Technische Universität Braunschweig

institut für thermodynamik ift

Betriebsstrategien für R744-Kälteanlagen mit R718 Unterkühler – Eine optimierungsbasierte Entwicklung

Jana Friese, Andreas Schulte, Florian Hanslik, Wilhelm Tegethoff, Jürgen Köhler

18.11.22, DKV Tagung 2022

Agenda

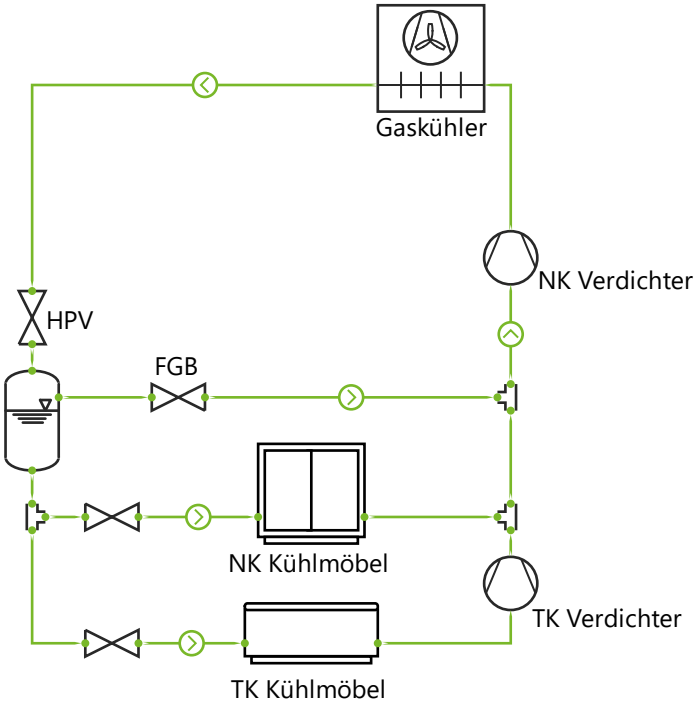
- CO_2-Supermarktkälteanlagen
- Mechanische Unterkühlung
- Modellierung des Anlagenkonzeptes
- Optimierung der Betriebsstrategie
- Ergebnisse
- Ausblick

Supermarktkälteanlagen

- Stand der Technik: CO_2 als Kältemittel in Supermarktkälteanlagen
  - in Europa bedingt durch „F-Gas Verordnung“
  - besonders in gemäßigtem Klima
  - Problematik: Effizienzabnahme bei transkritischen Betrieb

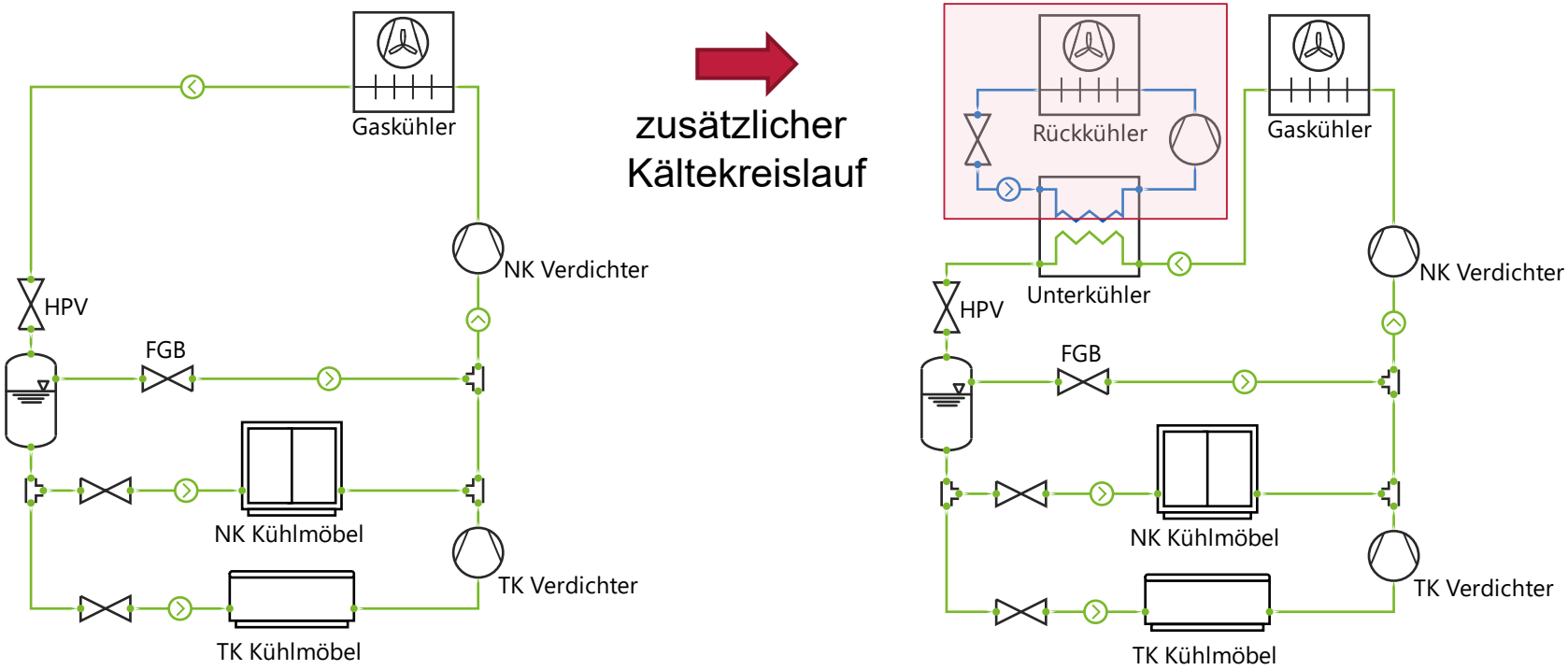
- Technologien zur Steigerung der Effizienz transkritischer CO_2-Anlagen
  - parallele Verdichter
  - Ejektoren
  - mechanische Unterkühlung

Supermarktkälteanlagen – das CO_2-Booster-Schema



- parallele Verdampfung auf zwei verschiedenen Temperaturstufen:
  - NK = Normalkühlung ($T_{0,\mathrm{NK}} = -12\ °\mathrm{C}$)
  - TK = Tiefkühlung ($T_{0,\mathrm{TK}} = -30{,}6\ °\mathrm{C}$)
- Zwei Verdichtungsstufen
- Flashgas (FG) aus Mitteldrucksammler wird über NK-Verdichter auf Hochdruck (HP) angehoben

CO_2-Booster mit mechanische Unterkühlung



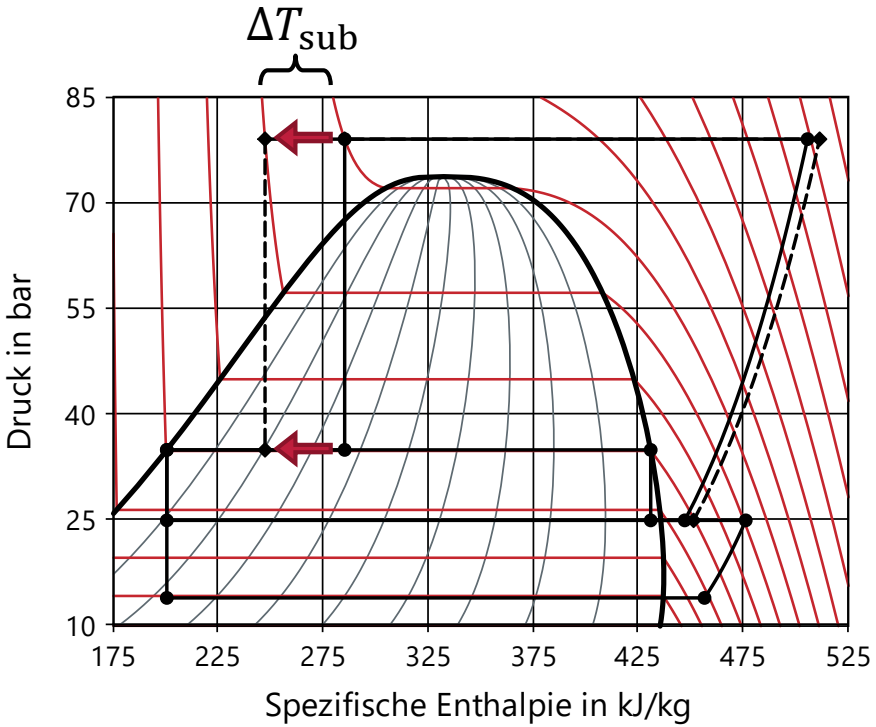
Einführung des Begriffs *Unterkühlung*

Unterkühlung = Temperaturdifferenz des CO_2 über den zusätzlichen Wärmeübertrager

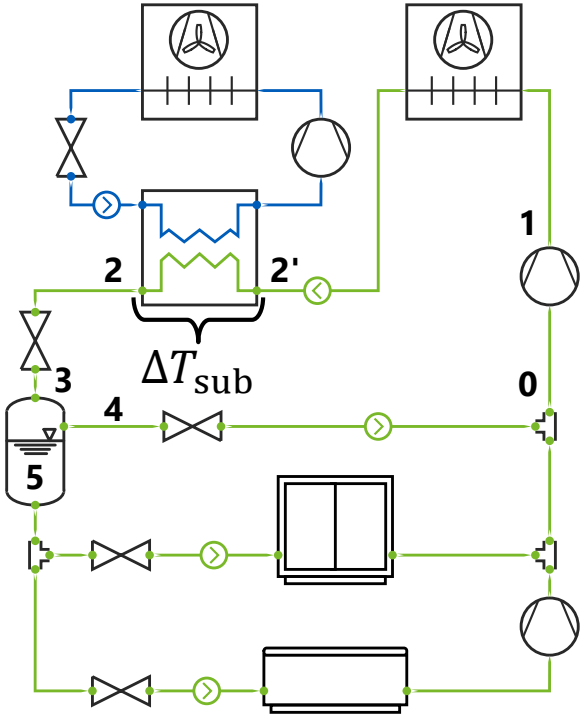
$$\Delta T_{\mathrm{sub}} = T_{\mathrm{sub,ein}} - T_{\mathrm{sub,aus}}$$

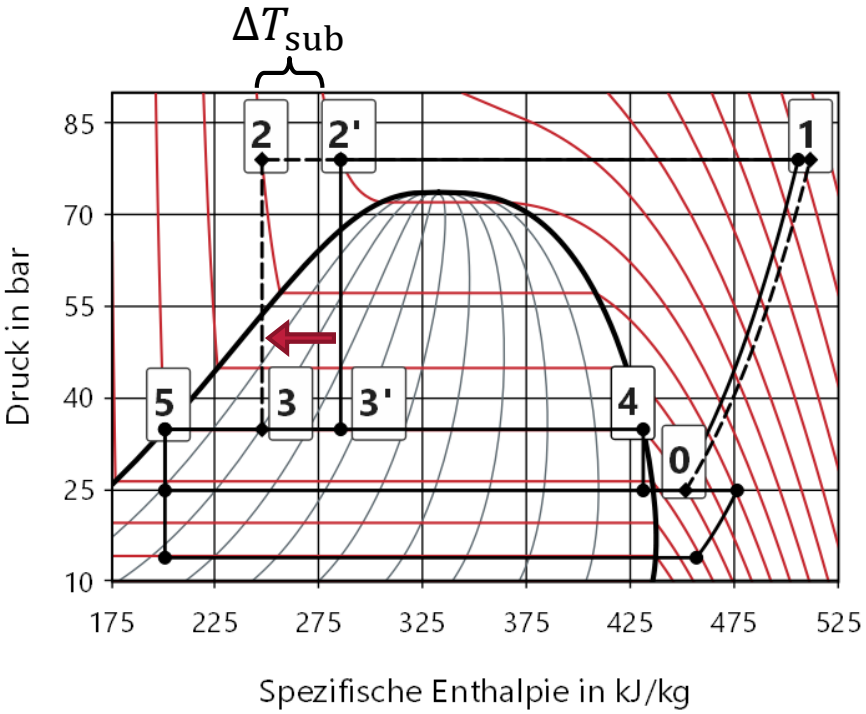
→ hier nur transkritische Prozesse betrachtet

→ CO_2 bei Wärmeabgabe stets überkritisch

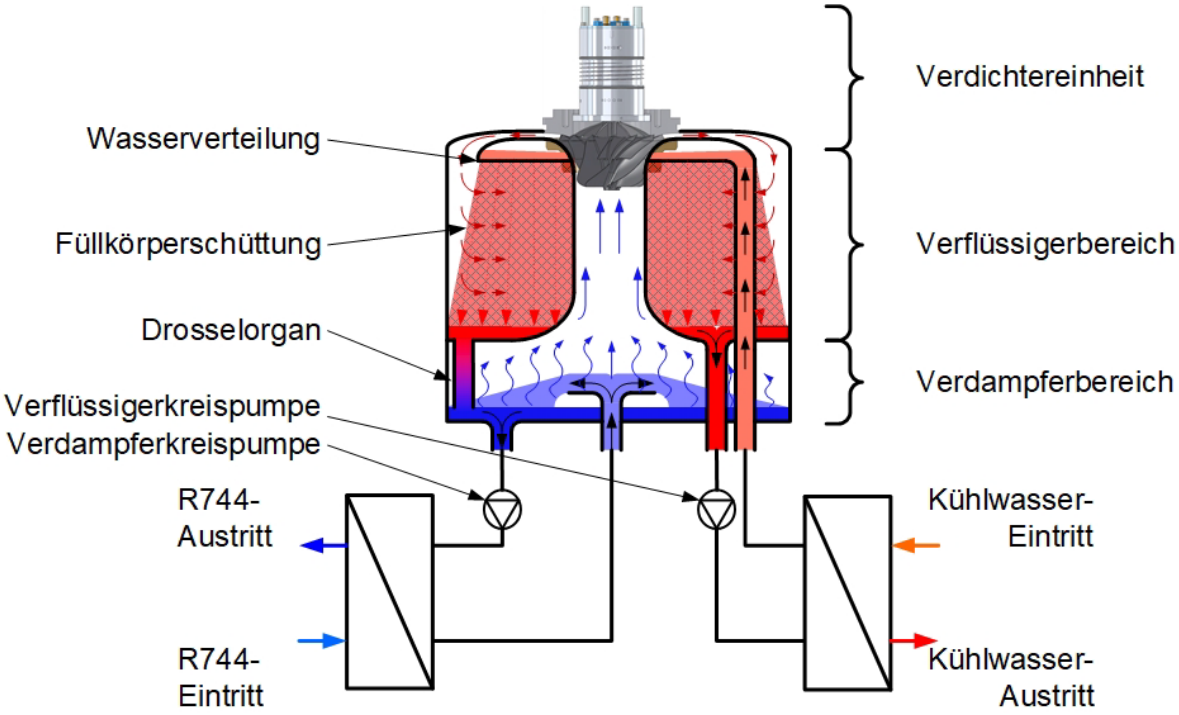


Effizienzsteigerung durch mechanische Unterkühlung





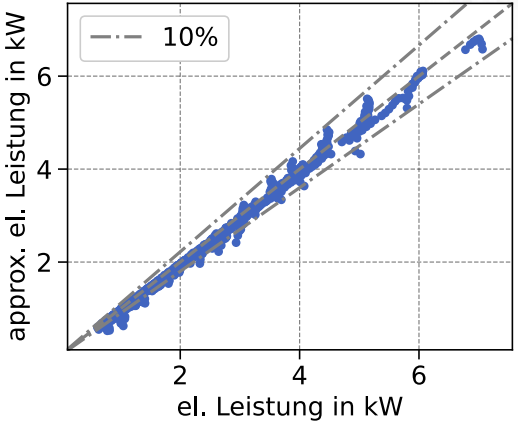
Der *eChiller* der *Efficient Energy GmbH*



Modellierung – R718 Unterkühler: *eChiller*

- kompaktes Design des *eChillers* → im Modell einzelne Komponenten
- tabellenbasiertes Effizienzmodell für Turboverdichter

→ *eChiller*-Modell ist validiert anhand von Versuchs-messdaten mit Wasser als Wärmequelle



Modellierung – Supermarktkälteanlage: Annahmen

- Verdichtereffizienz NK und TK:

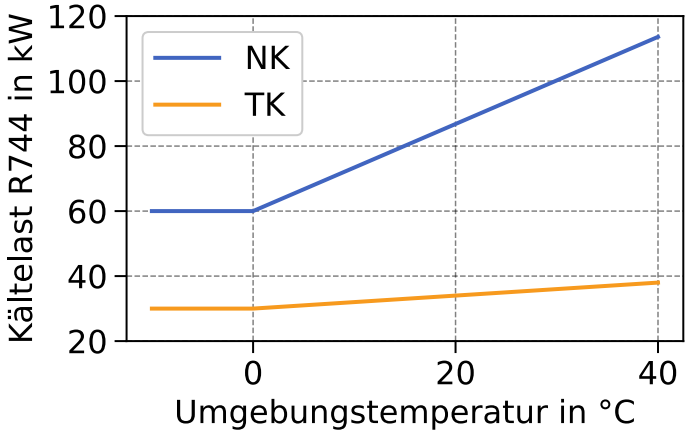
$$\eta_{\mathrm{isen}} = 0{,}9$$

- CO_2-Gaskühleraustrittstemperatur:

$$T_{\mathrm{GC,out}} = T_{\mathrm{a}} + 2\ \mathrm{K}$$

- Referenzhoch = Hochdruckkurve aus Anleitung der Firma Danfoss

→ besonders herausforderndes Szenario



Optimierung

stationäre Optimierung bei Umgebungstemperaturen von 28 °C bis 38 °C

Ziel der Optimierung:

$$\max COP = \frac{|\dot{Q}|}{W} = \frac{|\dot{Q}_{\mathrm{NK}}| + |\dot{Q}_{\mathrm{TK}}|}{P_{\mathrm{NK}} + P_{\mathrm{TK}} + P_{\mathrm{e}Chiller}}$$

festgelegt

beeinflussbar

→ Zustand bei Eintritt in den Mitteldrucksammler

- Hochdruck
- Unterkühlung ΔT_{sub}

} mögliche Optimierungsparameter

- CO_2-Gaskühleraustrittstemperatur $T_{\mathrm{GC,out}}$ → festgelegt

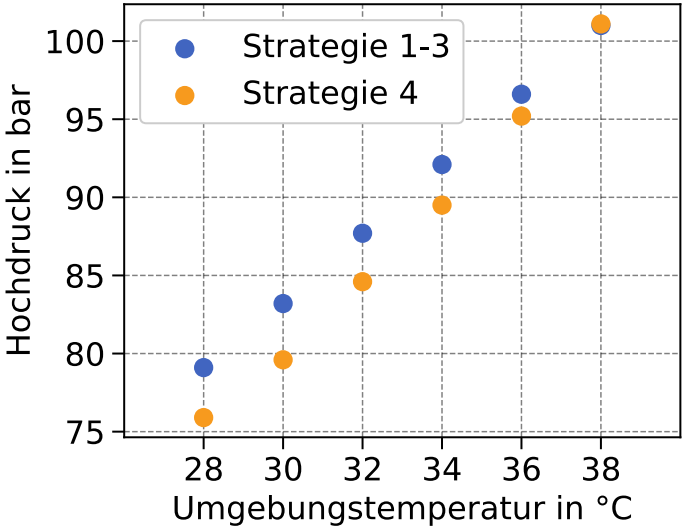
Untersuchte Betriebsstrategien

Strategie 1
- Referenzhochdruck
- 5 K Unterkühlung

Strategie 2
- Referenzhochdruck
- 10 K Unterkühlung

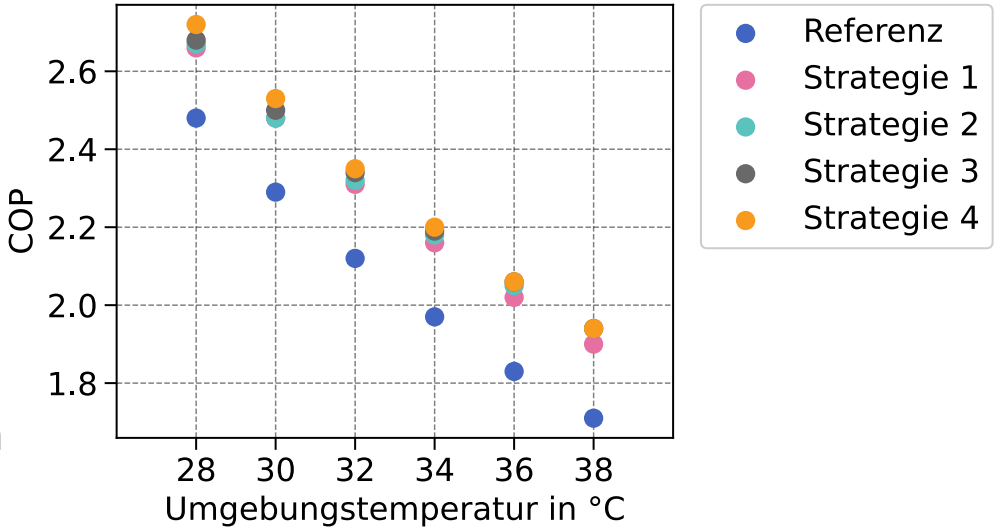
Strategie 3
- Referenzhochdruck
- optimierte Unterkühlung

Strategie 4
- optimierter Hochdruck
- optimierte Unterkühlung

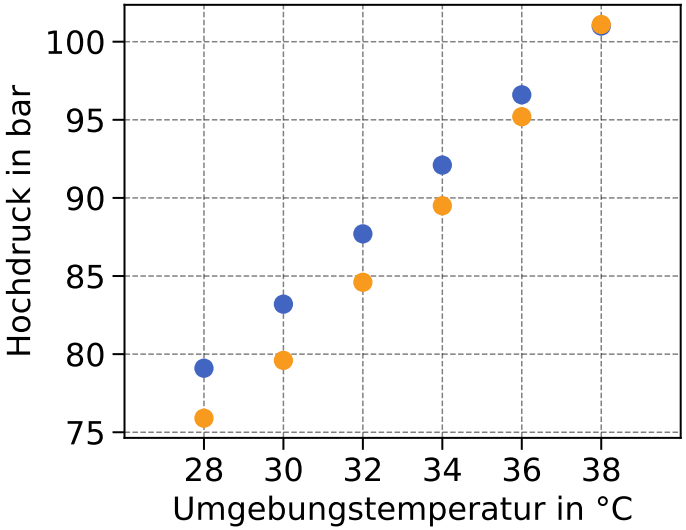


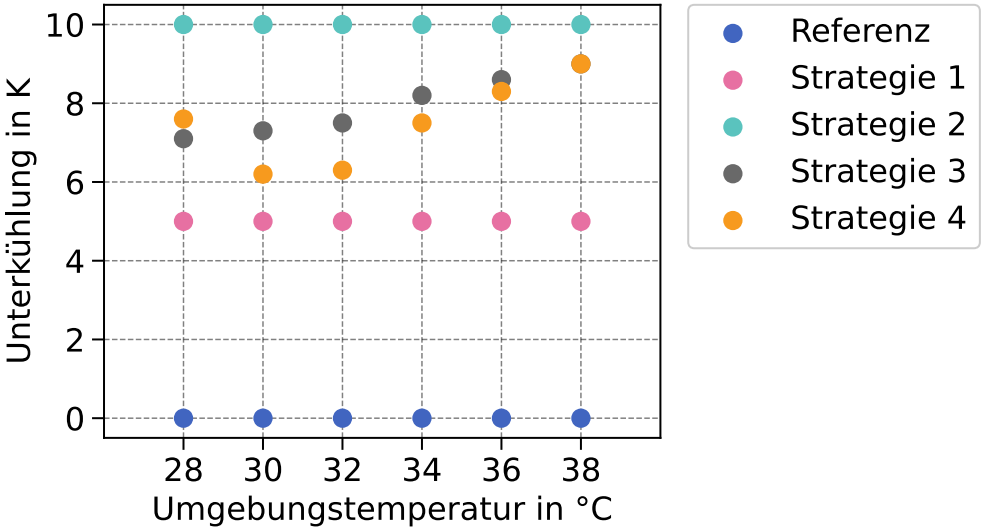
Bewertung der Betriebsstrategien

- Steigerung des COP
  - min. 7 % bei 28 °C
  - max. 13,7 % bei 38 °C
- Strategien unterscheiden sich nur um max. 2,5 %-Punkte
- Ergebnisse von Strategie 2-4 nähern sich mit steigender Temperatur an

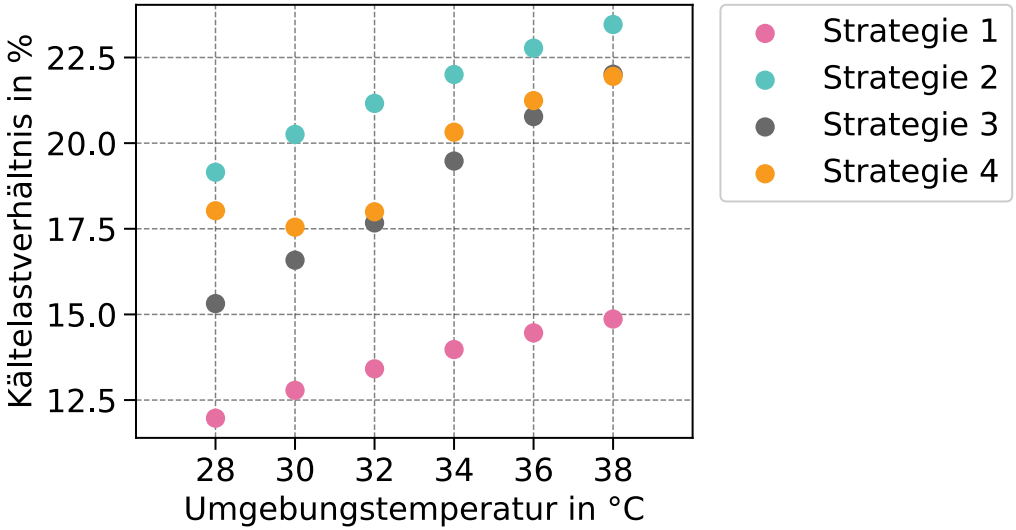


Vergleich der Betriebsstrategien

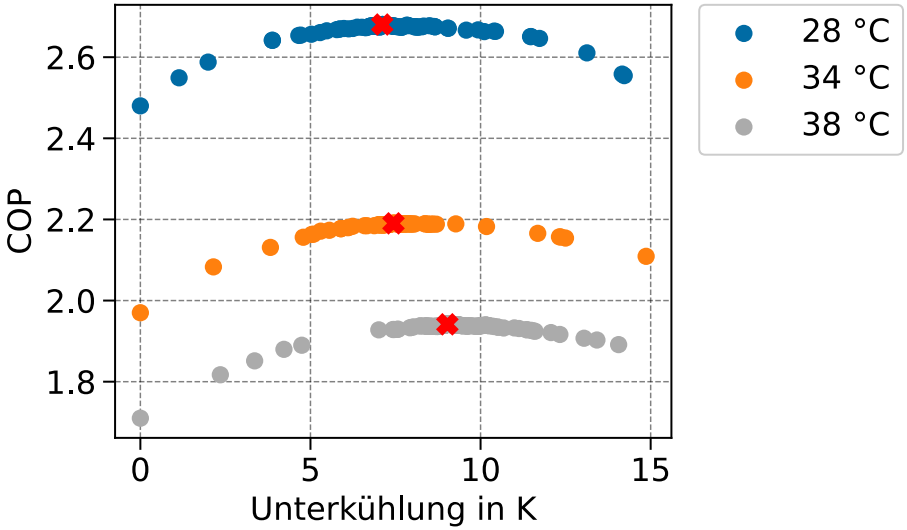




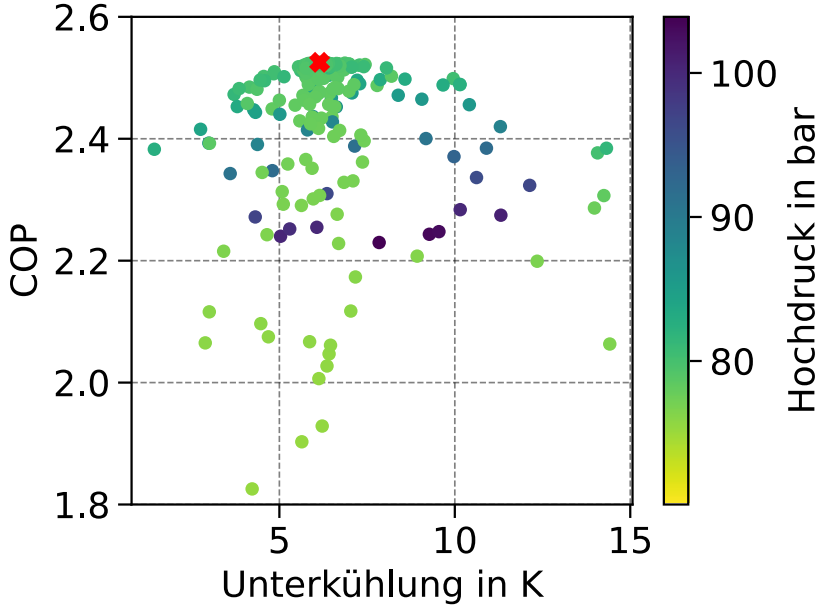
Verhältnis Kältelast R718/ Gesamtkältelast R744

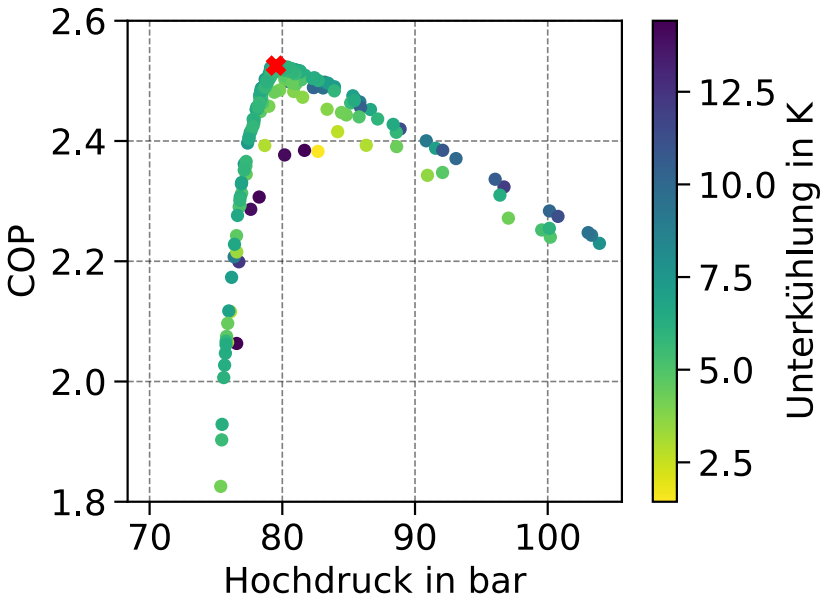


Strategie 3 - COP über Unterkühlung bei Referenzhochdruck



Strategie 4 - COP über Unterkühlung und Hochdruck





Zusammenfassung

- Simulationsmodells einer CO_2-Supermarktkälteanlage mit mechanischer Unterkühlung durch den *eChiller* (R718-Kälteanlage)
- Untersuchung verschiedener Betriebsstrategien mit und ohne optimierte Parameter
- Effizienzsteigerung bis zu 13,7%

Ausblick

- Modellanpassung an echte Supermarktkälteanlage

→ Validierung mit Messdaten

- Bestimmung Betriebsstrategie für das angepasste Modell
- Erprobung der Betriebsstrategie im Supermarkt

→ Verifizierung der Energieeinsparungen

Ende

Jana Friese
ja.friese@tu-braunschweig.de

Florian Hanslik
florian.hanslik@efficient-energy.de

Wilhelm Tegethoff
w.tegethoff@tu-braunschweig.de

Efficient Energy

institut für thermodynamik ift

KAWAS
(FKZ: 03EN20149A-B)

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages