

Analyse & Beurteilung von **möglichen** **Bestandsanlagen**

Umrüstung einer Bestandsanlage (R22)

R290 vs. R454C

Christoph Scholten

Kälteanlagenbauermeister

Bildungsweg

Ausbildung zum
Kälteanlagenbauer

Weiterbildung zum
Kälteanlagenbauermeister

Techniker im Großhandel

Betriebsleiter Tanklager

Selbstständigkeit

2019 Firma gegründet

R290 & Ich

Erste Schulung zum
Thema Propan 2018

Erste Anlage gebaut 2019

Seit 2024 Kälteanlagen
nur noch mit R290 & Co

Agrarkühlung, Langzeitlager

Kartoffelkühlung für 1000 to
Industriekartoffeln

Leistungsbedarf 60-80 kW

Lagertemperatur 7°C



Vorhandenes System

R22 Anlage mit 1x 4G-30.2

$T_e = -3^{\circ}\text{C}$

$dt_{\ddot{U}} = 10\text{ K}$

$T_c = 42^{\circ}\text{C}$

$dt_U = 2\text{ K}$

Kälteleistung = 57,2 kW



Mögliche Kältemittel für diese Anlage

R290

- Verträglichkeit mit System Ja
- Sicherheitsgruppe A3
- GWP 3
- Gleit keiner
- Selbstentzündung bei 470 °C

R454C

- Verträglichkeit mit System Ja
- Sicherheitsgruppe A2L
- GWP 148
- Gleit 7,81 K
- Selbstentzündung bei 444 °C

Leistungsdaten der Verdichter

$t_e = -3^{\circ}\text{C}$, $dt\ddot{U} = 10\text{ K}$, $t_c = 42^{\circ}\text{C}$, $dtU = 2\text{ K}$



R22

Verdichter 4G-30.2

Kälteleistung 57,2 kW

Verdampferleist. 57,2 kW

Leistungsaufnahme 17,60 kW

Strom (400V) 32,4 A

Verflüssigerleistung 74,8 kW

Leistungszahl 3,25

Druckgastemp. ungekühlt 91,4 °C

Fördervolumen (1450/min 50 Hz)
84,5 m³/h

R290

Verdichter 4GEP-30Z-40P

Kälteleistung 53,5 kW

Verdampferleist. 53,5 kW

Leistungsaufnahme 15,40 kW

Strom (400V) 29,4 A

Verflüssigerleistung 68,9 kW

Leistungszahl 3,47

Druckgastemp. ungekühlt 66,3 °C

Fördervolumen (1450/min 50 Hz)
84,5 m³/h

R454C

Verdichter 4GE-30Y-40P

Kälteleistung 50,6 kW

Verdampferleist. 50,6 kW

Leistungsaufnahme 16,21 kW

Strom (400V) 30,5 A

Verflüssigerleistung 66,8 kW

Leistungszahl 3,12

Druckgastemp. ungekühlt 71,8 °C

Fördervolumen (1450/min 50Hz)
84,5 m³/h

Neuanlage

- Verflüssigersatz mit FU
- Einbau von EEVs
- Reduzierung der Überhitzung
- Anhebung der Verdampfungstemperatur
- Verringerung der Verflüssigungstemperatur
- Verwendung der vorhandenen Verdampfer!!

Schritt 1

Verwendung eines FU

Einbau von EEV's

Leistungsdaten der Neuanlage mit **FU & EEV**

$t_e = -3^{\circ}\text{C}$, $dt\ddot{U} = 7\text{ K}$, $t_c = 42^{\circ}\text{C}$, $dtU = 2\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	61,6 kW
Kälteleistung *	62,0 kW
Verdampferleist.	60,4 kW
Leistungsaufnahme	19,53 kW
Strom (400V)	32,0 A
Verflüssigerleistung	81,1 kW
Leistungszahl	3,09
Leistungszahl *	3,18
Massenstrom	787 kg/h
min. Kälteleistung	22,0 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	60,4 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	70,1 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	59,7 kW
Kälteleistung *	60,3 kW
Verdampferleist.	58,6 kW
Leistungsaufnahme	20,5 kW
Strom (400V)	33,6 A
Verflüssigerleistung	80,2 kW
Leistungszahl	2,85
Leistungszahl *	2,94
Massenstrom	1456 kg/h
min. Kälteleistung	21,3 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	58,6 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	74,7 °C

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = -3^\circ\text{C}$, $dt\ddot{U} = 7\text{ K}$, $t_c = 42^\circ\text{C}$, $dtU = 2\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	61,6 kW
Kälteleistung *	62,0 kW
Verdampferleist.	60,4 kW
Leistungsaufnahme	19,53 kW
Strom (400V)	32,0 A
Verflüssigerleistung	81,1 kW
Leistungszahl	3,09
Leistungszahl *	3,18
Massenstrom	787 kg/h
min. Kälteleistung	22,0 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	60,4 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	70,1 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	59,7 kW
Kälteleistung *	60,3 kW
Verdampferleist.	58,6 kW
Leistungsaufnahme	20,5 kW
Strom (400V)	33,6 A
Verflüssigerleistung	80,2 kW
Leistungszahl	2,85
Leistungszahl *	2,94
Massenstrom	1456 kg/h
min. Kälteleistung	21,3 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	58,6 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	74,7 °C

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = -3^\circ\text{C}$, $dt\ddot{U} = 7\text{ K}$, $t_c = 42^\circ\text{C}$, $dtU = 2\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	61,6 kW
Kälteleistung *	62,0 kW
Verdampferleist.	60,4 kW
Leistungsaufnahme	19,53 kW
Strom (400V)	32,0 A
Verflüssigerleistung	81,1 kW
Leistungszahl	3,09
Leistungszahl *	3,18
Massenstrom	787 kg/h
min. Kälteleistung	22,0 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	60,4 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	70,1 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	59,7 kW
Kälteleistung *	60,3 kW
Verdampferleist.	58,6 kW
Leistungsaufnahme	20,5 kW
Strom (400V)	33,6 A
Verflüssigerleistung	80,2 kW
Leistungszahl	2,85
Leistungszahl *	2,94
Massenstrom	1456 kg/h
min. Kälteleistung	21,3 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	58,6 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	74,7 °C

Schritt 2

Anhebung der Verdampfungstemperatur

Reduzierung der Überhitzung

Verwendung eines IWÜ

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = 0^\circ\text{C}$, $dt\ddot{U} = 6\text{ K}$, $t_c = 42^\circ\text{C}$, $dtU = 7\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	74,1 kW
Kälteleistung *	69,4 kW
Verdampferleist.	68,3 kW
Leistungsaufnahme	19,96 kW
Strom (400V)	32,7 A
Verflüssigerleistung	94,0 kW
Leistungszahl	3,42
Leistungszahl *	3,48
Massenstrom	841 kg/h
min. Kälteleistung	24,8 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	68,3 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	78,1 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	73,0 kW
Kälteleistung *	68,2 kW
Verdampferleist.	67,1 kW
Leistungsaufnahme	21,5 kW
Strom (400V)	35,1 A
Verflüssigerleistung	94,5 kW
Leistungszahl	3,13
Leistungszahl *	3,18
Massenstrom	1574 kg/h
min. Kälteleistung	24,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	67,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	83,3 °C

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = 0^\circ\text{C}$, $dt\ddot{U} = 6\text{ K}$, $t_c = 42^\circ\text{C}$, $dtU = 7\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	74,1 kW
Kälteleistung *	69,4 kW
Verdampferleist.	68,3 kW
Leistungsaufnahme	19,96 kW
Strom (400V)	32,7 A
Verflüssigerleistung	94,0 kW
Leistungszahl	3,42
Leistungszahl *	3,48
Massenstrom	841 kg/h
min. Kälteleistung	24,8 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	68,3 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	78,1 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	73,0 kW
Kälteleistung *	68,2 kW
Verdampferleist.	67,1 kW
Leistungsaufnahme	21,5 kW
Strom (400V)	35,1 A
Verflüssigerleistung	94,5 kW
Leistungszahl	3,13
Leistungszahl *	3,18
Massenstrom	1574 kg/h
min. Kälteleistung	24,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	67,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	83,3 °C

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = 0^\circ\text{C}$, $dt\ddot{U} = 6\text{ K}$, $t_c = 42^\circ\text{C}$, $dtU = 7\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	74,1 kW
Kälteleistung *	69,4 kW
Verdampferleist.	68,3 kW
Leistungsaufnahme	19,96 kW
Strom (400V)	32,7 A
Verflüssigerleistung	94,0 kW
Leistungszahl	3,42
Leistungszahl *	3,48
Massenstrom	841 kg/h
min. Kälteleistung	24,8 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	68,3 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	78,1 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	73,0 kW
Kälteleistung *	68,2 kW
Verdampferleist.	67,1 kW
Leistungsaufnahme	21,5 kW
Strom (400V)	35,1 A
Verflüssigerleistung	94,5 kW
Leistungszahl	3,13
Leistungszahl *	3,18
Massenstrom	1574 kg/h
min. Kälteleistung	24,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	67,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	83,3 °C

Schritt 3

Verringerung der Verflüssigungstemperatur

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = 0\text{ °C}$, $dt\ddot{U} = 6\text{ K}$, $t_c = 30\text{ °C}$, $dtU = 5\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,2 kW
Kälteleistung *	80,8 kW
Verdampferleist.	78,1 kW
Leistungsaufnahme	16,14 kW
Strom (400V)	26,8 A
Verflüssigerleistung	100,3 kW
Leistungszahl	4,84
Leistungszahl *	5,01
Massenstrom	879 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	64,4 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,3 kW
Kälteleistung *	80,9 kW
Verdampferleist.	78,1 kW
Leistungsaufnahme	18,09 kW
Strom (400V)	29,8 A
Verflüssigerleistung	102,4 kW
Leistungszahl	4,32
Leistungszahl *	4,47
Massenstrom	1661 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	69,3 °C

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = 0\text{ °C}$, $dt\ddot{U} = 6\text{ K}$, $t_c = 30\text{ °C}$, $dtU = 5\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,2 kW
Kälteleistung *	80,8 kW
Verdampferleist.	78,1 kW
Leistungsaufnahme	16,14 kW
Strom (400V)	26,8 A
Verflüssigerleistung	100,3 kW
Leistungszahl	4,84
Leistungszahl *	5,01
Massenstrom	879 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	64,4 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,3 kW
Kälteleistung *	80,9 kW
Verdampferleist.	78,1 kW
Leistungsaufnahme	18,09 kW
Strom (400V)	29,8 A
Verflüssigerleistung	102,4 kW
Leistungszahl	4,32
Leistungszahl *	4,47
Massenstrom	1661 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	69,3 °C

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = 0\text{ °C}$, $dt\ddot{U} = 6\text{ K}$, $t_c = 30\text{ °C}$, $dtU = 5\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,2 kW
Kälteleistung *	80,8 kW
Verdampferleist.	78,1 kW
Leistungsaufnahme	16,14 kW
Strom (400V)	26,8 A
Verflüssigerleistung	100,3 kW
Leistungszahl	4,84
Leistungszahl *	5,01
Massenstrom	879 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	64,4 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,3 kW
Kälteleistung *	80,9 kW
Verdampferleist.	78,1 kW
Leistungsaufnahme	18,09 kW
Strom (400V)	29,8 A
Verflüssigerleistung	102,4 kW
Leistungszahl	4,32
Leistungszahl *	4,47
Massenstrom	1661 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	69,3 °C

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV

$t_e = 0\text{ °C}$, $dt\ddot{U} = 6\text{ K}$, $t_c = 30\text{ °C}$, $dtU = 5\text{ K}$



R290 4HEP-25Z

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,2 kW
Kälteleistung *	80,8 kW
Verdampferleist.	78,1 kW
Leistungsaufnahme	16,14 kW
Strom (400V)	26,8 A
Verflüssigerleistung	100,3 kW
Leistungszahl	4,84
Leistungszahl *	5,01
Massenstrom	879 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	64,4 °C

R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,3 kW
Kälteleistung *	80,9 kW
Verdampferleist.	78,1 kW
Leistungsaufnahme	18,09 kW
Strom (400V)	29,1 A
Verflüssigerleistung	102,4 kW
Leistungszahl	4,32
Leistungszahl *	4,47
Massenstrom	1661 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	69,3 °C

Gleit 7,81 K !

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV mit unterschiedlichen Einsatzbereichen



R290 4HEP-25Z

te = 0 °C

Verdichter	4HEP-25Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	84,2 kW
Kälteleistung *	80,8 kW
Verdampferleist.	78,1 kW ←
Leistungsaufnahme	16,14 kW
Strom (400V)	26,8 A
Verflüssigerleistung	100,3 kW
Leistungszahl	4,84
Leistungszahl *	5,01
Massenstrom	879 kg/h
min. Kälteleistung	28,4 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	78,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	64,4 °C

R454C 4HE-25Y-40P

te = -3,9°C

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	71,7 kW
Kälteleistung *	69,2 kW
Verdampferleist.	66,5 kW ←
Leistungsaufnahme	17,50 kW
Strom (400V)	28,9 A
Verflüssigerleistung	89,2 kW
Leistungszahl	3,80
Leistungszahl *	3,95
Massenstrom	1433 kg/h
min. Kälteleistung	24,2 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	66,5 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	71,3 °C

Leistungsdaten der Neuanlage mit FU & EEV mit unterschiedlichen Einsatzbereichen



R290 4JEP-22Z

Verdichter	4JEP-22Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	70,9 kW
Kälteleistung *	68,1 kW
Verdampferleist.	65,9 kW
Leistungsaufnahme	13,55 kW
Strom (400V)	22,4 A
Verflüssigerleistung	84,5 kW
Leistungszahl	4,86
Leistungszahl *	5,03
Massenstrom	741 kg/h
min. Kälteleistung	24,0 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	65,9 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	64,2 °C



R454C 4HE-25Y-40P

Verdichter	4HE-25Y-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	71,7 kW
Kälteleistung *	69,2 kW
Verdampferleist.	66,5 kW
Leistungsaufnahme	17,50 kW
Strom (400V)	28,9 A
Verflüssigerleistung	89,2 kW
Leistungszahl	3,80
Leistungszahl *	3,95
Massenstrom	1433 kg/h
min. Kälteleistung	24,2 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	66,5 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	71,3 °C



Berechnung der Betriebskosten

R290 4JEP-22Z

Kältemittel:	PROPAN
MEPS = 5, SEPR = 6,56	EER Min / Max [5.55 / 8.84]
Energiekosten:	.3 €/kWh
Spez. Emission CO2:	0 kg CO2/kWh
Betriebskosten:	17552 €/a -- 58507 kWh/a
Emission CO2:	0 t/a
Verdichter :	47045 kWh/a / 80.4 %
Verflüssiger :	3318 kWh/a / 5.67 %
Verdampfer :	7920 kWh/a / 13.53 %
Abtauung :	222 kWh/a / .38 %

R454C 4HE-25Y-40P

Kältemittel:	R454C
MEPS = 5, SEPR = 4,75	EER Min / Max [3.35 / 6.46]
Energiekosten:	.3 €/kWh
Spez. Emission CO2:	0 kg CO2/kWh
Betriebskosten:	24857 €/a -- 82858 kWh/a
Emission CO2:	0 t/a
Verdichter :	71121 kWh/a / 85.83 %
Verflüssiger :	3815 kWh/a / 4.6 %
Verdampfer :	7920 kWh/a / 9.55 %

7305€ Differenz im Ganzjahresbetrieb, geschätzt 3000€ im Winterhalbjahr

Maßnahmen beim Umbau der Anlage

**Prüfung der Dichtheit und Funktion
aller vorhandenen Komponenten**

Berechnung der Füllmenge (25 kg)

**Installation eines Gaswarngerätes (falls
erforderlich)**



Gaswarngerät nötig oder nicht?



Berechnung des Raumvolumen

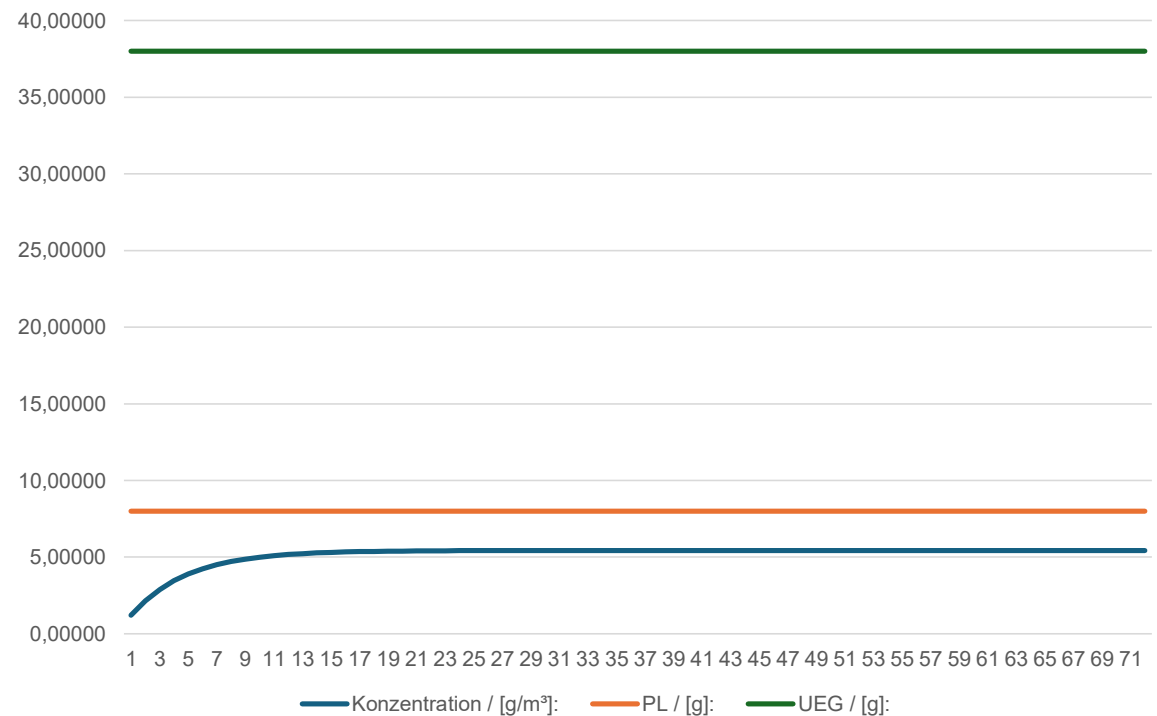
Kühlhalle $18,3 \cdot 25,0 \cdot 1,8\text{m}$

Volumen $823,5 \text{ m}^3$

Grenzwert $20 \% \times \text{LFL} \times \text{Raumvolumen}$

Ergebnis $6,25 \text{ kg}$

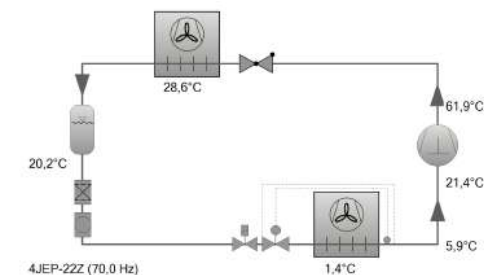
Konzentration im Raum über der Zeit je
nach
Leckagegröße und Luftwechselrate:



Unsere Lösung



Verdichtertyp	4JEP-22Z
Modus	Kälte- und Klimaanlage
Kältemittel	R290
Bezugstemperatur	Taupunkt
Verdampfung	1,40 °C
Verflüssigung	28,6 °C
Flüss.unterk. (im Verfl.)	8,40 K
Sauggasüberhitzung	20,00 K
Betriebsart	Auto
Netzversorgung	400V-3-50Hz
Nutzbare Überhitzung	4,50 K



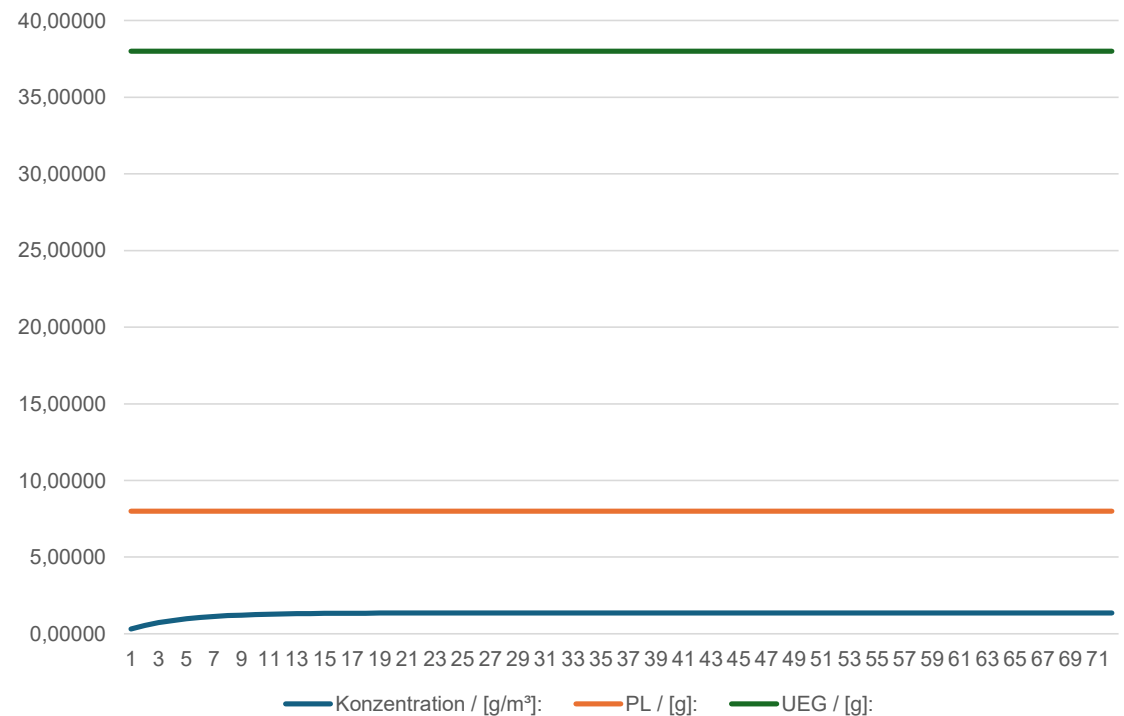
Ergebnis

Verdichter	4JEP-22Z-40P
Verdichterfrequenz	70,0 Hz
Kälteleistung	78,0 kW
Kälteleistung *	73,0 kW
Verdampferleist.	72,1 kW
Leistungsaufnahme	13,09 kW
Strom (400V)	21,8 A
Verflüssigerleistung	91,1 kW
Leistungszahl	5,51
Leistungszahl *	5,58
Massenstrom	782 kg/h
min. Kälteleistung	26,2 kW (25 Hz)
max. Kälteleistung	72,1 kW (70 Hz)
Druckgastemp. ungekühlt	61,9 °C

Leckage in der Anlage

Tatsächliche Füllmenge nur 14,5 kg
 Leckage von 250 g / Std
 Anlage in Störung nach 29 Stunden

Konzentration im Raum über die Zeit je
 nach
 Leckagegröße und Luftwechselrate:



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit**