



Verbundvorhaben Herzo Opt

Betriebserfahrungen aus den Energiespeicherhäusern Herzobase

Arno Dentel, Christina Betzold

18.01.2023

Gefördert durch:

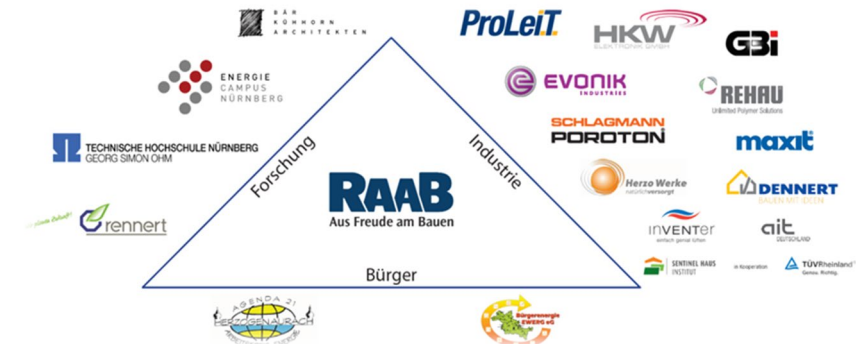


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

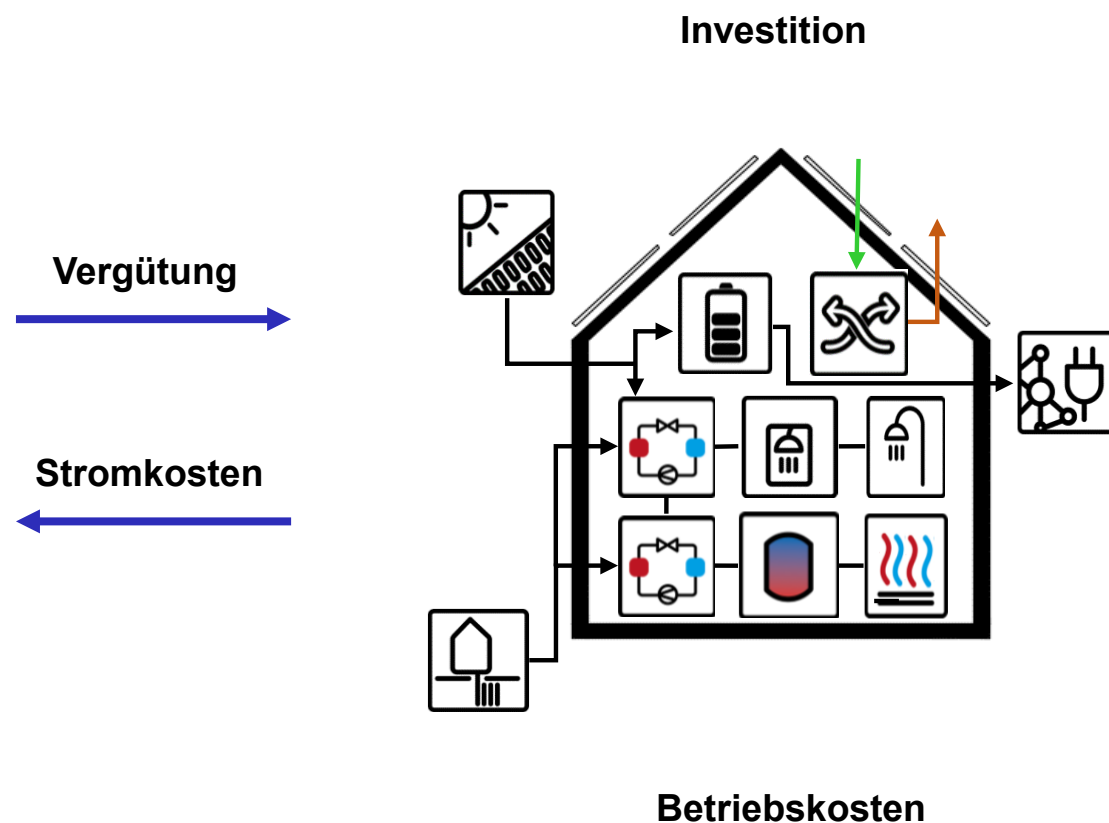
FK 03ET1641A

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



Systemstudie

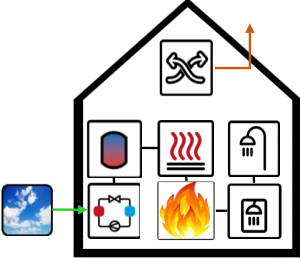
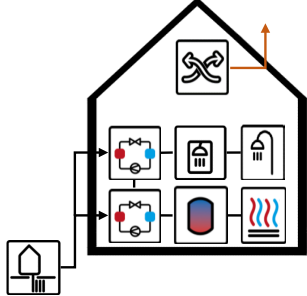
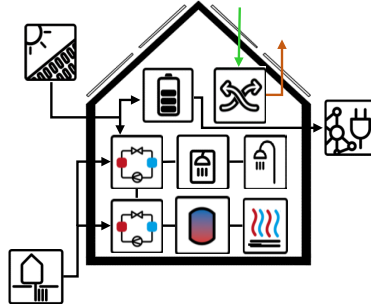
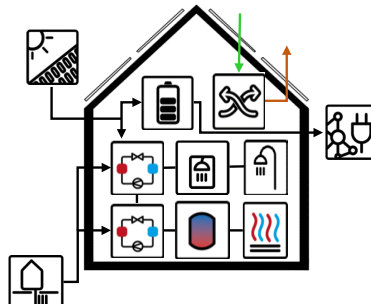


4 Varianten

- Gegenüberstellung verschiedener Effizienz-Standards von Gebäuden
- Fokus auf energetische Bewertung, Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Reduzierung von CO₂-Emissionen
- Umsetzung in der Software IBP 18599 High End.
- BA von Frau Manuela Hein, 2018

Systemstudie

Projekt Herzo Base

Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
EnEV 2016	KfW-55	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus (max)
Referenz-Variante 			

Standard

+ Dämmstandard

++ Dämmstandard

+++ Dämmstandard

L/W-Wärmepumpe
Brennwertkessel

+ geothermische
Wärmepumpe

+ geothermische
Wärmepumpe

+ geothermische
Wärmepumpe

Abluft

Abluft

+ WRG
+ PV
+ Batterie

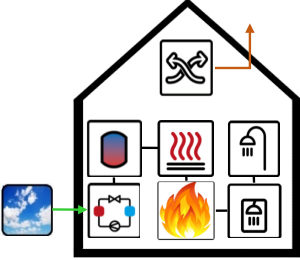
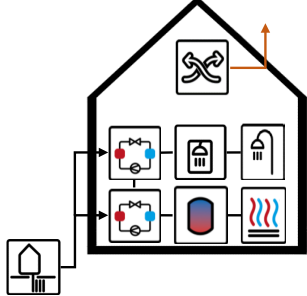
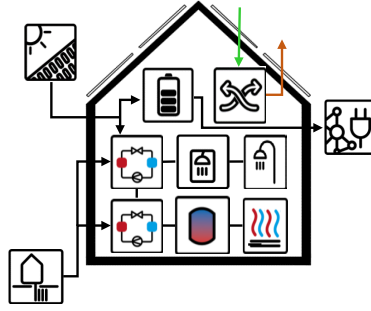
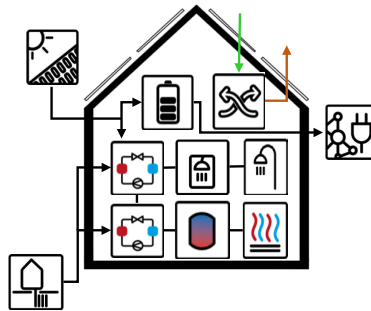
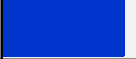
+ WRG
+ PV
+ Batterie

Vergleich:

- Energieverbrauch
- CO₂ Emissionen
- Mehrinvestition
- CO₂ Vermeidungskosten

Systemstudie

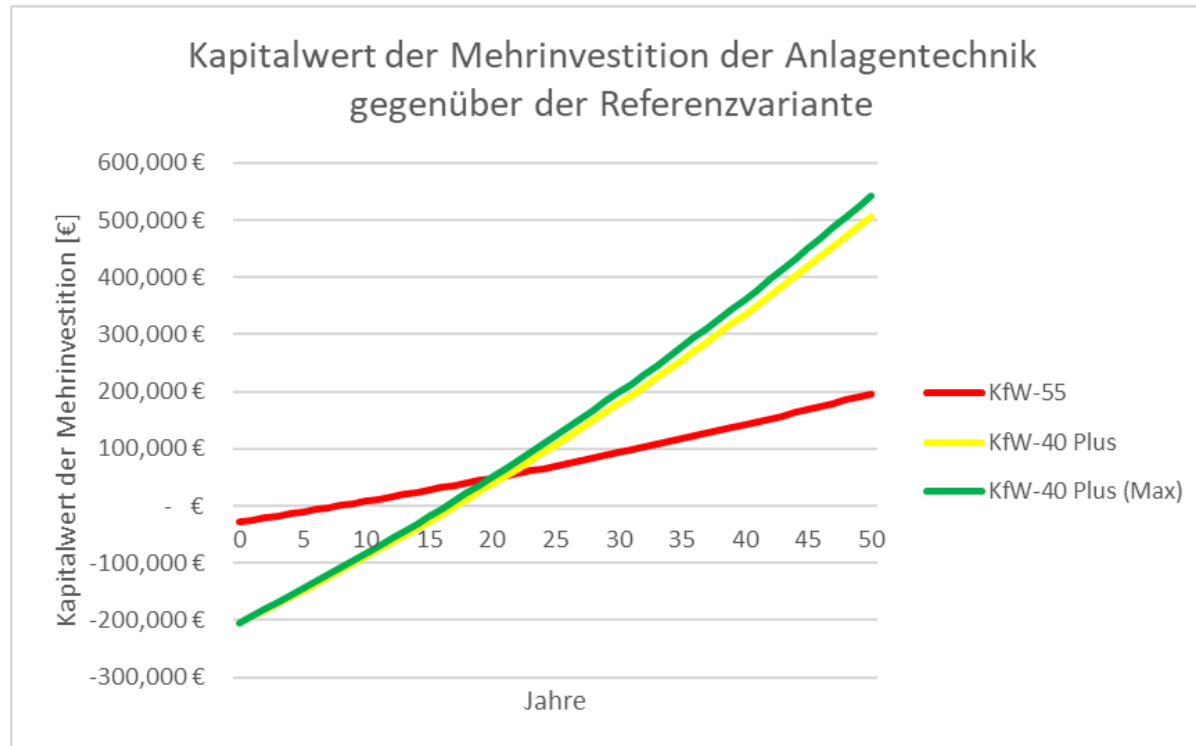
Projekt Herzo Base

Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
EnEV 2016	KfW-55	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus (max)
Referenz-Variante 			
Primärenergiebedarf	 -54%	 -98%	 -99%
Endenergiebedarf	 -63%	 -98%	 -99%
Nutzenergiebedarf	 -12%	 -61%	 -66%
Heizwärmebedarf	 -16%	 -70%	 -77%
CO ₂ -Emissionen	 -50%	 -98%	 -99%
Mehrinvestitionskosten	100,274 €	390,139 €	426,434 €
CO ₂ -Vermeidungskosten	5,8 €/kgCO ₂	11,7 €/kgCO ₂	12,7 €/kgCO ₂

Ergebnisse:

- Deutliche Reduktion der Primärenergie durch Einsatz erneuerbarer Energien
- Erhöhung der Investition und CO₂ Vermeidungskosten

Systemstudie - Wirtschaftlichkeit



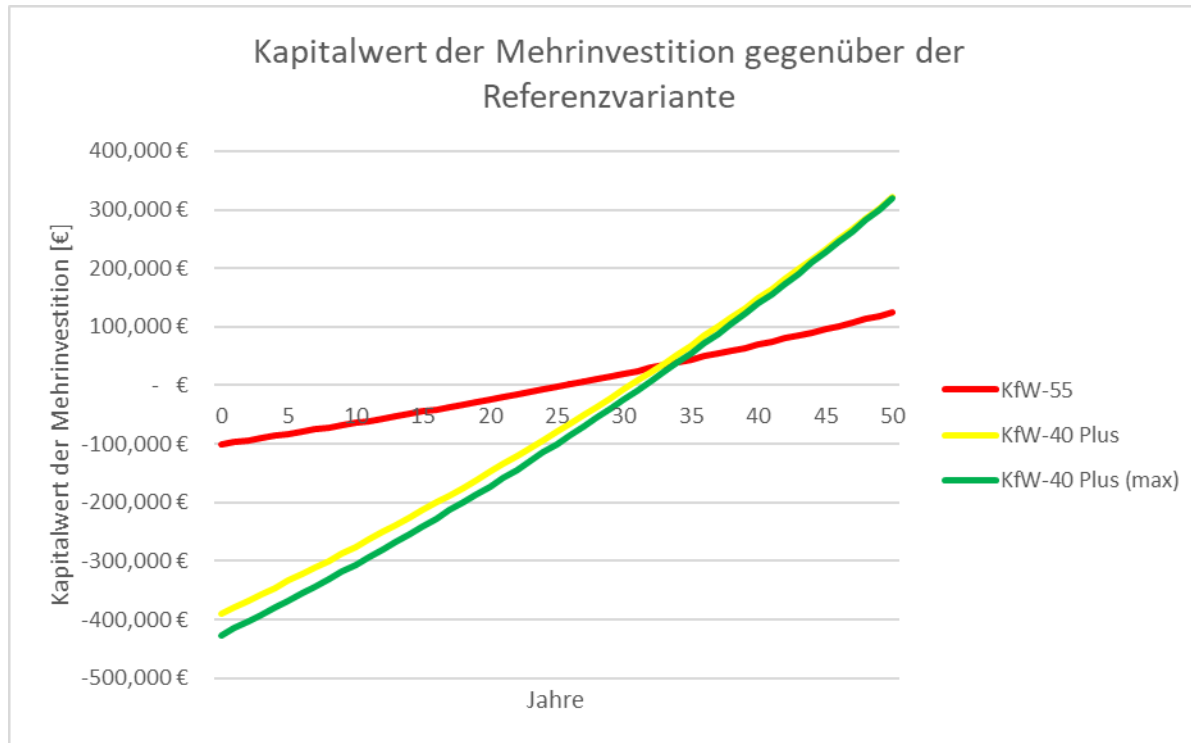
Anlagentechnik Kapitalwertmethode:

- Positiver Kapitalwert von KfW-55 nach 8 Jahren
- Positiver Kapitalwert von KfW-40 Plus nach 18 Jahren
- Positiver Kapitalwert von der erweiterten Dämmvariante nach 17 Jahren

→ Eine Wirtschaftlichkeit der Anlagentechnik wird unter 20 Jahren erreicht

Annahme: Kalkulationszinssatz beträgt 1,5 %, Preissteigerung der Betriebskosten von 2,0 %, Preissteigerung der verbrauchsgebundenen Kosten von 2,5 %, Strompreis 0,20 € und 0,27 €, PV-Vergütung 0,12 €

Systemstudie - Wirtschaftlichkeit



Gesamtbauwerk Kapitalwertmethode:

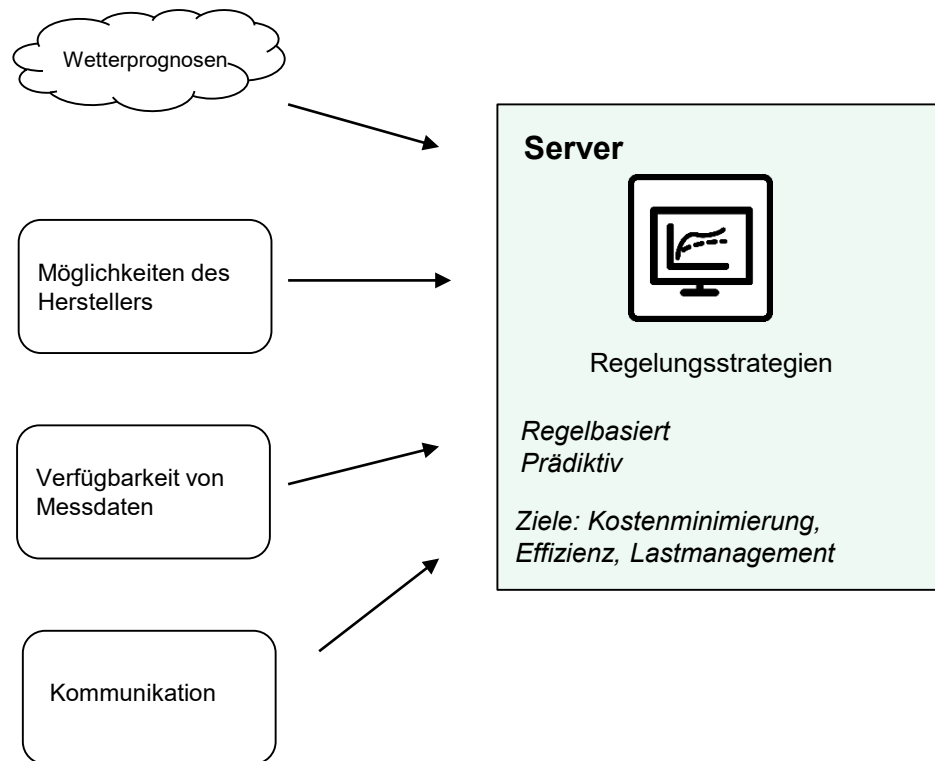
- Positiver Kapitalwert von KfW-55 nach 26 Jahren
- Positiver Kapitalwert von KfW-40 Plus nach 31 Jahren
- Positiver Kapitalwert der erweiterten Dämmvariante nach 32 Jahren

→ Eine Wirtschaftlichkeit wird erst nach ca. 30 Jahren erreicht

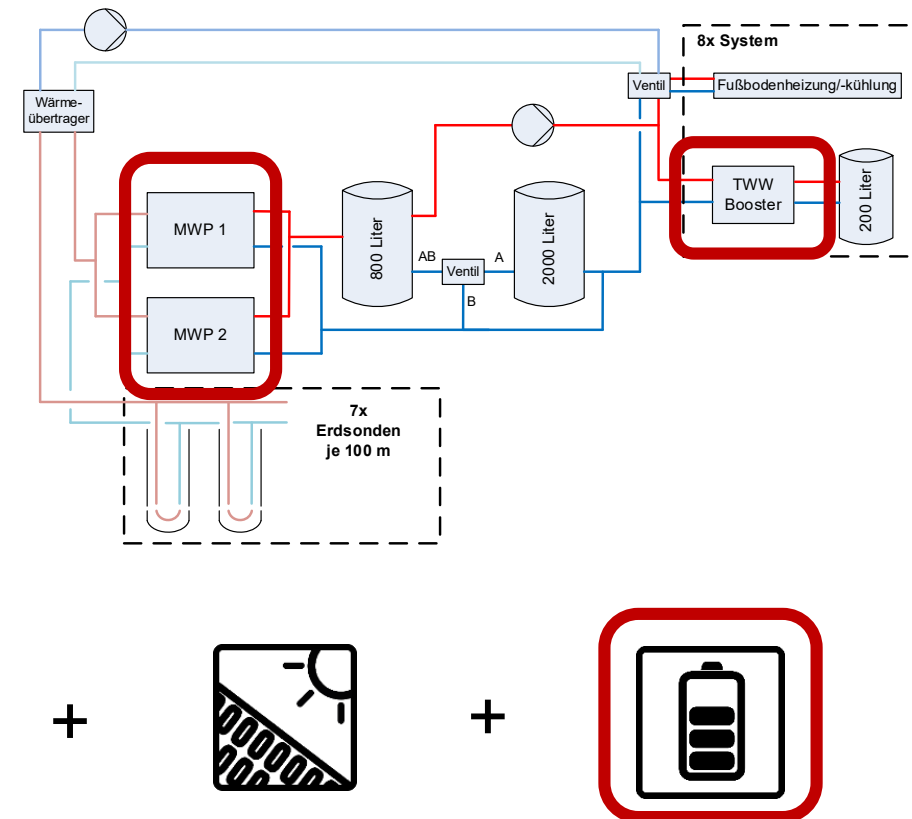
Annahme: Kalkulationszinssatz beträgt 1,5 %, Preissteigerung der Betriebskosten von 2,0 %, Preissteigerung der verbrauchsgebundenen Kosten von 2,5 %, Strompreis 0,20 € und 0,27 €, PV-Vergütung 0,12 €

Regelungsstrategien

Regelung und Datenaufzeichnung



Energiesystem



Regelungsstrategien

Regelbasierter Betrieb

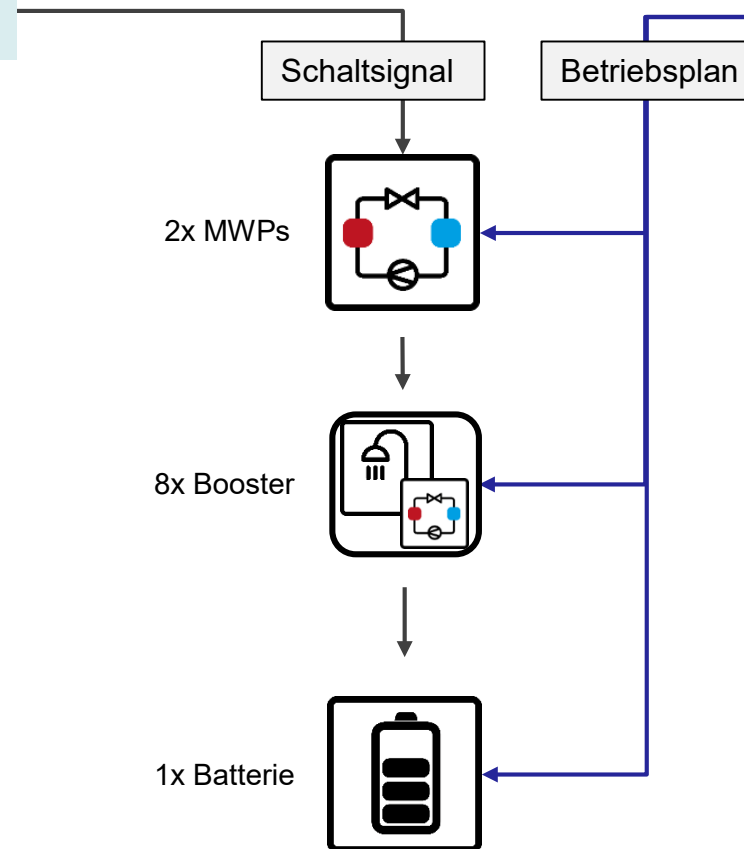
- Zu-/Abschalten nach Ist-Zustand
- Serielles Schalten
- Bedarfs-/Speicherorientiert

→ 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

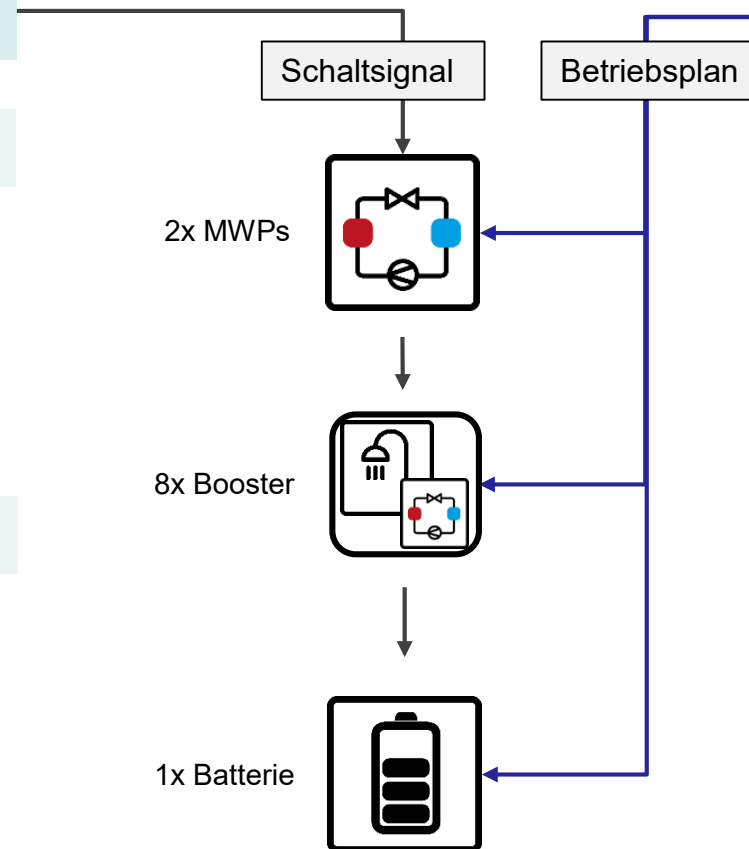
Regelbasierter Betrieb

1. HC: Wärmegeführt

- Standardbetrieb
- Bedarfsorientiert

2. PVC: PV-optimiert

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



Prädiktiver Betrieb

3. MPC: modellprädiktiv

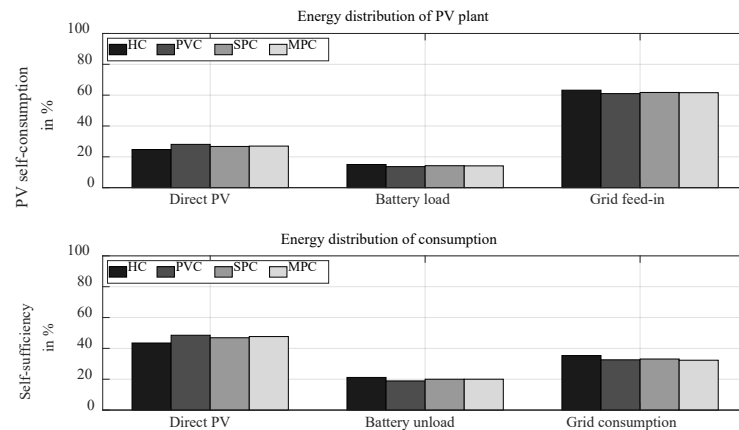
- Modellierung und mathematische Optimierung
- Kostenoptimiert

4. SPC: simple prädiktiv

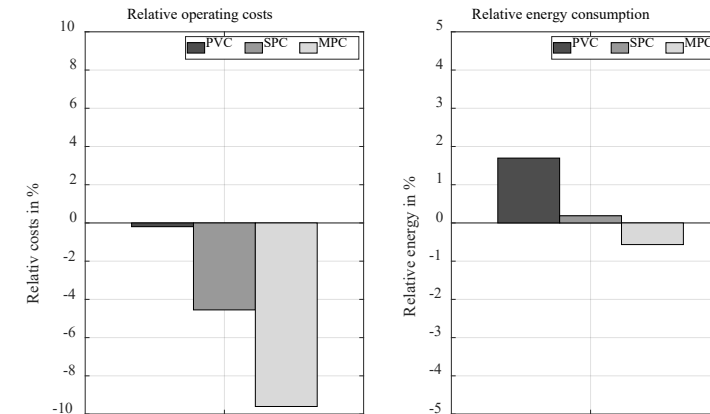
- Einfache Modellierung (Energiebilanzierung)
- Bedarfsorientiert

Regelungsstrategien

PV-Eigenverbrauch



Betriebskosten



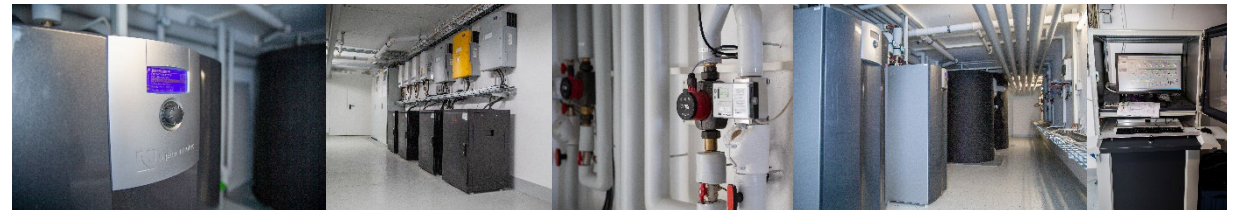
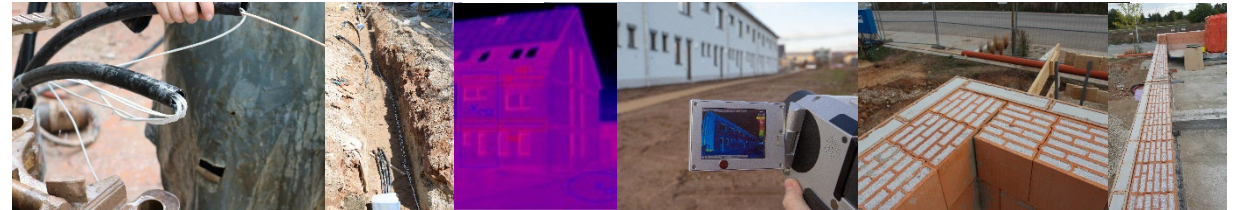
Ergebnisse:

- 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)

Monitoring

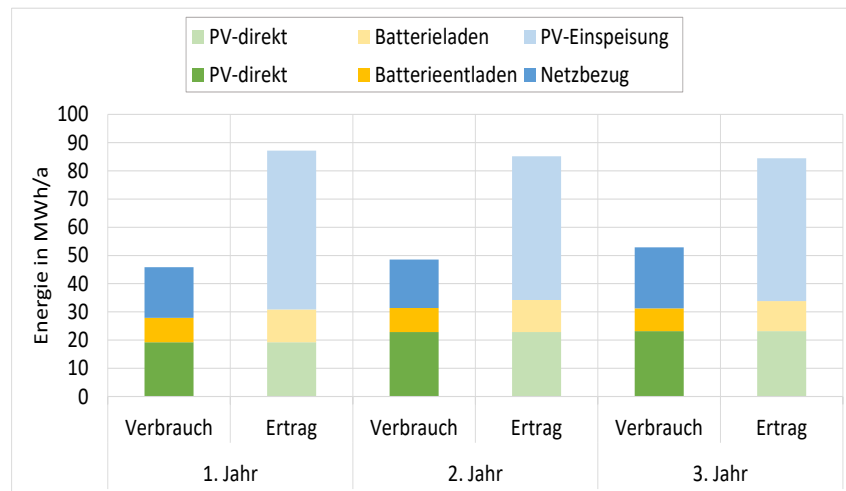
3 Monitoringjahre von April 2018 bis März 2021

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



Monitoring

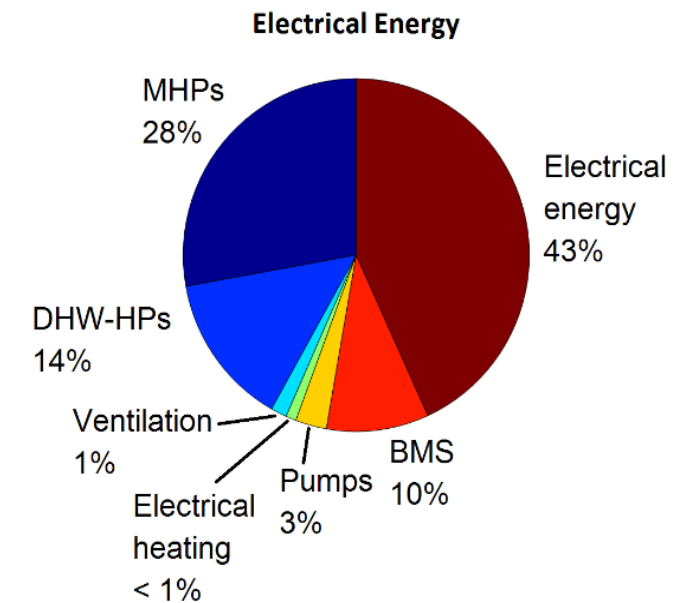
Anteile an Verbrauch und Ertrag



Ergebnisse (umgerechnet auf m² WFL):

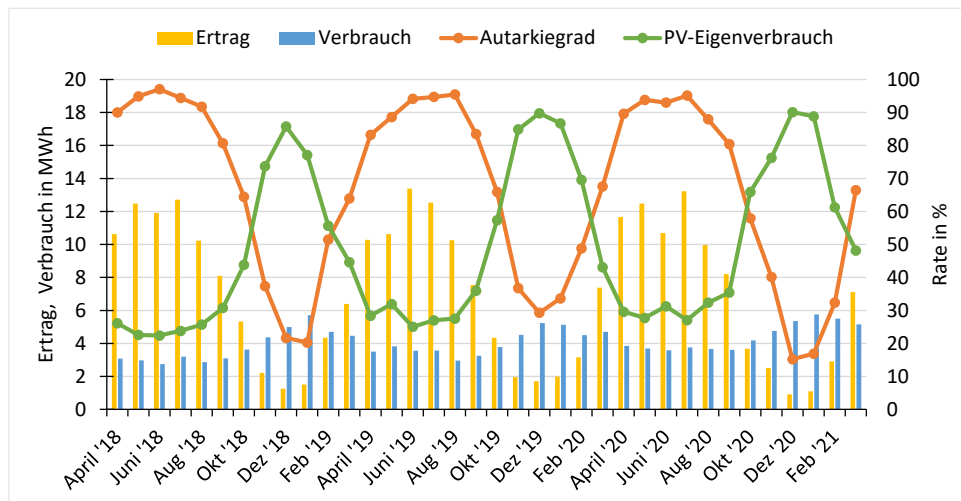
- El. Haushaltsstrom: ~ 20 kWh/m²a
- Gesamtverbrauch: ~ 41 kWh/m²a
- PV Ertrag: ~ 71 kWh/m²a

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

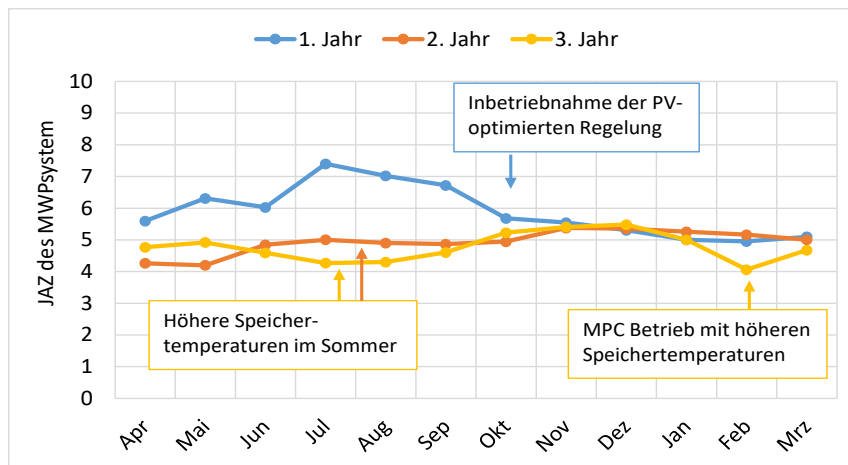
Jahr	Autarkiegrad	PV-Eigenverbrauch
1.	61 %	32 %
2.	65 %	37 %
3.	59 %	37 %

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

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

Monitoring

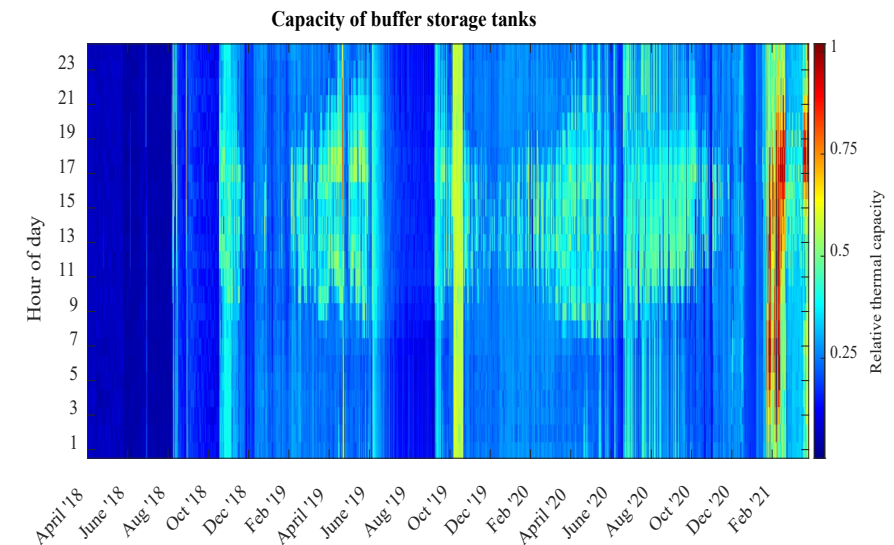
Effizienz der Wärmepumpen



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

Pufferspeicherbeladung



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 MWP's 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 €.

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