

Lastmanagement in den Musterhäusern des Reallabors Living Lab Energy Campus am KIT

02.03.2026 – Brennpunkt Dynamisches Lastmanagement

Jan Wachter

Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI)

Karlsruher Institut für Technologie



1. Überblick Infrastruktur

- Energy Lab
- Living Lab Energy Campus (LLEC)
- Smart Energy System Control Laboratory (SESCL)
- Simulationstools

2. Anwendungen & Erfahrungen

- a. Lastmangement in Demo-Microgrid
- b. Anlagen Charakterisierung für dynamisches Lastmangement
- c. Netzdienliche Heizungsregelung

Überblick Infrastruktur Energy Lab – Reallabor für die Energiewende

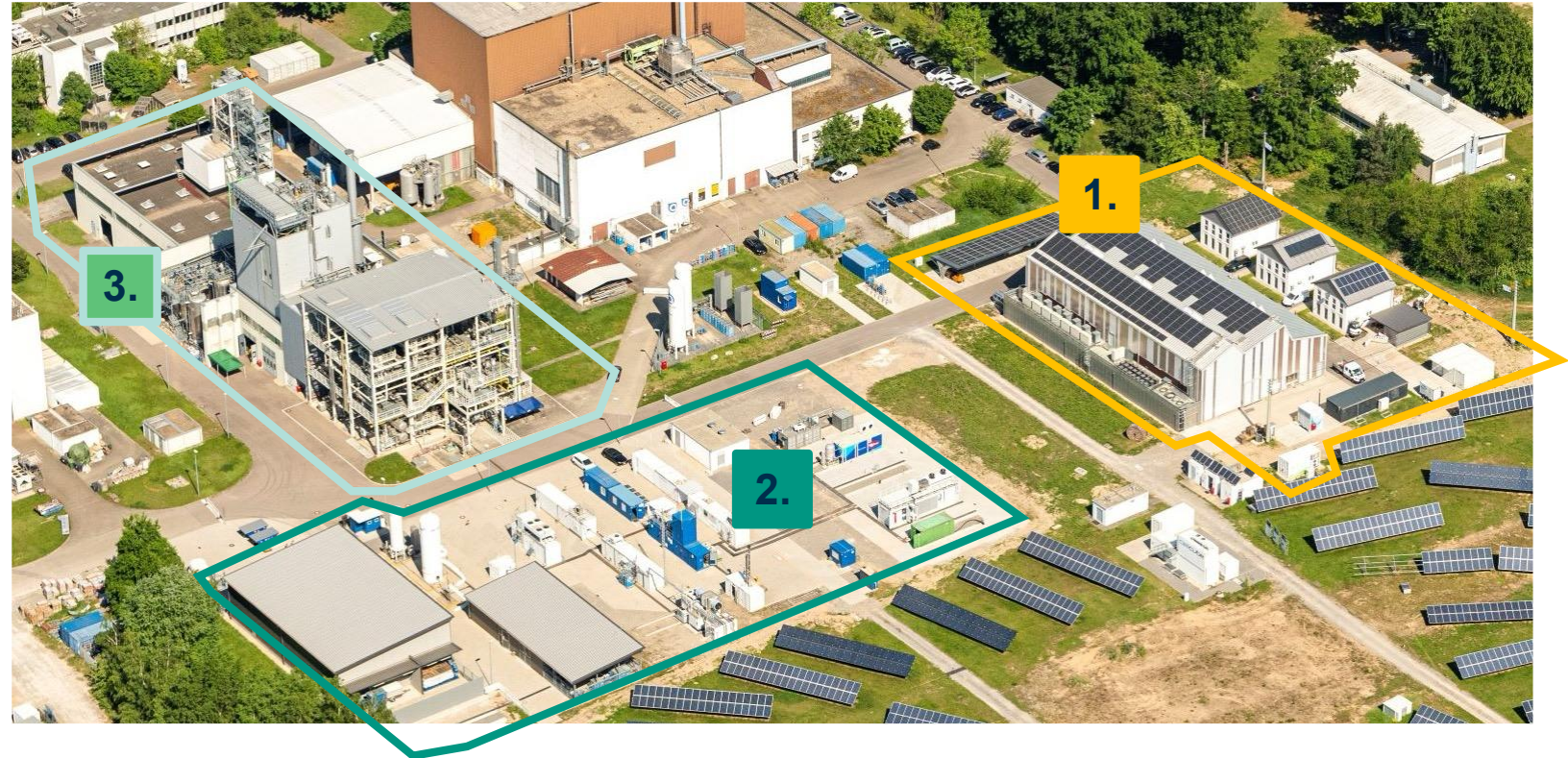
Was ist das Energy Lab?

Eine großskalige Forschungsinfrastruktur für das zukünftige Energiesystem und erneuerbare Technologien.

Mission

Bis 2050 technologische Lösungen entwickeln, die erneuerbare Energien nahtlos ins Netz einbinden – durch technologieorientierte Forschung und ganzheitliche Energiesystemanalysen.

www.elab.kit.edu





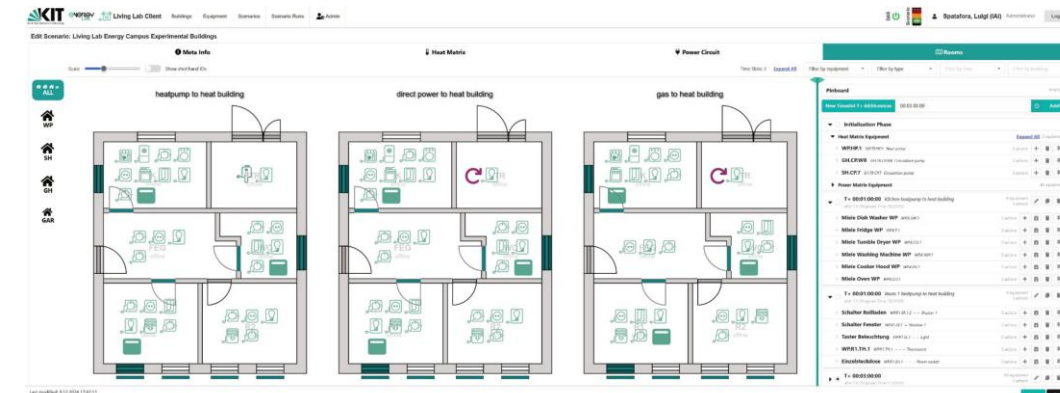
Living Lab Energy Campus & Smart Energy System Control Laboratory

Überblick Infrastruktur Experimentiergebäude – Living Lab Energy Campus

- Drei identische Einfamilienhäuser als Reallabor für Lastmanagement
- Voll automatisierte, flexible Energietopologie:
 - Kopplung über Strom, Daten und Hydraulik
 - Betrieb als einzelne Häuser oder Quartier
- Sektor-Kopplung: PV, Solar-/PVT-Kollektoren, Batteriesysteme, E-Fahrzeuge und Ladesäulen, ein Gebäude mit DC-Netz

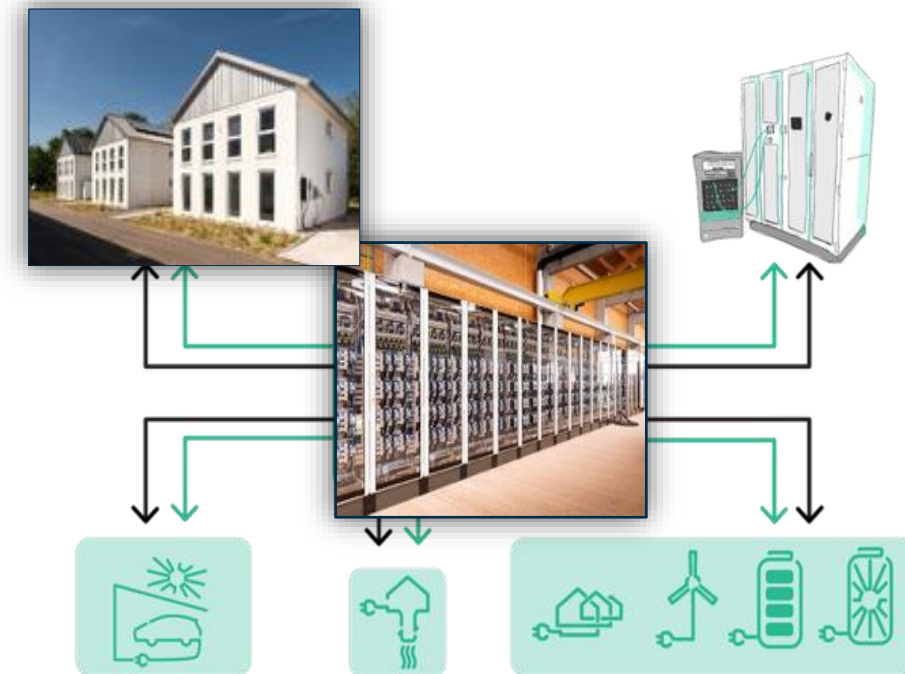


- Zentrales SCADA-System:
 - Planung und automatisierte Durchführung von Szenarien
 - Anbindung an experimentelles Stromnetz mit reproduzierbaren Netzsituationen
- Umfassende Messtechnik:
 - Raumtemperaturen, Luftfeuchte, Wärmeflüsse, Strommessdaten, Wetterstation



Überblick Infrastruktur Netzlabor – Smart Energy System Control Laboratory

- Hochflexibles Stromnetzlabor zur Entwicklung moderner Regelalgorithmen
- Umfangreiche Ausstattung mit Erzeugern und Verbrauchern:
 - Sammelmatrix aus 8 AC- und 2 DC-Sammelschienen mit 71 Anschlusspunkten
- Zentrales Automatisierungssystem ermöglicht dynamische Topologien:
 - Webbasiertes SCADA-System zur Planung, Ausführung und Überwachung von Experimenten
- Validierung von Algorithmen sowie Untersuchungen in netzkritischen Betriebsbereichen, die im öffentlichen Netz nicht zulässig wären
- Integration von Testgeräten problemlos möglich

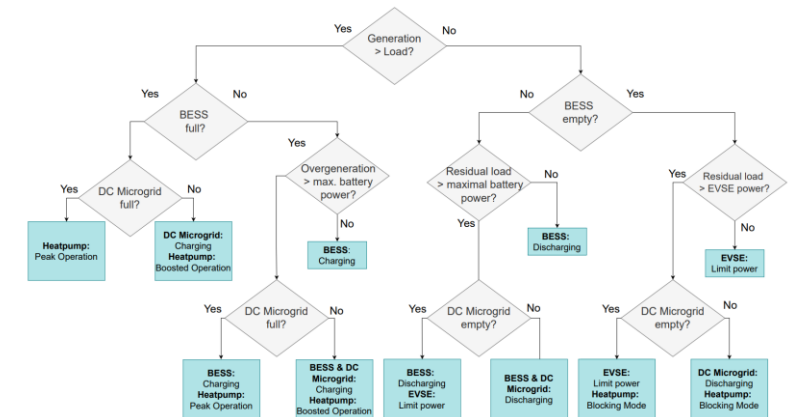
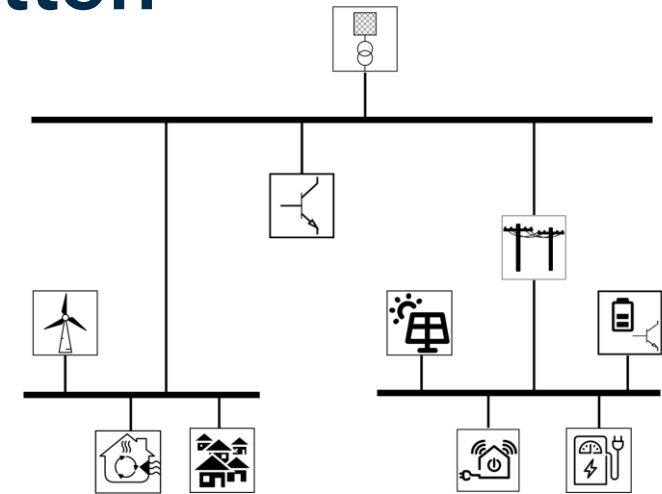
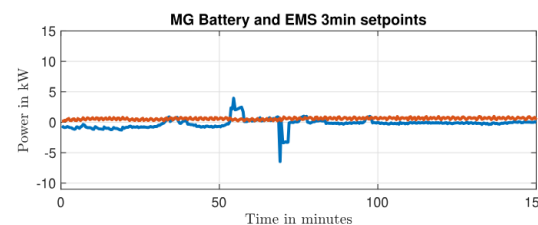
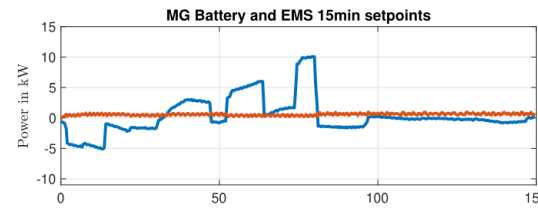
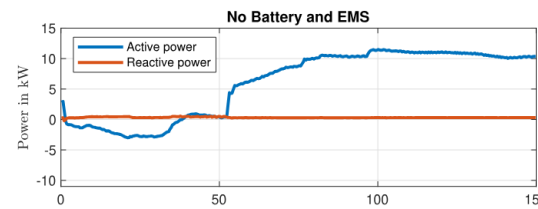
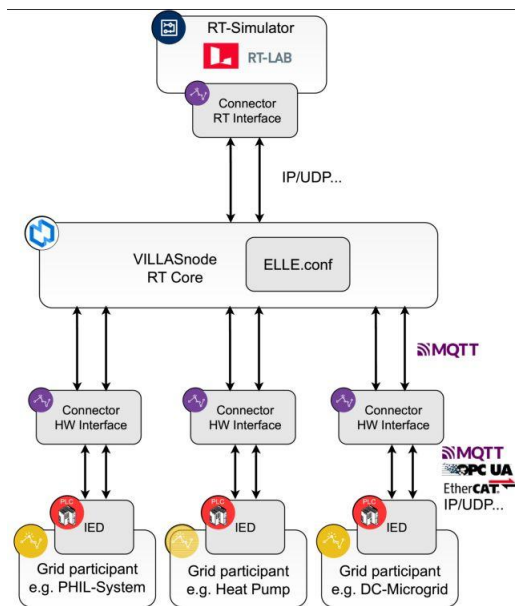




Anwendungen und Erfahrungen

Einblicke in Anwendungen Energiemanagement in kleinen Netzabschnitten

- Kommunikationsinfrastruktur und Schnittstellen sind entscheidend
 - Standards schwierig -> Schaffung von Abstraktionsschichten
- Auf welcher Zeitebene wollen wir arbeiten (<1s, 1min, 15min?)

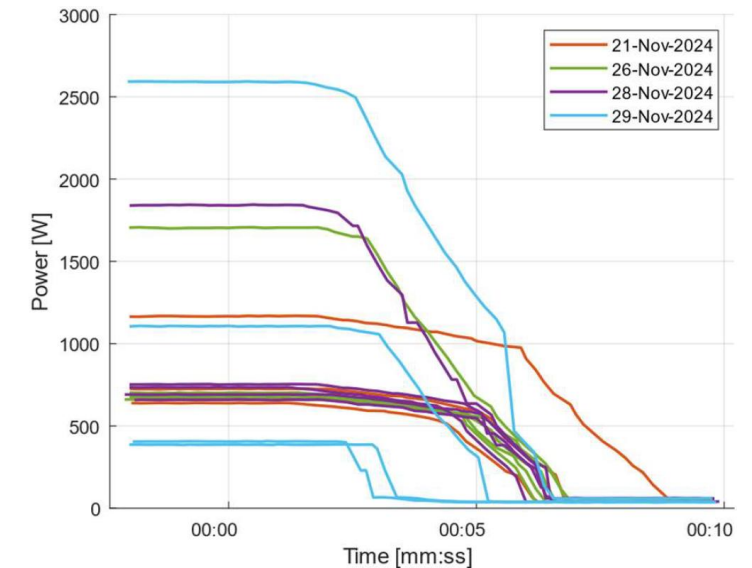
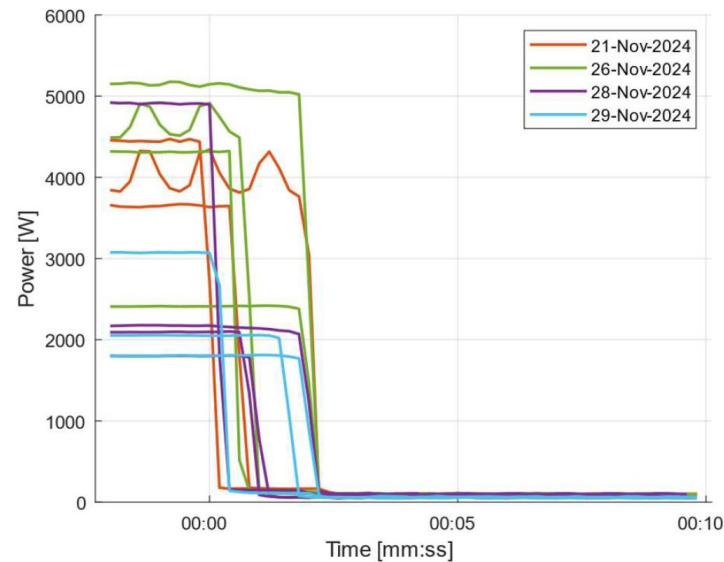
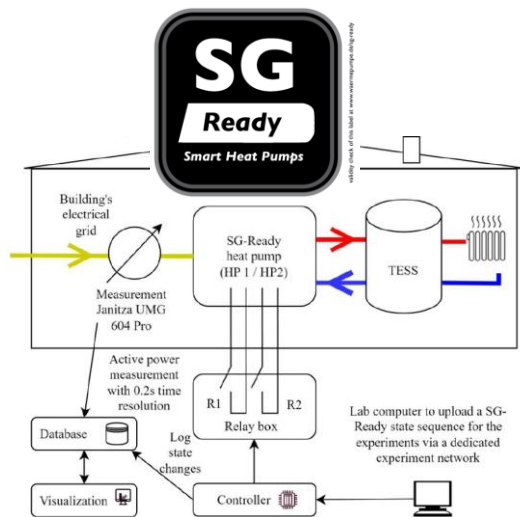


Wiegel, F. et al. (2024). Integrating distributed energy resources in real-world sector-coupled microgrids: challenges, strategies, and experimental insights. In System Level Control and Optimisation of Microgrids (pp. 147–173), IET, 2024
<https://doi.org/10.1049/pbpo149e.ch6>

Einblicke in Anwendungen

Charakterisierung von realen Komponenten

- Moderne Großverbraucher sind oft steuerbar, z.B. Wärmepumpen oder Wallboxen
- Für dynamisches Lastmanagement ist Ansprechverhalten entscheidend:
 - Starke Abhängigkeit vom Gerät
- Beispiel 1: Smart Grid Ready Signal für Wärmepumpen

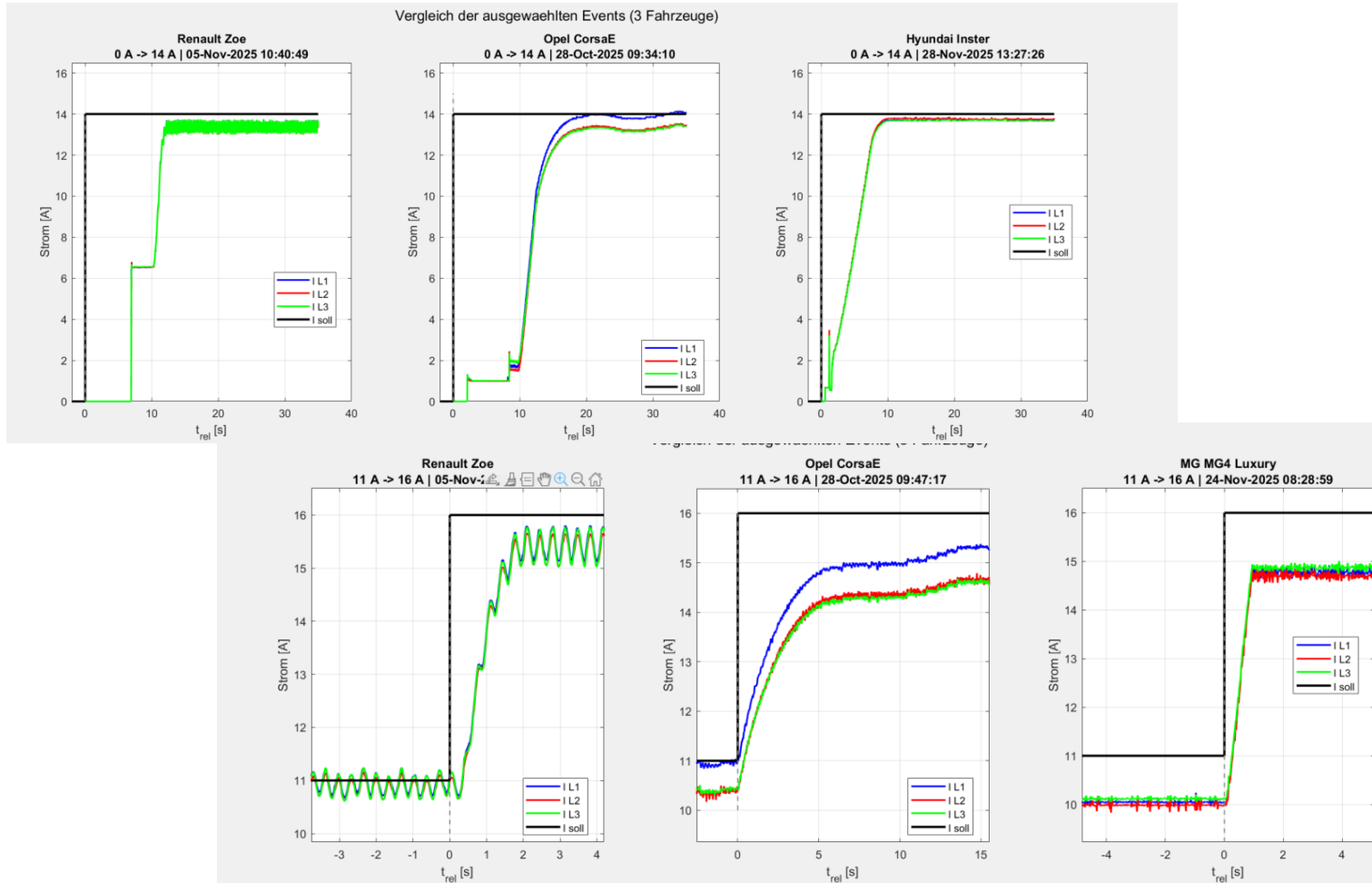


Beichter, S., Süß, A.-C., Galenzowski, J., Dillmann, J., Dietze, S., Mikut, R., Waczowicz, S., & Hagenmeyer, V. Characterization of grid-oriented control of heat pumps via SG-Ready. IET Conference Proceedings, 2025 <https://doi.org/10.1049/icp.2025.1999>

Einblicke in Anwendungen

Charakterisierung von realen Komponenten

- Beispiel 2: Lastmangement für Elektrofahrzeuge beim AC-laden



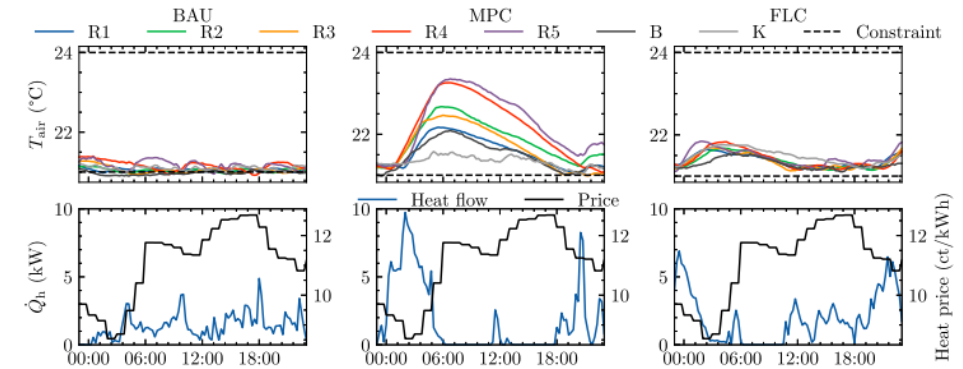
Model	t _{start,delay}	t _{start,rise}	t _{down,delay}	t _{down,fall}	t _{up,delay}	t _{up,rise}	t _{stop,delay}	t _{stop,fall}
Mini Cooper E	3.28	4.18	0.08	2.86	0.11	0.95	0.08	1.58
Hyundai Inster	0.66	9.30	0.12	2.19	0.13	2.10	0.13	2.48
Hyundai Ioniq 5	4.49	2.92	0.04	1.31	0.07	2.10	0.07	2.21
KIA EV6	4.45	3.21	0.03	1.20	0.07	1.85	0.06	2.13
Smart EQ fortwo	6.99	3.19	0.08	0.29	1.39	1.30	0.23	0.22
Dacia Spring	1.39	2.56	0.10	0.30	0.10	0.62	0.10	1.54
Renault Zoe	6.83	4.96	0.11	0.31	0.42	1.04	0.01	0.28
Nissan Leaf	3.03	6.48	0.12	1.77	0.10	1.22	0.07	2.19
MG4	28.72	2.14	0.08	1.22	0.15	0.72	0.76	1.23
Opel Corsa Electric	5.35	9.66	0.08	2.52	0.11	4.50	0.01	0.06
Opel Mokka	8.17	7.01	0.06	1.34	0.13	4.31	0.02	0.07
Tesla Model 3	7.27	25.33	0.00*	0.20	0.59	4.61	0.03	0.51
Audi Q4 35 e-tron	0.98	2.44	0.65	0.25	0.75	0.40	0.64	0.31
VW e-Golf	2.67	3.95	0.26	0.58	0.94	1.33	0.07	5.04
VW e-Up!	1.74	2.50	0.27	0.37	0.29	2.12	0.09	4.42
VW ID.3	1.03	3.20	0.67	0.50	0.78	0.79	0.69	0.31
Mean	3.94	6.05	0.17	1.08	0.38	1.87	0.19	1.54

* within one time step of measurement

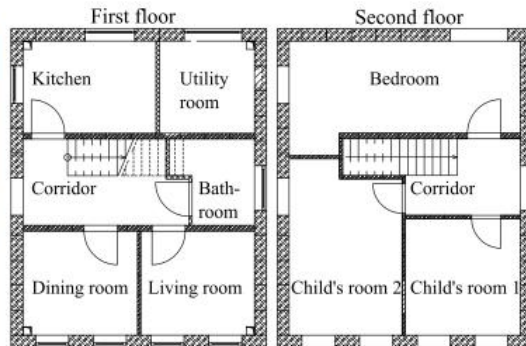
Beichter, S. et al. , Open-source data set for characterizing the charging behavior of electric vehicles. 2026, preprint <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.6265089>

Einblicke in Anwendungen Netzdienliche Gebäudeheizung

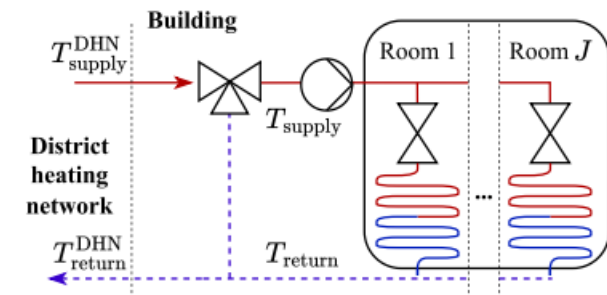
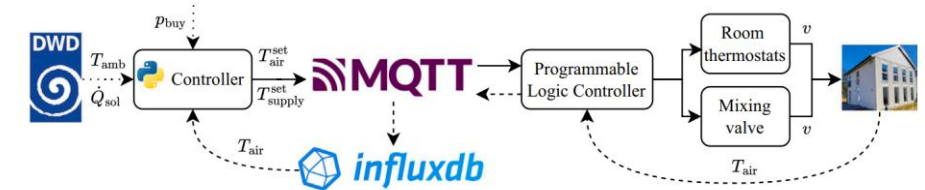
- Netzdienliche Gebäudeheizung ermöglicht Lastverschiebung ohne* Komfortverlust
- Was ist der reale Anreiz?
- Flexible Strompreise vs. Lokale Auslastung



(a) The three experimental buildings.



(b) The layout of the experimental buildings.



Langner, F., Kovačević, J., Spatafora, L., Dietze, S., Waczowicz, S., Çakmak, H. K., Matthes, J., & Hagenmeyer, V. .Experimental evaluation of model predictive control and fuzzy logic control for demand response in buildings. Applied Energy. 2025
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126666>



Jan Wachter

jan.wachter@kit.edu

Institut für Automation und angewandte Informatik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)