

Modellierung eines hybriden Energiesystems unter Berücksichtigung dezentraler Energieerzeugung und -speicherung am Beispiel eines Einfamilienhauses mit Anbindung an das öffentliche Elektrizitätsnetz

DI Mike Alexander Lagler

DI Dr. Ernst Schmutzner

DI Stefan Forsthofer



FORUM ECONOGY 2016

JKU Linz, 22.09.2016

Inhaltsverzeichnis

- Motivation
- Übersicht
- Systemmodellierung
- Szenarien
- Zusammenfassung & Ausblick

Motivation

Verstärkter Einsatz von dezentralen Erzeugungseinheiten und neuen Lasten in Einfamilienhäusern

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

- Einsatz von Energiespeichern bzw. Lastmanagement

Hybrides Simulationsmodell

- Kombination aus elektrischem und thermischem Teilsystem
- Szenarienbasierte Kostenoptimierung mittels linearer Optimierung

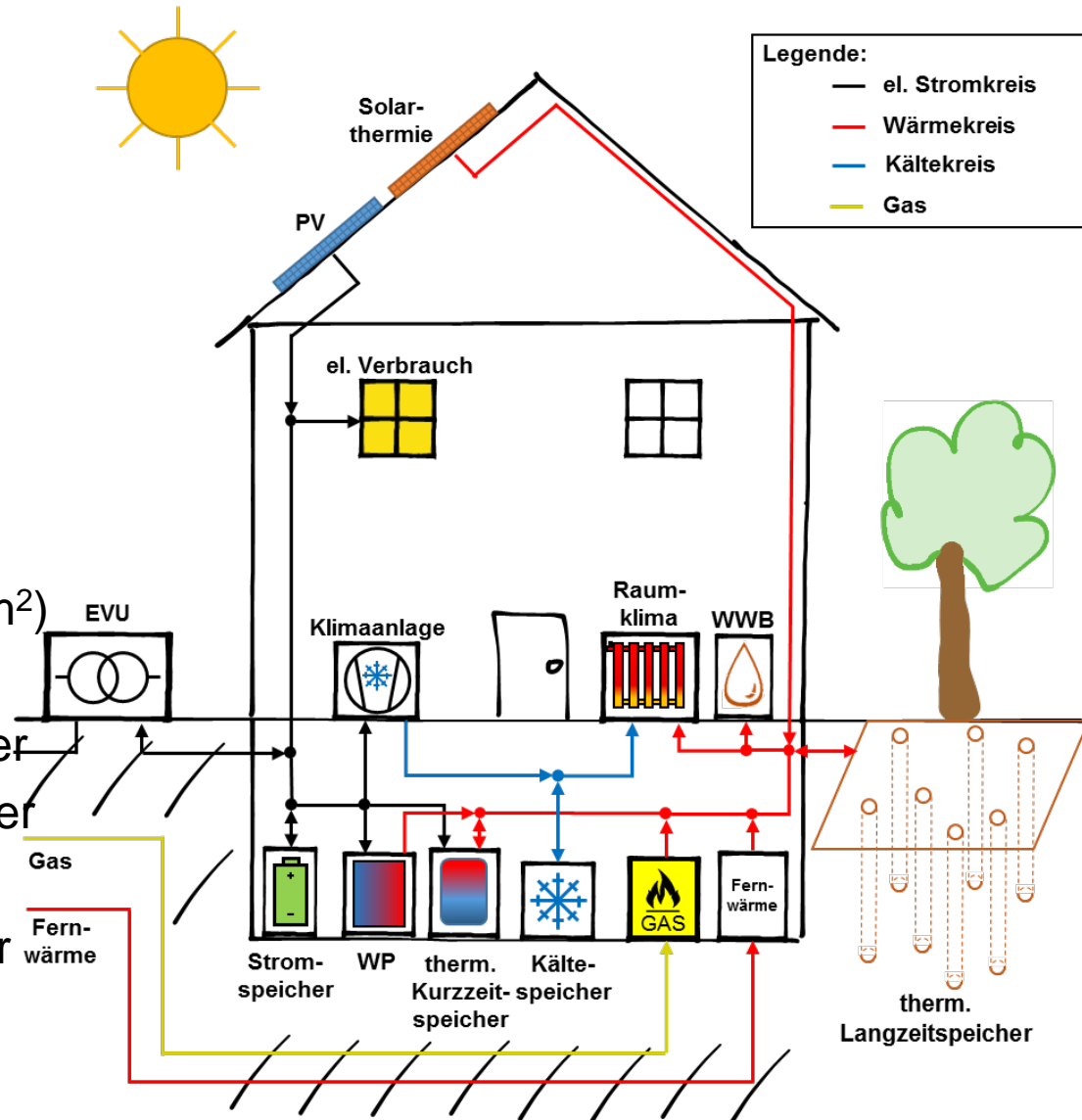
Übersicht (1)

Elektrisches Teilsystem:

- PV (7 kWp)
- Stromspeicher
- EVU

Thermisches Teilsystem:

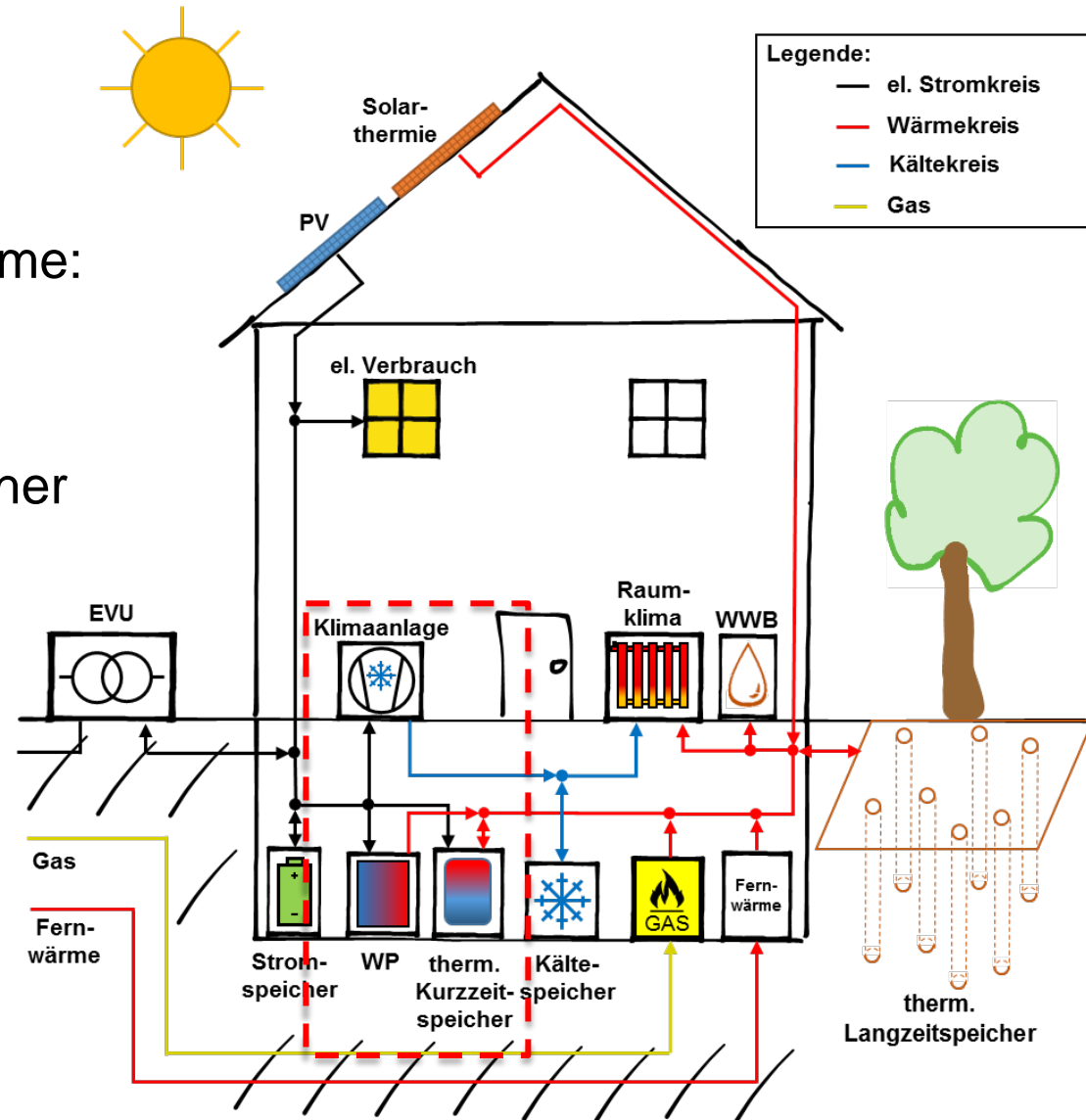
- Solarthermieanlage (6m²)
- WP
- Kurzzeit-Wärmespeicher
- Langzeit-Wärmespeicher
- Fernwärmanlage
- Klimaanlage + Speicher
- Gasheizung



Übersicht (2)

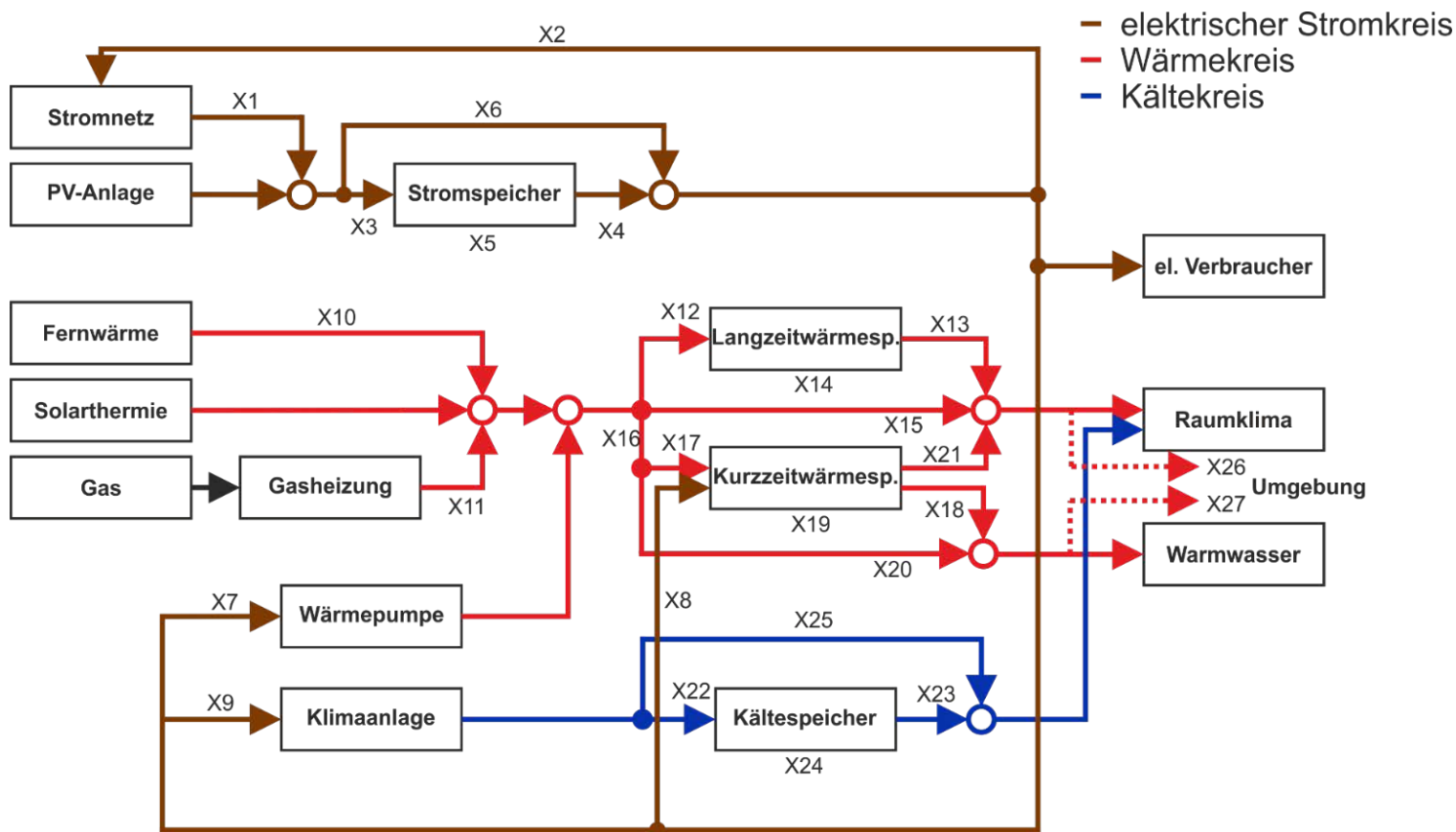
Kopplung der beiden Systeme:

- Wärmepumpe
- Klimaanlage
- Kurzzeit-Wärmespeicher



Systemmodellierung (1)

Schematisches Modell:



Systemmodellierung (2)

Optimierungsalgorithmus:

- Linearer Optimierungsalgorithmus
- Simplexmethode
- 27 Systemvariablen

$$\min_X f^T \cdot X \text{ so dass } \begin{cases} A \cdot X \leq b \\ A_{eq} \cdot X = b_{eq} \\ l_b \leq X \leq u_b \end{cases}$$

- Lineare Nebenbedingungen:

$$A_{eq} \cdot X = b_{eq}$$

- $X \dots$ Systemvariable
- $A_{eq} \dots$ Koeffizientenmatrix (Nebenbedingungen)
- $b_{eq} \dots$ Spaltenvektor

Systemmodellierung (3)

Szenario A: Elektrisches System

- Photovoltaik in Kombination mit Stromspeicher
- Ermittlung der wirtschaftlichsten Größe des Stromspeichers

Szenario B: Elektrisches System + Warmwasserbedarf

- Warmwasserbedarf inklusive Kurzzeit-Wärmespeicher

Szenario C: Gesamtsystem ohne Kühllast

- Zusätzlich Heizwärmebedarf und Langzeit-Wärmespeicher

Szenario D: Gesamtsystem mit Kühllast

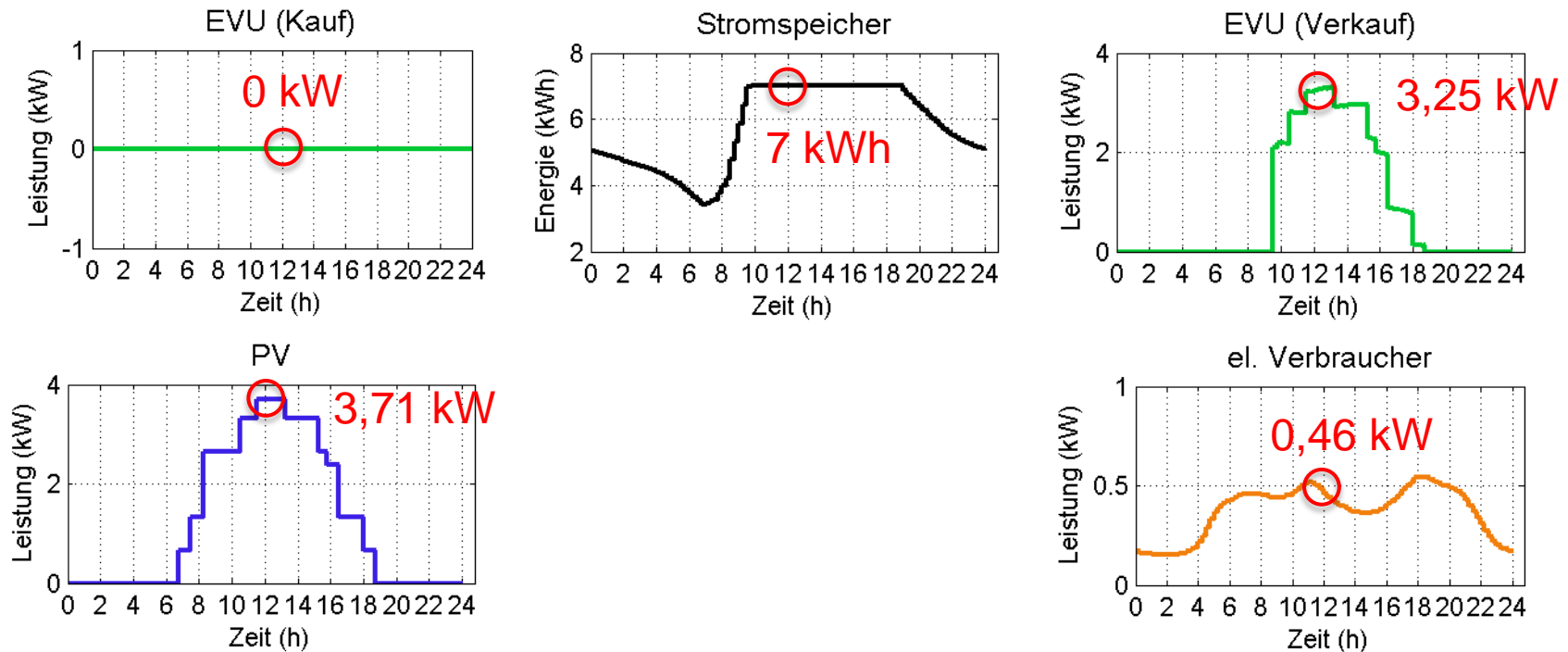
- Kühllast inklusive Kältespeicher

Systemmodellierung (4)

Szenarienbasierte Optimierung:

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

Elektrisches Teilsystem:

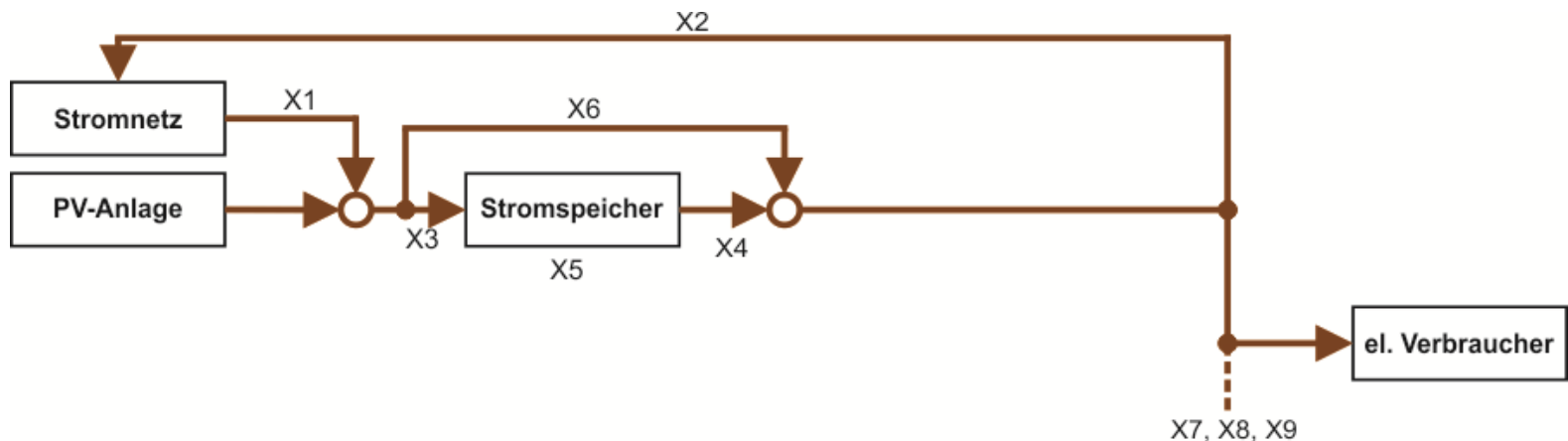


Szenario A: Elektrisches System (1)

Analyse elektrisches Teilsystem:

- Photovoltaik in Kombination mit Stromspeicher
- Ermittlung der jährlichen Gesamtkosten
- Wirtschaftlichste elektrische Speichergröße

Schematisches Modell:



Szenario A: Elektrisches System (2)

Kosteneinsparung in Abhängigkeit der Speichergröße

Annahme Lebensdauer (Stromspeicher):

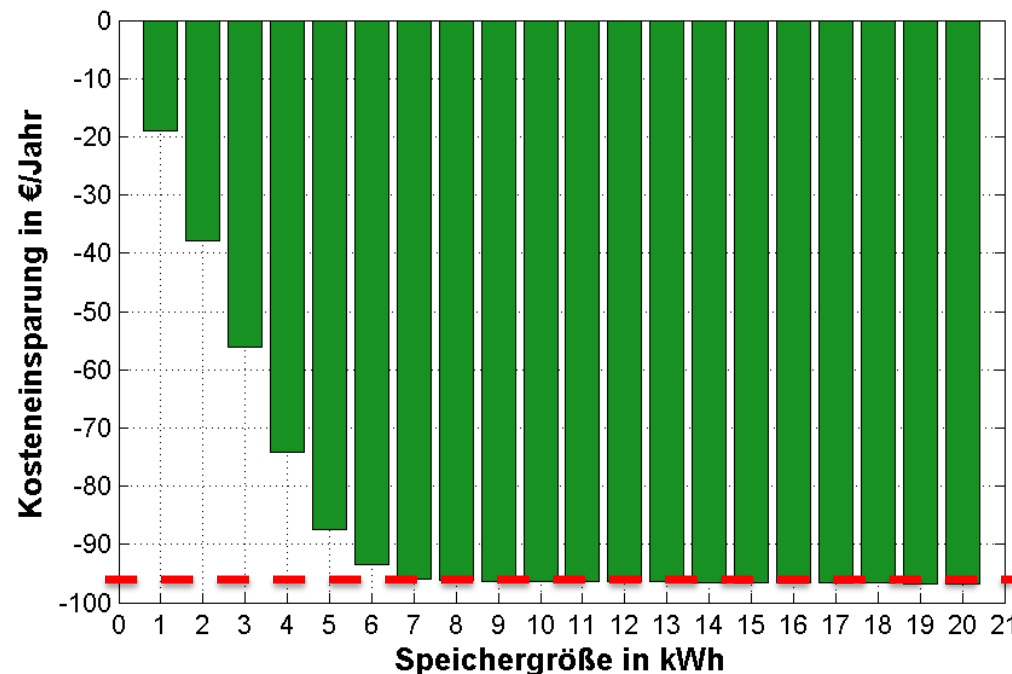
- Kalendarische Lebensdauer (in etwa 20 Jahre)
- Volladezyklen (ca. 5000)

Annahme:

- 0,1 €/kWh (Speicherkosten)

Auswahl Speicher:

- 7 kWh



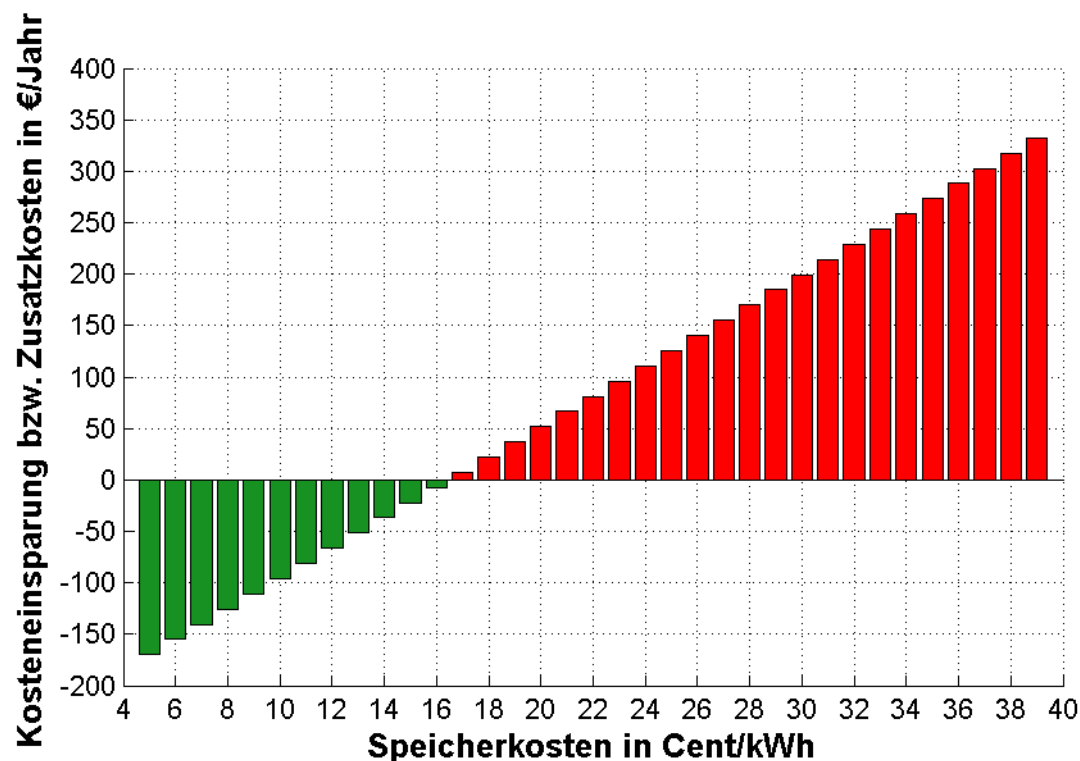
Szenario A: Elektrisches System (3)

Kosteneinsparung bzw. Zusatzkosten in Abhängigkeit der Speicherkosten:

Speichergröße: 7 kWh

Strompreis: 0,20 €/kWh

Verkaufspreis: 0,035 €/kWh



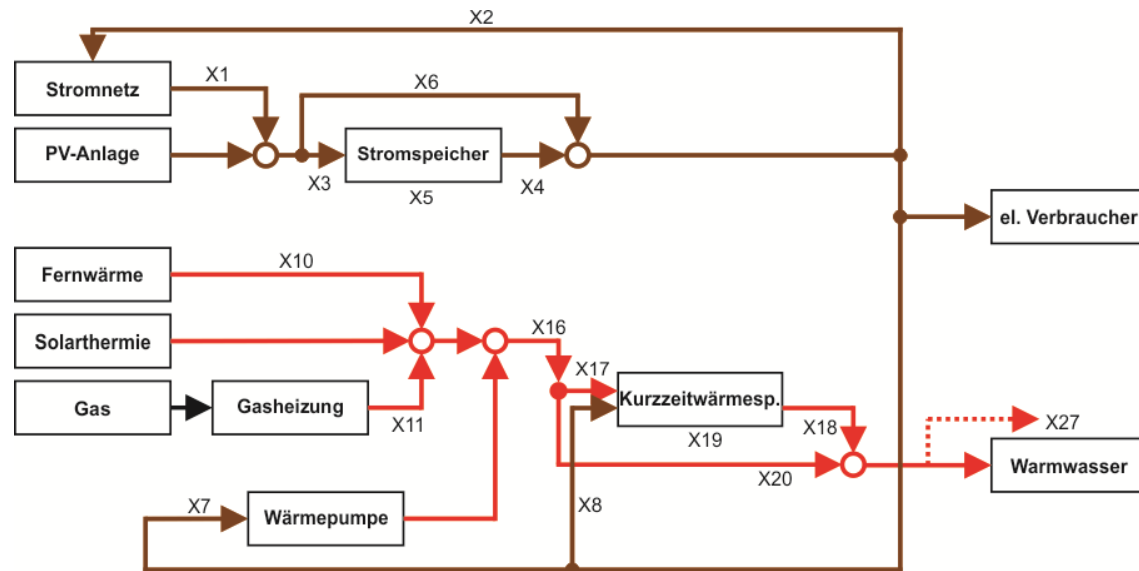
Quelle: [1]

Szenario B: Elektrisches System + Warmwasserbedarf (1)

Analyse:

- Warmwasserbedarf inklusive Kurzzeit-Wärmespeicher
- kostenoptimaler Einsatz verschiedener Kombinationen aus dezentralen Anlagen
- Ermittlung der jährlichen Systemgesamtkosten

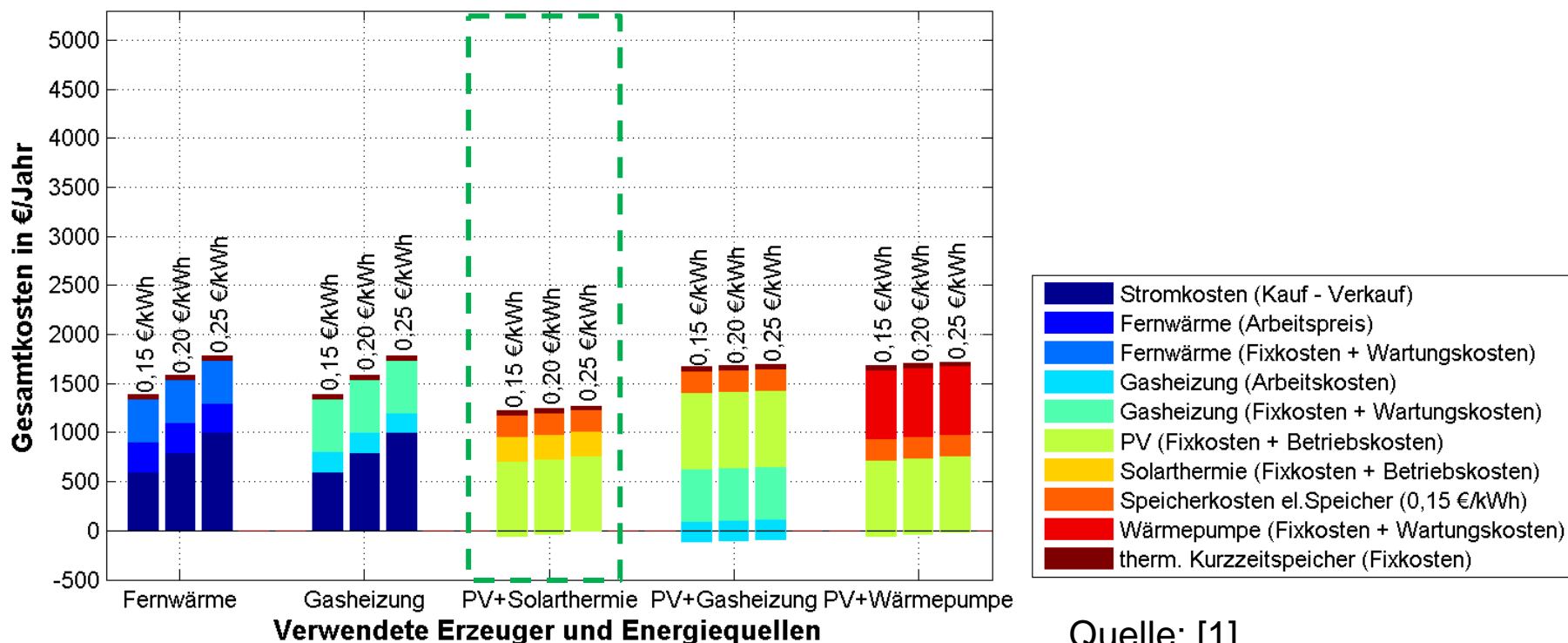
Schematisches Modell:



Szenario B: Elektrisches System + Warmwasserbedarf (2)

Jährliche Gesamtkosten:

- Minimale Kosten: Kombination PV + Solarthermie + Stromspeicher



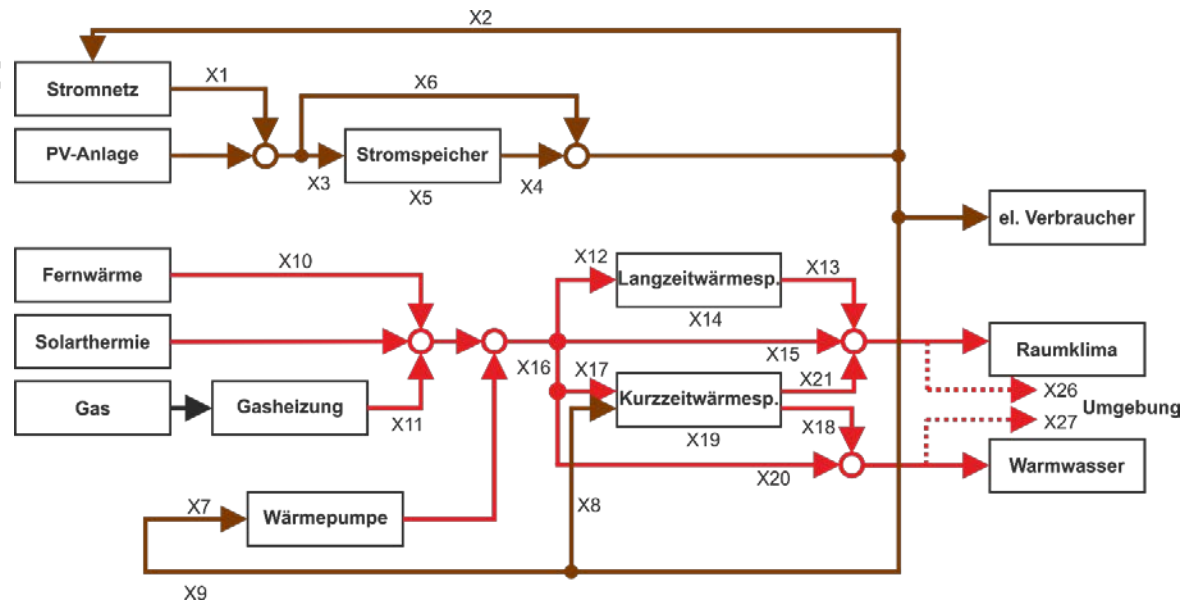
Quelle: [1]

Szenario C: Gesamtsystem ohne Kühllast (1)

Analyse:

- Wärmebedarf (Heizung, Warmwasser)
- Einsatz eines Langzeit-Wärmespeichers
- kostenoptimaler Einsatz verschiedener Kombinationen aus dezentralen Anlagen

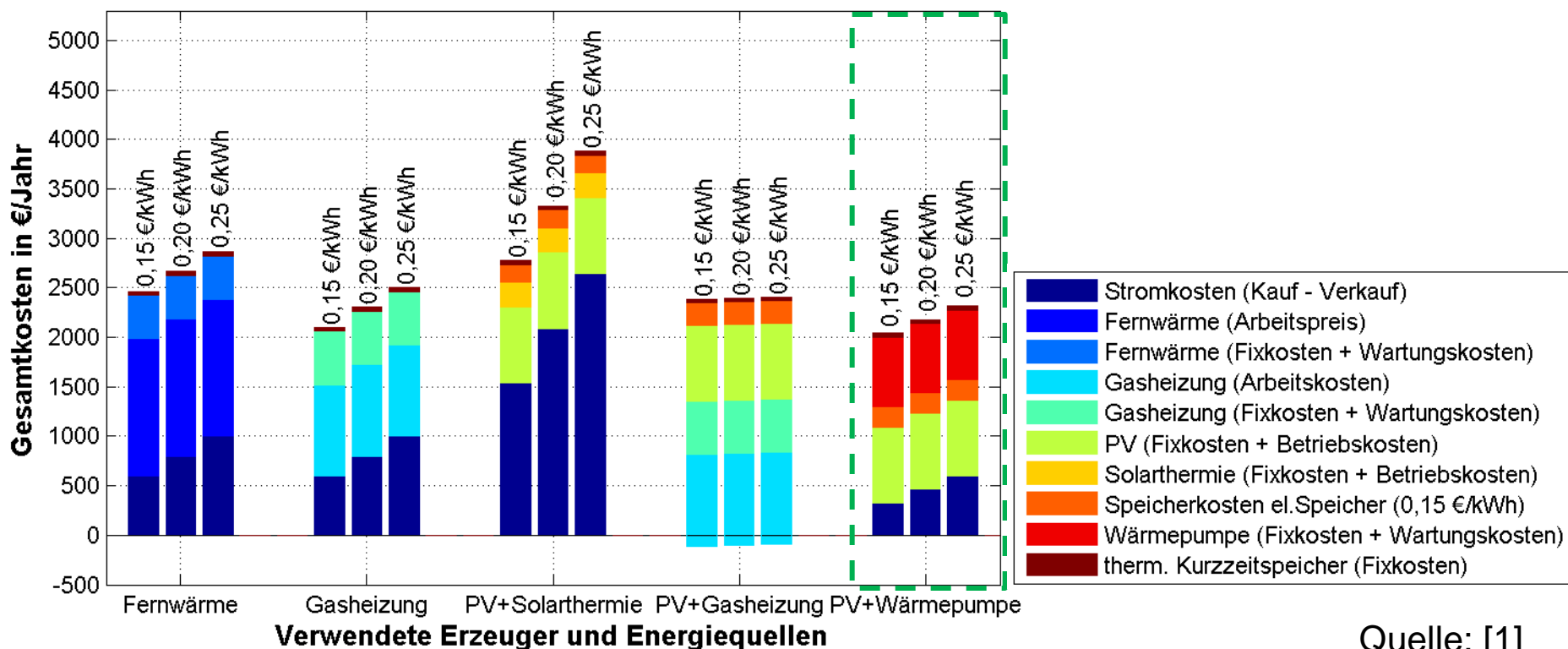
Schematisches Modell:



Szenario C: Gesamtsystem ohne Kühllast (2)

Jährliche Gesamtkosten:

- Minimale Kosten: Kombination PV + Wärmepumpe + Stromspeicher

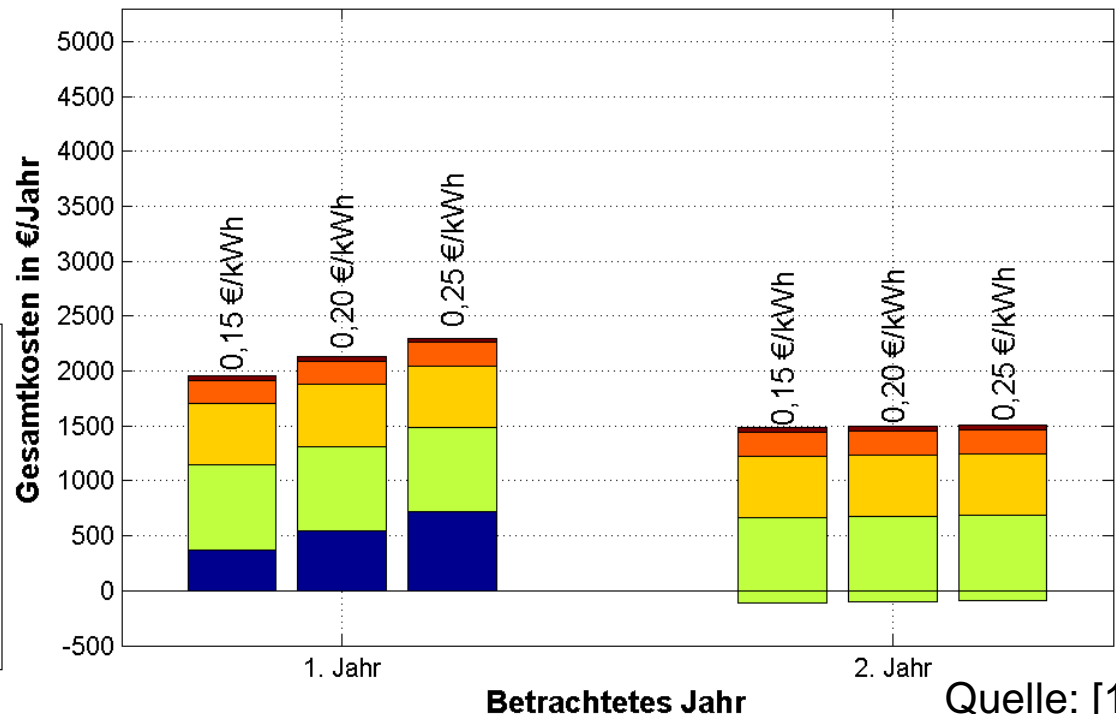


Quelle: [1]

Szenario C: Gesamtsystem ohne Kühllast (2)

Langzeit-Wärmespeicher:

- Langzeitspeicher am Anfang des ersten Jahres leer
- Annahme: 50 % Wirkungsgrad

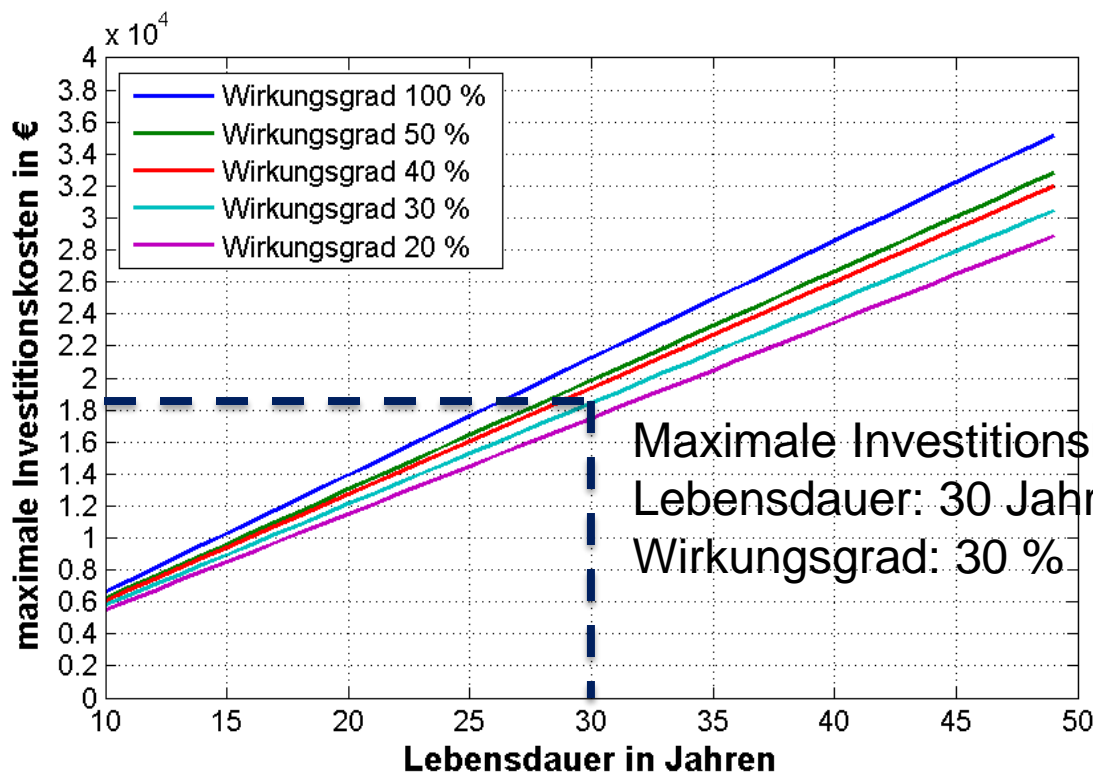


Quelle: [1]

Szenario C: Gesamtsystem ohne Kühllast (2)

Langzeit-Wärmespeicher:

- Ermittlung der optimalen Investitionskosten:



Maximale Investitionskosten: ca. 18000 €
 Lebensdauer: 30 Jahren
 Wirkungsgrad: 30 %

Quelle: [1]

Zusammenfassung

Szenario A: Elektrisches System

- Optimale Speichergröße 7 kWh;
- Stromspeicher bis 0,16 €/kWh wirtschaftlich (Strompreis 0,20€/kWh)

Szenario B: Elektrisches System + Warmwasserbedarf

- Kombinationen aus Photovoltaikanlage, Solarthermieanlage und Stromspeicher am kostengünstigsten (circa 1250 €/a *)

Szenario C: Gesamtsystem ohne Kühllast

- Kombinationen aus Photovoltaikanlage, Wärmepumpe und Stromspeicher am kostengünstigsten (circa 2200 €/a *)
- Maximale Investitionskosten des Langzeit-Wärmespeicher 18000 €* (Photovoltaikanlage, Solarthermieanlage und Stromspeicher)

Szenario D: Gesamtsystem mit Kühllast

- Kältespeicher rentiert sich in Kombination mit einer Photovoltaikanlage kaum

*) zu Preisen von heute

Ausblick

Detailliertere Nachbildung einzelner Systemkomponenten

- z.B. Stromspeicher, Wärmepumpe, PV

Analyse des hybriden Systems mittels real gemessener Daten:

- z.B. Photovoltaikerzeugung, Einbindung von Wetterdaten, Einbindung von Prognosen allgemein

Speicherbefüllung in Abhängigkeit und unter Berücksichtigung des zukünftigen Wetters

- Wettervorhersage

Verwendung von nichtlinearen Optimierungsalgorithmen

Modellierung eines hybriden Energiesystems unter Berücksichtigung dezentraler Energieerzeugung und -speicherung am Beispiel eines Einfamilienhauses mit Anbindung an das öffentliche Elektrizitätsnetz

DI Mike Alexander Lagler

DI Dr. Ernst Schmutzner

DI Stefan Forsthofer

Technische Universität Graz
Institut für Elektrische Anlagen
Inffeldgasse 18-I / A-8010 Graz
Fax.: ++43/(0)316 / 873 7553
Tel.: ++43/(0)316 / 873 7567
email: lagler@tugraz.at
<http://www.ifea.tugraz.at>
<http://portal.tugraz.at>

ANHANG

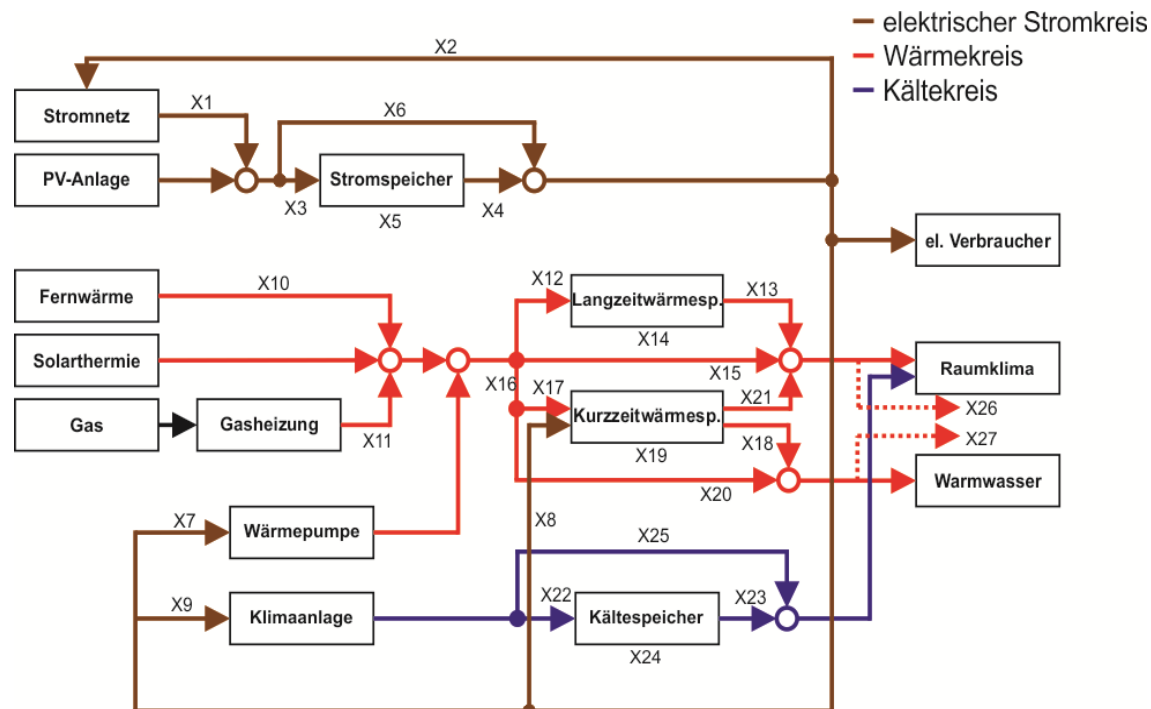


Szenario D: Gesamtsystem mit Kühlbedarf (1)

Analyse:

- Wärmebedarf (Heizung, Warmwasser) + Kühlbedarf inkl. Kältespeicher
- kostenoptimaler Einsatz verschiedener Kombinationen aus dezentralen Anlagen

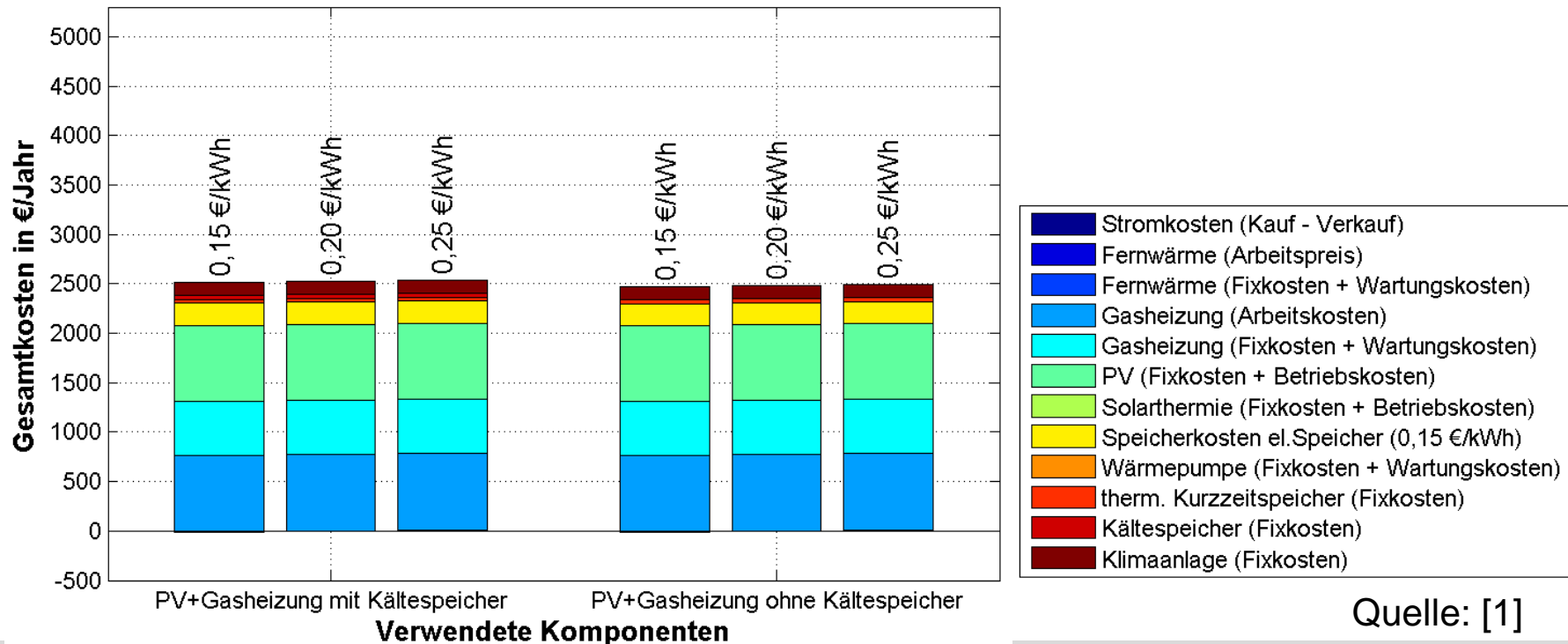
Schematisches Modell:



Szenario D: Gesamtsystem mit Kühlbedarf (2)

Vergleich der Gesamtkosten (mit/ohne Kältespeicher)

- Zeitliche Übereinstimmung zwischen PV-Erzeugung und Kühlbedarf
- Kältespeicher rentiert sich kaum



Kostenannahmen (1)

Technologie	C_{IK}	C_{BK}	$C_{pro\ kWh}$	T	Anmerkungen
	€	€/a	€/kWh	a	-
elektrischer Speicher	4200	-	-	variabel	Speicherkosten 0,15 €/kWh
Fernwärme	9552	120	0,09	30	-
Gasheizung	5000	290	0,06	20	-
Kurzzeitwärmespeicher	800	-	-	20	300 Liter
Photovoltaikanlage	14000	210	-	25	7 kWp
Solarthermieanlage	4500	67,5	-	25	6 m ²
Strom (Kaufpreis)	-	-	0,2	-	-
Strom (Verkaufspreis)	-	-	-0,035	-	-
Wärmepumpe	15000	100	-	25	-

Kostenannahmen (2)

Technologie	C_{IK}	C_{BK}	$C_{pro kWh}$	T	Anmerkungen
	€	€/a	€/kWh	a	-
elektrischer Speicher	4200	-	-	variabel	Speicherkosten 0,15 €/kWh
Gasheizung	5000	290	0,06	20	-
Kältespeicher	800	-	-	20	-
Klimaanlage	2000	-	-	15	-
Kurzzeitwärmespeicher	800	-	-	20	300 Liter
Photovoltaikanlage	14000	210	-	25	7 kWp
Strom (Kaufpreis)	-	-	0,2	-	-
Strom (Verkaufspreis)	-	-	-0,035	-	-
Wärmepumpe	15000	100	-	25	-

Literaturverzeichnis

- [1] S. Forsthofer, „Kostenoptimierung dezentraler Energiesysteme“, Graz, Österreich, 2016