



Verbundvorhaben Herzo Opt

Modellbasierte Regelung und praktischer Betrieb von
Plusenergiegebäuden:

das Projekt Herzo Opt in der Monitoring-Phase.

Christina Betzold, Arno Dentel

Gefördert durch:

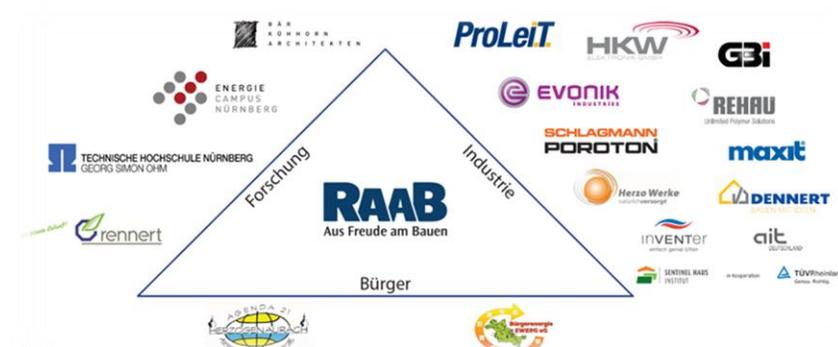


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FK 03ET1641A

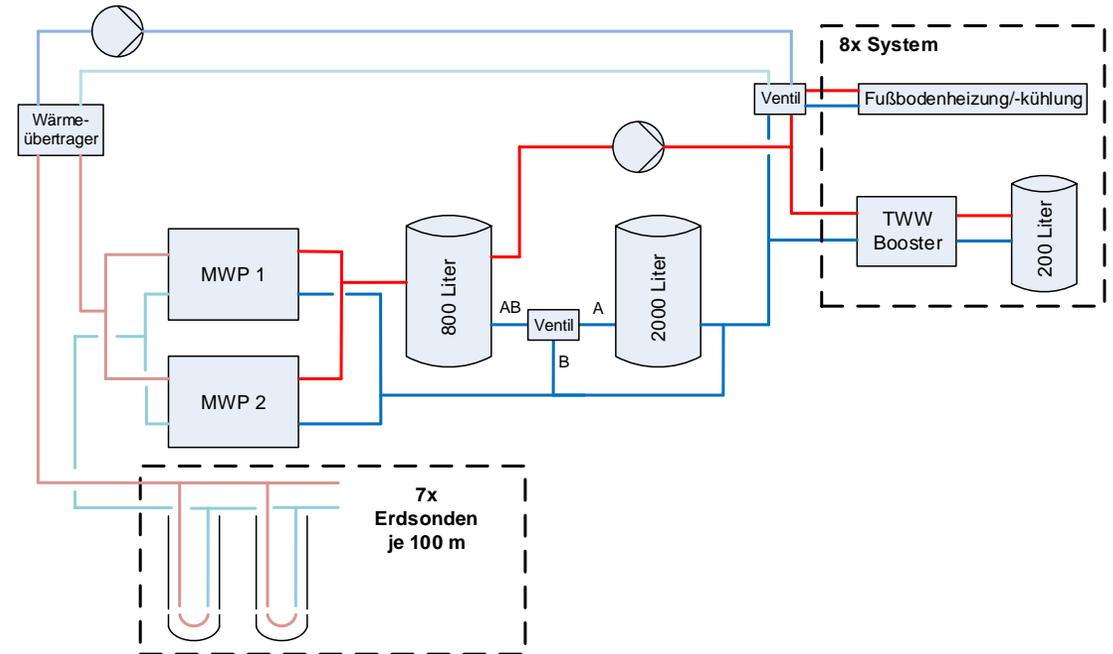
Projektvorstellung

- Herzo Base ist ein neuer Stadtteil der Stadt Herzogenaurach
- Projektidee „Effiziente Gebäude“ wurde von den Bürgern angestoßen
- Forschungsbedarf identifiziert und Projektförderung durch das BMWI im Rahmen von EnOB
- 2016 bis 2017 wurden acht Reihenhäuser als KfW-Effizienzhaus 40 Plus errichtet
- Monitoring seit April 2018
- 3 Projektschwerpunkte: Energetisches und Baustoff-Monitoring sowie Optimierung der Betriebsführung



Energiesystem

- 2 geothermische Wärmepumpen
 - 7 Erdwärmesonden mit passiver Kühlung
 - 8 dezentrale Brauchwasser-Wärmepumpen
 - Thermische Speicherkaskade
 - PV-Anlage (gemeinsame Nutzung)
 - Batterie (gemeinsame Nutzung)
- **Vorteile:**
- Verschiebung von elektrischen Lastspitzen
 - Hygiene und Warmwassertemperatur
 - Nutzung von PV-Überschuss



+  +

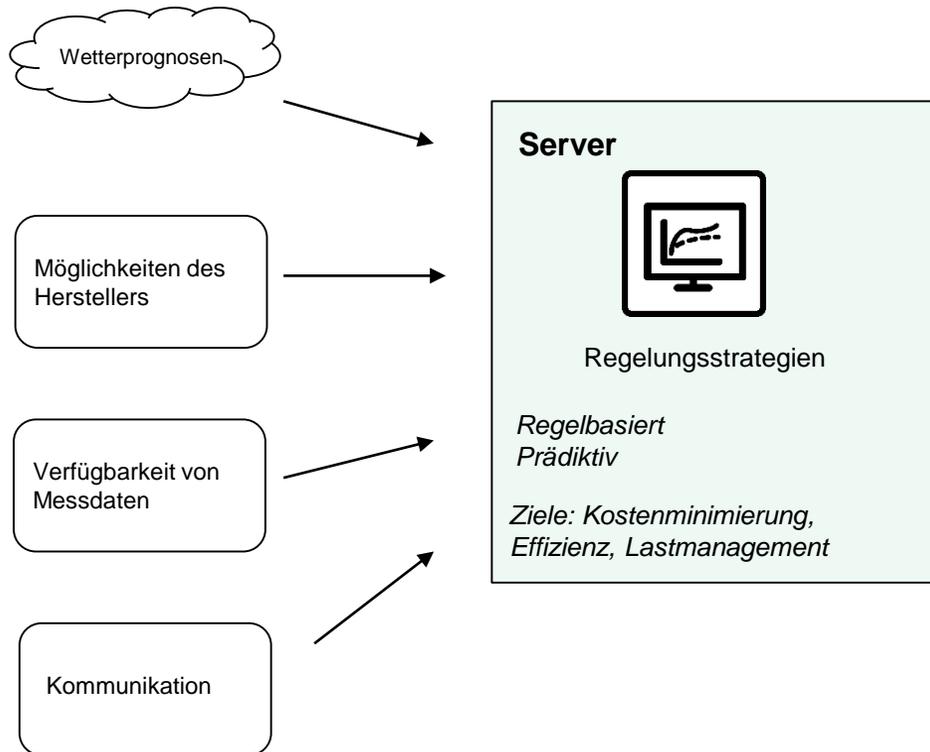
89 kWp

+  +

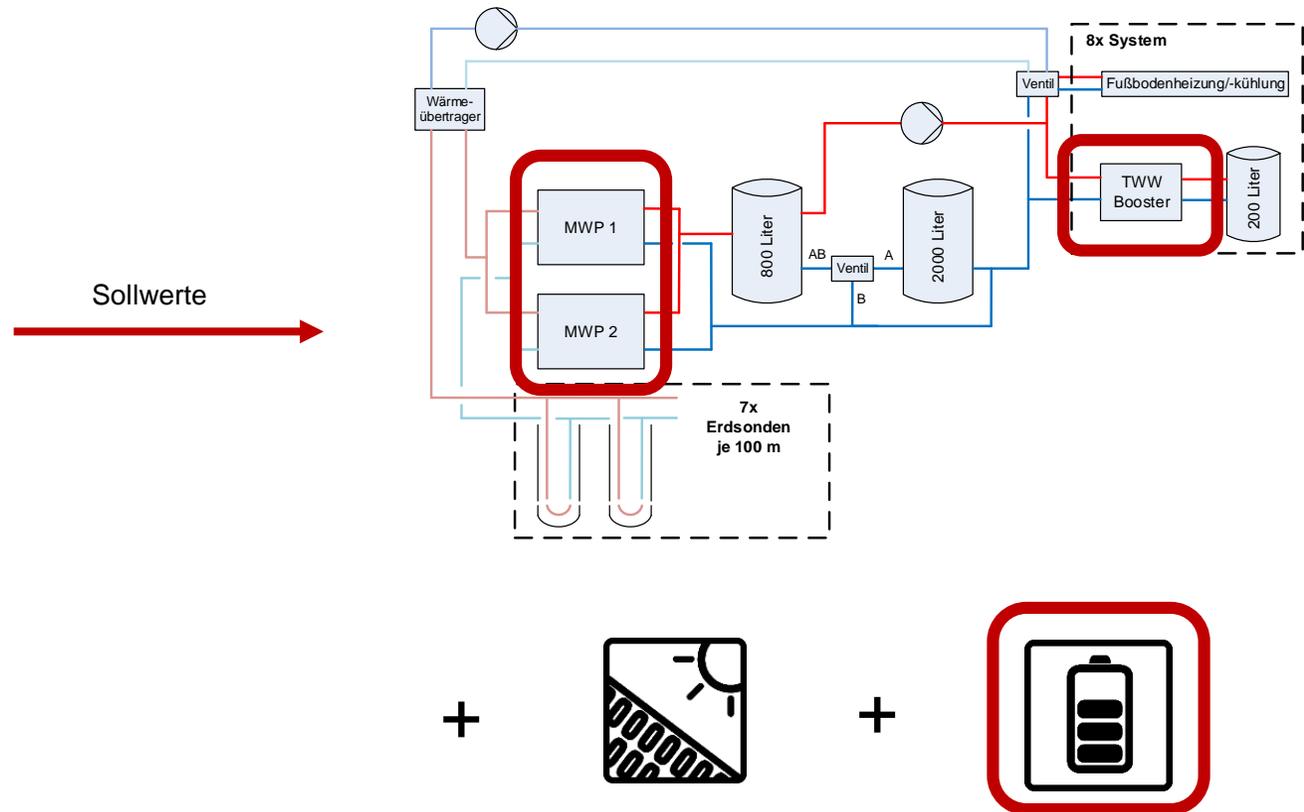
40 kWh

Regelungsstrategien

Regelung und Datenaufzeichnung



Energiesystem



Regelungsstrategien

Regelbasierter Betrieb

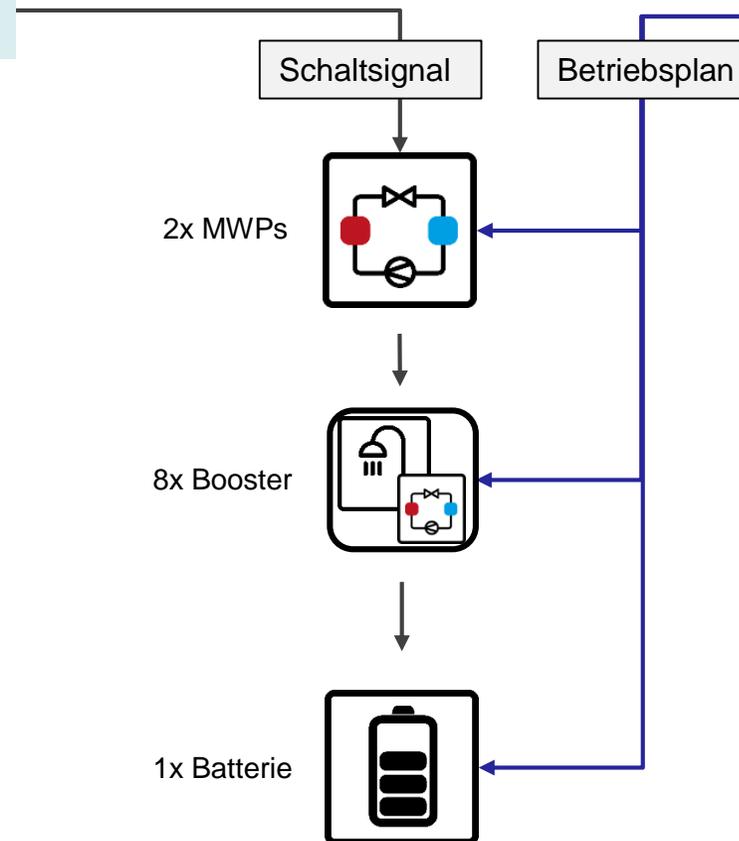
- Zu-/Abschalten nach Ist-Zustand
- Serielles Schalten
- Bedarfs-/Speicherorientiert

→ **Betrachtung des Energiesystems nur zu einem Zeitpunkt**

Prädiktiver Betrieb

- Nutzung von Wetterprognosen
- Modellierung von Lastprognosen
- Modellierung von Anlagenkomponenten/-systemen
- mathematische Optimierung
- Kostenoptimiert oder andere Ziele

→ **Ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems über Prognosehorizont**



Regelungsstrategien

Regelbasierter Betrieb

1. HC: Wärmegeführt

- Standardbetrieb
- Bedarfsorientiert

2. PVC: PV-optimiert

- Schalten nach PV-Überschuss
- PV-orientiert (PV-Eigenverbrauch erhöhen)

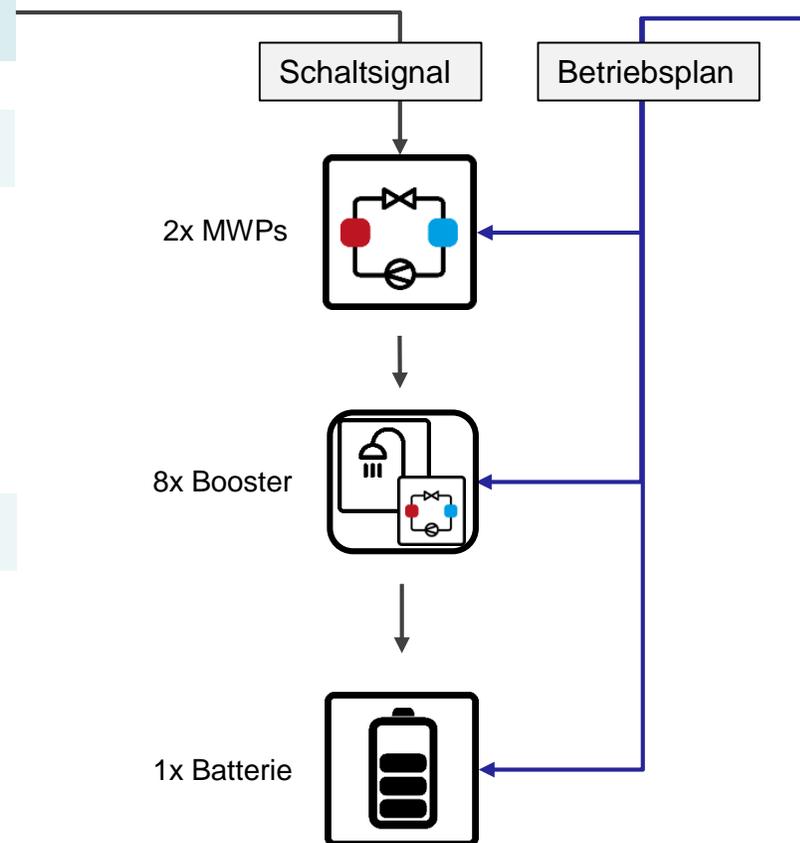
Prädiktiver Betrieb

3. MPC: modellprädiktiv

- Modellierung und mathematische Optimierung
- Kostenoptimiert

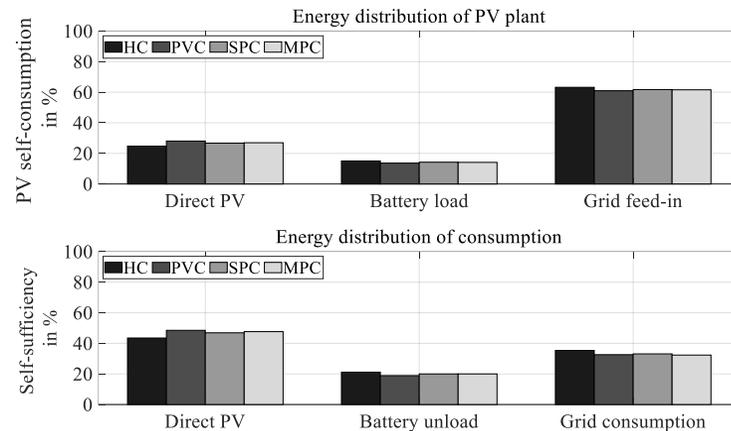
4. SPC: simple prädiktiv

- Einfache Modellierung (Energiebilanzierung)
- Bedarfsorientiert

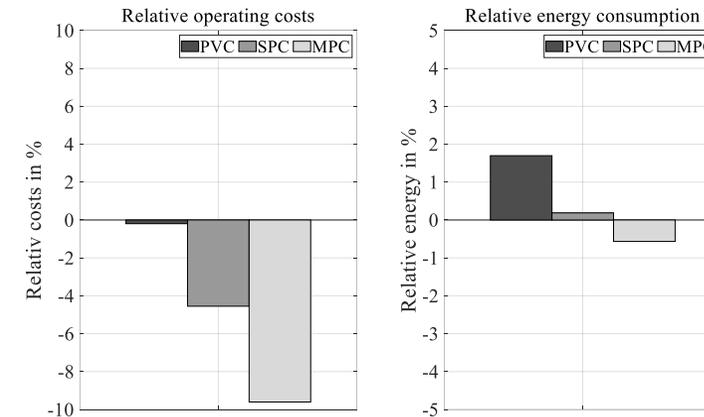


Regelungsstrategien

PV-Eigenverbrauch



Betriebskosten

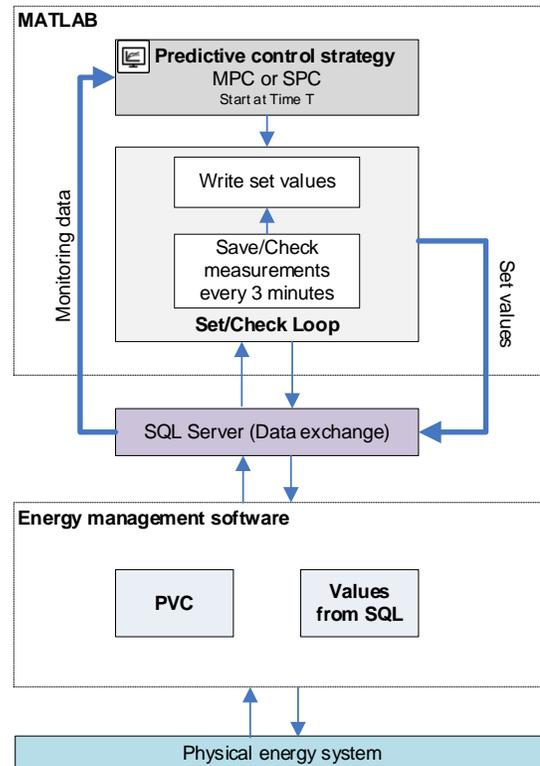


Ergebnisse:

- PVC, SPC und MPC erhöhen PV-Eigenverbrauch (2 %_{abs} - 3 %_{abs})
- PVC und SPC erzielen Kosteneinsparung trotz höheren Verbrauch (durch geringere Effizienz)
- MPC erzielt geringsten Verbrauch bei höchster Kosteneinsparung (beste Effizienz)

Reale Implementierung und Betrieb

Realer Betrieb in den Reihenhäusern



Implementierung

- MPC in Matlab
- Schnittstelle zur SQL-Datenbank
- Energy mangement software steuert Wärmepumpen

Reale Implementierung und Betrieb

Realer Betrieb in den Reihenhäusern

MPC-Betrieb über 42 Tage

	Simulation	Measurement	
PV production	10.0 MWh	12.7 MWh	+ 27 %
Energy consumption	5.2 MWh	6.0 MWh	+ 15 %
PV self-consumption/ incl. Battery	30 % / 38 %	29 % / 40 %	
PV self-sufficiency/ incl. Battery	58 % / 78 %	59 % / 79 %	
Operating costs	118 €	42 €	- 64 %
SPF _{MHP}	4.8	4.2	

SPC-Betrieb über 20 Tage

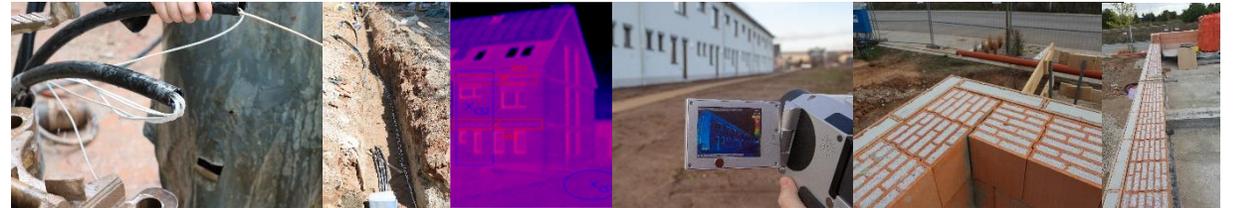
	Simulation	Measurement	
PV production	1.2 MWh	1.4 MWh	+ 17 %
Energy consumption	2.9 MWh	3.3 MWh	+ 14 %
PV self-consumption/ incl. Battery	70 % / 92 %	56 % / 84 %	
PV self-sufficiency/ incl. Battery	30 % / 40 %	25 % / 34 %	
Operating costs	679 €	818 €	+ 20 %
SPF _{MHP}	4.6	4.4	

- 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

Monitoring

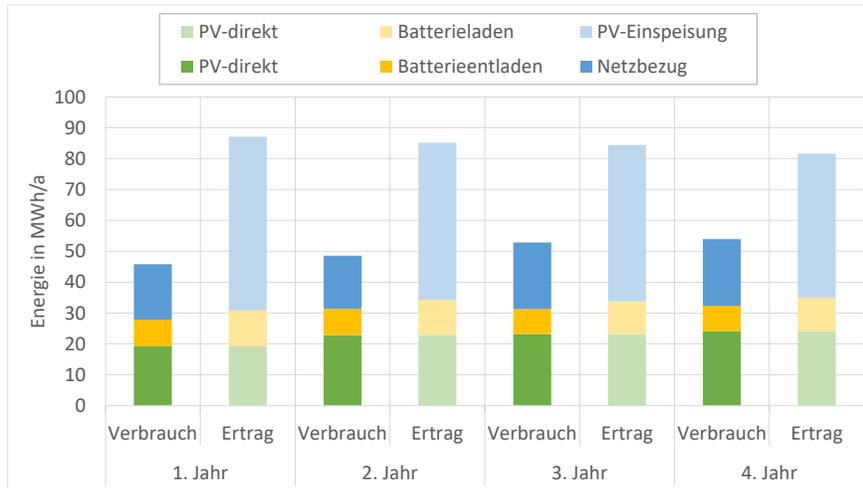
4 Monitoringjahre von April 2018 bis März 2022

- Bewertung als Plus-Energiegebäude
- Verbrauchsauswertung
- Effizienz des Energiesystems
- Betriebsoptimierung



Monitoring

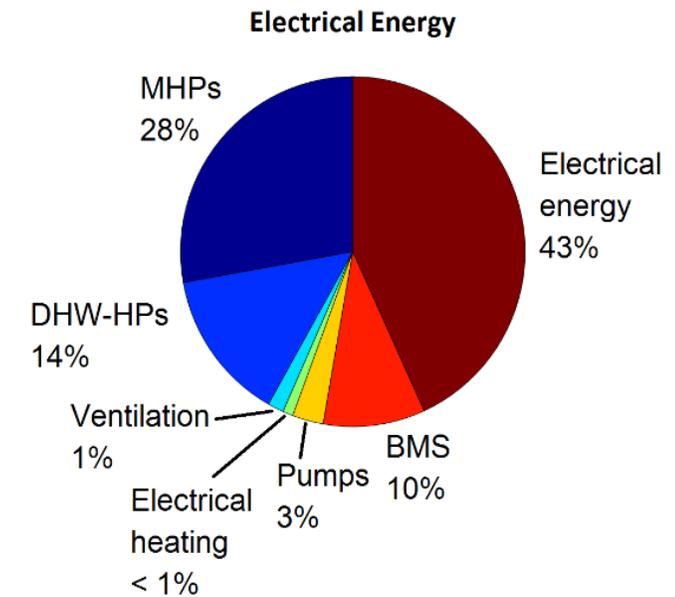
Anteile an Verbrauch und Ertrag



Ergebnisse:

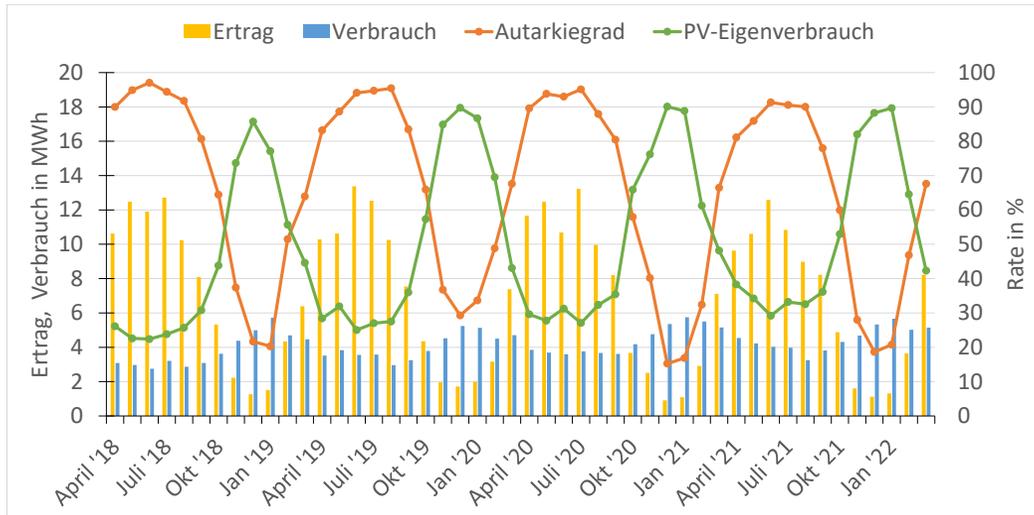
- El. Haushaltsstrom: ~ 20 kWh/m²a
- Gesamtverbrauch: ~ 41 kWh/m²a
- PV Ertrag: ~ 71 kWh/m²a

Anteile am elektrischen Verbrauch



Monitoring

Anteile an Verbrauch und Ertrag



Ergebnisse:

- Autarkiegrad reduziert durch höheren Verbrauch (Elektrofahrzeuge)
- PV-Eigenverbrauch steigt durch PV-optimierte Regelung
- Höherer Heizenergieverbrauch als erwartet (bis zu 40%)
- TWW leicht erhöht (bis zu 18%)

Anteile am elektrischen Verbrauch

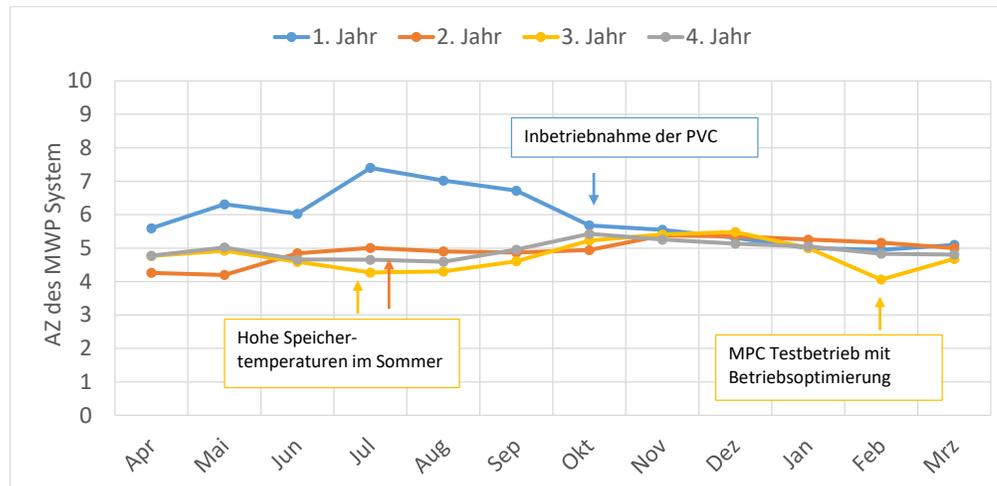
Jahr	Autarkiegrad	PV-Eigenverbrauch
1.	61 %	32 %
2.	65 %	37 %
3.	59 %	37 %
4.	57 %	40 %

$$\text{Autarkiegrad (LCF)} = \frac{\text{PV Direktverbrauch}}{\text{Gesamtverbrauch}}$$

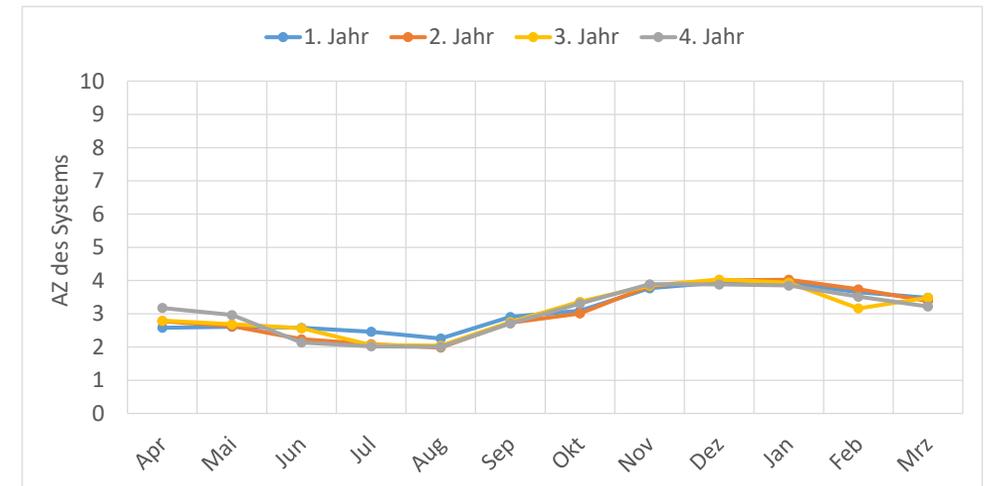
$$\text{Eigenverbrauch (SCF)} = \frac{\text{PV Direktverbrauch}}{\text{PV Ertrag}}$$

Monitoring

Effizienz der Wärmepumpen



Systemarbeitszahl



Ergebnisse:

- Jahresarbeitszahl der Heizungswärmepumpen zwischen 4,8 und 5,6
- Jahresarbeitszahl der Booster zwischen 4,0 und 4,3
- Jahresarbeitszahl des System zwischen 3,3 und 3,4

Zusammenfassung

PV-Ertrag und Eigenverbrauch

- Plus-Energiegebäude auf Jahresbilanz
- Auslegung der PV-Anlage unter höheren Annahmen
- Erhöhung des Eigenverbrauchs durch PVC um 5 %
- Hoher Autarkiegrad von 59 % bis 65 %

Systemeffizienz

- Hohe JAZ von MWPs und Boostern
- PV-optimierte Regelung und höhere Temperaturen verringern die JAZ
- Hilfsenergie (Pumpen) verringert die JAZ des Systems im Sommer

Betriebskosten

- Mischung von Netzbezug, PV und Batterie
- jährliche Verbrauchsabrechnungen und Überschuss-Gutschriften
- Die Kosten eines durchschnittlichen Haushalts für Strom, Heizung und Warmwasser lagen in 2019 bei ca. 350 €.

Welche Herausforderungen traten auf?

Konzeptionierung und Umsetzung

- Wenig Interesse bei Planer
- Schwierige Elektro-Installation
- Einrichtung der Kommunikationsschnittstellen
(versch. Protokolle und Gateways)

Monitoring und Betrieb

- Handling der Messdaten
- Software zur Messdatenaufbereitung
- Mangelbeseitigung (Booster, Raumregler...)
- Implementierung von Regelungen

Welchen Nutzen hat das Monitoring?

Betriebsverhalten

- Einstellung des Heizungssystems
- Analyse von Fehlverhalten (Fehlströmungen der Wärmepumpen, Booster)
- Bewertung der Regelungen

→ Betriebsoptimierung

Gebäude- und Anlagenbewertung

- Bewertung der Gebäudebilanz und der Anlageneffizienz
- Bewertung des Konzeptes
- Vergleich von Simulation und Messung
- Aufzeichnung von Verbrauchsprofilen

→ Übertragbarkeit des Energiekonzeptes

Vielen Dank für das Zuhören!



Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

EnCN Building – Energieeffiziente Systeme der Gebäudetechnik

Prof. Dr. Arno Dentel

Christina Betzold (M. Eng.)

E-Mail: christina.betzold@th-nuernberg.de

Telefon: + 49 911/5880-3123

Telefax: + 49 911/5880-7120

EnCN „Auf AEG“:

Fürther Straße 250

90429 Nürnberg