

Energie-Einsparmöglichkeiten durch verbesserte Regelung

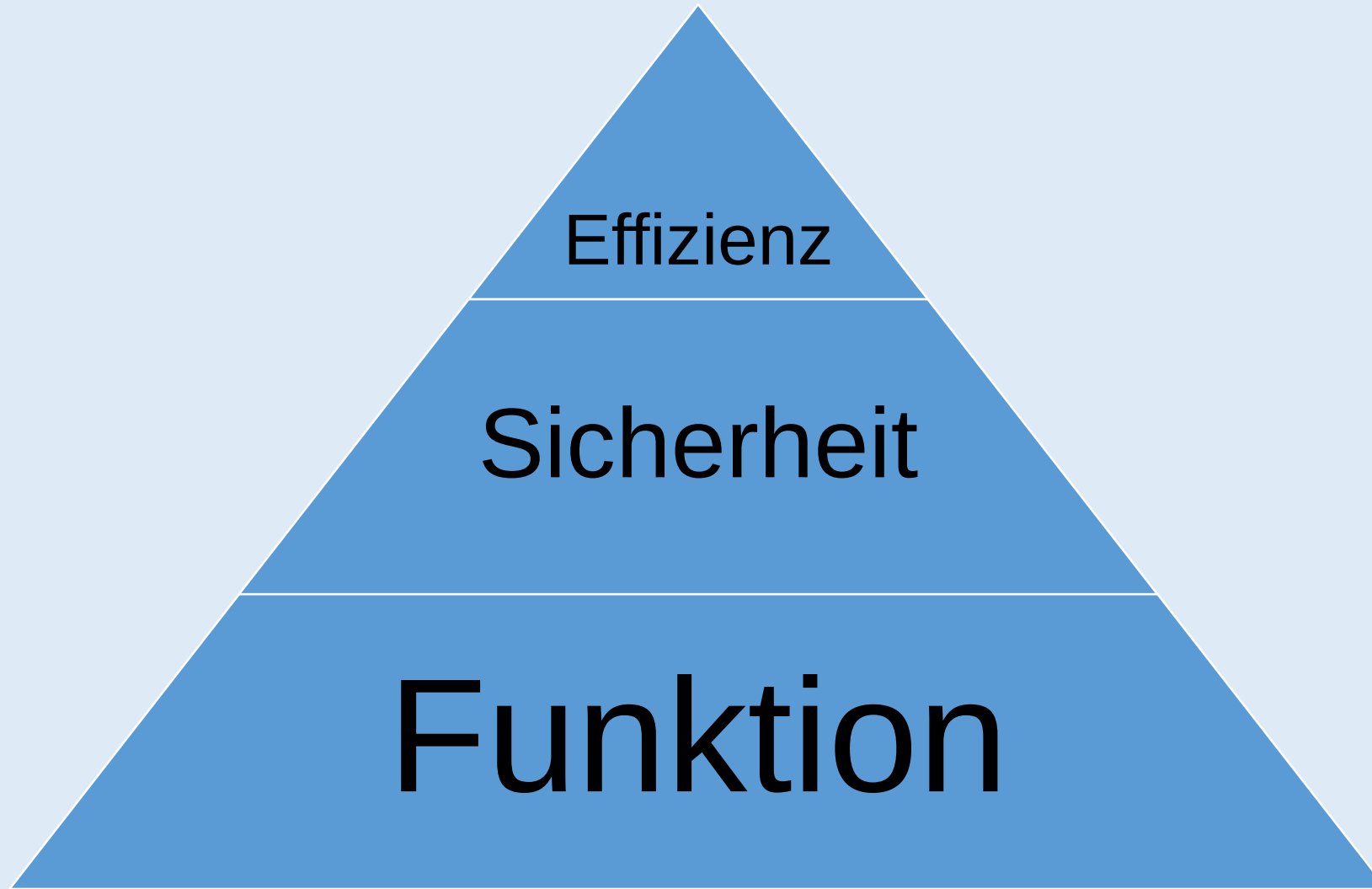
Andreas Risius

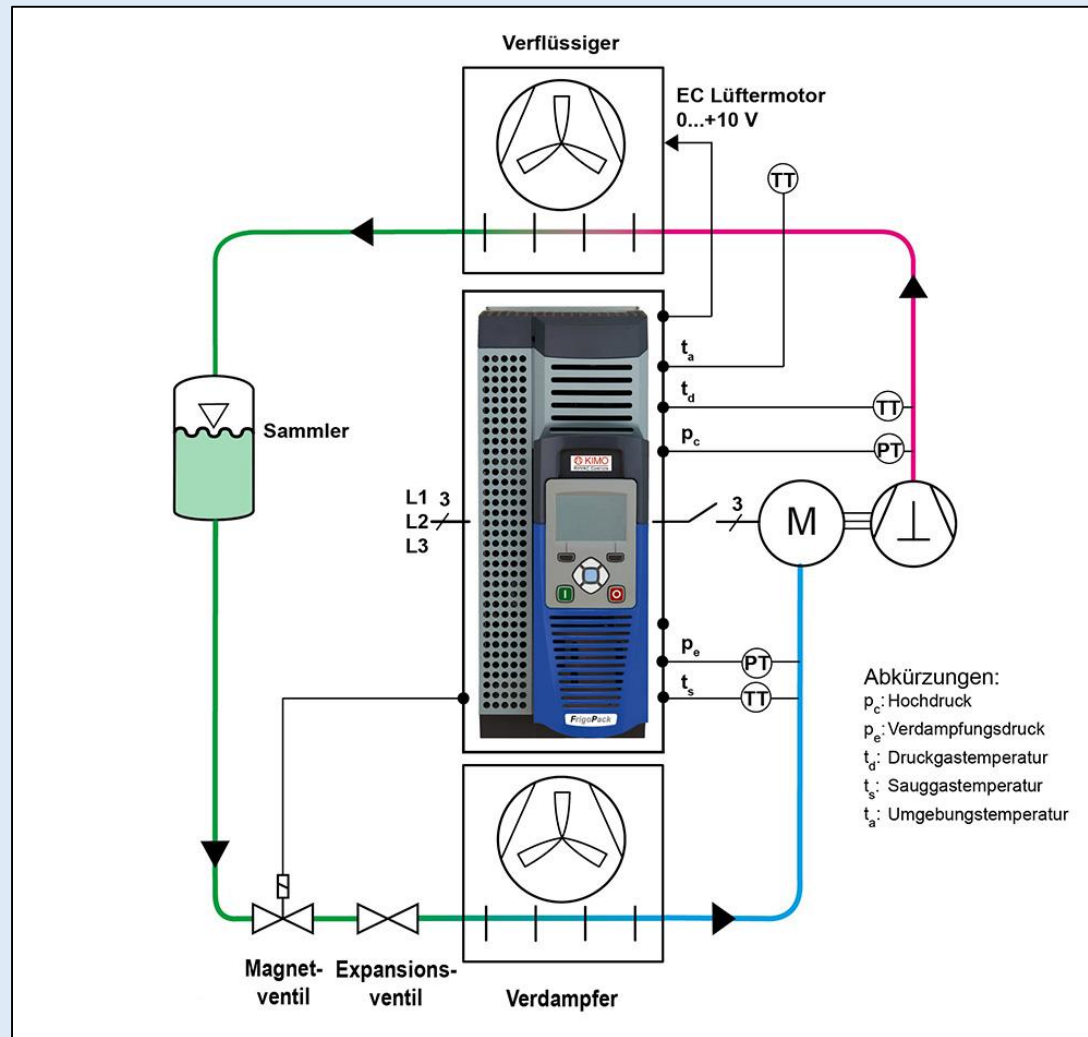


1. Aufgabenstellung
2. Grundlagen und theoretische Überlegungen
3. Rechnerische Ergebnisse
4. Experimentelle Überprüfung
5. Schlussfolgerungen

„Energie-Einsparmöglichkeiten durch verbesserte Regelung“

- Was heißt verbesserte Regelung?





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

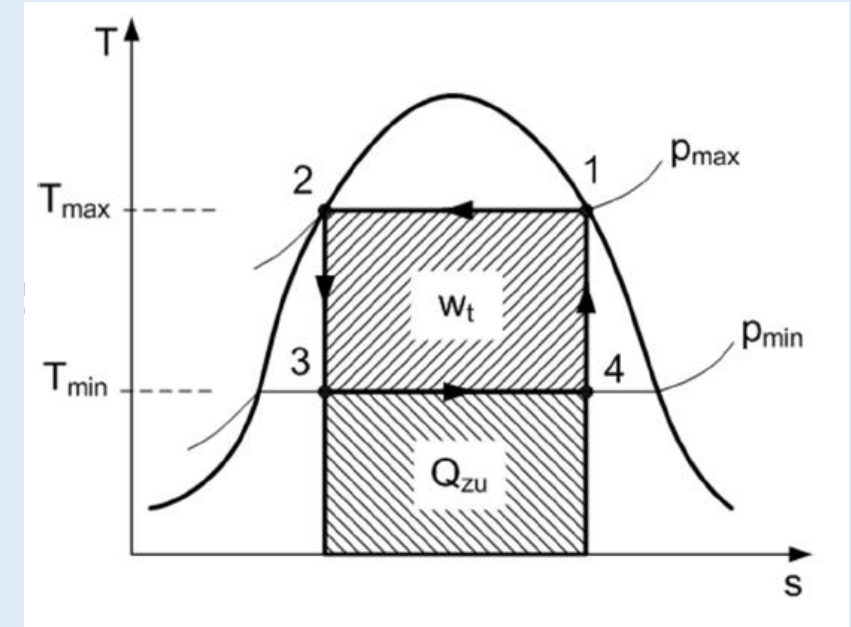
Carnot Prozess

- Bilanz um den Kältekreis

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

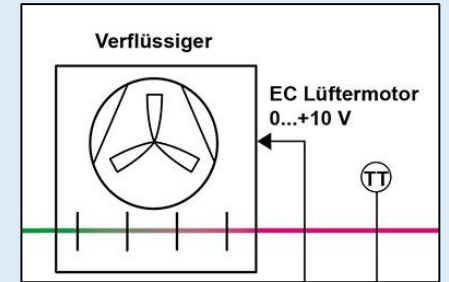
Verflüssigungstemperatur ↓

Verdampfungstemperatur ↑



Verdampfer

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



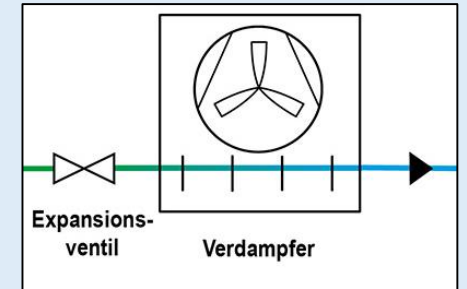
Ziel: konstante Kühlraumtemperatur

Randbedingungen: Lüfterdrehzahl = konstant

Anheben der Verdampfungstemperatur → Höherer Massenstrom

Verflüssiger

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



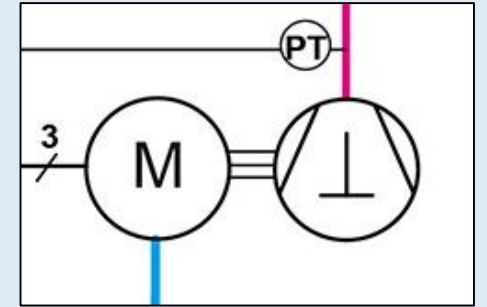
Ziel: konstante Verflüssigungsleistung

Randbedingungen = Massenstrom durch Verdampfer definiert

Absenken der Verflüssigungstemperatur → Anheben Lüfterdrehzahl

Verdichter

$$w_{t12} = \frac{1}{\eta_{sV}} * \frac{\kappa p_1 v_1}{\kappa - 1} \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right)$$



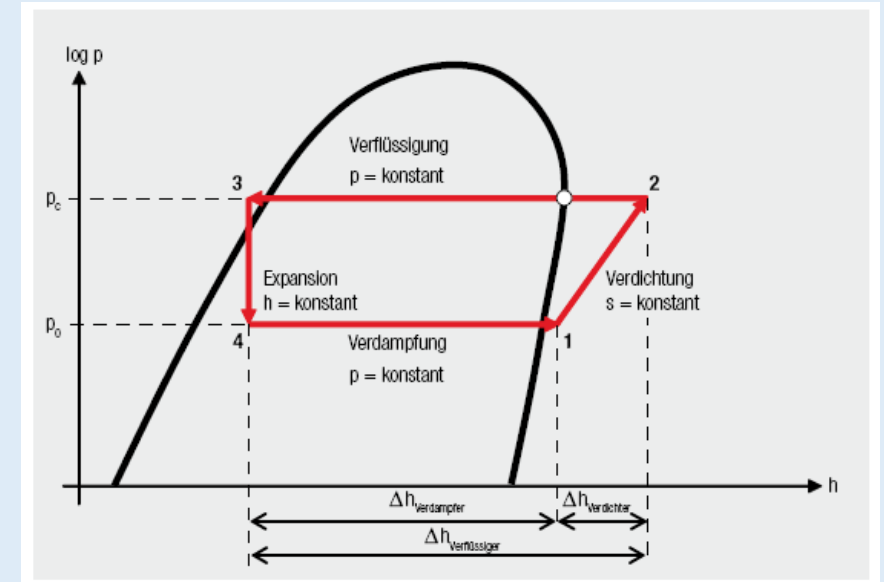
Niedriges Druckverhältnis → Weniger Verdichterarbeit

Höherer Massenstrom → Mehr Verdichterleistung

Gesamtenergiebedarf

Lüfter nicht im Carnot Prozess betrachtet

Bilanzbereich erweitern $COP = \frac{Q_{Kälte}}{P_{el}}$



„[...]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

Anhebung der Verflüssigungstemperatur

Strombedarf des Verdichters steigt

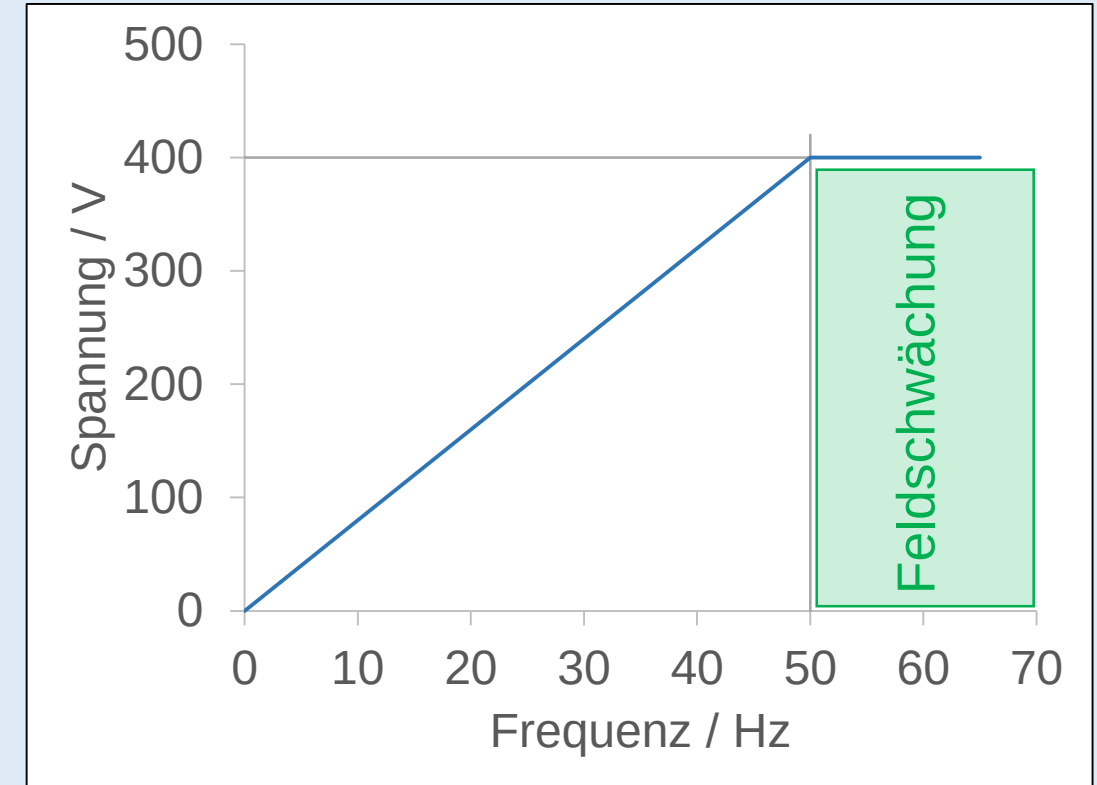
$I_{VSC} \uparrow$

Gesamtenergiebedarf der Anlage sinkt

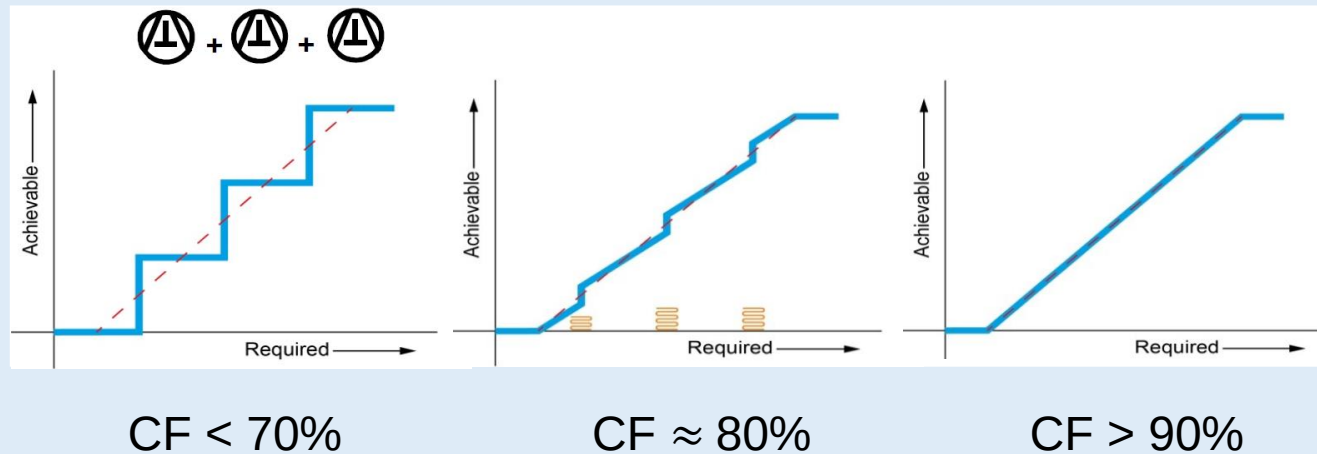
$P_{ges} \downarrow$

Frequenzumrichter

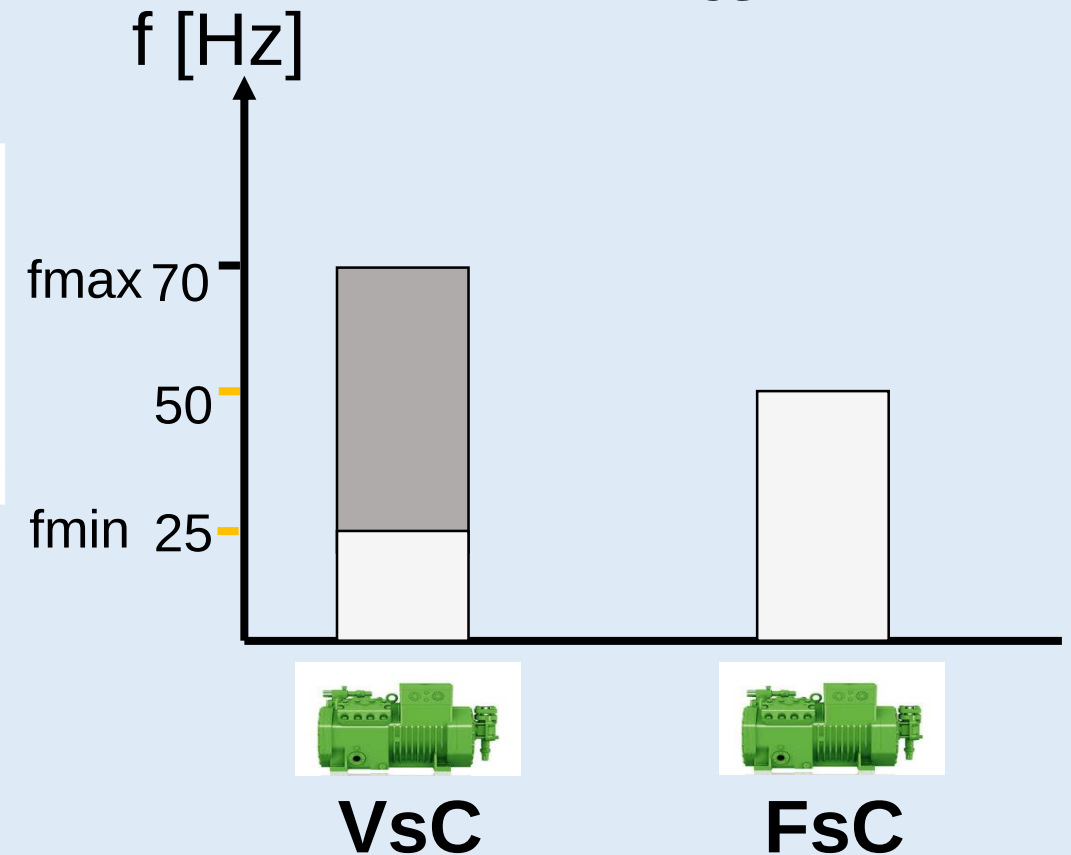
- U/f Kennlinie
- Stromaufnahme steigt oberhalb Netzfrequenz
- Begrenzung der maximalen Drehzahl durch Stromaufnahme



Steuerfaktor (Control Factor CF)

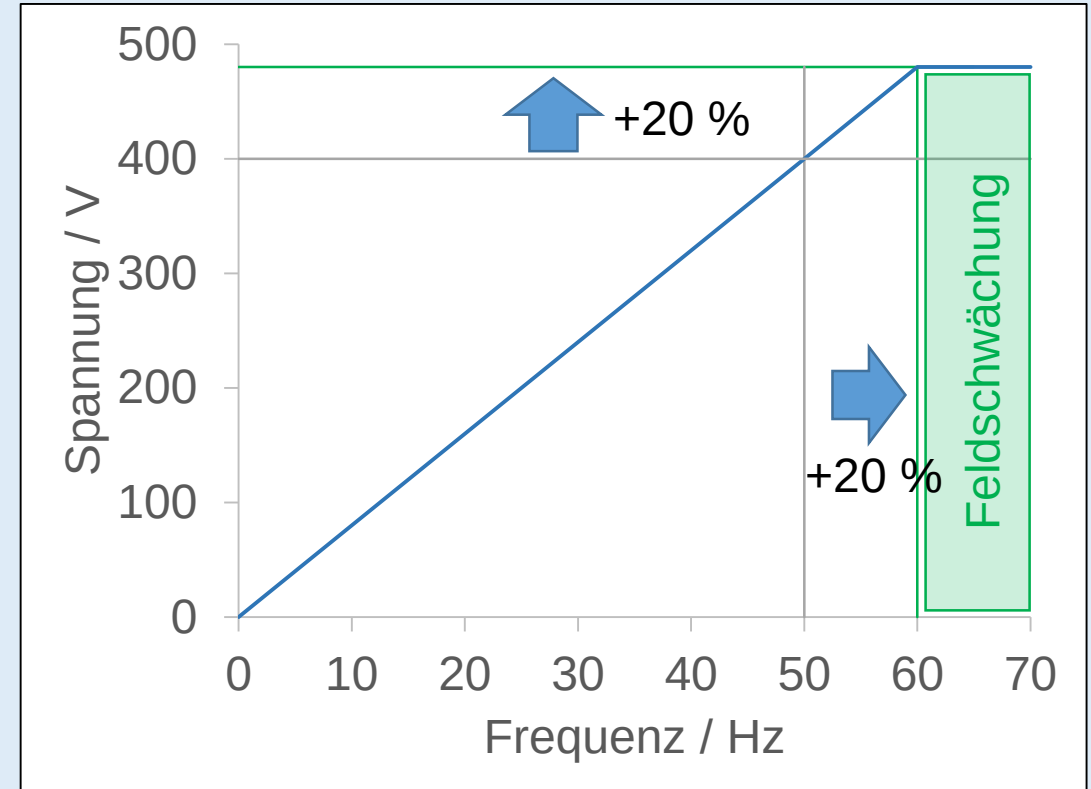


$$CF = \frac{f_{VsC,max} - f_{VsC,min}}{f_{FsC}}$$

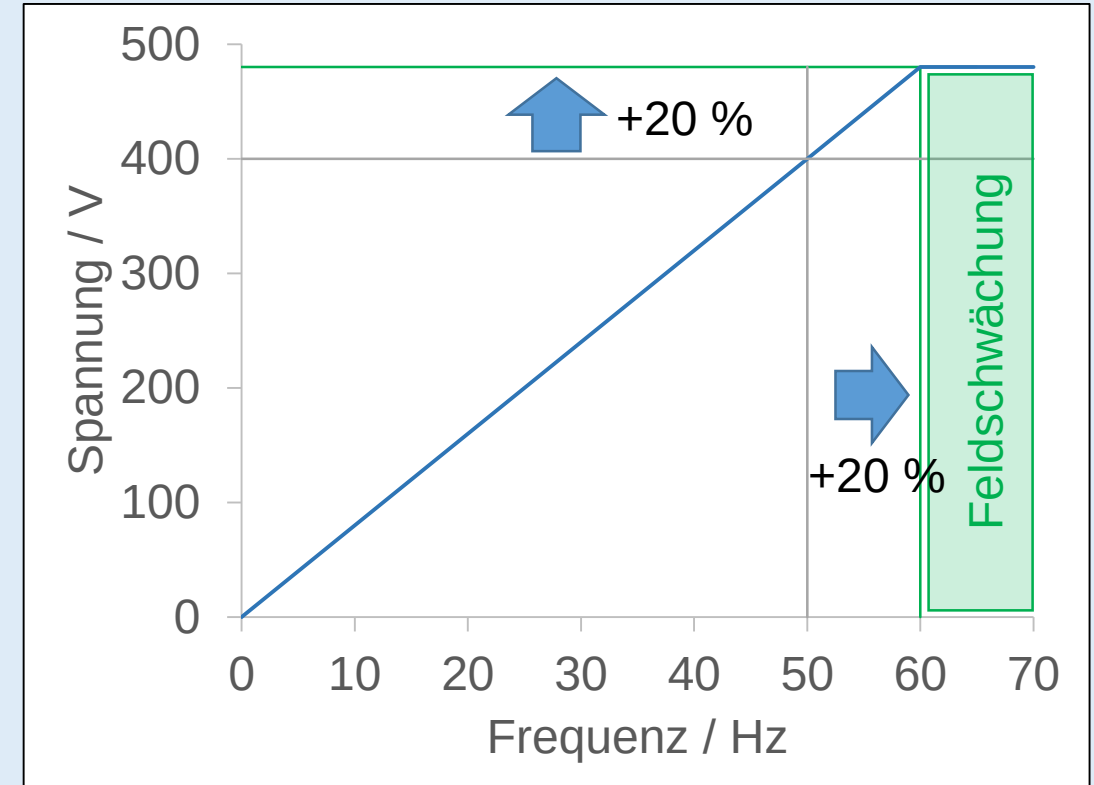
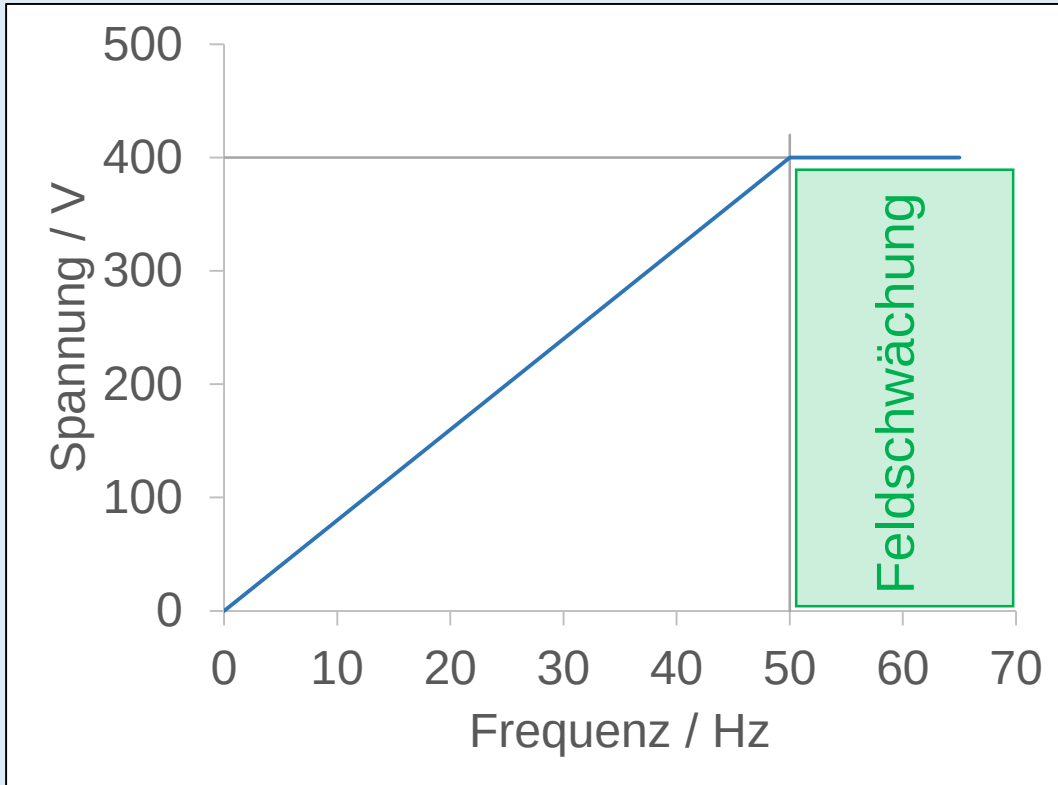


Drehzahlbereicherweiterung durch Hochsetztransformator

- Erhöhte Eingangsspannung
- Verschieben der Feldschwächung
- Strombegrenzung wird später erreicht
- Bessere Regelbarkeit der Anlage



Vergleich Hochsetztransformator



- Einsparungen durch Verdampfungstemperaturanhebung

$$\epsilon_{KM,C} = \frac{T_{kalt}}{T_{warm} - T_{kalt}}$$
$$\epsilon_{KM,C,1} = \frac{263 \text{ K}}{313 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,260 ; \epsilon_{KM,C,2} = \frac{264 \text{ K}}{313 \text{ K} - 264 \text{ K}} = 5,388$$

$$\frac{\epsilon_{KM,C,2}}{\epsilon_{KM,C,1}} = \frac{5,388}{5,260} = 102,4 \%$$

Steigerung von 2,4 % für das erste Kelvin

- Einsparungen durch Verflüssigungstemperaturabsenkung

$$\epsilon_{KM,C} = \frac{T_{kalt}}{T_{warm} - T_{kalt}}$$
$$\epsilon_{KM,C,1} = \frac{263 \text{ K}}{313 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,260 ; \epsilon_{KM,C,2} = \frac{263 \text{ K}}{312 \text{ K} - 263 \text{ K}} = 5,367$$

$$\frac{\epsilon_{KM,C,2}}{\epsilon_{KM,C,1}} = \frac{5,367}{5,260} = 102,0 \%$$

Steigerung von 2,0 % für das erste Kelvin

- Einsparungen durch Anpassung der Verflüssigungstemperatur an die Umgebungstemperatur

-10 °C / +25 °C;

$T_{amb} = 25 \text{ °C}$;

Teillastbereich 30 %;

Energieeffizienzklasse R[1] = 70 → B

Energieeinsparung ca. 11 %

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

Schulungsanlage

4 Verdichter im klassischen Betrieb (1 x VsC, 3 x FsC)

2 Verdampfer

R404A

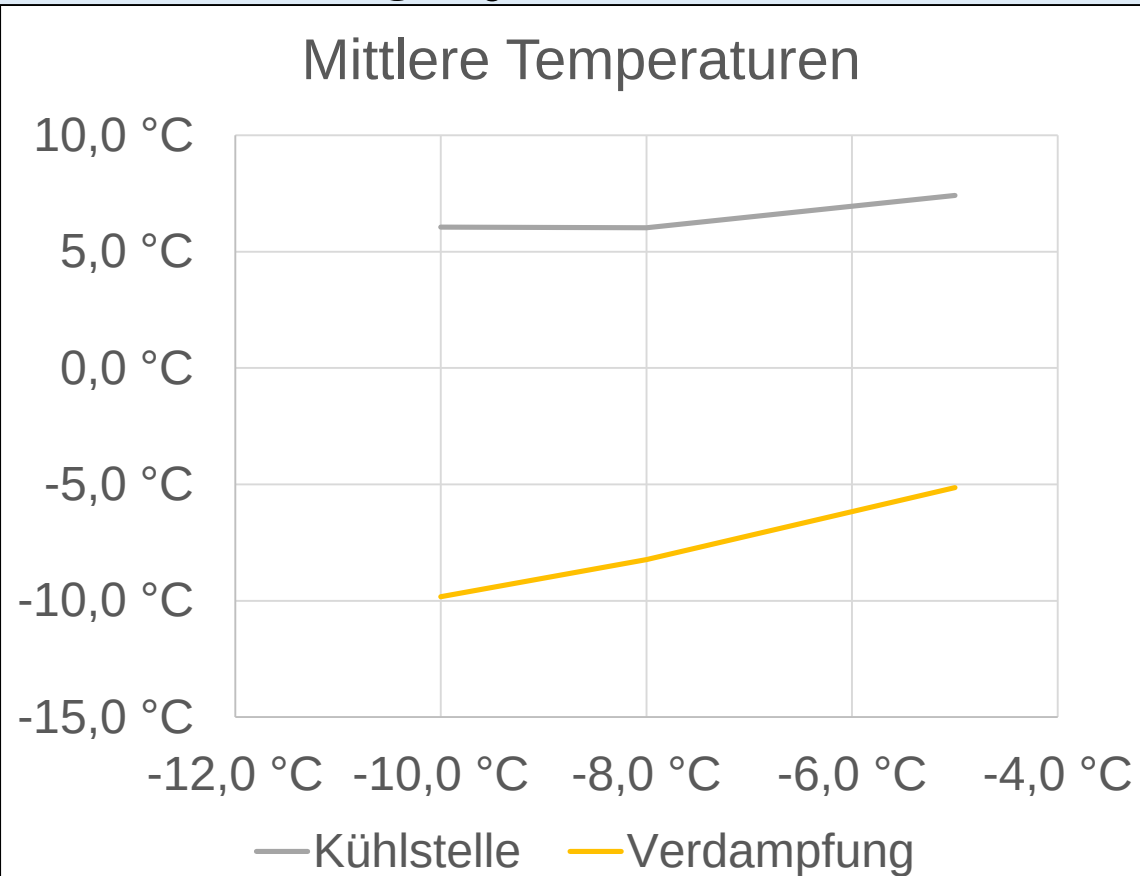
Datenerfassung
zentral über
Dixell Xweb



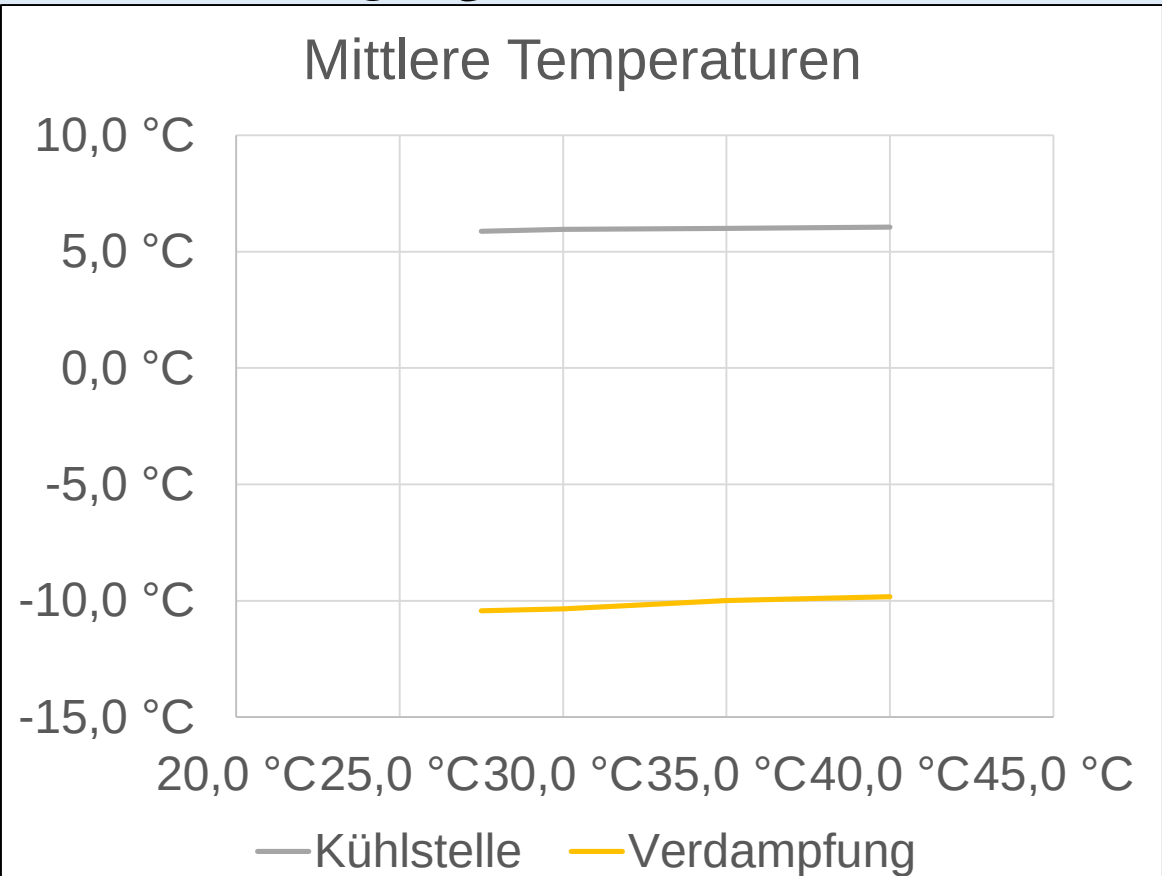
Experimentelle Überprüfung

T_0 / T_C	dt / h	dE / kWh	P_mittel / kW	Kühlzellentemperatur			Starts / 1/h	Energieein- sparung / %
				T_min / °C	T_max / °C	T_mittel / °C		
-10 °C / 40 °C	142,8	176,19	1,23	4,4	8,4	6,1	5,98	0,00
-8 °C / 40 °C	54,7	65,70	1,20	4,4	10,1	6,0	3,31	2,67
-5 °C / 40 °C	49,5	56,13	1,13	4,7	9,1	7,4	0,02	8,17
-10 °C / 35 °C	115,0	118,84	1,03	4,3	8,9	6,0	6,22	16,24
-10 °C / 30 °C	51,7	46,67	0,90	3,7	9,9	6,0	5,80	26,82
-10 °C / 27,5 °C	52,1	46,13	0,89	3,6	8,3	5,9	4,88	28,18

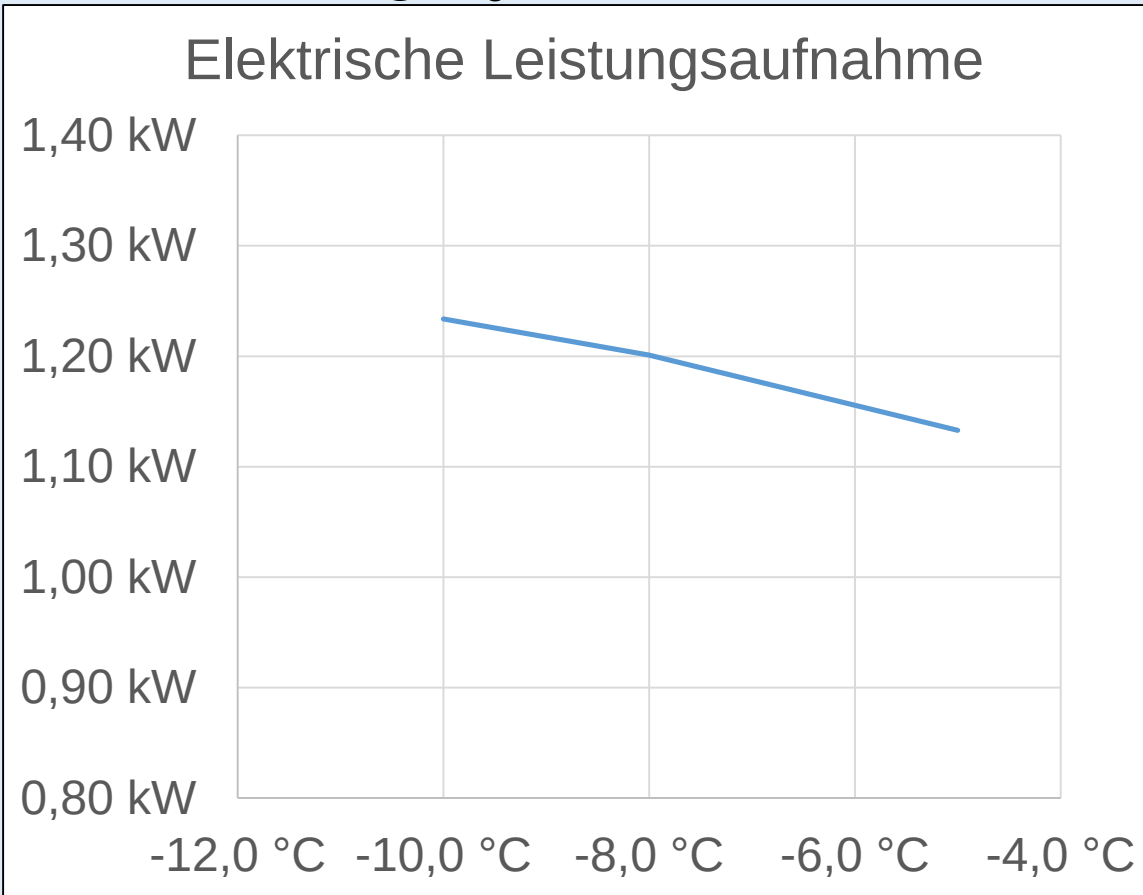
Anhebung T_0



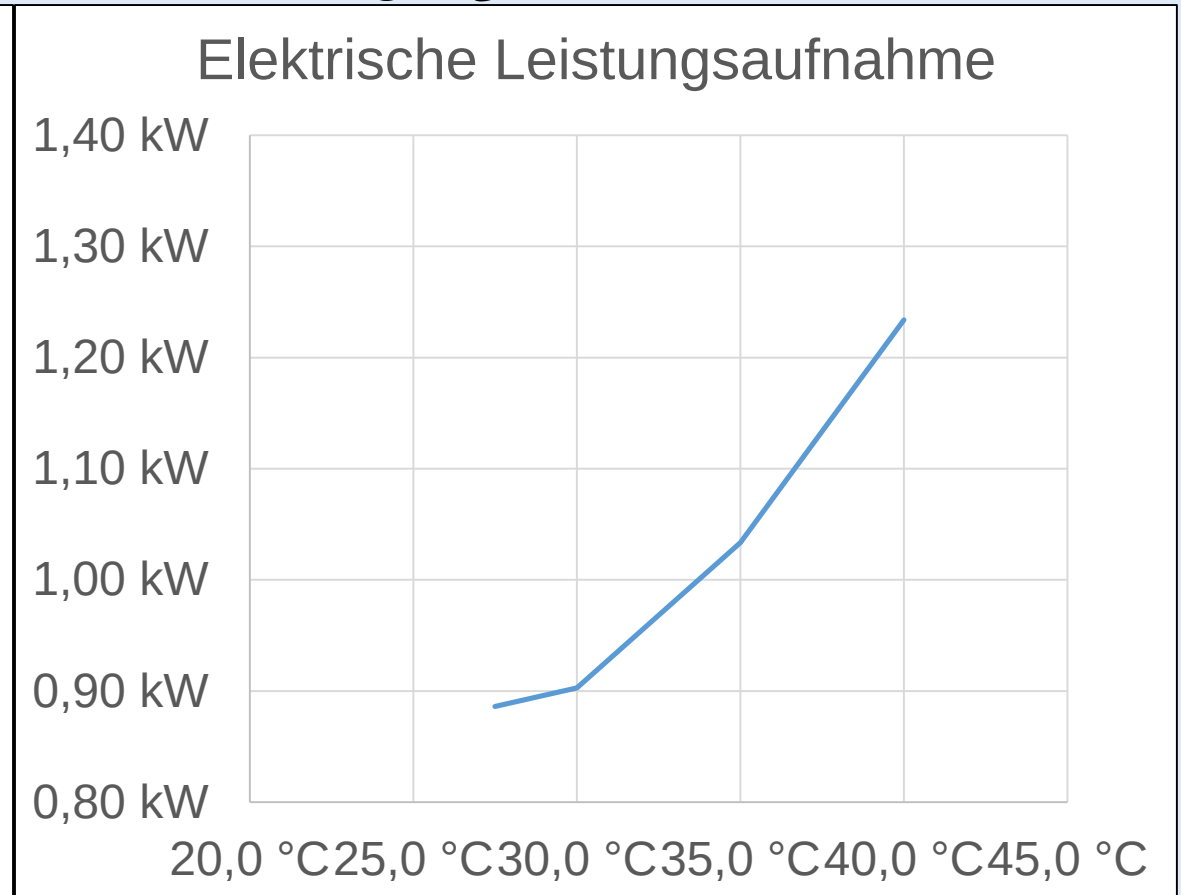
Absenkung T_c



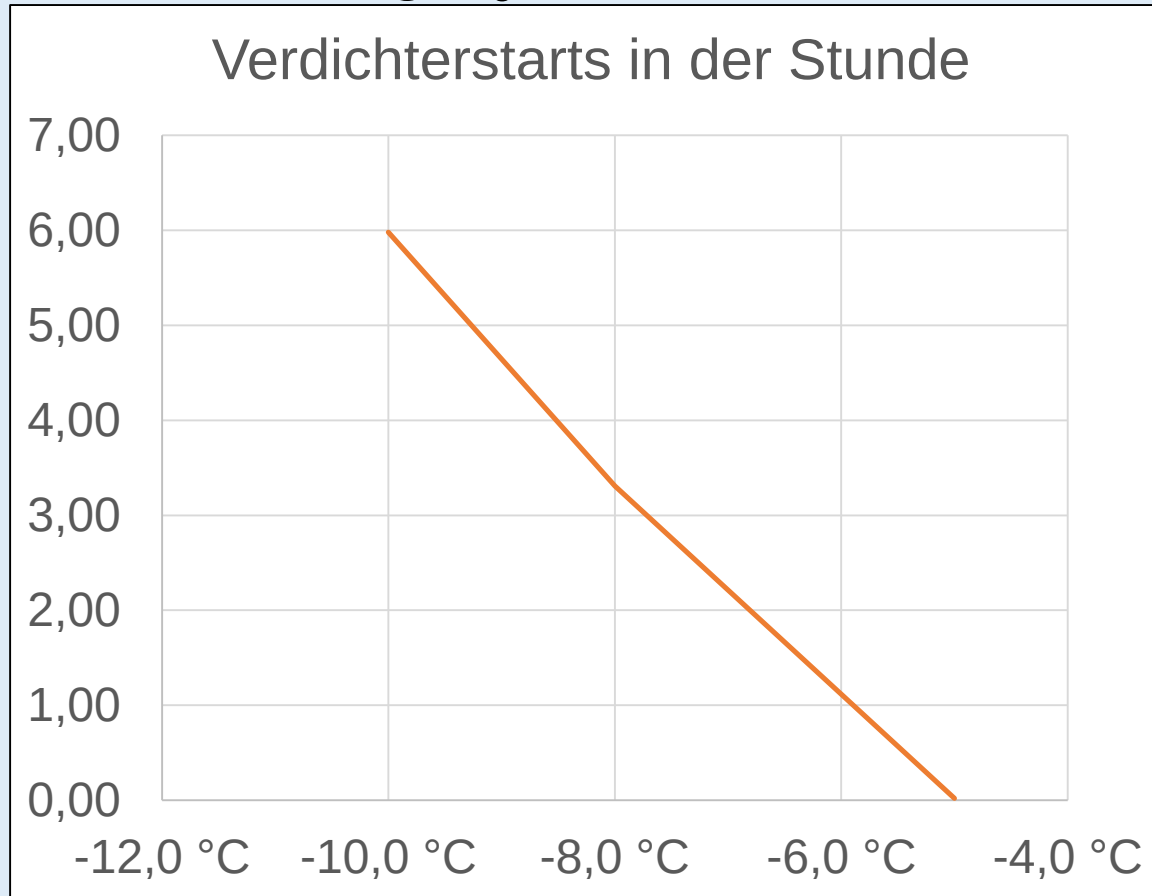
Anhebung T_0



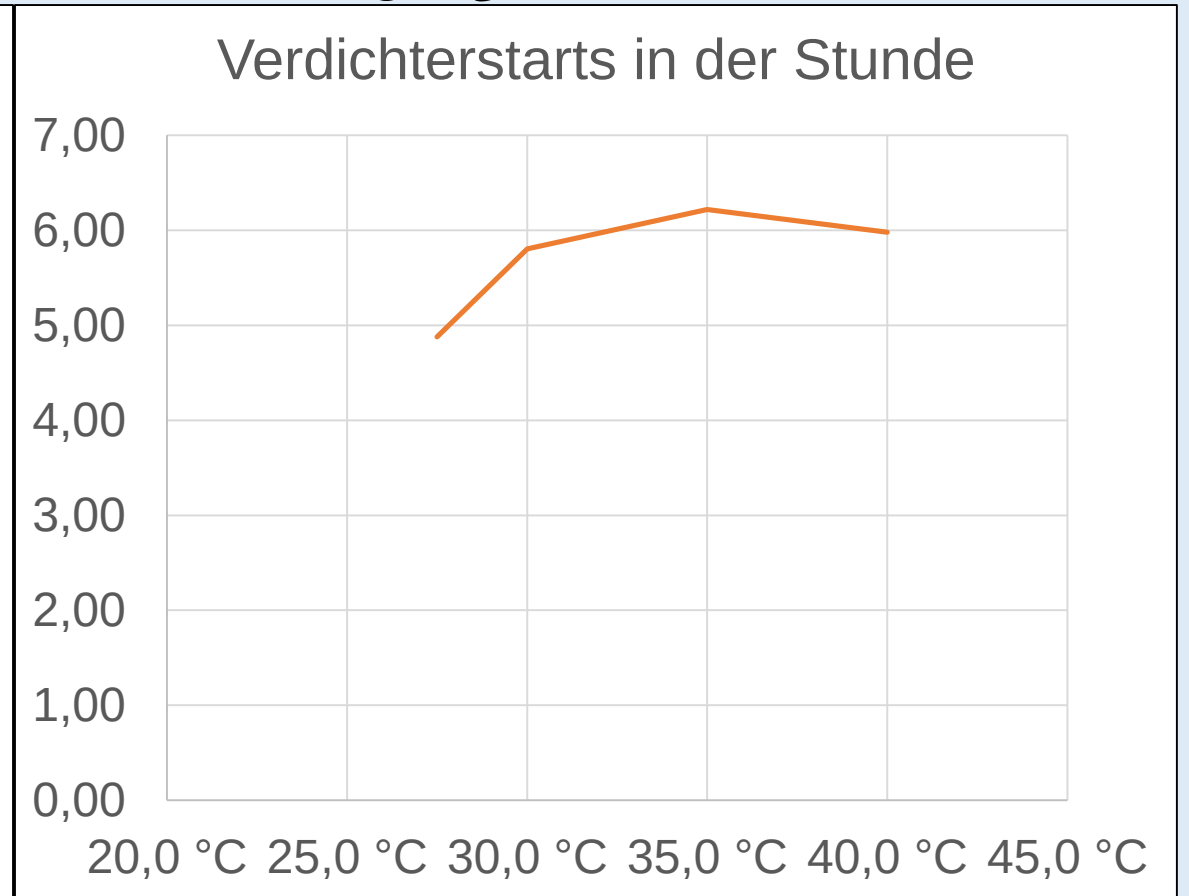
Absenkung T_c



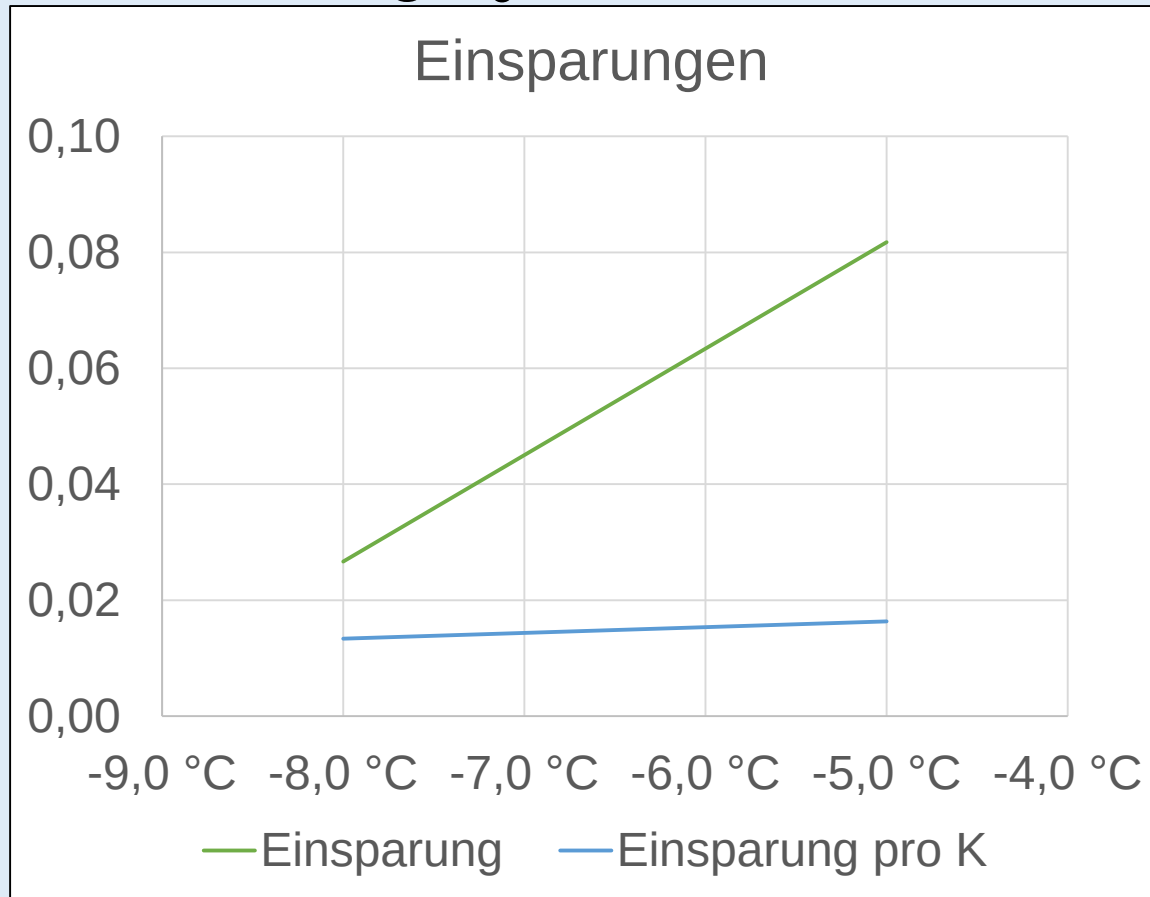
Anhebung T_0



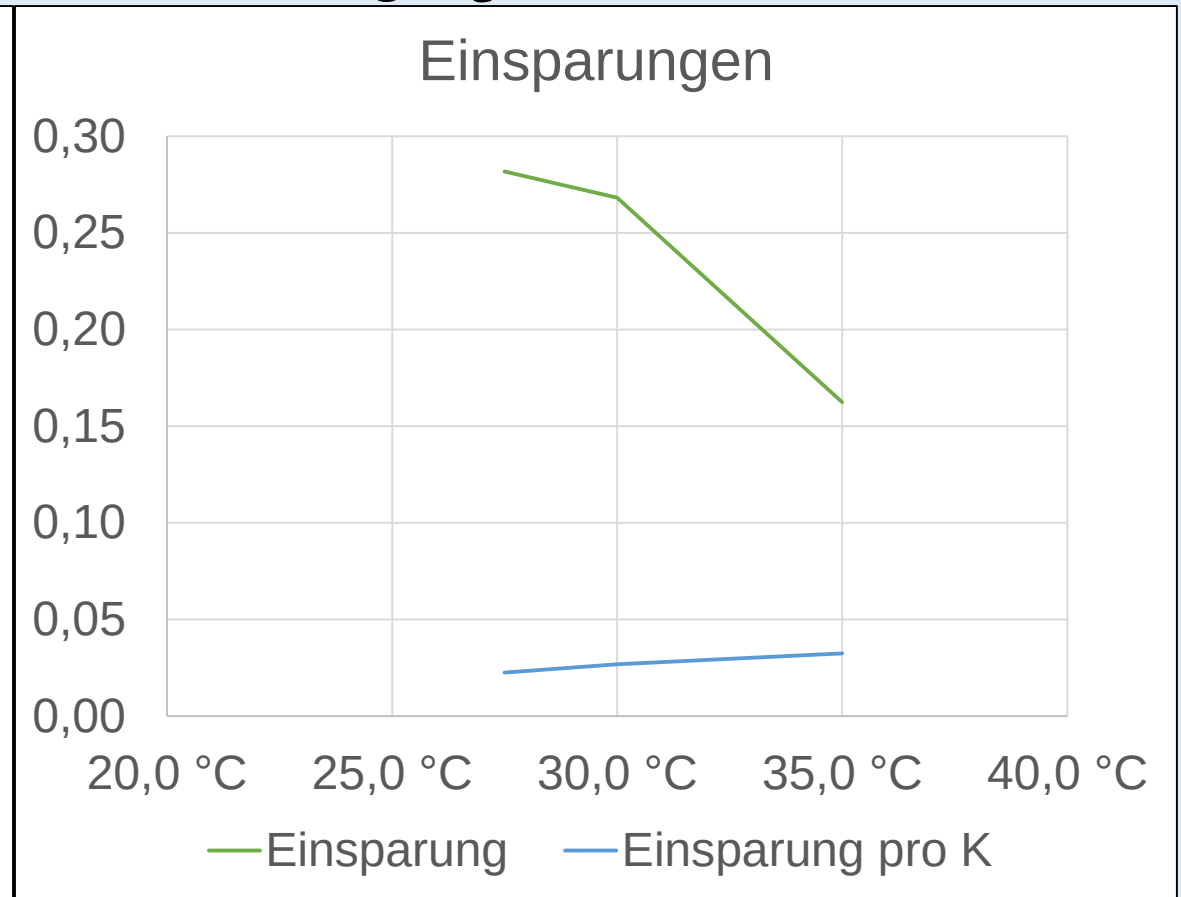
Absenkung T_c



Anhebung T_0



Absenkung T_c



- Es gibt verschiedene Wege um den Energiebedarf einer Bestandsanlage zu reduzieren
- Man muss das Gesamtsystem betrachten
- Auf Wechselwirkungen achten
- Die beschriebenen Maßnahmen sind in vielen Bestandsanlagen einfach umzusetzen
- Weitere Messungen zur Überprüfung der Theorie erforderlich

KIMO

RHVAC Controls

