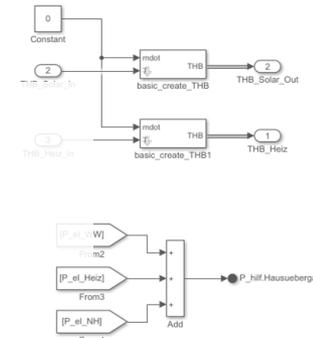


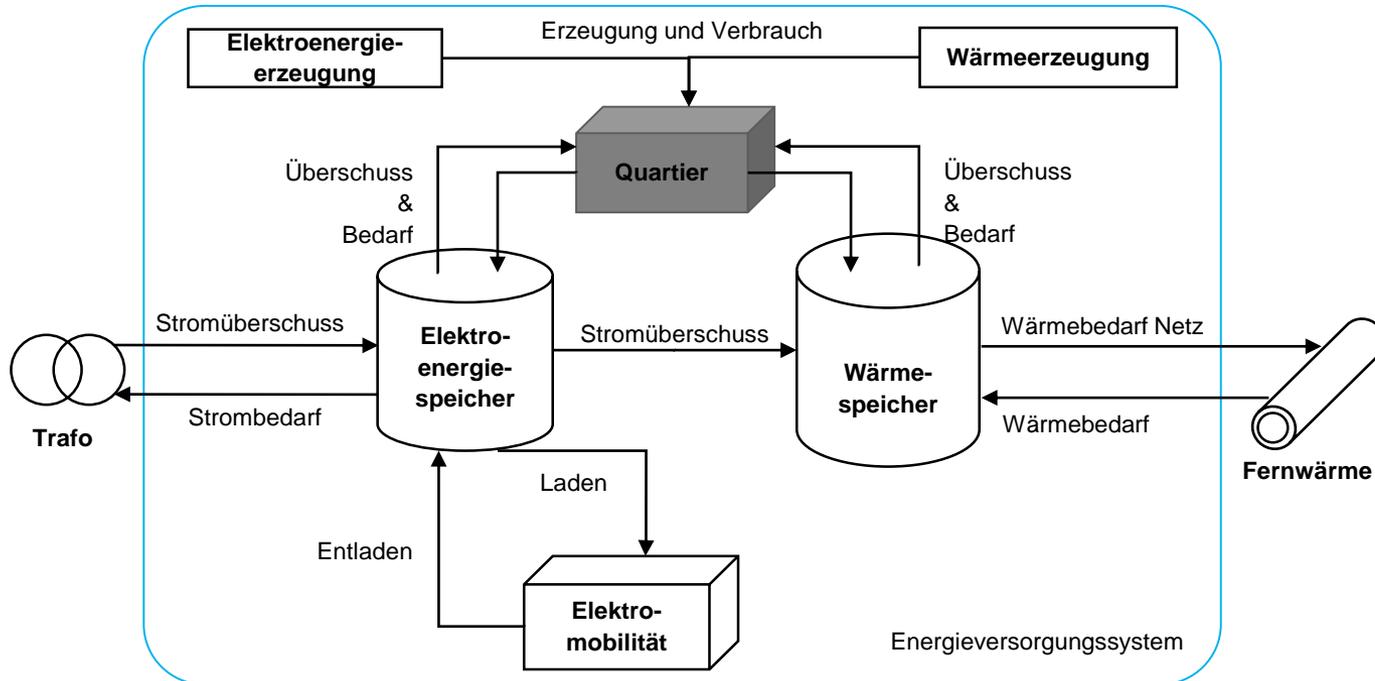
Vernetzte Gebäude zur Steigerung der regenerativen Energiebereitstellung



M. Sc. Anne Mädlow, TU Bergakademie Freiberg/ Deutschland

1 EINLEITUNG

SCHEMA DER ENERGIEVERSORGUNG IN QUARTIEREN



Betriebsweisen:

Teil-/Vollautarkie

- Teilweise oder Vollständige Deckung des Energiebedarfs durch eigene Ressourcen
- Wirtschaftlichkeit durch Vermeidung von externen Abhängigkeiten
- Solarer Deckungsgrad S

$$S = \frac{E_{Solar,a}}{E_{Bedarf,a}}$$

$E_{Solar,a}$ solar bereitgestellte Energie
 $E_{Bedarf,a}$ verbrauchte Energie

Netzdienlichkeit

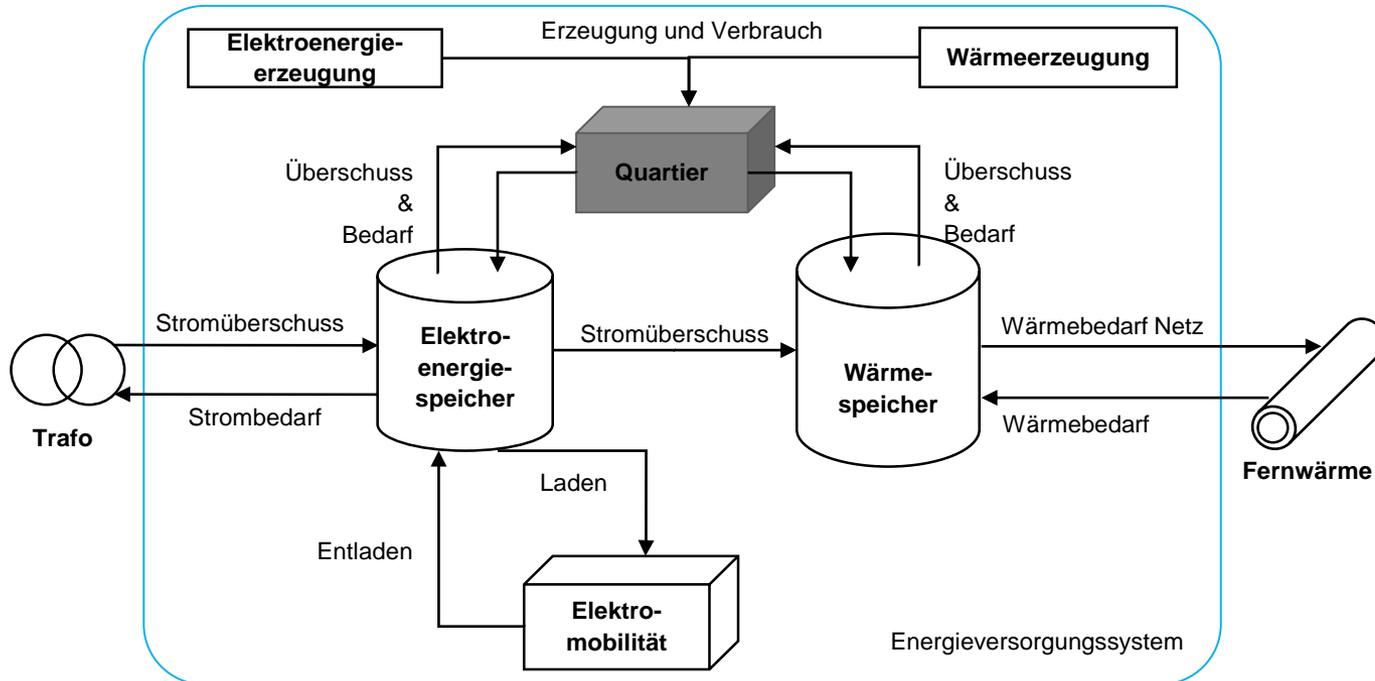
- Bewirtschaftung der Speicher entsprechend des Netzzustandes
- Wirtschaftlichkeit durch Teilnahme am Regelenergiemarkt
- Netzdienstlichkeitsfaktor R [1]

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n E_{BV,i} \cdot G_i}{E_{BV} \cdot \bar{G}}$$

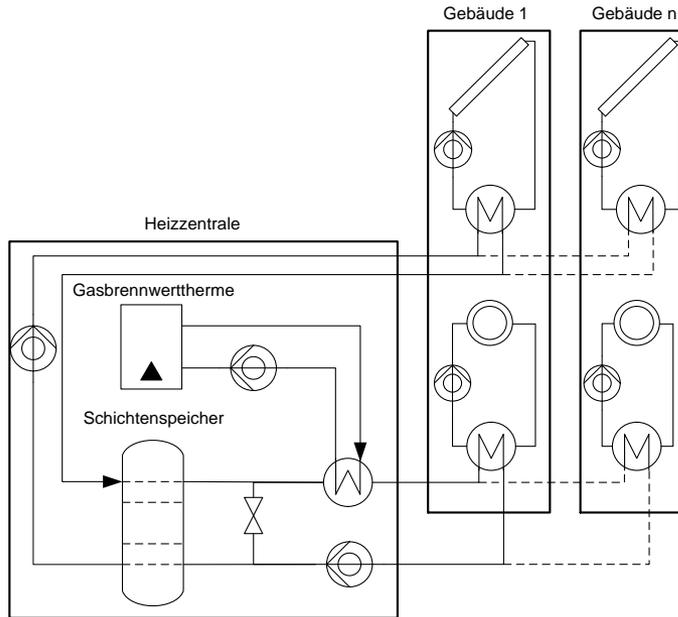
n Betrachtungszeitraum
 i Zeitraum
 E_{BV} entnommene/eingespeiste Speicherenergie
 G Vergleichsindikator (bspw. Strompreis)

1 EINLEITUNG

SCHEMA DER ENERGIEVERSORGUNG IN QUARTIEREN

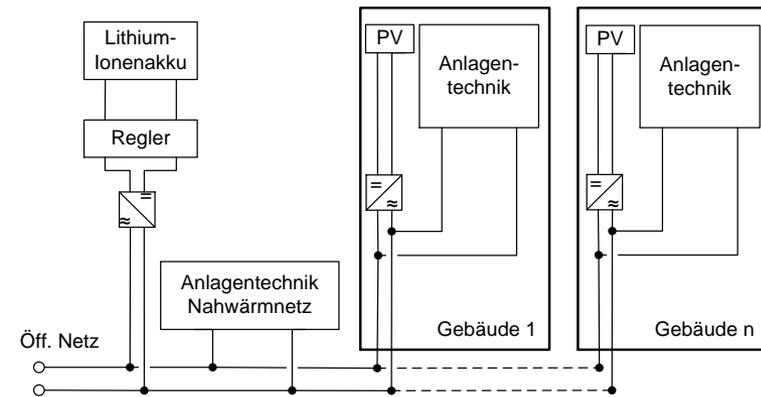


- Wie sollten vorhandene frei verfügbare Flächen zur Gewinnung von Elektroenergie (PV) oder Wärmeenergie (Solarthermie) aufgeteilt werden?
- Wie groß sollten Strom- und Wärmespeicher sein?
- Mit welcher Verschaltung und welchem Erzeugermix ist ein hoher Eigendeckungsgrad bei gleichzeitig minimalen Kosten möglich?



a) Thermische Versorgung (nach [2])

- Nahwärmenetz mit Wärmebereitstellung durch Gasbrennwerttherme
- Zentrale Einspeisung der Solarthermie-Anlagen
- Verbraucherseite: Warmwasser- und Heizwasserbedarf

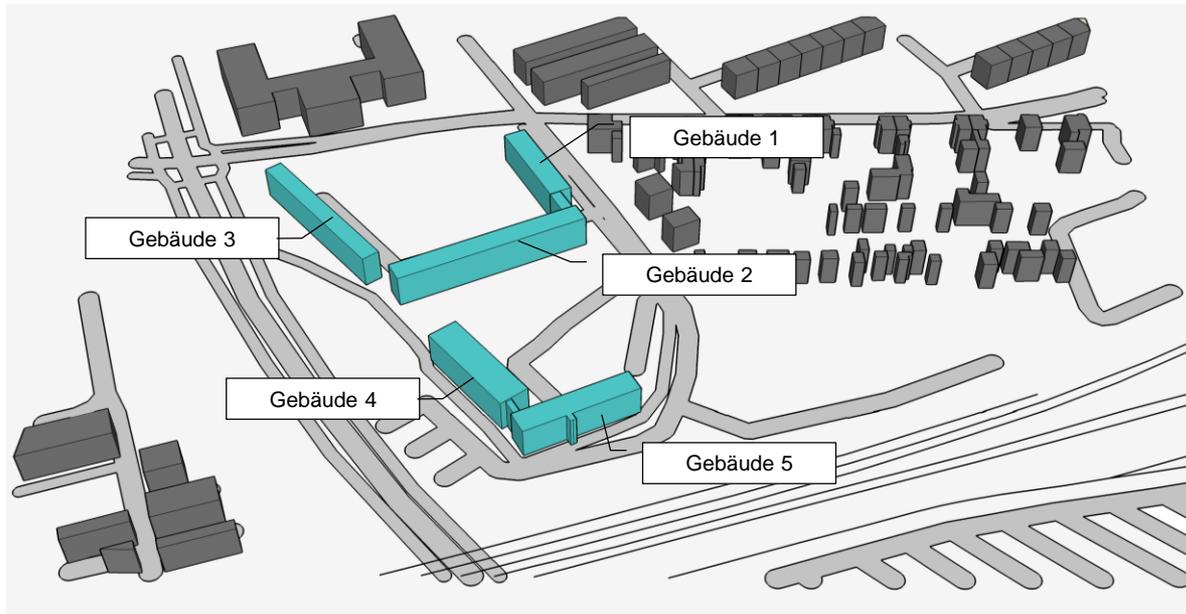


b) Elektrische Versorgung

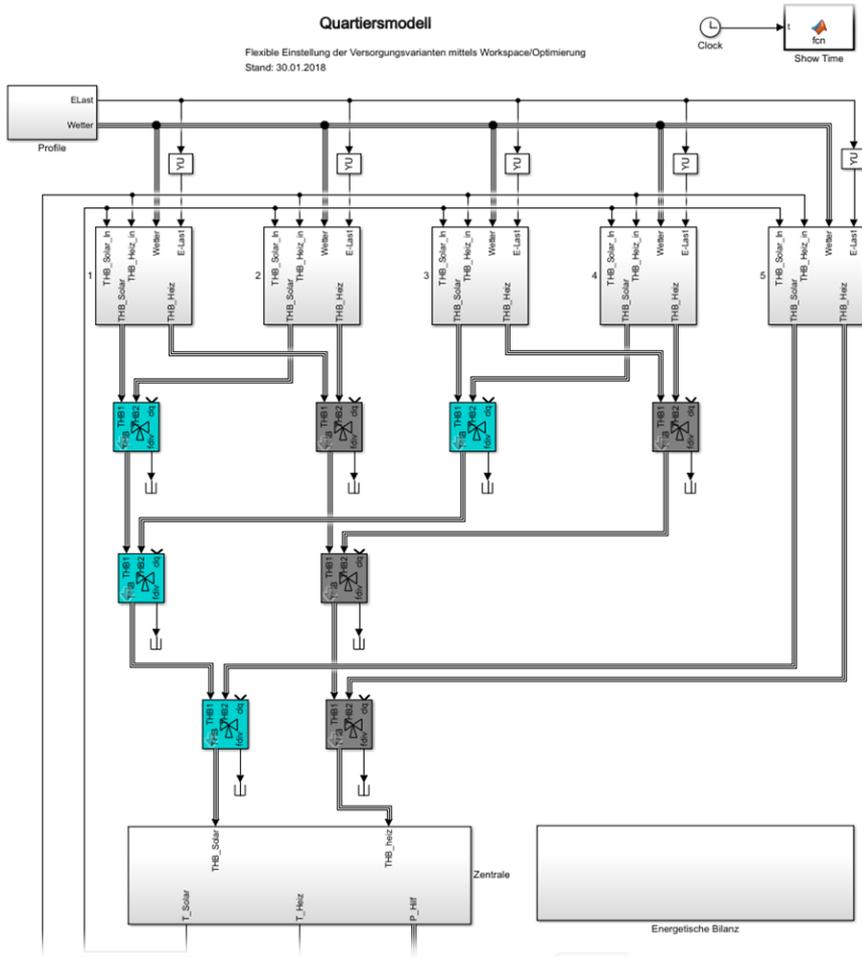
- Hauptanschluss an das öffentliche Versorgungsnetz
- Zusätzlich: Photovoltaik-Anlagen
- Verbraucherseite: Anlagentechnik Gebäude und Nahwärmenetz

2 UNTERSUCHUNGSRAHMEN

PARAMETRISIERUNG DER MODELLREGION



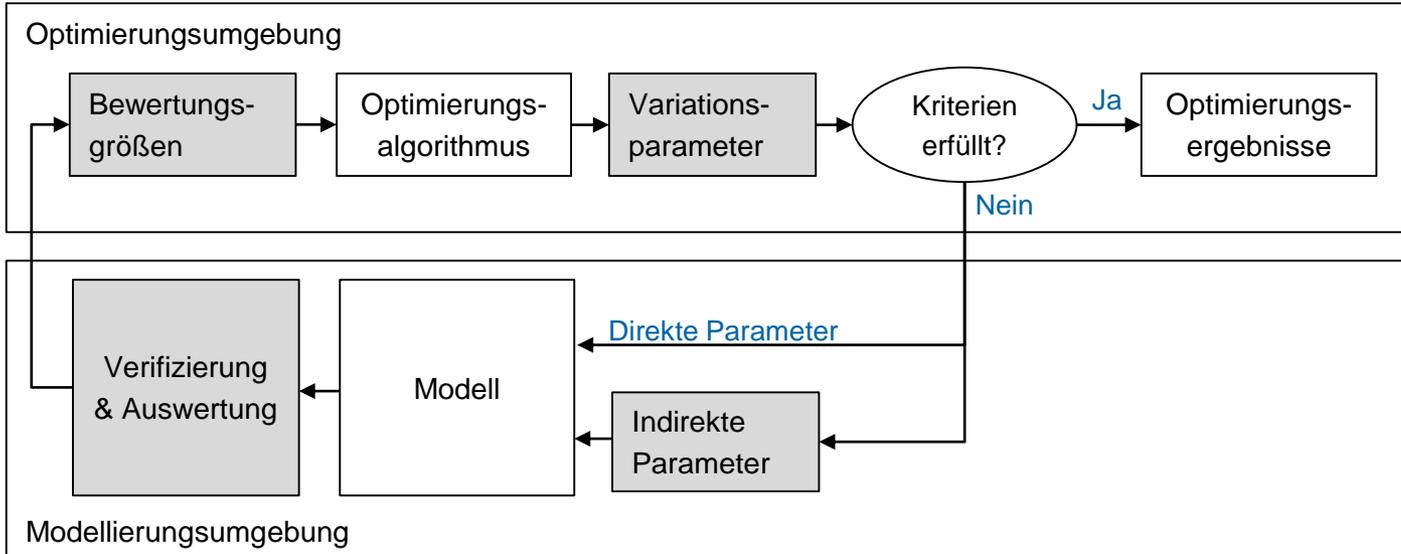
Parameter	Gebäude 1	Gebäude 2	Gebäude 3	Gebäude 4	Gebäude 5
Typ	Wohngebäude	Wohngebäude	Wohngebäude	Bürogebäude	Bürogebäude
Dachtyp	Flachdach	Flachdach	Satteldach	Flachdach	Flachdach
Nutzbare Dachfläche	500 m ²	800 m ²	2 x 550 m ²	380 m ²	390 m ²
Heizwärmebedarf pro Jahr	191 MWh	324 MWh	210 MWh	159 MWh	167 MWh
Warmwasserbedarf pro Jahr	71 MWh	105 MWh	69 MWh	22 MWh	13 MWh



- Abbildung in Matlab/Simulink
 - zusätzliche Toolboxen: Carnot, Simscape Powersystems
 - Domänenspezifische Signale
 - Wärmebedarf aus Lastprofilen des BDEW
 - Elektroenergiebedarf innerhalb der Simulation
- Simulationseinstellungen:
 - Rapid Accelerator Mode
 - Solver ode45
 - 1 Simulationsjahr mit viertelstündiger Auflösung

3 MATHEMATISCHE OPTIMIERUNG

KOMMUNIKATION ZWISCHEN MODELL UND ALGORITHMUS



Variationsparameter:

- Kollektorfläche der Solarthermie-Anlage
- Volumen zentraler Schichtenspeicher
- Kapazität des Akkumulators

Bewertungsparameter:

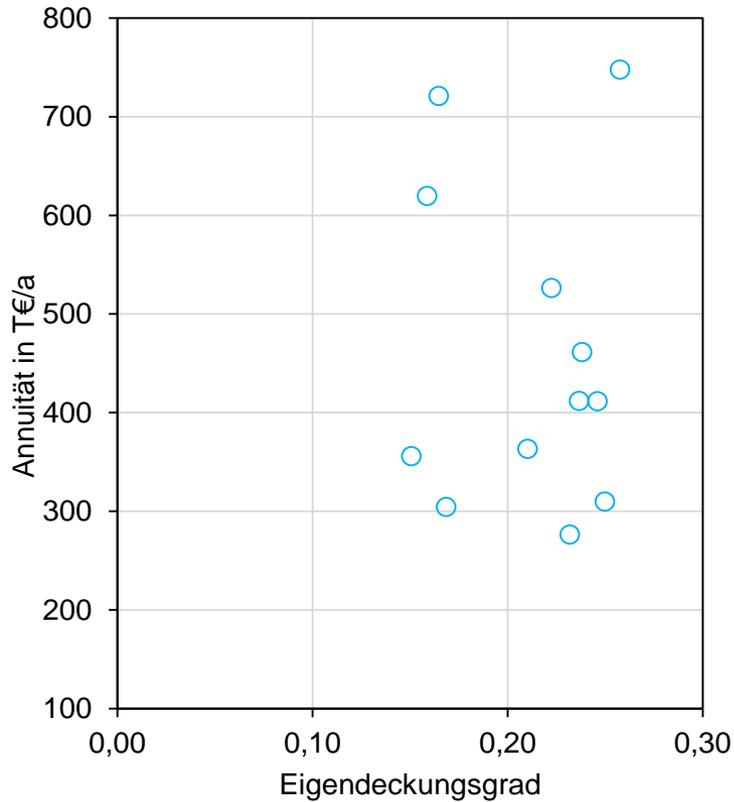
- Eigendeckungsgrad

$$EG = \frac{E_{PV,Nutz} + E_{ST,Nutz}}{E_{el,H} + E_{th,Heiz} + E_{th,WW}}$$

- Annuität nach VDI 2067

4 ERGEBNISSE

PARETO-FRONT



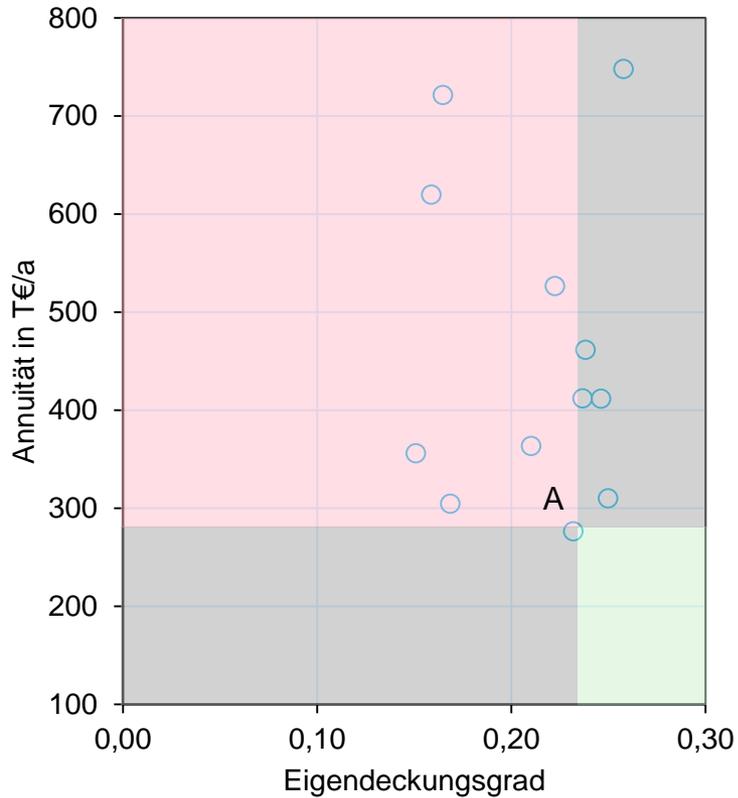
○ Startwerte

Multikriterielle Optimierung

- MOGA-II Algorithmus mit 16 Individuen und 100 Generationen
- Ziele:
 - Maximiere Eigendeckungsgrad
 - Minimiere Kosten

4 ERGEBNISSE

PARETO-FRONT



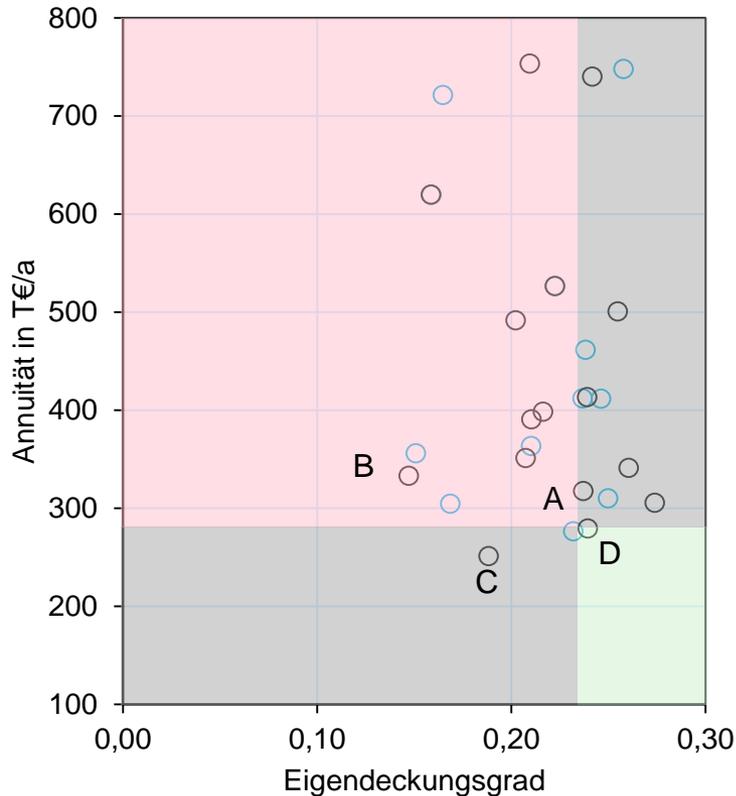
○ Startwerte

Multikriterielle Optimierung

- MOGA-II Algorithmus mit 16 Individuen und 100 Generationen
- Ziele:
 - Maximiere Eigendeckungsgrad
 - Minimiere Kosten

4 ERGEBNISSE

PARETO-FRONT

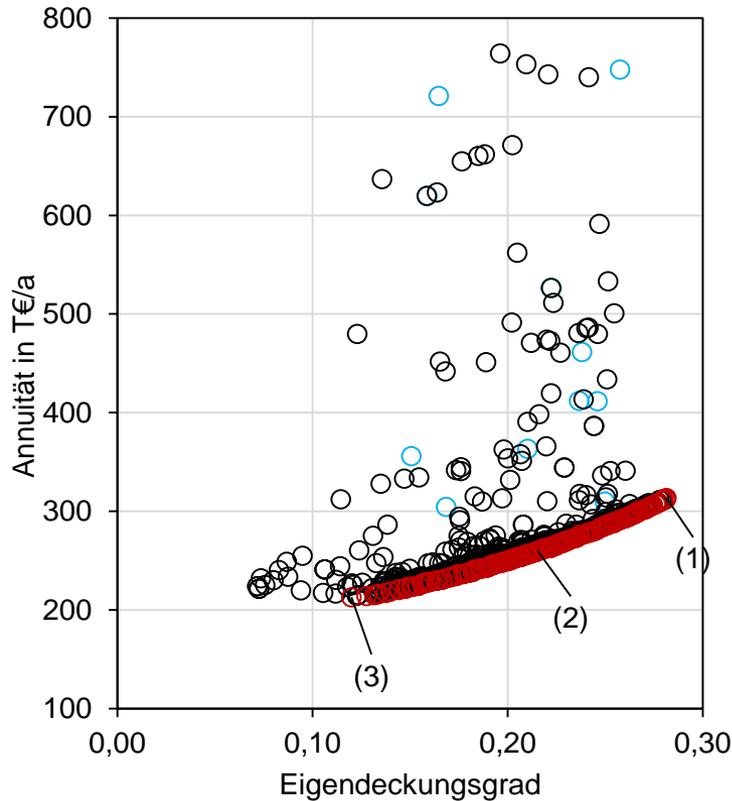


Multikriterielle Optimierung

- MOGA-II Algorithmus mit 16 Individuen und 100 Generationen
- Ziele:
 - Maximiere Eigendeckungsgrad
 - Minimiere Kosten

Definition Pareto-Front:

- Ergebnismenge bestehend aus nicht dominierten „Designs“
- Zustand, in dem eine Zieleigenschaft nicht verbessert werden kann ohne die andere zu verschlechtern



- Startwerte
- Simulationsergebnisse
- Pareto-Front

Multikriterielle Optimierung

- MOGA-II Algorithmus mit 16 Individuen und 100 Generationen
- Ziele:
 - Maximiere Eigendeckungsgrad
 - Minimiere Gesamtannuität
- Pareto-Front:
 - Gesamtannuität 212.800 € - 313.600 €
 - Eigendeckungsgrad 12%-28%
- Identifizierung 3 Pareto-Punkte:
 - (1) Höchster Eigendeckungsgrad
 - (2) „Kompromiss“
 - (3) Geringste Gesamtannuität

4 ERGEBNISSE

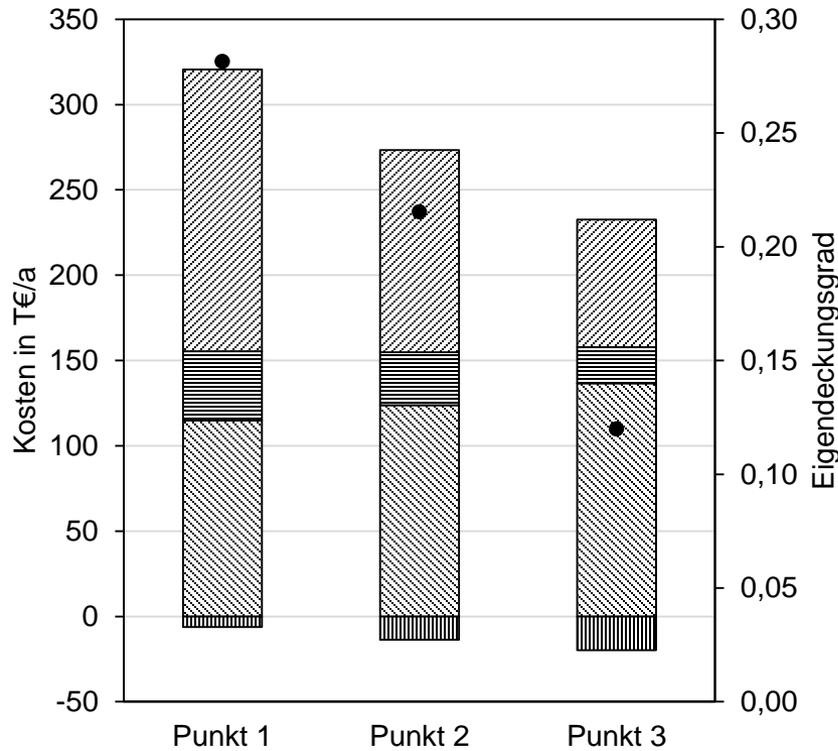
DETAILLIERTE ANALYSE VON PARETO-PUNKTEN

Parameter	Einheit	Punkt (1) Höchster Eigendeckungsgrad	Punkt (2) „Kompromiss“	Punkt (3) Geringste Gesamtannuität
Volumen Schichtenspeicher	l	300.000	181.261	18.307
Kollektorfläche ST-Anlagen	m ²	1958,9	1210,0	585,3
Kapazität Akkumulator	kWh	13	10	11
Peakleistung PV-Anlagen	kWp	135,9	289,8	418,2
Gesamtannuität	€/a	313.611	259.624	212.863
Eigendeckungsgrad	%	28,14	21,53	11,99

- Akkumulator für das vorgestellte Versorgungssystem nicht notwendig
- Signifikante Erhöhung des Eigendeckungsgrads durch hauptsächliche Dachbelegung mit Solarthermie-Anlagen und den Einsatz eines großen Wärmespeichers
- Reduzierung der Kosten durch hauptsächliche Dachbelegung mit Photovoltaik-Anlagen
- Kompromiss: Gleichmäßige Verteilung von ST- und PV-Anlagen auf den verfügbaren Dachflächen bei mittelgroßen Wärmespeicher

4 ERGEBNISSE

DETAILLIERTE ANALYSE VON PARETO-PUNKTEN



- ▨ Erlösgebundene Annuität
- ▧ Kapitalgebundene Annuität
- ▩ Betriebsgebundene Annuität
- ▦ Bedarfsgebundene Annuität
- Eigendeckungsgrad

- Einsparungen der bedarfsgebundenen Kosten durch höheren Eigendeckungsgrad gleichen höhere Investitionen nicht aus (Punkt 1)
- Einsatz von PV-Anlagen in Quartieren nur zweckmäßig, wenn überschüssige Elektroenergie verkauft werden kann (Punkt 3)
- Gleichmäßiger Einsatz von ST- und PV-Anlagen → bedarfs- und kapitalgebundene Kosten im gleichen Maße (Punkt 2)

Zusammenfassung

- Festlegung eines Referenzquartiers bestehend aus 5 Gebäuden sowie eines beispielhaften Versorgungssystems mit einem hohen Vernetzungsgrad
- Physikalische Abbildung des Quartiers in Matlab/Simulink
- Kopplung des Modell mit Optimierungsalgorithmen →zielgerichtete Systemdimensionierung innerhalb kurzer Zeit trotz dynamischer Randbedingungen

Ausblick

- Erweiterung und Validierung der Teilmodelle
- Implementierung mehrerer Versorgungsinfrastrukturen im bestehenden Modell
- Ergänzung weiterer Variations- und Bewertungsgrößen (Zielfunktionen) in der Optimierung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



Europäische Union
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung
Europäischer
Sozialfonds

Europa fördert Sachsen.



**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!**

M.Sc. Anne Mädlow

**TU Bergakademie Freiberg
Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik
Gustav-Zeuner-Str. 7
09599 Freiberg**

Anne.Maedlow@iwtt.tu-freiberg.de

