

Kevin Diewald

16. Symposium Energieinnovation 2020

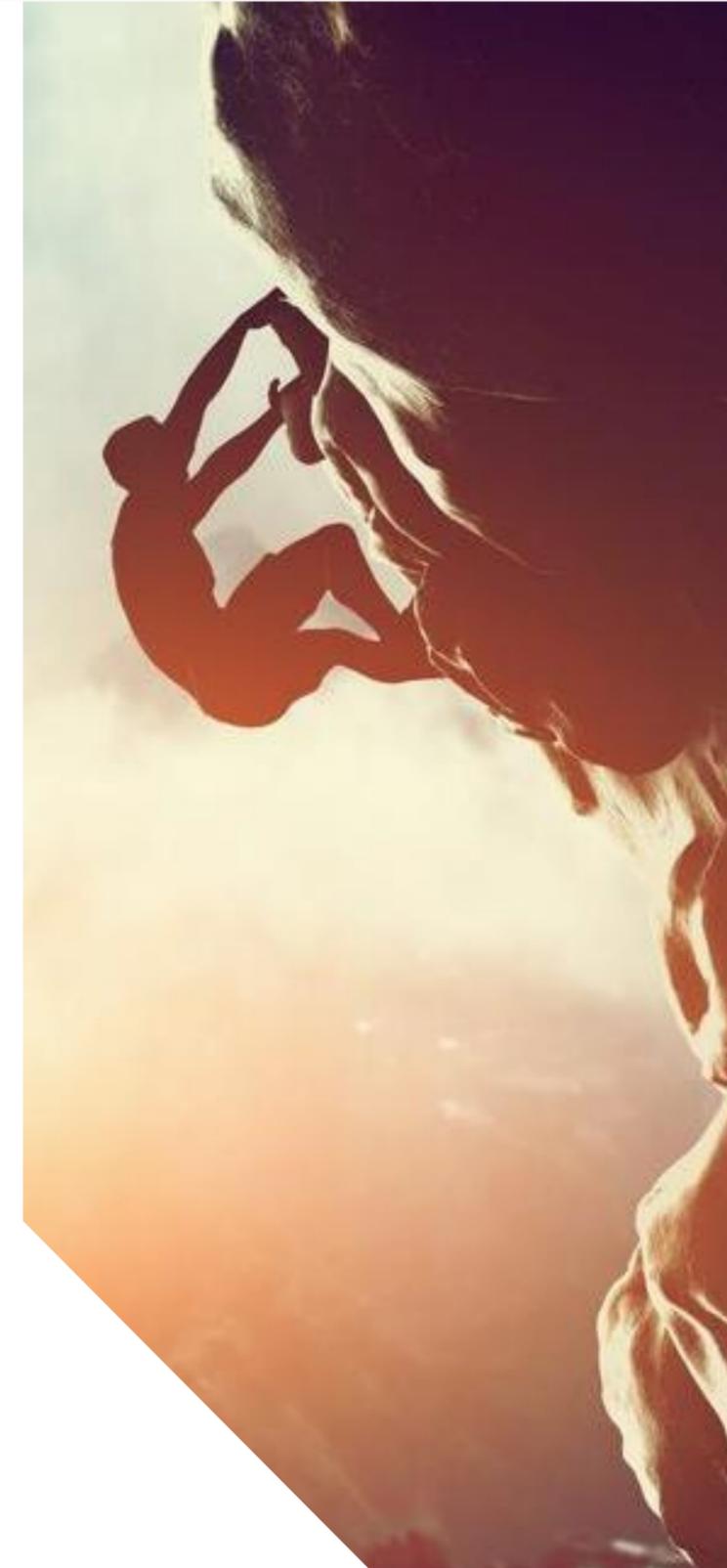
TU Graz

Thermodynamische Analyse von
Hochtemperaturwärmepumpen unter
Verwendung von HFO und HCFO
Kältemitteln



Motivation

- ◆ F-Gase Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014)
 - Phase Down
 - Ab 2022 nur noch ein GWP < 150 (gewerbliche KM)
- ◆ Jährliches Potenzial (EU-28 Staaten)
 - 626 PJ bis zu einer Senktemperatur von 150°C
 - 120 PJ zwischen 100°C und 150°C
 - Österreichischer Heizenergieeinsatz im Haushalt ca. 200 PJ (Statistik Austria)
- ◆ Anwendung in der Nahrungsmittel-, Papier- und Chemieindustrie zur Prozesswärmebereitstellung bei z.B. Aufwärmprozessen



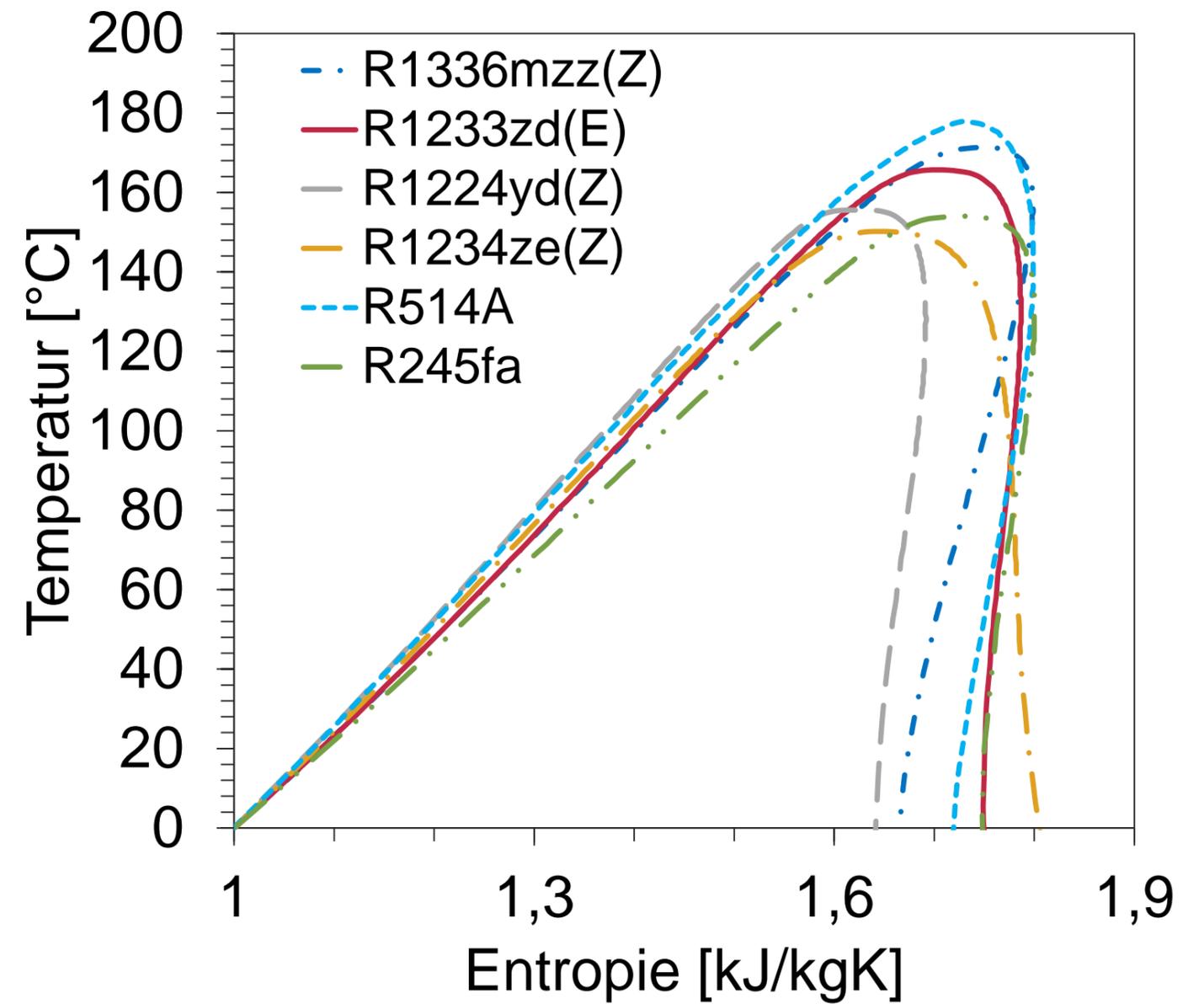
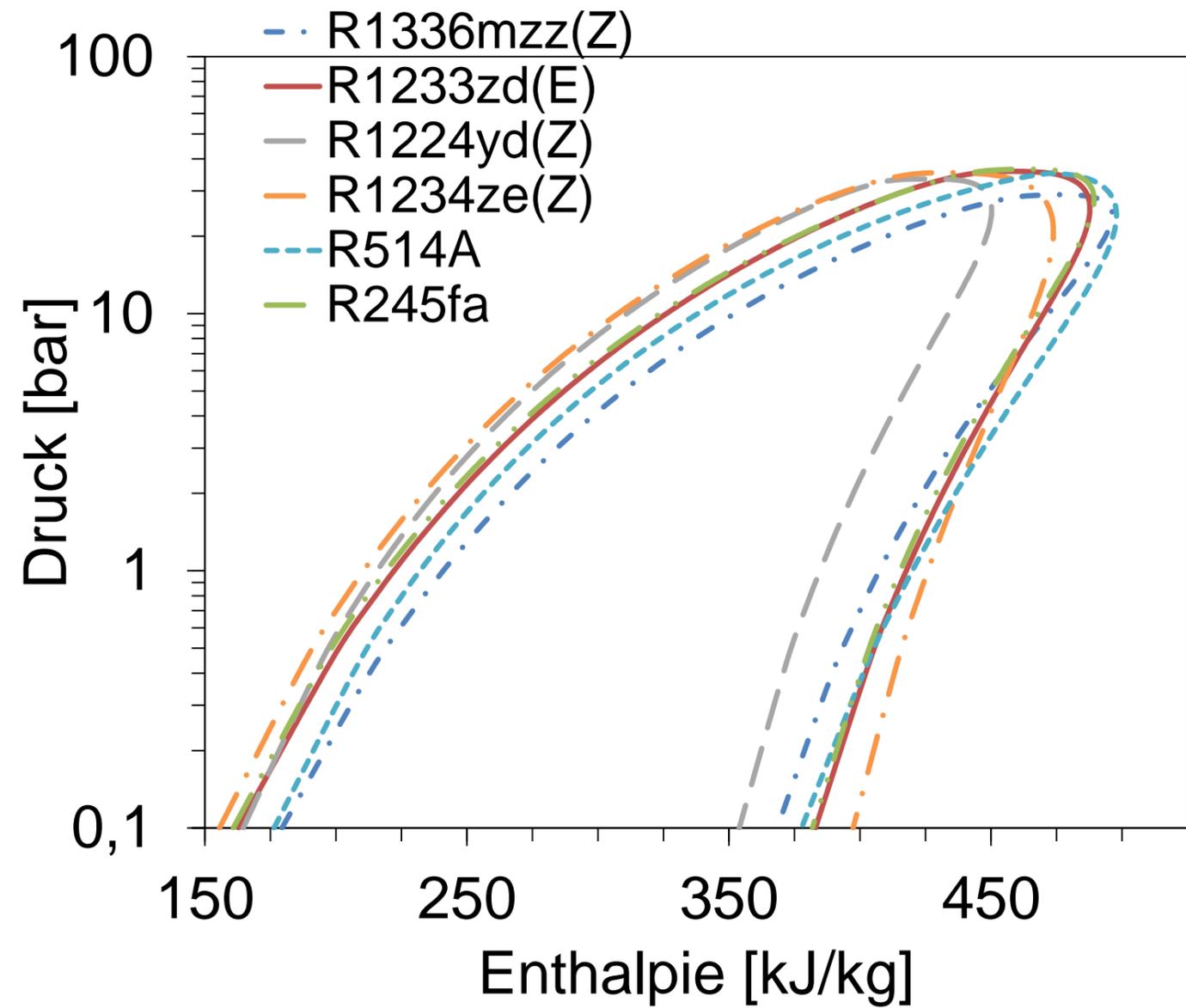
Warum HFO / HCFO?

Kältemittel	Typ	T _{krit} [°C]	p _{krit} [bar]	ODP (R11=1)	GWP (CO ₂ =1)	SK ¹	SP ² [°C]
R245fa	HFKW	154,0	36,5	0	858	B1	14,9
R1336mzz(Z)	HFO	171,3	29,0	0	2	A1	33,4
R1234ze(Z)	HFO	150,1	35,3	0	< 1	A2L	9,8
R514A	HFO	178,4	34,0	0	2	B1	29,3
R1233zd(E)	HCFO	165,6	35,7	0,00034	1	A1	18,0
R1224yd(Z)	HCFO	155,5	33,4	0,00012	< 1	A1	14,0

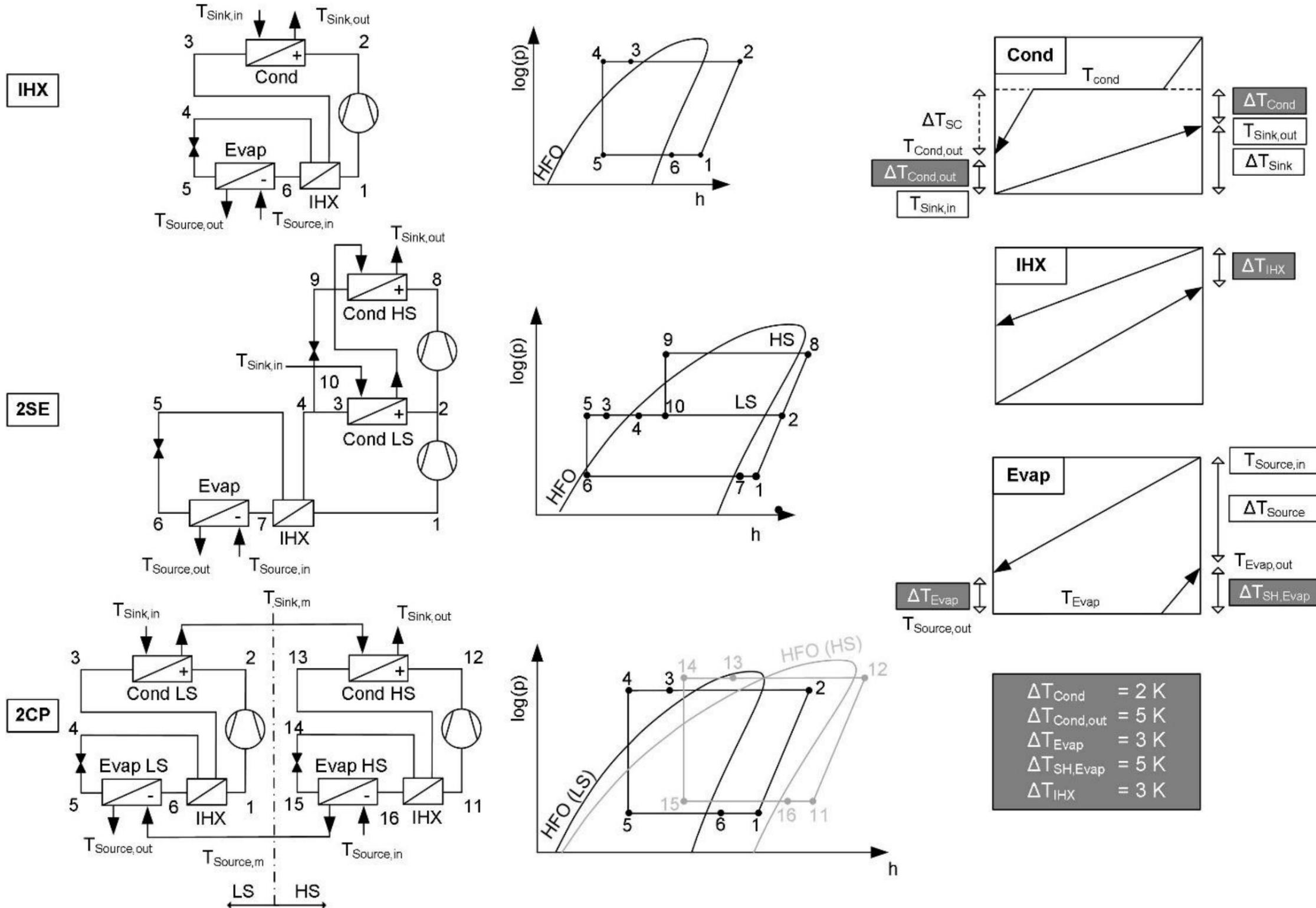
¹SK = Sicherheitsklasse gemäß DIN EN 378-1:2018-04;

²SP = Siedepunkt bei Normdruck 1,013 bar

Thermophysikalische Eigenschaften



Kältekreislaufkonfigurationen



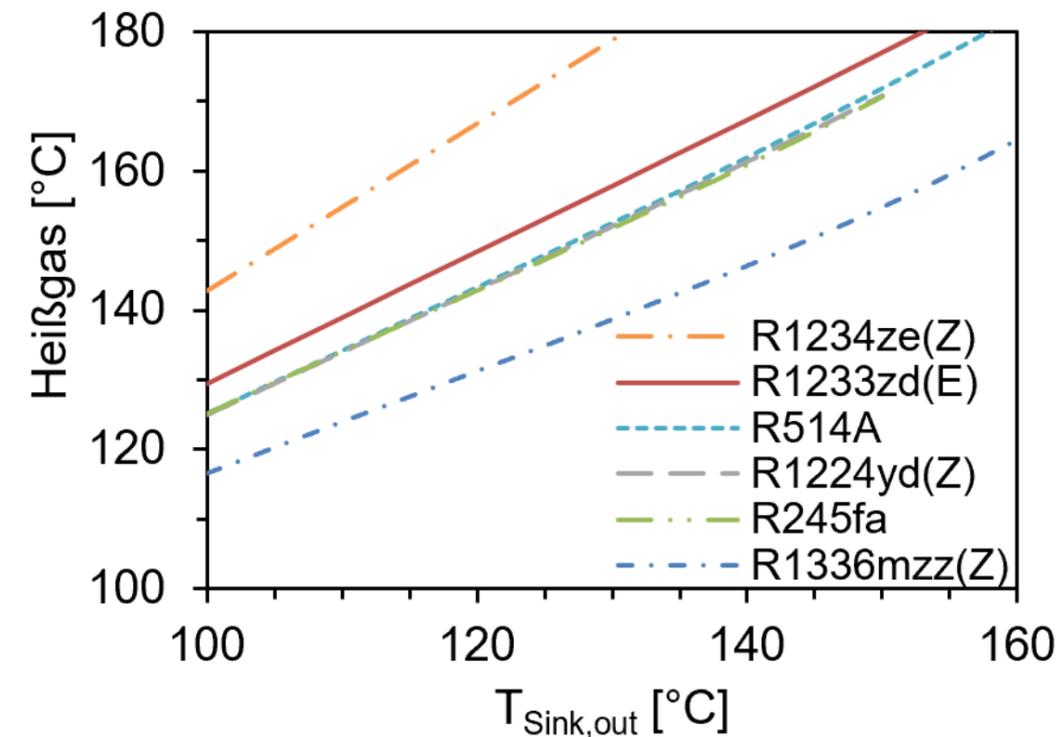
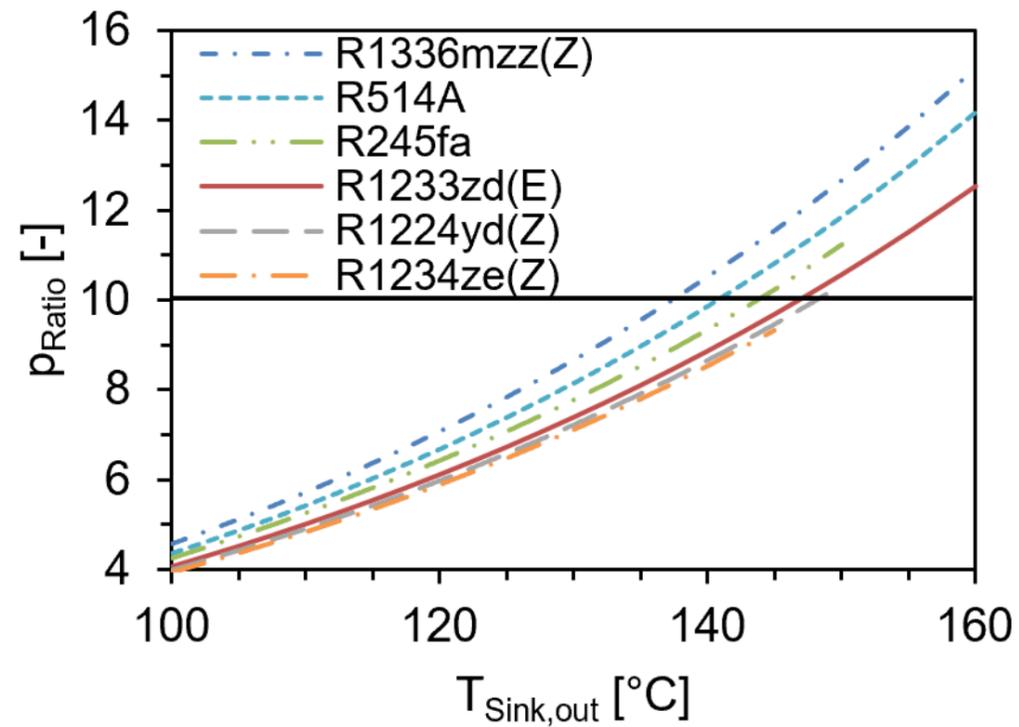
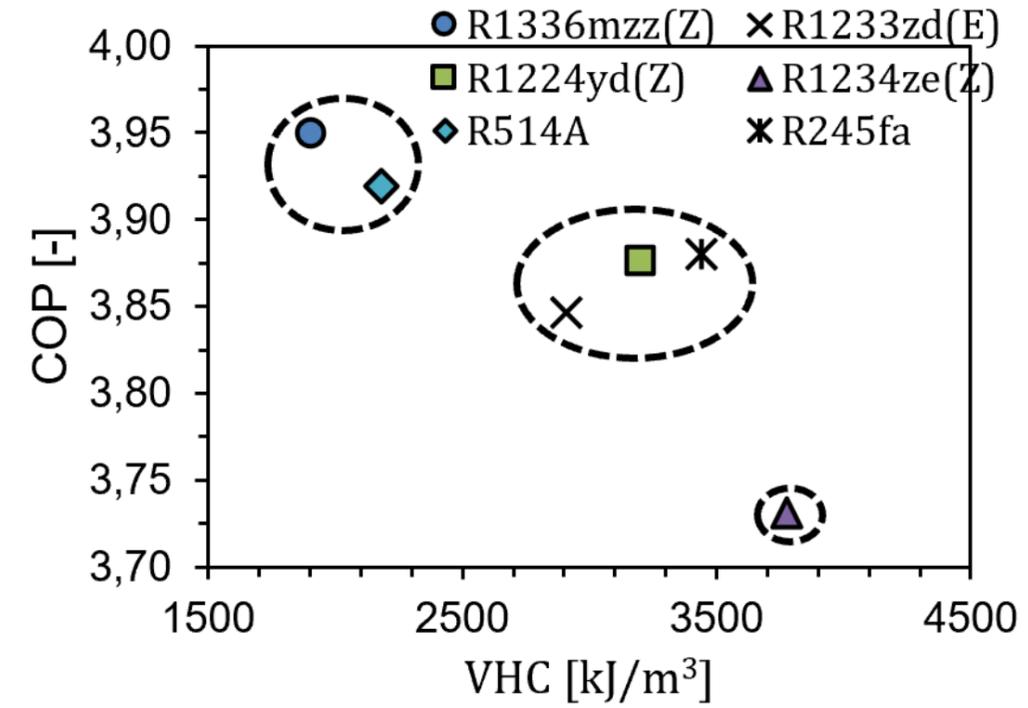
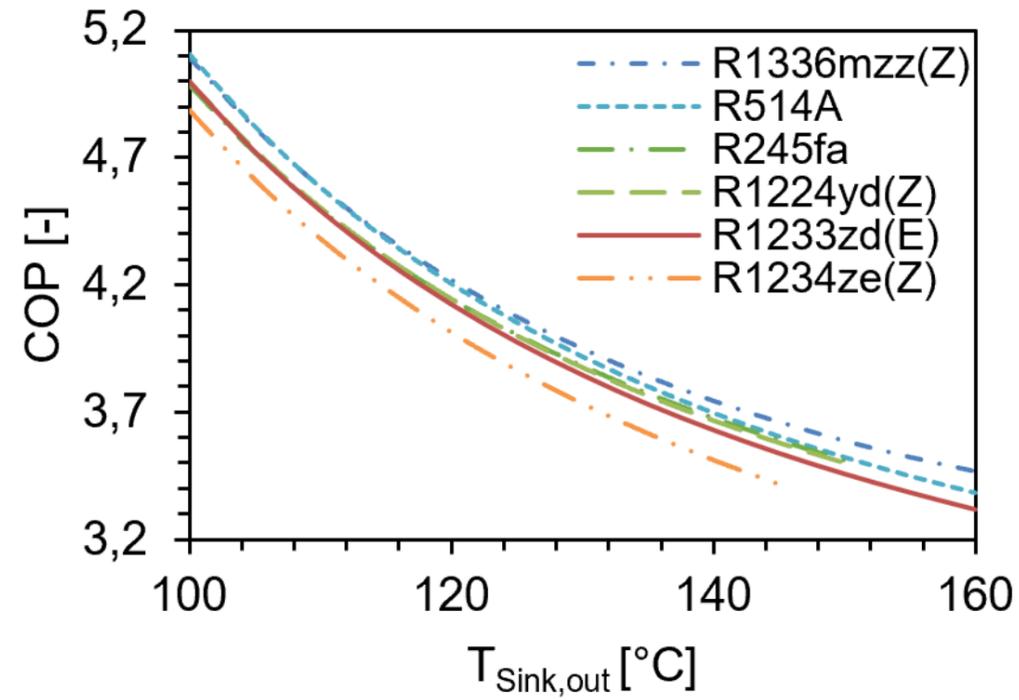
Rahmenbedingungen

- ◆ Senke
 - Senkentemperatur 100°C bis 160°C
 - Senkeneintrittstemperatur 70°C
- ◆ Quelle
 - Quellentemperatur 40°C bis 80°C (60°C)
 - Quellenspreizung 10K
- ◆ Verdichter
 - konstanter isentroper Wirkungsgrad (0,7)
- ◆ Wärmeübertrager
 - Modell aus der Literatur
- ◆ Simulation im Engineering Equation Solver (EES)
- ◆ Heißgastemperatur < 200°C (Suemitsu), besser < 180°C (Arpagaus et al.)
- ◆ Verdampfungsdruck > p_{atmos} (Arpagaus et al.)
- ◆ Sauggastemperatur < 110°C (Arpagaus et al.)
- ◆ Verdichtungsverhältnis (Dumont)
 - Hubkolbenverdichter 6,2 bis 10,6
 - Schraubenverdichter 1,9 bis 4,2
- ◆ Unteres technisches Limit für die VHC zwischen 500 bis 1000 kJ/m³ (Reißner)

Vergleich der Kältemittel



Ergebnisse im IHX Kreislauf



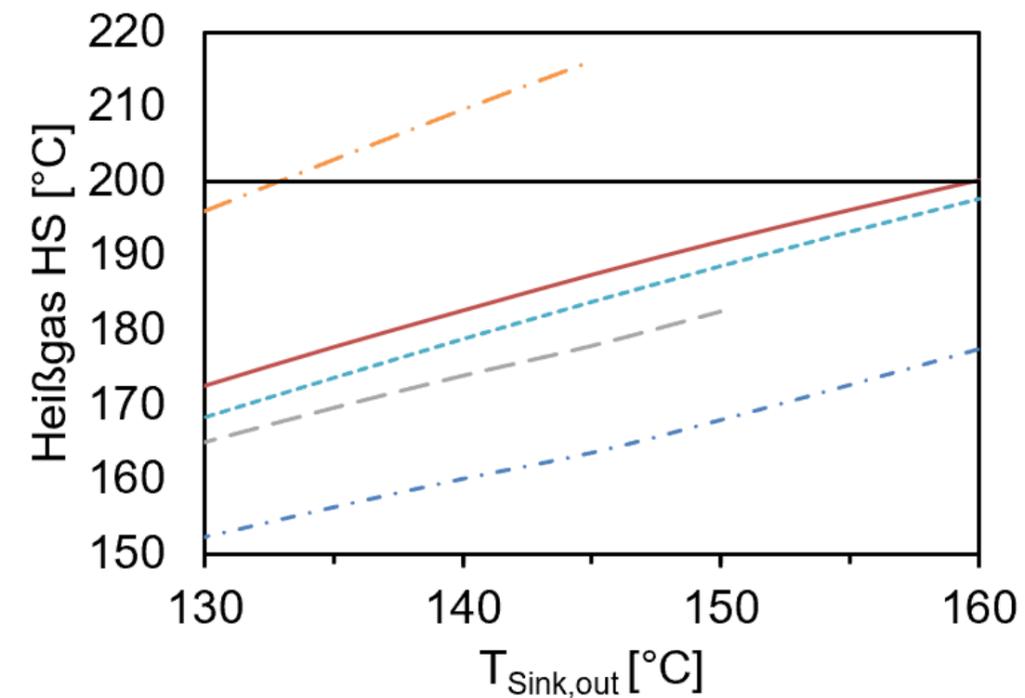
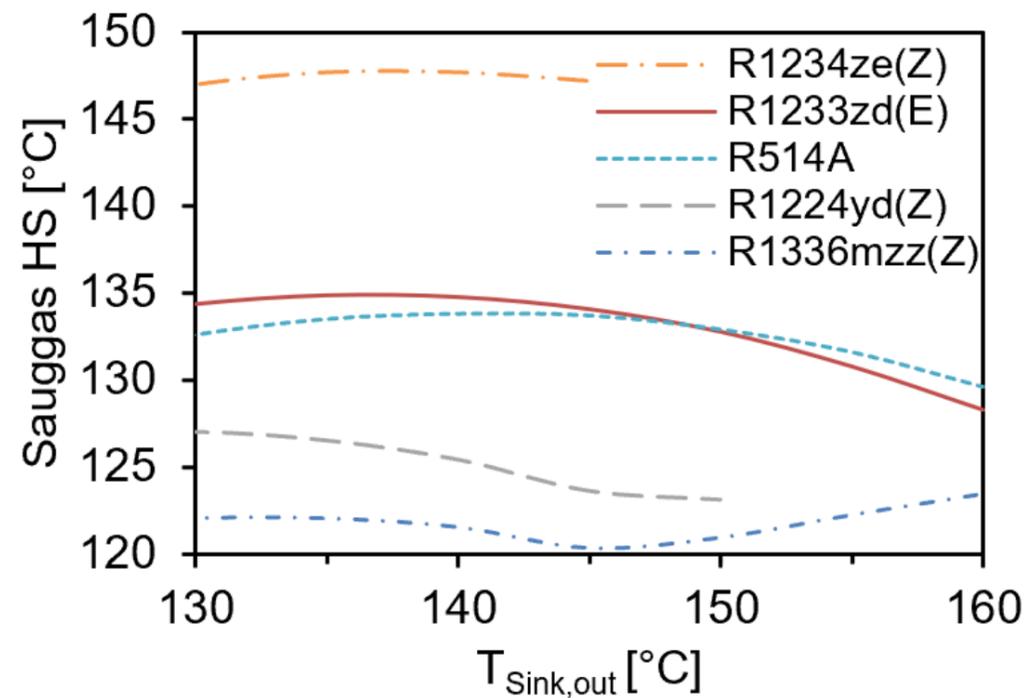
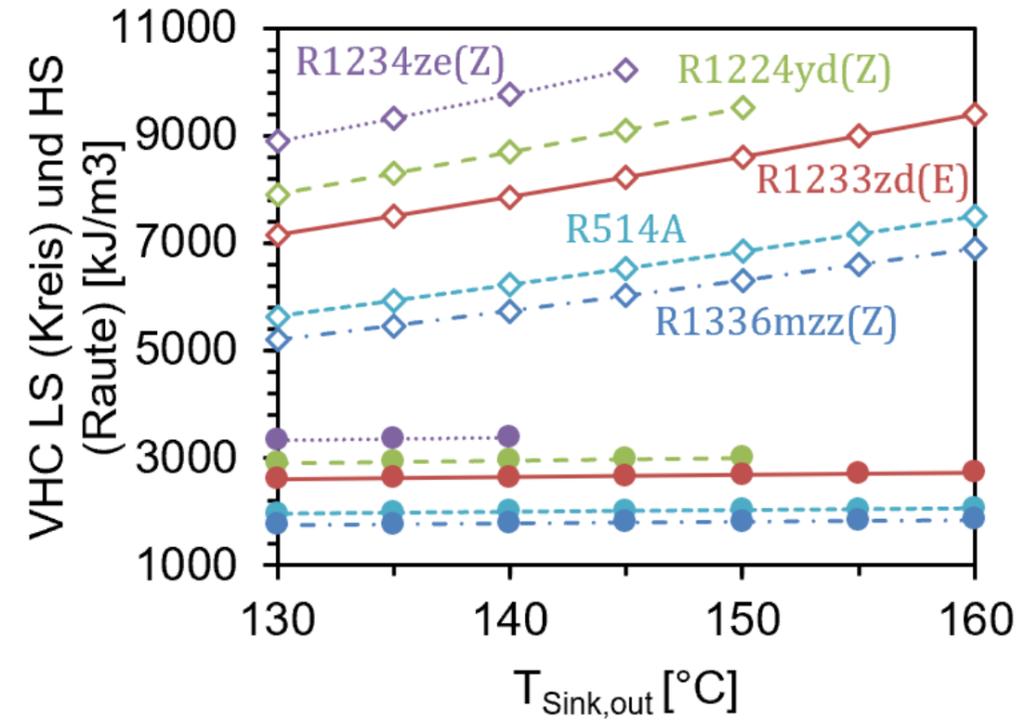
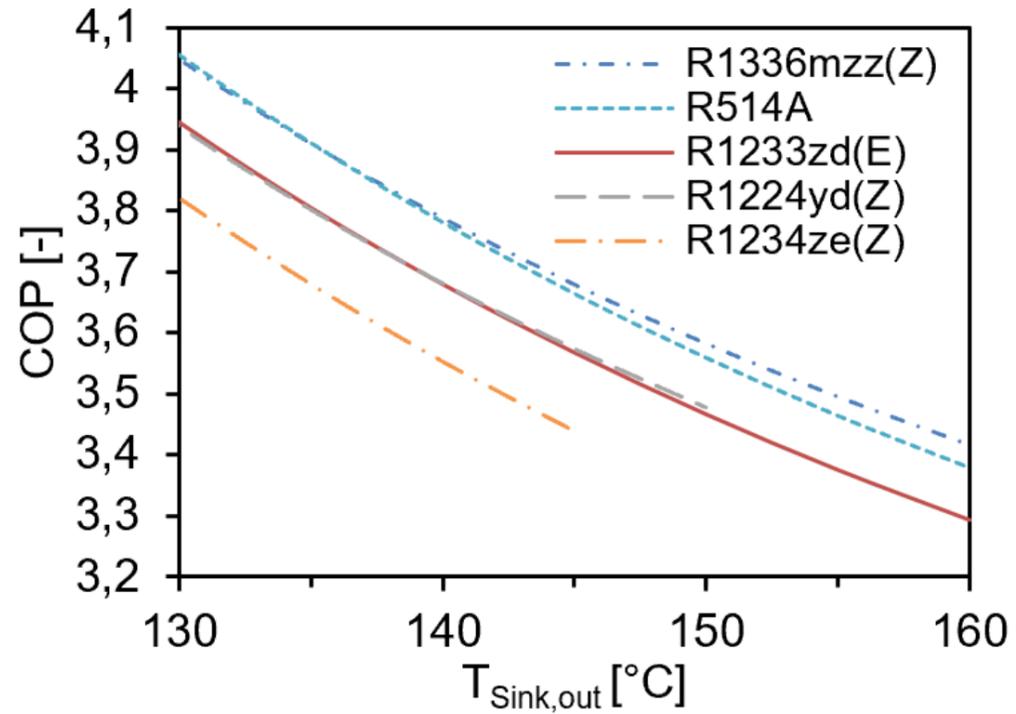
Ergebnisse im IHX Kreislauf

Parameter	R1336mzz(Z)	R514A	R1224yd(Z)	R1233zd(E)	R1234ze(Z)
COP [-]	3,95 (+2%)	3,92 (+1%)	3,88 (0%)	3,85 (-1%)	3,73 (-4%)
VHC [kJ/m ³]	1'911 (-44%)	2'181 (-37%)	3'204 (-7%)	2'908 (-15%)	3'779 (+10%)
p_{ratio} [-]	8,66 (+12%)	8,14 (+5%)	7,22 (-7%)	7,39 (-5%)	7,11 (-8%)
$T_{\text{Heißgas}}$ [°C]	139 (-9%)	153 (0%)	152 (0%)	158 (+4%)	179 (+18%)

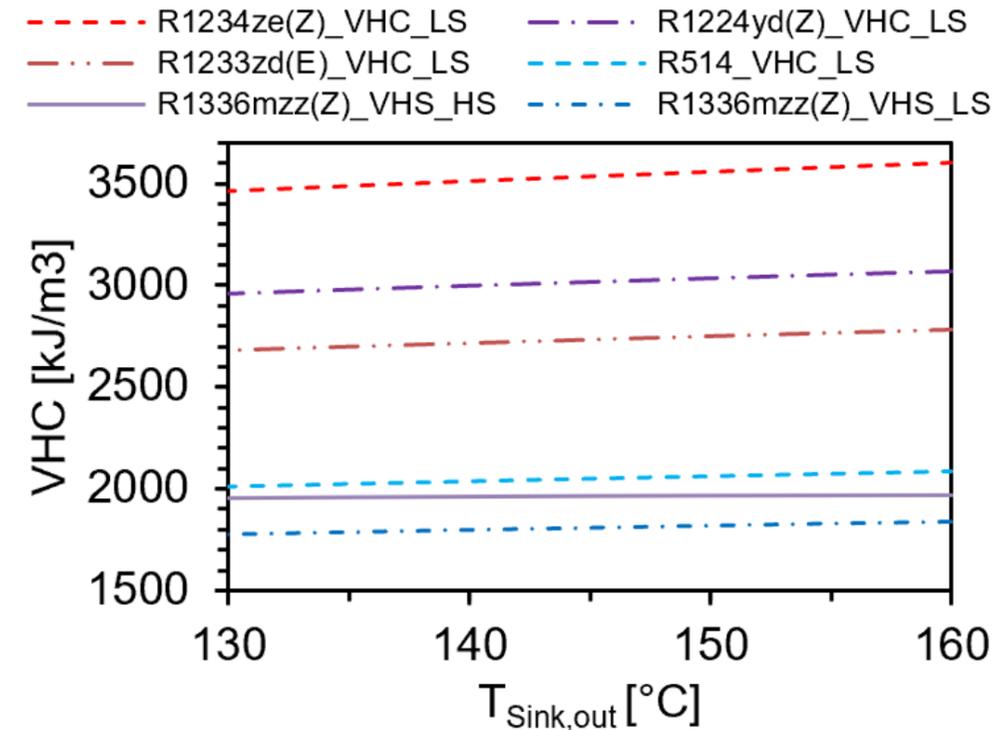
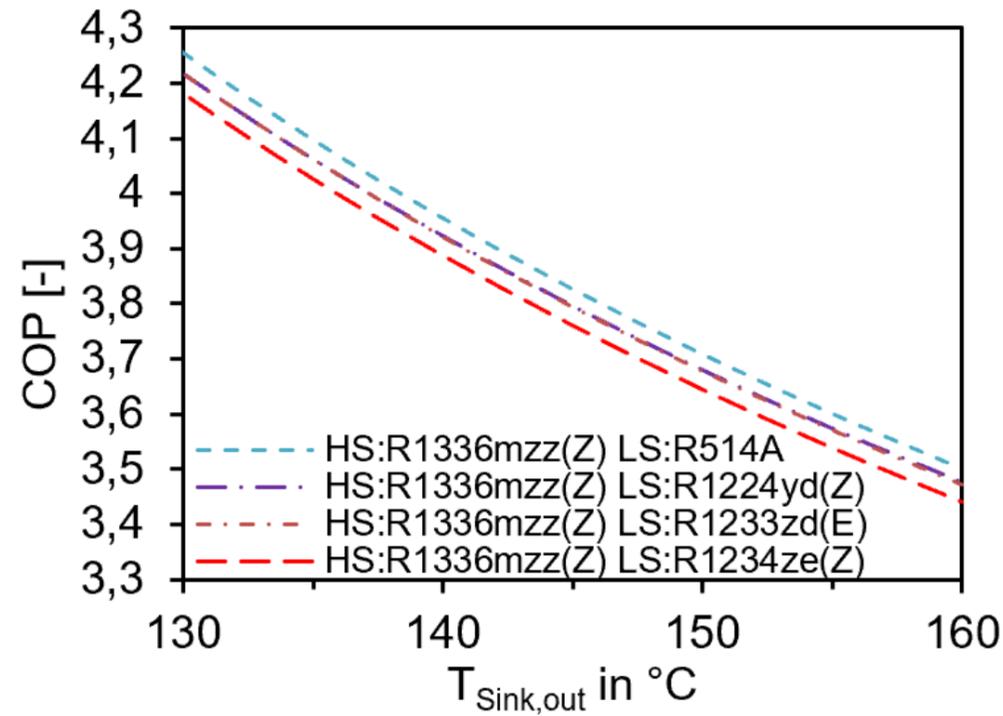
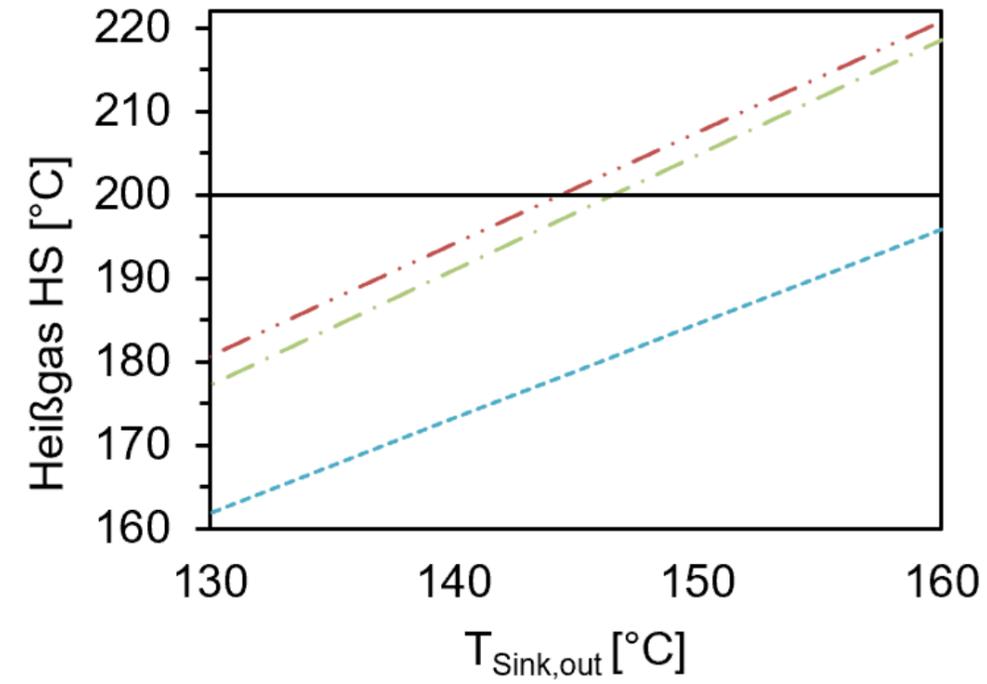
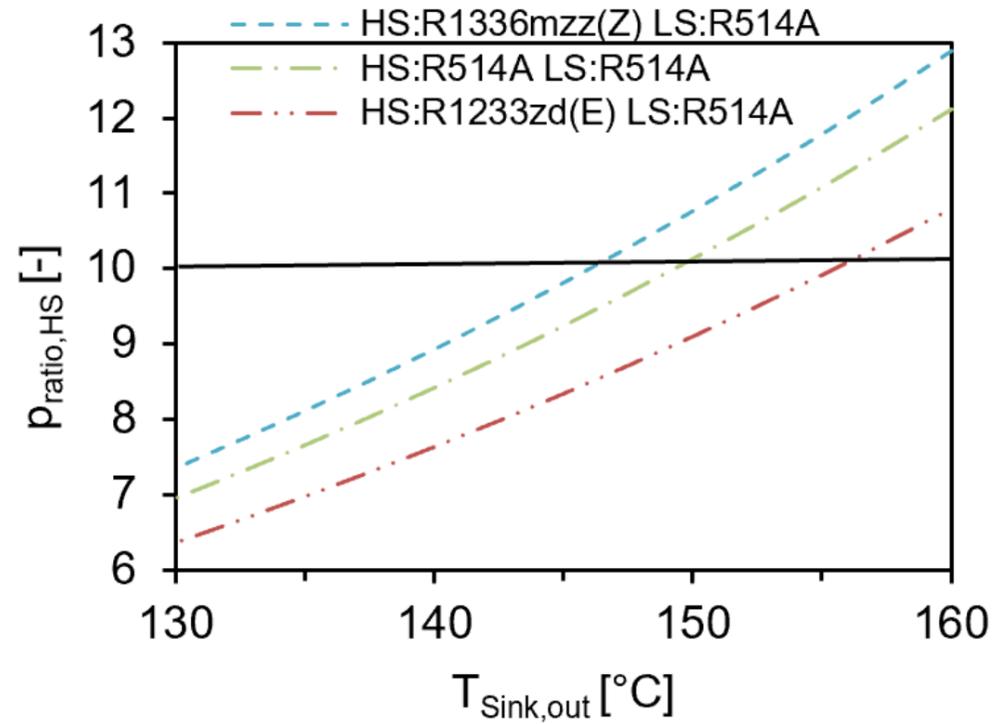
→ Ergebnisse relativ zu R245fa im Referenzpunkt W60/W130 ($\Delta T_{\text{Sink}} = 60\text{K}$, $\Delta T_{\text{Source}} = 10\text{K}$)

→ IHX Kreislauf nur bis zu einer Senktemperatur von ca. 140°C (bei $T_{\text{Sink,in}} = 70^\circ\text{C}$)

Ergebnisse im 2SE Kreislauf



Ergebnisse im 2CP Kreislauf



Fazit Kreisläufe

- ◆ IHX Kreislauf
 - bis ca. 140°C Senktemperatur (p_{ratio})
 - kostengünstig (Anzahl Komponenten)
- ◆ 2SE Kreislauf
 - günstige Eigenschaften bei hohen Temperaturhüben (p_{ratio})
 - geringer Einsatzbereich bzw. muss speziell für den Einsatz konzipiert sein
 - hohe Sauggastemperaturen → spezielle Sauggaskühlung
- ◆ 2CP Kreislauf
 - höchste COP Werte 5% - 2,5% über 2SE
 - breites Einsatzgebiet und variabel einsetzbar
 - nur bis ca. 150°C (p_{ratio})

Ausblick

- ◆ Reale Verdichterdaten für genauere Ergebnisse (η_{is})
- ◆ Kostenbetrachtung der Komponenten (VHC)
- ◆ Wärme- und Kältenutzung

- ◆ HTWP
 - hohe Senktemperaturen bis 160°C R1336mzz(Z) / R1233zd(E)
 - Ersatz für R245fa bis 130°C R1224yd(Z) / R1233zd(E)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

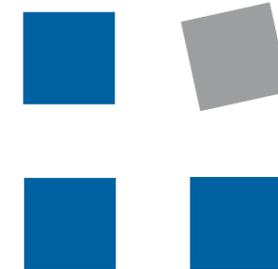
Kevin Diewald
Dr. Cordin Arpagaus
DI Babette Hebenstreit

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences



www.fhv.at

Hoval



NTB

**Interstaatliche Hochschule
für Technik Buchs**

FHO Fachhochschule Ostschweiz

Literatur

- ◆ R. Suemitsu, Performance of centrifugal chiller and development of heat pump using a low-GWP refrigerant, HTP Magazine. (2018) 4.
- ◆ C. Arpagaus, M. Prinzing, R. Kuster, M. Uhlmann, J. Schiffmann, High temperature heat pumps – Theoretical study on low GWP HFO and HCFO refrigerants, in: IIR Int. Congr. Refrig., Montreal, 2019: p. 8. <https://doi.org/10.18462/iir.icr.2019.259>.
- ◆ C. Arpagaus, Hochtemperatur-Wärmepumpen: Marktübersicht, Stand der Technik und Anwendungspotenziale, VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach, 2019.
- ◆ O. Dumont, Investigation of a heat pump reversible in an organic Rankine cycle and its application in the building sector, Dissertation, UNIVERSITY OF LIÈGE, 2017.
- ◆ F. Reißner, Development of a Novel High Temperature Heat Pump System, Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität, 2015.