

Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen

Mike Alexander Lagler, Ernst Schmutzner, Robert Schürhuber
Institut für Elektrische Anlagen und Netze der TU Graz

16.02.2018

Gliederung

- Motivation und Ziele
- Einfamilienhaus – Hybrides Energiesystem
- Methodik der Optimierung
- Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen
- Zusammenfassung / Ausblick

Motivation und Ziele (1)

Motivation

Verstärkter Einsatz von dezentralen Energieerzeugungsanlagen für Strom und Wärme

- In Haushalten, Industriebetrieben und Nieder- und Msp-Netzen

Tages- und jahreszeitlich stark fluktuierende Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung

- Einsatz von Energiespeichern bzw. Lastmanagement

Sinnvolle Kopplung von thermischen und elektrischen Systemen zu einem hybriden Gesamtsystem

- Erhöhung des gefühlten Komforts und des Wohlbefindens
- Schonung von Ressourcen
- Einsparung von Energiekosten

Motivation und Ziele (2)

Ziele

Untersuchung von Sensitivitäten auf ein hybrides Energiesystem

- Umwelteinflüsse
- Effizienz der Systemkomponenten
- Verbraucherverhalten
- Netzseitige und ökonomische Einflüsse

Untersuchung mittels hybridem Simulationsmodell

- Optimaler Einsatz von dezentralen Energieerzeugungs- und speicheranlagen
- Lineare Optimierung (MILP)
- Berücksichtigung von gewünschten Energiedienstleistungen, externen Randbedingungen

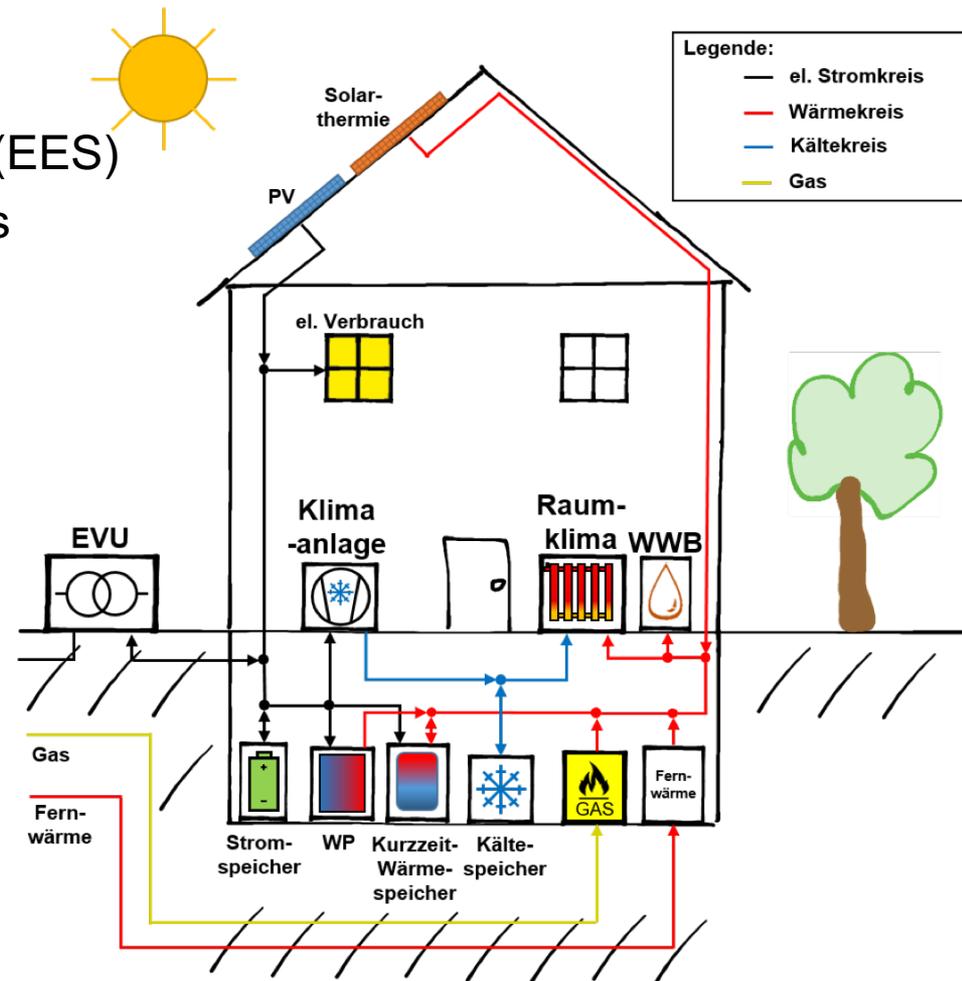
Einfamilienhaus – Hybrides Energiesystem

Elektrisches System

- PV
- Elektrischer Energiespeicher (EES)
- Netzanbindung an öffentliches Stromnetz (EVU)

Thermisches Systeme

- Solarthermieanlage (ST)
- Wärmepumpe (WP)
- Kurzzeit-Wärmespeicher
- Fernwärme
- Kälteanlage inkl. Speicher
- Gasheizung



Methodik Optimierung (1)

Optimierung des hybriden Energiesystems

- Optimierungsalgorithmus (MILP – Mixed Integer Linear Programming)

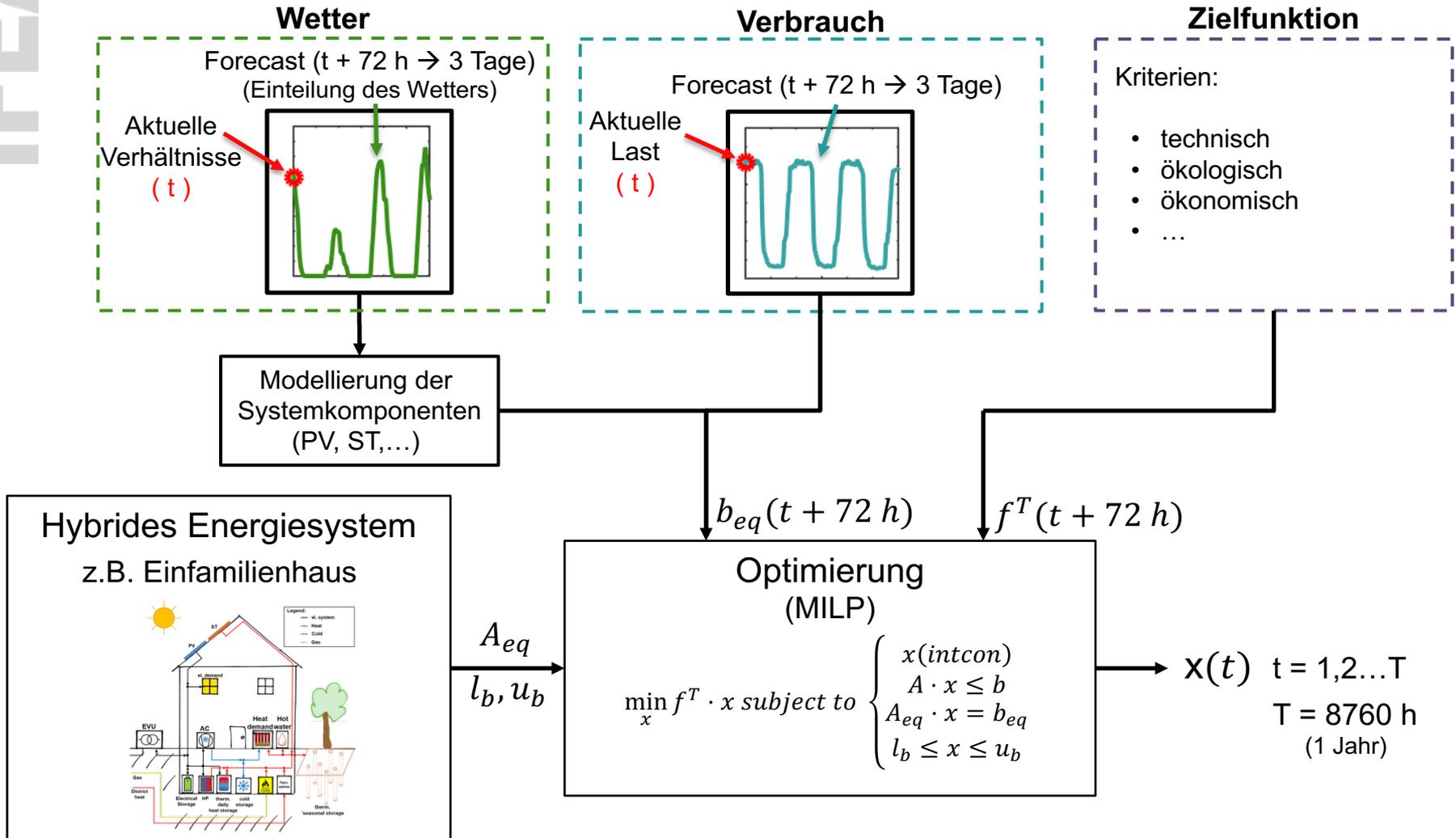
$$\min_x f^T \cdot x \text{ subject to } \begin{cases} x(\text{intcon}) \\ \cancel{A \cdot x \leq b} \\ A_{eq} \cdot x = b_{eq} \\ l_b \leq x \leq u_b \end{cases}$$

Ausgleich zwischen
Erzeugung und Verbrauch

- x ... Systemvariablen (Energiefluss)
- A_{eq} ... Systemmatrix
- b_{eq} ... Spaltenvektor (Lasten, Speicherstände,...)
- l_b, u_b ... Ober- und Untergrenzen der Systemvariablen
- f^T ... Zielfunktion (ökonomische Entscheidungskriterien)

- Zeitliche Auflösung: 15-minütlich oder stündlich
- Simulationszeitraum: min. 1 Jahr

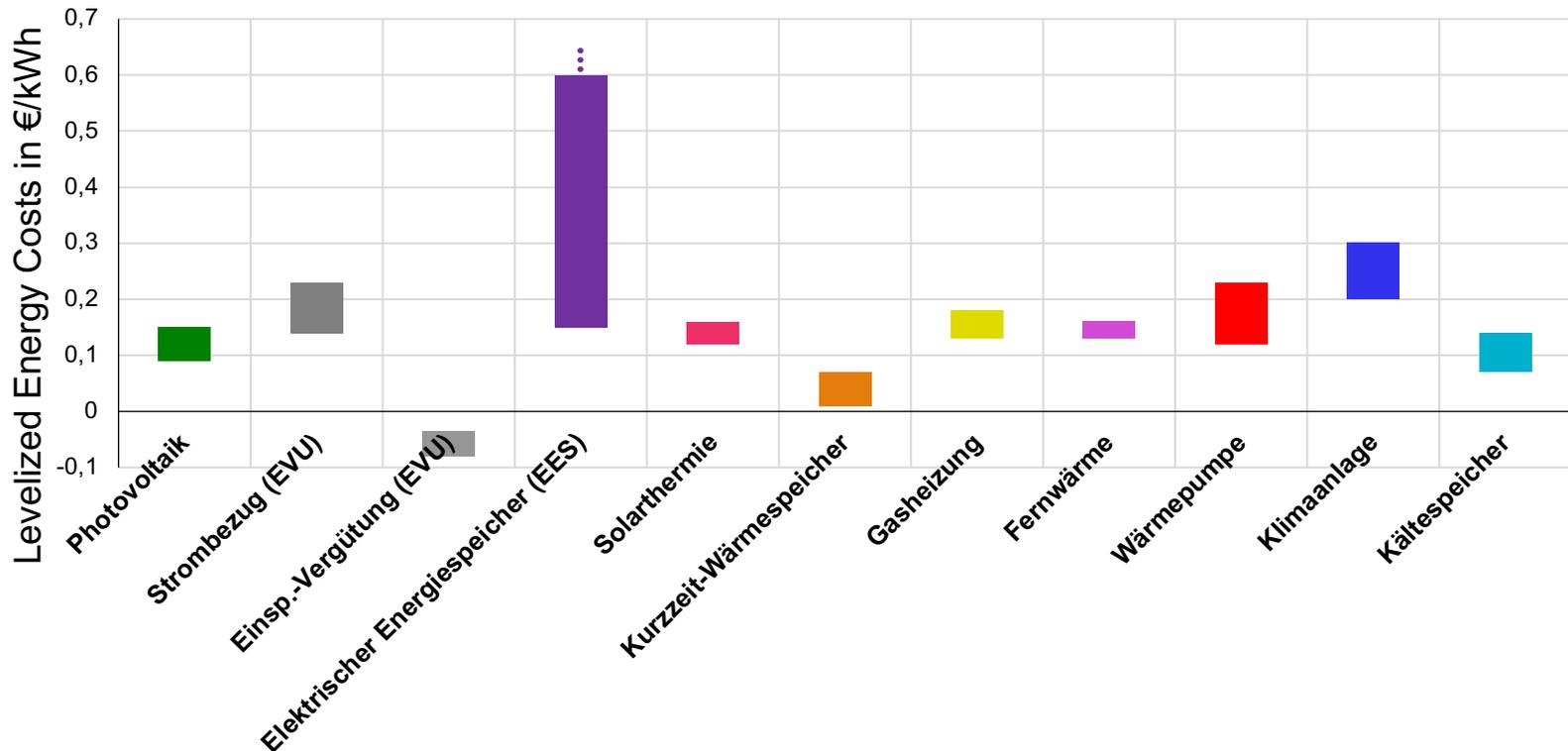
Methodik Optimierung (2)



Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen (1)

Energiegestehungskosten

- Barwerte (Ausgaben) geteilt durch aufgewendete Energie
- ökonomischer Vergleich verschiedener Technologien



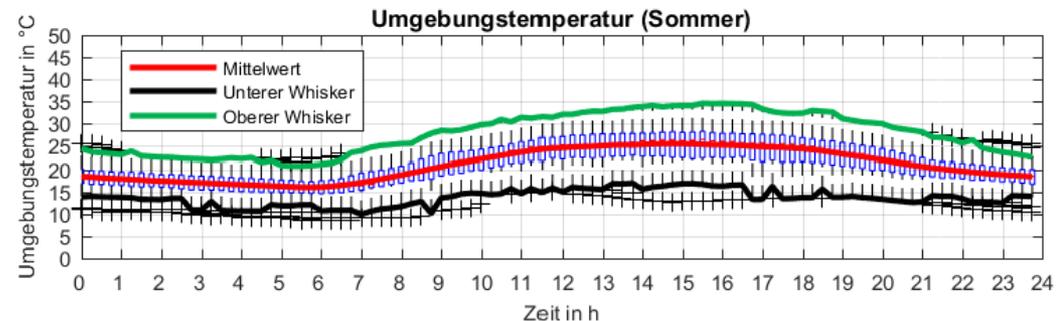
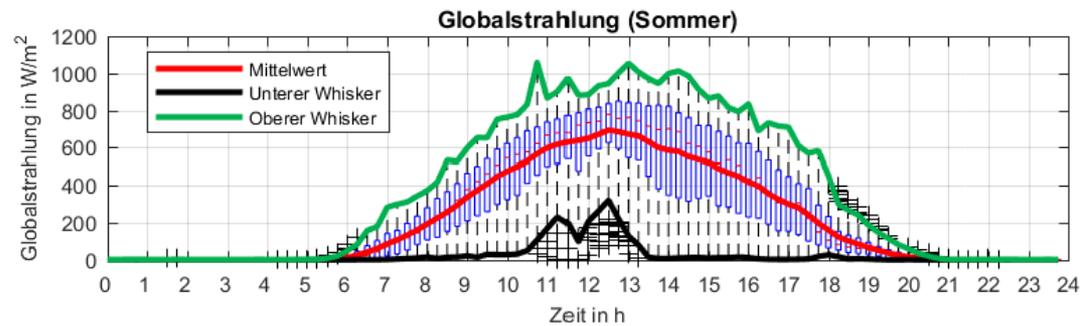
Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen (2)

Umwelteinflüsse (Einfluss des Wetters)

- Energieausbeute (z.B. Photovoltaik)
- Effizienz dezentraler Erzeugungseinrichtungen
- Verbraucherverhalten

Messdatenauswertung

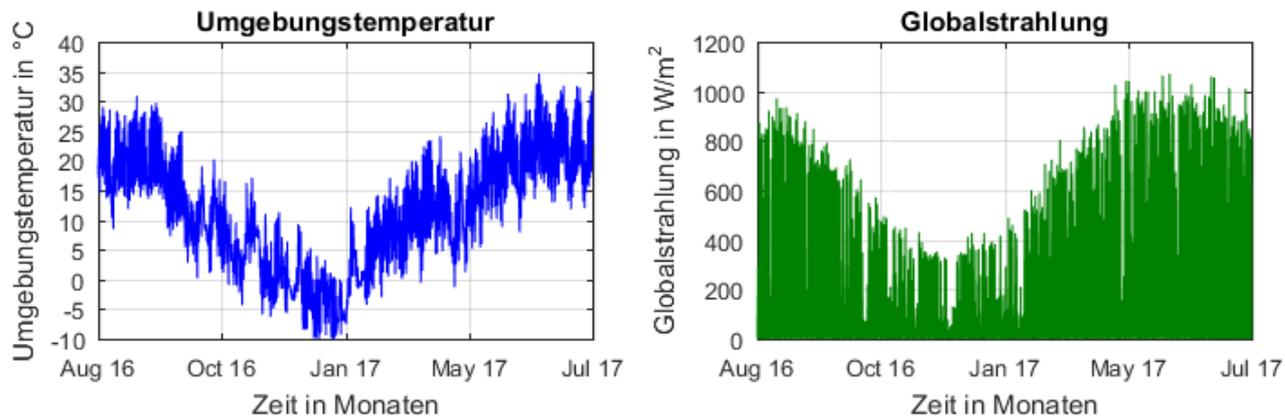
- Boxplot (Sommerperiode)
- Globalstrahlung (große Streuung)
- Umgebungstemperatur (geringe Streuung)



Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen (3)

Umwelteinflüsse (Einfluss des Wetters)

- Tages- und jahreszeitliche Schwankungen der Umgebungstemperatur und der Globalstrahlung

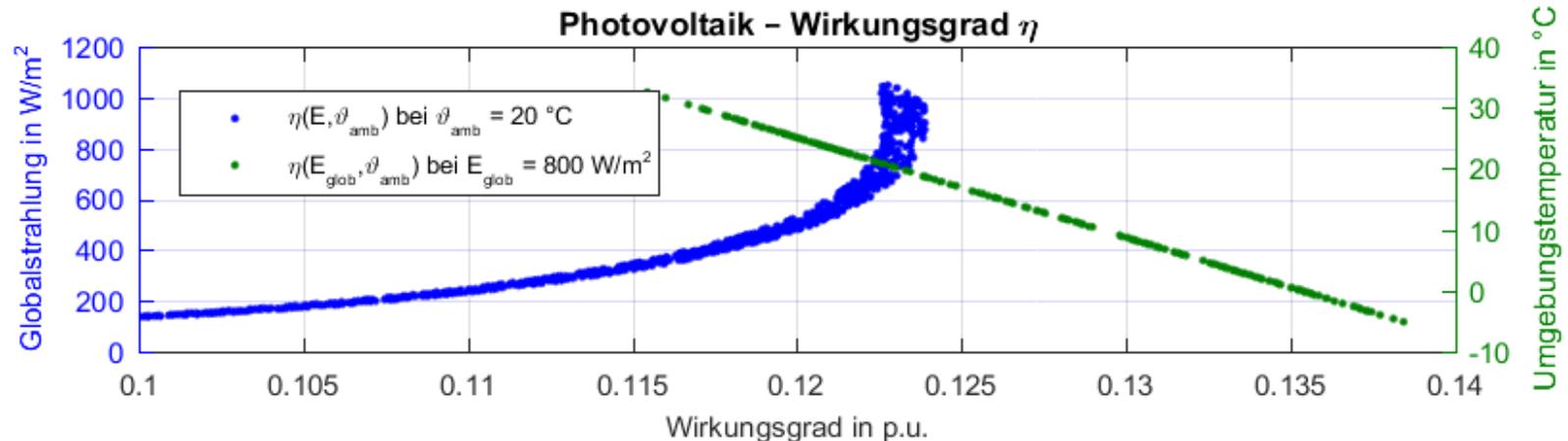


- Stark fluktuierende Strom- und Wärmeerzeugung dezentraler Erzeugungsanlagen
- Verbraucherverhalten (z.B. Heizverhalten)
- Effizienzunterschiede (z.B. PV, Solarthermie, Wärmepumpen)

Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen (4)

Effizienz der Systemkomponenten (Photovoltaikanlage)

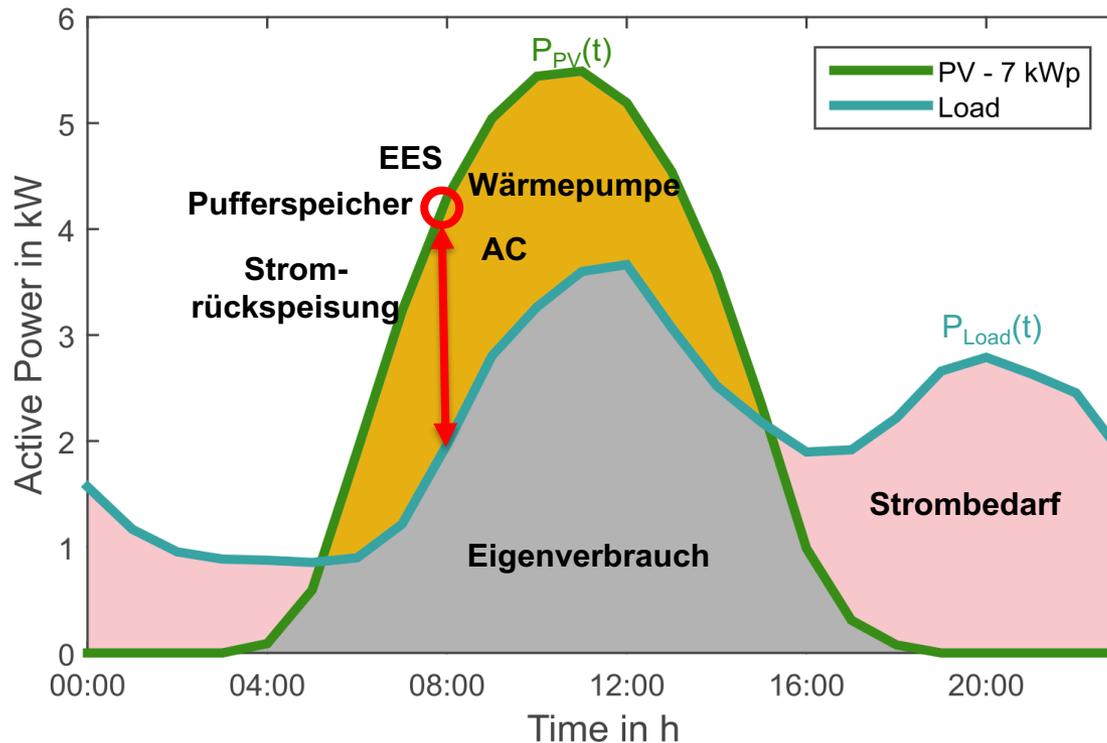
- Starke Abhängigkeit der Effizienz von solarer Einstrahlung und Umgebungstemperatur
- Negativer Temperaturkoeffizient
- Sommer → hoher Ertrag (starke Globalstrahlung) → niedriger Wirkungsgrad
- Winter → niedrigerer Ertrag (niedrigere Globalstrahlung) → hoher Wirkungsgrad



Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen (5)

Verbraucherverhalten

- Verbrauch \neq Erzeugung (z.B. Photovoltaik)
- Kauf bzw. Verkauf zu suboptimalen Tarifen
- Notwendigkeit von Energiespeichern bzw. Lastmanagement



Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen (6)

Netzseitige Einflüsse

- Gegenwart: fixe bzw. längere vertragsbedingte Tarife oder HT/NT bei Strompreis
- Zukunft: geplante flächendeckende Einführung von Smart Metern
→ zeitlich gestaffelte Ein- und Verkaufspreise (Energie und Leistung)
- Motivation von Verbrauchern zur Energieeffizienzverbesserung

Ökonomische Einflüsse

- Strom-, Gas- und Ölpreis
- Strommarkt dynamischer als Gasmarkt
- Nationale Einflüsse → Steuern
- Geopolitische Einflüsse → z.B. Kontroverse zw. Russland und Ukraine

Simulationsergebnisse (1)

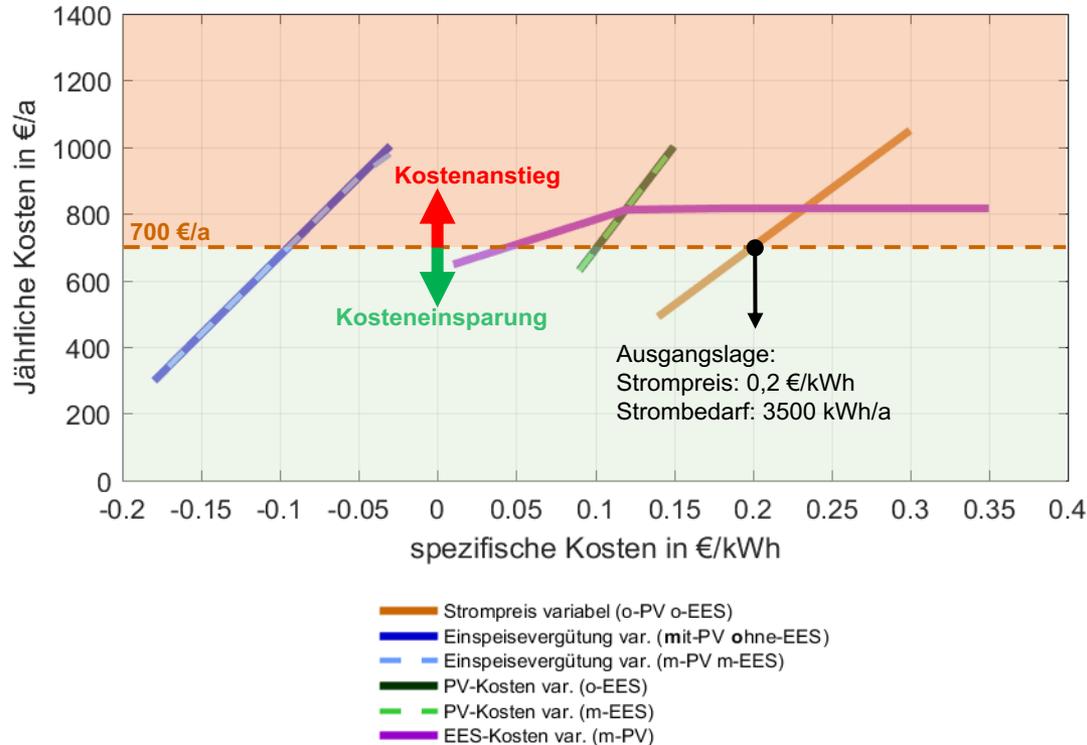
Ergebnisse für das elektrische System (Österreich)

Stromkosten (Österreich)

- ca. 0,14 bis 0,23 €/kWh

Kosteneinsparung

- PV < 0,10 €/kWh
max. Investitionskosten
von ca. 1260 €/kWp
- Einspeisevergütung
< -0,095 €/kWh
- Energieerzeugungs- und Speichieranlagen erst bei geringen
Gestehungskosten rentabel



Simulationsergebnisse (2)

Ergebnisse für das elektrische System (Deutschland)

Stromkosten (Deutschland):

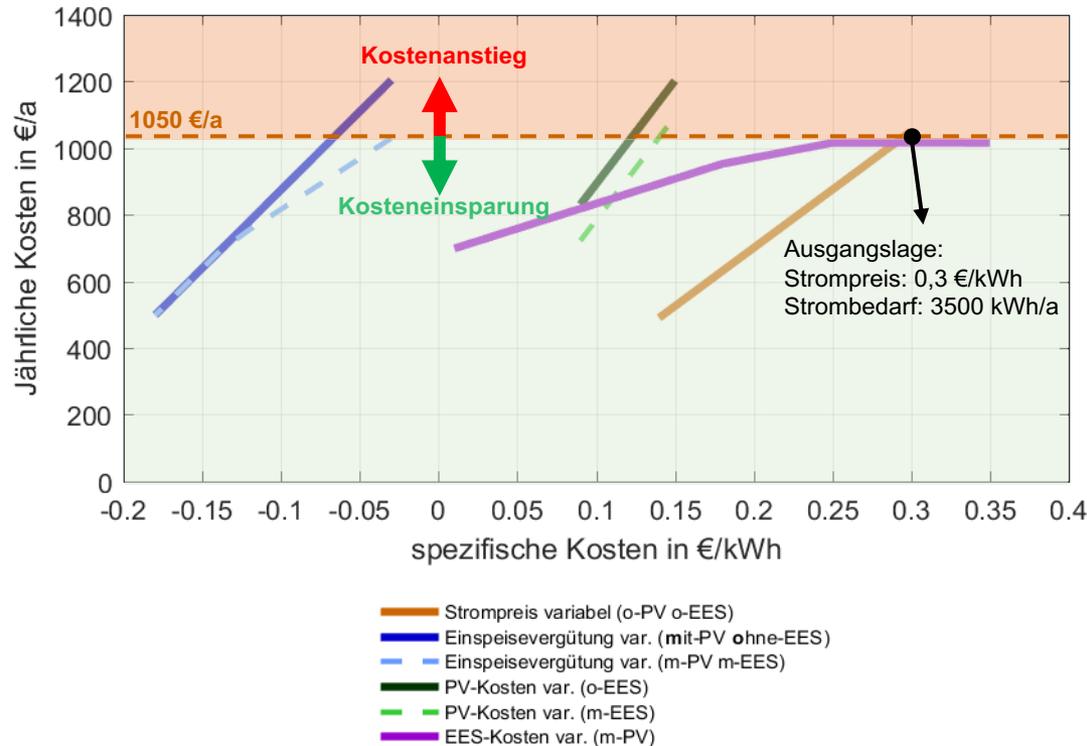
- ca. 0,3 €/kWh

Kosteneinsparung

- PV < 0,12 €/kWh
max. Investitionskosten
von ca. 1600 €/kWp

- Einspeisevergütung
< -0,068 €/kWh

- Einsatz des elektrischen Energiespeichers bis zu spezifischen Kosten
von 0,25 €/kWh



Schlussfolgerungen / Ausblick

Optimierungsergebnisse

- **Österreich:**
Keine wesentliche Kosteneinsparung durch die gewählte Photovoltaikanlage bzw. des elektrischen Energiespeichers
→ günstiger Strompreis (ca. 0,14 bis 0,23 €/kWh)
→ geringe Einspeisevergütungen
- **Deutschland**
Höherer Anreiz durch die hohen Stromkosten
→ Strompreis (ca. 0,3 €/kWh)
→ Einsatz des elektrischen Energiespeichers
bis 0,25 €/kWh rentabel (sehr niedrige spezifische Kosten)

Ausblick

- Validierung des hybriden Simulationsmodells
- Untersuchungen von Wetter- und Lastprognosen
- Technische, ökonomische und ökologische Optimierungen

Sensitivitäten in hybriden Energiesystemen

Mike Alexander Lagler, Ernst Schmutzner, Robert Schürhuber
Institut für Elektrische Anlagen und Netze der TU Graz

16.02.2018