



Internationale Zusammenarbeit zu datengesteuerten intelligenten Gebäuden

IEA EBC Annex 81 Data-driven Smart Buildings

Dagmar Jähnig, AEE INTEC



Warum interessiert uns das Thema?



- Durch schlecht gewartete bzw. nicht gut geregelte Haustechnik wird bis zu 30% Energie in Gebäuden verschwendet.
- Haustechnik (Heizung, Kühlung, Lüftung) bietet eine ungenutzte Ressource. Zeitlich flexible Lasten können mit der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energiequellen synchronisiert werden.
- Optimierter Betrieb von Haustechnik bietet ein großes Potential an verbessertem Komfort für die Gebäudenutzer.



Warum kommt das Thema jetzt auf?



- Verfügbarkeit von neuen digitalen Technologien
 - Internet der Dinge (IoT) und Cloud-Datenmanagement
 - Maschinelles Lernen und KI
 - Digitale Plattformen zum Datenaustausch
- Die Kombination von maschinellem Denken mit immer mehr verfügbaren Sensordaten kann für den Gebäudebetrieb genutzt werden.
- IT-basierte Methoden zur Gebäudeautomatisierung



Was ist ein Data-Driven Smart Building?



- Ein Gebäude, das **Digitalisierungstechnologien nutzt**, um seinen Betrieb **dynamisch zu optimieren**. Dabei beziehen sich die Optimierungsziele typischerweise auf den Energieverbrauch, die Luftqualität im Gebäude und den Nutzerkomfort.
- Im Idealfall ist das Gebäude so weit mit Märkten und Prozessen **verbunden**, dass es möglich ist **auf äußere Einflüsse** und sich ändernde Bedingungen (z. B. Wetter, Stromkosten, Einschränkungen der Energieversorgung, Wartung der Ausrüstung usw.) zu **reagieren**.



Was ist ein Data-Driven Smart Building?



- Um diese Vision zu verwirklichen, nutzt ein datengesteuertes intelligentes Gebäude **historische Daten und Echtzeitdaten** relevanter Sensoren, IoT-Geräten, mobiler Geräte und anderer Quellen für fundierte Entscheidungen.
- Um die Optimierungsziele zu erreichen, wird häufig fortschrittliche Automatisierung eingesetzt, die **Computeranalyse** (z. B. maschinelles Lernen, KI usw.) auf verfügbare Daten anwendet.



Wer arbeitet mit?

- Leitung: Stephen White, CSIRO, Australien
- Teilnehmer aus Japan, USA, Kanada, Singapur, Dänemark, Schweden, Niederlande, Großbritannien, Norwegen, Österreich
- Österreichische Teilnehmer:
 - AEE INTEC, Gleisdorf (Dagmar Jähnig, d.jaehnig@aee.at)
 - TU Graz IST (Gerald Schweiger, gerald.schweiger@tugraz.at)
 - AIT, Wien (Gundula Weber, gundula.weber@ait.ac.at)



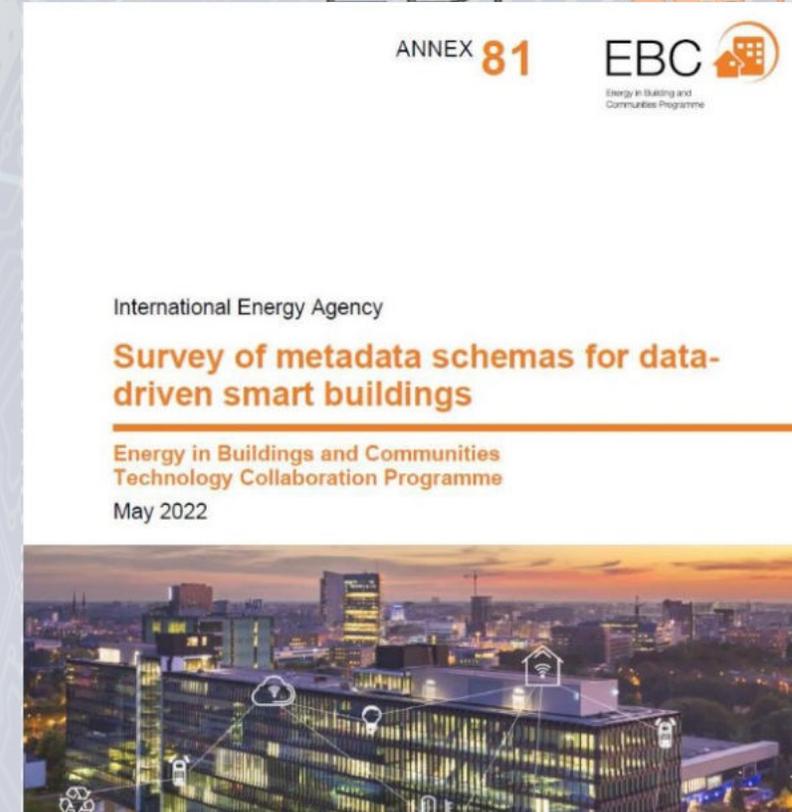
Vier Arbeitsgruppen

- Subtask A: Open Data und Data Platforms
- Subtask B: Modelprädiktive Regelung
- Subtask C: Andere Anwendungen und Services
- Subtask D: Fallstudien



Open Data und Data Platforms Empfehlungen

- Datenprinzipien FAIR
 - F: Findable – Auffindbar
 - A: Accessible – Zugänglich
 - I: Interoperable – Interoperabel
 - R: Re-useable – Wiederverwendbar
- Metadaten sind essentiell
- Keine Monopolstruktur
 - Andere Anbieter sollen Zugang zu Daten bekommen.
 - Wichtig wären unabhängige Institutionen für Daten (z.B. EU 'Data Spaces')



Modellprädiktive Regelung (MPC)

- State of the Art
- Vergleich unterschiedlicher Konzepte
- Sammlung von Datensätzen von realen Gebäuden



Data Article

Sub-hourly measurement datasets from 6 real buildings: Energy use and indoor climate



Igor Sartori^{a,*}, Harald Taxt Walnum^a, Kristian S. Skeie^a, Laurent Georges^b, Michael D. Knudsen^c, Peder Bacher^d, José Candanedo^{e,f}, Anna-Maria Sigounis^e, Anand Krishnan Prakash^g, Marco Pritoni^g, Jessica Granderson^g, Shiyu Yang^{h,i}, Man Pun Wan^h

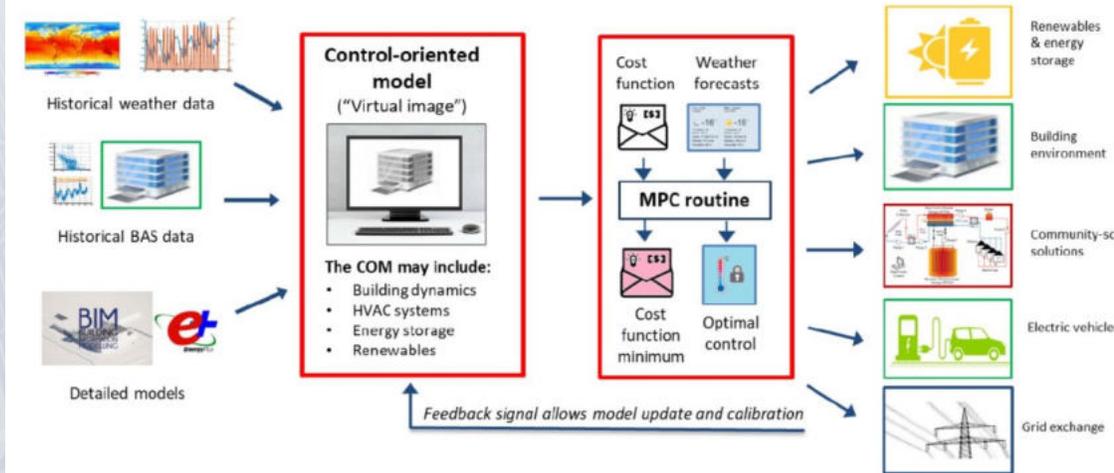


Figure 4-1. Concept of Model-Based Predictive Control.



Andere Anwendungen



- Automatisierte Fehlerdetektion
→ Review Paper
- Software Datenbank
- Datenbank mit Messdaten <https://faultdetection.lbl.gov/>
- Roadmap ist in Arbeit
 - Herausforderungen
 - Barrieren
 - Lösungen
 - Vorhandene Ressourcen



Applied Energy
Volume 339, 1 June 2023, 121030



A review of data-driven fault detection and diagnostics for building HVAC systems

Zhelun Chen ^a, Zheng O'Neill ^b, Jin Wen ^a, Ojas Pradhan ^a, Tao Yang ^b, Xing Lu ^b, Guanqing Lin ^c, Shohei Miyata ^d, Seungjae Lee ^e, Chou Shen ^e, Roberto Chiosa ^f, Marco Savino Piscitelli ^f, Alfonso Capozzoli ^f, Franz Hengel ^g, Alexander Kührer ^g, Marco Pritoni ^c, Wei Liu ^h, John Clauß ⁱ, Yimin Chen ^c, Terry Herr ^j

No	Company	FDD software name	Website
1	Clockworks Analytics	Clockworks	https://clockworksanalytics.com/
2	CopperTree Analytics	Kaizen	https://www.coppertreeanalytics.com/
3	Ezenics	Ezenics	https://ezenics.com/
4	Cimetrics	Analytika	https://cimetrics.com/
5	SkyFoundry	SkySpark	https://skyfoundry.com/
6	Prostar Energy Solutions	eIQ Platform	https://prostarenergy.com/
7	Iconics	Facility AnalytiX	https://iconics.com/
8	BuidingLogix	BuidingLogix Data Exchange (BDX)	https://buildinglogix.net/
9	Lean FM Technologies	LEANFM RESCRIPTV	https://leanfotech.com/
10	KODE Labs	KODE	https://kodelabs.com/



Fallstudien

<https://datasmartbuildings.org/>



DATA-DRIVEN SMART BUILDINGS

[HOME](#) [ABOUT](#) [PROJECT TEAM](#) [NEWS AND UPDATES](#)

- Asia
- Australia
- North America

TECHNICAL

- Select All Technical
- Deselect All Technical
- Model-based Control
- Fault Detection and Diagnostics
- Bench Marking
- Demand Response
- Open Data and Data Platforms

BUILDING TYPE

- Select All Building Types
- Deselect All Building Types
- Agriculture
- Arts and Leisure
- Commercial Offices
- Community
- Defence
- Domestic (residential)
- Education
- Emergency
- Health
- Hospitality
- Industry
- Miscellaneous
- Office
- Retail (shops)
- Sport



ZUB BUILDING

Germany

The ZUB office building (Center for Environmentally Conscio

[+ See Case Study](#)



LBNL "BUILDING 59" OFFICE BUILDING

United States

The LBNL Office Building (i.e., Building 59 or Wang Hall) is ...

[+ See Case Study](#)



OMV HEAD OFFICE BUILDING

Austria

The OMV headquarter is an existing building located in Viert

[+ See Case Study](#)

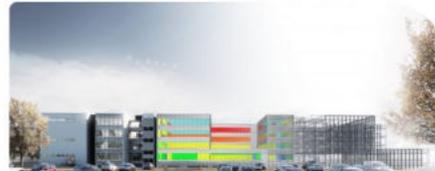


EV BUILDING, CONCORDIA UNIVERSITY

Canada

This building is in one of the city's main intersections (Sa ...

[+ See Case Study](#)



INFINEON RESEARCH AND DEVELOPMENT BUILDING

Austria

The building is a research and development building of Infin

[+ See Case Study](#)



CSIRO SYNERGY BUILDING

Australia

With every chilled plant being unique, human optimisation is

[+ See Case Study](#)

Eine Veröffentlichung als Buch ist in Planung.



Mehr Informationen

<https://annex81.iea-ebc.org/>



IEA EBC - Annex 81 - Data-Driven Smart Buildings

This project imagines a future world empowered by access to discoverable, reliable, ubiquitous real-time data from buildings, such that digital solutions can rapidly scale and where energy efficiency knowledge can be widely encapsulated and disseminated within highly accessible software 'Applications'. Applications, in this context, are conceived as easy-to-configure and instantiate software micro-services, built on top of a common software infrastructure that facilitates data access under well-defined application program interfaces (APIs) deployed on edge-computing devices or the cloud. Such Applications are somewhat analogous to the 'Apps' we use on personal mobile devices.

By embracing modern IT approaches and advances in digital technology, the project aims to overcome barriers to the provision of energy efficiency software services, and reduce reliance on manual/onsite service delivery.

The project will investigate the potential of Software-as-a-Service innovation and intelligent data-driven building automation, in order to reduce energy use in buildings and enable buildings to participate as distributed energy resources in support of increased use of variable renewable electricity sources.

The project objectives are to:

- provide the knowledge, standards, protocols and procedures for low-cost high-quality data capture, sharing and utilization in buildings
- develop a control-oriented building modelling framework that enables testing, development and assessment of the impact of alternative building HVAC control strategies in a digital environment
- develop building energy efficiency software Applications that can be used and ideally commercialized for reducing energy use in buildings
- drive the adoption of results through case studies, business model innovation and results dissemination. The case

ANNEX INFO & CONTACT

Status: Ongoing (2019 - 2024)

OPERATING AGENT

Dr Stephen White
CSIRO
10 Murray Dwyer Ct.
Steel River Estate
Newcastle NSW 2304
AUSTRALIA
[Email](#)

ANNEX EVENTS

No Events Scheduled, Check
Back Soon

ANNEX NEWS

[Click here for news.](#)

Einige Berichte bereits
verfügbar (unter
Publications), mehr
Berichte werde in den
nächsten Monaten
online gestellt.
Annex 81 endet Mitte
2024.



- **Gleich im Anschluss:**

- **IoT im intelligenten Gebäude der Zukunft: Herausforderungen, Chancen und Buzzwords**

Gerald Schweiger, TU Graz

- **Modellprädiktive Regelungen in Wohngebäuden – Unvermeidlich für die Dekarbonisierung oder unheimlich komplex?**

Michael Gumhalter, AEE INTEC

- **Um 14:45 h im Science Corner**

- **Künstliche Intelligenz für Vorhersage und Regelung im Energiemanagement**

Jan Kurzidim, AIT



Künstliche Intelligenz für Vorhersage und Regelung im Energiemanagement

Dr. Jan Kurzidim

Research Engineer

Forschungsfeld „Digitalisierung und Klimatechnik in Gebäuden“

Das Projekt „mAIntenance“



- **laufendes** kooperatives F&E-Projekt (FFG 886903)
Projektpartner: **AIT** und **PKE Facility Management**
- Projektziel: Gebäudeversorgungssysteme optimieren
Ansatz: **Machine Learning auf Sensordaten**
- Entwicklungsgrundlage: Bürogebäude **FUTUREbase** ▶
 - Betreiber PKE, Nutzer AIT
 - Gebäudeautomationssystem, Cloud-Anlagenmonitoring
 - IoT-Sensorik-Netzwerk (für Projekt installiert)
 - Wasser-Wasser-Wärmepumpe für Wärme & Kälte
 - Auflagen für Grundwasser-Entnahmemenge



die FUTUREbase

- 3 Anwendungsfälle in „mAIntenance“ mit jeweils anderen Machine-Learning-Typen, hier vorgestellt: 1. Anwendungsfall
- Ziel: elektrischen Energieverbrauch der **zentralen Energiebereitstellung** optimieren, dabei Grundwasserauflagen einhalten
- Ansatz:
 - Betriebsfahrplan für nächste Tage empfehlen
 - Betriebsfahrplan = Folge von Betriebszuständen
 - Betriebszustand = manuelle Steuergröße im Gebäudeautomationssystem

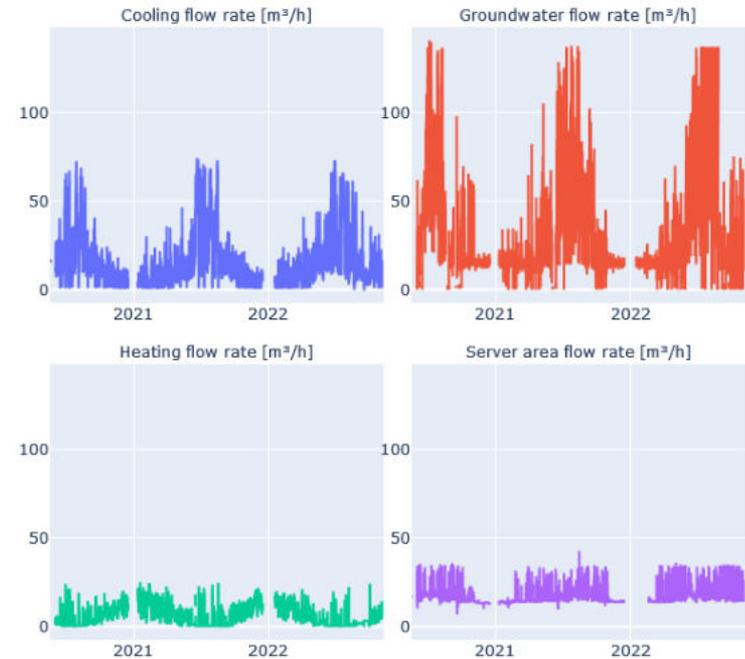
- Schritte:



Die Datenaufbereitung

Teil 1

- Datenaufbereitung ist **zeitaufwändig**
- Zeitreihen aus Anlagenmonitoring:
 - zu optimierende Größen
elektrischer Energieverbrauch, Grundwassermenge
 - Steuergrößen
Betriebszustand, ...
 - Interna der zentralen Energiebereitstellung
thermische Leistungen, Volumenströme, Temperaturen, ...
 - Wetterdaten



einige Zeitreihen

Die Datenaufbereitung

Teil 2

- Sensorbeschreibungen & physikalische Einheiten aus Gebäudeautomationssystem
- Bereinigungen
 - Zeitraster
 - Datenformat
 - Redundanzen
 - Ausreißer
 - fehlende Werte
- Datenmenge nach Bereinigung:
47 Größen & 44.000 Zeitpunkte

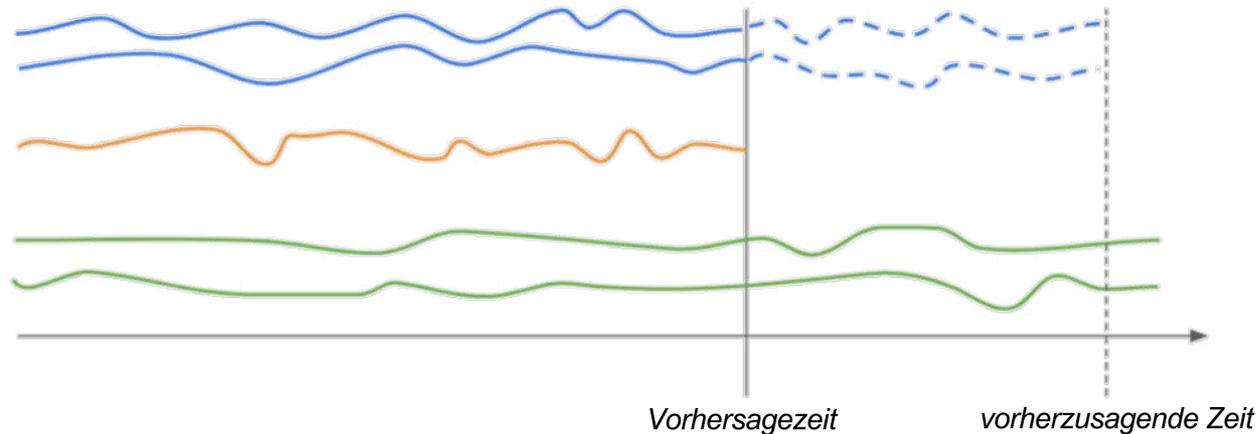
```
1 Ausbaugrad []
2 Cooling flow rate [m³/h]
3 Cooling mixing valve position [%]
4 Cooling power [kW]
5 Cooling return temp [°C]
6 Cooling supply temp CCA after mixing [°C]
7 Cooling supply temp before mixing [°C]
8 Dehumidification outdoor humidity limit [g/kg]
9 Groundwater extraction temp [°C]
10 Groundwater flow rate [m³/h]
11 Groundwater return temp [°C]
12 Groundwater thermal power [kW]
13 Heat buffer tank bottom temp [°C]
14 Heat buffer tank top temp [°C]
15 Heat pump cold water return temp [°C]
16 Heat pump cold water supply temp [°C]
17 Heat pump control signal [%]
18 Heat pump electric power [kW]
19 Heat pump hot water return temp [°C]
20 Heat pump hot water supply temp [°C]
21 Heating flow rate [m³/h]
22 Heating mixing valve position [%]
23 Heating power [kW]
24 Heating return temp [°C]
25 Heating supply temp CCA after mixing [°C]
26 Heating supply temp before mixing [°C]
27 Heating supply temp from buffer to CCA system [°C]
28 MSR Rückkühlung electric power [kW]
29 MSR zentrale electric power [kW]
30 Meteonorm Diffuse Horizontal Radiation [W/m²]
31 Meteonorm Direct Normal Radiation [W/m²]
32 Meteonorm Dry Bulb Temperature [°C]
33 Meteonorm Global Horizontal Radiation [W/m²]
34 Meteonorm Relative Humidity [%]
35 Meteonorm Total Sky Cover [%]
36 Meteonorm Wind Speed East-West [m/s]
37 Meteonorm Wind Speed North-South [m/s]
38 Operation mode []
39 outdoor humidity [g/kg]
40 outdoor relative humidity [%]
41 outdoor temp [°C]
42 server area flow rate [m³/h]
43 server area return temp [°C]
44 server area supply temp [°C]
45 server area thermal power [kW]
46 summer operation outdoor temp [°C]
47 winter operation outdoor temp [°C]
```

Die Vorhersage

Teil 1

- Vorhersageprinzip: datengetriebene Modelle (Machine Learning)
- Größen in 3 Gruppen aufteilen
 - **vorherzusagende** Größen
 - zur vorherzusagenden Zeit **unbekannte** Größen
 - zur vorherzusagenden Zeit **bekannte** Größen

Verbrauch von elektrischer Energie und Grundwasser
Anlagendaten
Steuerparameter, Wettervorhersagen



Die Vorhersage

Teil 2

- vorherzusagende Größen entlang Zeitachse in **Trainingsdaten** und **Validierungsdaten** aufteilen

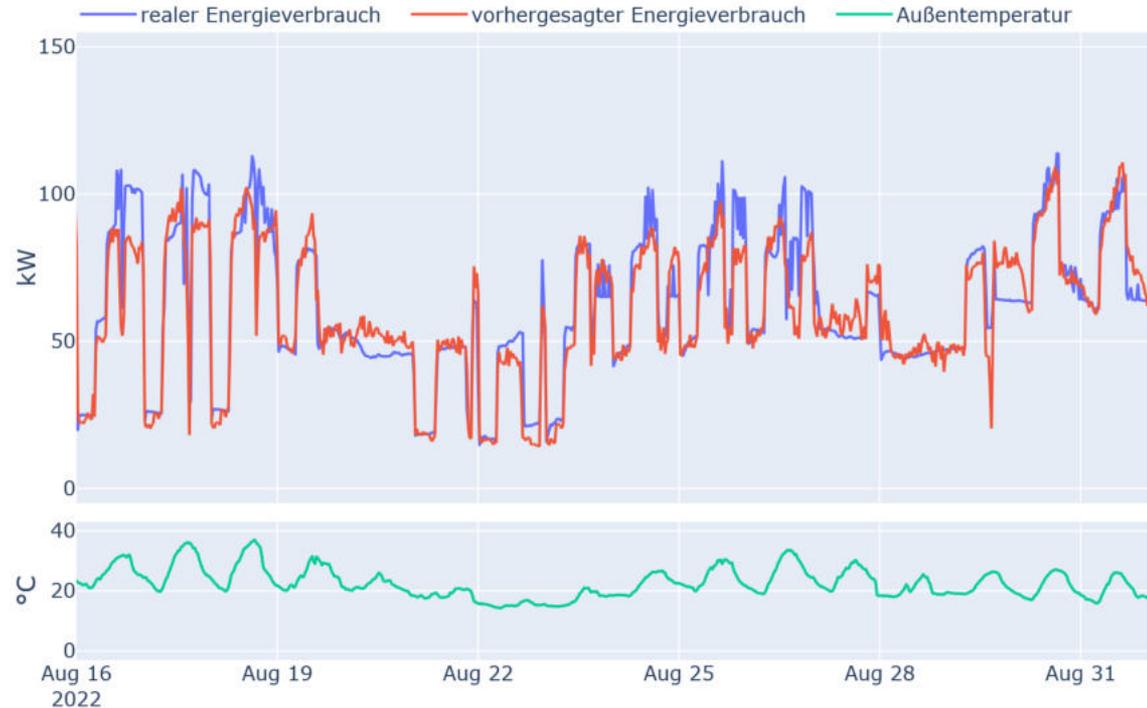


- Machine-Learning-Modelle mit den **Trainingsdaten** trainieren, z.B.
 - Lineare Regression
 - Entscheidungsbaum-Ensembles
 - Neuronale Netzwerke
- **Vorhersagegüte**: vorhergesagte Daten mit **Validierungsdaten** vergleichen

Die Vorhersage

Teil 3

- Art der Vorhersage:
gesamtes Zeitraster der
vorhergesagten Tage –
vorläufig 192 Werte wegen
 - 30-Minuten-Raster
 - 24h-Vorhersagehorizont
 - 4 vorherzusagenden
Größen

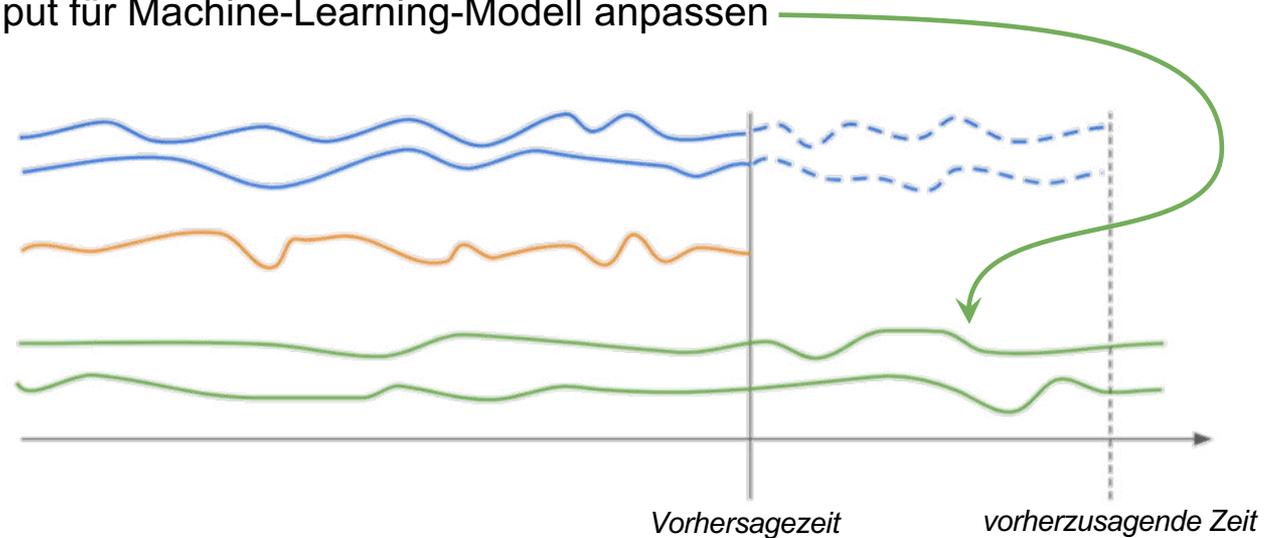


*Beispiel: Energieverbrauchsvorhersage im Spätsommer 2022
(Vorhersage jeweils einen Tag weit in die Zukunft)*

Die Regelung

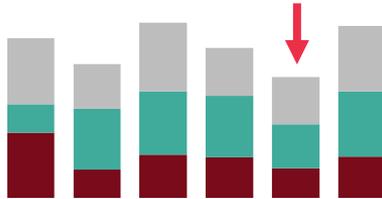
Teil 1

- zulässige Werte jeder **Steuergröße** definieren
- für jede Steuerwerte-Kombination:
 1. Steuerwerte in Input für Machine-Learning-Modell anpassen
 2. Vorhersage berechnen

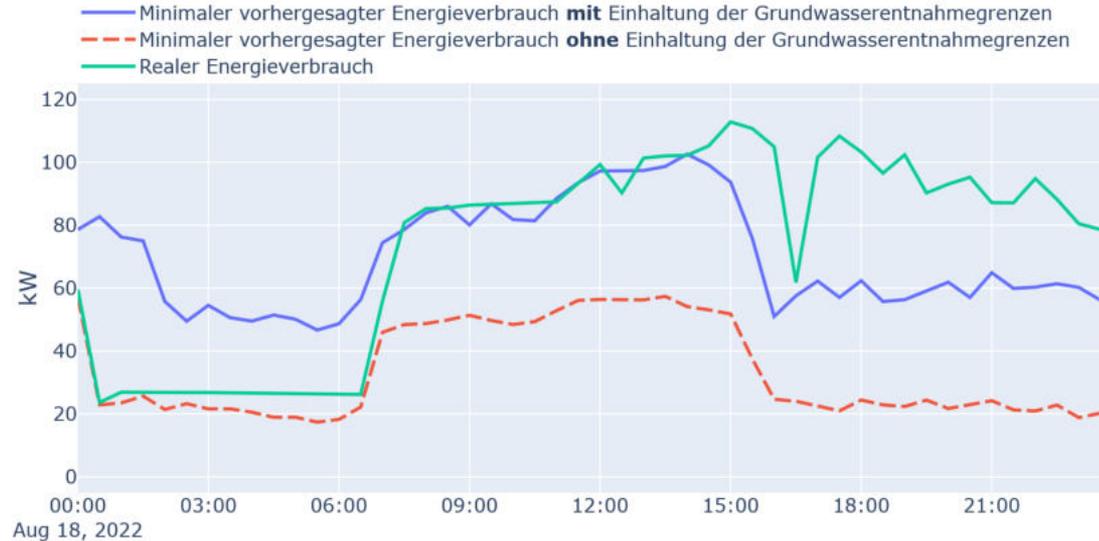


Die Regelung Teil 2

- Vorhersage mit geringstem elektrischem Energieverbrauch unter Einhaltung der Grundwasserauflagen bestimmen



→ dazugehörige Steuerwerte
= Regelungsempfehlung



Beispiel: Energieverbrauchsoptimierung für einen heißen Sommertag

Danke!

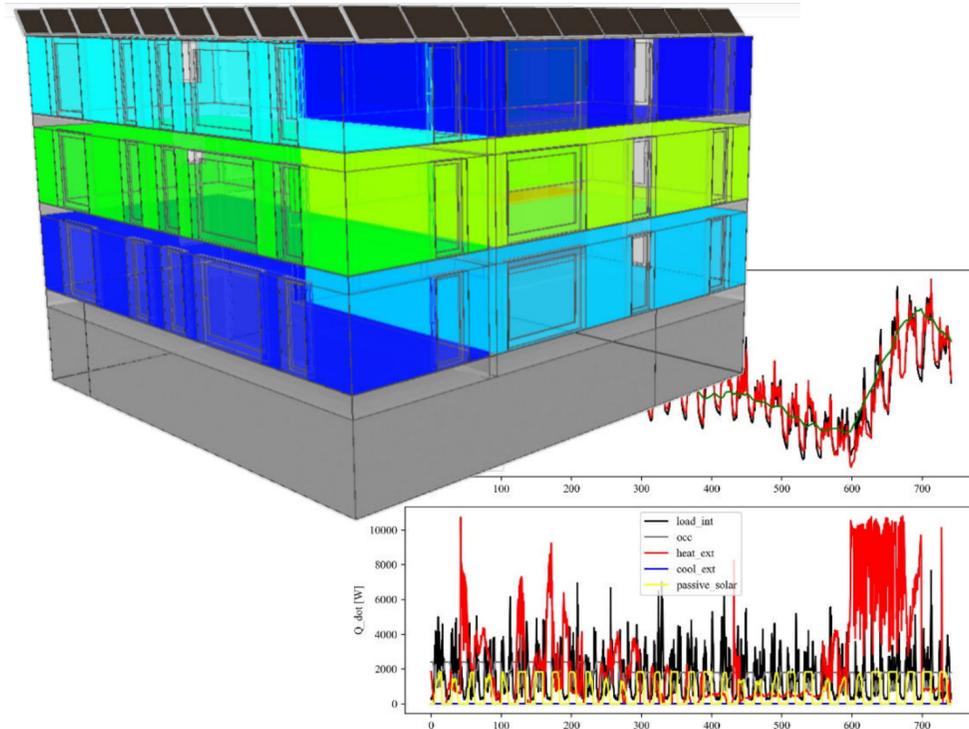


INNOVATIONSKONGRESS

Digitales Planen, Bauen & Betreiben

30.11.2023

ARIANA, Wien

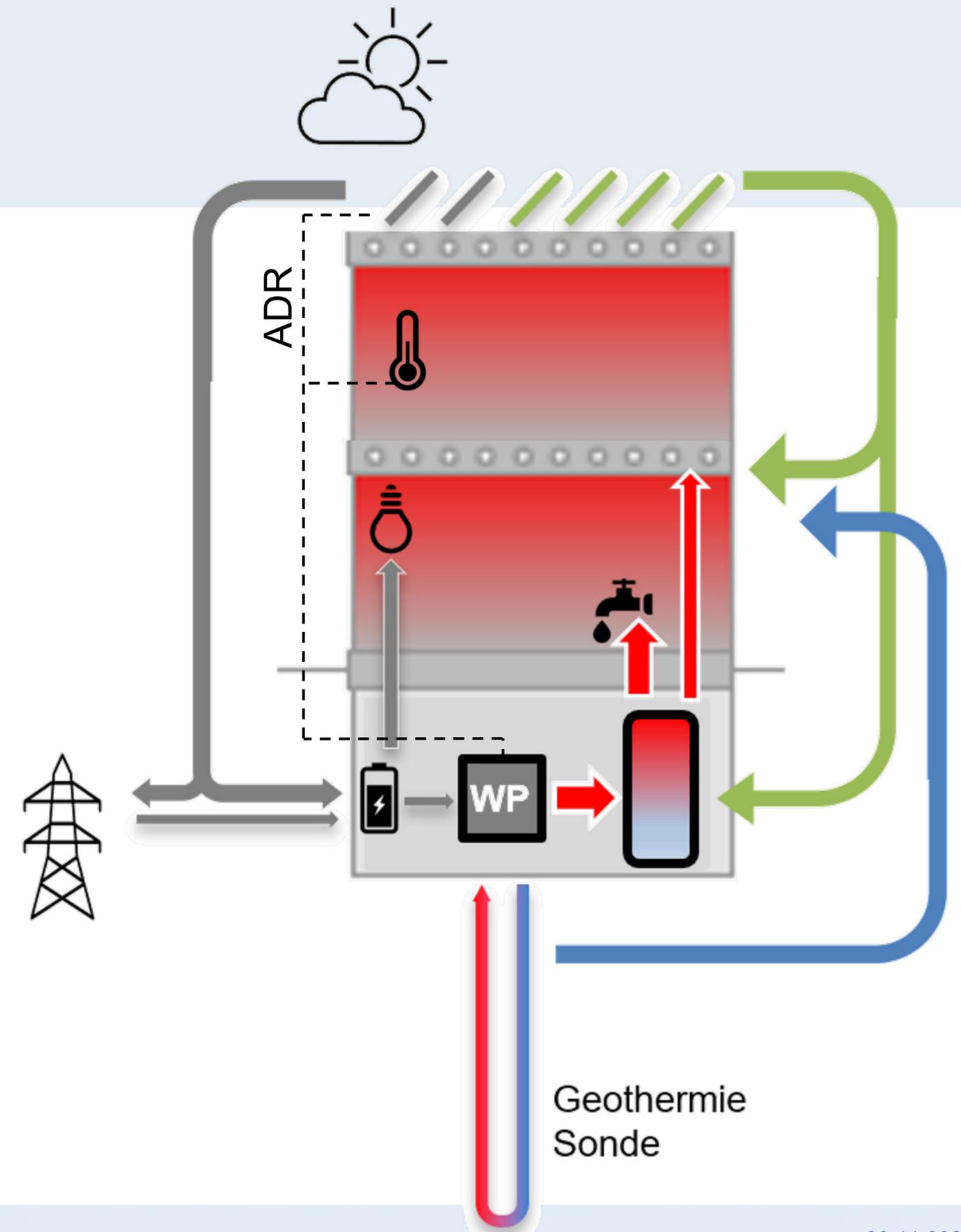


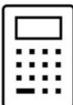
Modellprädiktive Regelungen in
Wohngebäuden – Unvermeidlich für die
Dekarbonisierung oder unheimlich komplex?

Michael Gumhalter, AEE INTEC

Systemkomponenten

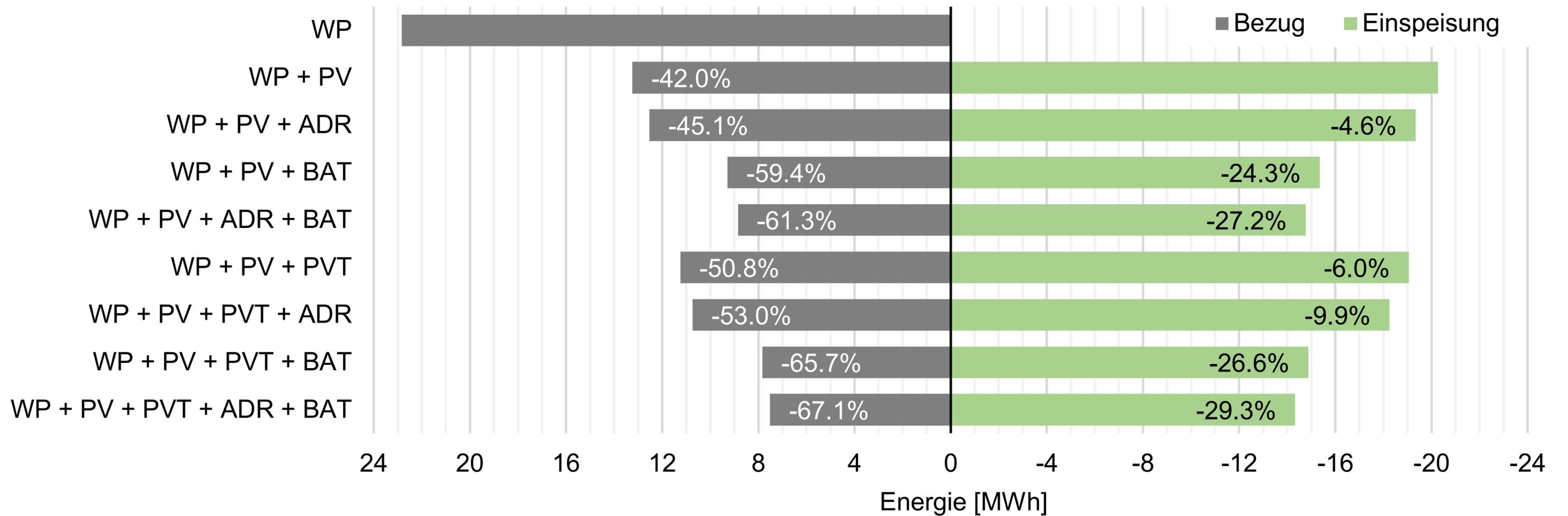
Beispielgebäude



 Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation mit IDA ICE

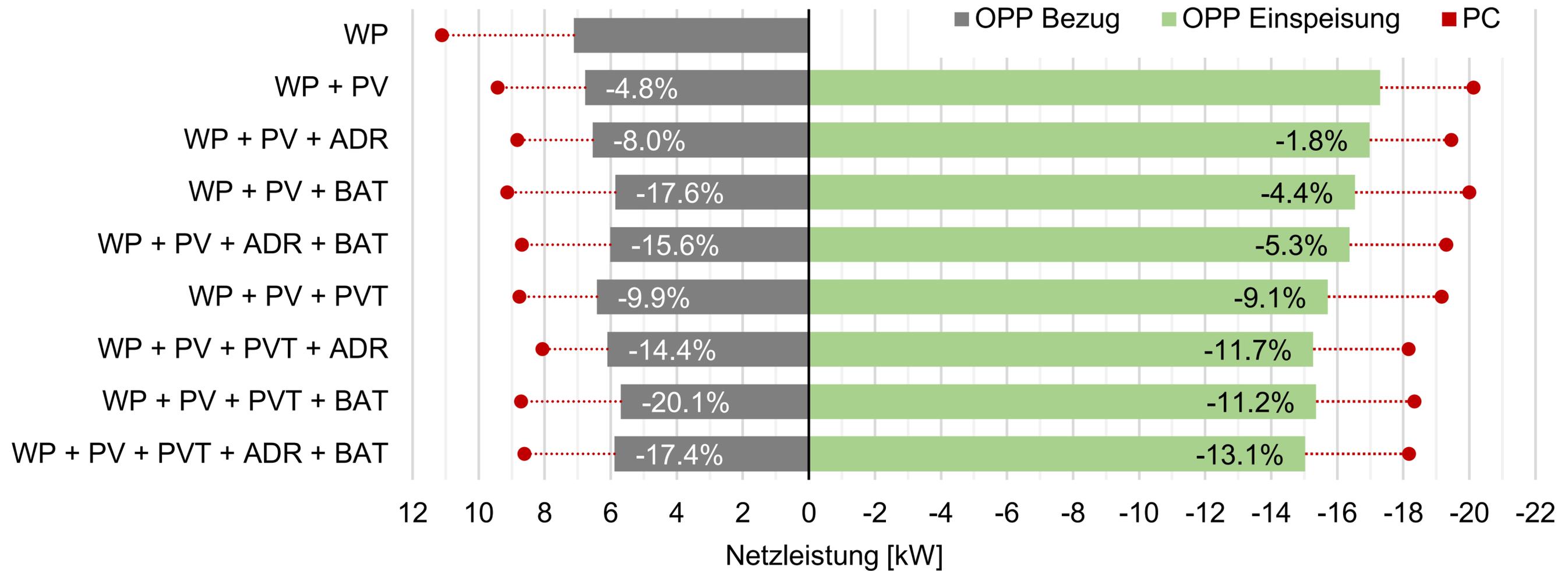
Netzbezug Energie

Beispielgebäude



Netzbezug Leistung

Beispielgebäude



$$OPP = \frac{E_{1\%,peak}}{T}$$

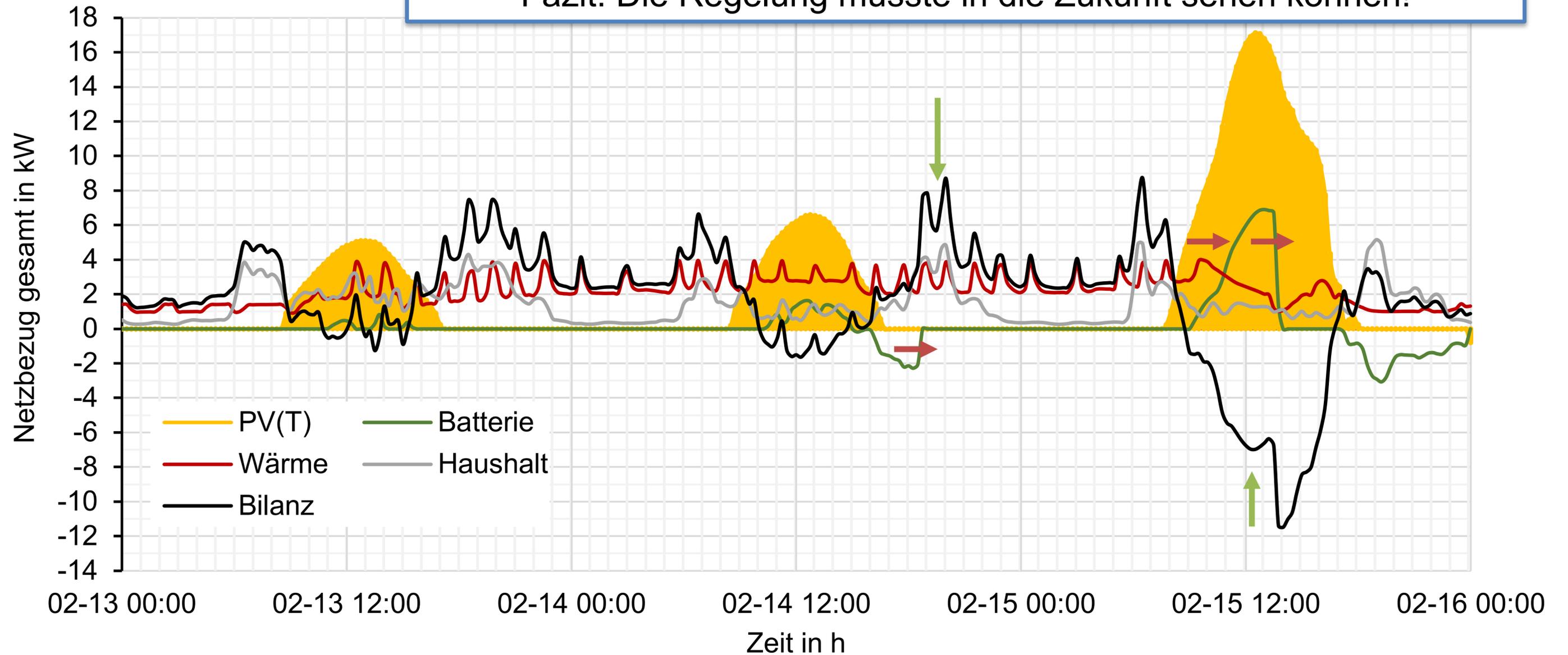
$$PC_{Bezug} = \max | \max[ne(t), 0] |$$

$$PC_{Einspeisung} = \max | \min[ne(t), 0] |$$

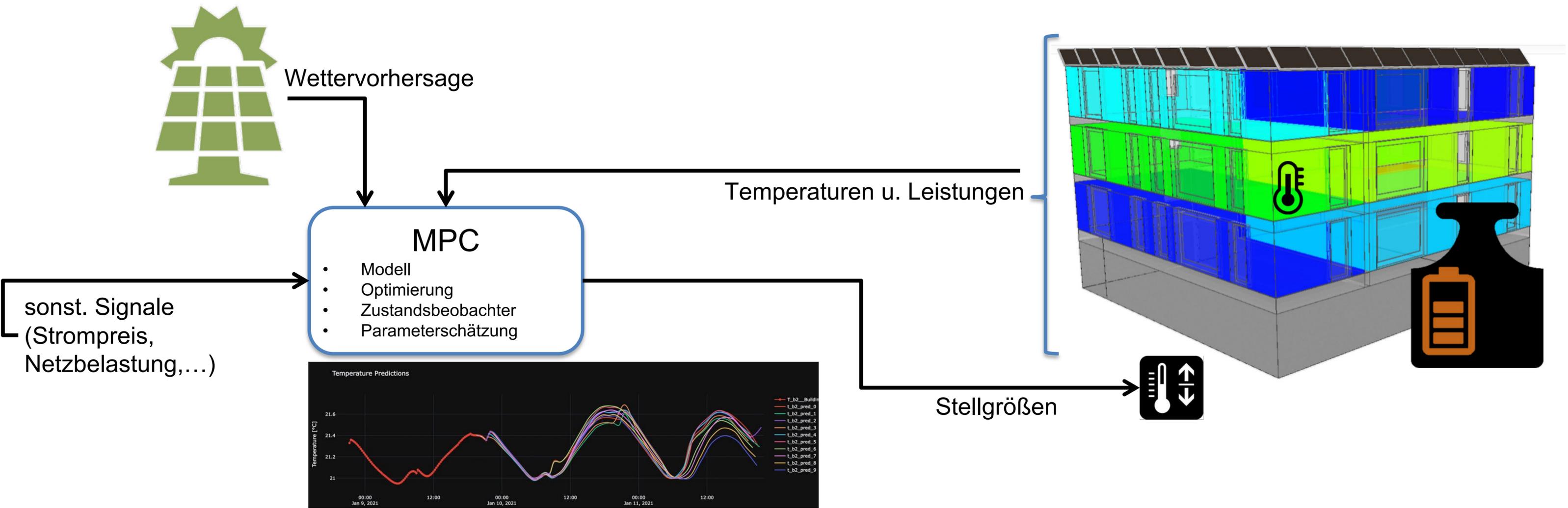
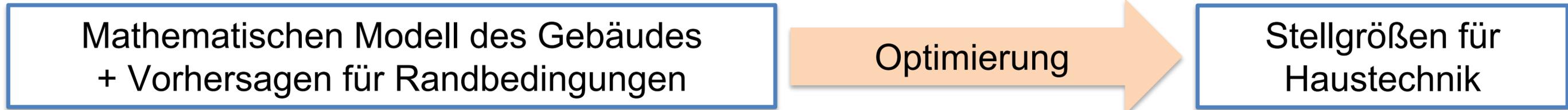
Motivation für MPC

Reduktion von Netzspitzenleistungen

Fazit: Die Regelung müsste in die Zukunft sehen können!



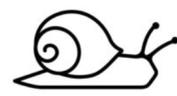
Modellprädiktive Regelungen



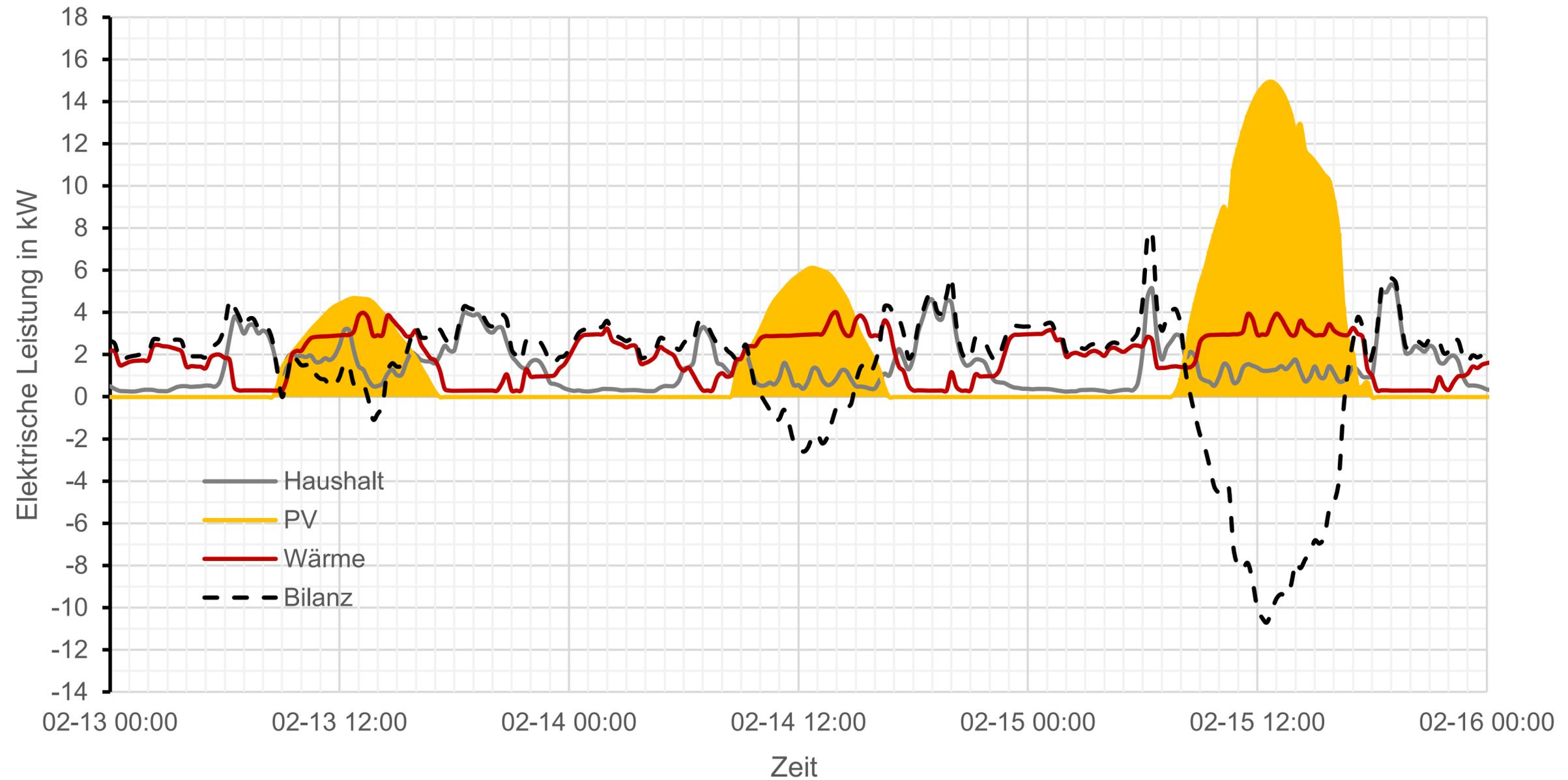
Stärken von Modellprädiktiven Regelungen in Wohngebäuden

 Integration von Vorhersagen für Wetter, Energieversorgung, Nutzung

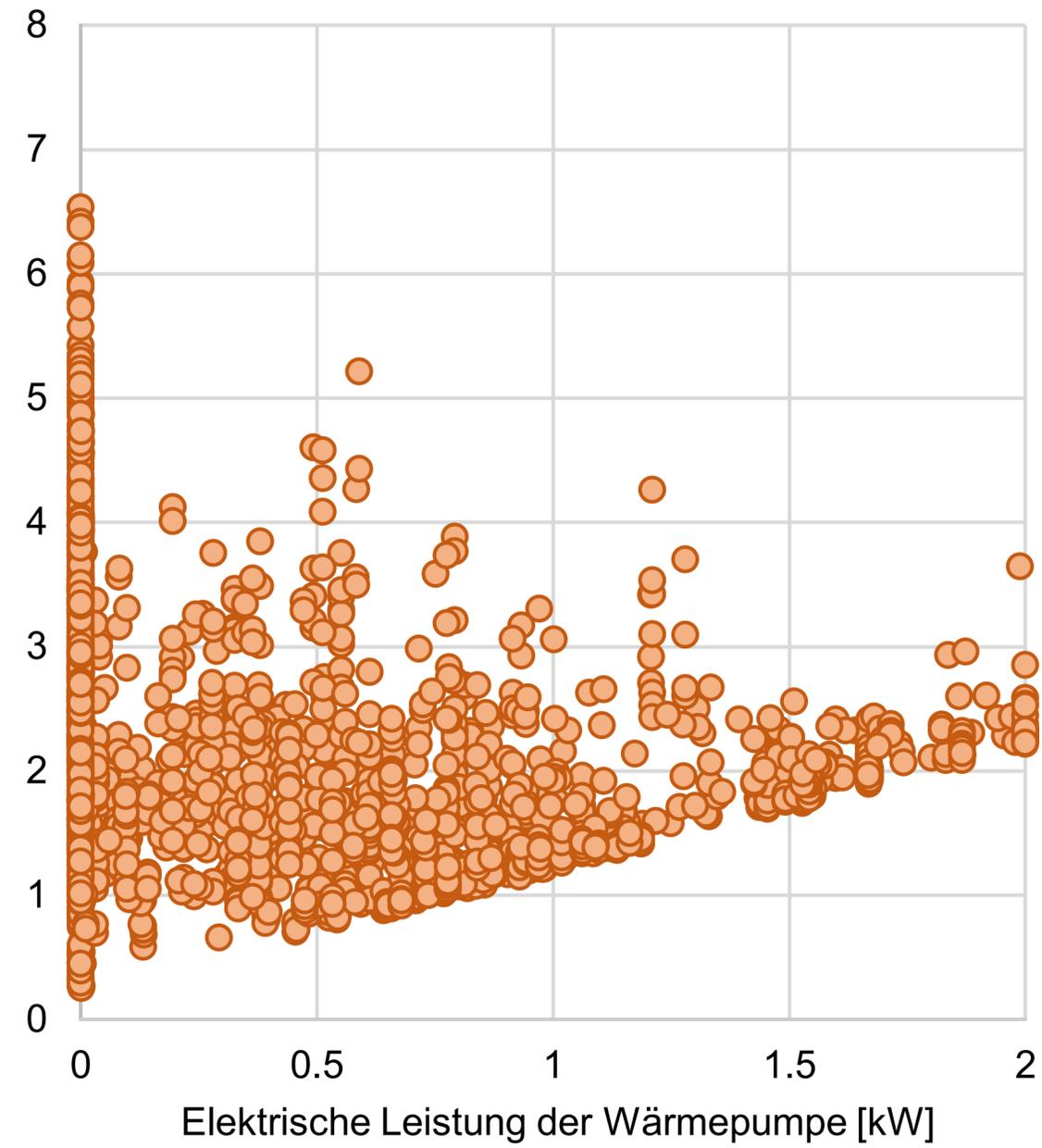
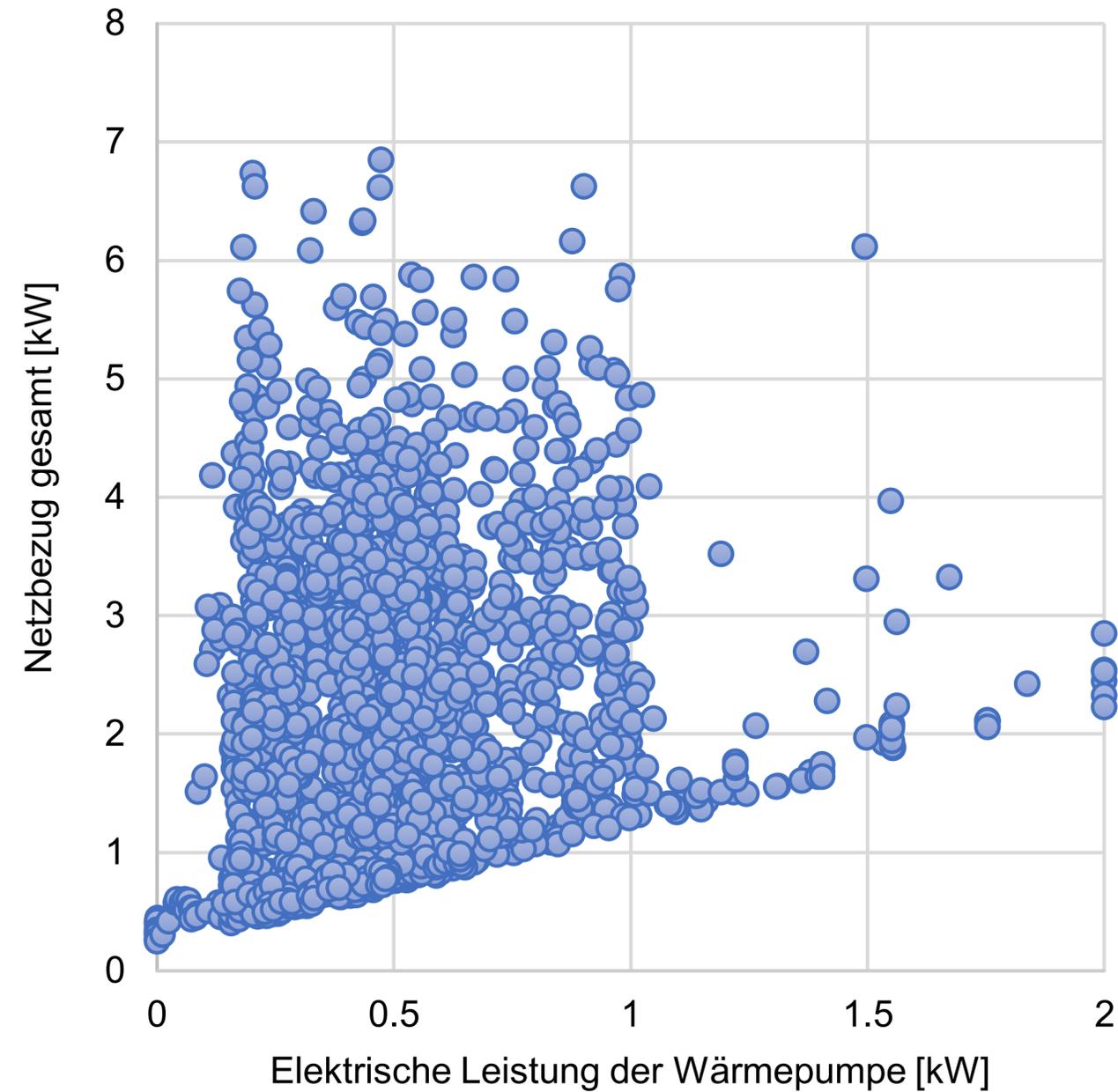
 Optimierung auf mehrere Zielfunktionen
z.B.: Kosten, CO₂, Komfort, Spitzenlasten

 Aktive Nutzung von trägen Systemen zur Lastverschiebung
z.B.: Thermische Bauteilaktivierung

Aktive Nutzung von thermischer Gebäudemasse



Aktive Nutzung von thermischer Gebäudemasse



Modellprädiktive Regelungen in Wohngebäuden

- MPC hilft beim optimalen Anlagenbetrieb
- Zusatzziele können erreicht werden ohne zusätzliche Komponenten
- Besserer Komfort bei trägen Systemen

Unvermeidlich für die Dekarbonisierung oder unheimlich komplex?

JA und JA

Herausforderungen



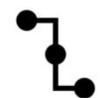
Definition des dynamischen Gebäudemodells

- Jedes Gebäude ist ein Einzelstück
- Für die Parameterbestimmung fehlen meist die Messdaten



Vorhersagen der Randbedingungen (El. Verbrauch, WW-Bedarf, Nutzerprofile, erneuerbare Erzeugung)

- Für das Trainieren von Modellen fehlen Messdaten und oft auch die rechtliche Grundlage



Schnittstelle zur Haustechnik

- MPC rechnet mit Energiebilanzen (Leistungen)
- Haustechnik regelt meist auf Temperaturen



Das wirtschaftliche und regulatorische Umfeld muss den Mehraufwand rechtfertigen



AEE INTEC

IDEA TO ACTION

INNOVATIONSKONGRESS

Digitales Planen, Bauen & Betreiben



30. November 2023 | ARIANA, Wien

www.digitalfindetstadt.at/innovationskongress



Die Förderung zum Projekt Sol4City erfolgt durch das Bundesministerium für Klima-schutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Projektnummer FO999886948).



AEE INTEC

IDEA TO ACTION

INNOVATIONSKONGRESS

Digitales Planen, Bauen & Betreiben



30. November 2023 | ARIANA, Wien

www.digitalfindetstadt.at/innovationskongress

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

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

Michael Gumhalter

m.gumhalter@aee.at
+43 (0)3112 5886-227

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/sol4city.php>