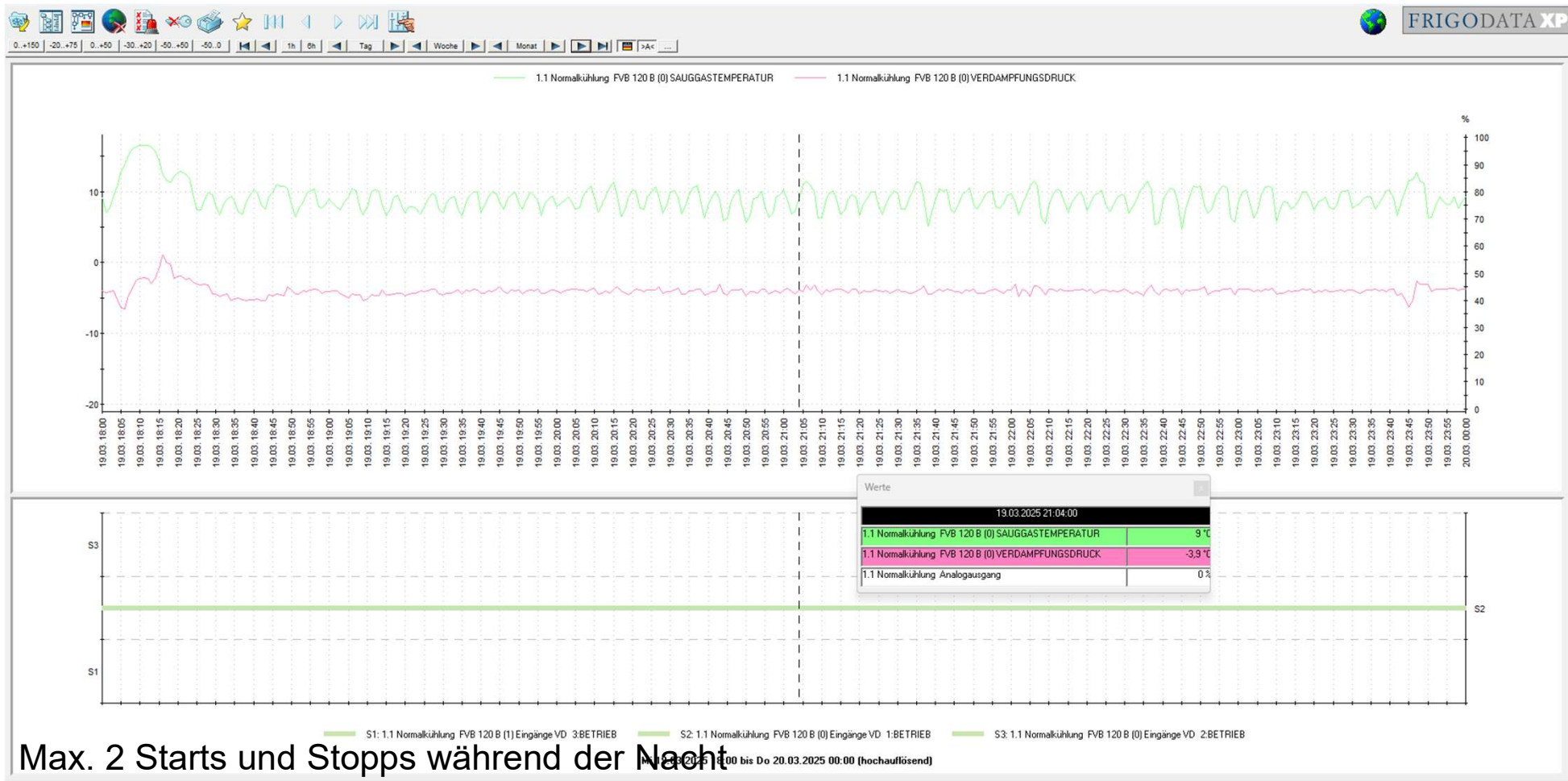
VARISTEP

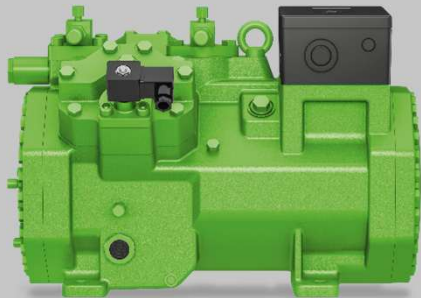
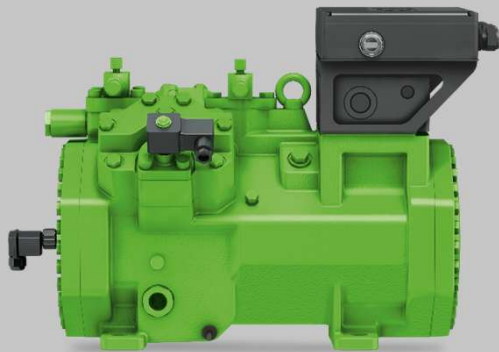
BEISPIEL AUS DER PRAXIS SUPERMARKT FI 25-70HZ (NACHTS)



100+ Starts und Stopps während der Nacht

BEISPIEL AUS DER PRAXIS SUPERMARKT VARIPACK + CR





ZUSAMMENFASSUNG



- // Geringere Anzahl von Verdichter mit einer perfekten Anpassung der Leistung an die geforderte Kühlleistung.
- // Präzise Saugdrücke für eine hohe Systemeffizienz
- // Weniger Starts und Stopps, höhere Systemzuverlässigkeit
- // Weniger Ärger und hocheffizientes System



DAS HERZ DER FRISCHE



HERAUSFORDERUNGEN HEUTIGER UND ZUKÜNFTIGER SYSTEME



Kälteanlagen mit CO₂ als Kältemittel in Supermarktanwendungen müssen mit unterschiedlichen Herausforderungen wie Wärmerückgewinnung, Ejektoren, geschlossenen Kühlmöbeln (geringere Kühlleistungen) und höheren Umgebungstemperaturen umgehen. Mehrzwecksysteme in der Massenproduktion, schnellere Inbetriebnahme, schnellere Installationszeiten und geringerer Platzbedarf erhöhen zusätzlich die Anforderungen.

Insbesondere die Nachrüstung von Türen an Kühlmöbeln stellt eine Herausforderung für das System dar, da die minimal benötigte Kühlleistung reduziert wird.

BITZER bietet verschiedene Möglichkeiten, diese Herausforderungen zu meistern.

Die für die Auslegung der Parallelverbund- oder Mehrverdampfersysteme erforderliche Kühlleistung muss genau beurteilt werden:

- Leistungsbedarf bei maximaler Last (Auslegungsbedingungen)
- Leistungsbedarf bei geringster Last (Nachtbetrieb, Betrieb außerhalb der Öffnungszeiten z.B. in Supermärkten, reduzierter Kühlbedarf und niedrige Verflüssigungstemperatur bei niedrigen Außentemperaturen, Wartung, ...)
- Anzahl der gleichzeitig betriebenen Verdampfer. Da jeder Verdampfer einen unterschiedlichen Einfluss auf die Gesamtlast haben kann, kann es erforderlich sein, dass die einzelnen Lasten danach gewichtet werden müssen, wie viel sie über eine bestimmte Betriebszeit zur Gesamtlast beitragen. Mit einer intelligenten Steuerung ist eine Lastverteilung möglich, so dass sich der Kühlbedarf nicht drastisch verändert.

Die beste Regelungsqualität wird erreicht, wenn das Verbundsystem den Kühlbedarf decken kann, indem die Kälteleistung nahezu stufenlos zwischen Minimum und Maximum variiert wird. Ein zu kleiner Regelbereich und signifikante Änderungen der Last oder Leistung führen zu einer Instabilität des Gesamtsystems. Verdichter mit variabler Drehzahl oder fein abgestimmter mechanischer Leistungsregelung (z.B. CR11) sind für eine stabile Prozessführung sinnvoll, sofern der Regelbereich mindestens eines Verdichters die Leistungslücken abdecken kann, die durch andere Verdichter beim Ein- und Ausschalten entstehen.

Quelle: Ascerom

SYSTEMLASTEN EINFLUSSFAKTOREN



Methode zur Leistungsregelung

- EIN/AUS
 - Anzahl an Verdichtern
- Frequenzumrichter
 - Frequenzbereich
- VARISTEP
 - Regelbereich (CRII)
 - Stufen (CR)
- Frequenzumrichter + CR

Kältekreislauf

- Kaskaden System
- Flash-Gas-Bypass
- Parallel Verdichter
- Booster
- Ejector
- Wärmerückgewinnung

Funktionsweise

- Normaler Betrieb
 - Regelung des Saugdrucks
 - Temperaturregelung für Kühlräume (Kühlhaustemperatur)
 - Kühlmitteltemperatur (Soletemperatur)
- Wärmerückgewinnung

Umgebungstemperatur

Umgebungstemperatur



Verdampfer

- Anzahl der Verdampfer
- Größenunterschiede von Verdampfern
- Verdampferart

Betriebsbedingte Einflüsse

- Lastprofil der Verdampfer
 - Gabelstapler / Personen
 - Öffnungszeiten / Arbeitszeit
 - Produktionsgeschwindigkeit
 - Last aus dem Systembetrieb

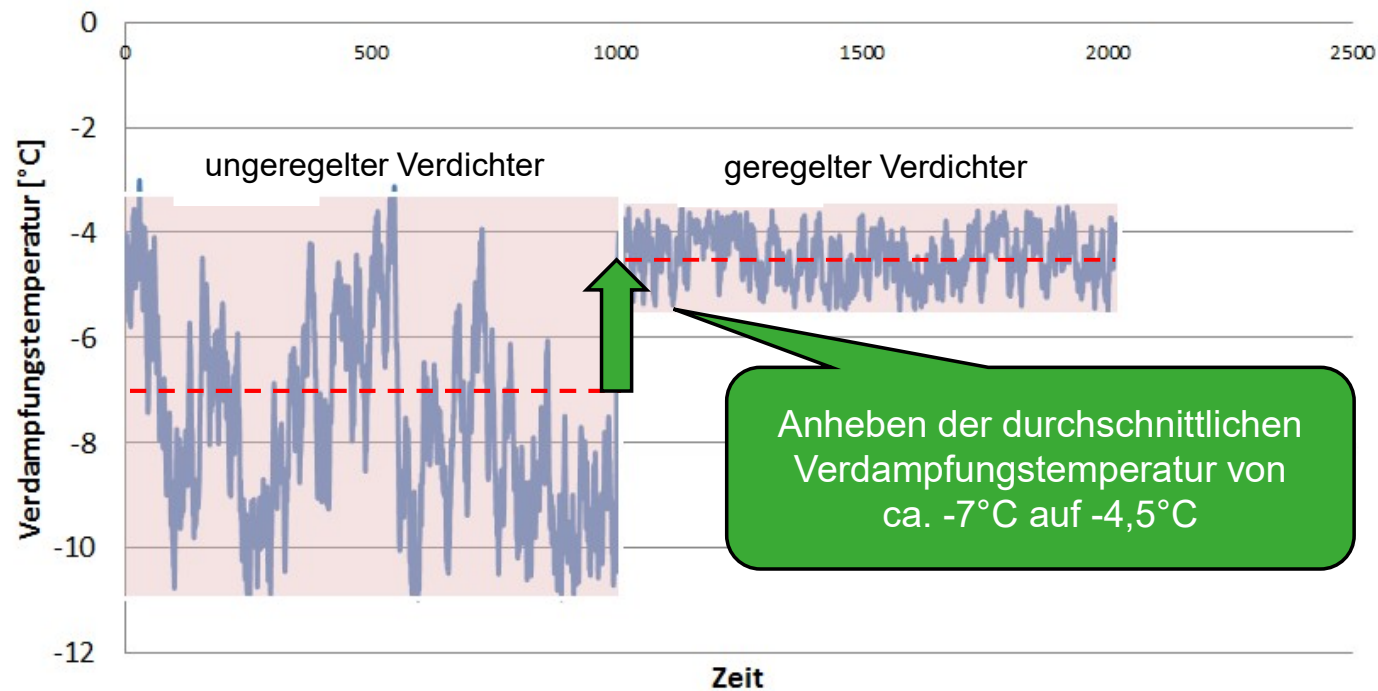
Art des Systems

- Direkte Kälteanlage
- Indirektes Kühlsystem

EINFLUSS DER STUFENLOSEN REGELUNG DER VERDICHTERLEISTUNG AUF DIE VERDAMPFUNGSTEMPERATUR

Jedes Kelvin höhere Verdampfungstemperatur bewirkt eine Systemeffizienzverbesserung von 2- 4 %

Durch Anheben der Verdampfungstemperatur um 3 K erhöht sich die Systemeffizienz um bis zu 12 %



Speziell bei CO₂ Booster Systemen ist eine gute Leistungsabstufung Voraussetzung für einen guten, stabilen Betrieb!

Beispiel:
Auslegung Sommer
4HTE-15K @ -5°C/90 bar;
Q_o = 30,2 kW

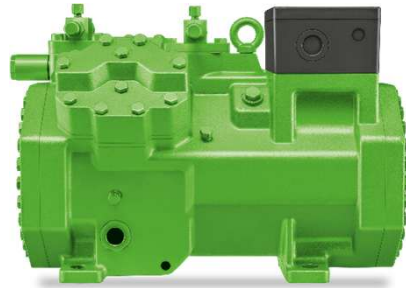
Betrieb Winter:
4HTE-15K @ -5°C/15°C
Q_o = 48,1 kW (+60%)

VERFÜGBARKEIT VARISTEP

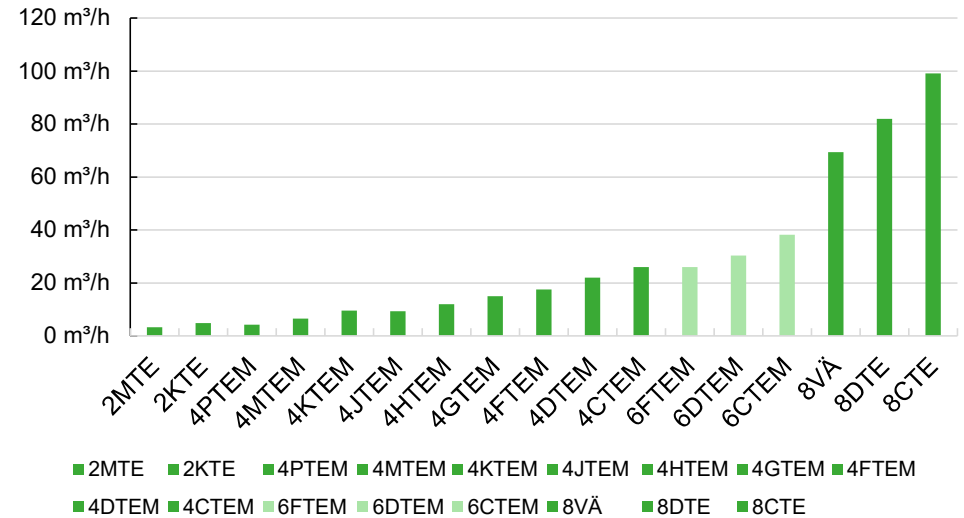


IQ MODUL

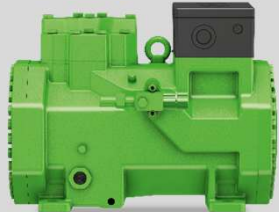
-  RECIPROCATING COMPRESSORS
-  INTELLIGENT PRODUCTS
-  FREQUENCY INVERTER



ECOLINE CO₂



TRANSCRITICAL ECOLINE UND ECOLINE+ CO₂



Hubräume: 17
 Bauform: 4-, 6-, 8-Zylinder
 4 Gehäusegrößen
 Typen: 4PTE... 6CTE
 Kältemittel: CO₂ (R744)
 Motor: Motor Version 1, 2

IQ-VERSION: VERFÜGBAR

- 2-Zylinder 25-100%
- 4-Zylinder 10-100%
- 6-Zylinder 33%-100%
- 8-Zylinder 50%, 75% und 100%

CR-VERSION: VERFÜGBAR

- 4-Zylinder: 1XVARISTEP
- 6-Zylinder 2XVARISTEP



DAS HERZ DER FRISCHE