Anlagenüberwachung von Wärmepumpen

Automatisierte Identifikation von Betriebszuständen in Wärmepumpensystemen

Bewertung und Verbesserung der Regelung einer RLT-Anlage

Modellbasierte Reglerbewertung als Cloudservice

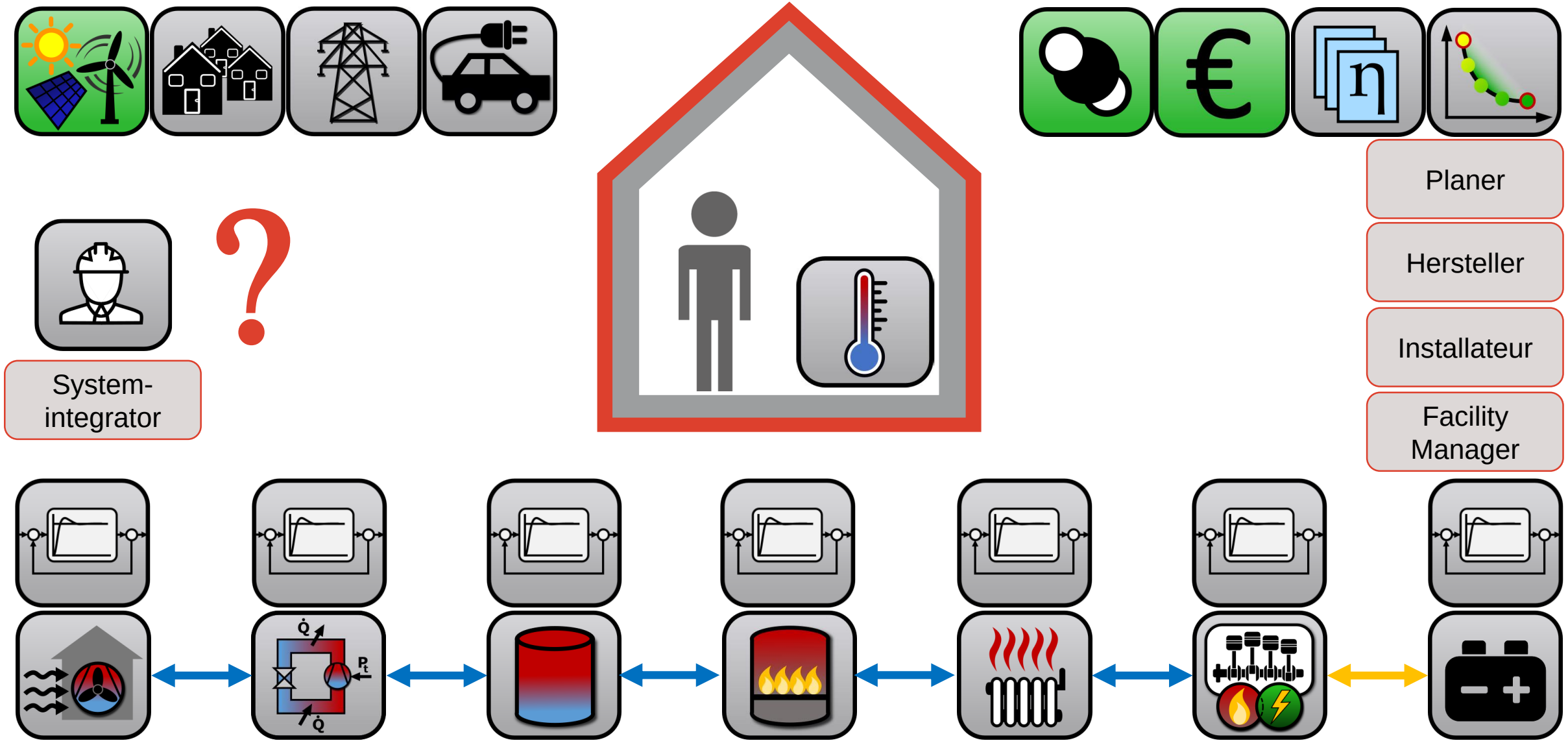
Thomas Storek, M.Sc., Felix Stegemerten, M.Sc.

EBC | Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate

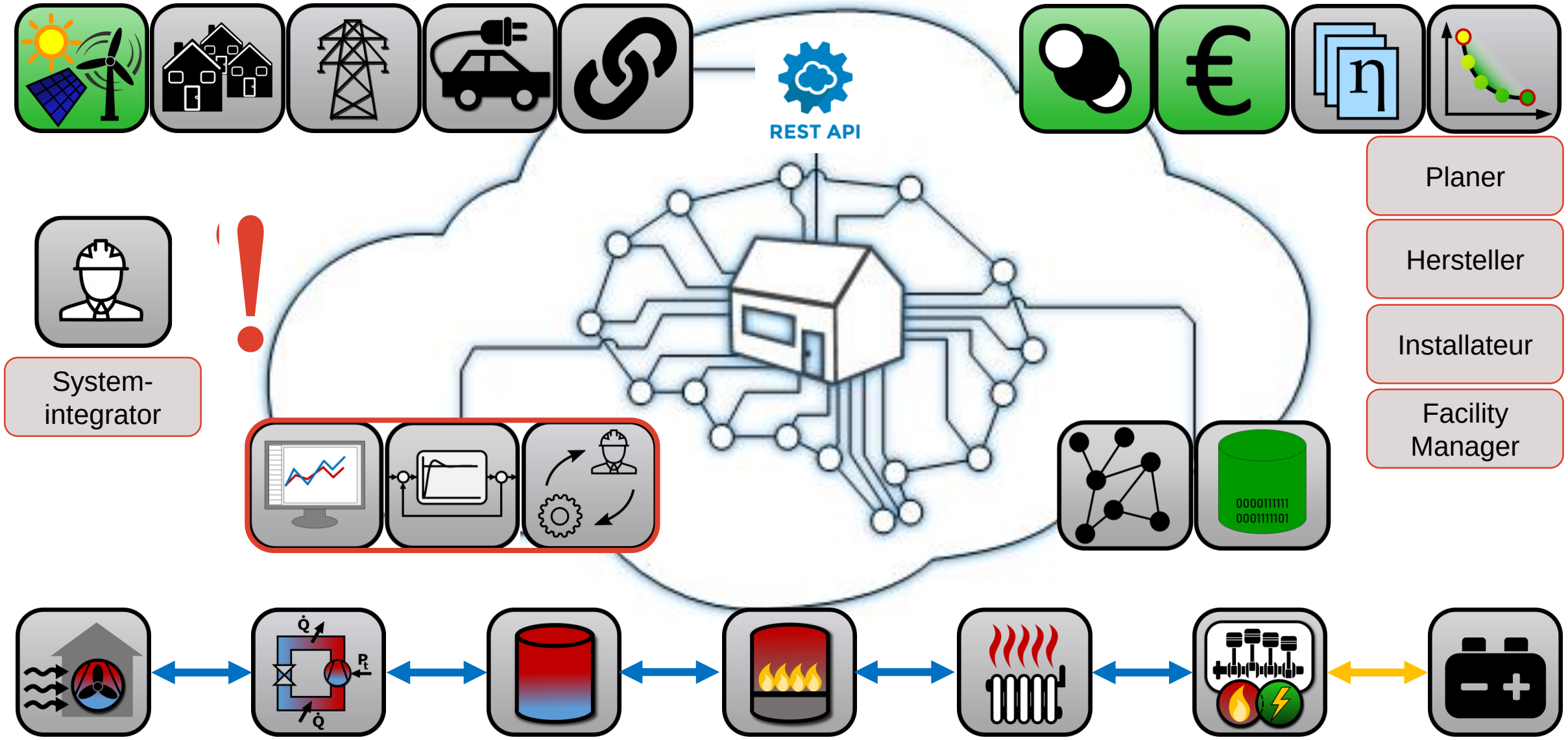
E.ON Energy Research Center

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Aktueller Trend in Gebäudeautomationssystemen

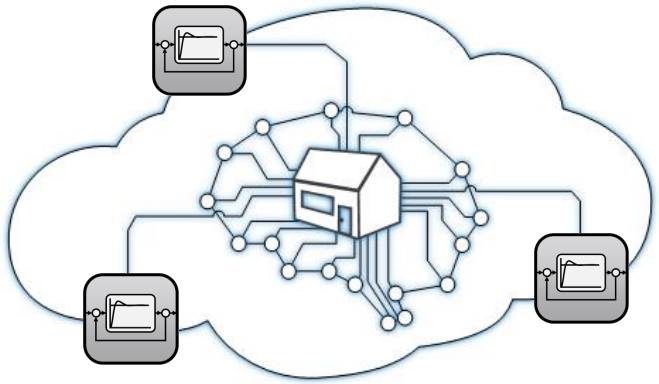


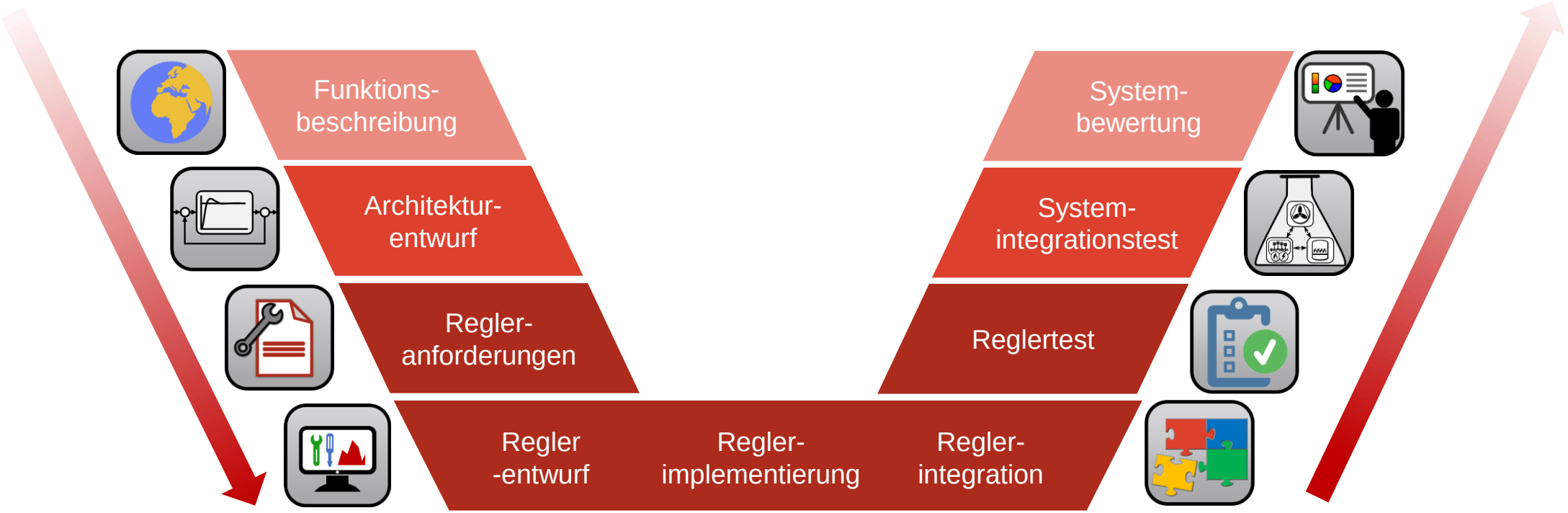
Gebäudeautomationssysteme im Internet der Dinge



E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY

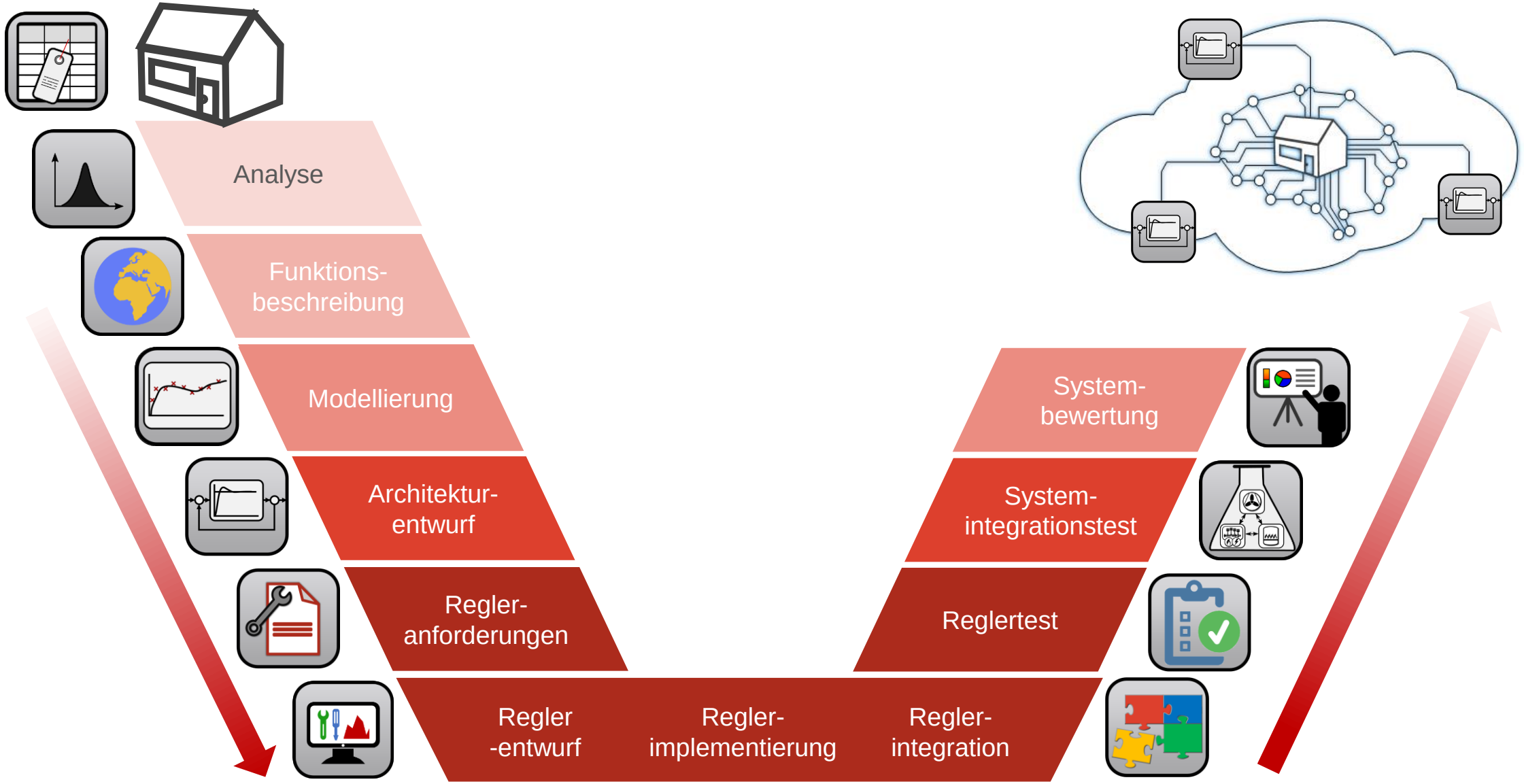
Entwicklung eines modellbasierten Gebäudeautomationsservices





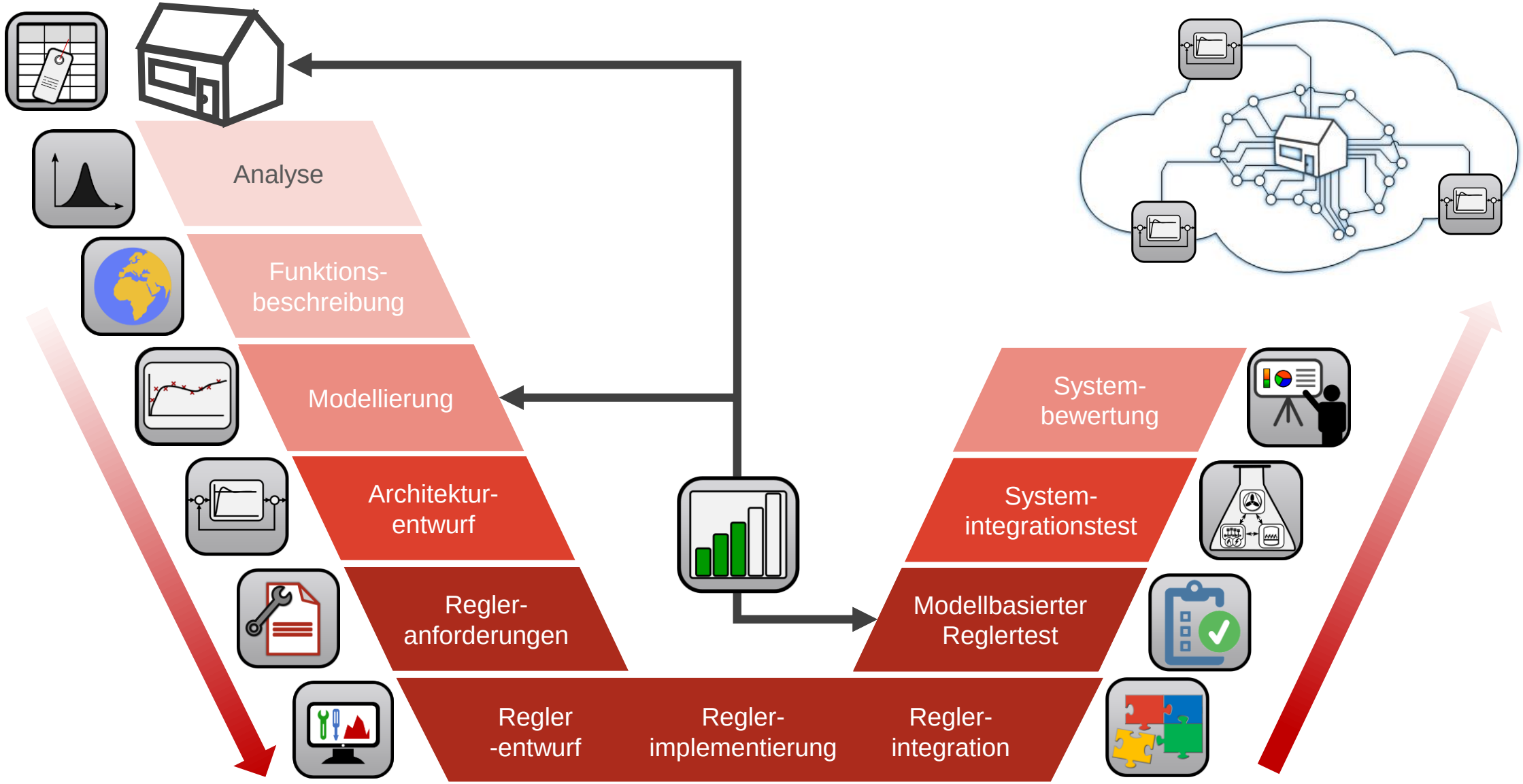
E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Datengetriebene Reglerentwicklung und -bewertung



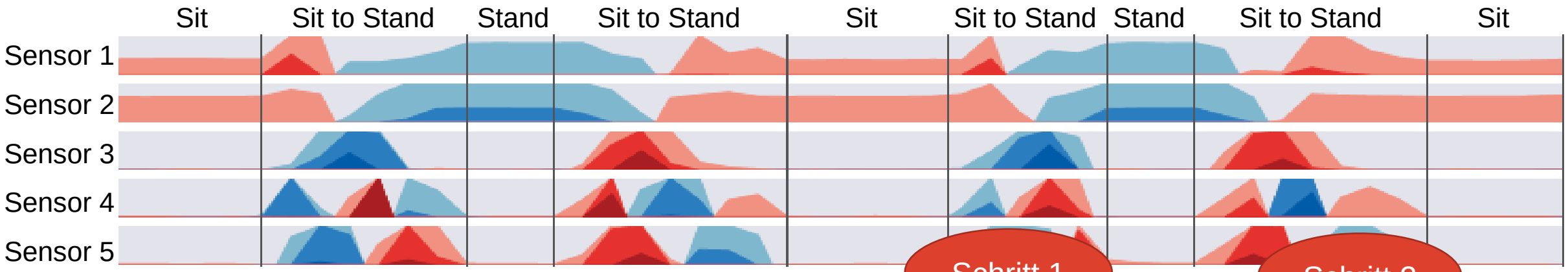
E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Datengetriebene Reglerentwicklung und -bewertung

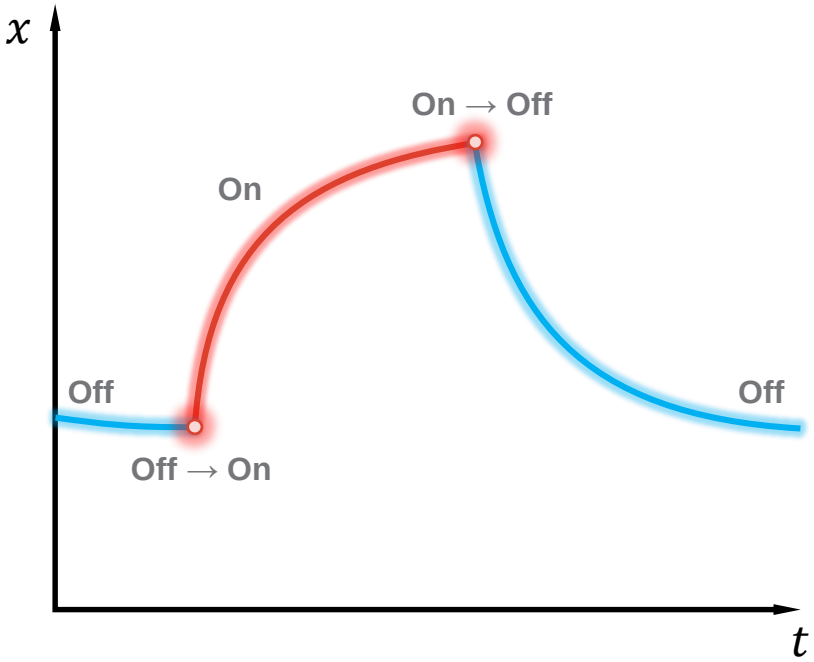


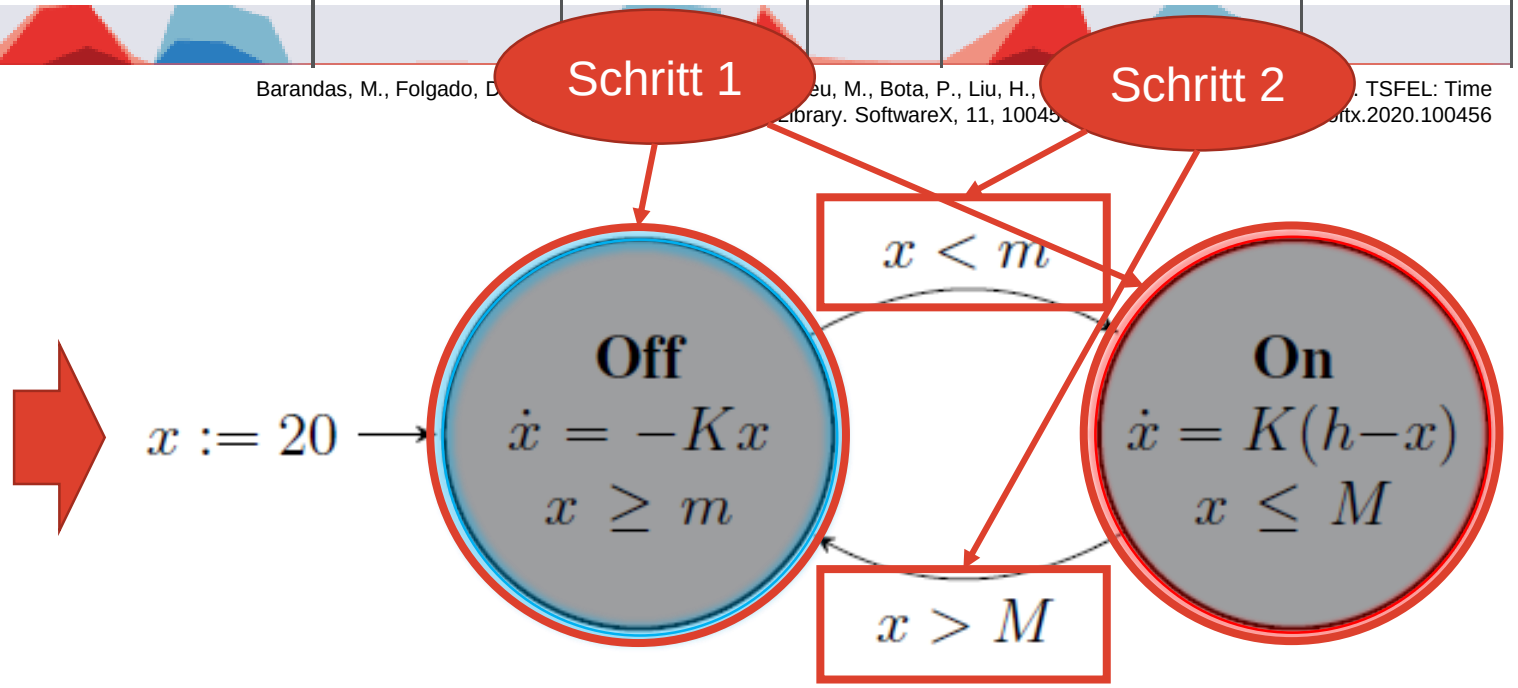
E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Automatische Analyse hybrider System



Barandas, M., Folgado, D. … eu, M., Bota, P., Liu, H., … TSFEL: Time … library. SoftwareX, 11, 10045… …ftx.2020.100456





Alur, R., Courcoubetis, C., Halbwachs, N., Henzinger, T. A., Ho, P.-H., Nicollin, X., Olivero, A., Sifakis, J. & Yovine, S. (1995). The algorithmic analysis of hybrid systems.

Automatische Analyse hybrider System

Schritt 1

Merkmalsauswahl
- Iterative Hinzunahme
- Liste von Merkmalen

Iteration

Clustering
- TICC-Algorithmus
- Segmentierte Zeitreihendaten

Clusteringbewertung
- Segmentierte Sparse Regression
- Root Mean Squarred Error

Finale Segmentierung
- Segmentierung mit Basisalgorithmus
- Root Mean Squarred Error

Schritt 2

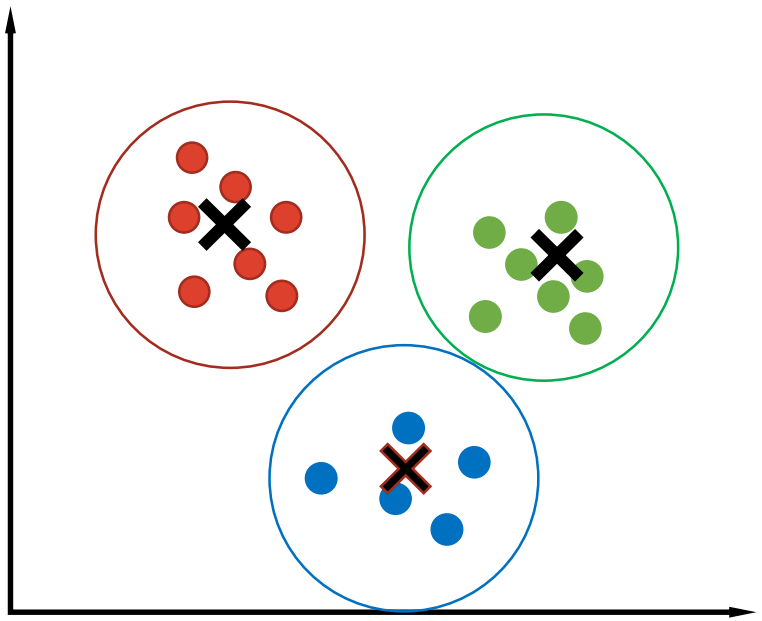
Transitionsregeln
- Segmentanalyse
- Regeln der Form: $A \Longrightarrow B$

Sprungregeln
- Entscheidungsbaum
- Regeln der Form: $A <,> \sigma \Longrightarrow B$

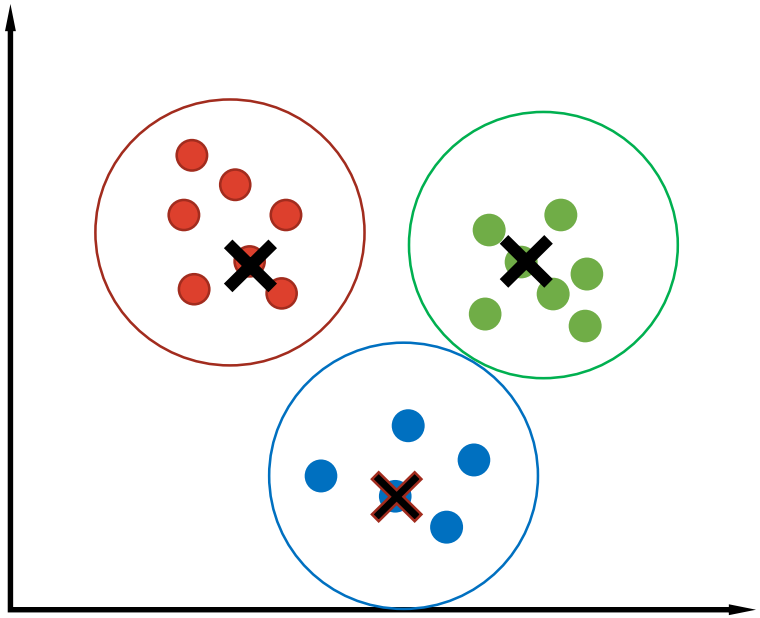
E.ON Energy Research Center
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Referenzalgorithmen mit bekannten Zustandswechseln

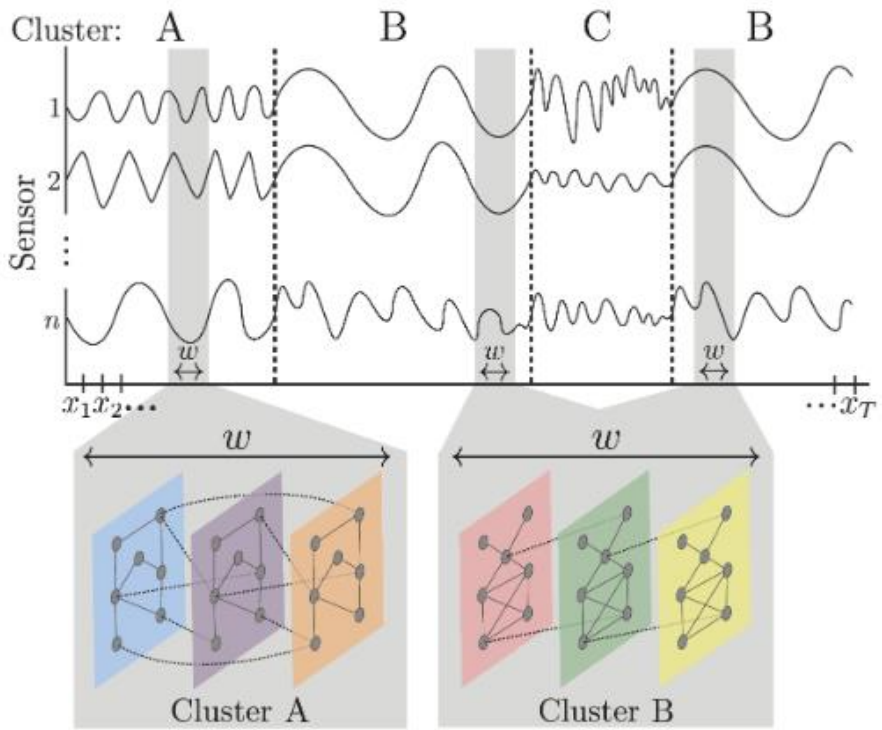
- K-Means (Distance Based)



- K-Medoids (Distance Based)



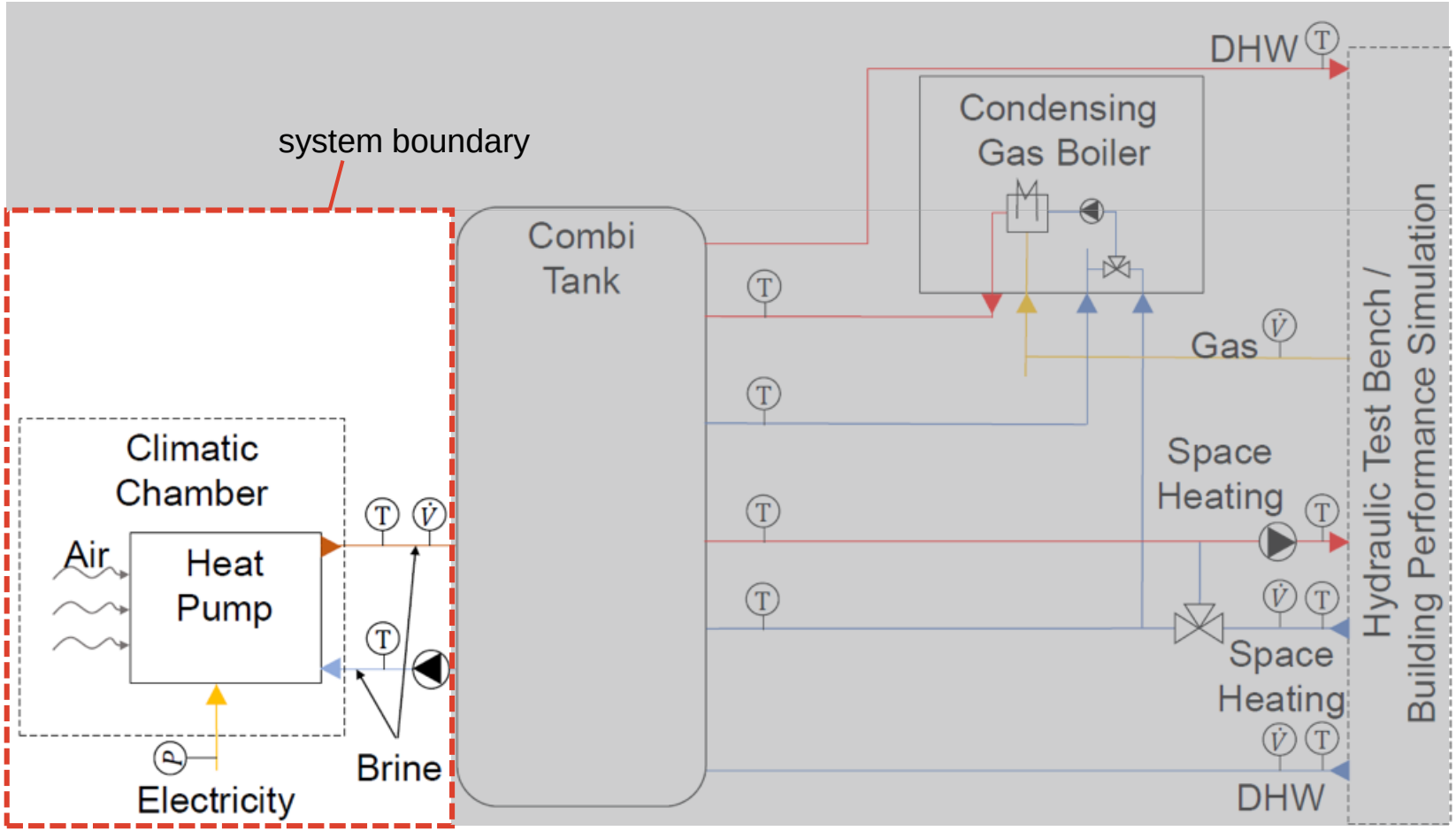
- Toeplitz Inverse Covariance-Based Clustering (TICC) (Model Based)



Hallac, D., Vare, S., Boyd, S., Leskovic, J. (2017) Toeplitz Inverse Covariance-Based Clustering of Multivariate Time Series Data

Messdaten eines Wärmepumpensystems

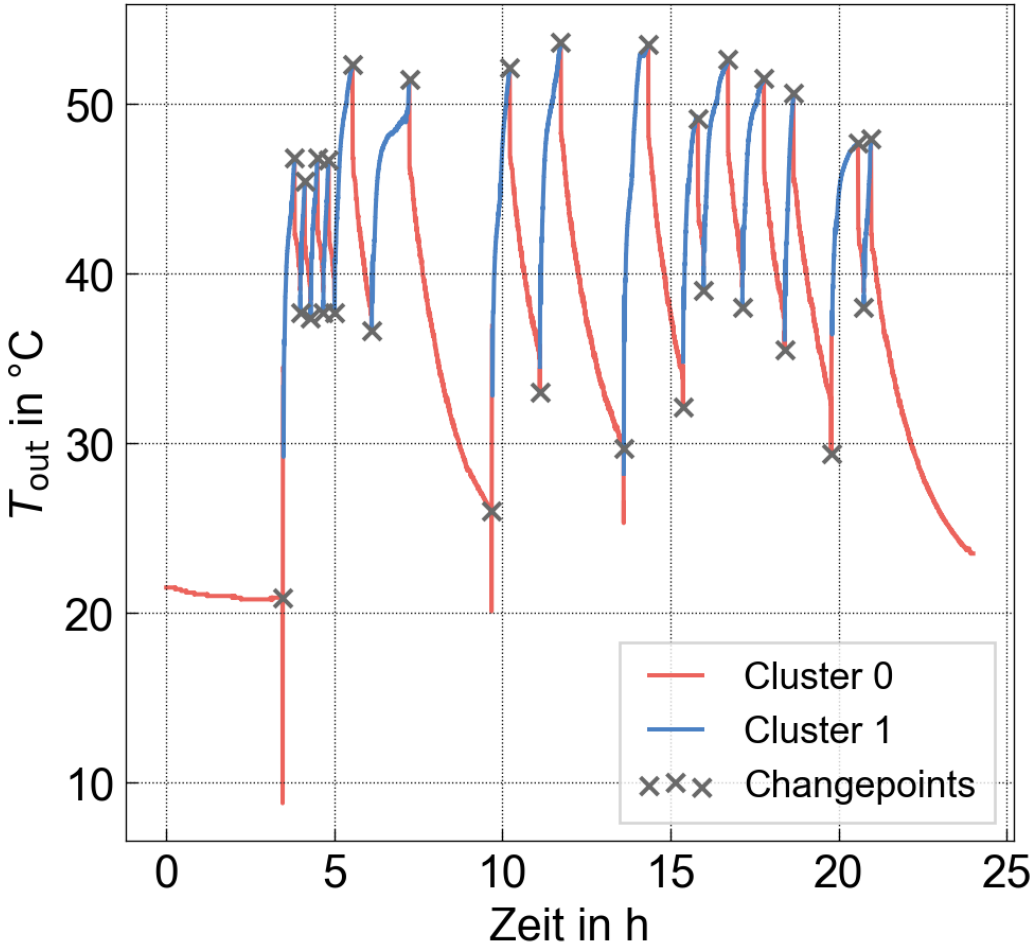
- Messdaten eine Laborexperiments einer Wärmepumpe
- Experimentdauer: 20h
- 5s Abtastrate
- Gemessene Größen
  - Volumenstrom $\dot{V}$
  - Verdichterleistung P_{el}
  - Umgebungstemperatur T_{amb}
  - Eingangstemperatur T_{in}
  - Ausgangstemperatur T_{out}



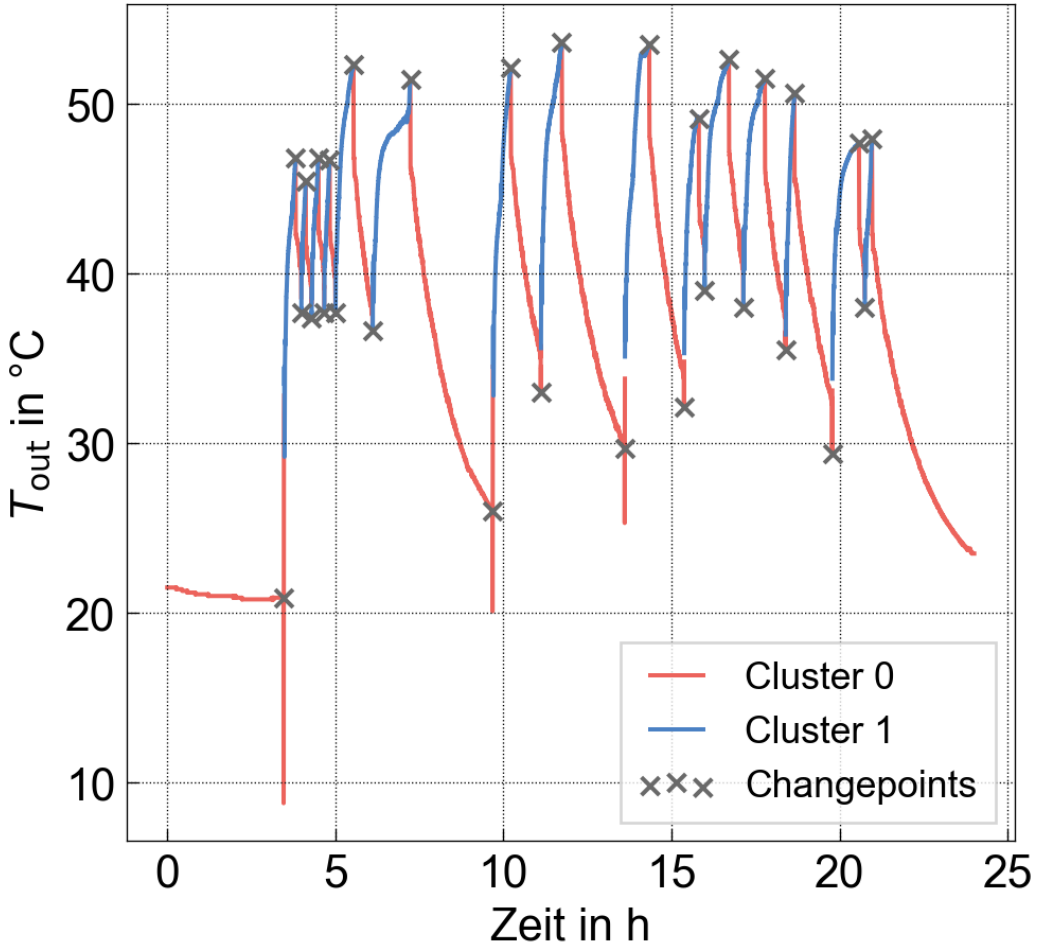
Mehrfeld, P, Steinbach, M., Nürenberg, M., Lauster, M., Müller, D. (2019) Calibration of a Hybrid Heat Pump System and Application of an Energy Manager in Building Performance Simulations

Vergleich der Zustandsidentifikation mit optimierten Vergleichsalgorithmen

- Optimierte Referenz mit Kenntnis der *Ground Truth*
  Average Score: 0.919

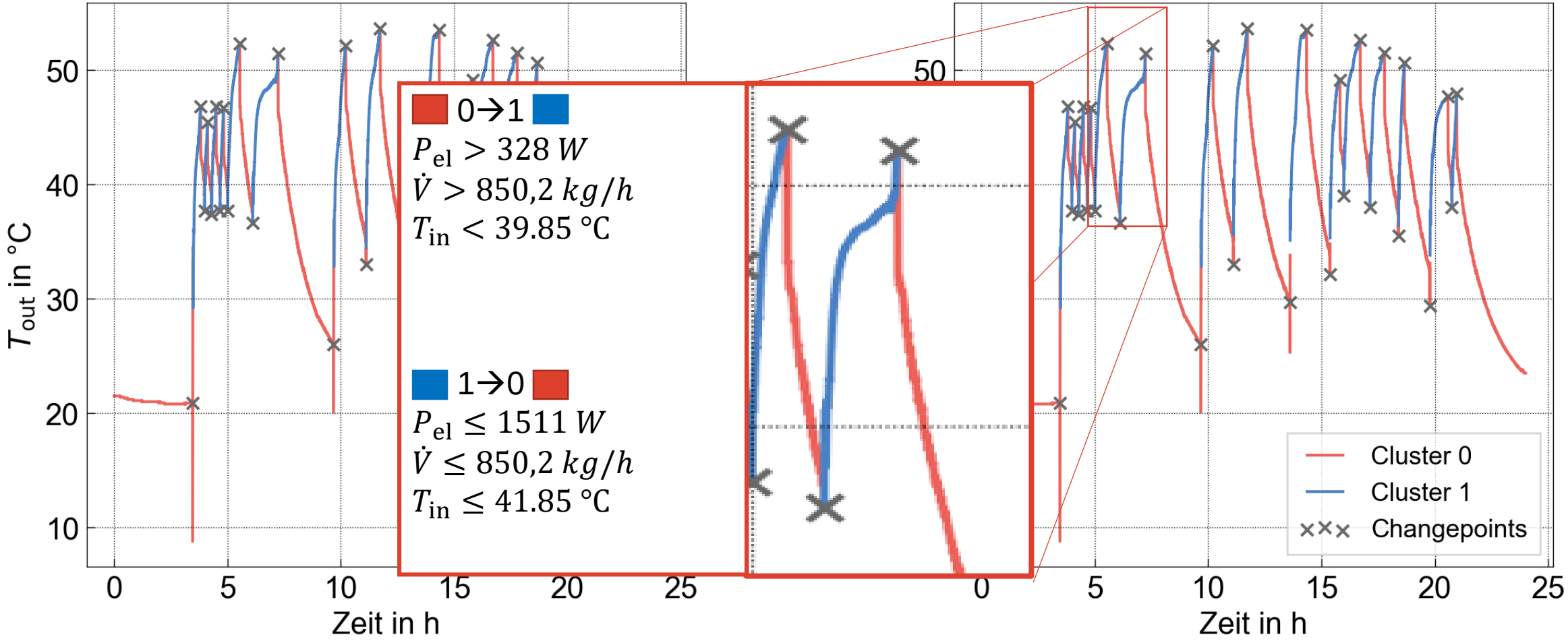


- Neue Methodik **ohne** Kenntnis der *Ground Truth*
  Average Score: 0.931



Regelextraktion aus segmentierten Daten

- Optimierte Referenz mit Kenntnis der *Ground Truth*
  Average Score: 0.919
- Neue Methodik **ohne** Kenntnis der *Ground Truth*
  Average Score: 0.931



Anlagenüberwachung von Wärmepumpen

Automatisierte Identifikation von Betriebszuständen in Wärmepumpensystemen

Bewertung und Verbesserung der Regelung einer RLT-Anlage

Modellbasierte Reglerbewertung als Cloudservice

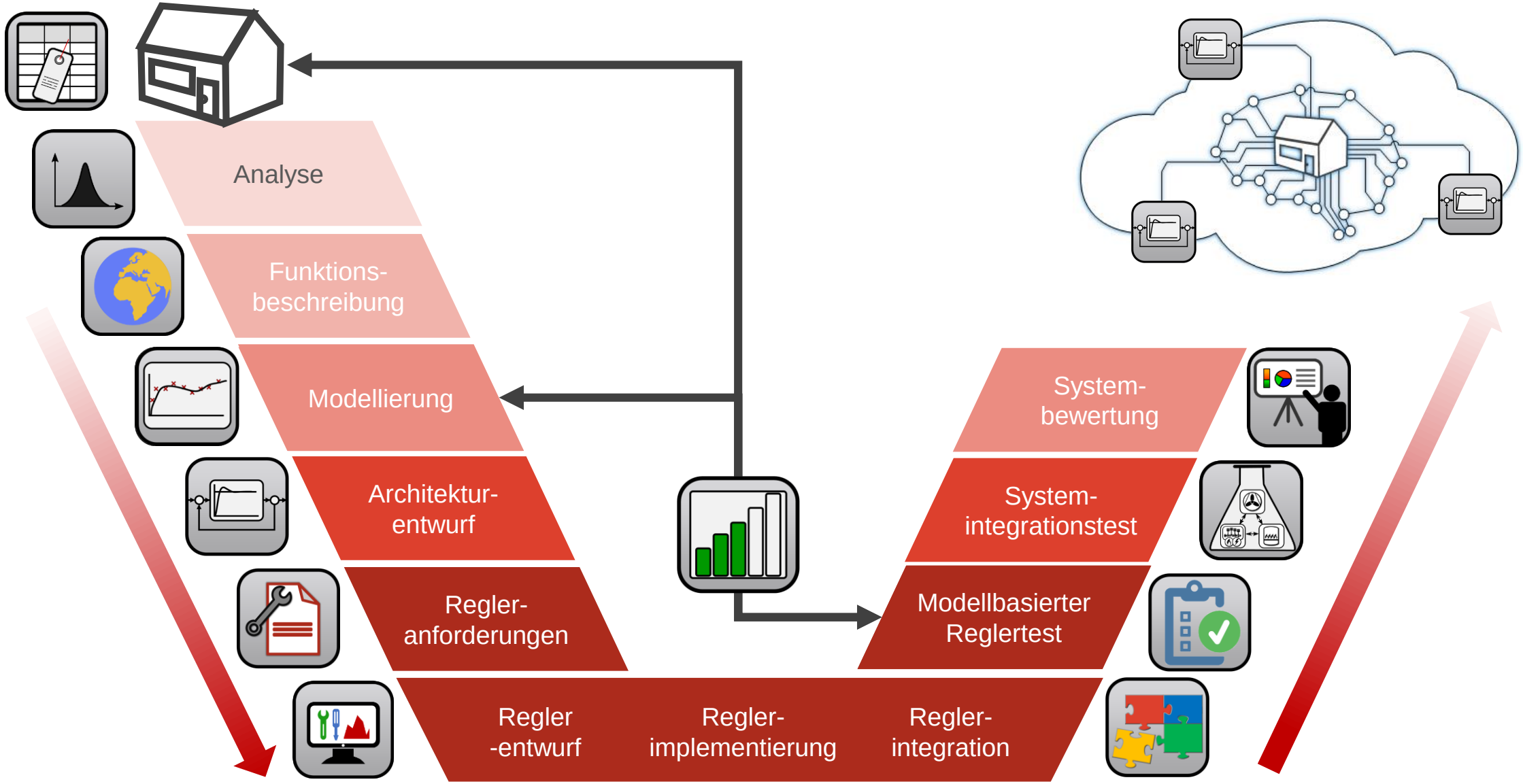
Thomas Storek, M.Sc., Felix Stegemerten, M.Sc.

EBC | Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate

E.ON Energy Research Center

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Datengetriebene Reglerentwicklung und -bewertung



E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Modellbasierte Testmethodik für Gebäudeautomationssysteme

Design of Experiment

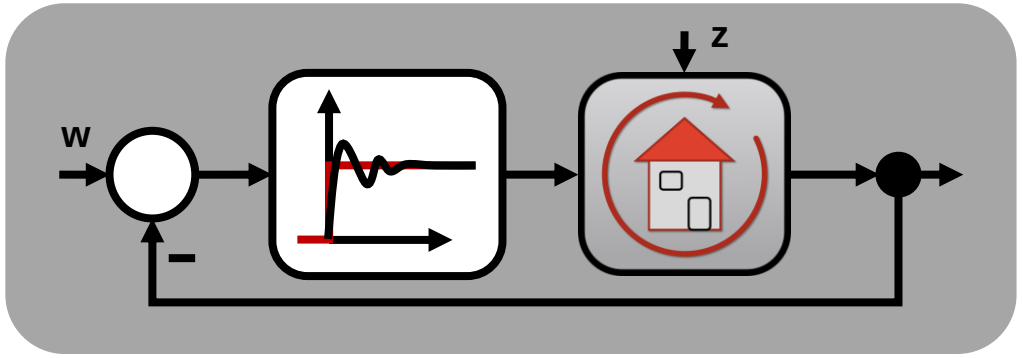
- Auswahl unterschiedlicher Betriebe (Szenarien)
- Erzeugung dynamischer Zustände durch Funktionen

Simulation

- Gekoppelte Simulation von Systemmodell und Regler
- Simulationen über mehrere Worker in der Cloud

KPIs

- Berechnung verschiedener KPIs
- Auswertung und Bewertung der Ergebnisse



Testengine for Building Controllers (teebco)

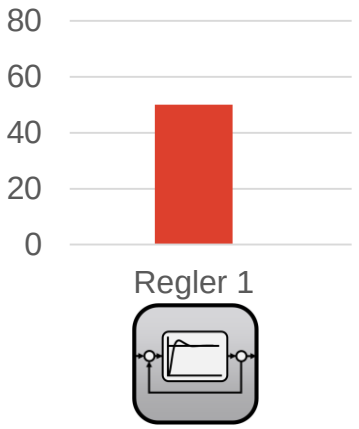
(https://api.bawebcontest.aedifion.io/fmu/ui)

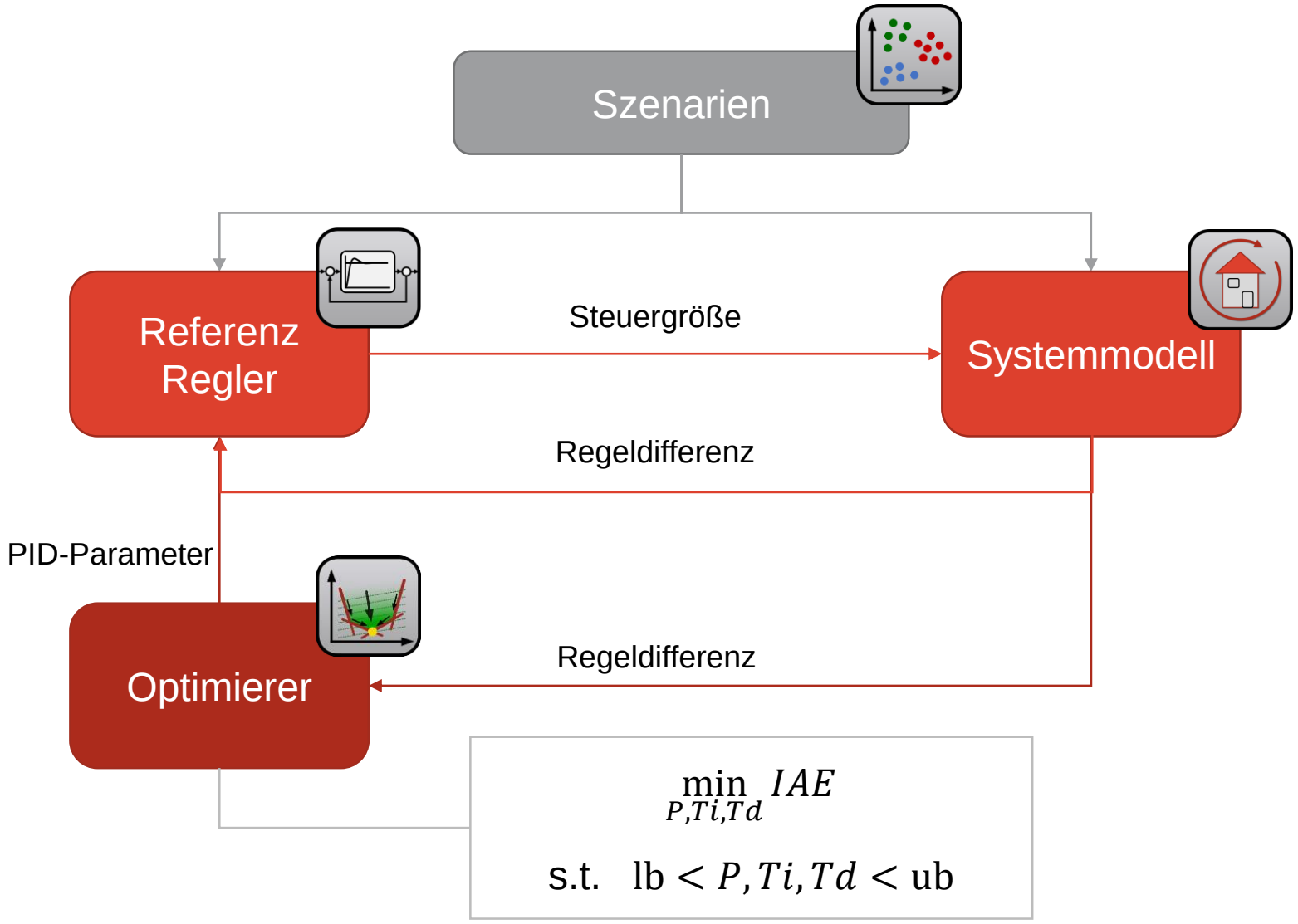
Optimierte Referenzregelung

- Offene Fragen bei Bewertung
  - Was kann der Regler maximal leisten?
  - Was sind optimale KPIs?

- Ansatz über Referenzregelung

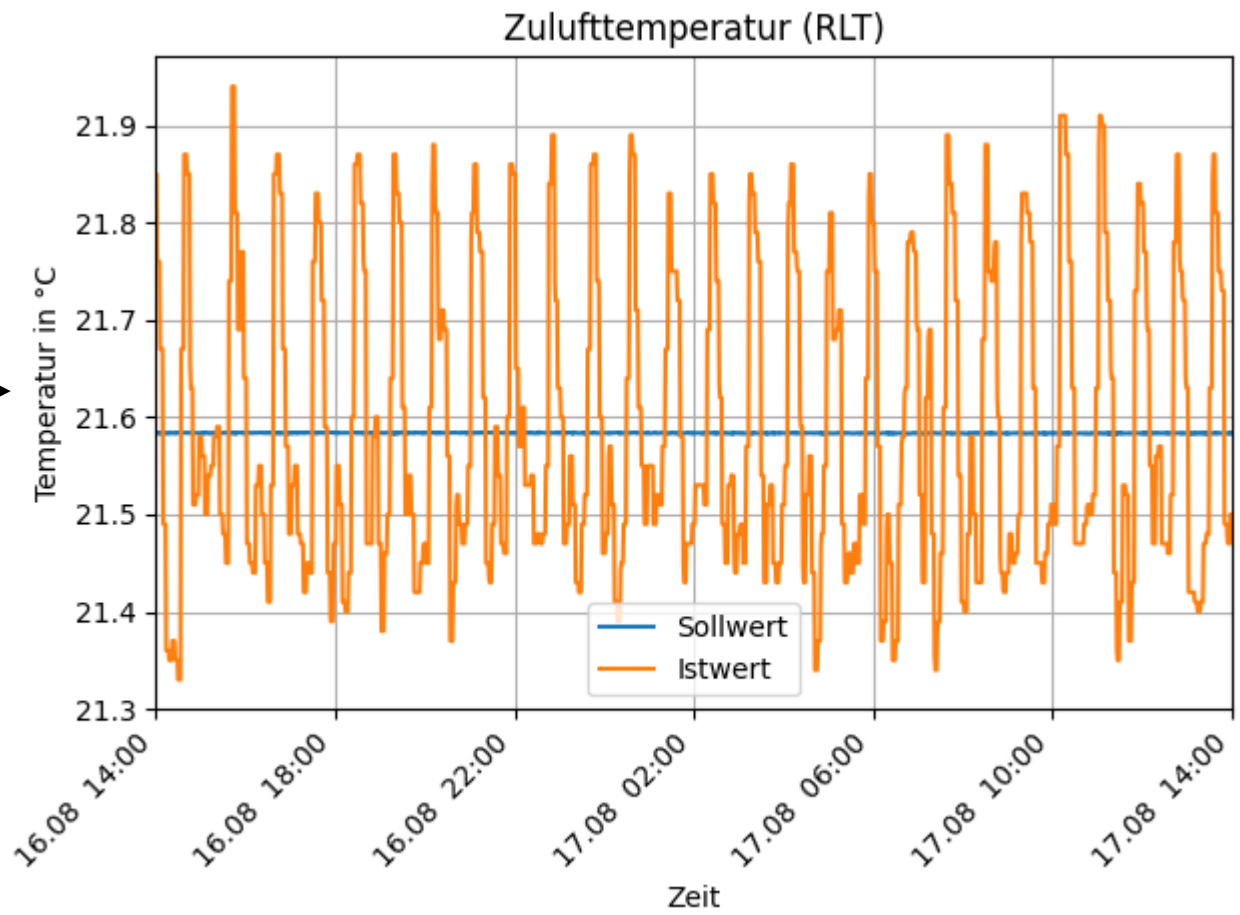
Integral Absoulte Error (IAE)



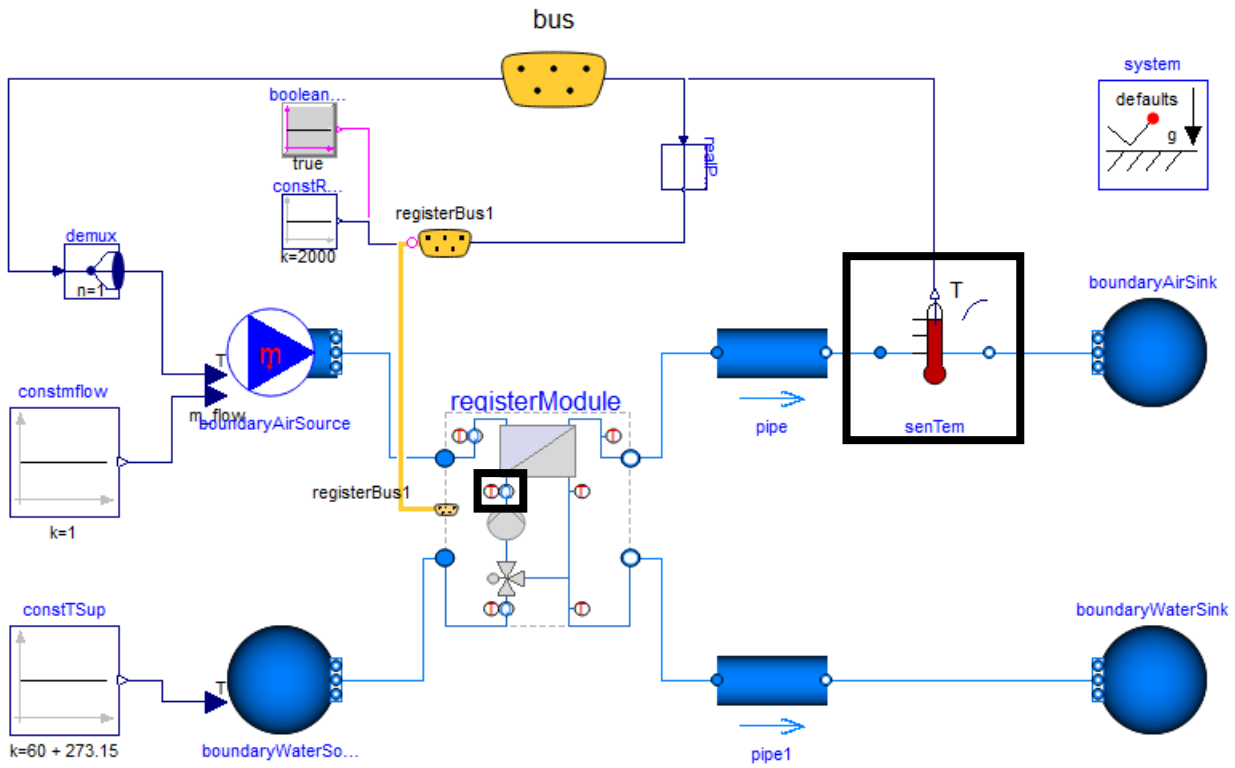


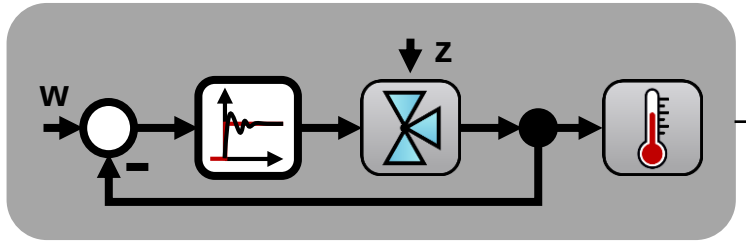
- Optimierung des Referenzreglers
  - Bestmögliches Verhalten
  - Bestimmung optimaler KPIs

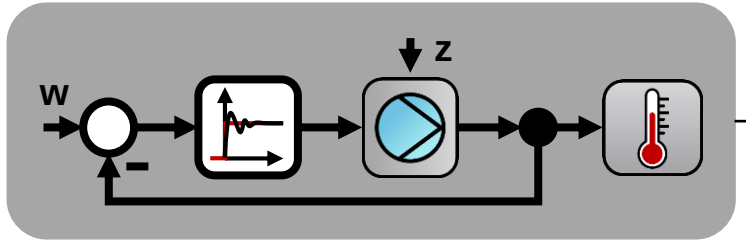
Anwendungsfall und untersuchter Regelkreis



Anwendungsfall und untersuchter Regelkreis



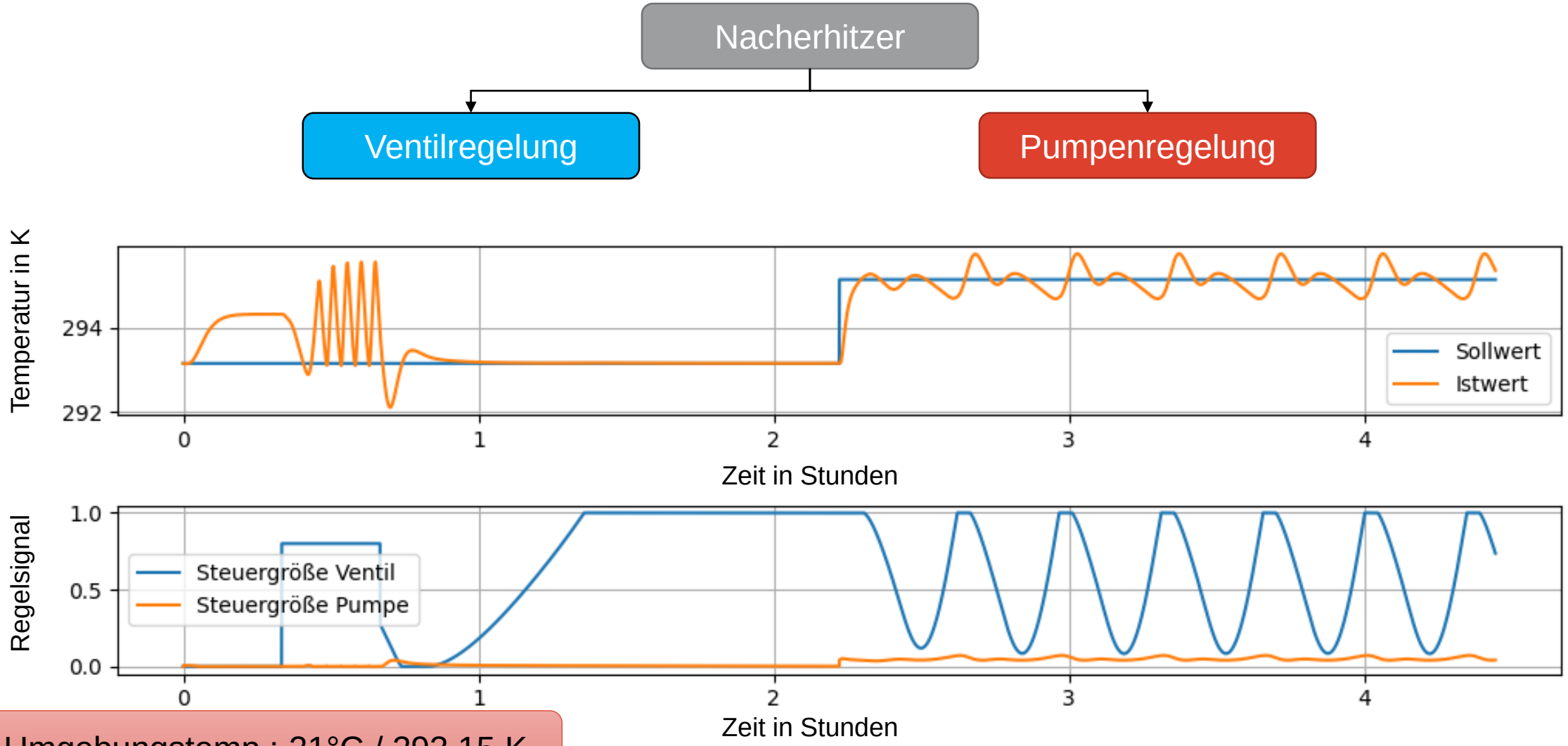




teebco

E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY

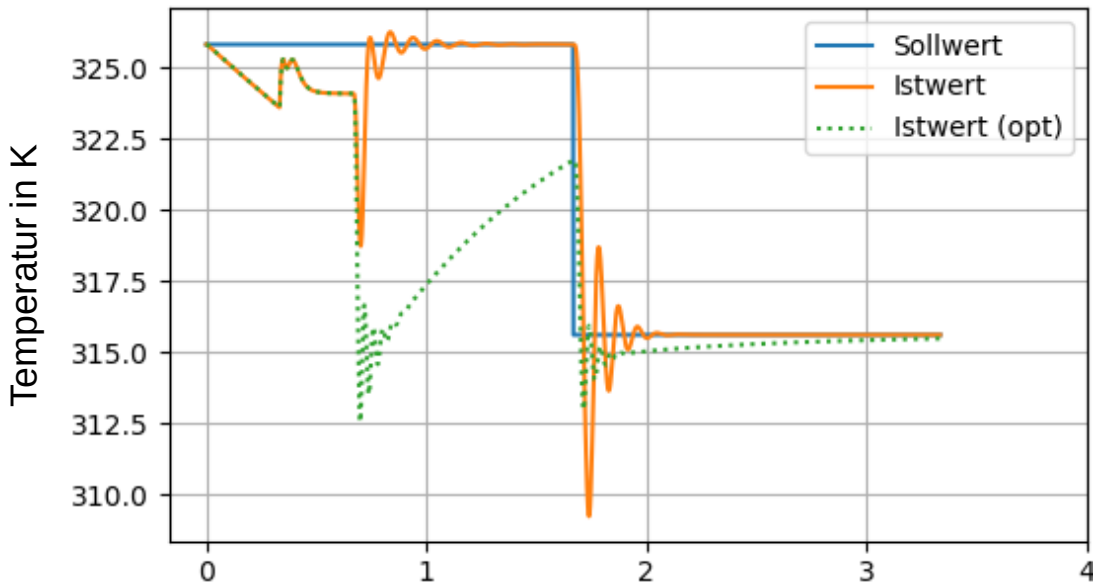
Ursprungszustand der zu untersuchenden Regelung

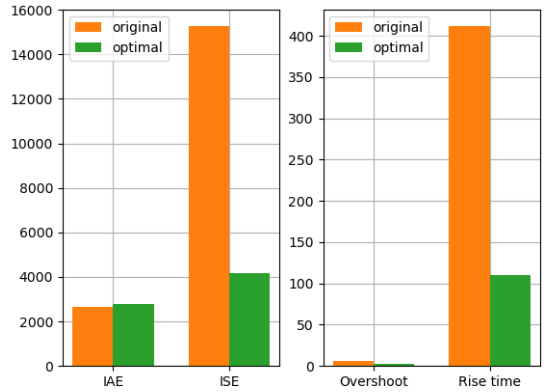


Umgebungstemp.: 21°C / 293,15 K

Ergebnisse der Methodik für einzelne Regelkreise

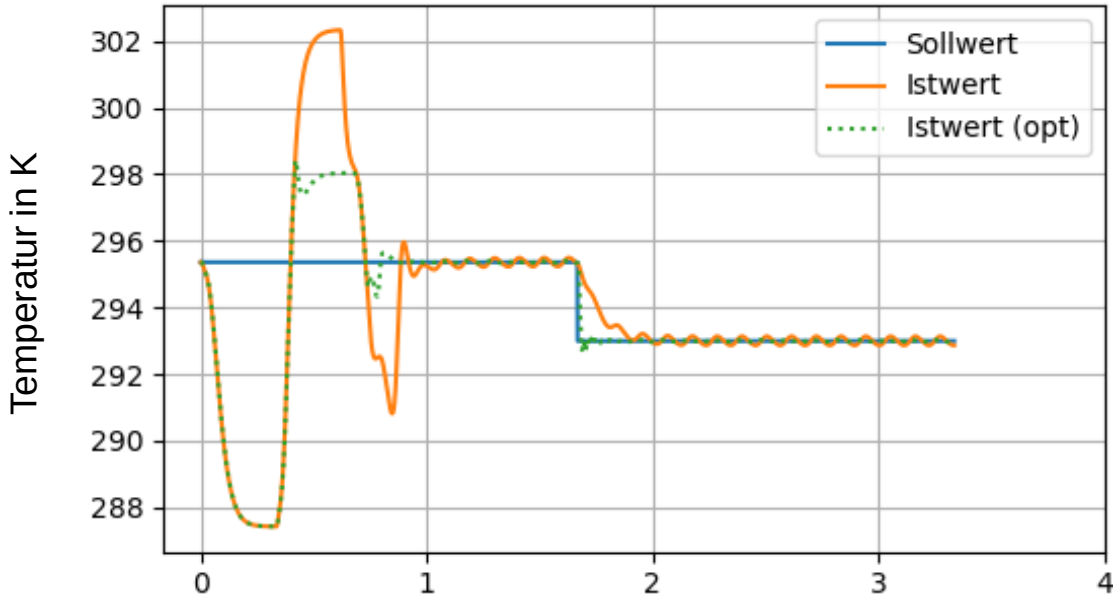
Ventilregelung

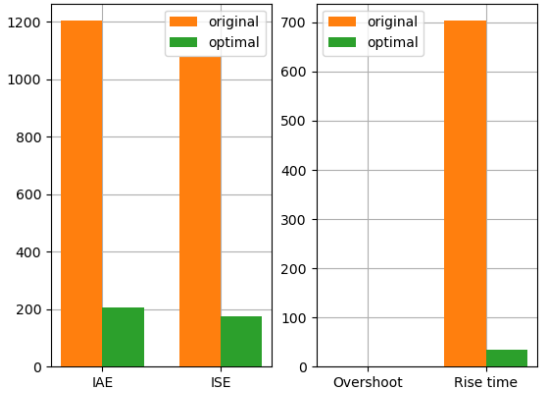




	Original	Optimal
P	0,02	0,001
Ti	100	2246,2
Td	0,01	49,7

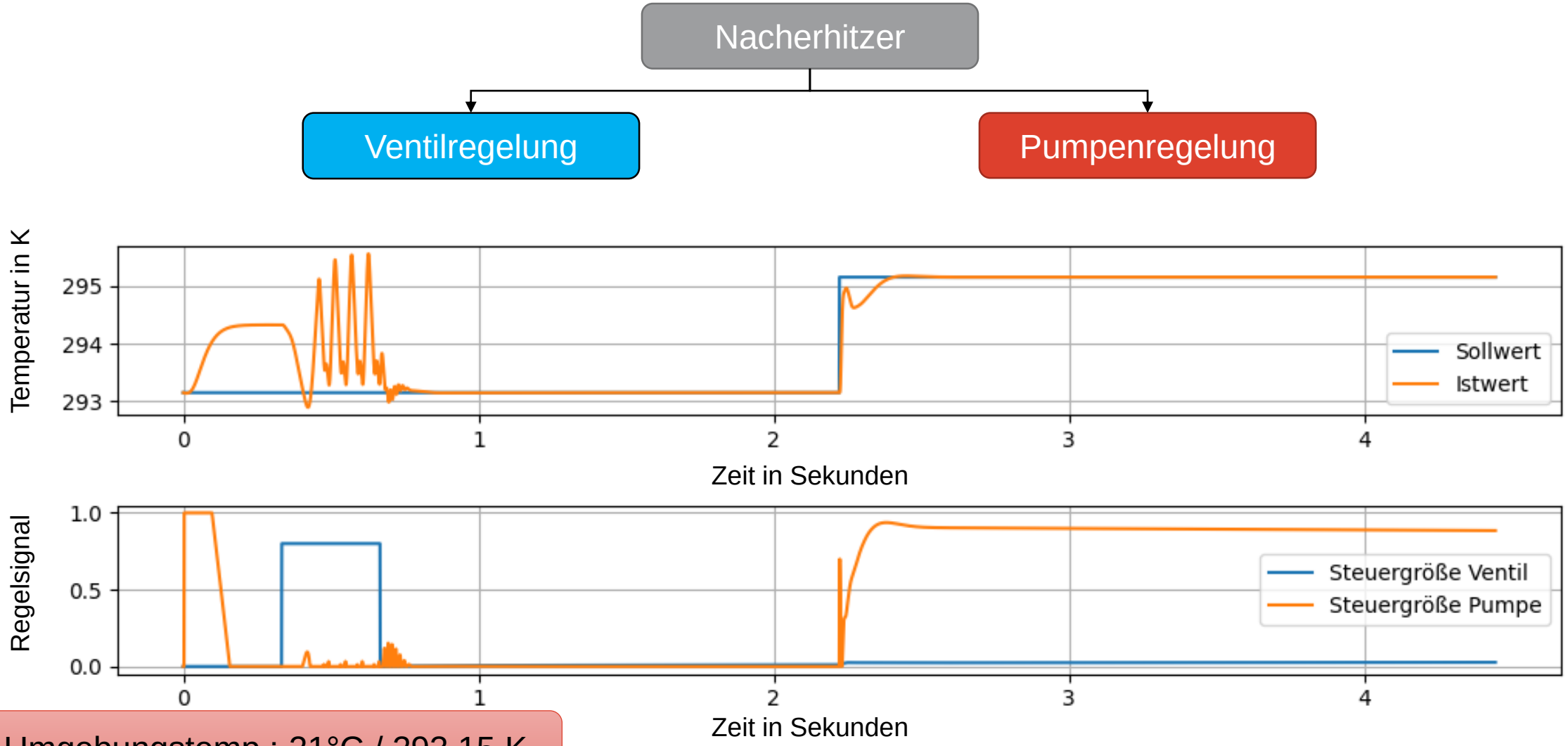
Pumpenregelung





	Original	Optimal
P	0,01	0,33
Ti	20	78,6
Td	0,1	27,1

Verhalten der Anlage mit verbesserter Regelung



Umgebungstemp.: 21°C / 293,15 K

Zusammenfassung und Ausblick

- Direkte Prädiktionsmodellerstellung aus Analysedaten
- Einbettung der Algorithmen in Digitale Zwillinge für Online-Überwachung von Anlagen
- Nutzung der Modelle in modellprädiktiven Regelstrategien
- https://github.com/RWTH-EBC/EnStATS

- Tests am Controller Hardware in the Loop (CHiL)
- Weiterentwicklung der optimalen Referenzregelung und des Nutzeroutputs
- Crowd Testing zum Bewerten des Projekts und des Prototyps

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Wir danken für die finanzielle Unterstützung durch das BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), Förderkennzeichen: 03ET1495A, 03EN1014A

E.ON Energy Research Center
Mathieustraße 10
52074 Aachen
Germany

Thomas Storek
Thomas.Storek@eonerc.rwth-aachen.de
http://www.eonerc.rwth-aachen.de

Felix Stegemerten
Felix.Stegemerten@eonerc.rwth-aachen.de
http://www.eonerc.rwth-aachen.de

EBC | Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate | E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY