

**Der Weg zu natürlichen Kältemitteltechnologien,
Nürnberg, 15.11.2019**

**Florian Heberle, Osama Aljolani
und Dieter Brüggemann**

**Das StMUV-finanzierte Forschungsprojekt „ZukunftKlima“ –
Eine Kooperation der Universität Bayreuth mit dem Beruflichen
Schulzentrum Kulmbach**



- Motivation
- Projektbeschreibung
- Konzeption
- Erste Ergebnisse
- Ausblick

Motivation

Vorerfahrungen im Bereich Kältemittel Beispiel GAB

LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



Geothermie-Allianz Bayern

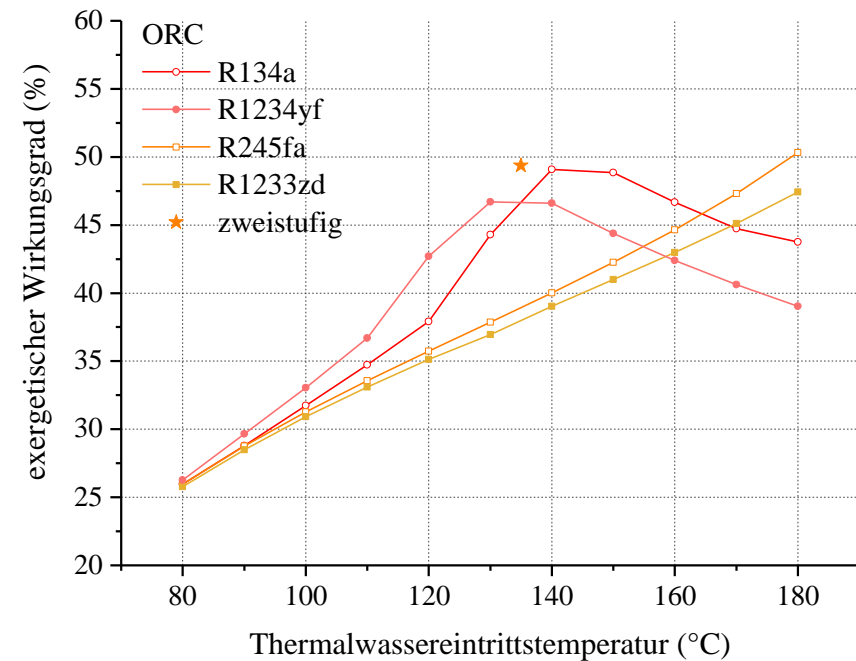
Technische
Universität
München



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



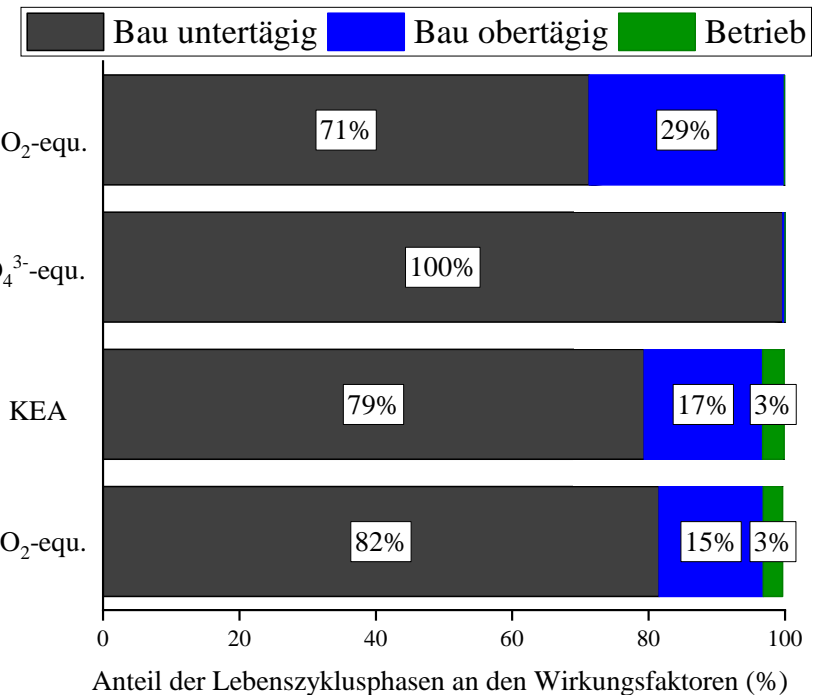
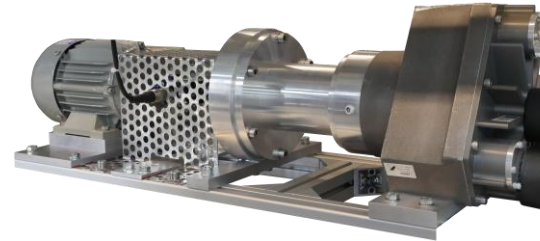
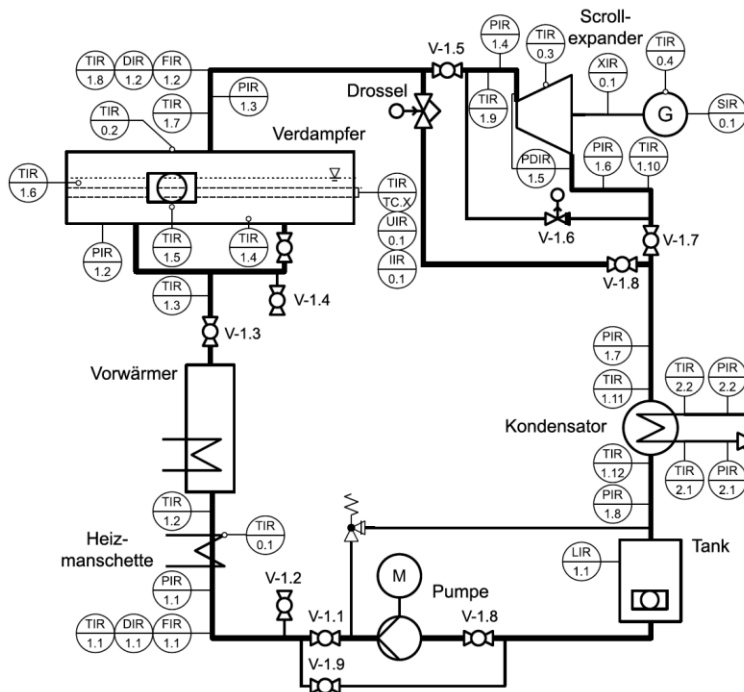
UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Motivation

Experiment und Ökobilanzierung

Beispiel GAB

LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN





AKZEPTANZ

Quelle: TU Clausthal



NACHHALTIGKEIT

Klimaverträgliche
Arbeitsmedien und
effiziente Technologien
mit weiter Verbreitung

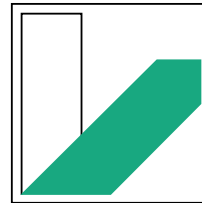
Projektbeschreibung

Partner, Zielsetzung und Projektdaten

LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



BERUFLICHES
SCHULZENTRUM
KULMBACH



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



Systematische Untersuchung der Verwendung von CO₂ als
Arbeitsmedium für Klimaanlage

und

signifikante Verbesserung der Ausbildung von Klima- und
Kältetechnikern an der zukunftsfähigen Demonstrationsanlage

Projektzeitraum: 12/2018 – 11/2021

Projektsumme: rund 240.000 €



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Forschungsprojekt „ZukunftKlima“
Nürnberg, 15.11.2019 | Dr.-Ing. Florian Heberle

Projektbeschreibung

wissenschaftliche Fragestellungen

LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



- Wie sieht ein technisch einfach gehaltenes , aber trotzdem effizientes Anlagendesign aus?
- Wie können reproduzierbare Messungen im Labor für eine Vielzahl von variablen Betriebsparametern durchgeführt werden?
- Wie ist eine geeignete Regelungsstrategie geartet?
- Wie verhält sich die Anlage in Teillast und kann dies mit Hilfe von Simulationsmodellen abgebildet werden?
- Wie sieht die Ökobilanzierung der Anlage im Vergleich zum Einsatz von fluorierten Kältemitteln aus.
- ...



Projektbeschreibung

Arbeitsplan

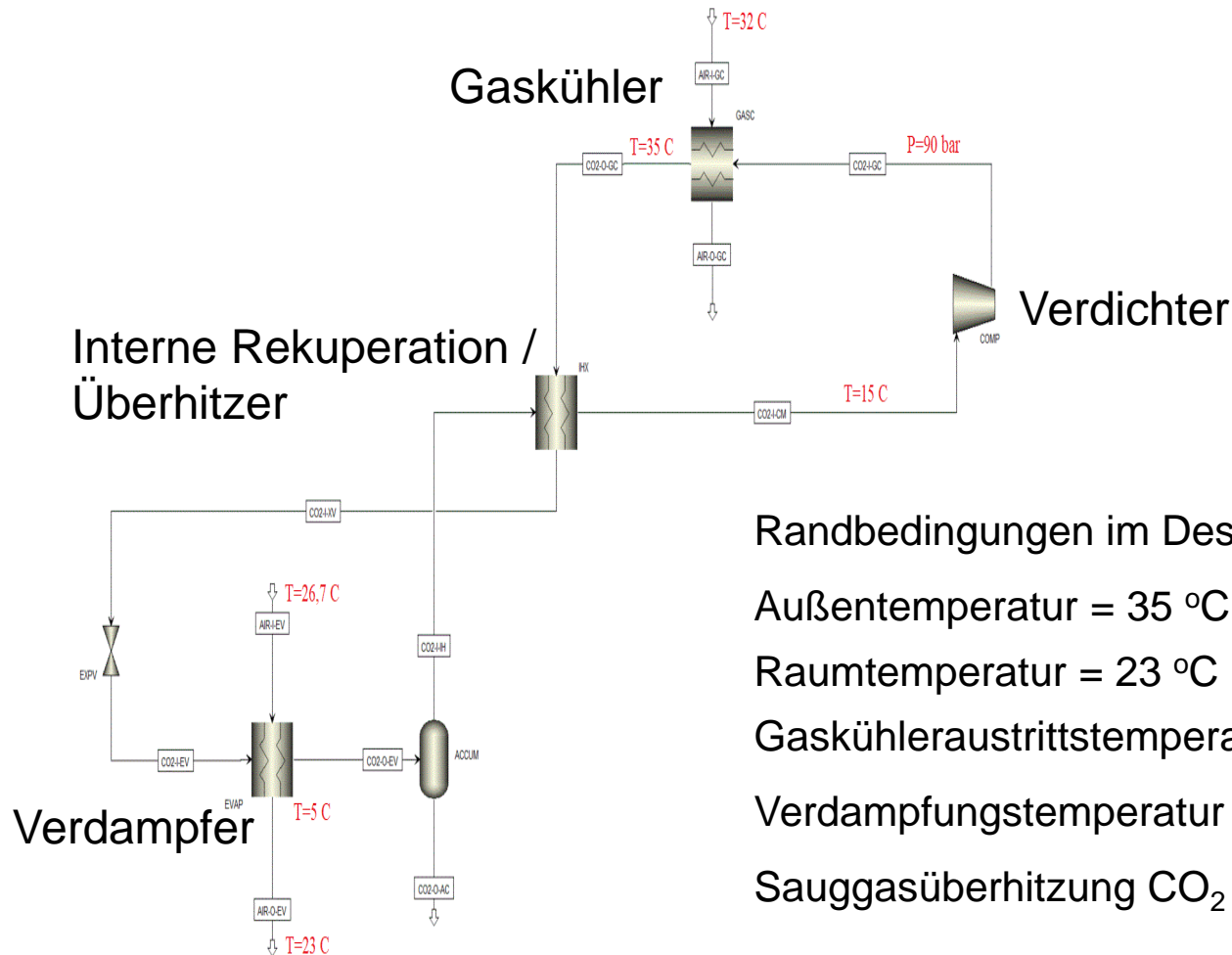
LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



AP	Arbeitspakete	1. Projektjahr												2. Projektjahr												3. Projektjahr																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
1	Konzipierung und Auslegung des Demonstrators																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Konzeption

gewähltes Anlagendesign und Randbedingungen



Randbedingungen im Designfall:

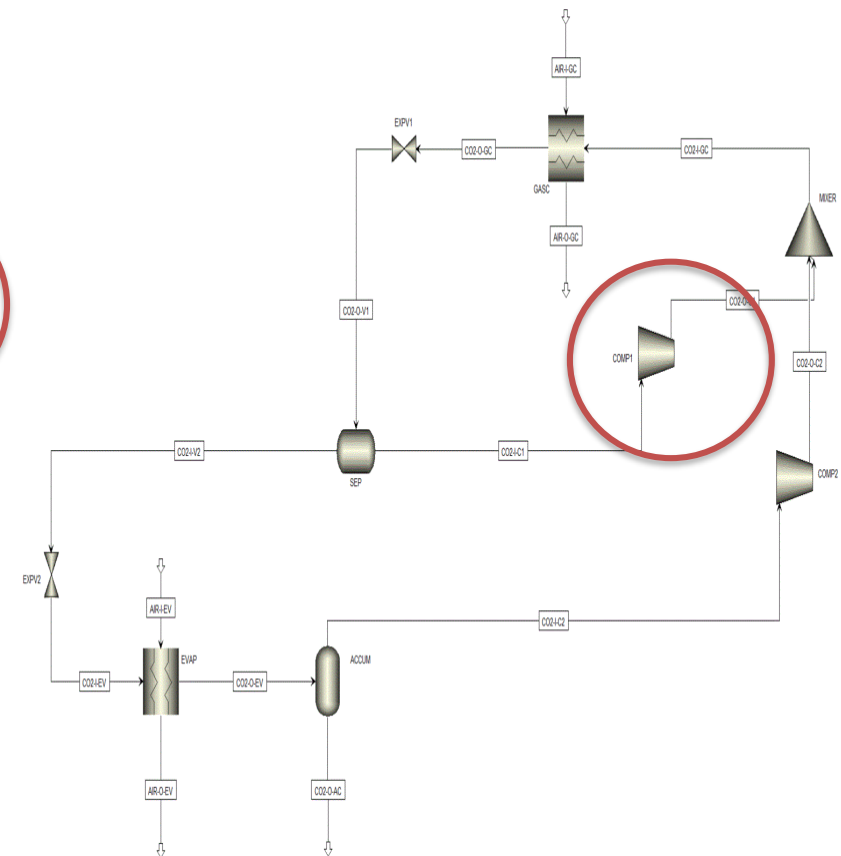
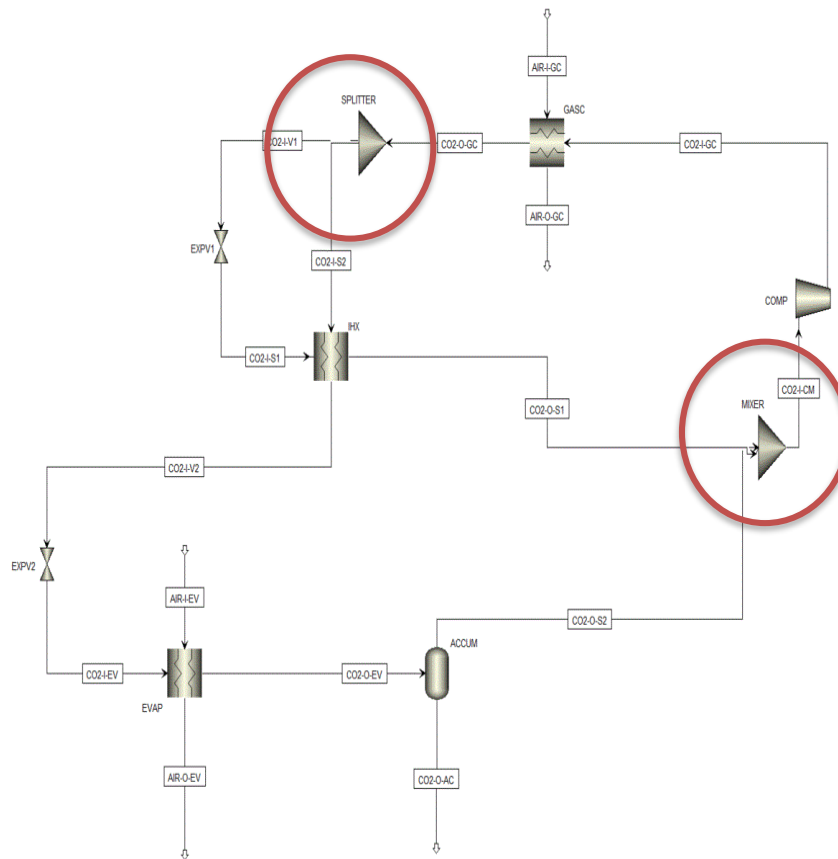
Außentemperatur = 35 °C

Raumtemperatur = 23 °C

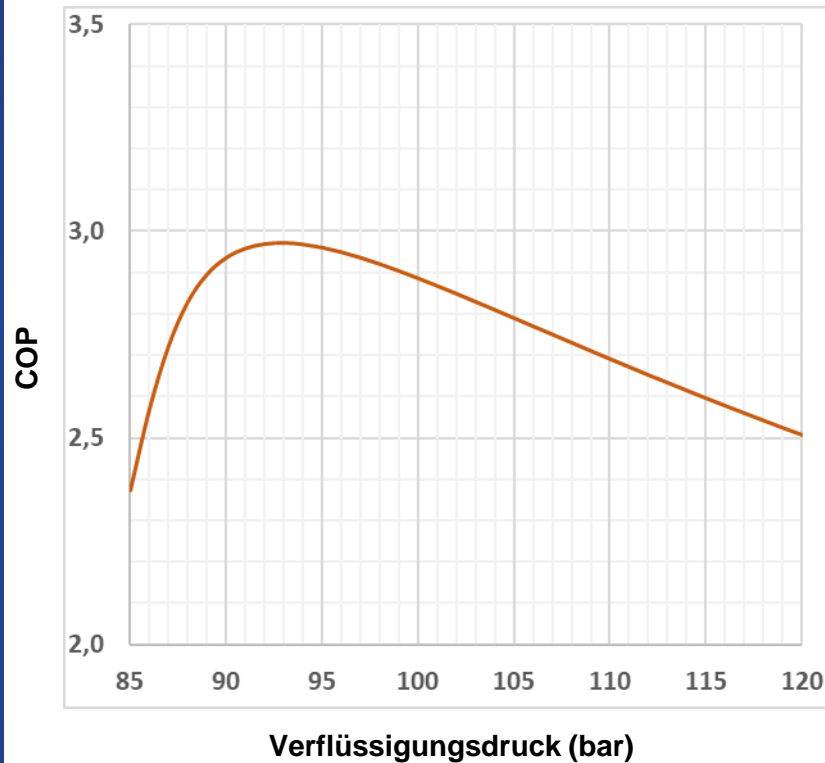
Gaskühleraustrittstemperatur CO₂ = 38 °C

Verdampfungstemperatur CO₂ = 10 °C

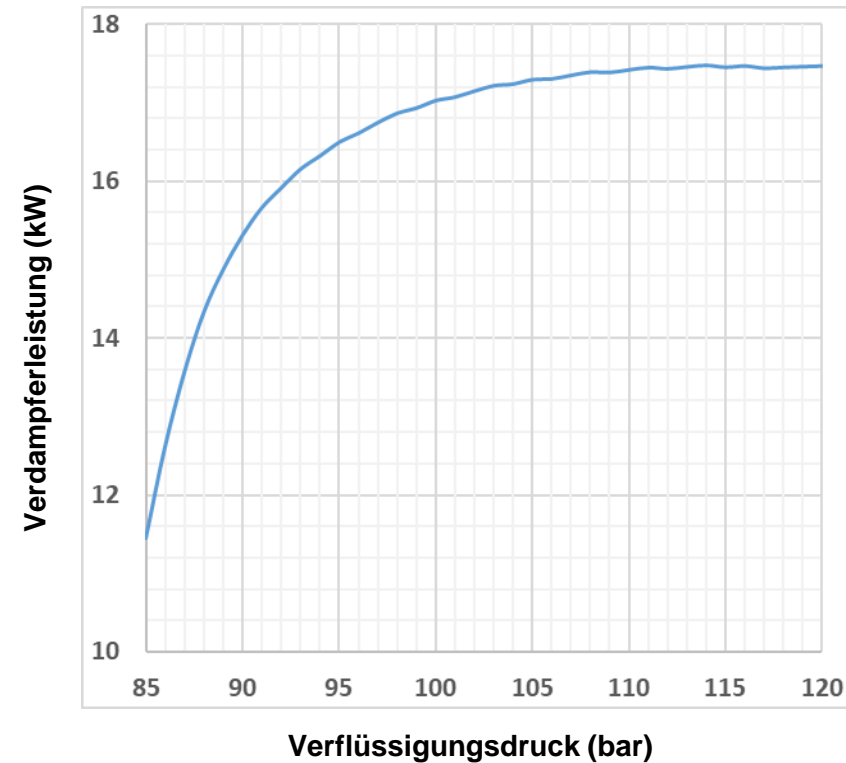
Sauggasüberhitzung CO₂ = 10 K



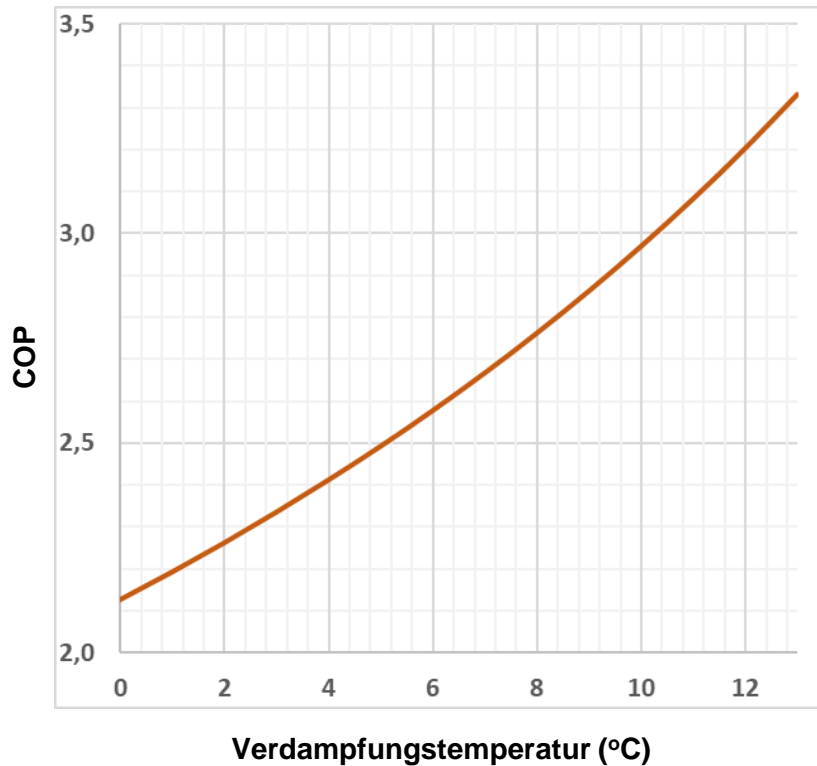
Einfluss des Verflüssigungsdruck auf den COP



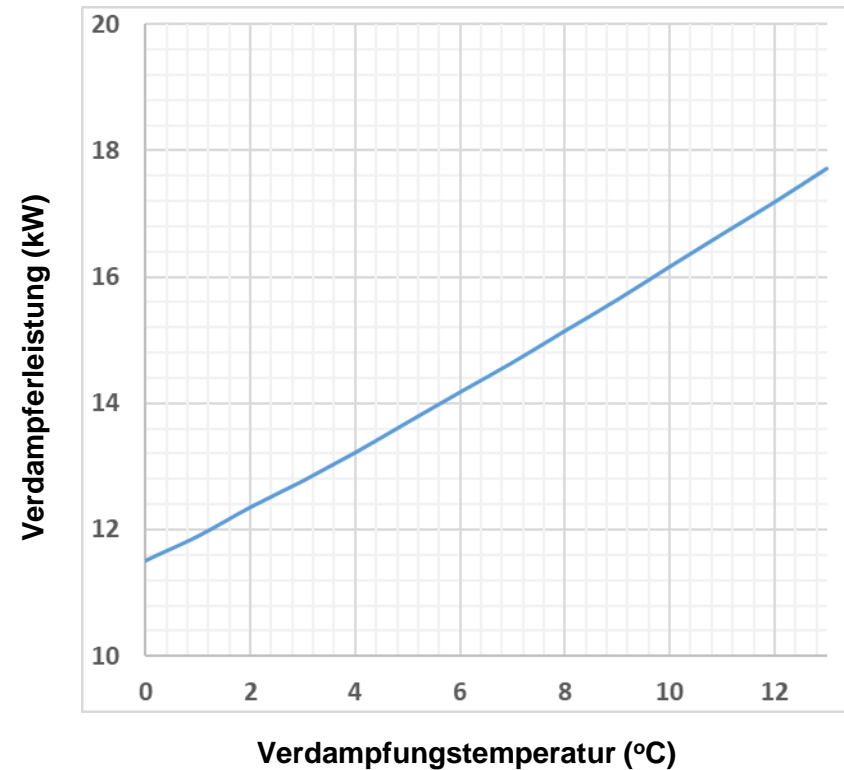
Einfluss des Verflüssigungsdruck auf die Verdampfungsleistung



**Einfluss der Verdampfungstemperatur
auf den COP**



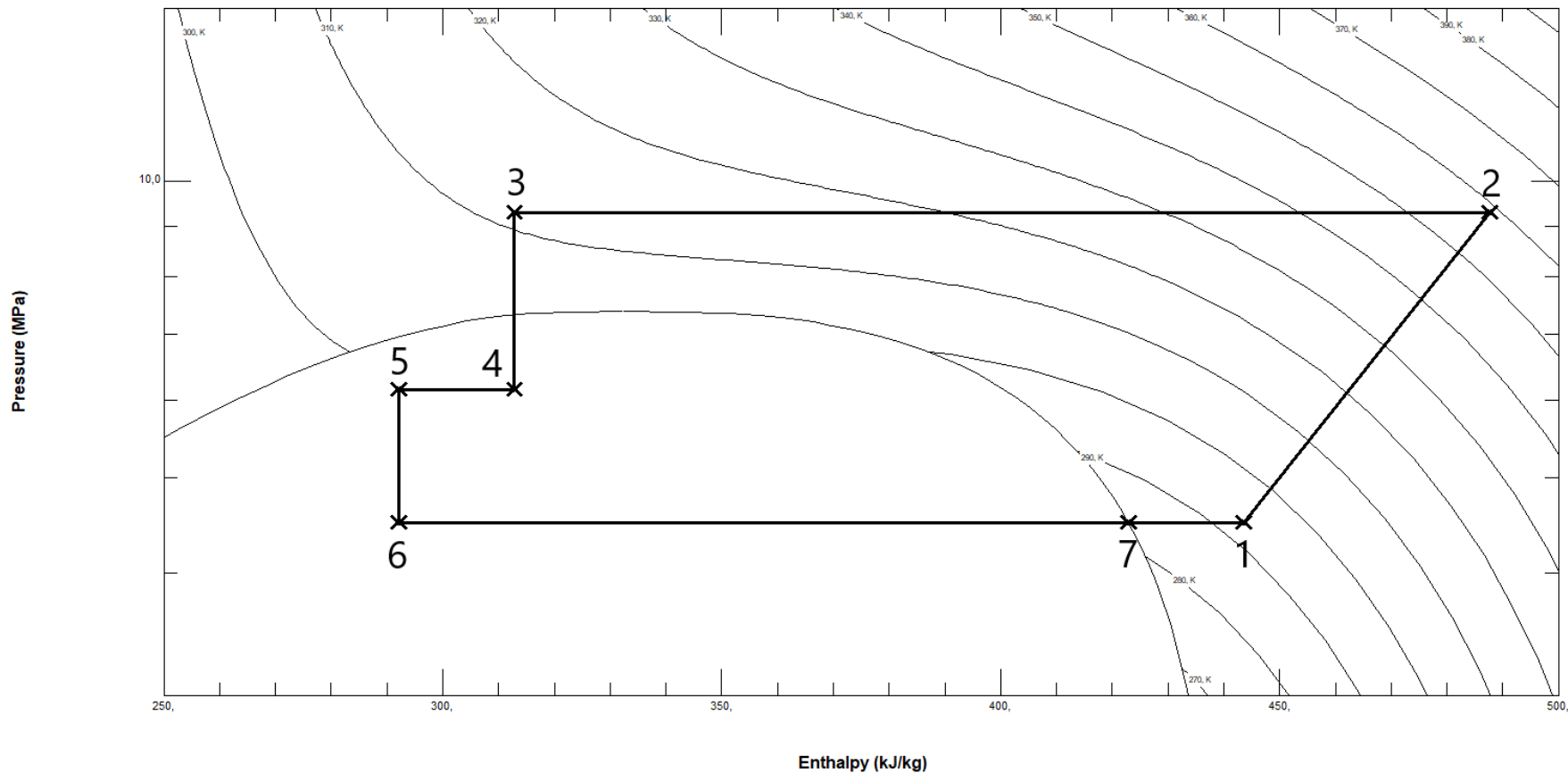
**Einfluss der Verdampfungstemperatur
auf die Verdampfungsleistung**



Konzeption

log p,h -Diagramm

LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



Konzeption

Off-Design Betrachtungen

LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



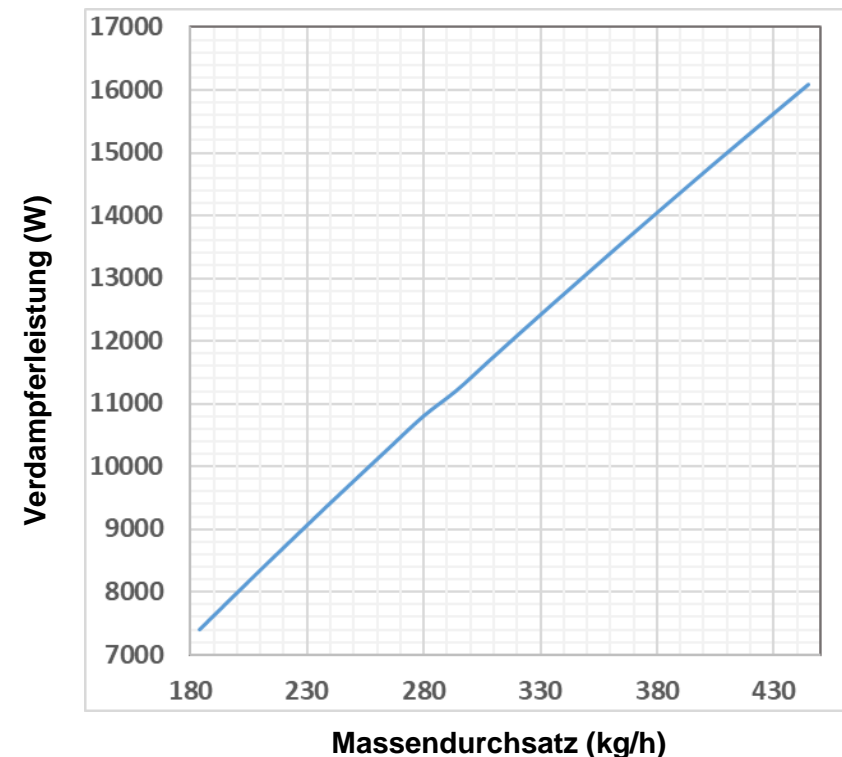
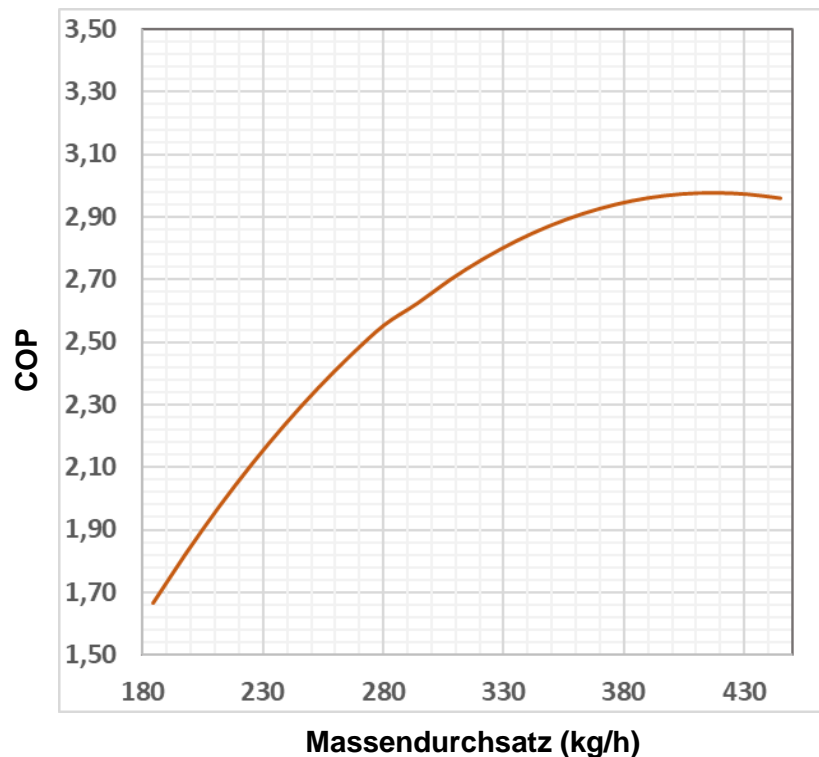
Off-Design Modelle für Wärmeübertrager

$$UA_W = UA_{W,DF} \left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_{DF}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Off-Design Modell des Verdichters

$$VDIM = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_{DP}}$$

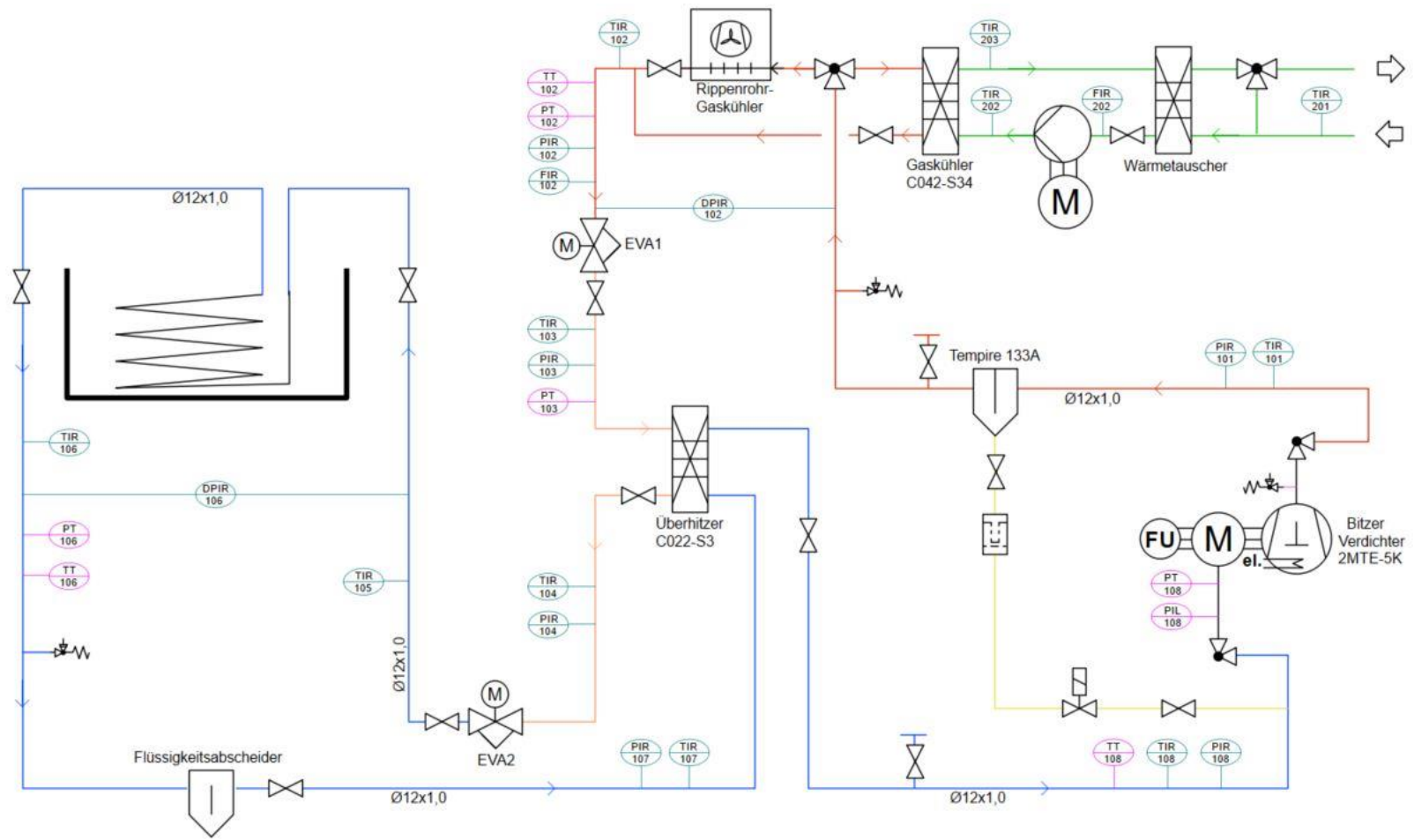
$$SEFF = EN \left[-1.5661 * VDIM^{(2.00)} + 3.0655 * VDIM - 0.4994 \right]$$



Konzeption

Off-Design Betrachtungen

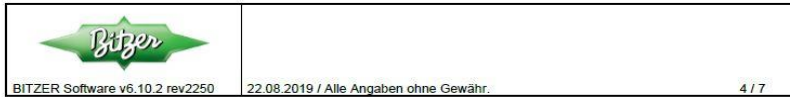
LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



Konzeption

Komponentenbeschaffung

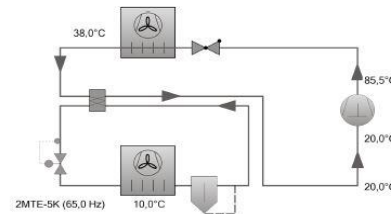
LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



Auslegung: Halbhermetische Hubkolbenverdichter

Vorgabewerte

Verdichtertyp	2MTE-5K
Modus	Kälte- und Klimaanlage
Kältemittel	R744
Bezugstemperatur	Taupunkt
Verdampfung	10,00 °C
Hochdruck	93,0 bar(a)
Gaskühleraustritt	38,0 °C
Sauggasüberhitzung	10,00 K
Betriebsart	Transkritisch
Netzversorgung	400V-3-50Hz
Nutzbare Überhitzung	100%



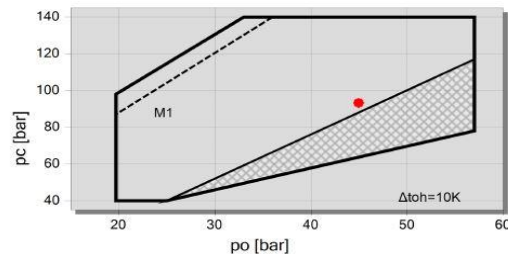
Ergebnis

Verdichter	2MTE-5K-40S
Verdichterfrequenz	65,0 Hz
Kälteleistung	16,15 kW
Verdampferleist.	16,15 kW
Leistungsaufnahme	5,44 kW
Strom (400V)	8,75 A
Gaskühlerleistung	21,6 kW
Leistungszahl	2,97
Massenstrom	445 kg/h
min. Kälteleistung	6,68 kW (30 Hz)
max. Kälteleistung	19,07 kW (75 Hz)
Druckgastemp. Ungekühlt	85,5 °C
Opt. Hochdruck	93,2 bar(a)

Vorläufige Werte.

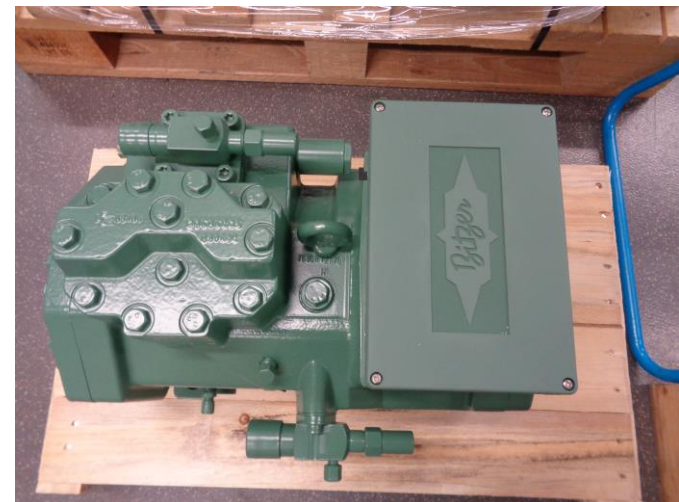
Achtung, Betriebsparameter beachten. Siehe KP-130 oder ggf. Rücksprache mit BITZER.
Leistungsaufnahme am Verdichtereingang

Einsatzgrenzen



Legende

- Betriebsparameter beachten
- M1: Motor 1
- Betrieb oberhalb dieser Linie unzulässig für folgende Verdichter-Modelle: 4PTC
- A





- Zielsetzungen des Projekts „ZukunftKlima“ liegen im Bereich Wissenschaft und Weiterbildung.
- Ein Demonstrator für eine Klimaanlage mit dem Arbeitsmedium CO_2 wird konzipiert, aufgebaut, experimentell betrieben und analysiert.
- Anschließend dient der Demonstrator zur Ausbildung von Klimatechnikern am Beruflichen Schulzentrum in Kulmbach.
- Die Konzeptionsphase ist abgeschlossen und die Bauteile werden derzeit beschafft.



gefördert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



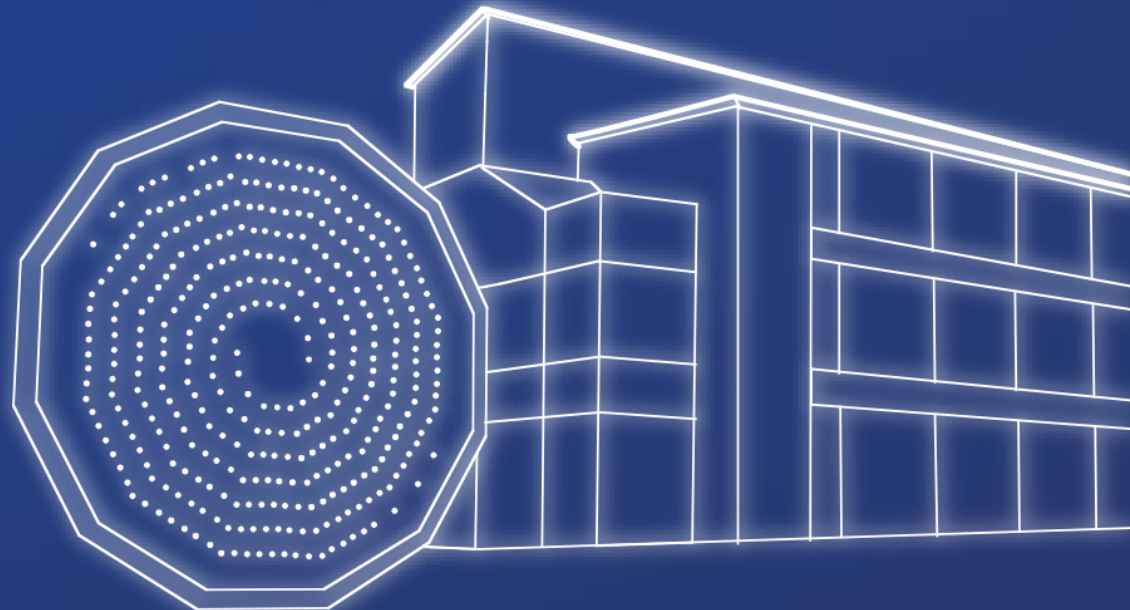
Dr.-Ing. Florian Heberle

Das StMUV-finanzierte Forschungsprojekt „ZukunftKlima“ –

Eine Kooperation der Universität Bayreuth mit dem Beruflichen Schulzentrum Kulmbach

www.lttt.uni-bayreuth.de

Vielen Dank



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Konzeption

Zustandspunkte

LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



Nu.	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
1	293,15	4,5022	116,98	443,58	1,8566
2	358,64	9,3000	189,80	487,59	1,8951
3	311,15	9,3000	614,70	312,86	1,3593
4	296,19	6,1500	408,78	312,86	1,3784
5	296,19	6,1500	511,34	292,16	1,3086
6	283,15	4,5022	306,46	292,16	1,3230
7	283,15	4,5022	135,16	422,89	1,7847

