

Entwicklung eines Ansatzes für die Einbindung zeitgekoppelter Gebotstypen in eine europäische Strommarktsimulation

17. Symposium Energieinnovation

18.02.2022

Name: **Peter Wirtz*, Noah Dresemann, Kevin Pacco, Albert Moser**

Hintergrund und Motivation

Modellierung der Marktkopplung mit EUPHEMIA-Gebotstypen

Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse

Zusammenfassung und Ausblick

▶ Hintergrund und Motivation

Modellierung der Marktkopplung mit EUPHEMIA-Gebotstypen

Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse

Zusammenfassung und Ausblick

Hintergrund und Motivation

- Etablierung von kostenminimierenden Fahrplanoptimierungen für Stromerzeugungseinheiten in der Modellierung des europäischen Spotmarktes
 - Hohe Rechenkomplexität
 - Lineare Modellierung des Strommarktes zur Reduktion der Rechenkomplexität von Vorteil
 - Meist vereinfachte Marktkopplungs-Optimierung mit stündlichen Geboten nach Vorbild des EUPHEMIA-Algorithmus
 - EUPHEMIA-Algorithmus erlaubt zeitkoppelnde Gebotstypen
 - Ermöglichung der Berücksichtigung intertemporaler Kraftwerksrestriktionen
 - Hohe Komplexität bei der Modellierung zeitgekoppelter Gebotstypen, da in der Regel ganzzahlige Entscheidungsvariablen benötigt werden
- Wie können zeitgekoppelte Gebotstypen in eine europäische Strommarktsimulation integriert werden, ohne die Rechenkomplexität enorm zu erhöhen?

Ziel

- Berücksichtigung zeitgekoppelter Gebotstypen in einer europäischen Strommarktsimulation
 - Erweiterung des linearen Marktkopplungs-Optimierungsproblems um zeitkoppelnde Nebenbedingungen
 - Abbildung eines realitätsnahen Bietverhaltens thermischer Kraftwerke
 - Berücksichtigung der Rechenkomplexität in der Modellierung

Hintergrund und Motivation

▶ **Modellierung der Marktkopplung mit EUPHEMIA-Gebotstypen**

Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse

Zusammenfassung und Ausblick

Determinierung des Gebotstypen-Einsatzes

- Bestimmung von zeitgekoppelten Geboten auf bestehende stündliche Gebotszeitreihen einzelner Erzeugungsanlagen anhand deterministischer Regeln
- Ziel: Generierung eines Bietverhaltens, welches die Erfüllung intertemporaler Kraftwerks-Restriktionen in der Marktkopplung berücksichtigt
- Anwendung der Gebotstypen auf thermische Kraftwerke beschränkt
- Betrachtung von 3 zeitgekoppelten Gebotstypen des EUPHEMIA-Algorithmus:

Blockgebote

Verknüpfte Blockgebote

Komplexe Gebote mit Last-
gradientenbedingung (LGC-Gebote)

Marktkopplung

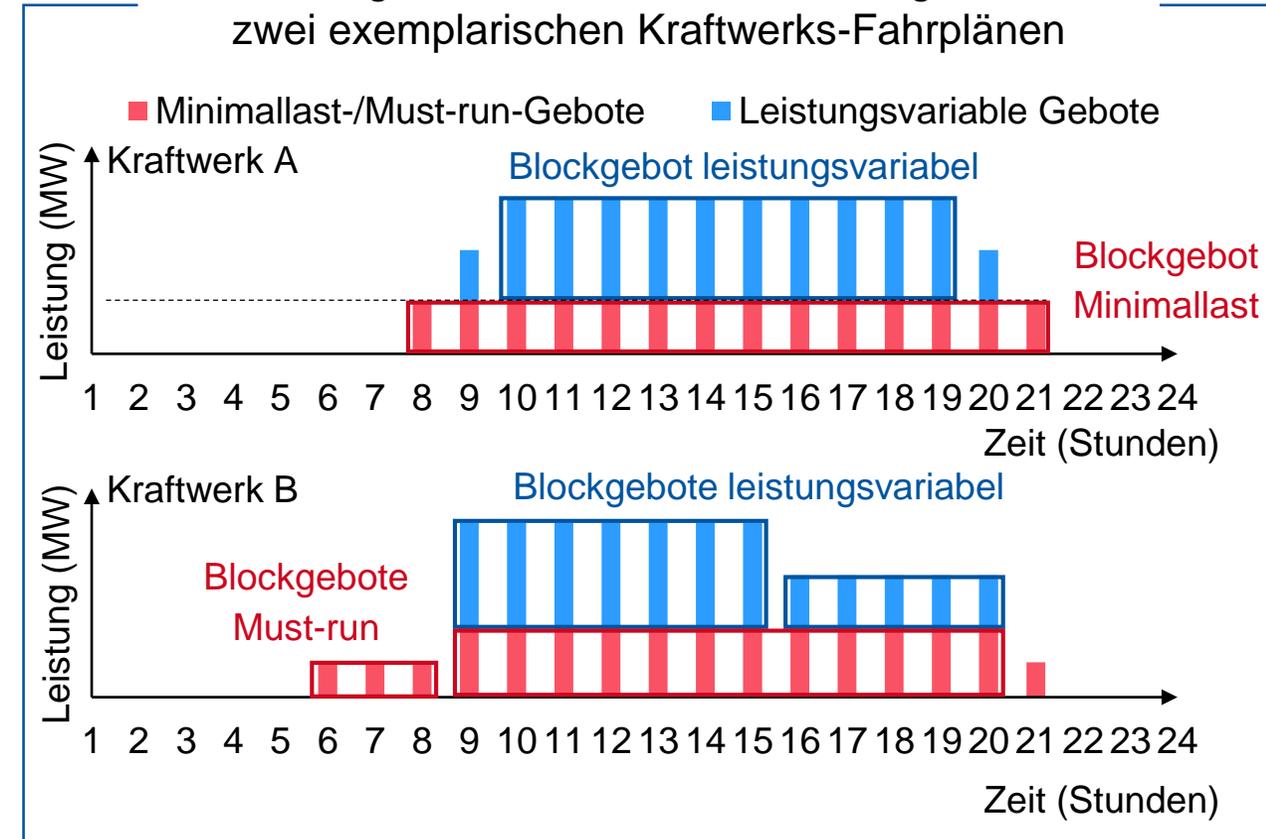
- Berücksichtigung zeitgekoppelter Gebotstypen mittels zeitkoppelter Nebenbedingungen im linearen Optimierungsproblem des Marktkopplungsalgorithmus einer europäischen Strommarktsimulation

Modellierung der Marktkopplung mit EUPHEMIA-Gebotstypen

Determinierung des Gebotstypen-Einsatzes: Blockgebote

- Aufteilung der stündlichen Vermarktung jedes Kraftwerks in je ein Gebot für Minimal-, oder Must-run-Komponente und ein zusätzliches Gebot für den variablen Teil der Kraftwerksleistung
 - Definierung von Blockgeboten für beide Gebotskomponenten unabhängig voneinander
 - Zusammenfassung von aufeinanderfolgenden, stündlichen Geboten einer Einheit mit derselben Gebotsmenge und demselben Gebotspreis
 - Aktivierung aller stündlichen Einzelgebote eines solchen Blockes mit der gleichen Annahmquote in der Marktkopplung
- Verhinderung stündlich volatiler Kraftwerksabrufe in der Marktkopplung, welche die Mindestbetriebs- oder Mindeststillstandzeit verletzen könnten

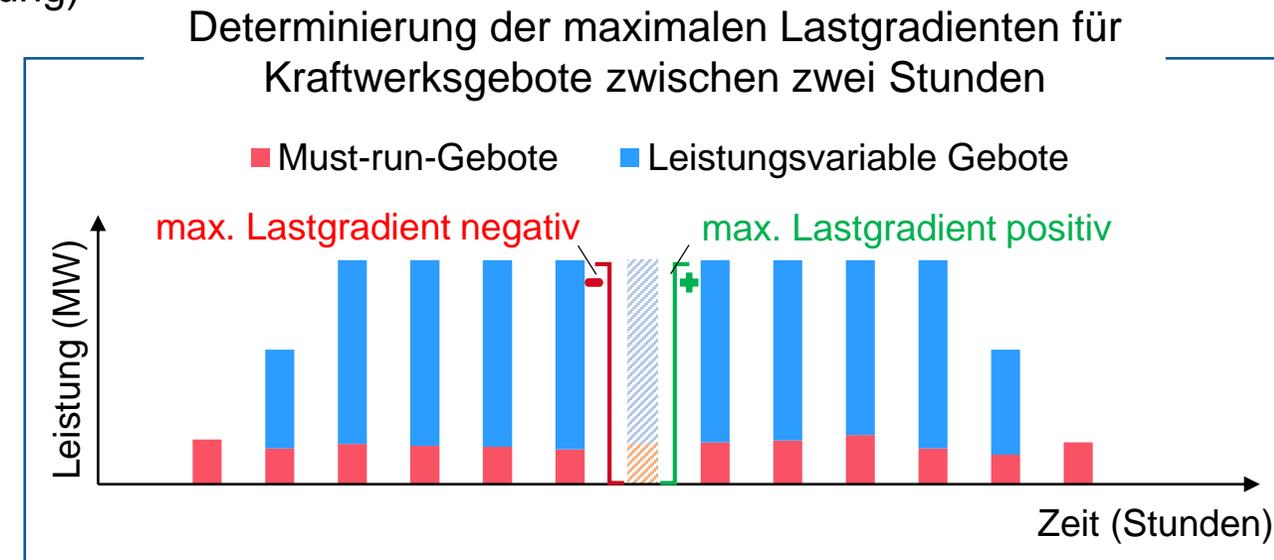
Darstellung der Identifikation von Blockgeboten an zwei exemplarischen Kraftwerks-Fahrplänen



Modellierung der Marktkopplung mit EUPHEMIA-Gebotstypen

Determinierung des Gebotstypen-Einsatzes: Verknüpfte Blockgebote und LGC-Gebote

- Verknüpfte Blockgebote
 - Kopplung der (Block-)Gebote für die Must-run-, bzw. Minimal Komponente und den variablen Teil der Kraftwerksleistung
 - Vermarktung der Must-run-/Minimalleistung als „parent block“ und des variablen Teils der Kraftwerksleistung als „child block“
 - Abrufung des child blocks in der Marktkopplung nur bei vollständiger Annahme des parent blocks
 - Garantieren der Erfüllung der physikalischen Mindestleistung, bevor höhere Kraftwerksleistungen angefahren werden
- LGC-Gebote (Komplexe Gebote mit Lastgradientenbedingung)
 - Verhinderung des Auftretens von unzulässig hohen Lastgradienten am Rand von Blockgeboten oder zwischen stündlichen Einzelgeboten in marktlichen Fahrplänen bei entsprechenden Preissignalen
 - Einsatz nur bei möglicher Übersteigerung der maximalen Leistungsgradienten des Kraftwerksabrufes in zwei aufeinanderfolgenden Stunden
 - Garantieren der Einhaltung physikalisch möglicher Lastgradienten



Modellierung der Marktkopplung mit EUPHEMIA-Gebotstypen

Mathematische Formulierung am Beispiel der Blockgebote

Zielfunktion

$$\max \sum_{t \in T} \sum_{o \in O'(t)} -(q_o \cdot p_o) \cdot A_o + \boxed{\sum_{b \in B(T)} \sum_{t \in \tau(b)} -(q_b \cdot p_b) \cdot A_b}$$

Blockgebote

Nebenbedingungen

$$s. t. \sum_{o \in O(m,t)} q_o \cdot A_o + \boxed{\sum_{b \in B(m,t)} q_b \cdot A_b} - nex_m(t) = 0 \quad \forall m \in M, t \in T$$

Blockgebote

Nettoexportmenge

$$nex_m(t) = \sum_{j \in M \setminus m} F_{m,j}(t) - F_{j,m}(t) \quad \forall m \in M, t \in T$$

Mengensaldierter Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch

$$\sum_{m \in M} nex_m(t) = 0 \quad \forall t \in T$$

Annahmequote stündliches Gebot

$$0 \leq A_o \leq 1 \quad \forall o \in O'(T)$$

Annahmequote Blockgebot

$$\boxed{0 \leq A_b \leq 1} \quad \forall b \in B(T)$$

Beschränkung durch NTC

$$0 \leq F_{i,j}(t) \leq F_{i,j}^{max} \quad \forall \{i \in M, j \in M | i \neq j\}, t \in T$$

| | |
|---|--|
| Optimierungsintervall | T |
| Marktgebiet | $m \in M$ |
| Einzelgebot | $o \in O(T)$ |
| Gebotsmenge | q_o |
| Gebotspreis | p_o |
| Blockgebot | $b \in B(T)$ |
| Menge aller Einzelgebote nach Erweiterung der Blockgebote | $O'(T) = O(T) \setminus \{o(b) b \in B(T)\}$ |
| Menge der korrespond. Stunden des Blockgebots | $\tau(b) = \{t o \in O(t), \forall o \in O(b)\} \subseteq T$ |

- Erweiterung der Zielfunktion und Nebenbedingungen (NB) um Blockgebote
- Einzelgebote werden durch determinierte Blockgebote ersetzt
- Anzahl der Optimierungsvariablen wird verringert
- Anzahl der NB-Ungleichungen nimmt zu

Hintergrund und Motivation

Modellierung der Marktkopplung mit EUPHEMIA-Gebotstypen

▶ **Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse**

Zusammenfassung und Ausblick

Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse

Untersuchungsprogramm

Szenariorahmen

- Distributed Energy-Szenario für das Zieljahr 2030 aus dem Ten-Year Network Development Plan 2020 (TYNDP 2020)
- Austausch zwischen Marktgebieten durch Nettoübertragungskapazitäten (NTC) begrenzt
- Betrachtung von 2399 thermischen Kraftwerken
- Räumlicher Betrachtungsbereich: europäischer Raum



Betrachtete Modellierungsansätze

- Lineares Programm (LP) ohne zeitgekoppelte Gebotstypen
- Lineares Programm (LP) mit zeitgekoppelten Gebotstypen

Untersuchungen

- Rechenkomplexität
- Gebotsallokation der Kraftwerke

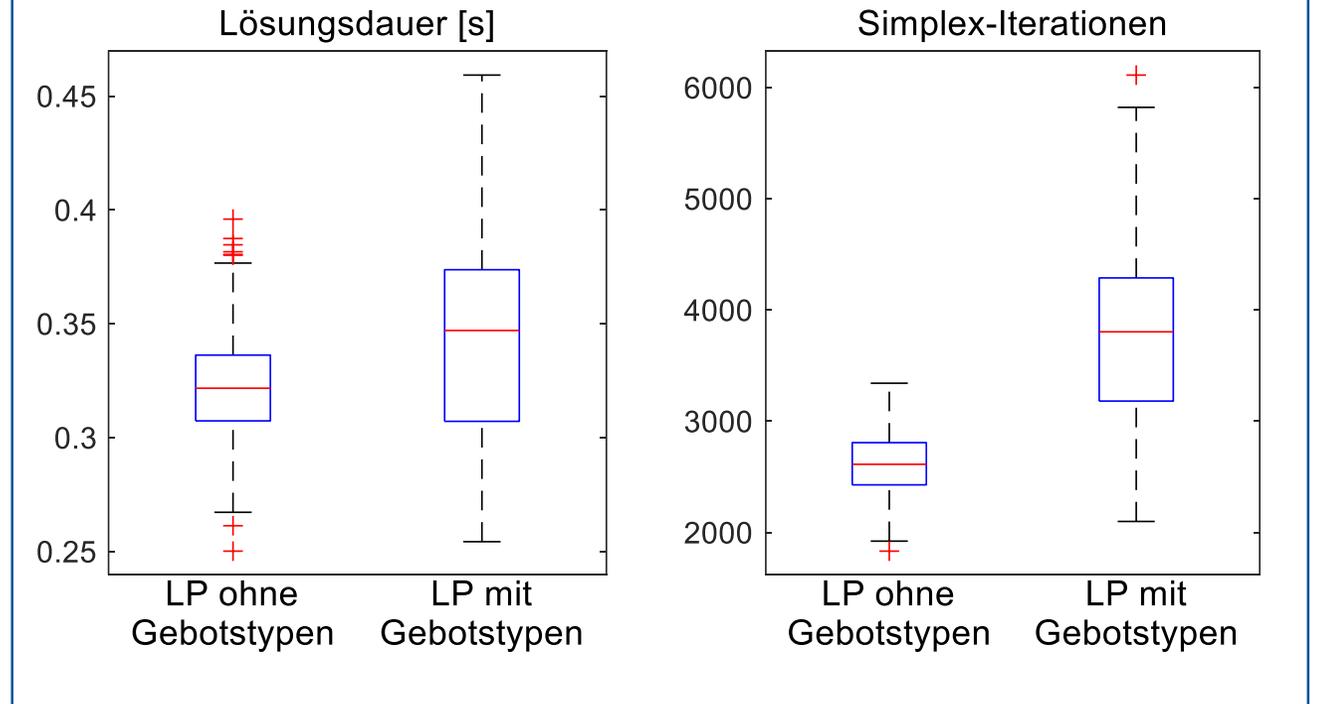
Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse

Untersuchung der Rechenkomplexität

- Bewertung anhand der praktischen Lösungsdauer des Solvers sowie der erforderlichen Simplex-Iterationen
- Zunahme der Lösungsdauer im Durchschnitt um 6,7 %
- Steigerung der Anzahl der Simplex-Iterationen um 43,7 %
- Höhere Streuung der Rechenkomplexität

→ Keine signifikante Zunahme der Komplexität in der Problemstruktur durch das Hinzufügen erschwerender Nebenbedingungen

Boxplot der Verteilung der Lösungsdauer und der Simplex-Iterationen über die simulierten Marktkopplungs-Probleme



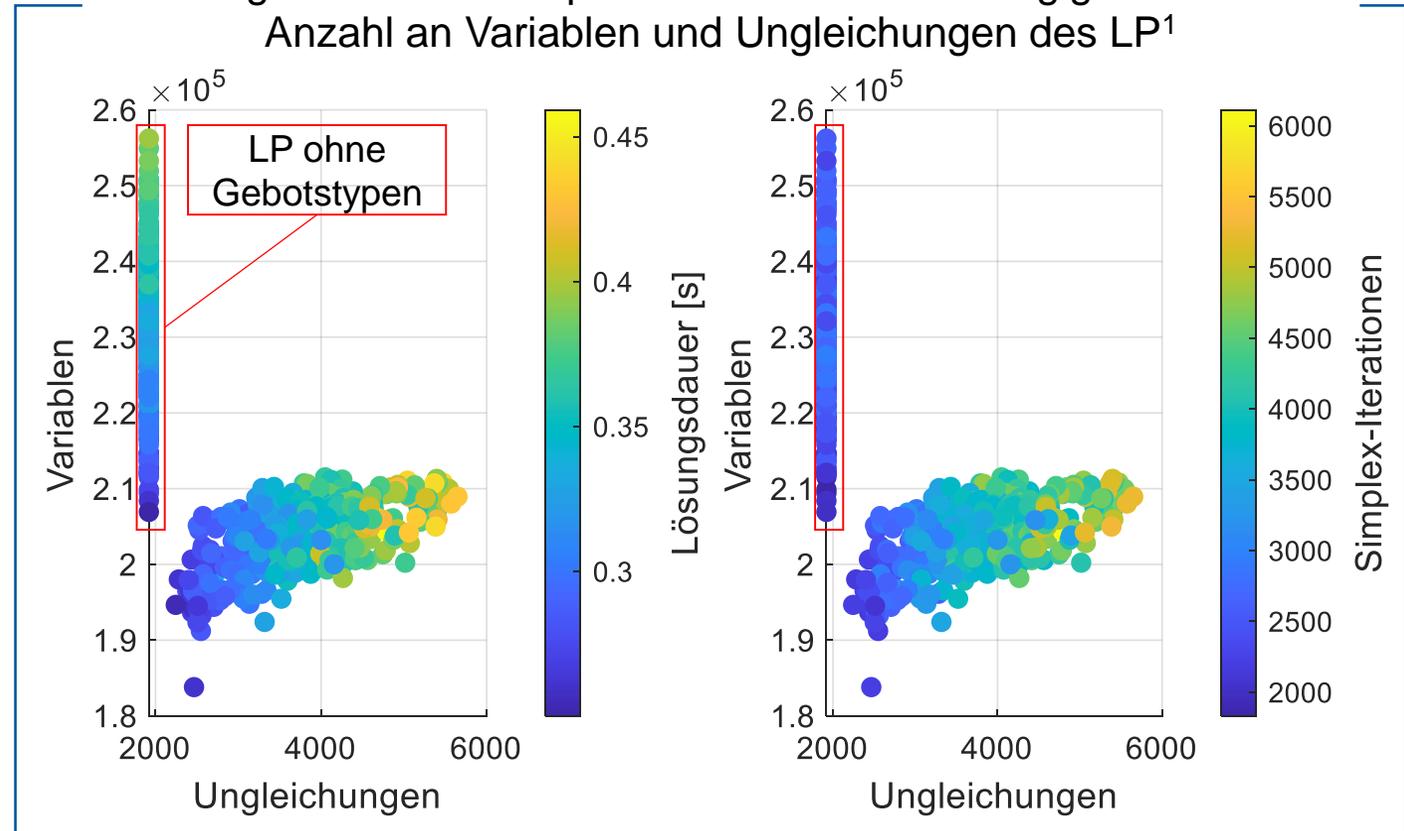
Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse

Untersuchung der Rechenkomplexität

- Untersuchung der Rechenkomplexität in Abhängigkeit von der Anzahl an Variablen und Ungleichungen des LP
- LP ohne Gebotstypen
 - Konstante Anzahl von NB für den Ausgleich der Systembilanz
- LP mit Gebotstypen
 - Verringerung der Anzahl an Variablen durch Zusammenfassung dieser in Blockgebote
 - Zunahme der Anzahl an NB-Ungleichungen durch die Zeitkopplung
- Durchschnittliche Anzahl der Gebotstypennutzung:
 - Verknüpfte Blockgebote: 685,5
 - LGC-Gebote: 610,2
 - Blockgebote: 2137,4

→ Häufiger Einsatz von Blockgebote

Lösungsdauer und Simplex-Iterationen in Abhängigkeit von der Anzahl an Variablen und Ungleichungen des LP¹

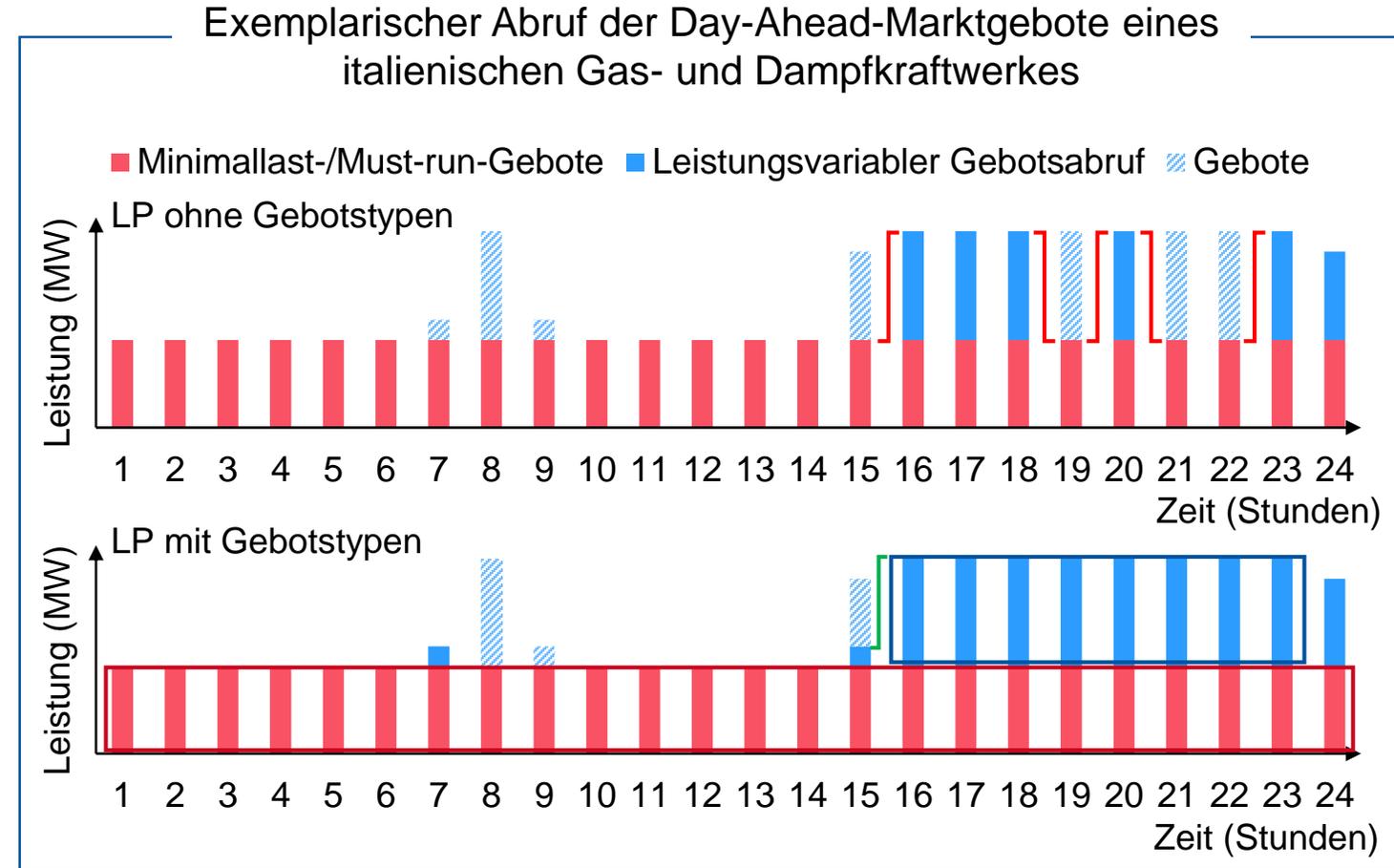


¹) Keine Berücksichtigung der Schranken der Optimierungsvariablen in den NB-Ungleichungen in der Abbildung

Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse

Untersuchung der Gebotsallokation

- LP ohne Gebotstypen
 - Unstetiger Abruf der Kraftwerksgebote durch volatile Preissignale möglich
 - Relativer Anteil an Verletzungen von maximalen Kraftwerksgradienten: 0,1 %
 - Profit-maximierende Fahrweise in jeder Stunde
 - LP mit Gebotstypen
 - Deutliche Verringerung von Verletzungen technischer Restriktionen bei LP mit Gebotstypen
 - Gänzliche Vermeidung von Verletzungen von Mindestbetriebs- und Mindeststillstandzeiten
 - Verringerung der Verletzung der maximalen Kraftwerksgradienten um 96,1 %
 - Angenommenes Blockgebot in sich geschlossen profitabel
- Gesamtökonomisch Verringerung der Wohlfahrt durch zusätzliche NB, da keine Berücksichtigung übermäßiger Kosten für den Ausgleich technisch invalider Positionen



Hintergrund und Motivation

Modellierung der Marktkopplung mit EUPHEMIA-Gebotstypen

Untersuchung exemplarischer Modellergebnisse

▶ Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Entwicklung einer Methodik zur Integration zeitgekoppelter Gebotstypen aus dem EUPHEMIA-Algorithmus in ein lineares Optimierungsmodell für die Marktkopplung in einer europäischen Strommarktsimulation
- 2-Stufiger Modellierungsansatz
 - Determinierung der Gebotstypen-Anwendung auf prädeterminierte stündliche Gebotszeitreihen thermischer Kraftwerke
 - Einbindung von zeitgekoppelten Nebenbedingungen in ein lineares Marktkopplungs-Optimierungsproblem
- Ergebnis exemplarischer Untersuchungen
 - Geringfügige Auswirkung auf die Rechenkomplexität durch Hinzufügen zeitgekoppelter Nebenbedingungen
 - Realitätsnähere Abbildung des Gebotsverhalten durch Verringerung der Verletzung technischer Restriktionen in der Marktkopplung

Ausblick

- Implementierung zeitgekoppelter Gebotstypen für weitere Marktteilnehmer wie z.B. für flexible Verbraucher oder Speichern
- Untersuchung der zeitlichen Flexibilität von Verbrauchern und Speichern

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**



M.Sc. Peter Wirtz

RWTH Aachen University

Institut für Elektrische Anlagen & Netze,
Digitalisierung und Energiewirtschaft

Übertragungsnetze und Energiewirtschaft

Tel. +49 (0) 241 / 80 92474

p.wirtz@iaew.rwth-aachen.de