

# *Energie-Einsparmöglichkeiten durch verbesserte Regelung*

Andreas Risius



# Wer ist KIMO?

- Bedienerfreundliche Frequenzumrichter der **FrigoPack** Reihe speziell für die Kältetechnik

- Aktives Mitglied der



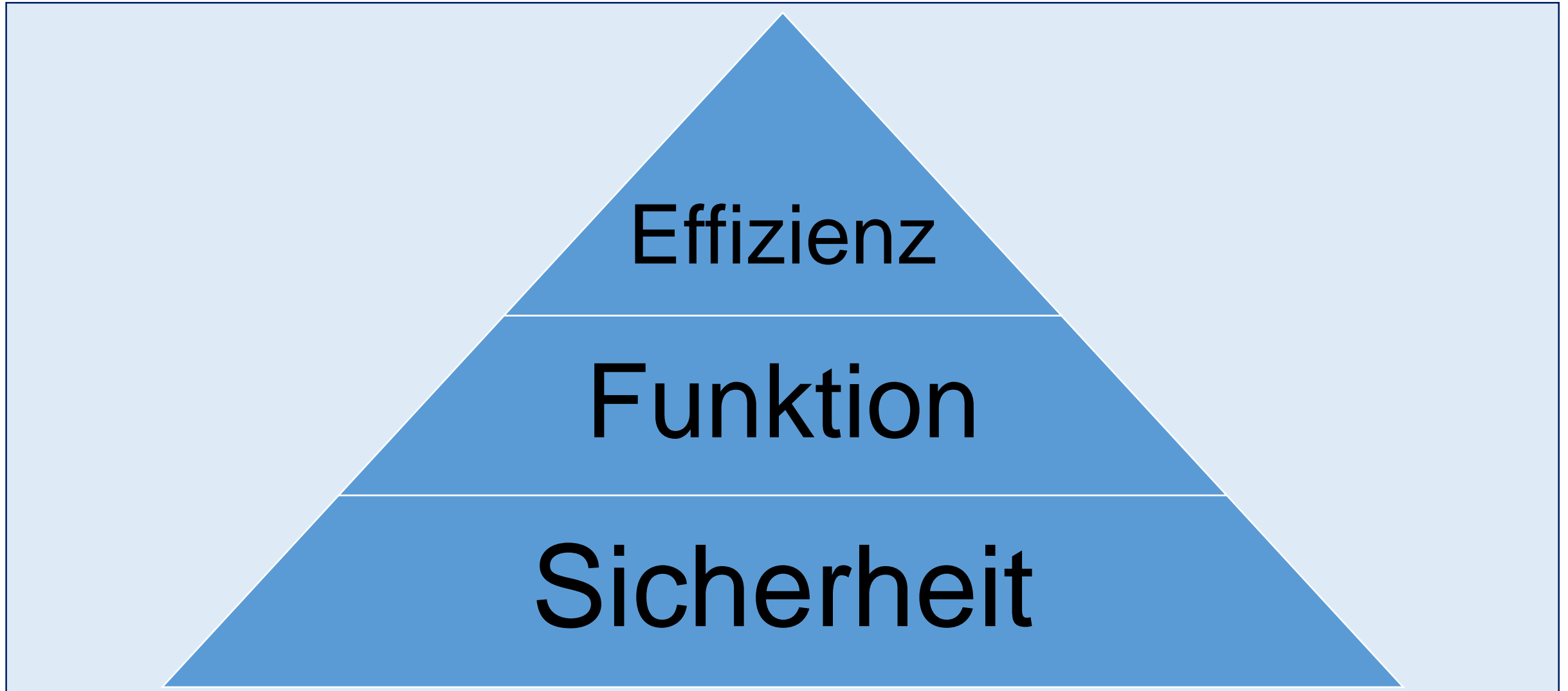
- Enge Zusammenarbeit mit zahlreichen Verdichterherstellern



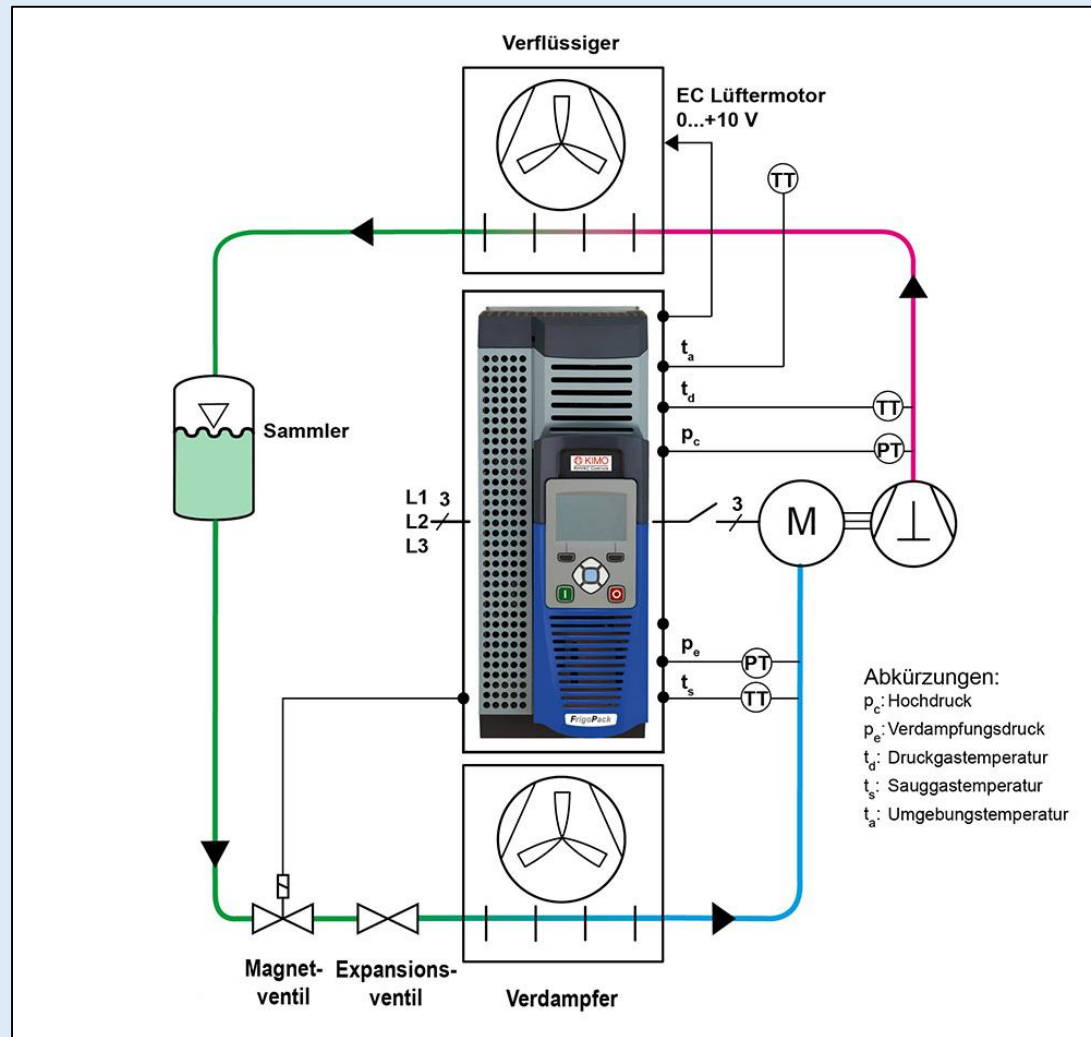
## ***„Energie-Einsparmöglichkeiten durch verbesserte Regelung“***

- Wann ist die Regelung besser?
  - Besseren Arbeitspunkt wählen
  - Stabile Temperaturen am Arbeitspunkt erreichen
  - Gleichmäßigen Verdichterbetrieb gewährleisten

# Was heißt verbesserte Regelung?



# Generelle Überlegungen



1. Verdichter
2. Verflüssiger
3. Expansionsventil
4. Verdampfer

## ***„Energie-Einsparmöglichkeiten durch verbesserte Regelung“***

- Wann ist die Regelung besser?
  - Besseren Arbeitspunkt wählen
  - Stabile Temperaturen am Arbeitspunkt erreichen
  - Gleichmäßigen Verdichterbetrieb gewährleisten

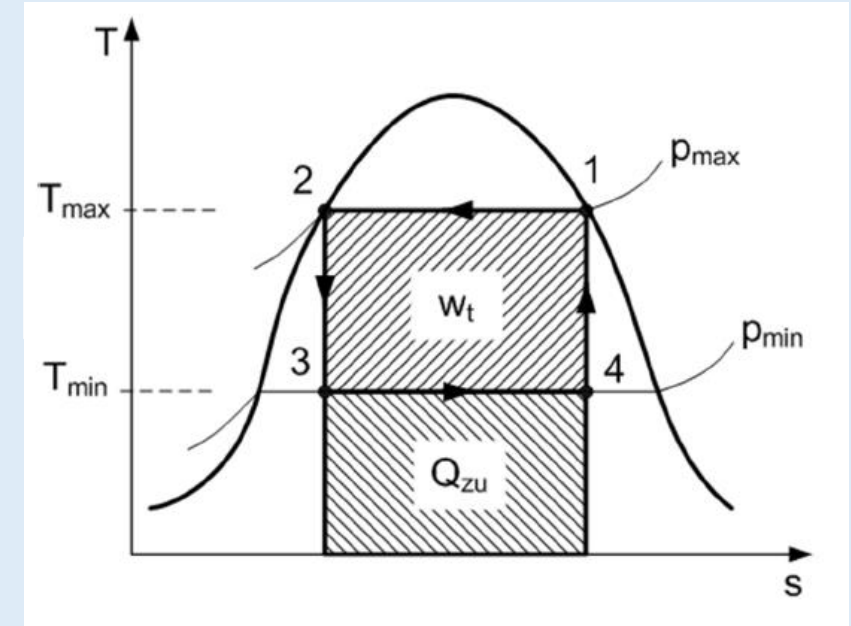
## Carnot Prozess

- Bilanz um den Kältekreis

$$\epsilon_{KM,C} = \frac{T_{kalt}}{T_{warm} - T_{kalt}}$$

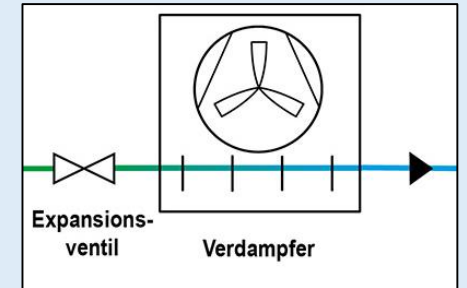
Verflüssigungstemperatur ↓

Verdampfungstemperatur ↑



## Verdampfer

$$T_{\text{Verdampfer}} = \frac{\dot{m}_{\text{Kältemittel}} * \Delta h_{\text{Verdampfer}}}{k * A} + T_{\text{Kaltluft}}$$



Ziel: konstante Kühlraumtemperatur

Randbedingungen: Lüfterdrehzahl = konstant

Anheben der Verdampfungstemperatur → Höherer Massenstrom



# Anpassung der Verdampfungstemperatur

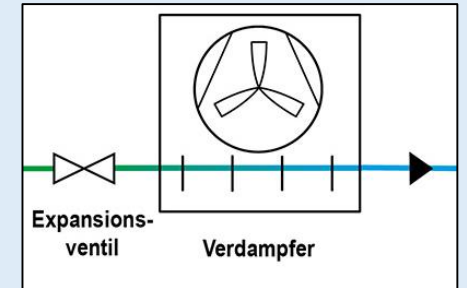
- Anhebung von -10 °C auf -9 °C → 1 K

$$\epsilon_{KM,C} = \frac{T_{kalt}}{T_{warm} - T_{kalt}}$$

$$\epsilon_{KM,C,1} = \frac{263 \text{ K}}{313 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,260$$

$$\epsilon_{KM,C,2} = \frac{264 \text{ K}}{313 \text{ K} - 264 \text{ K}} = 5,388 ; \frac{\epsilon_{KM,C,2}}{\epsilon_{KM,C,1}} = \frac{5,388}{5,260} = 102,4 \%$$

Steigerung der Leistungszahl von 2,4 % für das erste Kelvin



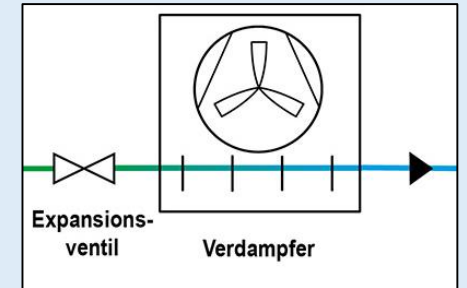
# Anpassung der Verdampfungstemperatur

- Anhebung von -10 °C auf -5 °C → 5 K

$$\epsilon_{KM,C} = \frac{T_{kalt}}{T_{warm} - T_{kalt}}$$

$$\epsilon_{KM,C,1} = \frac{263 \text{ K}}{313 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,260$$

$$\epsilon_{KM,C,3} = \frac{268 \text{ K}}{313 \text{ K} - 268 \text{ K}} = 5,956 ; \frac{\epsilon_{KM,C,2}}{\epsilon_{KM,C,1}} = \frac{5,956}{5,260} = 113,2 \%$$

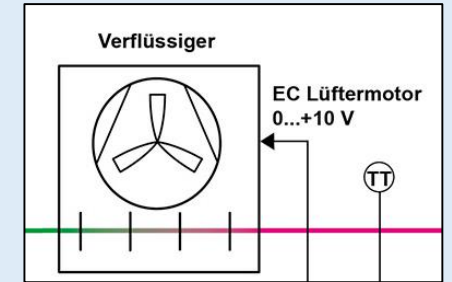


Steigerung der Leistungszahl von durchschnittlich 2,6 % pro Kelvin

- Bedarfsabhängige Verdampfungstemperatur
- Temperatur bei geringem Kältebedarf anheben
  - Tag-Nacht-Umschaltung

## Verflüssiger

$$T_{\text{Verflüssiger}} = \frac{\dot{m}_{\text{Kältemittel}} * \Delta h_{\text{Verflüssigung}}}{k * A} + T_{\text{Umgebungsluft}}$$



Ziel: konstante Verflüssigungsleistung

Randbedingungen = Massenstrom durch Verdampfer definiert

Absenken der Verflüssigungstemperatur → Anheben Lüfterdrehzahl

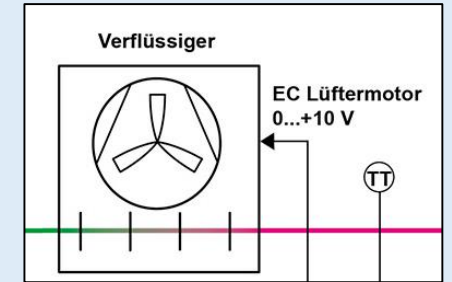
# Anpassung der Verflüssigungstemperatur

- Absenkung von 45 °C auf 44 °C → 1 K

$$\epsilon_{KM,C} = \frac{T_{kalt}}{T_{warm} - T_{kalt}}$$

$$\epsilon_{KM,C,1} = \frac{263 \text{ K}}{313 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,260$$

$$\epsilon_{KM,C,2} = \frac{263 \text{ K}}{312 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,367 ; \frac{\epsilon_{KM,C,2}}{\epsilon_{KM,C,1}} = \frac{5,367}{5,260} = 102,0 \%$$



Steigerung der Leistungszahl von 2,0 % für das erste Kelvin

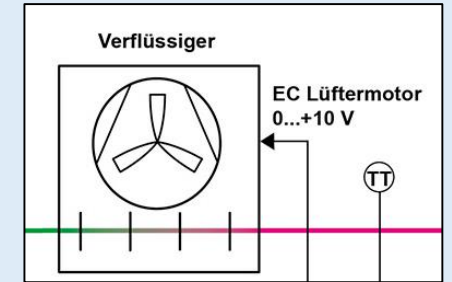
# Anpassung der Verflüssigungstemperatur

- Absenkung von 45 °C auf 40 °C → 5 K

$$\epsilon_{KM,C} = \frac{T_{kalt}}{T_{warm} - T_{kalt}}$$

$$\epsilon_{KM,C,1} = \frac{263 \text{ K}}{313 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,260$$

$$\epsilon_{KM,C,2} = \frac{263 \text{ K}}{308 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,844 ; \frac{\epsilon_{KM,C,2}}{\epsilon_{KM,C,1}} = \frac{5,844}{5,260} = 111,1 \%$$



Steigerung der Leistungszahl von durchschnittlich 2,2 % pro Kelvin

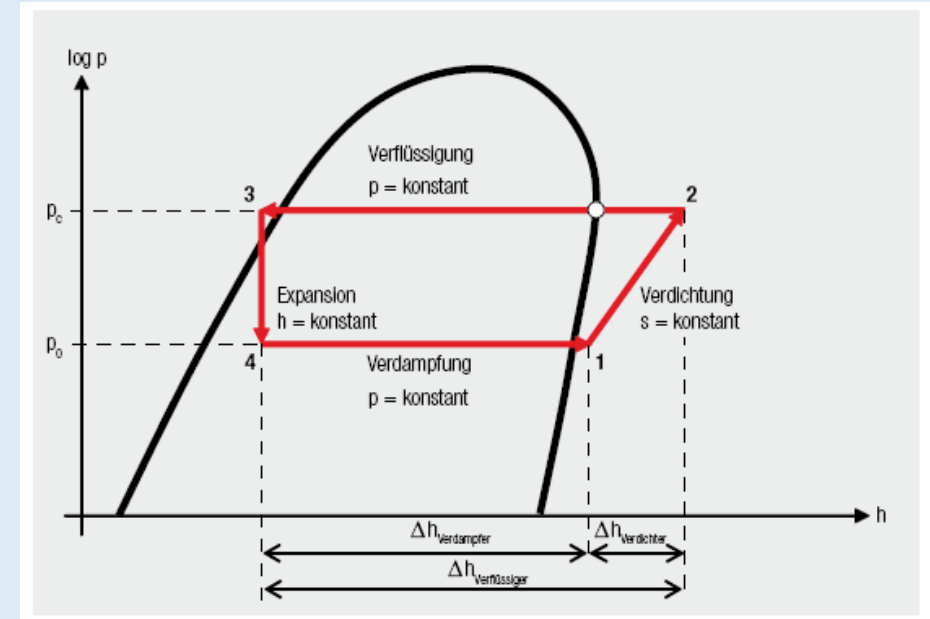
Gesamtenergiebedarf betrachten!

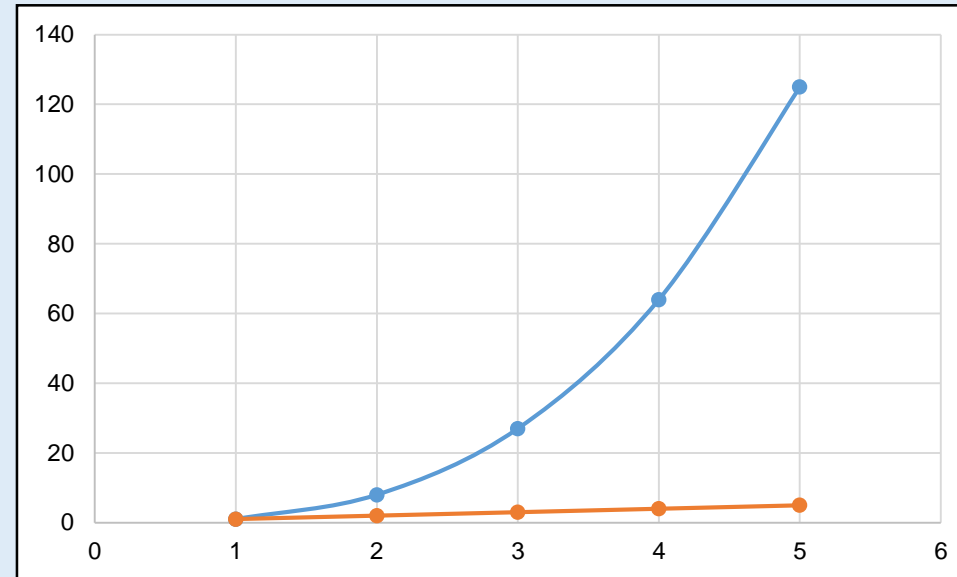
Lüfterleistung nicht im Carnot Prozess

Bilanzbereich erweitern

Reelle Leistungszahl der Anlage:

$$COP = \frac{Q_{Kälte}}{P_{el}}$$





— el. Leistung  
— Luftvolumenstrom

*„[...]dass die Leistungsaufnahme der Ventilatoren mit der dritten Potenz der Drehzahl steigt, der Luftvolumenstrom jedoch nur linear mit der Drehzahl zunimmt.“*

Peter Roth, Energetische Systembetrachtungen zur Regelung von Verflüssigern in Teillast, GÜntner AG & Co. KG, 2011

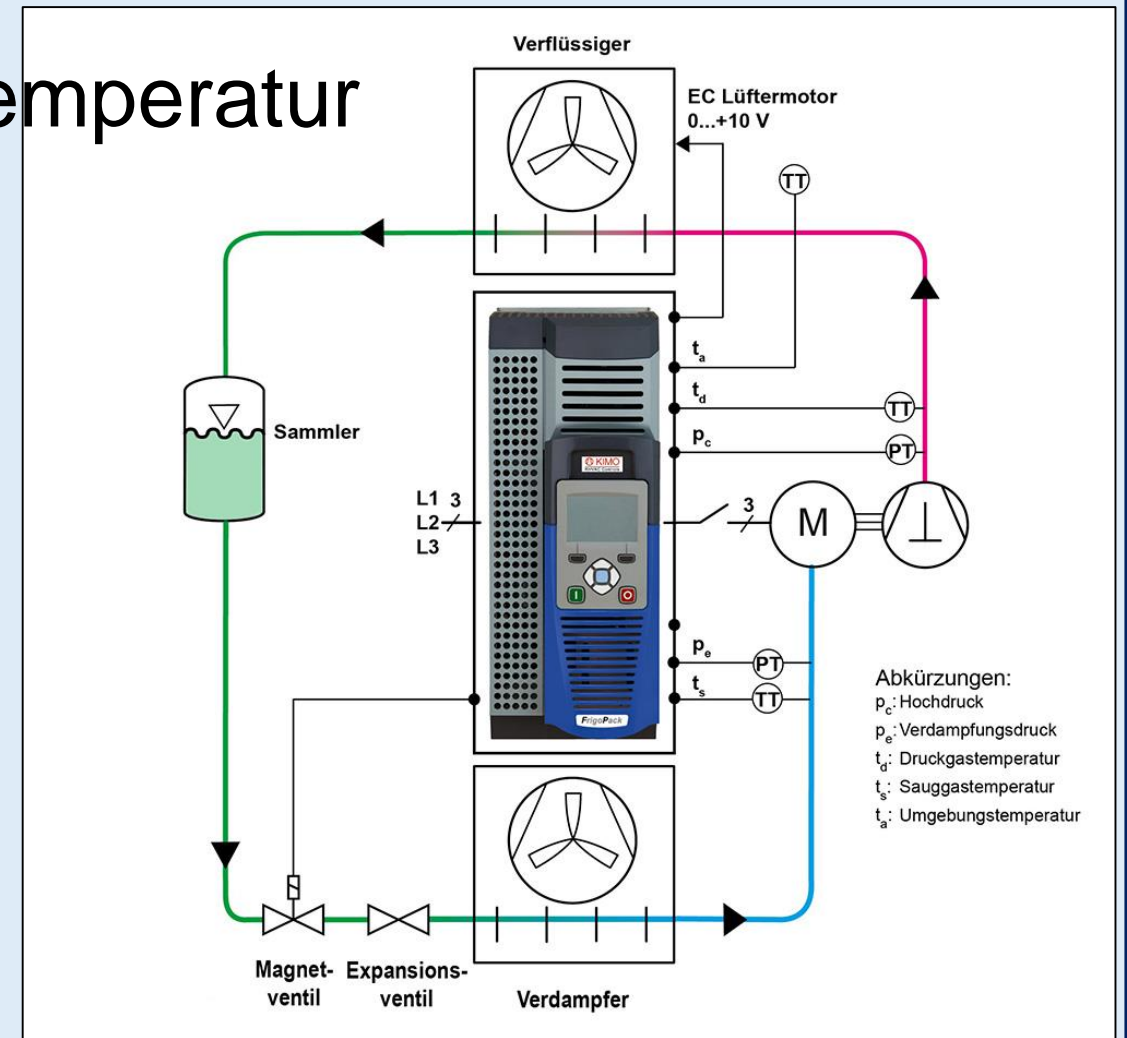


# Anpassung der Verflüssigungstemperatur

Anhebung der Verflüssigungstemperatur

Verdichterstrom steigt  $I_{Vsc} \uparrow$

Gesamtenergiebedarf sinkt  $P_{ges} \downarrow$



- Anpassung an die Umgebungstemperatur

-10 °C / +25 °C;

$T_{amb} = 25 \text{ °C}$ ;

Teillastbereich 30 %;

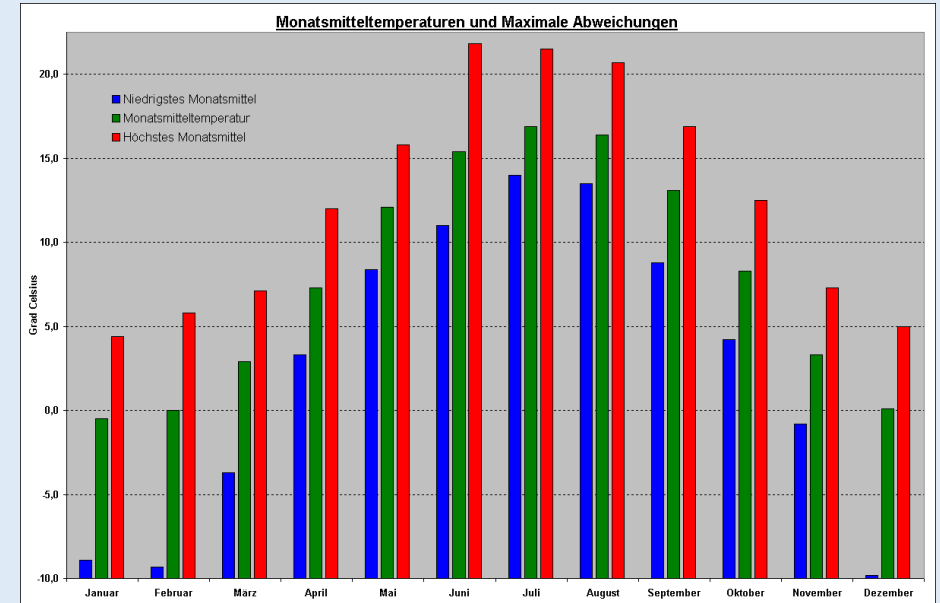
Energieeffizienzklasse B



Energieeinsparung über 11 % bei Anhebung von  $T_C \rightarrow 31 \text{ °C}$

Peter Roth, Energetische Systembetrachtungen zur Regelung von Verflüssigern in Teillast,  
Güntner AG & Co. KG, 2011

- Keine feste Temperatur
- Anpassung an die Umgebung
  - Saisonal
  - Tag / Nacht
  - Tagesverlauf
- Das Optimum wird durch die gesamte Anlage bestimmt



Quelle Bild: [https://de.wikipedia.org/wiki/Klima\\_in\\_Deutschland#/media/Datei:Temperaturreihe\\_Deutschland,\\_Abweichung.PNG](https://de.wikipedia.org/wiki/Klima_in_Deutschland#/media/Datei:Temperaturreihe_Deutschland,_Abweichung.PNG)

## ***„Energie-Einsparmöglichkeiten durch verbesserte Regelung“***

- Wann ist die Regelung besser?
  - Besseren Arbeitspunkt wählen
  - Stabile Temperaturen am Arbeitspunkt erreichen
  - Gleichmäßigen Verdichterbetrieb gewährleisten

Anpassung der Temperaturen nur mit sehr guter Regelung

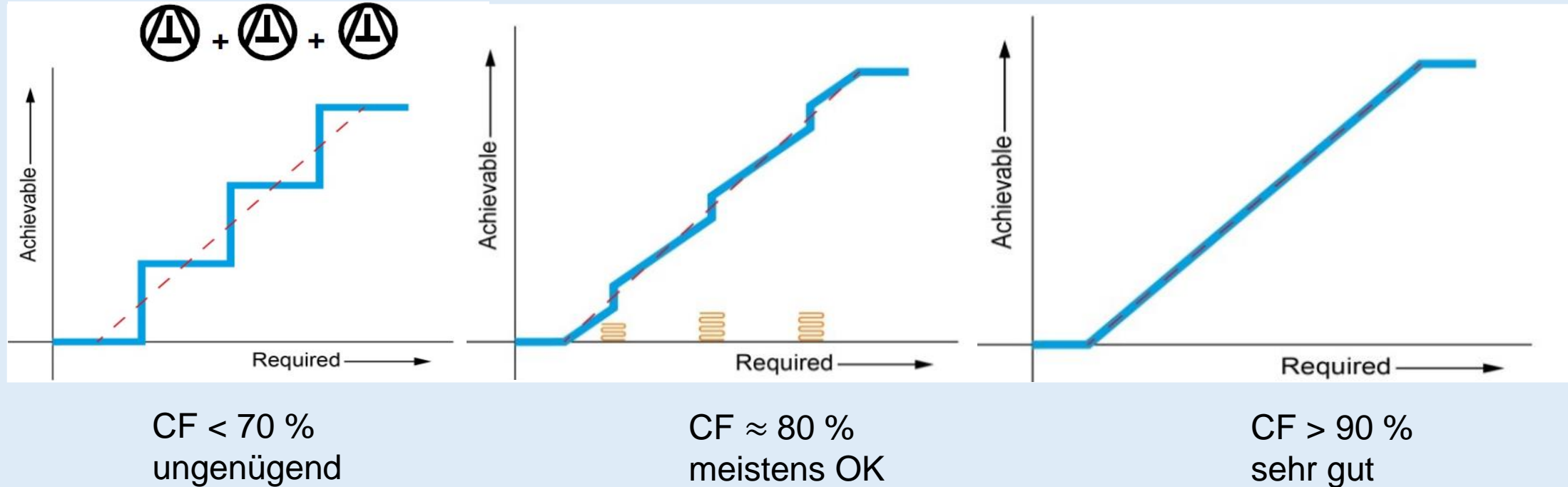
Regelarten:

- ~~An/Aus - Takten~~
- ~~Bypass~~
- ~~Zylinderblockabschaltung~~
- Drehzahlregelung mit Frequenzumrichter



# Steuerfaktor (Control Factor CF)

## Beispiel: Drei Verdichter im Verbund



# Steuerfaktor (Control Factor CF)

- Einstufige Hubkolben 25 ... 70 Hz; 30 ... 75 Hz
- Zweistufige Hubkolben 30 ... 70 Hz; 40 ... 60 Hz
- Halbhermetische Schrauben 20 ... 75 Hz
- Kompaktschrauben 25 ... 60 Hz
- Scroll 30 ... 60 Hz; 20 ... 120 Hz

Frequenzband von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich

# Steuerfaktor (Control Factor CF)

Verhältnis des Regelbereichs zur nächsten Stufe

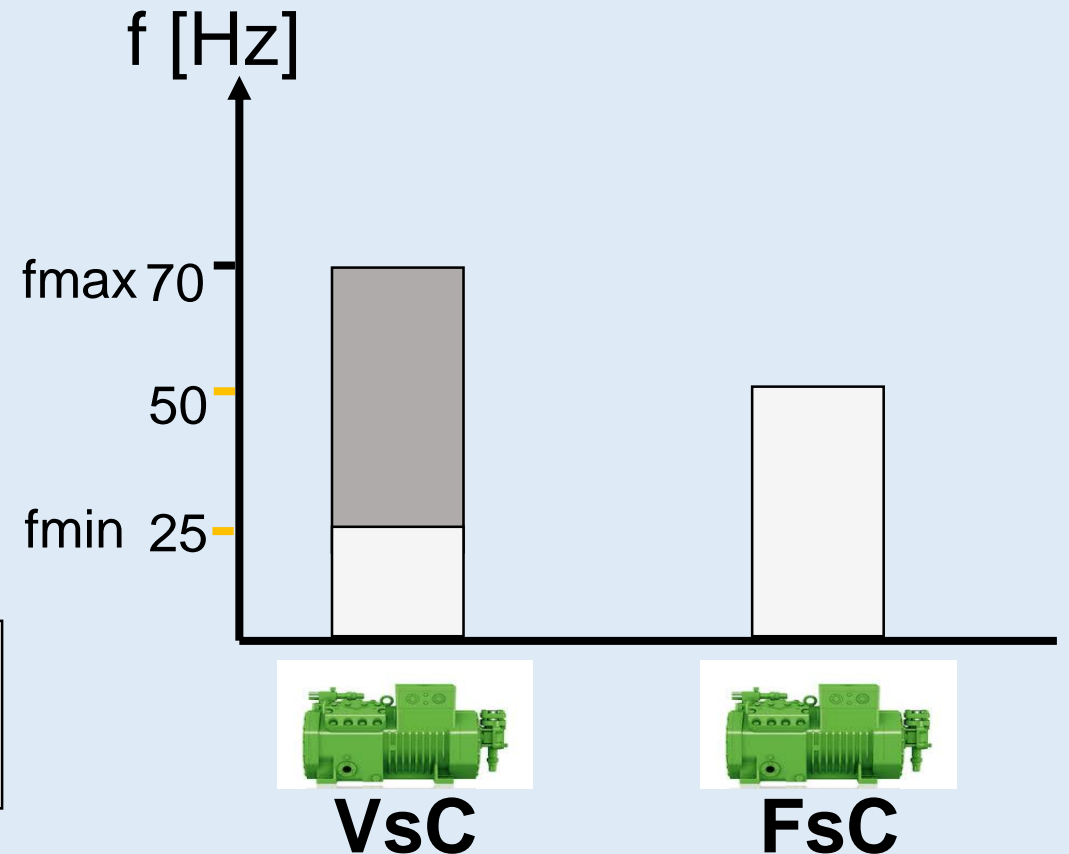
VsC = variable Drehzahl

FsC = feste Drehzahl

$$CF = \frac{Q_{VsC,max} - Q_{VsC,min}}{Q_{FsC}}$$

Für identische Hubkolbenverdichter

Vereinfacht: 
$$CF = \frac{f_{VsC,max} - f_{VsC,min}}{f_{FsC}}$$





# Steuerfaktor (Control Factor CF)

## Beispiel Zweierverbund

- Verdichter: Bitzer 4CES-9Y
- Drehzahlbereich: 25 ... 70 Hz

$$CF = \frac{70 \text{ Hz} - 25 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = \frac{45 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = 90 \%$$

Es wird eine sehr gute Regelung erreicht

- Weniger Verdichterstarts
- Weniger Abtauungen
- Weniger Wasserverlust bei Lebensmitteln
- Weniger Geräuschemissionen

- Es gibt verschiedene Wege um den Energiebedarf einer Bestandsanlage durch verbesserte Regelung zu reduzieren
- Man muss das Gesamtsystem betrachten
- Keinen Arbeitspunkt sondern einen Arbeitsbereich einstellen
- Den Drehzahlbereich von FU und Verdichter komplett ausnutzen
- Die beschriebenen Maßnahmen lassen sich in Bestandsanlagen umsetzen



 **KIMO**  
RHVAC Controls

[applications@frigokimo.com](mailto:applications@frigokimo.com)

Tel.: 09131 – 93457 10

Wir freuen uns auf Eure Fragen!

