



Projektpartner



gefördert durch



## Projekt EKOSTORE

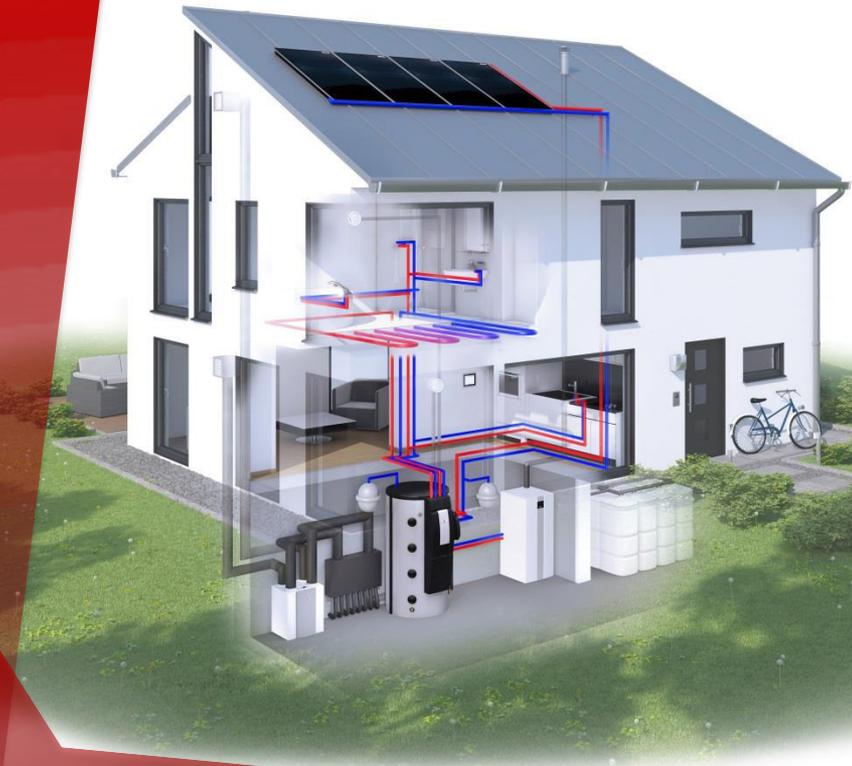
Systemkombination von  
Batteriespeicher, PV- Anlage und  
Mikroblockheizkraftwerk zur  
dezentralen Eigenenergieversorgung

Teil I: Wärmegeführte BHKW

Landshuter Energiegespräche

16.01.2016

Prof. Dr. Tim Rödiger  
Technologiezentrum Energie  
Hochschule Landshut





## Gliederung für Teil I: Wärmegeführte BHKW

- Einleitung
- Analyse - elektrischer Autarkiegrad des Energiesystems
- Analyse - Vollzyklen des elektrischen Speichers
- Messungen am Teststand



# Projektübersicht EKOSTORE

Projektlaufzeit: 3 Jahre (01.03.2015 – 28.02.2018)



**Bayerische Forschungsstiftung**



**EMZ-Hanauer**



**Saft Batterien**



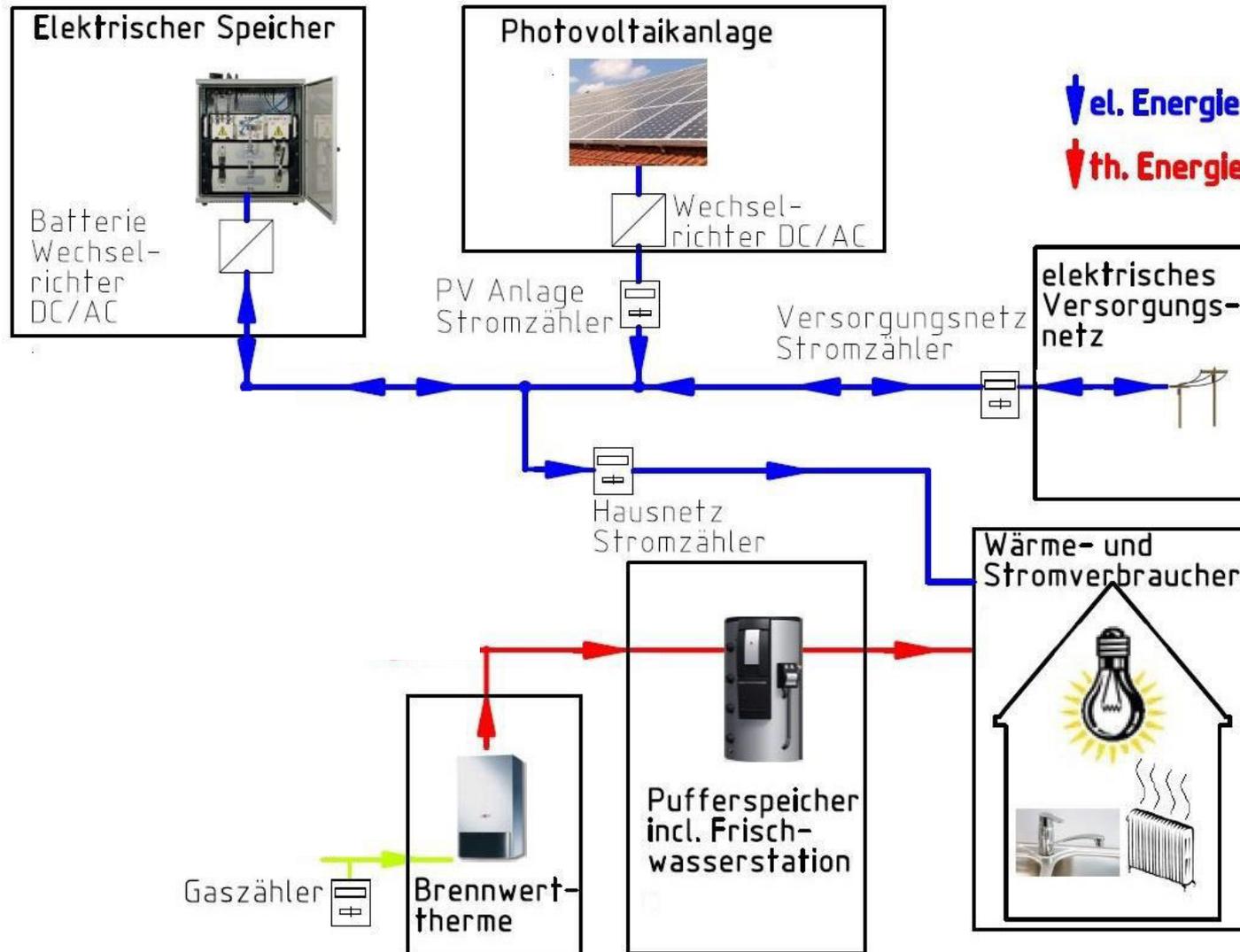
**Stadtwerke Straubing**



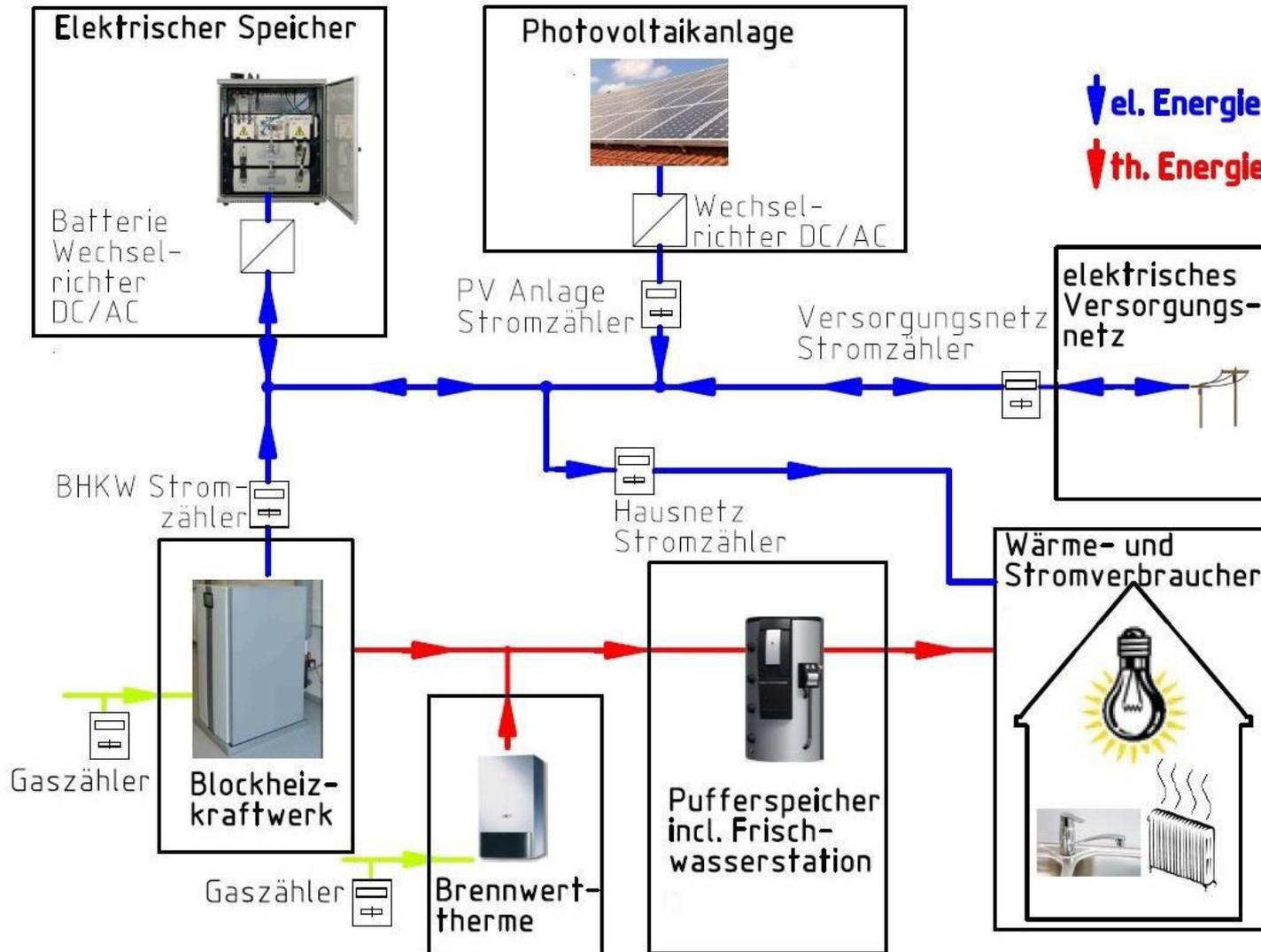
**Wolf Heiztechnik**

*Energiesparen und Klimaschutz seriennmäßig*

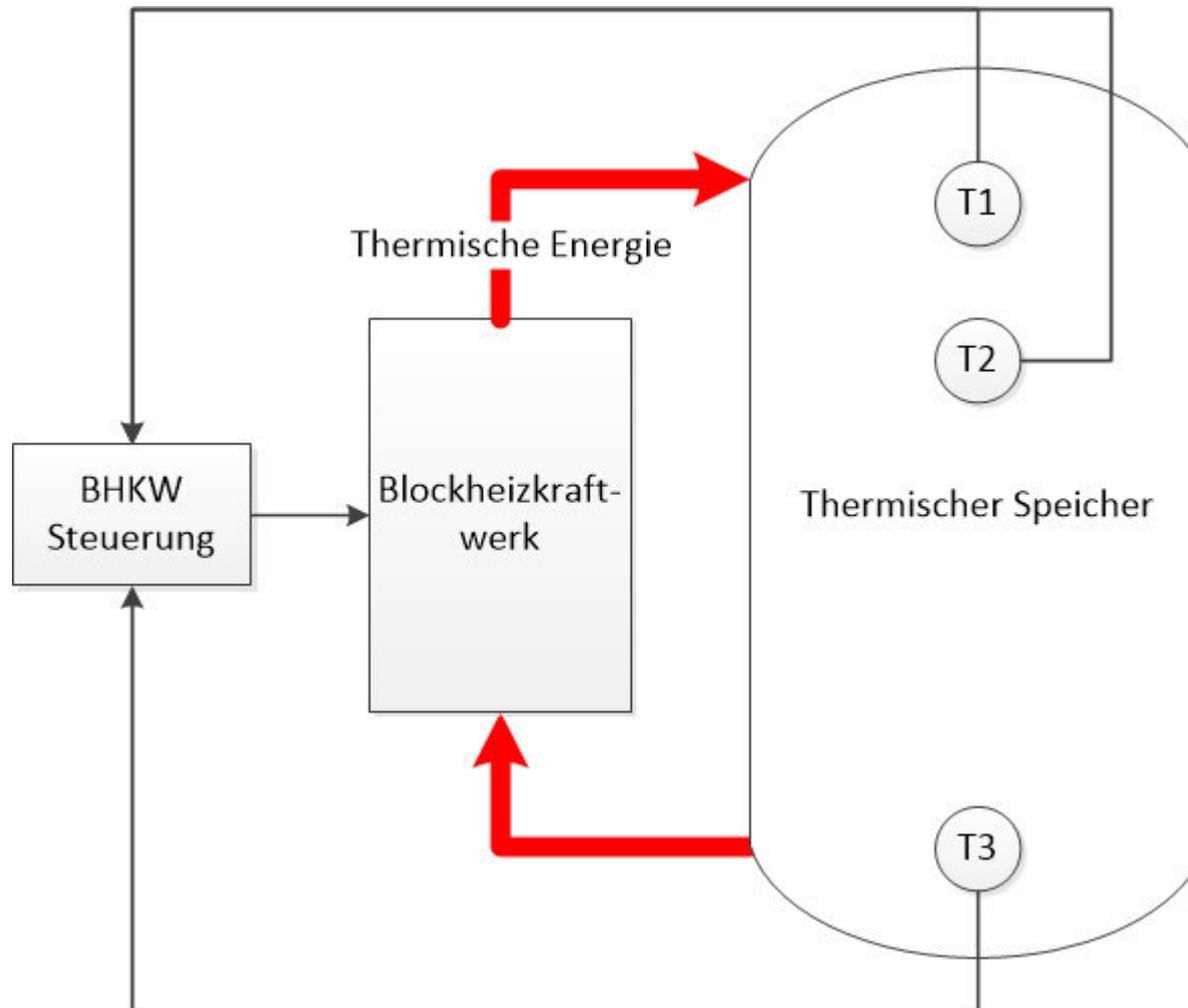
# Heizkessel, PV und EES



# KWK-Anlage, Heizkessel, PV und EES



# Wärmegeführter BHKW Betrieb



## Definition eines Beispielsystems

Systemkomponente	Typ / Variationsparameter	Variation
Verbrauchssystem	Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten	
BHKW	el. Nennleistung th. Nennleistung	3 kW 8,2 kW
BHKW Typ	Gasgefeuert / Motor	
BHKW - Betriebsart	Wärmegeführt	
PV-Anlage	Peakleistung	0-10 kWp
elektrischer Speicher	Li-Ion / Nominalkapazität (C/5)	0-8 kWh
thermischer Speicher	Speichervolumen	1500 l
Spitzenlasterzeuger	th. Nennleistung	35 kW

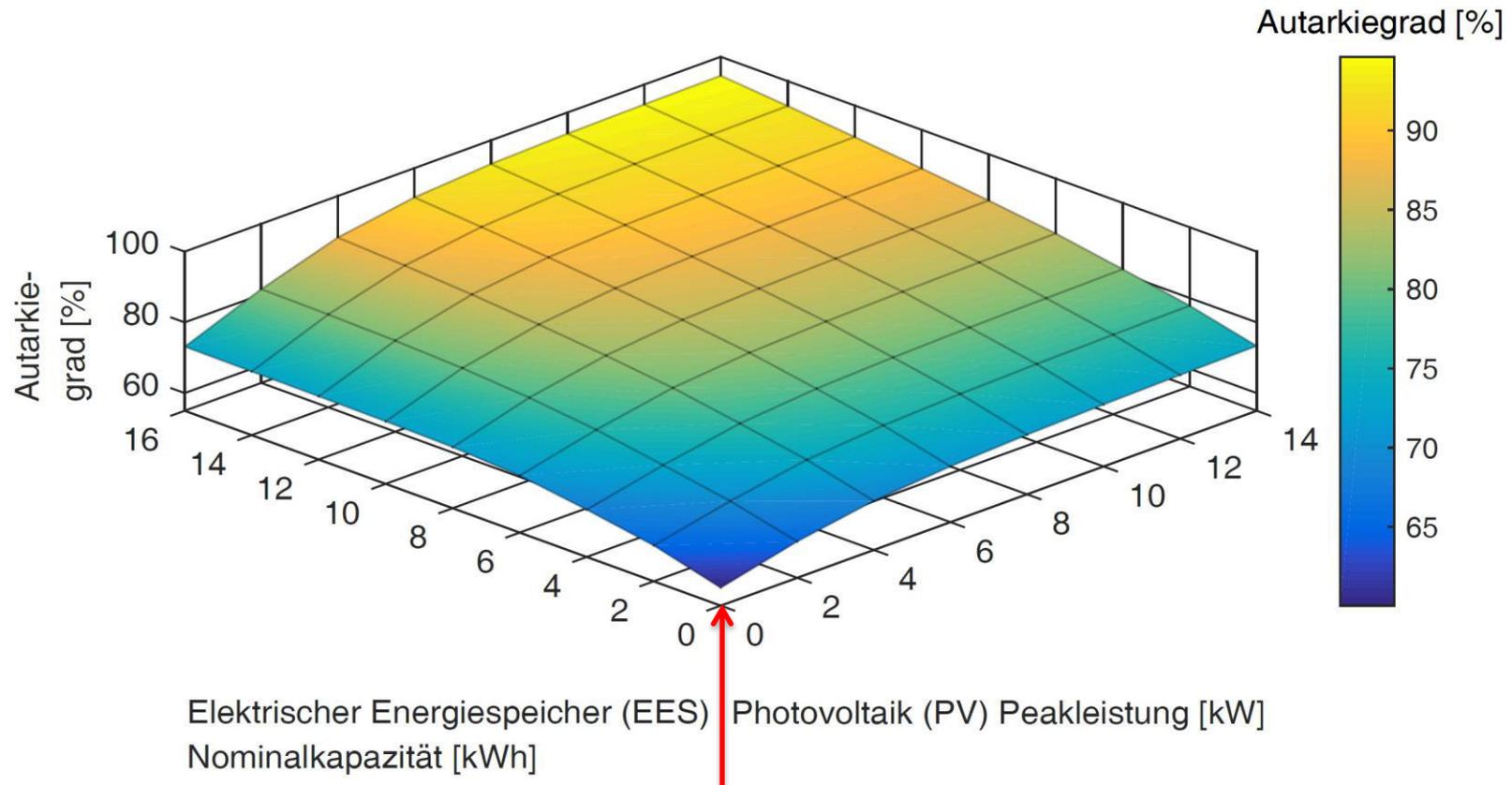


## Definition

- Elektrischer Autarkiegrad Energiesystem

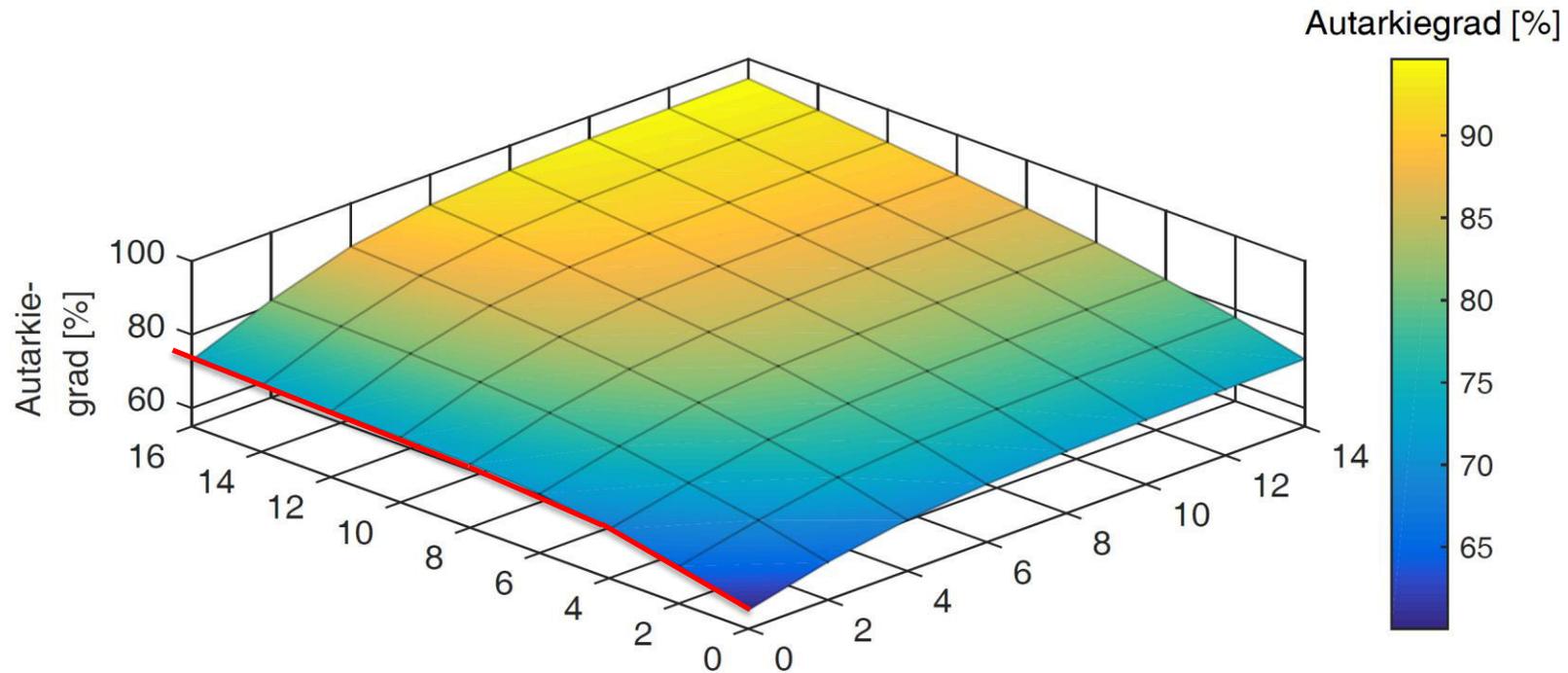
$$\text{Autarkiegrad}_{\text{elektrisch}} = \frac{\text{selbstverbrauchte Stromproduktion pro Jahr}}{\text{Jahresverbrauch Strom}}$$

# Analyse elektrischer Autarkiegrad - Dimensionierung(1)



BHKW (wärmegeführt; 3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung),  
 ohne PV; ohne elektrischen Energiespeicher,  
 elektrischer Autarkiegrad = 60%

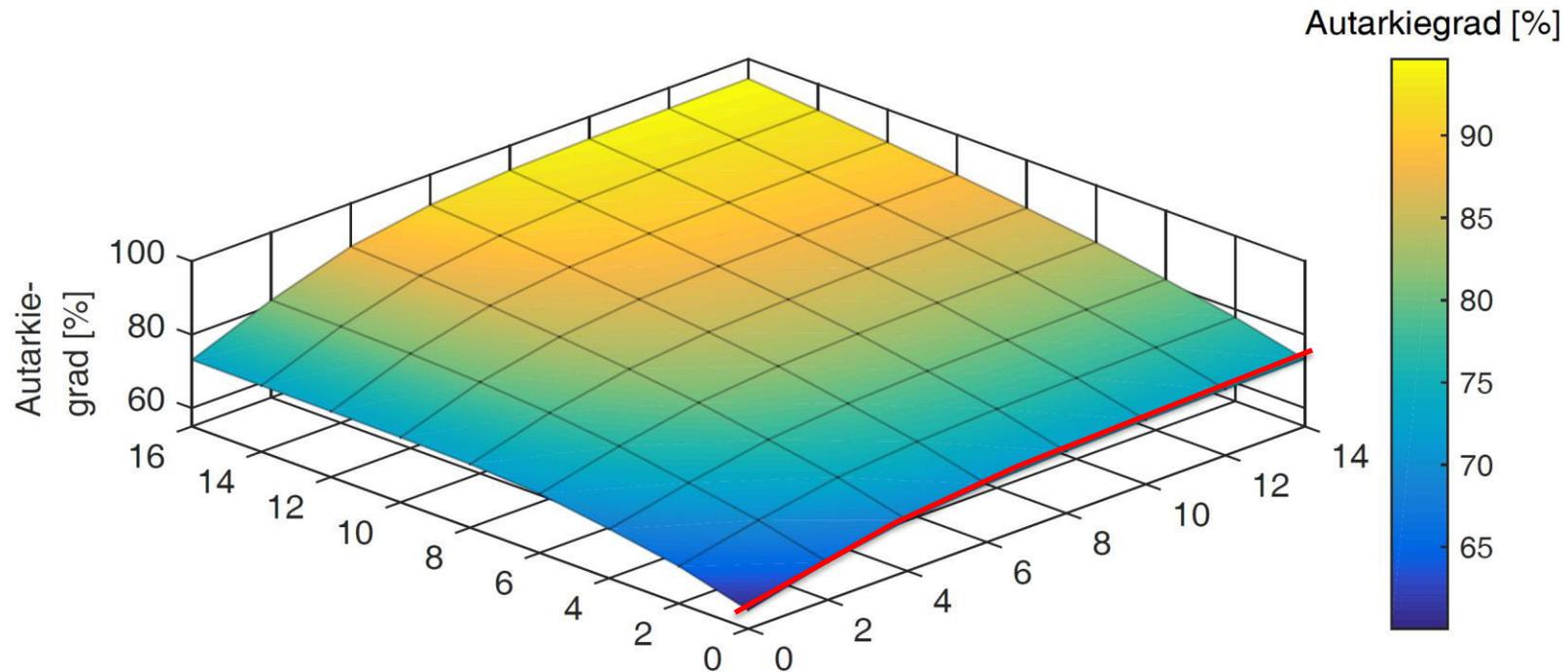
## Analyse elektrischer Autarkiegrad - Dimensionierung (2)



Elektrischer Energiespeicher (EES) Photovoltaik (PV) Peakleistung [kW]  
 Nominalkapazität [kWh]

BHKW (wärmegeführt; 3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung),  
 ohne PV; Variation elektrischer Energiespeicher,  
 elektrischer Autarkiegrad = von 60% auf 73%

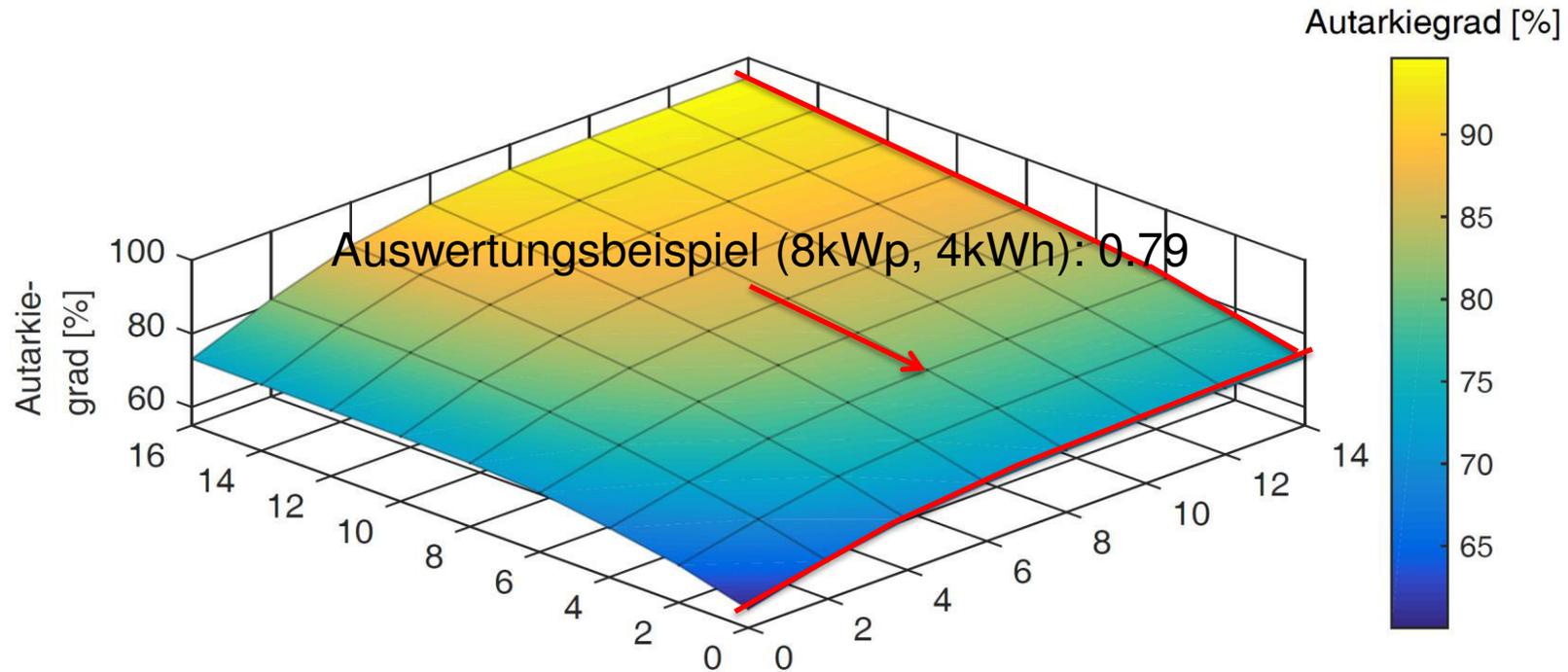
## Analyse elektrischer Autarkiegrad - Dimensionierung (3)



Elektrischer Energiespeicher (EES) Nominalkapazität [kWh]    Photovoltaik (PV) Peakleistung [kW]

BHKW (wärmegeführt; 3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung),  
 Variation PV; ohne elektrischen Energiespeicher,  
 elektrischer Autarkiegrad = von 60% auf 73%

# Analyse elektrischer Autarkiegrad - Dimensionierung (4)



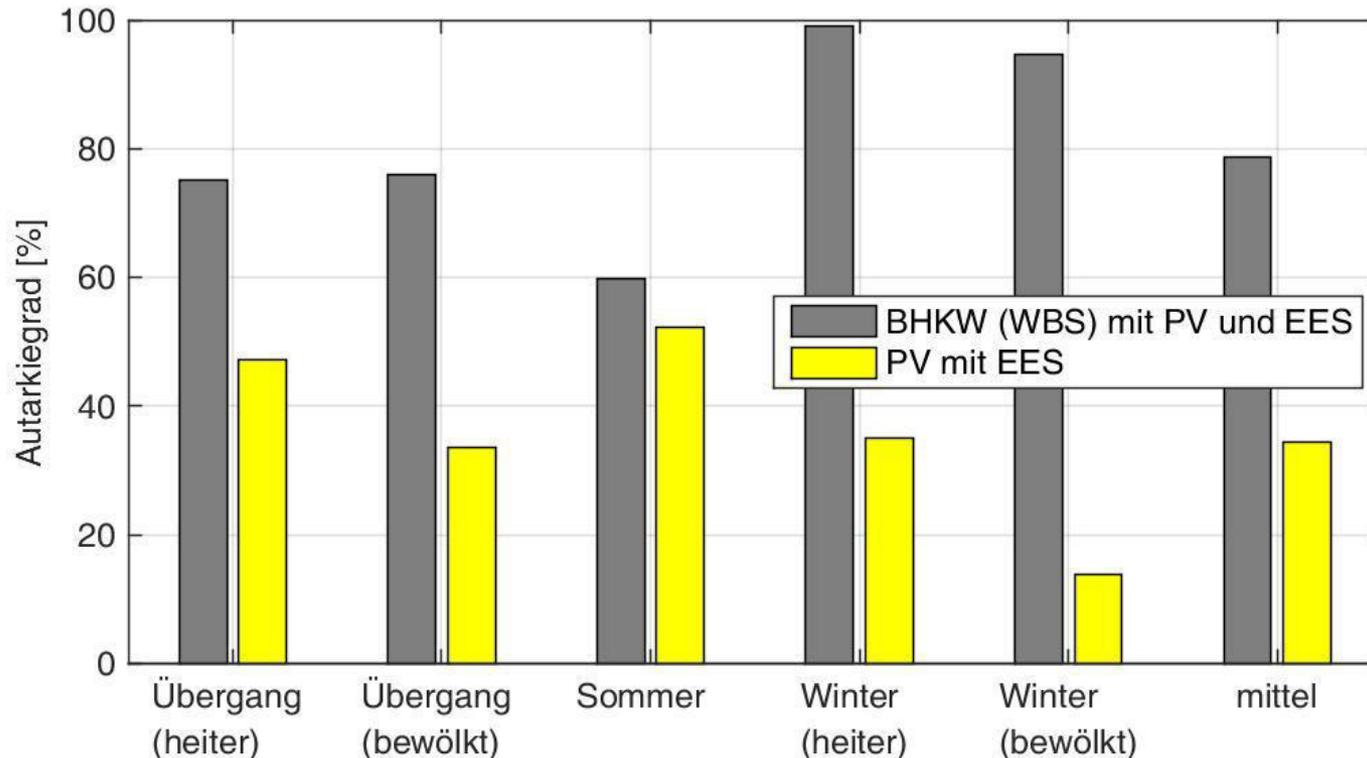
Elektrischer Energiespeicher (EES) Photovoltaik (PV) Peakleistung [kW]  
 Nominalkapazität [kWh]

BHKW (wärmegeführt; 3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung),  
 ohne PV; Variation elektrischer Energiespeicher,  
 elektrischer Autarkiegrad = von 60% auf 95%

## Übersicht wärmegeführtes Auswertungsbeispiel

Parameter	Wert	Einheit
Thermischer Bedarf	40,1	MWh
Elektrischer Bedarf	18,0	MWh
BHKW Laufzeit	5224	h/a
mittlere BHKW Laufzeit	19,2	h/Intervall
Anfahrvorgänge BHKW	272	1/a
Kessel Laufzeit	224	h/a
BHKW el. Energie	15,6	MWh
PV el. Energie	8	MWh
BHKW Netzeinspeisung	3,8 (24% der Bereitstellung)	MWh
PV Netzeinspeisung	5,2 (65% der Bereitstellung)	MWh
PV Netzeinspeisung (ohne BHKW mit EES)	1,9 (23% der Bereitstellung)	MWh

## Analyse elektrischer Autarkiegrad - Saisonal



BHKW (wärmegeführte Betriebsstrategie (WBS); 3 kW<sub>el</sub> 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung); 8 kW<sub>Peak</sub> PV; 4 kWh elektrischer Energiespeicher

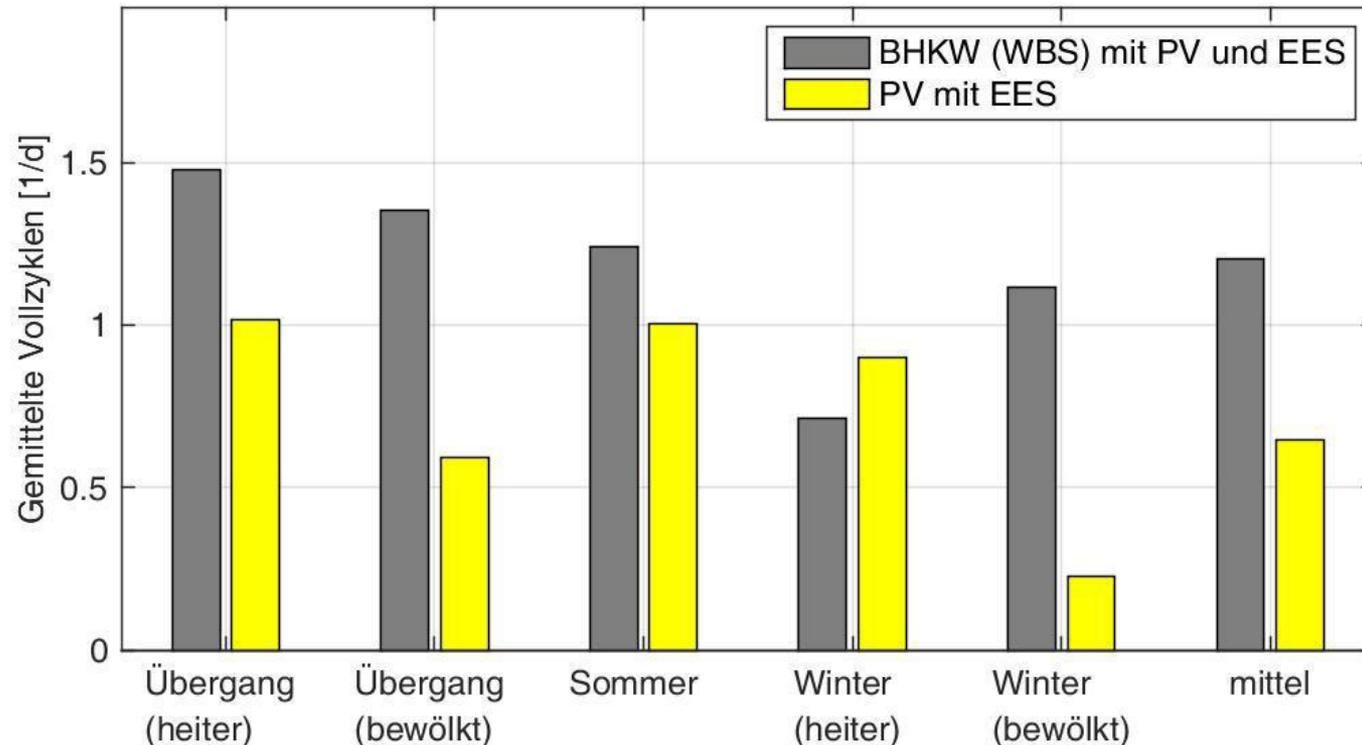


## Definition

- Vollzyklen des elektrischen Speichers

$$\text{Vollzyklen} = \frac{\text{eingespeicherte Energie} + \text{ausgespeicherte Energie}}{2 * \text{Kapazität}}$$

# Analyse Vollzyklen des elektrischen Energiespeichers - Saisonal



BHKW (wärmegeführte Betriebsstrategie (WBS); 3 kW<sub>el</sub> 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung); 8 kW<sub>Peak</sub> PV; 4 kWh elektrischer Energiespeicher,

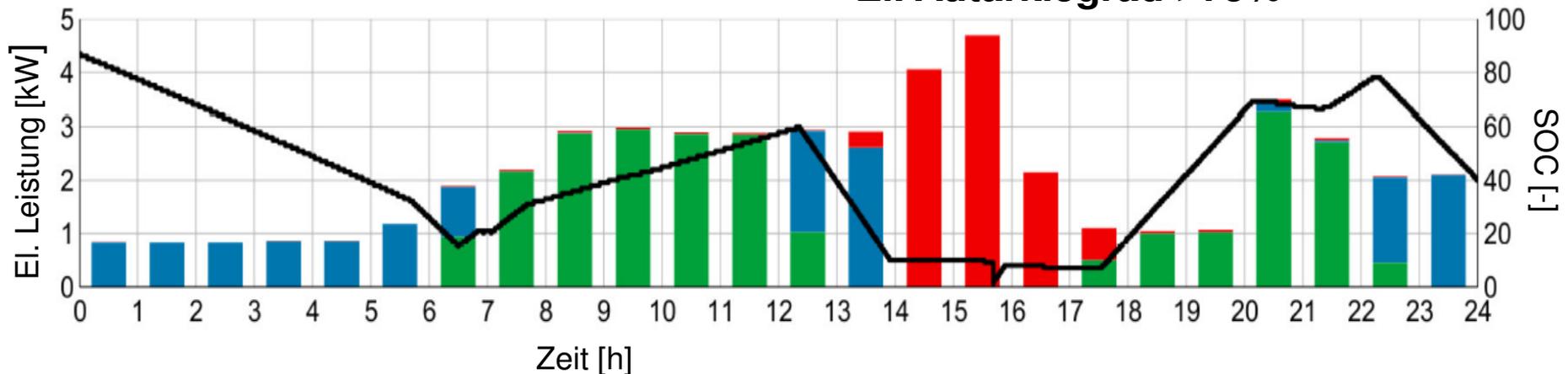
## Messungen am Teststand (1)

- Hochinstrumentierter Versuchsstand
- Energiemengenzähler (Minutenauflösung)

Parameter:      mBHKW:              4 kW<sub>e</sub> (Wärmegeführt)  
                          EES:                        10 kWh  
                          PV:                        keine

■ BHKW  
■ Batterie  
■ Netz  
— Ladezustand Batterie (SOC)

**El. Autarkiegrad >75%**



Quelle: Ummenhofer, Roediger et al.: Self-sufficiency in a MCHP system based on local demand and supply analysis, ASME PowerEnergy Konferenz, USA, 2016 (angenommen)

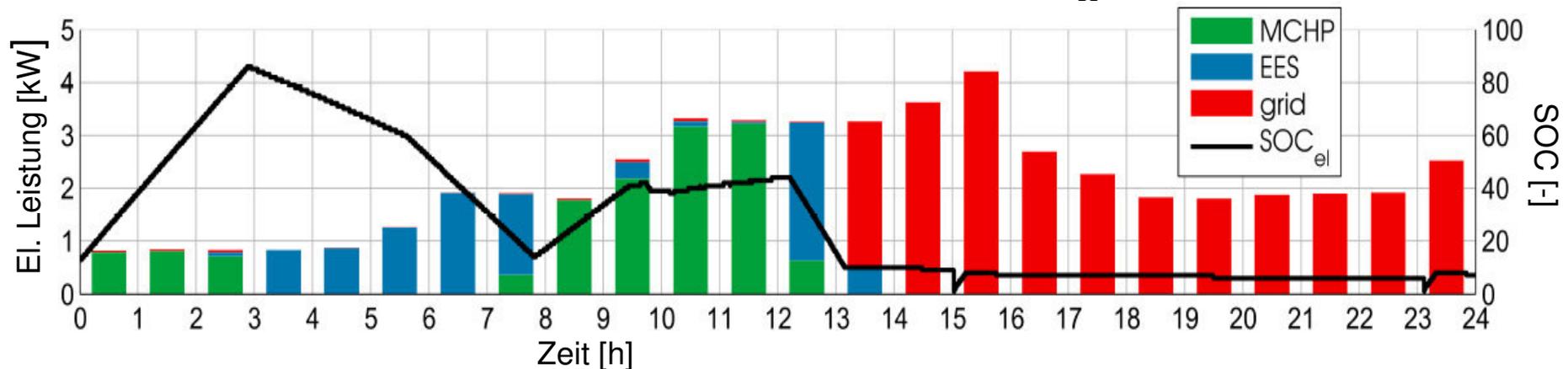
## Messungen am Teststand (2)

- Hochinstrumentierter Versuchsstand
- Energiemengenzähler (Minutenauflösung)

Parameter:      mBHKW:              4 kW<sub>e</sub> (Wärmegeführt)  
                          EES:                        10 kWh  
                          PV:                         keine

■ BHKW  
■ Batterie  
■ Netz  
— Ladezustand Batterie (SOC)

**El. Autarkiegrad < 50 %**



Quelle: Ummenhofer, Roediger et al.: Self-sufficiency in a MCHP system based on local demand and supply analysis, ASME PowerEnergy Konferenz, USA, 2016 (angenommen)



Projektpartner



gefördert durch



## Projekt EKOSTORE

Systemkombination von  
Batteriespeicher, PV- Anlage und  
Mikroblockheizkraftwerk zur  
dezentralen Eigenenergieversorgung

Teil II: Speichergeführte BHKW

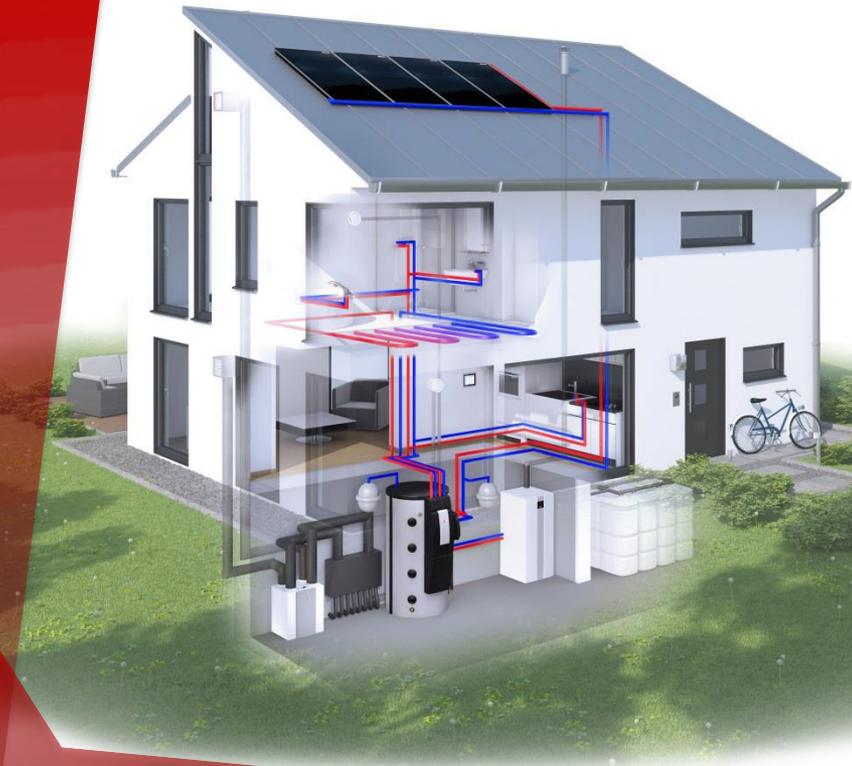
Landshuter Energiegespräche

16.01.2017

Georg Heyer

Technologiezentrum Energie

Hochschule Landshut

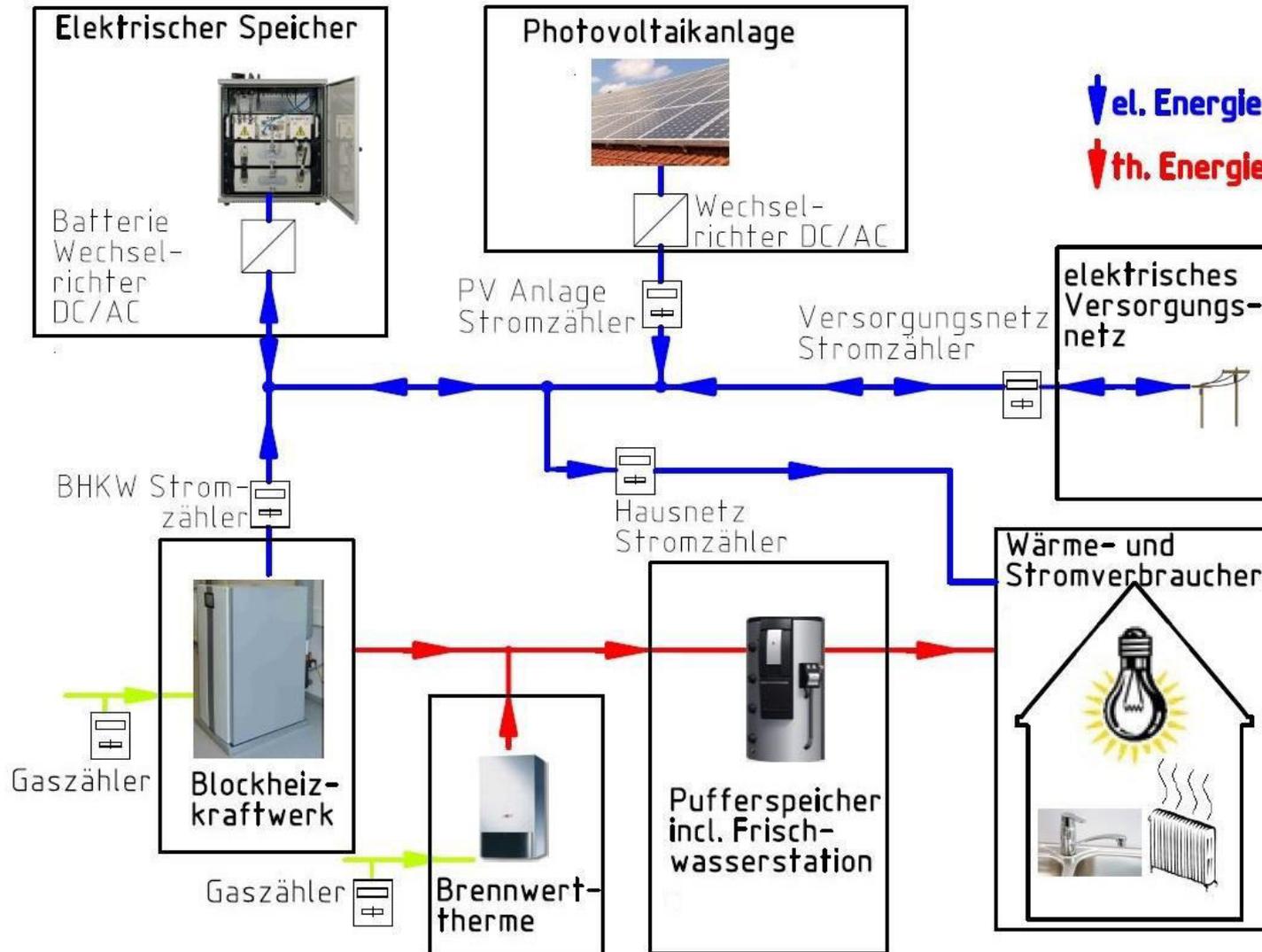




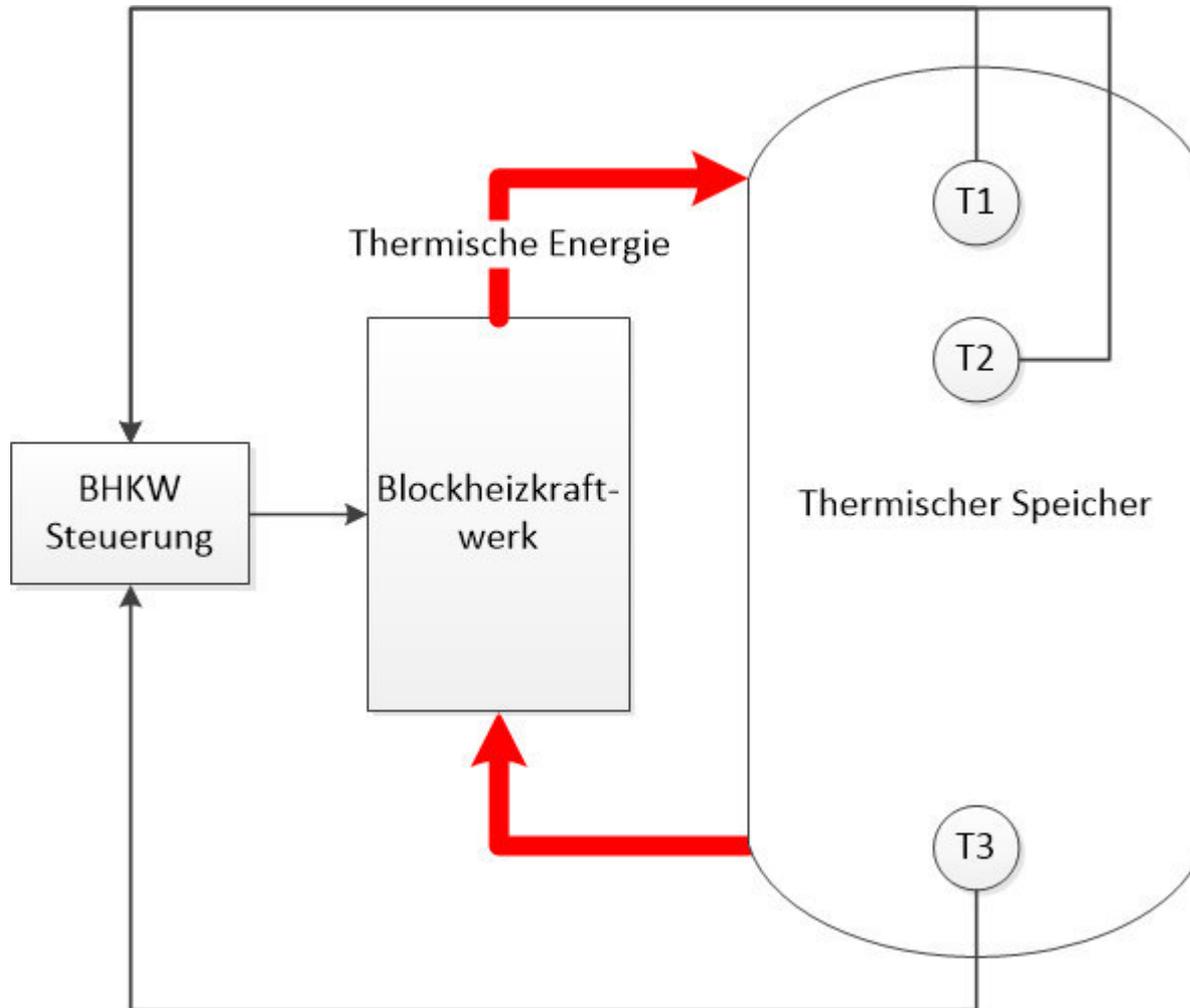
## Gliederung für Teil II: Speichergeführte BHKW

- Speichergeführte Betriebsstrategie
- Analyse - elektrischer Autarkiegrad des Energiesystems
- Analyse - Vollzyklen des elektrischen Speichers
- Betriebsverhalten im Vergleich
- Wirtschaftlichkeit

# KWK-Anlage, Heizkessel, PV und EES



# Wärmegeführter BHKW Betrieb



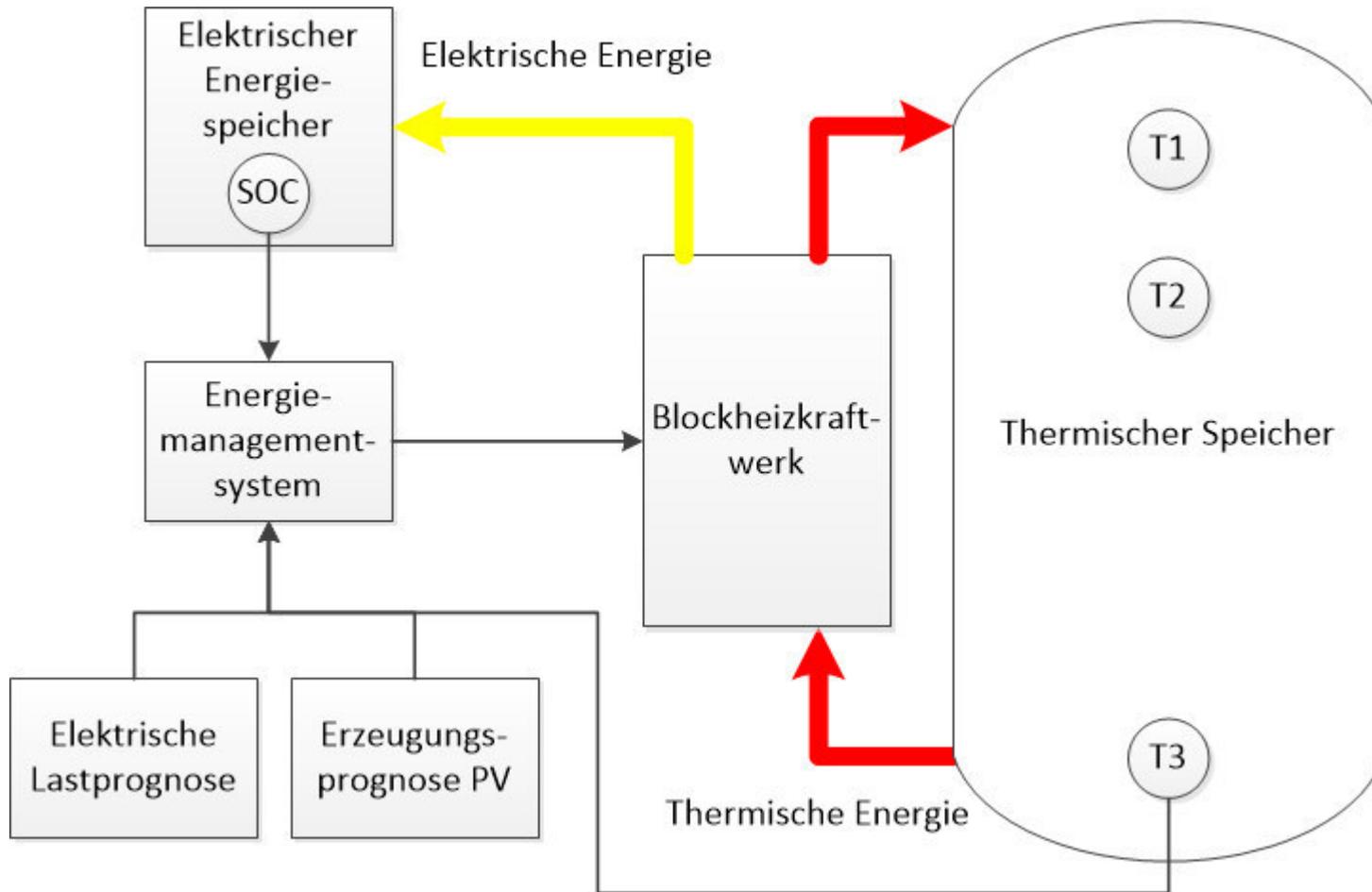


## Speichergeführte Betriebsstrategie: Ziele

Ziele bei gleicher Dimensionierung der Systemkomponenten im Vergleich zum wärmegeführten Betrieb:

- Verbesserung des elektrischen Autarkiegrades
- Verbesserte Ausnutzung des elektrischen Energiespeichers
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von BHKW Systemen
- Vermeidung der Netzeinspeisung von BHKW und PV

# Speichergeführter BHKW Betrieb



## Definition eines Beispielsystems

Systemkomponente	Typ / Variationsparameter	Variation
Verbrauchssystem	Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten	
BHKW	el. Nennleistung th. Nennleistung	3 kW 8,2 kW
BHKW Typ	Gasgefeuert / Motor	
BHKW - Betriebsart	Speichergeführt	
PV-Anlage	Peakleistung	0-10 kWp
elektrischer Speicher	Li-Ion / Nominalkapazität (C/5)	0-8 kWh
thermischer Speicher	Speichervolumen	1500 l
Spitzenlasterzeuger	th. Nennleistung	35 kW

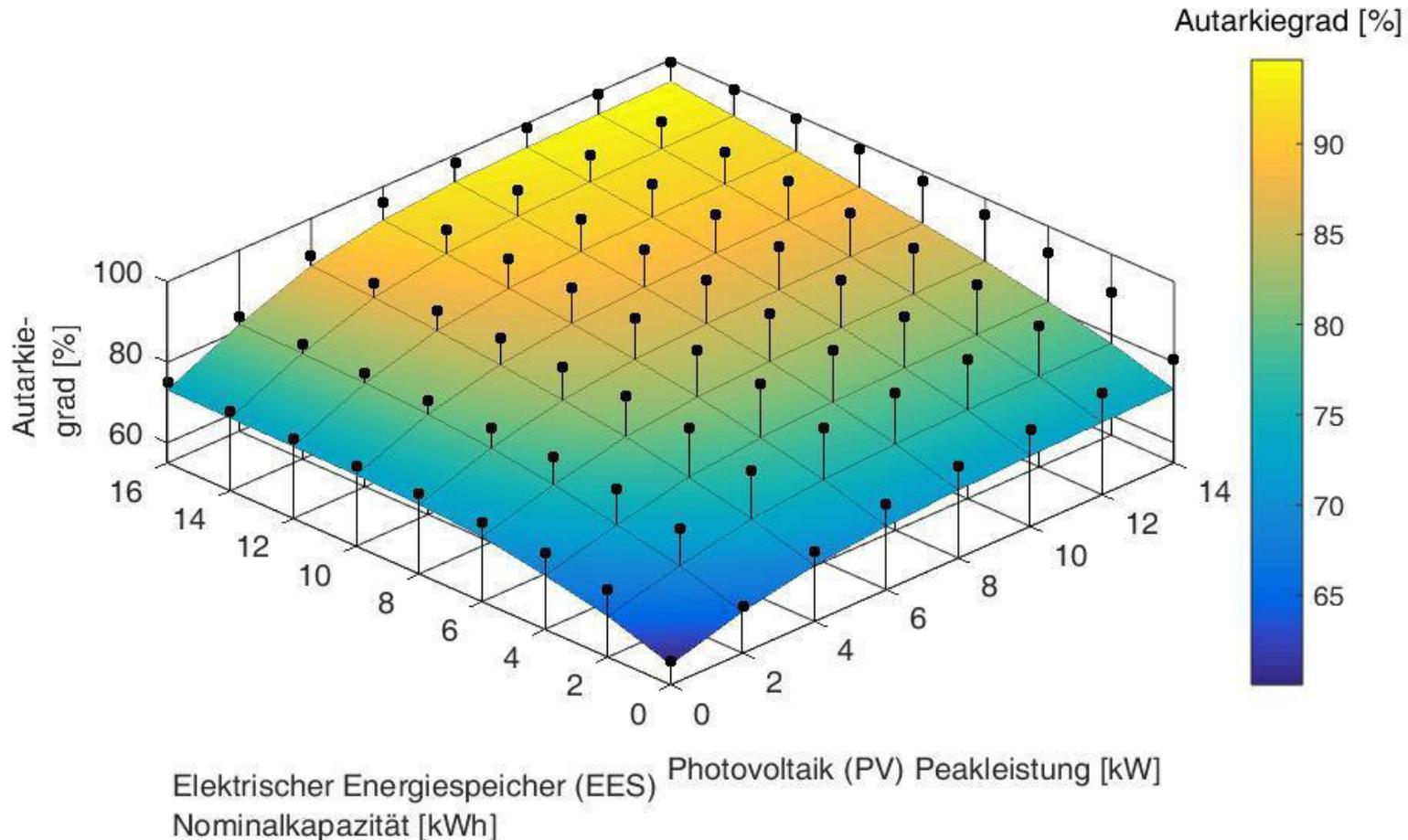


## Definition

- Elektrischer Autarkiegrad Energiesystem

$$\text{Autarkiegrad}_{\text{elektrisch}} = \frac{\text{selbstverbrauchte Stromproduktion pro Jahr}}{\text{Jahresverbrauch Strom}}$$

# Analyse elektrischer Autarkiegrad - Dimensionierung(1)

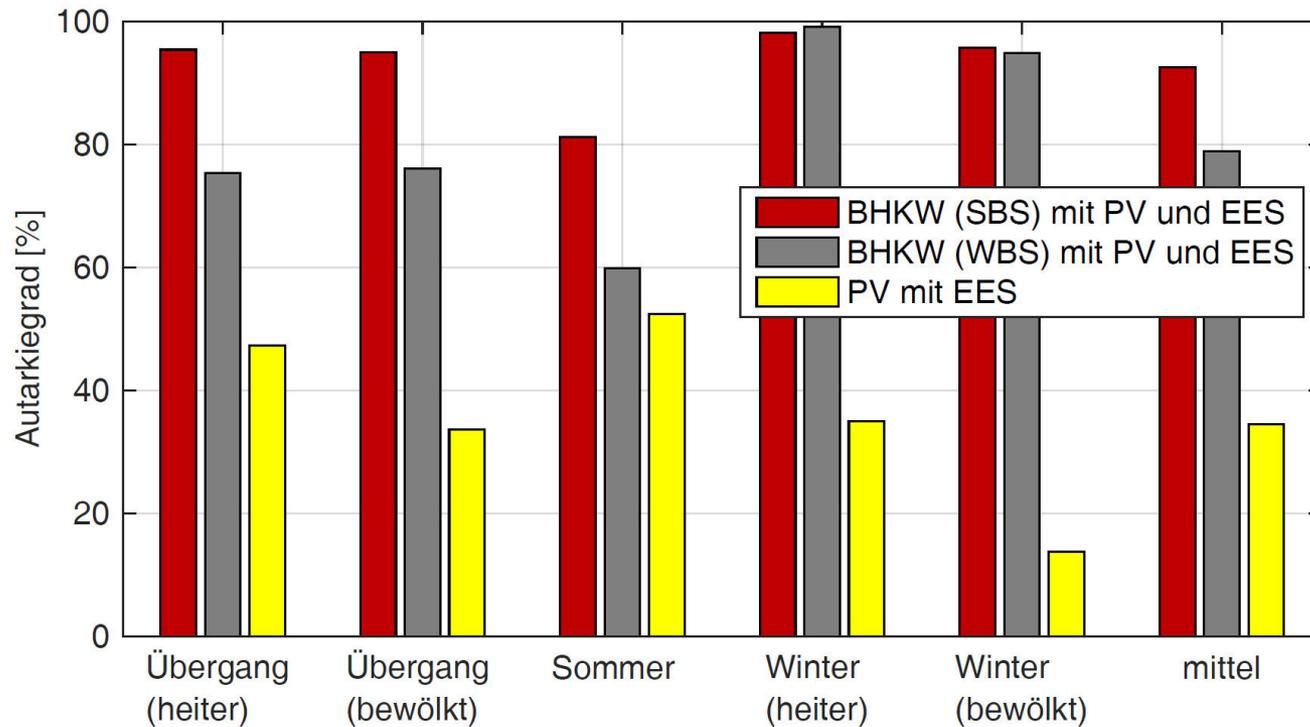


BHKW (wärmegeführt vs. speichergeführt; 3 kW<sub>el</sub> 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung),

# Übersicht speichergeführtes Auswertungsbeispiel (8kW PV und 4 kWh EES)

Parameter	Wert (Vergleich wärmegeführt)	Einheit
Thermischer Bedarf	40,1	MWh
Elektrischer Bedarf	18,0	MWh
BHKW Laufzeit	3780 (-28% von 5220)	h/a
mittlere BHKW Laufzeit	4,7 (-75% von 19,2)	h/Intervall
Anfahrvorgänge BHKW	804 (+195% von 272)	1/a
Kessellaufzeit	1996 (+791% von 224)	h/a
BHKW el. Energie	11,3 (-27% von 15,6)	MWh
PV el. Energie	8	MWh
BHKW Netzeinspeisung	0 (-98% von 3,8)	MWh
PV Netzeinspeisung	1,9 (-63% von 5,2)	MWh
PV Netzeinspeisung (ohne BHKW mit EES)	1,9 (+0% von 1,9)	MWh

# Analyse elektrischer Autarkiegrad - Saisonal



BHKW (3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung); 8 kW<sub>Peak</sub> PV; 4 kWh elektrischer Energiespeicher

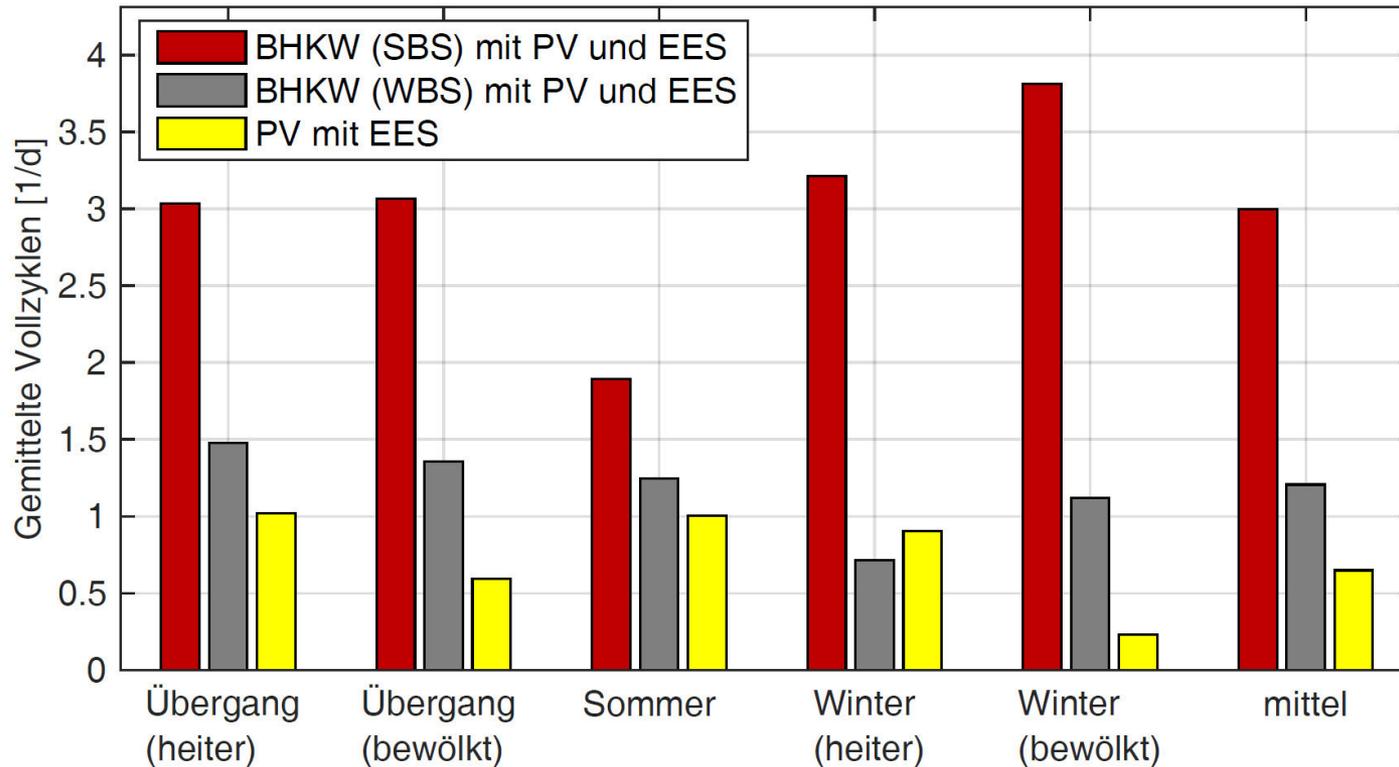


## Definition

- Vollzyklen des elektrischen Speichers

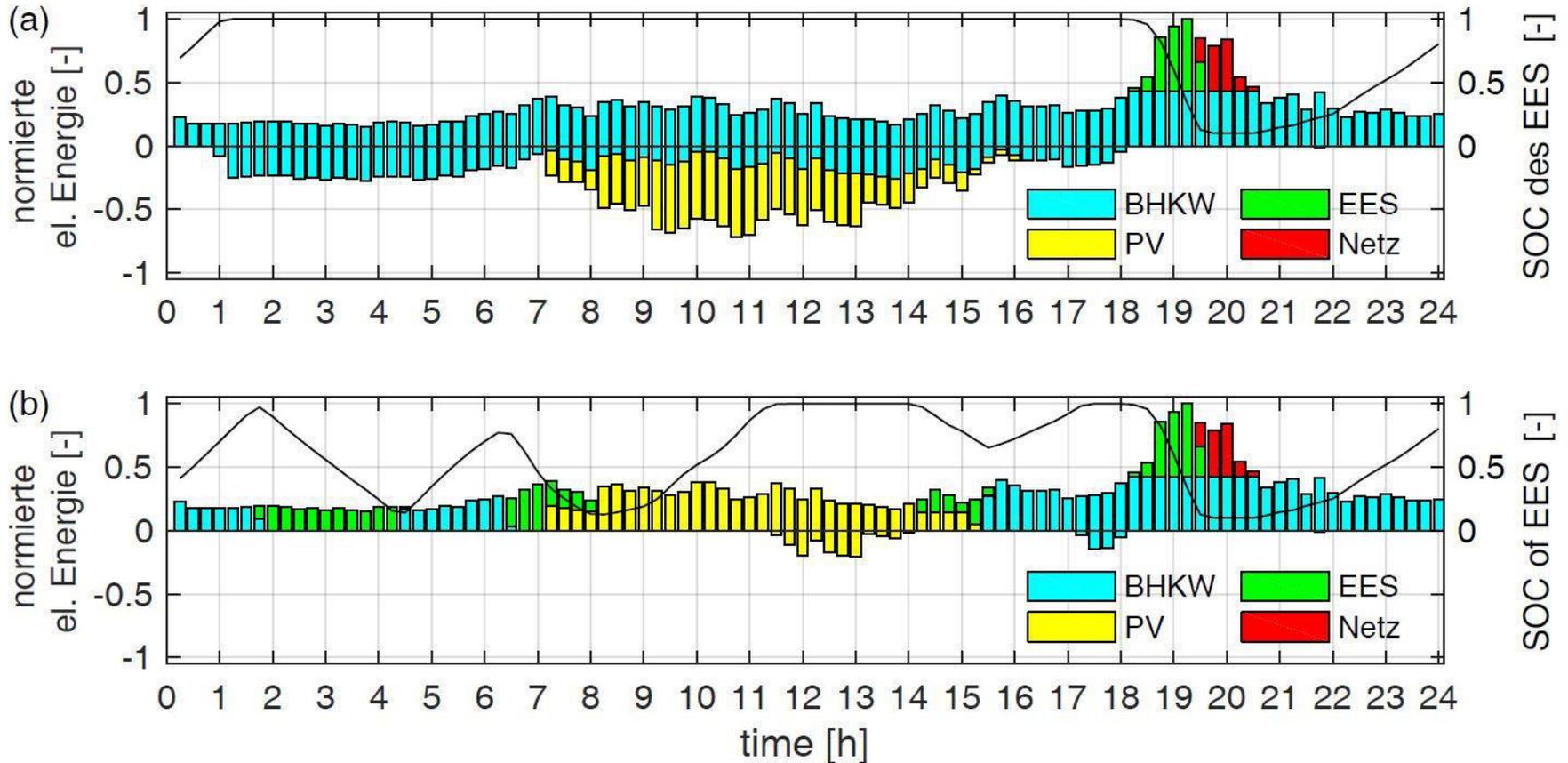
$$\text{Vollzyklen} = \frac{\text{eingespeicherte Energie} + \text{ausgespeicherte Energie}}{2 * \text{Kapazität}}$$

# Analyse Vollzyklen des elektrischen Energiespeichers - Saisonal



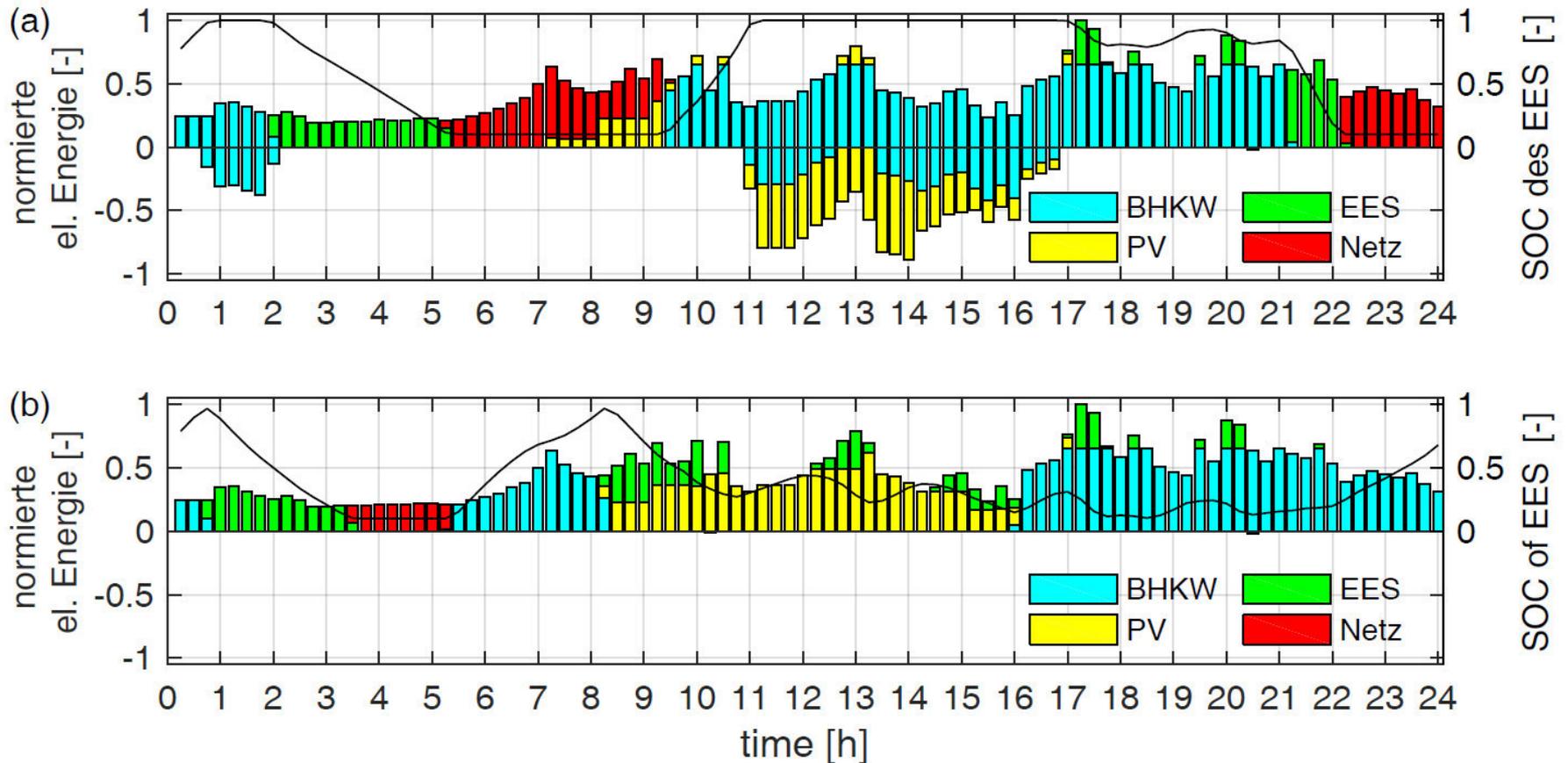
BHKW (3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung); 8 kW<sub>Peak</sub> PV; 4 kWh elektrischer Energiespeicher

# Betriebsverhalten im Vergleich: Wintertag



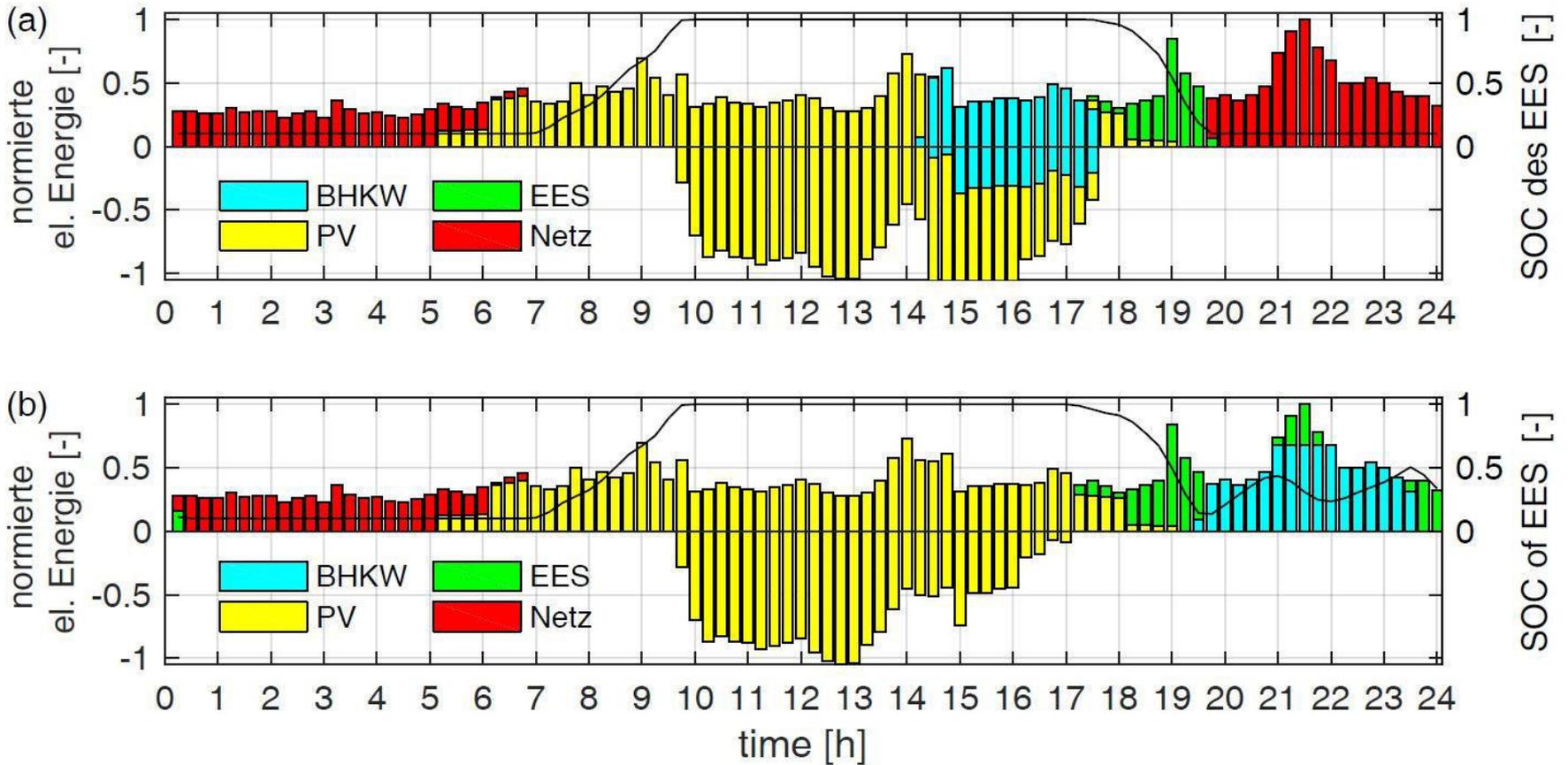
BHKW (3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung, (a) WBS, (b) SBS);  
 8 kW<sub>Peak</sub> PV; 4 kWh elektrischer Energiespeicher

# Betriebsverhalten im Vergleich: Übergangstag



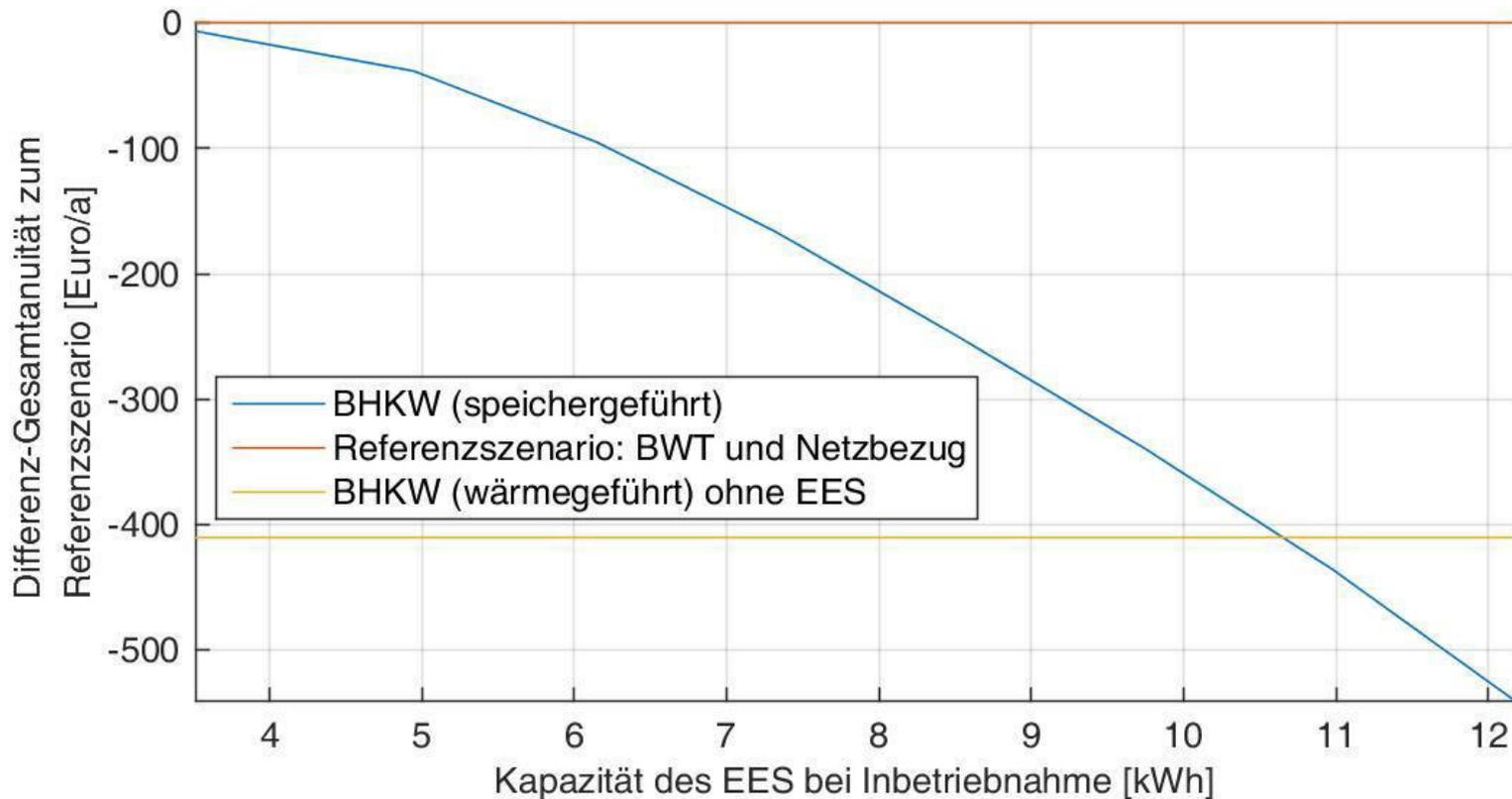
BHKW (3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung, (a) WBS, (b) SBS);  
 8 kW<sub>Peak</sub> PV; 4 kWh elektrischer Energiespeicher

# Betriebsverhalten im Vergleich: Sommertag



BHKW (3 kW<sub>el</sub> und 8,2 kW<sub>el</sub> Nennleistung, (a) WBS, (b) SBS);  
 8 kW<sub>Peak</sub> PV; 4 kWh elektrischer Energiespeicher

## Wirtschaftlichkeit bei Speicherkosten = 1190 Euro / kWh

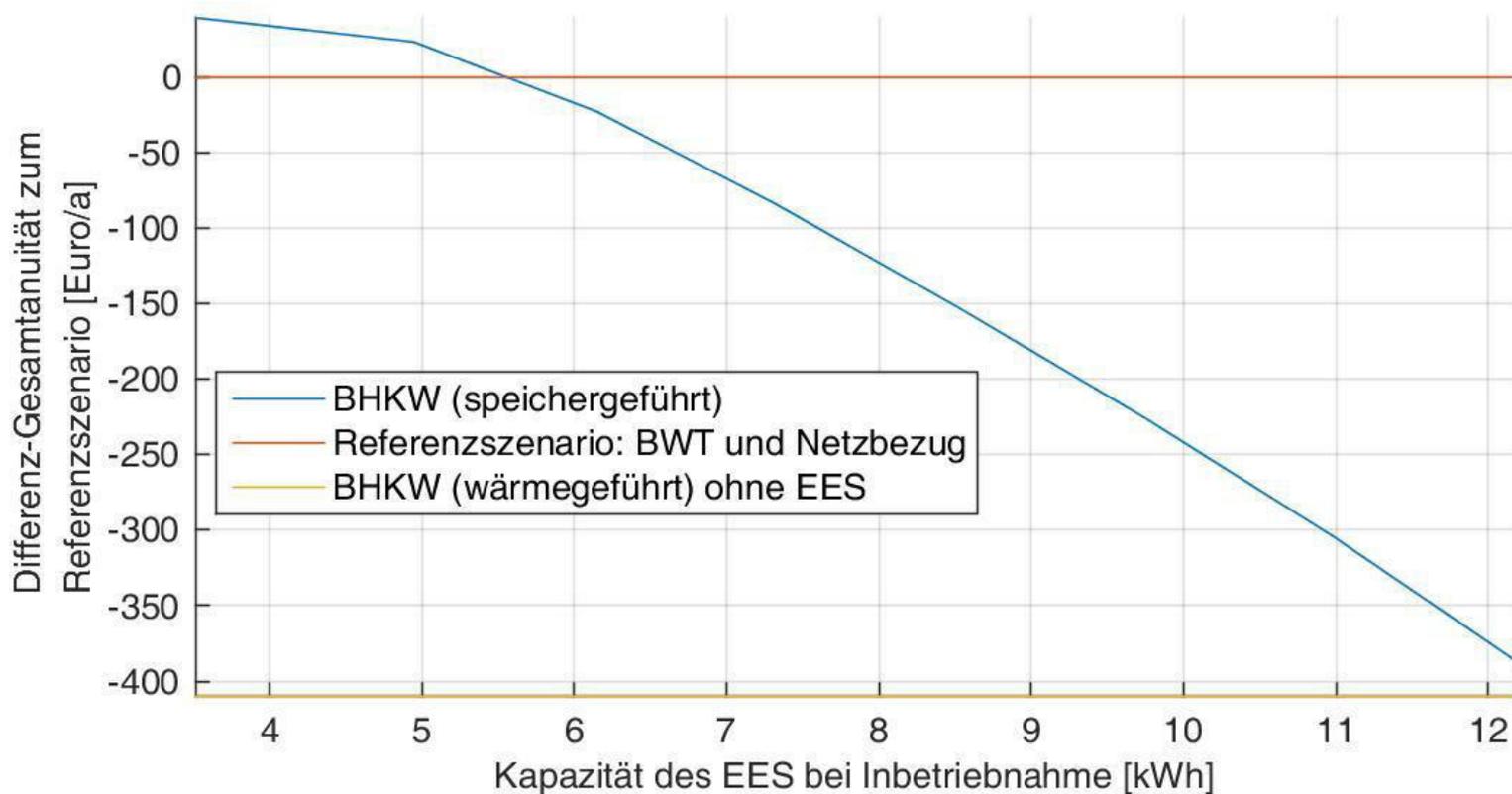


3 kW<sub>el</sub> BHKW @4790 €/kW<sub>el</sub>;

8 kW<sub>Peak</sub> PV @1080 €/kW<sub>Peak</sub>;

Wirtschaftlichkeitsberechnung incl. Bafa Förderung für BHKW und KfW  
Förderung für EES (KfW 275 Kredit)

## Wirtschaftlichkeit bei Speicherkosten = 1040 Euro / kWh

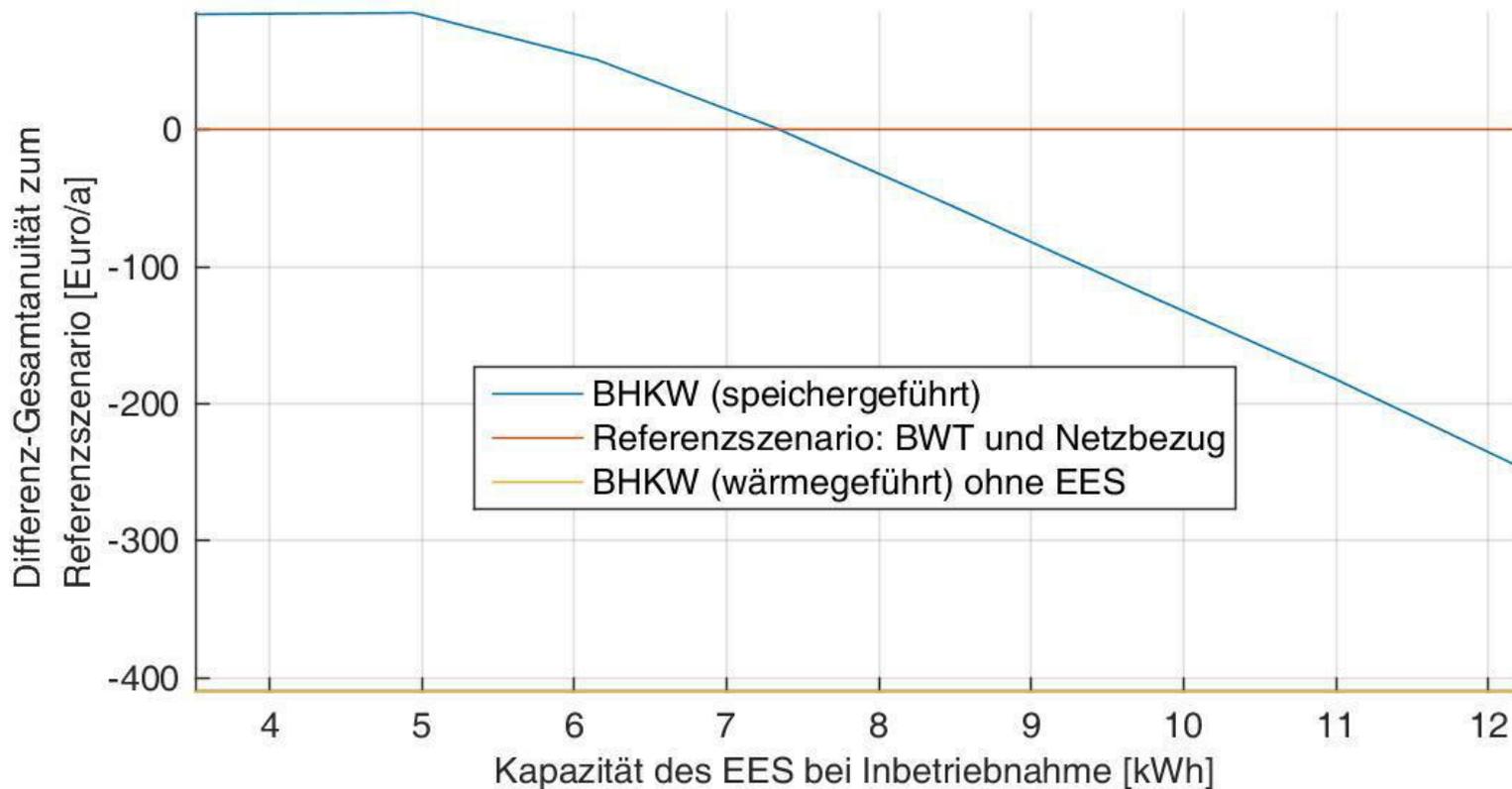


3 kW<sub>el</sub> BHKW @4790 €/kW<sub>el</sub>;

8 kW<sub>Peak</sub> PV @1080 €/kW<sub>Peak</sub>;

Wirtschaftlichkeitsberechnung incl. Bafa Förderung für BHKW und KfW  
Förderung für EES (KfW 275 Kredit)

## Wirtschaftlichkeit bei Speicherkosten = 890 Euro / kWh

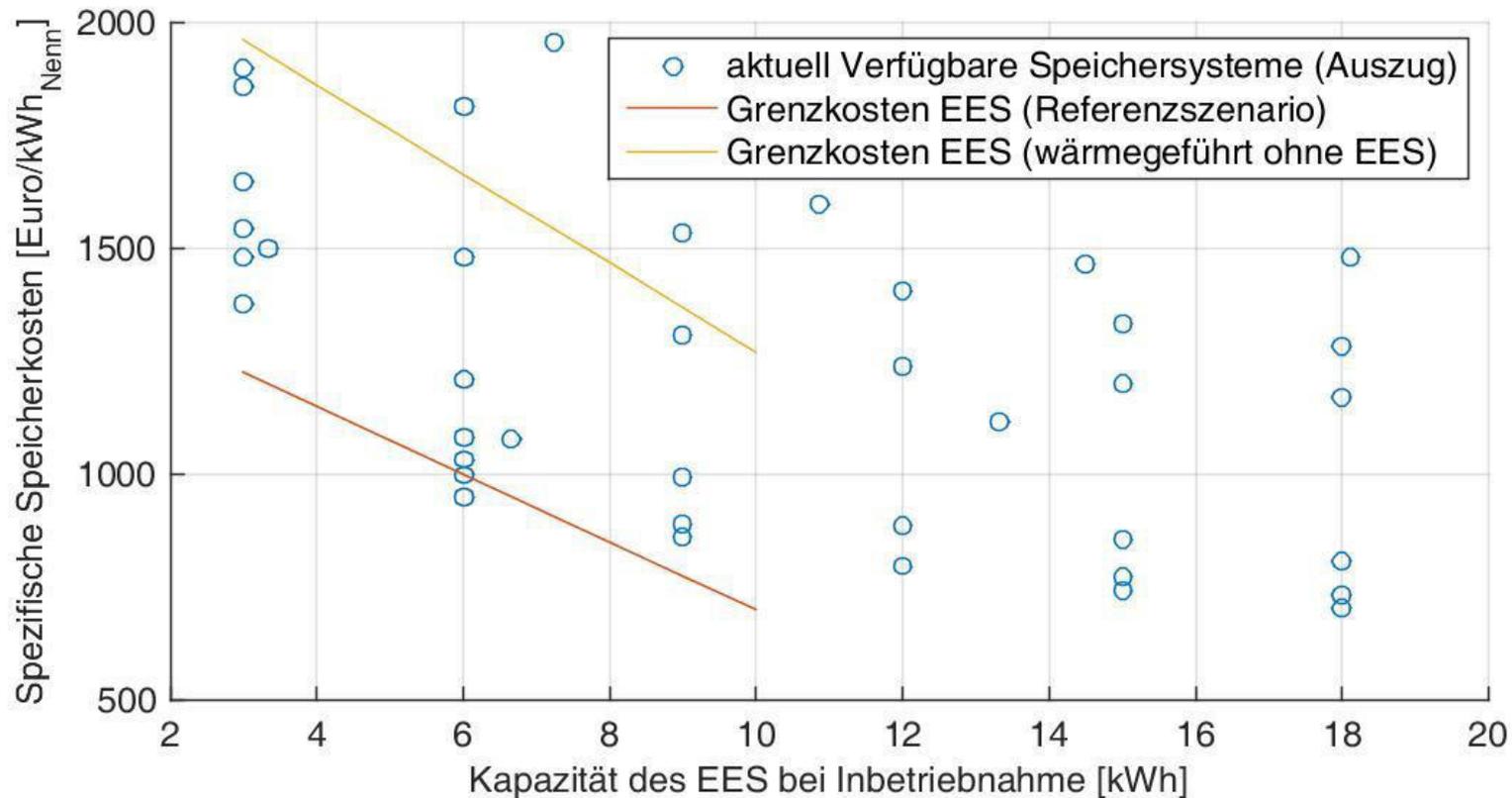


3 kW<sub>el</sub> BHKW @4790 €/kW<sub>el</sub>;

8 kW<sub>Peak</sub> PV @1080 €/kW<sub>Peak</sub>;

Wirtschaftlichkeitsberechnung incl. Bafa Förderung für BHKW und KfW  
Förderung für EES (KfW 275 Kredit)

# Wirtschaftlichkeit bei Speicherkosten: Überblick



3 kW<sub>el</sub> BHKW @4790 €/kW<sub>el</sub>;

8 kW<sub>Peak</sub> PV @1080 €/kW<sub>Peak</sub>;

Wirtschaftlichkeitsberechnung incl. Bafa Förderung für BHKW und KfW  
Förderung für EES (KfW 275 Kredit)



## Wunschzettel für elektrischen Energiespeicher

- Zyklenfestigkeit:  $\geq 7000$  Zyklen pro 30% Kapazitätsverlust
- Elektrischer Anschluss: ein- oder dreiphasig (je Anschlussleistung) / AC
- Maximale Einspeicherleistung: 4 kW
- Maximale Ausspeicherleistung: 5 kW
- Regelungsgeschwindigkeit:  $\leq 1000$  ms
- Effizienz: Zykluswirkungsgrad  $> 85\%$
- Kosten:  $< 1000$  Euro/kWh im Bereich 4-10 kWh



## Zusammenfassung und Ausblick

- Entwicklung **speicherorientierter Betriebsstrategien** für **BHKW**
  - Verbesserung des elektrischen Autarkiegrades
  - Verbesserte Ausnutzung des elektrischen Energiespeichers
  - Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von BHKW Systemen
  - Vermeidung von BHKW Netzeinspeisung
- **Umsetzung** und **Validierung** der **Betriebsstrategien** im Rahmen der Versuchsanlage (reale Systemdaten)
- Umfassende **wirtschaftliche Auswertung** des Energiesystems
- Definition von **Zielkosten** für Systemkomponenten **elektrischer Speicher** und **BHKW**



Projektpartner



gefördert durch



## Projekt EKOSTORE

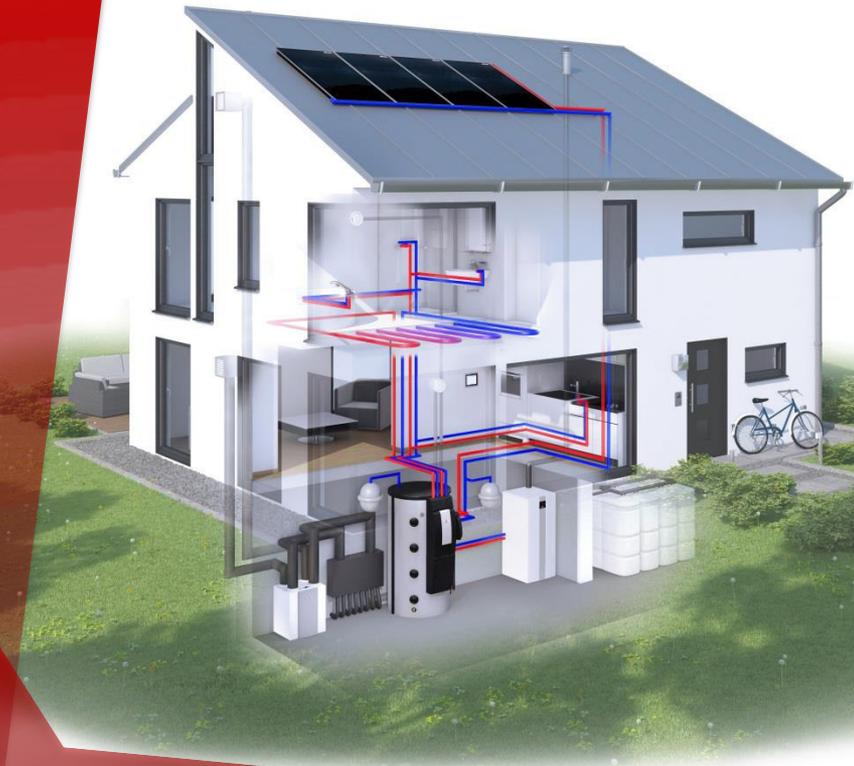
Systemkombination von Batteriespeicher, PV-Anlage und Mikroblokheizkraftwerk zur dezentralen Eigenenergieversorgung

Teil III: Aufbau eines Prüfstandes zur Validierung der Simulationsmodelle

Landshuter Energiegespräche

16.01.2017

Felix Gackstatter  
Technologiezentrum Energie  
Hochschule Landshut

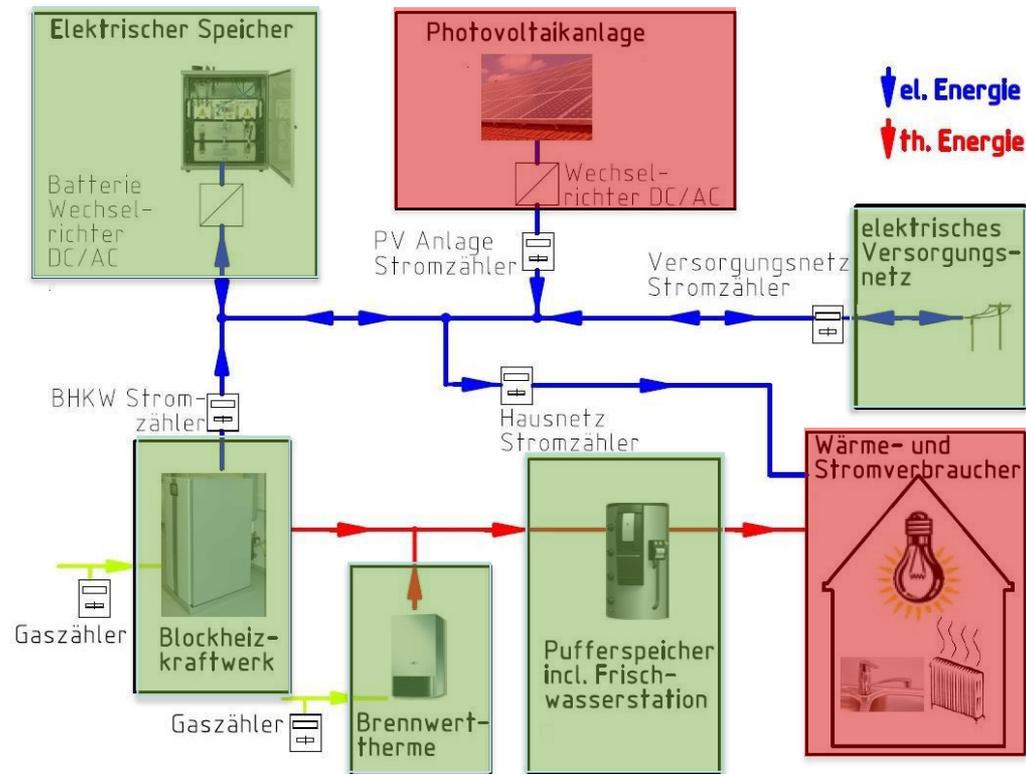




# Gliederung

- Gegenüberstellung Prüfstand / Modell
- Vorstellung der Einzelkomponenten im Zusammenhang
  - Wärmeseite
  - Elektrische Seite
  - Energiemanagementsystem

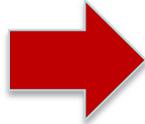
# Gegenüberstellung Prüfstand / Modell



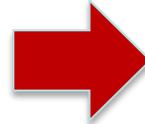
# Wärmebereitstellung



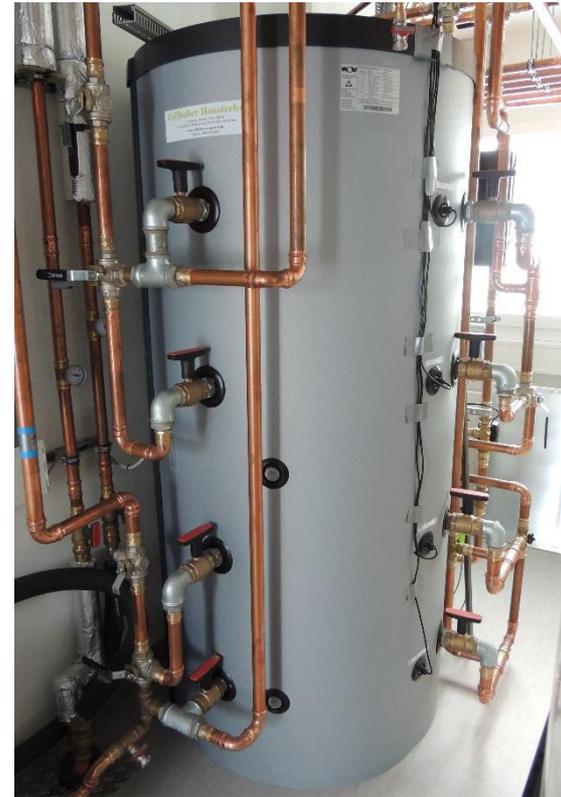
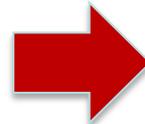
Gasbereitstellung



BHKW



Brennwerttherme

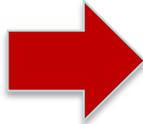


Wärmepufferspeicher

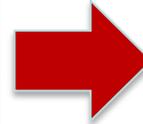
# Simulation des Heizwärmebedarfs



Heizungsmischer



Wärmetauscher



Rückkühler

# Simulation des Warmwasserbedarfs



Frischwasserstation



Wärmetauscher

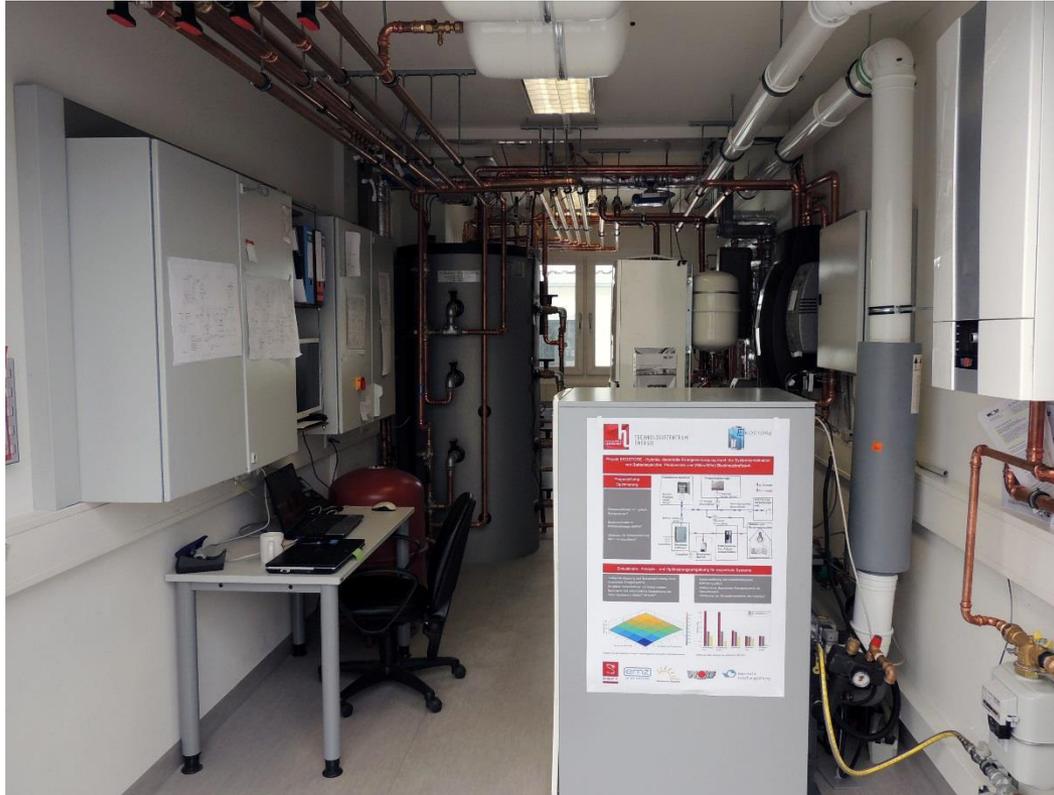


Wärmepumpe mit  
Kaltwasserpuffer



Rückkühler

# Gesamtansicht



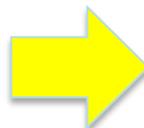
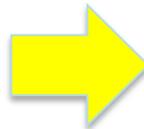
## Schnittstellen/ Sensoren/ Aktoren

- 6x Motorstellventile
- 7x Pumpen (2x Leistungsgeregelt)
- 2x Luftkühler (Leistungsgeregelt)
- 7x PT-1000
- 13x PT-100
- 6x Volumenstrommessung
- 2x Gaszähler
- Gasdrucksensor

# Elektrische Seite



BHKW



Photovoltaik



Batteriesystem

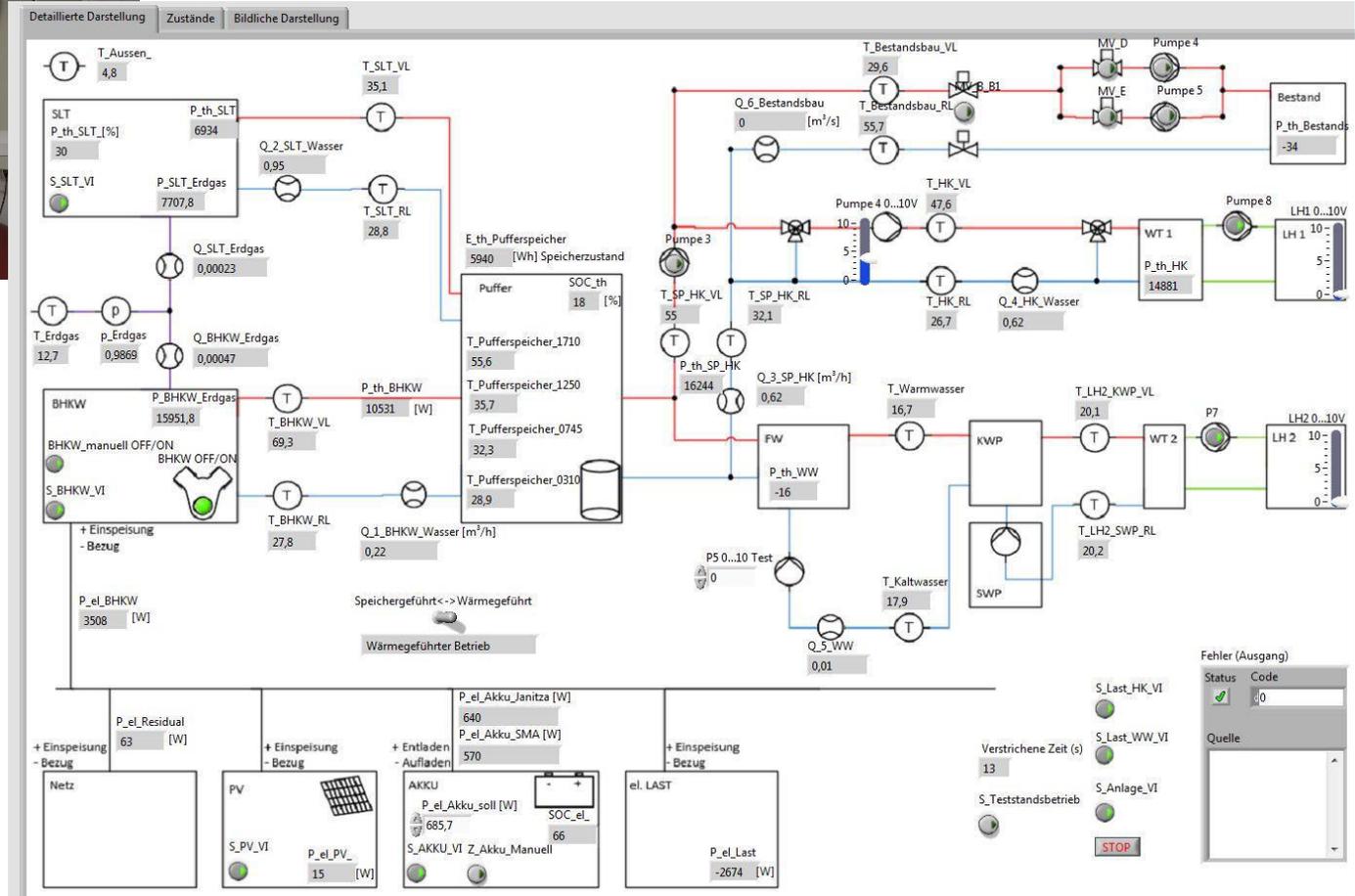


Elektrische Last

# Energiemanagementsystem



- Teststandsbetrieb
- Manueller Betrieb
- Wärmegeführter Betrieb
- Speichergeführter Betrieb





Projektpartner



gefördert durch



**Vielen Dank für  
Ihre  
Aufmerksamkeit!**

