




BEST


Bioenergy and
Sustainable Technologies



 Bundesministerium
Digitalisierung und
Wirtschaftsstandort

 Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie



 Für die
Stadt Wien



Workshop – Experimentelle Analyse, Simulation und Regelung von Absorptionswärmepumpen/-kältemaschinen

Online (BBB), 09.04.2021

Viktor Unterberger

viktor.unterberger@best-research.eu

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.



B Bundesministerium
Digitalisierung und
Wirtschaftsstandort

B Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie



F Für die
Stadt Wien











Agenda

09:00	Begrüßung und Vorstellung Projekt HPC
09:30	Ergebnisse – Experimentelle Untersuchung und Simulation
10:00	Ergebnisse – Fortschrittliche Regelungsstrategien
10:30	Pause (15 min.)
10:45	Realer Einsatz und Nutzen der Projektergebnisse
11:15	Zukünftige Anwendungen
11:30	Diskussion, Abschluss und Zusammenfassung
12:00	ENDE

Projekt HPC - Heat Pumping systems Control



- Modellbasierte Regelung von Absorptionswärmepump-Anlagen (AWPA)
- Energieforschungsprogramm 4. Ausschreibung
- Industrielle Forschung, TRL ≤ 4
- Projektvolumen: 1.039.296 €
- Laufzeit: 01.05.2018 – 30.04.2021
- 6 Partner

	BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies
	Technische Universität Graz – Institut für Wärmetechnik
	SOLID Solar Energy Systems GmbH
	Pink GmbH
	EAW Energieanlagenbau GmbH Westenfeld
	AEE – Institut für Nachhaltige Technologien



Motivation und Hauptziel von HPC

AWPA besitzen **großes Potential** zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie in Heiz- und Kühlsystemen



Motivation und Hauptziel von HPC

AWPA besitzen **großes Potential** zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie in Heiz- und Kühlsystemen



Herausforderung für AWPA:

Typischerweise:
Regelung für Einsatz unter
relativ konstanten
Betriebsbedingungen



Motivation und Hauptziel von HPC

AWPA besitzen **großes Potential** zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie in Heiz- und Kühlsystemen



Herausforderung für AWPA:

Typischerweise:
Regelung für Einsatz unter
relativ konstanten
Betriebsbedingungen



Für optimale Integration:
Umgang mit schwankenden
Betriebsbedingungen
erforderlich



Motivation und Hauptziel von HPC

AWPA besitzen **großes Potential** zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie in Heiz- und Kühlsystemen

Herausforderung für AWPA:

Typischerweise:
Regelung für Einsatz unter
relativ konstanten
Betriebsbedingungen



Für optimale Integration:
Umgang mit schwankenden
Betriebsbedingungen
erforderlich

Hauptziel HPC:

Entwicklung einer Regelung auf Komponentenebene zur Erleichterung der Integration von AWPA in Heiz- und Kühlsysteme

→ Besseres **Teillastverhalten** unter **Einhaltung relevanter Regelgrößen**

Aufbau des Projekts



- Entwicklung und Aufbau eines **Versuchsstands**
- **Experimentelle Untersuchungen**

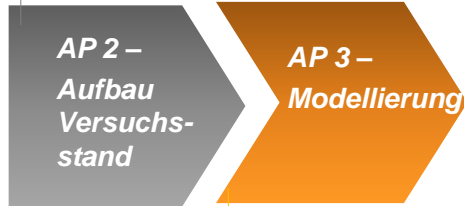
*AP 2 –
Aufbau
Versuchs-
stand*

AP 1 - Projektmanagement



Aufbau des Projekts

- Entwicklung und Aufbau eines **Versuchsstands**
- **Experimentelle Untersuchungen**



AP 1 - Projektmanagement

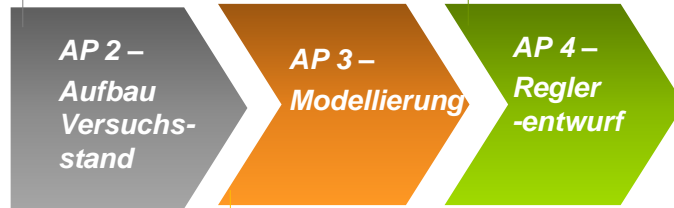
- **Mathematische Modellierung**
für Simulationszweck und
Reglerentwurf



Aufbau des Projekts

- Entwicklung und Aufbau eines **Versuchsstands**
- **Experimentelle Untersuchungen**

- Entwicklung einer **modellbasierten Regelung** für AWPA

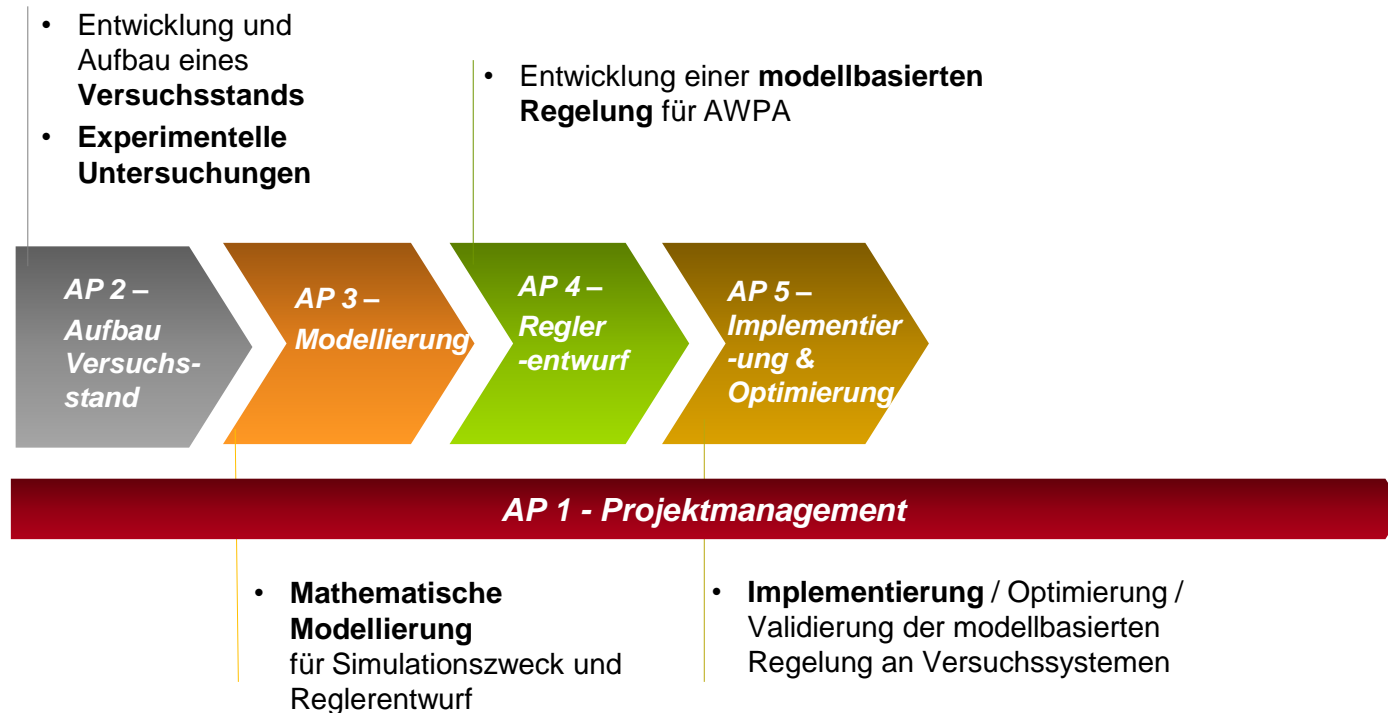


AP 1 - Projektmanagement

- **Mathematische Modellierung** für Simulationszweck und Reglerentwurf



Aufbau des Projekts



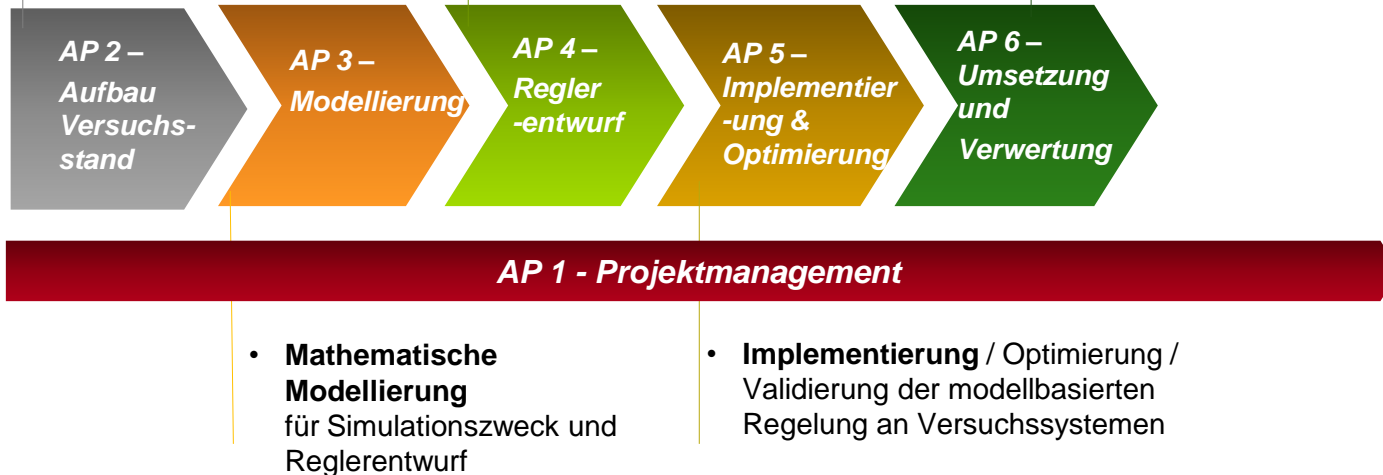


Aufbau des Projekts

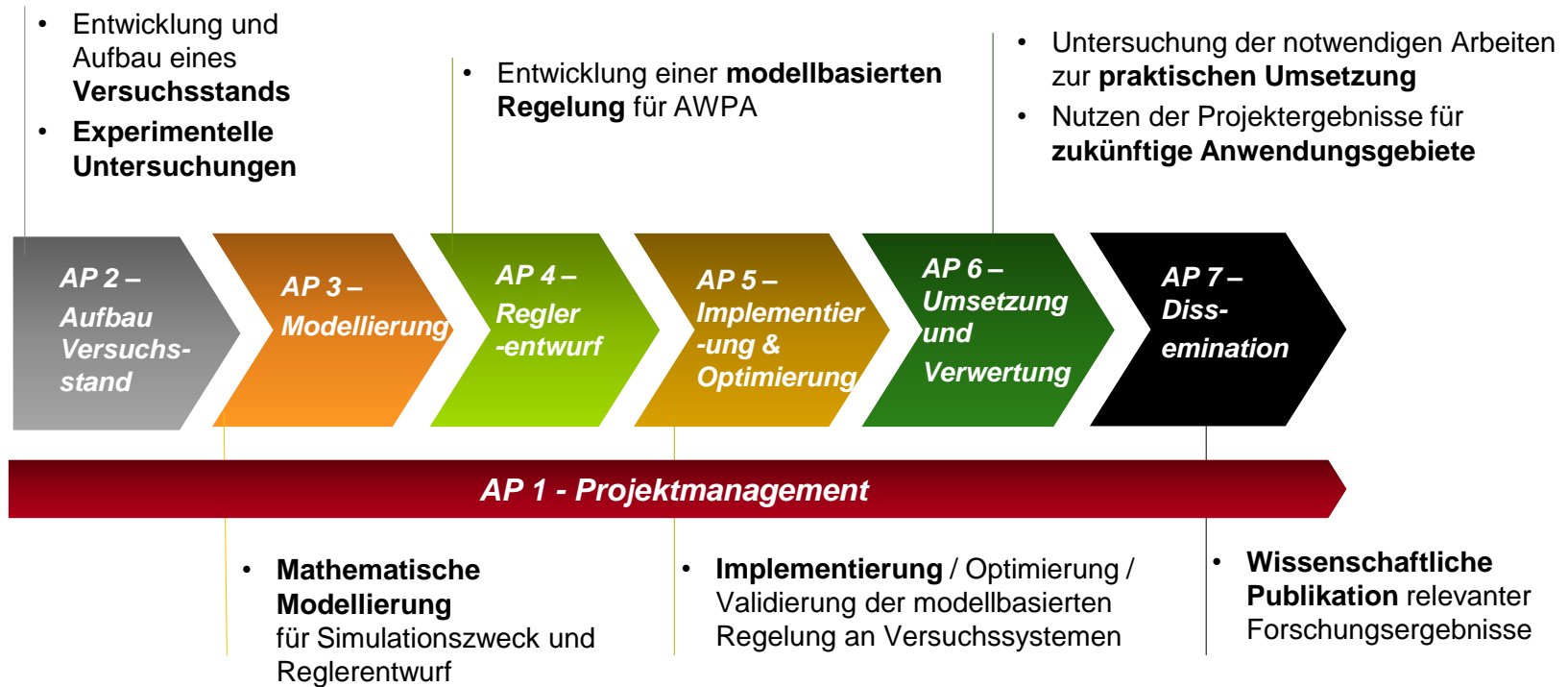
- Entwicklung und Aufbau eines **Versuchsstands**
- **Experimentelle Untersuchungen**

- Entwicklung einer **modellbasierten Regelung** für AWPA

- Untersuchung der notwendigen Arbeiten zur **praktischen Umsetzung**
- Nutzen der Projektergebnisse für **zukünftige Anwendungsgebiete**

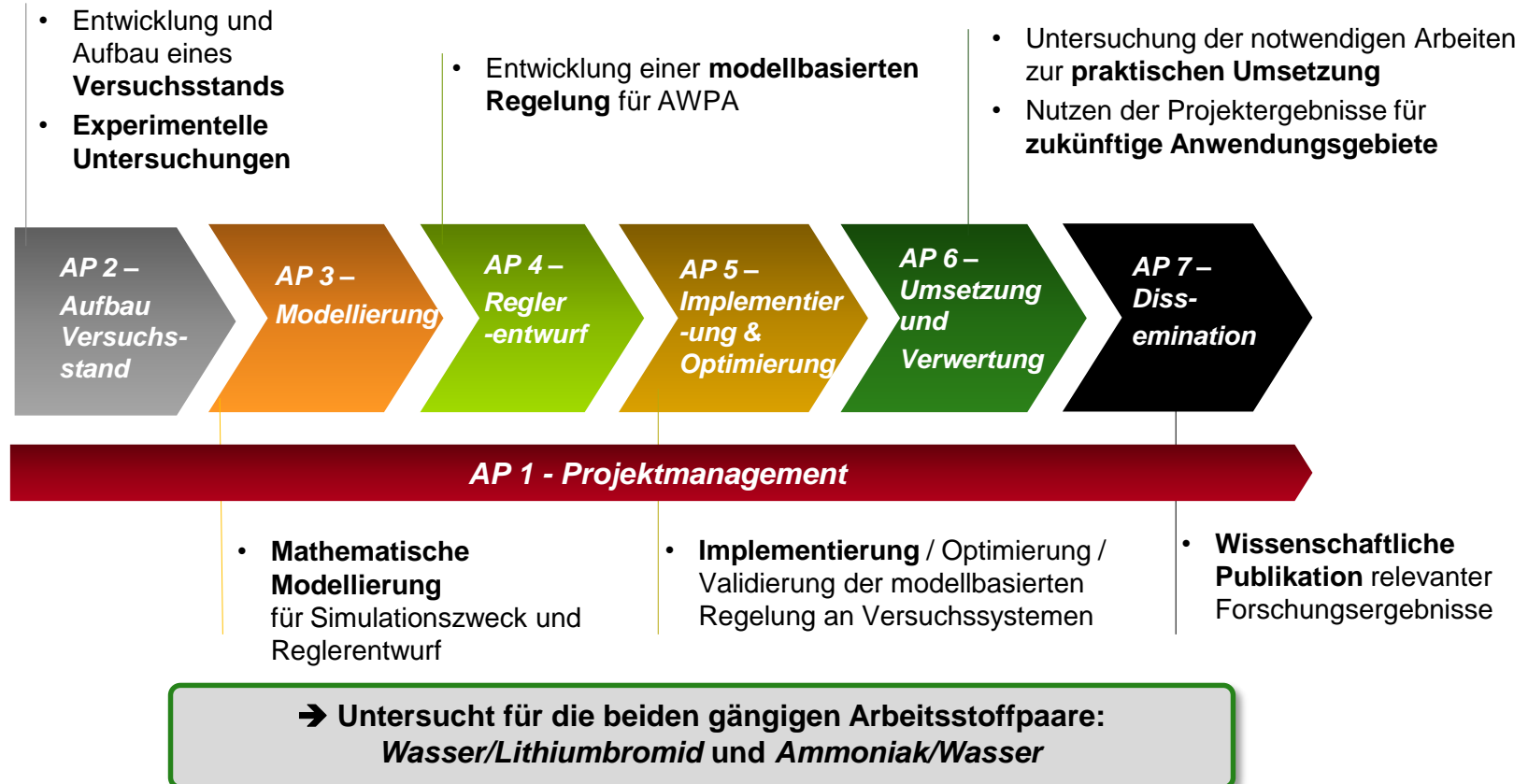


Aufbau des Projekts





Aufbau des Projekts



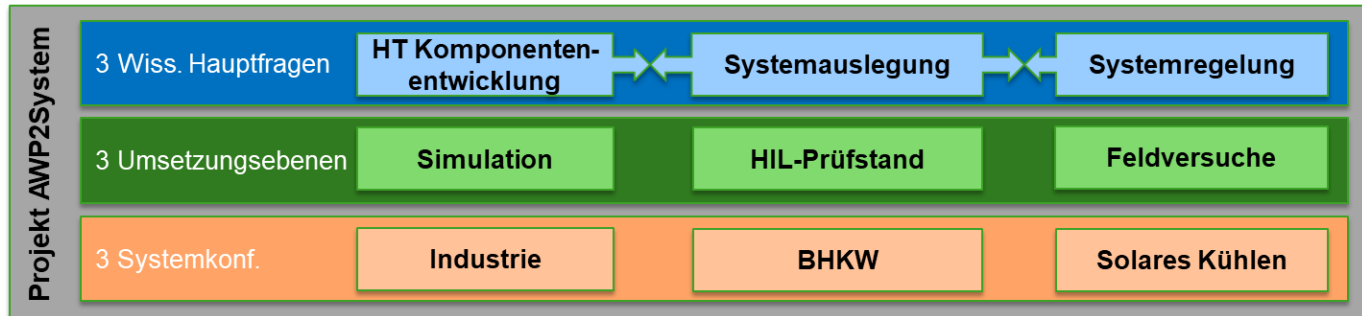


Nachfolgeprojekt



Projekt HPC → Projekt AWP2System

- **Ziel:** AWP2 als flexible technologische Lösung **effizient** und in eine Vielzahl von **Systeme** des Wärme- und Kältesektors zu **integrieren**.



Auswahl angestrebter Ergebnisse

- **Simulationsgestützte-Auslegungsroutinen** → zur Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens und der Regelung in der Auslegung
- **Modulare Systemregelungsalgorithmen** → optimale Regelung von Systemen und Vergleich verschiedener Ansätze (MILP, symbolische Regression, AI-MPC, ...)
- **Entwicklung von Hochtemperatur AWP2** → Prototyp für kleinen bis mittleren Leistungsbereich
- **Klare Demonstration des Nutzens** in Simulation, am HiL Teststand in ausgewählten Feldversuchen

Workshop – Experimentelle Analyse, Simulation und Regelung von Absorptionswärmepumpen/-kälteanlagen

Online (BBB), 09.04.2021

Dipl.-Ing. Viktor Unterberger
Senior Researcher
Area 5.3 - Automation and Control
T + 43 5 02378-9245

viktor.unterberger@best-research.eu

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.



Bundesministerium
Digitalisierung und
Wirtschaftsstandort

Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie



Für die
Stadt Wien





Vorstellung Projektpartner EAW und Wasser/Lithiumbromid Absorptionskältemaschine

HPC Workshop, 09.04.2021



Thüringen





Produktprogramm



BHKW Kompaktmodule ab 20 kWel
Erdgas

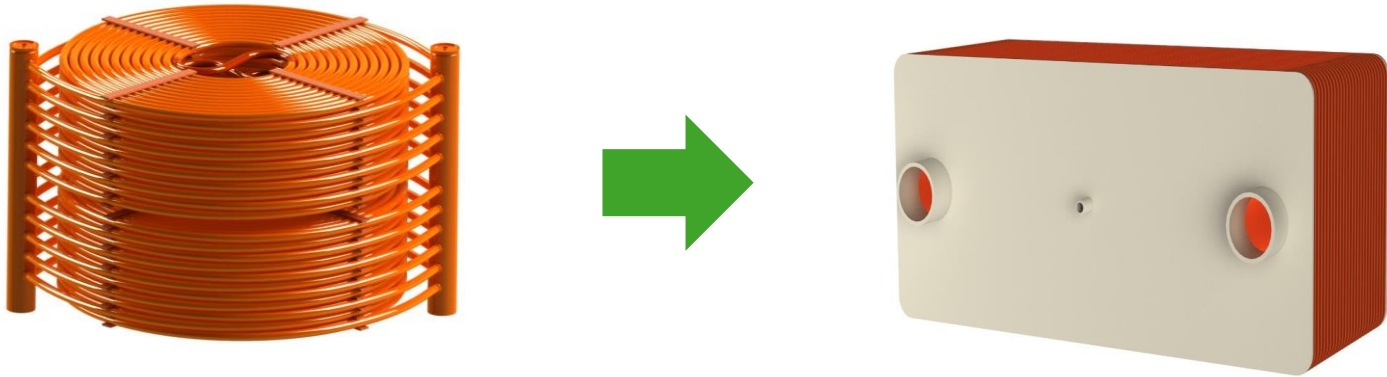


WEGRACAL Maral 1 - 4
Absorptionskälteanlage (H₂O/LiBr)



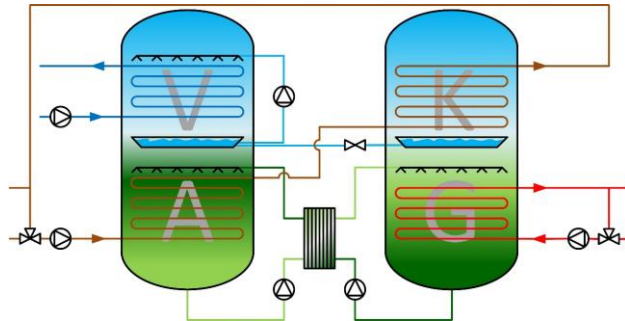
WEGRACAL SE 150 –250 kW
Absorptionskälteanlage (H₂O/LiBr)

Entwicklung Wärmeübertrager

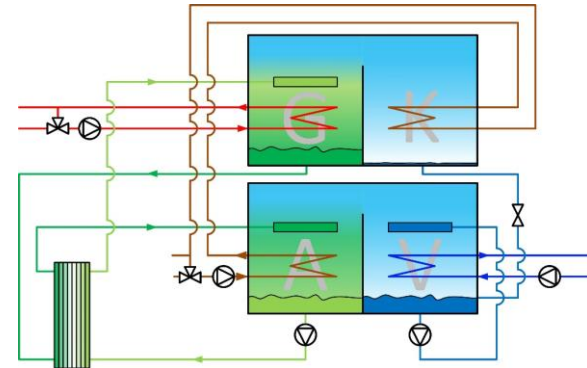


Veränderung des Prozessablauf

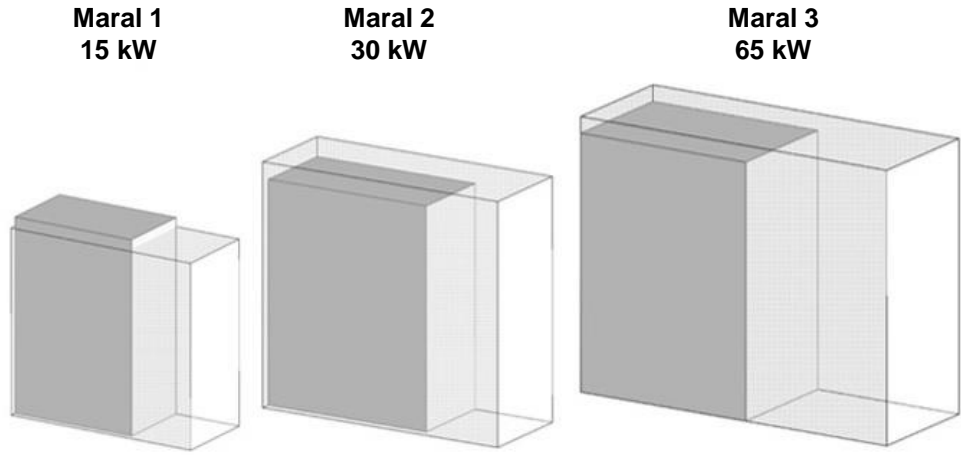
alter Prozess



neuer Prozess



Baugrößenreduzierung



verbesserte Steuerung und neue Bedienoberfläche



- ▶ komfortabler System-Controller mit großem Touchdisplay

weitere Vorteile



- geringere Füllmengen an Kältemittel und LiBr-Lösung (-50%)
- reaktions schnelles Regelverhalten mit kurzer Anlaufzeit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

EAW Energieanlagenbau GmbH

Westenfeld

Oberes Tor 106, 98630 Römhild

Christian Kemmerzehl


Leiter Forschung & Entwicklung

Tel.: +49 36948 84-237

E-Mail: ckemmerzehl@eaw-energieanlagenbau.de

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.



Solarsysteme Speicher-technik Kühlsysteme Energieoptimierung

Intelligent & individuell

Speichertechnik

Pink GmbH Energie- und Speichertechnik Bahnhofstrasse 22 A-8665 Langerwang
Tel.: +43 (0) 3854 - 3666 - 0 info@pink.co.at
Fax: +43 (0) 3854 - 3666 - 40 www.pink.co.at




Solarsysteme Speicher-technik Kühlsysteme Energieoptimierung

Die Sonne anzapfen

Solarsysteme

Pink GmbH Energie- und Speichertechnik Bahnhofstrasse 22 A-8665 Langerwang
Tel.: +43 (0) 3854 - 3666 - 0 info@pink.co.at
Fax: +43 (0) 3854 - 3666 - 40 www.pink.co.at




Solarsysteme Speicher-technik Kühlsysteme Energieoptimierung

Energie mit System

Energieoptimierung

Pink GmbH Energie- und Speichertechnik Bahnhofstrasse 22 A-8665 Langerwang
Tel.: +43 (0) 3854 - 3666 - 0 info@pink.co.at
Fax: +43 (0) 3854 - 3666 - 40 www.pink.co.at



Solarsysteme Speicher-technik Kühlsysteme Energieoptimierung

Kälte aus Wärme

Kühlsysteme

Pink GmbH Energie- und Speichertechnik Bahnhofstrasse 22 A-8665 Langerwang
Tel.: +43 (0) 3854 - 3666 - 0 info@pink.co.at
Fax: +43 (0) 3854 - 3666 - 40 www.pink.co.at



2005
6 kW_{Kä}



2010
12 kW_{Kä}



2012
19 kW_{Kä}



2017
5-30 kW_{Kä}

- Variable Bauweise
 - Standard-Plattenwärmeübertrager
 - Skalierbare Leistung (10-30 kW_{Kälte})
 - Verwendung von KKM-Standard-Komponenten
 - Unterschiedliche Prozesse realisierbar
 - Half Effekt / Single Effekt / direkter Verdampfer (Rauchgas WÜ)
- Regelung des Gesamtsystems
 - Kältemaschine
 - Einspritzventil, Lösungspumpe,...
 - Hydraulische Pumpen
 - Rückkühler, Speicher,
- Fernwartung / Monitoring
 - Energiebilanzen
 - Störmeldung
-

Dipl.-Ing. Christian Halmdienst
Absorptionskältetechnik, Energietechnik

Tel.: +43 (0)3854/3666-60
email: c.halmdienst@pink.co.at

www.pink.co.at



Workshop
„Experimentelle Analyse, Simulation und Regelung von
Absorptionswärmepumpen/-kältemaschinen“
(Projekt „Heat Pumping Systems Control (HPC)“ – FFG-Projekt Nr.: 865095)

Experimentelle Analyse und Simulation – Ergebnisse

Wernhart M. & Rieberer R.
Institut für Wärmetechnik (IWT)
Technische Universität Graz
Michael.Wernhart@tugraz.at
<http://www.iwt.tugraz.at>



BBB, 09. April 2021

Bewertung des dynamischen Verhaltens von Absorptionskälteanlagen (AKA)

- Erarbeitung und Durchführung von Laständerungen
- Ermittlung der Dauer bis zum stationären Betrieb nach einem Betriebspunktwechsel
- Identifikation der Komponenten mit großem Einfluss auf die Dynamik
(z. B. Wolken->Sonne bei solarthermischer Kühlung)

Dynamische Simulationsmodelle von Absorptionswärmepumpen/-kälteanlagen (AWPA)

- Physikalisch basierte Modellierung von Einzelkomponenten
- Zusammensetzung der einzelnen Komponentenmodelle zu einem System
- Überprüfung durch Vergleich von Simulationsergebnissen mit den Versuchsergebnissen

➤ Gängige Arbeitsstoffpaare (Kältemittel/Lösungsmittel)

- Wasser/Lithiumbromid ($H_2O/LiBr$)
- Ammoniak/Wasser (NH_3/H_2O)

➤ „Thermischer Verdichter“ anstatt eines „mechanischen Verdichters“

- Kältemittel-Reiche Lösung (RSo)
- Kältemittel-Arme Lösung (PSo)

➤ 3 Temperaturniveaus

- Hoch: Heißwasser
- Mittel: Kühlwasser
- Niedrig: Kaltwasser

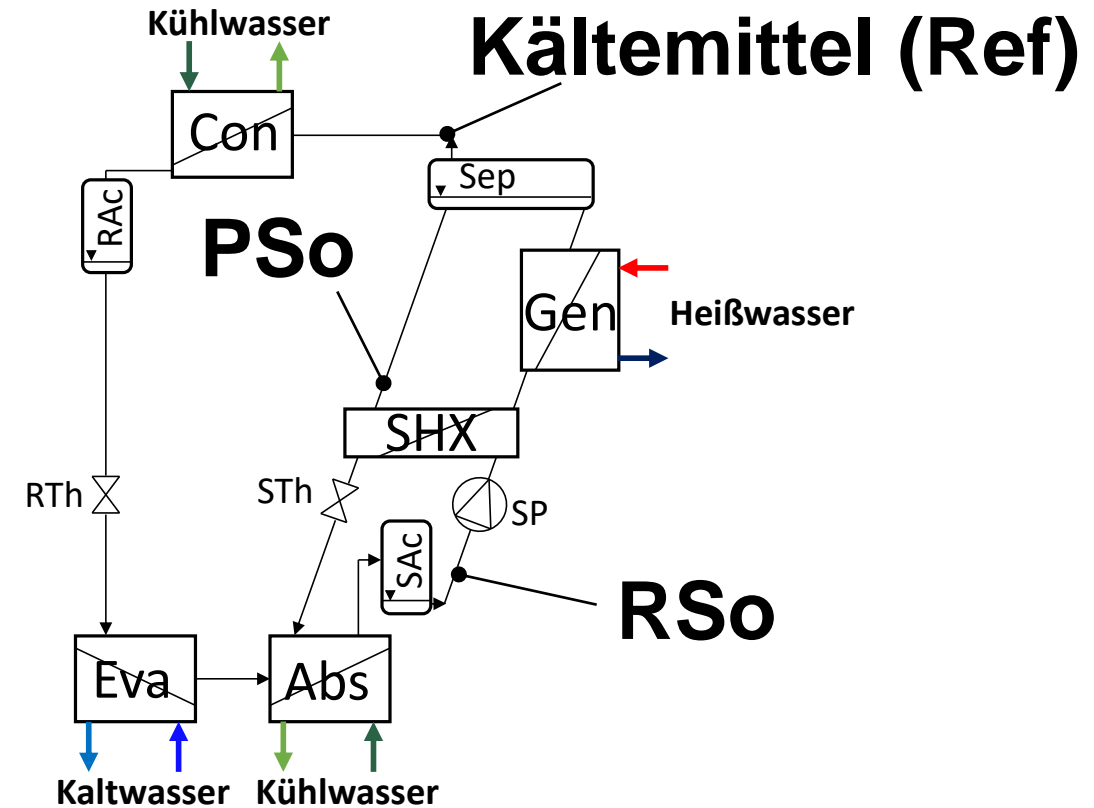


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH_3/H_2O -AKA

Abs	Absorber	RTh	Kältemitteldrossel
Con	Kondensator	SAC	Lösungsmittelsammler
Eva	Verdampfer	Sep	Separator
Gen	Generator	SHX	Lösungsmittelwärmeübertrager
RAC	Kältemittelsammelbehälter	SP	Lösungsmittelpumpe
		STh	Lösungsmitteldrossel

Teststand

$H_2O/LiBr$ -AKA

- Hersteller: EAW – Energieanlagenbau GmbH Westenfeld
- Nennkälteleistung: 15 kW

NH_3/H_2O -AKA

- Hersteller: Pink GmbH
- Nennkälteleistung: 12,5 kW

Hydraulische Infrastruktur

- 3 Wasserkreise
 - Heißwassereintrittstemperatur: 65 – 95 °C
 - Kühlwassereintrittstemperatur: 22 – 40 °C
 - Kaltwasseraustrittstemperatur: 0 – 18 °C

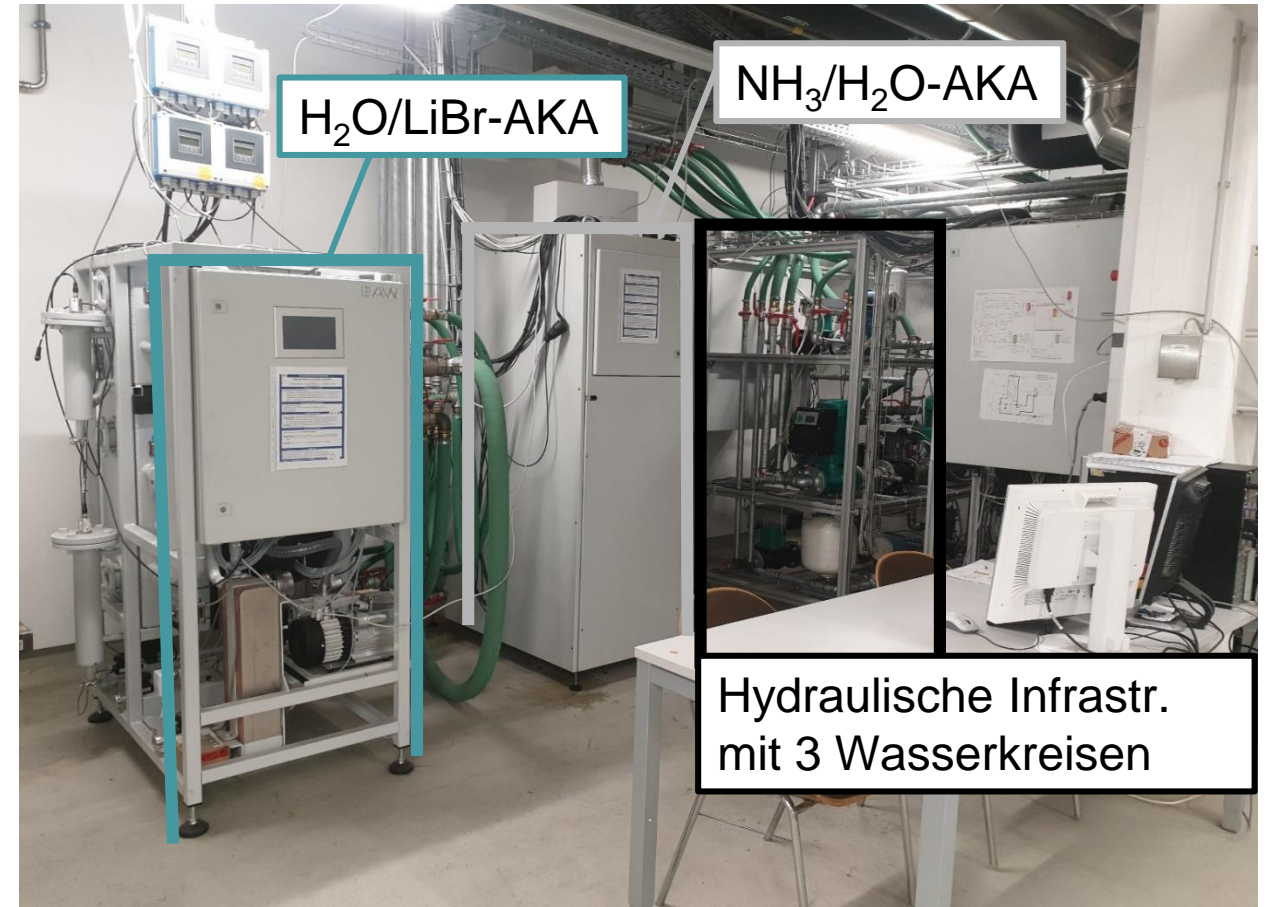


Abb.: Absorptionskälteanlagen mit hydraulischer Infrastruktur

NH₃/H₂O-AKA

➤ Messglieder:

- 16 Temperatursensoren
- 2 Relativdrucksensoren
- 3 Massenstromsensoren
- 3 Füllstandssensoren

➤ Stellglieder:

- 1 Kältemitteldrossel (RTh)
- 1 Lösungsmitteldrossel (STh)
- 1 Lösungsmittelpumpe (SP)

Hydraulische Infrastruktur

- Jeder Kreis ist mit je zwei Speicher (je 1.500 l) auf zwei unterschiedlichen Temperaturen verbunden
 - Je 1 Ventil und je 1 Pumpe: Generierung des Lastfalls
 - Je 1 Ventil und je 1 Pumpe: Test von Regelungen
- 15 Temperatur- und 3 Volumenstromsensoren

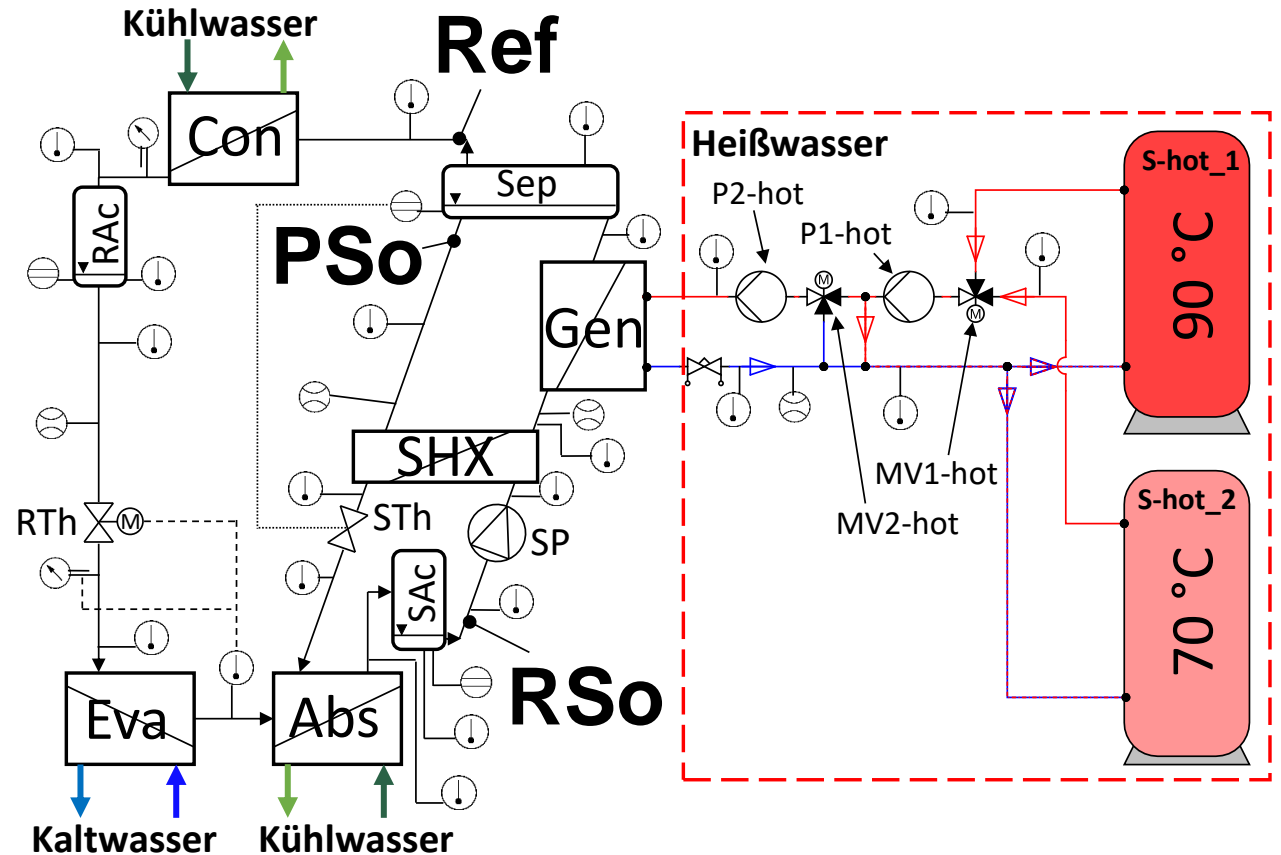


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH₃/H₂O-AKA inkl. Anbindung an den Heißwasserkreis

Abs	Absorber	RTh	Kältemitteldrossel
Con	Kondensator	SAC	Lösungsmittelsammler
Eva	Verdampfer	Sep	Separator
Gen	Generator	SHX	Lösungsmittelwärmeübertrager
RAC	Kältemittelsammelbehälter	SP	Lösungsmittelpumpe
		STh	Lösungsmitteldrossel

Sensoren	
	Relativdruck
	Durchfluss
	Füllstand
	Temperatur

H₂O/LiBr-AKA

➤ Messglieder:

- 8 Temperatursensoren
- 2 Absolutdrucksensoren
- 3 Volumenstromsensoren
- 4 Füllstandssensoren

➤ Stellglieder:

- Lösungsmittelpumpe (SP)
- Kältemittelpumpe (RP)

Hydraulische Infrastruktur

➤ Jeder Kreis ist mit je zwei Speicher (je 1.500 l) auf zwei unterschiedlichen Temperaturen verbunden

- Je 1 Ventil und je 1 Pumpe: Generierung des Lastfalls
- Je 1 Ventil und je 1 Pumpe: Test von Regelungen

➤ 15 Temperatur- und 3 Volumenstromsensoren

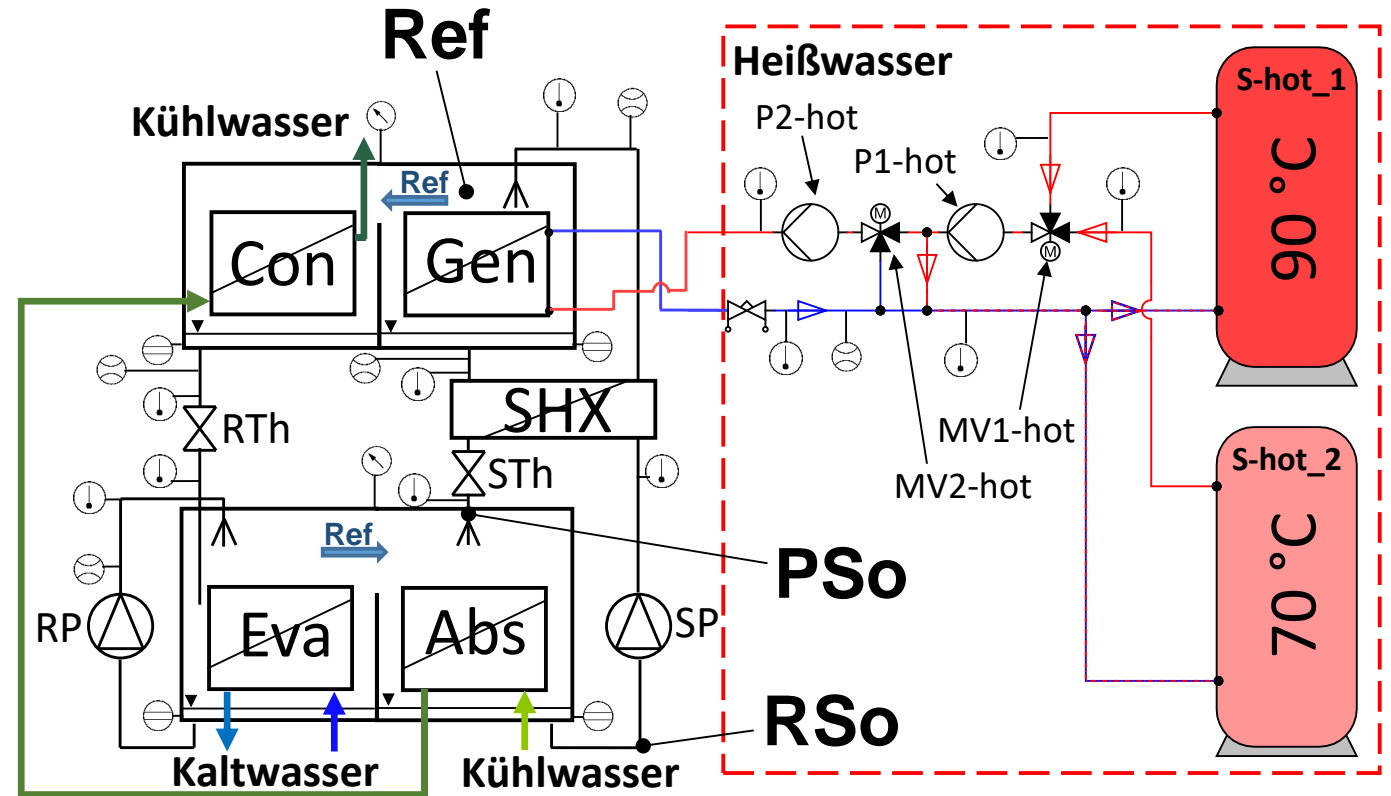


Abb.: Vereinfachtes Schema der H₂O/LiBr-AKA inkl. Anbindung an den Heißwasserkreis

Abs	Absorber	RP	Kältemittelpumpe	Sensoren
Con	Kondensator	RTh	Kältemitteldrossel	
Eva	Verdampfer	SHX	Lösungsmittelwärmeübertrager	
Gen	Generator	SP	Lösungsmittelpumpe	
		STh	Lösungsmitteldrossel	

Experimentelle Analyse der $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ -AKA am Beispiel eines Temperatursprungs im Heißwasserkreis

Heißwasserspeicher

➤ 70 °C und 90 °C

P2-hot und P1-hot:

➤ Regelung auf konstanten Volumenstrom

Lösungsmittelpumpe (SP)

➤ Konstante Drehzahl

$$\Delta T_{Gleit} = 10 K$$

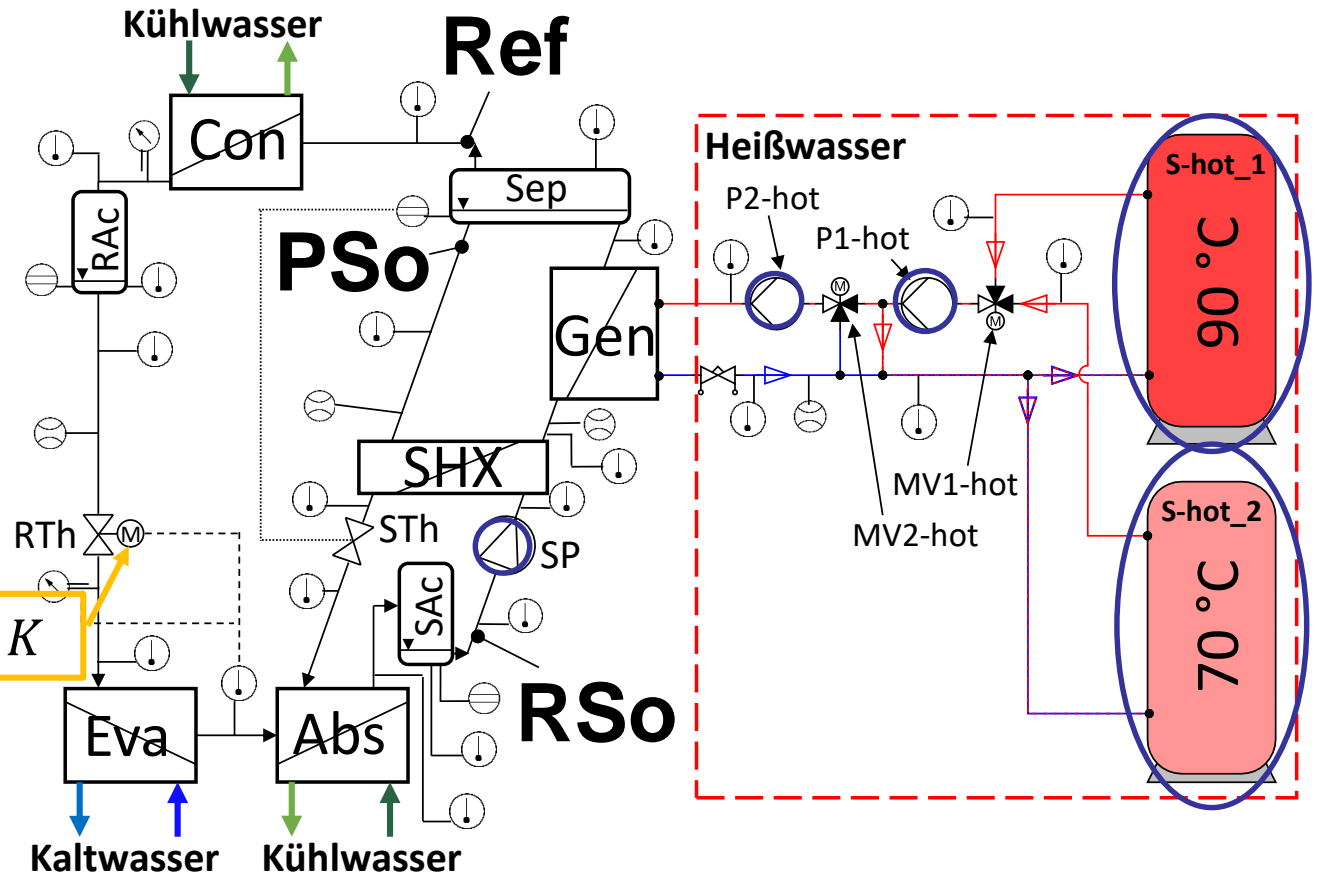


Abb.: Temperatursprung im Heißwasserkreis zur Untersuchung des dyn. Verhaltens d. NH₃/H₂O-AKA

Abs	Absorber	RTh	Kältemitteldrossel	Sensoren
Con	Kondensator	SAC	Lösungsmittelsammler	
Eva	Verdampfer	Sep	Separator	
Gen	Generator	SHX	Lösungsmittelwärmeübertrager	
RAC	Kältemittelsammelbehälter	SP	Lösungsmittelpumpe	
		STh	Lösungsmitteldrossel	

Heißwasserspeicher

- 70 °C und 90 °C

P2-hot und P1-hot:

- Regelung auf konstanten Volumenstrom

Lösungsmittelpumpe (SP)

- Konstante Drehzahl

MV2-hot:

- Voll geöffnet

MV1-hot:

- Temperaturregelung: 75 °C

$$\Delta T_{Gleit} = 10 K$$

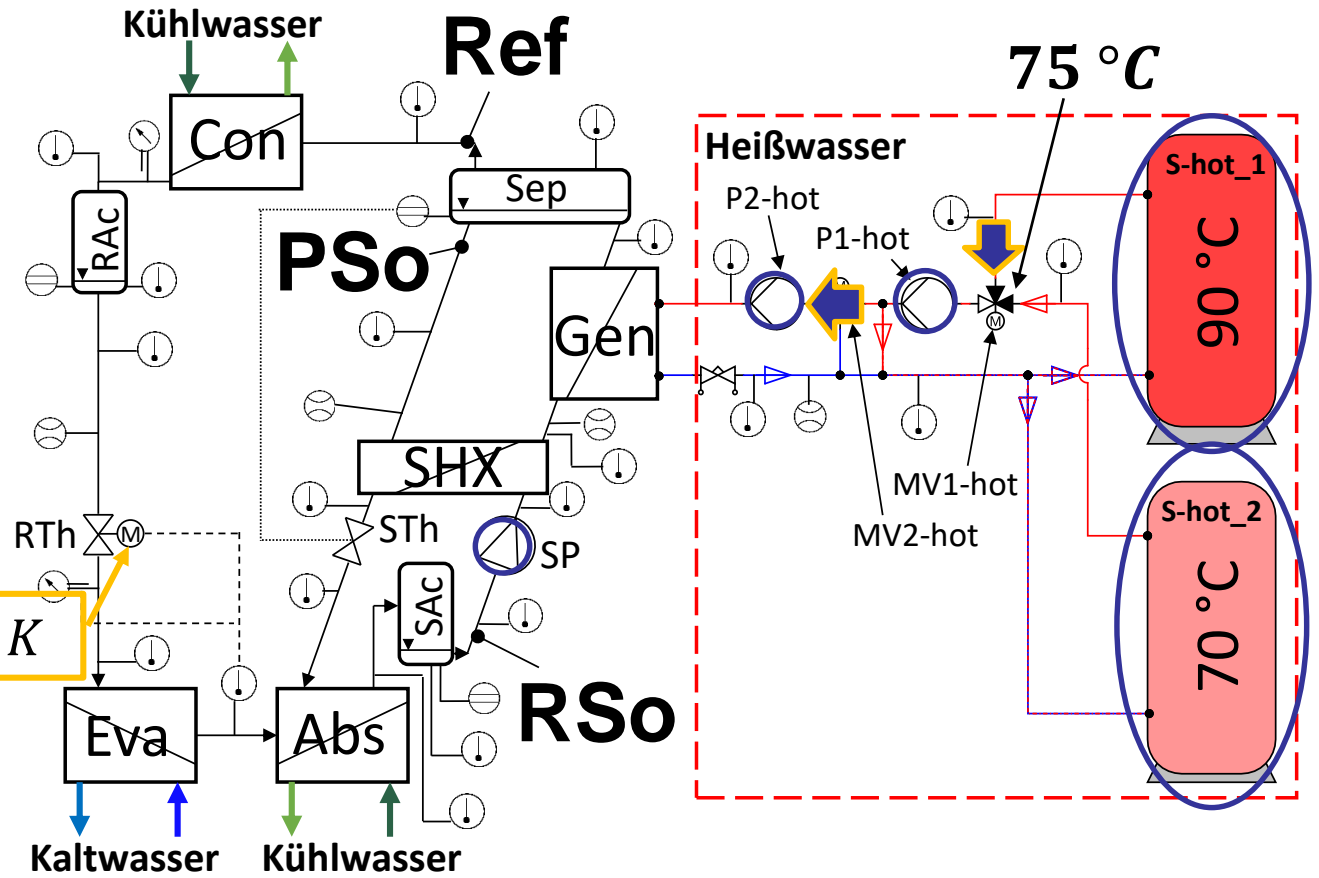


Abb.: Temperatursprung im Heißwasserkreis zur Untersuchung des dyn. Verhaltens d. NH₃/H₂O-AKA

Abs	Absorber	RTh	Kältemitteldrossel	Sensoren
Con	Kondensator	SAC	Lösungsmittelsammler	
Eva	Verdampfer	Sep	Separator	
Gen	Generator	SHX	Lösungsmittelwärmeübertrager	
RAC	Kältemittelsammelbehälter	SP	Lösungsmittelpumpe	
		STh	Lösungsmitteldrossel	

Heißwasserspeicher

- 70 °C und 90 °C

P2-hot und P1-hot:

- Regelung auf konstanten Volumenstrom

Lösungsmittelpumpe (SP)

- Konstante Drehzahl

MV2-hot:

- Voll geöffnet

MV1-hot:

- Temperaturregelung: 75 °C
- Bei stationärem Anlagenbetrieb: Schließen von MV1-hot

$$\Delta T_{Gleit} = 10 K$$

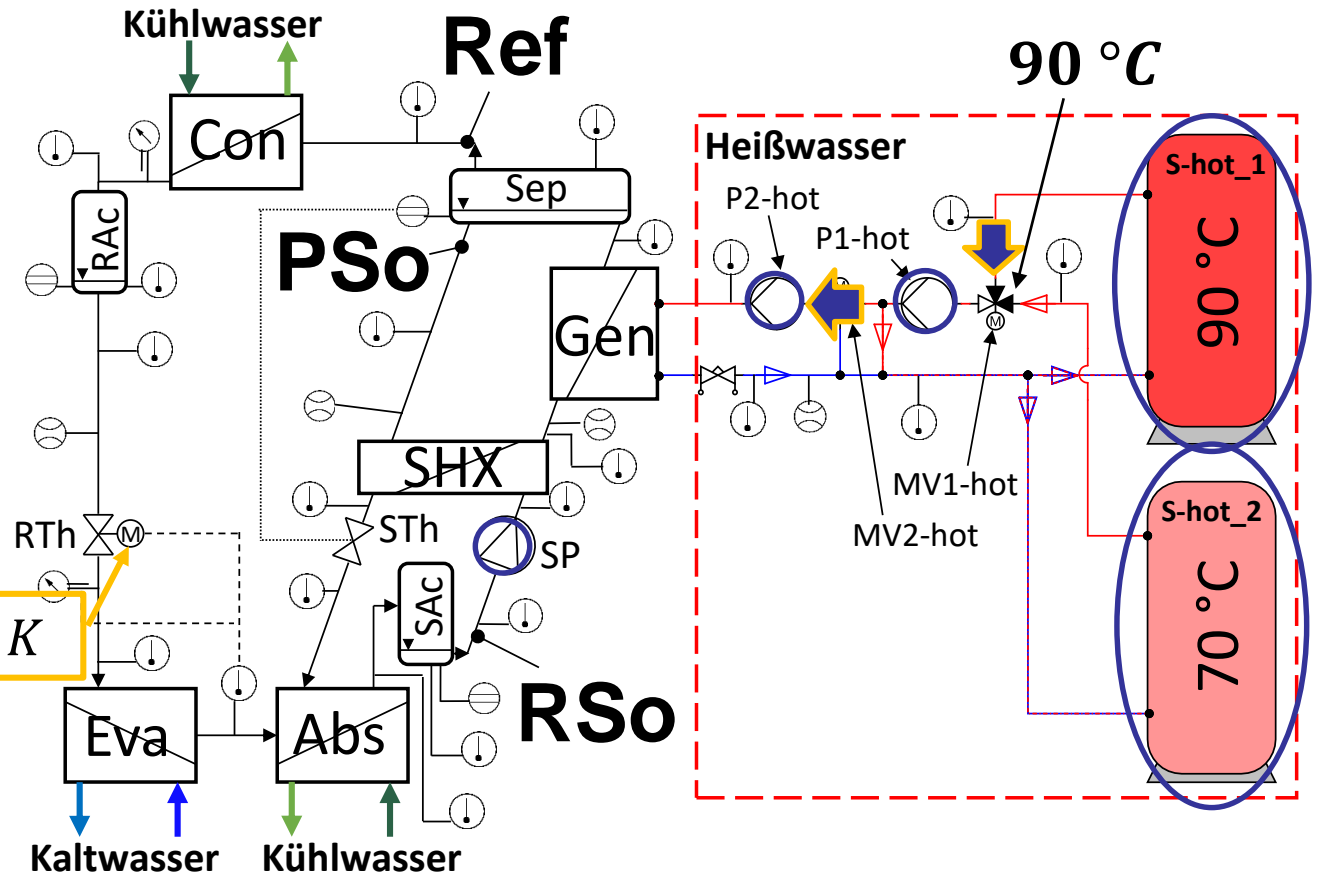


Abb.: Temperatursprung im Heißwasserkreis zur Untersuchung des dyn. Verhaltens d. NH₃/H₂O-AKA

Abs	Absorber	RTh	Kältemitteldrossel	Sensoren
Con	Kondensator	SAc	Lösungsmittelsammler	
Eva	Verdampfer	Sep	Separator	
Gen	Generator	SHX	Lösungsmittelwärmeübertrager	
RAc	Kältemittelsammelbehälter	SP	Lösungsmittelpumpe	
		STh	Lösungsmitteldrossel	

Gemessene Wassereintrittstemperaturen

- Temperaturänderung im Heißwasserkreis (z. B. Wolken -> Sonne bei solarthermischer Kühlung)
- Konstante Temperaturen im Kühl- und Kaltwasserkreis
- Leicht schwankende Heißwassereintrittstemperaturen wegen Ventilregelungen im Kreis des Heißwasserspeichers

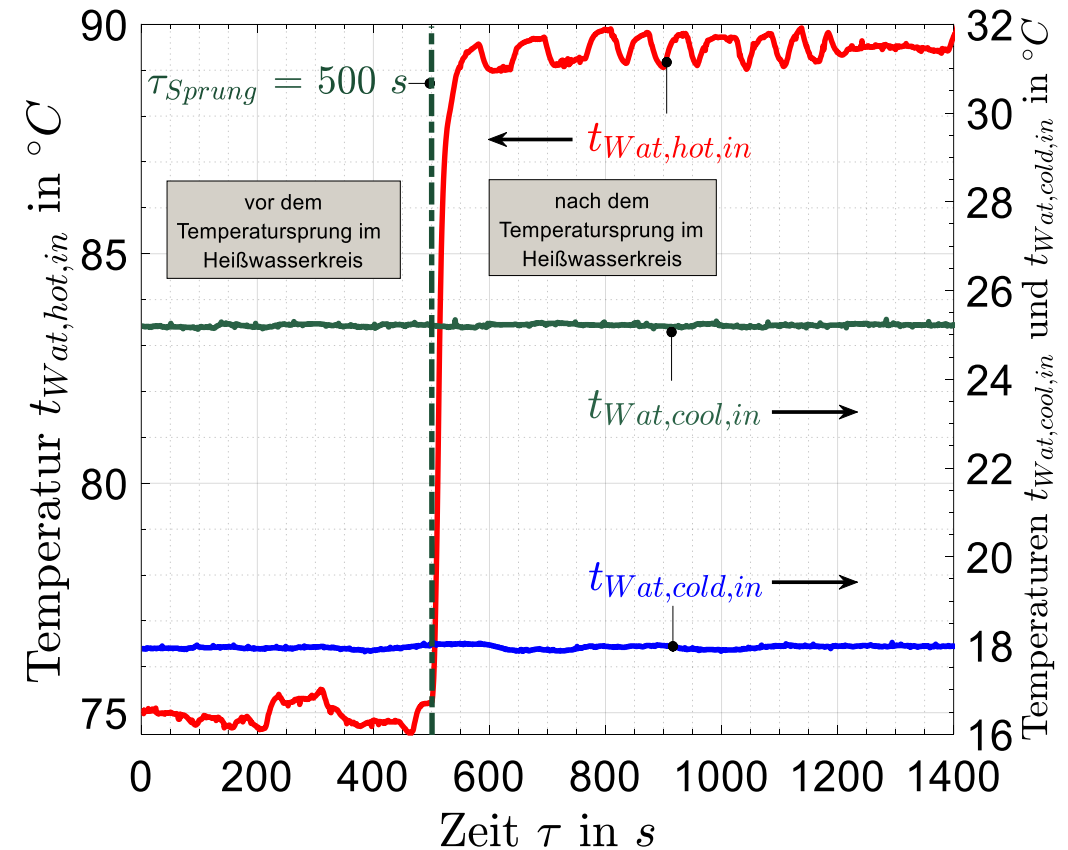


Abb.: Gemessene Temperaturen in den Wasserkreisen

Gemessene Volumen- und Massenströme

- Konstante Volumenströme im Kühl- und Kaltwasserkreis
- Kurzzeitiger Anstieg des Heißwasservolumenstroms aufgrund der Änderung der Ventilstellung
- Veränderung des Massenstroms der reichen Lösung aufgrund von Dichteänderungen

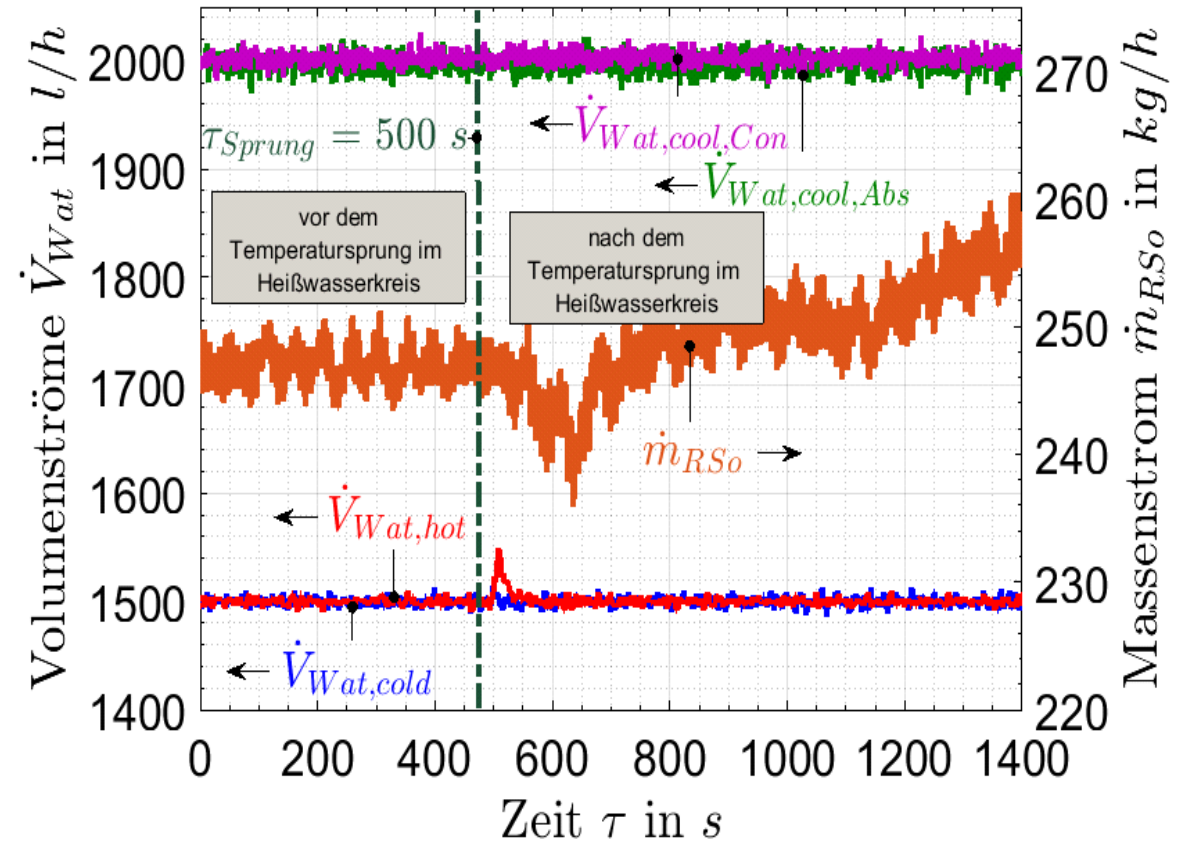


Abb.: Gemessene Volumenströme in den Wasserkreisläufen und Massenstrom der reichen Lösung

Erhöhung der Heißwassereintrittstemperatur

- Änderungen der Temperatur und des NH₃-Anteils in der Lösung und im Kältemittel
- Massenstromänderungen im Lösungs- und im Kältemittelkreis
- Druckänderungen während des Betriebspunktwechsels

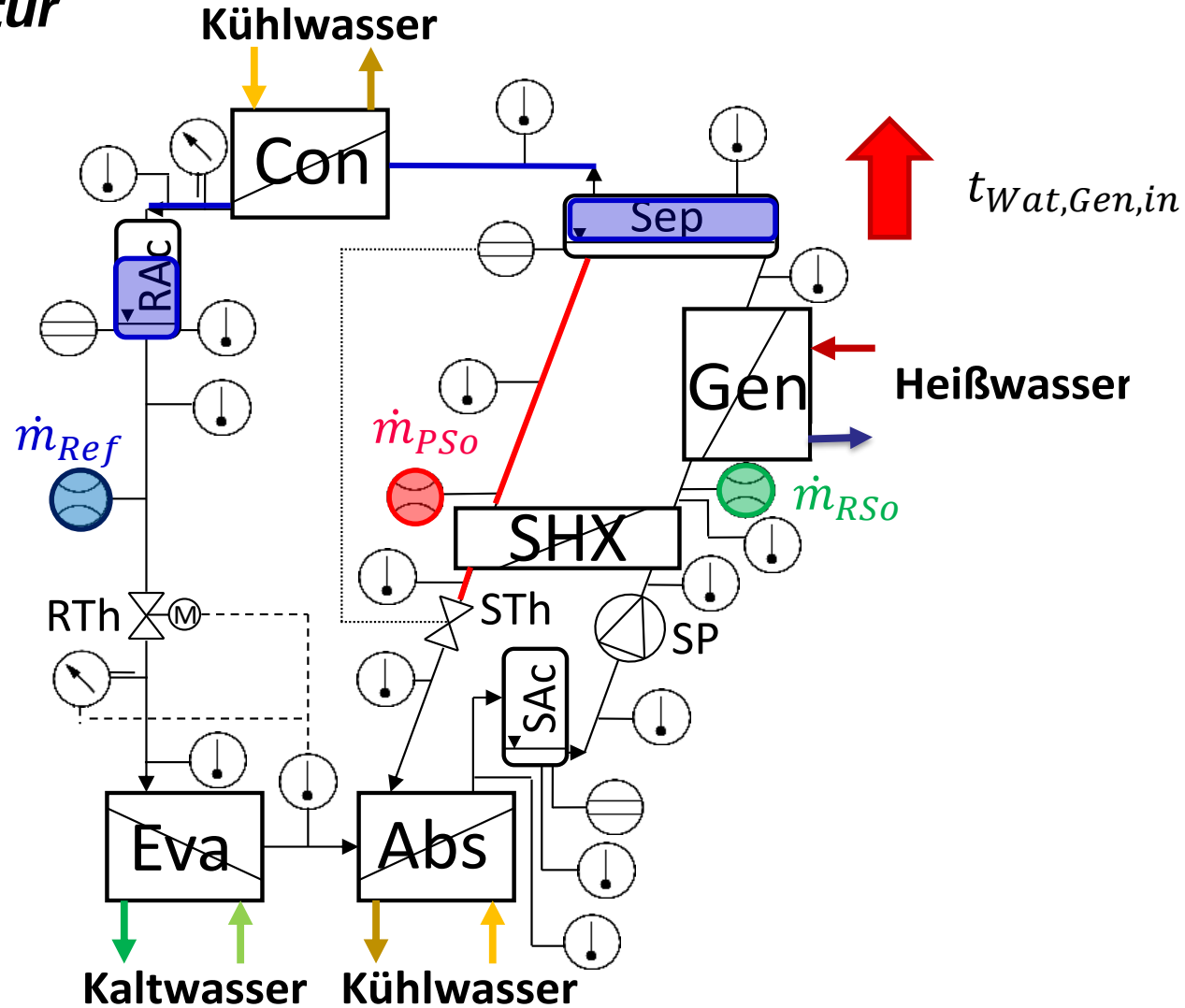


Abb: Beschreibung des dynamischen Verhaltens der NH₃/H₂O-AKA am Beispiel einer Temperaturerhöhung im Heißwasserkreis

Erhöhung der Heißwassereintrittstemperatur

- Änderungen der Temperatur und des NH₃-Anteils in der Lösung und im Kältemittel
- Massenstromänderungen im Lösungs- und im Kältemittelkreis
- Druckänderungen während des Betriebspunktwechsels

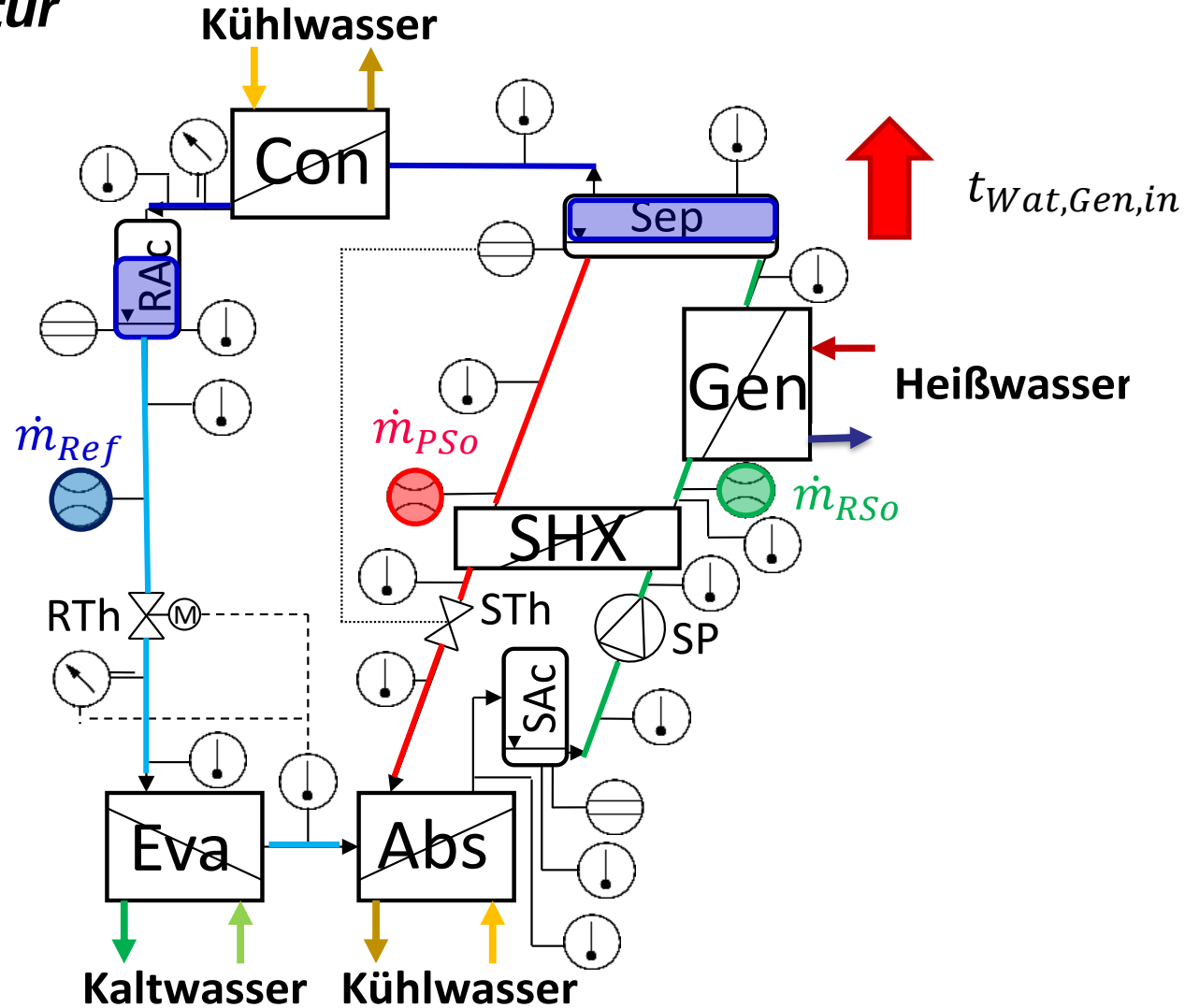


Abb: Beschreibung des dynamischen Verhaltens der NH₃/H₂O-AKA am Beispiel einer Temperaturerhöhung im Heißwasserkreis

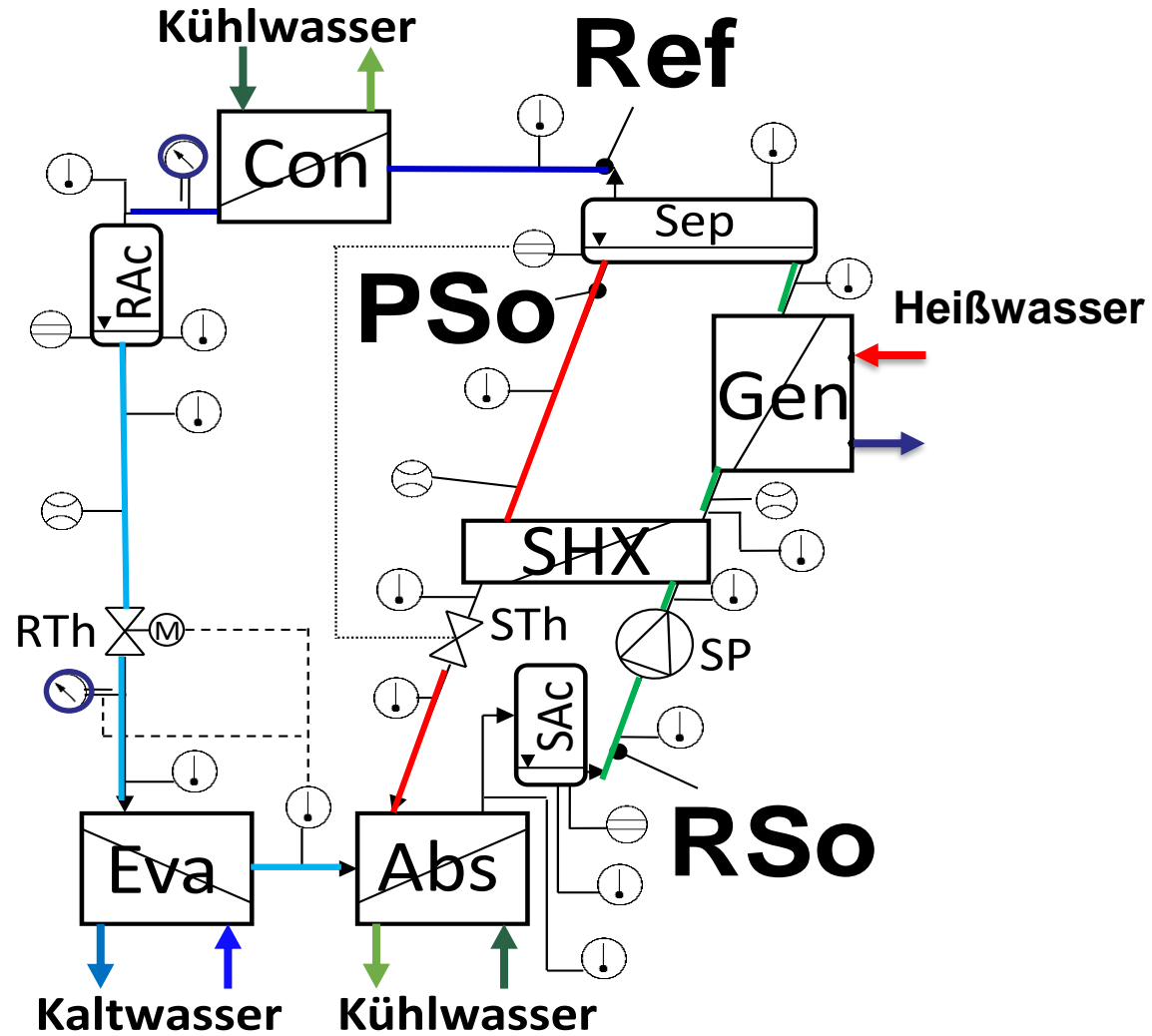


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH₃/H₂O-AKA

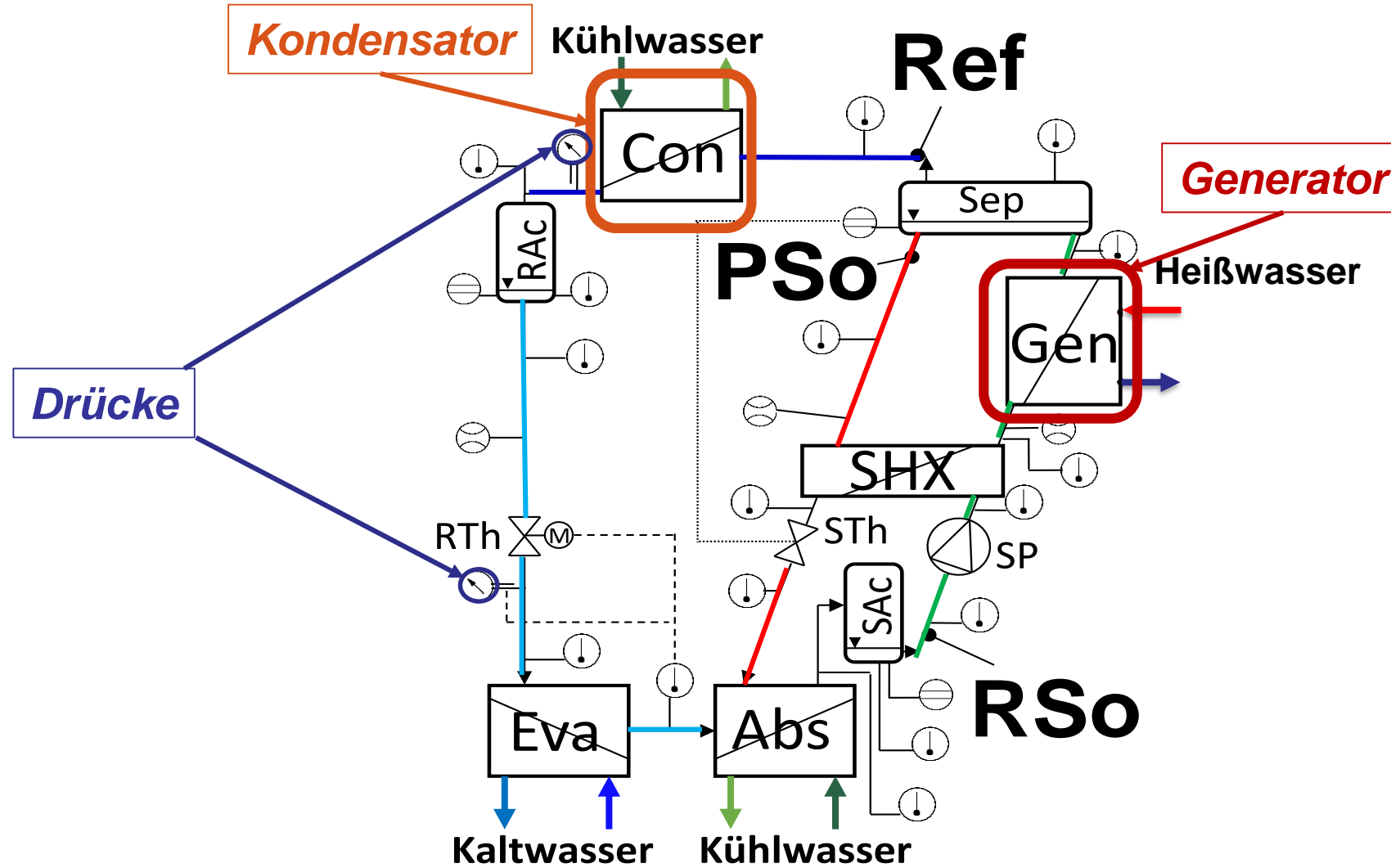


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH₃/H₂O-AKA

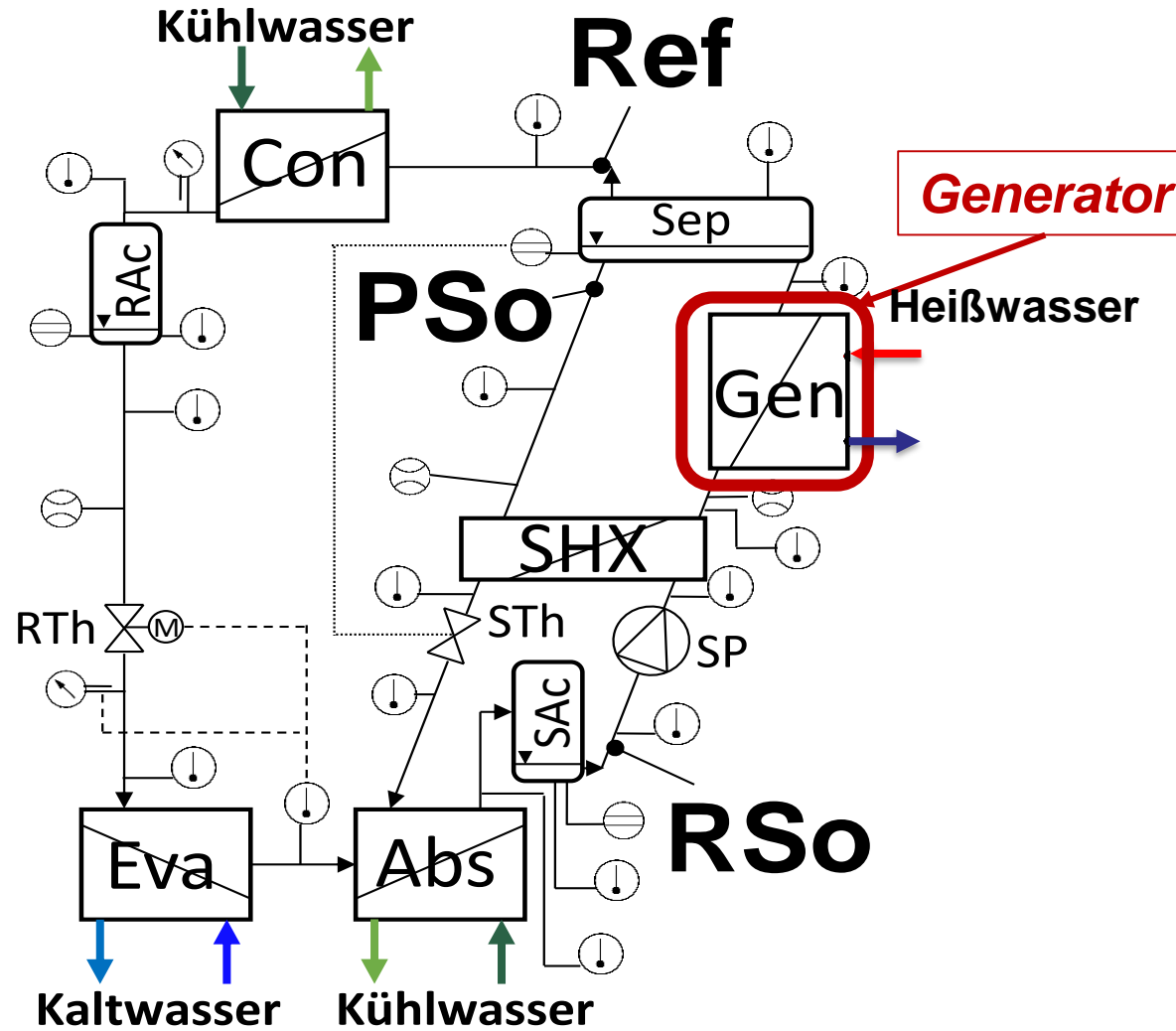


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH₃/H₂O-AKA

Generator

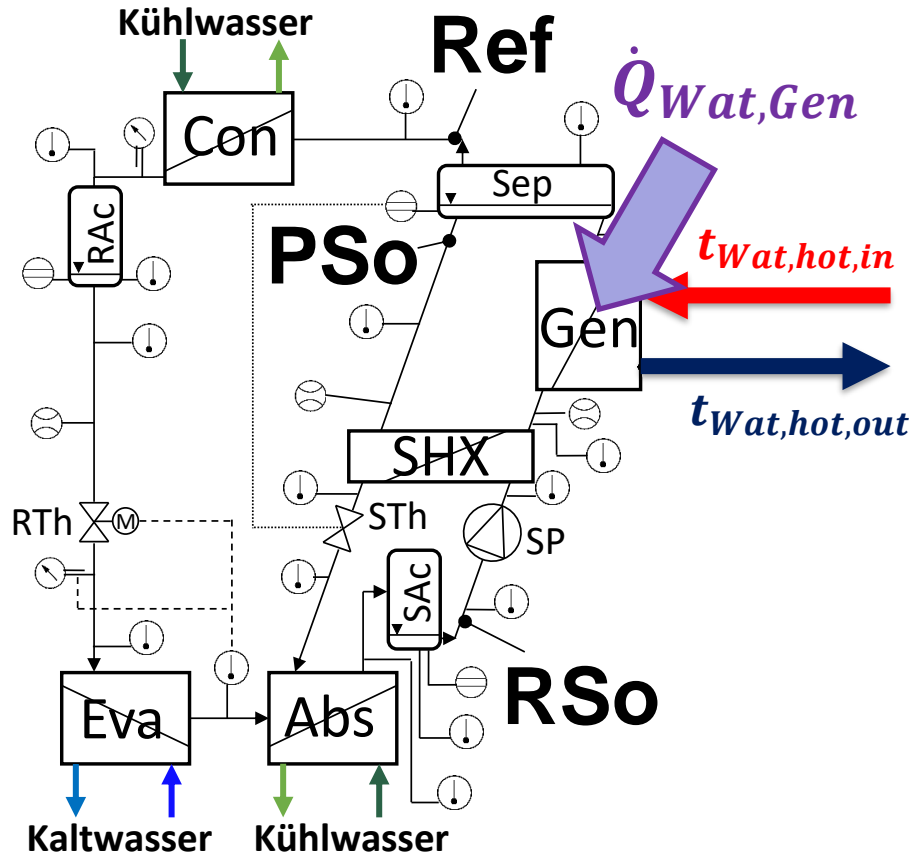


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH₃/H₂O-AKA

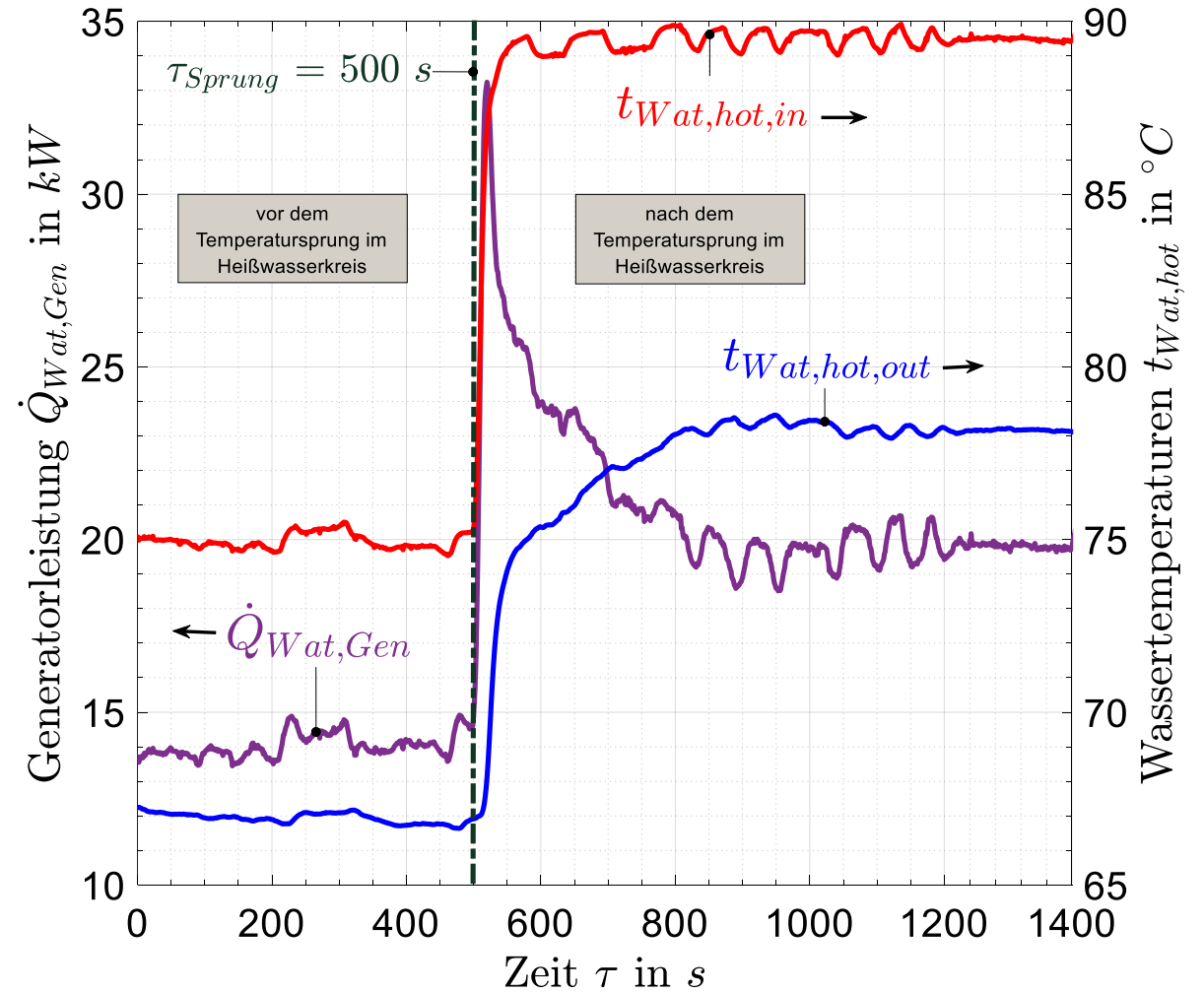


Abb.: Dynamisches Verhalten des Generators der NH₃/H₂O-AKA

Generator

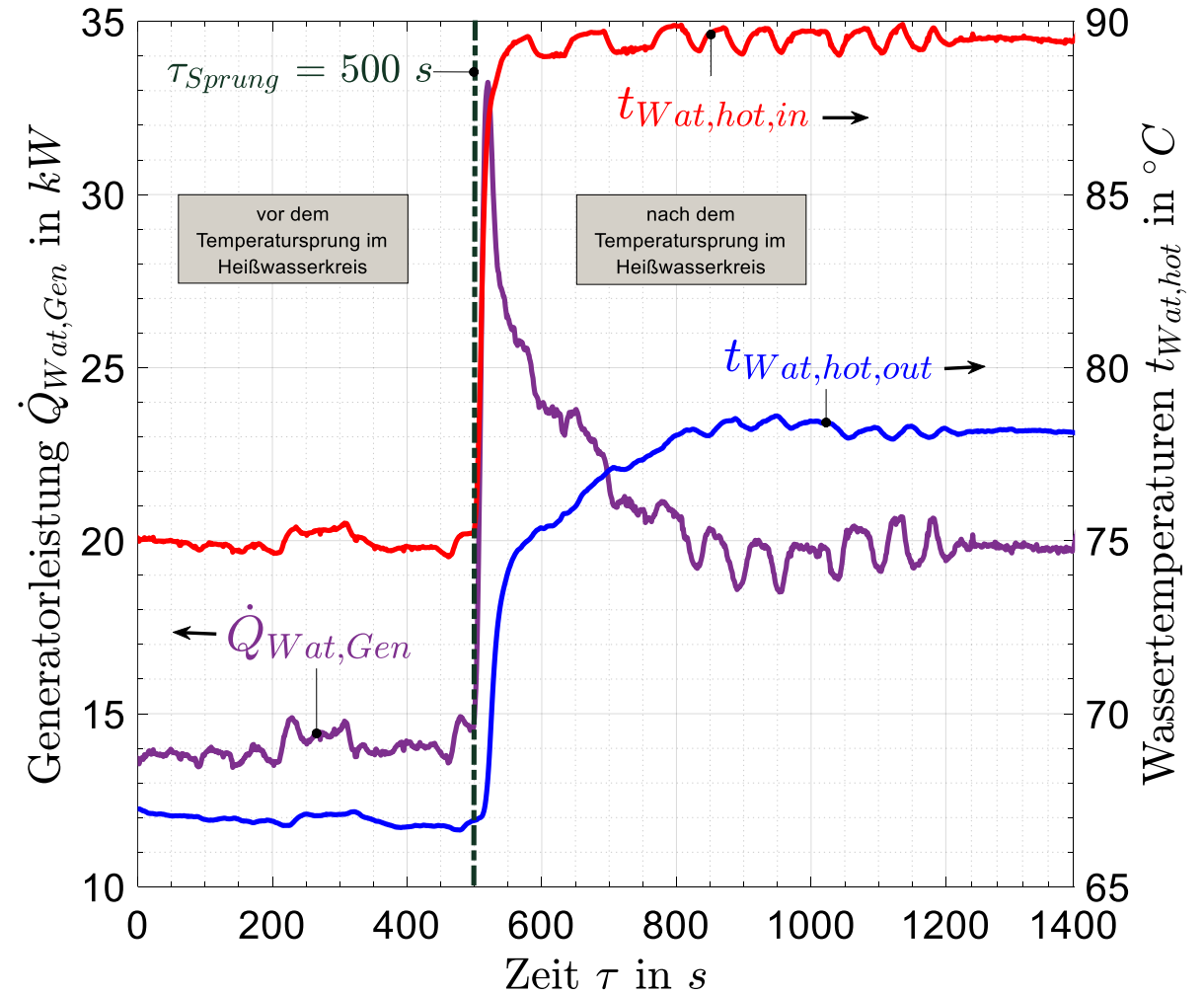


Abb.: Dynamisches Verhalten des Generators der NH₃/H₂O-AKA

Generator

Überschwingen der Generatorleistung aufgrund von „thermischer Trägheit“

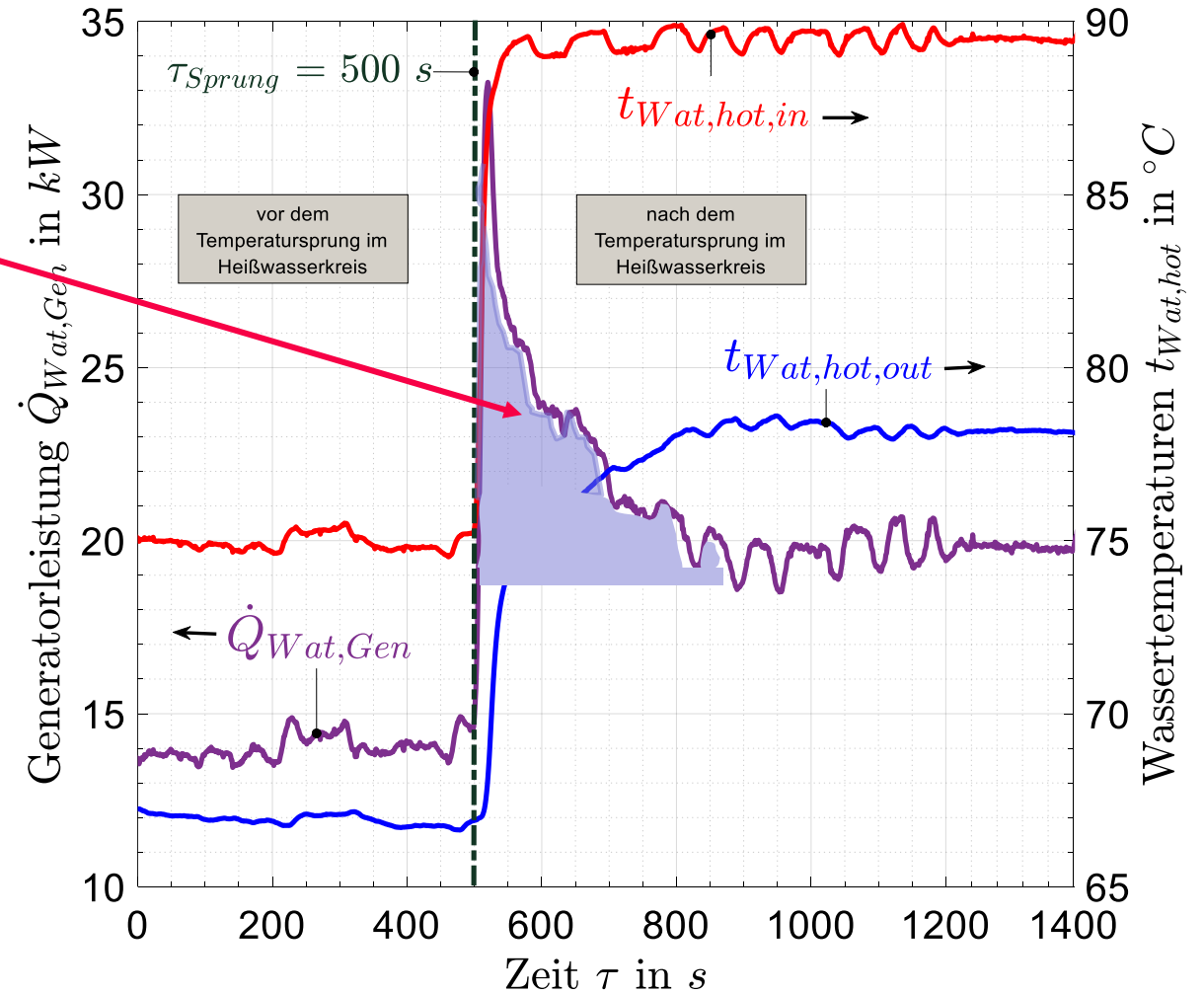


Abb.: Dynamisches Verhalten des Generators der NH₃/H₂O-AKA

Generator

Überschwingen der Generatorleistung aufgrund von „thermischer Trägheit“

Heißere arme Lösung und das Kältemittel müssen im Absorber wieder gemischt werden
-> Temperaturänderungen in der reichen Lösung

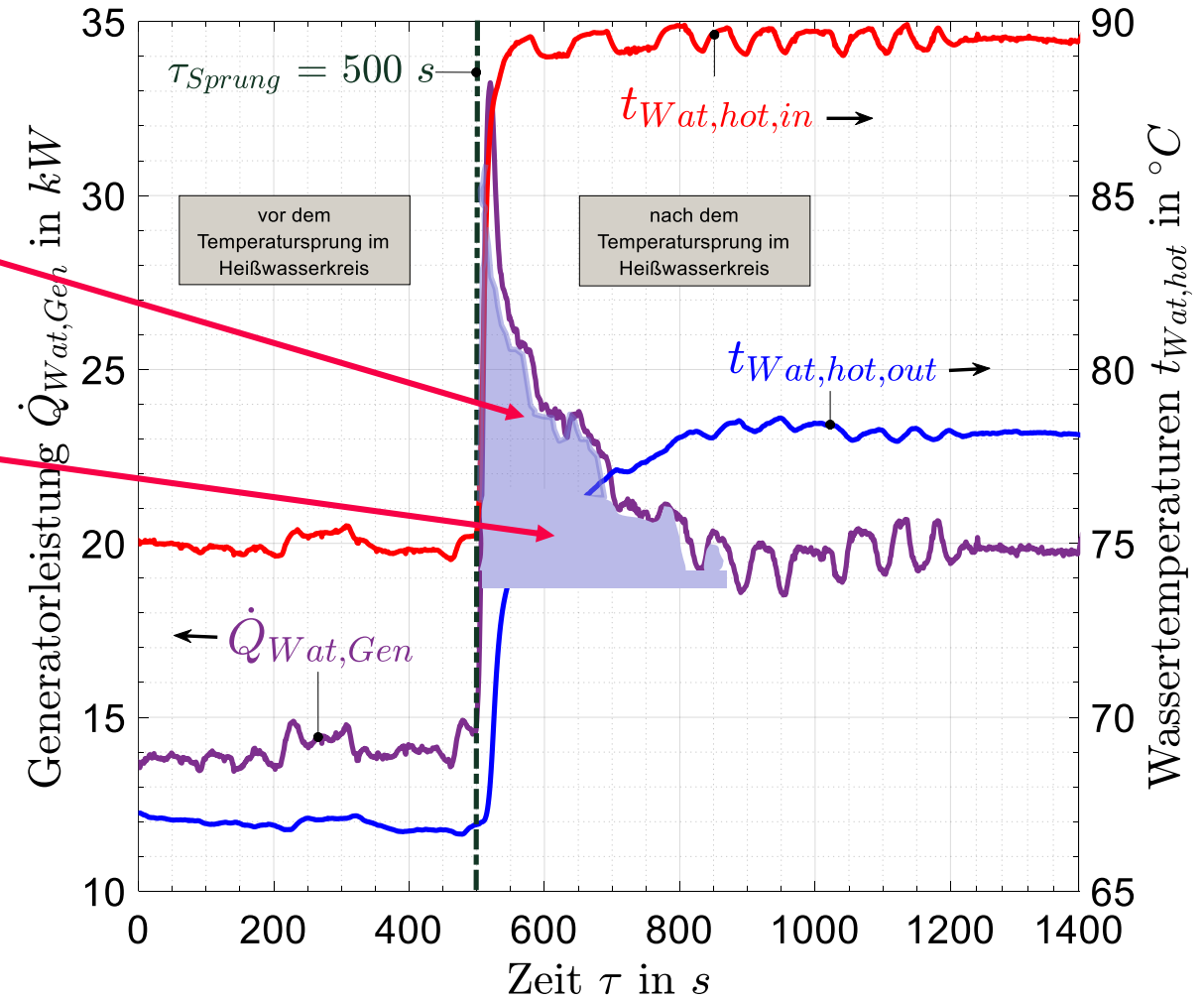


Abb.: Dynamisches Verhalten des Generators der NH₃/H₂O-AKA

Generator

Überschwingen der Generatorleistung aufgrund von „thermischer Trägheit“

Heißere arme Lösung und das Kältemittel müssen im Absorber wieder gemischt werden
-> Temperaturänderungen in der reichen Lösung

Stationär nach ca. 7 Minuten

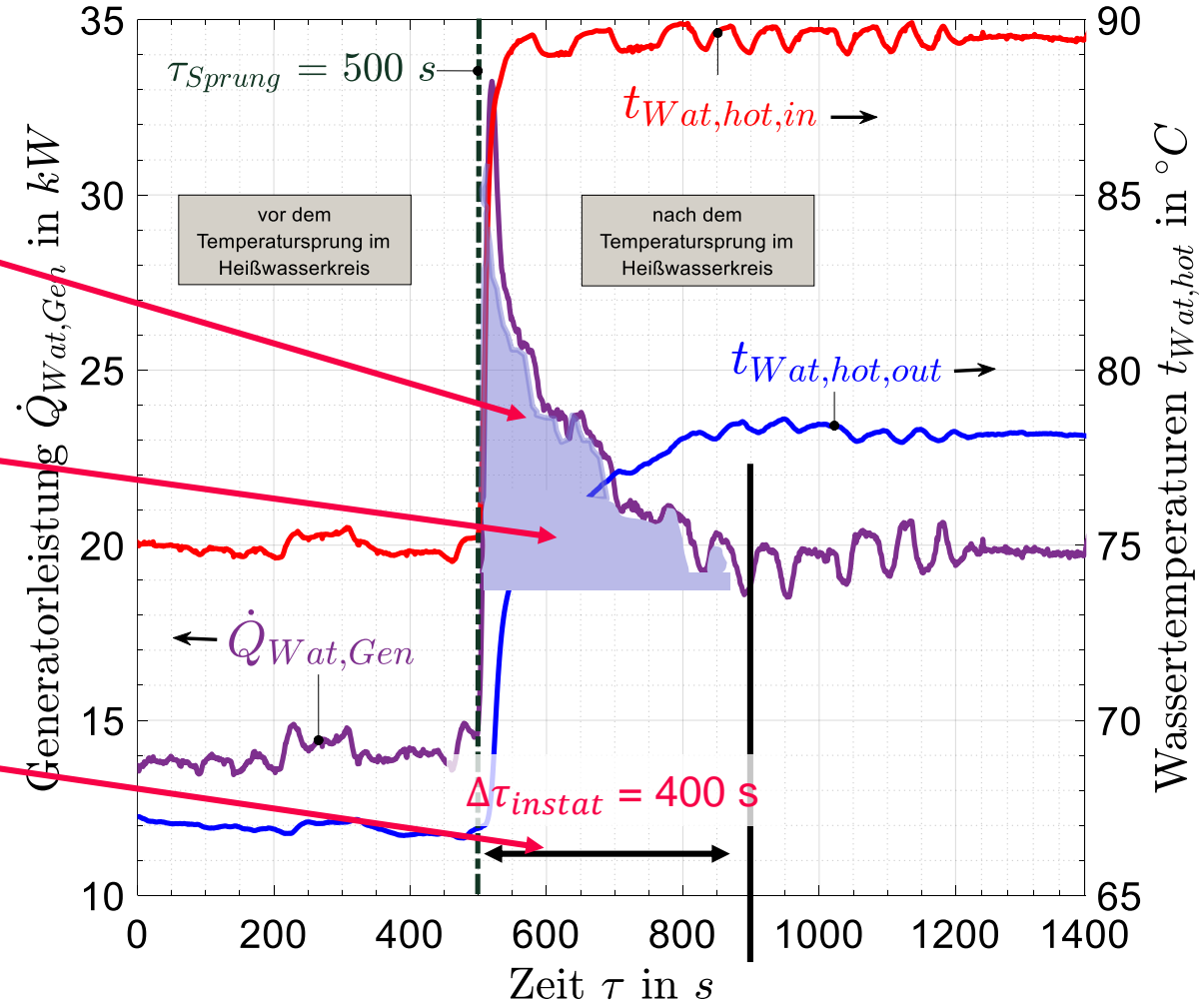


Abb.: Dynamisches Verhalten des Generators der NH₃/H₂O-AKA

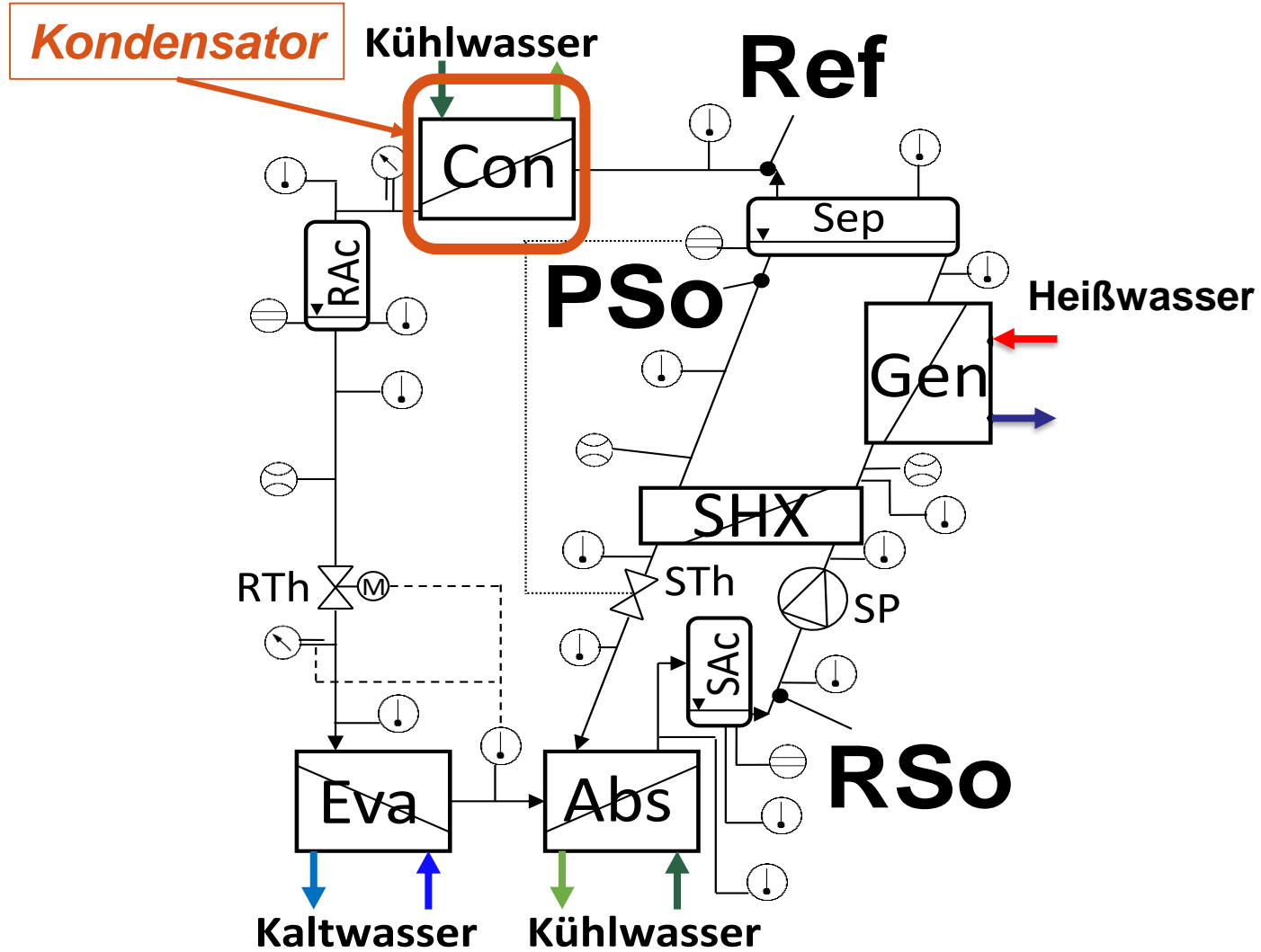


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH₃/H₂O-AKA

Kondensator

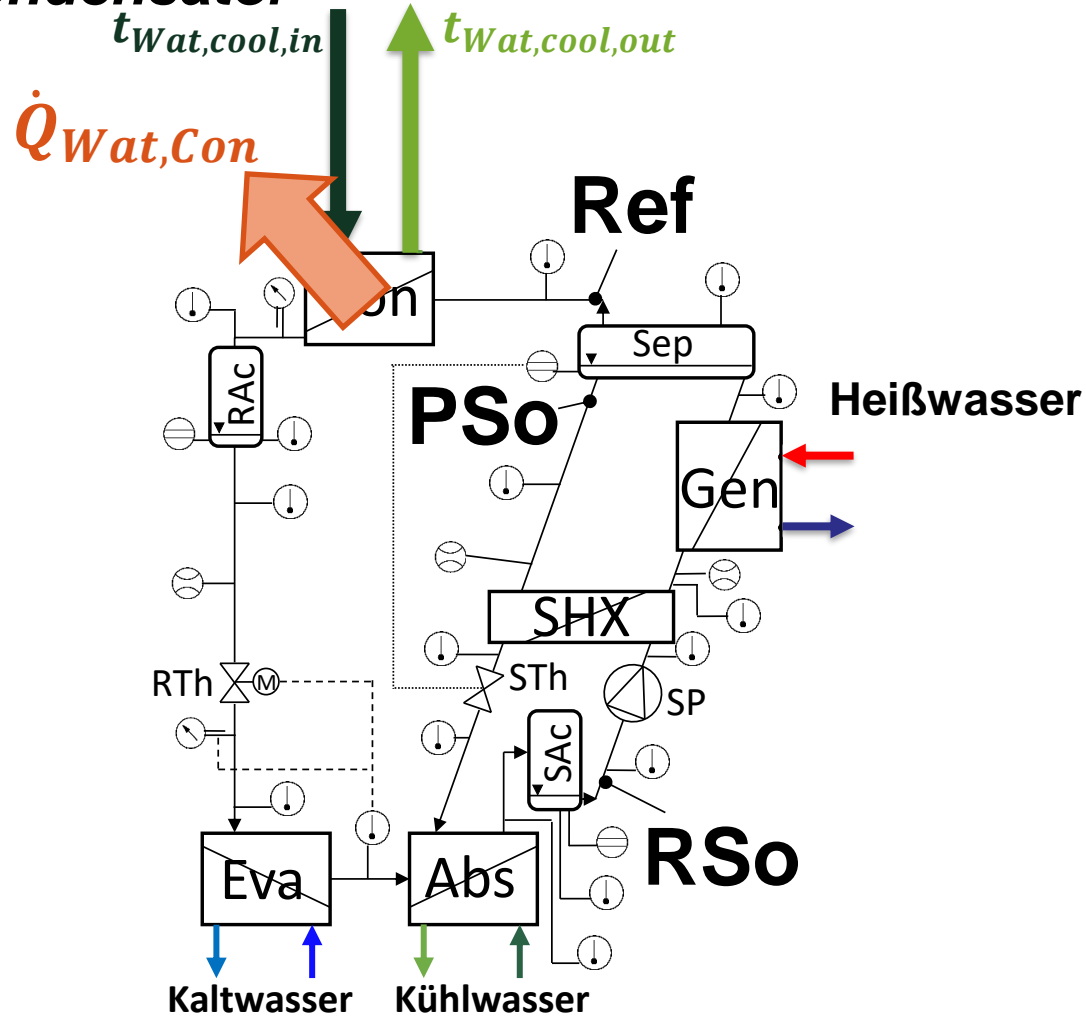


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH₃/H₂O-AKA

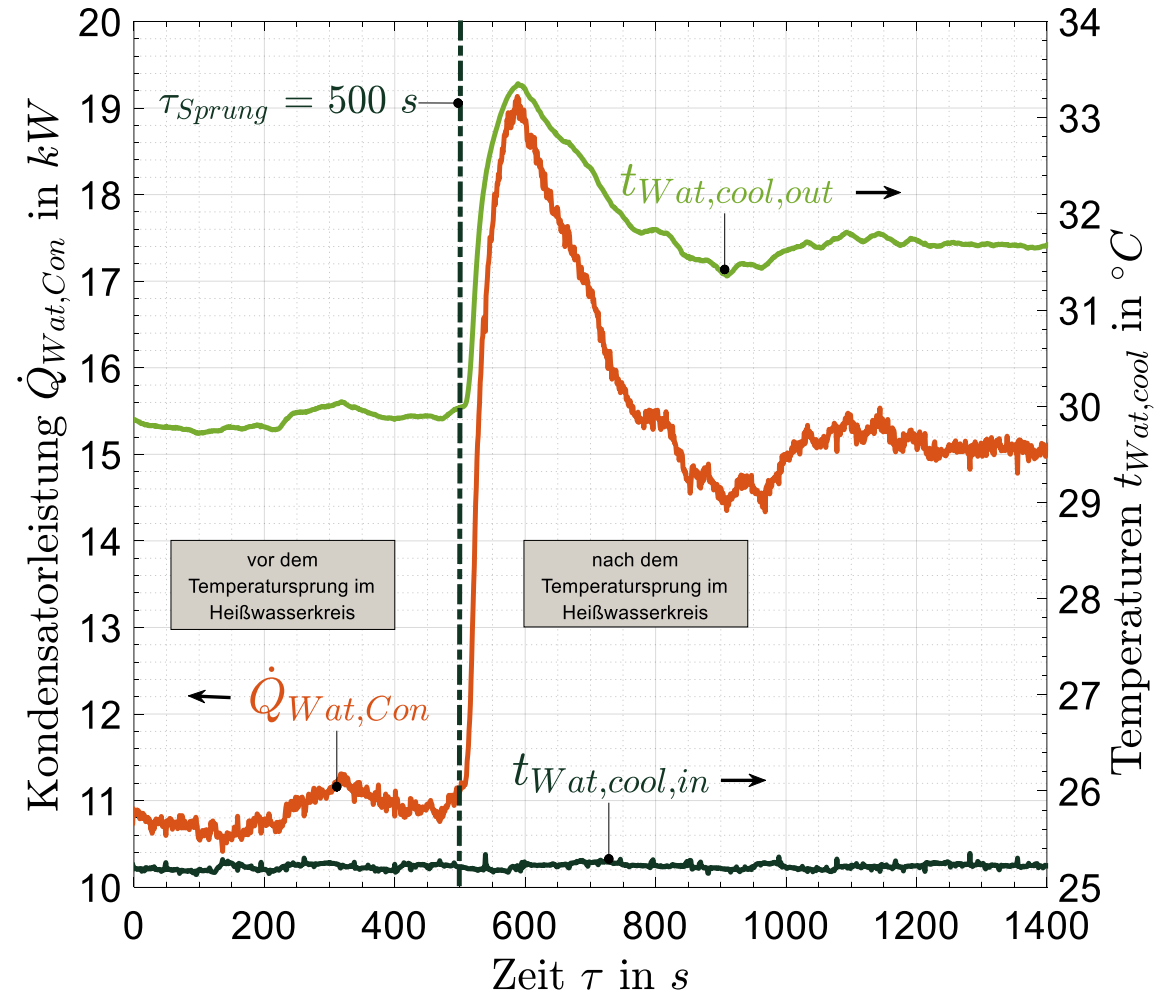


Abb.: Dynamisches Verhalten des Kondensators der NH₃/H₂O-AKA

Kondensator

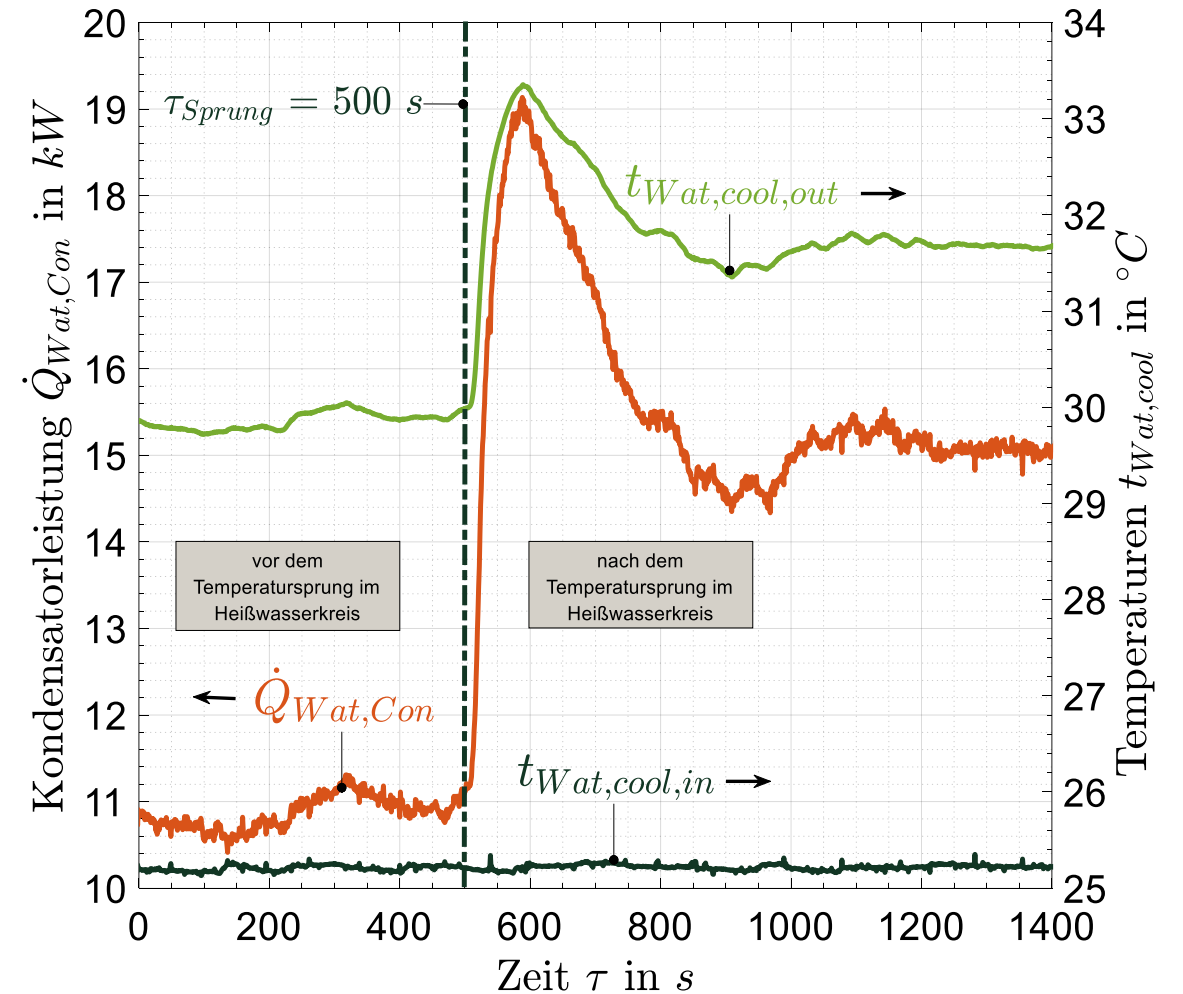


Abb.: Dynamisches Verhalten des Kondensators der NH₃/H₂O-AKA

Kondensator

Totzeit von ca. 10 Sekunden
 -> Dauer bis das Kältemittel vom Generator in den Kondensator strömt

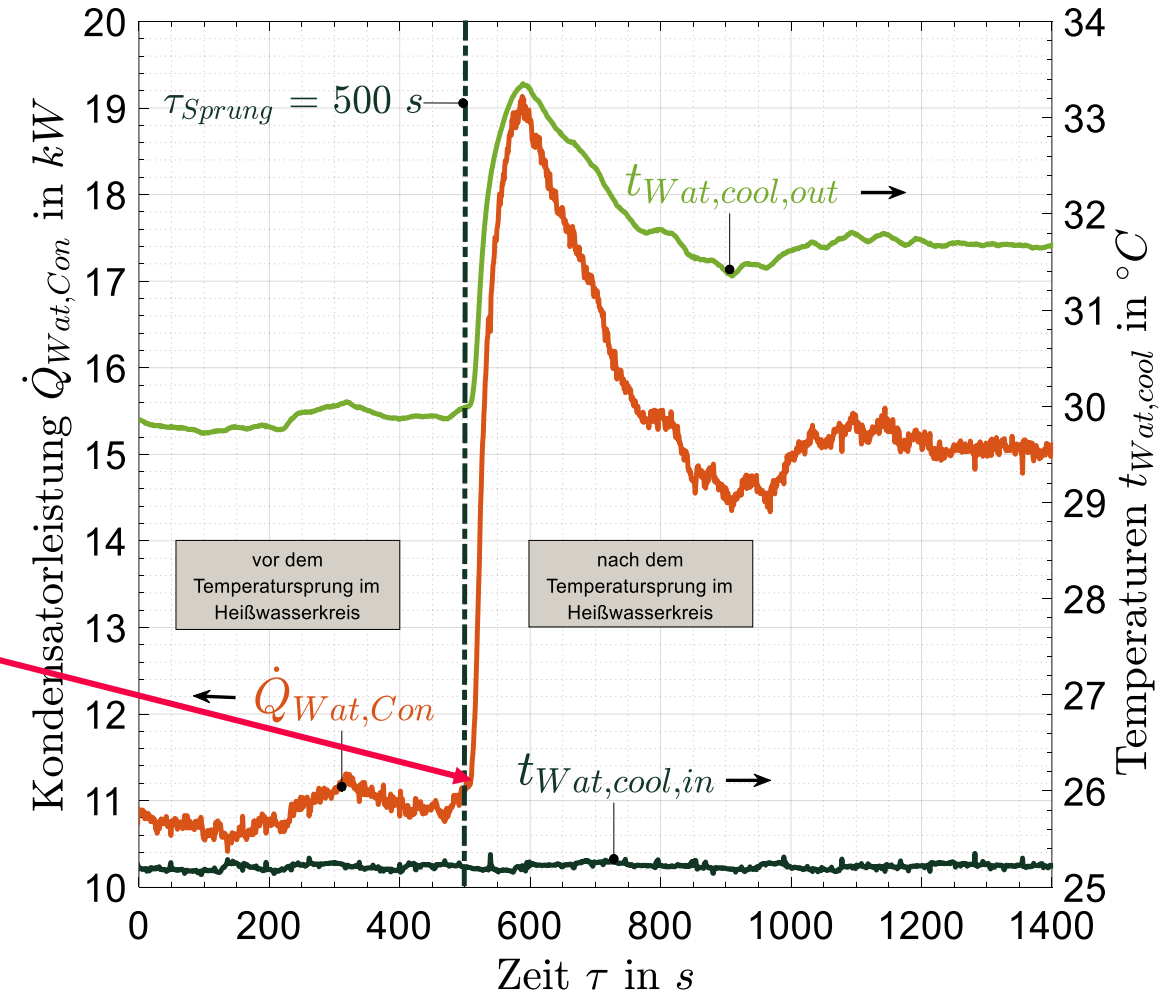


Abb.: Dynamisches Verhalten des Kondensators der NH₃/H₂O-AKA

Kondensator

Überschwingen der Kondensatorleistung aufgrund von „thermischer Trägheit“ und massiven Anstieg des Kältemittelmassenstroms

Totzeit von ca. 10 Sekunden
-> Dauer bis das Kältemittel vom Generator in den Kondensator strömt

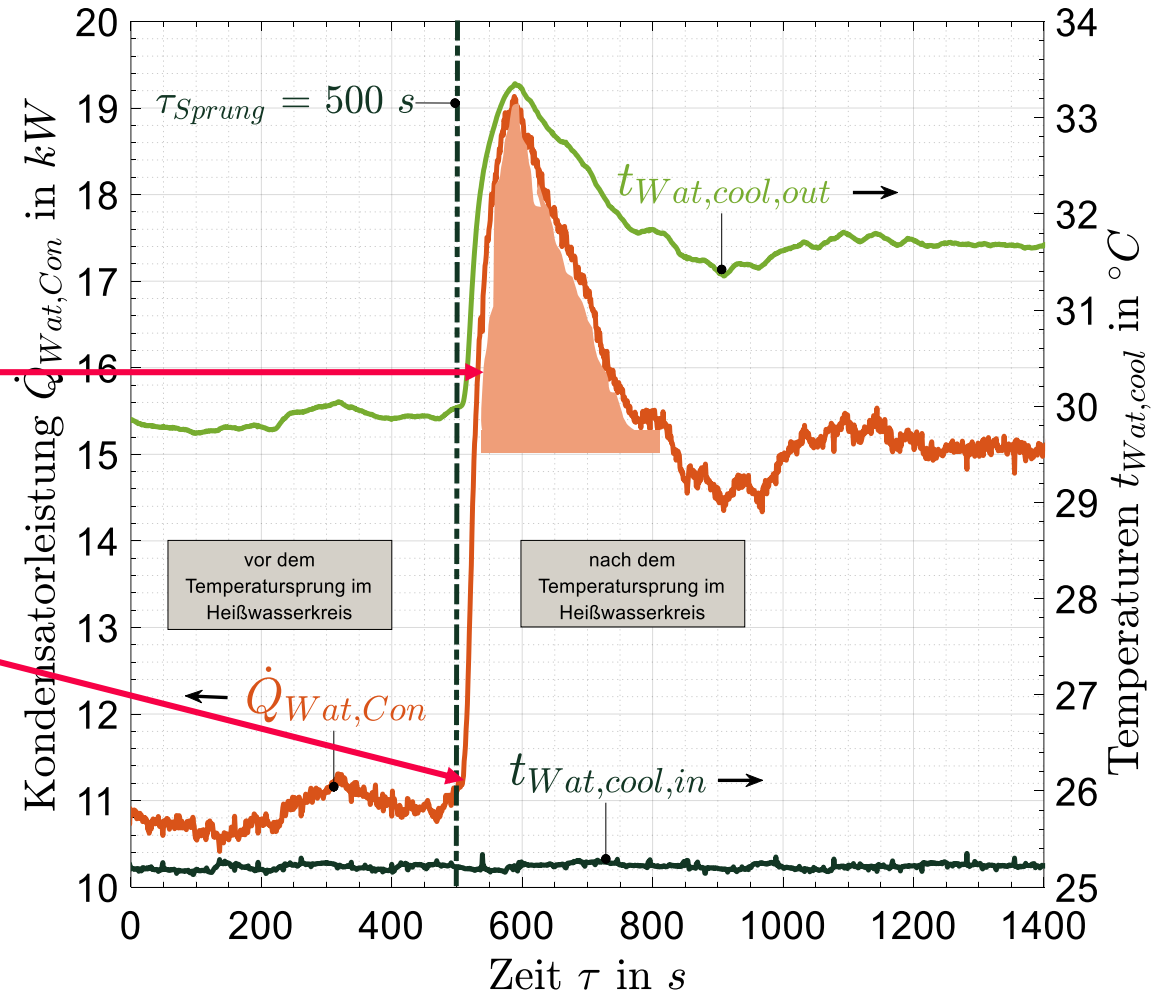


Abb.: Dynamisches Verhalten des Kondensators der NH₃/H₂O-AKA

Kondensator

Stationär nach ca. 11,5 Minuten

Überschwingen der Kondensatorleistung aufgrund von „thermischer Trägheit“ und massiven Anstieg des Kältemittelmassenstroms

Totzeit von ca. 10 Sekunden
-> Dauer bis das Kältemittel vom Generator in den Kondensator strömt

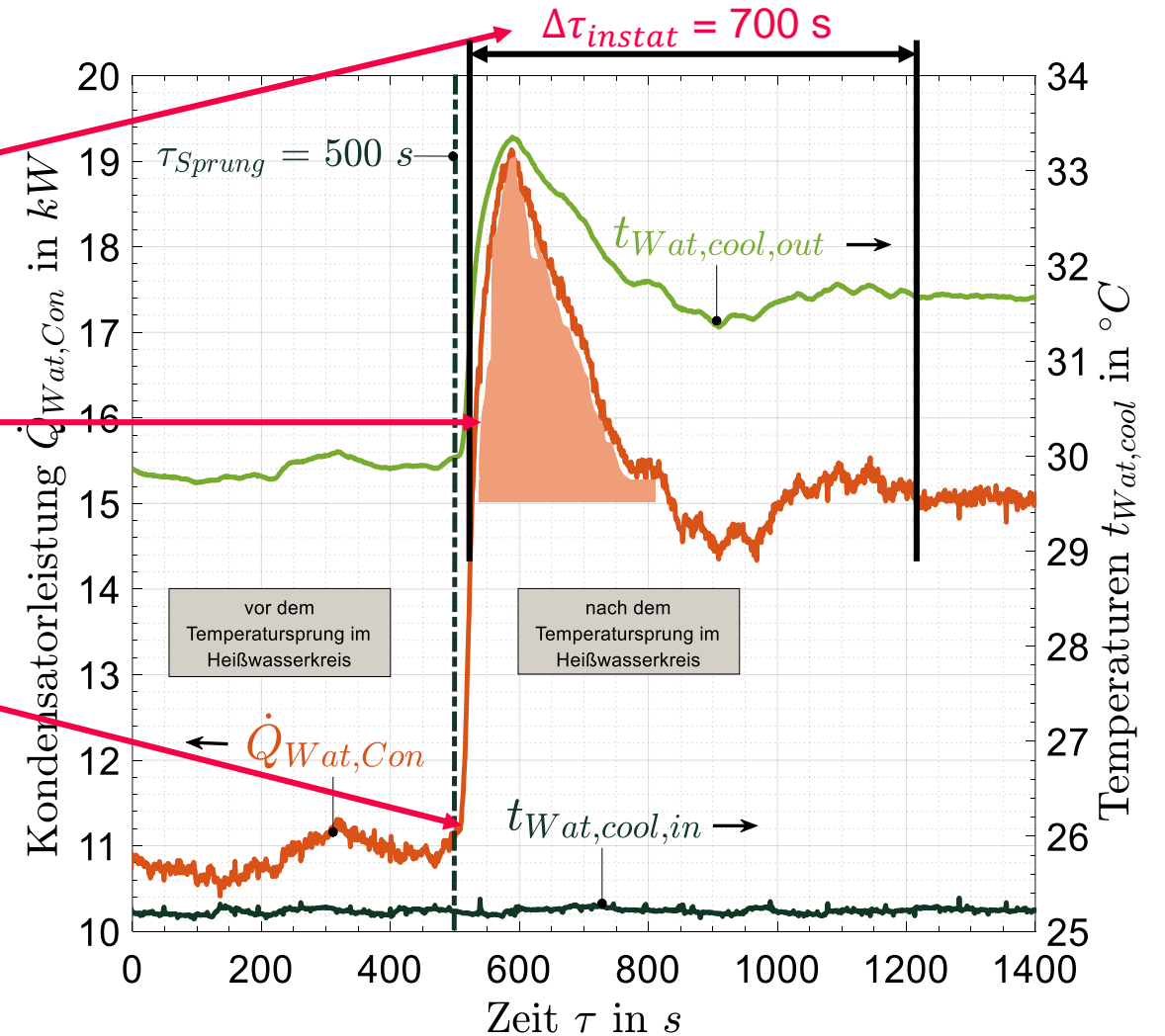


Abb.: Dynamisches Verhalten des Kondensators der NH₃/H₂O-AKA

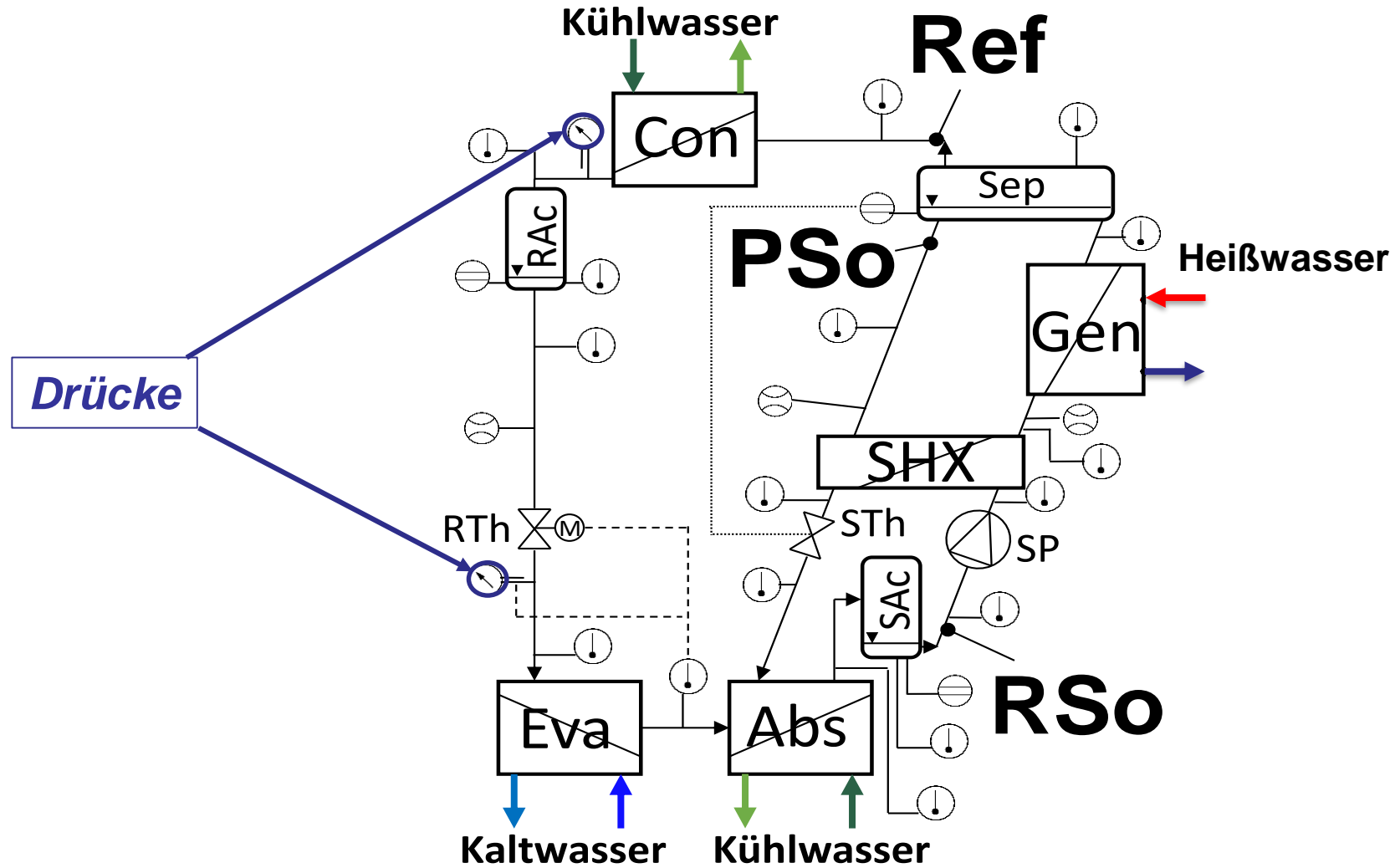


Abb.: Vereinfachtes Schema der NH₃/H₂O-AKA

Hochdruck

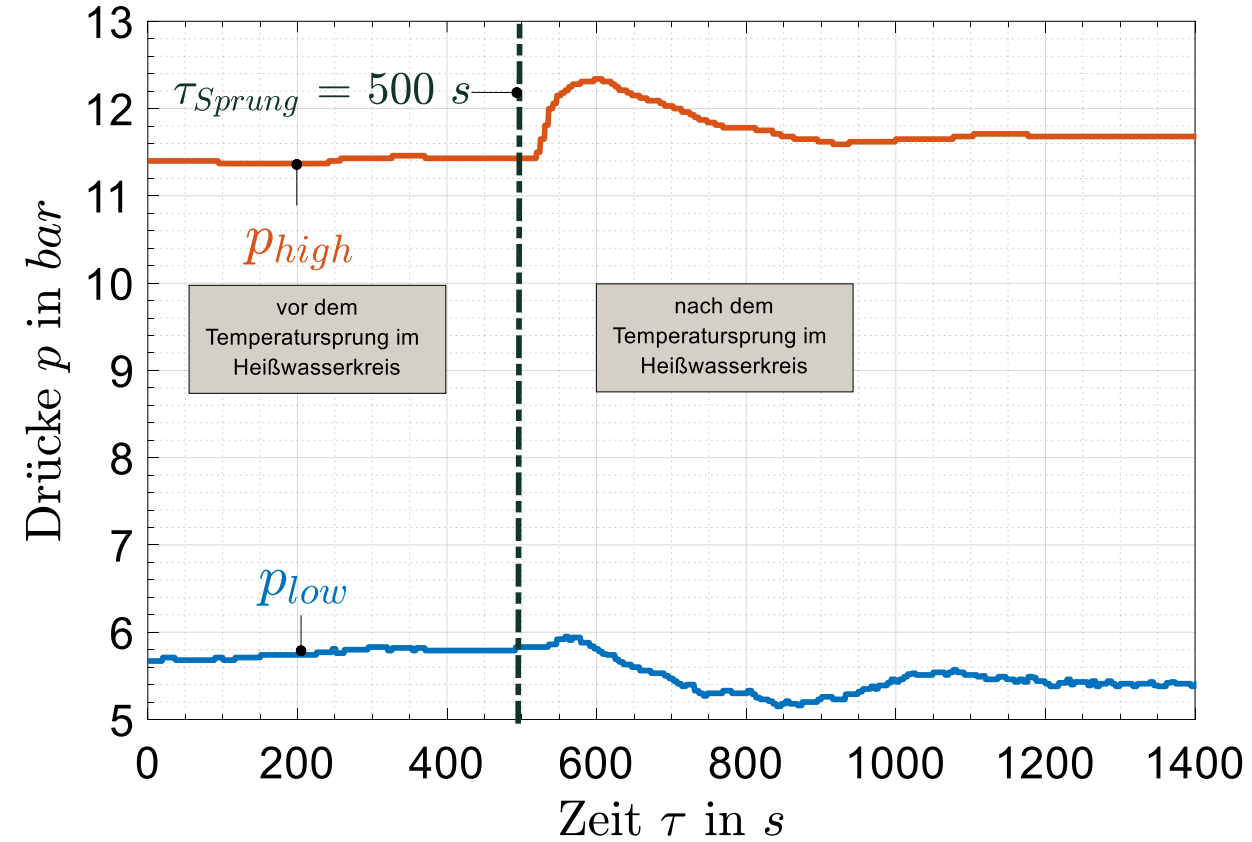


Abb.: Dynamisches Verhalten der Drücke in der NH₃/H₂O-AKA

Hochdruck

Totzeit von ca. 25 Sekunden
 -> Dauer bis zur Temperaturänderung im Kondensator

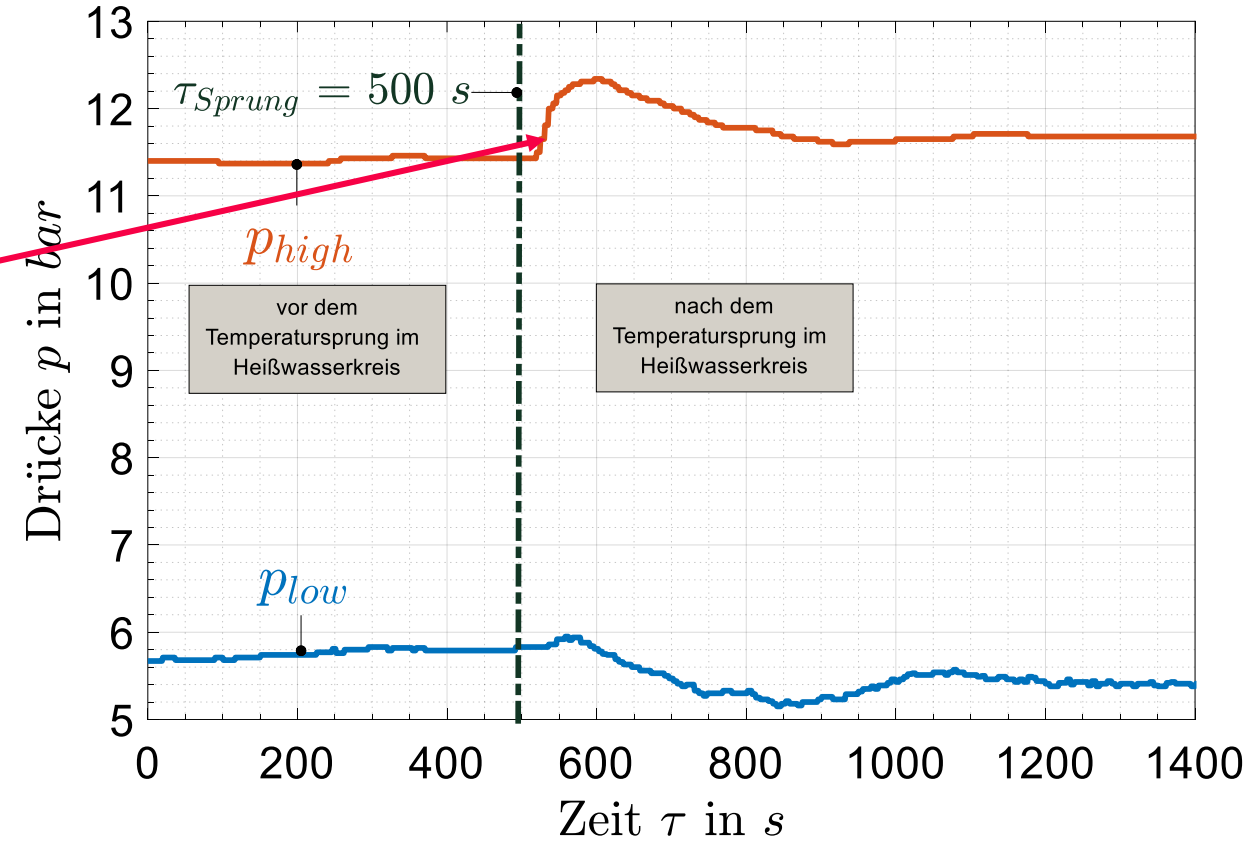


Abb.: Dynamisches Verhalten der Drücke in der NH₃/H₂O-AKA

Hochdruck

Überschwingen aufgrund der massiven Zunahme des Kältemittelmassenstroms

Totzeit von ca. 25 Sekunden
-> Dauer bis zur Temperaturänderung im Kondensator

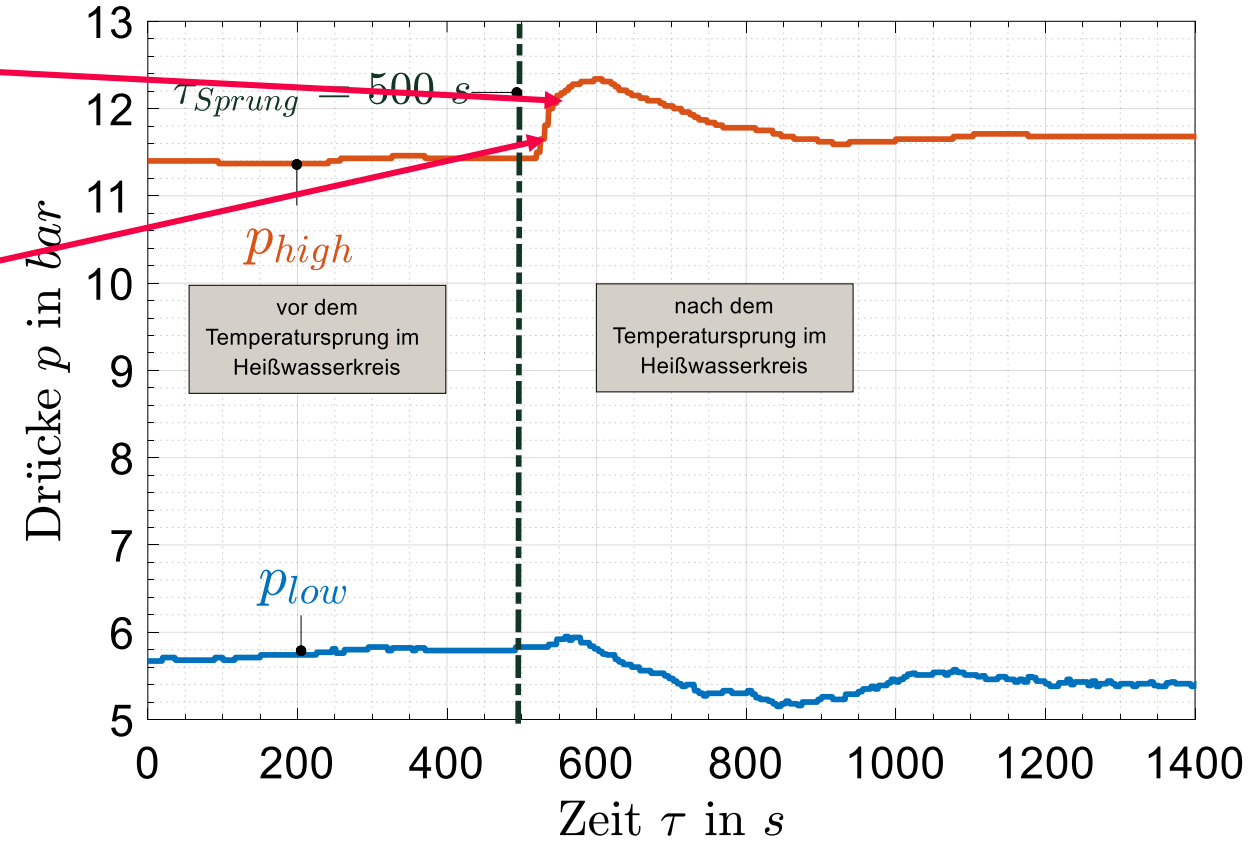


Abb.: Dynamisches Verhalten der Drücke in der NH₃/H₂O-AKA

Hochdruck

Stationär nach ca. 7 Minuten

Überschwingen aufgrund der massiven Zunahme des Kältemittelmassenstroms

Totzeit von ca. 25 Sekunden
-> Dauer bis zur Temperaturänderung im Kondensator

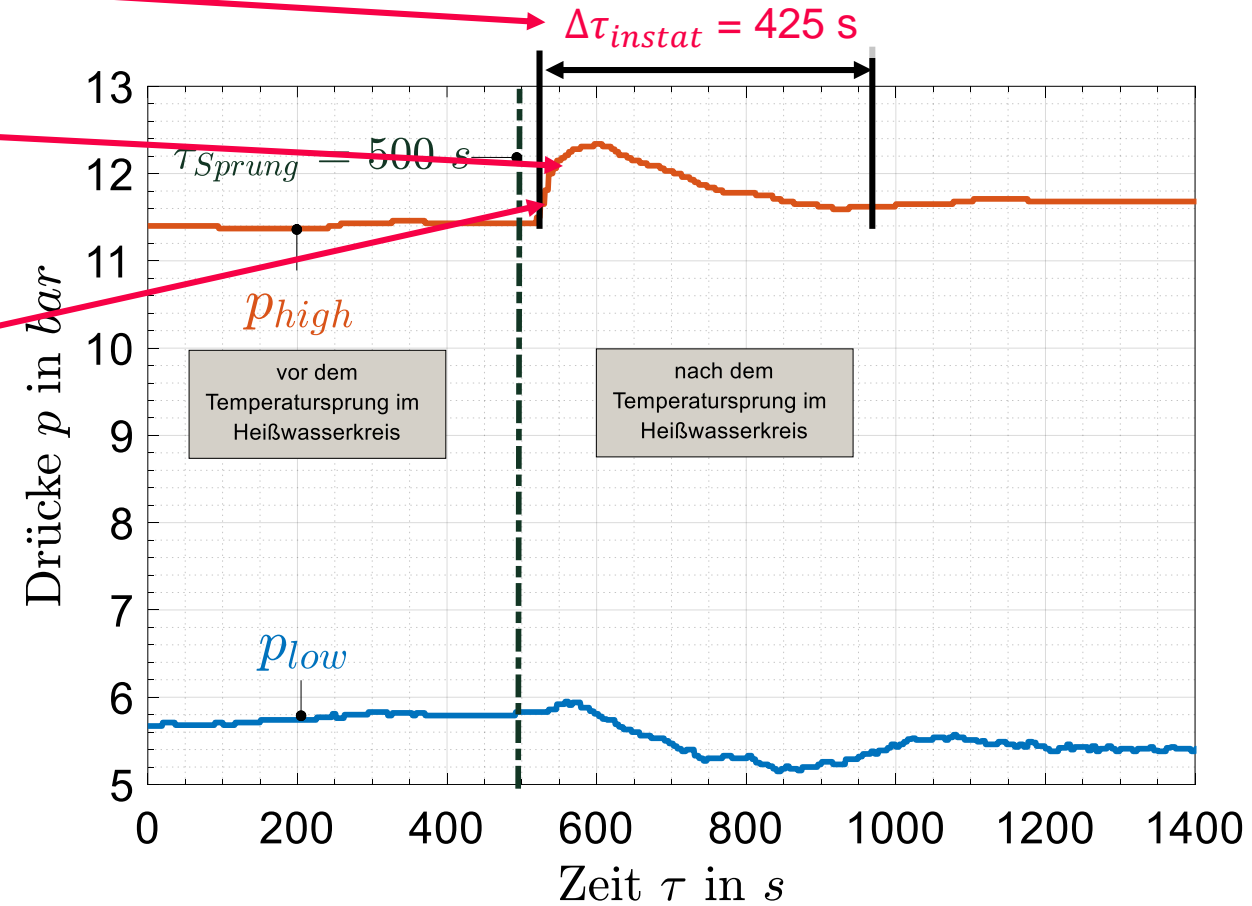


Abb.: Dynamisches Verhalten der Drücke in der NH₃/H₂O-AKA

Niederdruck

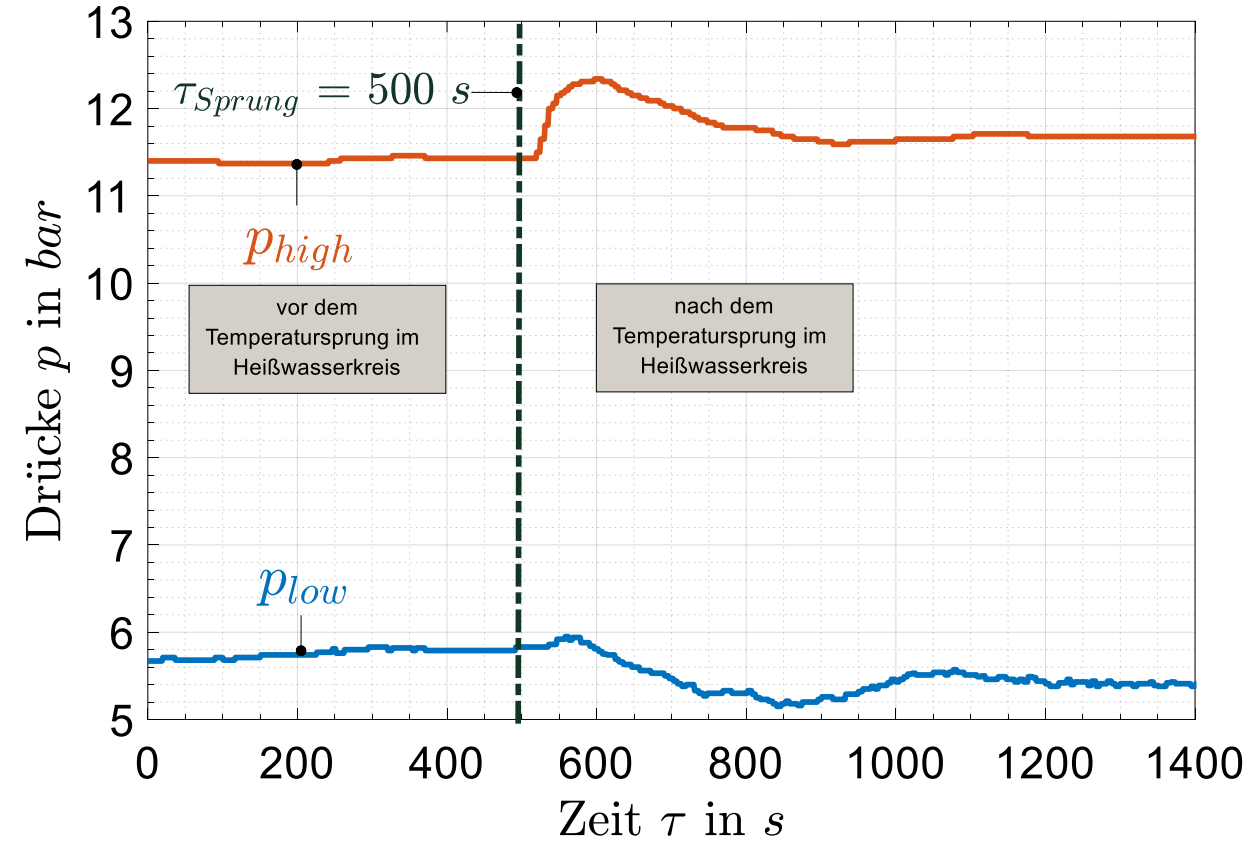
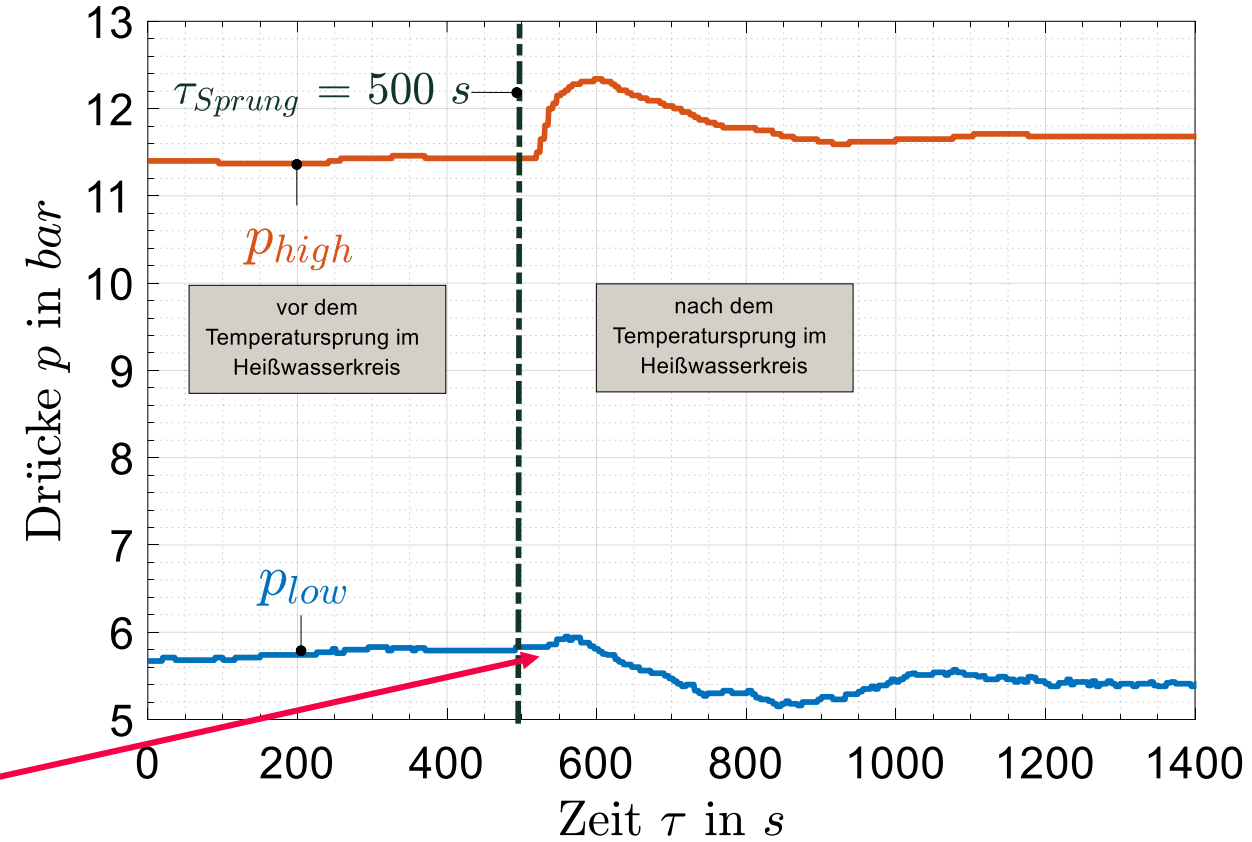


Abb.: Dynamisches Verhalten der Drücke in der NH₃/H₂O-AKA

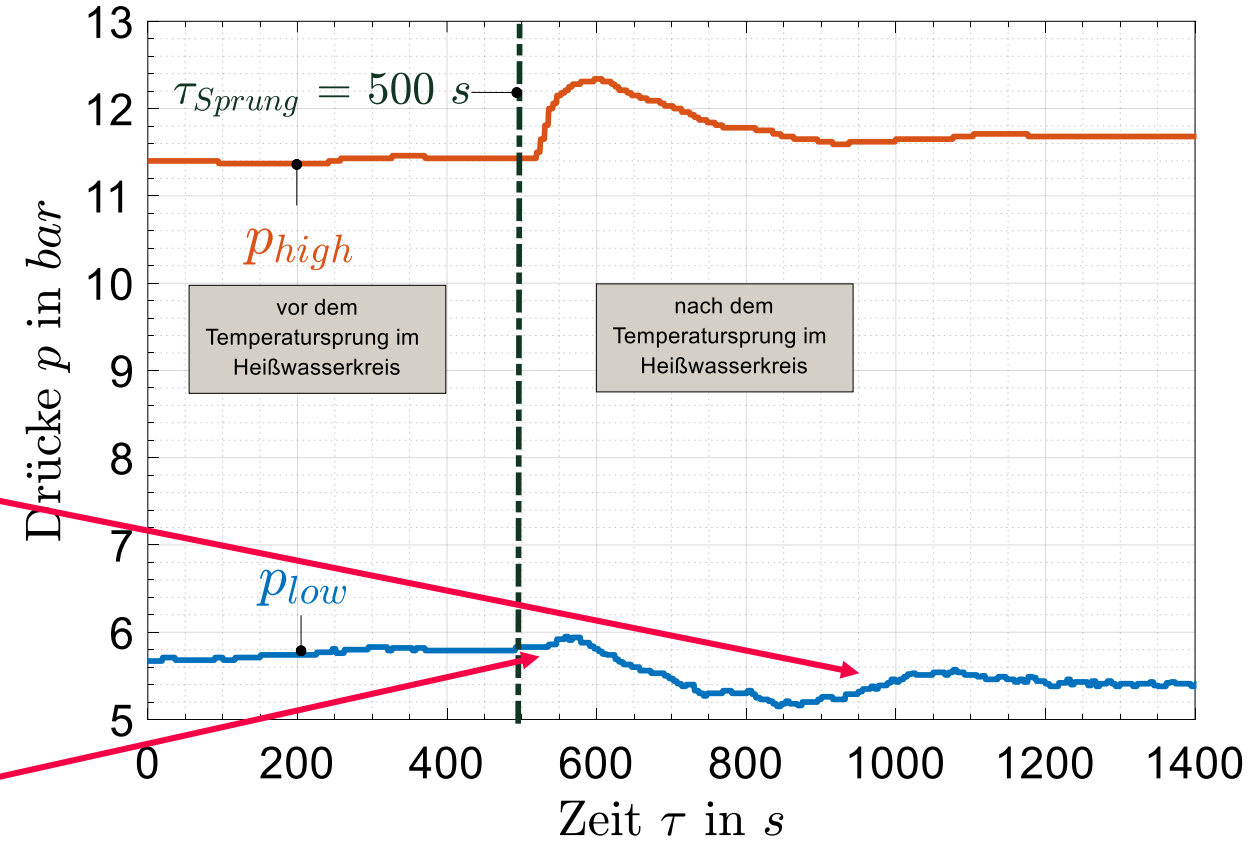
Niederdruck



Totzeit von ca. 50 Sekunden
 -> Dauer bis zur Temperaturänderung im Verdampfer

Abb.: Dynamisches Verhalten der Drücke in der NH₃/H₂O-AKA

Niederdruck



Schwingungen aufgrund von Bewegungen der Kältemitteldrossel

Totzeit von ca. 50 Sekunden
-> Dauer bis zur Temperaturänderung im Verdampfer

Abb.: Dynamisches Verhalten der Drücke in der NH₃/H₂O-AKA

Niederdruck

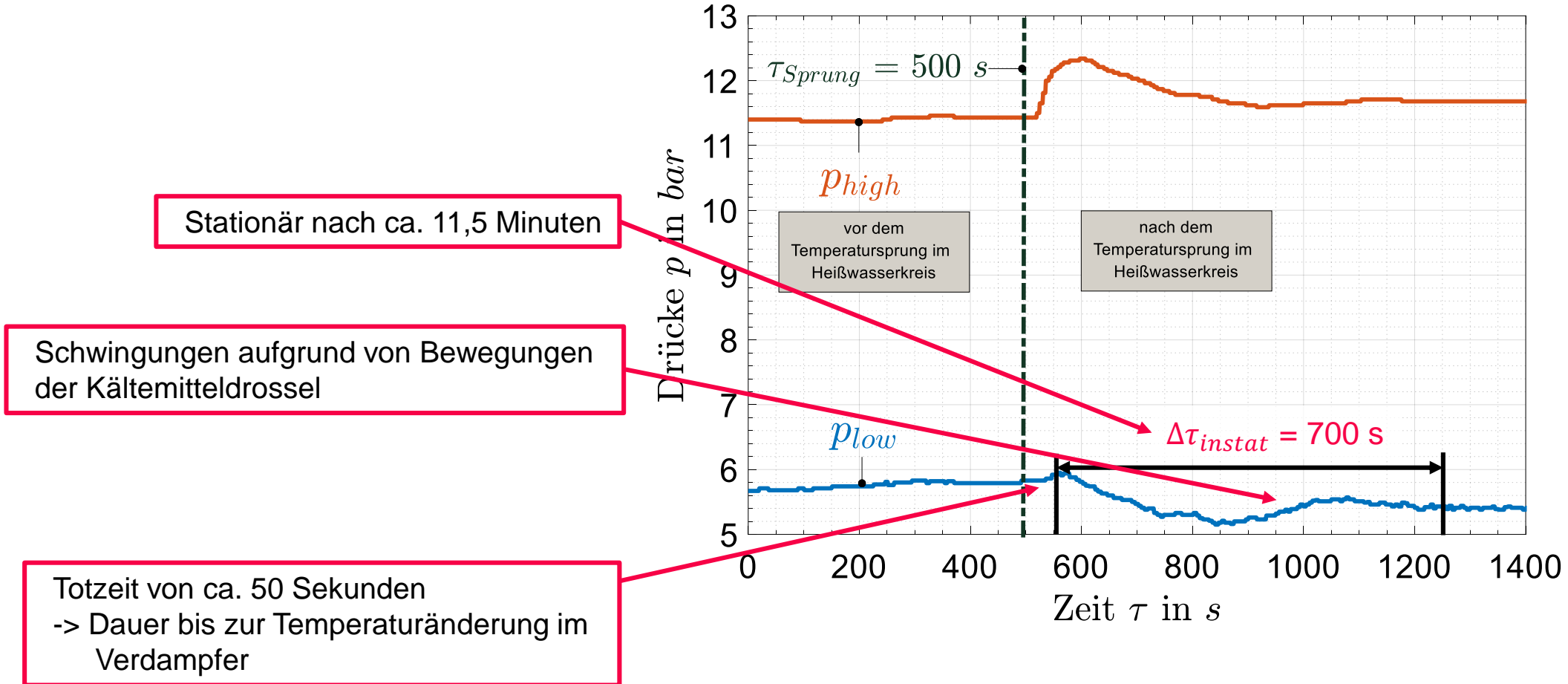


Abb.: Dynamisches Verhalten der Drücke in der NH₃/H₂O-AKA

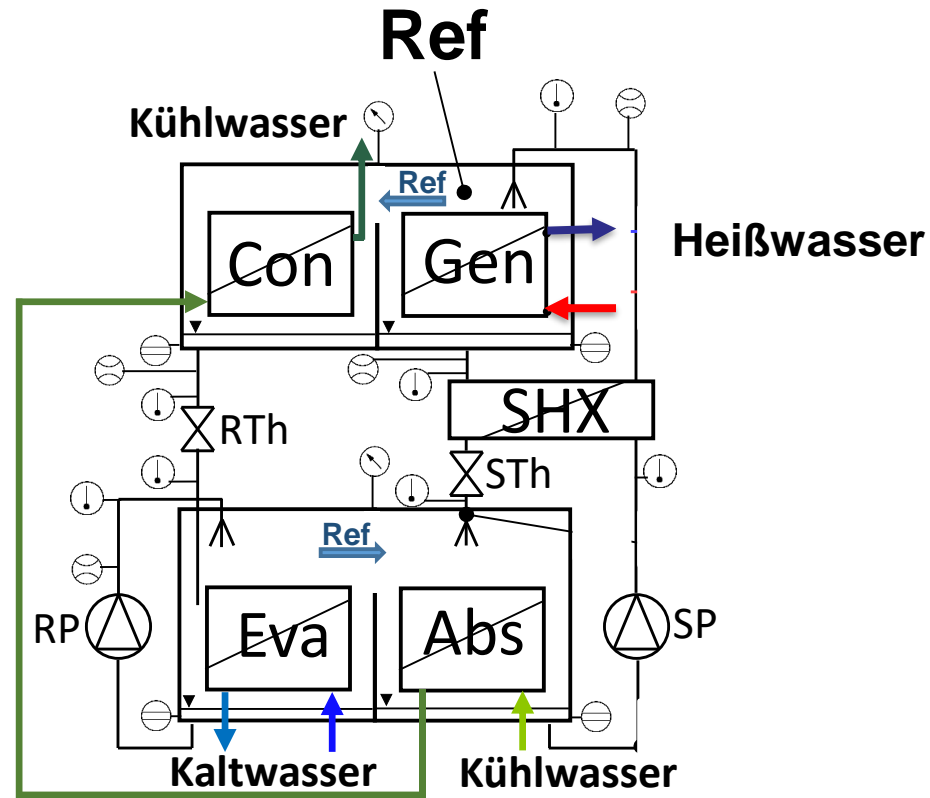


Abb.: Vereinfachtes Schema der H₂O/LiBr-AKA

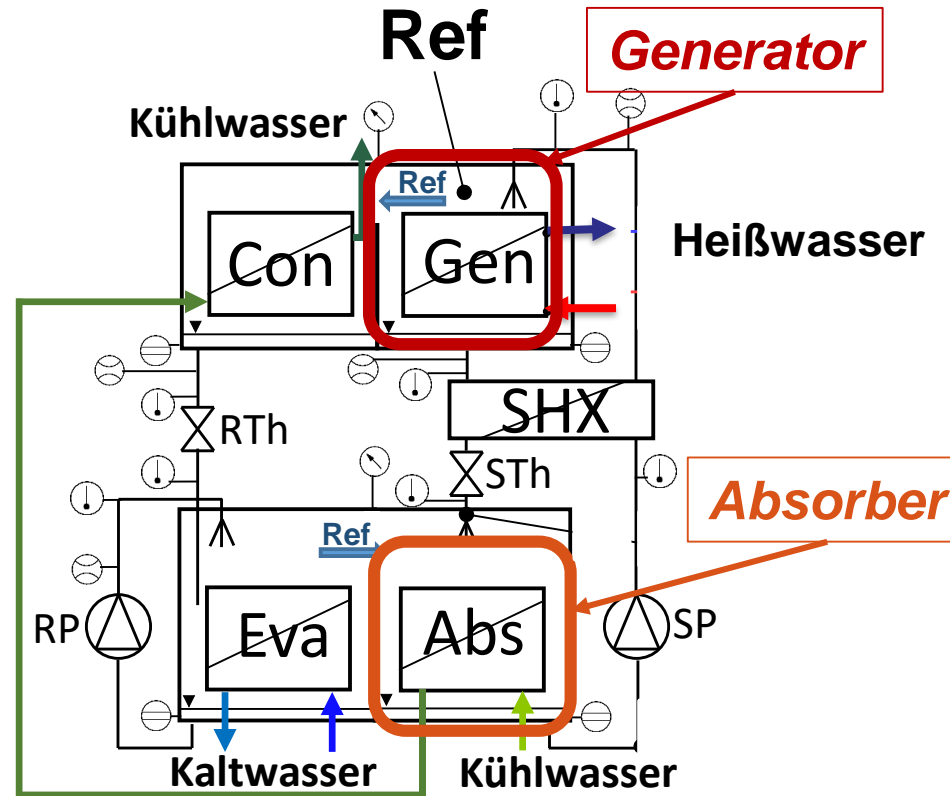


Abb.: Vereinfachtes Schema der H₂O/LiBr-AKA

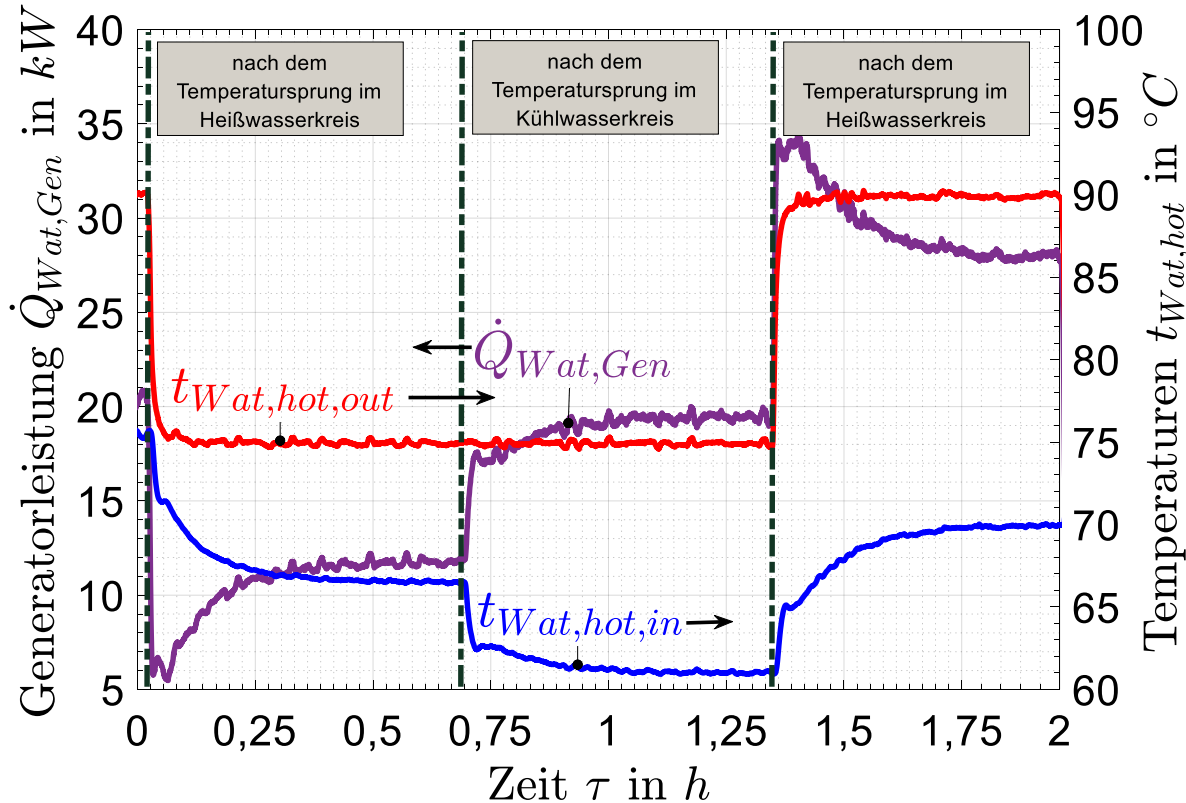


Abb.: Dynamisches Verhalten des Generators der H₂O/LiBr-AKA

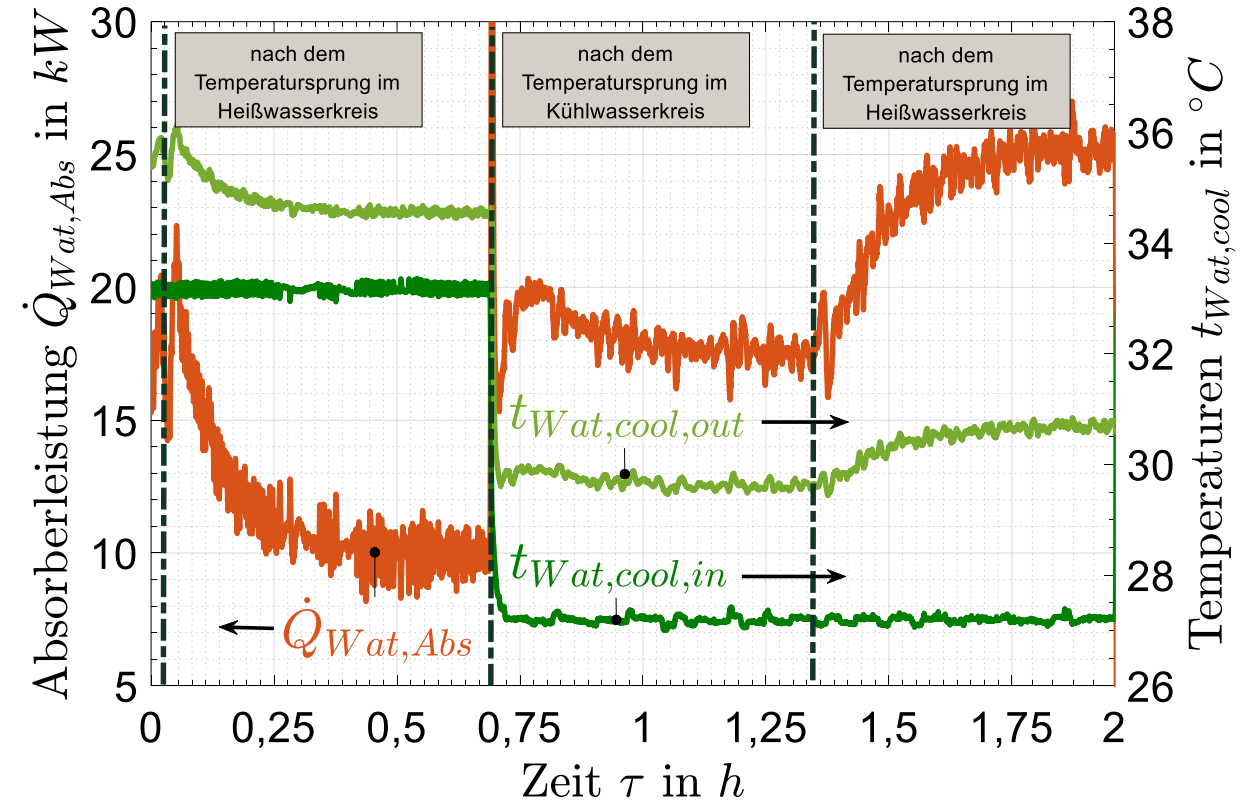


Abb.: Dynamisches Verhalten des Absorbers der H₂O/LiBr-AKA

➤ Bei Betriebspunktwechsel im Heiß- und Kühlwasserkreis:

- Bis zu 30 Minuten instationärer Betrieb
- Hohe „thermische Massen“
- Drosseln haben keine Regelungsfunktion

Bei einem Temperatursprung im Heißwasserkreis der NH₃/H₂O-AKA führt dies zu einem instationären Betrieb von ca. 11 Minuten.

- Die Dauer des instationären Betrieb ist maßgeblich von der Kältemitteldrossel abhängig.

Bei Temperatursprüngen im Heiß- und Kühlwasserkreis der H₂O/LiBr-AKA führt dies zu einem instationären Betrieb von ca. 30 Minuten.

- Die Dauer des instationären Betriebs ist maßgeblich von den „thermischen Massen“ abhängig.

Simulationsmodell der $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ -AKA

- Modellierungs- & Simulationsumgebung: Dymola [1]
- Bibliothek: TIL [2]

AKA-Modell

- Modelle sind als finite Volumen modelliert (FVM)
- Modellierung und Parametrisierung der Komponentenmodelle anhand der realen Komponenten
- Verbindung von Komponentenmodellen
 - In Anlehnung an die Struktur der realen AKA
 - Ermöglichen den Austausch prozessspezifischer Größen

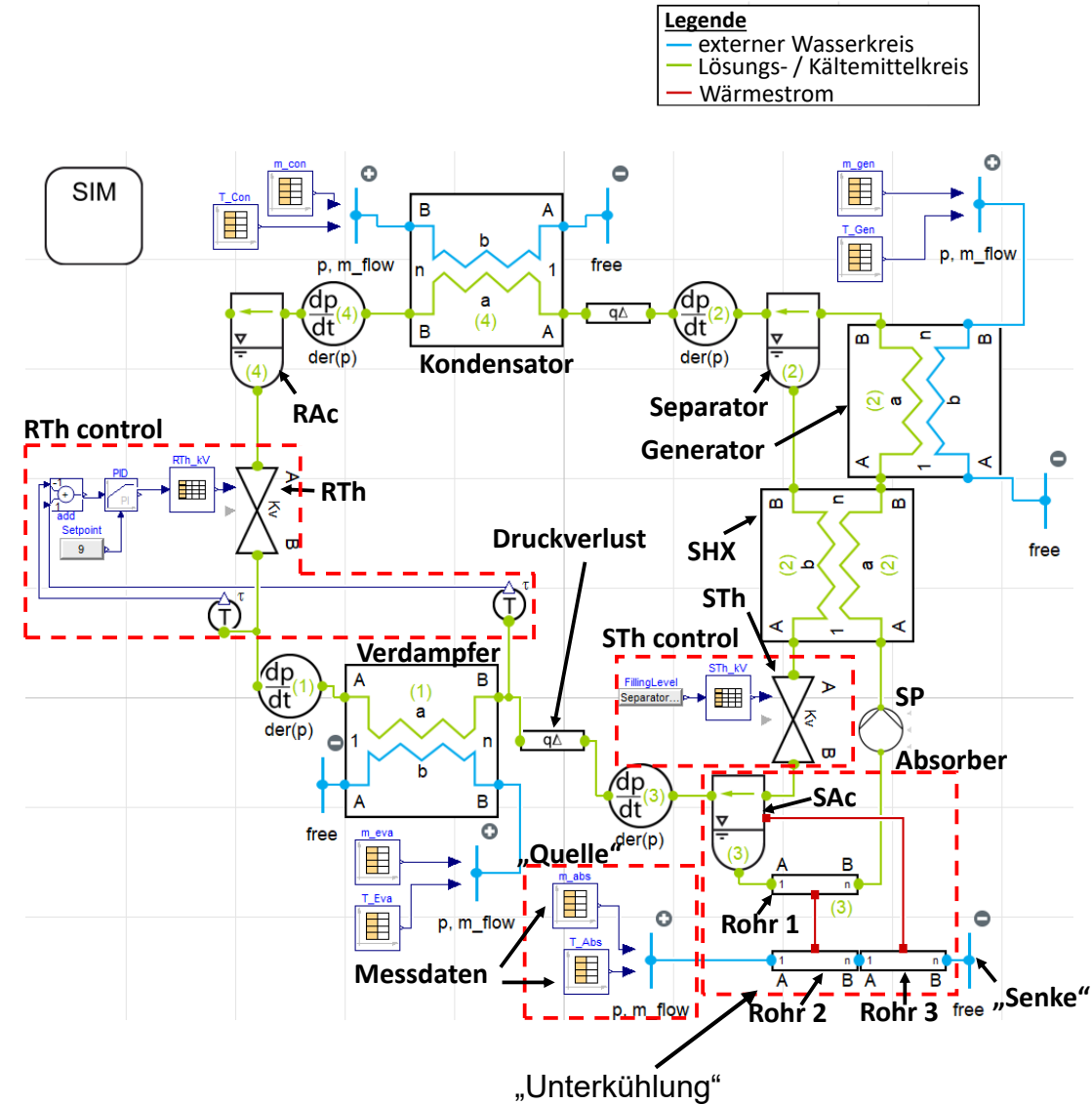


Abb.: Dymola-Modell der NH₃/H₂O-AKA

- Generator, Kondensator, Verdampfer und SHX sind als Plattenwärmetauscher modelliert
Wärmeübertragung basieren auf Nußelt-Korrelationen
- Separator, RAc und SAc sind als Sammler modelliert
- SAc wird nicht nur als Sammler sondern auch als Absorber verwendet.
 - “Externe Unterkühlung“ der reichen Lösung

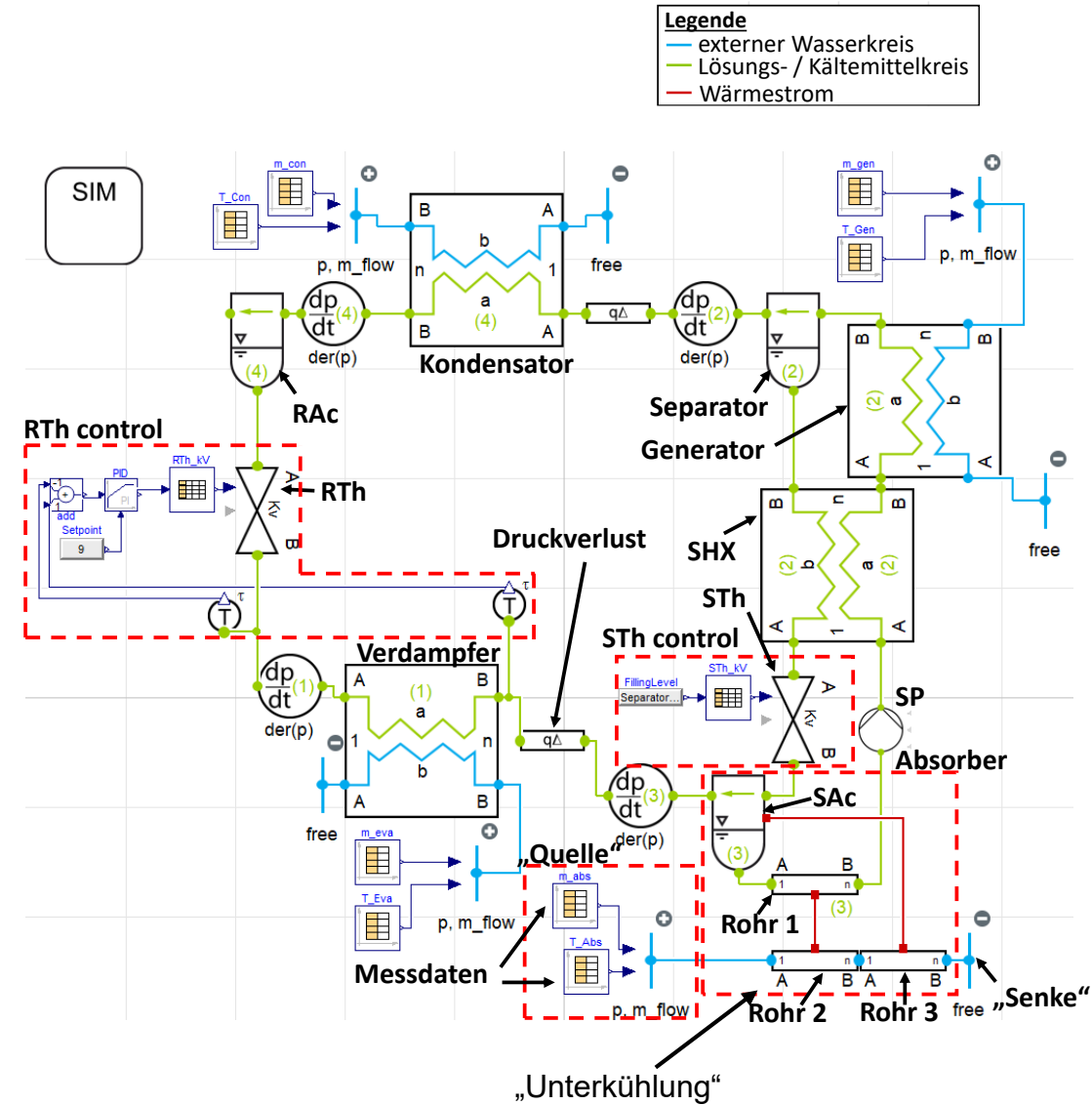


Abb.: Dymola-Modell der NH₃/H₂O-AKA

Legend
 — external water cycle
 — Solution / Refrigerant cycle
 — Heat flow

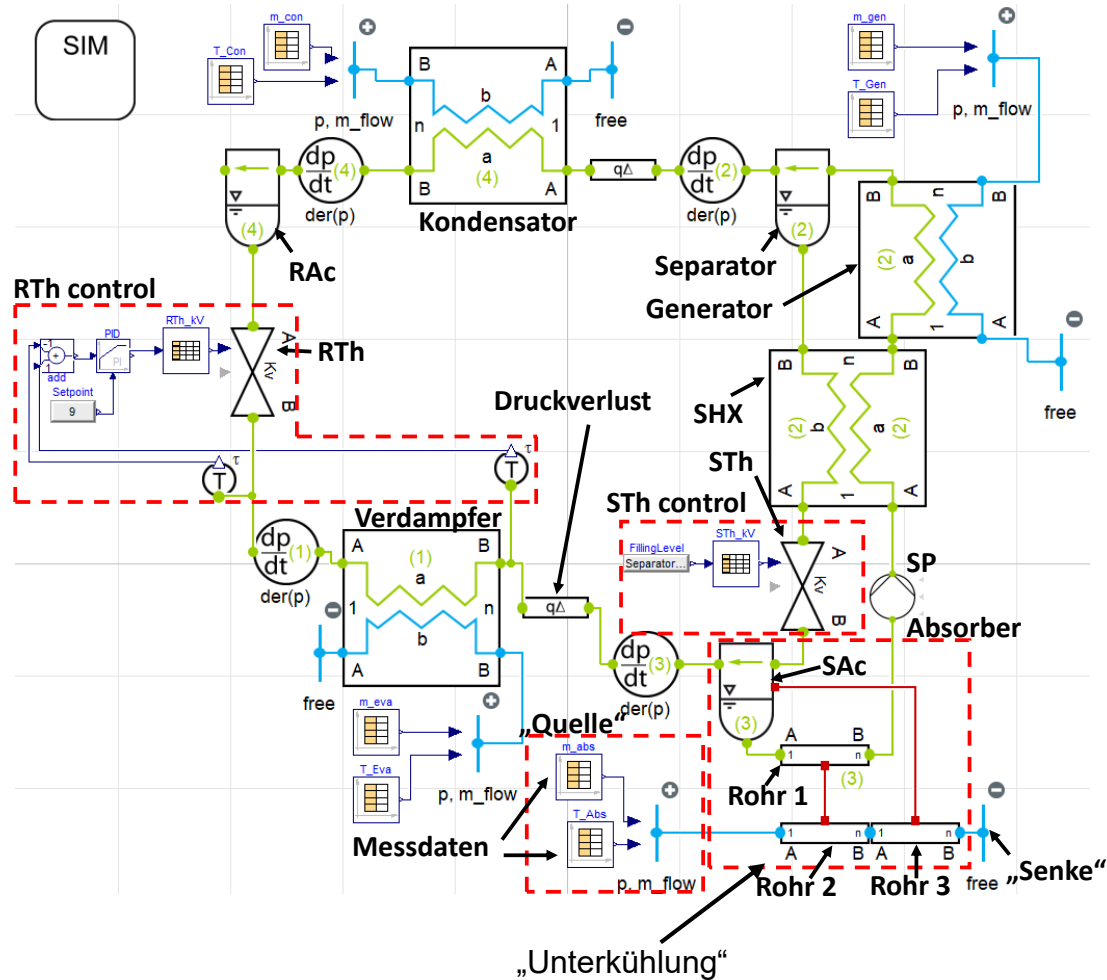


Abb.: Dymola-Modell der NH₃/H₂O-AKA

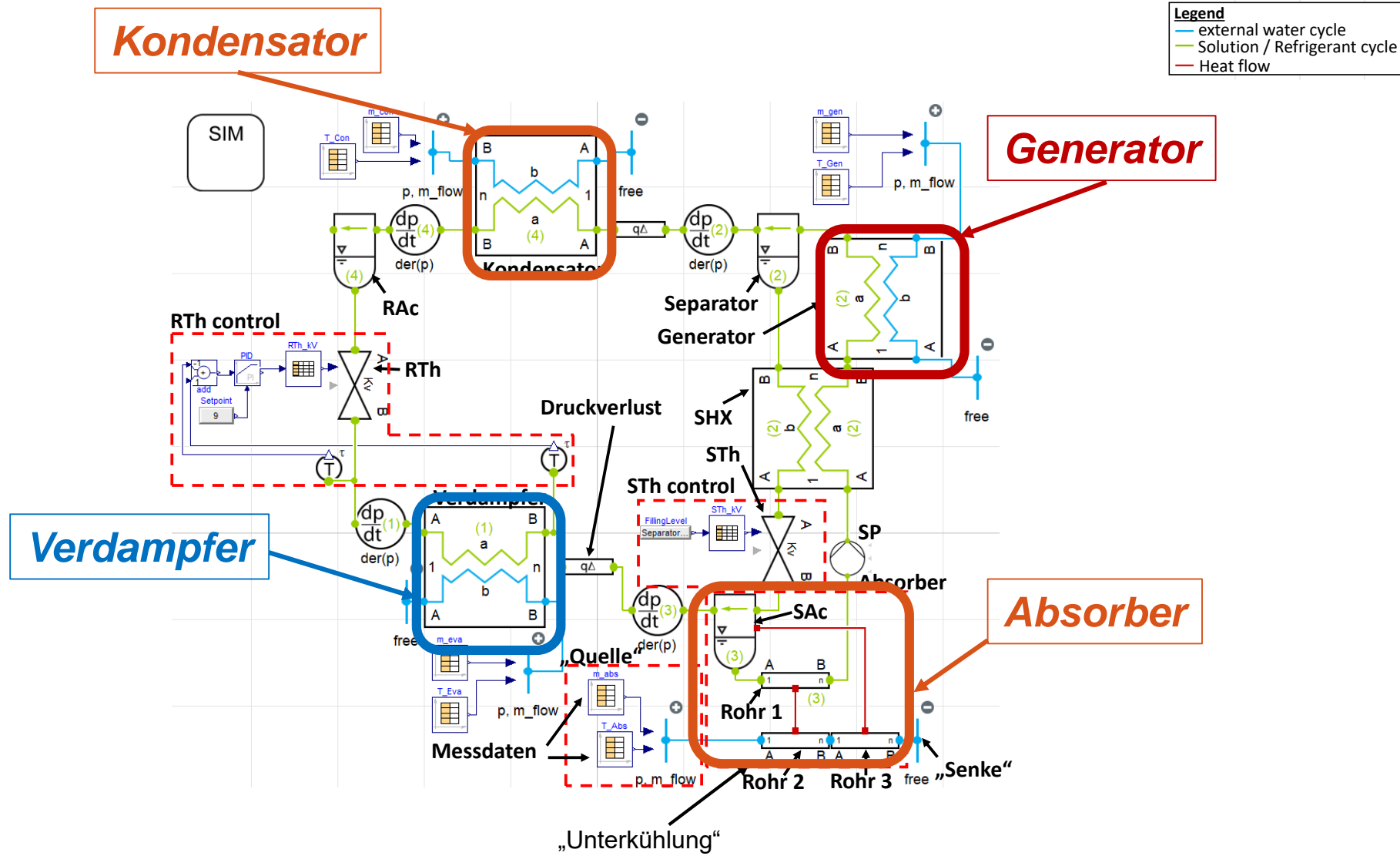


Abb.: Dymola-Modell der NH₃/H₂O-AKA

Legend
 — external water cycle
 — Solution / Refrigerant cycle
 — Heat flow

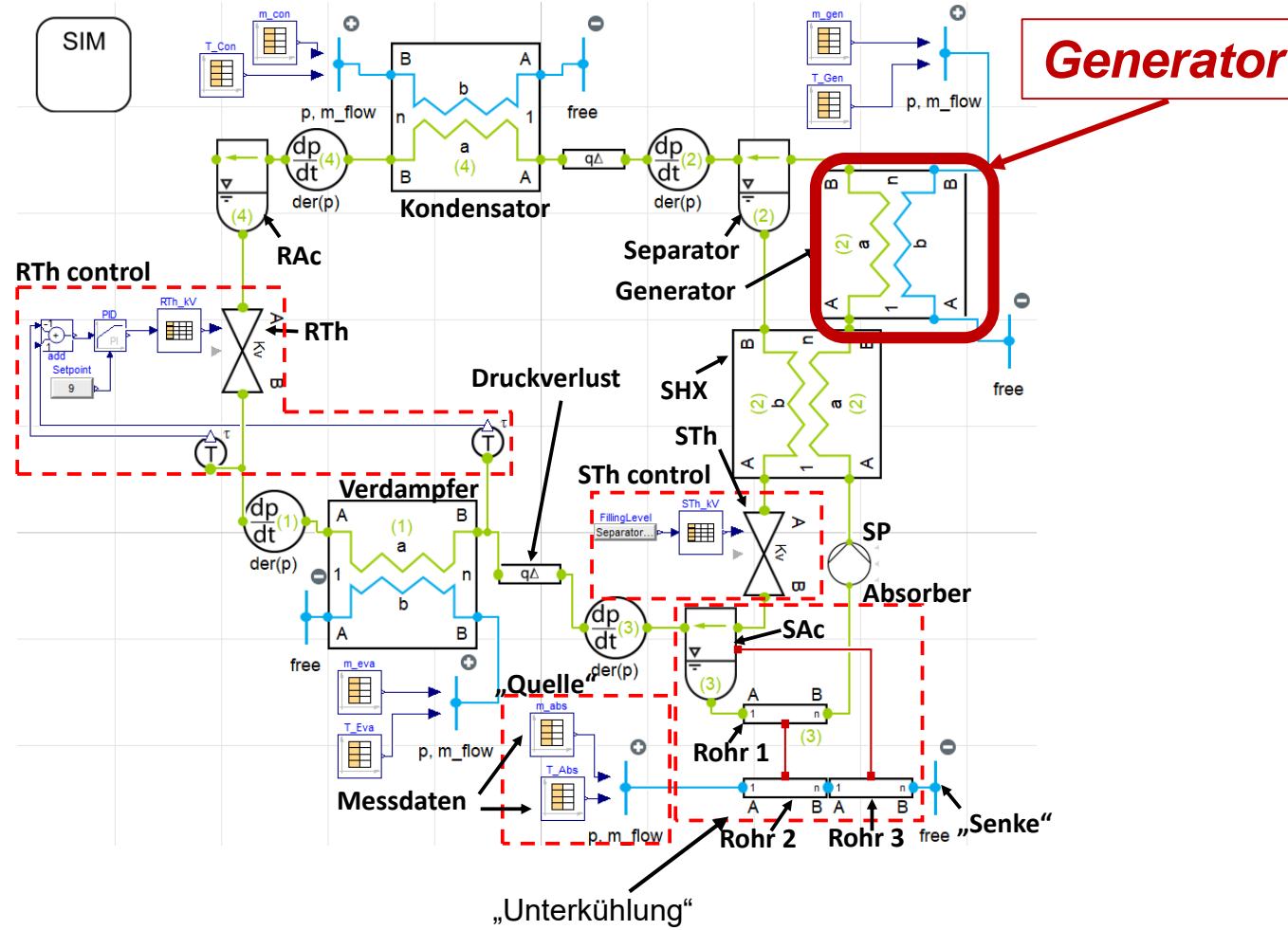


Abb.: Dymola-Modell der NH₃/H₂O-AKA

Generator

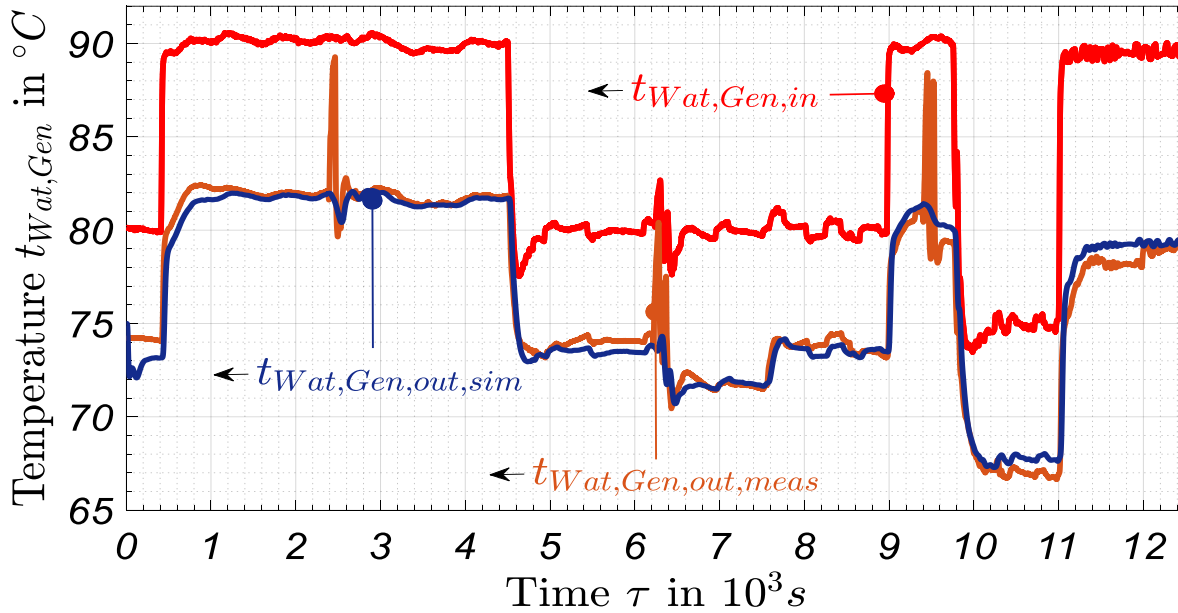


Abb.: Vergleich von simulierten und gemessenen Temperaturen im Generator

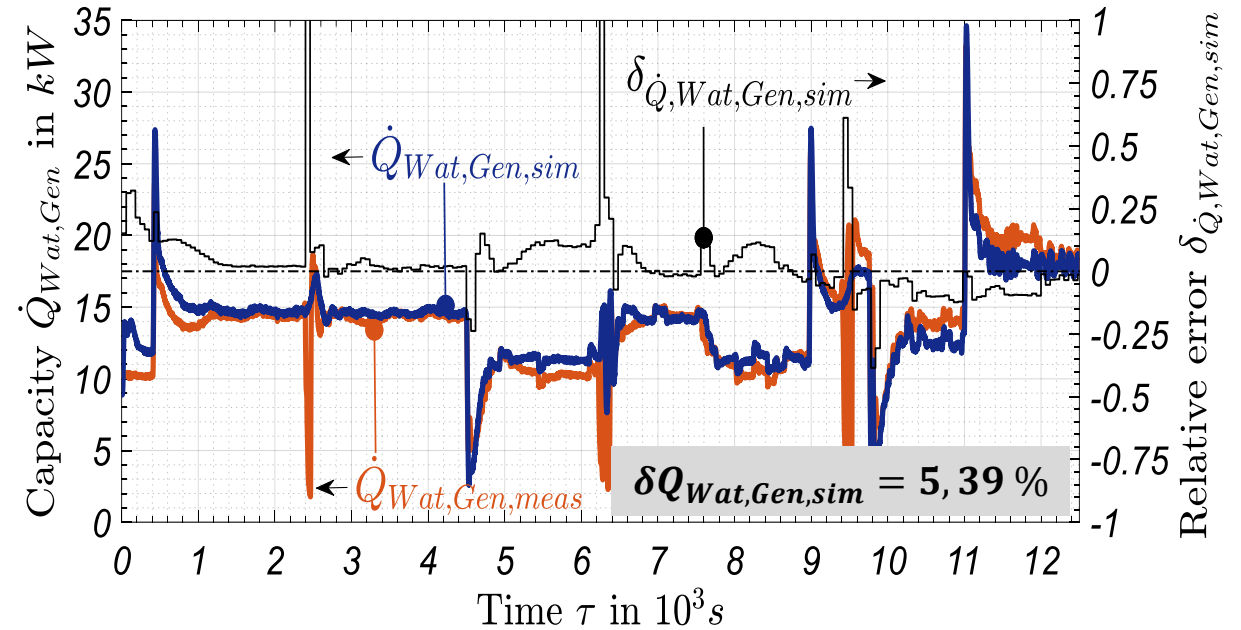


Abb.: Vgl. der aus Simulations- und Messergebnissen berechn. Leistungen im Generator

- Gute Übereinstimmung der Simulations- und Messergebnisse im Generator
 - Abweichung sind größtenteils durch Fluktuationen im Wasserkreis verursacht

Kondensator

Legend

- external water cycle
- Solution / Refrigerant cycle
- Heat flow

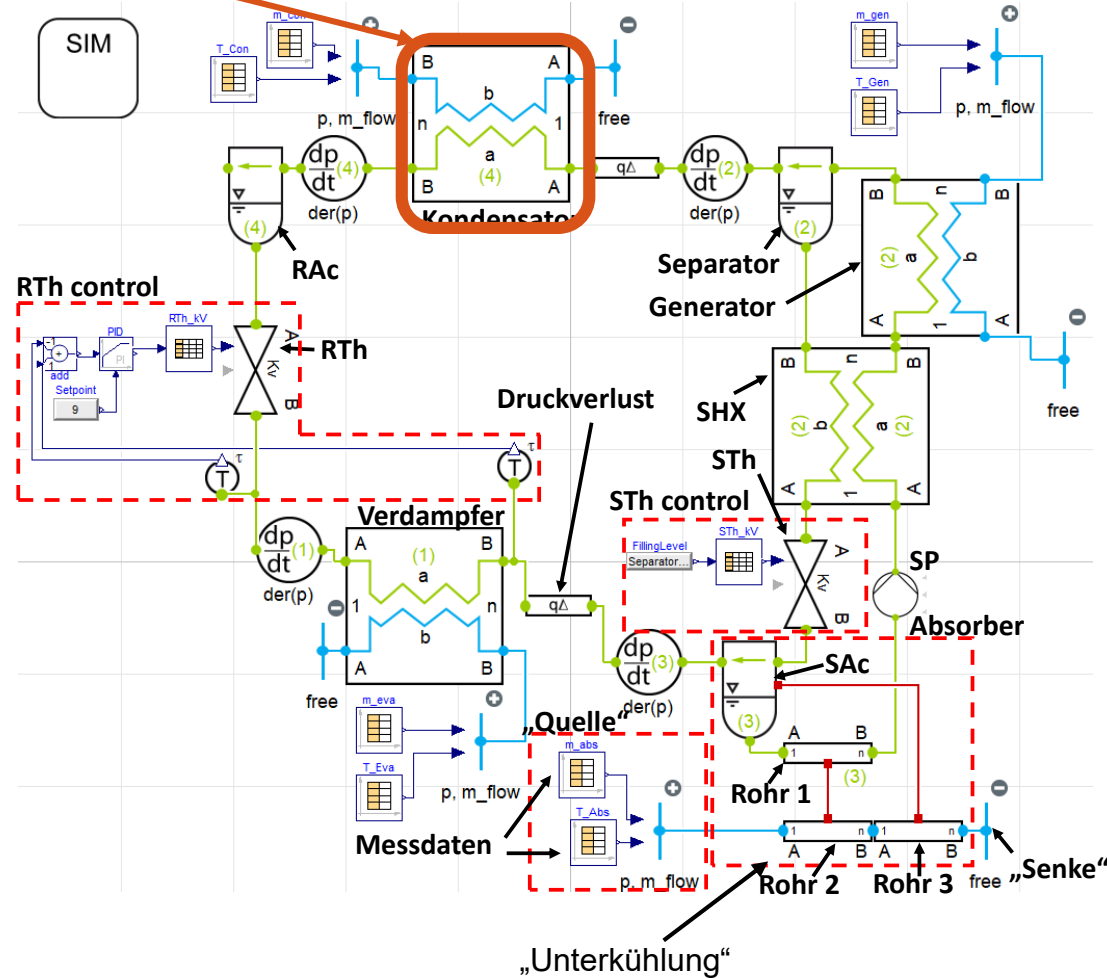


Abb.: Dymola-Modell der NH₃/H₂O-AKA

Kondensator

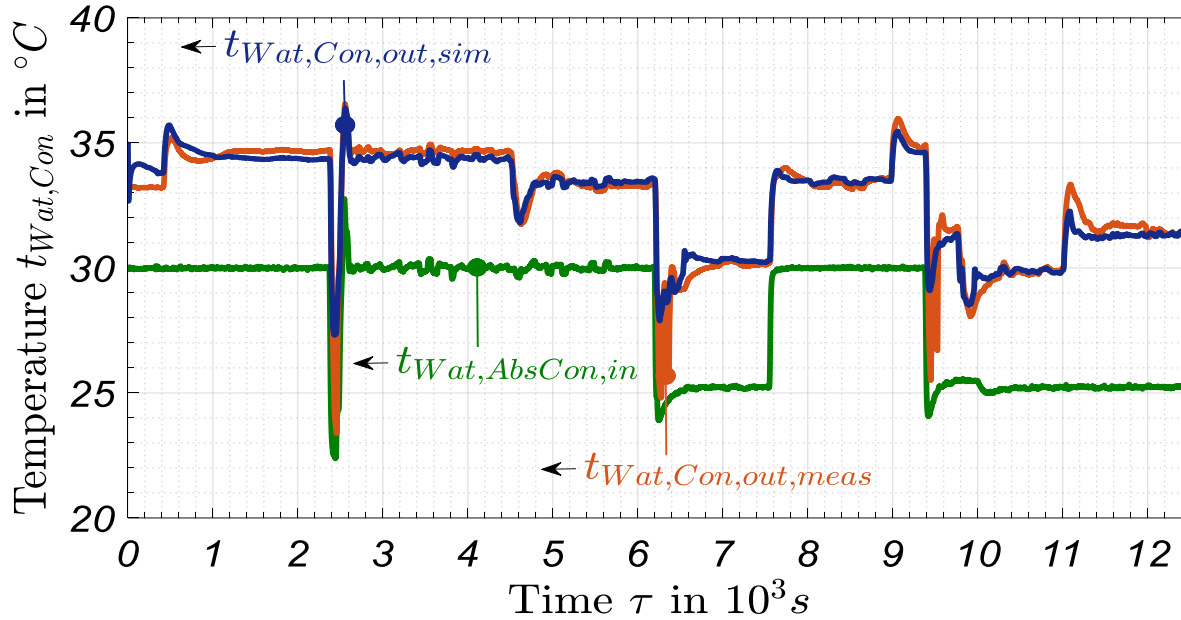


Abb.: Vergleich von simulierten und gemessenen Temperaturen im Kondensator

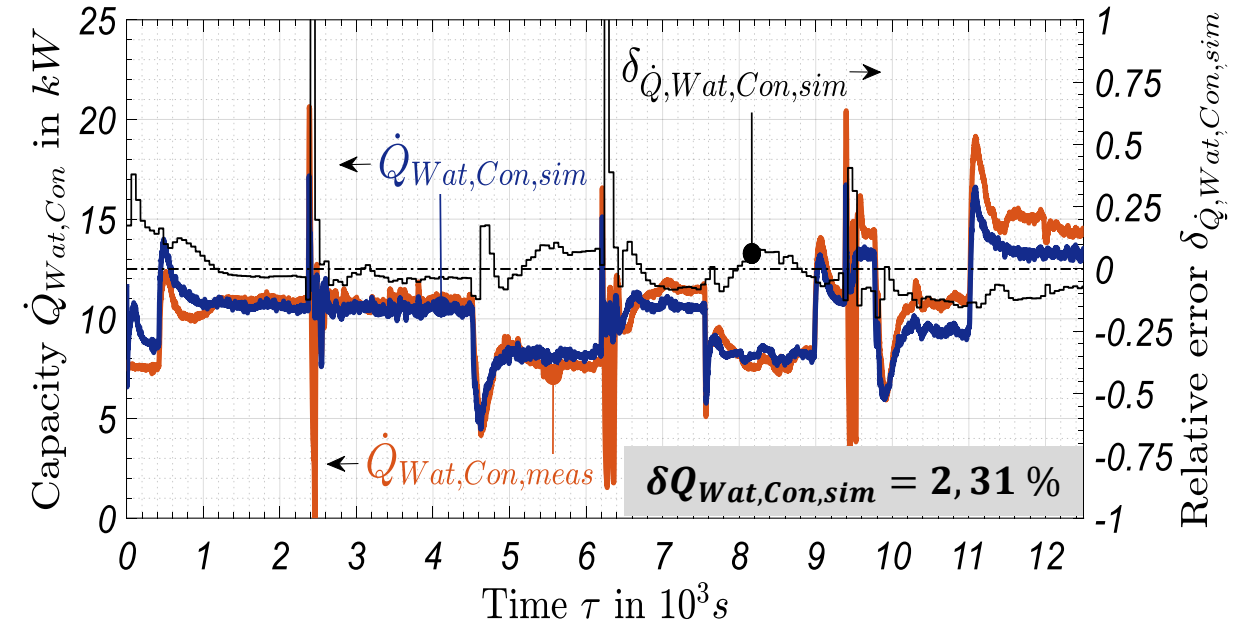


Abb.: Vgl. der aus Simulations- und Messergebnissen berechn. Leistungen im Kondensator

- Gute Übereinstimmung der Simulations und Messergebnisse im Kondensator
 - Abweichung sind größtenteils durch Fluktuationen im Wasserkreis verursacht

Legend
 — external water cycle
 — Solution / Refrigerant cycle
 — Heat flow

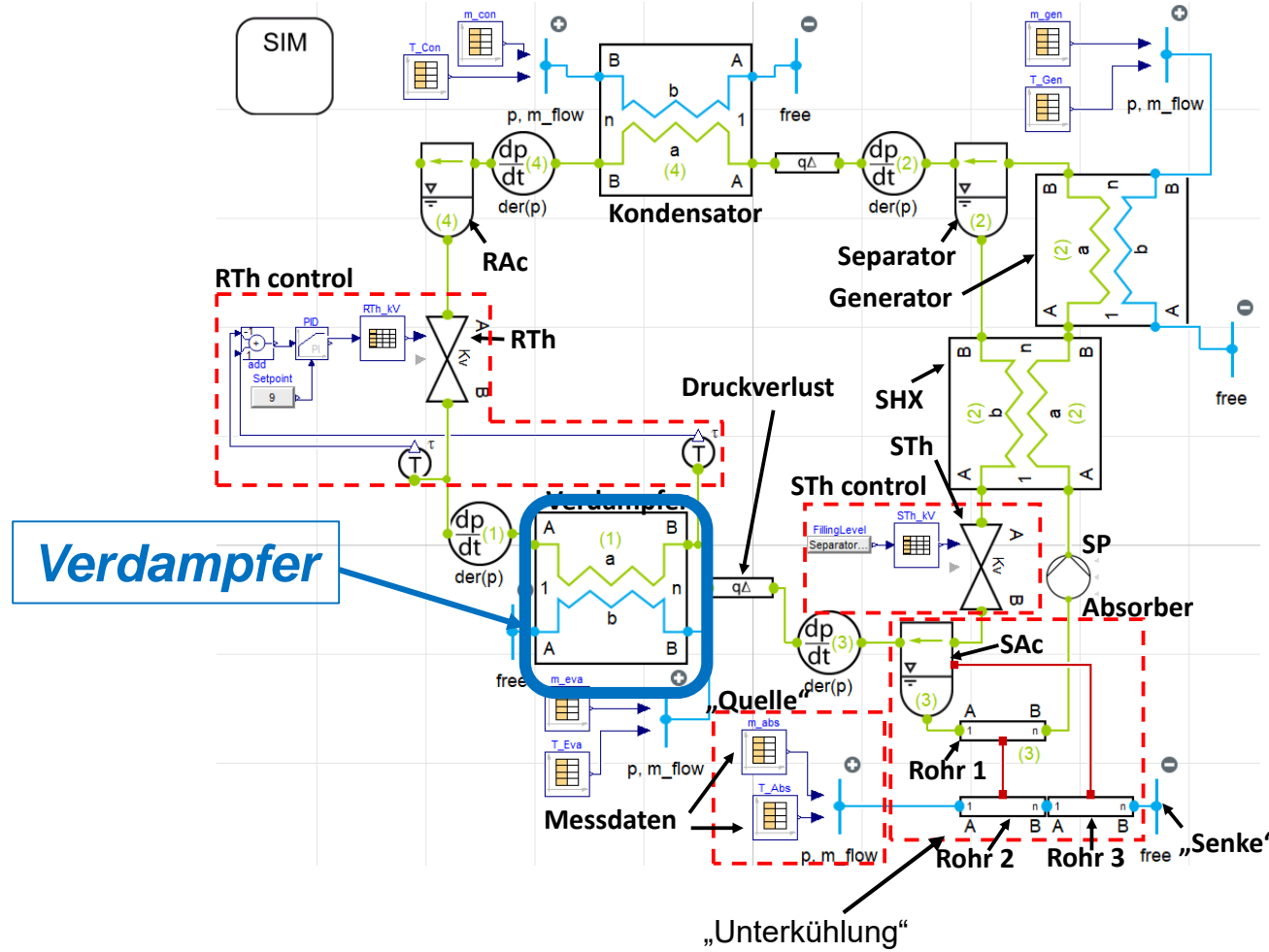


Abb.: Dymola-Modell der NH₃/H₂O-AKA

Verdampfer

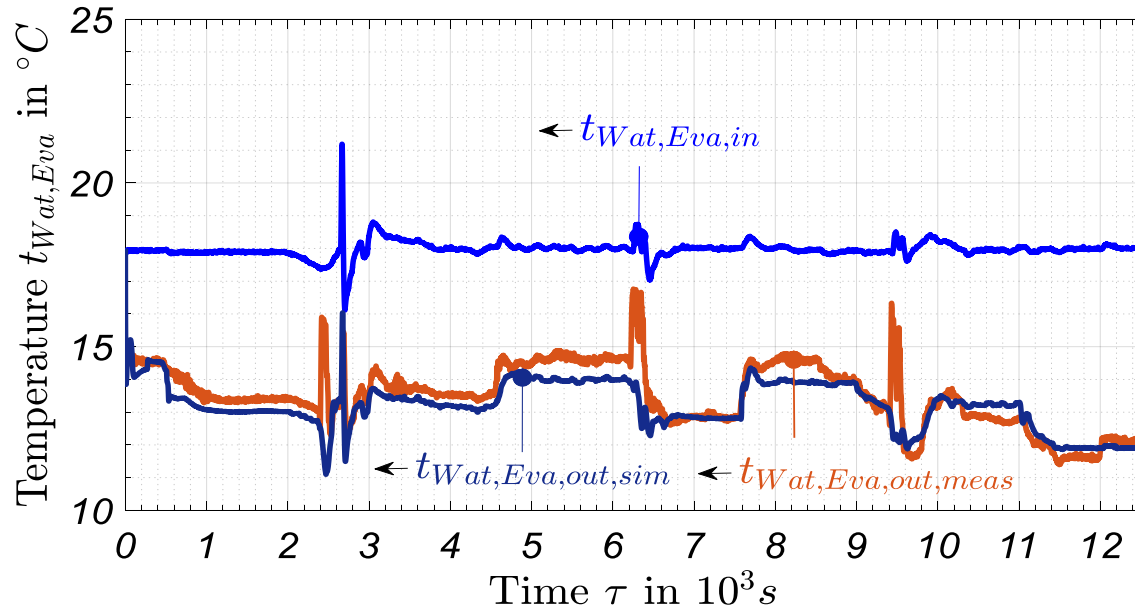


Abb.: Vergleich von simulierten und gemessenen Temperaturen im Verdampfer

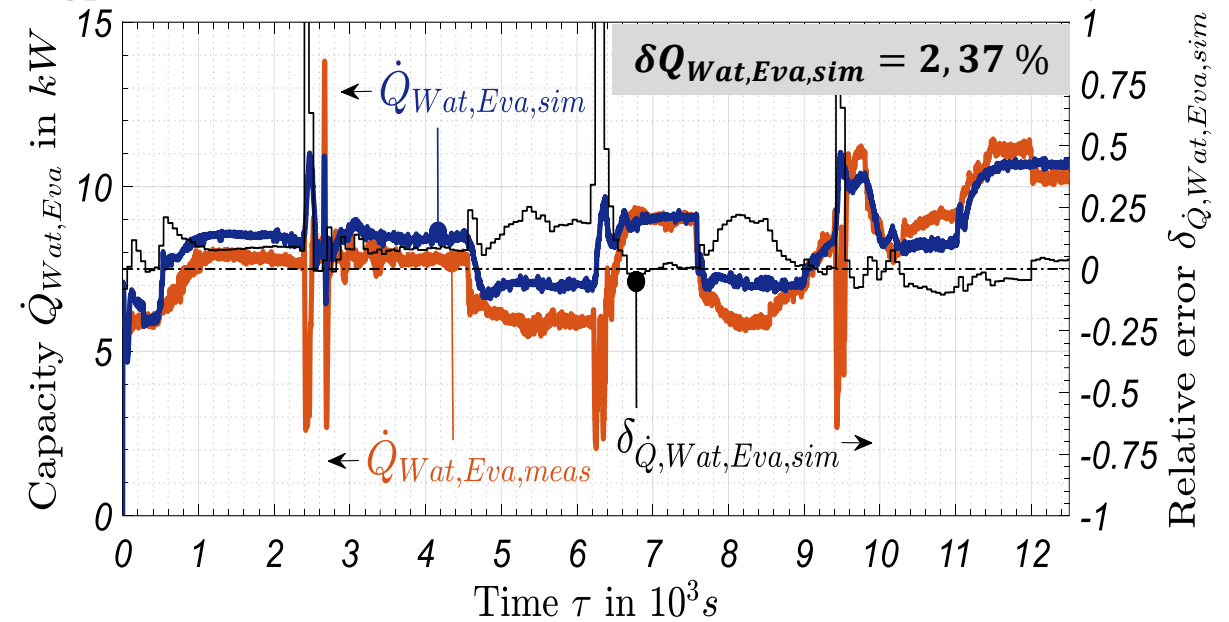
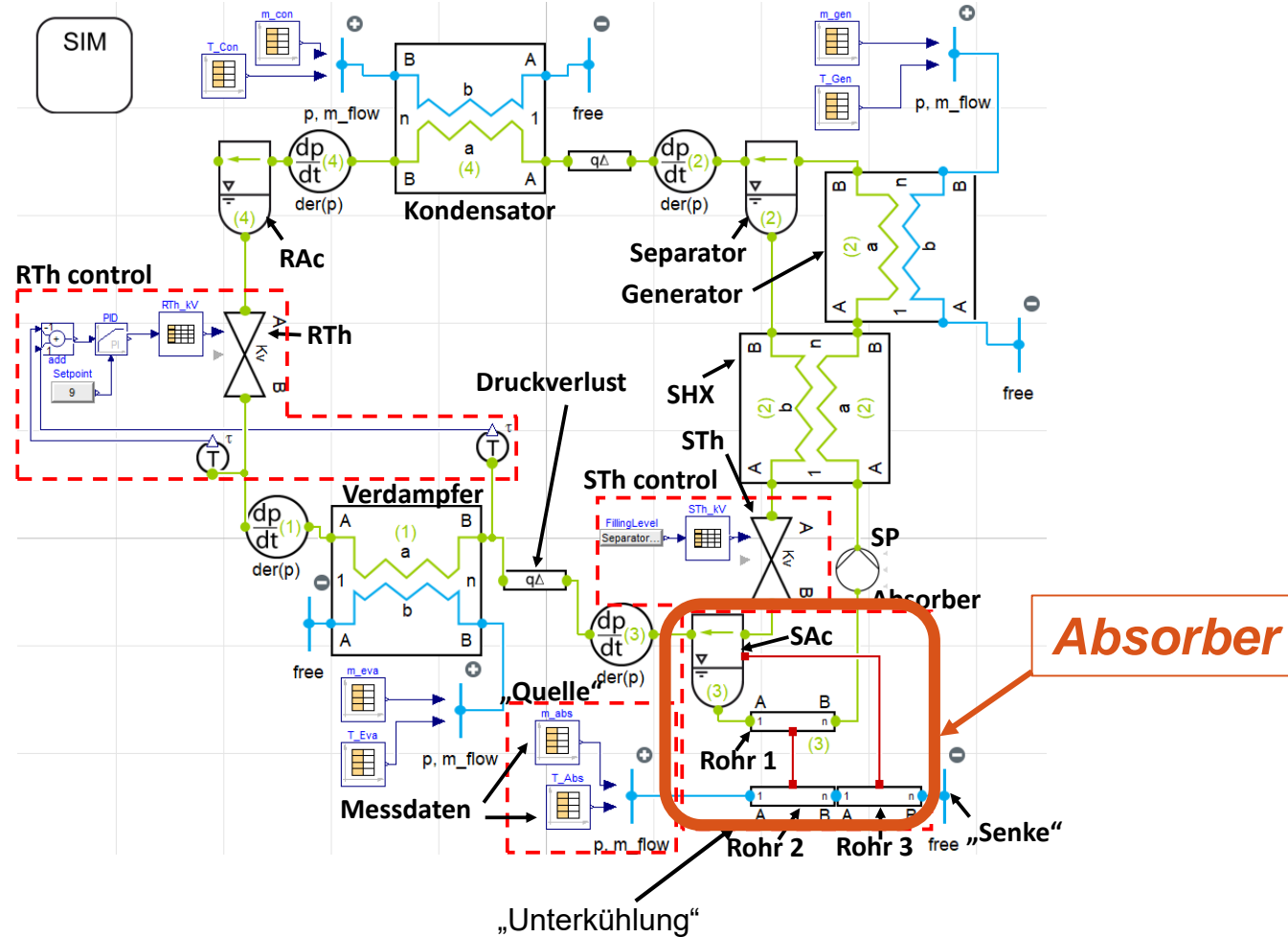


Abb.: Vgl. der aus Simulations- und Messergebnissen berechn. Leistungen im Verdampfer

- „Größere“ Abweichungen von Simulations- und Messergebnissen im Verdampfer
 - Verwendung von Nußelt-Korrelationen für Reinstoffe

Legend
 — external water cycle
 — Solution / Refrigerant cycle
 — Heat flow



„Unterkühlung“
 Abb.: Dymola-Modell der NH₃/H₂O-AKA

Absorber

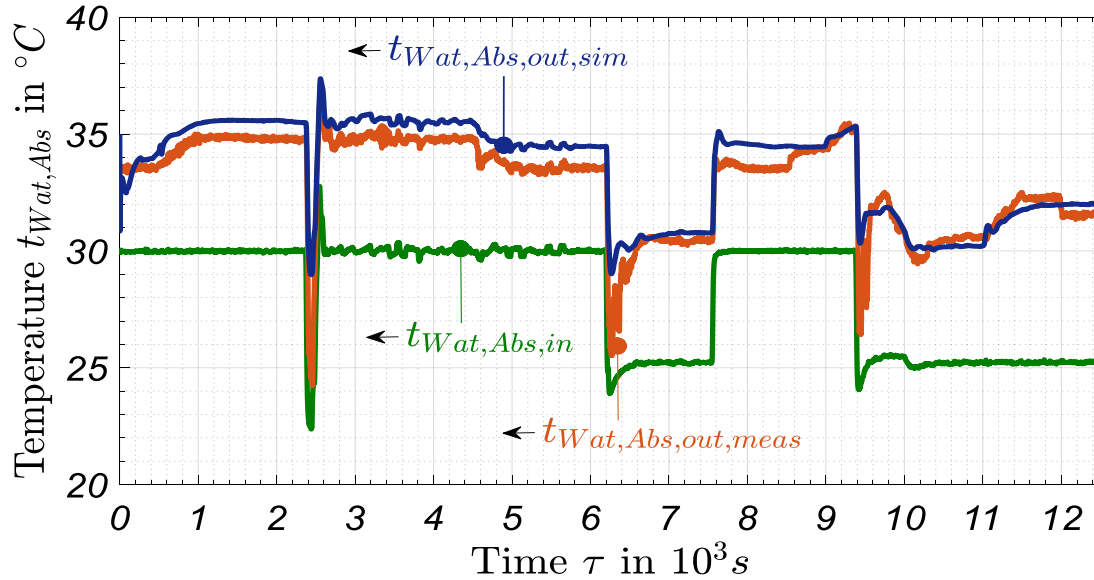


Abb.: Vergleich von simulierten und gemessenen Temperaturen im Absorber

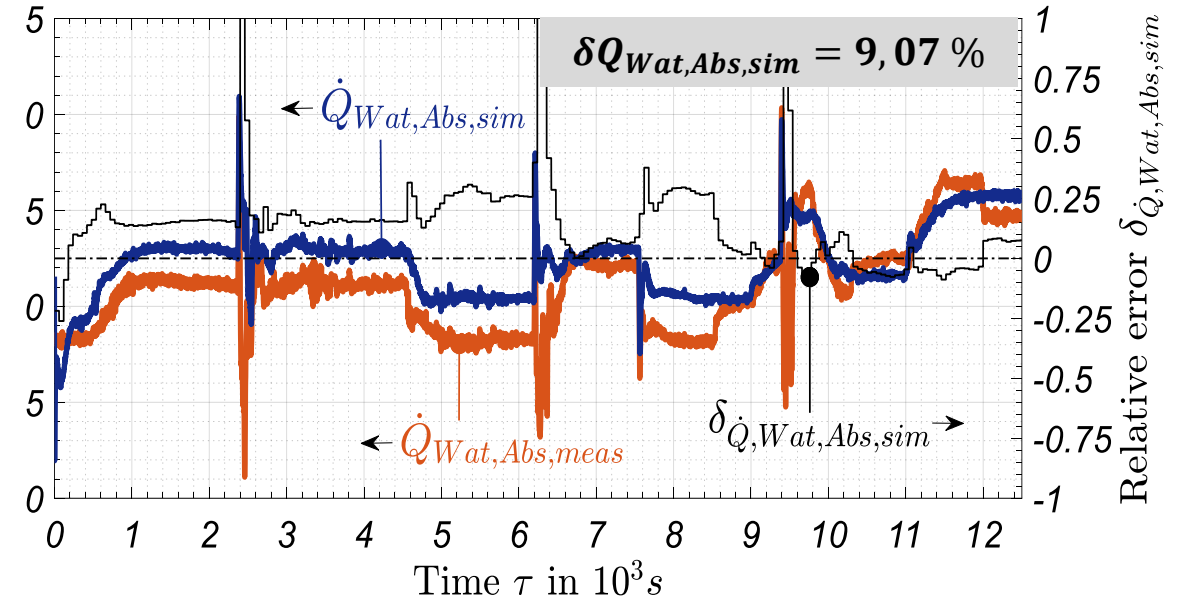


Abb.: Vgl. der aus Simulations- und Messergebnissen berechn. Leistungen im Absorber

- „Größere“ Abweichungen von Simulations- und Messergebnissen im Absorber
 - Verwendung konstanter UA-Werte

Instationärer Betrieb kann vom Simulationsmodell gut wiedergegeben werden

- "Kleine" Abweichungen zwischen Simulations- und Messergebnissen für Generator und Verflüssiger

- "Größere" Abweichungen zwischen Simulation und Messergebnissen für Absorber und Verdampfer
 - Das Absorbermodell bildet den Absorptionsprozess aktuell nicht ausreichend gut ab und verwendet einen konstanten UA-Wert

 - Im Verdampfermodell wird eine Nußelt-Korrelation für eine reine Substanz verwendet

Simulationsmodell der H₂O/LiBr-AKA

- Modellierungs- & Simulationsumgebung: Dymola [1]
- Modellbibliothek: TIL [2]

Berechnung der Zustandsgrößen

- Implementierung der Stoffdatenroutine für H₂O/LiBr-Gemische von Yuan & Herold [3]
- „Nur“ unterkühlte oder gesättigte flüssige Lösung im Lösungsmittelkreis (keine Beachtung von Kältemitteldampf)
- Verwendung der Wasser-Stoffdatenroutine in TIL [2]

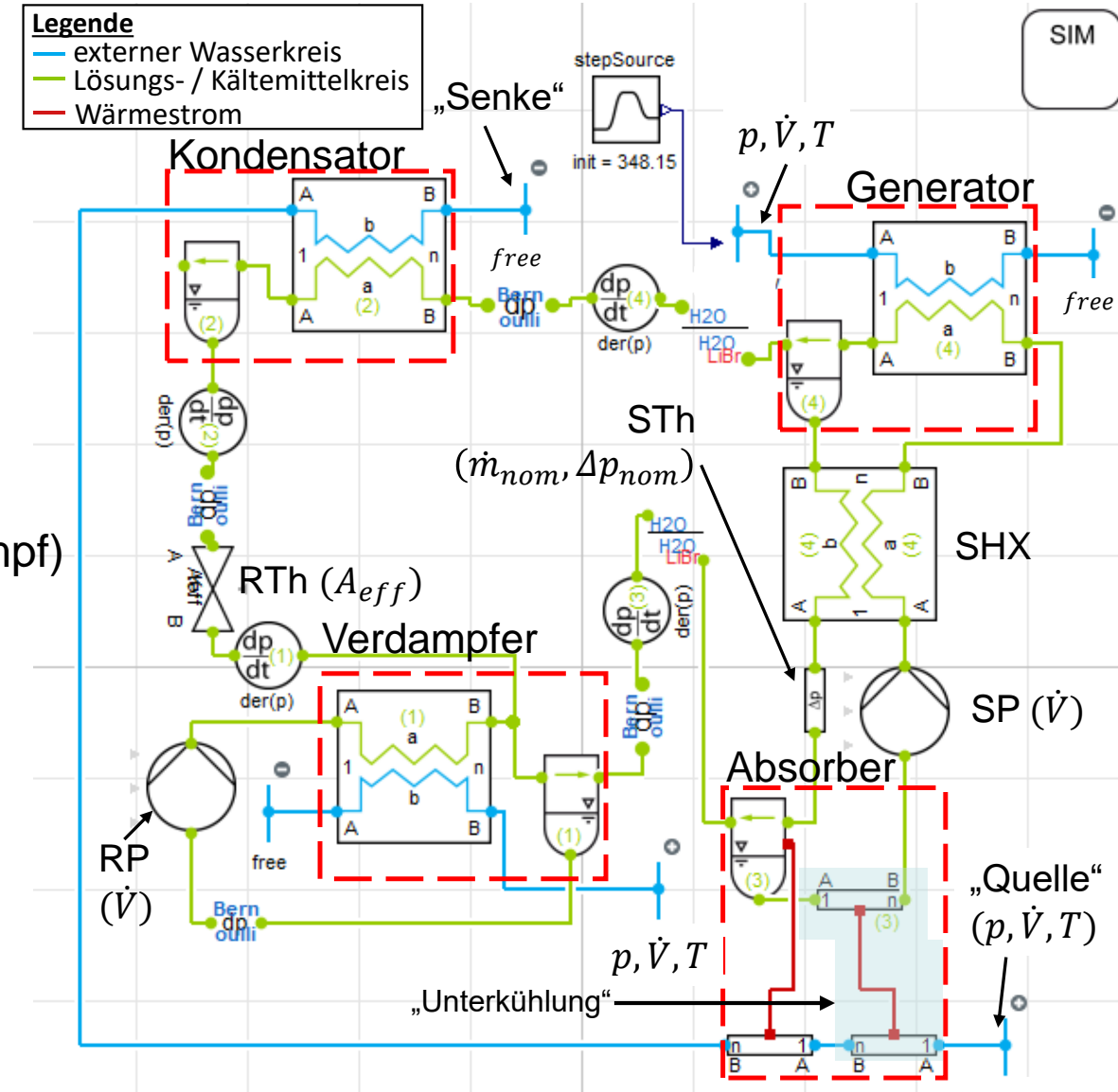


Abb.: Dymola-Modell der H₂O/LiBr-AKA

Abbildung der $H_2O/LiBr$ -AKA

- Verwendung von Gegenstrom-Plattenwärmetauschern
 - Zur Darstellung von Massenänderungen in den Behältern sind Sammler den Plattenwärmetauschern nachgeschaltet
 - Konstante „UA-Werte“
- Absorption im Lösungsmittelsammelbehälter
 - externe „Unterkühlung“ der Lösung

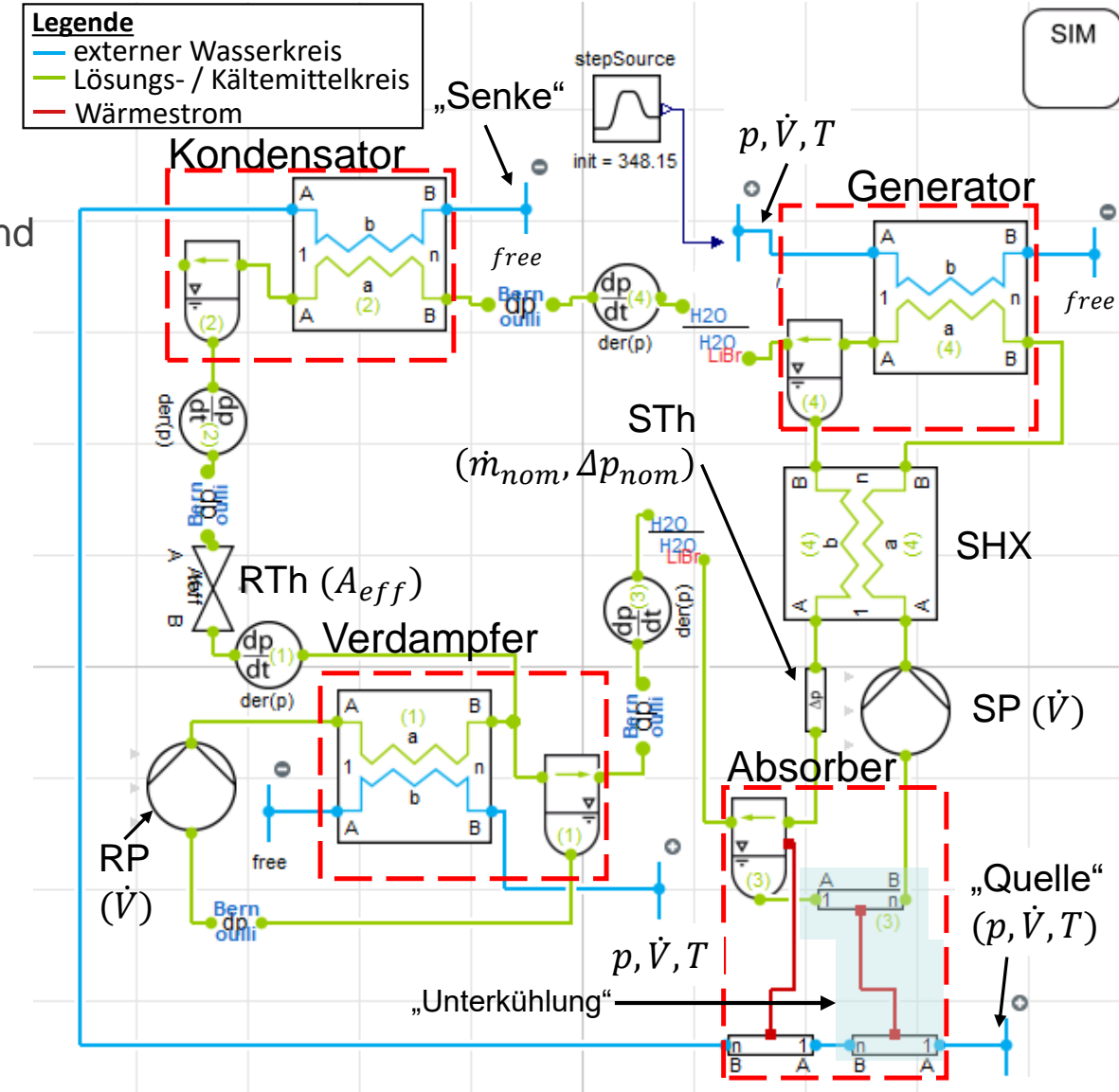


Abb.: Dymola-Modell der $H_2O/LiBr$ -AKA

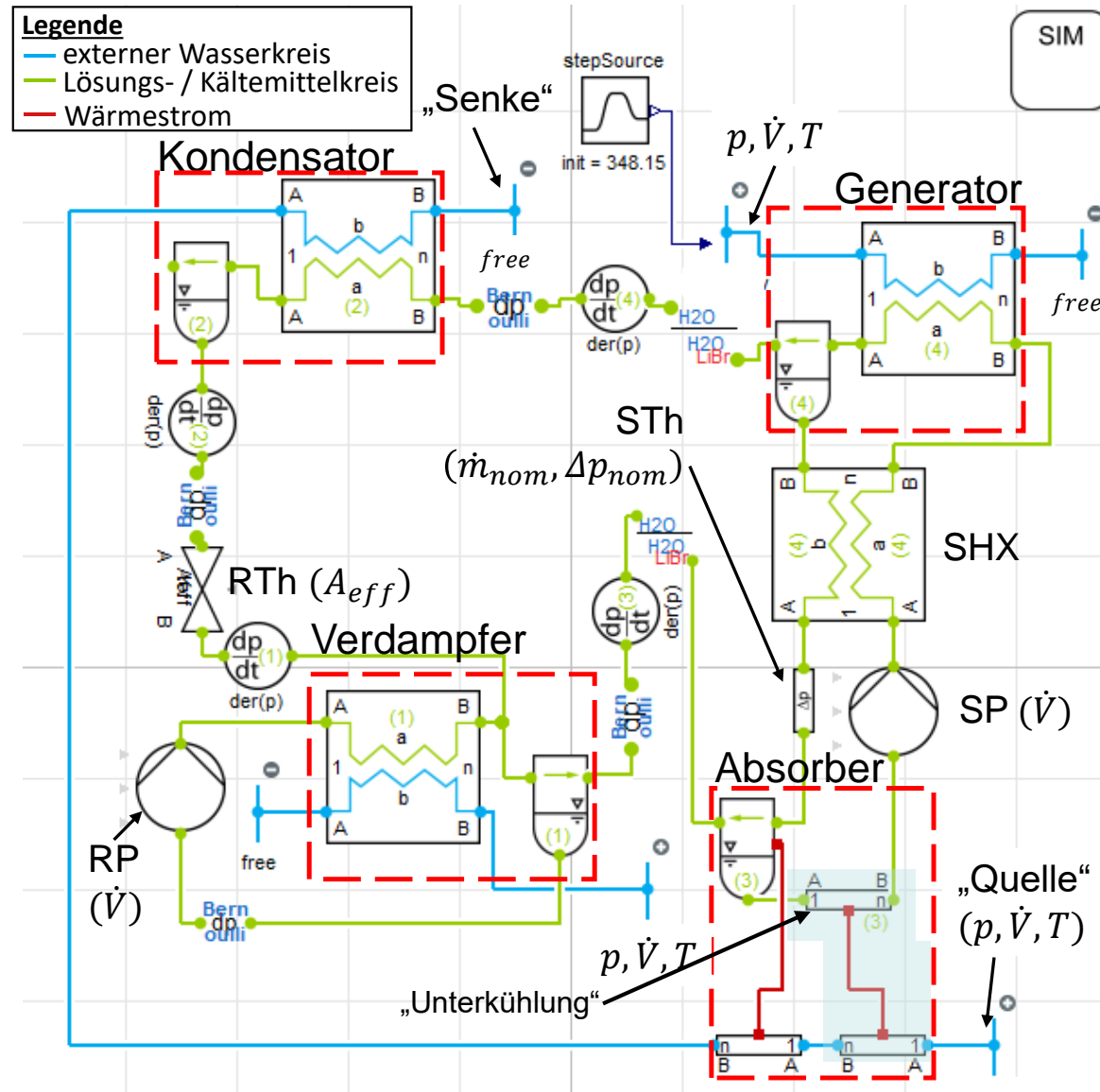


Abb.: Dymola-Modell der H₂O/LiBr-AKA

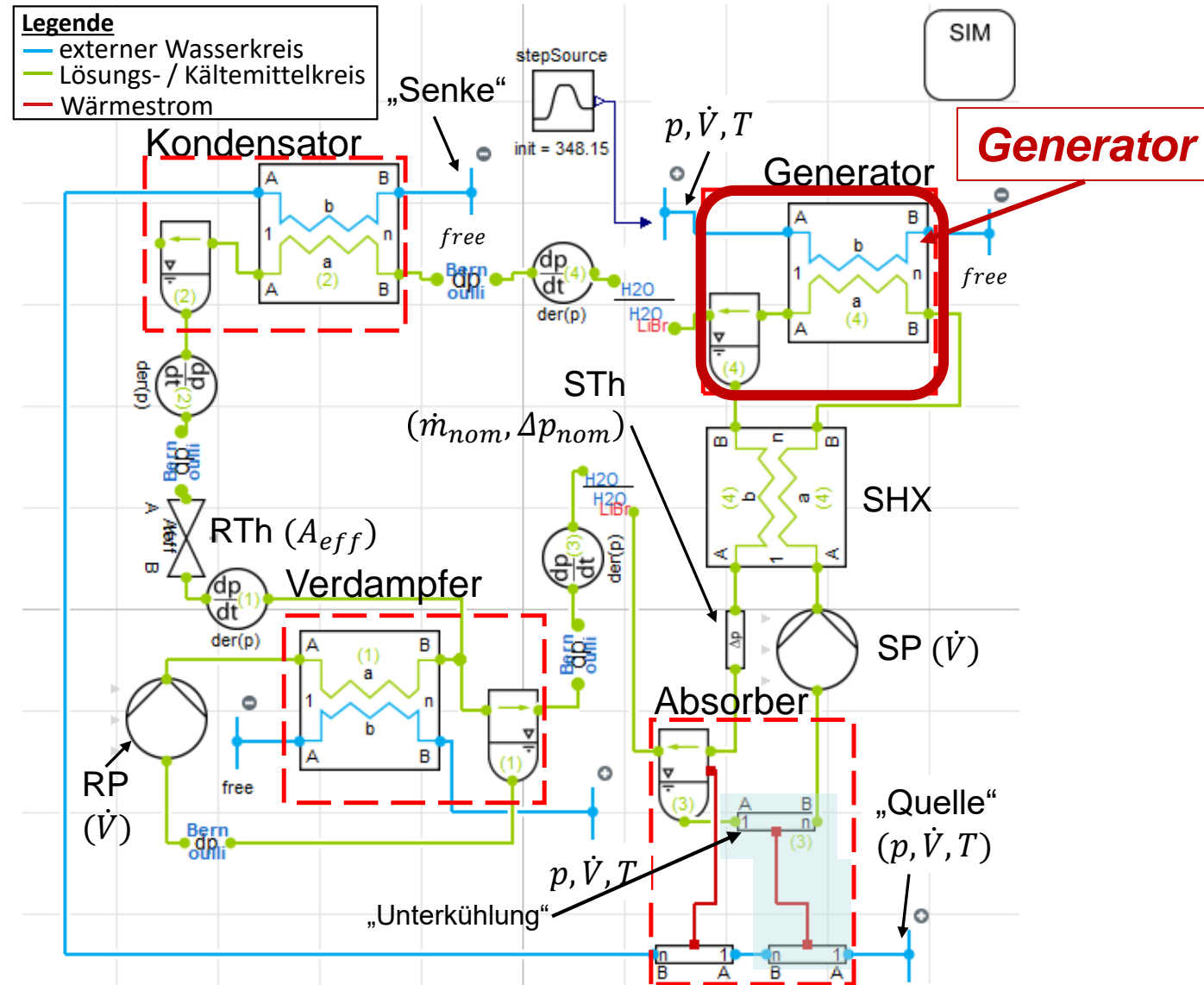


Abb.: Dymola-Modell der H₂O/LiBr-AKA

Wasseraustrittstemperaturen

- Bei stationärem Betrieb: vernachlässigbare Abweichungen zw. gemessener und simulierter Wasseraustrittstemperatur
- Bei instationärem Betrieb: geringe Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Generatortemperatur

Leistungen

- Bei stationärem Betrieb: vernachlässigbare Abweichungen der berechneten Leistungen
- Bei instationärem Betrieb: Überschwingen der simulierten Generatorleistung

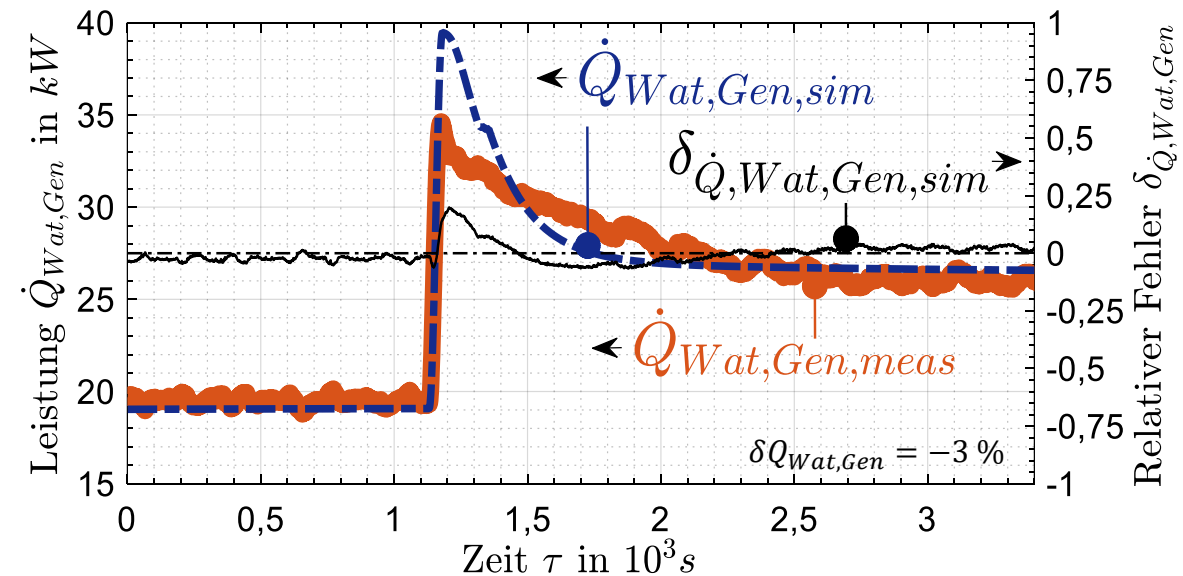
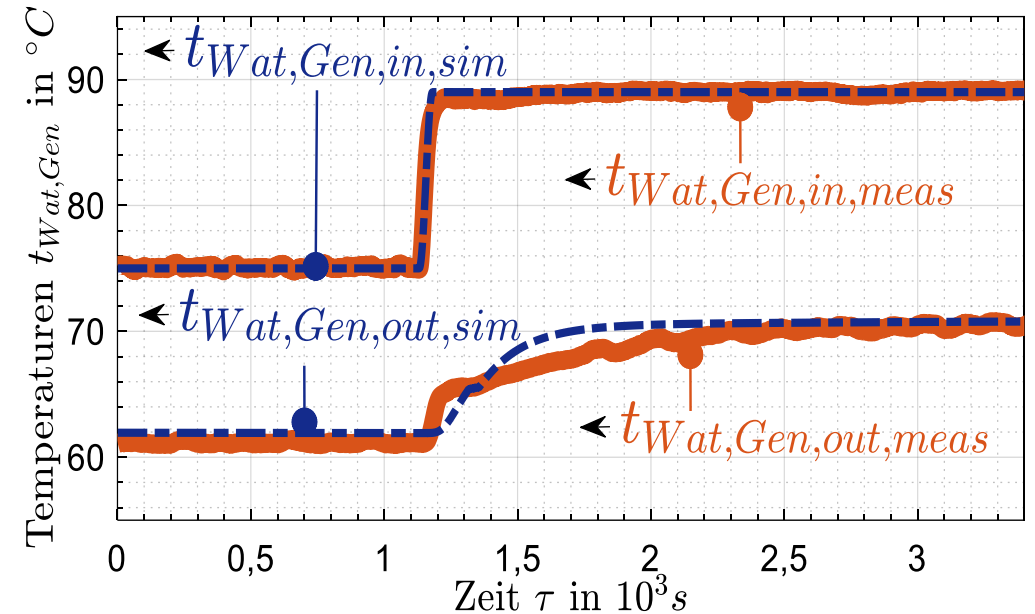


Abb.: Vergleich von Simulations- und Messergebnissen im Generator

Kondensator

- Legende**
- externer Wasserkreis
 - Lösungs- / Kältemittelkreis
 - Wärmestrom

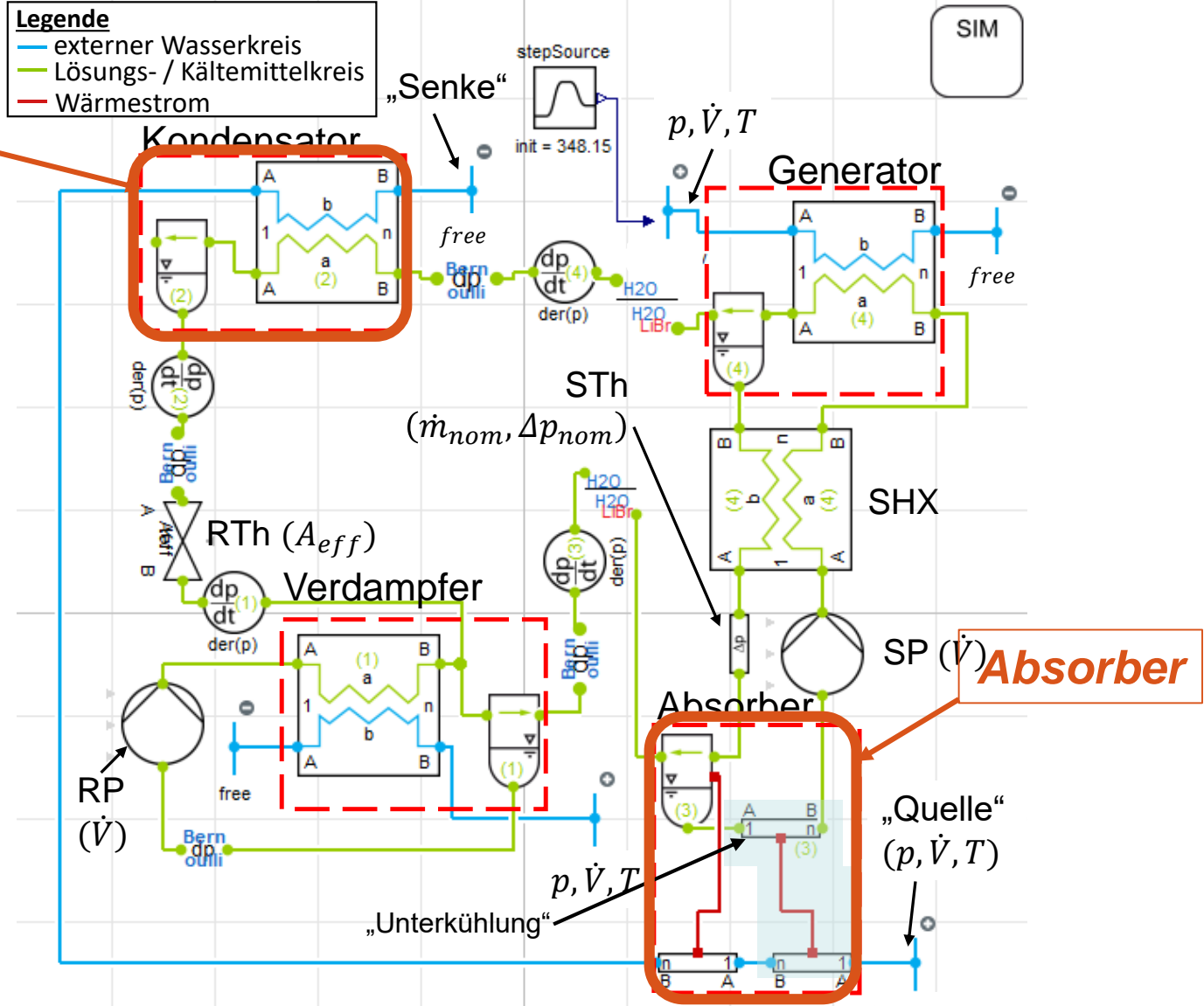


Abb.: Dymola-Modell der $H_2O/LiBr$ -AKA

Wasseraustrittstemperaturen

- Bei stationärem Betrieb: vernachlässigbare Abweichungen zw. gemessener und simulierter Wasseraustrittstemperatur
- Bei instationärem Betrieb: Längeres instationäres Verhalten in der Simulation

Leistungen

- Bei stationärem Betrieb: vernachlässigbare Abweichungen der berechneten Leistungen
- Bei instationärem Betrieb: Längeres instationäres Verhalten

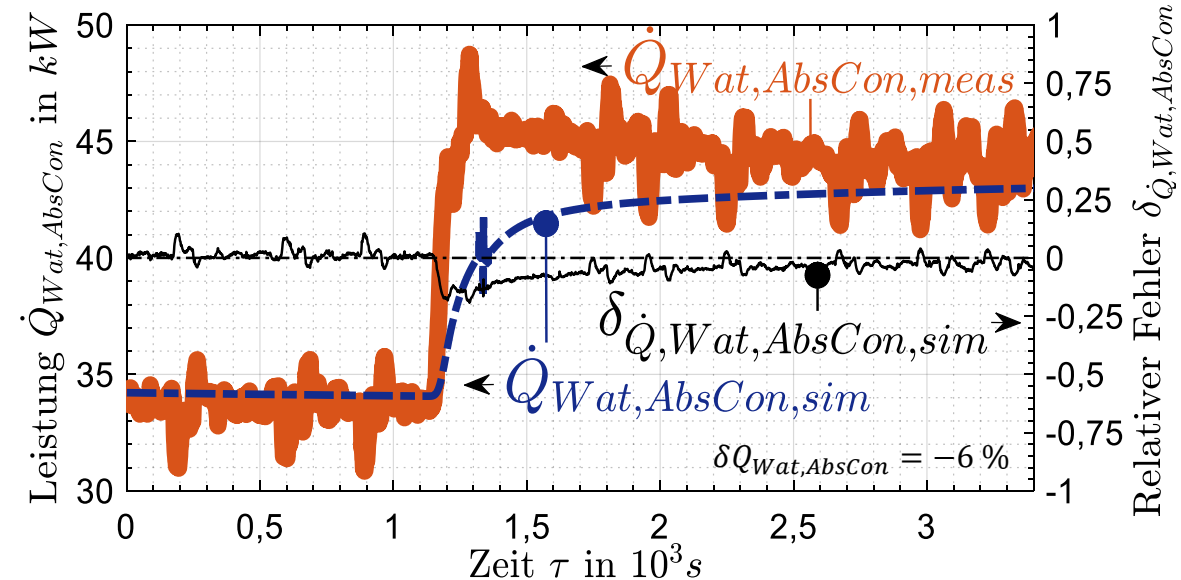
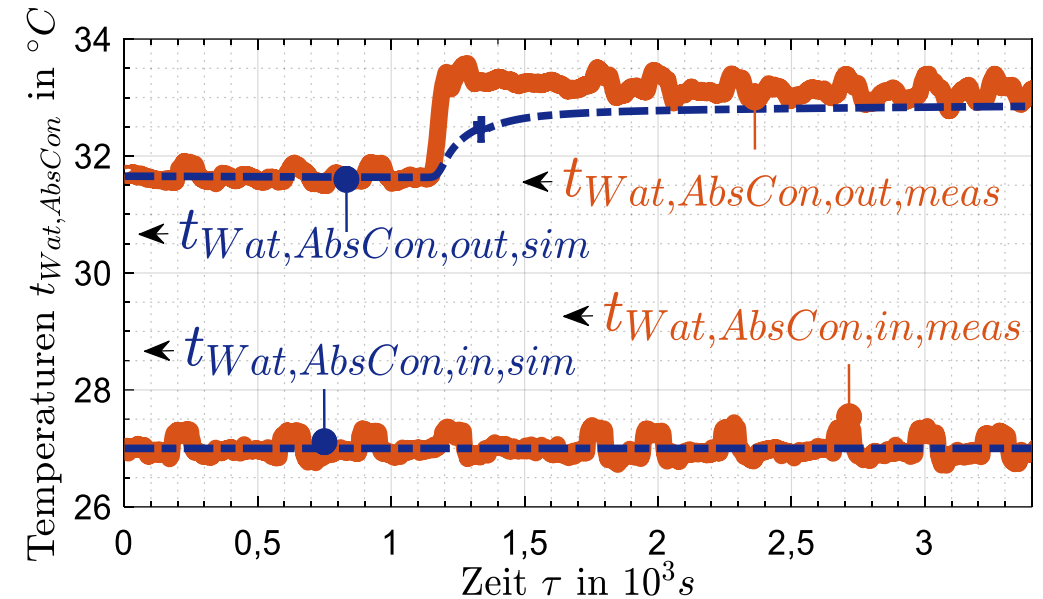


Abb.: Vergleich von Simulations- und Messergebnissen im Absorber-Kondensator-Kreis

Wasseraustrittstemperaturen

- Bei stationärem Betrieb: nennenswerte Abweichungen zw. gemessener und simulierter Wasseraustrittstemperaturen & „Vorzeichenänderung“
- Bei instationärem Betrieb: Geringere Abnahme der Verdampferaustrittstemperatur

Leistungen

- Bei stationärem Betrieb: nennenswerte Abweichungen der berechneten Leistungen & „Vorzeichenänderung“
- Bei instationärem Betrieb: Geringere Zunahme der Verdampferleistung

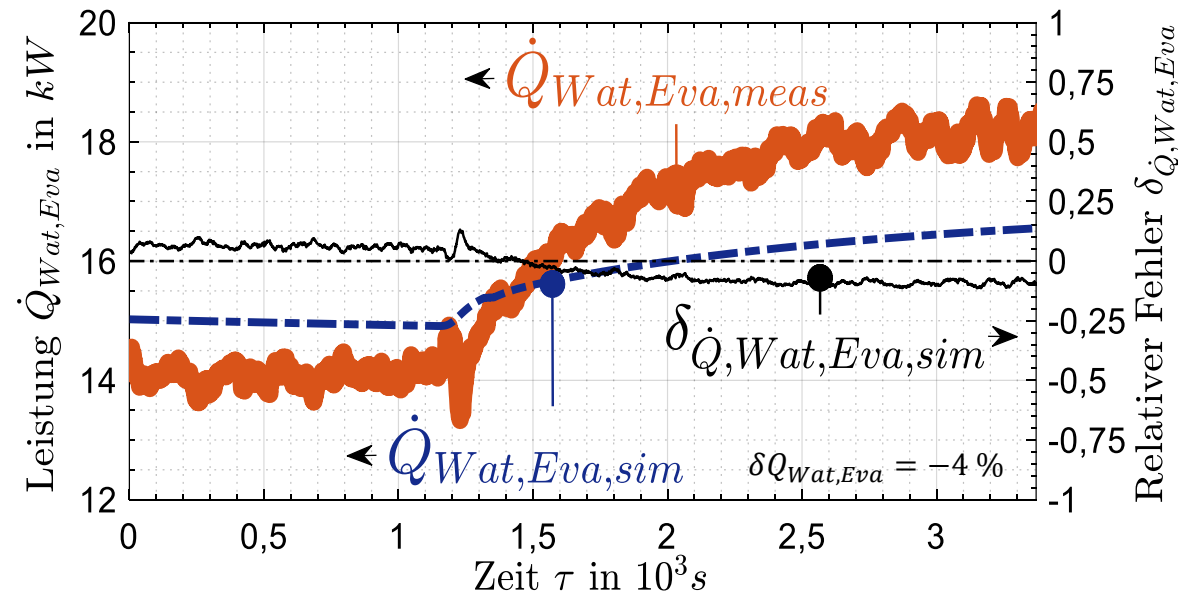
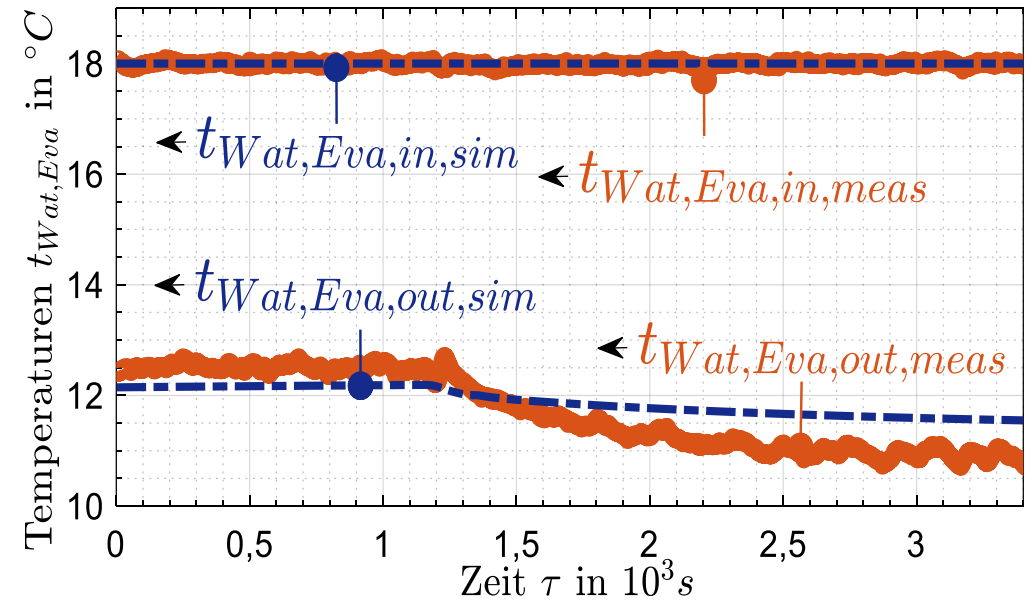


Abb.: Vergleich von Simulations- und Messergebnissen im Verdampfer

Stationärer Betrieb kann vom Simulationsmodell gut wiedergegeben werden

- Im Verdampfer jedoch etwas größere Abweichungen als im Generator und Absorber-Kondensator-Kreis

Bei instationärem Betrieb treten im Simulationsmodell in allen Wärmeübertragern größere Abweichungen auf

- Maximaler relativer Fehler in der Leistung liegt bei 20 %
- Simulations- und Messdaten zeigen etwas anderes dynamisches Verhalten der Komponenten
- Abweichungen:
 - Keine Berücksichtigung von ausgetriebenem Kältemitteldampf
 - Annäherung der thermischen Massen anhand von Messdaten zu ungenau
 - Möglicherweise mangelnde Berücksichtigung von Druckeinflüssen auf den Kälteprozess



Workshop
„Experimentelle Analyse, Simulation und Regelung von
Absorptionswärmepumpen/-kälteanlagen“
(Projekt „Heat Pumping Systems Control (HPC)“ – FFG-Projekt Nr.: 865095)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Wernhart M. & Rieberer R.
Institut für Wärmetechnik (IWT)
Technische Universität Graz
Michael.Wernhart@tugraz.at
<http://www.iwt.tugraz.at>



Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.

- [1] Dymola – Dynamic Modeling Laboratory, Version 2018; Dassault Systèmes SE, Vélizy-Villacoublay, Frankreich, 2019
- [2] TIL-Suite, Version 3.7.0; TLK-Thermo GmbH, Braunschweig, Deutschland, 2019
- [3] Yuan, Z. & Herold, K. E.; Thermodynamic Properties of Aqueous Lithium Bromide Using a Multiproperty Free Energy Correlation. *HVAC&R Research*, pp. 377-393, 2005

Fortschrittliche Regelungsstrategien

Workshop - Experimentelle Analyse, Simulation und Regelung von Absorptionswärmepumpen/-kältemaschinen

Sandra Zlabinger,
Online (BBB), 09.04.2021

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.





- **Ausgangslage:** Anforderungen und Herausforderungen für Regelungsentwicklung
- **Motivation** für und Grundidee hinter entwickelten Regelungsstrategien
- **Grundaufbau** der eingesetzten Regelungsmethoden
- **Demonstration** der neuen Regelungsstrategie anhand eines Anwendungsbeispiels

Anforderungen und Herausforderungen für Regelung von Absorptionswärmepumpanlagen (AWPA)



Anforderungen und Herausforderungen für Regelung von Absorptionswärmepumpenanlagen (AWPA)



- **Anforderungen:**
 - Bislang: **Grundlastmaschine**, konstante Betriebsbedingungen
 - In HPC: auch **variierende Betriebsbedingungen** berücksichtigt (bessere Integration in Energiesysteme wird immer wichtiger)
- Gute Teillastfähigkeit und Dynamik gefordert

Anforderungen und Herausforderungen für Regelung von Absorptionswärmepumpenanlagen (AWPA)



- **Anforderungen:**

- Bislang: **Grundlastmaschine**, konstante Betriebsbedingungen
- In HPC: auch **variierende Betriebsbedingungen** berücksichtigt
(bessere Integration in Energiesysteme wird immer wichtiger)

→ Gute Teillastfähigkeit und Dynamik gefordert

- **Herausforderung:** Einsatz in versch. Konfigurationen:

- z.B. für solares Kühlen, als gasbefeuerte Kältemaschine, als Wärmepumpe zur Abwärmenutzung etc.

Anforderungen und Herausforderungen für Regelung von Absorptionswärmepumpenanlagen (AWPA)



- **Anforderungen:**

- Bislang: **Grundlastmaschine**, konstante Betriebsbedingungen
- In HPC: auch **variierende Betriebsbedingungen** berücksichtigt (bessere Integration in Energiesysteme wird immer wichtiger)

→ Gute Teillastfähigkeit und Dynamik gefordert

- **Herausforderung:** Einsatz in versch. Konfigurationen:

- z.B. für solares Kühlen, als gasbefeuerte Kältemaschine, als Wärmepumpe zur Abwärmenutzung etc.
- Verschiedene **Regelgrößen**: Austrittstemperaturen und/oder Leistungen
- **Eingangsgrößen** (je nach Konfiguration jeweils **Stell- oder Störgrößen**):
Volumenströme und Eintrittstemperaturen in externen Kreisläufen, Volumenstrom der reichten Lösung

Anforderungen und Herausforderungen für Regelung von Absorptionswärmepumpenanlagen (AWPA)



- **Anforderungen:**

- Bislang: **Grundlastmaschine**, konstante Betriebsbedingungen
- In HPC: auch **variierende Betriebsbedingungen** berücksichtigt (bessere Integration in Energiesysteme wird immer wichtiger)

→ Gute Teillastfähigkeit und Dynamik gefordert

- **Herausforderung:** Einsatz in versch. Konfigurationen:

- z.B. für solares Kühlen, als gasbefeuerte Kältemaschine, als Wärmepumpe zur Abwärmenutzung etc.
- Verschiedene **Regelgrößen**: Austrittstemperaturen und/oder Leistungen
- **Eingangsrößen** (je nach Konfiguration jeweils **Stell- oder Störgrößen**):
Volumenströme und Eintrittstemperaturen in externen Kreisläufen, Volumenstrom der reichen Lösung

→ Unterschiedliche Regelungsaufgaben

Reglerentwurf in HPC Projekt



Ziel: Regelungsmethode für AWPA auf Komponentenebene

Universell – für verschiedenste
AWPA-Konfigurationen

Systematischer Ansatz –
Leichte Anpassbarkeit

Für **dynamischen**
Betrieb

Verbesserte Teillastfähigkeit – Betrieb
außerhalb des Nennbetriebspunkts

Regelung
mehrerer Größen



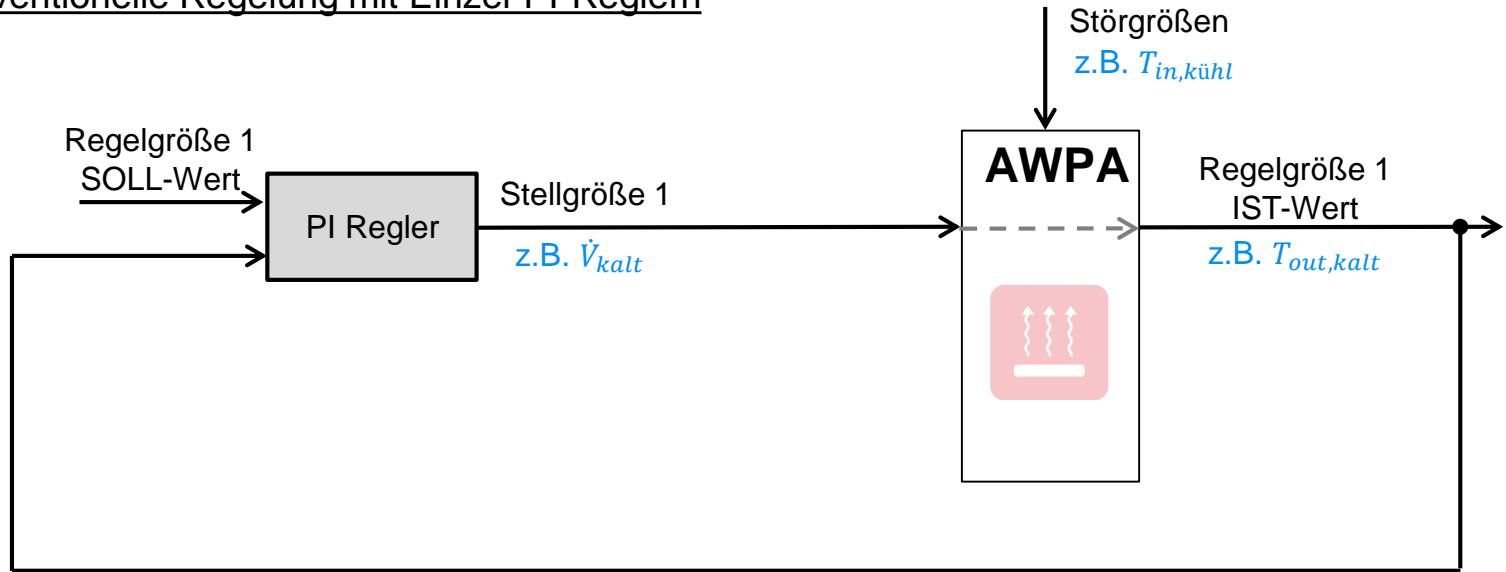
Lösungsansatz:

Modellbasierte
Mehrgrößen-Regelung

Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



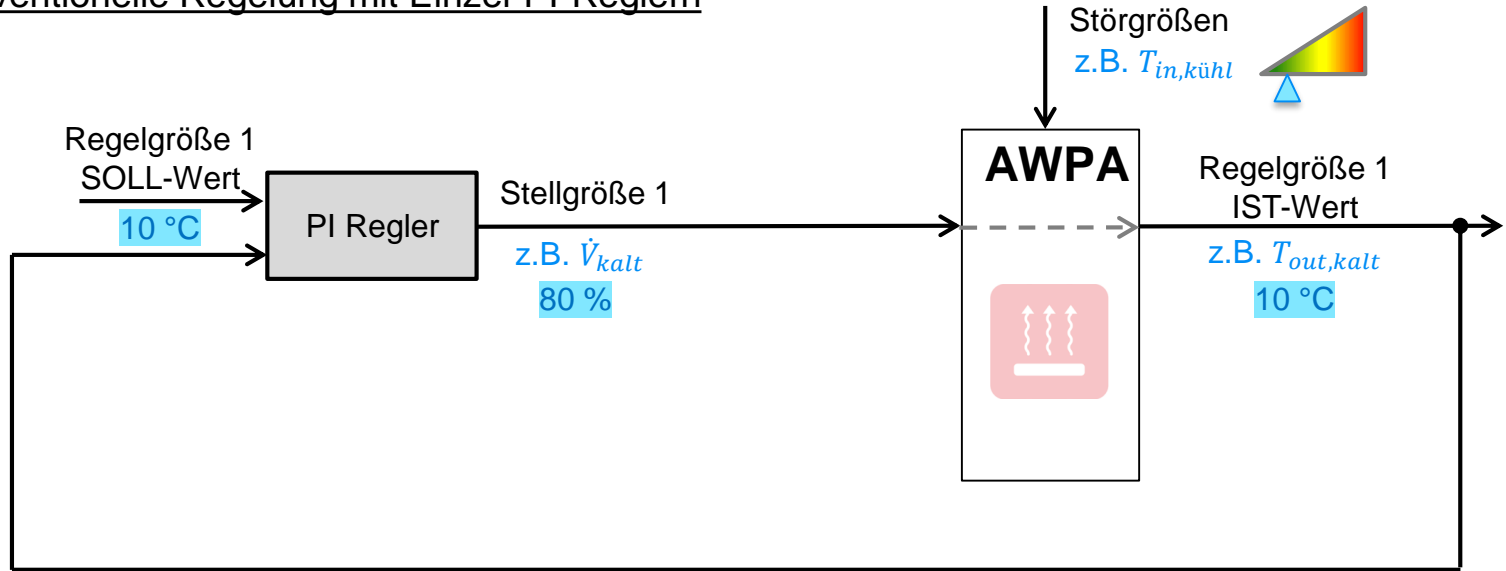
Konventionelle Regelung mit Einzel-PI-Reglern



Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



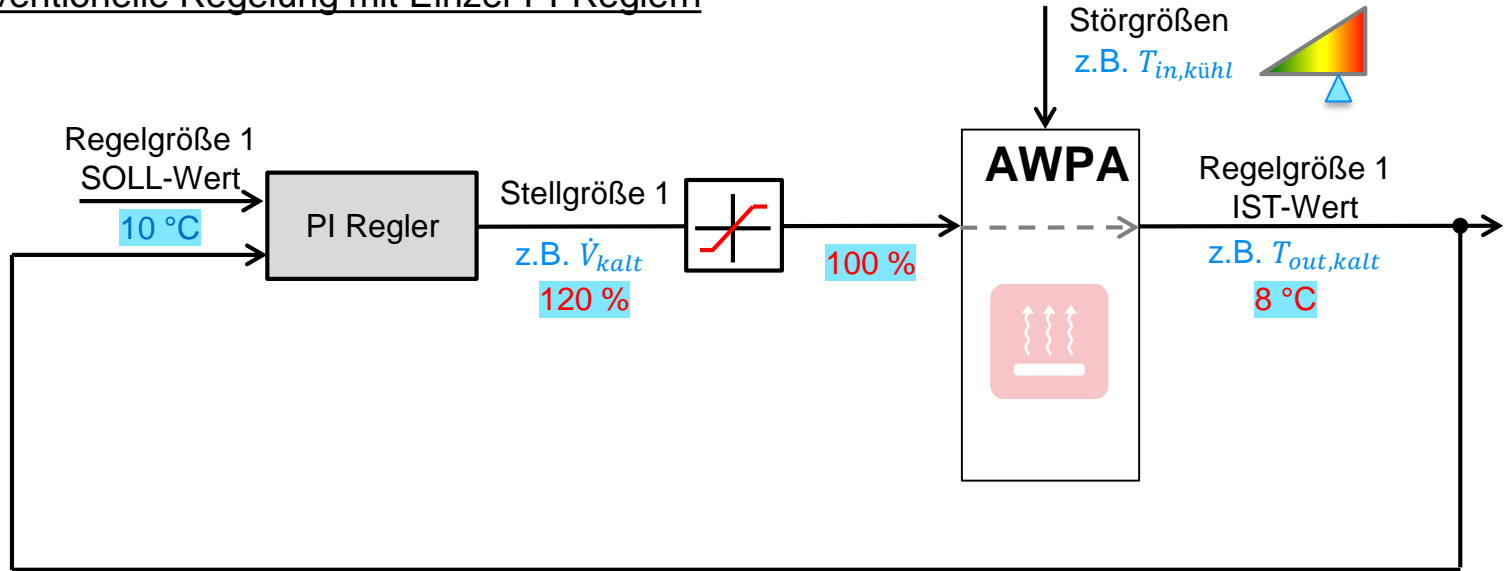
Konventionelle Regelung mit Einzel-PI-Reglern



Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



Konventionelle Regelung mit Einzel-PI-Reglern

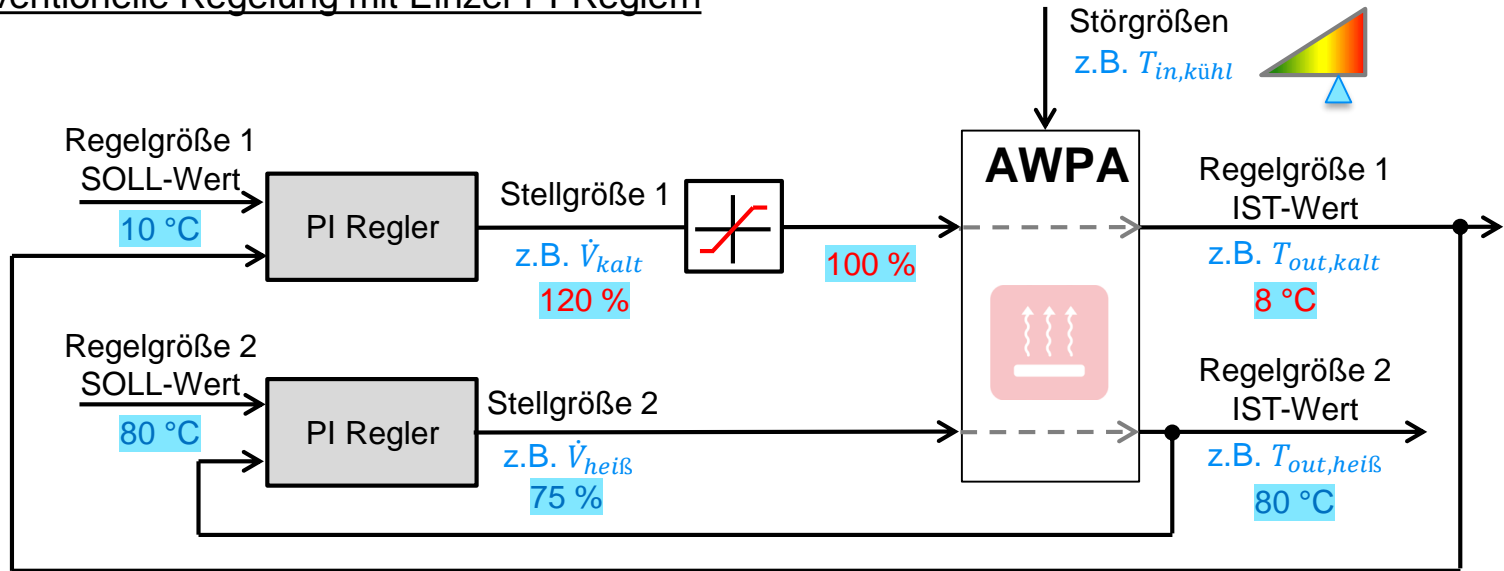


Variierende Betriebsbedingungen (Störgrößen)
→ Stellgrößenbeschränkungen
→ Verlust der Regelbarkeit

Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



Konventionelle Regelung mit Einzel-PI-Reglern

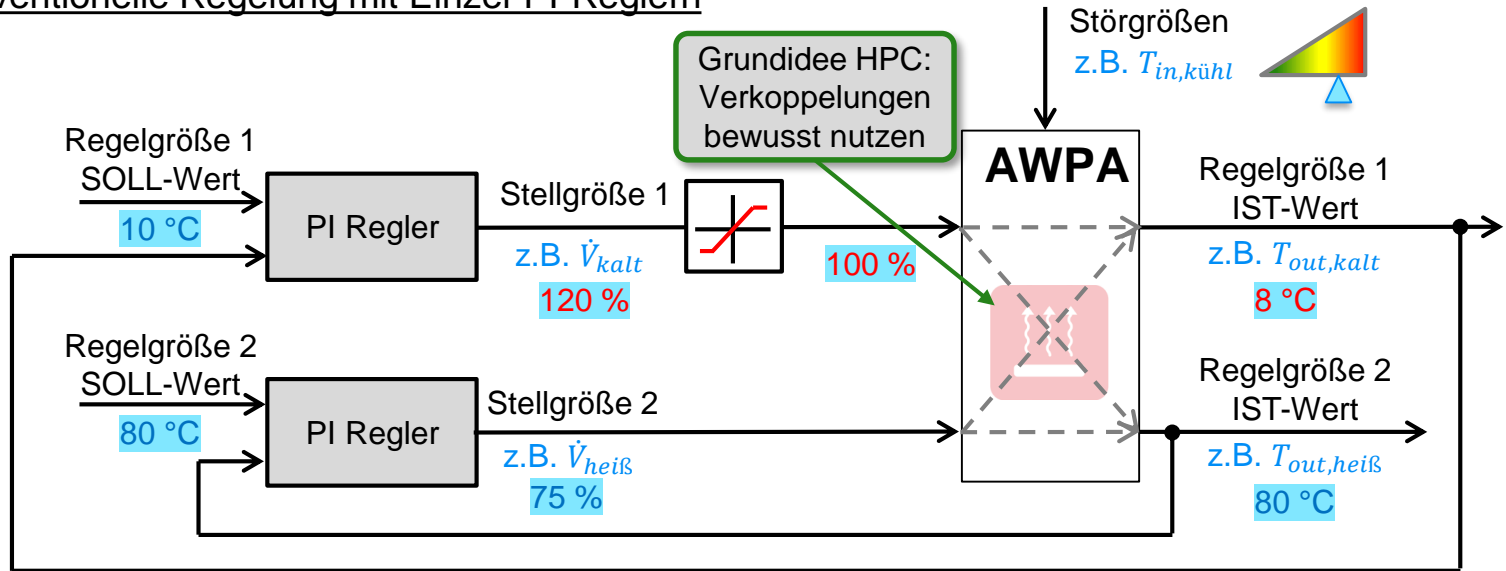


Variierende Betriebsbedingungen (Störgrößen)
→ Stellgrößenbeschränkungen
→ Verlust der Regelbarkeit

Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWWA



Konventionelle Regelung mit Einzel-PI-Reglern

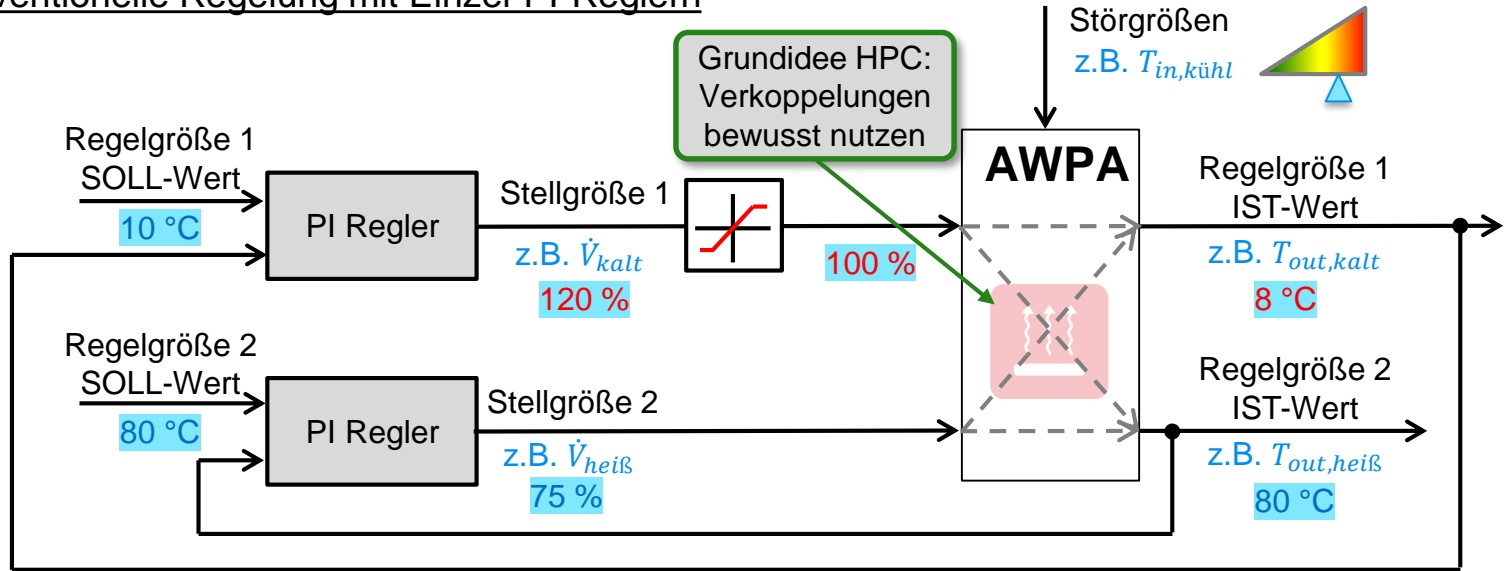


Variierende Betriebsbedingungen (Störgrößen)
→ Stellgrößenbeschränkungen
→ Verlust der Regelbarkeit

Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



Konventionelle Regelung mit Einzel-PI-Reglern



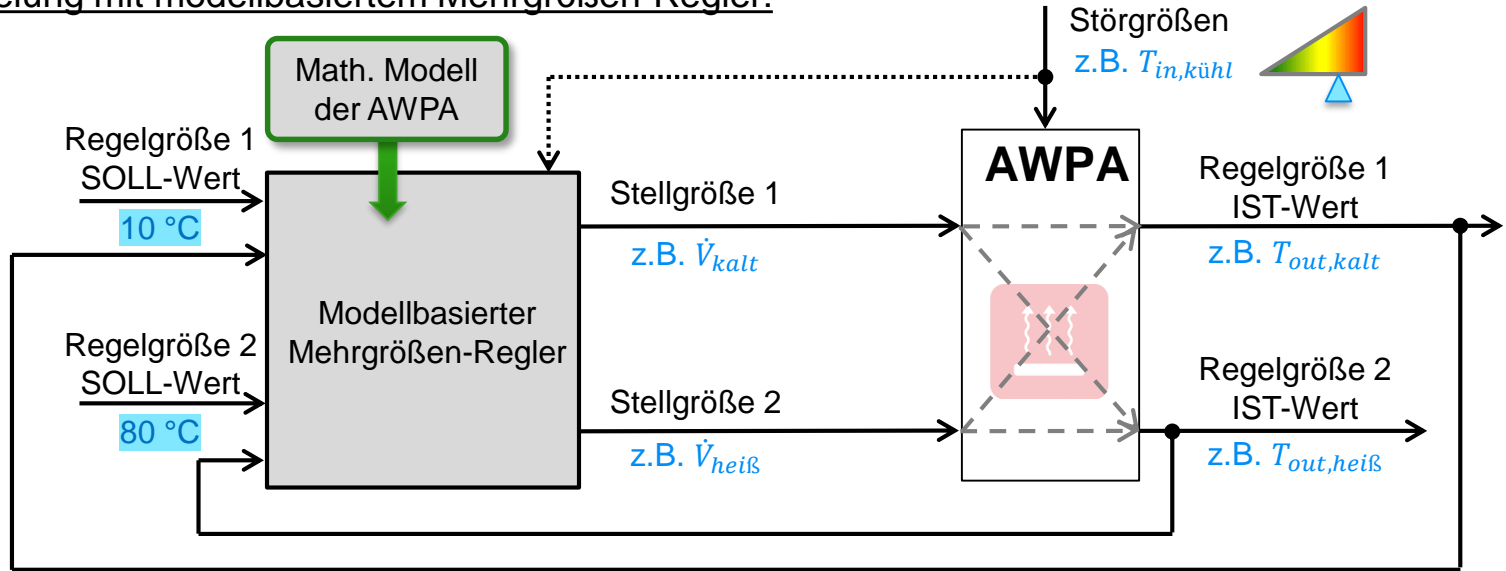
Variierende Betriebsbedingungen (Störgrößen)
→ Stellgrößenbeschränkungen
→ Verlust der Regelbarkeit

Potential von Verkoppelungen
ungenutzt bei Einzel-PI-Reglern
→ **Mehrgrößen-Regler verwenden**

Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



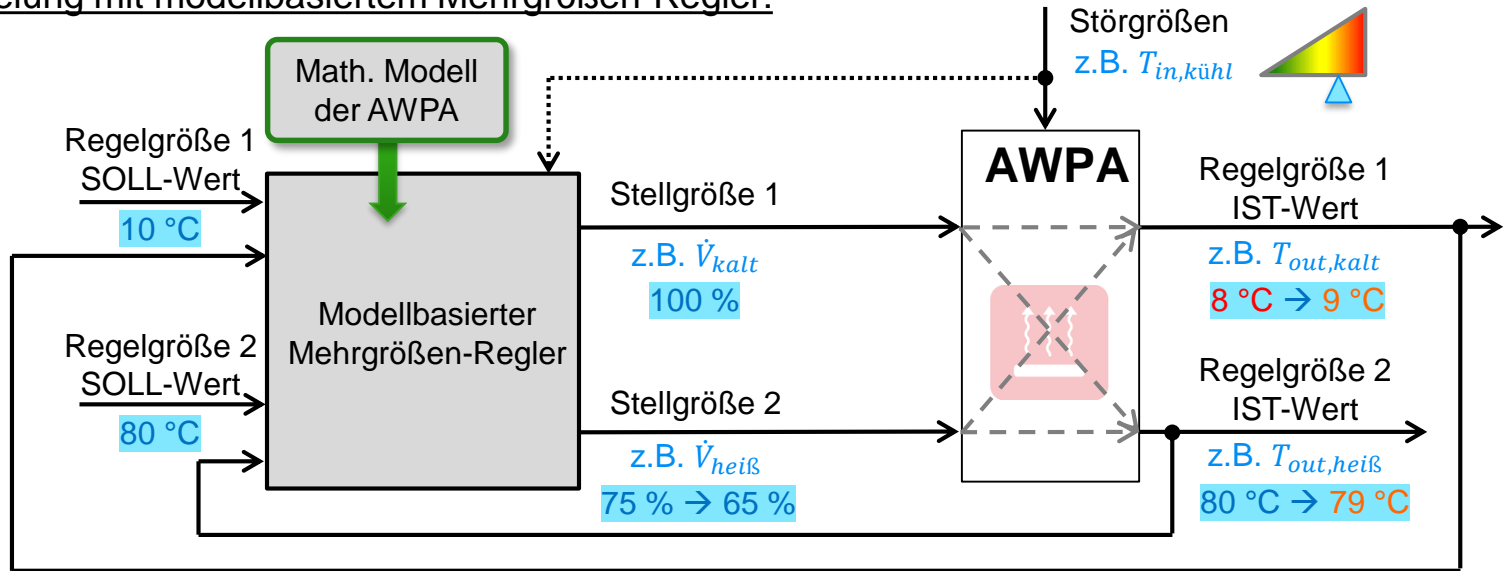
Regelung mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:



Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



Regelung mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:



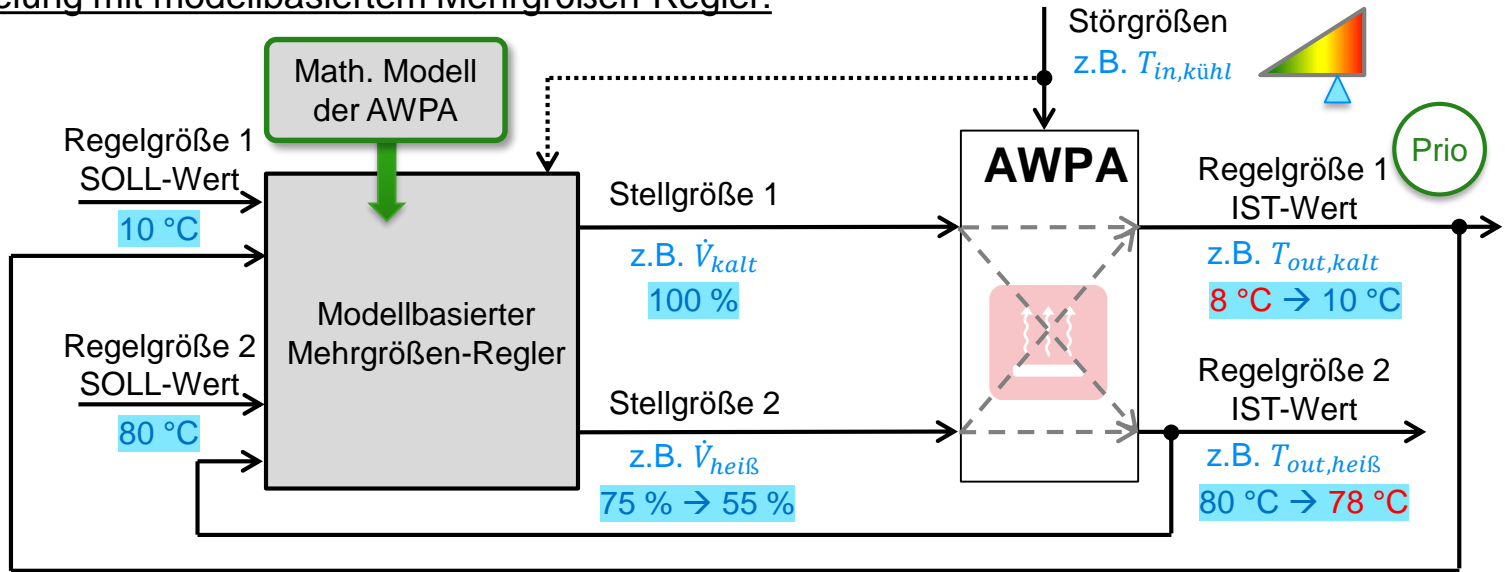
Möglichkeiten mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:

Gemeinsames Regeln
aller Regelgrößen

Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



Regelung mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:



Möglichkeiten mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:

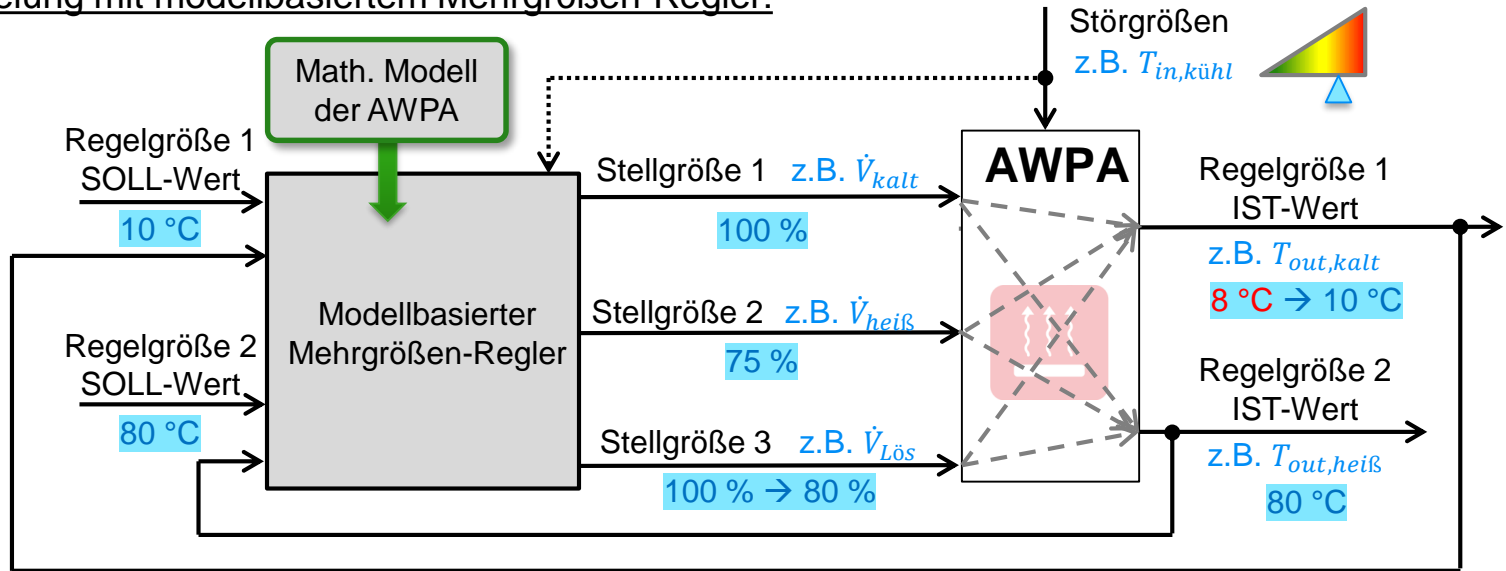
Gemeinsames Regeln aller Regelgrößen

Priorisierung von Regelgrößen

Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



Regelung mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:



Möglichkeiten mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:

Gemeinsames Regeln aller Regelgrößen

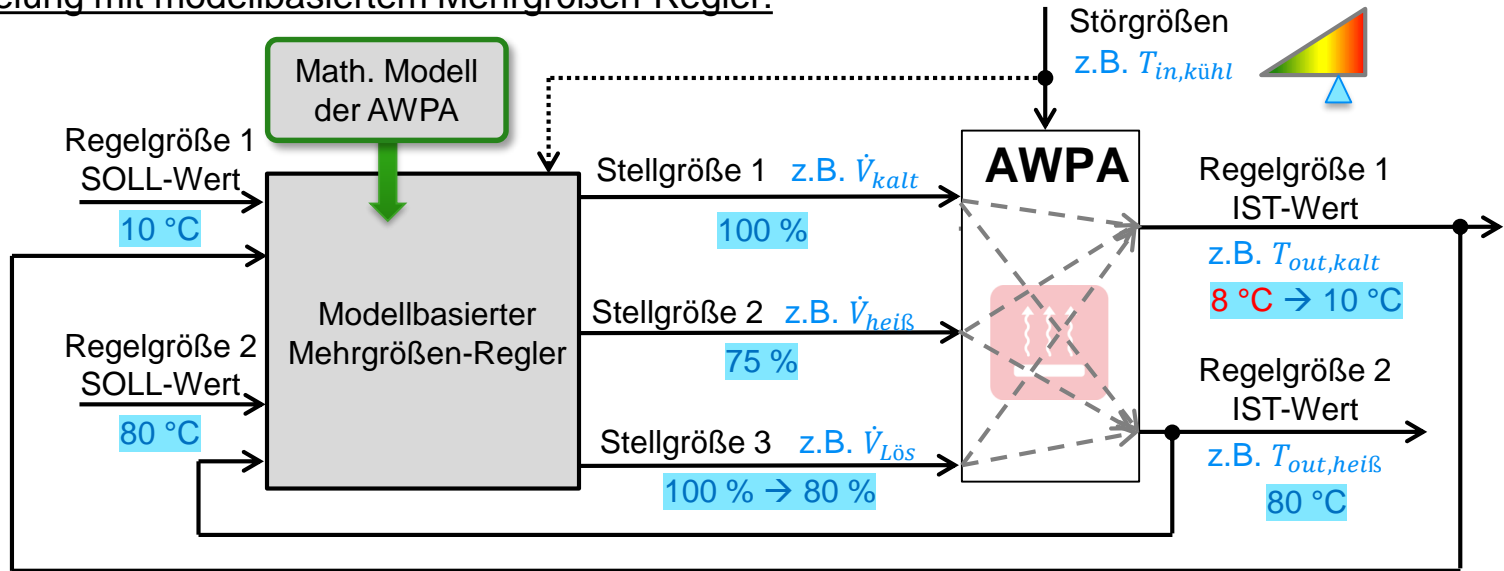
Priorisierung von Regelgrößen

Verwenden von mehr Stell- als Regelgrößen

Motivation für modellbasierte Mehrgrößen-Regelung von AWPA



Regelung mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:



Möglichkeiten mit modellbasiertem Mehrgrößen-Regler:

Gemeinsames Regeln aller Regelgrößen

Priorisierung von Regelgrößen

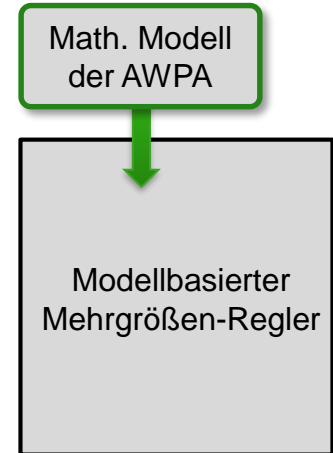
Verwenden von mehr Stell- als Regelgrößen

Bessere Teillastfähigkeit, Größerer Betriebsbereich

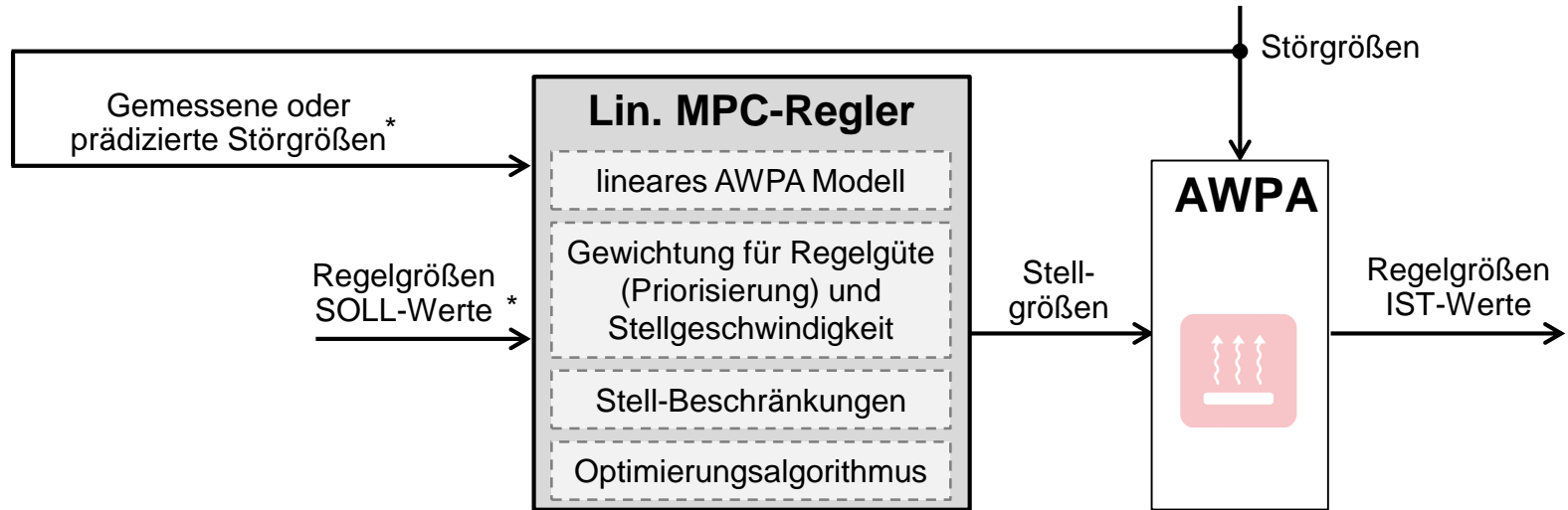
Mathematisches Modell für modellbasierte Regelung von AWPA



- Muss (die für Regelung) relevanten, dynamische Zusammenhänge zwischen den Stör-, Stell- und Regelgrößen beschreiben
- “So einfach wie möglich, so komplex wie nötig”:
 - Beschreibung basierend auf „**lumped component approach**“ (Hauptkomponenten (Wärmeübertrager, Flüssigspeicher) werden als komprimierte Rechenknoten betrachtet)
 - **Massen- und Energiebilanzen:**
 - Statisch für Komponenten ohne relevante Speicherwirkung
 - Differentiell für Komponenten mit relevanter Speicherwirkung
→ gewöhnliche Differentialgleichungen erster Ordnung
 - Einfache **Massenstrom/Druck-Modelle**
 - Einfache **Modelle für Wärmeübertrager** (experimentell parametrisiert)
 - **Vereinfachte Stoffdatenfunktionen**
 - **Linearisierung** um Referenz-Betriebspunkt

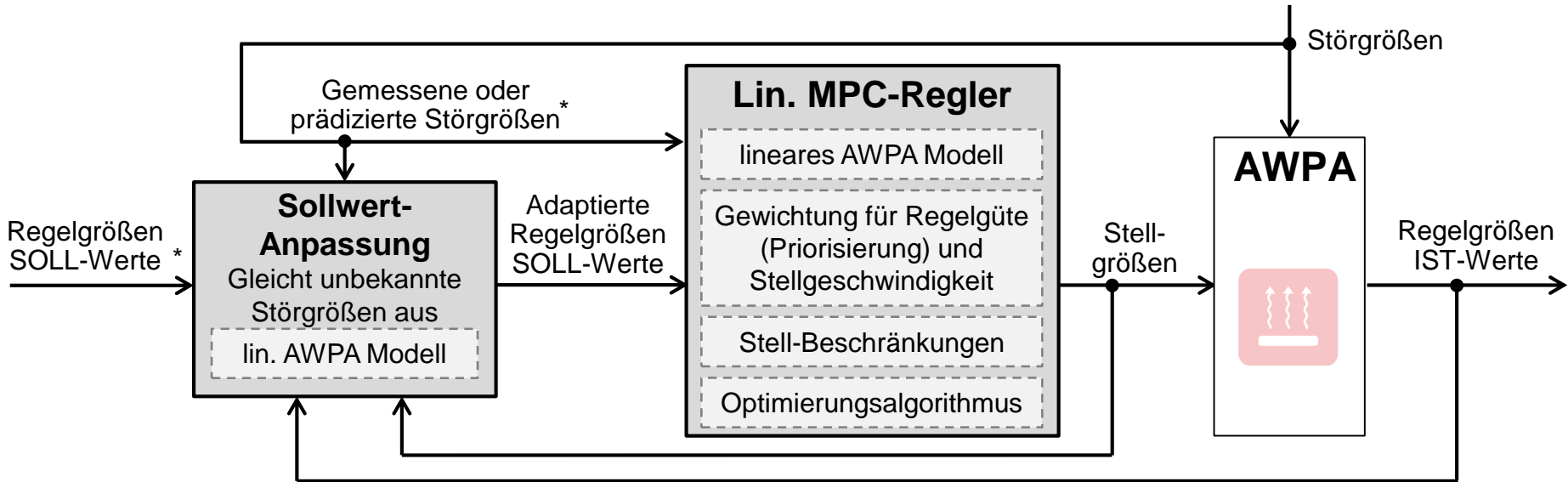


Modellbasierter Mehrgrößen-Regler: Model Predictive Controller (MPC)



*) In HPC: Berücksichtigung von nur aktuellen Sollwerten und aktuell gemessenen Störgrößen (keine Prognosen). Erweiterung für Berücksichtigung von Prognosen für zukünftige Sollwerte und Störgrößen jedoch leicht möglich → noch bessere Ergebnisse erzielbar

Modellbasierter Mehrgrößen-Regler: Model Predictive Controller (MPC)



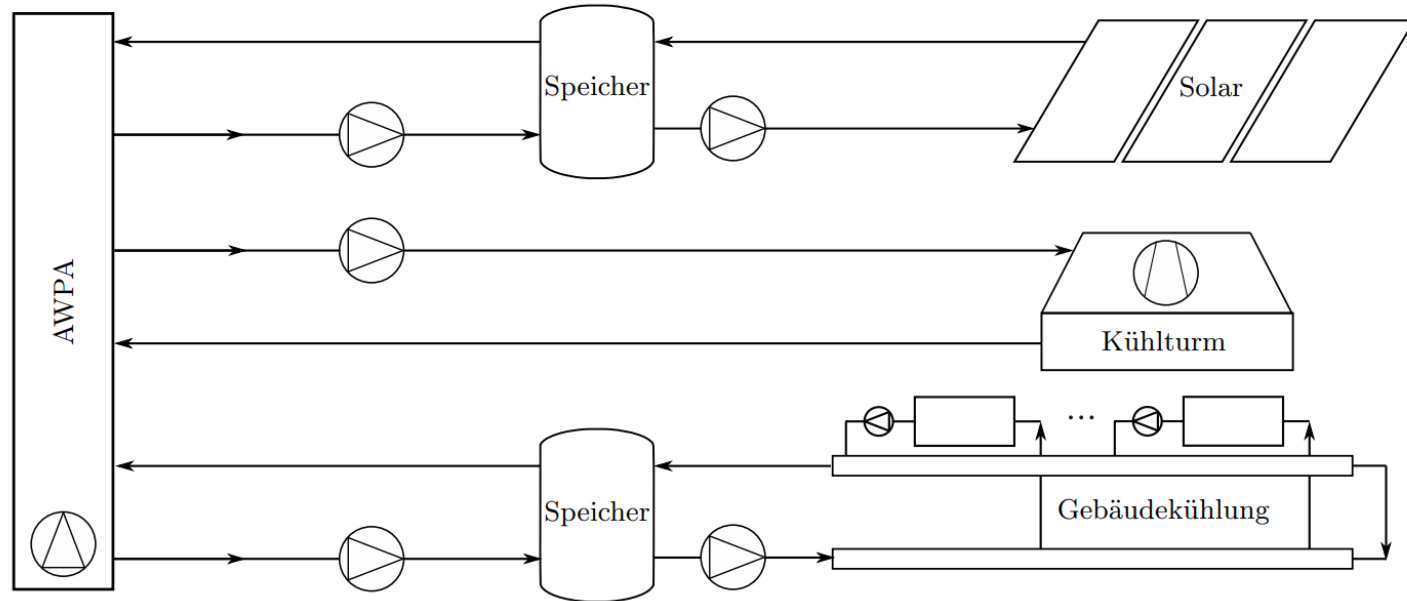
*) In HPC: Berücksichtigung von nur aktuellen Sollwerten und aktuell gemessenen Störgrößen (keine Prognosen). Erweiterung für Berücksichtigung von Prognosen für zukünftige Sollwerte und Störgrößen jedoch leicht möglich → noch bessere Ergebnisse erzielbar



Anwendungsbeispiel für bessere Teillastfähigkeit

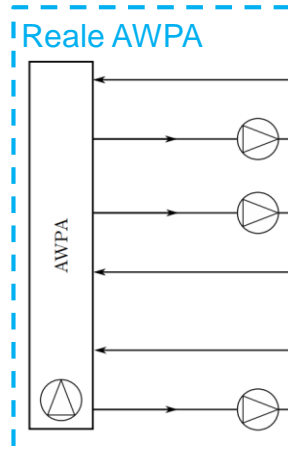
für Beispielkonfiguration “Solares Kühlen”

Beispielkonfiguration "Solares Kühlen"



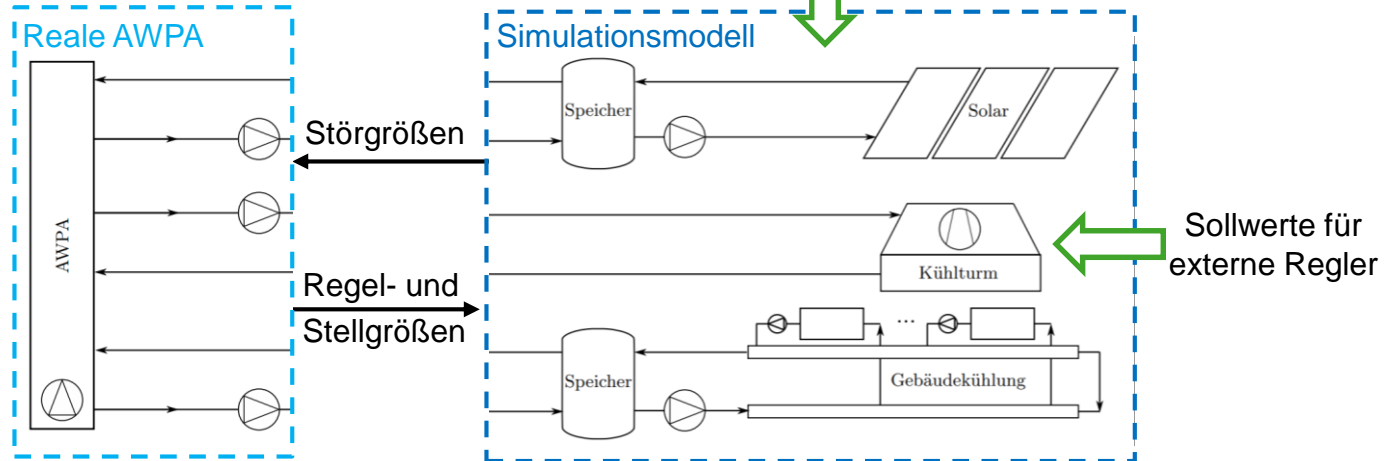
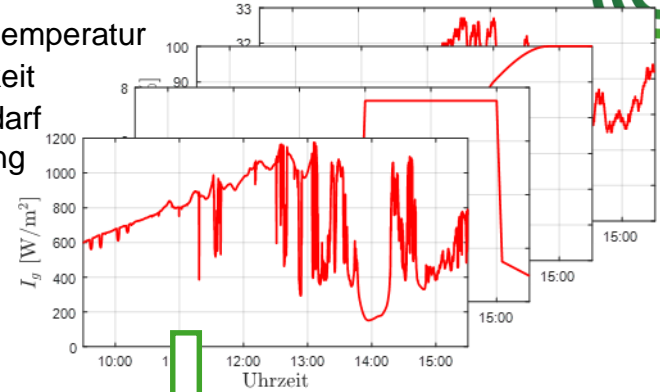
Wie gut können Regelgrößen unter variierenden Betriebsbedingungen eingehalten werden?
→ Vergleich Einzel-PI-Regler vs. MPC Regler an Hardware-in-the-loop (HiL) Teststand

Hardware-in-the-Loop (HiL) Teststand



Hardware-in-the-Loop (HiL) Teststand

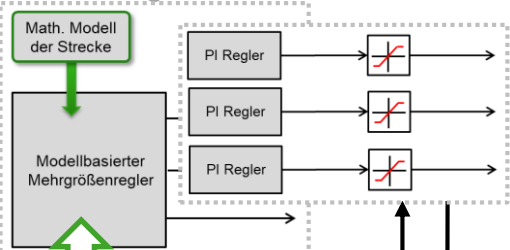
- Profile für:
- Umgebungstemperatur
 - Luftfeuchtigkeit
 - zus. Kühlbedarf
 - Solarstrahlung



Hardware-in-the-Loop (HiL) Teststand



AWPA Regler

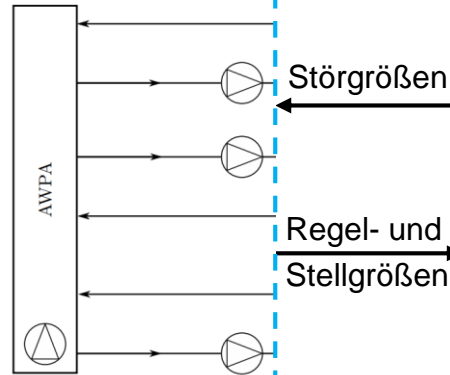


Sollwerte für AWPA Regler

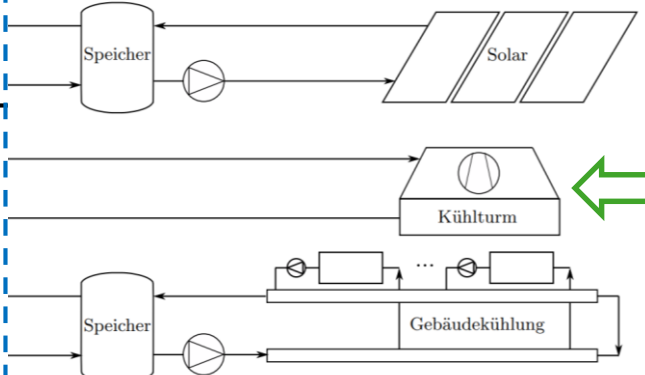
Regel- und Störgrößen

Stellgrößen

Reale AWPA

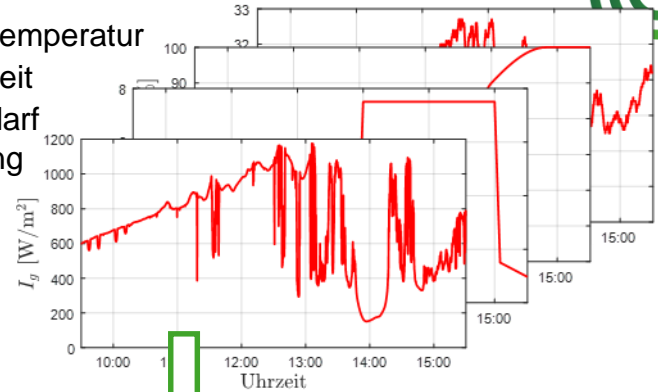


Simulationsmodell



Sollwerte für externe Regler

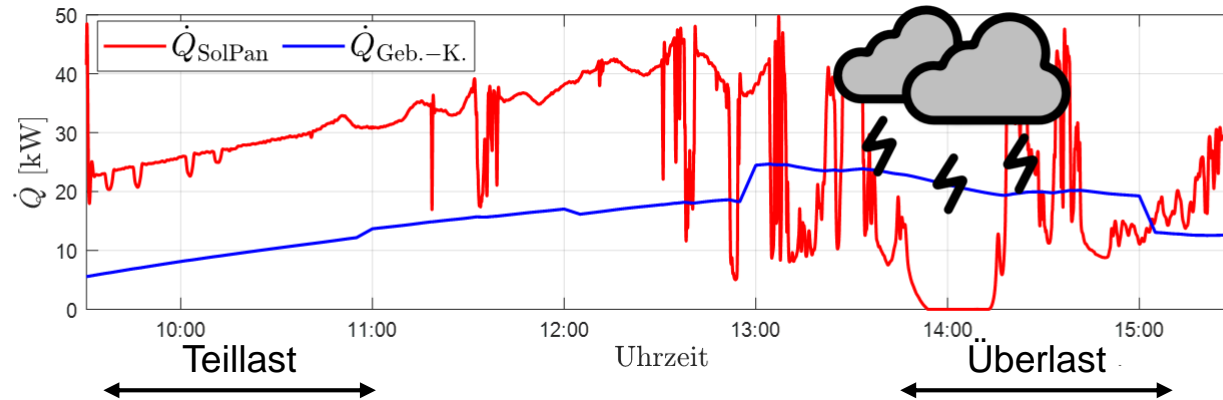
- Profile für:
- Umgebungstemperatur
 - Luftfeuchtigkeit
 - zus. Kühlbedarf
 - Solarstrahlung



Randbedingungen für Anwendungsbeispiel

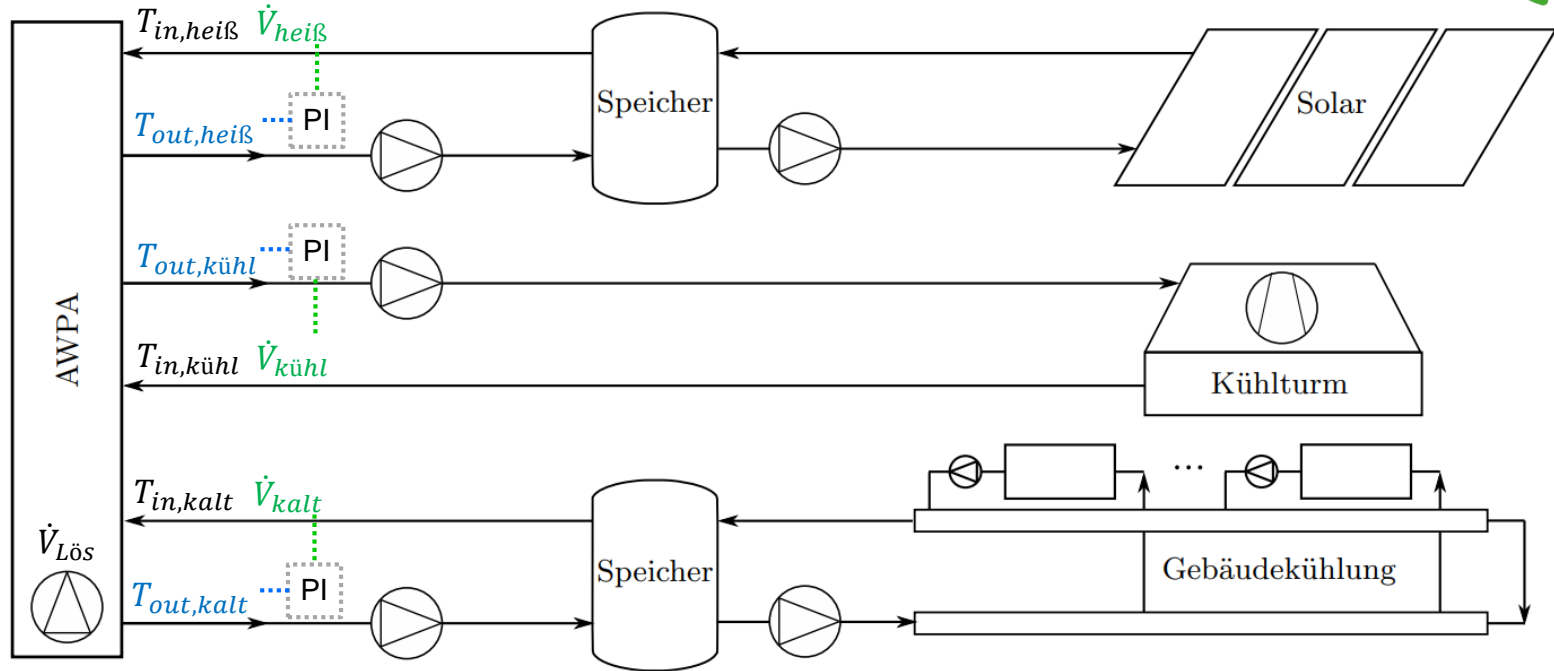


- Solaranlage: 36 kW / 60 m² Fläche, LiBr/H₂O Kältemaschine: 15 kW
- Simulation einer Gebäudekühlung für Bürogebäude für Sommertag mit Gewitter zur Untersuchung von **Teil- und Überlastsituationen**



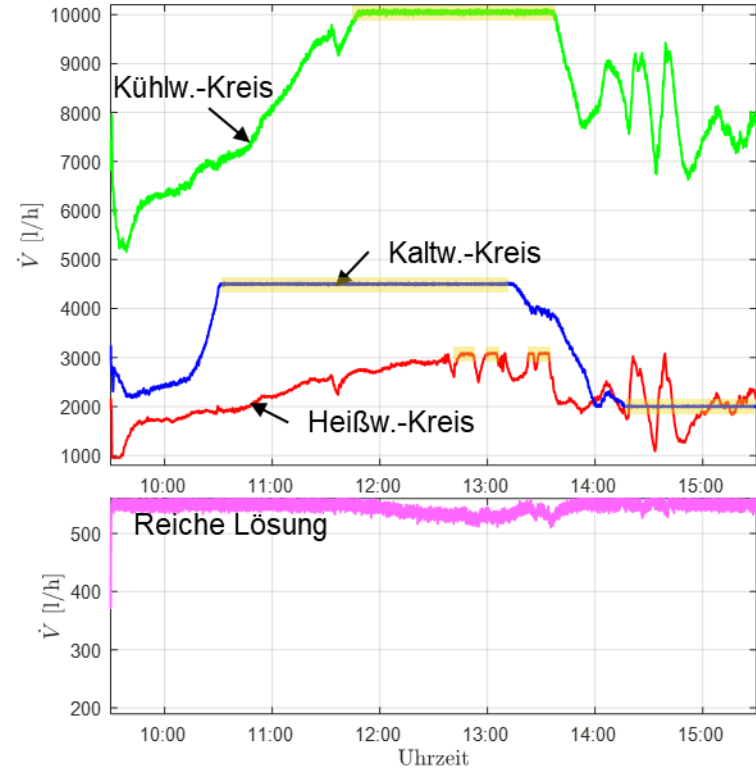
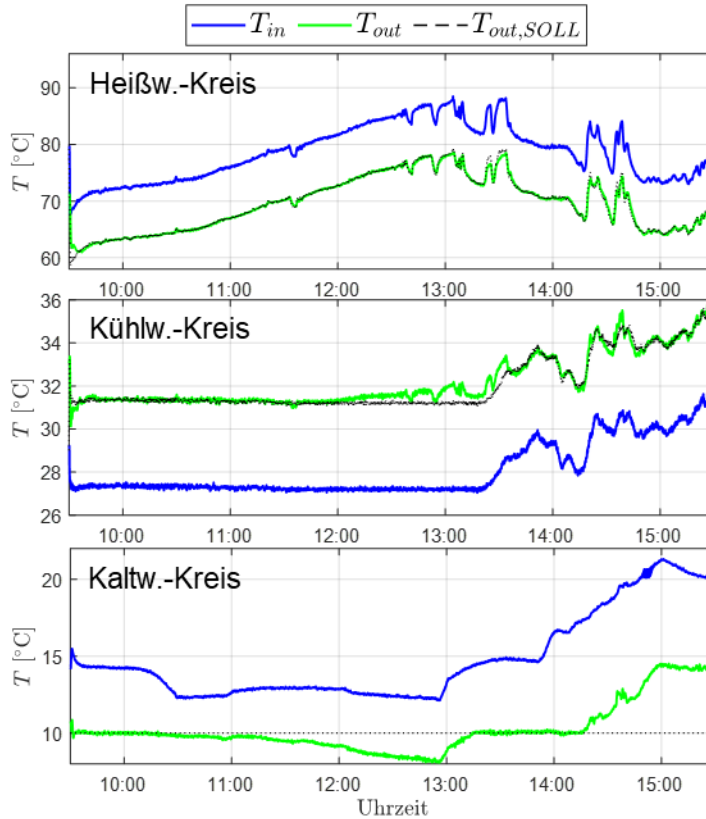
- Sollwerte für Regelgrößen (Austrittstemperaturen):
 - Heißwasserkreis: $\Delta T: 9 \text{ K}$
 - Kühlwasserkreis: $\Delta T: 4 \text{ K}$ – am niedrigsten priorisiert
 - Kaltwasserkreis: $T_{\text{out}}: 10 \text{ }^\circ\text{C}$ – am höchsten priorisiert

Regelung mit Einzel-PI-Reglern – Konfiguration „Solares Kühlen“

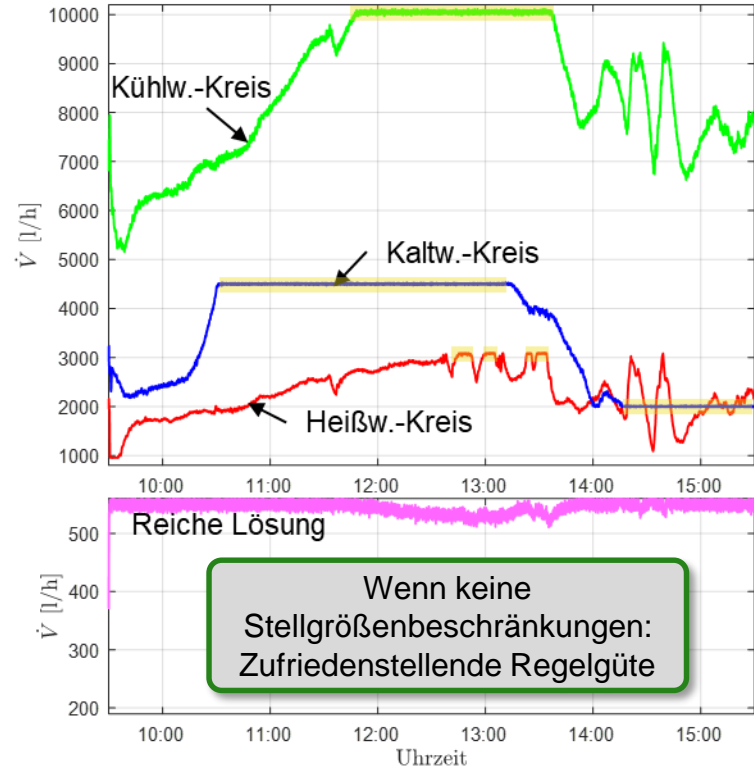
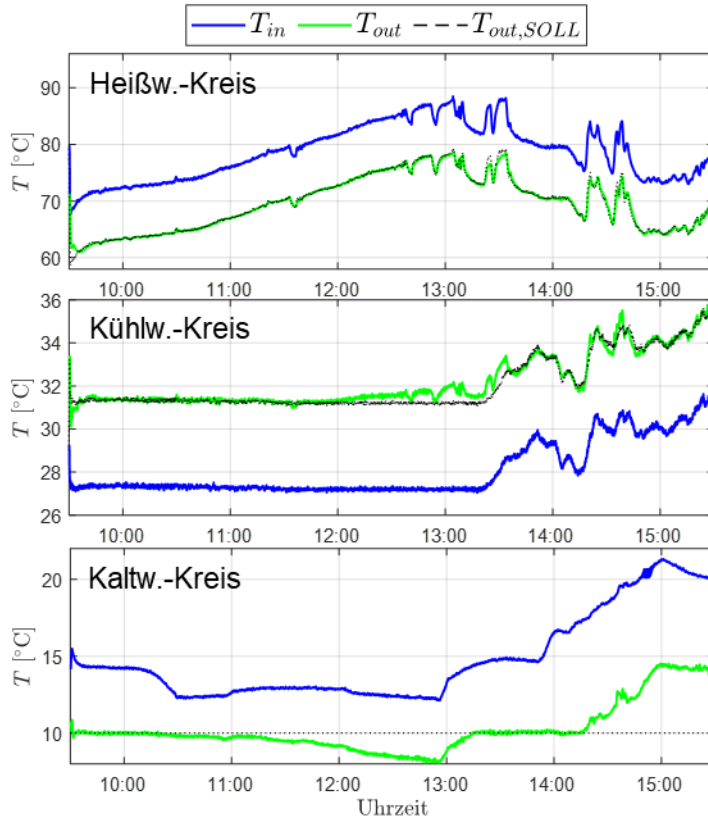


■ Regelgrößen ■ Stellgrößen

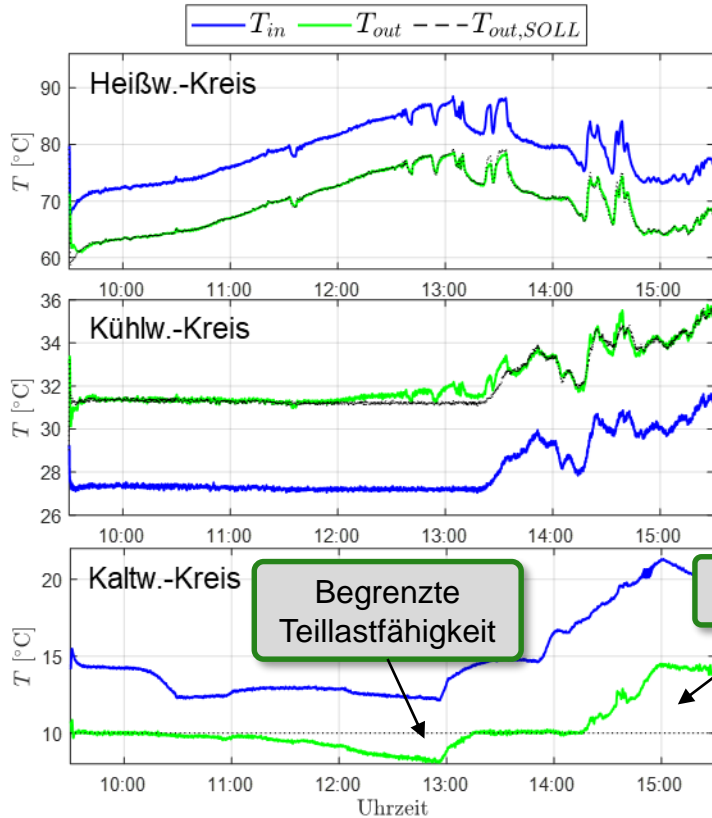
Regelung mit Einzel-PI-Reglern – Konfiguration „Solares Kühlen“



Regelung mit Einzel-PI-Reglern – Konfiguration „Solares Kühlen“

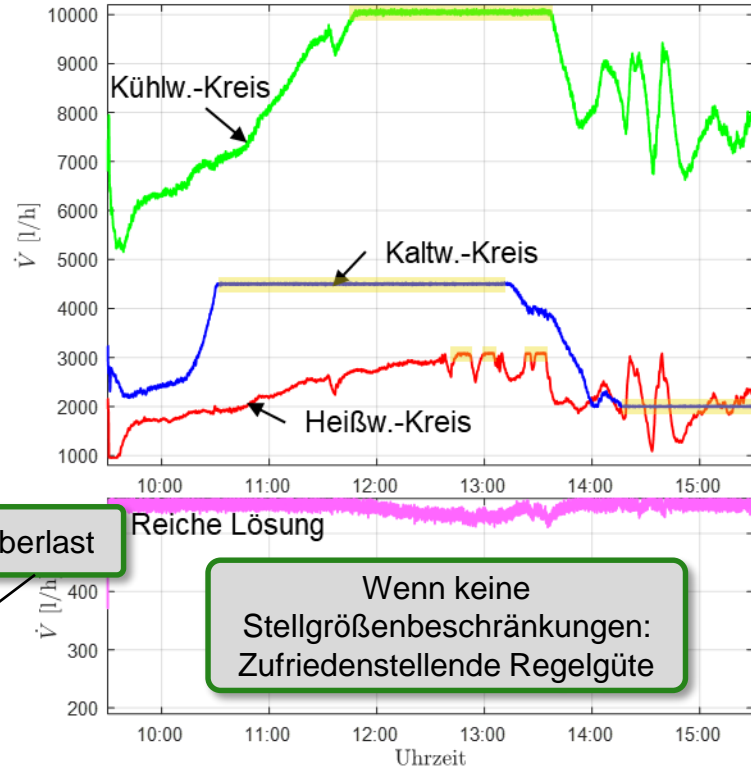


Regelung mit Einzel-PI-Reglern – Konfiguration „Solares Kühlen“



Begrenzte Teillastfähigkeit

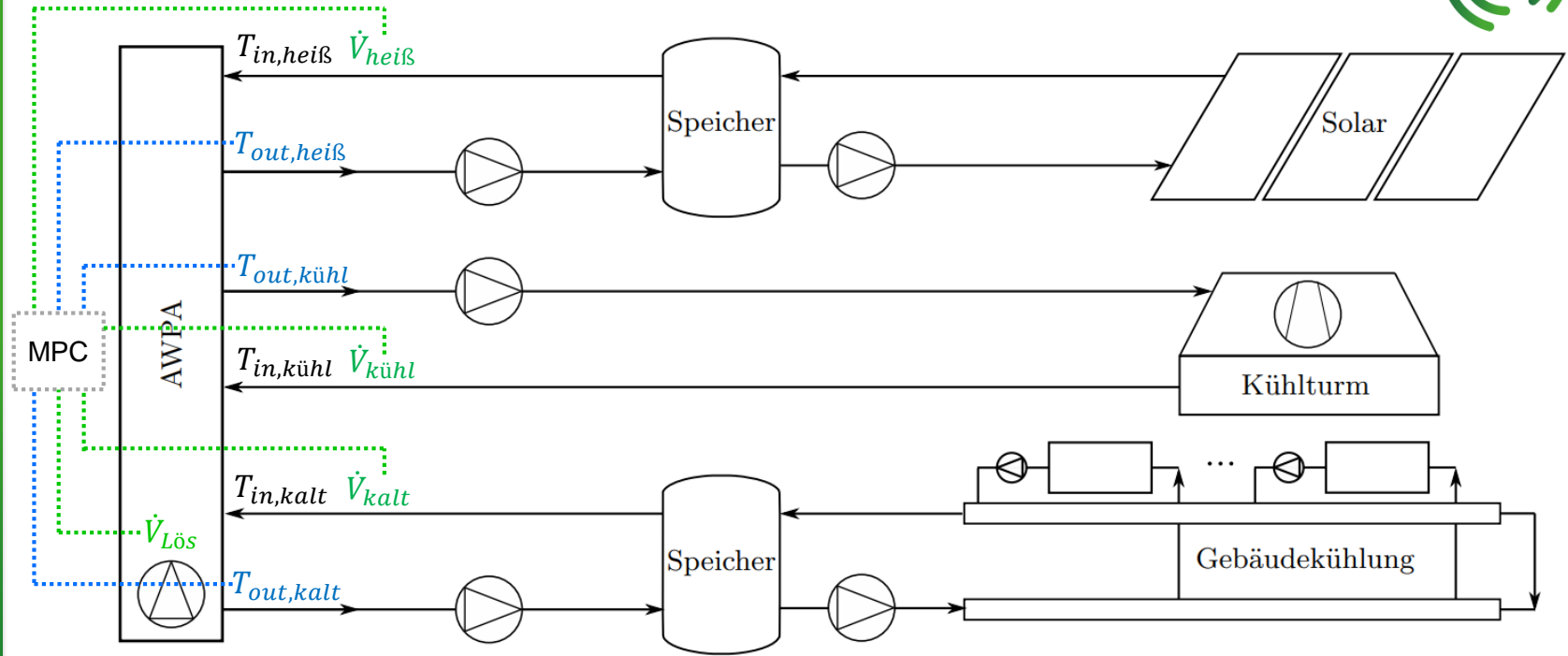
Überlast



Reiche Lösung

Wenn keine Stellgrößenbeschränkungen:
Zufriedenstellende Regelgüte

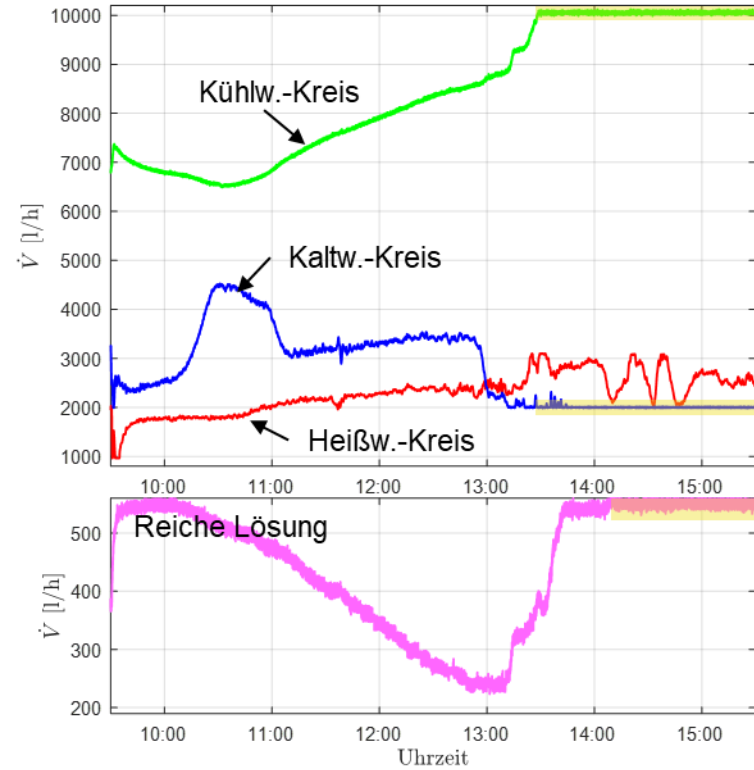
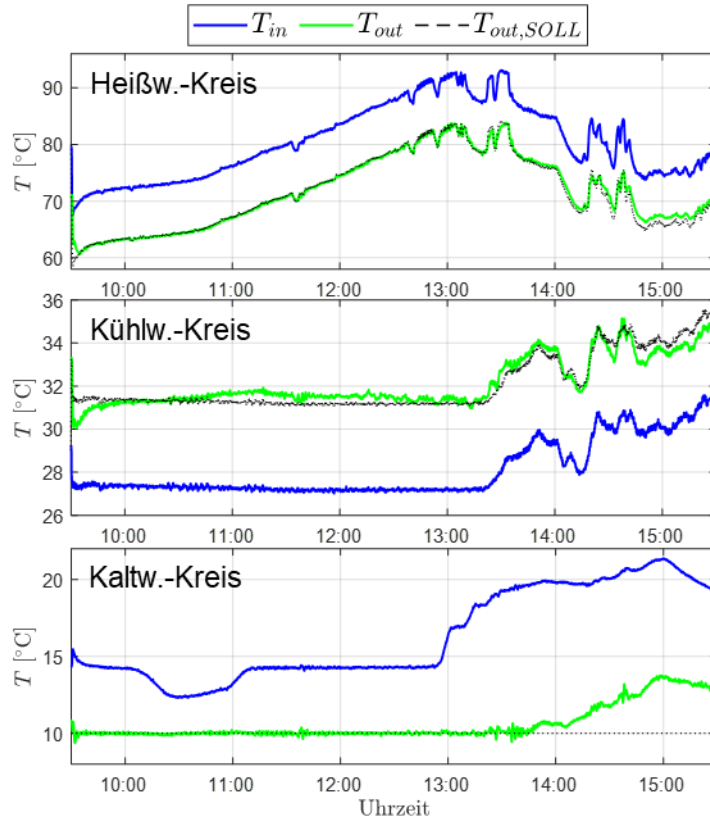
Regelung mit MPC-Regler – Konfiguration „Solares Kühlen“



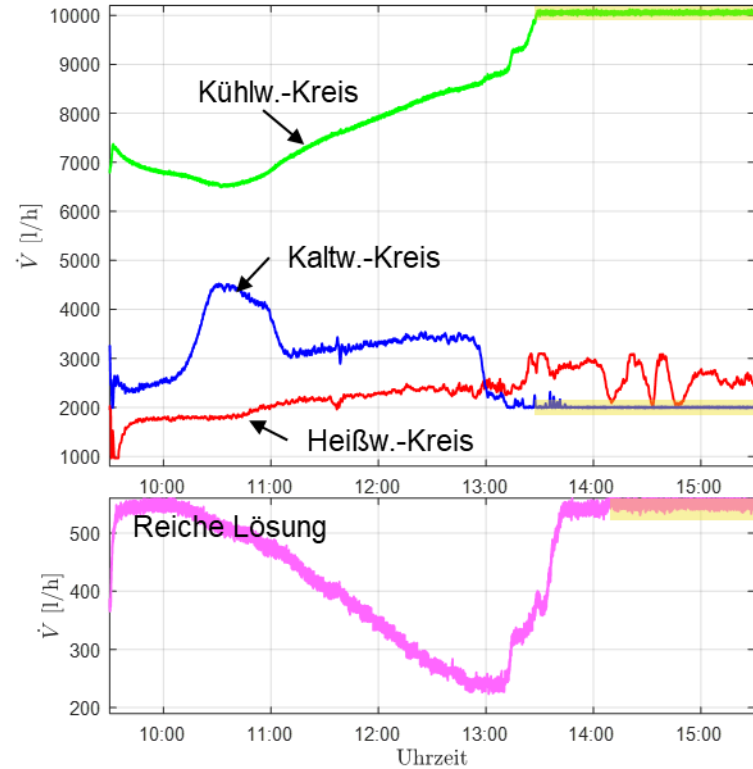
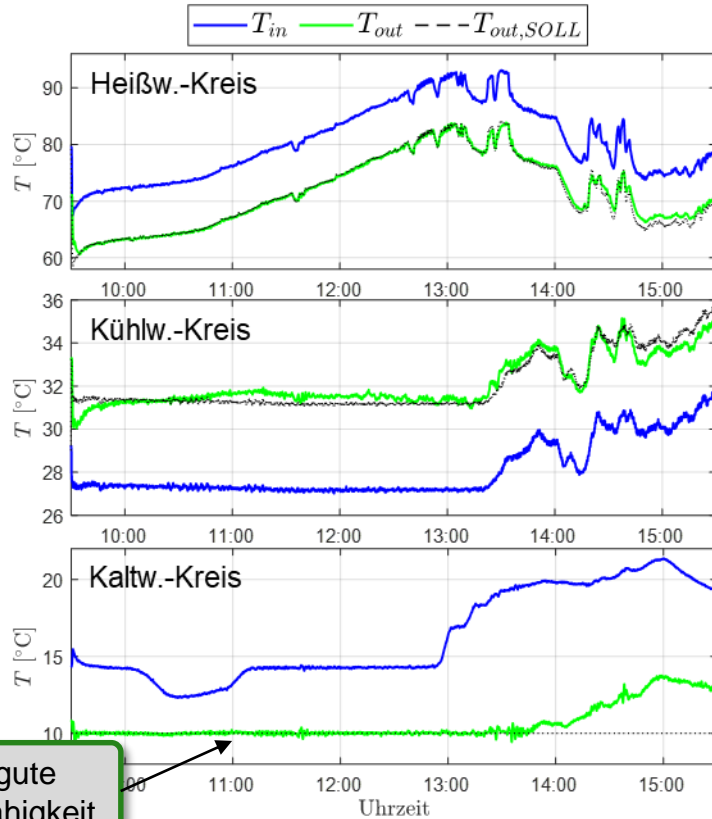
■ Regelgrößen ■ Stellgrößen

Priorisierung: $T_{out,kalt} \rightarrow T_{out,heiß} \rightarrow T_{out,kühl}$

Regelung mit MPC-Regler – Konfiguration „Solares Kühlen“

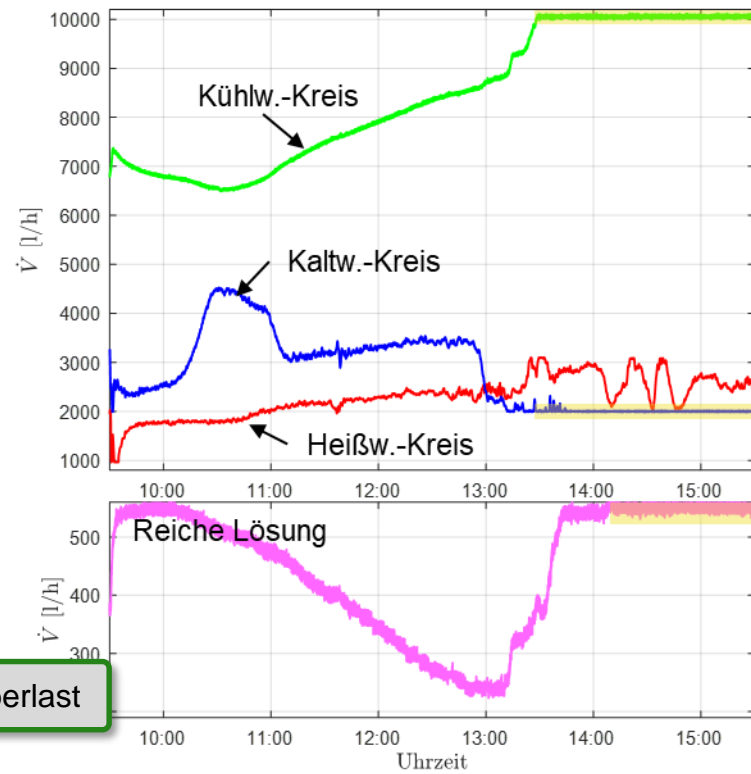
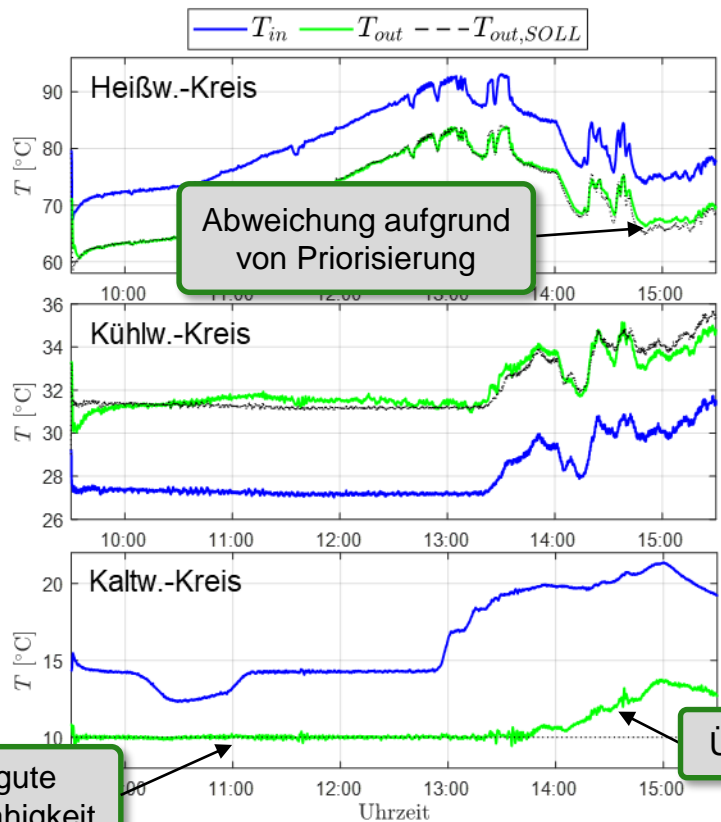


Regelung mit MPC-Regler – Konfiguration „Solares Kühlen“



Sehr gute
Teillastfähigkeit

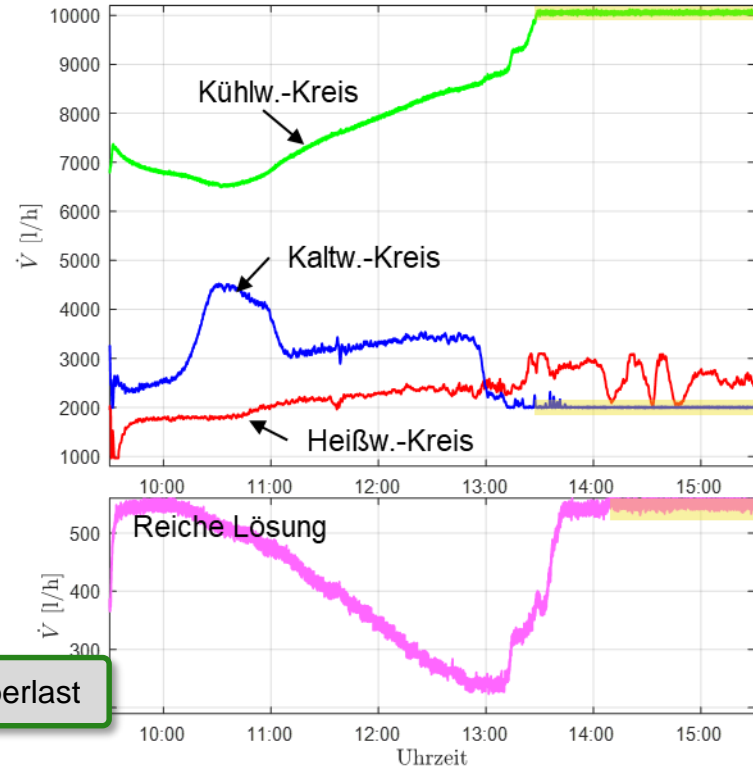
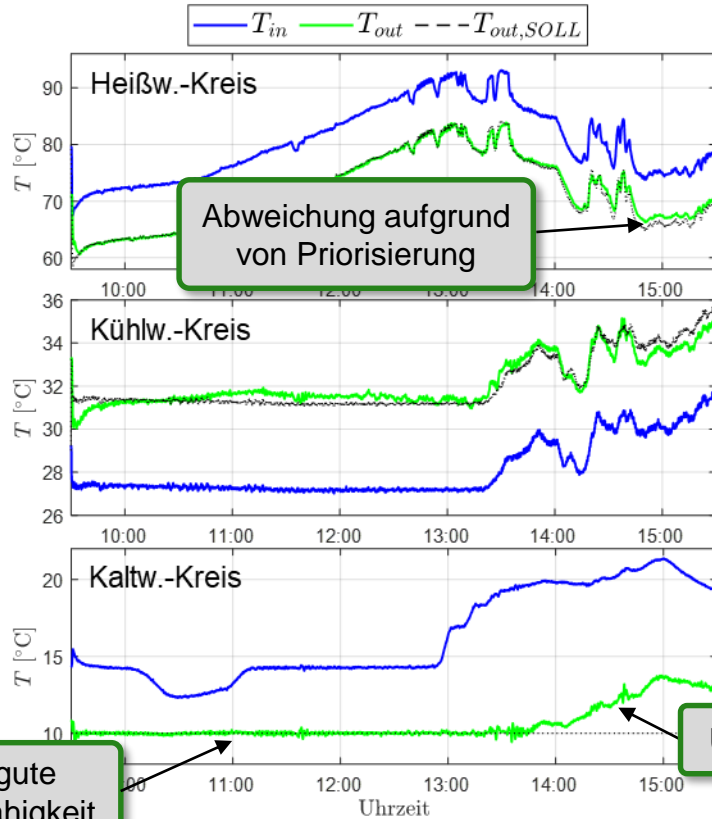
Regelung mit MPC-Regler – Konfiguration „Solares Kühlen“



Sehr gute Teillastfähigkeit

Überlast

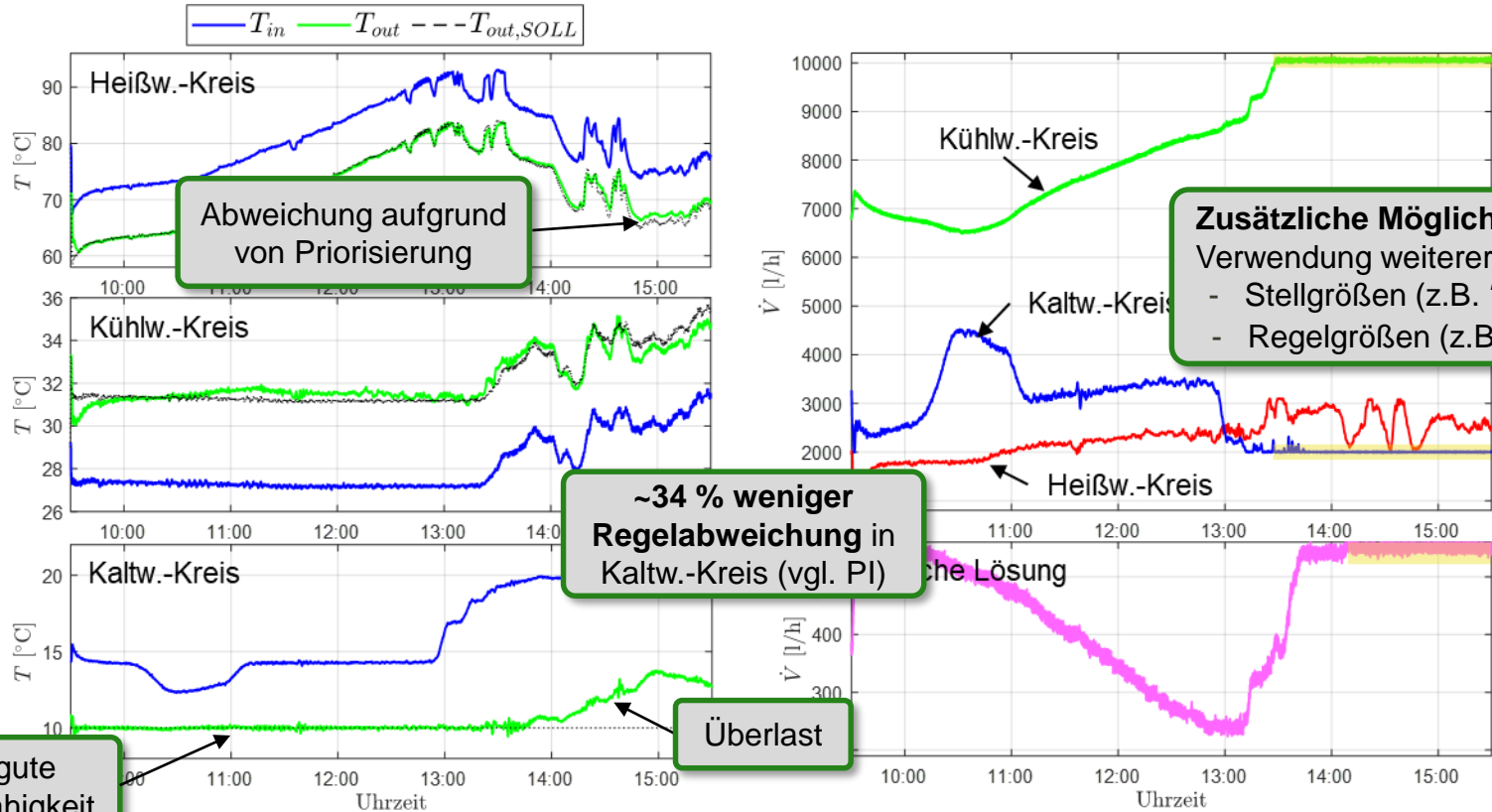
Regelung mit MPC-Regler – Konfiguration „Solares Kühlen“



Sehr gute Teillastfähigkeit

Überlast

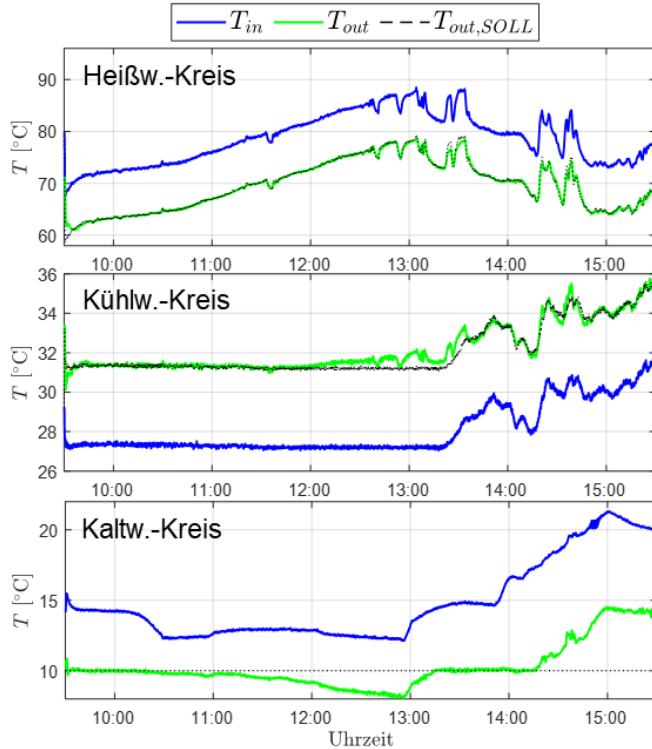
Regelung mit MPC-Regler – Konfiguration „Solares Kühlen“



Gegenüberstellung: Einzel-PI-Regler vs. MPC-Regler – Konfiguration „Solares Kühlen“



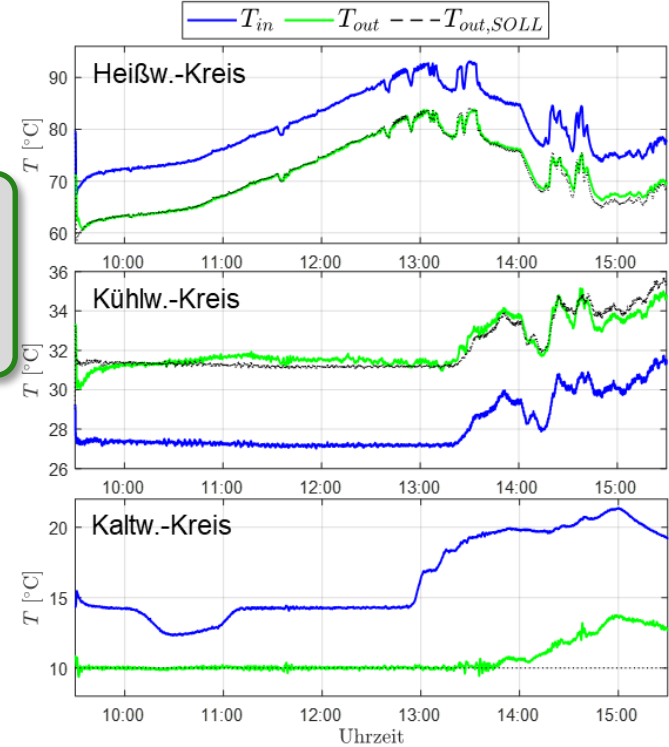
Einzel-PI Regler:



Deutlich bessere Teillastfähigkeit, etwas besseres Überlast-Verhalten



MPC-Regler:





- Modellbasierte Regler können **Teillastfähigkeit** von AWWA **verbessern**
 - Durch **gemeinsame** Regelung **aller Regelgrößen** (**Verkoppelungen** bewusst nutzen!)
 - Durch **Priorisierung** wichtiger Regelgrößen
 - Durch Berücksichtigung des **AWWA-Modells** im Regler
- Bessere Teillastfähigkeit → **bessere Integrierbarkeit**
- Je nach Konfiguration auch **Überlast besser handhabbar**
- Regelungsstrategie kann für **verschiedenste Konfigurationen** verwendet werden
- Je **mehr Informationen** verwendet werden, desto **leichter** lässt sich AWWA regeln (für optimalen Betrieb → **Gesamtsystembetrachtung + Prädiktion**)
- Weiter Erkenntnisse aus HPC:
 - **Effizienz-optimierende Regelung** nur bei **Gesamtsystembetrachtung** sinnvoll
 - Gute **Auslegung unterstützt** gute Regelung
 - Modellbasierte Regler können **Dynamik leicht verbessern**
 - Weitere untersuchte modellbasierte Mehrgrößen-Regler: **Zustandsregler**

Fortschrittliche Regelungsstrategien

Workshop - Experimentelle Analyse, Simulation und Regelung von Absorptionswärmepumpen/-kältemaschinen

Dipl.-Ing. Sandra Zlabinger

Researcher

Area 5.3

T + 43 5 02378-9225

sandra.zlabinger@best-research.eu

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.





Realer Einsatz und Nutzen der Projektergebnisse

HPC – Workshop

Hannes Poier

09.04.2021



Solare Kälte
Solare Wärme
Solare Fernwärme
Solare Prozesswärme

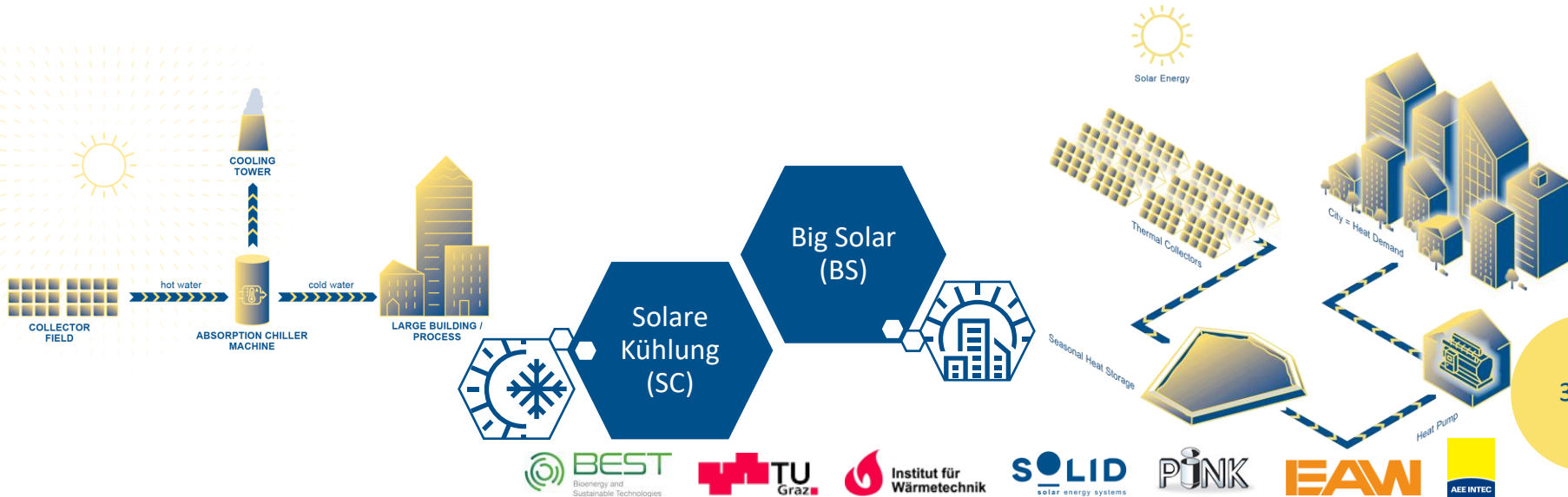
SOLID
solar energy systems



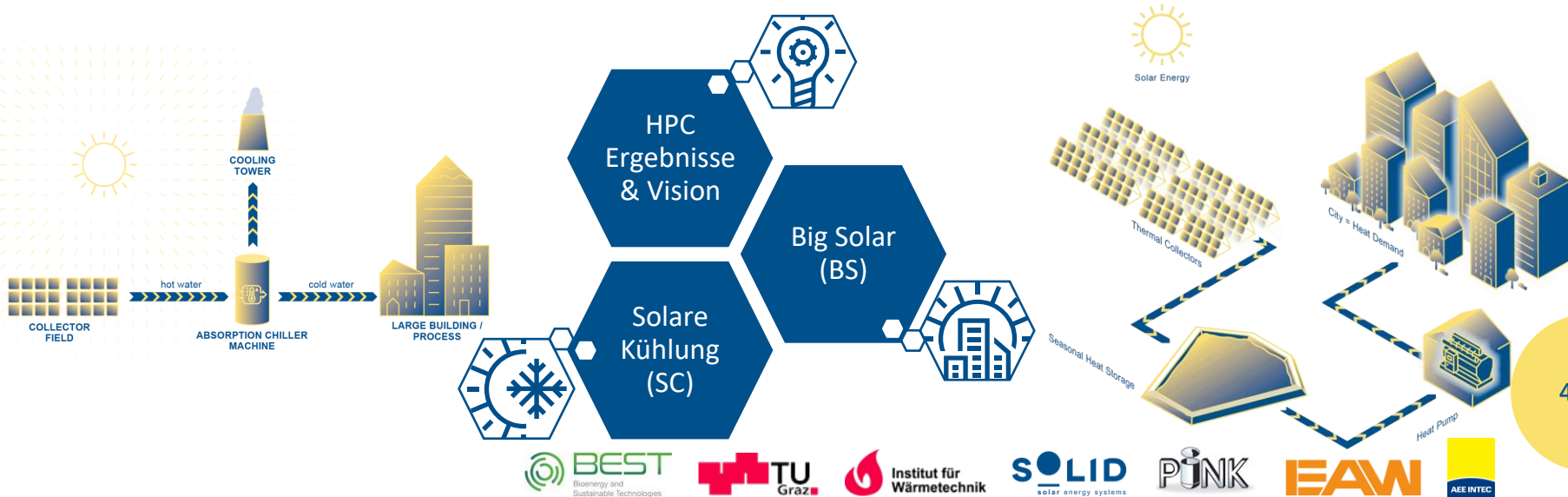
Anlagen
- planung
- umsetzung
- betrieB



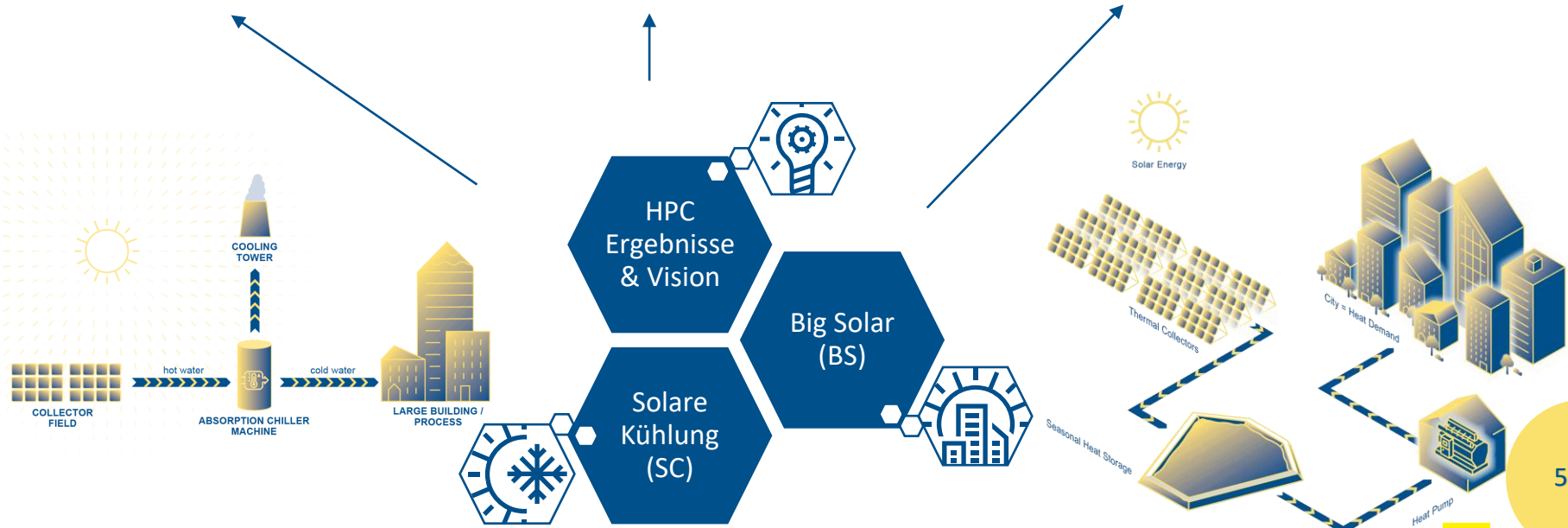
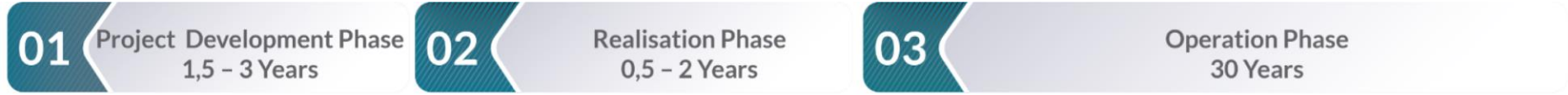
Inhalt



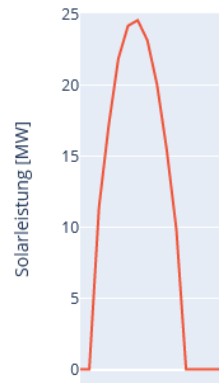
Inhalt



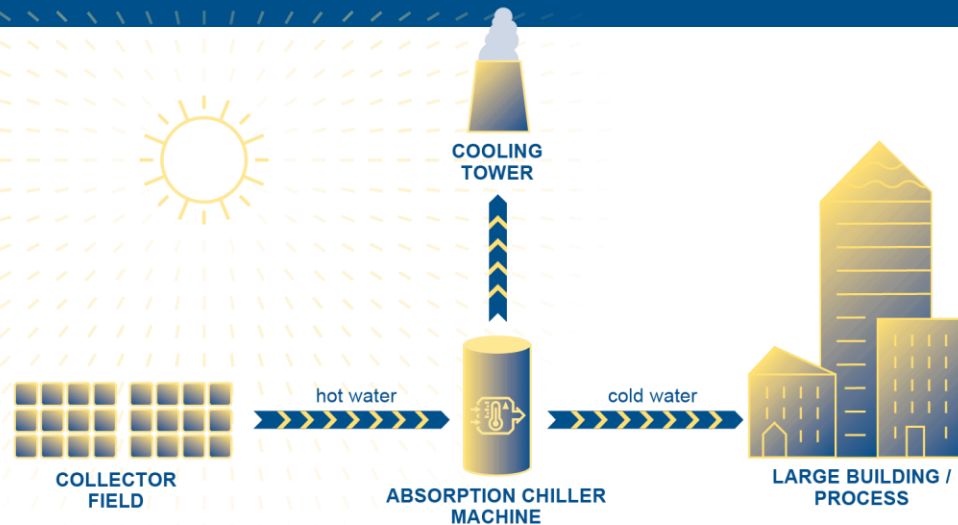
Inhalt



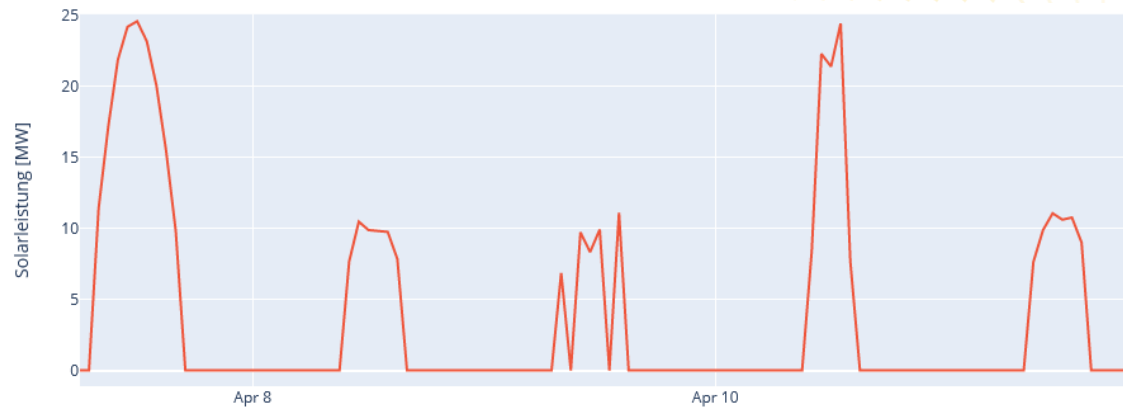
Solare Kühlung



- Täglich stark wechselnde Last
- Täglich wechselnde Temperaturen
- Auf allen drei Kreisen



Solare Kühlung



- Außerdem ist jeder Tag unterschiedlich

COLLECTOR FIELD

hot water

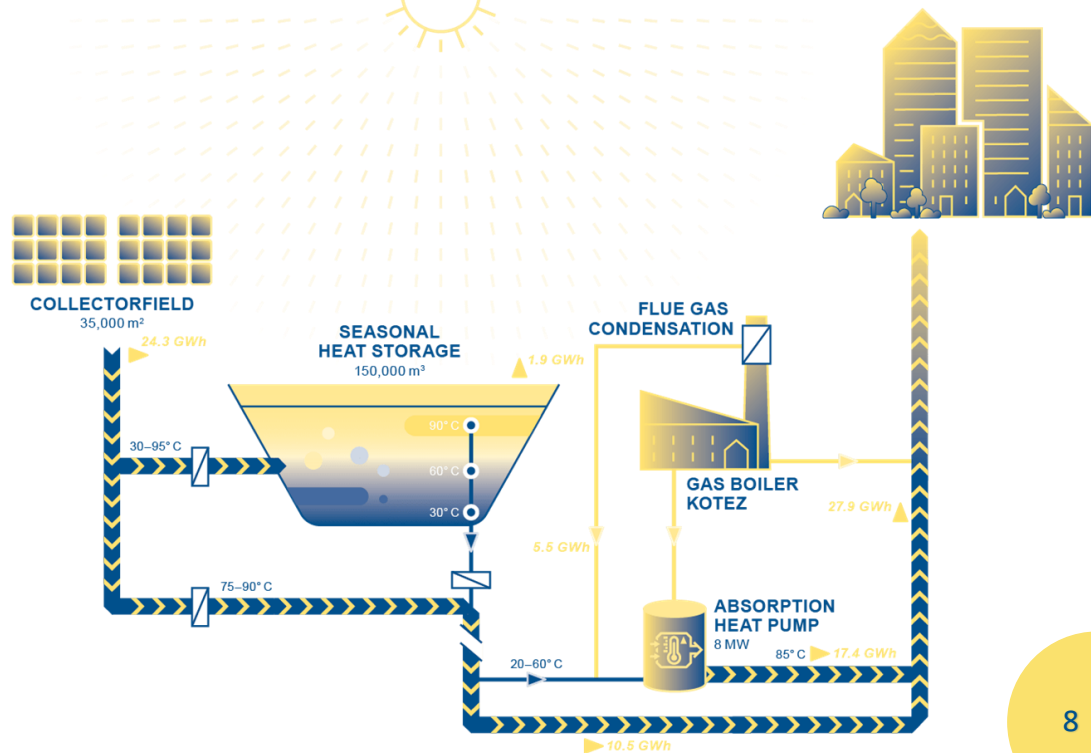
ABSORPTION CHILLER MACHINE

cold water

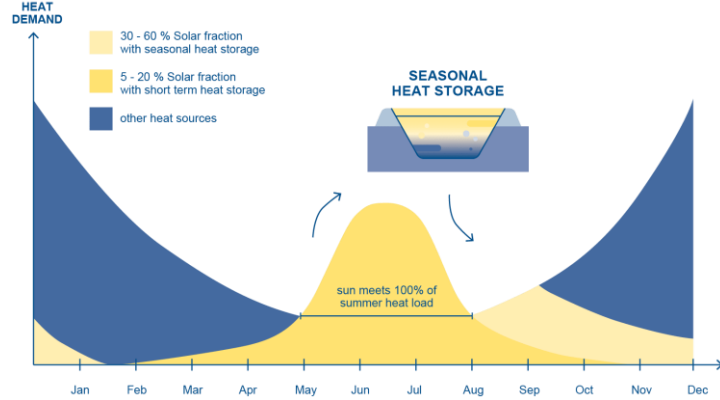
COOLING TOWER

LARGE BUILDING / PROCESS

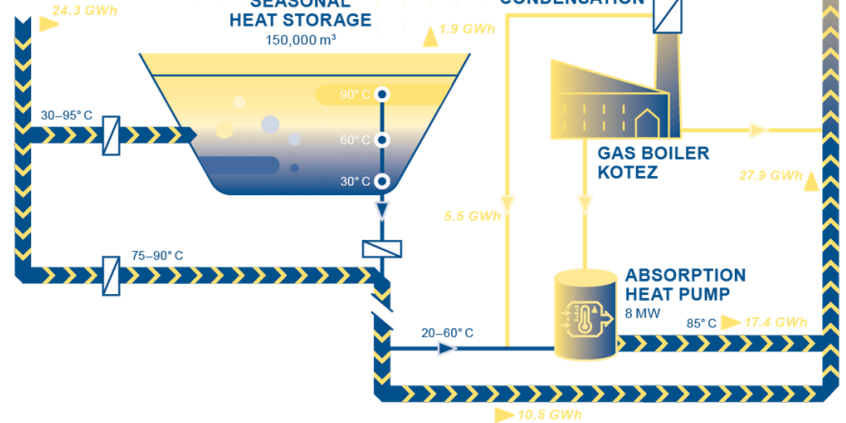
Big Solar



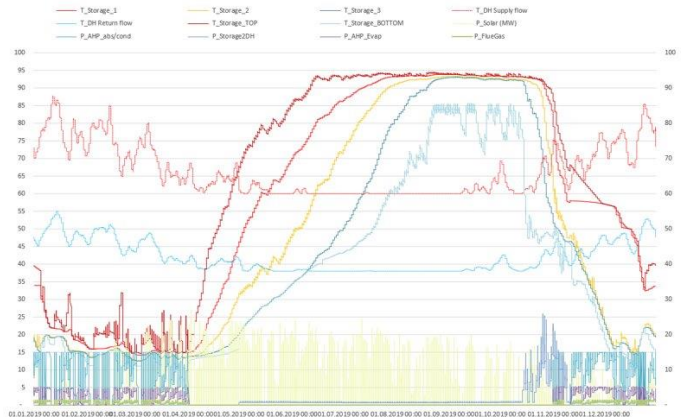
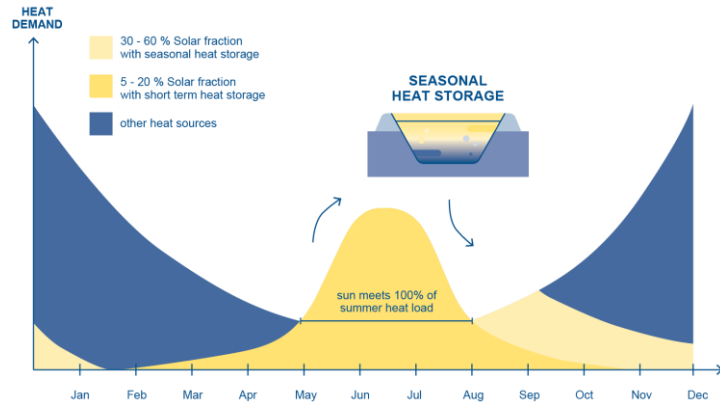
Big Solar



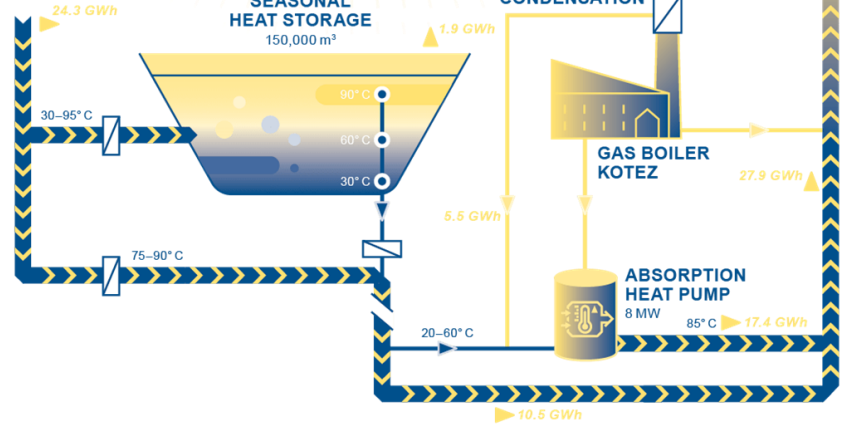
COLLECTORFIELD
35,000 m²

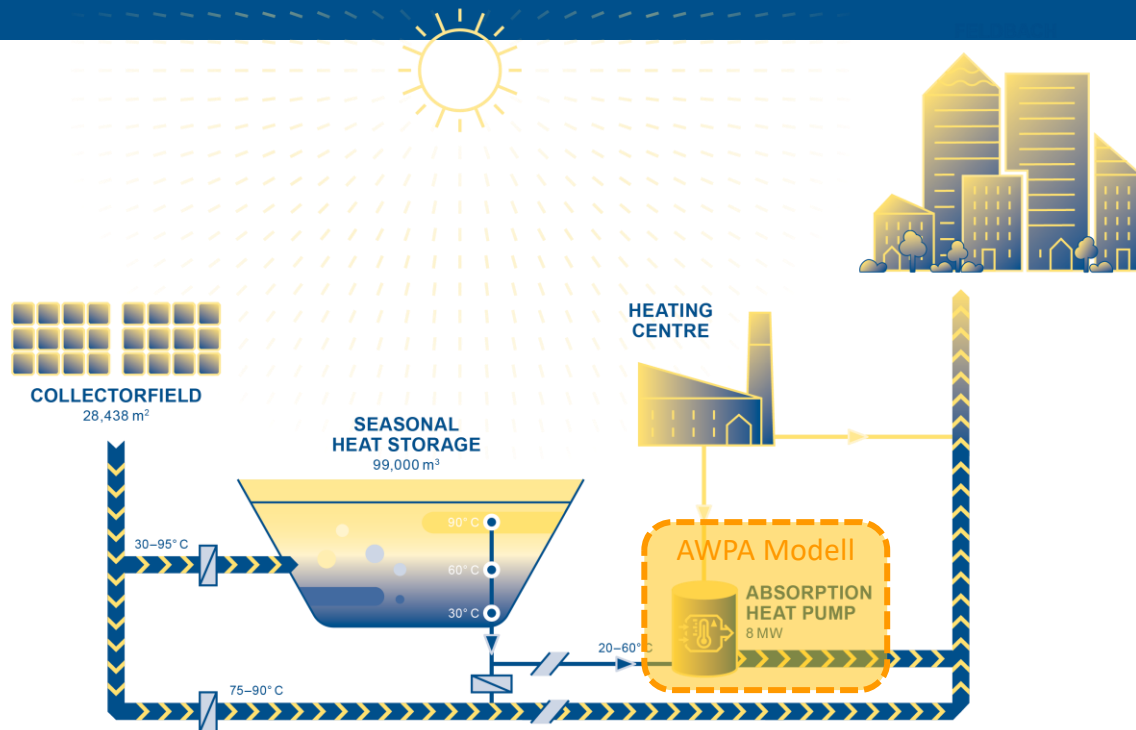


Big Solar

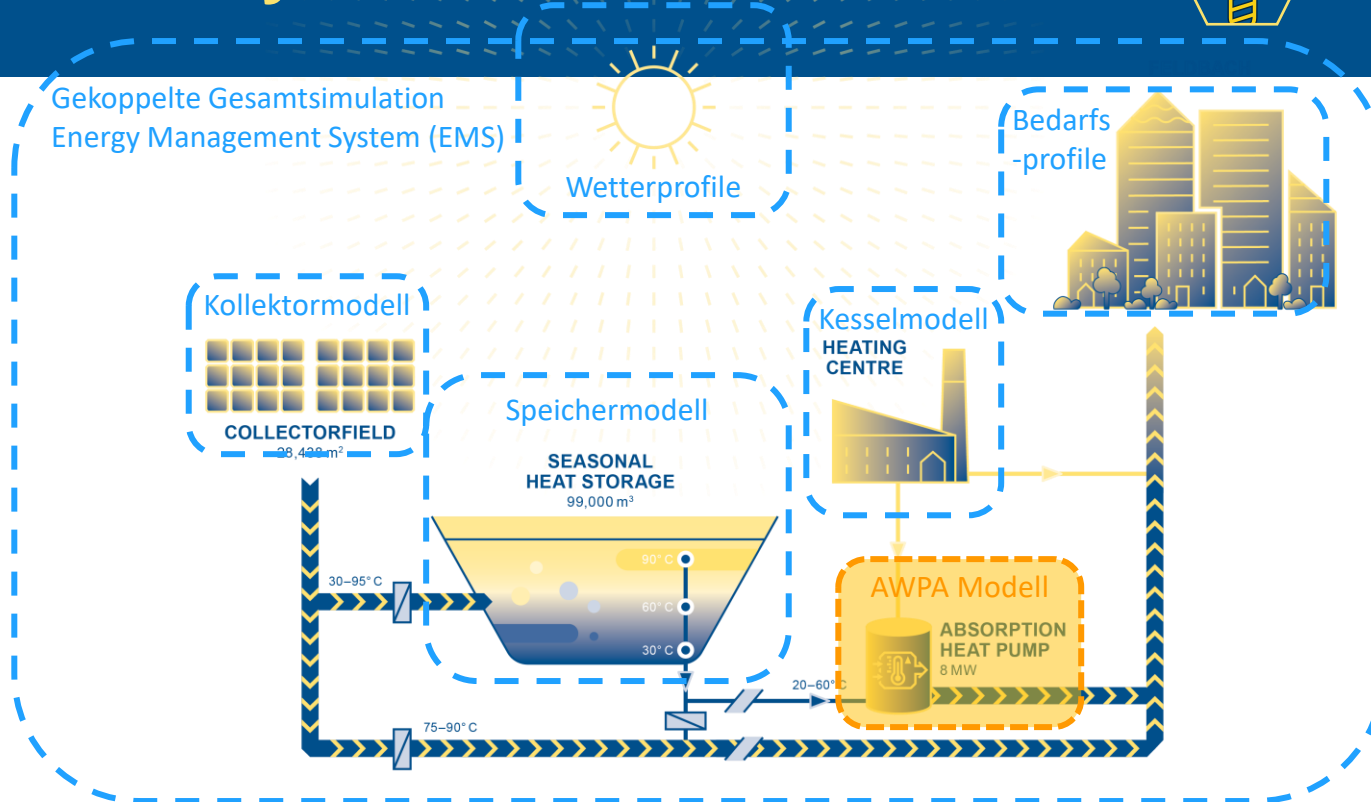


COLLECTORFIELD
35,000 m²





Gesamtsystem

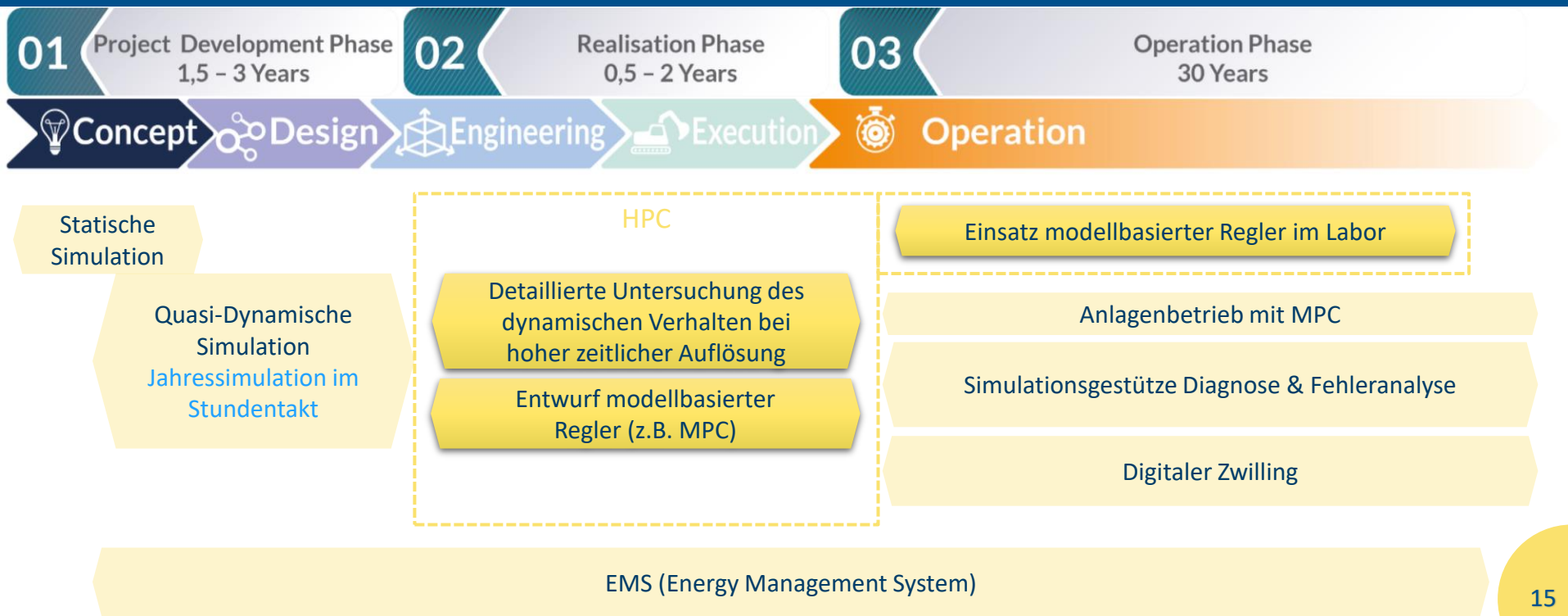


Projektphasen



Konzept-entwicklung	System Design	Detailliertes Engineering	Bau	Anlagenbetrieb
Kunden-wünsche	System-analyse			Monitoring, Fehlerdiagnose, Wartung
wenige Daten	Profile			Optimierung
Budget Vorschlag	Verbindliches Budget	Baufertig	Inbetriebnahme	

Projektphasen: HPC | Vision



Konzeption – HPC | Vision



Erwartungen

- Besser Abschätzungen z.B. im Teillastbereich
- Projektrisiken besser einschätzen - Investitionsentscheidung



Verwertbares HPC Ergebnis

statisches AWPA Modell



Erwartungen:

Jahressimulation im Stundentakt

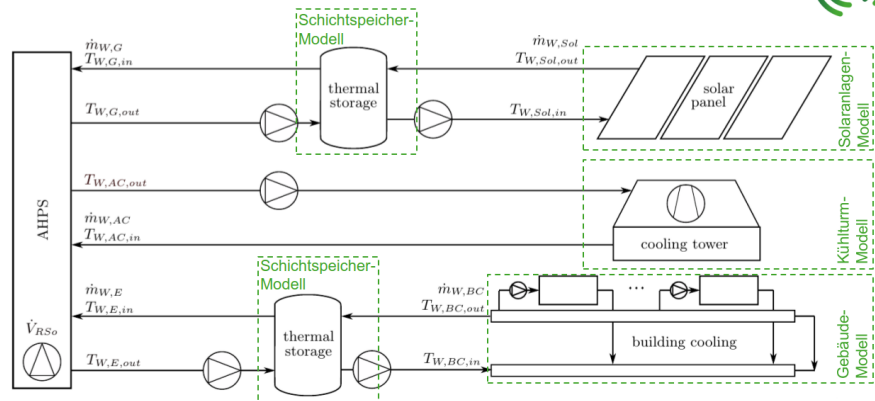
- Gekoppelte Gesamtsystemsimulation
- Sensitivitätsanalysen

Modelle so einfach wie möglich
so komplex wie nötig

Verwertbares HPC Ergebnis:

dynamisches AWPA Modell als Basis für ein
vereinfachtes Modell für die Jahressimulation

Schema “Solares Kühlen”



Umsetzungsphase – HPC | Vision



Erwartungen:

- Entwicklung der Regelung (Modellbasierter Regler) am Rechner
- Dynamische Simulation zum Testen der Regelung (Simulationsgestützter Reglerentwurf, z.B. Vorgabe versch. Repräsentativer Lastprofile und testen wie AWPA-Regelung reagiert)

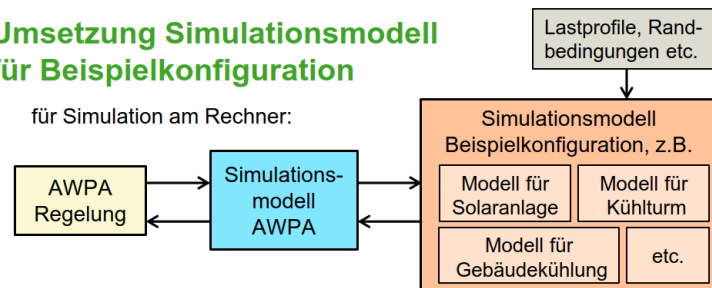


Verwertbares HPC Ergebnis:

dynamisches AWPA Modell & Reglerentwurfsmodell

Umsetzung Simulationsmodell für Beispielkonfiguration

- für Simulation am Rechner:



Operation – HPC | Vision



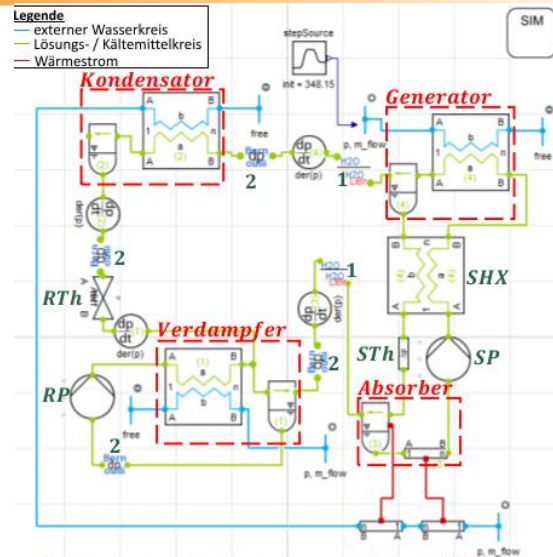
Erwartungen

- Simulationsgestützte Diagnose & Fehleranalyse
- Systematische Optimierung
- Modellbasierte Regelung
 - verschiedene Zielwerte (Regelgrößen) einstellbar
 - Teillastbetrieb optimiert



Verwertbares HPC Ergebnis:

Mehrgrößen-Regelung & dynamische
Systemsimulation

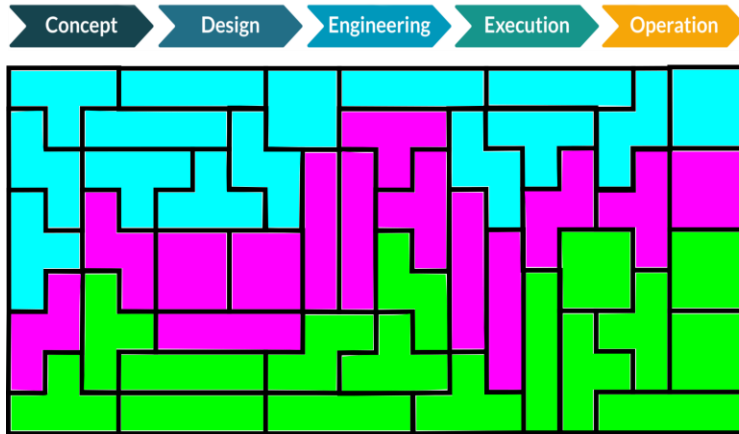


Struktur des Dymola-Simulationsmodells der EAW-AKA

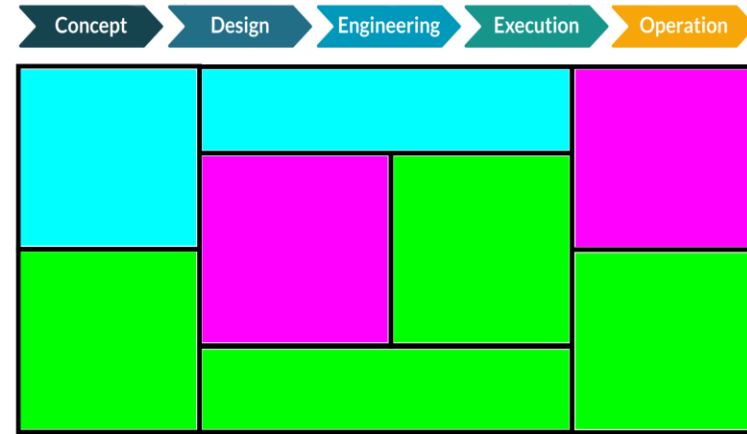
Ziel: Systematik | großes Ganzes



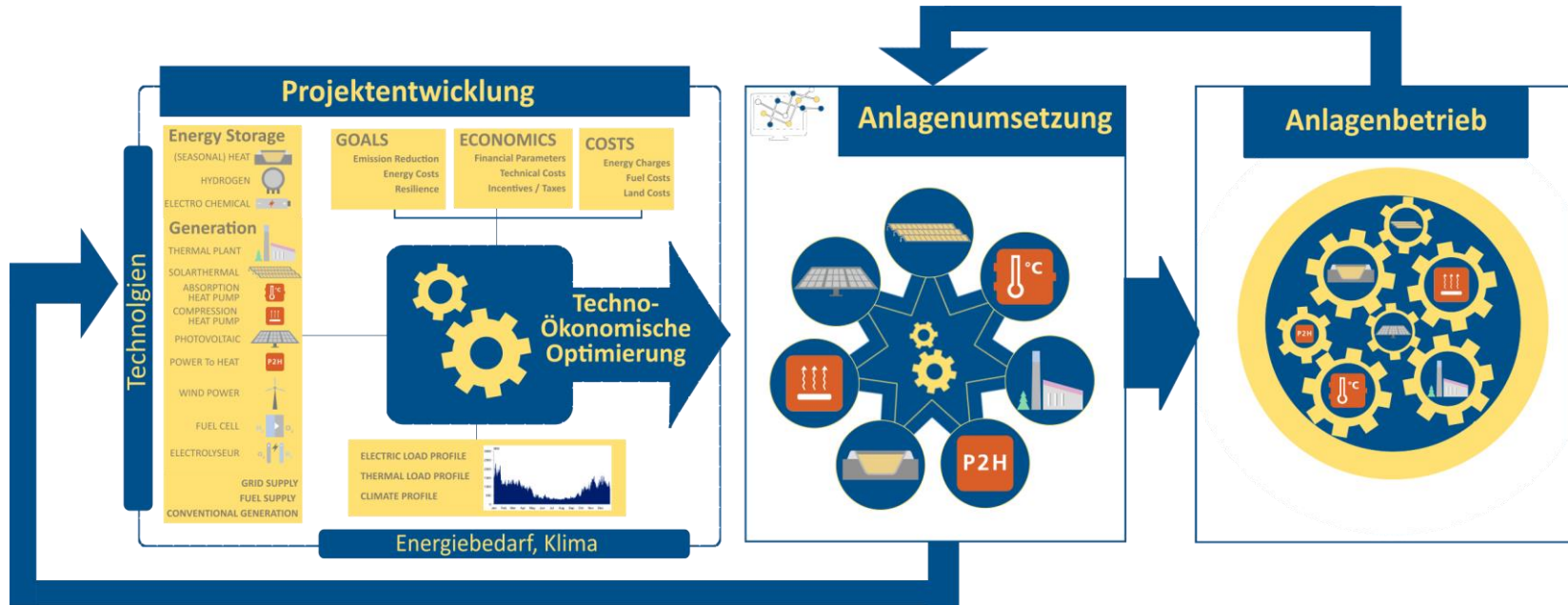
Status Quo



Vision



Ziel: Systematik | großes Ganzes



Vielen Dank!

Hannes Poier

h.poier@solid.at

SOLID Solar Energy Systems GmbH

www.solid.at

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.



FFG
Forschung wirkt.





Zukünftige Anwendungen

Workshop HPC

Christoph Rohringer

Herausforderung

AEE INTEC

BEST
Bioenergy and
Sustainable Technologies

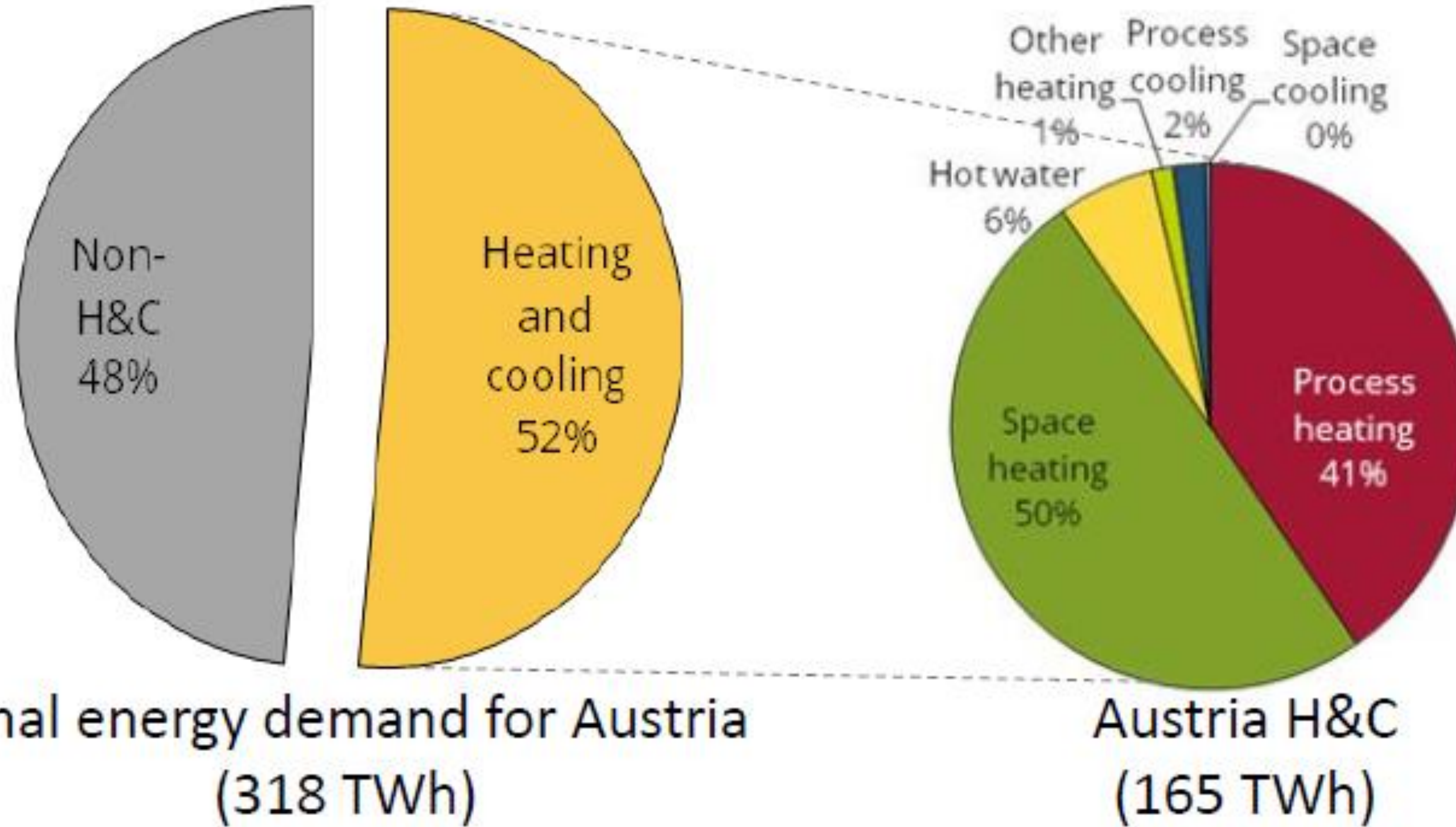
EAW

Institut für
Wärmetechnik

TU
Graz

PINK

SOLID
solar energy systems



Chance

AEE INTEC

BEST
Bioenergy and Sustainable Technologies

EAW

Institut für Wärmetechnik
TU Graz

PINK

SOLID
solar energy systems

HRE4 - Resource Atlas - Excess heat activities - Austria

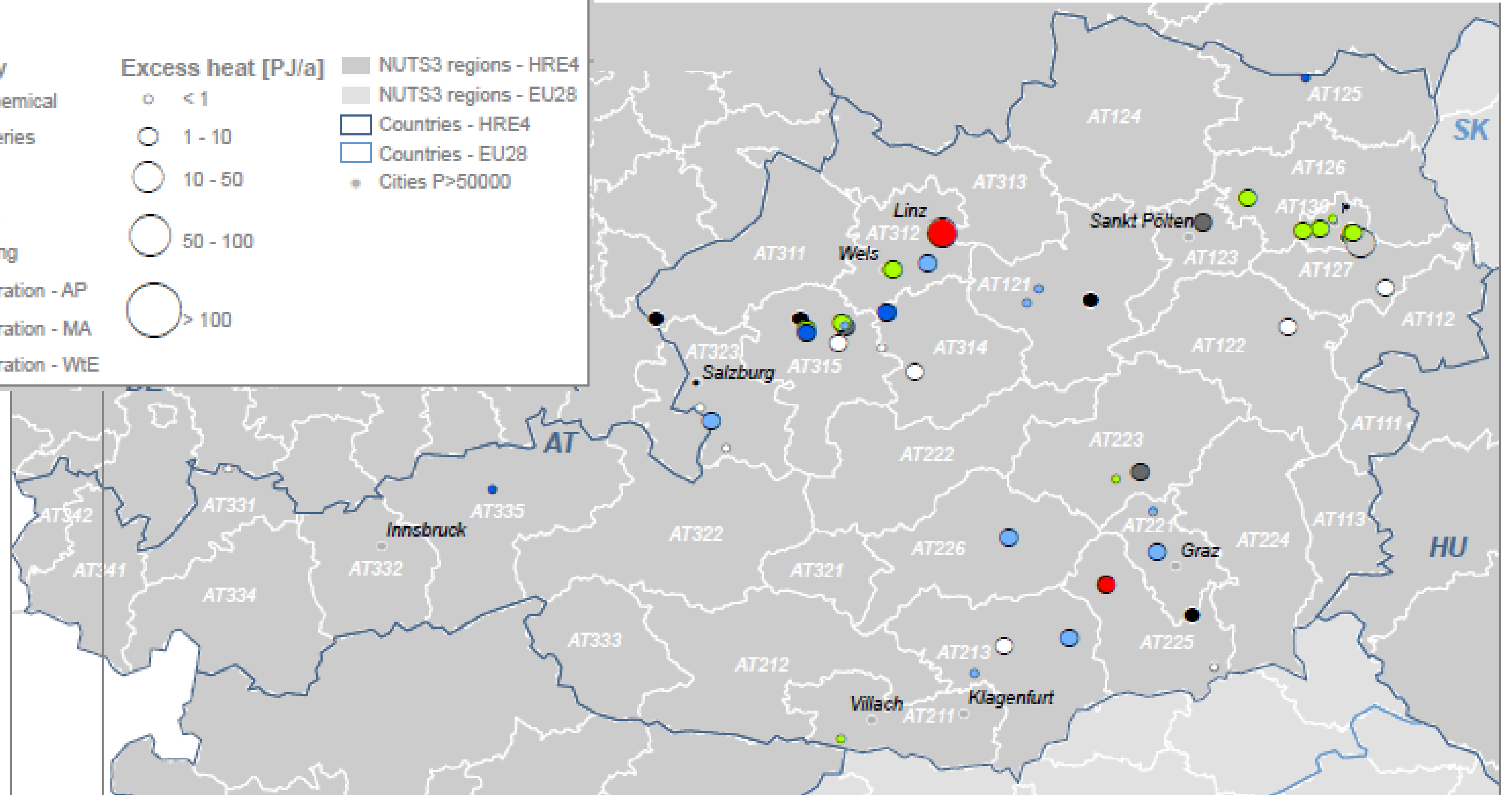
Main sector category

- Chemical and petrochemical
- Fuel supply and refineries
- Iron and steel
- Non-metallic minerals
- Paper, pulp and printing
- Thermal Power Generation - AP
- Thermal Power Generation - MA
- Thermal Power Generation - WtE

Excess heat [PJ/a]

- < 1
- 1 - 10
- 10 - 50
- 50 - 100
- > 100

- NUTS3 regions - HRE4
- NUTS3 regions - EU28
- Countries - HRE4
- Countries - EU28
- Cities P>50000



Quelle: Heat roadmap Europe, HRE4 - Resource Atlas, Excess heat activities, Austria 2013

Chance

AEE INTEC

BEST
Bioenergy and Sustainable Technologies

EAW

Institut für Wärmetechnik
TU Graz

PINK

SOLID
solar energy systems

HRE4 - Resource Atlas - Excess heat activities - Austria

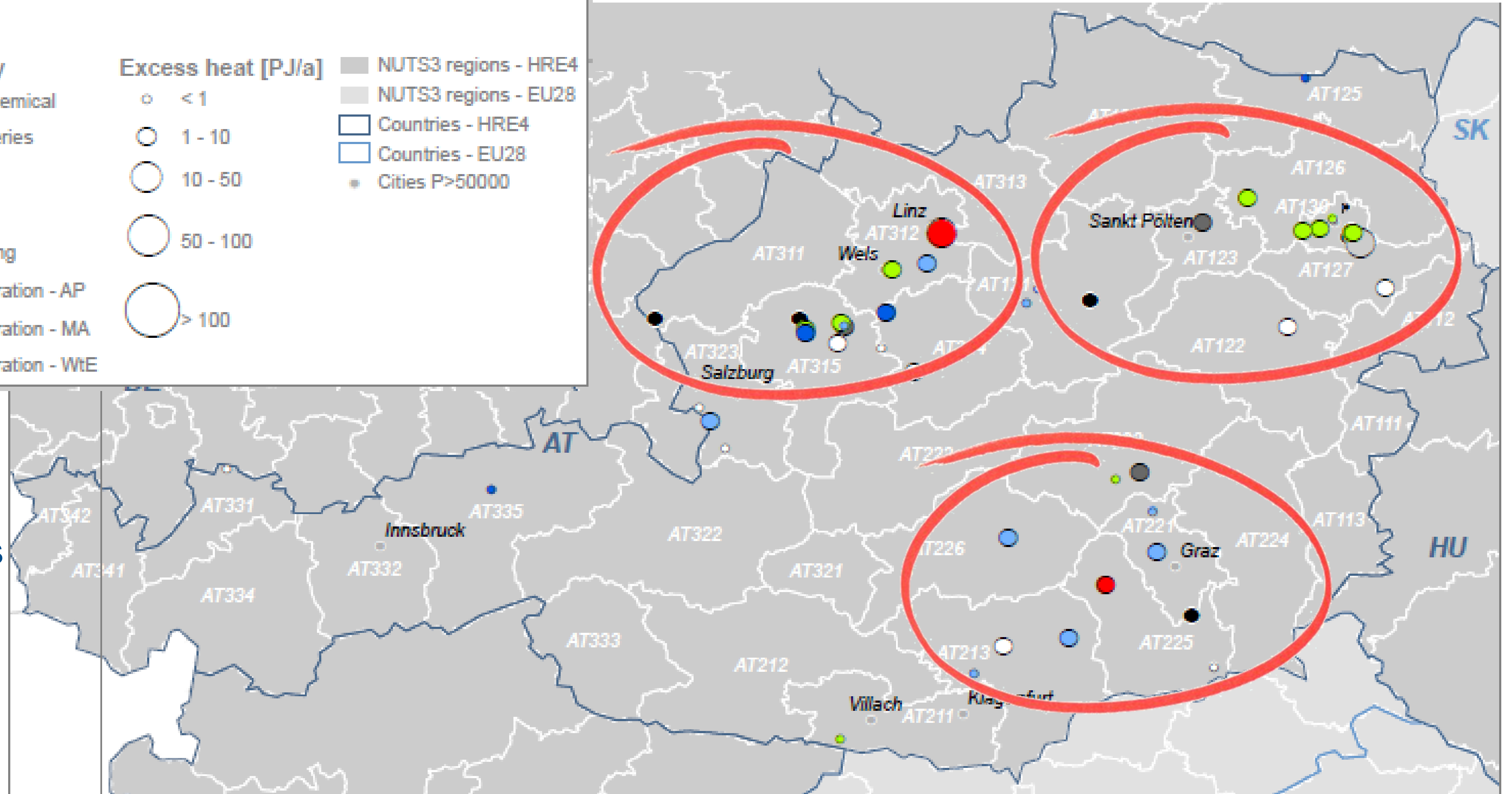
Main sector category

- Chemical and petrochemical
- Fuel supply and refineries
- Iron and steel
- Non-metallic minerals
- Paper, pulp and printing
- Thermal Power Generation - AP
- Thermal Power Generation - MA
- Thermal Power Generation - WtE

Excess heat [PJ/a]

- < 1
- 1 - 10
- 10 - 50
- 50 - 100
- > 100

- NUTS3 regions - HRE4
- NUTS3 regions - EU28
- Countries - HRE4
- Countries - EU28
- Cities P>50000



Mit Nutzung der Abwärme der 53 größten Betriebe könnten 49% des Raumheizungsbedarfs in Österreich gedeckt werden (38 TWh)

Vorteile der Regelung

AEE INTEC

BEST
Bioenergy and
Sustainable Technologies

EAW

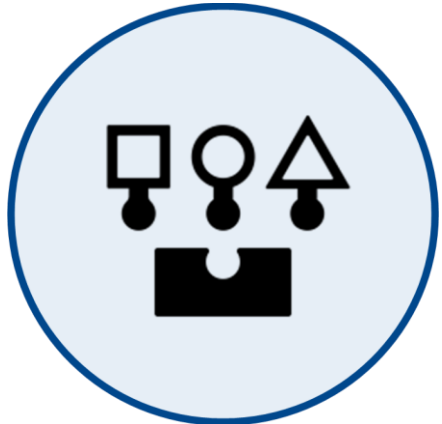
Institut für
Wärmetechnik
TU
Graz

PINK

SOLID
solar energy systems



Stabileres Teillastverhalten



Modulare Priorisierung von Regelgrößen



Kürzere Ausregelzeit



Reduktion der Backup Systeme

Rauchgaskondensation mit Fernwärmeeinspeisung

AEE INTEC

BEST
Bioenergy and
Sustainable Technologies

EAW

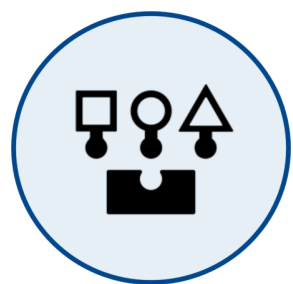
Institut für
Wärmetechnik
TU
Graz

PINK

SOLID
solar energy systems



Fernwärmenetze volatile Abnehmer sein (Morgenspitze). Effizienter Teillastbetrieb ermöglicht Einbindung von AWPA abseits der reinen Grundlast



Kritische Größen je nach AWPA Einbindung (Netzvorlauf oder Netzurücklauf). Entschwadung als sekundäres Ziel



Reaktion auf Morgenspitze im Fernwärmenetz bzw. auf Zu/Wegschalten großer Verbraucher und Erzeuger



Prozesskühlung (am Beispiel Lebensmittelindustrie)

AEE INTEC

BEST
Bioenergy and
Sustainable Technologies

EAW

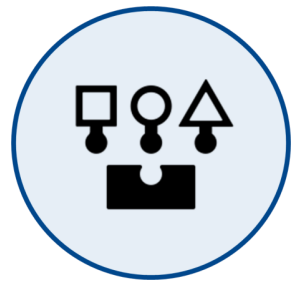
Institut für
Wärmetechnik
TU
Graz

PINK

SOLID
solar energy systems



Bei Batchprozessen Bandlast an Kühlbedarf auf moderatem Niveau (10-12°C) und punktuell Spitzenkältebedarf bei niedrigerem Niveau (6°C)



Anforderungen ändern sich je nach Betriebsweise. Bei Bandlast ist ein effizienter Betrieb des Kühlwasserkreises entscheidend, während beim Spitzenkältebedarf vor allem Leistung und Vorlauftemperatur im Kaltwasserkreis maßgeblich sind.



Umstellung zwischen beiden Lastfällen erfolgt rasch



Reduktion der Puffergrößen und Backup Systeme, um die in der Industrie geforderten Amortisationszeiten zu erreichen.

Einbindung Erneuerbarer in Energiesysteme

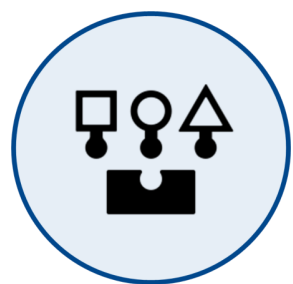
AEE INTEC



Hochfahren der Anlage in einen stabilen Betriebspunkt auch bei Teillast effizient möglich



Reaktion auf Einstrahlungsänderungen im Tagesverlauf. Die Einstrahlungsleistung kann sich durch Bewölkung innerhalb von 15 Minuten um bis zu 30% ändern.



Je nach Betriebsweise dominieren andere Anlagenparameter die Wirtschaftlichkeit. Saisonalität von z.B. Big Solar Anlagen kann berücksichtigt werden



Reduktion der Backup Systeme



Gebäude und Raumheizung

AEE INTEC

BEST
Bioenergy and
Sustainable Technologies

EAW

Institut für
Wärmetechnik
TU
Graz

PINK

SOLID
solar energy systems



In marktreifen Komponenten Teillast momentan über Modulbauweise und diskretes Ein-/Ausschalten gelöst
Saisonal veränderbare Quelltemperaturen sollen keinen Einfluss auf Wohnraumklima und Nutzerkomfort haben



Kleinere Pufferspeicher und reduzierte bzw. gänzlich obsolete Backup System vor allem auf Gebäudelevel entscheidend für Wirtschaftlichkeit und Platzbedarf



Außerhalb Europas

AEE INTEC



Heat recovery Xinzhou Guangyu CHP

- Investment 145 million RMB
- Increased heating capacity 120MW
- Energy saved: 63k tce/a



Huadian Datong 1st CHP

- Investment 93 million RMB
- Increased heating capacity 80 MW
- Energy saved 75k tce/a



XiangYuan Teri CHP

- Investment 70 million RMB
- Increased heating capacity 84MW
- Energy saved 68k tce/a



Shenhua east power co., LTD. God bay CHP

- Investment 54million RMB
- Increased heating capacity 34MW
- Energy saved 40k tce/a



Datang Yungang CHP

- Investment 526 million RMB
- Increased heating capacity 345MW
- Energy saved 280k tce/a



Tongmei group Antang CHP

- Investment 184million RMB
- Increased heating capacity 320MW
- Energy saved 310k tce/a

Zusammenfassung



AEE INTEC



BEST
Bioenergy and
Sustainable Technologies



EAW



Institut für
Wärmetechnik
TU
Graz



PINK



SOLID
solar energy systems

Vielfalt an Möglichkeiten

Resultate aus HPC machen viele davon attraktiver, bzw. Neue möglich

Zusammenfassung

AEE INTEC

 **BEST**
Bioenergy and
Sustainable Technologies

EAW

 **Institut für
Wärmetechnik**


PINK

SOLID
solar energy systems

Vielfalt an Möglichkeiten

Resultate aus HPC machen viele davon attraktiver, bzw. Neue möglich

Vision Statement

**Absorption wird in geeigneten Anwendungen
so flexibel und robust einsetzbar wie herkömmliche Wärmepumpen**



AEE INTEC

IDEA TO ACTION



Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.

AEE – Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC)
8200 Gleisdorf, Feldgasse 19, AUSTRIA

Website: www.aee-intec.at
Twitter: @AEE_INTEC

Christoph Rohringer
c.rohringer@aee.at
+43 (0) 3112 5886 662