

CO₂ Systeme auf Höchstleistung

Simulation als Motor für industrielle Wärme- und Kältetechnik

Dr.-Ing. Matthias Henninger



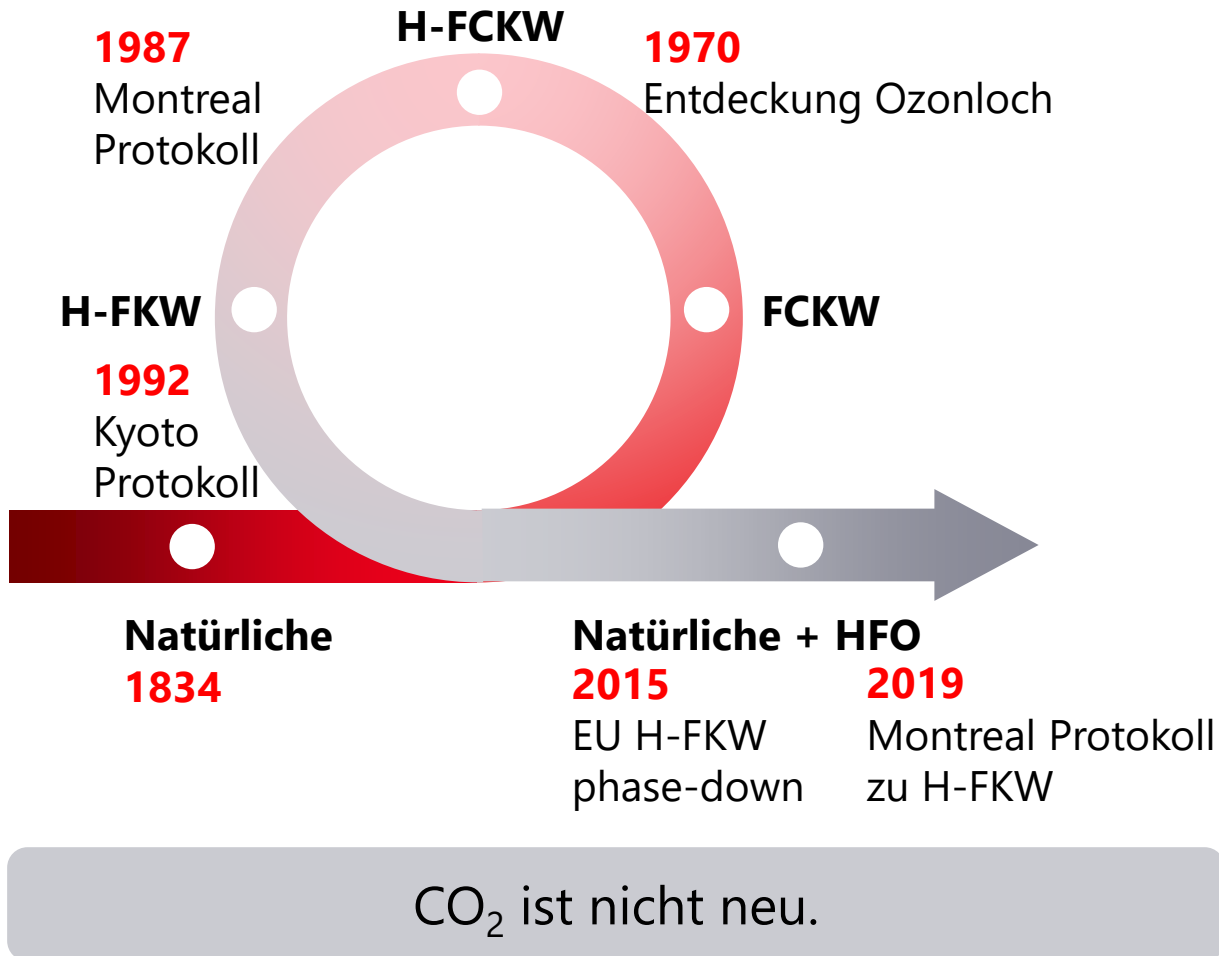


Agenda

Danfoss Simulationsteam

- Warum CO₂ als Kältemittel?
- Systemsimulation beim Komponentenhersteller?
- Fallbeispiele industrielle Wärme- und Kältetechnik

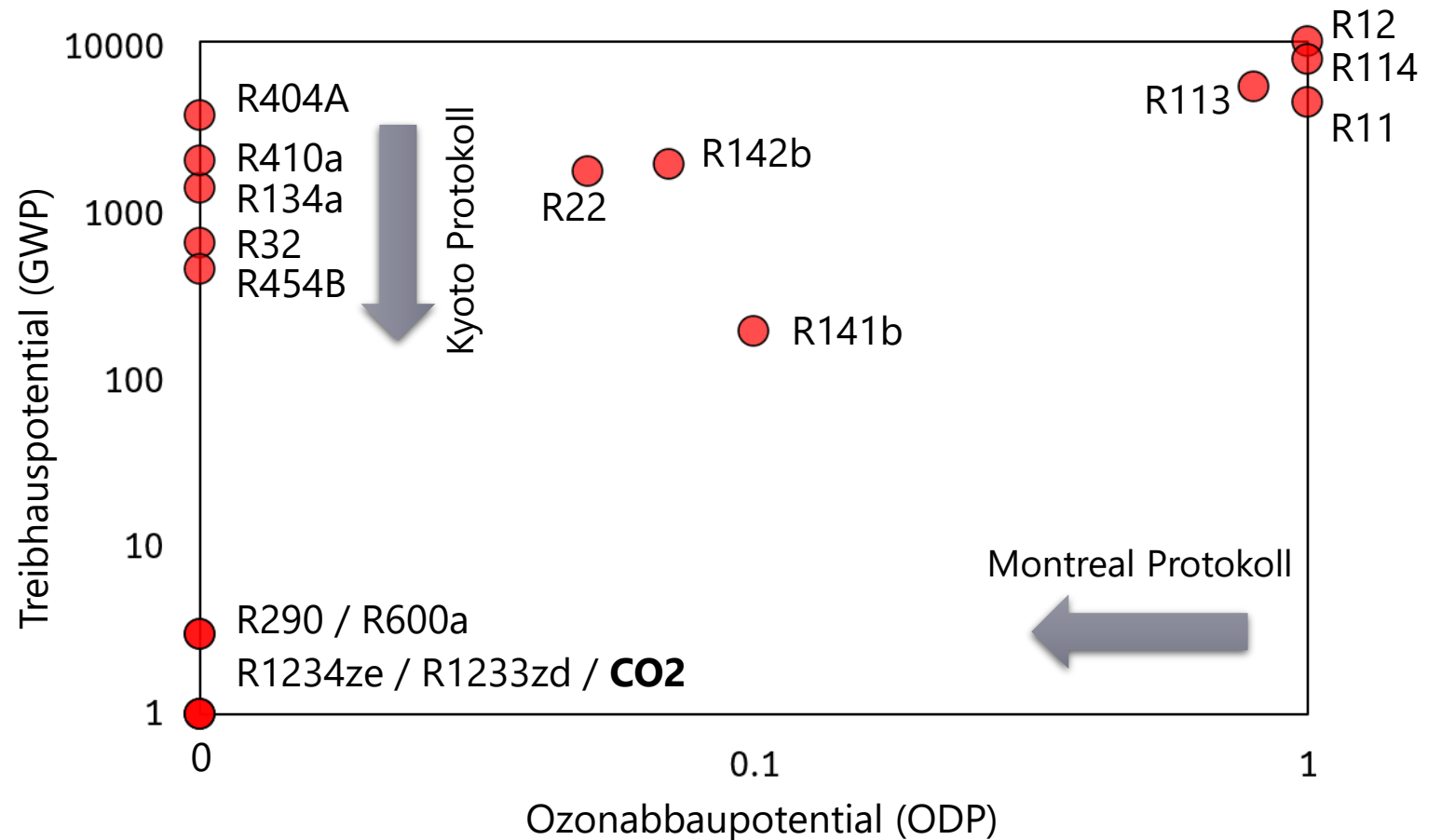
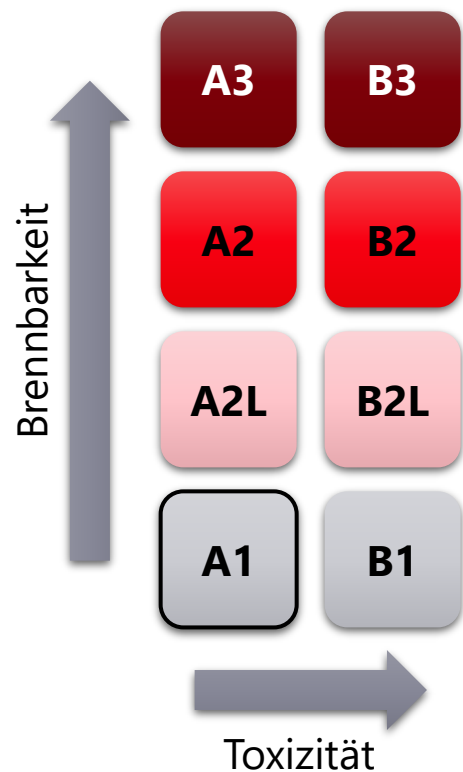
Kältemittel über **190** Jahre



-  Die 4. große Transformation läuft.
-  Sicherheit ist der qualifizierende Faktor.
-  Energieeffizienz ist der kritische Faktor.
-  Regulatorische Bedingungen sind der antreibende Faktor.

ASHRAE 34, Treibhaus- und Ozonabbaupotential

CO₂ im Vergleich



CO₂ ist nicht entflammbar, nicht toxisch, hat kein ODP und ein GWP von 1.

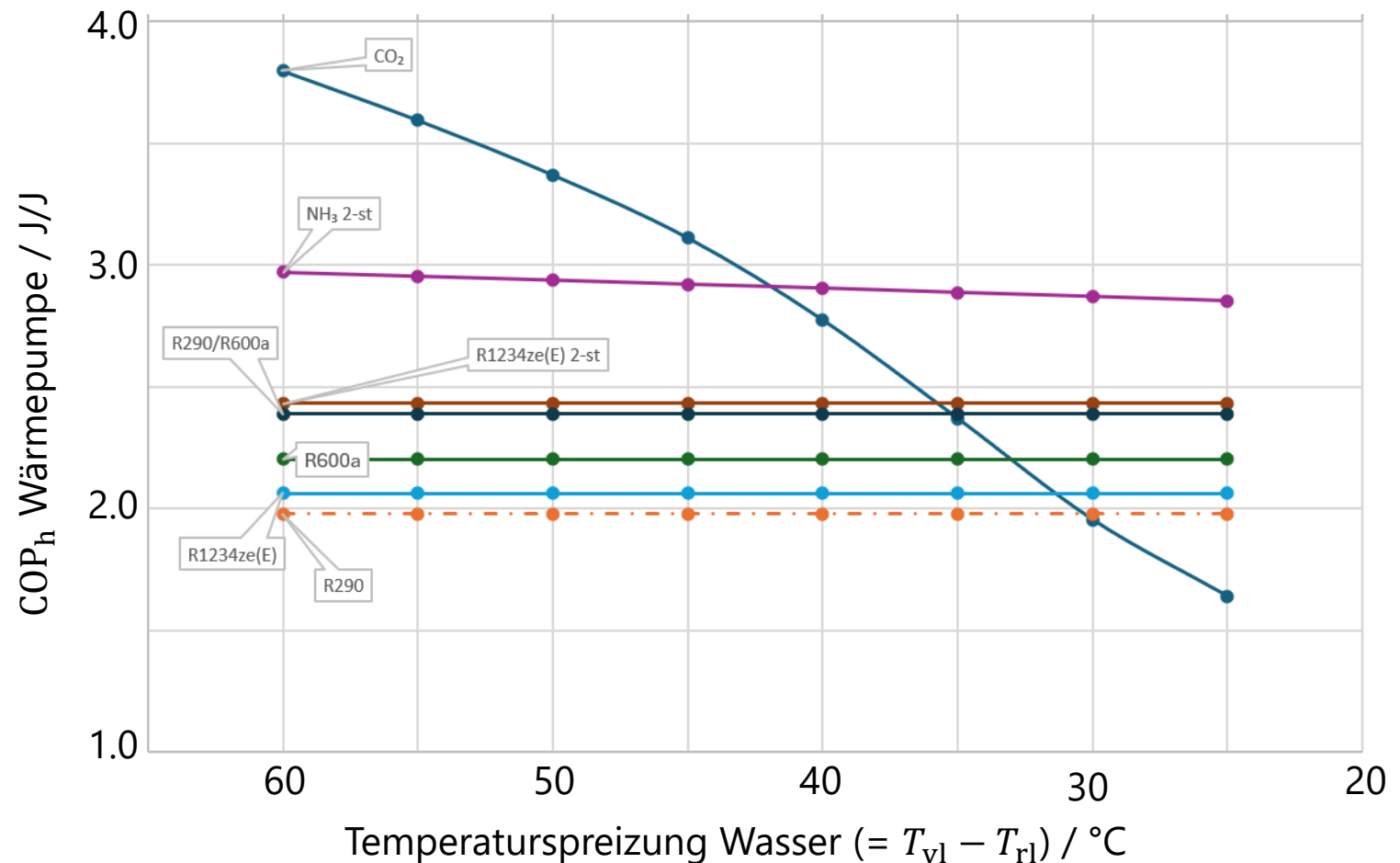
Was ist so besonders an CO₂?

Luft-Wasser Wärmepumpe – Temperaturspreizung

Annahmen

- Umgebungstemperatur $T_u = 5\text{ °C}$
- $T_u - T_{\text{Verdampfer}}^{\text{sat}} = 10\text{ K}$
- Vorlauftemperatur $T_{\text{vl}} = 80\text{ °C}$
- CO₂ Gaskühlerdruck $p_{\text{gk}} = 110\text{ bar}$
- Transkritisches CO₂ System
 - Layout mit parallelen Kompressoren
 - Interner Wärmeübertrager
 - Hochdruck-Ejektor

CO₂ ist sehr sensibel bzgl. der Temperaturspreizung bzw. Rücklauftemperatur.



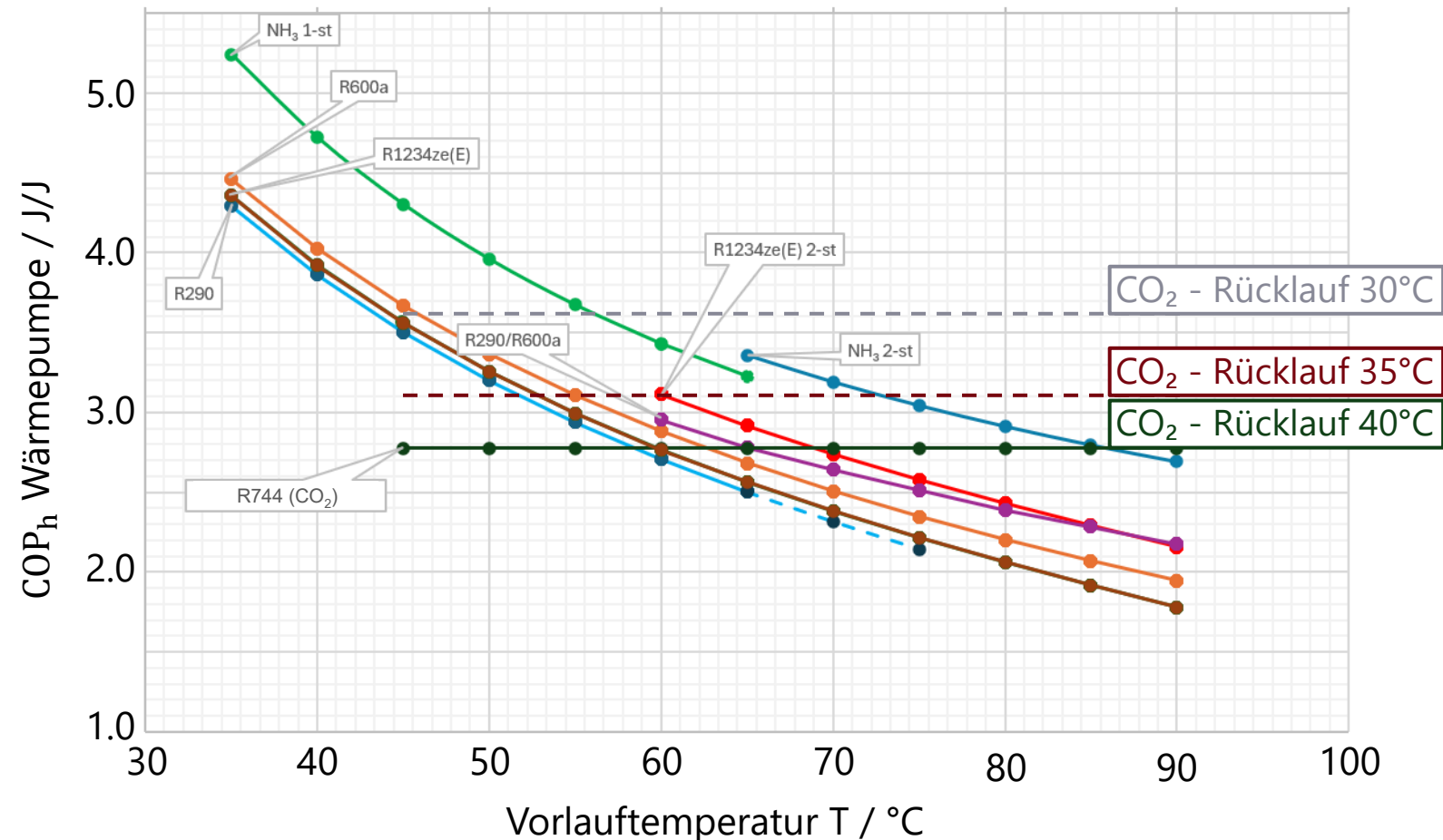
Was ist so besonders an CO₂?

Luft-Wasser Wärmepumpe – Vorlauftemperatur

Bonuspunkte für CO₂

- Hohe volumetrische Kapazität (kJ/m³)
 - Sattdampf mit hoher Dichte
 - Geringes Hubvolumen nötig
 - Gute Wärmeübertragung
 - Hohe Wärmeleitfähigkeit
 - Niedrige Viskosität in der Flüssigkeit
 - Kein isothermes Plateau im Gaskühler
- Kleine Komponenten

CO₂ ist nicht sensibel bzgl. der Vorlauftemperatur.





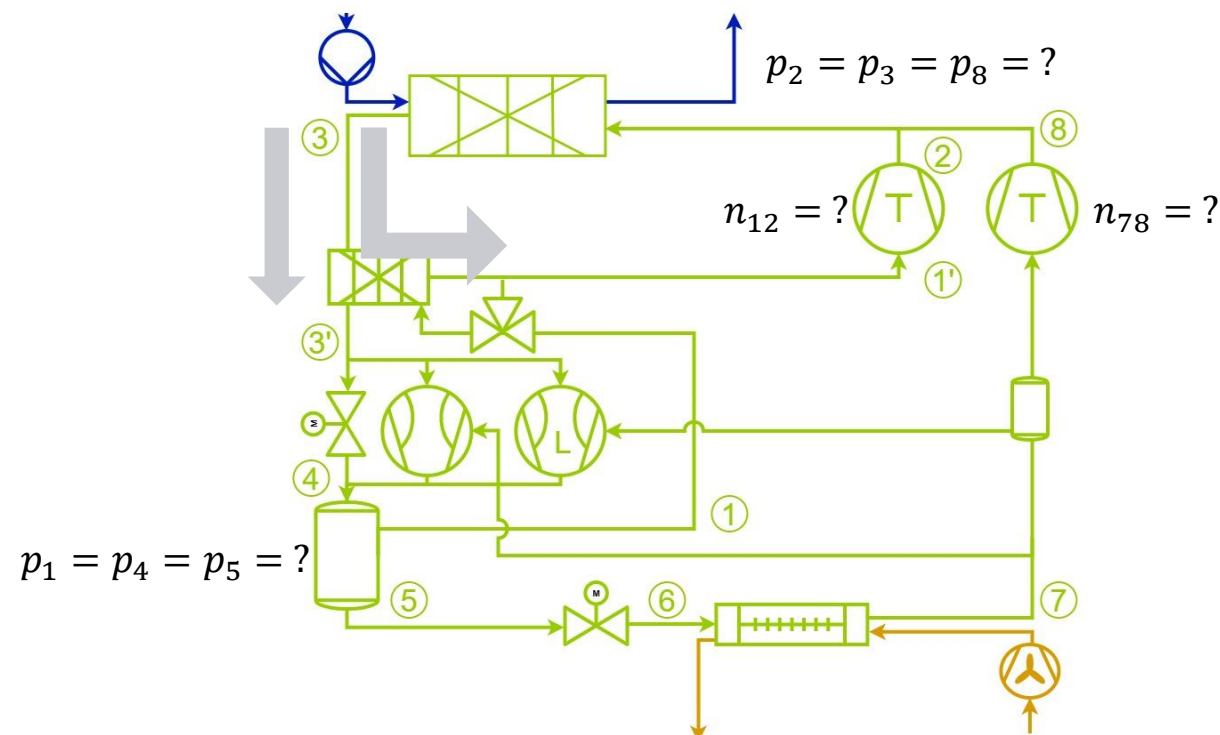
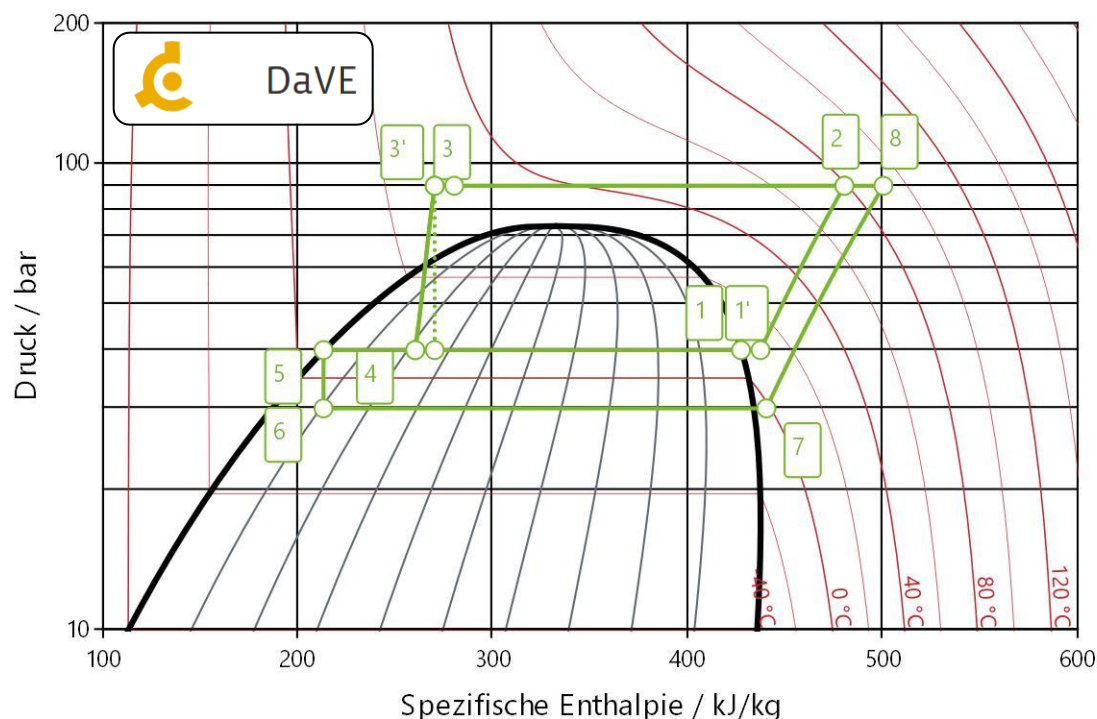
Agenda

Danfoss Simulationsteam

- Warum CO₂ als Kältemittel?
- Systemsimulation beim Komponentenhersteller?
- Fallbeispiele industrielle Wärme- und Kältetechnik

Warum dynamische Simulation?

Industrielle CO₂-Wärmepumpen als lohnender Anwendungsfall



1. Simulation lohnt sich insbesondere für komplexe Systeme mit vielen Freiheitsgraden.
2. Selbst kleine COP-Zugewinne sind bei großen Anlagen oft wirtschaftlich.

Danfoss Systemsimulation

Beispiel



Plattenwärmeübertrager:
 $\dot{Q}, \dot{m}_{\text{Kältemittel}}, \dot{m}_{\text{Luft}}, \Delta p, \Delta T$

Pumpe: $\dot{m}_{\text{cool}}, P$

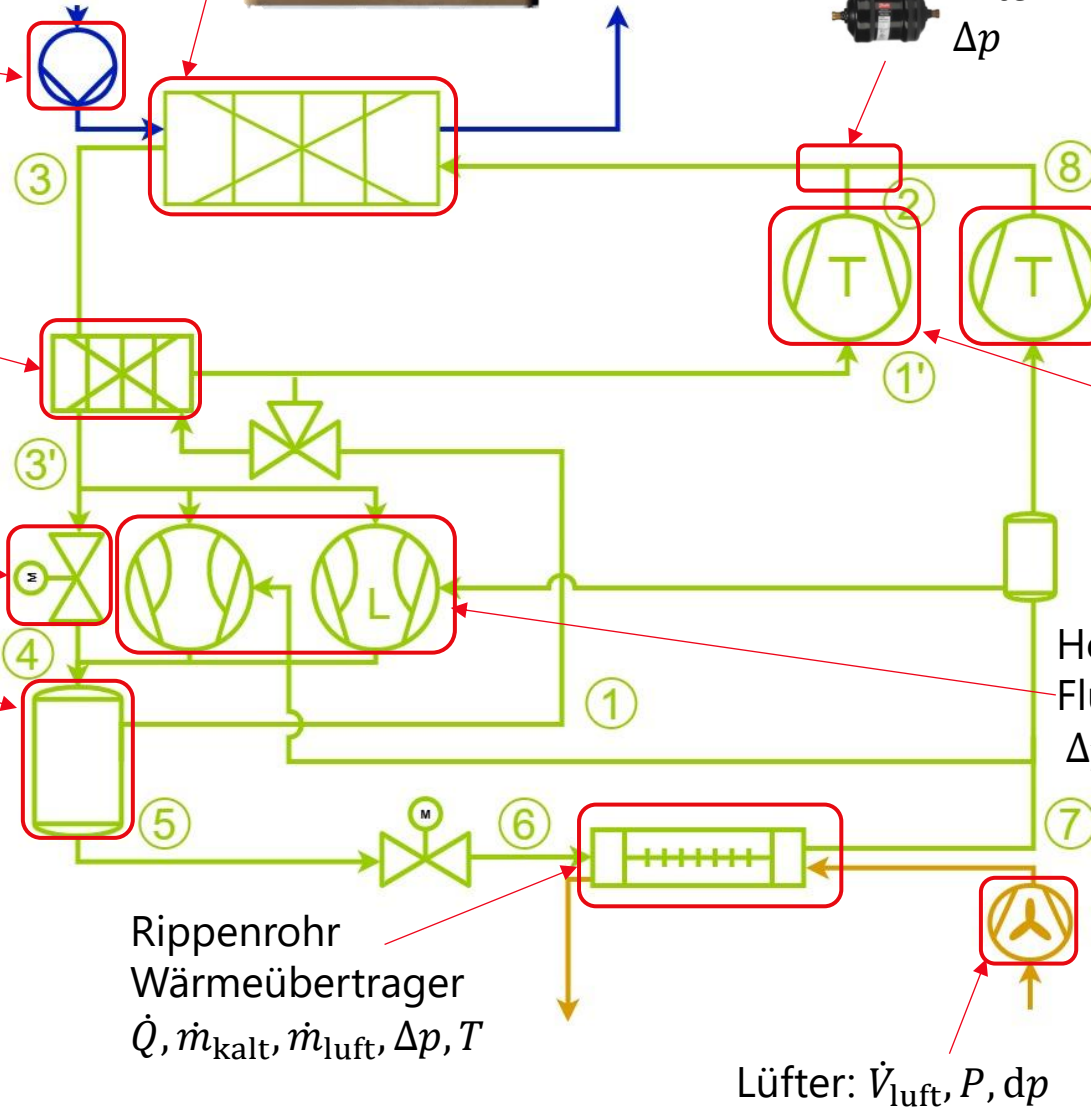
Interner Wärme-
 übertrager: $\dot{Q}, \Delta p, T$



Elektronisches
 Expansionsventil
 Überhitzung, Kapazität,
 Öffnungsgrad

Tank
 Füllstand

Auch als
 Komponentenhersteller
 braucht es Systemverständnis.



Filter
 Δp



Controller
 &
 Kompressoren mit
 Frequenzumrichter:
 $P, \Delta p, T, \eta_{\text{vol}}, \eta_{\text{is}}, f$



Hochdruck- und
 Flüssigejektoren:
 $\Delta p, \Delta T, \eta, ER$



Rippenrohr
 Wärmeübertrager
 $\dot{Q}, \dot{m}_{\text{kalt}}, \dot{m}_{\text{Luft}}, \Delta p, T$

Lüfter: $\dot{V}_{\text{Luft}}, P, dp$

Unsere internen Danfoss Simulationsbibliotheken



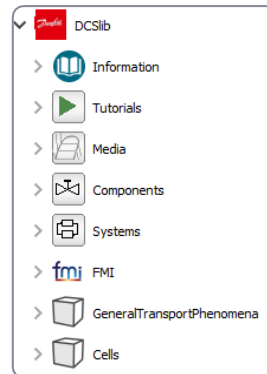
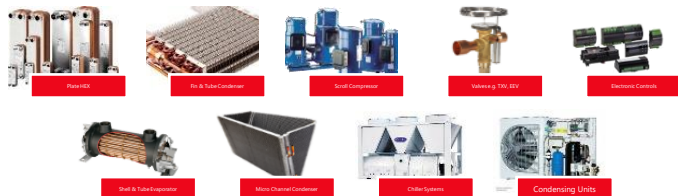
DCSLib



TIL Suite

Komponentenbibliothek Danfoss Climate
Solutions Library

- Beinhaltet die meisten Danfoss Komponenten
- Controller Testing
- Reduzierung von physischen Testzeiten
- Kollaboration zwischen den Produktlinien
- Beiträge vieler Experten
- Gespeichert via git



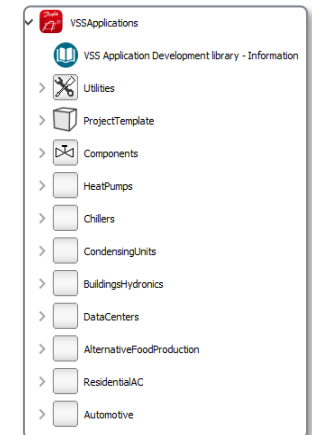
VSSApplication



TIL Suite

Systembibliothek verschiedener Projekte

- Beispiele verfügbarer Systemmodelle
 - Wärmepumpen
 - Hydraulische Systeme
 - Klimaanlage
 - Verflüssigungssätze
 - Rechenzentren
 - Vertikale Landwirtschaft
- Kontinuierliche Entwicklung
- Gespeichert via git



Danfoss agiert auf dem Stand der Technik und bietet Kunden Systemsimulationen an.

Advanced System Simulations Service (A3S)

Kundenprojekte



Beschleunigung

Zeitersparnis durch virtuelles Testen



Kostensenkung

Ressourcen sparen – Labor- und Mannstunden



Optimierung

Kapazität, Wirkungsgrad und Füllmenge



Sicheres Invest

Komponentenauswahl, Einsatzgrenzen prüfen

Input

- Layout
- Hauptkomponenten
- Controllerlogik
- Luft-/Wasserzustände



Output

- Heiz-/Kühlleistung
- Elektrische Leistung der Hauptkomponenten
- Alle Zustandspunkte
- Analyse und Empfehlungen

Kundenprojekte helfen die Diskussion von Vertrieb auf Technologie zu lenken.



Agenda

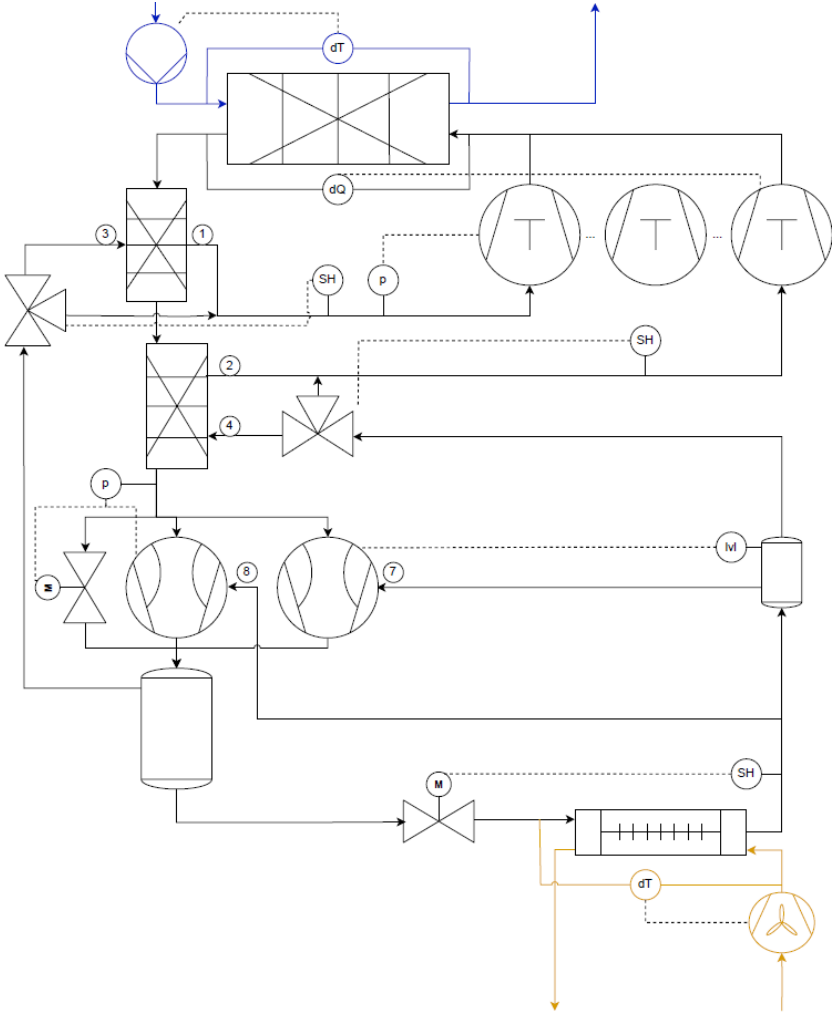
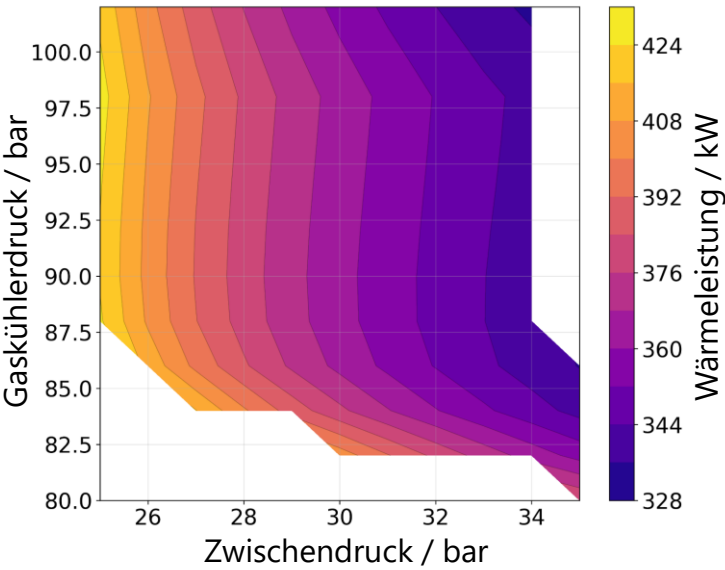
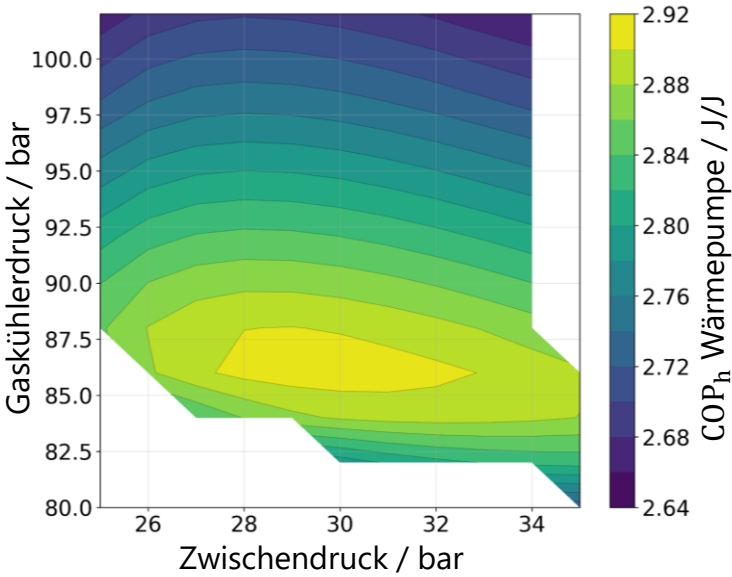
Danfoss Simulationsteam

- Warum CO₂ als Kältemittel?
- Systemsimulation beim Komponentenhersteller?
- Fallbeispiele industrielle Wärme- und Kältetechnik

Êffecterra: Die erste CO₂ Wärmepumpe in den USA



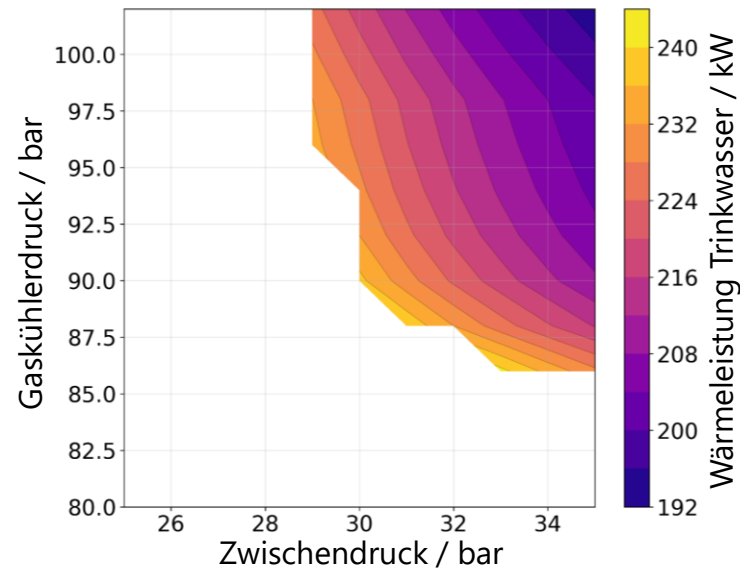
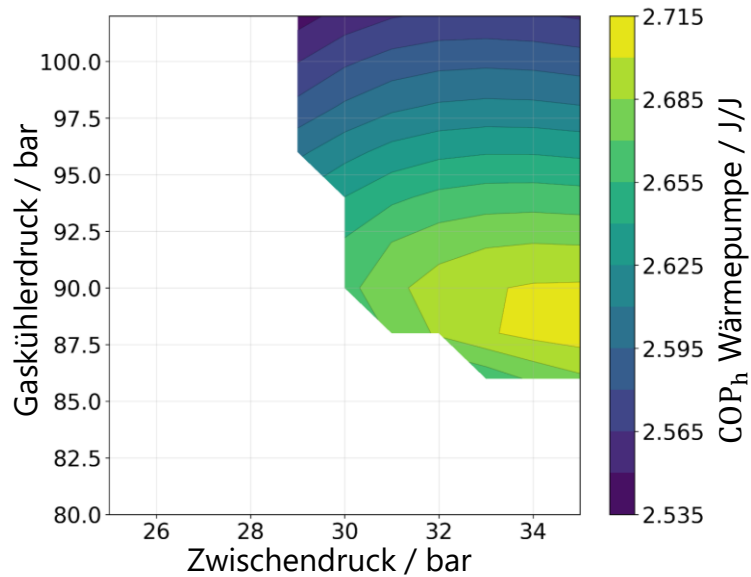
Kapazität	Modus	Umgebung	Rücklauf	Vorlauf
400 kW	Trinkwasser	-12.2 °C	18.3 °C	60.0 °C



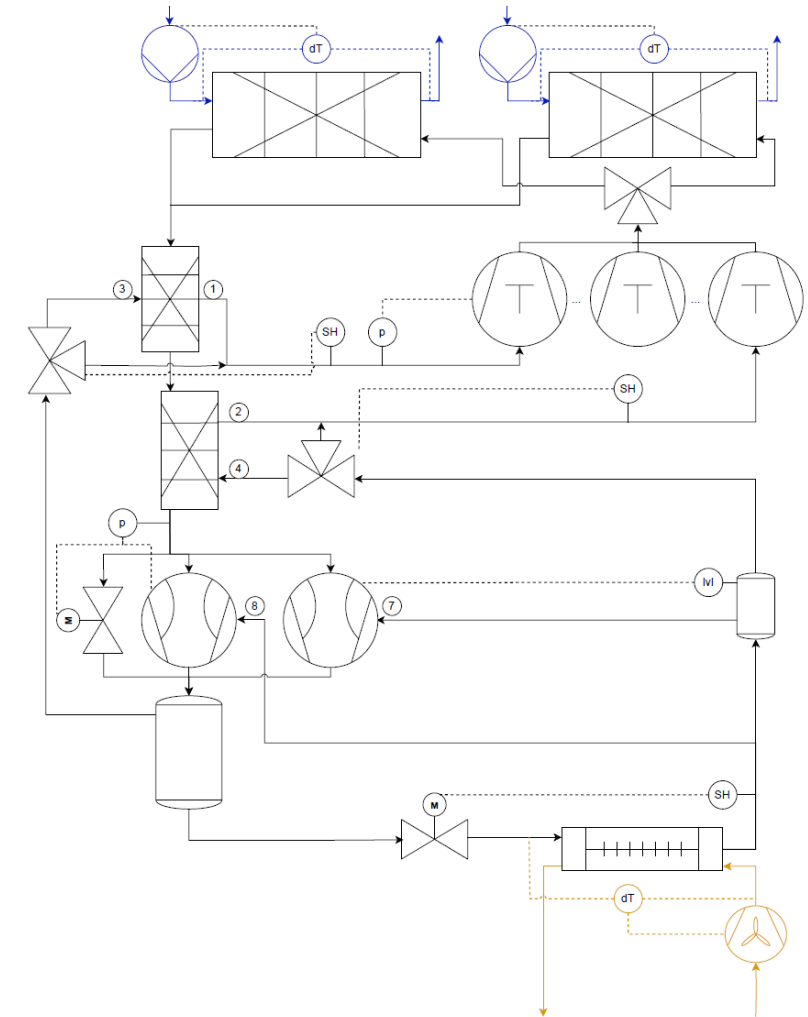
Êffecterra: Die erste CO₂ Wärmepumpe in den USA



Kapazität	Modus	Umgebung	Rücklauf	Vorlauf
170 / 230 kW	Heiz- / Trinkwasser	-12.2 °C	40.6 / 18.3 °C	46.1 / 60.0 °C



Danfoss unterstützt bei der Auslegung durch Simulationen.



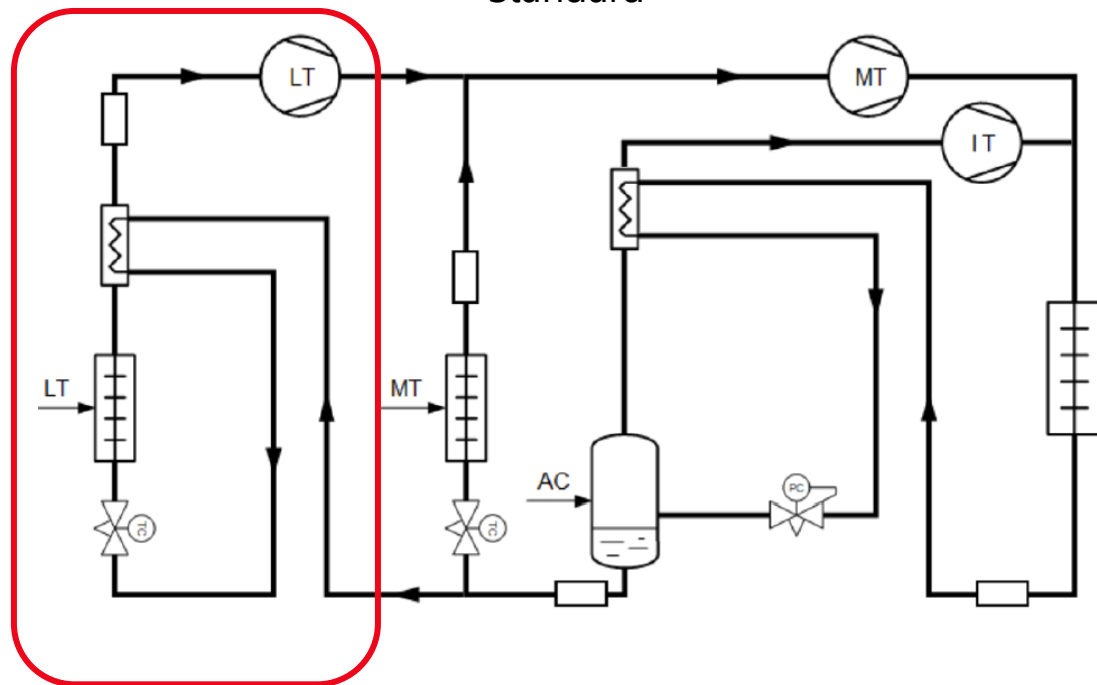
Industrielle Kälte: Einfluss eines Ejektors

Bei welchen Betriebsbedingungen hilft ein Ejektor?

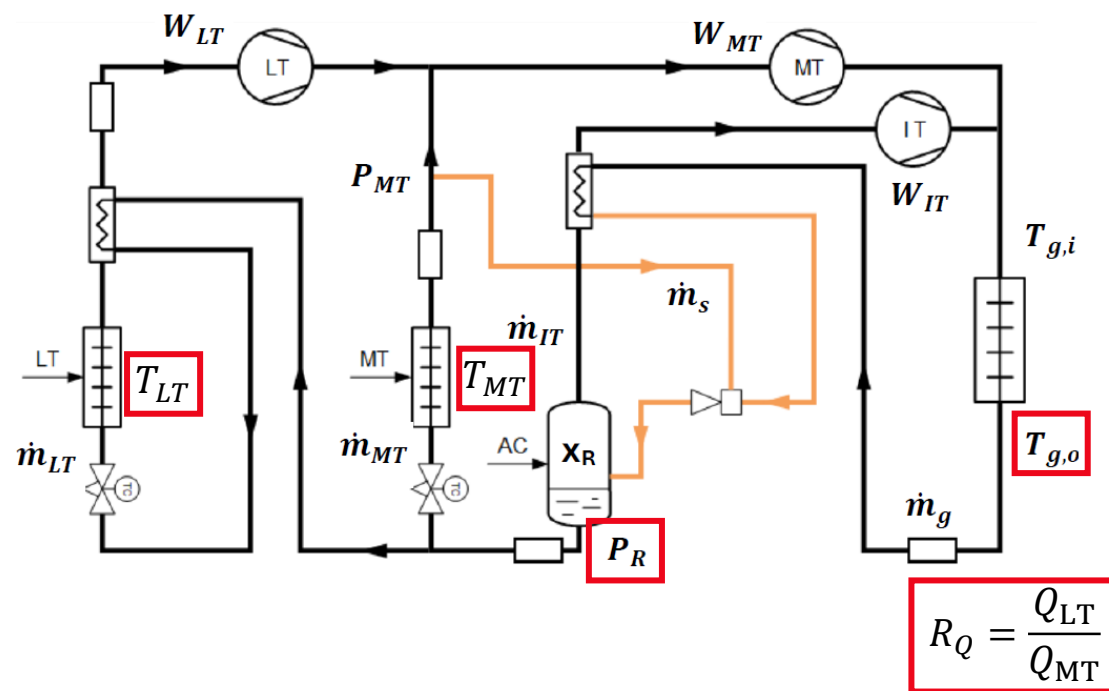
Energieeinsparpotential $ESP = \frac{P_{Standard}^{el} - P_{Ejektor}^{el}}{P_{Standard}^{el}} \cdot 100$

X – Sweep Parameter

Standard



Mit Ejektor



Industrielle Kälte: Einfluss eines Ejektors

Bei welchen Betriebsbedingungen hilft ein Ejektor?

$$ESP = \frac{P_{Standard}^{el} - P_{Ejektor}^{el}}{P_{Standard}^{el}} \cdot 100$$

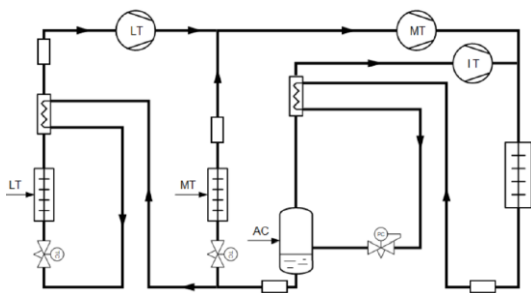


Figure 1 The baseline CO₂ parallel compression refrigeration system

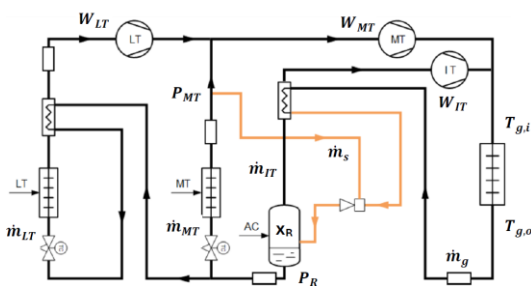
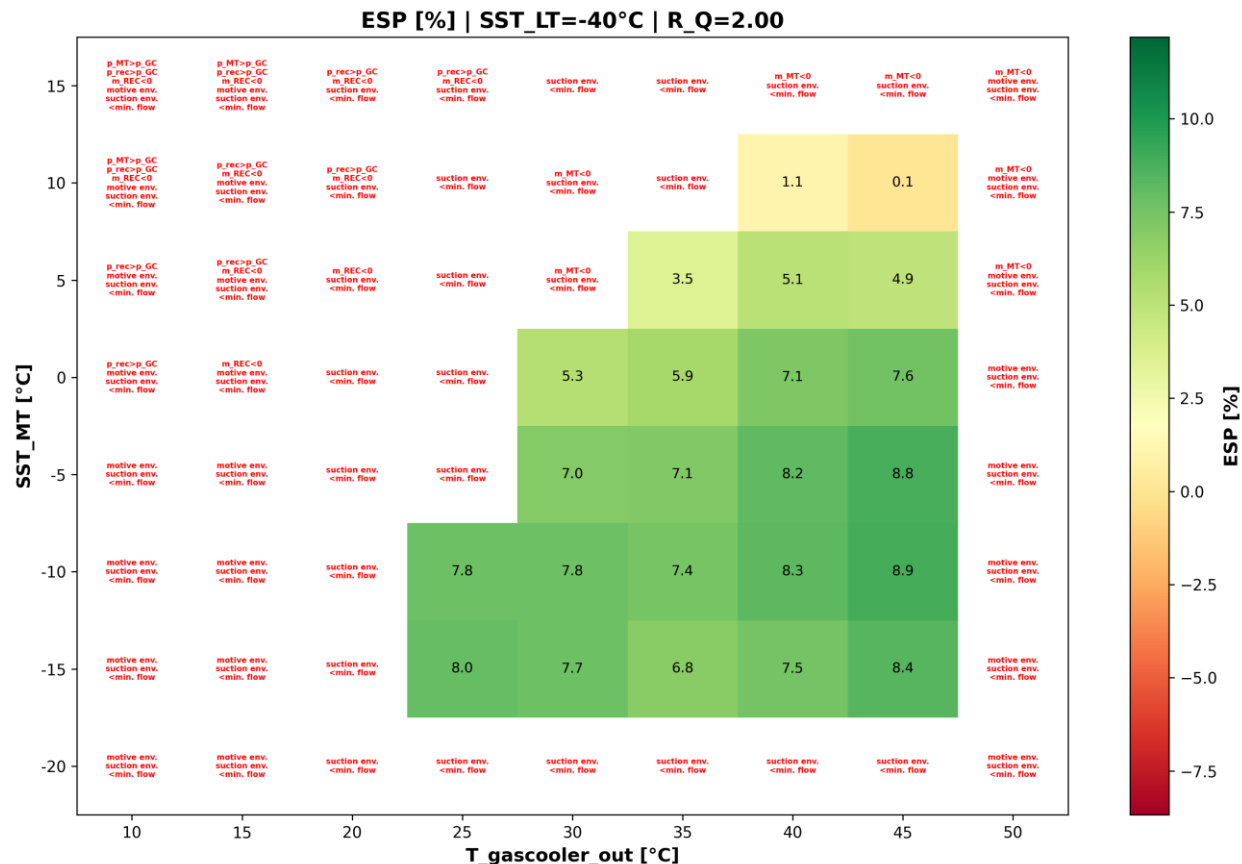


Figure 2 The alternative system with the ejector solution – parallel compression



Danfoss unterstützt bei der Komponentenauswahl durch Simulationen.

Simulation von industriellen CO₂-Systemen

Zusammenfassung

Warum CO₂ als Kältemittel?

- A1 Kältemittel, GWP=1, ODP = 0
- Hohe Leistungsdichte
- Gute Wärmeübertragung
- Natürlicher Temperaturglide im Gaskühler
- Gut für hohe Temperaturspreizung im Gaskühler (sonst eher schlecht)

Systemsimulation beim Komponentenhersteller?

- Zulieferer als technischer Berater
- Große Komponentenvielfalt
- Co-Entwicklung mit Kunden
- Simulation insbesondere für komplexe Systeme nützlich
- Kleine COP Gewinne sind bei großen Systemen oft wirtschaftlich

Fallbeispiele industrielle Wärme- und Kältetechnik

- Erste CO₂ Wärmepumpe in USA
- Betriebsoptimierung mit Simulation
- Studie: Ejektor hilft nicht immer
- Komponentenauswahl durch Simulation validiert



CO₂

