HOCHTEMPERATURWÄRMEPUMPEN BIS ZU 250°C

THERMODYNAMISCHE MACHBARKEITSANALYSE

Deutsche Kälte- und Klimatagung 2022
Magdeburg
16.-18. November 2022

J. Riedl, V. Sulzgruber, J. Unterluggauer

HOCHTEMPERATURWÄRMEPUMPEN BIS ZU 250°C

THERMODYNAMISCHE MACHBARKEITSANALYSE

Einleitung

Konzeptbeschreibung

Vergleichsrechnungen & Hochdruckoptimierung

Vergleich der Kreislaufdesigns & praktische Aspekte

Schlussfolgerungen

Einleitung

Konzeptbeschreibung

Vergleichsrechnungen & Hochdruckoptimierung

Vergleich der Kreislaufdesigns & praktische Aspekte

Schlussfolgerungen

EINLEITUNG

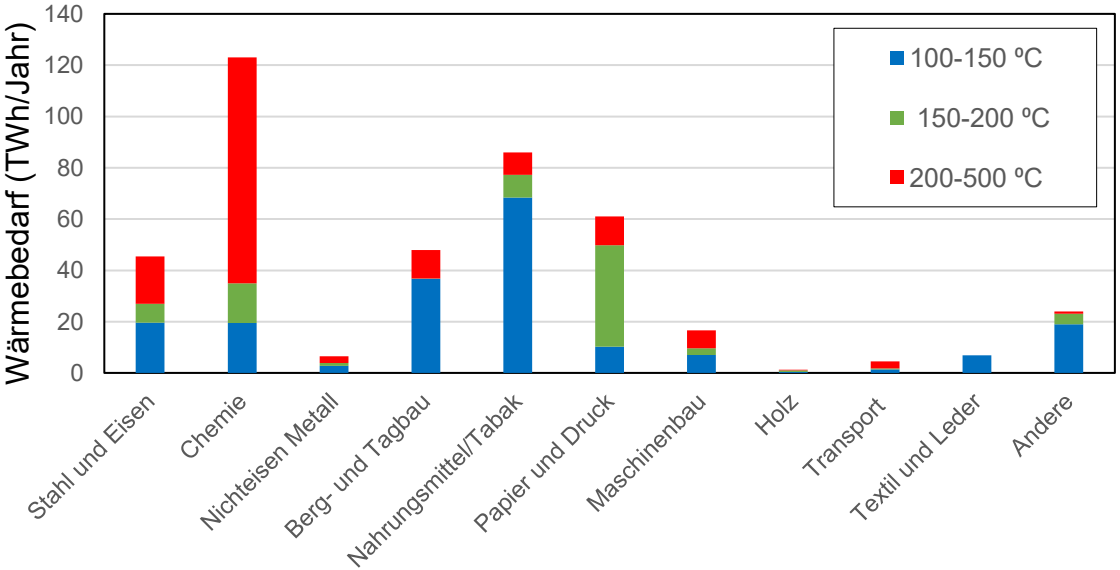
Name: **NE**xt gene**R**ati**O**n turbo compressor heat pump

Ziel: Machbarkeitsanalyse für den Einsatz von Turboverdichtern bei Hochtemperatur-Industriewärmepumpen mit Nutzungstemperaturen zwischen 150-250°C und einer Leistungsgröße von ca. $1MW_{th}$

Laufzeit: 18 Monate (10/2021 – 03/2023)

FFG-Nr.: 888453

EINLEITUNG



Untersuchung der Machbarkeit von geschlossenen Wärmepumpenkreisläufe:

- mit **ölfreien Turboverdichtern**
- bei **Leistungsgrößen** von ca. **1MW$_{th}$** und **Nutzungstemperaturen** bis etwa **250°C**.

Einleitung

Konzeptbeschreibung

Vergleichsrechnungen & Hochdruckoptimierung

Vergleich der Kreislaufdesigns & praktische Aspekte

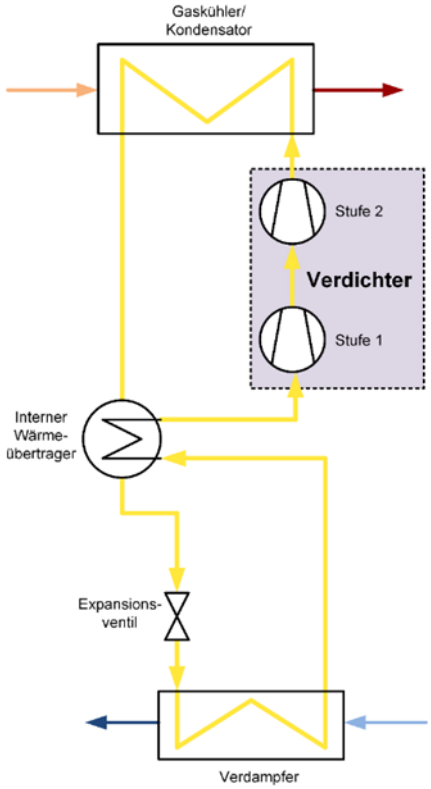
Schlussfolgerungen

KONZEPTBESCHREIBUNG KÄLTEMITTELVORAUSWAHL

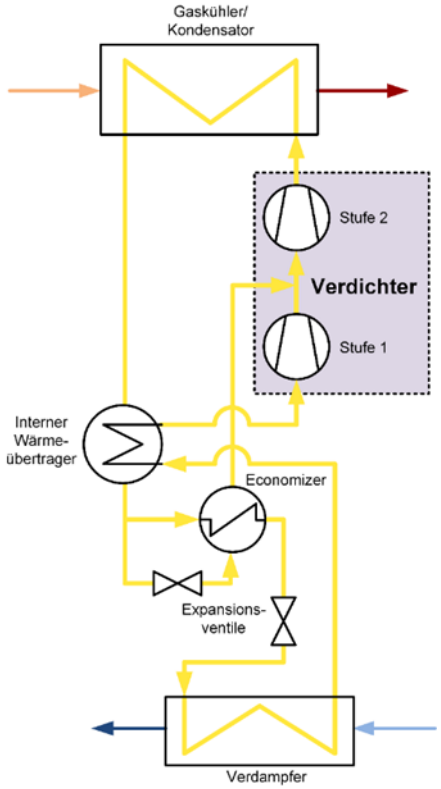
Bezeichnung	Kritische Temperatur (°C)	ODP	GWP	Sicherheits-klasse	Zerfalls-temperatur (°C)
R1233zd(E)	166,4	~0	1	A1	276,84
R1336mzz(Z)	171,3	0	2	A1	>250
R1336mzz(E)	137.7	0	18	A1	>250
R601 (Pentan)	196,5	0	5	A3	376,84
R600 (n-Butan)	152,0	0	4	A3	301,84

KONZEPTBESCHREIBUNG KREISLAUFDESIGNS

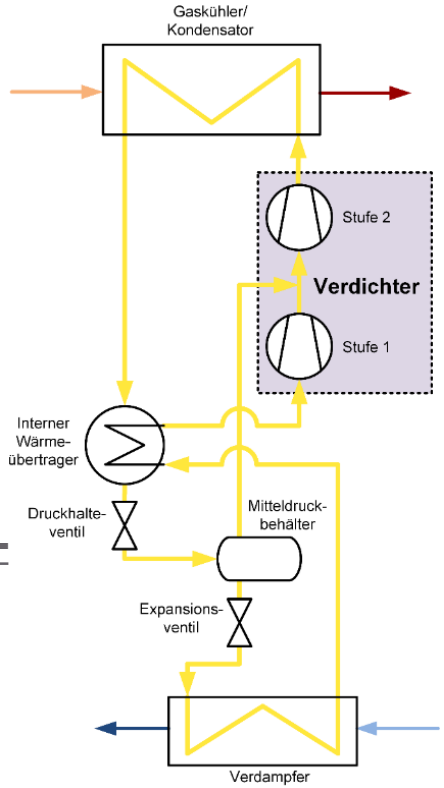
Referenz



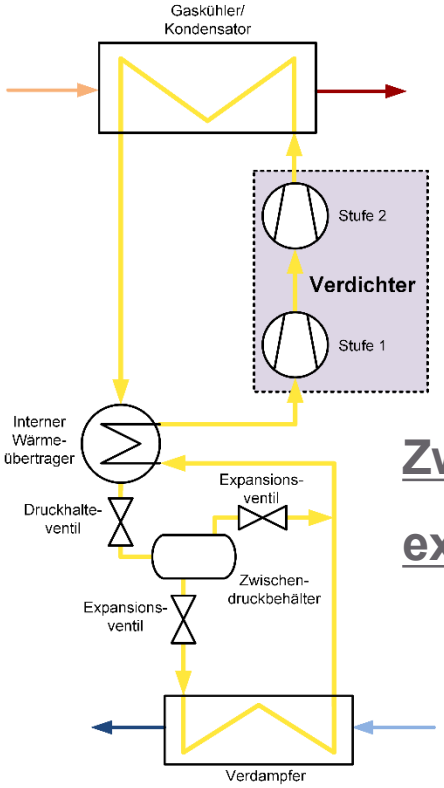
Economizer



KONZEPTBESCHREIBUNG KREISLAUFDESIGNS



Mitteldruck-behälter



Zwischendruck-expansion

Einleitung

Konzeptbeschreibung

Vergleichsrechnungen & Hochdruckoptimierung

Vergleich der Kreislaufdesigns & praktische Aspekte

Schlussfolgerungen

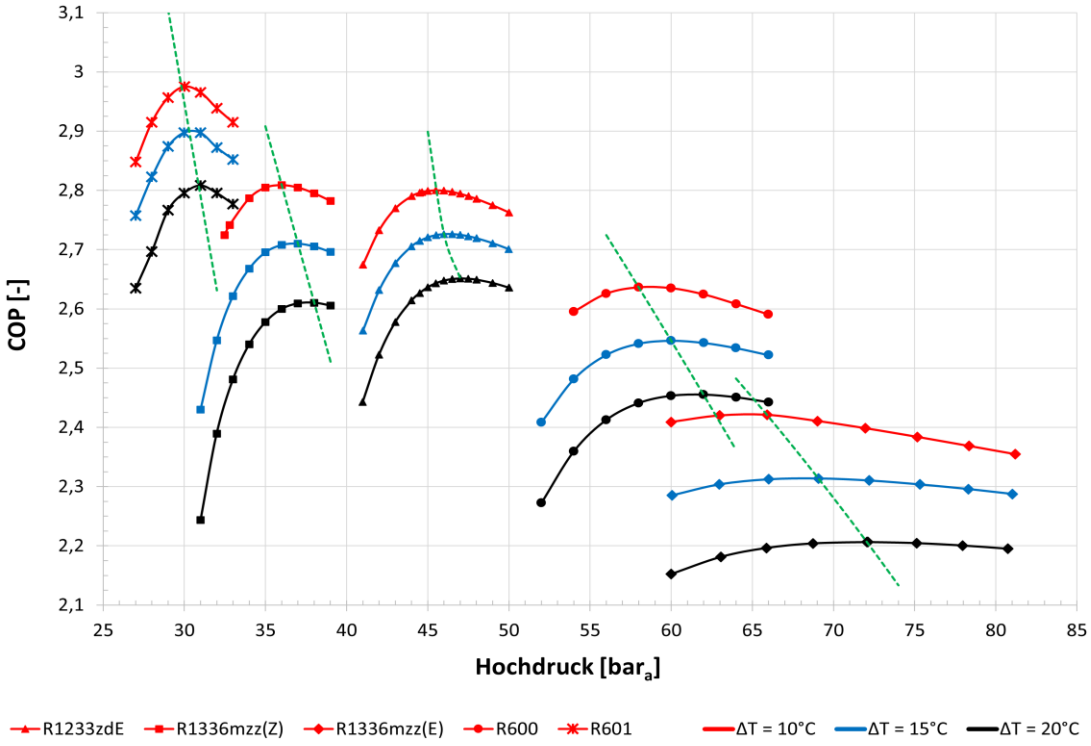
VERGLEICHSRECHNUNGEN RANDBEDINGUNGEN

Simulationen auf Basis des Kreislaufdesigns „Referenz“

$\dot{Q}_H = 1\ MW$
$T_{sink}^{out} = 200\ °C$
$\Delta T_{sink} = 40\ K$ **bzw.** $40/30/20\ K$ **für Untersuchung zur Teillast**
$T_{source}^{in} = 95\ °C$
$\Delta T_{source} = 5\ K$
$T_{evap} = 90\ °C$
$\eta_{is} = 0{,}76$

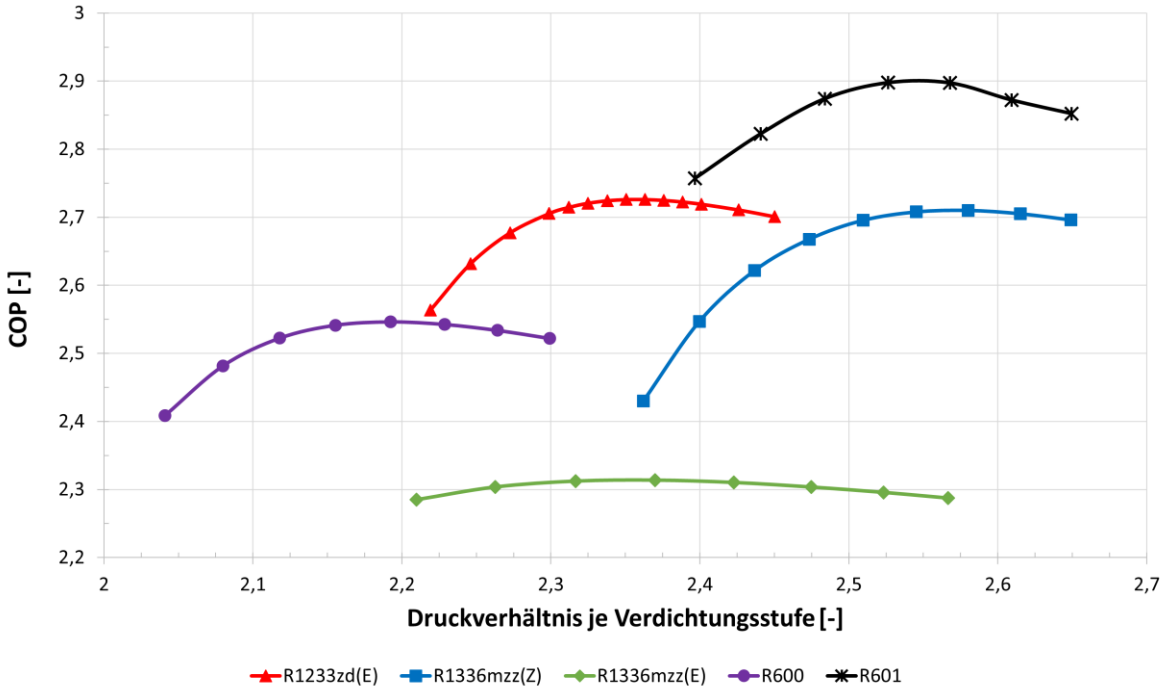
VERGLEICHSRECHNUNGEN IDEALER HOCHDRUCK

Variation der Grädigkeit im interner Sauggasüberhitzer



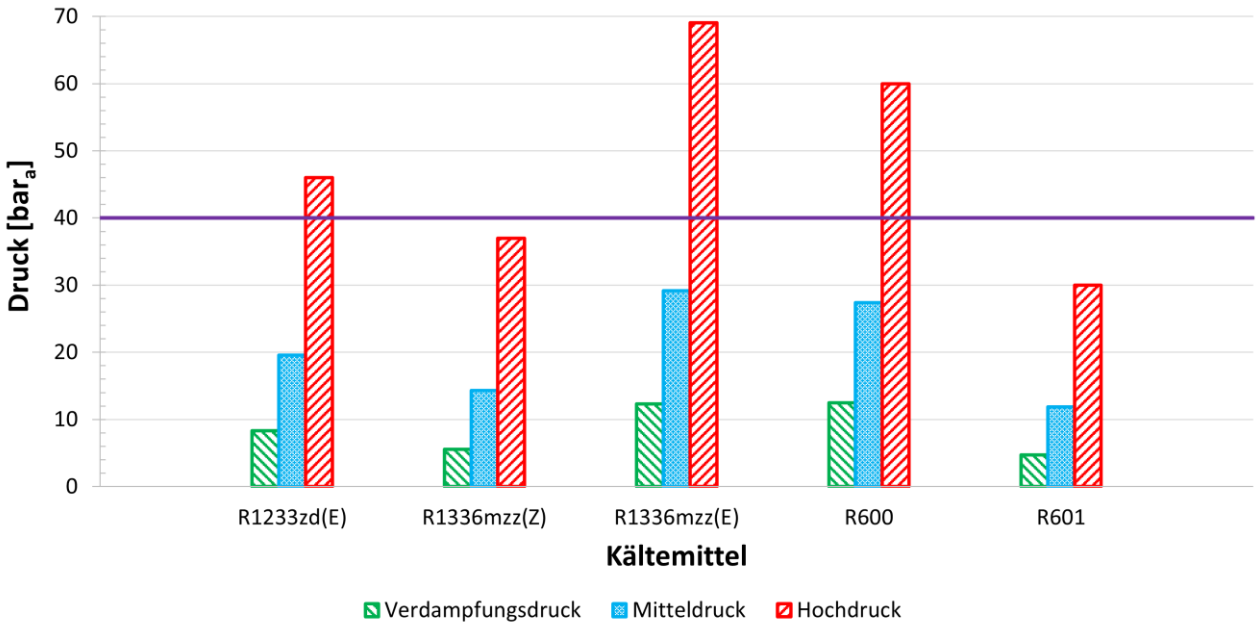
VERGLEICHSRECHNUNGEN
COP & DRUCKVERHÄLTNISBEREICHE

Grädigkeit im internen Sauggas-überhitzer = 15 K



VERGLEICHSRECHNUNGEN DRUCKNIVEAUS

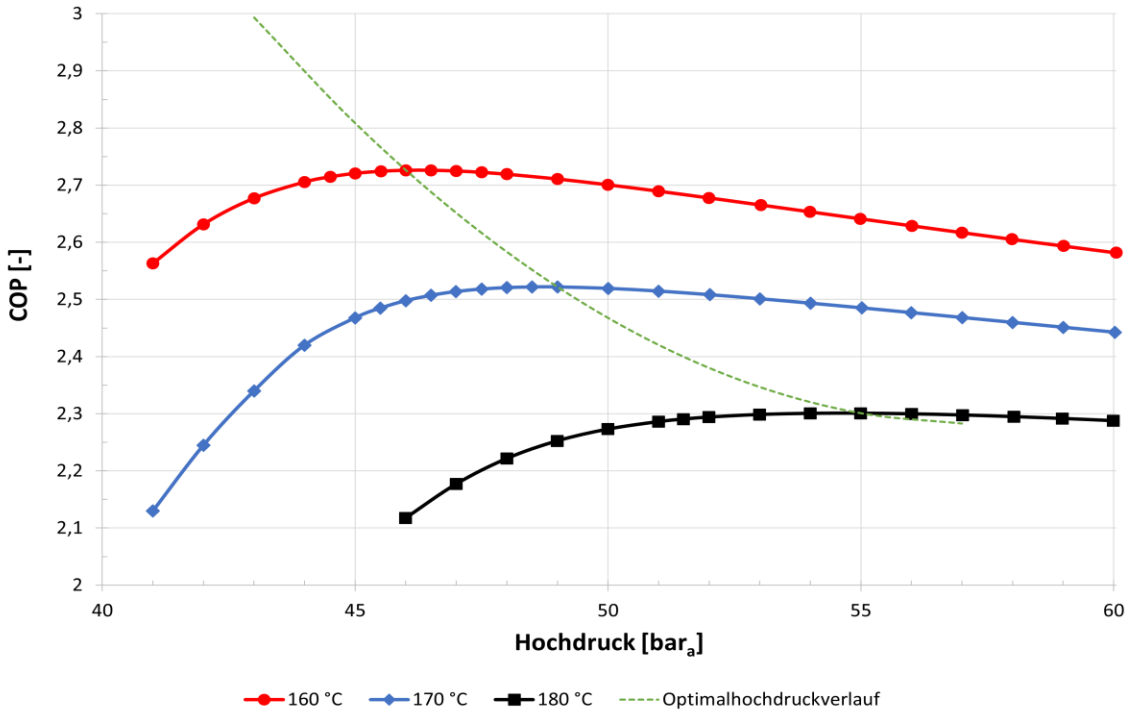
Komponenten werden ab 40bar signifikant teurer *



* Pachai, A.C.; Arpagaus, C.; Hafner, A.: Screening for new future-proof refrigerants for high-temperature heat pumps. Dresden, 2021

VERGLEICHSRECHNUNGEN TEILLAST FÜR R1233ZD(E)

Variation der senkenseitigen Temperatur-spreizung (40/30/20 K)



HOCHTEMPERATURWÄRMEPUMPEN BIS ZU 250°C

THERMODYNAMISCHE MACHBARKEITSANALYSE

Einleitung

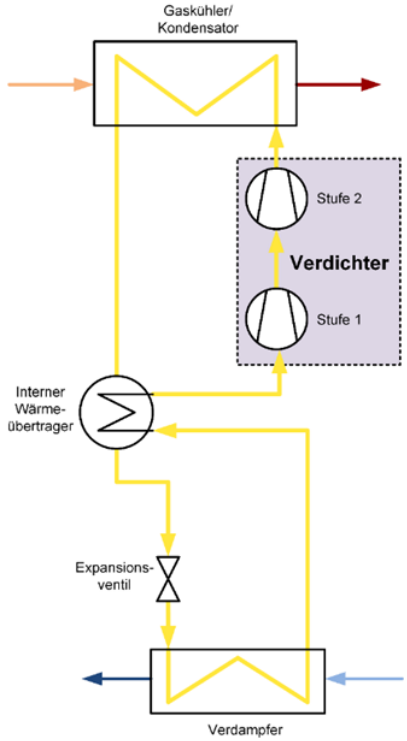
Konzeptbeschreibung

Vergleichsrechnungen & Hochdruckoptimierung

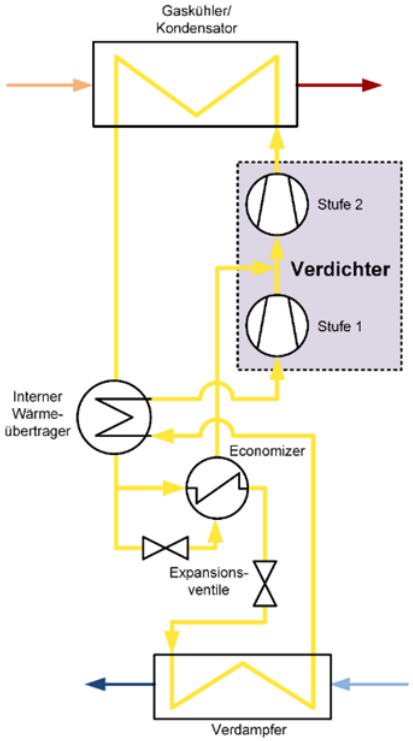
Vergleich der Kreislaufdesigns & praktische Aspekte

Schlussfolgerungen

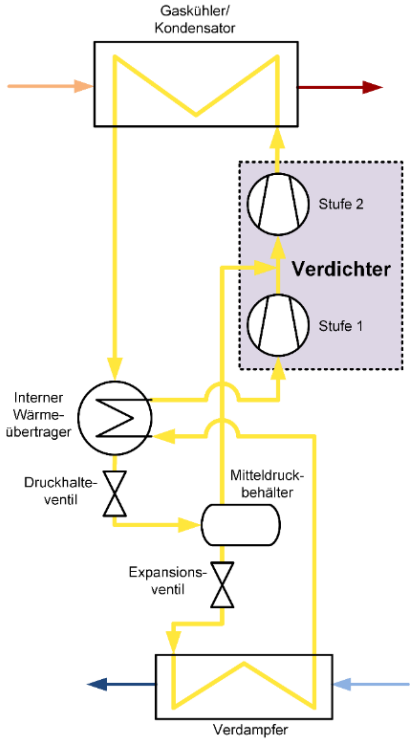
VERGLEICH DER KREISLAUFDESIGNS & PRAKTISCHE ASPEKTE



Referenz



Economizer

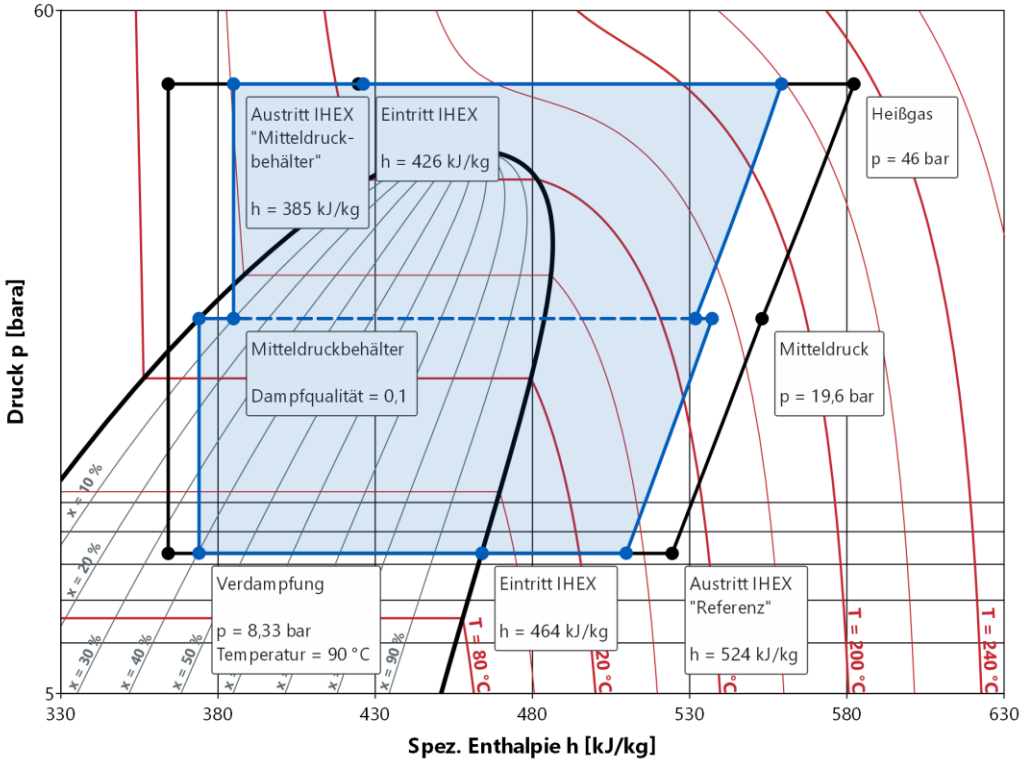


Mitteldruckbehälter

VERGLEICH DER KREISLAUFDESIGNS & PRAKTISCHE ASPEKTE

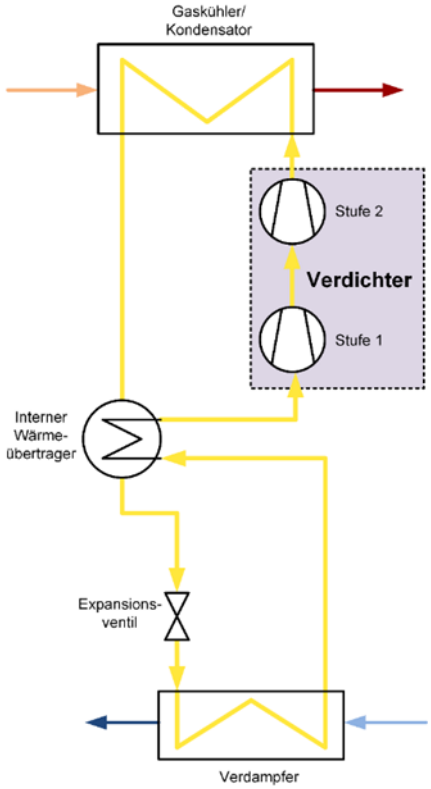
Referenz VS Mitteldruck

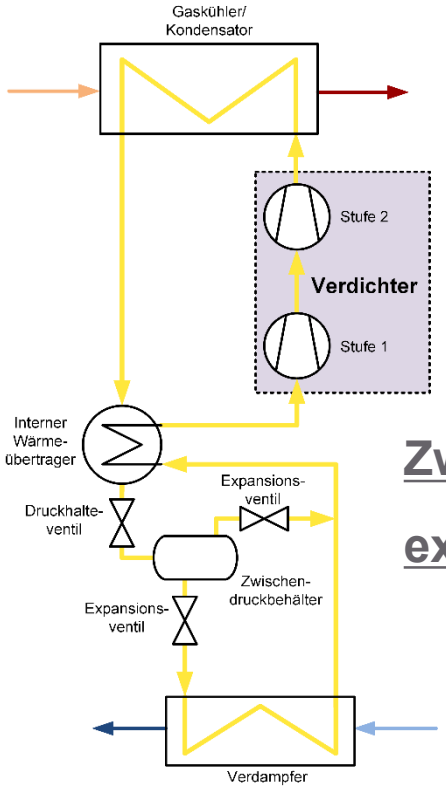
Einschränkung der Wärmeabgabe im IHEX durch Erfordernis der Entspannung in Nassdampfgebiet auf Mitteldruck



VERGLEICH DER KREISLAUFDESIGNS & PRAKTISCHE ASPEKTE

Referenz





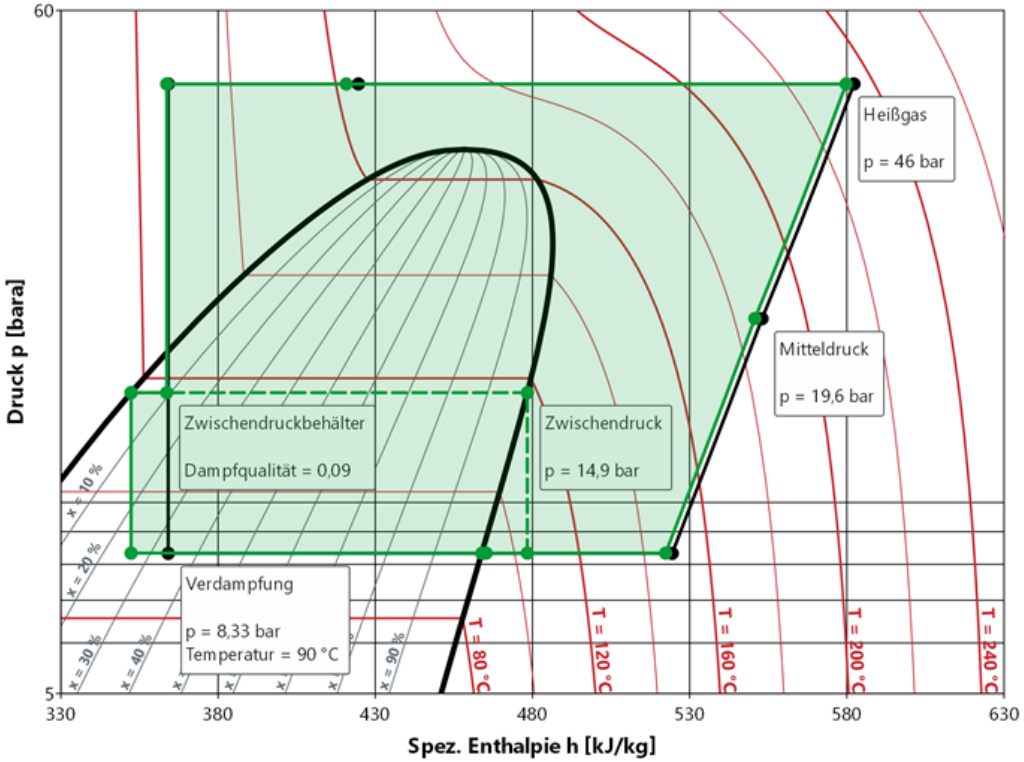
Zwischendruck-expansion

VERGLEICH DER KREISLAUFDESIGNS & PRAKTISCHE ASPEKTE

Referenz VS

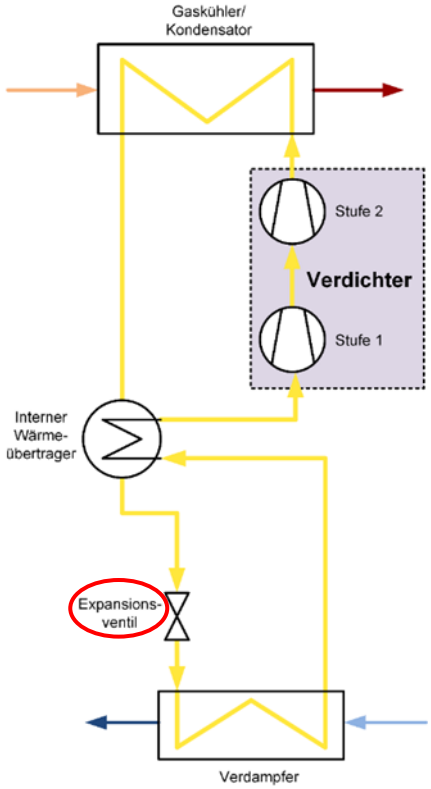
Zwischendruckexpansion

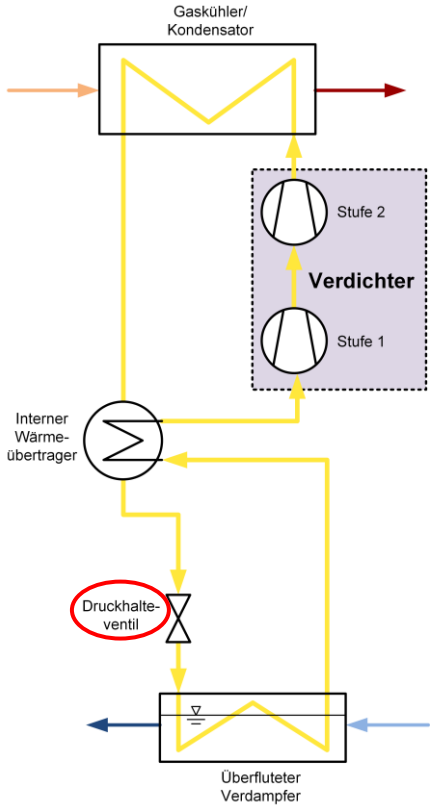
- Expansion in Nassdampfgebiet durch Druckhalteventil
- Zwischendruckniveau stellt sich je nach Betriebsbedingungen ein



VERGLEICH DER KREISLAUFDESIGNS & PRAKTISCHE ASPEKTE

Referenz





Referenz mit überflutetem/ berieselndem Verdampfer

HOCHTEMPERATURWÄRMEPUMPEN BIS ZU 250°C

THERMODYNAMISCHE MACHBARKEITSANALYSE

Einleitung

Konzeptbeschreibung

Vergleichsrechnungen & Hochdruckoptimierung

Vergleich der Kreislaufdesigns & praktische Aspekte

Schlussfolgerungen

SCHLUSSFOLGERUNGEN

- **Druck<u>verhältnisse</u>** bei zweistufiger Verdichtung im technisch machbaren und sinnvollen Bereich (Pentan R601 und R1336mzz(Z) grenzwertig)
- **R1233zd(E)** am vielversprechendsten (Augenmerk auf R601 Pentan)
- **Optimalhochdruckauswahl** zeigt Effizienz- & Einsatzbereich sowie Drucksensitivitäten
- **Zwischendruckexpansionsschaltung** als Antwort auf praktische Probleme des Referenzkreislaufs bei Verwendung von Platten-WÜT, jedoch hohe Komponentenanzahl
- **Referenzkreislauf** trotzdem **realisierbar und kostenkompetitiv** (mit überflutetem/berieselndem Verdampfer)

SCHLUSSFOLGERUNGEN & **OFFENE PUNKTE**

- **Teillastverhalten** (Verdichtermodell für R1233zd(E))
- Maschinenbauliche Aspekte (therm. Belastung, Wellendichtung, etc.)
- Antriebstechnische Aspekte (Elektrischer Antrieb, Getriebe, Kühlung, etc.)
- Überschlägige Kostenschätzung
- Genauere Betrachtung eines Verdichters für R601 (Pentan)
- Analyse von Anwendungsgebieten

AUTOREN

Verena Sulzgruber

Johannes Riedl

Julian Unterluggauer

Diese Publikation wurde im Rahmen des Projektes „NERO“ (FFG Projektnummer 888453) erarbeitet. Projektpartner: TU Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2020 durchgeführt.

Dankeschön!

Johannes Riedl

johannes.riedl@ait.ac.at

AIT Austrian Institute of Technology

Center for Energy - Sustainable Thermal Energy Systems