COOLSKIN – Heizen und Kühlen mittels Fassaden-integrierter PV & Wärmepumpe

Andreas Heinz, Daniel Brandl, Thomas Mach

Marcus Rennhofer, Tim Selke

Institut für Wärmetechnik
Technische Universität Graz
Inffeldgasse 25 / B
8010 Graz, Österreich
www.iwt.tugraz.at
andreas.heinz@tugraz.at

Wien, 16.01.2020

Projekt "COOLSKIN - Autarkes Kühlen über Gebäudehüllen"

09.2015 – 09.2019

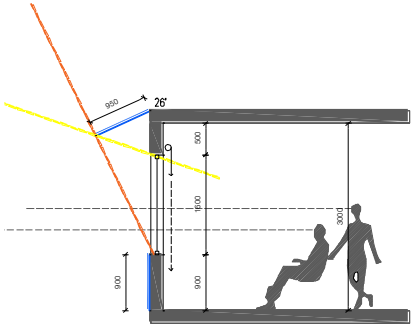
klima+ energie fonds
FFG Forschung wirkt.

Idee / Hintergrund / Zielsetzung

- Direkter Zusammenhang zwischen solarem Energieangebot und auftretenden Kühllasten
- Kühlung mit Photovoltaik (PV) als Energiequelle
- Technische Integration von (PV) und Kühltechnologie in die Fassadenkonstruktion
- Dezentrale Kühlung des dahinterliegenden Raums
- Möglichkeit eines hohen Vorfertigungsgrads, Plug & Play Charakter
- Fokussierung auf Bürogebäude
- Ziel: maximale Deckung des Kühl- und Heiz-Energiebedarfs (Ganzjahresbetrieb) über die PV in der Fassade

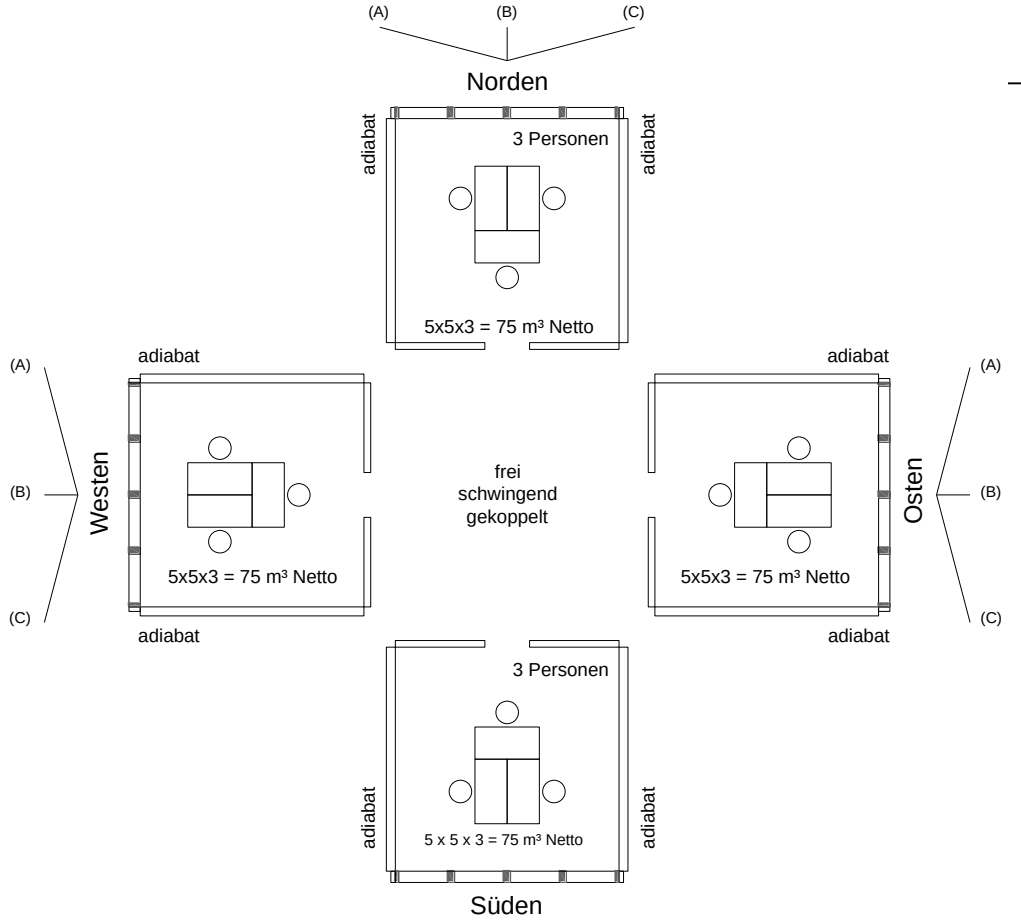
Projektpartner:

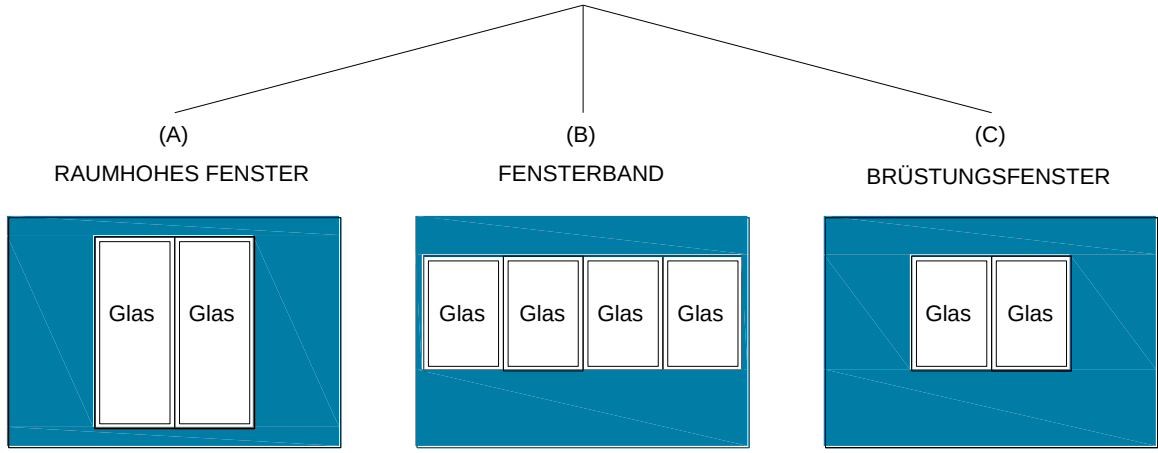
- AIT Austrian Institute of Technology
- SFL technologies GmbH
- AVL-QPUNKT
- Architekturbüro Reinberg ZT GmbH



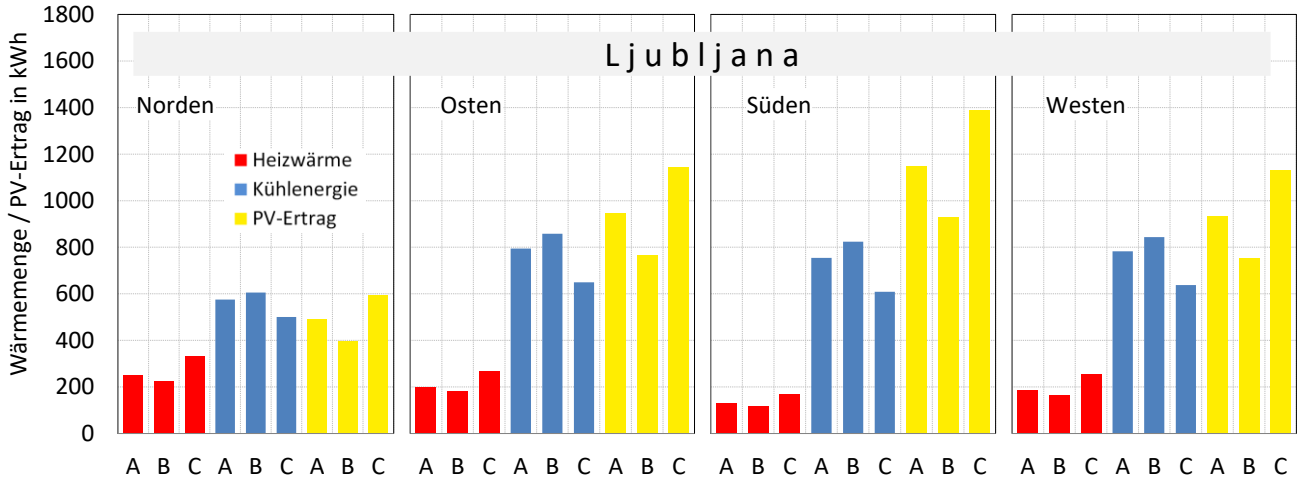
Simulation: energetische Bewertung - Last und PV-Ertrag

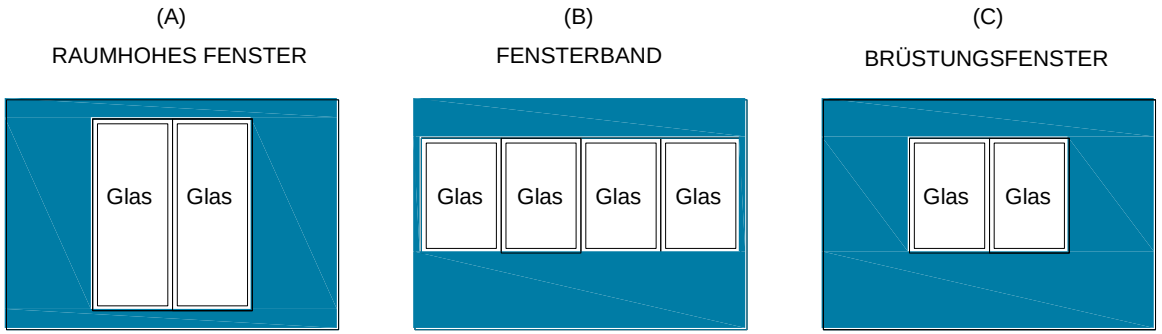
- Raummodell in TRNSYS
- 25 m² Nutzfläche / 75 m³ Volumen
- Klimadaten: 3 europäische Hauptstädte (jeweils 10-Jahres-Durchschnittsklima):
  - Ljubljana (moderat)
  - Madrid (warm)
  - Helsinki (kalt)
- Solltemperaturen: 21 °C (Heizen), 26 °C (Kühlen) (ideale Heizung/Kühlung)
- 4 Ausrichtungen (N / O / S / W)
- Anwesenheitsprofil Büro (3 Personen)
- Lüftung 108 m³/h von 8:00 bis 18:00 (Mo-Fr)
- 3 Fassadenkonfigurationen mit untersch. Verglasungs- bzw. PV-Fläche (vertikal)

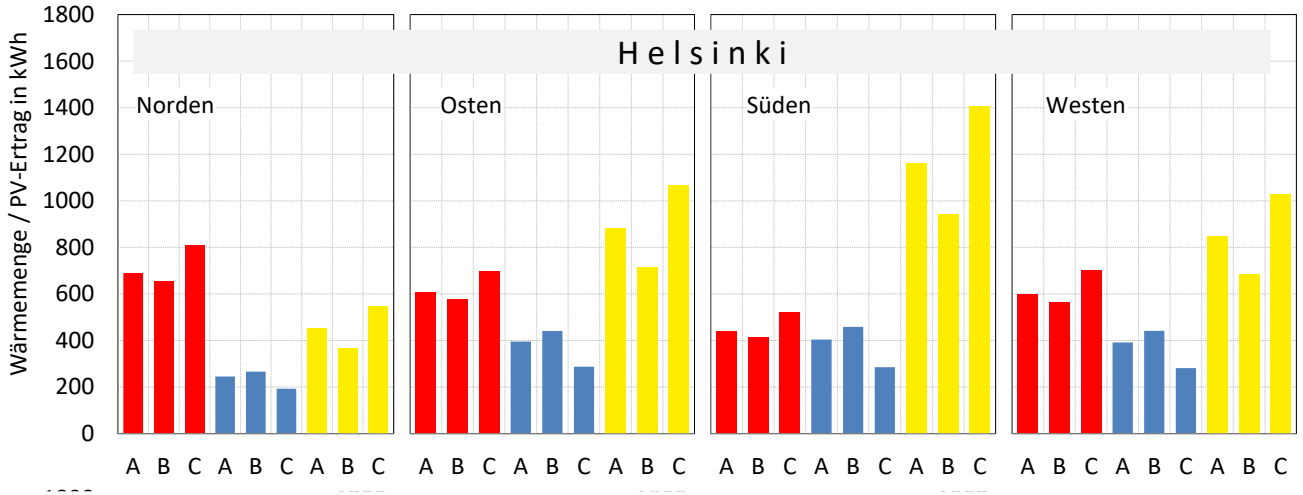


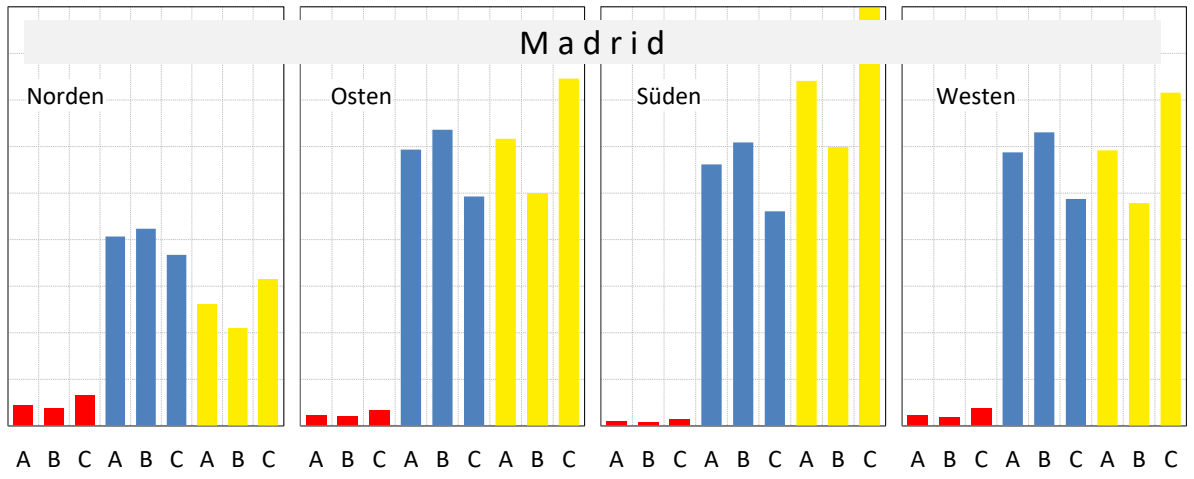


Simulationsergebnisse: Jahressummen für alle Varianten

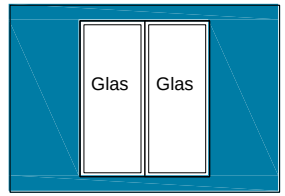




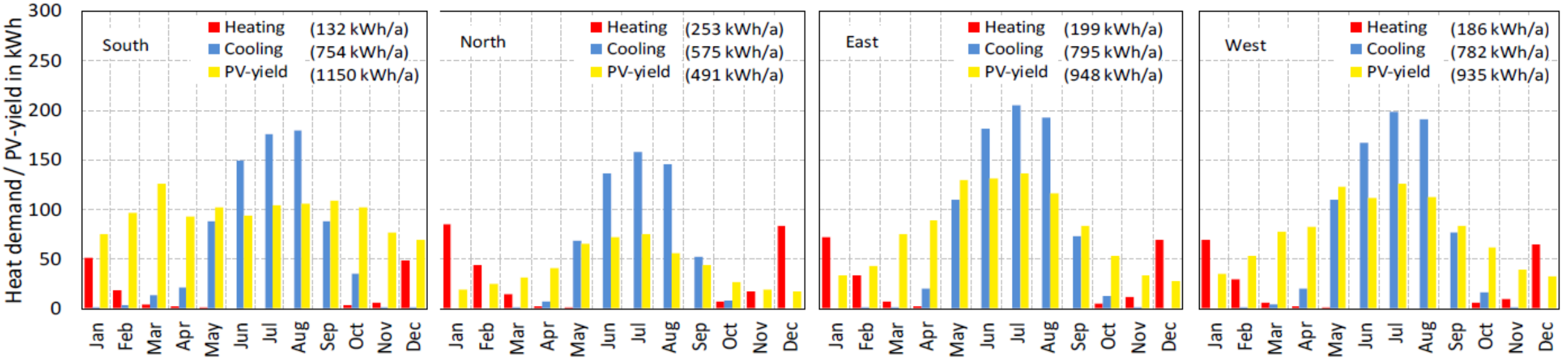


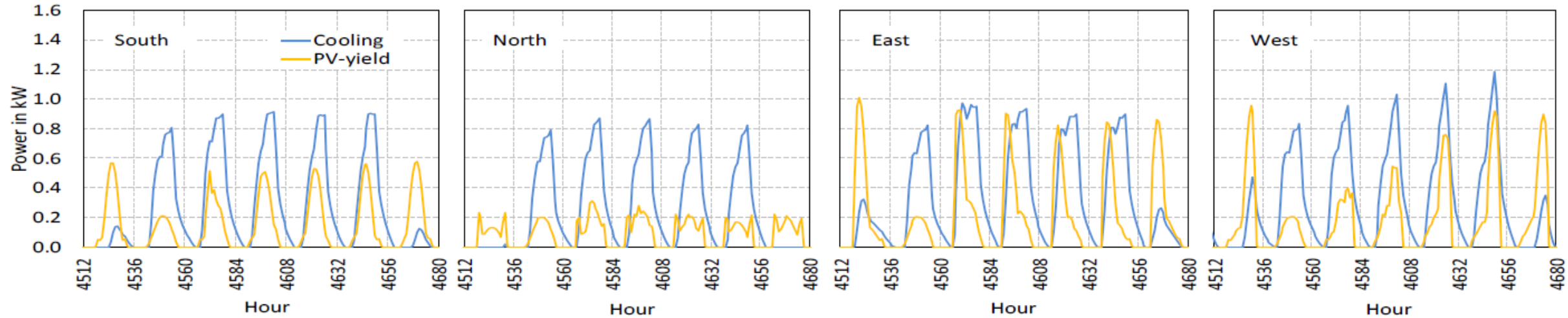


(A)
RAUMHOHES FENSTER



Simulationsergebnisse: Ljubljana



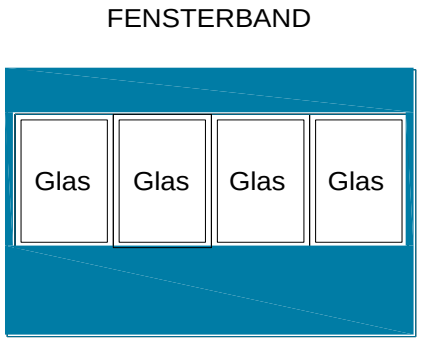


Simulation: System- und Betriebskonfigurationen im Vergleich

Zielsetzung

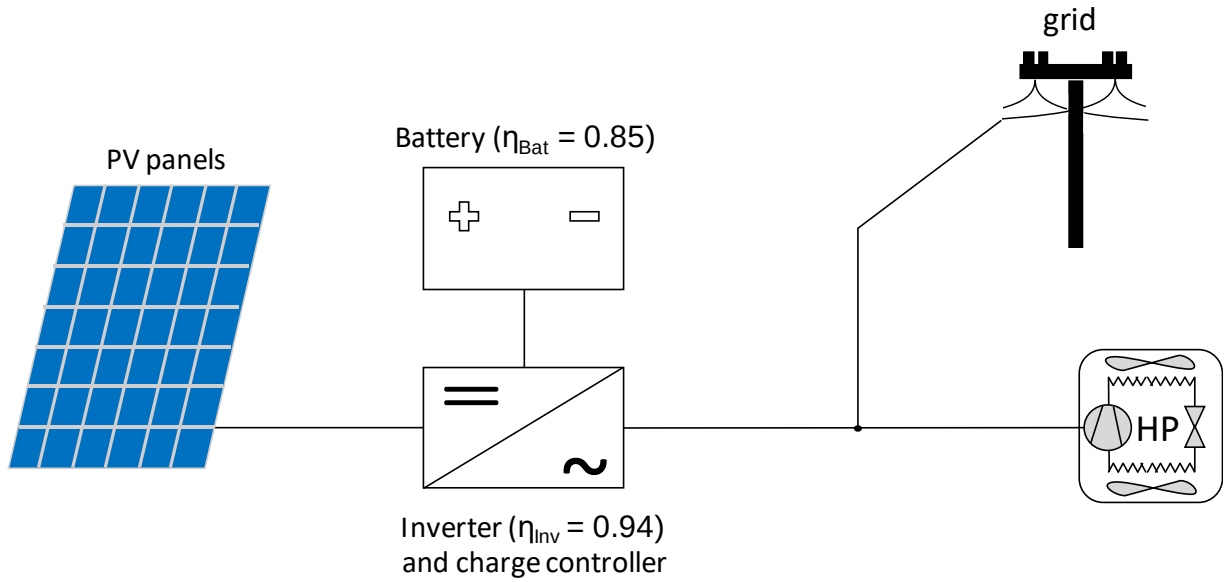
- Bewertung der energetischen Performance im Heiz- und im Kühlbetrieb
- Vergleich von Systemen mit und ohne Batterie-Speicher und mit und ohne Netzkopplung
- Bewertung von unterschiedlichen Regelungsansätzen

→ Detaillierte Anlagensimulationen



Randbedingungen

- Klima: Graz (Durchschnitt 2001-2010)
- 25 m² Nutzfläche / 75 m³ Volumen
- Südausrichtung
- Fassadenkonfiguration mit Fensterband
- Luft-/Luft-WP
- Variation PV-Fläche (2-10 m²)
- Unterschiedliche Batterie-Kapazitäten (500, 1000, 2000 Wh)



Simulation: System- und Betriebskonfigurationen im Vergleich

Kennzahlen zur Systembewertung

$$W_{el,sys} = \int \left(P_{el,HP} + P_{el,ventilators}\right) dt$$

$$W_{el,sys,grid} = \int \left(P_{el,sys} - P_{el,PV}\right) dt$$

$$SSR_c = 1 - \frac{W_{el,sys,grid,c}}{W_{el,sys,c}}$$

Self sufficiency ratio cooling (Autarkiegrad Kühlen)

$$SSR_h = 1 - \frac{W_{el,sys,grid,h}}{W_{el,sys,h}}$$

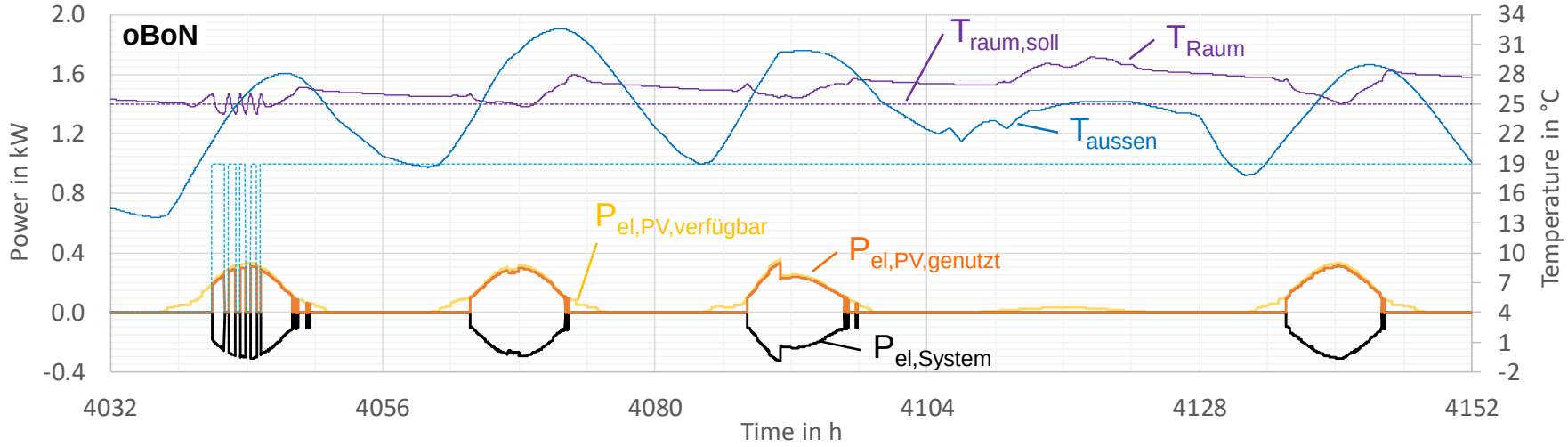
Self sufficiency ratio heating (Autarkiegrad Heizen)

$$SCR = 1 - \frac{W_{el,feedin}}{W_{el,PV}\,\eta_{inv}}$$

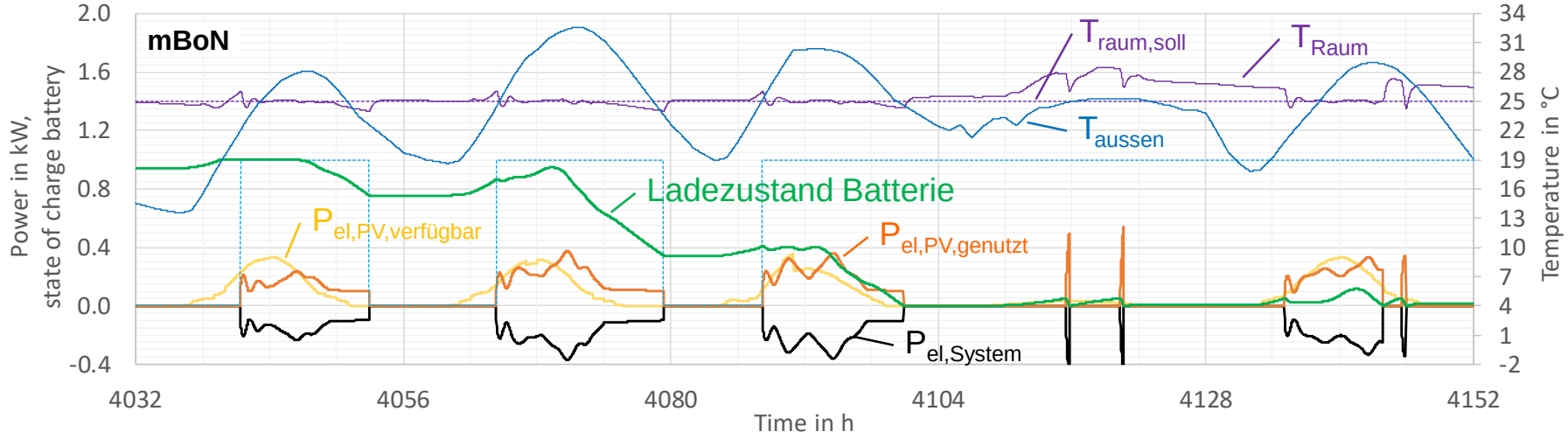
Self consumption ratio (Eigenverbrauchsgrad)

Betrachtete Varianten: ohne Netzanbindung (oN)

Ohne Batterie

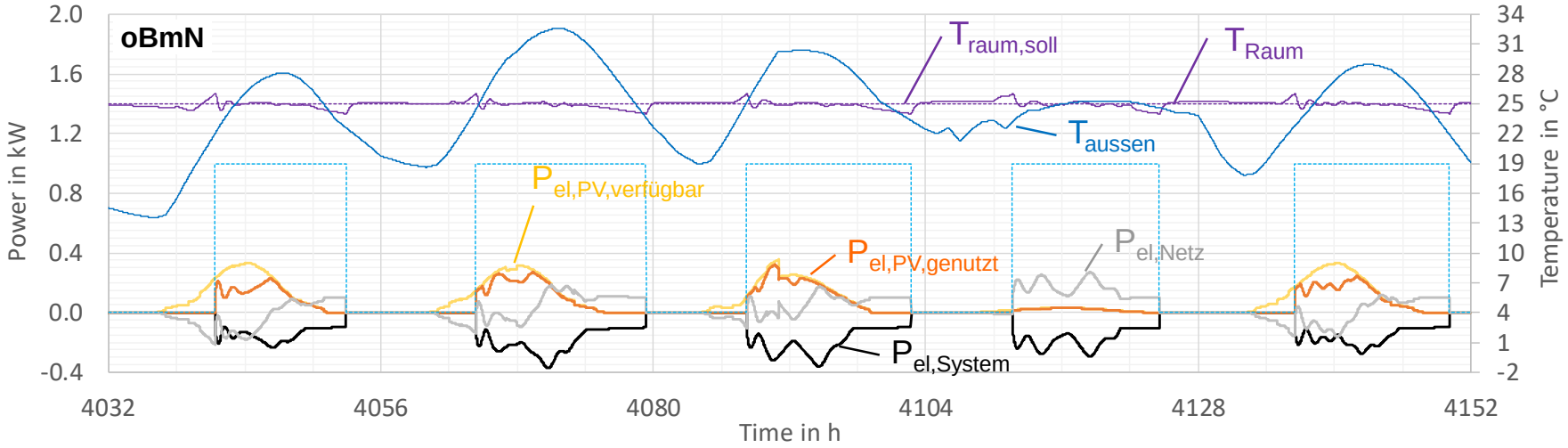


Mit Batterie

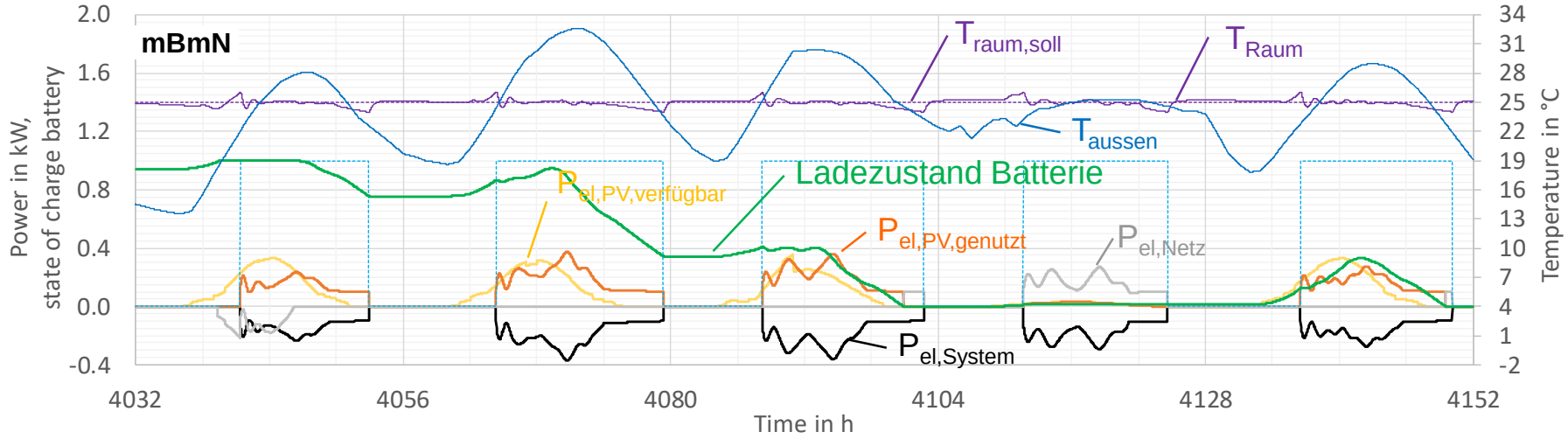


Betrachtete Varianten: mit Netzanbindung (mN)

Ohne Batterie

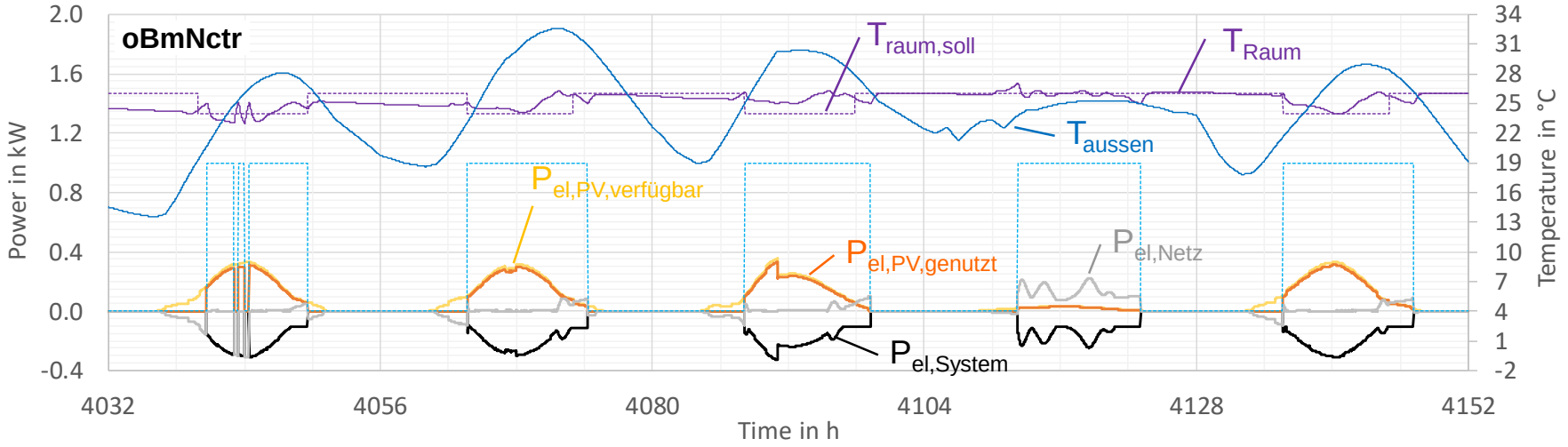


Mit Batterie

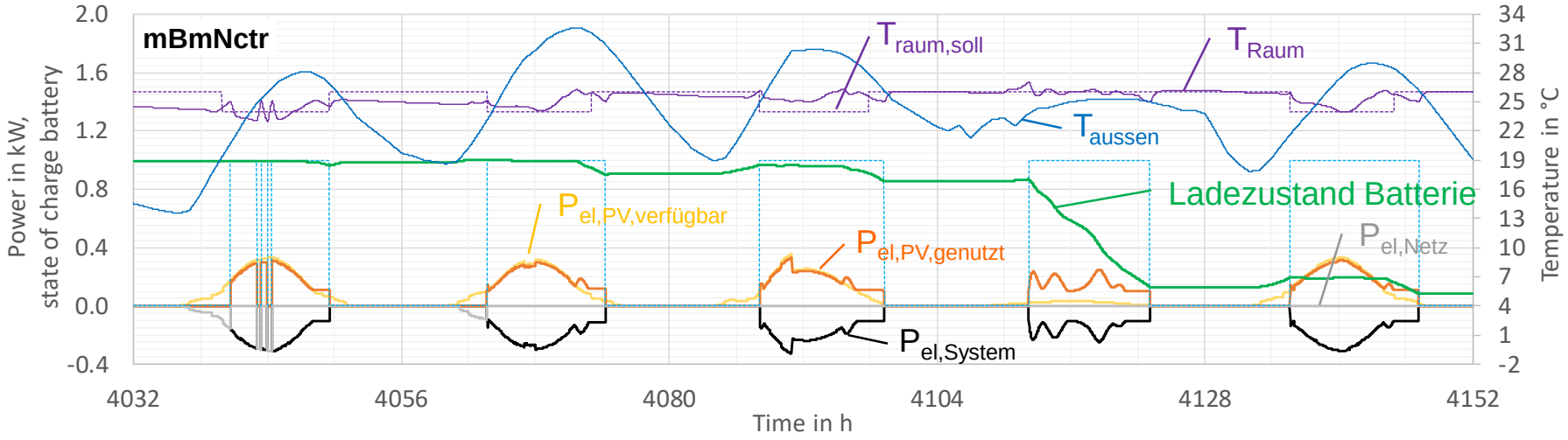


Betrachtete Varianten: mit Netzanbindung (mN), adaptierte Regelung

Ohne Batterie



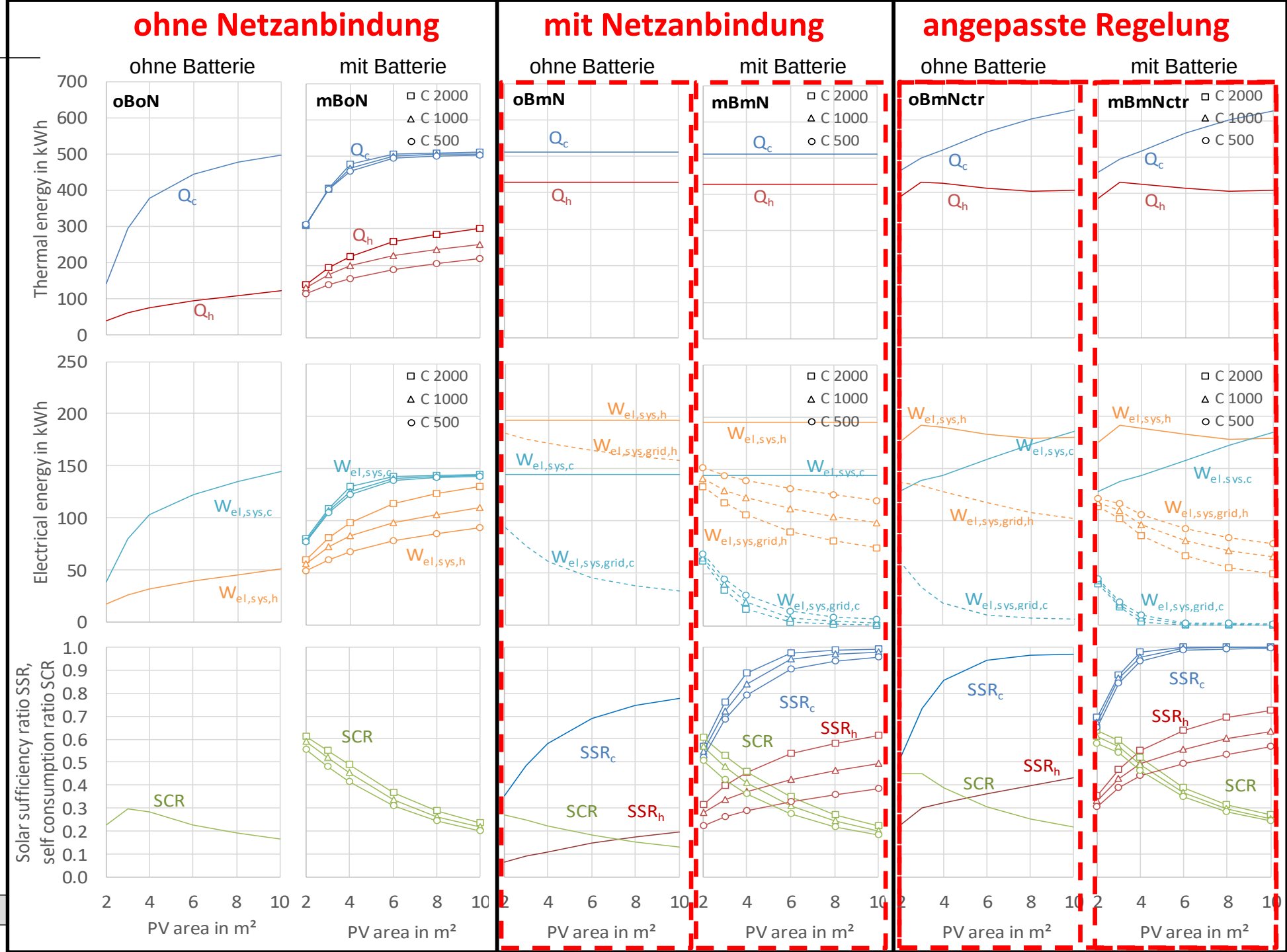
Mit Batterie



Adaptierte Regelung

- Sollwert Raumtemperatur abhängig vom verfügbaren PV-Ertrag
- Anpassung Drehzahl Kompressor zur vollen Ausnutzung des PV-Ertrags

Ergebnisse Jahressimulation



Prototyp-Entwicklung und Monitoring

Zielsetzung

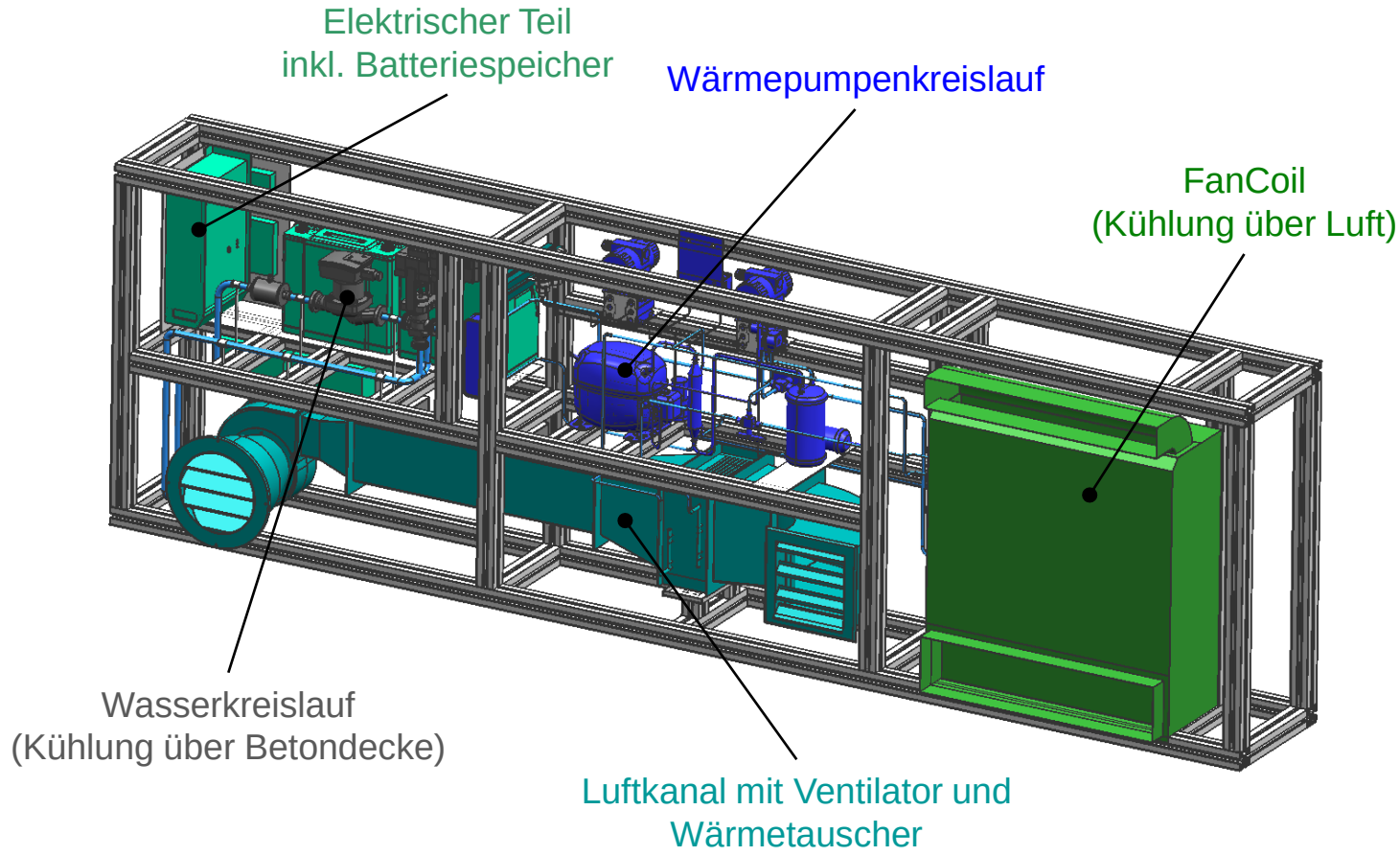
- Test eines im Projekt entwickelten Prototypen eines fassadenintegrierten Kühlsystems unter realistischen Randbedingungen

Umsetzung

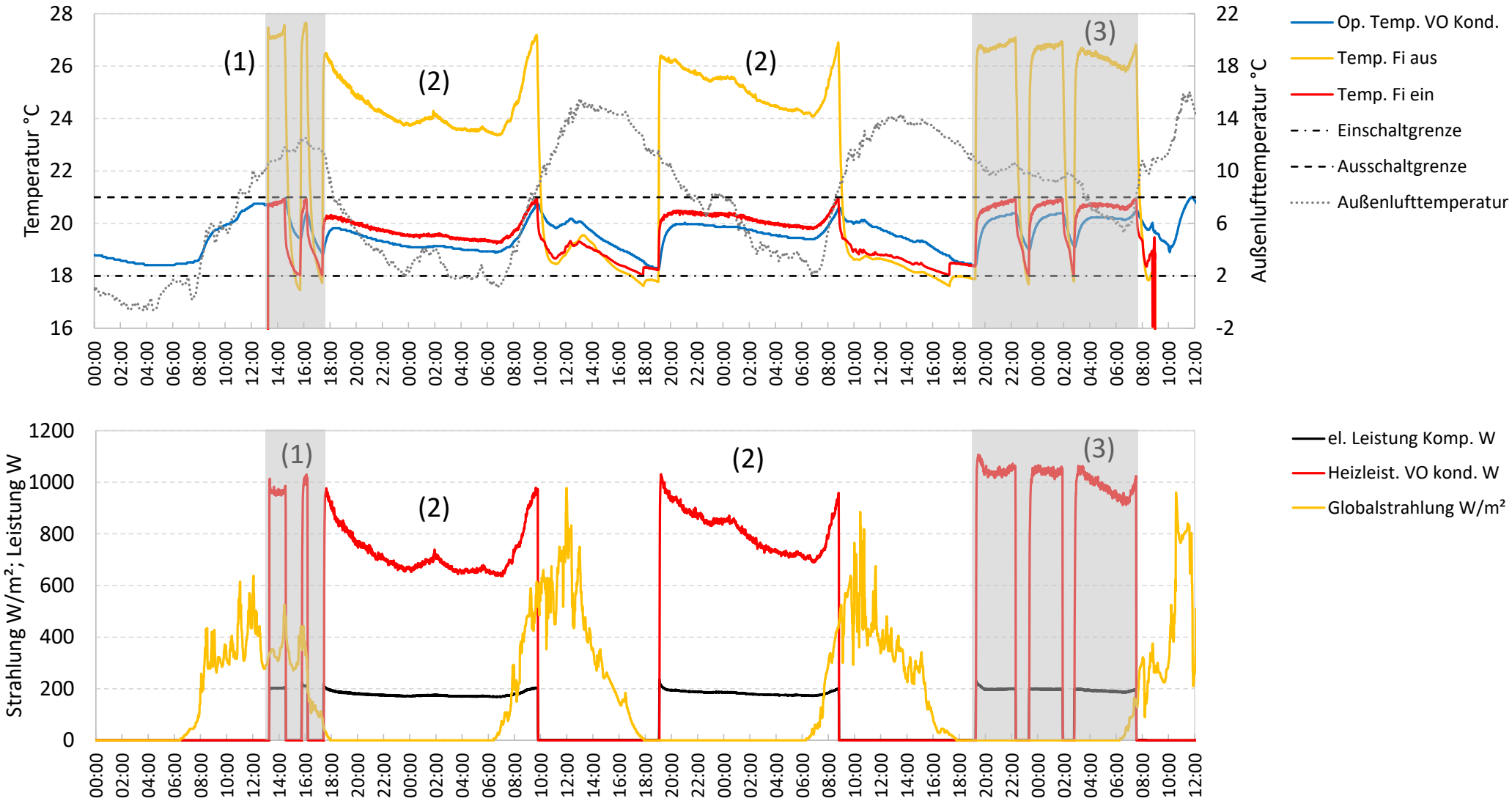
- Einbau des Prototypen in einen Testraum (Versuchsobjekt):
  - 13,5 m² Grundfläche
  - Betonkonstruktion
- Vergleich zu einem un-konditionerten zweiten Versuchsobjekt (VO) mit nachgewiesen (fast) identischem thermischem Verhalten
- Einbau des Prototypen unter süd-orientiertes Fenster
- 8.24 m² PV-Paneele als Energiequelle
- Lüftung und interne Lasten in beiden Gebäuden
- Betrieb des Systems ohne Netzkopplung (Inselbetrieb)

Prototyp Fassaden-integriertes Kühlsystem

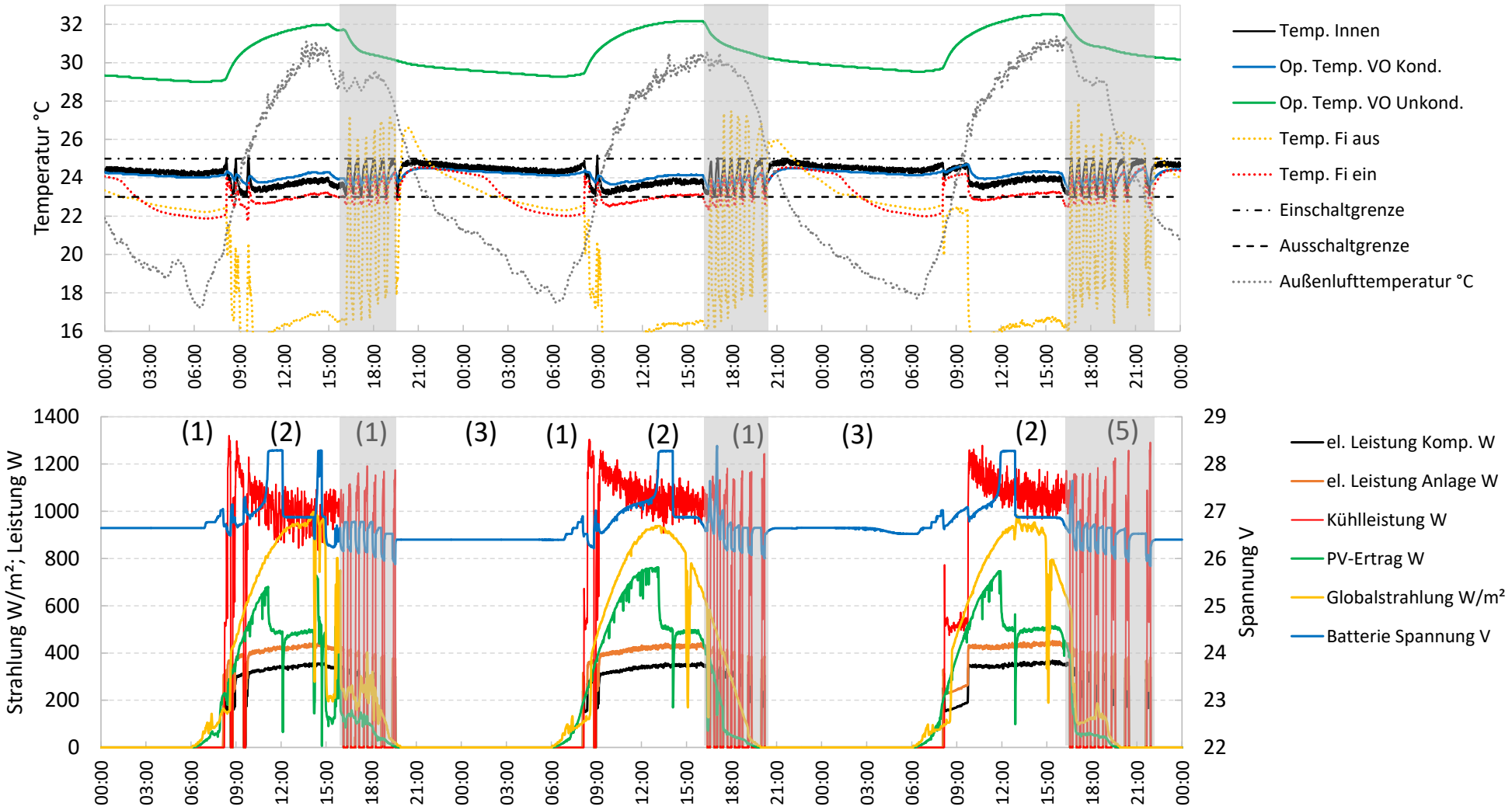
- Wärmepumpe:
  - Reversibler Kreislauf (Ganzjahresbetrieb)
  - Kältemittel R134a
  - Kälteleistung 1-2 kW
  - Drehzahlbereich Kompressor 2000-4500 min^{-1}
- Batteriespeicher ca. 2 kWh (LiFePO4)
- Kühlung über Luft oder über Betondecke
- Einbau in Aluminium-Rahmenkonstruktion (B x H x T: 2.97 x 0.89 x 0.36 m)
- Kompaktheit „optimierbar“



Exempl. Messdaten: Heizbetrieb (Luft/Luft), 09.03. – 11.03.2018

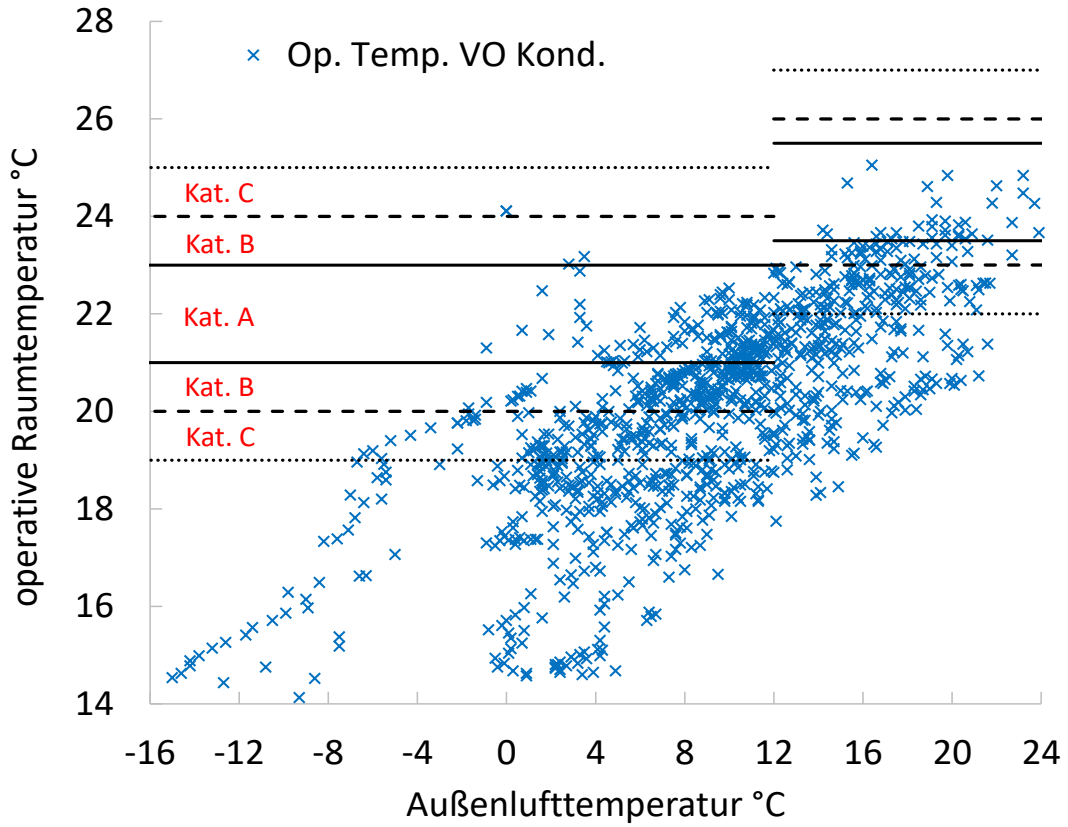


Exempl. Messdaten: Kühlbetrieb (Luft/Luft), 21.08. – 23.08.2018

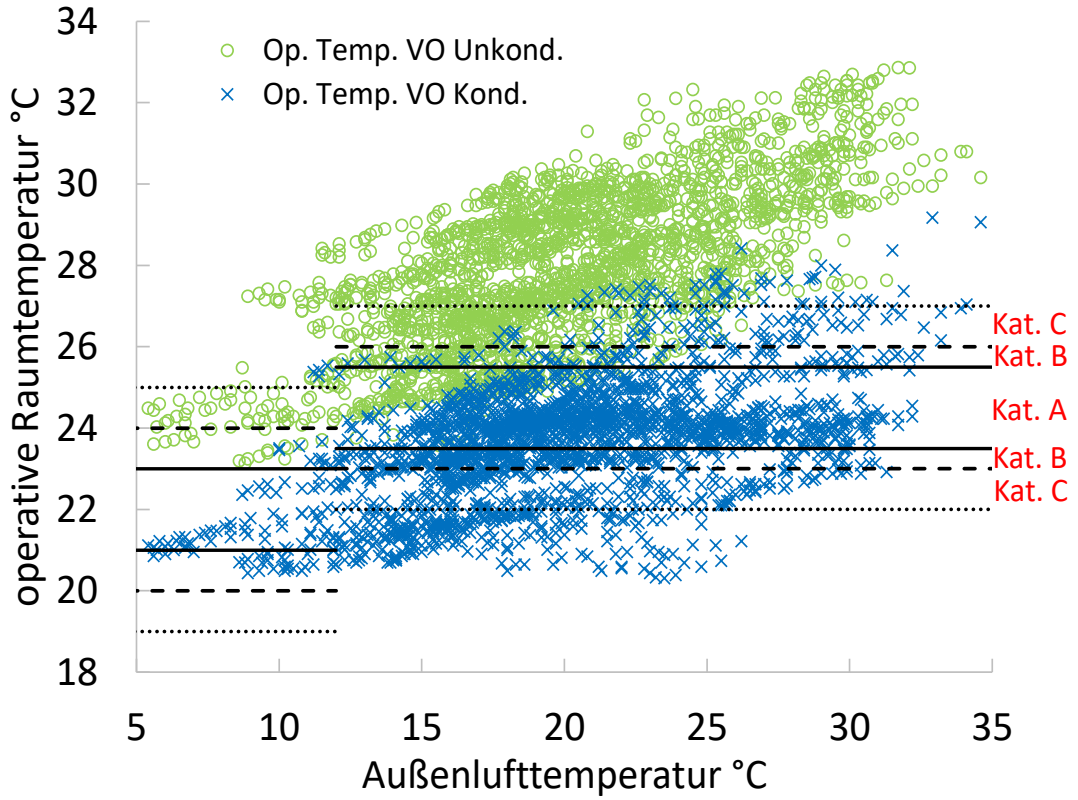


Messdaten: Operative Raumtemperatur (Stunden-Mittelwerte)
(gesamter Messzeitraum: Feb. 2018 bis Sept. 2019)

Heizen:



Kühlen:



Zusammenfassung und Ausblick

- Die Ergebnisse der Simulationen im Projekt zeigen, dass der Kühlbedarf eines typischen Büroraums über ein fassadenintegriertes Kühlsystem mit in der Fassade installierter PV (fast) vollständig gedeckt werden kann.
- Bei voller Ausnutzung der für PV verfügbaren Fassaden-Fläche (10 m²) können im betrachteten Setup der Heizwärmebedarf zu ca. 40 – 60 % über PV gedeckt werden.
- Der im Projekt entwickelte Prototyp wurde sowohl im Kühl- als auch im Heizbetrieb im Rahmen des Monitorings erfolgreich betrieben.
- Im Kühlbetrieb war die Temperatur im gekühlten Testraum fast durchgehend 3-6 K niedriger als im un-konditionierten Testraum; auch ohne Netzanbindung großteils < 27 °C
- Der Einsatz einer Batterie ist zu hinterfragen (rechnet sich nicht bei aktuellen Investitionskosten)
- Dezentraler vs. gebäudezentraler Energiespeicher?
- Kombination mehrerer dezentraler Einheiten zu Gebäudefassaden
  → z.B. Positionierung Ansaug-/ Ausblasöffnungen?

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2014 durchgeführt.