

Betriebsoptimierung von hybriden Microgrids unter Berücksichtigung von Unsicherheiten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Georg Franke, Maximilian Schneider, Stephan Rinderknecht



Betriebsoptimierung von Microgrids

- Im Zuge der **Energiewende** befindet sich die Energieversorgungsinfrastruktur in Europa in einem Prozess anhaltender **Veränderung**
- Trend zur **Dezentralisierung** → wachsende Zahl von **Microgrids**
- Zahlreiche neuartige **Geschäftsmodelle**, Microgrids werden auch wirtschaftlich immer interessanter
- **Betriebsstrategien** sind entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg von Microgrids
- Wie können **echtzeitfähige, maschinennah implementierbare** Betriebsstrategien für reale Microgrids unter der Beachtung von **Unsicherheiten von Eingangsgrößen** ermittelt werden?

Agenda

1. Modellbeschreibung
2. Gemischt-ganzzahliger linearer Ansatz
3. Heuristischer Ansatz
4. Numerisches Beispiel und Ergebnisse
5. Fazit



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Modellbeschreibung

Generelle Modellstruktur

- Abbildung eines Microgrids zur Versorgung einer **städtischen Wohnsiedlung**
- **Hybrides Microgrid** – Versorgung der Siedlung mit elektrischer und thermischer Energie
- Modellierung der beiden Subsysteme als „**single-bus**“
- Abstraktion auf **Leistungs- und Energieniveau**
- **Stündliche** zeitliche Auflösung
- **Lokaler Energielieferant** – verantwortlich für Energieversorgung der Bewohner und für alle Betriebsentscheidungen
- Geschäftsmodell: Deckung aller Energiebedarfe bei **minimalen Kosten**

Generelle Modellstruktur

Wohnsiedlung

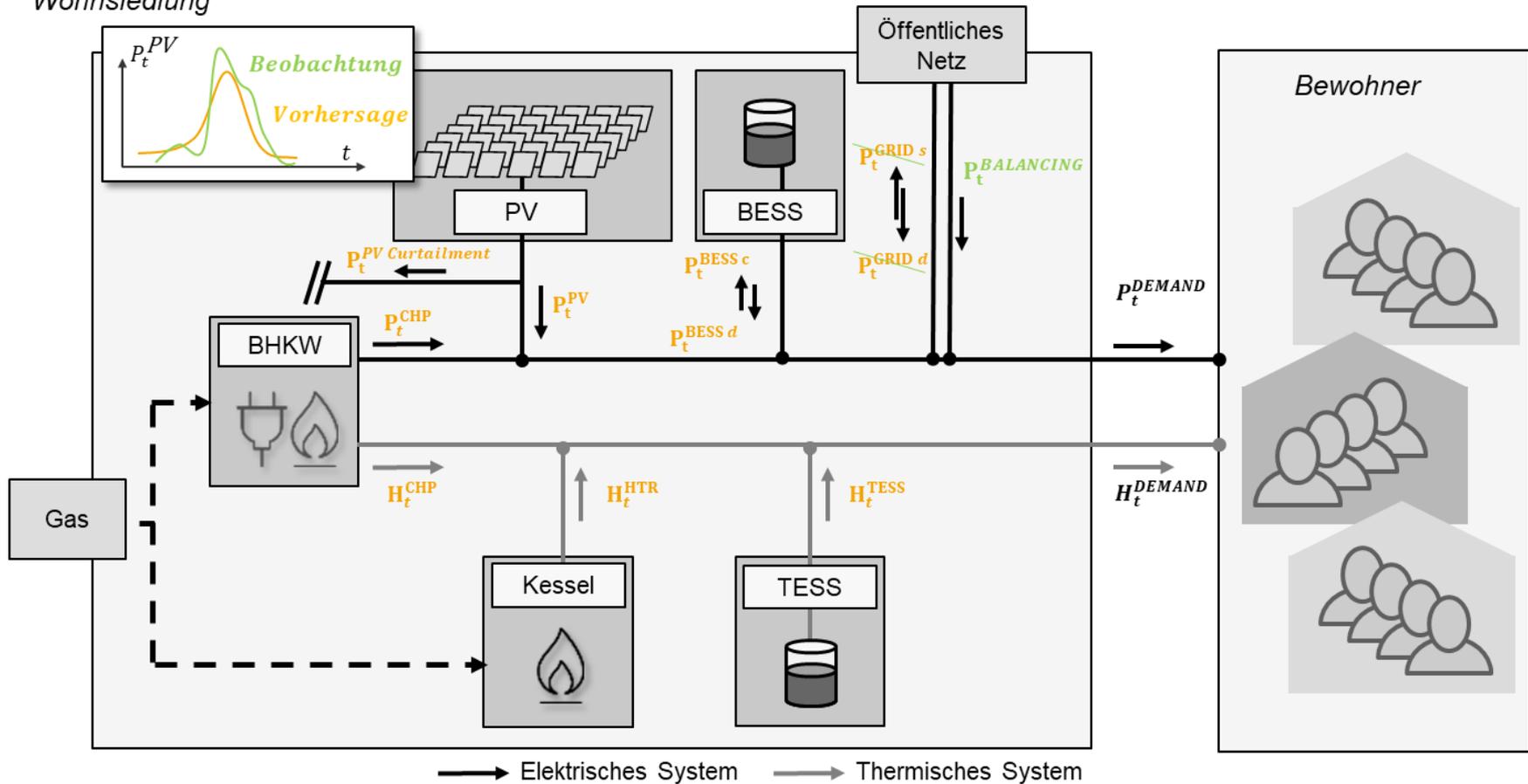
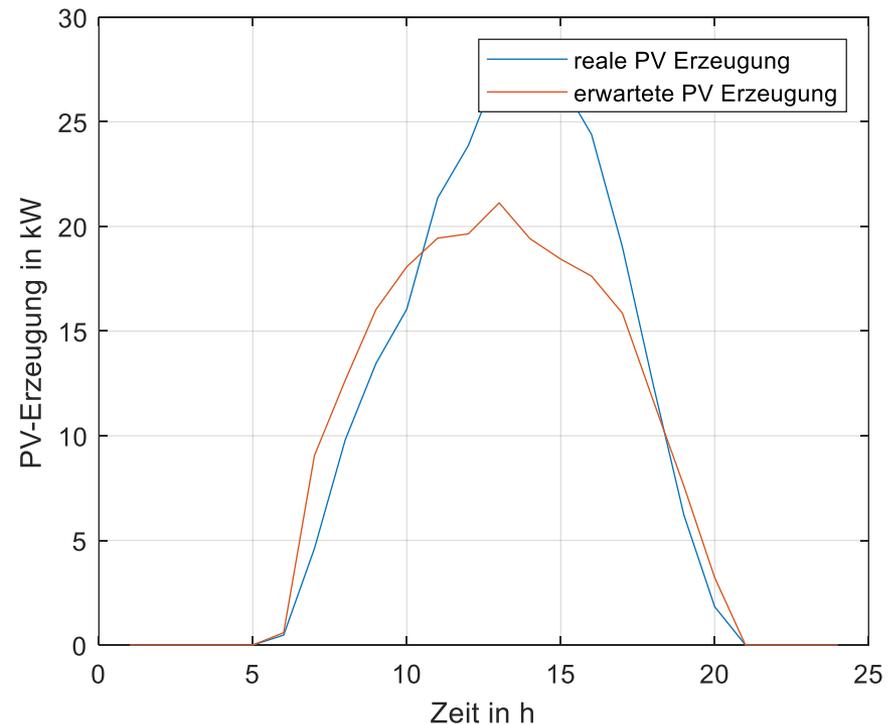


Abbildung von Unsicherheiten

- **Photovoltaikerzeugung** wird als unsicher abgebildet
- Nutzung von **zwei verschiedenen Zeitreihen** als Input für das Modell
- PV_O → **reale** Erzeugungsdaten der Anlage basierend auf historischen Strahlungsdaten
- PV_F → „**künstlich**“ generiert, weist kurz- und langfristige Abweichungstendenzen auf



Zweistufiger Lösungsfindungsprozess

- Ermittlung der Betriebsstrategie erfolgt **zweistufig**, um Unsicherheiten berücksichtigen zu können
- Orientierung der Stufen an der **Struktur des Marktes** für elektrische Energie → day-ahead Markt (DA) und intraday Markt (ID)

1. Stufe - day-ahead Markt

- Verwendung von PV_F
- Festlegung der Verpflichtungen am day-ahead Markt



day-ahead Betriebsplan

2. Stufe - intraday Markt

- Verwendung von PV_O
- Ausgleich der Prognosefehler durch Anpassung des Betriebs



intraday Betriebsplan



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Gemischt-ganzzahliger linearer Ansatz (MILP)

Problemformulierung

Zielfunktion

- Abbildung der Kosten und Erlöse des lokalen Energieversorgers

$$\max \mathcal{F} = \sum_{t=1}^{T_0} Rev_t^{\text{cust}} + Rev_t^{\text{grid}} - Pur_t^{\text{grid}} - Fuel_t^{\text{CHP}} - Fuel_t^{\text{HTR}} - NC_t$$

Nebenbedingungen

- Umfangreiche lineare Gleichungen und Ungleichungen:
 - Leistungs- und Energiegleichgewichte
 - Speichergleichungen
 - Gleichungen der Erzeugungsanlagen
 - Zusätzliche Linearisierungsgleichungen

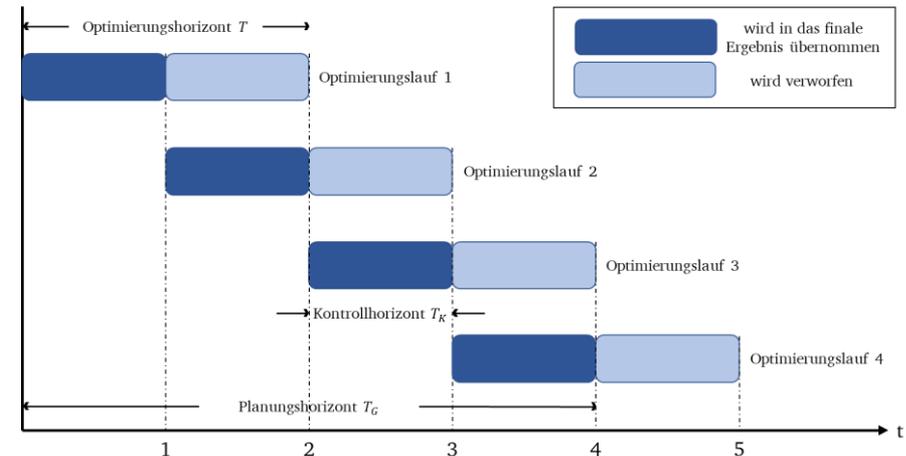
Implementierung und Lösung

- Implementierung in MATLAB und Lösung mit IBM CPLEX
- **Aufteilung in Teilprobleme** von 24h, die einzeln gelöst werden
- Endwerte eines Teilproblems stellen Startwerte des nächsten Teilproblems dar → **Kontinuität** aller Größen über Teilprobleme hinweg

ABER: **end-of-horizon Problem**



LÖSUNG: **gleitender Horizont**





TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Heuristischer Ansatz

Motivation

- Vorgestellter gemischt-ganzzahliger linearer Ansatz ist **nicht echtzeitfähig**
- **Heuristiken** sind grundsätzlich **weniger rechenintensiv** als geschlossene Optimierungsprobleme
- Regelbasierte Heuristiken sind einfach auf **maschinennahen Steuerungen** (z.B. SPS) zu implementieren
- **Intraday Planung** muss in realen Anwendungen echtzeitfähig und maschinennah implementiert werden → **Charakter einer Steuerung**

Struktur

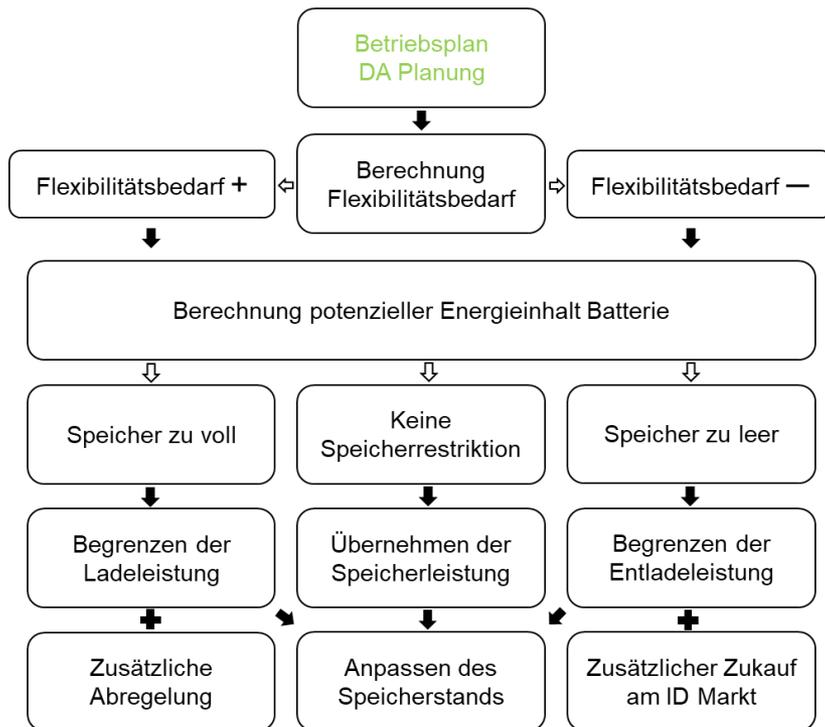
- Heuristik ist **zweistufig** aufgebaut
- Ausschließlich für die **Intraday Planung** geeignet
- Basiert auf einem zuvor berechneten day-ahead Betriebsplan

- Ziel: **Prognoseabweichung** der PV-Erzeugung möglichst günstig **ausgleichen**

- 1. Stufe: **elektrischer Energiespeicher** als ausgleichende Flexibilität, zusätzlich Ausgleichsenergie und PV-Abregelung
- 2. Stufe: Anpassung durch Nutzung der Flexibilität des **BHKW**, um Ausgleichsenergie und PV-Abregelung zu reduzieren

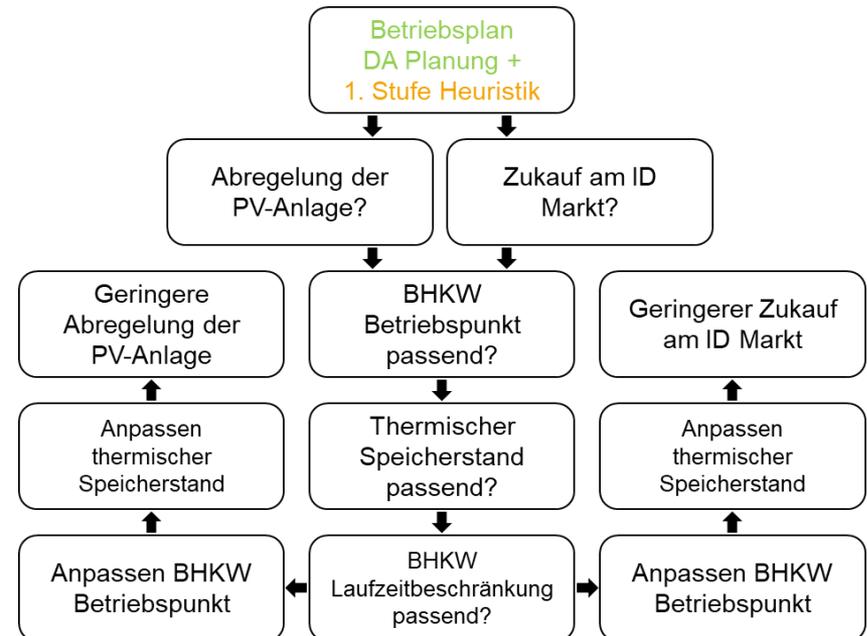
Implementierung und Lösung

Stufe 1



Berechnung eines zulässigen Betriebsplans

Stufe 2



Verbesserung des Betriebsplans aus Stufe 1



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

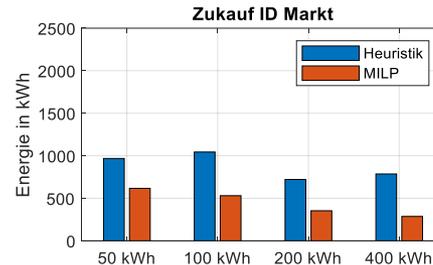
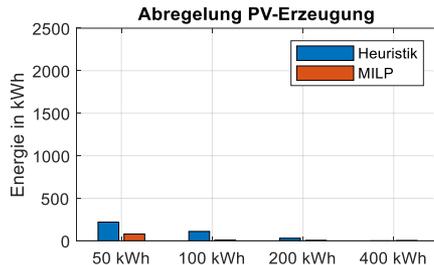
Numerisches Beispiel und Ergebnisse

Numerisches Beispiel

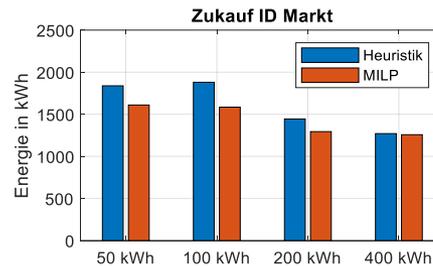
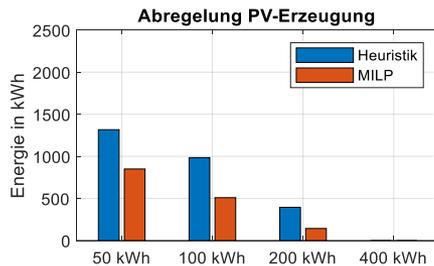
- Basiert auf **Daten aus den Forschungsprojekten** „SWIVT“ und „SWIVT II“ zur Realisierung einer energieoptimierten Siedlung in Darmstadt, Deutschland
- **Vergleich beider vorgestellter Ansätze** auf ID Ebene, für DA Ebene wird jeweils gemischt-ganzzahliger linearer Ansatz verwendet
- Simulation von jeweils **31 Tagen** beginnend zum 1. Januar, 1. April und 1. August → Abdeckung von Winter, Sommer und Übergangszeit
- **Variation** der Größe des **elektrischen Energiespeichers**: 50 kWh, 100 kWh, 200 kWh, 400 kWh

Ergebnisse - Energiemengen

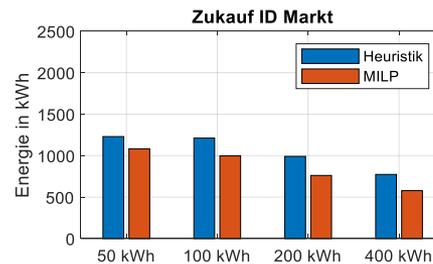
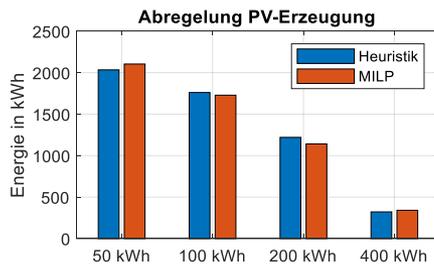
Januar



April



August



- Abregelung steigt von Januar bis August an
- Ausgleichsenergie im April am höchsten
- Abregelung und Ausgleichsenergie sinken mit größerem Speicher
- Heuristik hat (fast) immer höhere Abregelung und Ausgleichsenergie als MILP-Ansatz

Ergebnisse - Rechenzeit

- Rechenzeit ist **kritisches Kriterium** für Echtzeitfähigkeit
- Untersuchung der Rechenzeit zur Lösung des ID Problems auf Testsystem (Intel Xeon Gold 6144 Prozessor, 64 GB RAM)

	50 kWh	100 kWh	200 kWh	400 kWh
Januar	0,03 s	0,03 s	0,04 s	0,02 s
April	0,15 s	0,06 s	0,08 s	0,06 s
August	0,08 s	0,07 s	0,08 s	0,04 s

	50 kWh	100 kWh	200 kWh	400 kWh
Januar	40,34 s	36,12 s	36,09 s	35,34 s
April	62,93 s	65,18 s	62,91 s	109,88 s
August	58,77 s	50,65 s	57,45 s	109,58 s

- Lösung mittels Heuristik ist mehrere Größenordnungen **schneller**
- Auf **maschinennaher Hardware** mit deutlicher geringerer Rechenleistung ist davon auszugehen, dass die Unterschiede noch größer werden



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Fazit

Fazit

- Sowohl der gemischt-ganzzahlige lineare als auch der heuristische Ansatz sind geeignet, das Betriebsproblem für Microgrids zu lösen
- Der **gemischt-ganzzahlige lineare Ansatz** kann sowohl für die DA als auch für die ID Planung eingesetzt werden und weist bezüglich der **Ergebnisgüte** (Energienmengen) deutliche Vorteile auf, ist jedoch nicht echtzeitfähig
- Der **heuristische Ansatz** kann ausschließlich für die ID Planung eingesetzt werden und ist sehr gut geeignet, um auf maschinennaher Hardware **direkt implementiert** zu werden. Durch weitere Anpassungen könnte die Ergebnisgüte weiter verbessert werden