

# KONFIGURATIONS- UND LEISTUNGSVERGLEICH VON HOCHTEMPERATURWÄRMEPUMPEN ZUR BIOGAS-AUFBEREITUNG

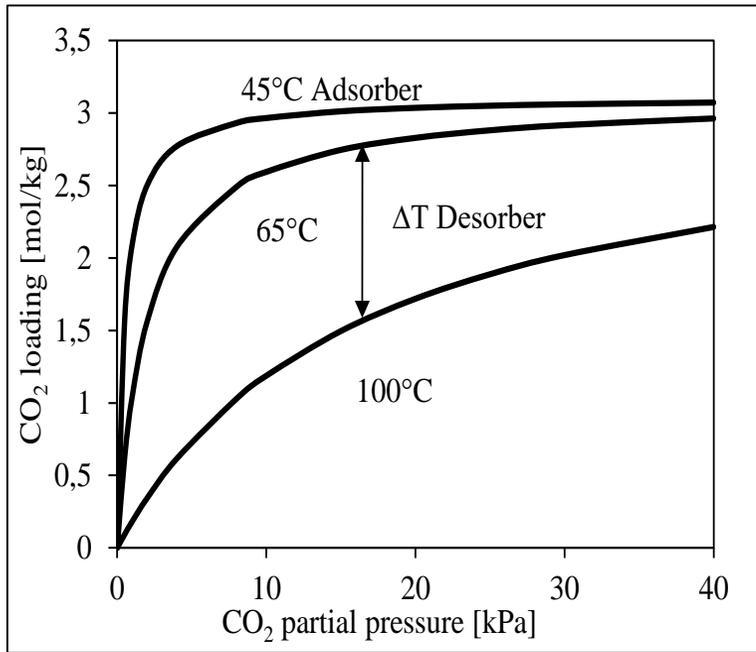
Dr. Gerwin DREXLER-SCHMID<sup>1</sup>, Dr. Michael LAUERMANN<sup>1</sup>, Alexander BAUMHAKEL<sup>2</sup>,  
Dipl.-Ing. (FH) Franz HELMINGER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) AIT Austrian Institute of Technology GmbH

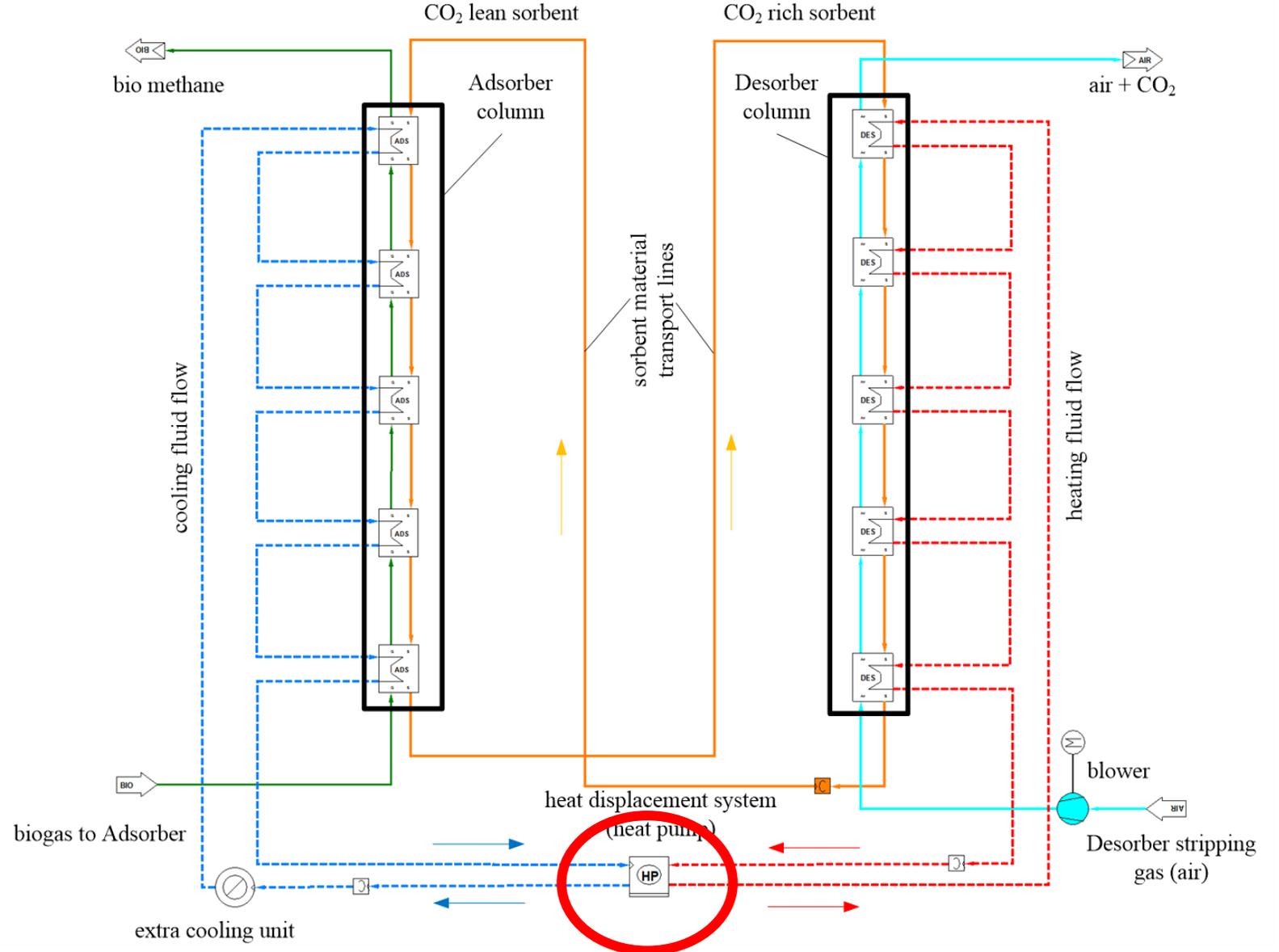
<sup>2</sup>) Frigopol Kälteanlagen GmbH



# MOTIVATION: BIOGAS-AUFBEREITUNG

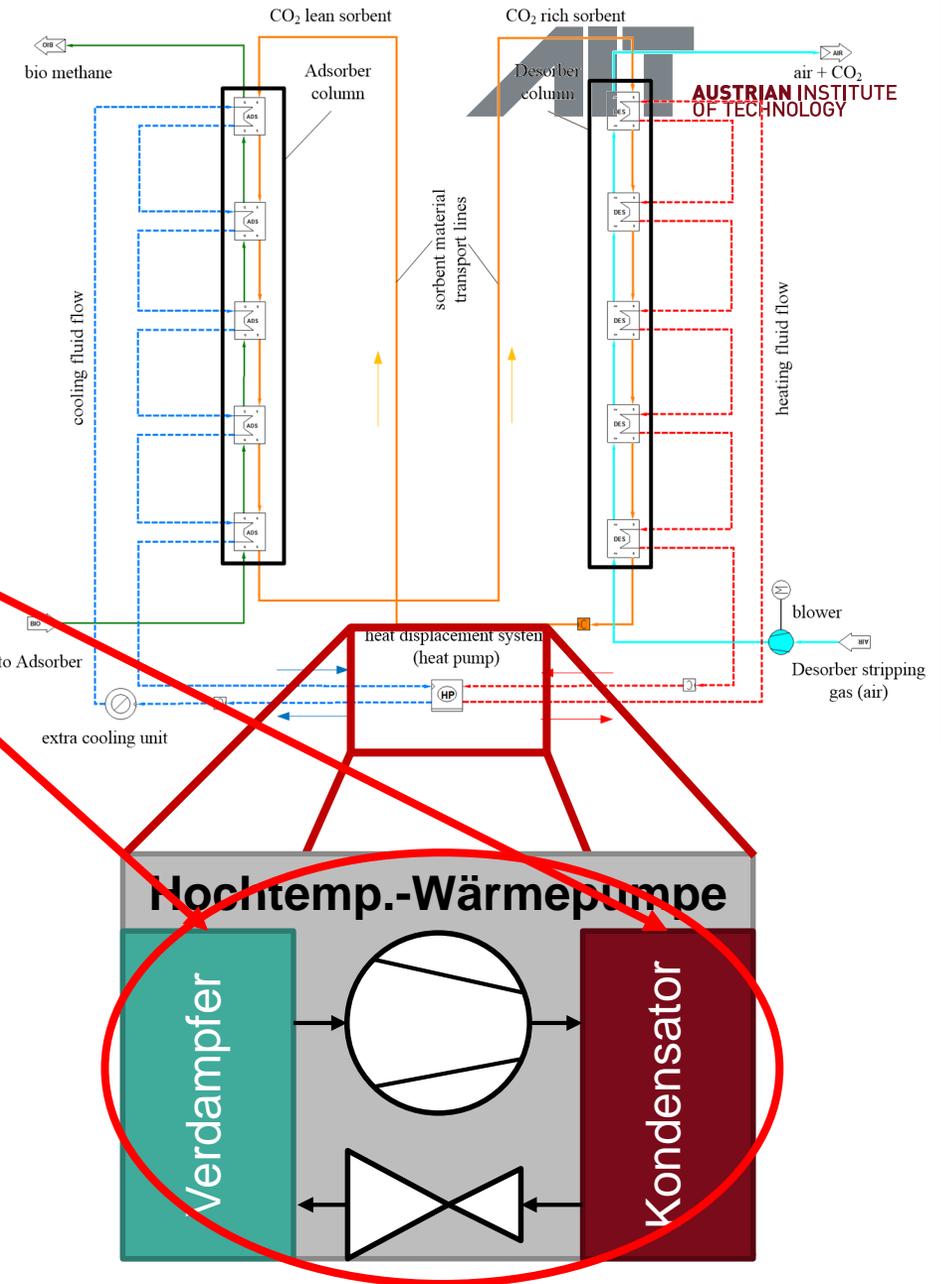


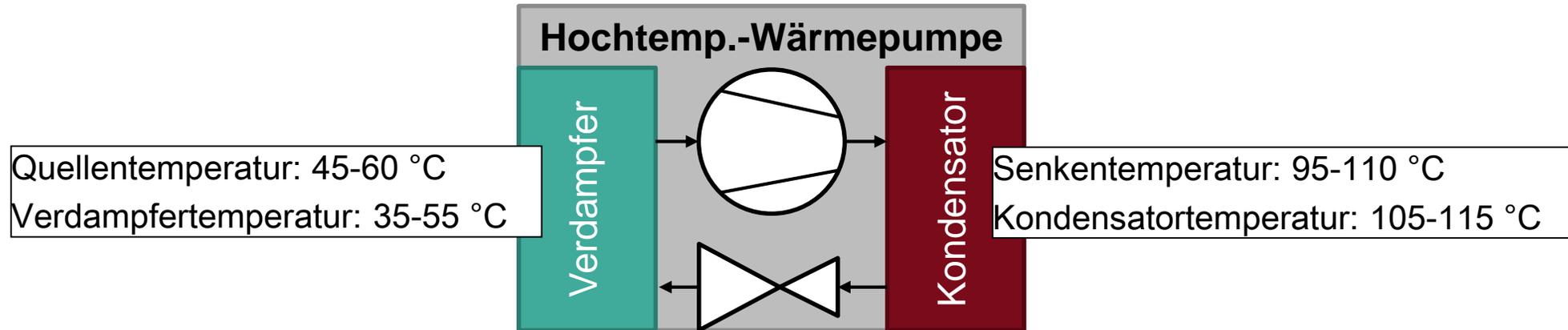
H. Vogtenhuber et al., "Development of an efficient heat balance concept for a TSA-process considering heat-pump integration," in Proceedings of SEEP2017, 27-30 June 2017, Bled, Slovenia, 2017



# INHALT DER DISKUSSION

- Hochtemperaturwärmepumpe
- Temperaturen auf Senken und Quellenseite
- Kältemittel
- Simulierte Wärmepumpenkreise
- Betriebspunkte und Modell
- Ergebnisse & Schlussfolgerung





Leistungszahl

(COP = *coefficient of performance*)

$$COP = \eta \cdot \frac{T_{kondensator}}{T_{kondensator} - T_{verdampfer}}$$

$$\eta \sim 0,5 \rightarrow \underline{COP \sim 2,5 - 3,9}$$

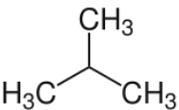
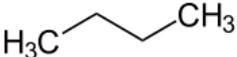
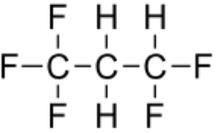
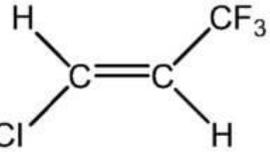
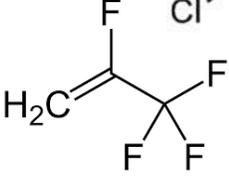
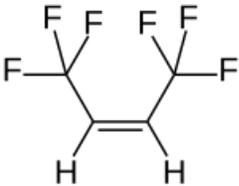
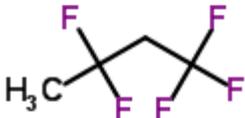
Kombinierter COP aus Heiz- und Kühl-COP

$$k\text{-COP} = \frac{P_{heiz} + P_{kühl}}{P_{el}}$$

$$\eta \sim 0,5 \rightarrow \underline{k\text{-COP} \sim 4,0 - 6,8}$$

# KÄLTEMITTEL - KRITERIEN

geeignete: Kältemittel für Temperaturen von 35 bis 115 °C

- R600a = iso-Butan 
- R600 = n-Butan 
- R245fa 
- R1233zd 
- R1234ze(Z) 
- R1336mzz-Z 
- R365mfc 

[www.coolprop.org](http://www.coolprop.org)

## Wirtschaftliche Kriterien:

- Sicherheitsgruppen nach EN 378, Sicherheitsdatenblätter
- CAPEX: Investitionskosten inkl. Sicherheitsmaßnahmen, Zusatzkomponenten und Materialverträglichkeiten (R134a-Anlage=Referenz)
- OPEX: Betriebs- und Wartungskosten (R134a-Anlage=Referenz)
- Marktverfügbarkeit der Komponenten für das entsprechende Kältemittel
- Marktpotential für Wärmepumpen mit entsprechendem Kältemittel

## Umweltaspekte:

- GWP: Treibhauseffektpotential des Kältemittels
- ODP: Ozonabbaupotential

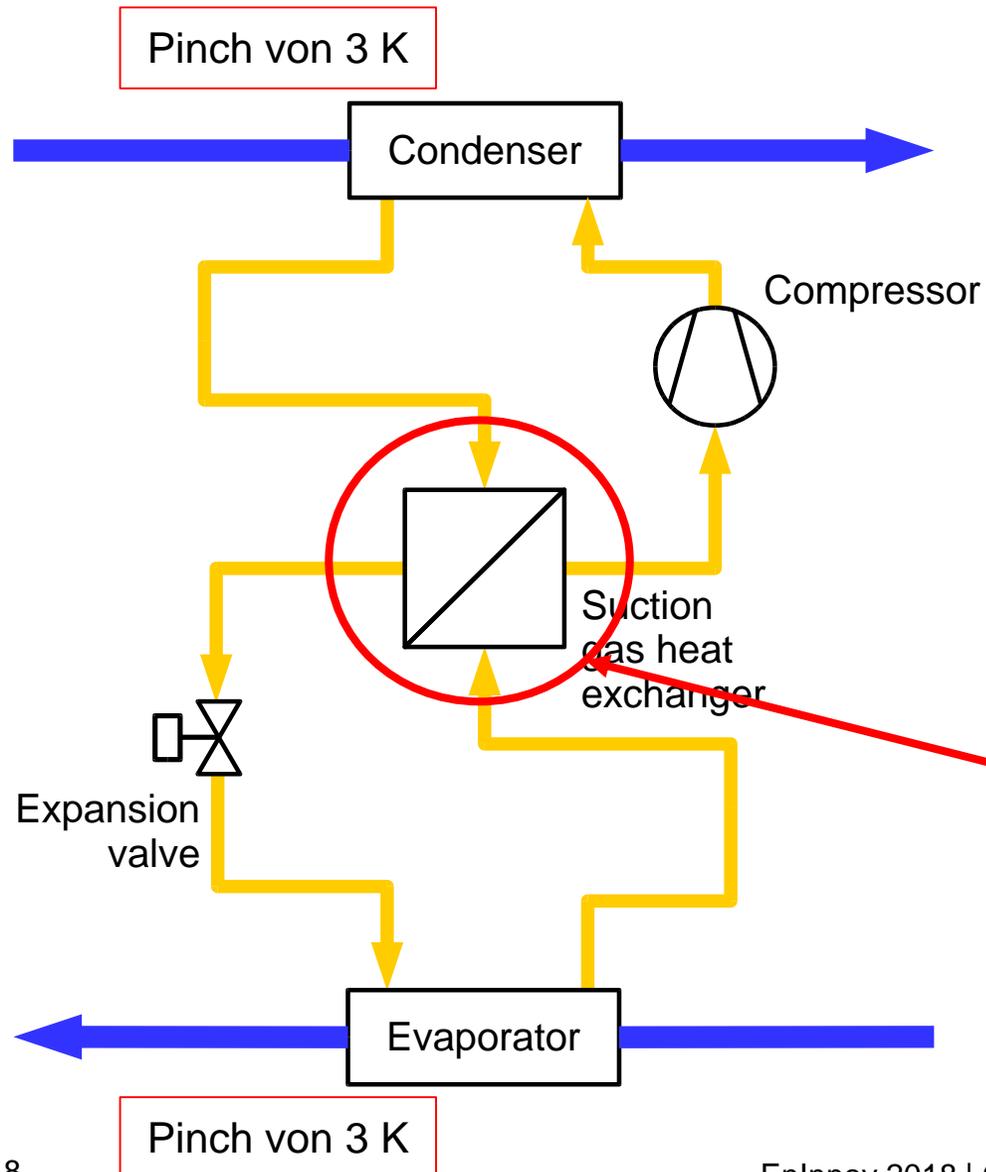
## Technische Anforderung:

- Wärmequellentemperaturen 35-55 °C
- Wärmesenkentemperaturen 105-115 °C
- Druckverhältnis möglichst klein
- Heißgastemperatur: möglichst klein
- Hohe volumetrische Kälteleistung für kleine Komponenten
- COP (Leistungszahl) groß

# KÄLTEMITTELBEWERTUNG

	Gewichtung	Kältemittel	R600a	R600	R245fa	R1233ZD	R1234ZE(Z)	1336mzzZ	R365MFC
wirtschaftliche Parameter	3	Sicherheit	12	12	12	3	9	3	6
	2	CAPEX	6	6	6	4	4	4	4
	2	OPEX	6	6	4	4	4	4	4
	3	Marktverfügbarkeit Komponenten	3	6	3	12	9	12	12
	1	Erfahrung mit Kältemittel vorhanden	1	1	1	3	3	4	4
	3	Marktpotential	6	3	6	9	6	6	9
Umweltrelevante Parameter	2	GWP	2	2	10	2	2	2	10
	2	ODP	2	2	2	4	2	2	2
technische Parameter	1	Verdampfendruck	1	1	2	3	2	5	5
	2	Kondensatordruck	8	6	6	4	4	2	2
	1	Druckverhältnis	2	2	3	3	3	4	4
	1	Heißgastemperatur	1	2	2	3	3	1	1
	3	Kältemittelvolumenstrom	3	3	6	6	3	12	12
	3	COP	12	9	9	3	6	6	3
		<b>durchschn. gewichtete Bewertung</b>	<b>4,64</b>	<b>4,36</b>	<b>5,14</b>	<b>4,50</b>	<b>4,29</b>	<b>4,79</b>	<b>5,57</b>
		durchschn. Punkte nur technisch	3,88	3,38	5,00	3,50	3,13	4,25	4,88

# WÄRMPUMPENKREISE: EINSTUFIG



## Vorteile:

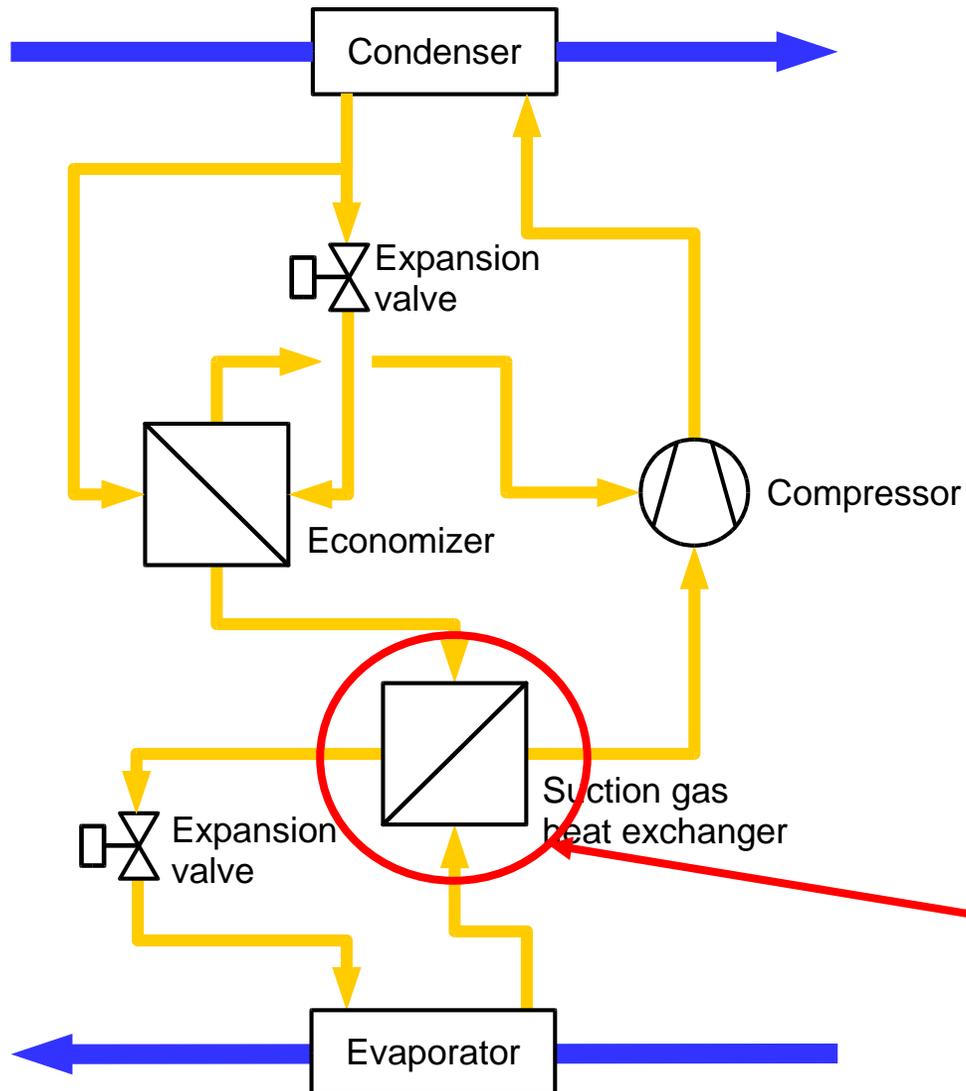
- + Einfachste Konfiguration
- + Gute Gesamtperformance bei niedrigen bis mittleren Temperaturhuben

## Nachteile:

- Größere Kältemittelfüllmenge pro Kältekreis als zweikreisige Konfiguration und damit potentiell aufwendigeres Genehmigungsverfahren
- Trägeres Anfahrverhalten als zweikreisige Konfiguration

Sauggasüberhitzer, wenn notwendig zugeschalten

# WÄRMPUMPENKREISE: EVI MIT ECONOMIZER



## Vorteile:

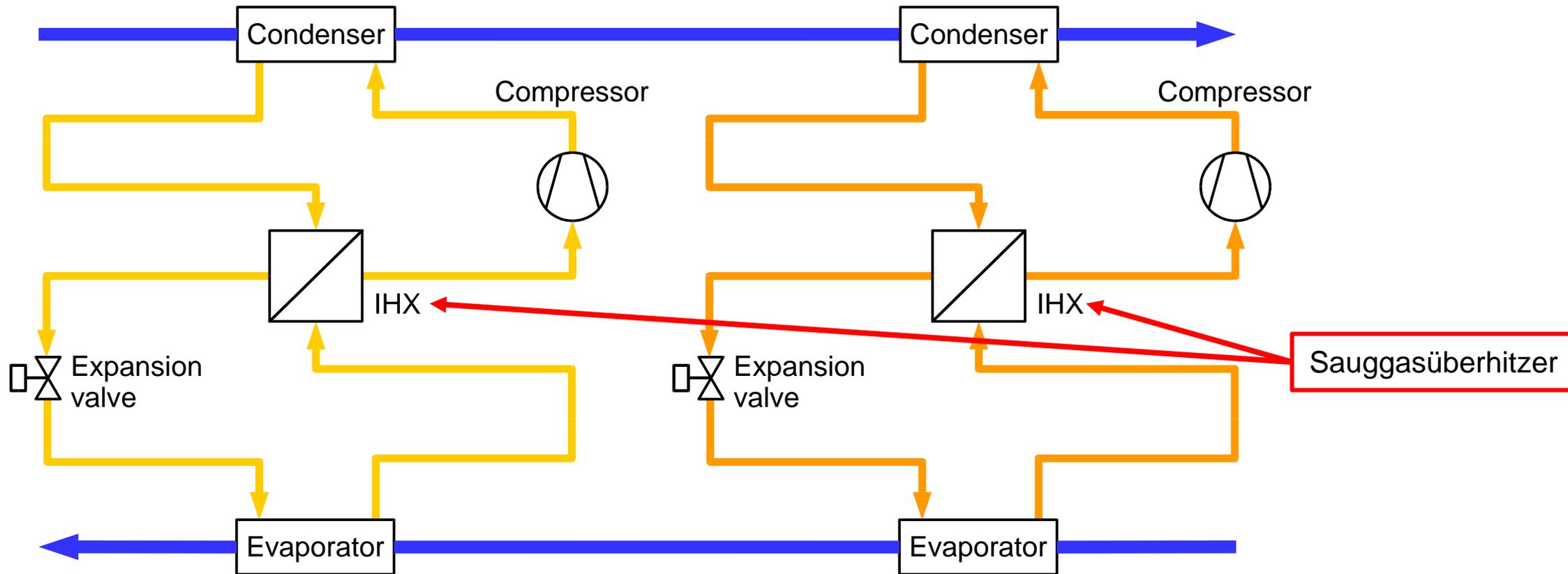
- + Beste Gesamtperformance bei hohen Temperaturhuben

## Nachteile:

- Größte Kältemittelfüllmenge von allen Konfigurationen (Economizer auf der Flüssigseite)
- Ähnlich träges Anfahrverhalten wie einstufige Konfiguration
- Zusätzlicher Wärmeübertrager (Economizer) und damit komplexere Kältekreisconfiguration

Sauggasüberhitzer, wenn notwendig zugeschalten

# WÄRMEPUMPENKREISE: ZWEIKREISIG

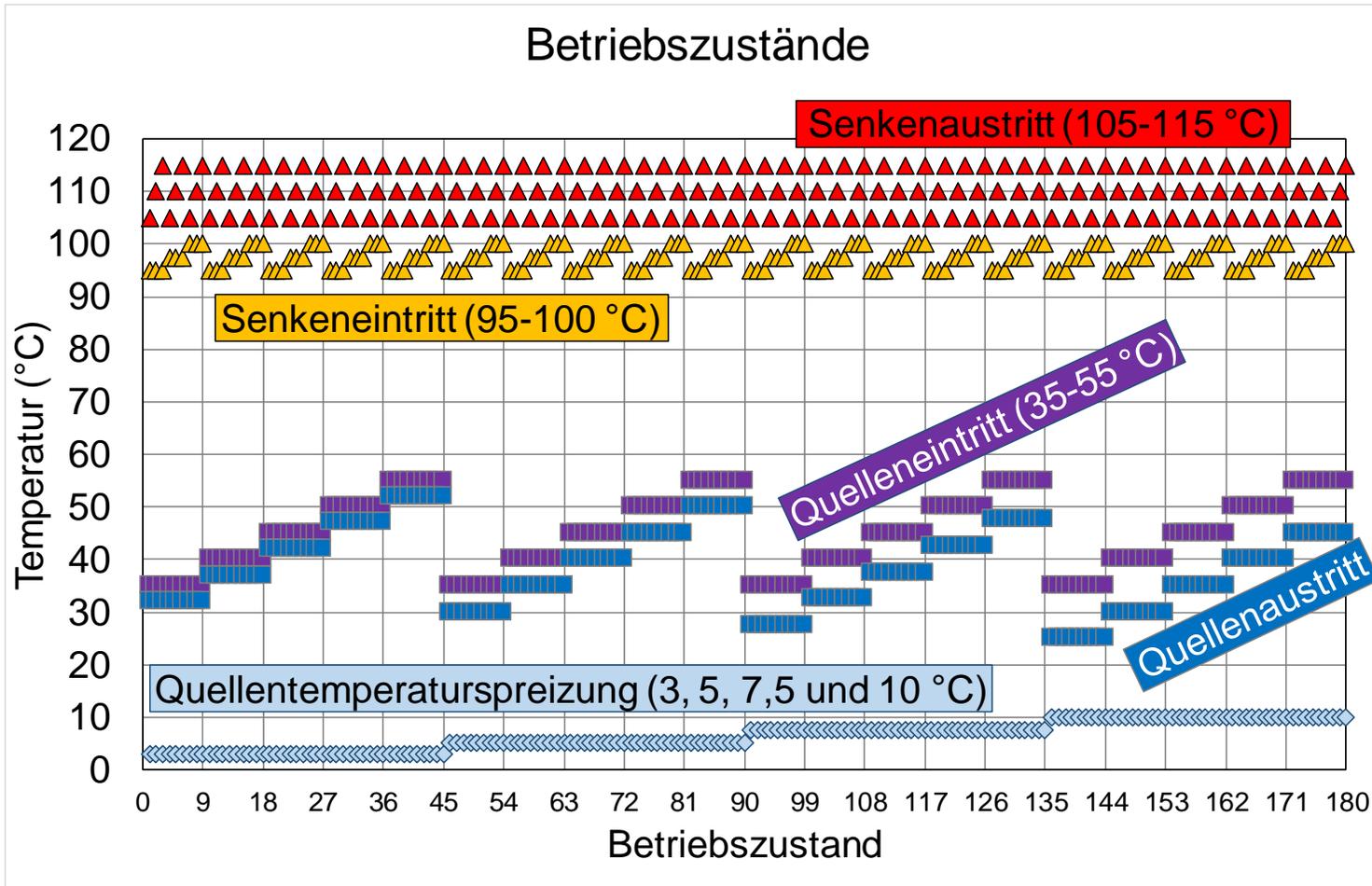


## Vorteile:

- + Geringste Kältemittelfüllmenge pro Kältekreis
- + Beste Gesamtperformance bei niedrigen bis mittleren Temperaturhüben

## Nachteile:

- Erhöhte Investitionskosten durch zwei unabhängig voneinander operierende Kältekreise



## Varianten:

- 2 Kältemittel:
  - R600
  - R1234ze(Z)
  
- 3 Wärmepumpenkreise:
  - Einstufig
  - EVI
  - Zweikreisig
  
- 180 Betriebszustände
  
- **1080 Varianten**

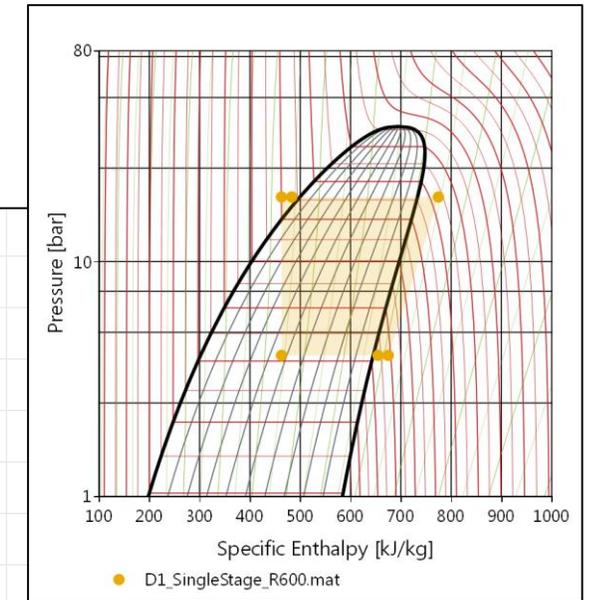
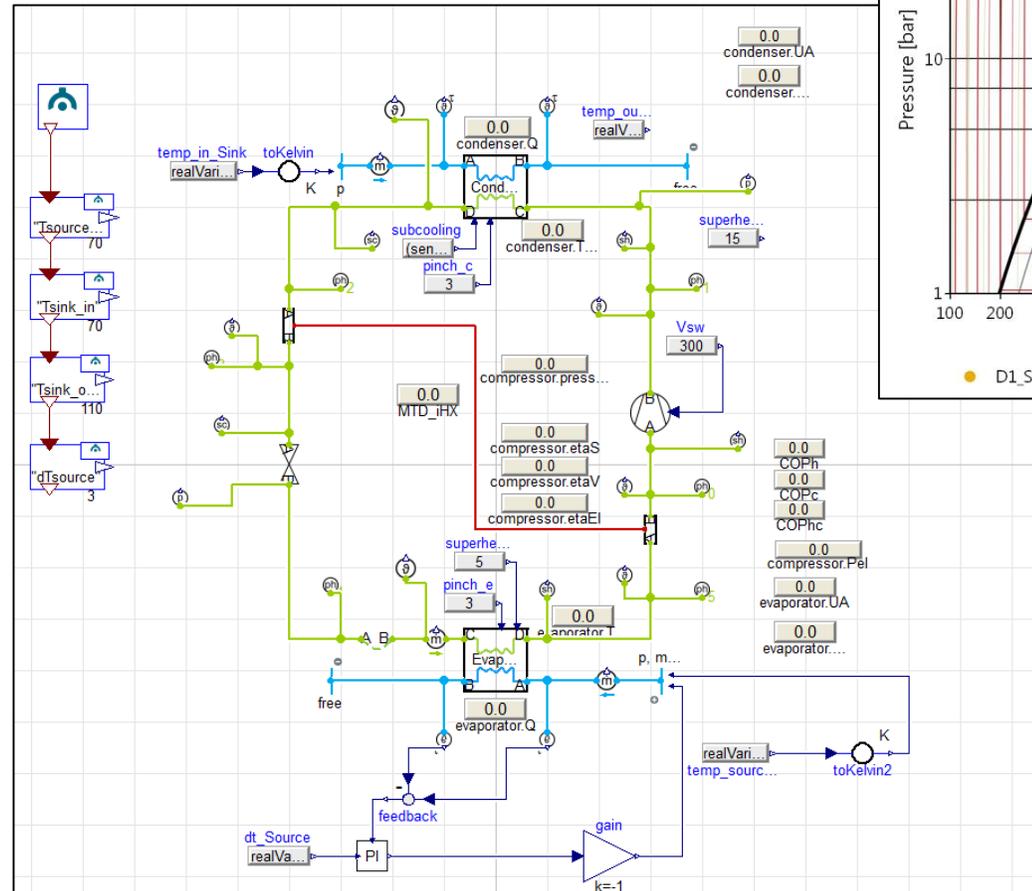
# MODELL

## Modellierung:

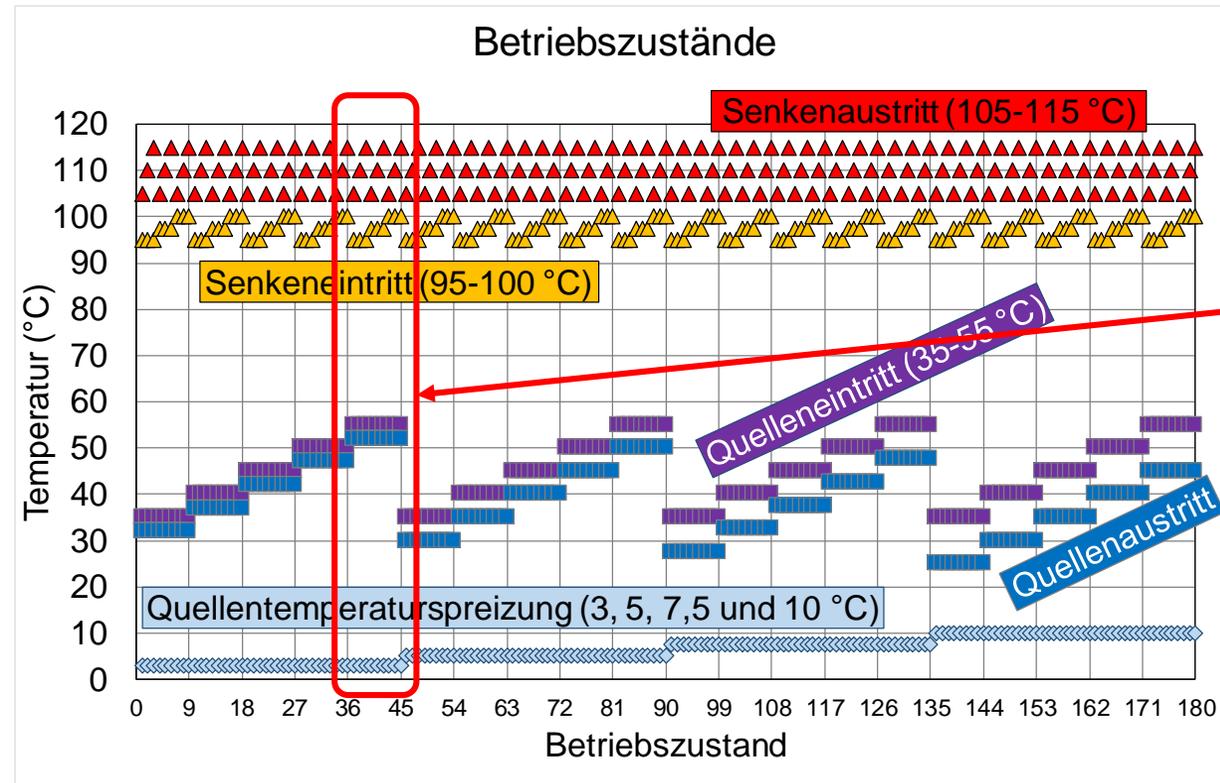
- Modelica in Dymola-Umgebung
- Thermische Komponenten aus TIL-Bibliothek

## Verdichtermodell:

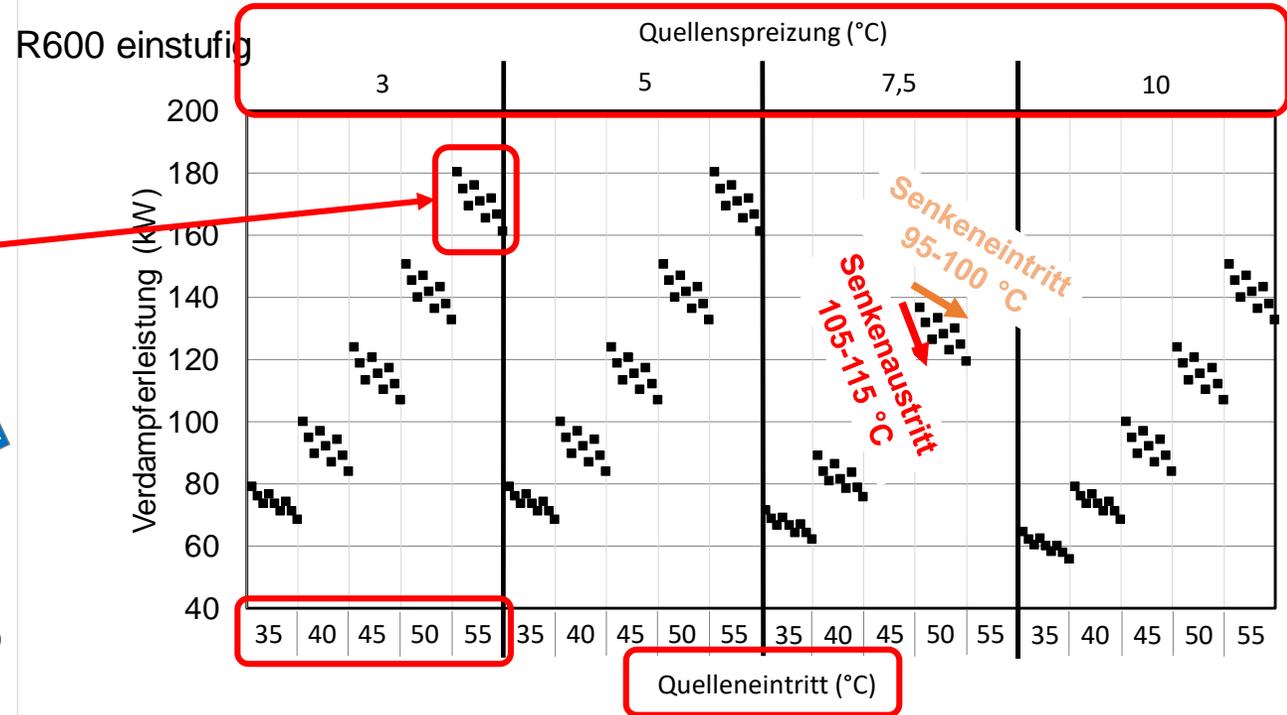
- Gleiches Fördervolumen von 300 m<sup>3</sup>/h
- Anhand von Messdaten parametrisiert
- Berücksichtigte Effekte:
  - Druckverlust saugseitig
  - Druckverlust druckseitig
  - interne Leckage
  - Wiederausdehnung des komprimierten Fluids
  - mechanische Reibung



# ERGEBNISSE: EFFEKTE DURCH BETRIEBSPUNKTE



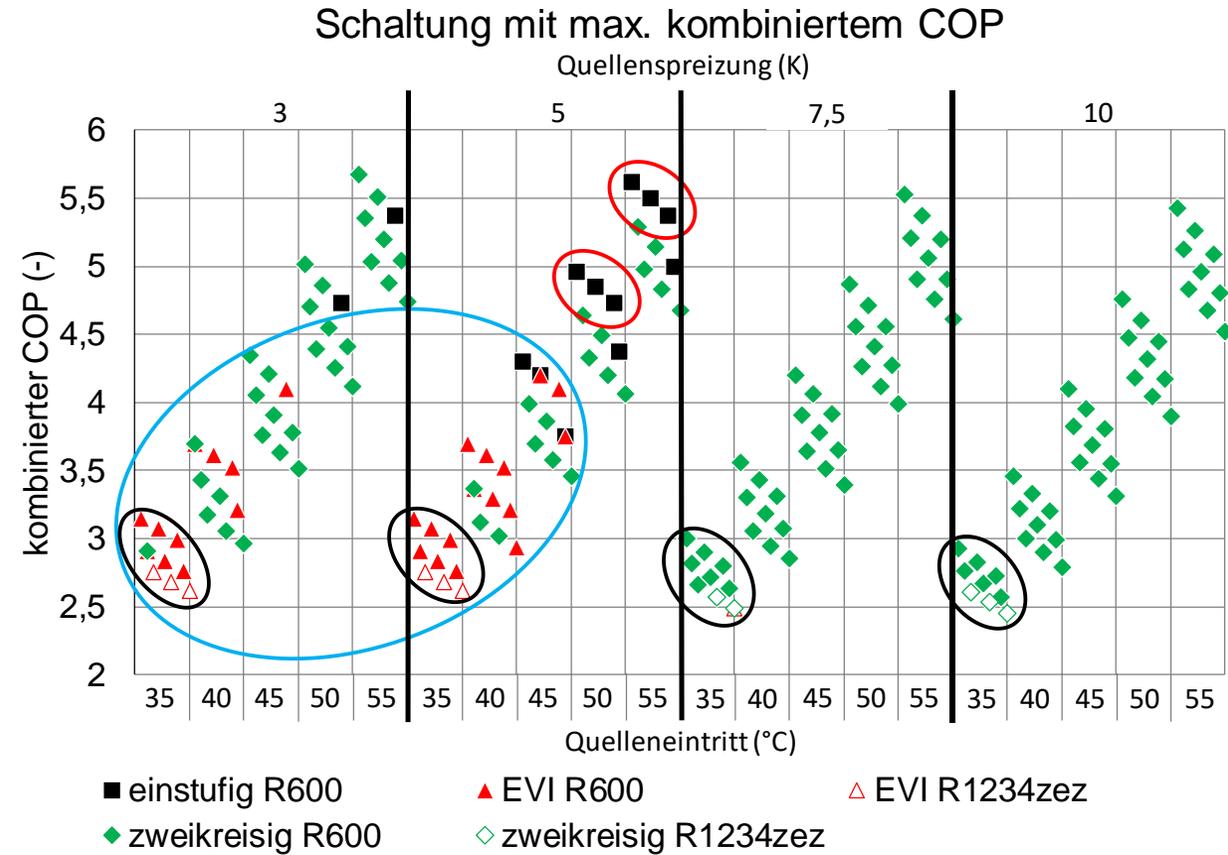
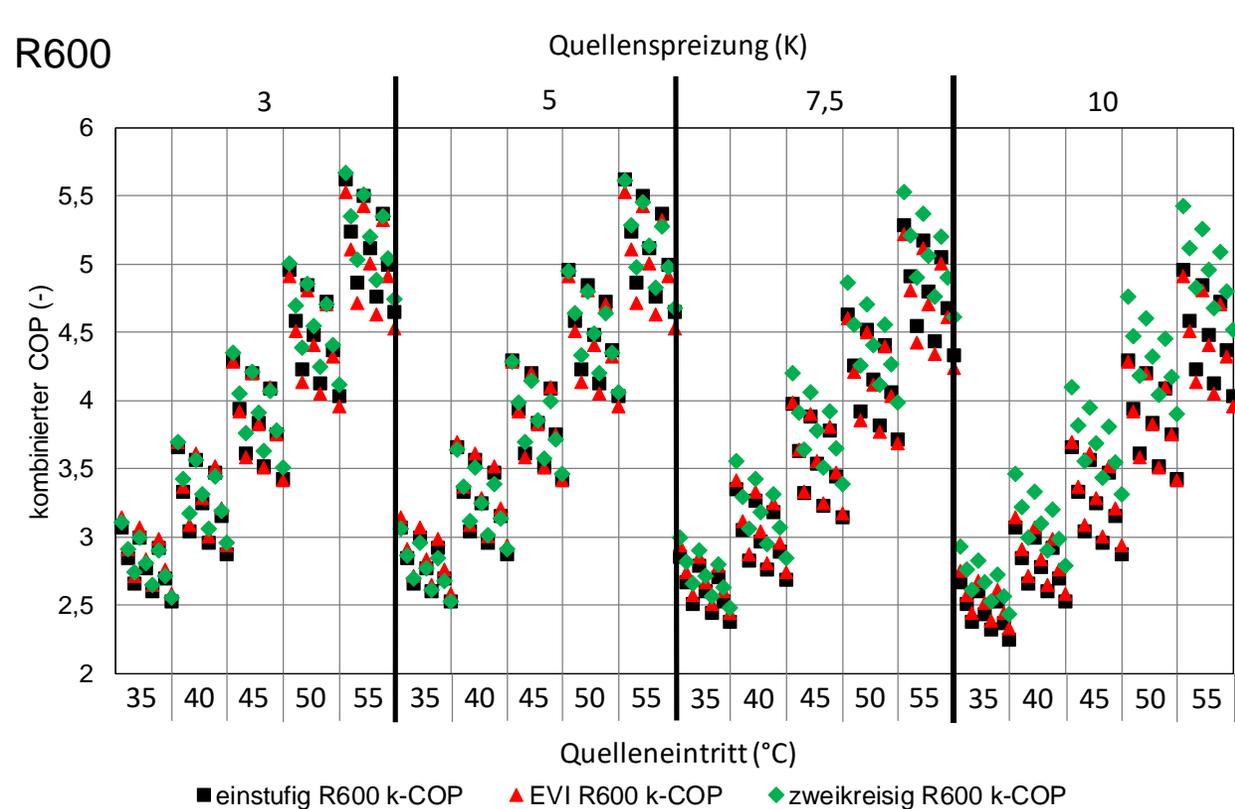
Betriebszustände zum Vergleich



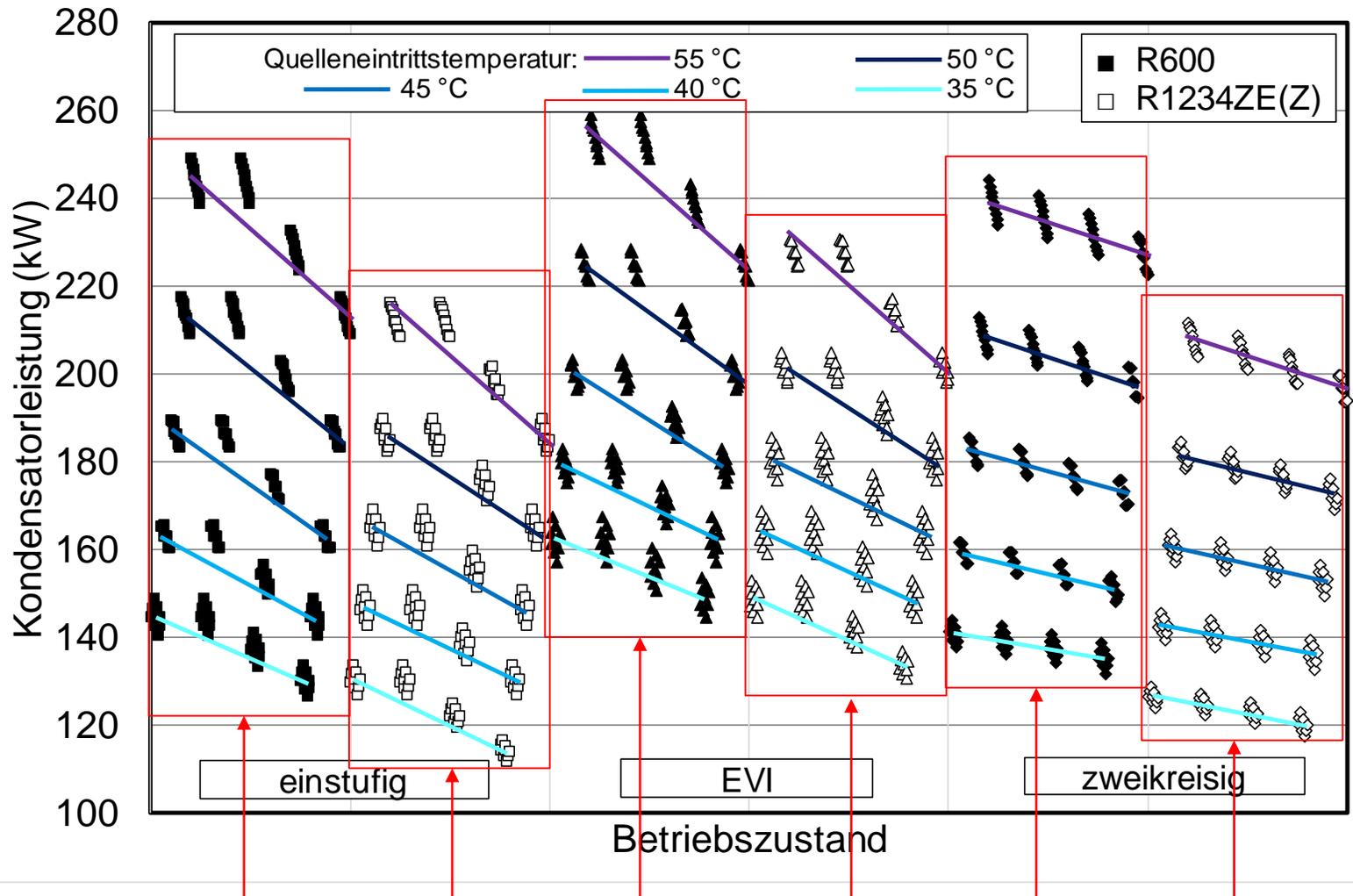
Effekte Beispielhaft an Verdampferleistung von R600-einstufig

# ERGEBNISSE: KOMBINIERTE LEISTUNGSZAHL

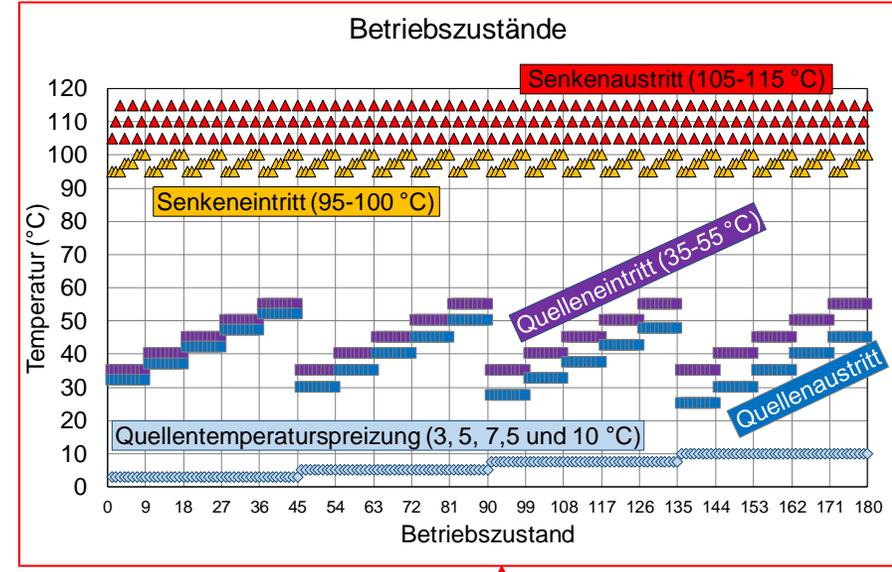
$$\text{k-COP} = \frac{P_{\text{heiz}} + P_{\text{kühl}}}{P_{\text{el}}}$$



# ERGEBNISSE: LEISTUNGEN

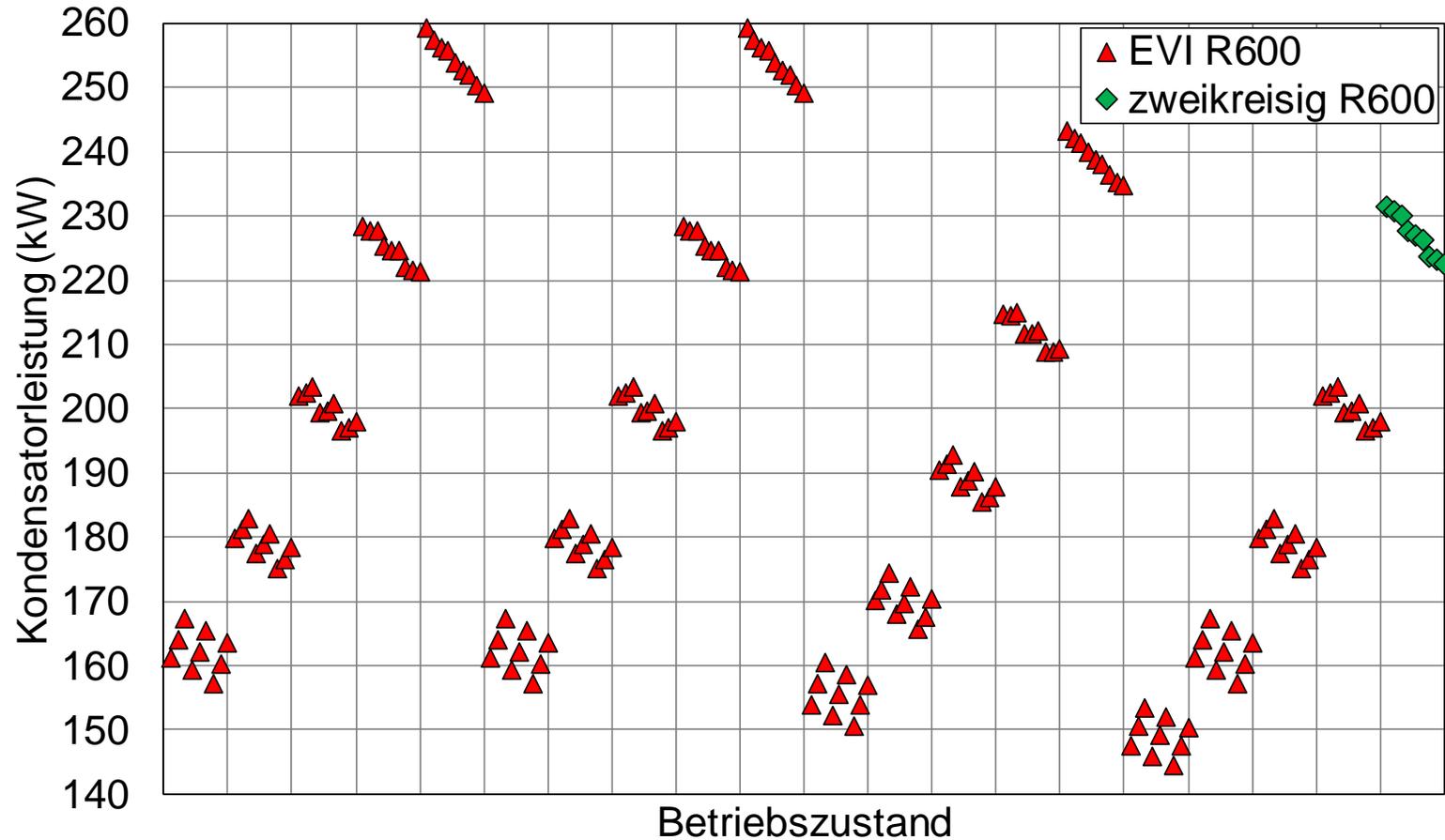


- Vergleich der Kondensatorleistungen aller simulierten Varianten (1080)
- R600 ~ 10 % höhere Leistungen als R1234ze(Z) bei gleichem Fördervolumen → höhere volumetrische Kälteleistung
- EVI immer höher als einstufig
- EVI meistens höher als zweikreisig



# ERGEBNISSE: LEISTUNGEN - KONDENSATOR

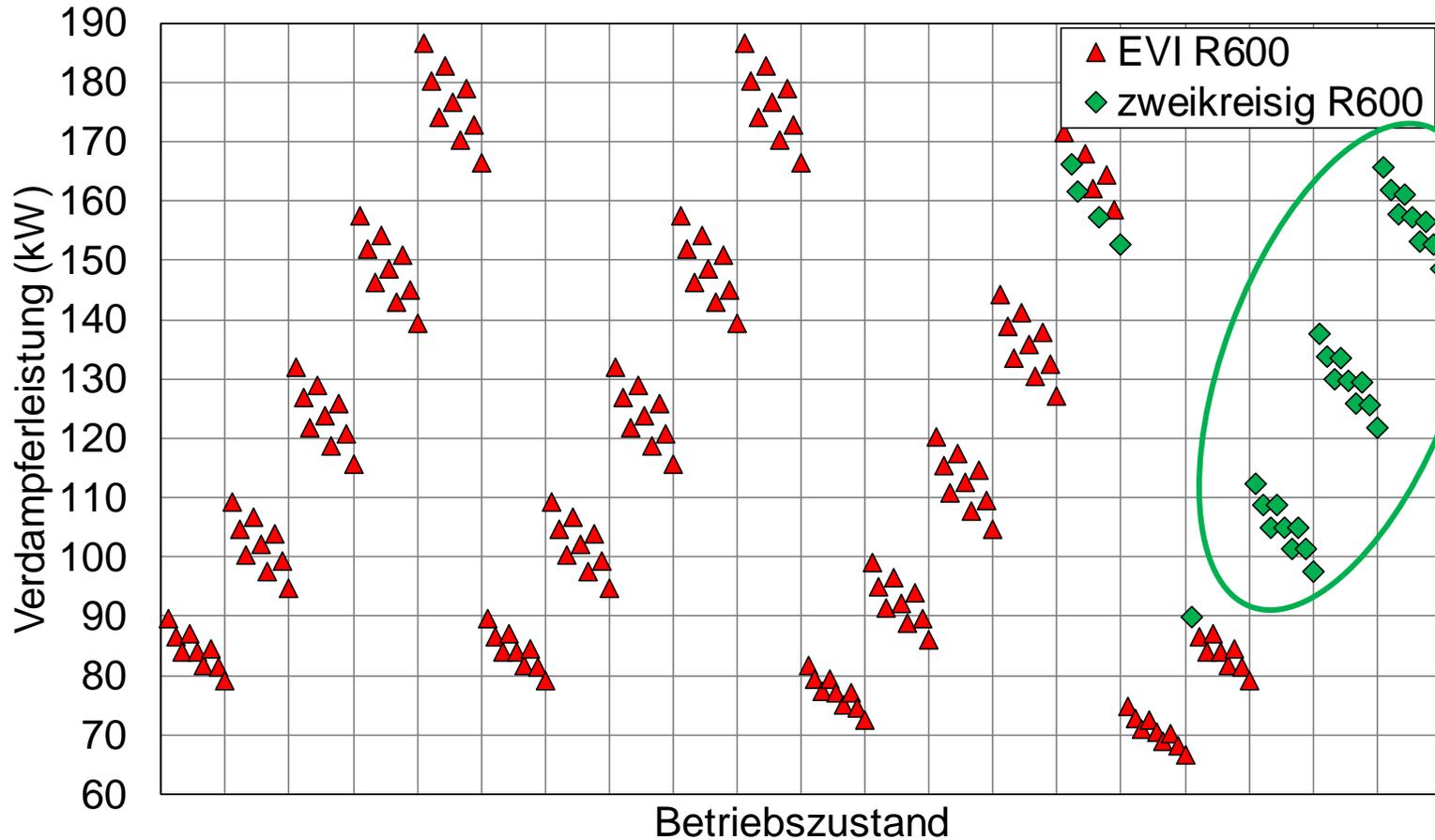
Schaltung mit max. Kondensatorleistung



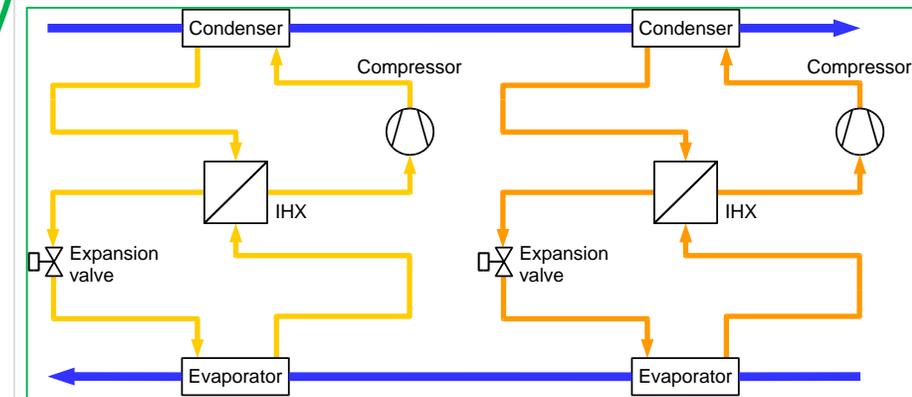
- Maximale Leistungen nur bei EVI-R600 oder zweikreisig-R600
- Alle anderen Varianten liefern im jeweilig gleichen Betriebspunkt geringere Kondensatorleistungen

# ERGEBNISSE: LEISTUNGEN - VERDAMPFER

## Schaltung mit max. Verdampferleistung



- Maximale Leistungen nur bei EVI-R600 oder zweikreisig-R600
- Alle anderen Varianten liefern im jeweilig gleichen Betriebspunkt geringere Verdampferleistungen
- Zweikreisige stärker vertreten als bei Kondensatorleistungen → serielle Verschaltung



## Schlussfolgerung:

- Ziel: Welche Wärmepumpenkonfiguration ist aus technischer Sicht für TSA geeignet?
- Modelliert und untersucht:
  - 3 Wärmepumpenkreise: einstufig, EVI, zweikreisig
  - mit 2 Kältemitteln: R600 und R1234ze(Z)
  - in 180 Betriebszuständen
- k-COPs technischer Sicht
  - Einstufig mit R1234ze(Z) scheidet aus
  - **Zweikreisig** mit R600 meistens höchste k-COP-Werte
  - Bei großen Hübten hat EVI höhere k-COPs
  - **R600** höhere k-COPs als R1234ze(Z)
- Leistungen aus technischer Sicht
  - **R600** weit höhere Leistungen als R1234ze(Z) bei gleichem Fördervolumen (gleicher Verdichter)
  - höchste Leistungen liefern **EVI** und zweikreisig, je nach Betriebspunkt
- Aus technischer Sicht:
  - R600-EVI-Anlage am besten für TSA-Prozess geeignet
  - ! welcher Betriebspunkt tatsächlich gewünscht !

## Ausblick:

- techno-ökonomische Bewertung
  - um geeignetste Wärmepumpenkonfiguration für den TSA-Prozess zur Biogasaufbereitung zu finden.
- Weiterer Varianten: wie z.B. Kaskadenschaltungen

# DANKE!

Diese Publikation ist im Rahmen des Projektes „bioCH4.0“ (FFG Projektnummer 853612) entstanden (<http://bioch40.project.tuwien.ac.at/home/>).

Projektpartner:

- TU-Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften
- Biogas Strem Errichtungs- und Betriebs GmbH & Co KG
- AIT Austrian Institute of Technology GmbH
- Frigopol Kälteanlagen GmbH
- Bertsch Energy GmbH & Co KG
- TU-Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik
- AAT Abwasser- und Abfalltechnik GmbH

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2. Ausschreibung 2016 durchgeführt.



Gerwin Drexler-Schmid