

## Beitrag AA II.1.03:

# Experimentell basierte Modellierung und simulative Parameterstudie zum Betriebsverhalten einer gasbefeueten Absorptionswärmepumpe

Roman Wechsler, René Rieberer  
Institut für Wärmetechnik  
Technische Universität Graz  
[roman.wechsler@tugraz.at](mailto:roman.wechsler@tugraz.at)  
<http://www.iwt.tugraz.at>

Dresden, 19. Nov. 2015

Motivation

System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

- Motivation und Zielsetzung
- Systembeschreibung
  - Übersicht
  - Kreislaufschema
  - Definitionen
- Modellierung
  - Messdatenbasis
  - Annahmen
  - Validierung
- Parameterstudien
  - Regelgrößen und Kreislaufkonfiguration
  - Desorber-Performance
- Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick

## Motivation

## System

## Modellierung

## Parametervar.

## Zusammenf.

- Gasbetriebene Absorptionswärmepumpen als Heizgeräte:
    - COP/GUE bis ca. 180 %
    - Vorhandene Infrastruktur nutzbar
    - Hohe Vorlauftemperaturen möglich
    - Wenige bewegte Teile
    - Kleines Wärmequellensystem
    - Geringe Abhängigkeit des COP von Wärmequellentemp.
  - Potentielle Markteintrittsbarrieren
    - Bauraum
    - Investitionskosten
- Ziel: Optimierung bez. Bauraum und/oder COP
- Potential einzelner Komponenten?

## Motivation

System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

- Experimente mit Funktionsmuster
  - Modellierung des Systems
  - Variation der Annahmen
- Einfluss auf COP

Motivation

**System**

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

## Kommerzielle Version:

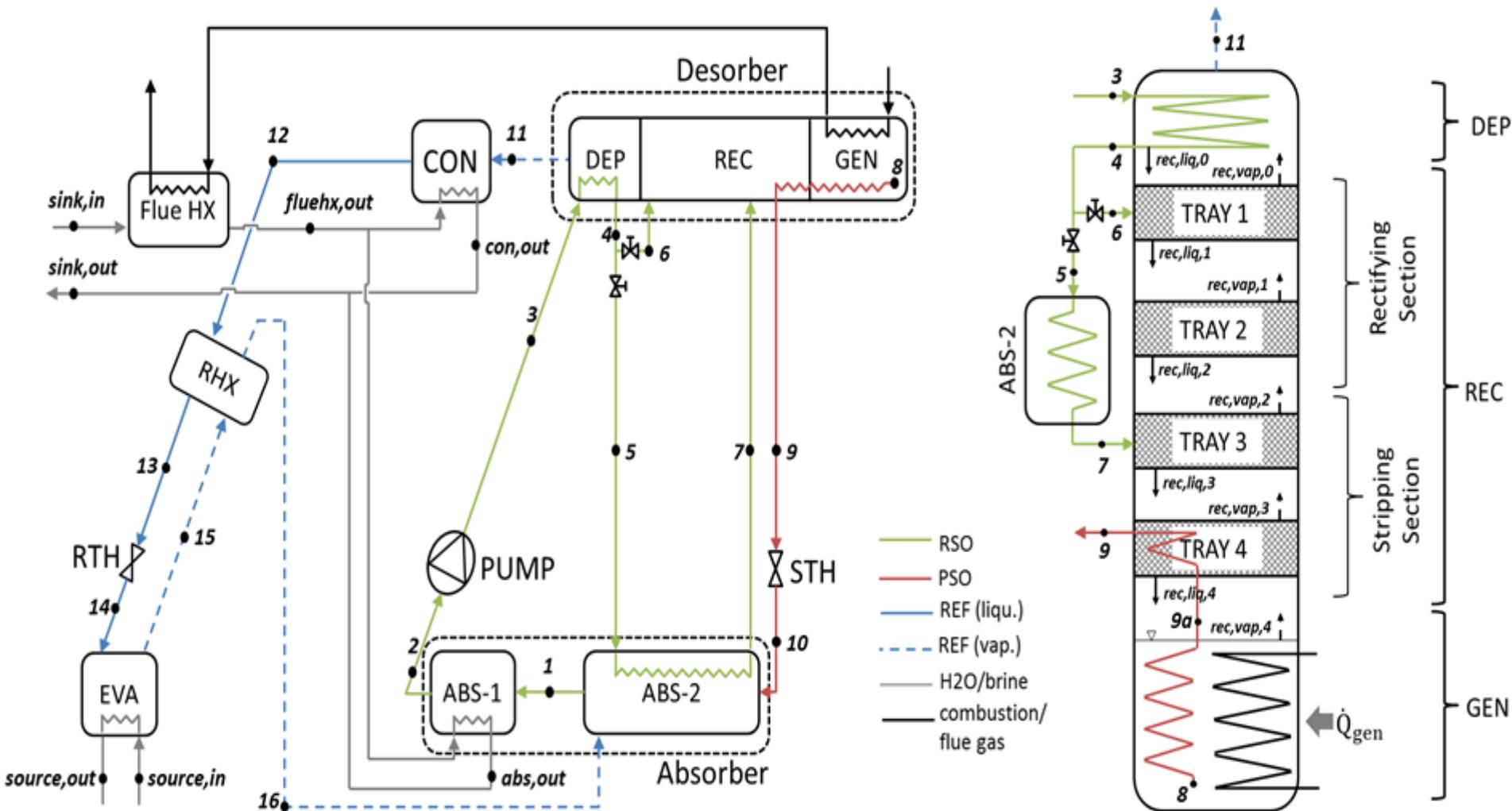
Buderus Logatherm GWPS192-18  
Markteinführung vorauss. 2016

### Technische Daten Labor-Prototyp

Prinzip	Absorption
Anwendung	Heizen
Brennstoff	Erdgas
Brennerleistung	3,5 – 12,5 kW
Arbeitsstoffpaar	Ammoniak/Wasser
Wärmesenke	Wasser
Wärmequelle	Sole



Bildquelle: Bosch Thermotechnik GmbH



Motivation

System

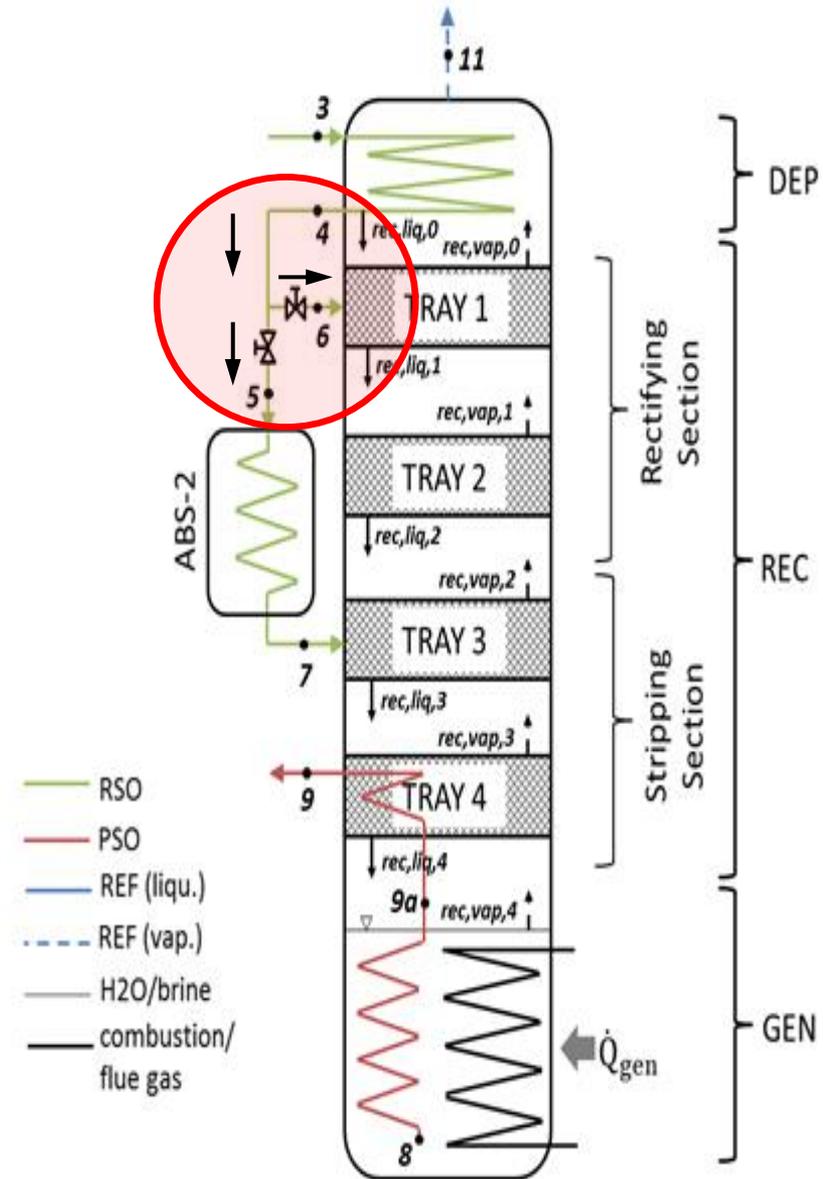
Modellierung

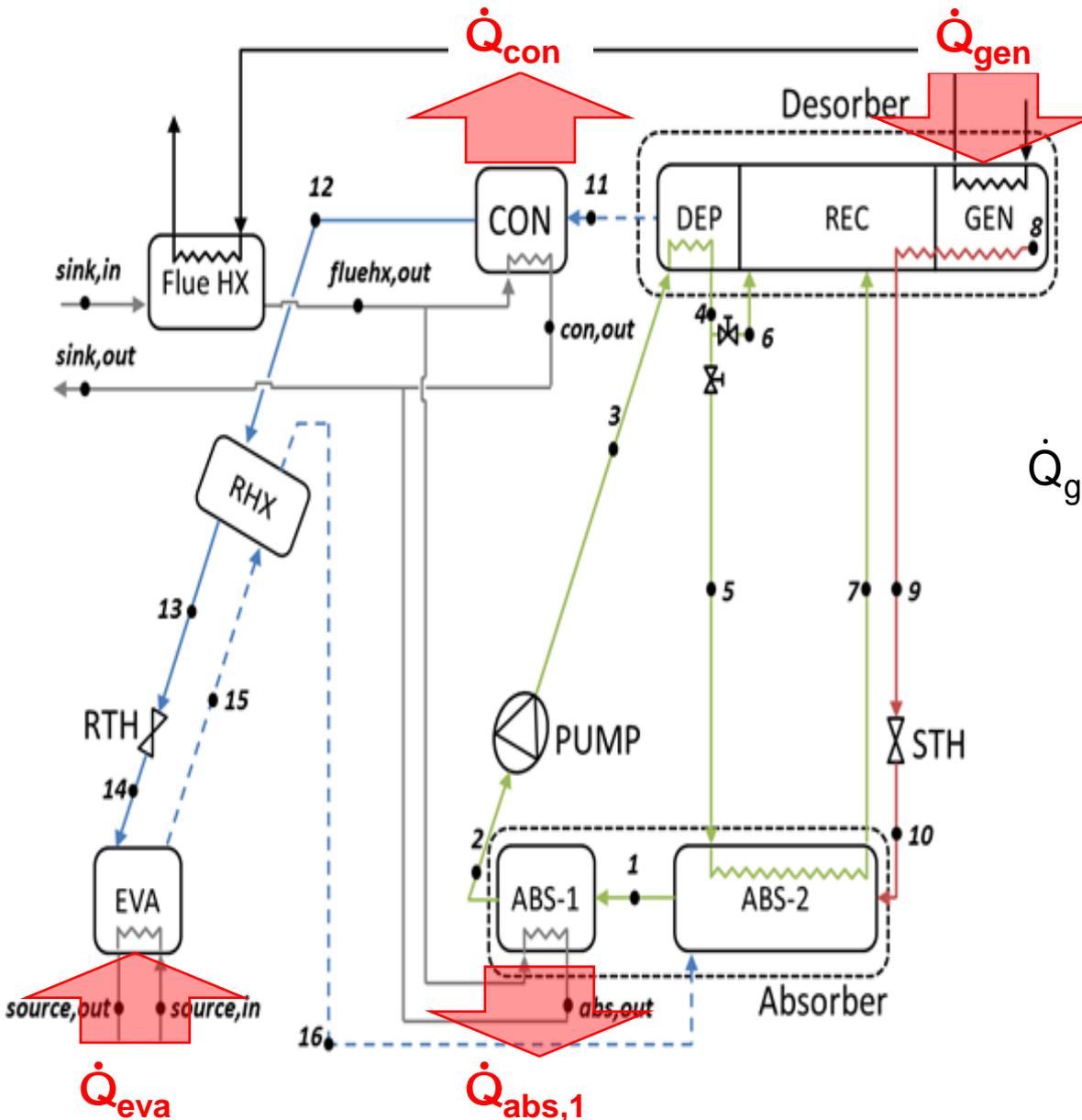
Parametervar.

Zusammenf.

## Bypass-Massenstromverhältnis:

$$r_{bypass} = \frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_{rso}} = \frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_{3/4}}$$





**Coefficient of Performance:**

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{con}} + \dot{Q}_{\text{abs},1}}{\dot{Q}_{\text{gen}}}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{gen}} &= \dot{Q}_{\text{con}} + \dot{Q}_{\text{abs},1} - \dot{Q}_{\text{eva}} - \dot{m}_{\text{rso}} (h_3 - h_2) \\ &= \dot{Q}_{\text{fuel}} - \dot{Q}_{\text{fluehx}} - \dot{Q}_{\text{losses}} \end{aligned}$$

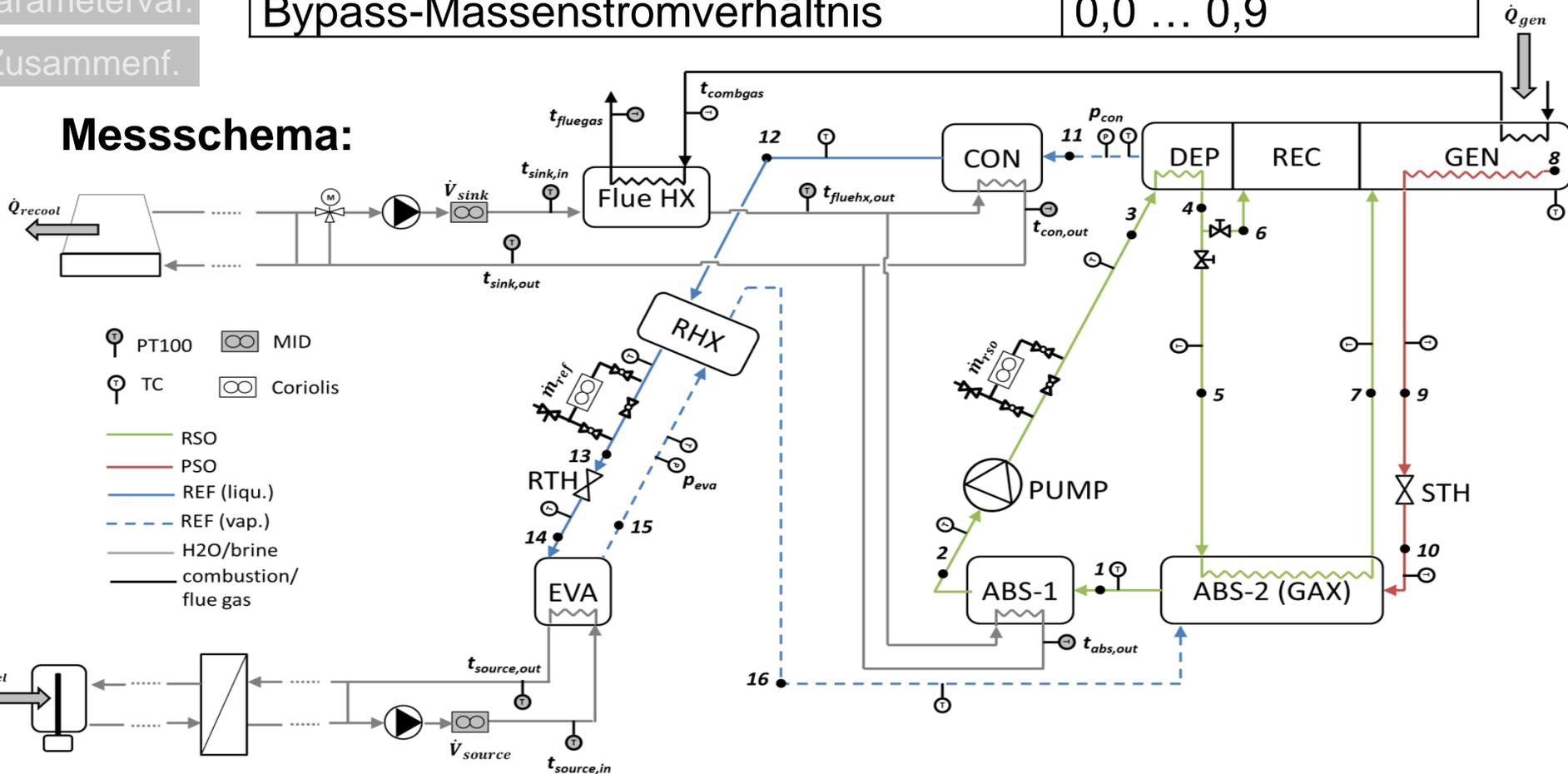
**Gas Utilization Efficiency:**

$$\text{GUE} = \frac{\dot{Q}_{\text{con}} + \dot{Q}_{\text{abs},1} + \dot{Q}_{\text{fluehx}}}{\dot{Q}_{\text{fuel}}}$$

- Motivation
- System
- Modellierung
- Parametervar.
- Zusammenf.

Variierter Parameter	Werte
Brennerleistung (bezogen auf $H_i$ ) [kW]	3,5 ... 12,5
Senktemperaturen Ein-/Austritt [°C]	30/35, 35/45, 45/50
Quellentemperaturen Ein-/Austritt [°C]	-5/-8, +2/-1, +6/+3
Bypass-Massenstromverhältnis	0,0 ... 0,9

## Messschema:



Motivation

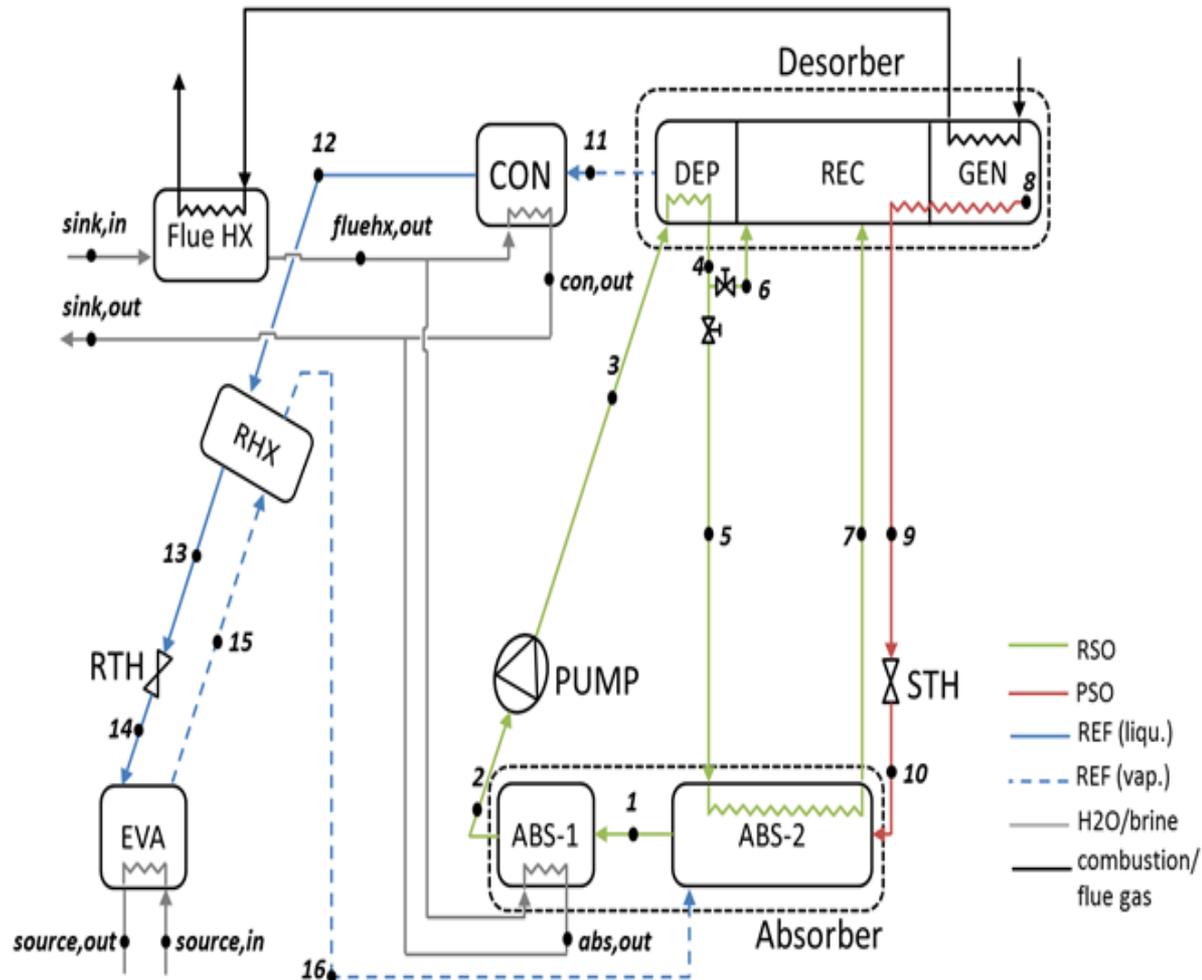
System

**Modellierung**

Parametervar.

Zusammenf.

- Engineering Equation Solver (EES V9.699)
- Massen- und Energiebilanzen
- Annahmen:



Motivation

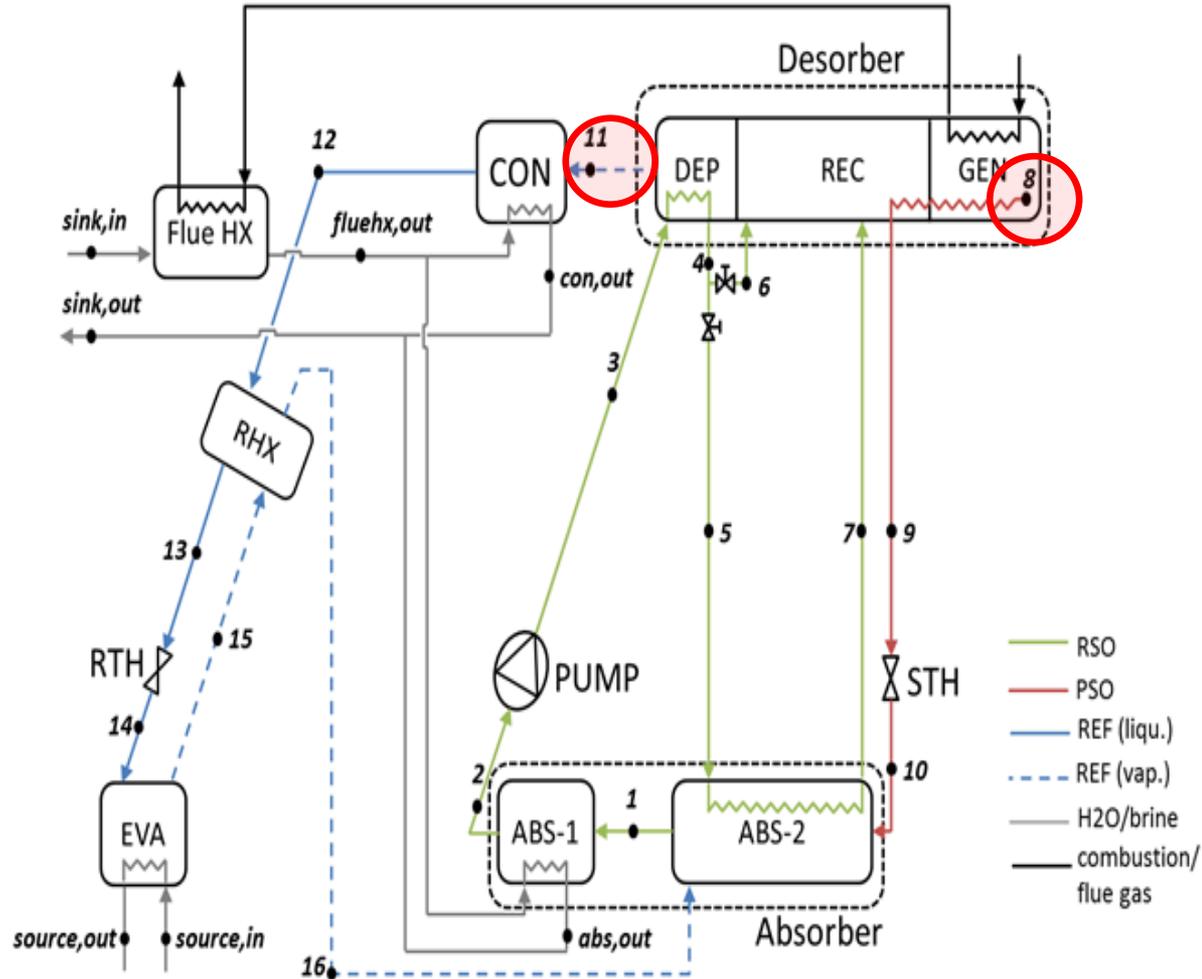
System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

- Engineering Equation Solver (EES V9.699)
- Massen- und Energiebilanzen
- Annahmen:
  - **Gesättigte Zustände**



Motivation

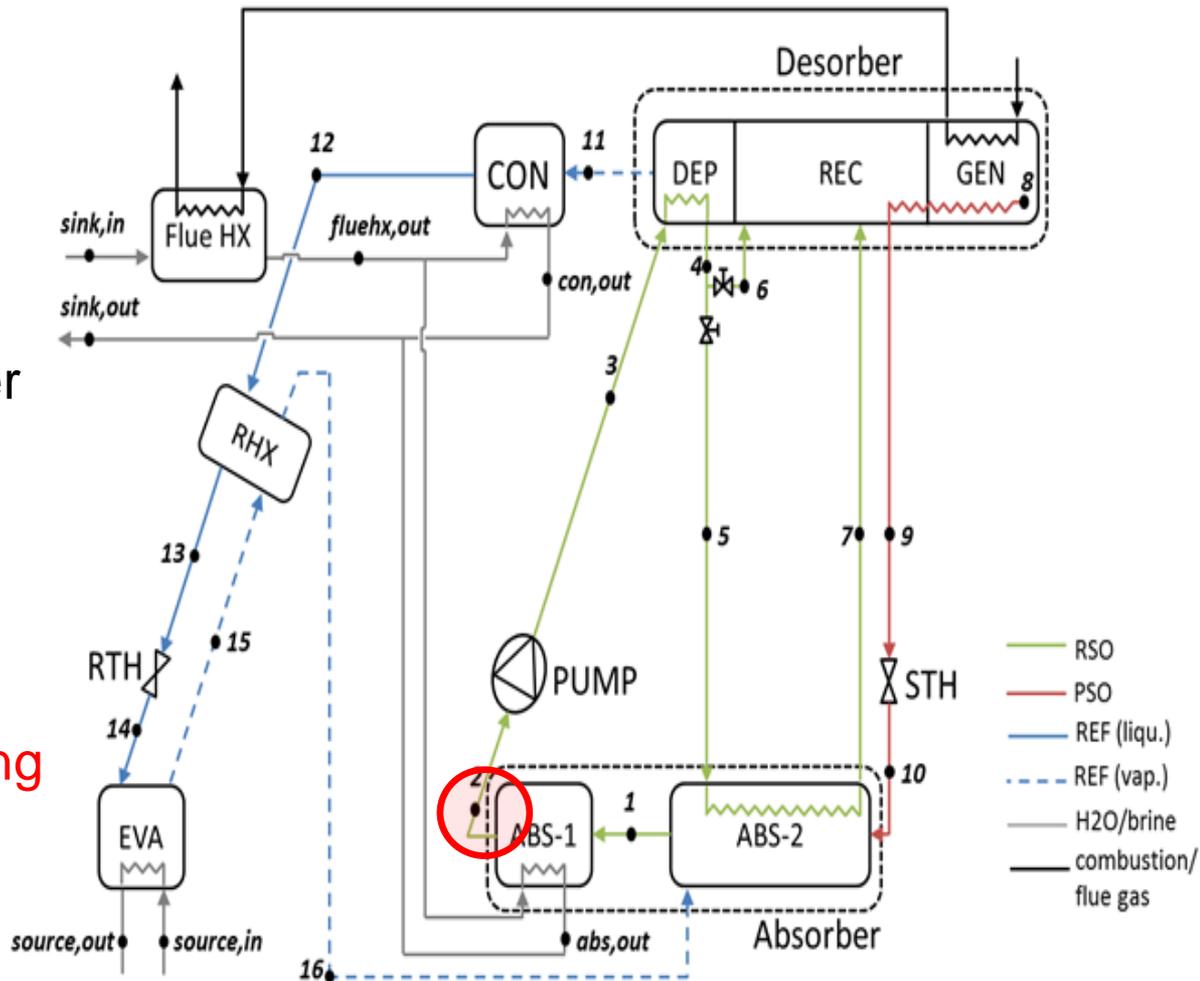
System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

- Engineering Equation Solver (EES V9.699)
- Massen- und Energiebilanzen
- Annahmen:
  - Gesättigte Zustände
  - **Konstante Unterkühlung**



Motivation

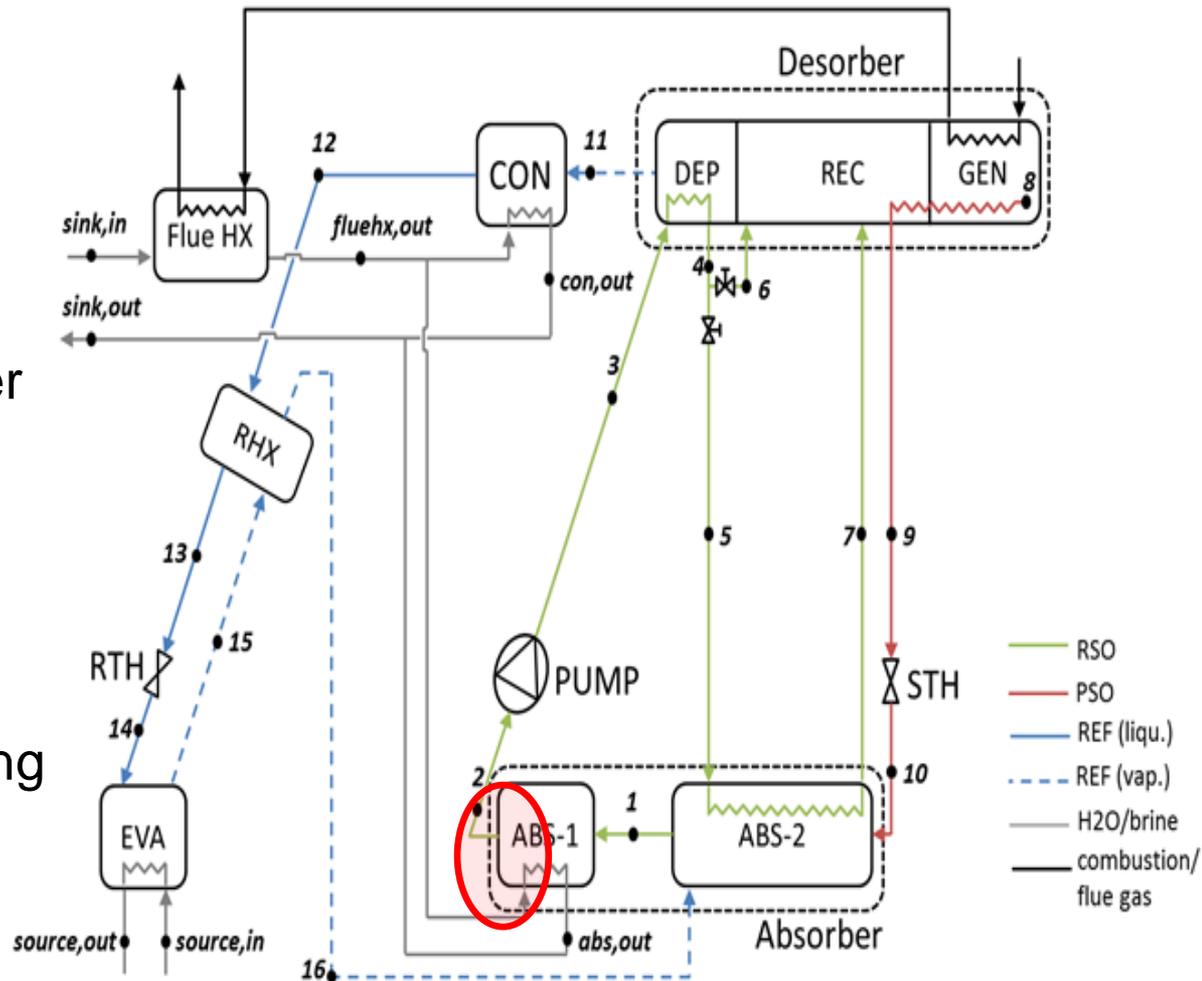
System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

- Engineering Equation Solver (EES V9.699)
- Massen- und Energiebilanzen
- Annahmen:
  - Gesättigte Zustände
  - Konstante Unterkühlung
  - **Konstante Grädigkeit**



Motivation

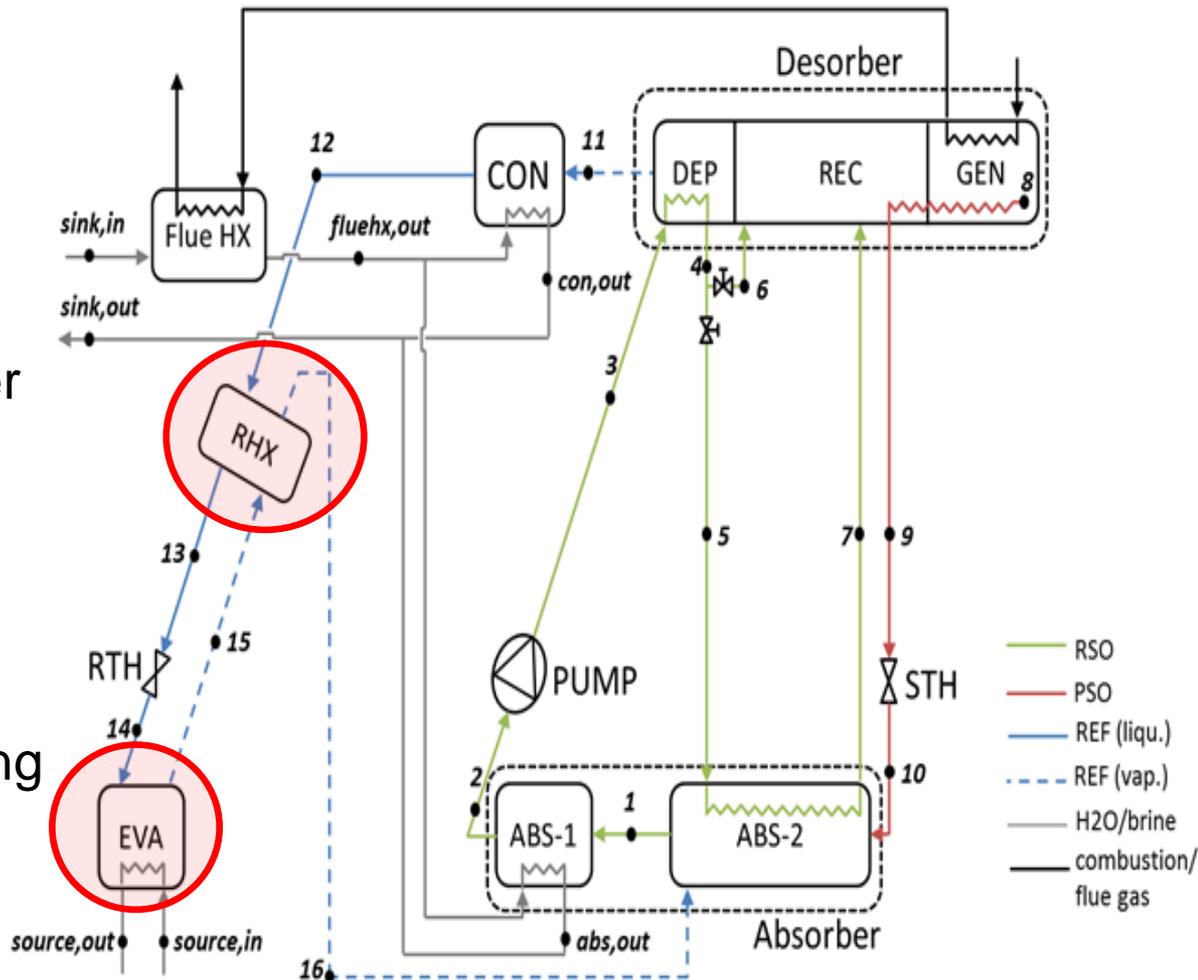
System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

- Engineering Equation Solver (EES V9.699)
- Massen- und Energiebilanzen
- Annahmen:
  - Gesättigte Zustände
  - Konstante Unterkühlung
  - Konstante Grädigkeit
  - **Wärmeübertrager-effektivitäten =  $f(\dot{m}_{ref})$**



Motivation

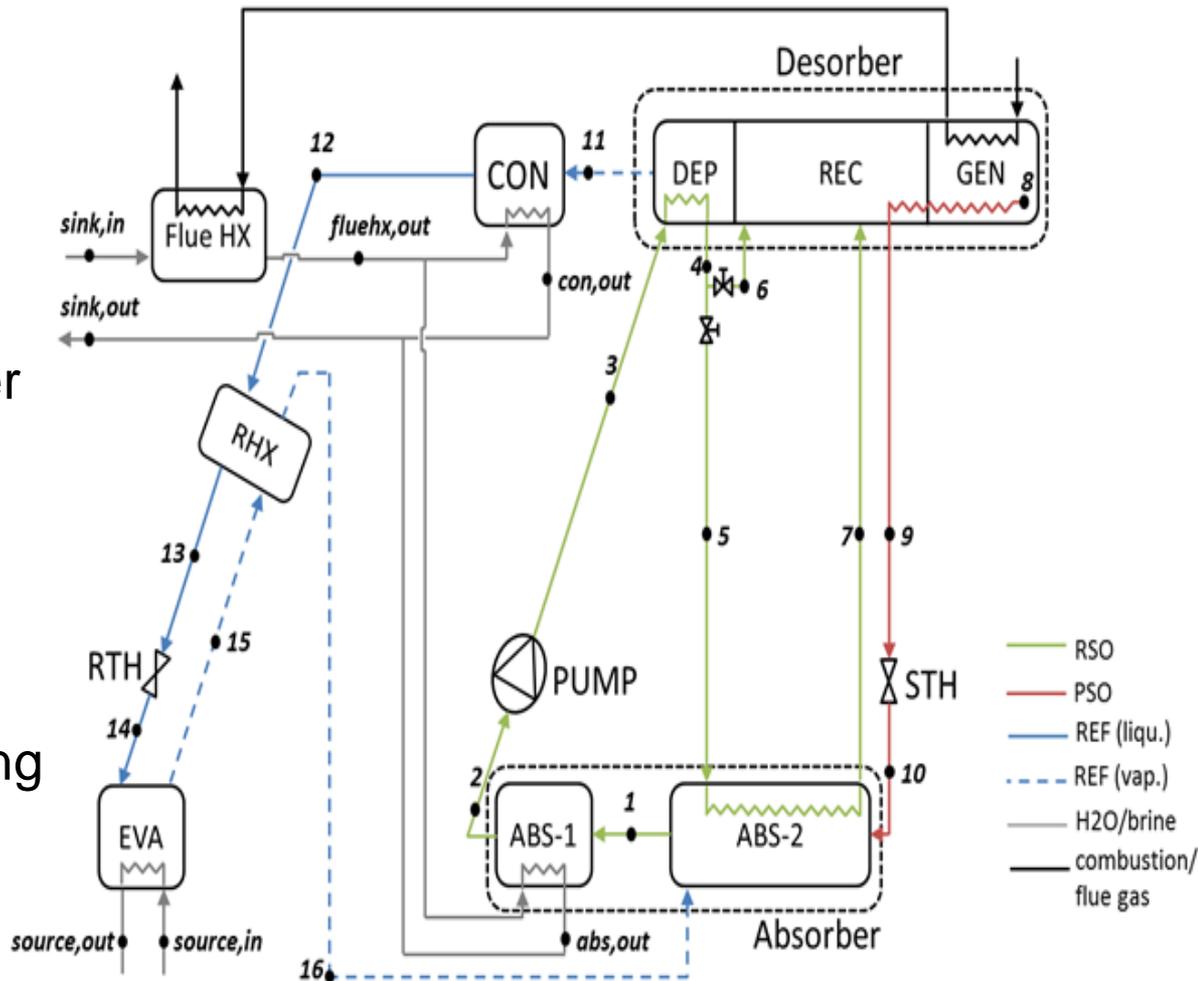
System

Modellierung

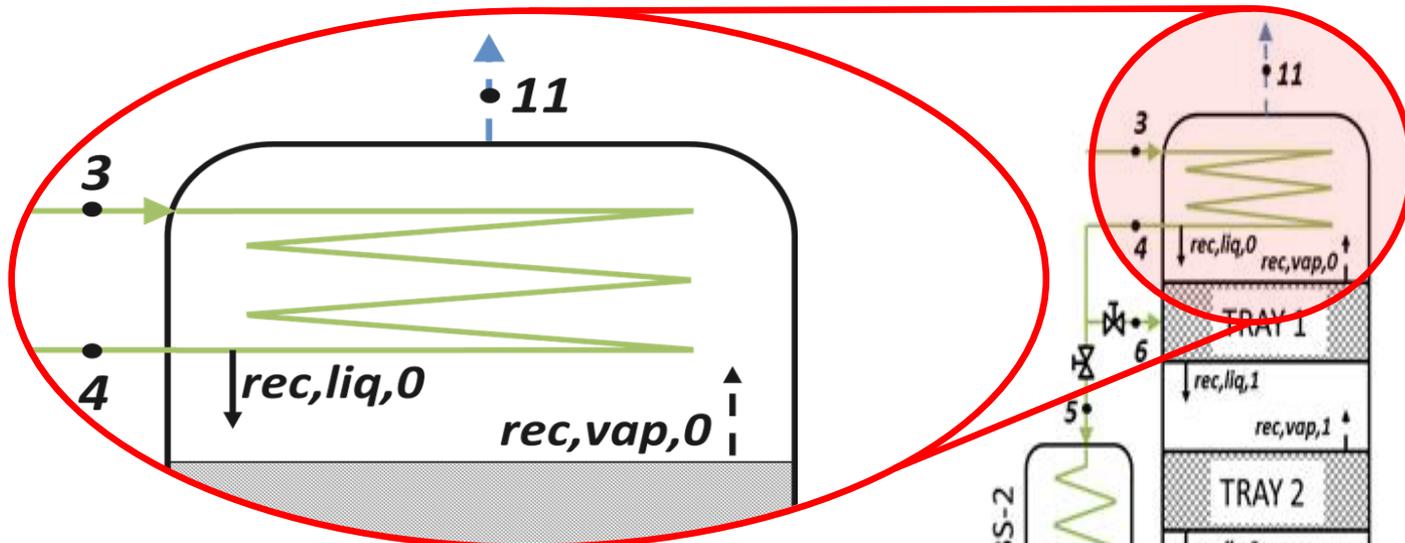
Parametervar.

Zusammenf.

- Engineering Equation Solver (EES V9.699)
- Massen- und Energiebilanzen
- Annahmen:
  - Gesättigte Zustände
  - Konstante Unterkühlung
  - Konstante Grädigkeit
  - Wärmeübertrager-effektivitäten =  $f(\dot{m}_{ref})$



- Motivation
- System
- Modellierung
- Parametervar.
- Zusammenf.



**Austauschverhältnis**  
(bez. auf Dampfphase):

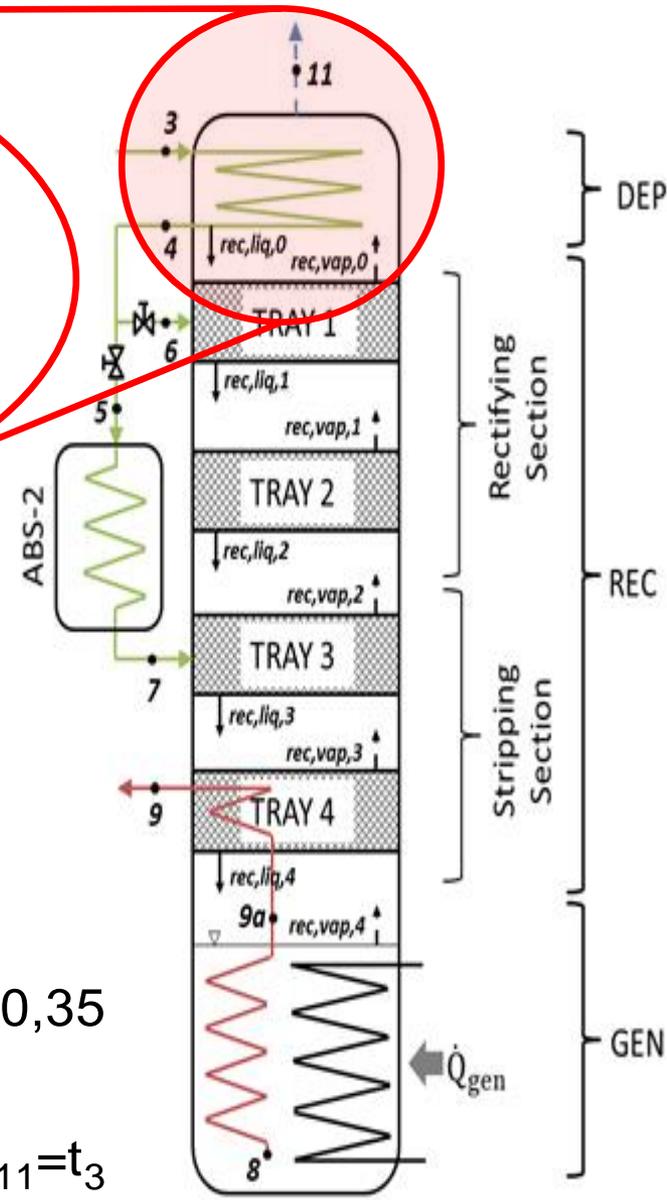
$$r_{\text{exch,dep}} = \frac{X_{\text{ref}} - X_{\text{rec,vap},0}}{X_{\text{ref}} - X_{\text{rec,vap},0}} = 1,25$$

$$X_{\text{ref}}^*: t_{11} = t_{\text{rec,liq},0}$$

**Wärmeübertrager-effektivität:**

$$\epsilon_{\text{dep}} = \frac{\dot{Q}_{\text{dep}}}{\min \{ \dot{Q}_{\text{dep,max,c}}; \dot{Q}_{\text{dep,max,h}} \}} = 0,35$$

$$\dot{Q}_{\text{dep,max,c}}: t_4 = t_{\text{rec,liq},0}; \dot{Q}_{\text{dep,max,h}}: t_{11} = t_3$$



Motivation

System

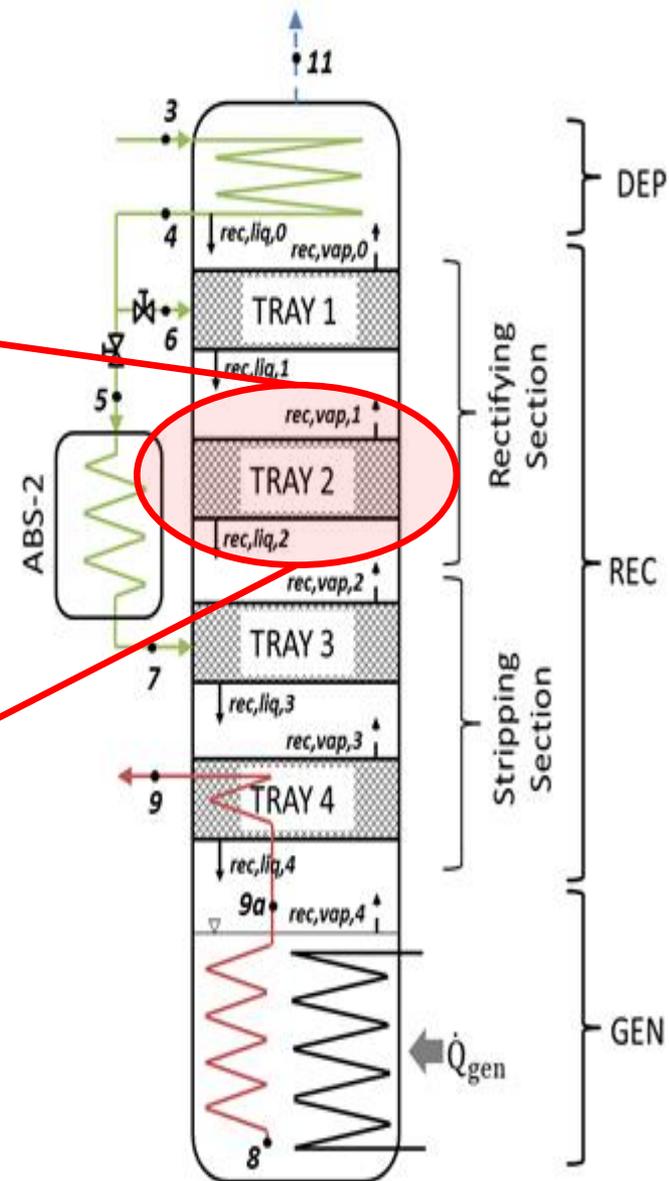
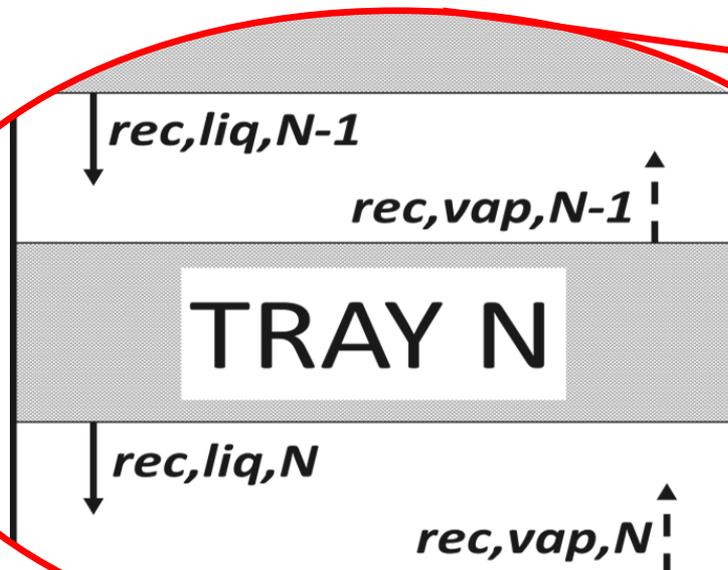
Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

## 4 Mischstufen:

- 2 x Rectifying Section
- 2 x Stripping Section



**Austauschverhältnisse**  
(bez. auf Dampfphase):

$$r_{\text{exch},N} = \frac{X_{\text{rec,vap},N-1} - X_{\text{rec,vap},N}}{X_{\text{rec,vap},N-1}^* - X_{\text{rec,vap},N}} = 0,75$$

$$X_{\text{rec,vap},N-1}^* \cdot t_{\text{rec,vap},N-1} = t_{\text{rec,liq},N}$$

Motivation

**Austauschverhältnis**

$$r_{\text{exch,gen}} = \frac{X_{\text{rec,liq},4} - X_{\text{pso}}^*}{X_{\text{rec,liq},4} - X_{\text{pso}}} = 2,5$$

System

(bez. auf Flüssigphase):

$$X_{\text{pso}}^* : t_8 = t_{\text{rec,vap},4}$$

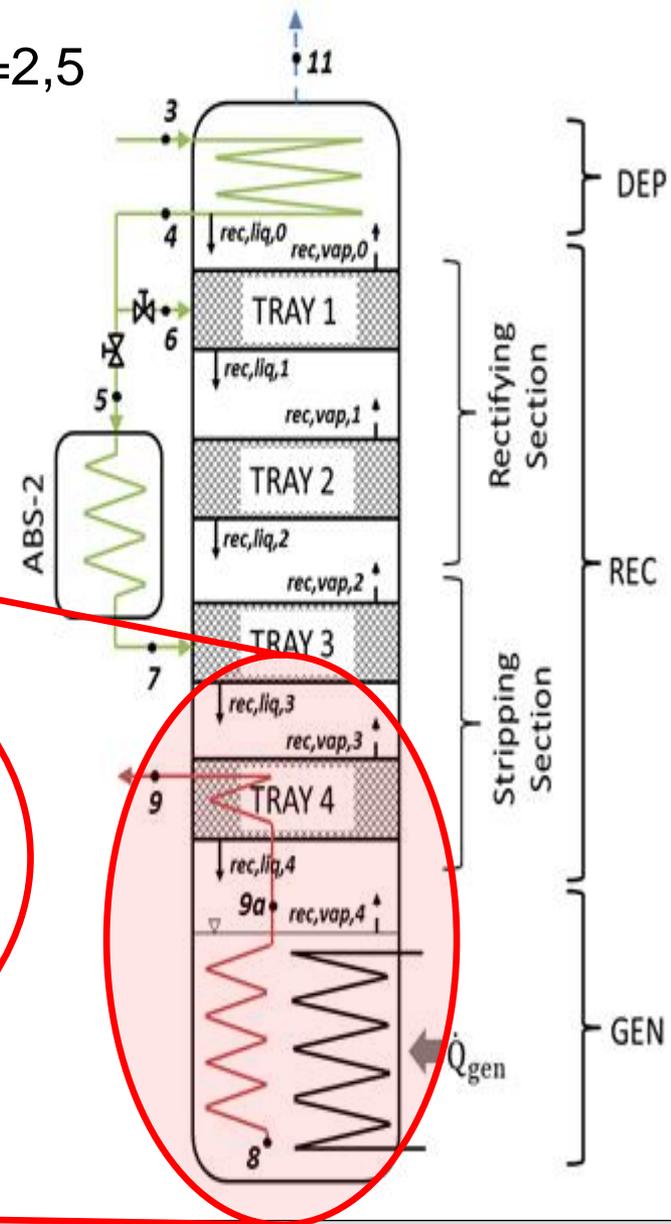
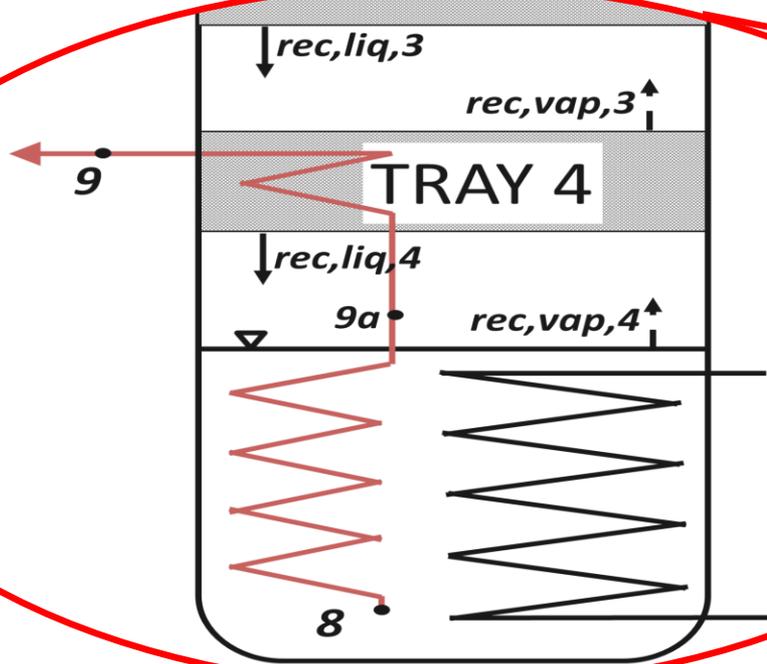
Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

**Temperaturdifferenz (Grädigkeit):**

$$\Delta T_{\text{recirc}} = t_{9a} - t_{\text{rec,liq},4} = t_9 - t_{\text{rec,liq},3} = 10 \text{ K}$$



Motivation

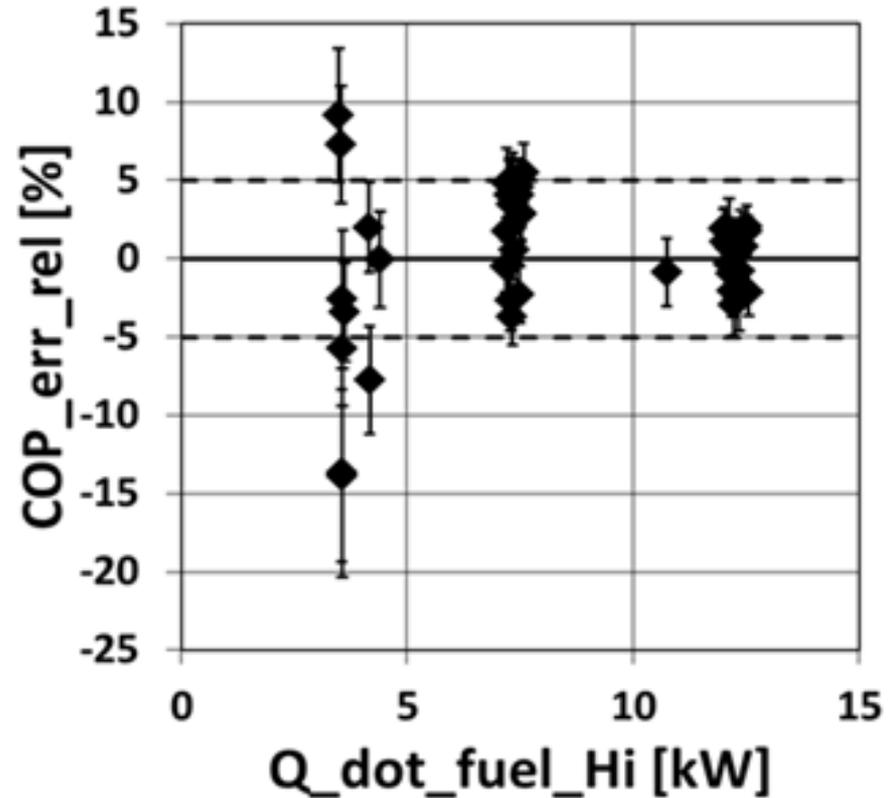
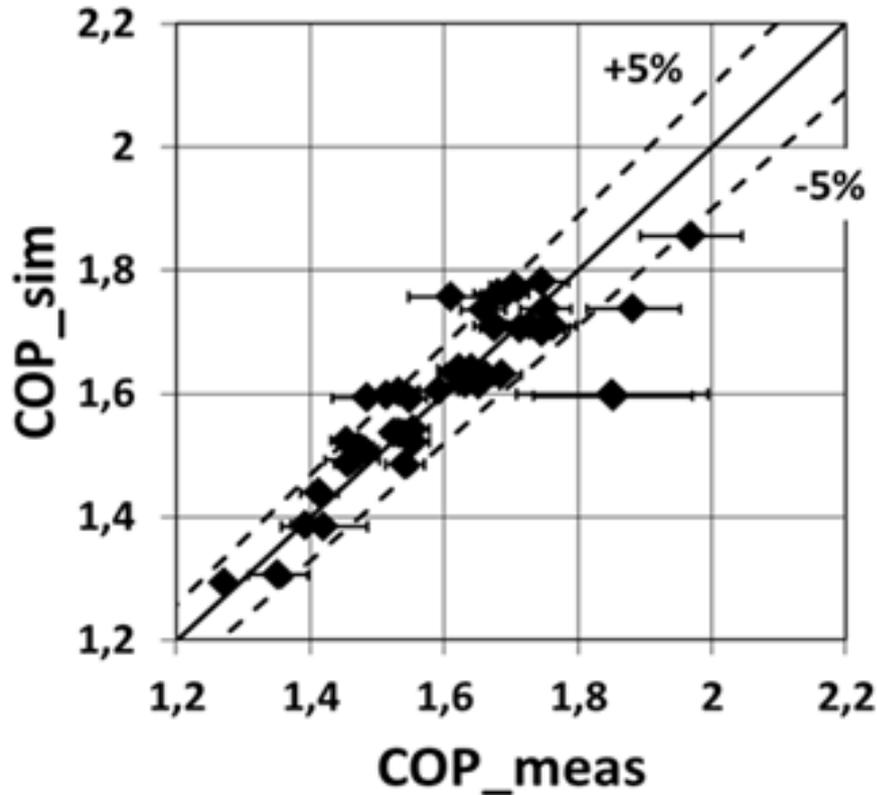
System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

Vergleich zwischen gemessenem und simuliertem COP:



Motivation

System

Modellierung

**Parametervar.**

Zusammenf.

## Vorgegeben:

- Brennerleistung

$$\dot{Q}_{fuel}$$

- Senktemp.

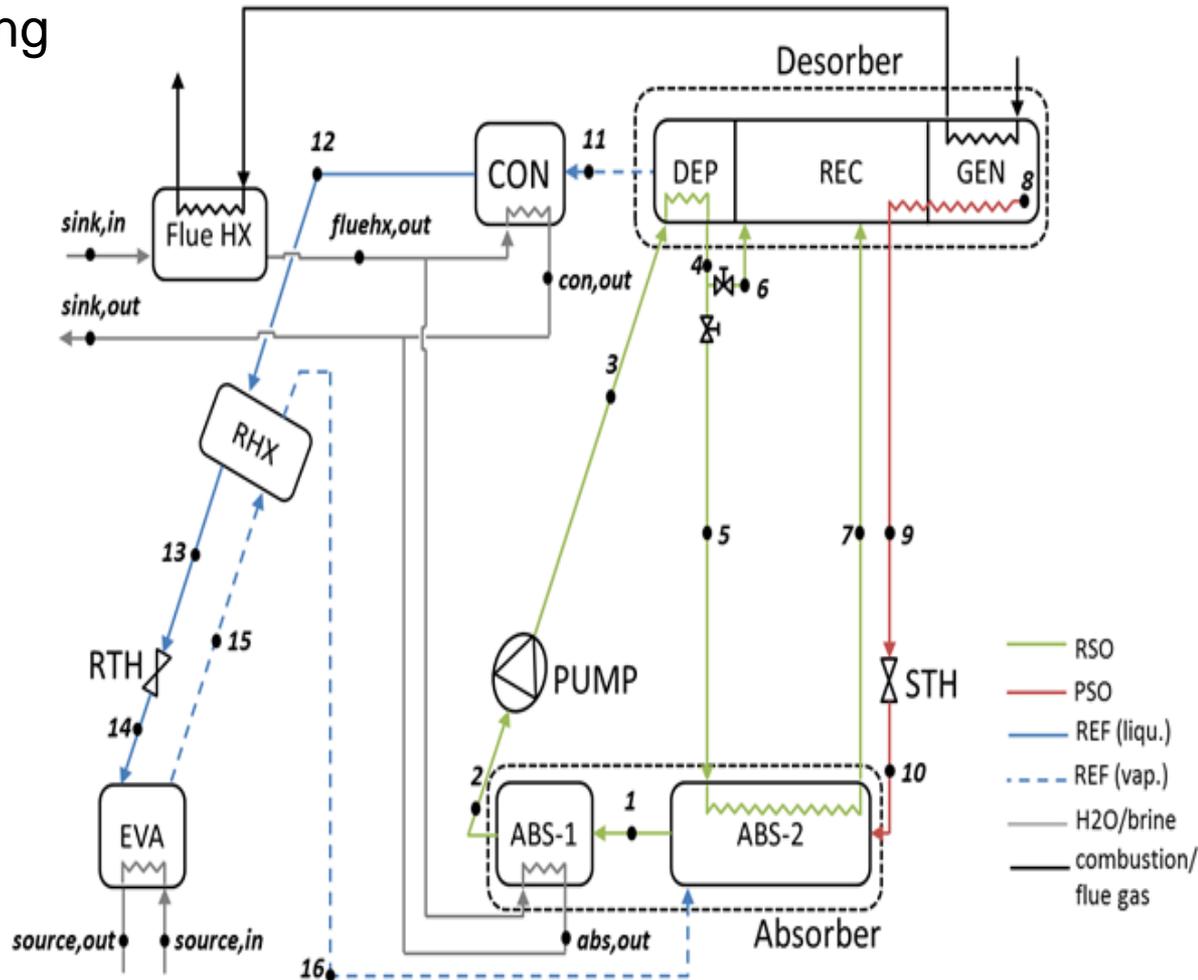
$$t_{sink,in/out}$$

- Quelltemp.

$$t_{source,in/out}$$

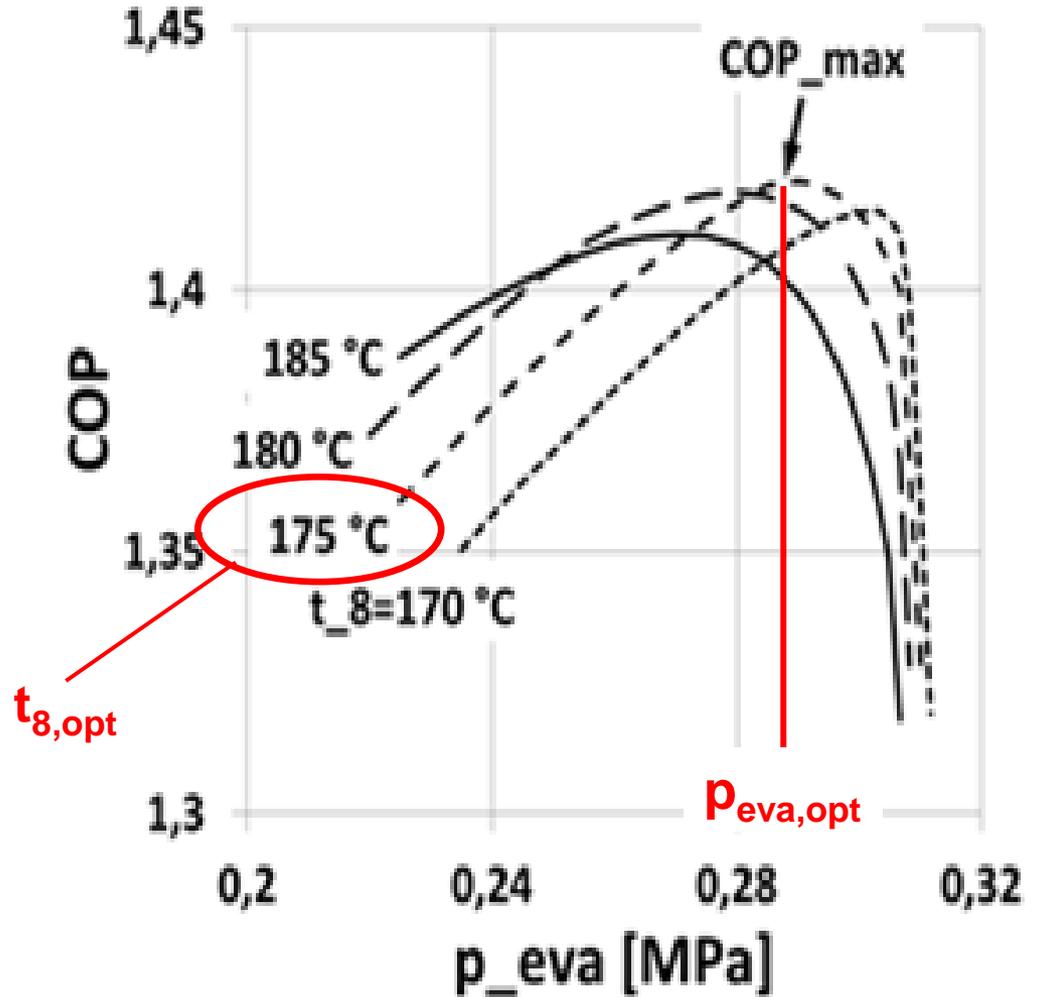
## Freiheitsgrade:

- Generatorfußtemp.  $t_8$   
→ Lgs.pumpe/Lgs.drossel
- Verdampfungsdruck  $p_{eva}$   
→ Kältemitteldrossel
- Bypass-Massenstromverhältnis  $r_{bypass}$   
→ Nadelventile



- Motivation
- System
- Modellierung
- Parametervar.
- Zusammenf.

$Q_{\dot{\text{fuel}}_{\text{Hi}}}=12,5 \text{ kW}; r_{\text{bypass}}=0,00$   
 $t_{\text{sink}}=45/50 \text{ }^\circ\text{C}; t_{\text{source\_in}}=-7 \text{ }^\circ\text{C}$



- **Fragestellung:**  
 $(t_8, p_{\text{eva}}, r_{\text{bypass}})_{\text{optimal}} ?$
- **Vorgehensweise:**  
 Brute-Force-Methode

Motivation

System

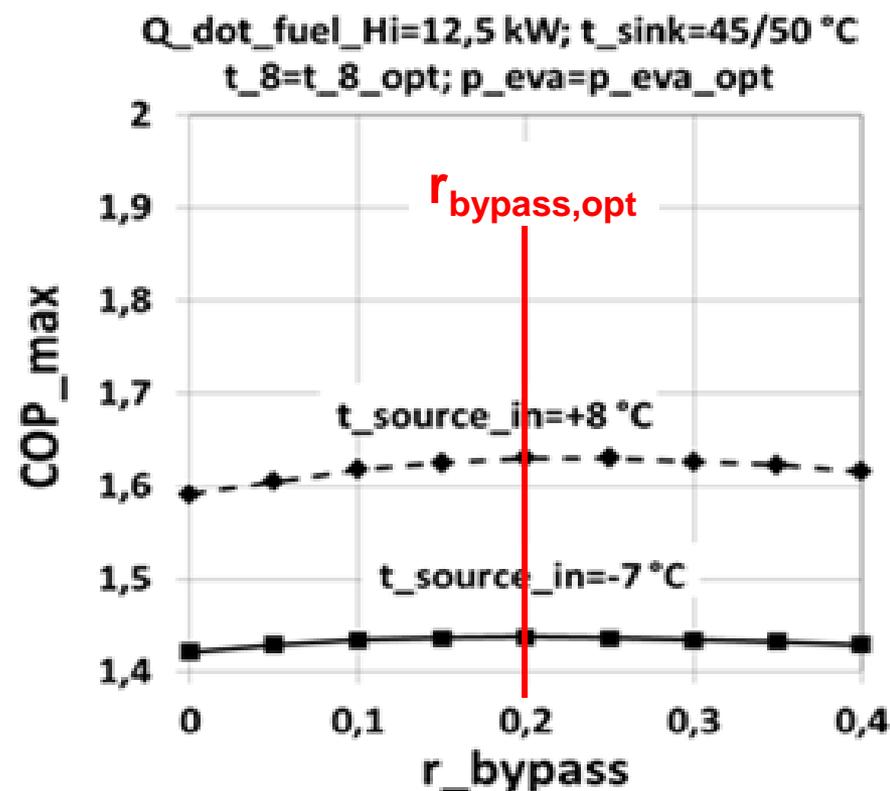
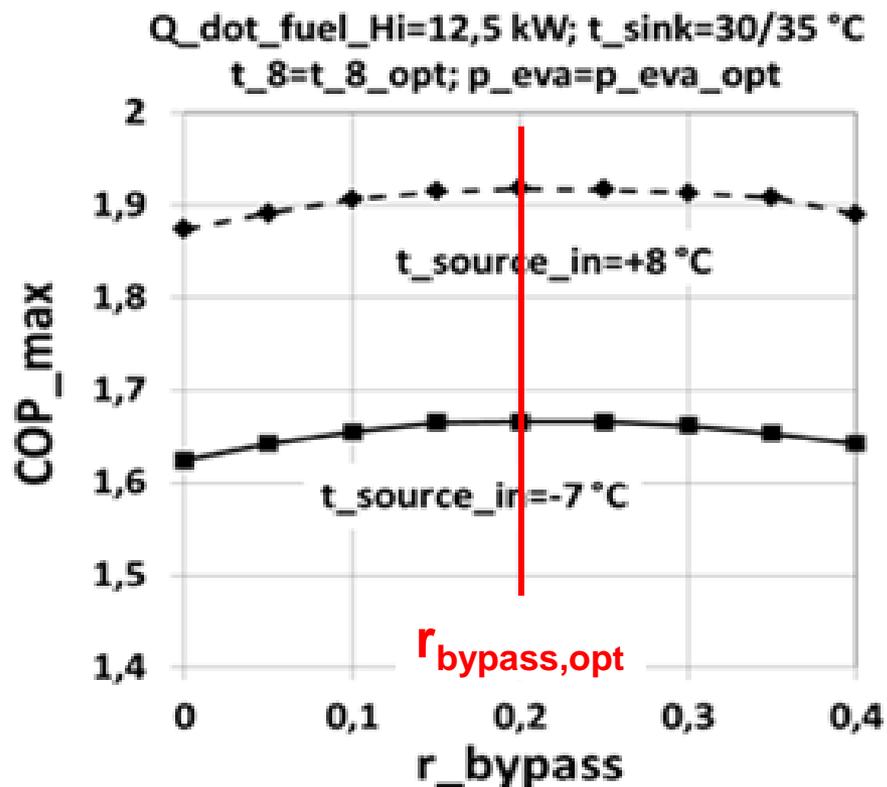
Modellierung

Parametervar.

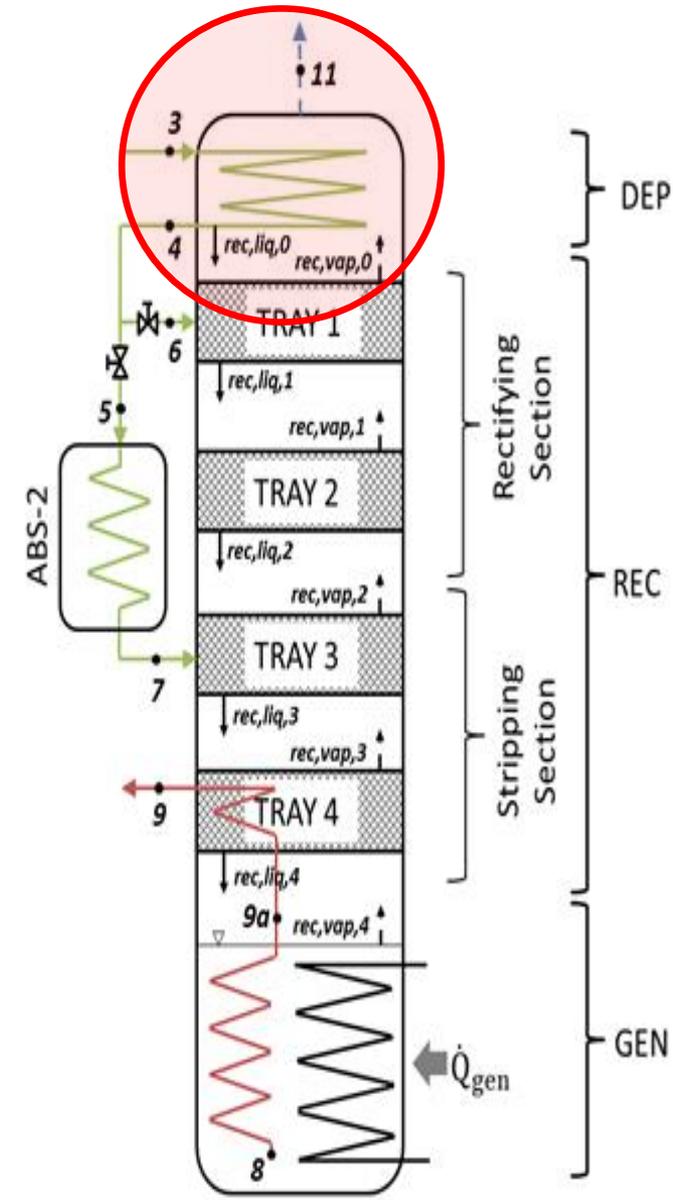
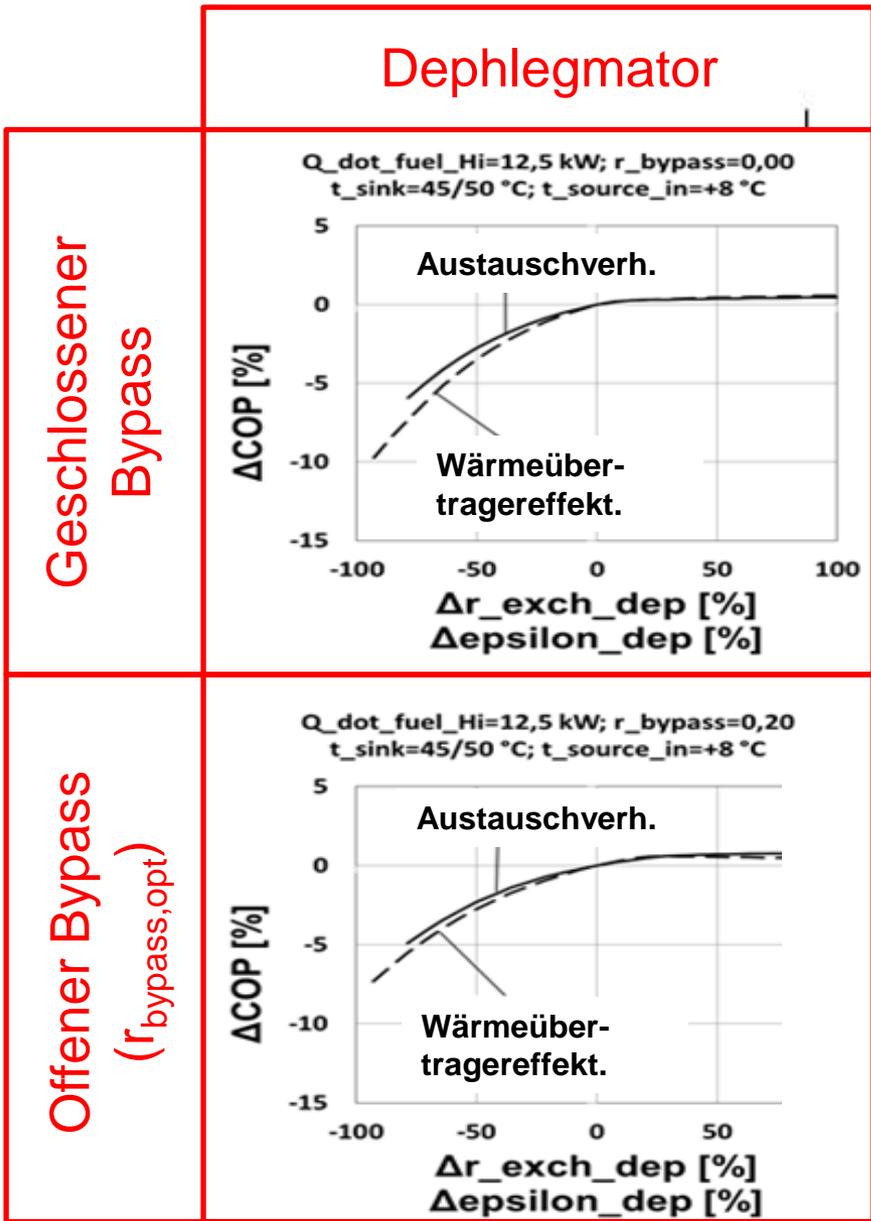
Zusammenf.

## COP<sub>max</sub> vs. r<sub>bypass</sub>

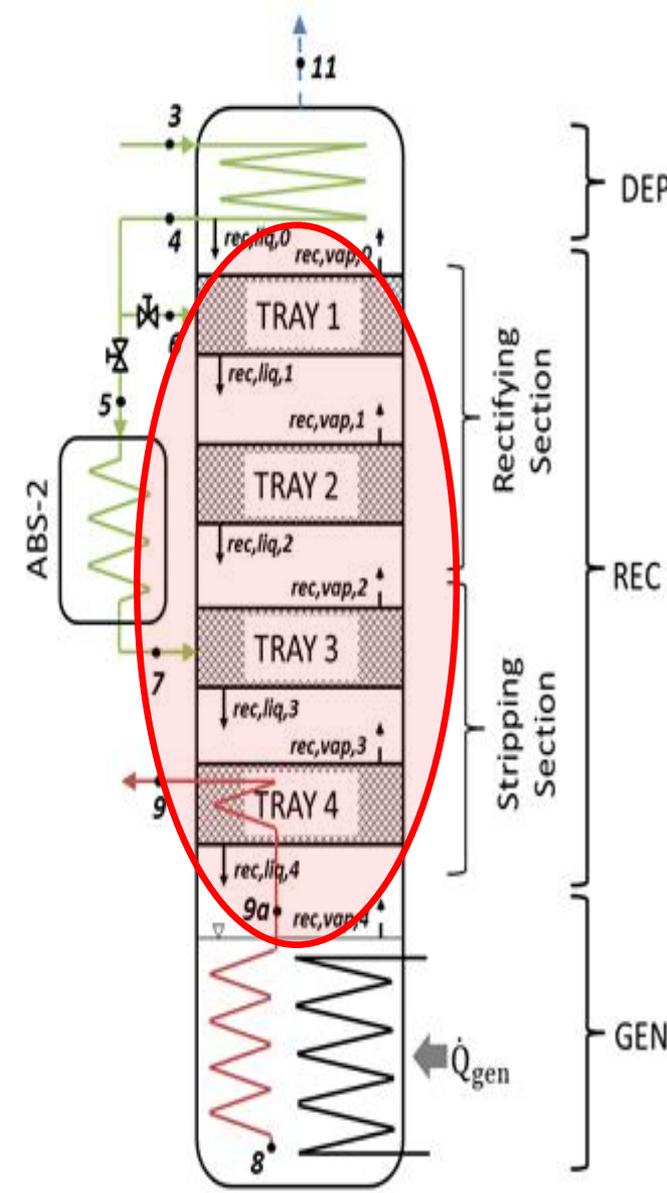
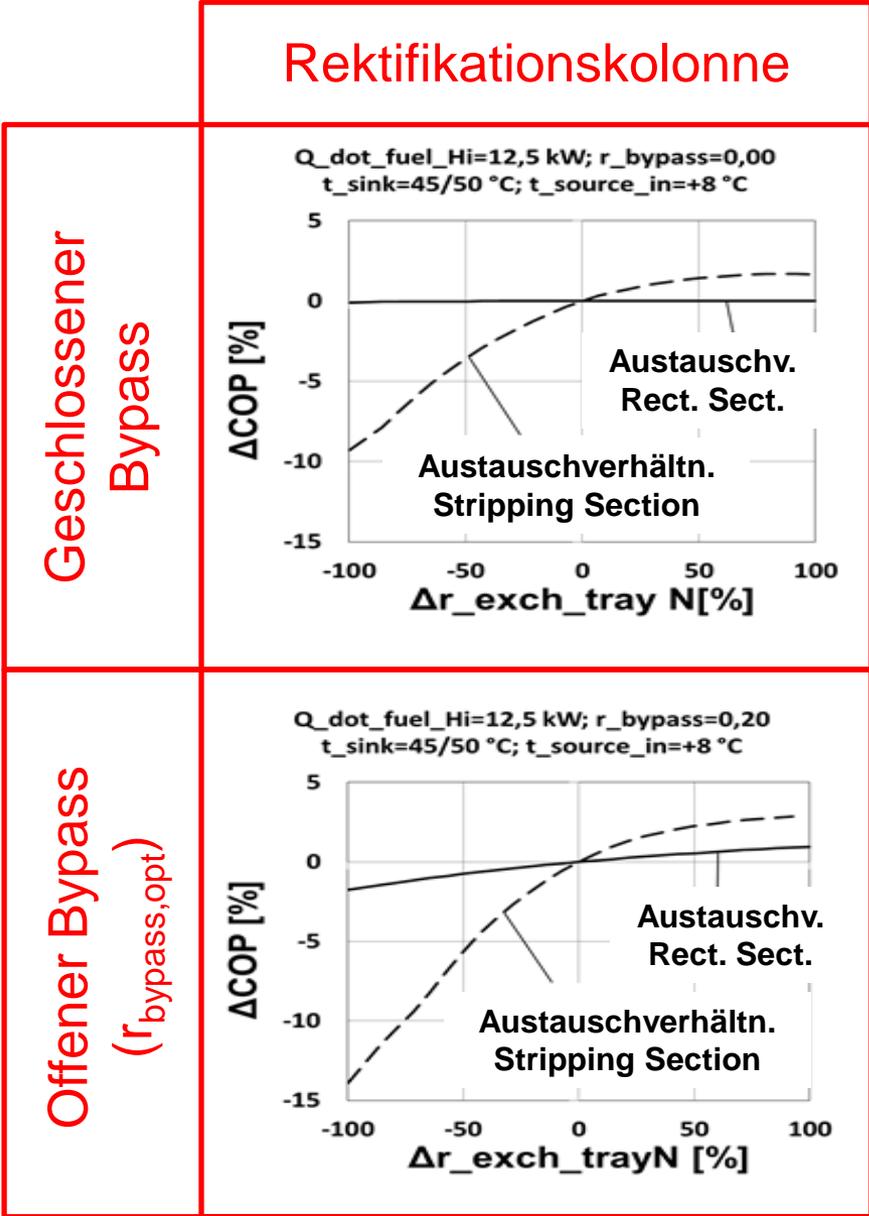
- 4 Betriebspunkte
- Vollast
- jeweils (t<sub>8</sub>, p<sub>eva</sub>)<sub>optimal</sub>



- Motivation
- System
- Modellierung
- Parametervar.
- Zusammenf.



- Motivation
- System
- Modellierung
- Parametervar.
- Zusammenf.



Motivation

System

Modellierung

Parametervar.

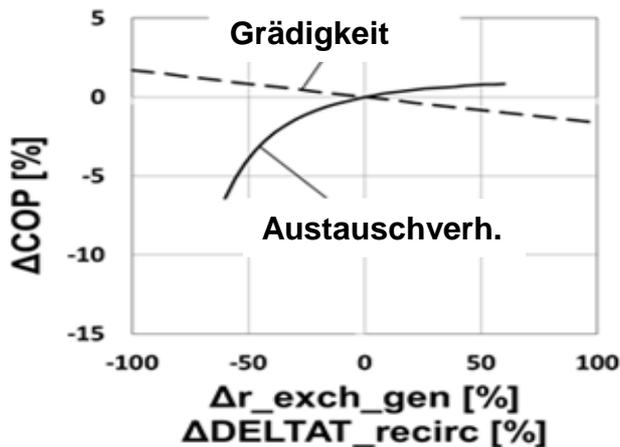
Zusammenf.

Geschlossener Bypass

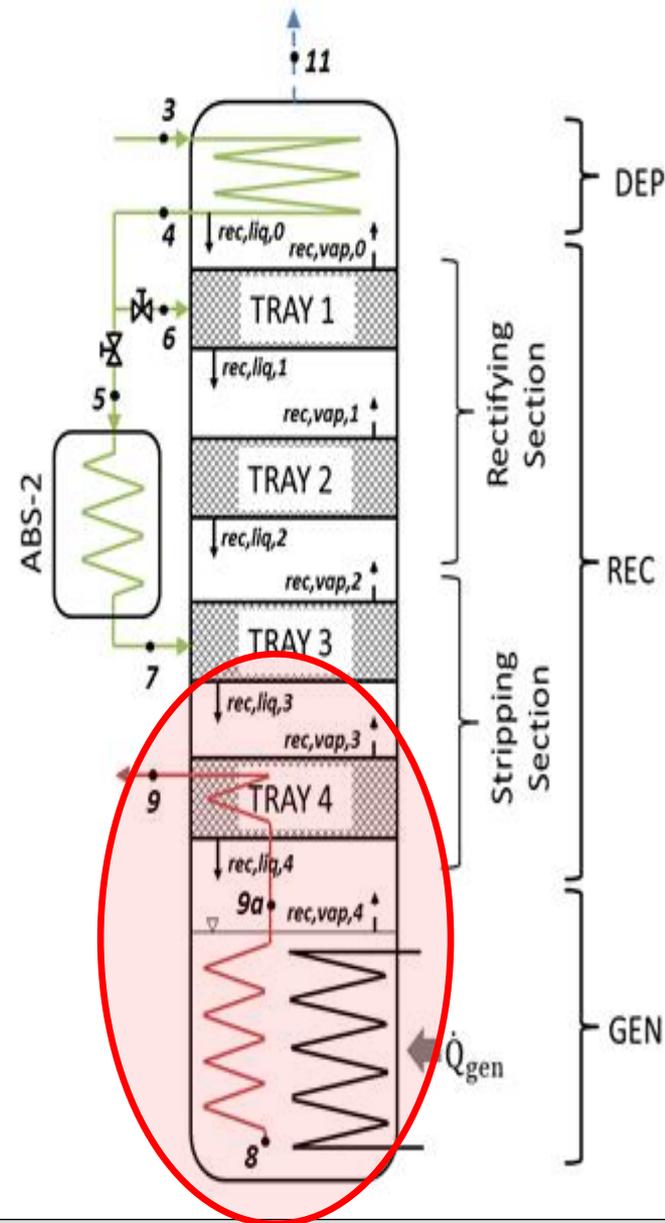
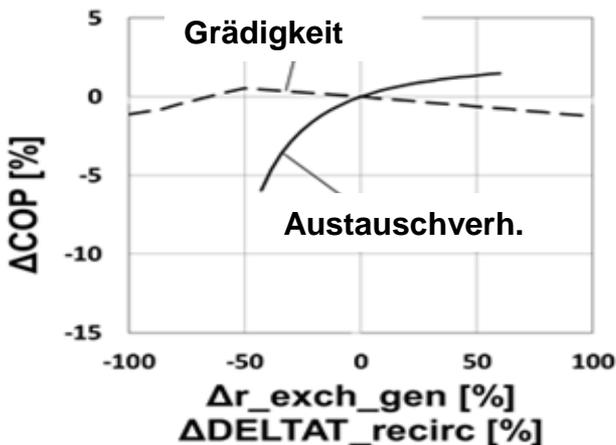
Offener Bypass ( $r_{bypass,opt}$ )

## Generator

$Q_{dot\_fuel\_Hi}=12,5 \text{ kW}; r_{bypass}=0,00$   
 $t_{sink}=45/50 \text{ } ^\circ\text{C}; t_{source\_in}=+8 \text{ } ^\circ\text{C}$



$Q_{dot\_fuel\_Hi}=12,5 \text{ kW}; r_{bypass}=0,20$   
 $t_{sink}=45/50 \text{ } ^\circ\text{C}; t_{source\_in}=+8 \text{ } ^\circ\text{C}$

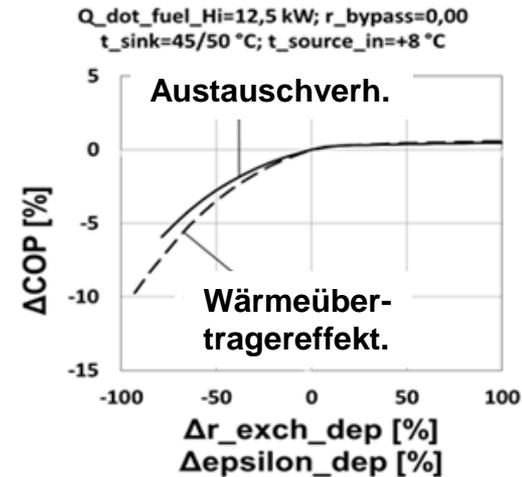
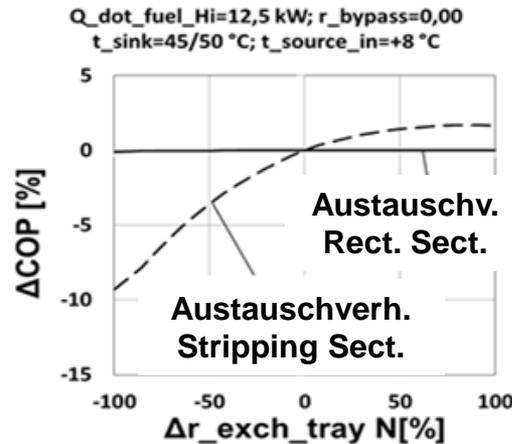
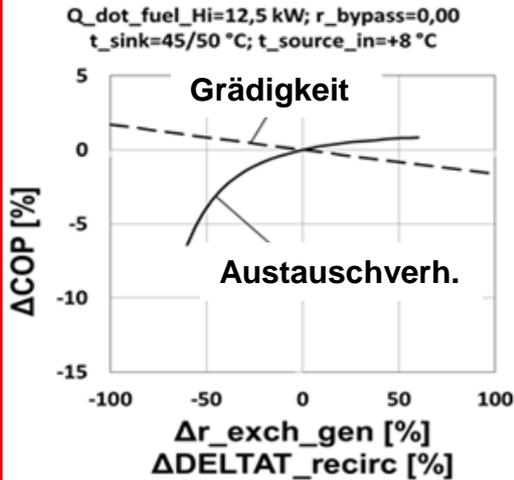


## Generator

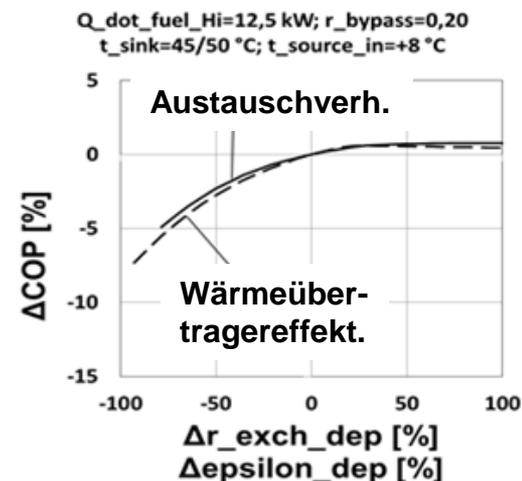
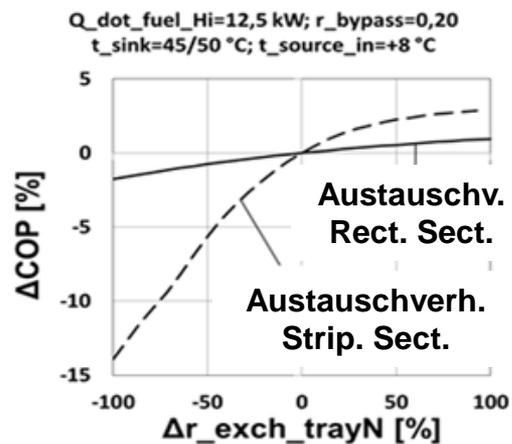
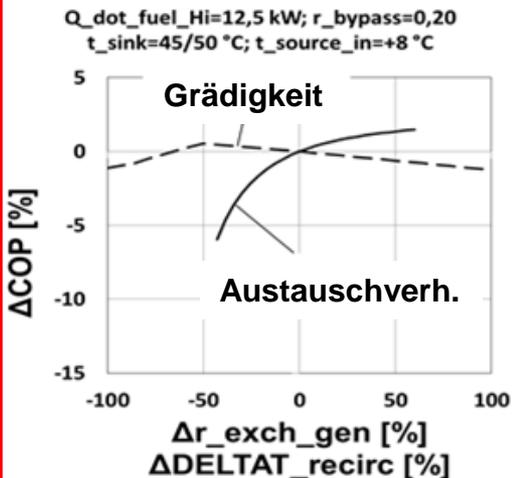
## Rektifikationskolonne

## Dephlegmator

Geschlossener Bypass



Offener Bypass ( $r_{\text{bypass,opt}}$ )



Motivation

System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

- Modellierung einer gasbetriebenen Absorptionwärmepumpe basierend auf Messergebnissen
- Fokus auf Desorber
  - Generator
  - Rektifikationskolonne (= Abtriebsteil + Verstärkungsteil)
  - Dephlegmator
- Ermittlung der optimalen Regelgrößen und des optimalen Bypass-Massenstromverhältnisses
- Variation der Desorber Performance → Einfluss auf COP:
  - Verstärkungsteil: untergeordneter Einfluss
  - Generator und Dephlegmator: relativ großer Einfluss
  - Abtriebsteil: größter Einfluss

Motivation

System

Modellierung

Parametervar.

Zusammenf.

# Schlussfolgerungen:

- Verstärkungsteil der Rektifikationskolonne  
→ Potential für Reduktion des Bauraums
- Abtriebsteil der Rektifikationskolonne  
→ Potential für Erhöhung des COP

# Ausblick:

- Überprüfung der Annahmen und Ergebnisse
  - Weitere Messungen (zusätzlicher Coriolis zur Messung des Bypass-Massenstromverhältnis, Anlegefühler an Desorber-Außenwand, ...)
  - Detaillierte Modellierung der Rektifikationskolonne (Zweifilm-Modell)
- CFD Modellierung Abtriebsteil
  - Ziel: Verbesserung des Wärme- und Stofftransports

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projekts „SOptA - Simulationsbasierte Optimierung von NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O-Wärmepumpen“, einer Kooperation zwischen der Bosch Thermotechnik GmbH und der Technischen Universität Graz. Die Autoren bedanken sich bei der Bosch Thermotechnik GmbH für die Finanzierung und Unterstützung.



# BOSCH

Diese Arbeit wurde teilweise durch das österreichische Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen der “IEA Research Cooperation” und des “IEA HPP Annex 43” gefördert.



Bundesministerium  
für Verkehr,  
Innovation und Technologie

IEA RESEARCH  
COOPERATION



HPP Annex 43