Hochschule
München
University of
Applied Sciences

CENERGIE
Forschungsinstitut
für energieeffiziente
Gebäude und Quartiere

Effizienzsteigerung von Kälteversorgungssystemen
-Entwicklung eines modell-basierten Optimierungswerkzeugs

DKV-Tagung 2022 Magdeburg

18.11.2022 / Jörg Bentz, Johannes Klüglich & Christian Schweigler

HM

Gefördert durch:
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

TRANE® ROGGENKAMP
Kälte. Technik. Kompetenz.

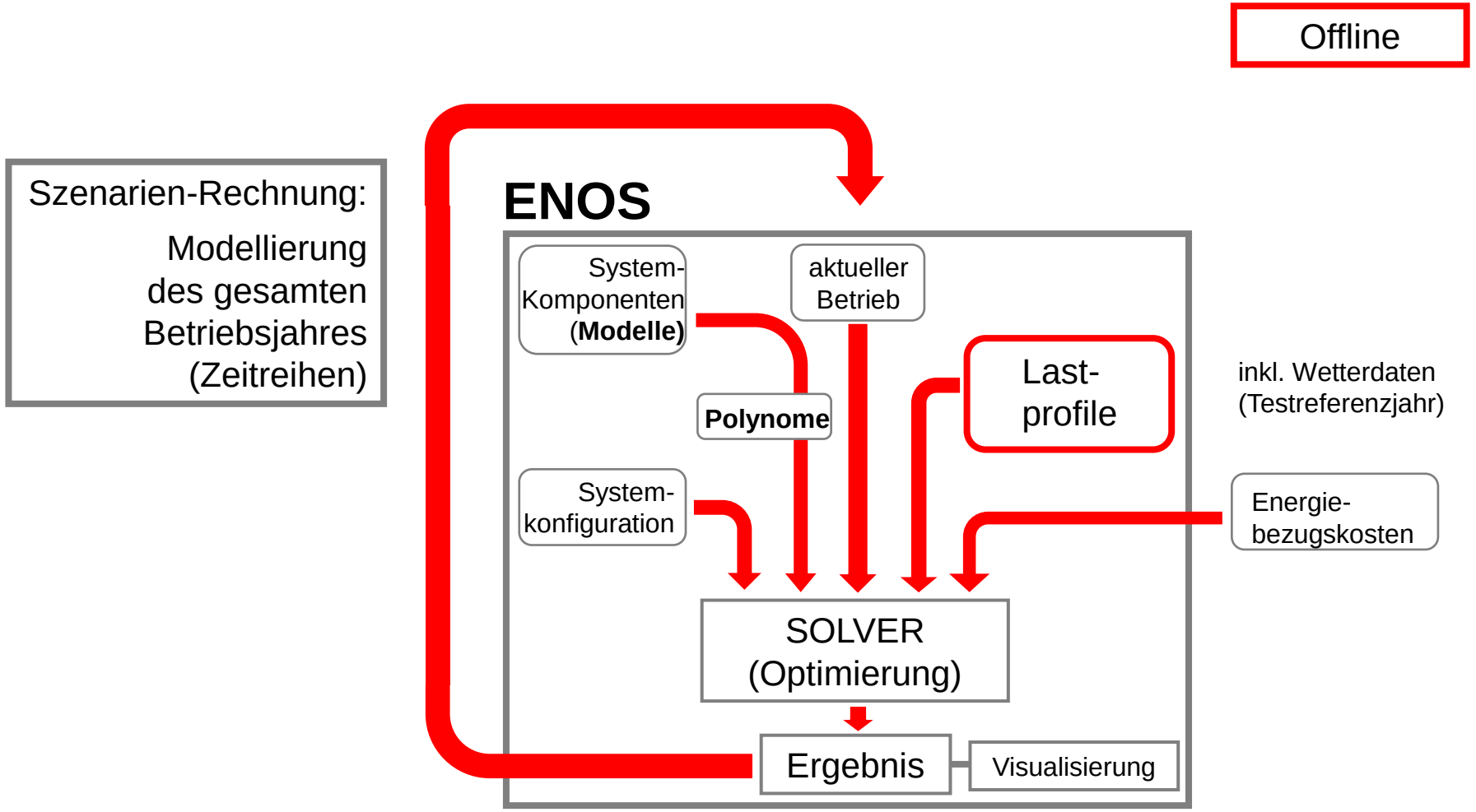
CENERGIE

Agenda

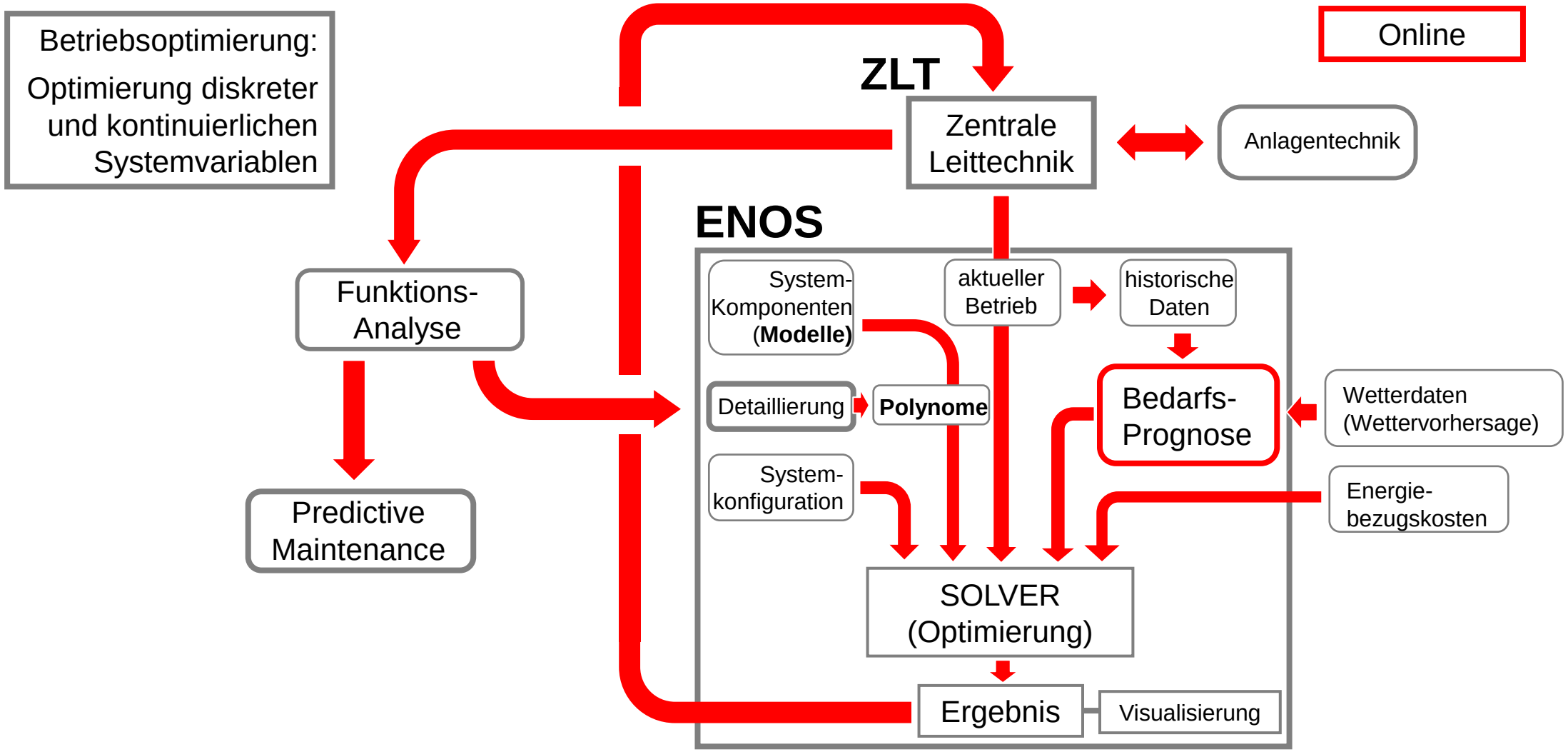
- ENOS: Optimierung von Kälteversorgungssystemen
  - Konzept des Optimierungswerkzeugs
  - Aktueller Stand der Software

- Anwendung für die Optimierung des Anlagenbetriebs eines Pilotsystems
  - Analyse des Anlagenbetriebs (Ausgangssituation)
  - Verbesserung der Betriebseinstellungen und des Anlagenaufbaus
  - Verbesserungspotential bei dynamischer Optimierung des Systemparameter

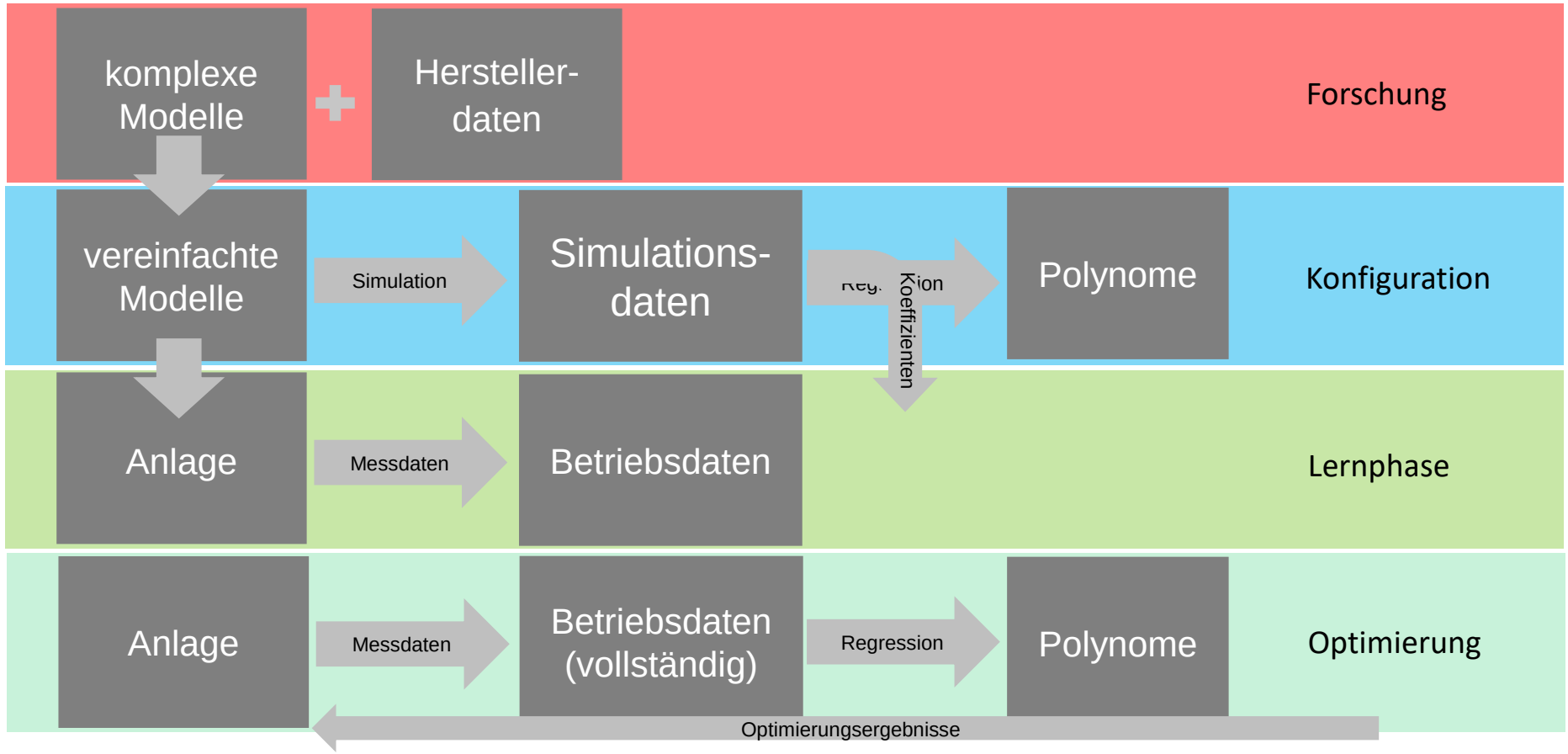
ENOS – Offline Modus



ENOS – Online Modus



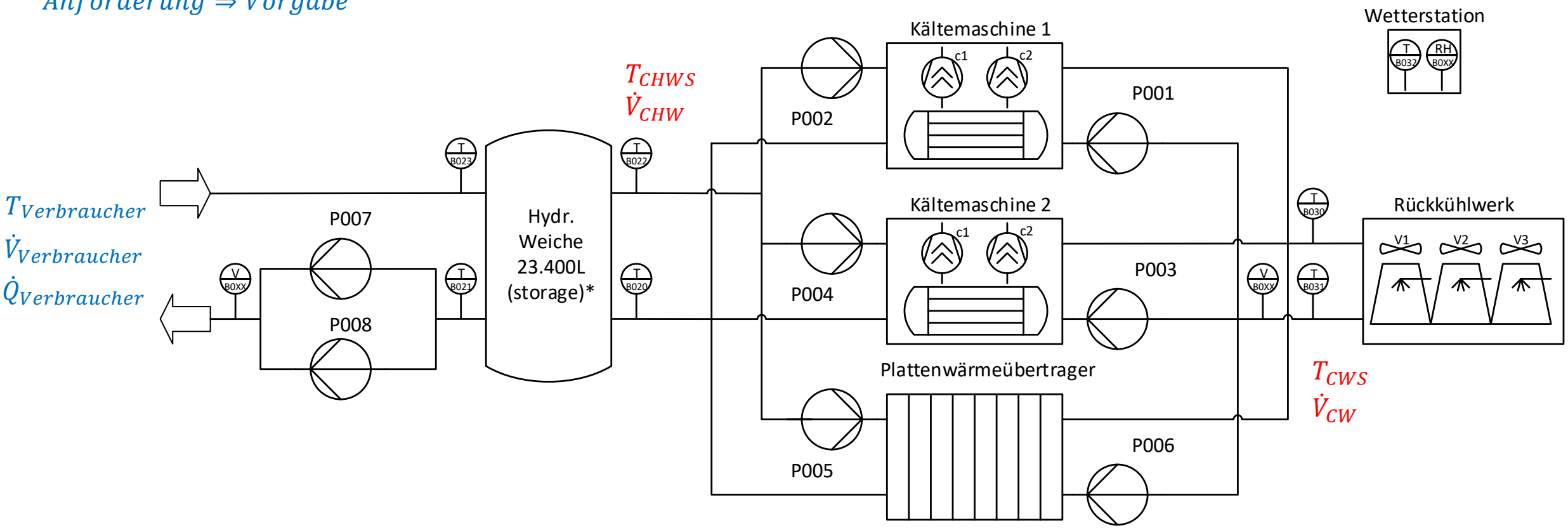
Daten-Workflow der Optimierung



Pilotsystem

$Freiheitsgrade \Rightarrow Optimierung$

$Anforderung \Rightarrow Vorgabe$

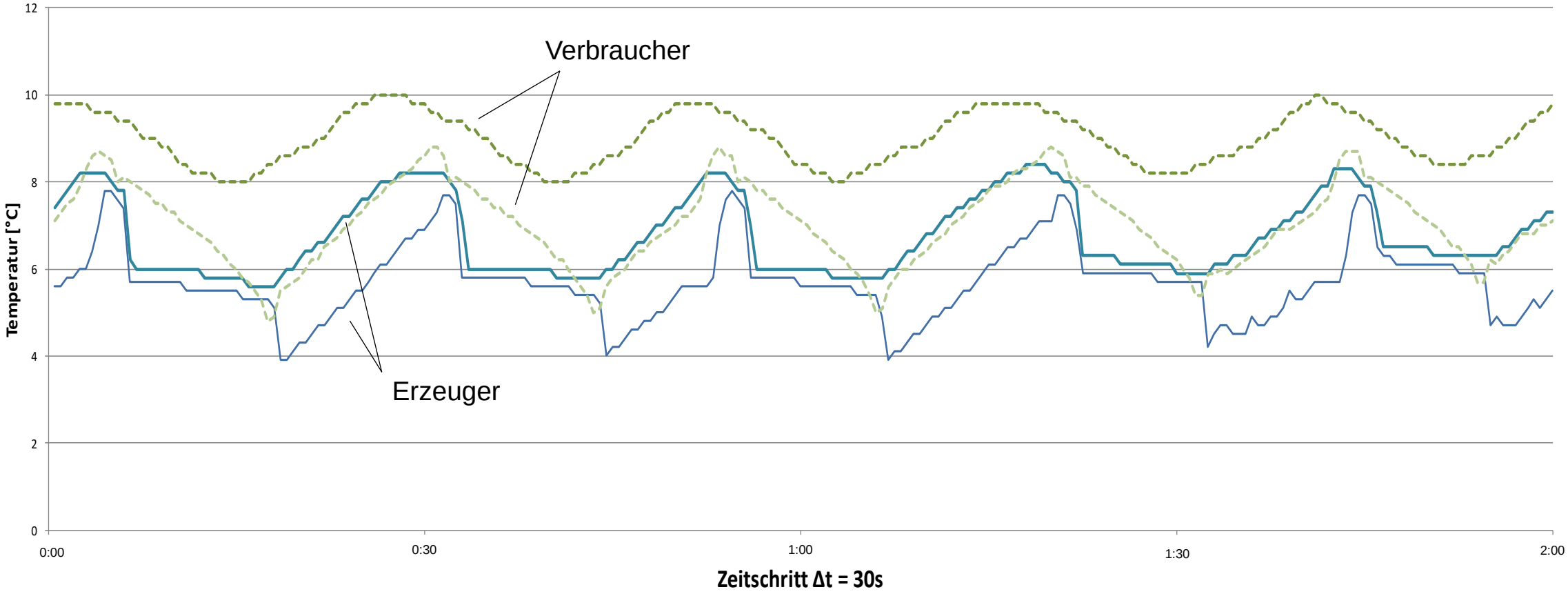


Ausgangssituation

Zu kurze Taktintervalle der Kältemaschinen

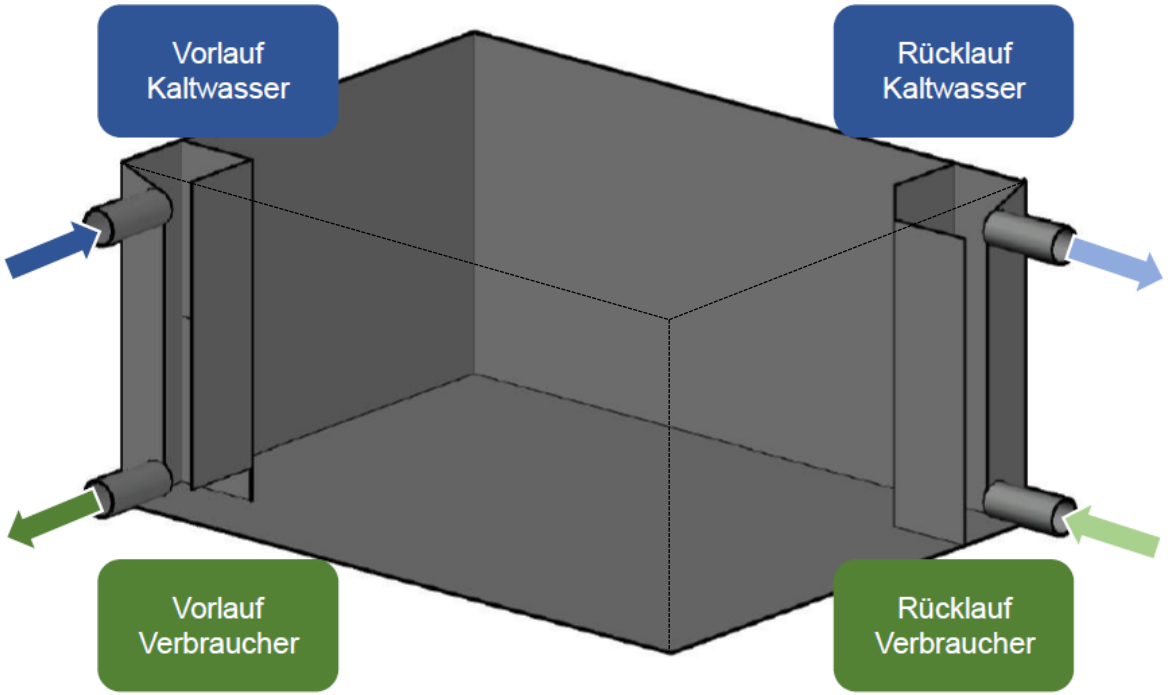
Temperaturverlust durch
Fehlströmung in hydraulischer Weiche

Kälteeinspeisung durch Kältemaschinen (blau)
Kältelieferung von hydraulischer Weiche (grün)



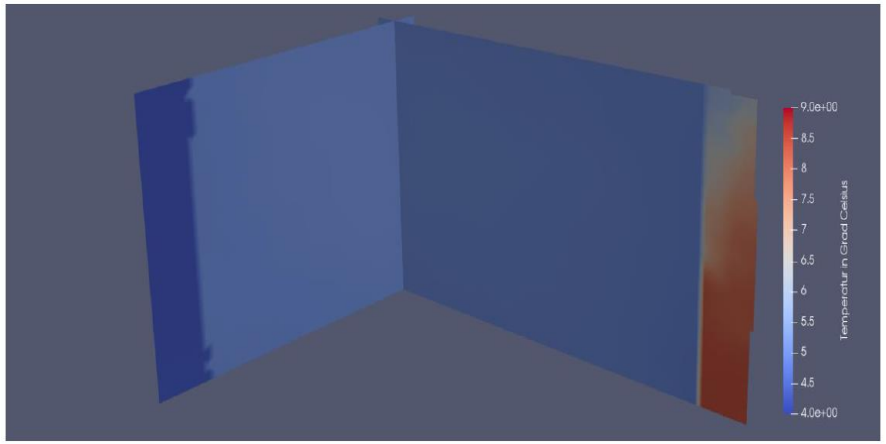
Verbesserung des Anlagenaufbaus

- Reduzierung der Taktintervalle der Kältemaschinen
  - Änderung der Regelparameter für eine langsamere Leistungssteigerung
  - Leistungsreduzierung / Begrenzung der Kältemaschine



- Reduzierung der Durchmischung in der hydraulischen Weiche
  - Einbau eines Leitblechs in die hydraulische Weiche

CFD-Simulation mit OpenFoam



Mathematische Formulierung des Pilotsystems

Allgemeine Form MINLP:

$$\min_{x}\{f^T x | Ax \leq b, A_{eq}x = b_{eq}, lb \leq x \geq ub\,, x_i, \dots, x_s \in \mathbb{Z}, \{0,1\}\}$$

Zielfunktion:

$$\begin{aligned}\min_{T_{chws}, T_{cws}, \dot{V}_{chw}, \dot{V}_{cw}} \sum_{t=1}^{T} P_{el,t} = {} & x_i \cdot P_{ch_{1.1c,t}} + x_j \cdot P_{ch_{1.2c,t}} + x_k \cdot P_{ch_{2.1c,t}} + x_l \cdot P_{ch_{2.2c,t}} \\ & + x_m \cdot P_{ct_{1,t}} + x_n \cdot P_{ct_{2,t}} + x_o \cdot P_{ct_{3,t}} \\ & + x_p \cdot (P_{pu_{chw1,t}} + P_{pu_{cw1,t}}) + x_q \cdot (P_{pu_{chw2,t}t} + P_{pu_{cw2,t}})) \\ & + x_r \cdot (P_{pu_{chw,fc,t}} + P_{pu_{cw,fc,t}}) \\ & + x_s \cdot P_{pu_{chw,supply,t}} + (1 - x_s) \cdot P_{pu_{chw,supply,t}}\end{aligned}$$

mit:

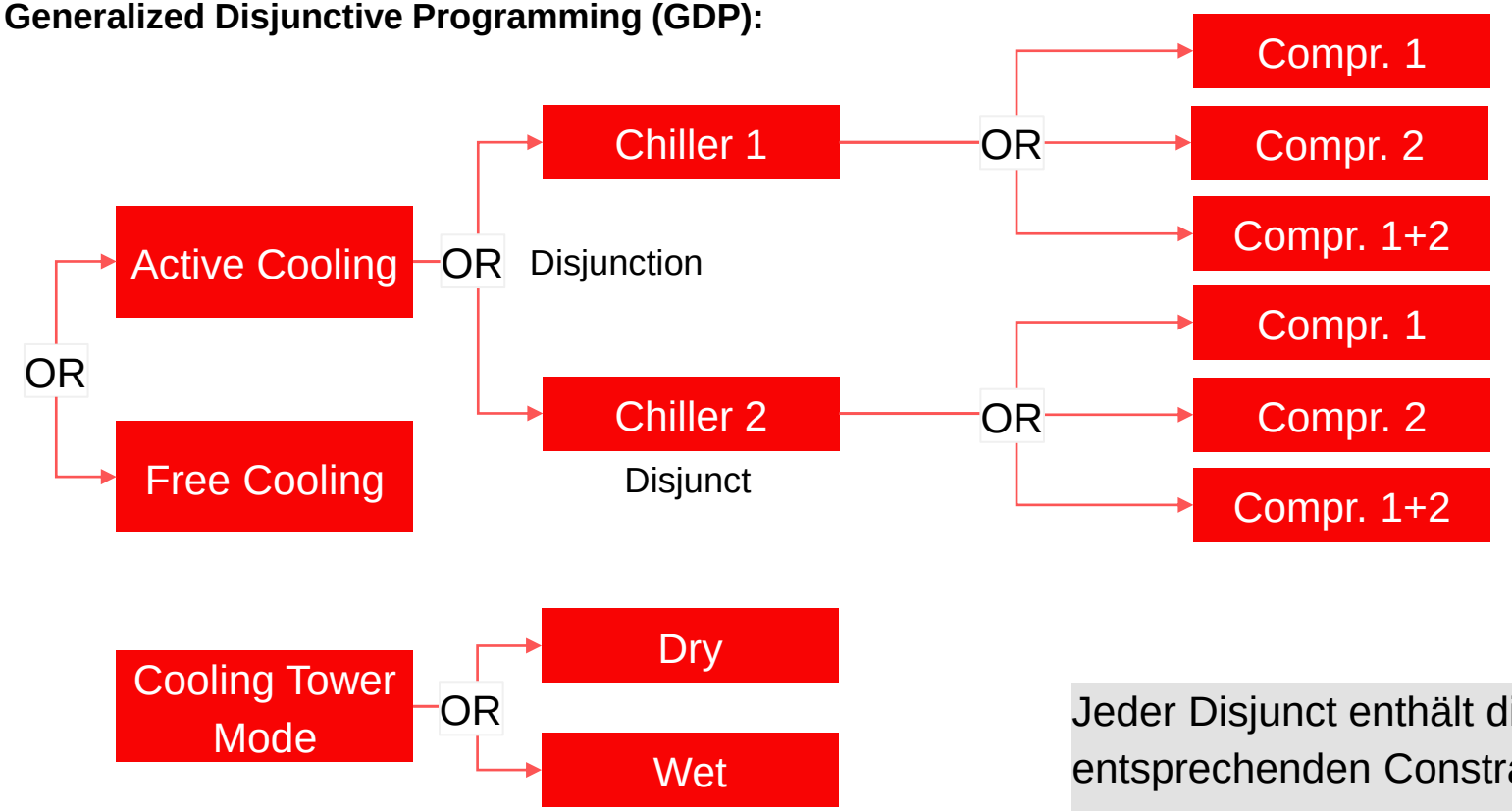
$Kältemaschinen$: $P_{ch,t} = 2nd\ order\ poly(T_{chws,t}, T_{cwr,t}, \dot{V}_{chw,t}, \dot{V}_{cw,t}, \dot{Q}_{0,t})$

$Rückkühler$: $P_{ct,t} = 3rd\ order\ poly(T_{cwr,t}, \dot{V}_{cw,t}, \dot{Q}_{1,t}, T_{amb,t}, RH_{amb,t})$

$Pumpen$: $P_{pu,t} = 2nd\ order\ poly(\dot{V}_t)$

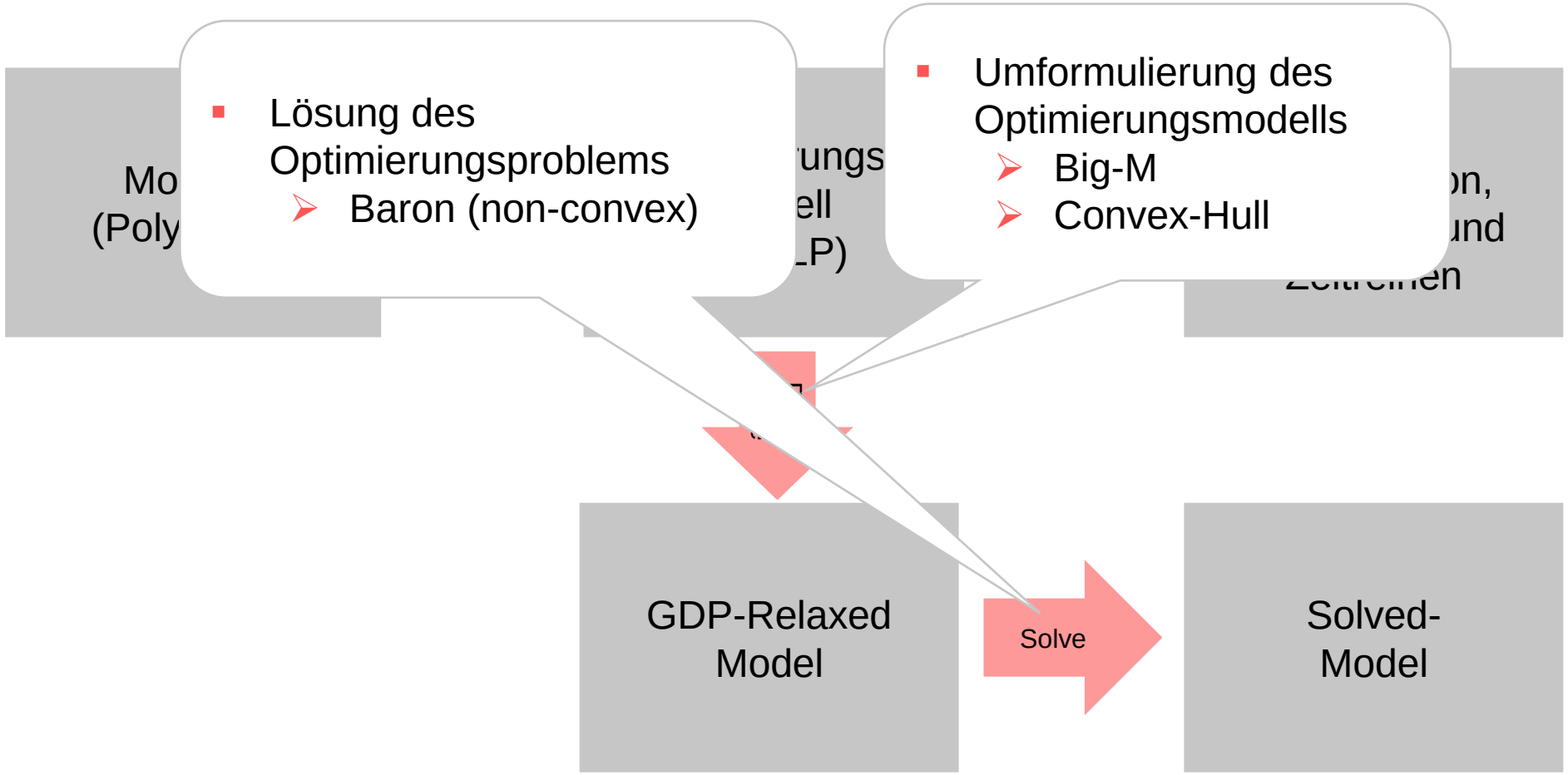
Mathematische Formulierung des Pilotsystems
-Verzweigungen

Generalized Disjunctive Programming (GDP):



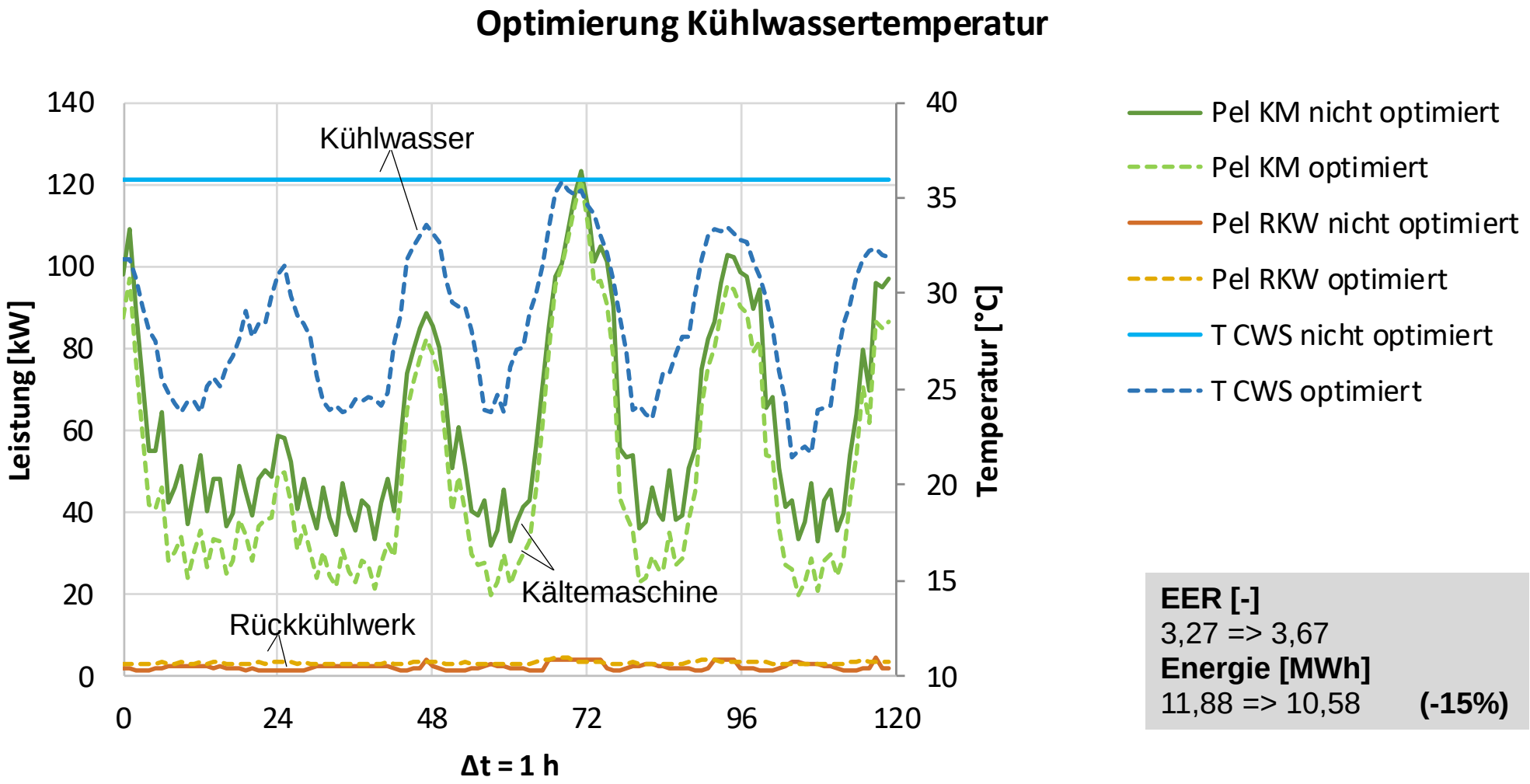
Jeder Disjunct enthält die entsprechenden Constraints!
z.B. $x_i == 0$, $x_j == 1$

ENOS Optimierungs-Workflow



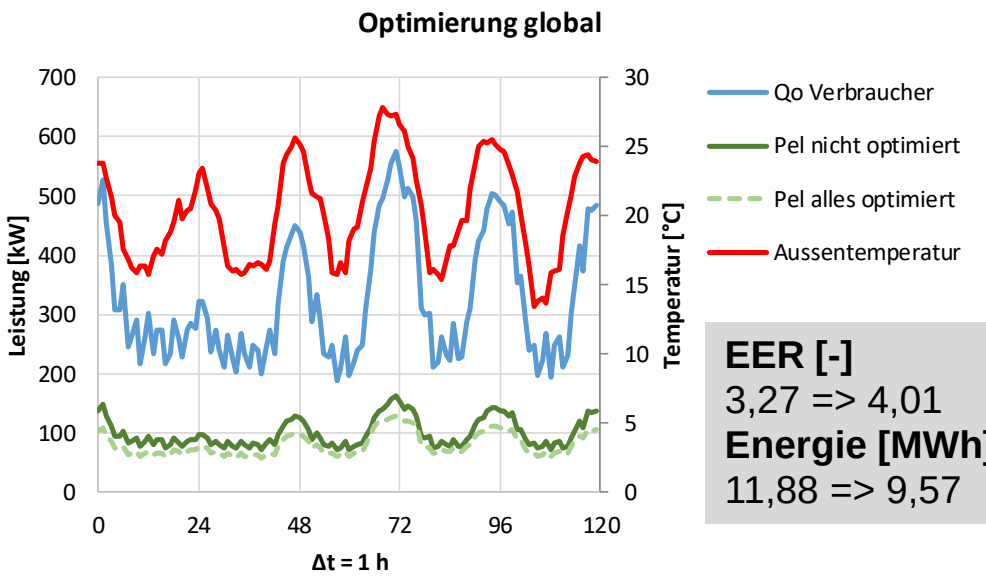
Optimierung mehrerer Instanzen!

Verbesserungspotential durch dynamische Optimierung

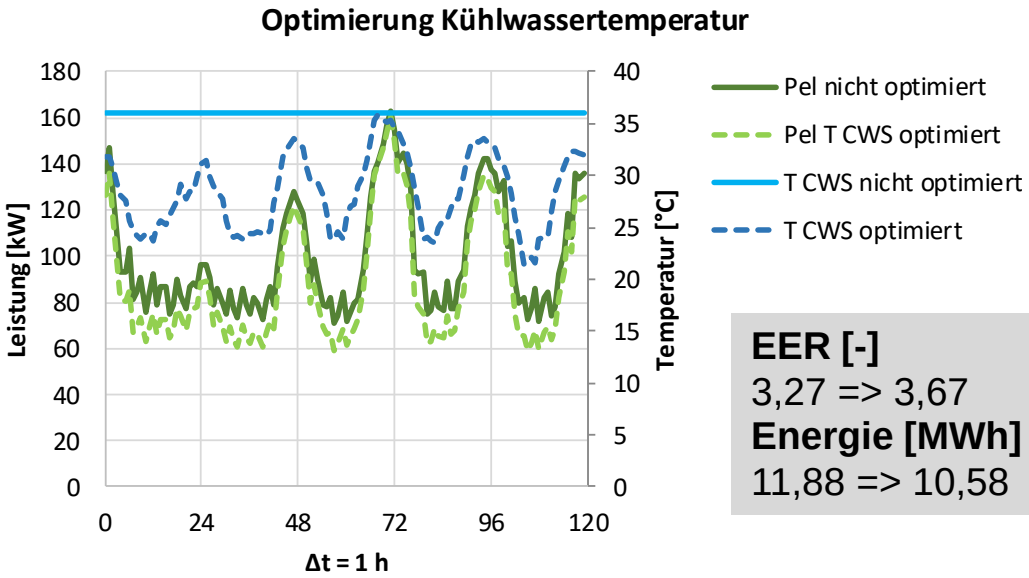


EER [-]
3,27 => 3,67
Energie [MWh]
11,88 => 10,58 **(-15%)**

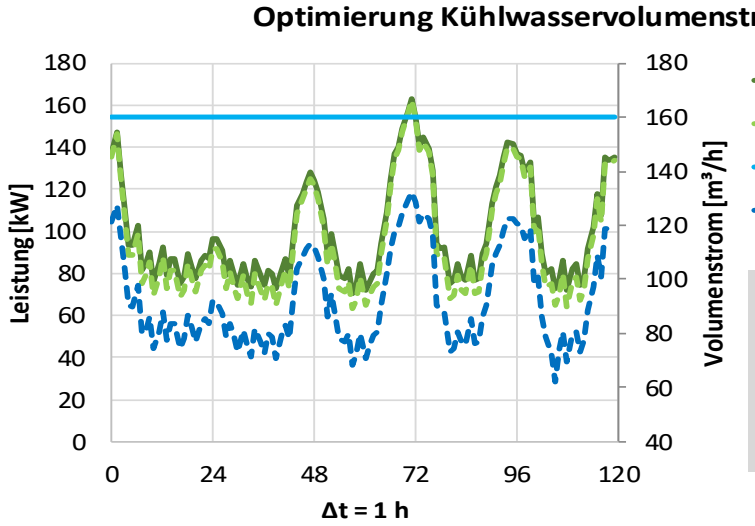
Optimierungsergebnisse (Sommerbetrieb)



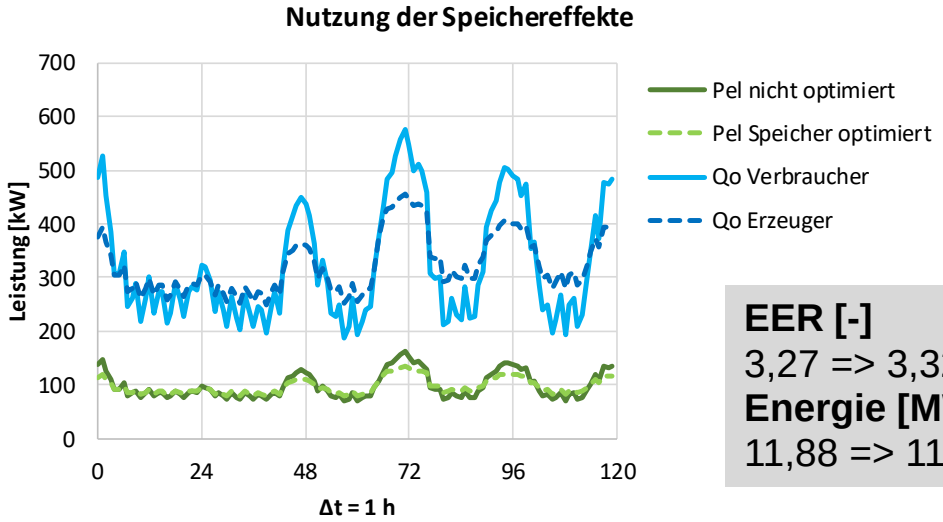
EER [-]
3,27 => 4,01
Energie [MWh]
11,88 => 9,57 **(-27%)**



EER [-]
3,27 => 3,67
Energie [MWh]
11,88 => 10,58 **(-15%)**



EER [-]
3,27 => 3,44
Energie [MWh]
11,88 => 11,31 **(-6%)**



EER [-]
3,27 => 3,32
Energie [MWh]
11,88 => 11,70 **(-2%)**

$\Delta E_{TCW} + \Delta E_{VCW} + \Delta E_{Speicher} \neq \Delta E_{global}$!!!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen
03ETW009A / 03ETW009B

M.Sc. Jörg Bentz

Hochschule München
CENERGIE – Forschungsinstitut
für energieeffiziente Gebäude und Quartiere

T: 089 1265-4384
F: 089 1265-4390
E: joerg.bentz@hm.edu
W: https://www.cenergie.hm.edu

Adresse: Dachauer Str. 100a
80636 München

HM

CENERGIE