Betriebsoptimierung auf Basis des BACtwin

Potenziale der KI-basierten Optimierung

Max Berktold

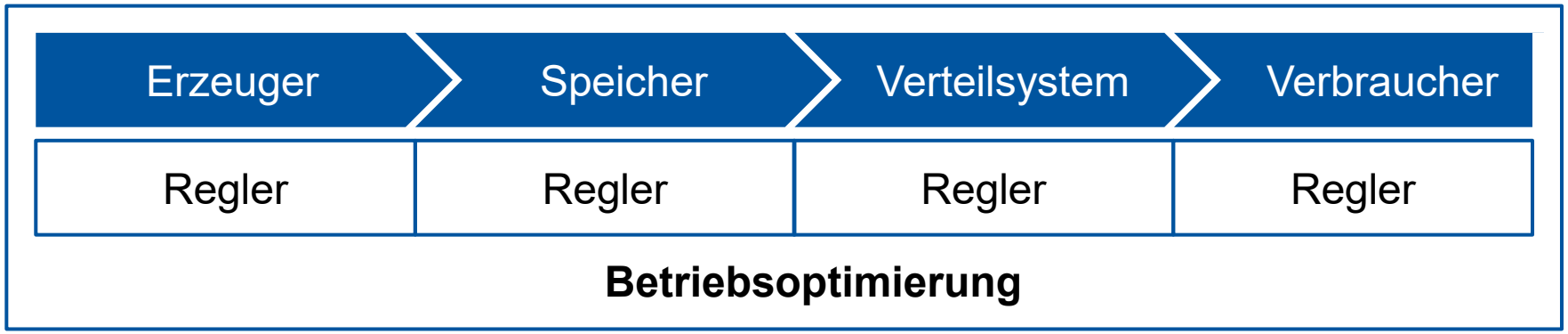
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

+49 241 80-49792
max.berktold@eonerc.rwth-aachen.de

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Betriebsoptimierung wird notwendig, um den **Energieverbrauch des Gebäudesektors** zu senken

- Politisches und wirtschaftliches Interesse an einem sinkenden Energieverbrauch
- Ca. 40% des weltweiten Energieverbrauchs entstehen im Gebäudesektor[1]
- Zunehmend komplexe Gebäudeenergiesysteme
  - Geothermie, Solar- und Windkraft, Wärmepumpen, Energiespeicher, Flächenheizungen

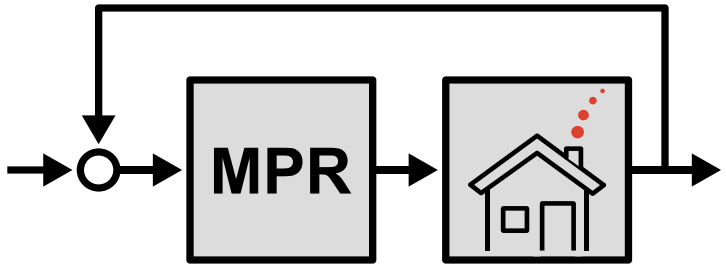


1. Dr. Faith Birol, World Energy Outlook 2022

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die **Modellprädiktive Regelung** kann den Energieverbrauch von Gebäuden signifikant senken

Funktionsweise



Optimierung:
$\min(J)$
$lb \leq g(x) \leq ub$

Modell:
$\dot{x} = f(x, u, d)$
$y = h(x, u, d)$

Verwendung eines **mathematischen Modells** zur **Optimierung** der Stellgrößen

Vorteile

- Regelung von **Mehrgrößensystemen**
- Berücksichtigung von **Vorhersagen**
- Ausnutzen von **Flexibilitäten**
- Individuelle **Zielsetzung**

Herausforderung

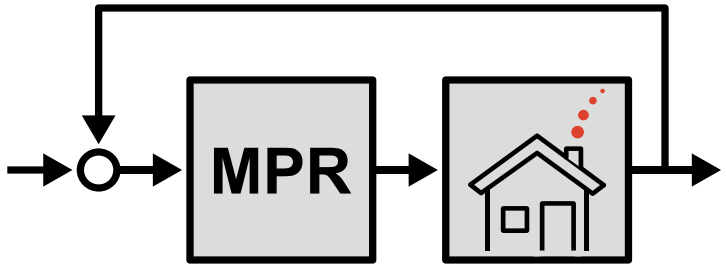
Gebäude sind **unterschiedlich**

Kosten- und **zeitaufwendige** Konfiguration

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die **Modellprädiktive Regelung** kann den Energieverbrauch von Gebäuden signifikant senken

Funktionsweise



Optimierung:
$\min(J)$
$lb \leq g(x) \leq ub$

Modell:
$\dot{x} = f(x, u, d)$
$y = h(x, u, d)$

Verwendung eines **mathematischen Modells** zur **Optimierung** der Stellgrößen

Vorteile

- Regelung von **Mehrgrößensystemen**
- Berücksichtigung von **Vorhersagen**
- Ausnutzen von **Flexibilitäten**
- Individuelle **Zielsetzung**

Herausforderung

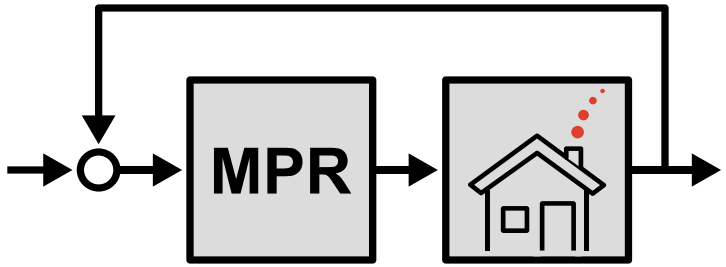
Gebäude sind **unterschiedlich**

Kosten- und **zeitaufwendige** Konfiguration

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die **Modellprädiktive Regelung** kann den Energieverbrauch von Gebäuden signifikant senken

Funktionsweise



Optimierung:
$\min(J)$
$lb \leq g(x) \leq ub$

Modell:
$\dot{x} = f(x, u, d)$
$y = h(x, u, d)$

Verwendung eines **mathematischen Modells** zur **Optimierung** der Stellgrößen

Vorteile

- Regelung von **Mehrgrößensystemen**
- Berücksichtigung von **Vorhersagen**
- Ausnutzen von **Flexibilitäten**
- Individuelle **Zielsetzung**

Herausforderung

Gebäude sind **unterschiedlich**

Kosten- und **zeitaufwendige** Konfiguration

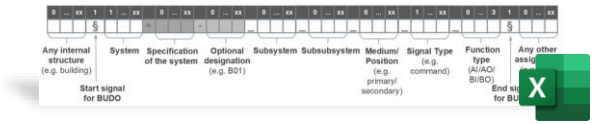
E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die Konfiguration modellprädiktiver Regler ist **Kosten-** und **Zeitaufwendig**

Manuelle Datenaufbereitung

Grundriss

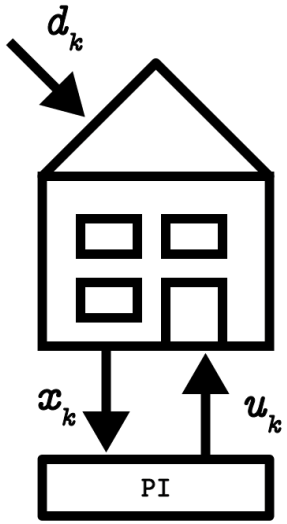
Hydraulikschema



Datenpunktliste

Hoher Aufwand

Manuelle Modellierung

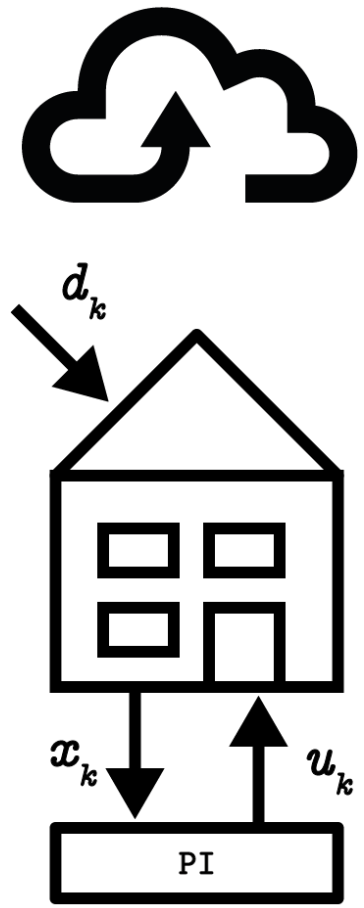


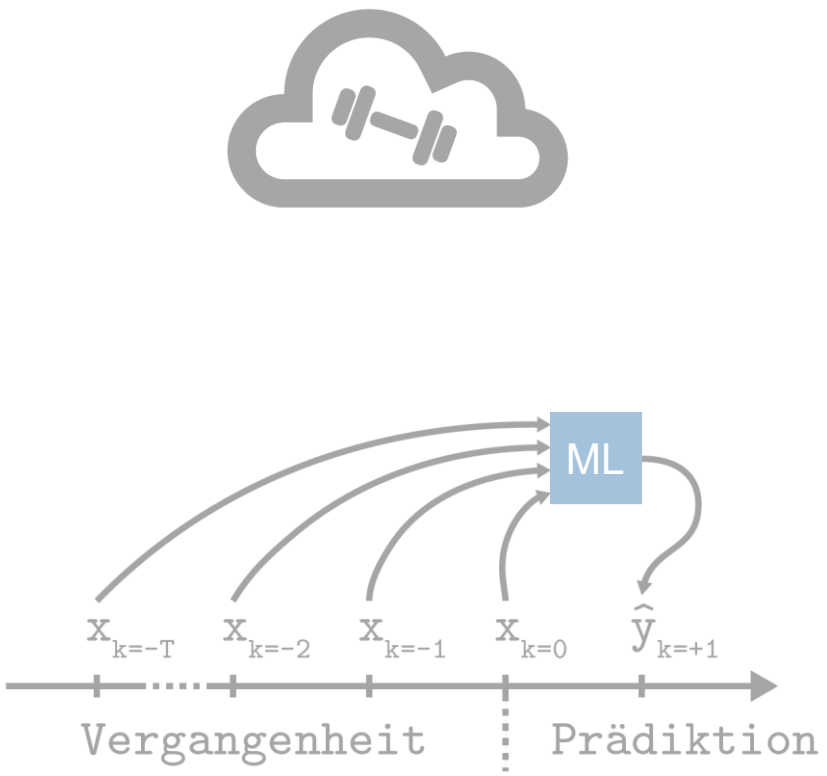
$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

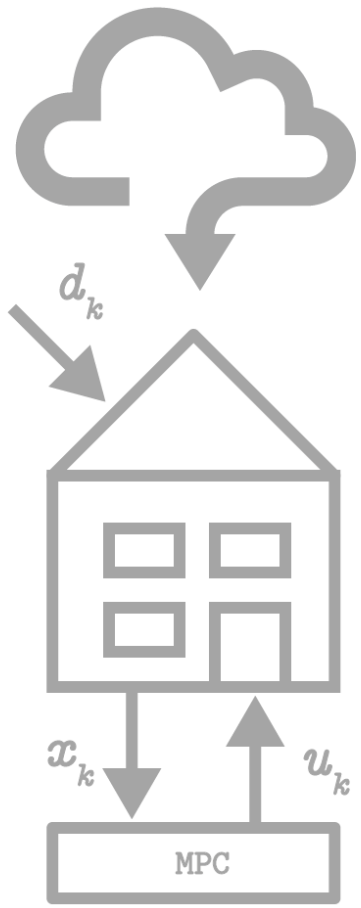
Hoher Aufwand

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bei der datengetriebenen Modellierung wird das Systemverhalten anhand von Betriebsdaten gelernt



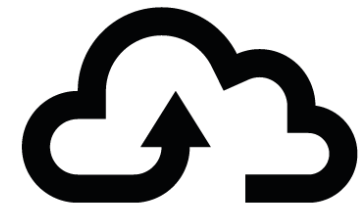


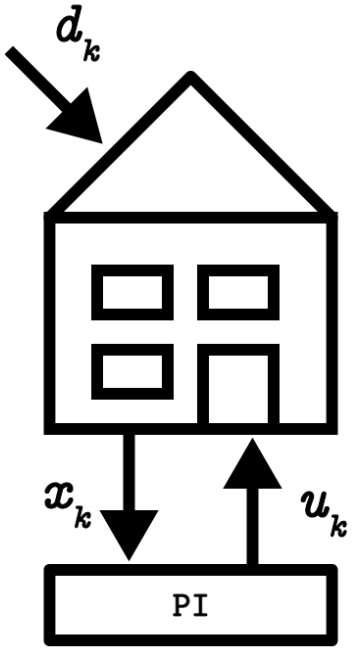


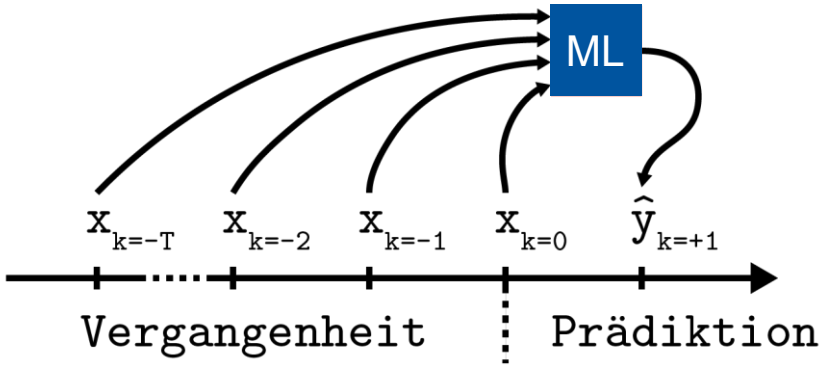
Betrieb Aufnehmen → Modelle Trainieren → Modellprädiktiv regeln

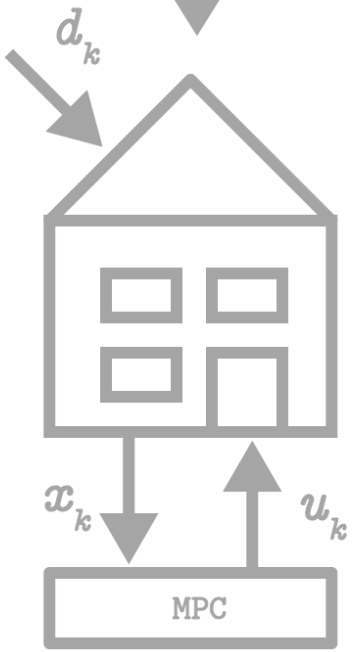
E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bei der datengetriebenen Modellierung wird das Systemverhalten anhand von Betriebsdaten gelernt





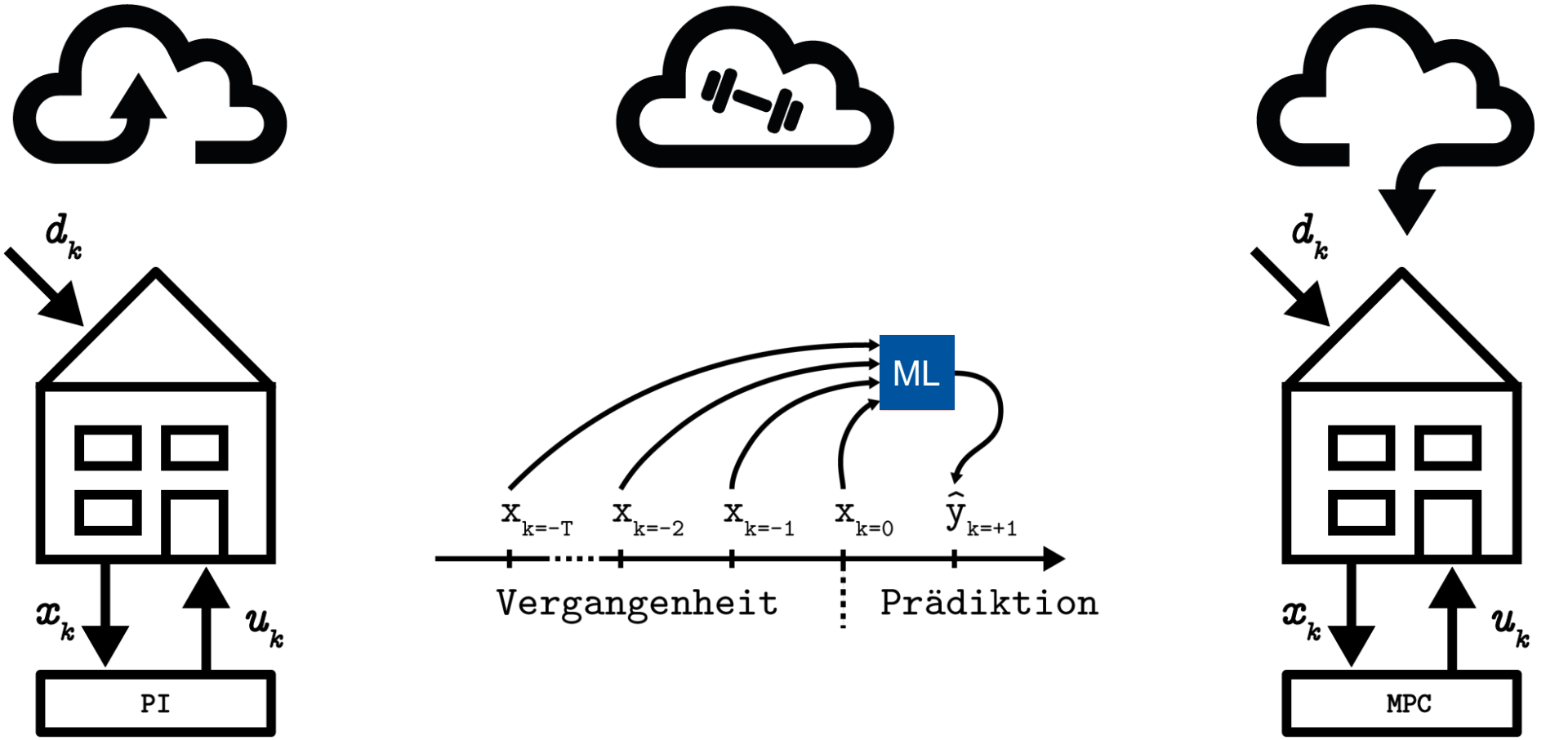




Betrieb Aufnehmen → Modelle Trainieren → Modellprädiktiv regeln

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bei der datengetriebenen Modellierung wird das Systemverhalten anhand von Betriebsdaten gelernt



Betrieb Aufnehmen → Modelle Trainieren → Modellprädiktiv regeln

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

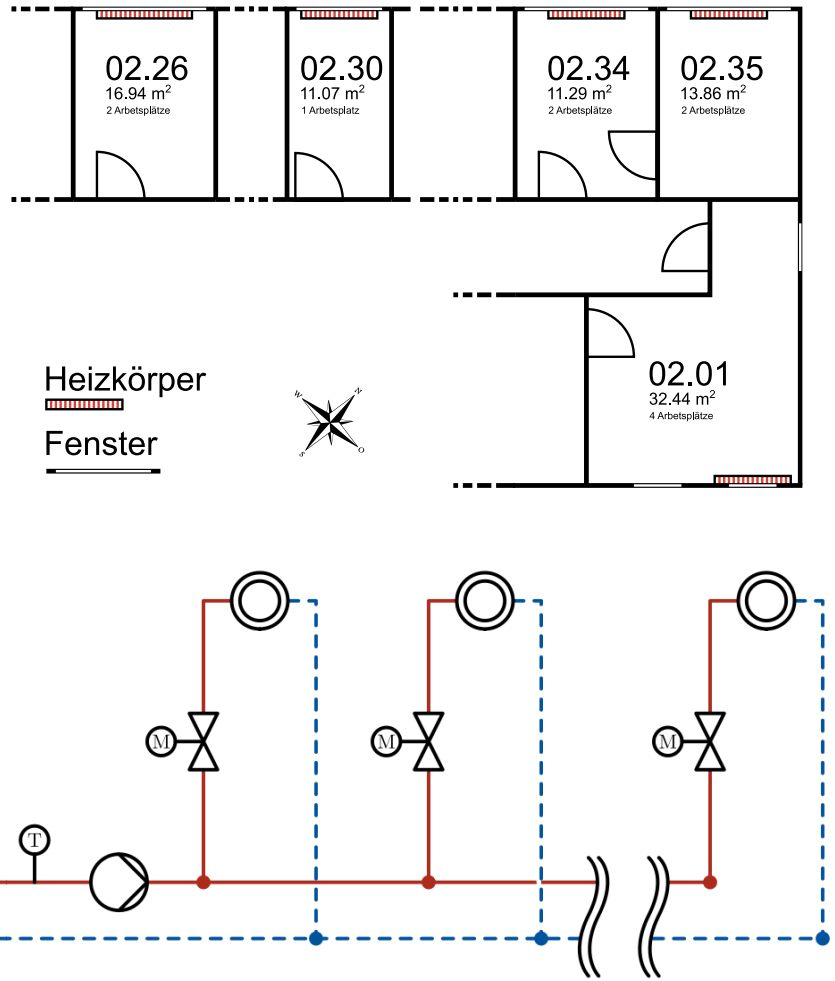
Betriebsoptimierung durch maschinelles Lernen am **realen System**

Interimsgebäude
Mathieustraße, 30
52074 Aachen

Testhalle
Mathieustraße, 10
52074 Aachen

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Betriebsoptimierung durch maschinelles Lernen am **realen System**



Unterschiede in...

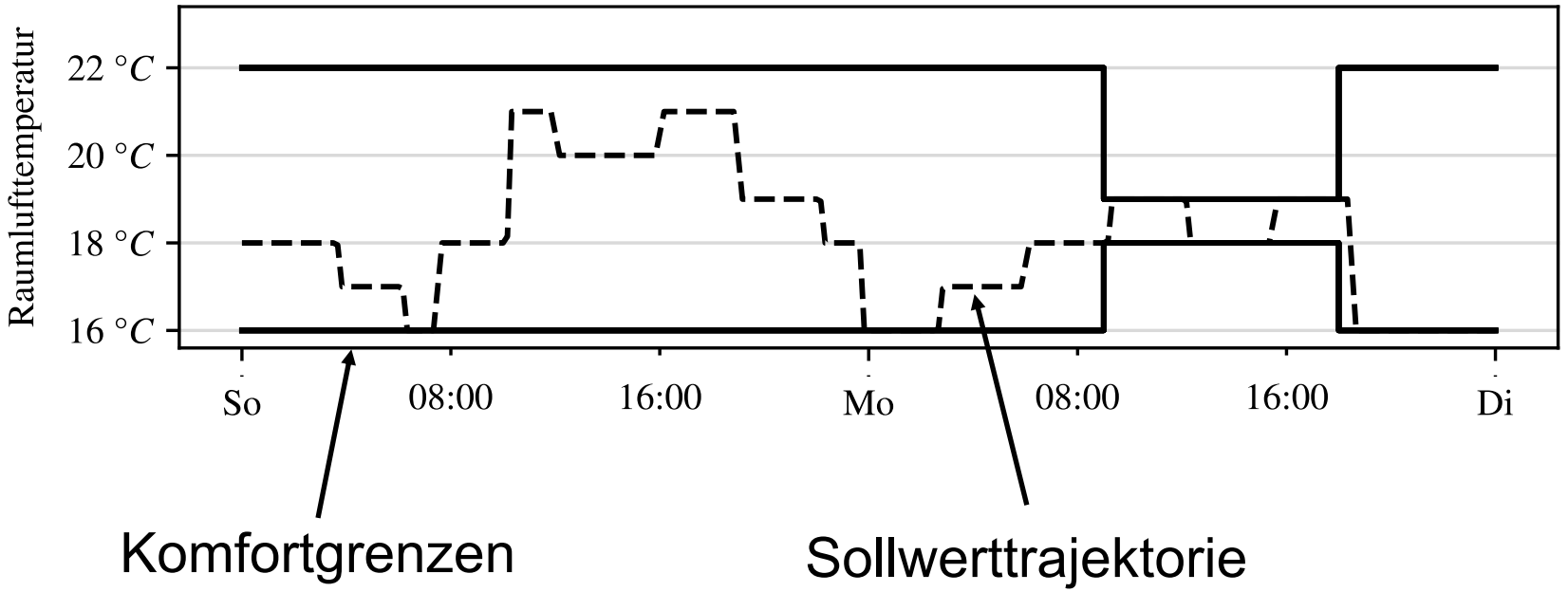
- Größe
- Ausrichtung
- Nutzung

Infrastruktur:

- Smarte Thermostate
- Temperatursensoren
- Fernwärme

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die Wahl einer geeigneten Sollwerttrajektorie ist wichtig für die Maximierung des Informationsgehaltes



Identifikationsversuch

22. bis 23. Januar

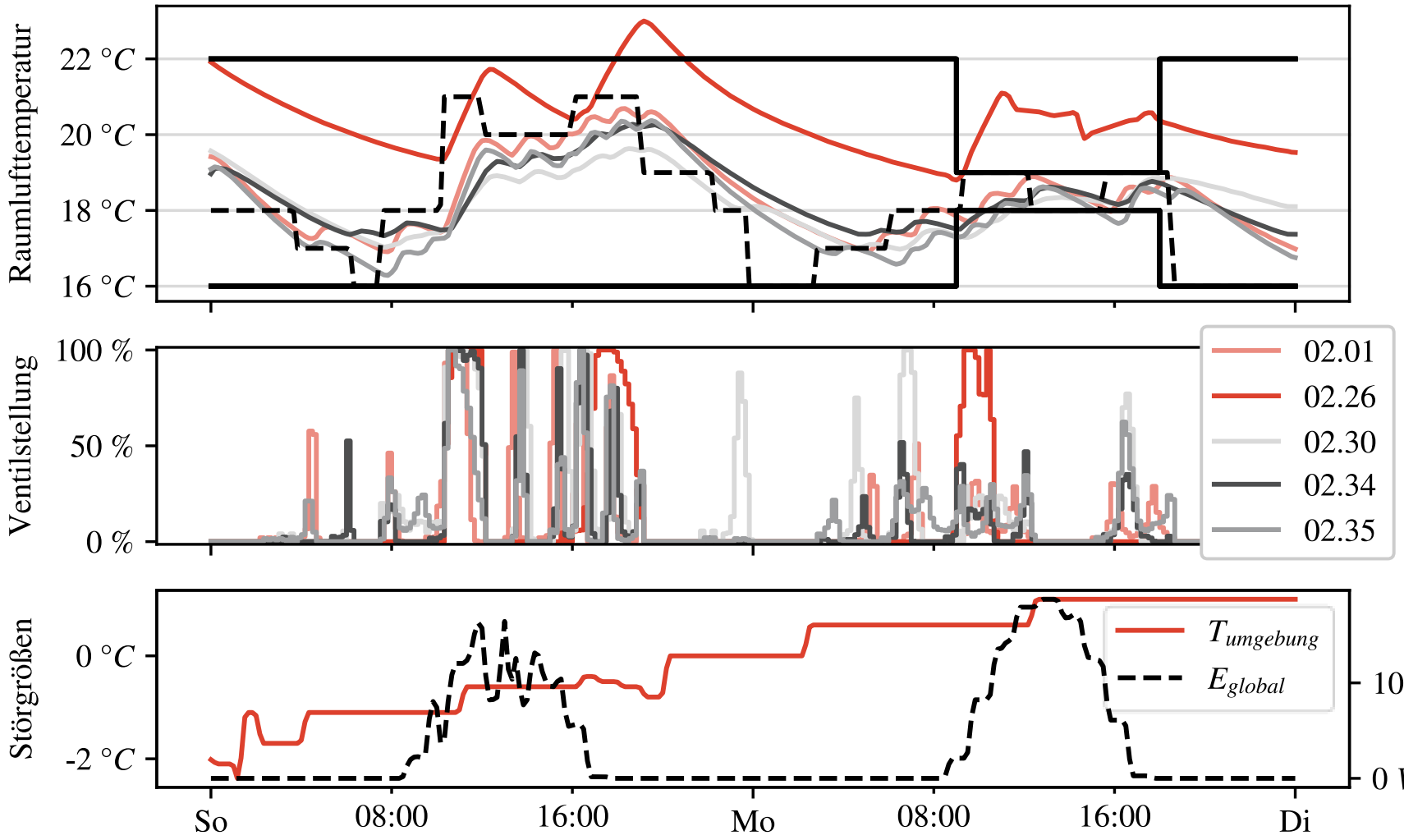
Trainieren der Prozessmodelle

Versuchsreihe

2. Februar bis 11. März

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die Wahl einer geeigneten Sollwerttrajektorie ist wichtig für die Maximierung des Informationsgehaltes



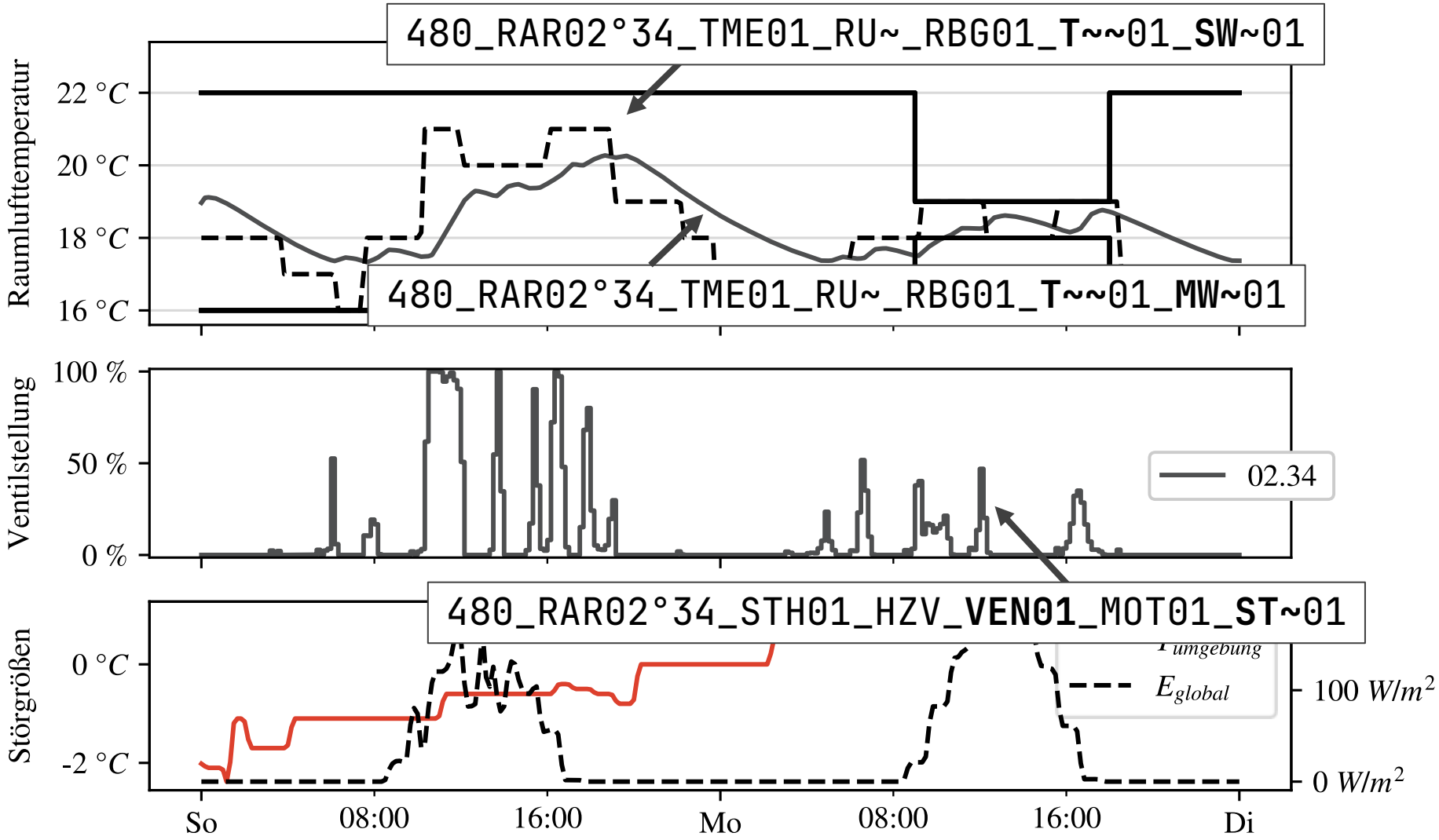
Identifikationsversuch
22. bis 23. Januar

Trainieren der Prozessmodelle

Versuchsreihe
2. Februar bis 11. März

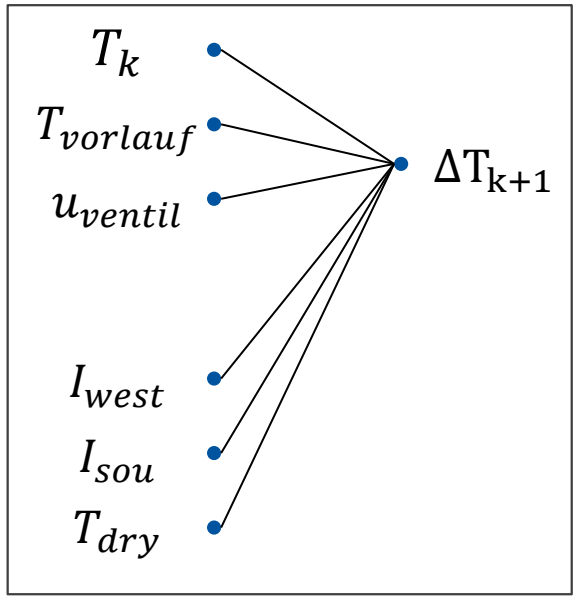
E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die Wahl einer geeigneten Sollwerttrajektorie ist wichtig für die Maximierung des Informationsgehaltes



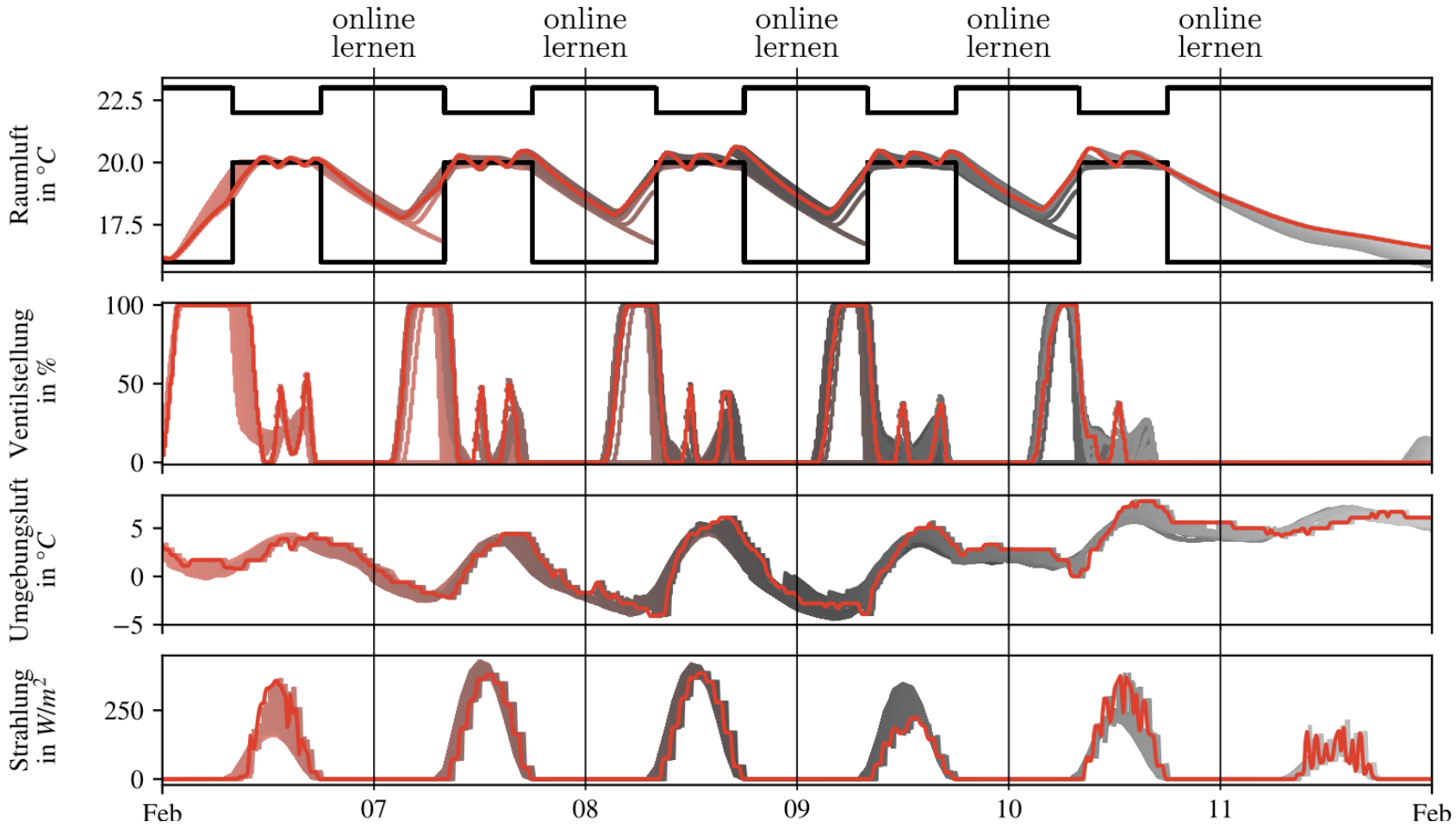
BACtwin

Modell Zimmer 02.34



E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Nach mehrmaligem **online Lernen** schneidet die MPR die Komfortgrenzen nicht mehr



Modellprädiktive Regelung

Raum 02.34

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

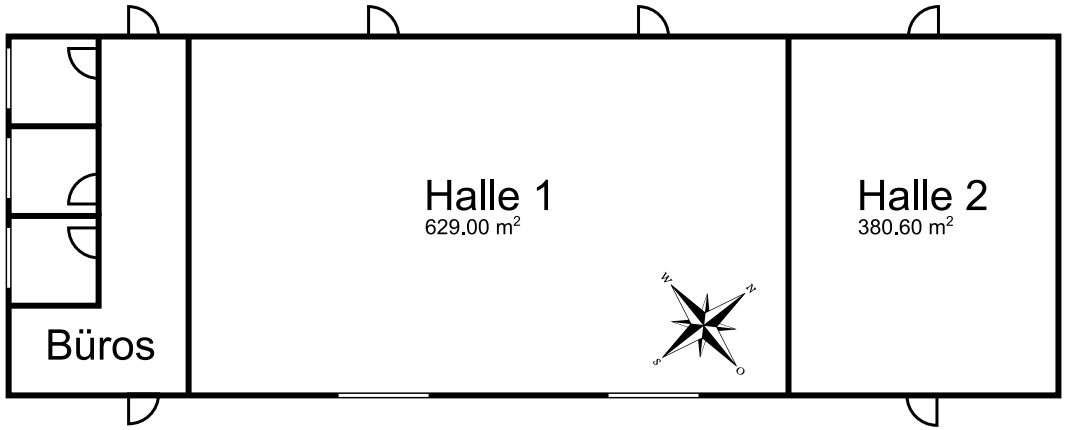
Betriebsoptimierung durch maschinelles Lernen am **realen System**

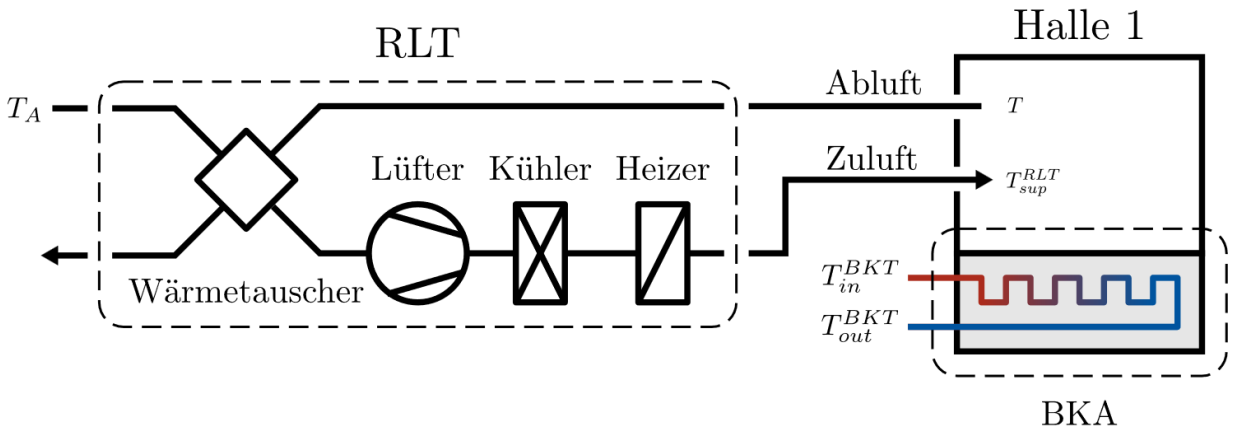
Interimsgebäude
Mathieustraße, 30
52074 Aachen

Testhalle
Mathieustraße, 10
52074 Aachen

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

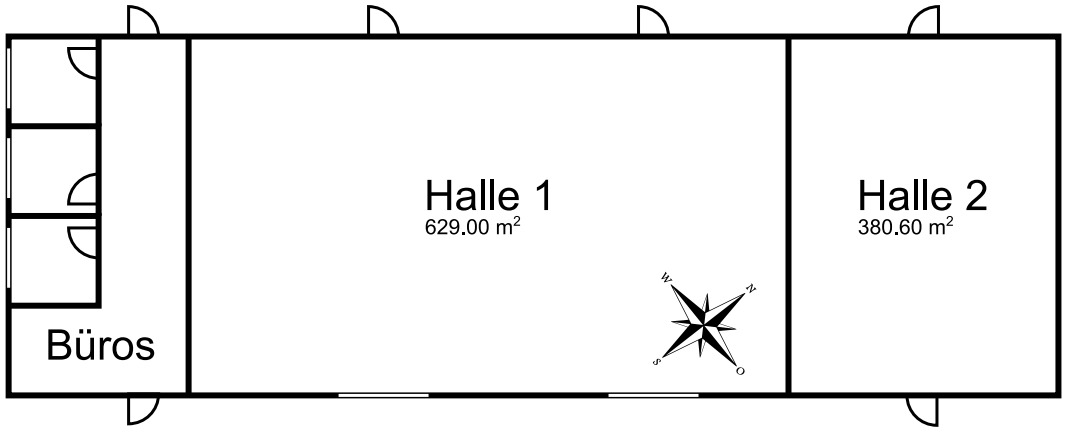
Die **Betonkernaktivierung** hat eine hohe thermische Trägheit, was eine Herausforderung für die Regelung darstellt

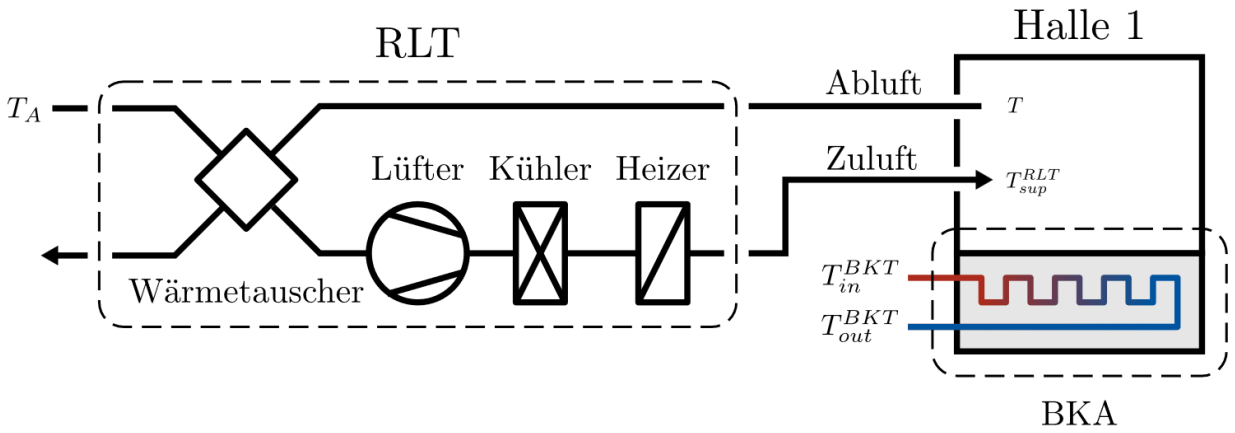


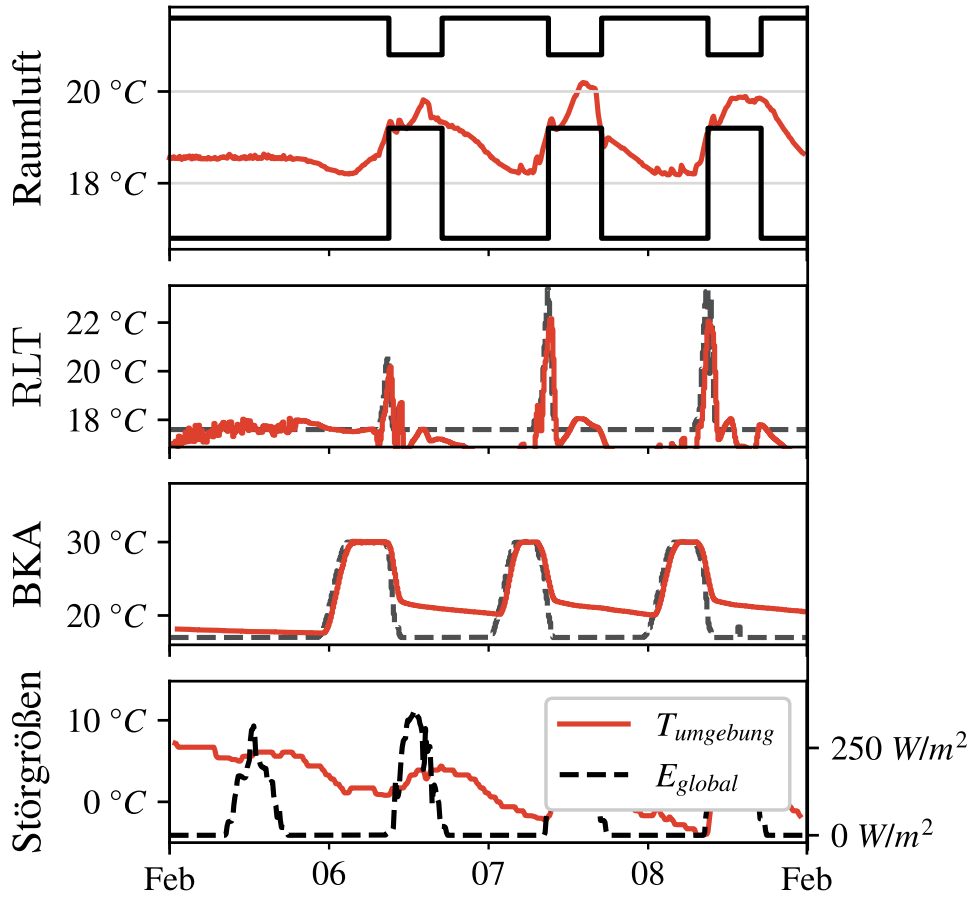


E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die datengetriebene **Modellprädiktive Regelung** nutzt die Trägheit der BKT zum vorheizen aus







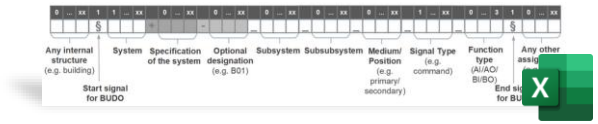
E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Die Konfiguration modellprädiktiver Regler ist **Kosten-** und **Zeitaufwendig**

Manuelle Datenaufbereitung

Grundriss

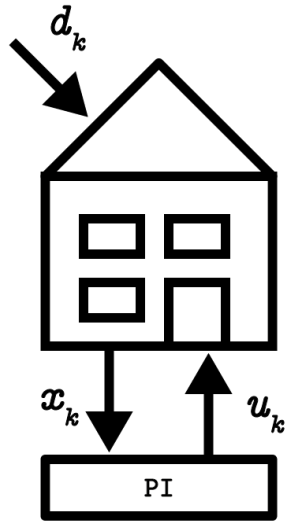
Hydraulikschema



Datenpunktliste

Hoher Aufwand

Manuelle Modellierung



$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

Hoher Aufwand

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

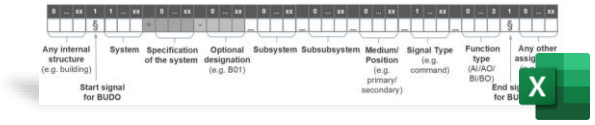
Der **BACtwin** und die **datengetriebene Modellierung** können den Konfigurationsaufwand reduzieren

Manuelle Datenaufbereitung

Grundriss

Hydraulikschema

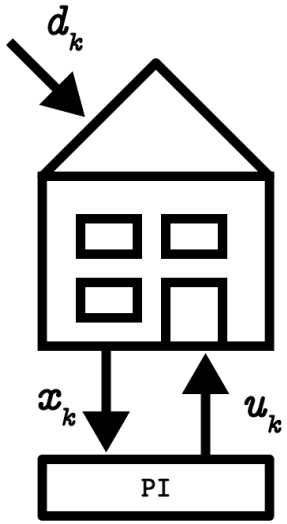
Automatisierte Konfiguration



Datenpunktliste

BACtwin

Manuelle Modellierung



$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

Automatisierte Konfiguration

Datengetriebene Modellierung

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Vielen Dank

Max Berktold

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

+49 241 80-49792
max.berktold@eonerc.rwth-aachen.de

E.ON Energy Research Center ERC | RWTH AACHEN UNIVERSITY