

Simulation und Monitoring von Plus-Energie- Nachbarschaften „Herzo Base“ und „Sensys“

Christina Betzold (THN)

02. Juni 2026

Workshopreihe 2026 - IEA HPT Annex 61

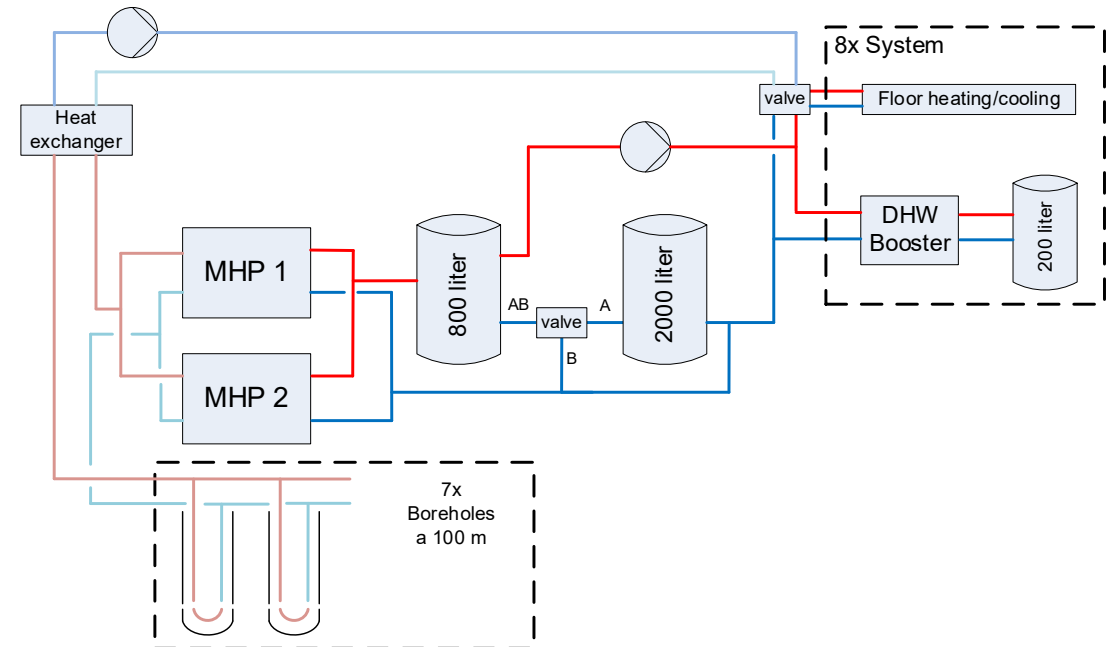


Project „Herzo Base“

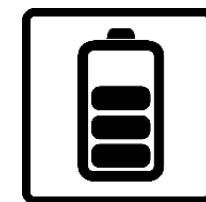
- Gefördert vom BMWi von 2016 bis 2022
- Im Jahr 2017 wurden acht Reihenhäuser in Passivhaus-ähnlicher Bauweise (KfW-Effizienzhaus 40 Plus) errichtet
- Monitoring seit April 2018
- Regelungsstrategien



FKZ: 03ET1364A und 03ET1641A



89 kWp



40 kWh

Supported by:



on the basis of a decision by the German Bundestag

Nach welcher Strategie werden die Komponenten betrieben?

→ „Jede für sich“

Regelbasierter Betrieb

- Serielles Schalten
- Zu-/Abschalten nach Ist-Zustand
- Bedarfs-/speicherorientiert

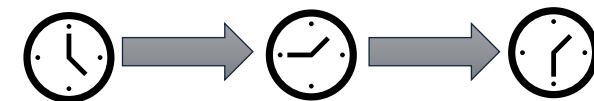
→ Betrachtung des Energiesystems nur zu einem Zeitpunkt



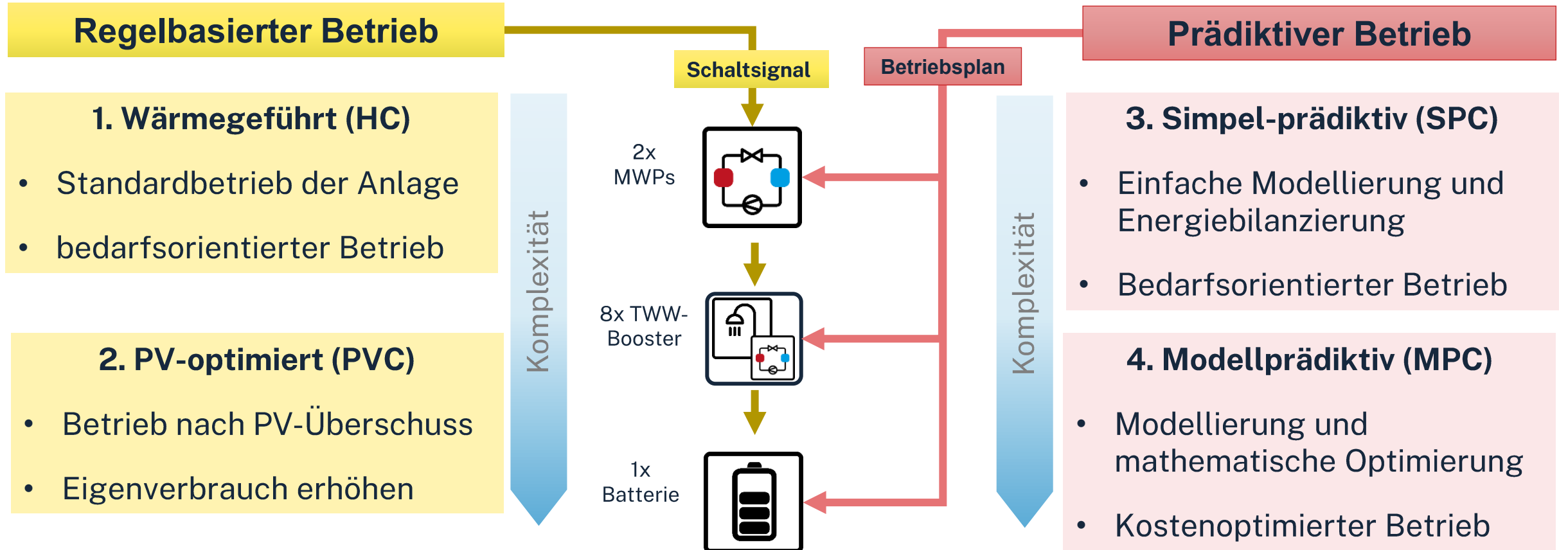
Prädiktiver Betrieb

- Nutzung von Wetterprognosen
- Modellierung von Lastprognosen
- Modellierung von Anlagenkomponenten
- Nutzung mathematische Optimierung
- Diverse Optimierungsziele

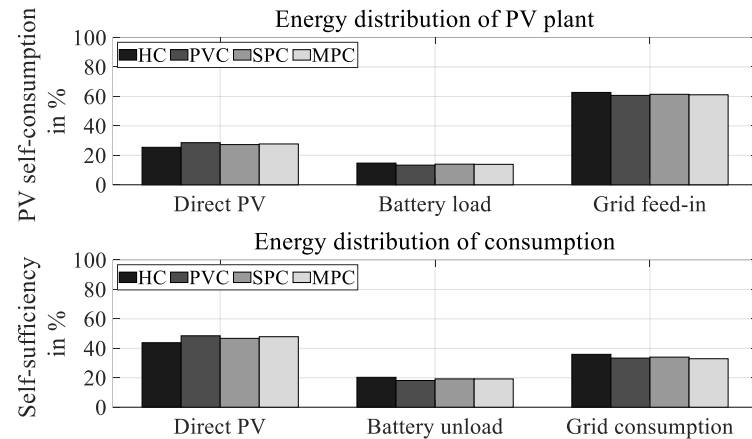
→ Ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems über Prognosehorizont



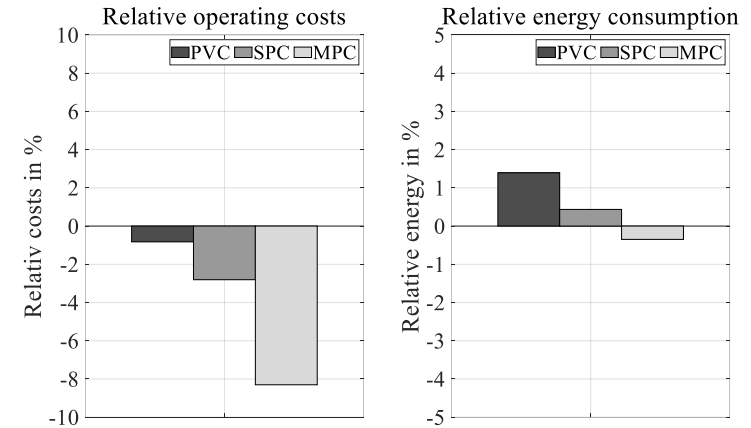
Überblick zu untersuchten Strategien



PV Nutzung



Relative Betriebskosten und Gesamtverbrauch



Ergebnisse:

- PVC, SPC und MPC erhöhen PV-Eigenverbrauch (2%abs - 3%abs).
- PVC und SPC erzielen trotz höherem Verbrauch (aufgrund geringerer Effizienz) Kosteneinsparungen
- MPC erzielt den niedrigsten Verbrauch bei höchsten Kosteneinsparungen (beste Effizienz)

Welche Vorteile ergeben sich aus den Strategien?

PVC-Betrieb über 1 Jahr (2019)

	Simulation	Measurement	
PV production	85.1 MWh	85.1 MWh	0 %
Energy consumption	49.3 MWh	47.9 MWh	- 3 %
PV self-consumption/ incl. Battery	28 % / 42 %	26 % / 36 %	
PV self-sufficiency/ incl. Battery	49 % / 67 %	45 % / 62 %	
Operating costs	2,843 €	3,430 €	+ 21 %
SPF _{MHP}	4.2	4.8	

MPC-Betrieb über 15 Wochen (03/22 bis 06/22)

	Simulation	Measurement	
PV production	40.7 MWh	42.0 MWh	+ 3 %
Energy consumption	11.8 MWh	14.9 MWh	+ 27 %
PV self-consumption/ incl. Battery	18 % / 25 %	21 % / 31 %	
PV self-sufficiency/ incl. Battery	62 % / 81 %	59 % / 80 %	
Operating costs	-2,329 €	-1,305 €	- 44 %
SPF _{MHP}	4.9	4.1	

- Vorhersage weicht von realen Lasten ab
- Abweichungen in der Modellierung
- Simulationsergebnisse müssen als Input in die reale Wärmepumpe übersetzt werden

→ Abweichungen führen zu unterschiedlichen Betriebskosten

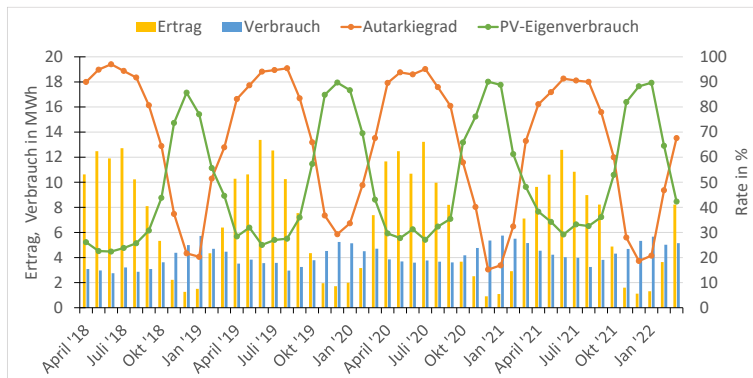
→ Vollständige Deckung der Lasten und sicherer Betrieb

Strompreis 0,34 € (2019), PV-Eigennutzung (inkl. EEG-Umlage) 0,0883€, Batterienutzung PV-Kosten *1,2, PV-Vergütung 0,11€

Monitoringergebnisse seit April 2018

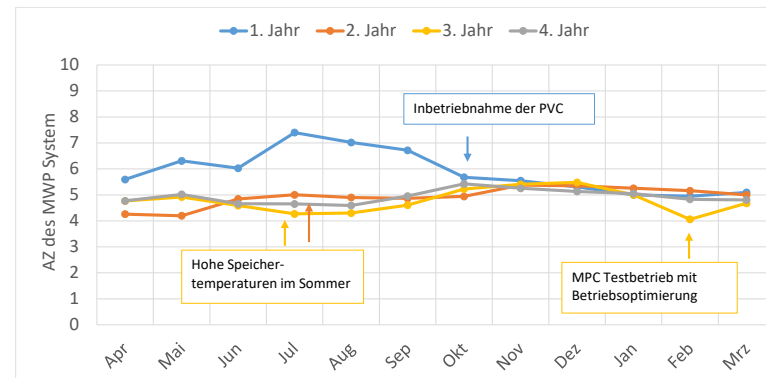
PV-Ertrag und Eigenverbrauch

- Plus-Energiegebäude auf Jahresbilanz
- Autarkiegrad ca. 60 %
- PV-Eigenverbrauch ca. 37 %



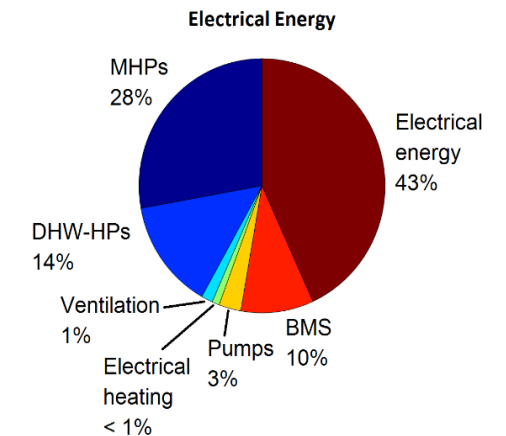
Systemeffizienz

- Jahresarbeitszahl der MWP's von ca. 5
- Jahresarbeitszahl der Booster von 4.1
- Jahresarbeitszahl des Systems von 3.3 (Hilfsenergie im Sommer)



Betriebskosten

- Die Kosten eines durchschnittlichen Haushalts für Strom, Heizung und Warmwasser lagen in 2019 bei ca. 430 €.



Projekt „Sensys“

Demonstration einer Mustersanierung mit smarter Energiesystemregelung für kosteneffizienten und klimaneutralen mehrgeschossigen Wohnungsbau

- Gefördert durch das BMWF von 06/2022 bis 05/2026
- Mustersanierung eines Mehrfamilienhauses einer Wohnungsbaugesellschaft in Erlangen
- Plus-Energie-Gebäude, KfW 40 Standard
- Fokus auf Warmwasserbereitung (Reduzierung von Verteilverlusten)
- E-Mobilität und Second-Life-Batterie

→ Ökonomische Aspekte im Mittelpunkt



Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

FK 03EN1053A



Energiekonzept für eine Plusenergiebilanz

Energieversorgung

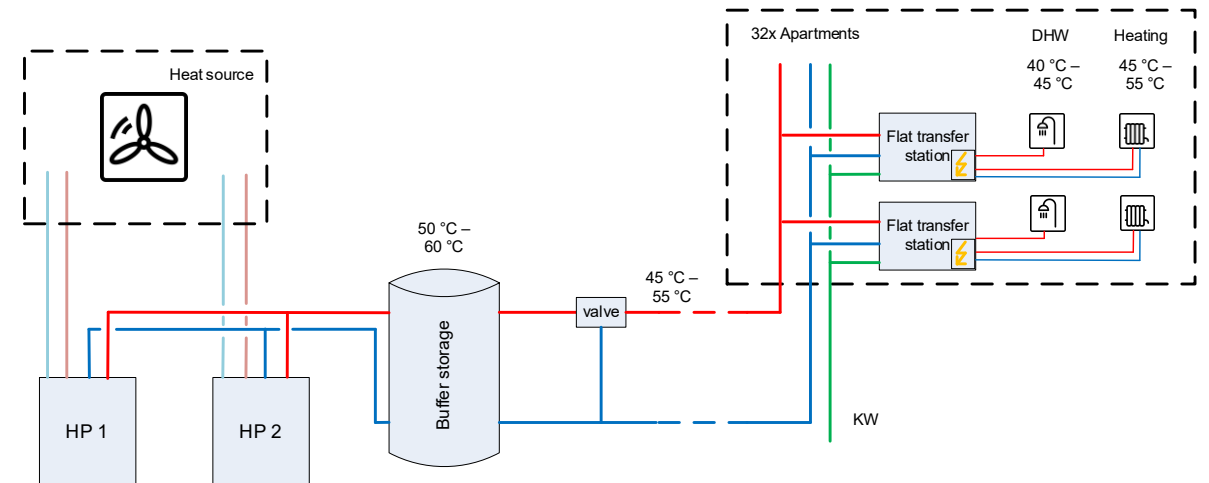
Zentrale Energiebereitstellung

- Erdreichgekoppelte **Sole-Wasser-Wärmepumpen**
- **PV-Anlage** (ca. 100 kW_p)
- Elektrischer Speicher aus **2nd-life Batterien** (ca. 100 kWh)
- **E-Mobilitätskonzept**
- Smarte ganzheitliche **Systemregelung** (MPC)

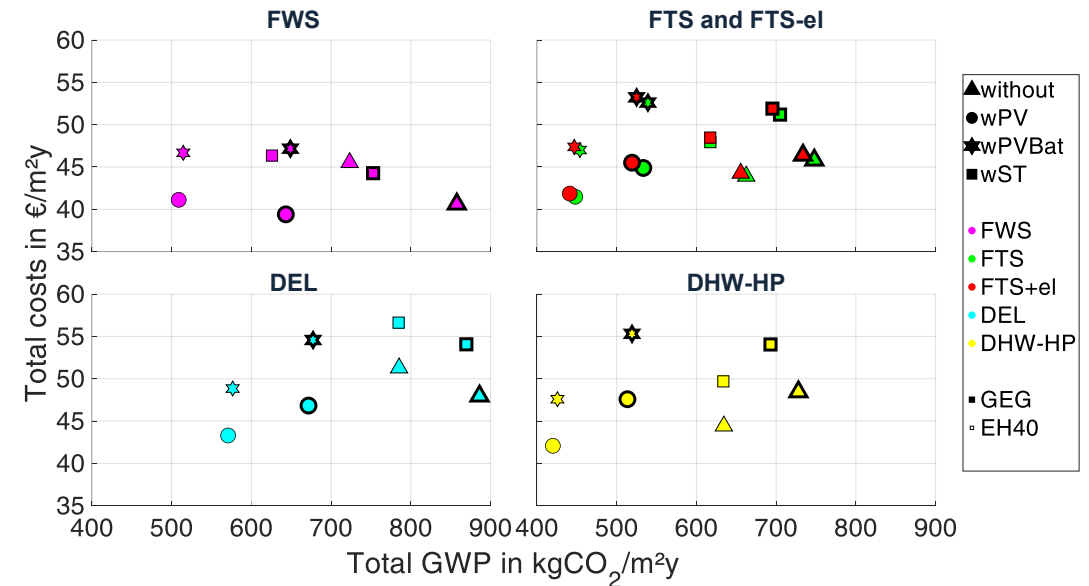
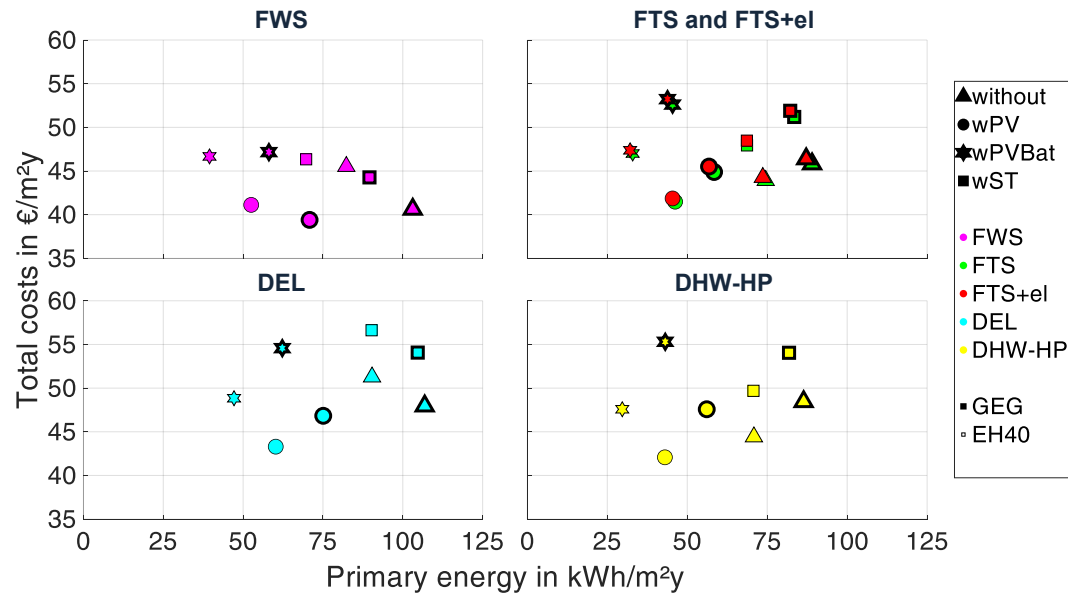
Dezentrale Wohnungsübergabestation

- Bereitstellung eines Mindestkomfort (~ 40 °C)
- Direktelektrische Nacherhitzung für höhere Komfortwünsche (45 °C bis 50 °C)
- Reduktion von Zirkulationsverlusten

Hydraulikkonzept



Energiekonzepte für eine Plusenergiebilanz – Variantenstudie (Kosten inkl. KfW-Förderung aus 2024)



- **FWS, PV+Bat, EH40:** 47 €/m², PE: 39 kWh/m²
- **FTS+el, PV+Bat, EH40:** 47 €/m², PE: 32 kWh/m²
- **FTS, PV+Bat, EH40:** 47 €/m², PE: 33 kWh/m²
- **DEL, PV+Bat, EH40:** 49 €/m², PE: 47 kWh/m²
- **DHW-HP, PV+Bat, EH40:** 48 €/m², PE: 30 kWh/m²

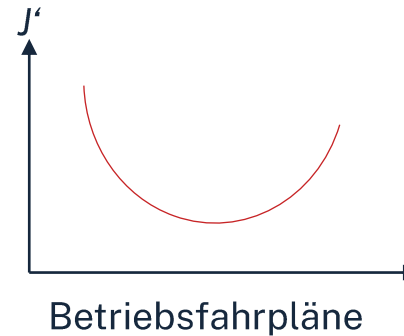
- **FWS, PV+Bat, EH40:** 515 kgCO₂/m²
- **FTS+el, PV+Bat, EH40:** 447 kgCO₂/m²
- **FTS, PV+Bat, EH40:** 454 kgCO₂/m²
- **DEL, PV+Bat, EH40:** 577 kgCO₂/m²
- **DHW-HP, PV+Bat, EH40:** 426 kgCO₂/m²

MPC und Lastanalyse

MPC-Ablaufprozess

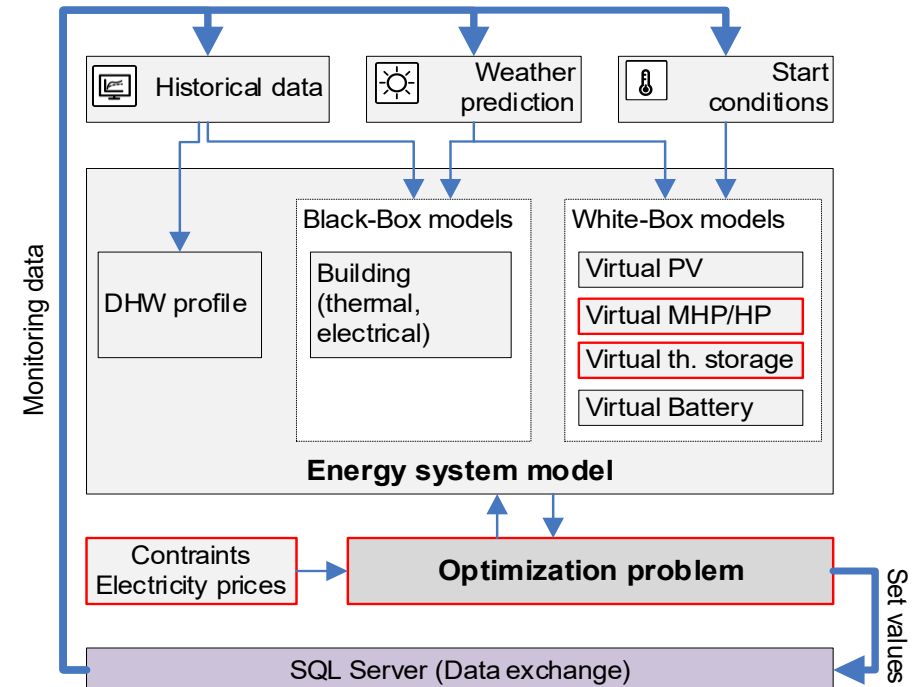
Intelligente Regelung

- Vorranschauer Betrieb durch Lastprognosen
- Koordinierung der Speicherbe-/-entladung
- Gezieltes Schalten der Wärmepumpen

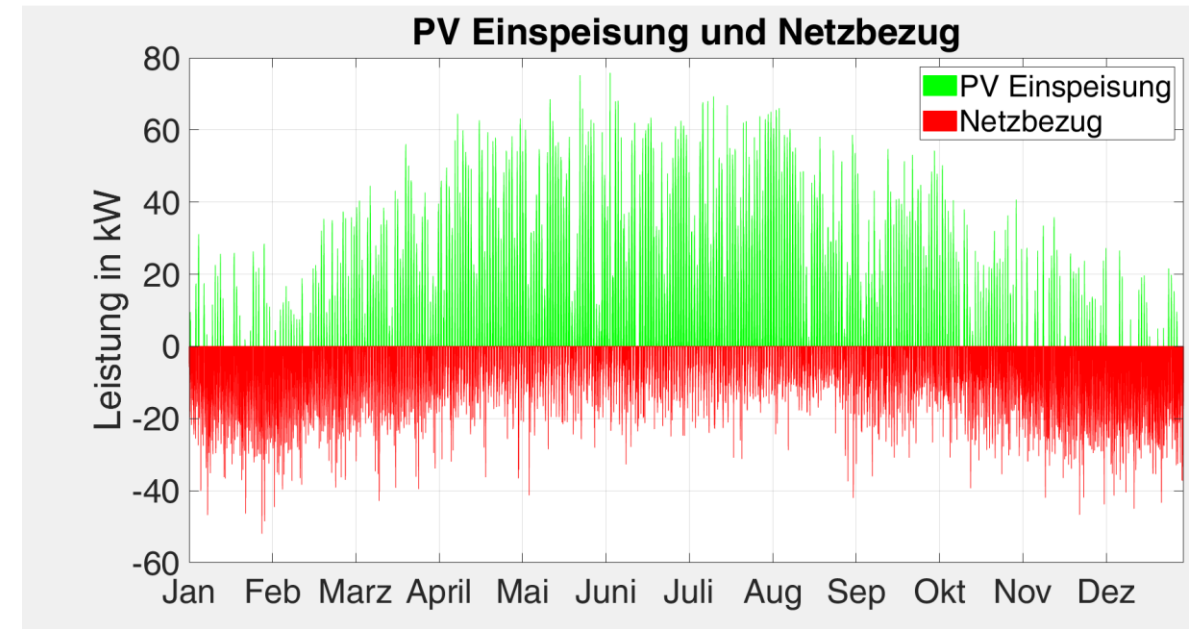
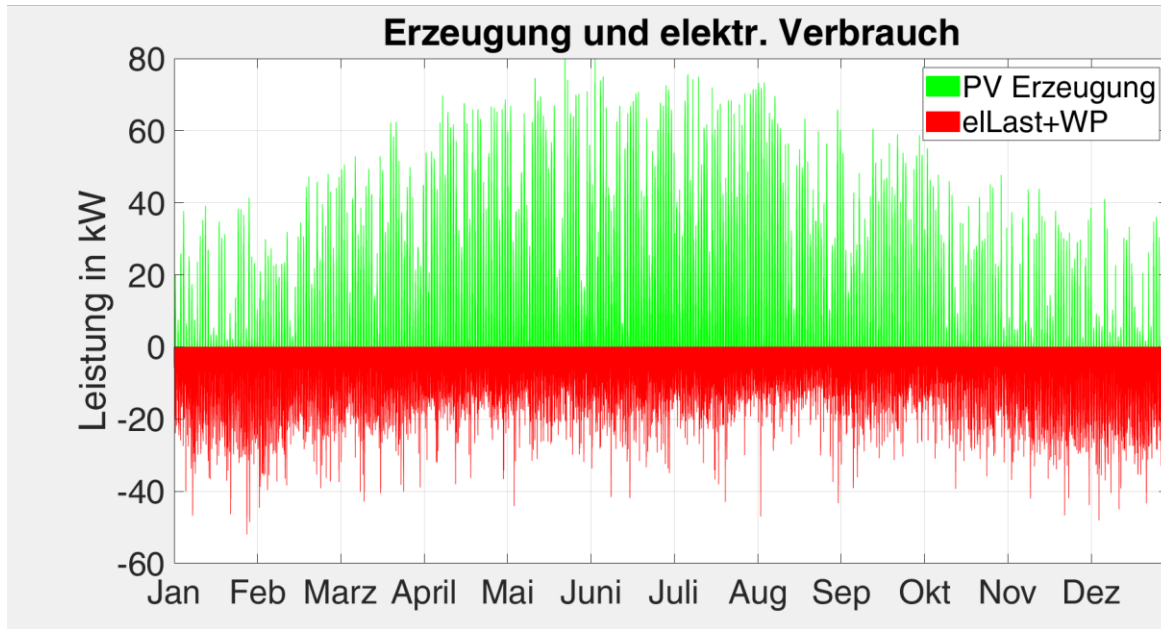


Ziel

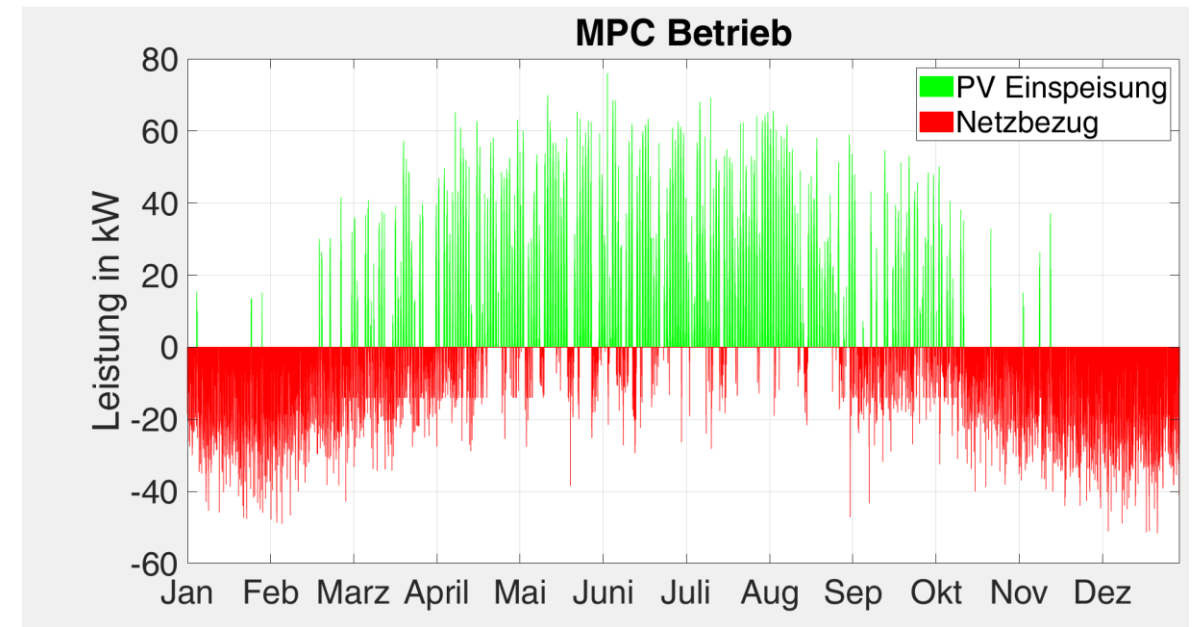
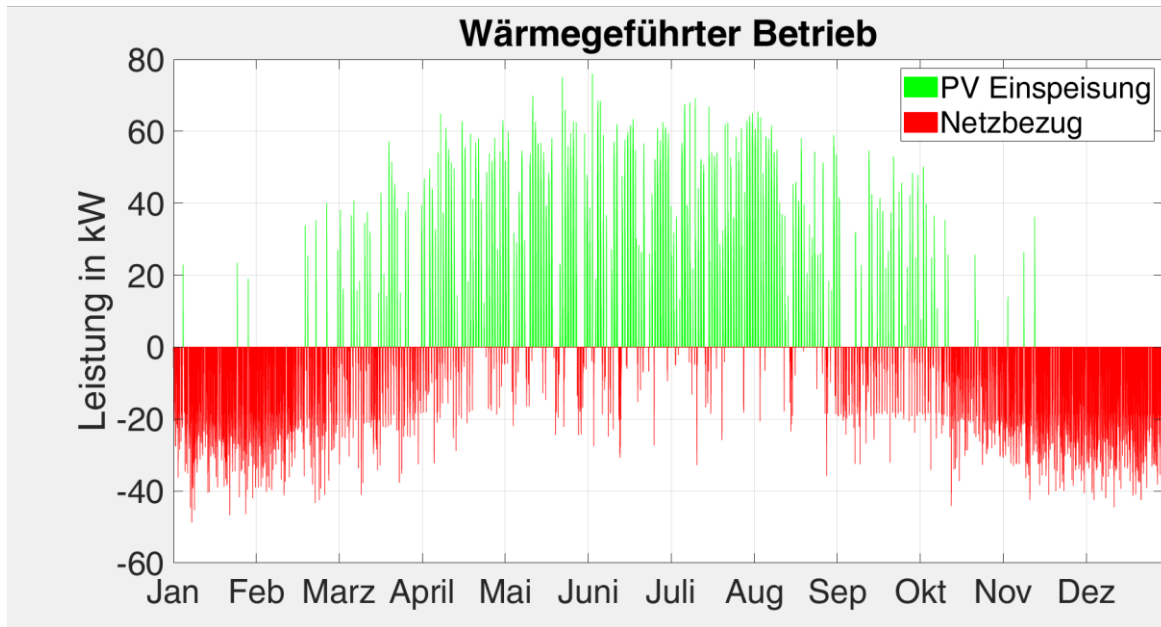
- Minimale Betriebskosten $J' = K_{Netz -} + K_{PV Dir} + K_{Bat} - K_{Netz +}$
- Sicherstellung des Komforts
- Wirtschaftlicher Betrieb



Lastanalyse ohne Regelung und Speicher



Lastanalyse mit Regelung und Speicher



- Im Winter fast vollständige Speicherung der Erzeugung
- Im Sommer fast vollständige Abdeckung des Verbrauchs
- Potential nur März, April und September

- Energiekonzept für eine gemeinsame Energieerzeugung und Speicherung entwickelt
- Regelbasierte und prädiktive Betriebsführungskonzepte an einem Demonstrationsgebäude untersucht
- Verschiedene Komplexitätsstufen implementiert und bewertet
- In Simulation führen Betriebsführungsstrategien zu einer Kosteneinsparung – MCP 9 % (34 %), allerdings kaum im Mehrfamilienhaus
- Eigenverbrauch und Autarkiegrad konnten um einige Prozentpunkte gesteigert werden

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Institut für Energie und Gebäude
Prof. Dr. Arno Dentel

Wissenschaftliches Team im Projekt
Christina Betzold, M.Eng.
Sebastian Hummel, M.Eng.

Quellen

[1] Statista

[2] Bundesverband Wärmepumpe e.V.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages