

NEUARTIGES KONZEPT ZUR AUSLEGUNG VON STROM- SOWIE WARMWASSERSPEICHERN IN HAUSHALTEN BEIM EINSATZ FLUKTUIERENDER ERZEUGUNGSANLAGEN

Autoren:

DI Thomas Wieland

DI Dr. Ernst Schmutzner

DI Domenik Buchauer

DI Dr. Lothar Fickert

**Technische Universität Graz
Institut für Elektrische Anlagen**

Gliederung



- Ziele / Herausforderungen
- Konventionelle Anlagendimensionierung
- Autarkie versus Autonomie
- Neuartiges Konzept zur Auslegung von Speichern
- Simulationen
- Wirtschaftlichkeit
- Zusammenfassung & Ausblick

Ziele / Herausforderungen

- Optimale Nutzung erneuerbarer Energien (z.B. Photovoltaik)
- Örtliche Zusammenführung von Erzeugung und Verbrauch
- Optimale Dimensionierung von Photovoltaikanlagen und Speichersystemen hinsichtlich technischer und wirtschaftlicher Faktoren
- CO₂-neutrales Energiesystem

Konventionelle Anlagendimensionierung

Konventionelle PV-Anlagendimensionierung im Inselnetzbetrieb

- **Wechselrichter**
 - Anschlussleistung der zu versorgenden Betriebsmittel
- **Stromspeicherkapazität**
 - Ausreichende Energiemenge für die Dauer einzelner Prozesse (z.B. bei Kühlprozessen um Anlagenausfälle zu vermeiden)

Konventionelle PV-Anlagendimensionierung im Netzparallelbetrieb basiert z.B. auf:

Jahresenergiebedarf $E_{\text{Verbrauch}}$ mit Dimensionierungsfaktor $f_{\text{PV-Anlage}}$

Autarkie versus Autonomie (1)

lokal verfügbare Energieträger
(definierter Umkreis)



Autarkie

Inselnetz 1:
Frequenz f_1
Spannung \underline{U}_1

Inselnetz 2:
Frequenz f_2
Spannung \underline{U}_2

- aus netztechnischer Sicht

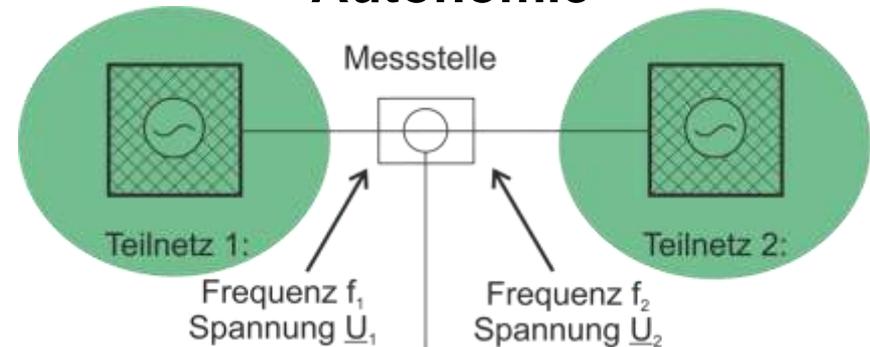
Autarkie – Leistungsschalter
offen

Inselnetzbetrieb

Autonomie – Leistungsschalter
geschlossen

Netzparallelbetrieb

lokal verfügbare Energieträger
(definierter Umkreis)



Autonomie

Teilnetz 1:

Frequenz f_1
Spannung \underline{U}_1

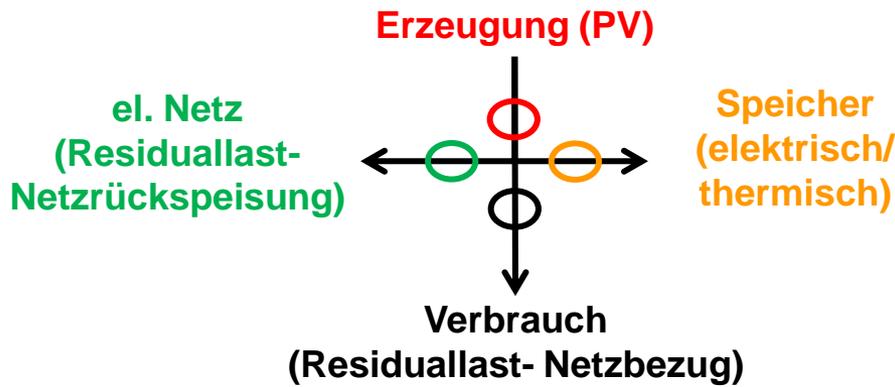
Teilnetz 2:

Frequenz f_2
Spannung \underline{U}_2

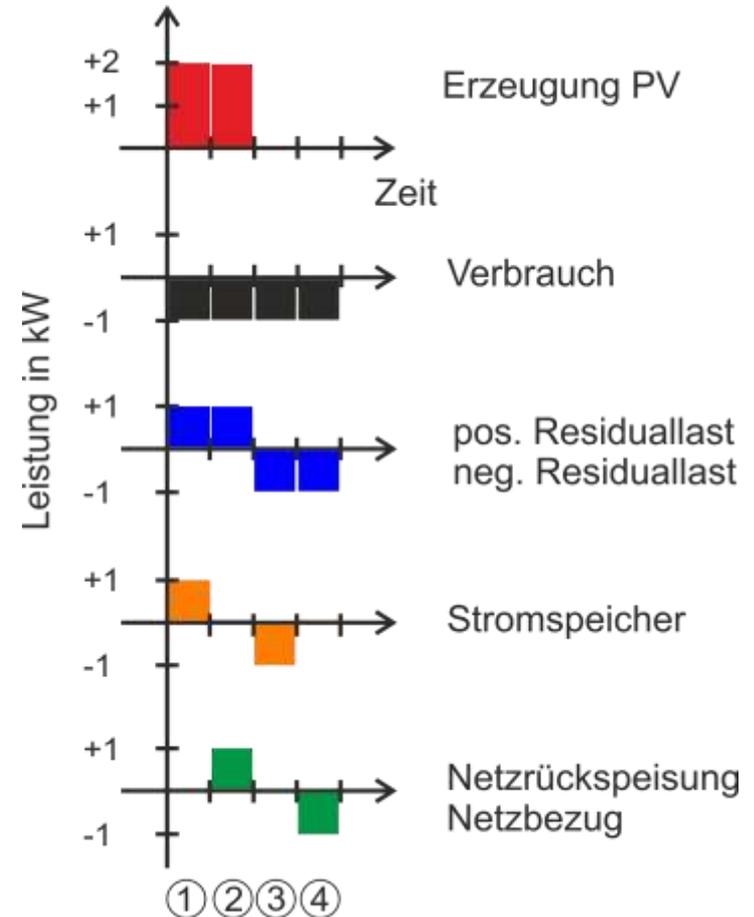
Autarkie versus Autonomie (2)

Residuallast - vorzeichenrichtige Addition

$$\sum_{n=1}^T P_{\text{Residuallast}} \Delta t = \sum_{n=1}^T P_{\text{DEA,Erz.}} \Delta t - P_{\text{Verbrauch}} \Delta t$$



Ablaufdiagramm



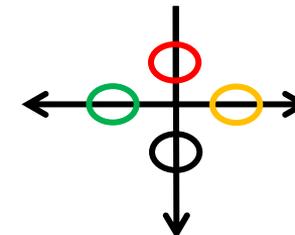
Autarkie versus Autonomie (3)

Residuallast - vorzeichenrichtige Addition

$$\sum_{n=1}^T P_{\text{Residuallast}} \Delta t = \sum_{n=1}^T P_{\text{DEA,Erz.}} \Delta t - P_{\text{Verbrauch}} \Delta t$$

el. Netz
(Residuallast-
Netzurückspeisung)

Erzeugung (PV)



Speicher
(elektrisch/
thermisch)

Eigenverbrauchsgrad EG

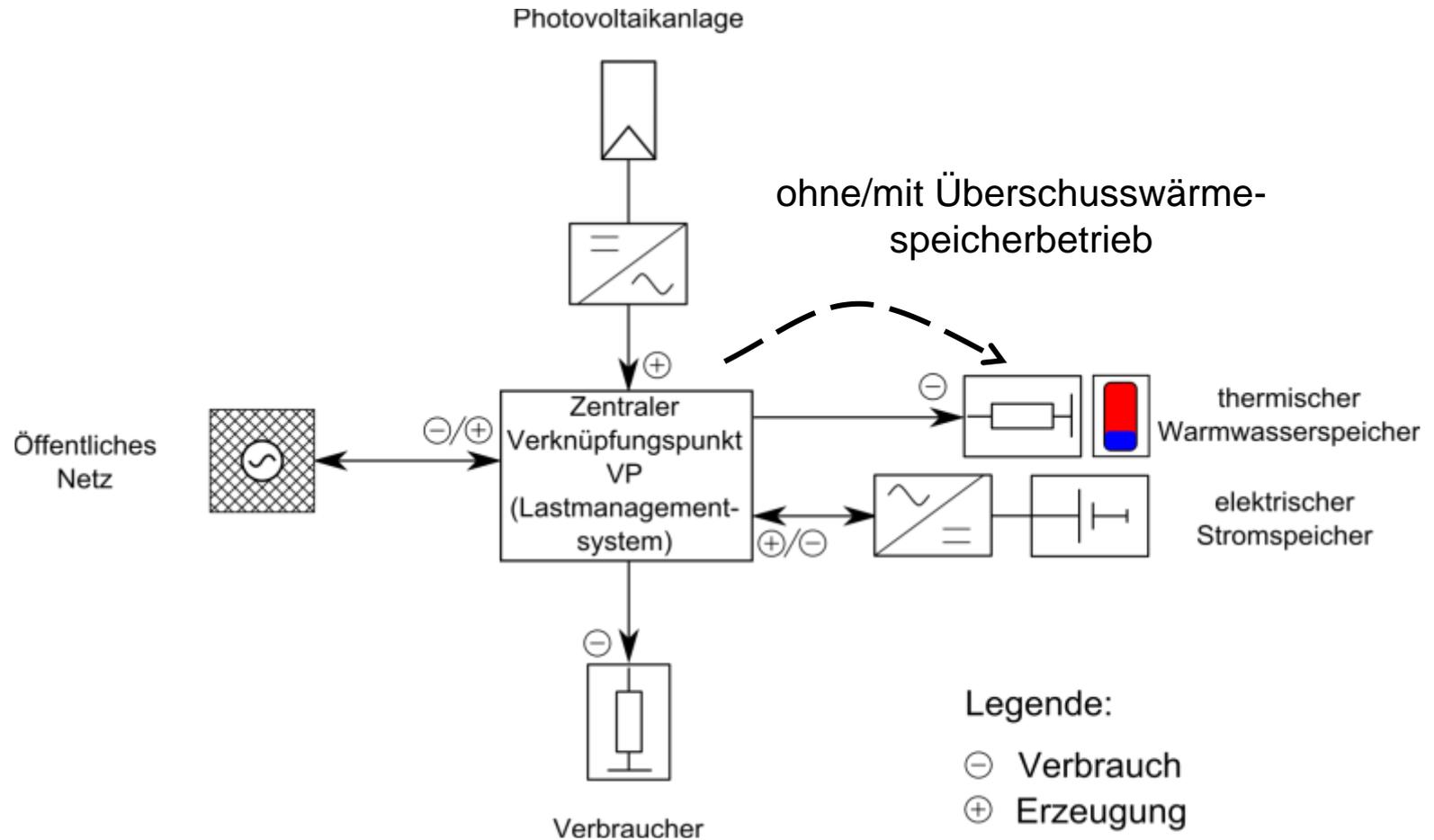
$$EG = \frac{\sum_{n=1}^T P_{\text{DEA,Erz.}} \Delta t - \sum_{n=1}^T P_{\text{Netz,Rücksp.}} \Delta t}{\sum_{n=1}^T P_{\text{DEA,Erz.}} \Delta t - e_{\text{Str.Sp,Start}} + e_{\text{Str.Sp,End}}}$$

Verbrauch
(Residuallast-
Netzbezug)

Autonomiegrad AG

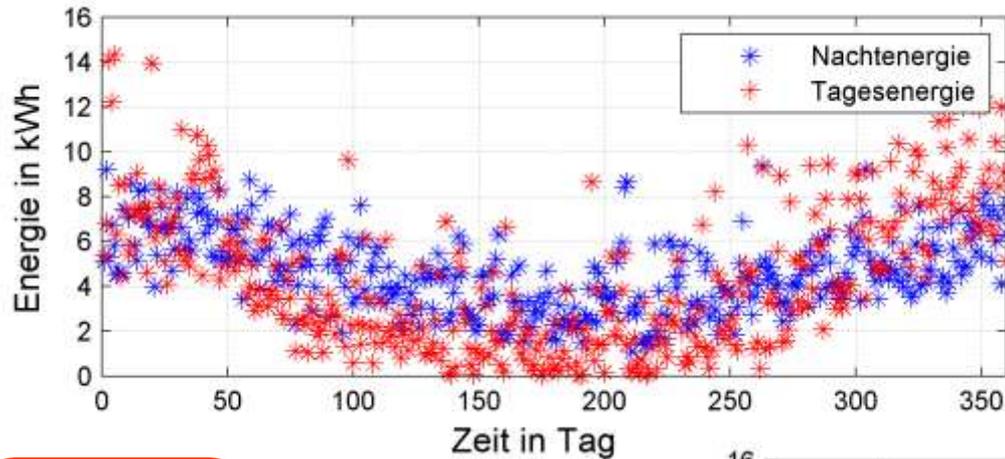
$$AG = \frac{\sum_{n=1}^T P_{\text{DEA,Erz.}} \Delta t - \sum_{n=1}^T P_{\text{Netz,Rücksp.}} \Delta t}{\sum_{n=1}^T P_{\text{DEA,Erz.}} \Delta t - \sum_{n=1}^T P_{\text{Netz,Rücksp.}} \Delta t + \sum_{n=1}^T P_{\text{Netz,Bezug}} \Delta t - e_{\text{Str.Sp,Start}} + e_{\text{Str.Sp,End}}}$$

Neuartiges Konzept (1)



Neuartiges Konzept – Verbraucher (2)

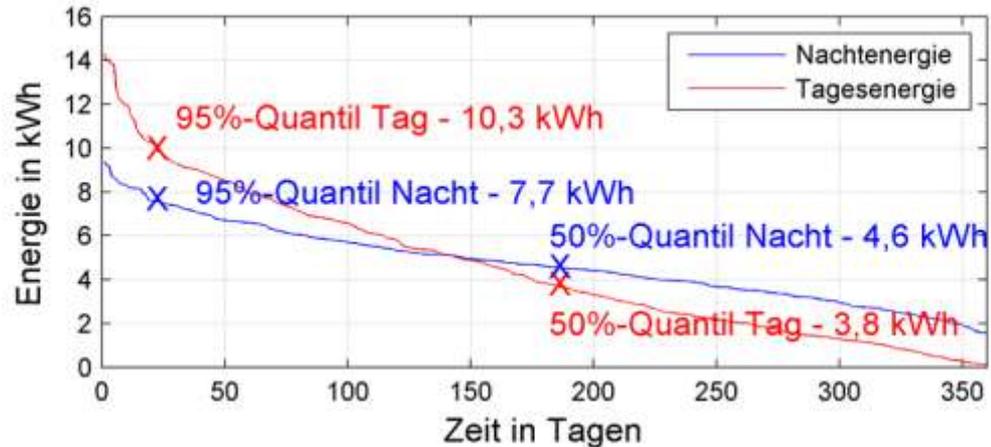
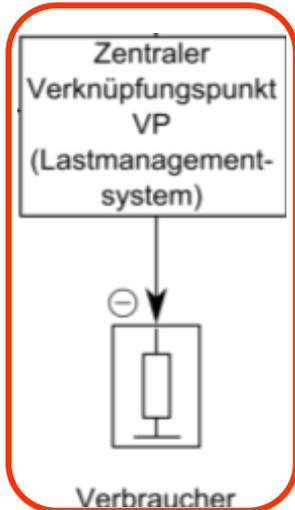
Analyse eines Haushaltslastgangs



Tagesenergie:
07:00 – 19:00 Uhr

Abendenergie:
19:15 – 06:45 Uhr

Energiebezug Haushalt:
4594 kWh inkl. Warmwasser

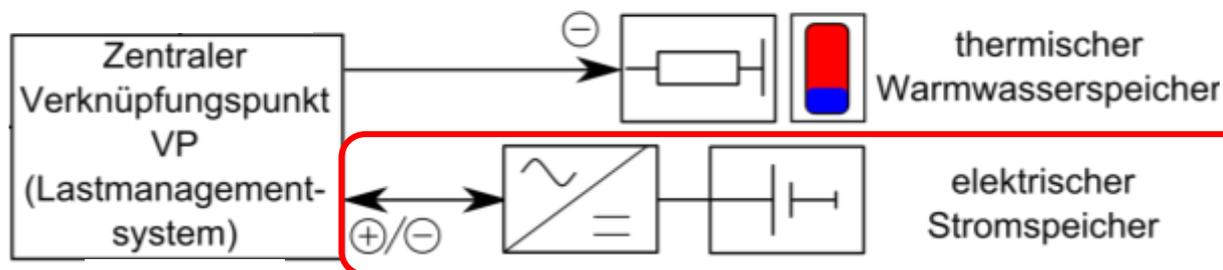


Stromspeicherkapazität zw. 4 bis 10 kWh

Neuartiges Konzept – Modellierung Speichersysteme (3)

Modellierung des elektrischen Stromspeichers:

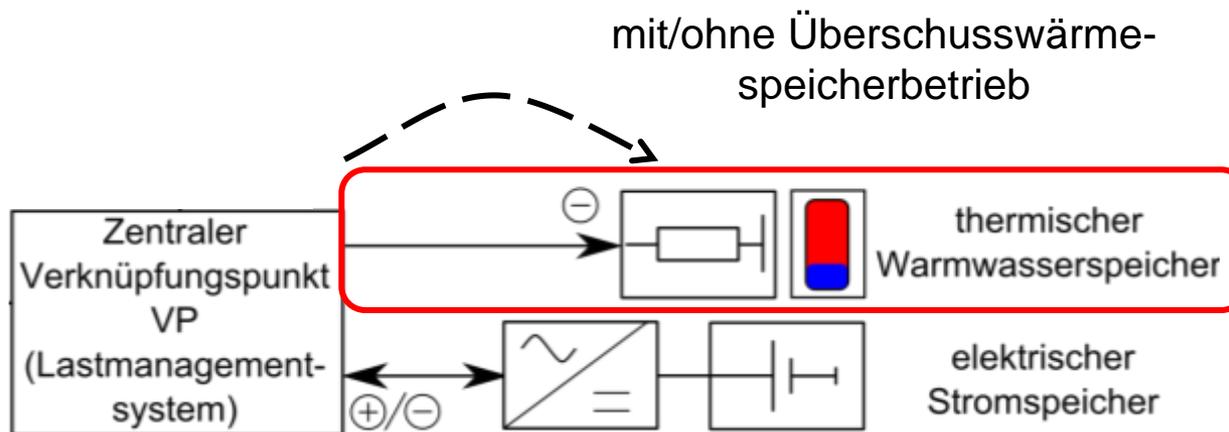
- Implementierung eines Ladeverfahrens
- Beachtung der Entladetiefe (**DOD** – **Deep of Discharge**) sowie des Speicherfüllstandes (**SOC** – **State of Charge**)
- Berücksichtigung Systemwirkungsgrades
- Vermeidung von Überladung
- Mögliche Begrenzung der PV-Anlagenleistung => Vermeidung von Schäden am Stromspeicher



Neuartiges Konzept – Modellierung Speichersysteme (4)

Modellierung des thermischen Warmwasserspeichers:

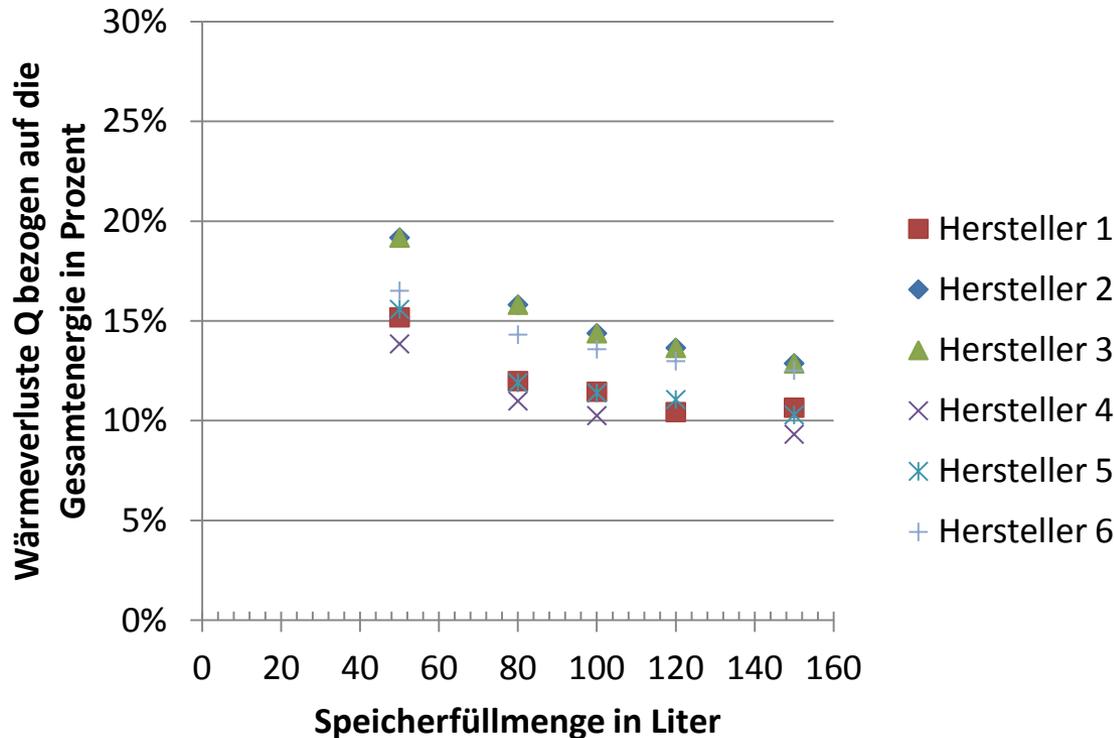
- Nutzung der Überschussleistung für die Warmwasserbereitung
- Wasserentnahme in den Abend- bzw. in den Nachtstunden
- Berücksichtigung einer verbleibenden Mindestenergie im Speicher



Neuartiges Konzept – Modellierung Speichersysteme (5)

Modellierung des thermischen Warmwasserspeichers:

- Miteinbeziehung der Wärmeverluste im Bereitschaftsbetrieb



Berechnung Energie

Warmwasserspeicher:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Bezogene

Gesamtenergie

Warmwasserspeicher:

65 C

Simulationen (1)

Erzeugung und Verbrauch

- Jahresprofil für Photovoltaik und Verbrauchslastgang (3-Personen-Haushalt)

Stromspeicher (Lithium-Eisen-Phosphat)

- Systemwirkungsgrad 88 % (inkl. Laderegler bei Lade- und Entladezyklus)
- Entladetiefe DOD 60 %

Warmwasserspeicher

- 100 Liter Warmwasserspeicher (Füllmenge)
- Durchschnittlicher Warmwasserverbrauch 25 Liter/Person (z.B. Duschen)
- max. Warmwasserspeichertemperatur 75°C
- Mischwassertemperatur 40°C
- Wärmeverluste 13 %

Simulationen (2)

Simulationsszenarien

- (a) PV-Anlage (**0 kW**) ohne Stromspeicher (**0 kWh**) und ohne Überschusswärmespeicherbetrieb (**Referenzanlage**)
- (b) PV-Anlage (**2 kW**) ohne Stromspeicher (**0 kWh**) und ohne Überschusswärmespeicherbetrieb
- (c) PV-Anlage (**2 kW**) mit Stromspeicher (**4 kWh**) und ohne Überschusswärmespeicherbetrieb
- (d) PV-Anlage (**2 kW**) mit Stromspeicher (**4 kWh**) und mit Überschusswärmespeicherbetrieb

Simulationen (3)

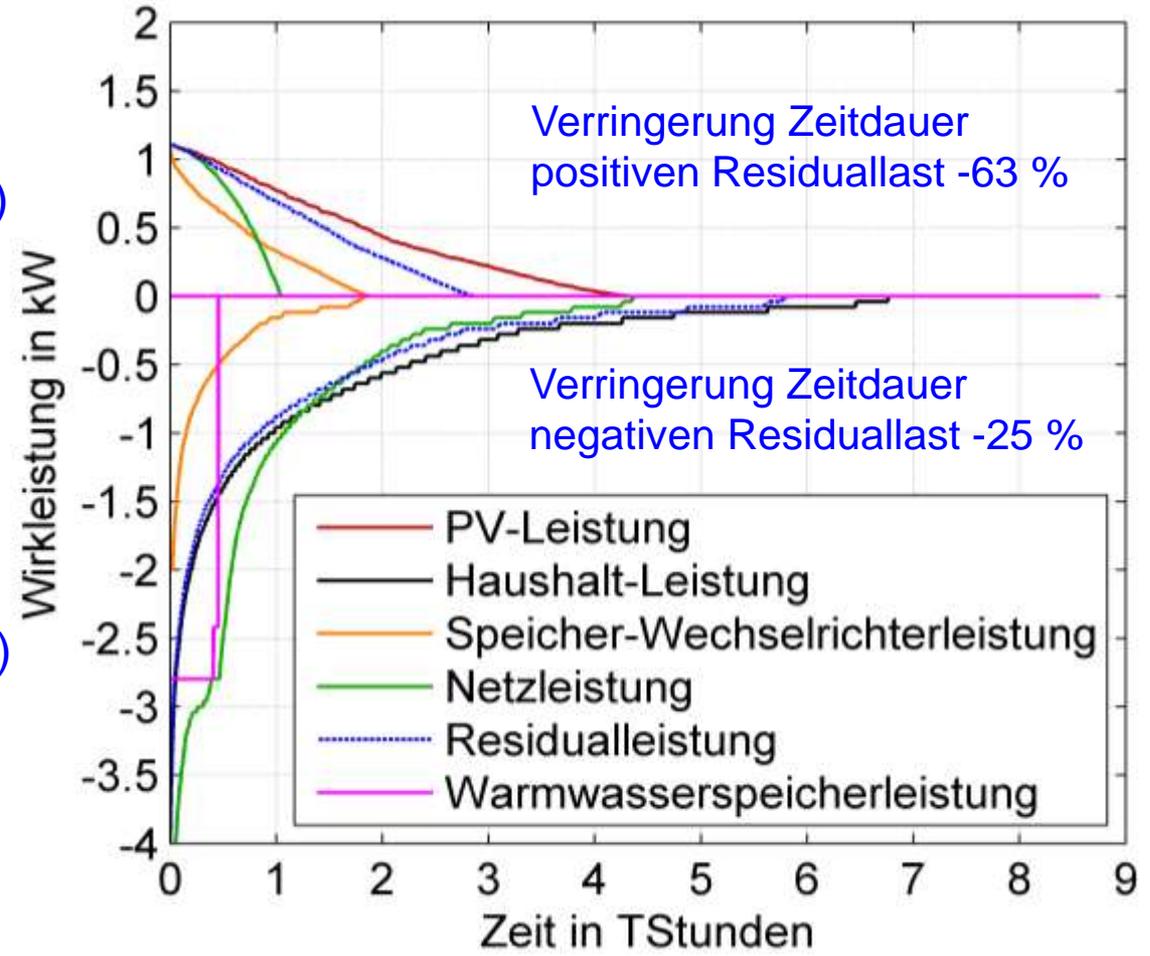
(c) PV-Anlage (2 kW) mit Stromspeicher (4 kWh) und ohne Überschusswärmespeicherbetrieb

Residuallast > 0

- Erzeugung (PV-Anlage)
- pos. Residuallast (Erz.-Verbr.)
- Netzurückspeisung
- Stromspeicher laden

Residuallast < 0

- neg. Residuallast (Erz.-Verbr.)
- Verbrauch
- Netzbezug
- Stromspeicher entladen
- Warmwasserspeicher laden

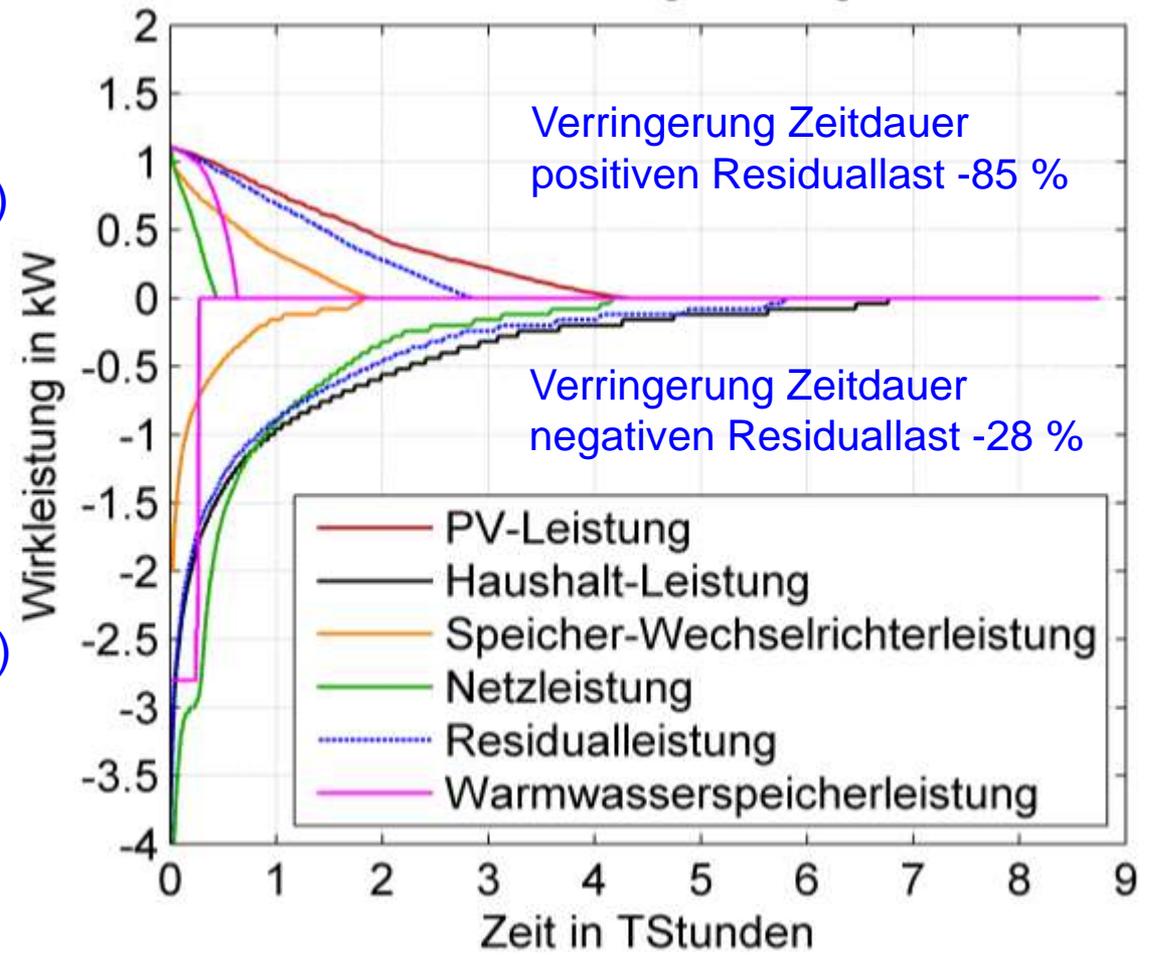


Simulationen (4)

(d) PV-Anlage (2 kW) mit Stromspeicher (4 kWh) und mit Überschusswärmespeicherbetrieb

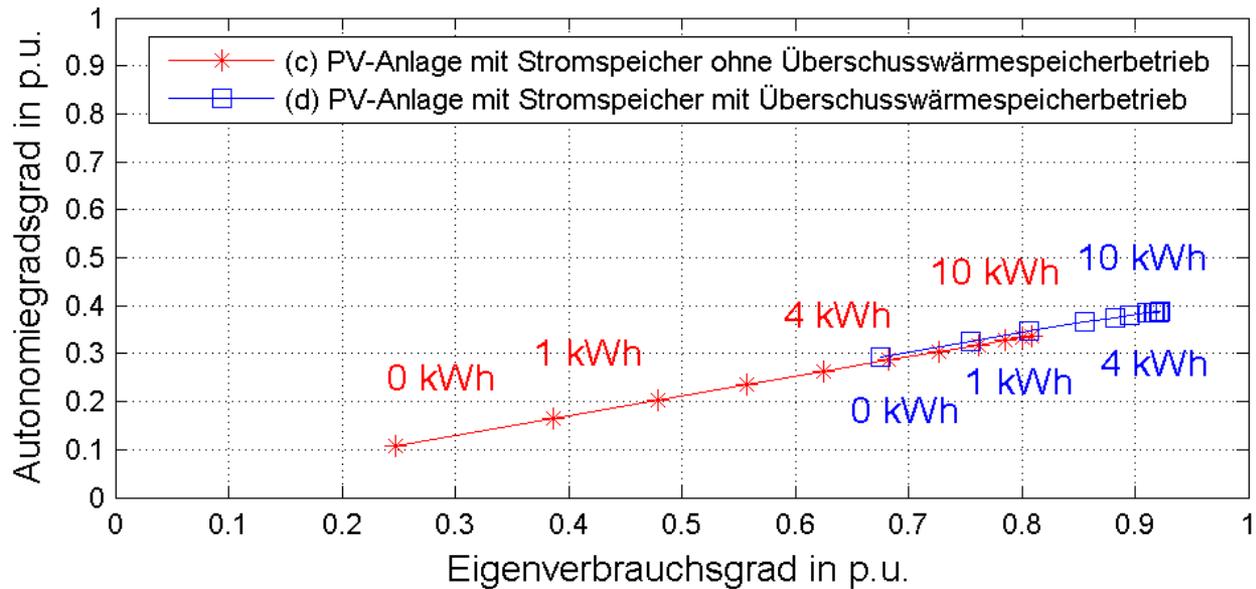
- Residuallast > 0**
- Erzeugung (PV-Anlage)
- pos. Residuallast (Erz.-Verbr.)
- Netzurückspeisung
- Stromspeicher laden
- Warmwasserspeicher laden

- Residuallast < 0**
- neg. Residuallast (Erz.-Verbr.)
- Verbrauch
- Netzbezug
- Stromspeicher entladen
- Warmwasserspeicher laden



Simulationen (5)

Steigerung Stromspeicherkapazität (0 bis 10 kWh) ohne/mit Überschusswärmespeicherbetrieb



		Simulation c)	Simulation d)	Prozentuelle Steigerung
1 kWh	Eigenverbrauchsgrad EG	39 %	75 %	+ 92 %
	Autonomiegrad AG	17 %	33 %	+ 94 %

Wirtschaftlichkeit

Annahmen dynamische Investitionsrechnung:

Strompreissteigerung:

5,7 %/a

Zinssatz:

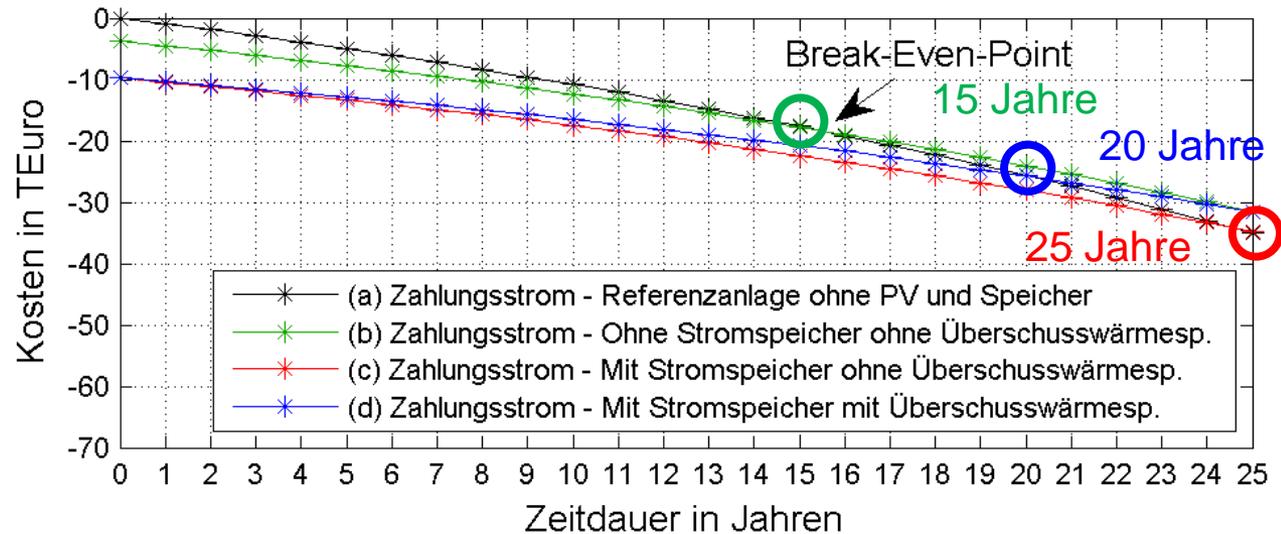
2,5 %/a

PV-Anlage:

1400 €/kWp

Stromspeicher:

1500 €/kWh



	(b) – grüner Verlauf	(c) – roter Verlauf	(d) – blauer Verlauf
Kapitalwertdifferenz (20 Jahre)	1 560 € ²⁾	- 2 397 € ²⁾	- 75 € ²⁾
Kapitalwertdifferenz (25 Jahre)	3 509 € ²⁾	298 € ²⁾	3 470 € ²⁾

2) Kapitalwert gegenüber der Referenzanlage (a) ohne PV-Anlage, ohne Stromspeicher und ohne Überschusswärmespeicherbetrieb

Zusammenfassung & Ausblick (1)

Neuartige Stromspeicherauslegung

- Basierend auf Jahresprofilen für Erzeugung und Verbrauch
- Einbeziehung des Eigenverbrauchs- und Autonomiegrades
- Kleine Stromspeicher (bis 10 kWh) zeigen wesentliche Steigerungen des Eigenverbrauchs- bzw. Autonomiegrades
- Weitere Steigerungen durch Lastmanagementsystem möglich

Neuartiges Konzept aus Strom- sowie Warmwasserspeichern

- Überschusswärmespeicherbetrieb zeigt signifikante Steigerung des Eigenverbrauchs- und Autonomiegrades
- Deutliche Reduktion der Zeitdauer der Netzzurückspeisung (pos. Residuallast) und der Netzbezugsleistung (neg. Residuallast)

Zusammenfassung (2)

Wirtschaftlichkeit

- Break-Even-Point (Schnittpunkt Referenzanlage (a)) im Bereich von 15 – 25 Jahren
- Überschusswärmespeicherbetrieb Anlage (c) ähnlicher Kapitalwert wie Anlage (b) ohne Stromspeicher und ohne Überschusswärmespeicherbetrieb
- Einsatz von Stromspeichern zukünftig ökonomisch attraktiv
 - Erhöhung der Nutzung regenerativer Energien
 - Steigerung der Energieeffizienz
 - Lastmanagement
 - Ziel: Verringerung der Investitionskosten

Ausblick

- Einsatz von Wärmepumpen

NEUARTIGES KONZEPT ZUR AUSLEGUNG VON STROM- SOWIE WARMWASSERSPEICHERN IN HAUSHALTEN BEIM EINSATZ FLUKTUIERENDER ERZEUGUNGSANLAGEN

Autoren:

DI Thomas Wieland

DI Dr. Ernst Schmutzner

DI Domenik Buchauer

DI Dr. Lothar Fickert

Technische Universität Graz
Institut für Elektrische Anlagen