REFOLUTION

THE ENGINEERING OFFICE FOR SUSTAINABLE REFRIGERATION TECHNOLOGY

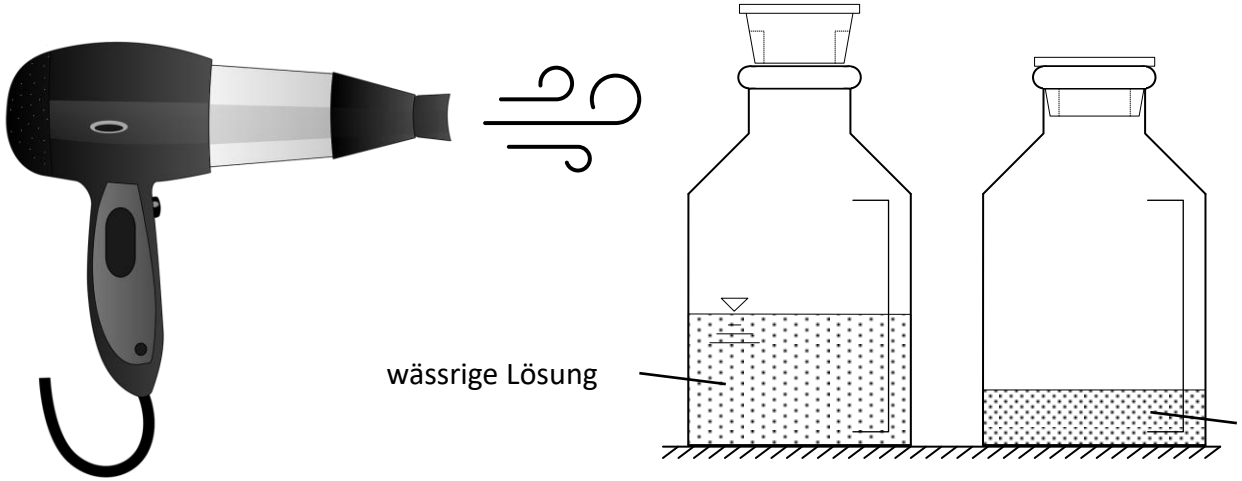
Kältetechnik in der Gefriertrocknung
- State-Of The-Art und aktuelle Trends –
17.11.2022

Agenda

- Was ist Gefriertrocknung
- Ein typischer Gefriertrocknungsprozess
- State-of-the-art
- Herausforderungen an den Markt
- Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

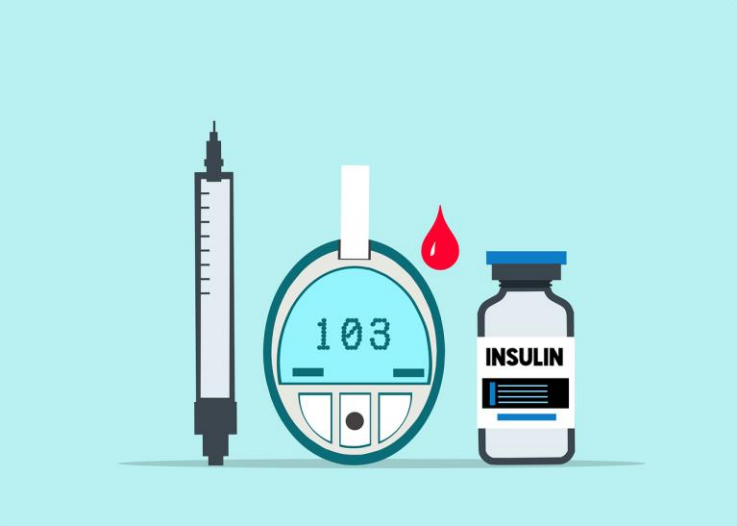
Was ist Gefriertrocknung? (1)

Die **GEFRIERTOCKNUNG**, auch **LYOPHILIZATION** genannt, wird angewendet um einer **wässrigen Lösung** das Wasser zu **entziehen**



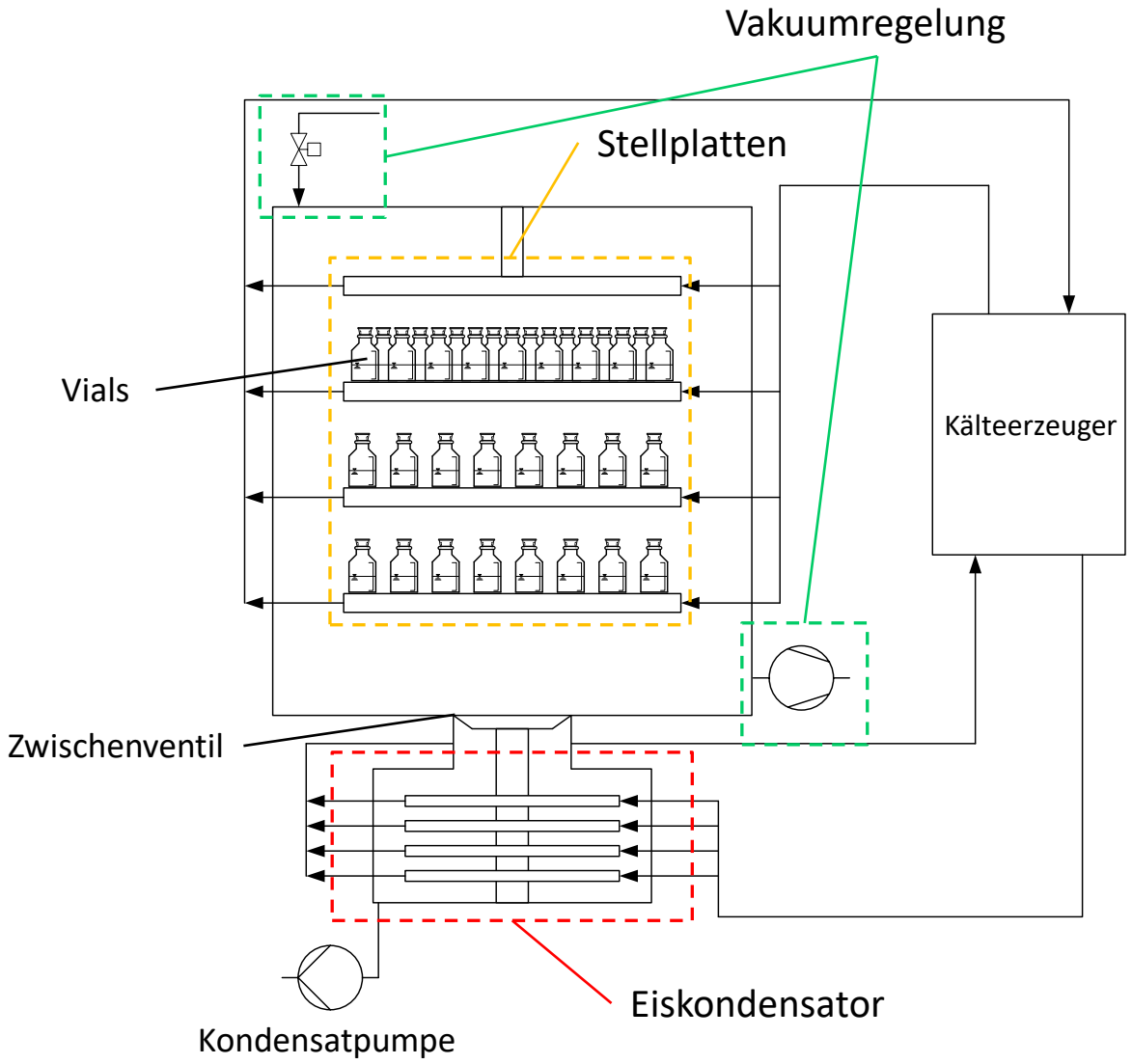
Hohe Haltbarkeit und Qualität des Produkts

Ziel:
Produkt zu erhalten, das nach **längerer Lagerzeit** gut **wasserlöslich** ist und **nach Auflösung** wieder seine **Herstellungsqualität** aufweist.



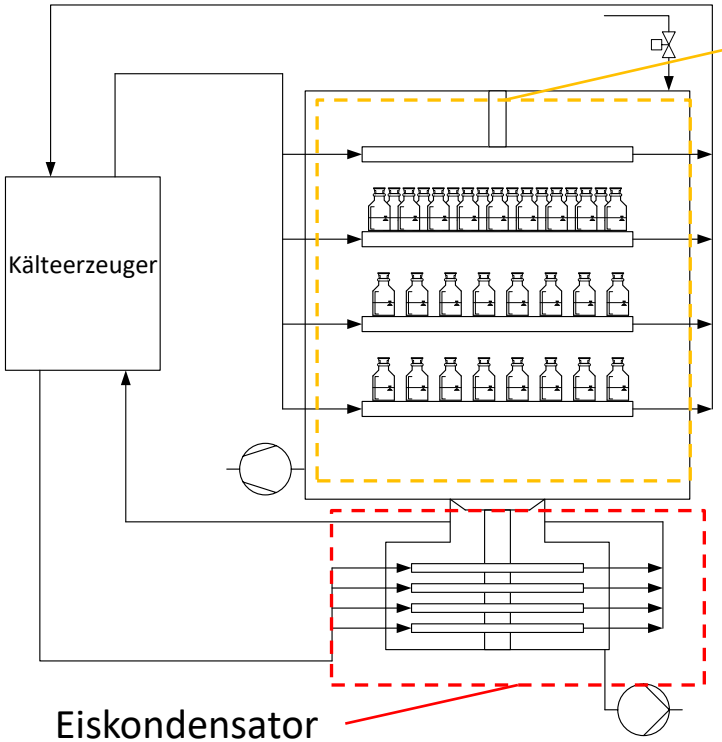
Was ist Gefriertrocknung? (2)

Prinzipieller Aufbau eines Gefriertrockners:



Was ist Gefriertrocknung? (3)

Prinzipieller Aufbau eines Gefriertrockners:



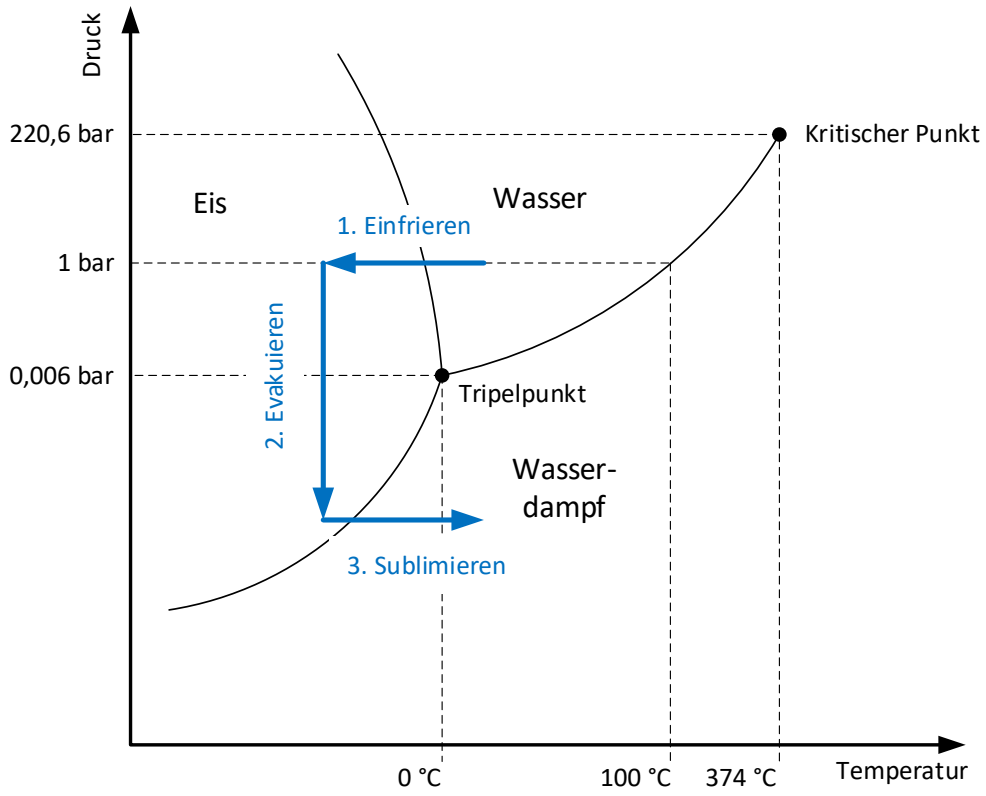
Stellplatten

Eiskondensator

Gesamtanlage

Was ist Gefriertrocknung? (4)

Die Physik der Gefriertrocknung:



1. Einfrieren:
Das Produkt wird unterhalb des Glaspunktes abgekühlt

2. Evakuieren:
Die Produktkammer Produkt wird evakuiert. Typischer Druckbereich 1 bis 10^{-3} mbar (Feinvakuum)

3. Sublimieren:
Durch Wärmezufuhr in den Stellplatten wird das Eis sublimiert.

Bei der Gefriertrocknung wird der Tripelpunkt „umfahren“

Ein typischer Gefriertrocknungs-prozess:

Was ist für die Kältetechnik zu beachten?

Prozessschritte in der Gefriertrocknung:

Hauptschritte:	Nebenschritte:
	Vorkühlen
	Beladeposition anfahren
Beladen	
Einfrieren	
	Vakuum anfahren/ Evakuieren
Haupttrocknung	
Nachtrocknung	
	Verschließdruck und Temperatur anfahren
	Stellplatten heben (Vials verschließen)
	Belüften
Entladen	
CIP (cleaning in place)	
SIP (sterilization in place)	

Ein typischer Gefriertrocknungs-prozess:

Was ist für die Kältetechnik zu beachten?

Temperaturverläufe in der Gefriertrocknung: Das Rezept

Stellplatten:

Beladen:

Häufig zwischen 5°C und Umgebungstemperatur,

Einfrieren:

Häufig ca. -45°C aber bis -60 °C

Trocknung:

Erwärmung bis auf +40 °C

Eiskondensator:

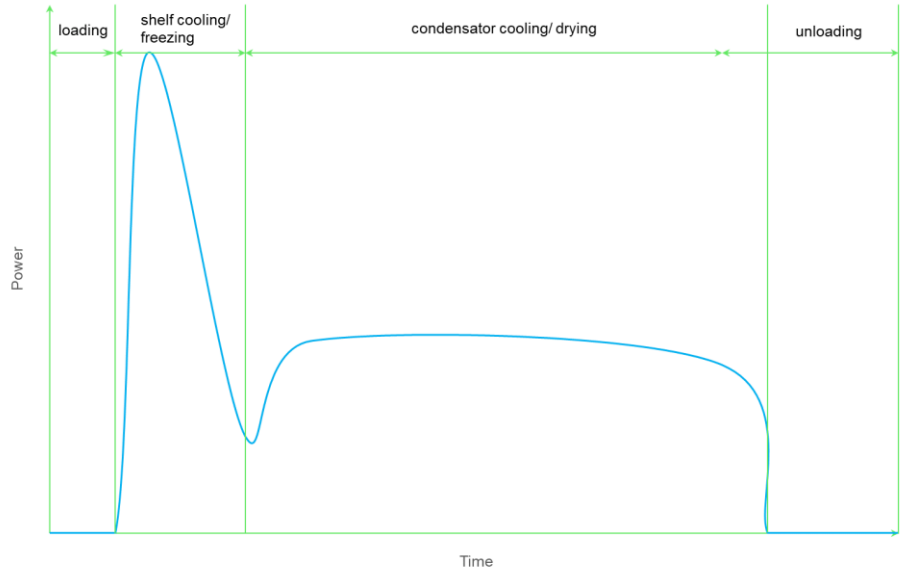
Vakuum:

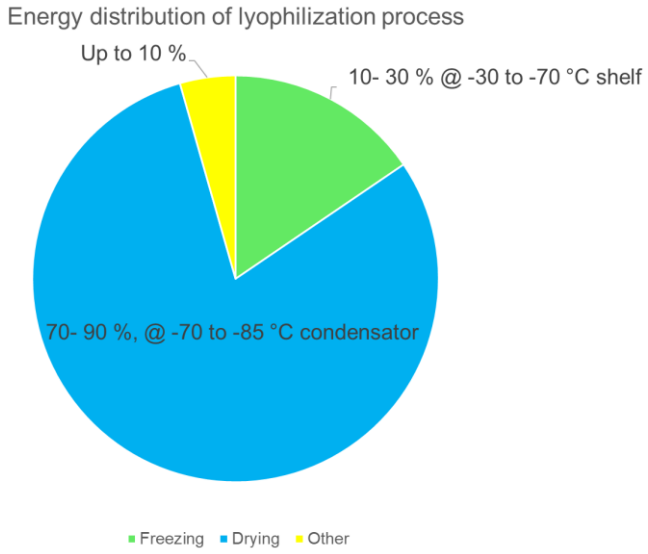
Häufig zwischen -60°C und -90 °C, selten -150 °C

Ein typischer Gefriertrocknungs-prozess:

Was ist für die Kältetechnik zu beachten?

Leistung und Arbeit der Kältetechnik in der Gefriertrocknung:



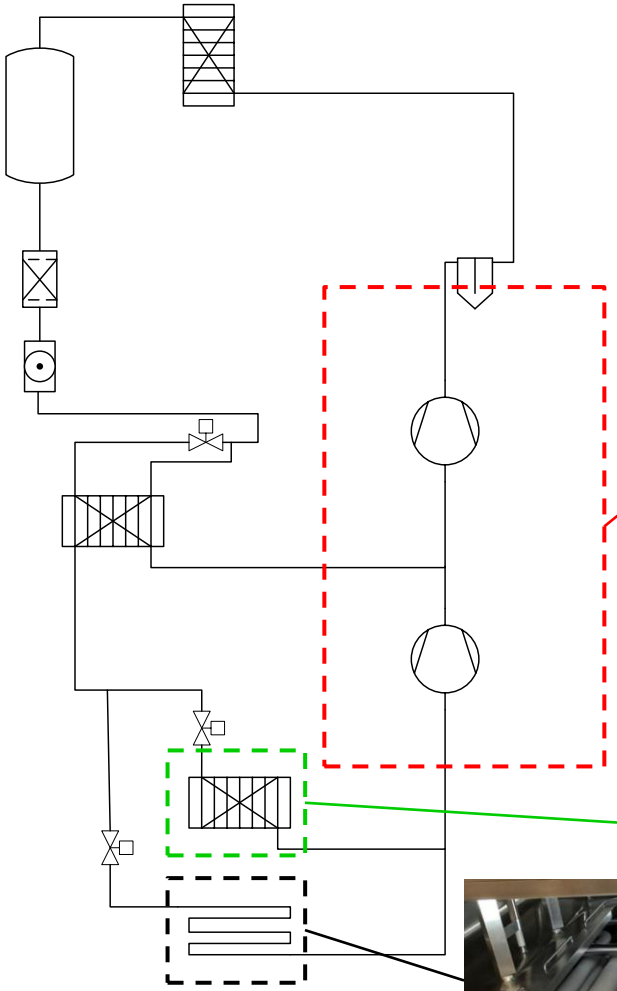


Der **größte Anteil** der Prozessarbeit wird während den **Trocknungsphasen** geleistet.

State-Of-The-Art:

Wie wird die Mehrheit der Gefriertrockner mit Kälte versorgt?

Gängigste Kältebereitstellung: Zweistufige Kälteanlagen



eingesetzte Kältemittel:
R404A, R410A, R452A

Zweistufige Verdichter

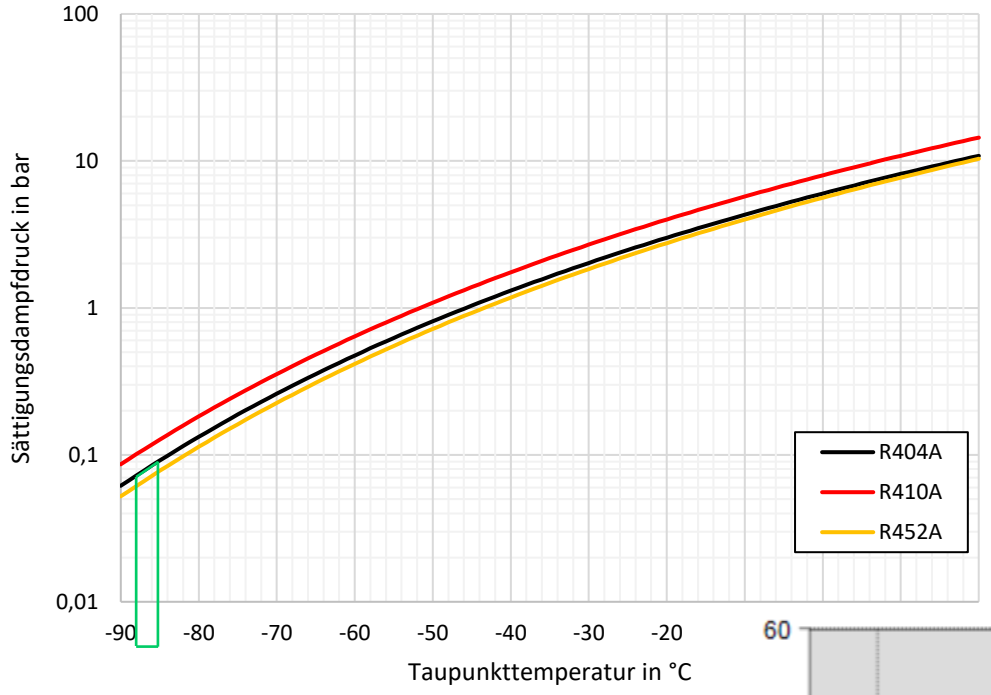
Kondensatorkühlung

Stellplattenkühlung

Gängigste Kältebereitstellung: Zweistufige Kälteanlagen

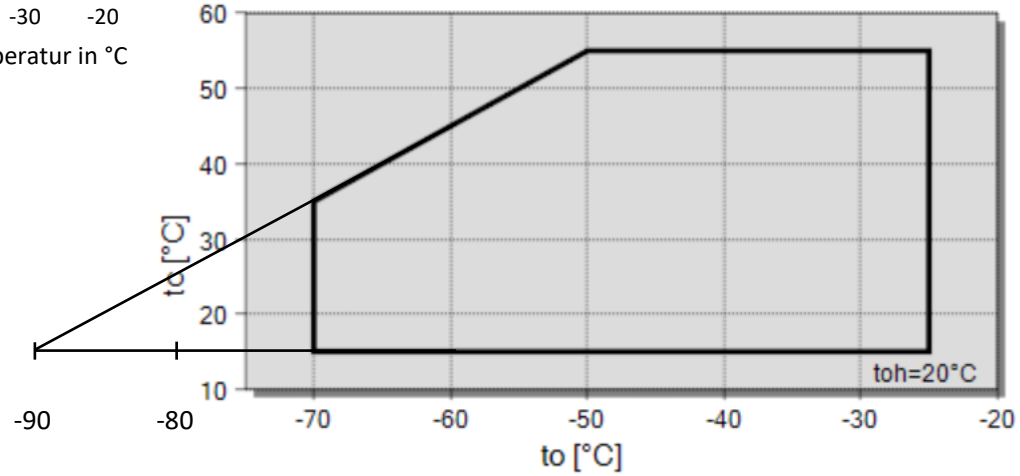
State-Of-The-Art:

Wie wird die Mehrheit der Gefriertrockner mit Kälte versorgt?



Offizielle Einsatzgrenzen von Bitzer für **2 stage Semi-hermitic Reciprocating Compressors** [1]

Saugdrücke bis von 70 bis 90 mbar(a) für Kondensatorkühlung

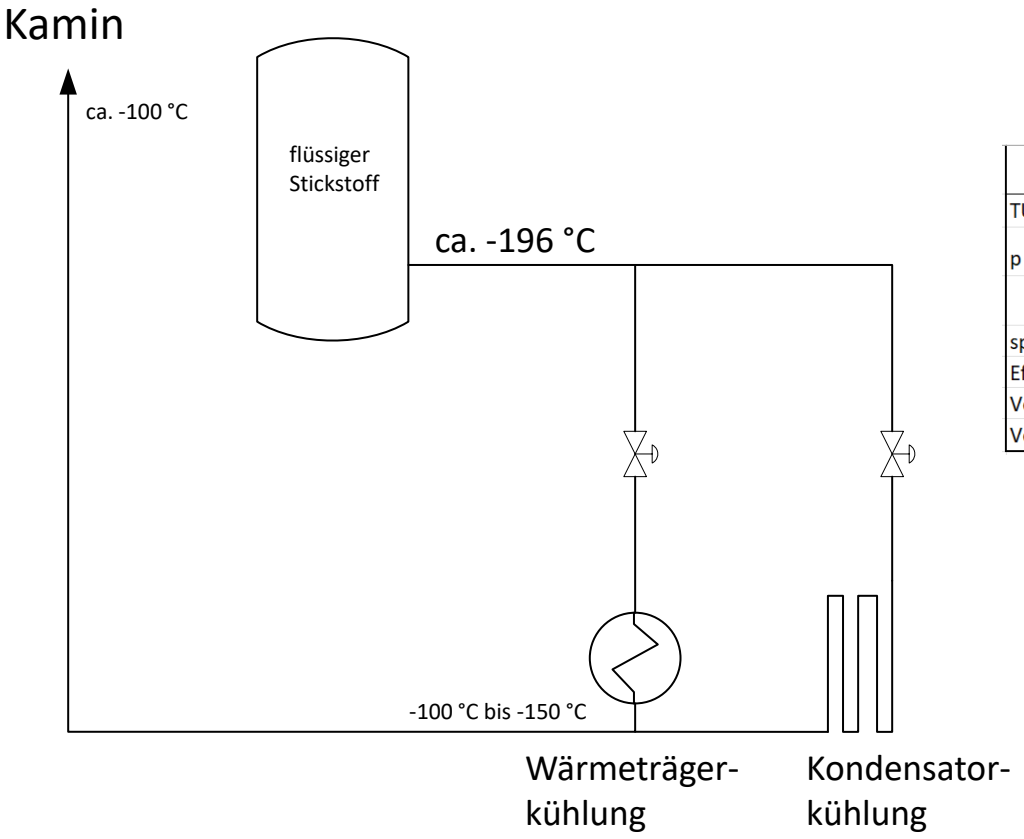


[1] BITZER Soft BITZERhttps://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1667377902726&mod=SHK Software ware

Häufige Kältebereitstellung: flüssiger Stickstoff

State-Of-The-Art:

Wie wird die Mehrheit der Gefriertrockner mit Kälte versorgt?



Wärmeträgerkühlung bei -60 °C mit flüssigen Stickstoff

Verflüssigungsarbeit:				
TU	0	°C	273,15	K
p	1,013	bar		
spezifische Exergie zur Verflüssigung			663,19	kJ/kg
Effizienz von Verflüssigungsanlagen			0,41	
Verflüssigerarbeit			1617,53	kJ/kg
Verflüssigunsarbeit bei Nm³			0,55	kWh/Nm³

[1]

Kondensatortemperaturen bis -150 °C realisierbar

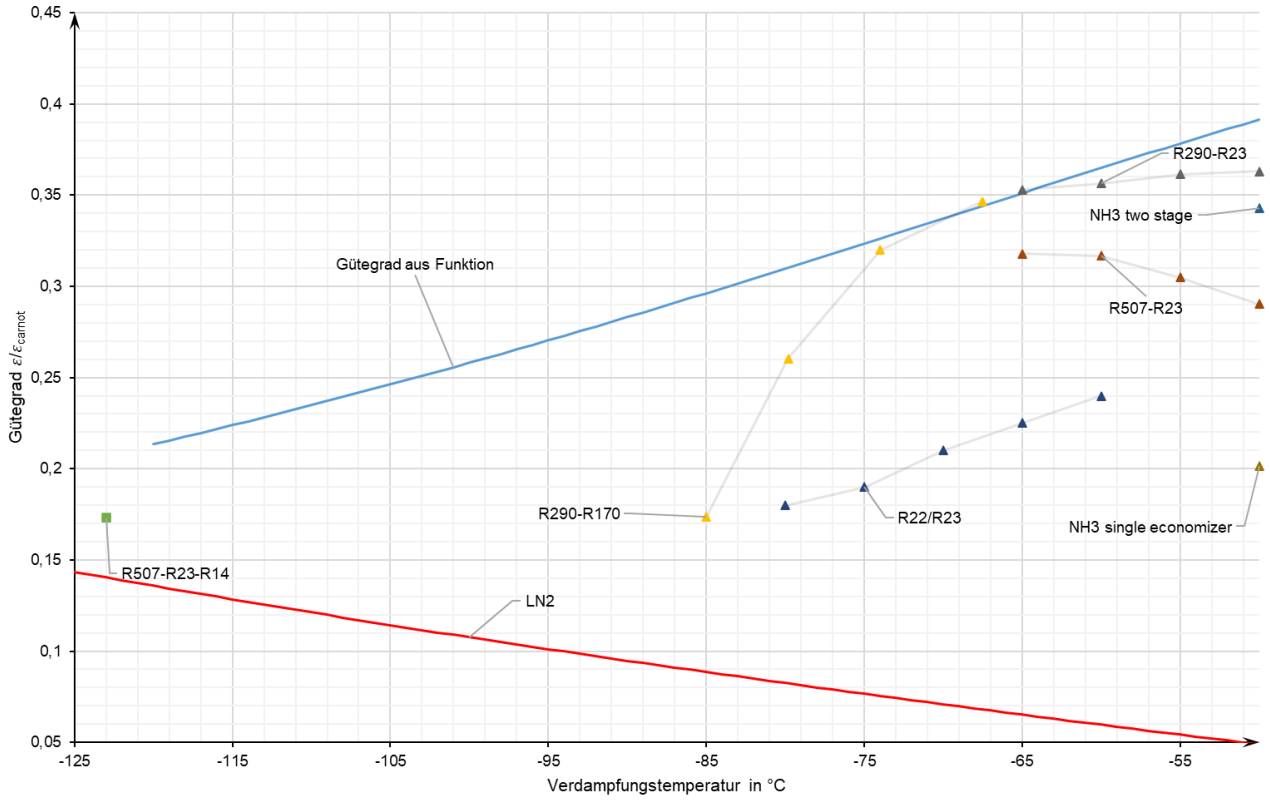
Aber wirklich notwendig?

[1] ProBas - Prozessdetails ProBas - Prozessdetails: Xtra-generischN2 (flüssig) (umweltbundesamt.de) : Xtra-generischN2 (flüssig) (umweltbundesamt.de)

State-Of-The-Art:

Wie wird die Mehrheit der Gefriertrockner mit Kälte versorgt?

Häufige Kältebereitstellung: flüssiger Stickstoff



Der Einfrierprozess mit Stickstoff ist sehr ineffizient

Herausforderungen an den Markt

Markt Regulierungen	F-GasV, Montreal Protokoll, REACH →Verfügbarkeit und Preise
Umweltbewusstein	Nachhaltige Produkte immer mehr im Vordergrund
Zukunftssicherheit	Lebensdauer von Gefriertrocknern teilweise 30+ Jahre

Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

Treibender Faktor für Neuinvestitionen in der Gefriertrocknung:

- Zukunftssicherheit
- Ausfallsicherheit

Die größten Kosten entstehen durch den Ausfall der Produktion!

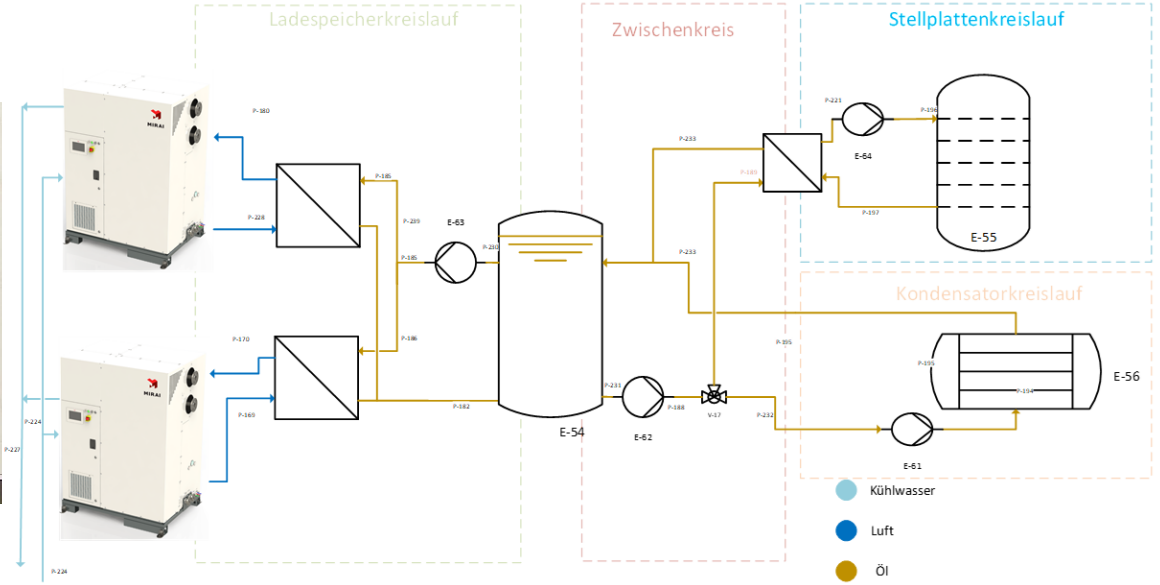
Amortisationszeiten von Gefriertrocknern sind wenige Monate bis wenige Wochen → Energieeffizienz eher zweitrangig

→ **Zuverlässige Alternativen sind auf dem Markt gefordert**

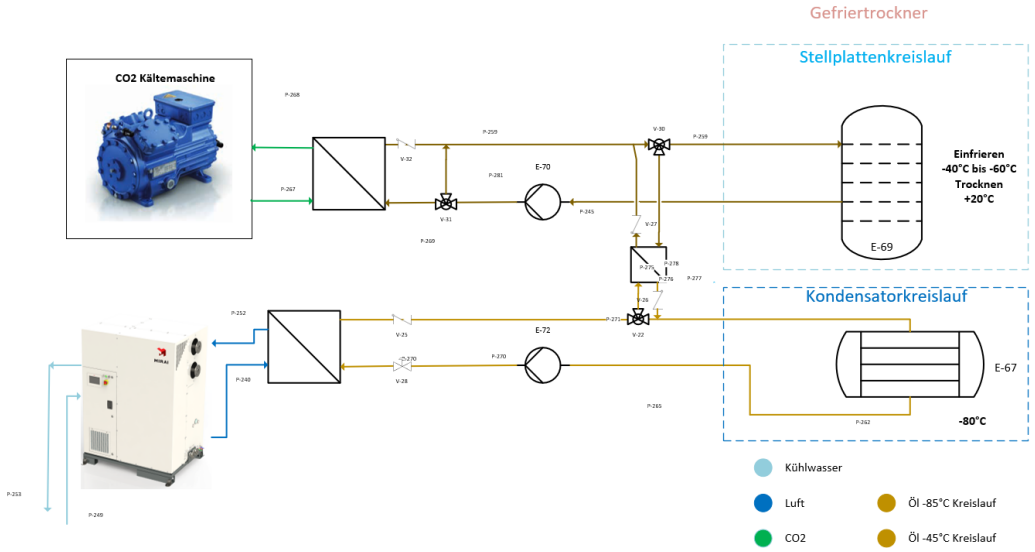
Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

Das natürliche Kältemittel Luft

HOF CryoBlizzard

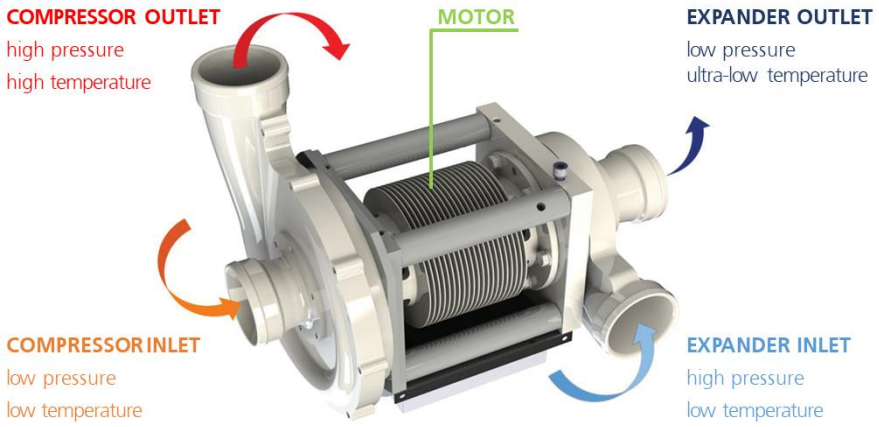


GEA LyoAir

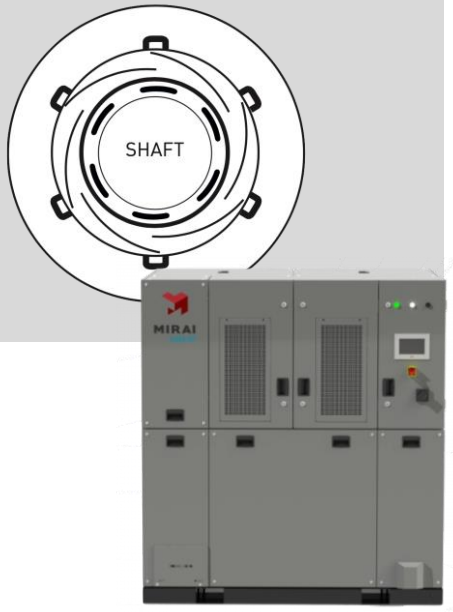


Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

- **Zukunftsicher**
- **Umweltfreundlich**
- **Langlebig**
- **Ausfallsicher**
- **Sicher für Menschen**
- **Wartungsfreundlich**
- **Flexibel**
- **Effizient**



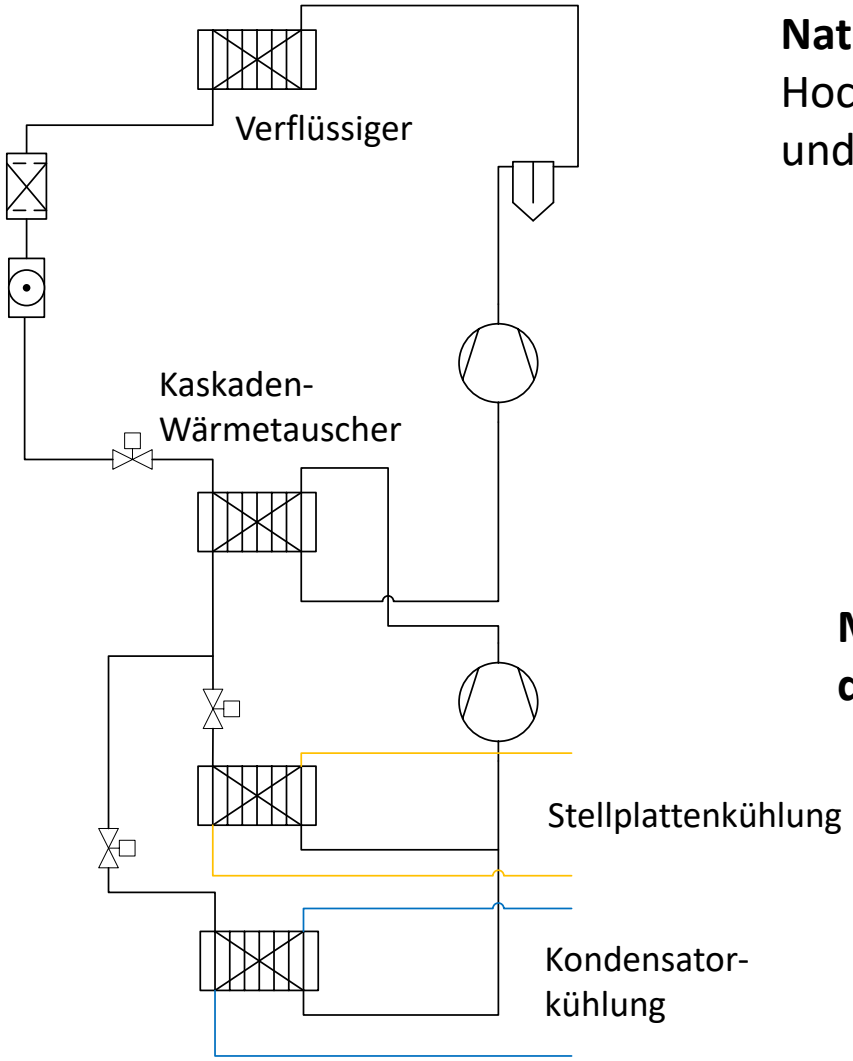
- Einsatz von **Luftlagerung**
  - Keine Kontaktflächen
  - Ölfrei
  - Kein Verschleiß



MIRAI

Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

Kaskadentechnologien mit natürlichen Kältemitteln

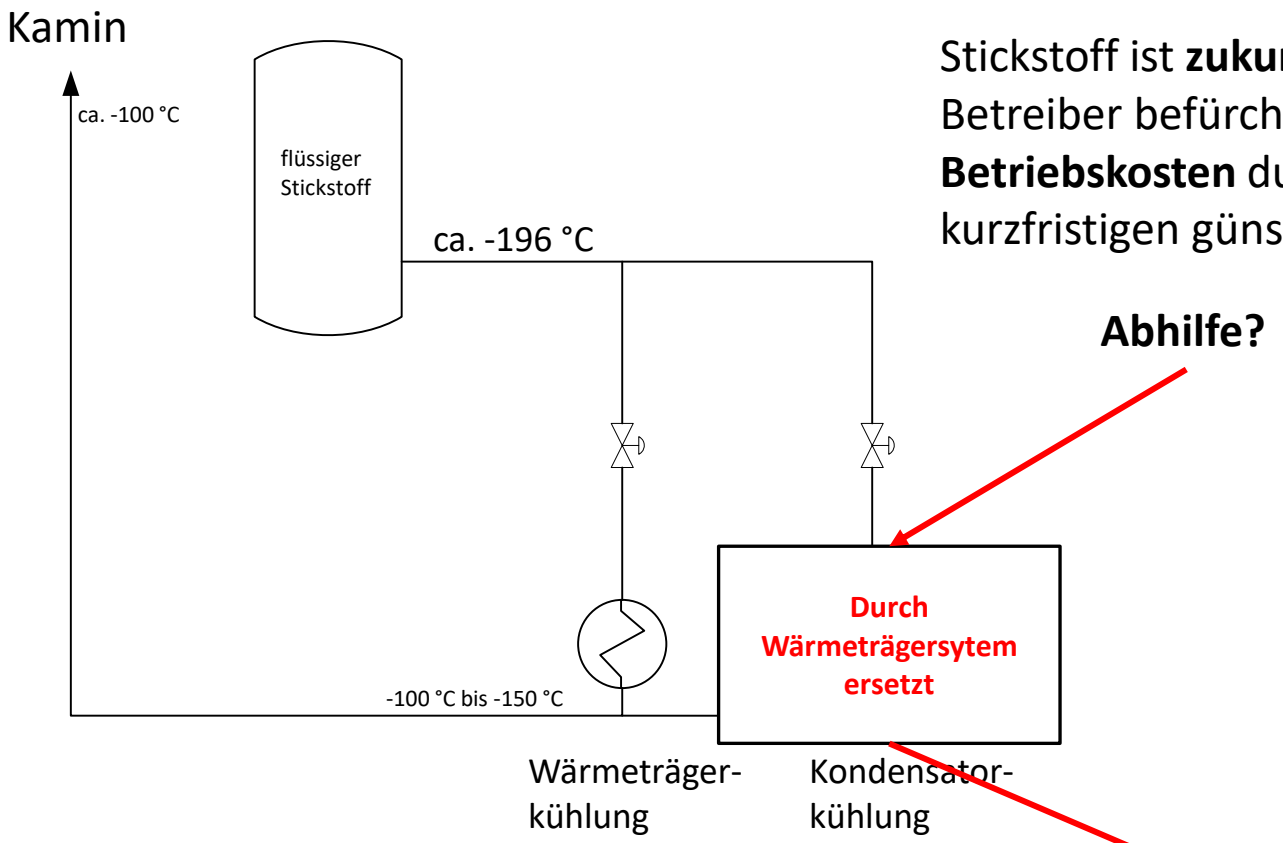


Natürliche Kältemittel:
Hochtemperaturstufe mit R1270
und Tieftemperaturstufe R170

Macht nur einen geringen Anteil der Neuinvestitionen aus

Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

Stickstoffsysteme mit indirekt gekühltem Kondensator



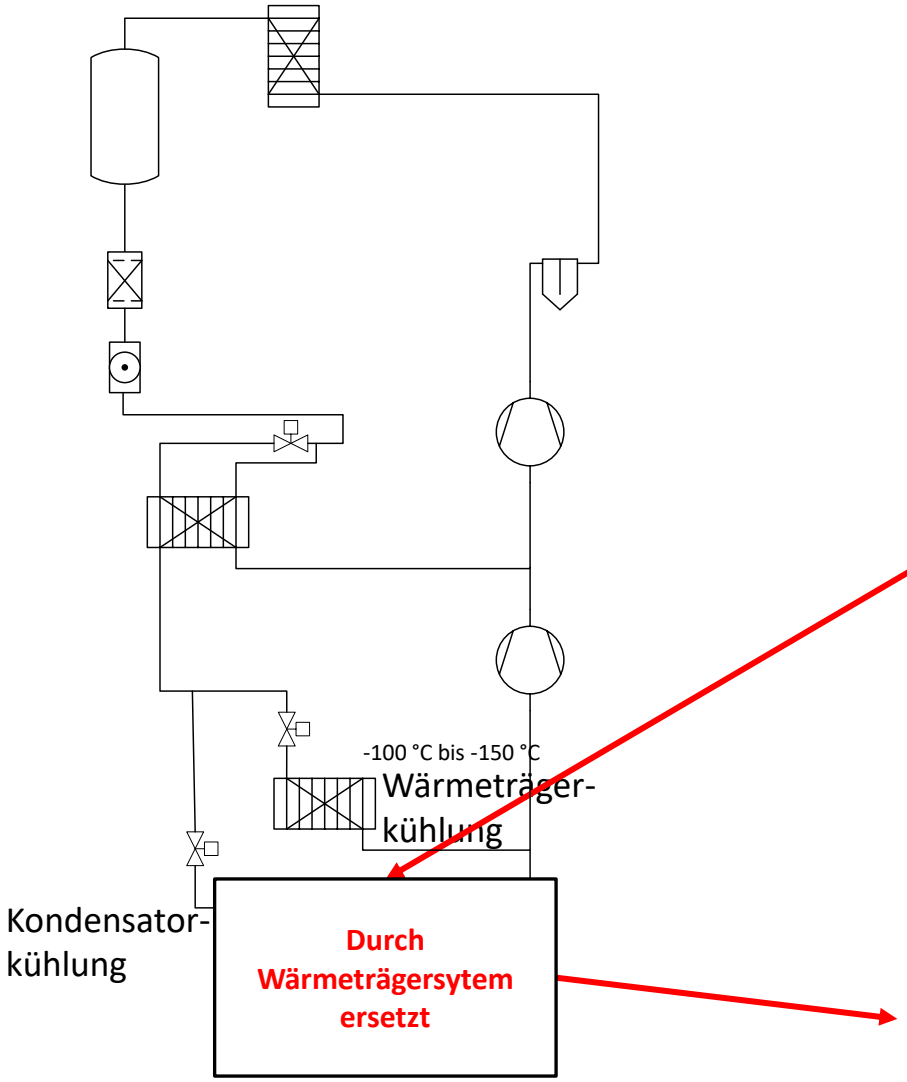
Stickstoff ist **zukunftssicher** aber Betreiber befürchten **hohe Betriebskosten** durch kurzfristigen günstigen Invest

Abhilfe?

Hintergedanke ist der mögliche Retrofit mit alternativer Kälteerzeugung

Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

Dampfkälte mit indirekt gekühltem Kondensator



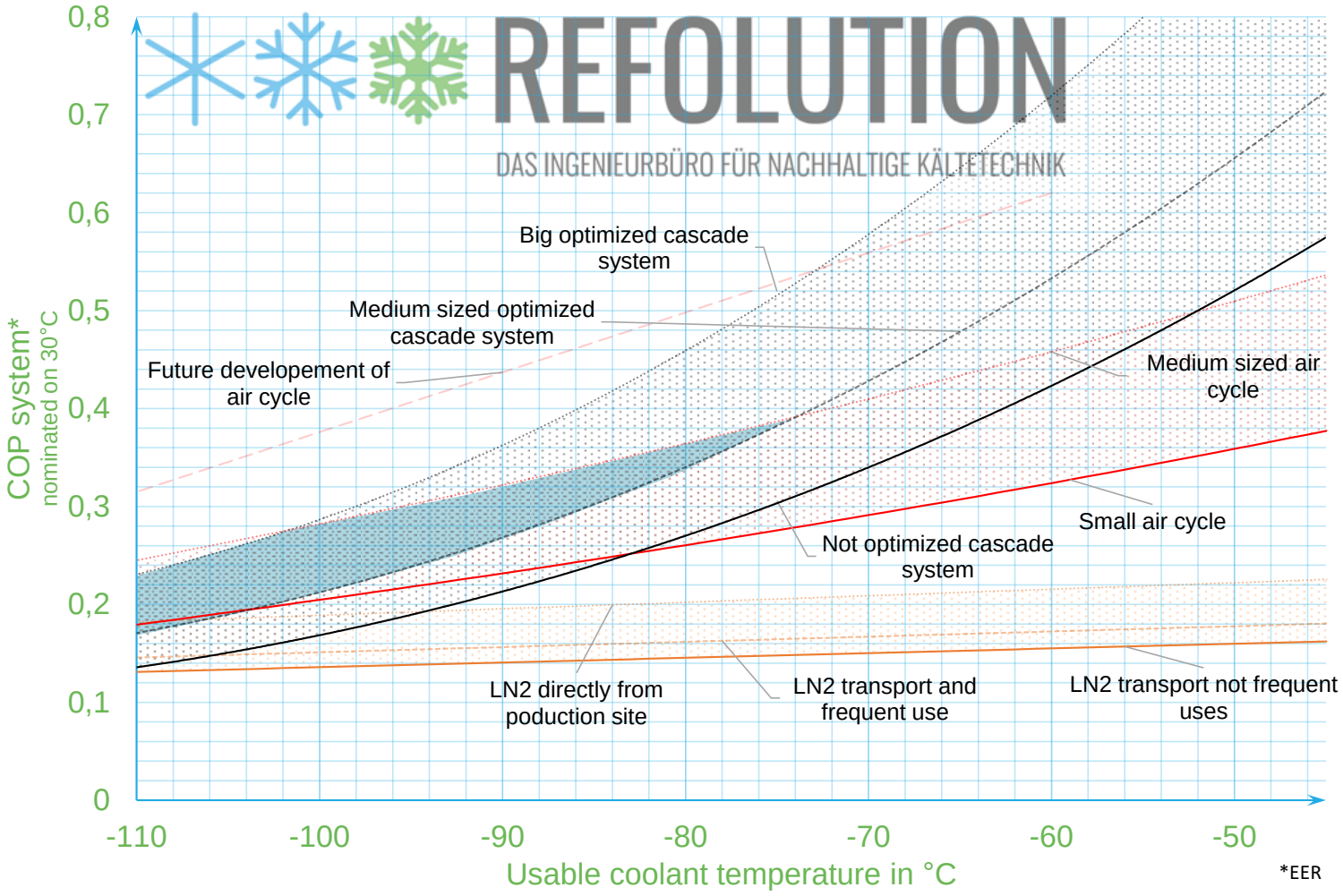
Fluorierte Kältemittel werden immer stärker **reguliert**
→Betreiber befürchten Einschränkung oder Verbot

Abhilfe?

Hintergedanke ist der mögliche Retrofit mit alternativer Kälteerzeugung und Füllmengenreduzierung

Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

Stickstoffsysteme mit indirekt gekühlten Kondensator



*EER

Aktuelle Trends in der Gefriertrocknung

Kriterium	2-Stufige	LN_2	Brennbare Kaskaden	Kaltlufttechnik
Zukunftssicher	x	0	+	+
Zuverlässigkeit	0	+	0	+
Betriebskosten	0	-	0	+
Wartungsintensität	-	0	-	+
Effizienz	0	--	0	0
Sicherheits-vorkehrungen	+	-	-	+
Platzbedarf	+	+	-	-
Investitionskosten	+	+	0	-

Zusammengefasst

Gefriertrocknung

Hohe Qualität, Hoher Energieaufwand, **größte Kosten bei Produktverlust**

State-of-the-art

Gängigste:

2-stufige Systeme mit fluorierten Kältemitteln

Häufige:

Flüssig Stickstoffsysteme

Selten:

Kaskadensysteme

Trend

Zukunftssicher:

Betriebserlaubnis +30 Jahre

→ natürliche Kältemittel oder Retrofit Möglichkeit

Ausfallsicher:

Robuste Technologien

Technologien:

Luft als Kältemittel auch kombiniert mit anderen

Flüssiger Stickstoff

Fragen?

Yannick Pruß
Projektleiter
Wingertgasse 56; 76228 Karlsruhe
Yannick.Pruss@refolution.de
+49 176 34389674
www.refolution.de

It’s time for your questions