

Übung 3 – Kraftwerkseinsatzplanung

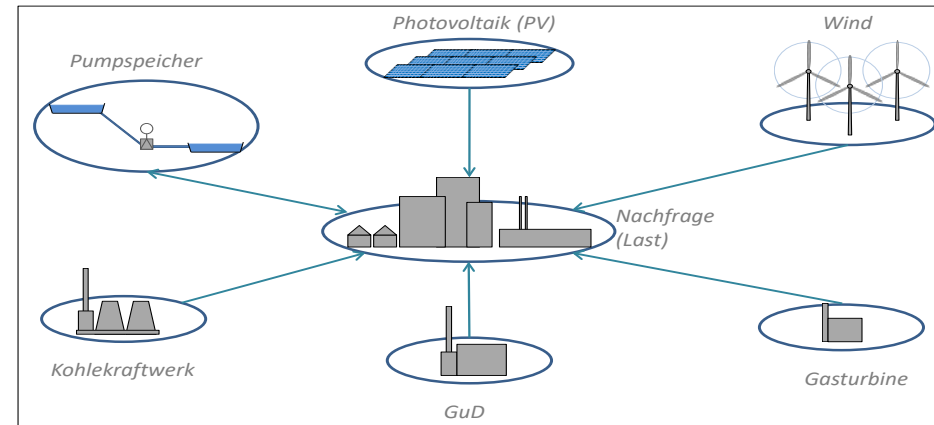
VU Energiemodelle und Analysen 2020

Theresia Perger

04.05.2020

Stromversorgungssystem

- abgeschlossenes System
(kein Import & Export möglich)
- Fossile Kraftwerke
- Erneuerbare Erzeugung
- Speicher
- Erneuerbare Erzeugung muss
abgenommen werden (priority feed-in)



Fossile Kraftwerke:		Kohle- kraftwerk	GuD - Kraftwerk	Gas- turbine
Leistung	[MW]	600	400	300
Wirkungsgrad		41%	58%	40%

Brennstoffe und Emissionen:		Steinkohle	Erdgas
Brennstoffkosten	[€/MWh _{prim}]	10	25
CO ₂ -Emissionsfaktoren	[tCO ₂ /MWh _{prim}]	0.35	0.2

CO ₂ -Zertifikatspreis	[€/tCO]	7
-----------------------------------	---------	---

Erneuerbare Erzeugung:		Wind	PV
Einspeisevergütung	[€/MWh]	70	100

Pumpspeicher:		Pumpspeicher
Elektrische Leistung (Pumpen & Turbinieren)	[MW]	siehe Zuordnung
Speicherkapazität	[MWh]	600
Wirkungsgrad Pumpen		90%
Wirkungsgrad Turbinieren		90%

Nehmen Sie folgende Daten gruppenabhängig aus dem Excel-file *Last_PV_Wind.xlsx*

	Last		Wind		PV		Speicher	
Gruppe	Sommer	Winter	300 MW	500 MW	100 MW	200 MW	200 MW	300 MW
1	x		x		x		x	
2	x		x		x			x
3	x		x			x	x	
4	x		x			x		x
5	x			x	x		x	
6	x			x	x			x
7	x			x		x	x	
8	x			x		x		x
9		x	x		x		x	
10		x	x		x			x
11		x	x			x	x	
12		x	x			x		x
13		x		x	x		x	
14		x		x	x			x
15		x		x		x	x	
16		x		x		x		x

Aufgabe 3.1 – Fossile Erzeugung

- a) Ermitteln Sie den kostenminimalen Kraftwerkseinsatz sowie die Gesamtkosten der Stromversorgung und die Treibhausgas (THG) -emissionen **ohne erneuerbarer Erzeugung und Speicher** (als Hilfestellung nehmen Sie das Matlab-File *Kraftwerkseinsatzplanung_Basis.m*).
- b) Stellen Sie die Situation grafisch dar.
- c) Geben Sie die stündlichen Werte der Schattenvariable der Beschränkung der Lastdeckung an. Wie kann diese Schattenvariable interpretiert werden? Bei Yalmip der Anleitung von <https://yalmip.github.io/command/dual/> folgen.
- d) Bestimmen Sie den stündlichen Strompreis unter optimalem Wettbewerb.

Hinweis: Unter Gesamtkosten sind hier nur die kurzfristigen Erzeugungskosten gemeint. Alle weiteren Kostenkomponenten (Investitionskosten, Betriebskosten etc.) werden hier nicht betrachtet. In einer langfristigen Gesamtbetrachtung müssen diese natürlich mitberücksichtigt werden.

Aufgabe 3.2 – Erneuerbare Erzeugung

- a) Ermitteln Sie den kostenminimalen Kraftwerkseinsatz sowie die Gesamtkosten und Treibhausgas-Emissionen der Stromversorgung **inklusive erneuerbarer Erzeugung** aber **ohne Speicher**. Beachten Sie dabei die Einspeisevergütung und den Priority-Feed-In der Erneuerbaren.
- b) Stellen Sie die Situation graphisch dar!
- c) Geben Sie wieder den stündlichen Strompreis an.

Aufgabe 3.3 – Speicher

- a) Ermitteln Sie den kostenminimalen Kraftwerkseinsatz sowie die Gesamtkosten und THG-Emissionen **inklusive erneuerbarer Erzeugung und Speicher**.
- b) Wie sieht das Modell inkl. Speicher mathematisch aus? Geben Sie die geänderte Zielfunktion und zusätzlichen Nebenbedingungen an.
- c) Verändert der Speichereinsatz die Emissionen (steigend oder fallend)? Falls dies der Fall ist, aus welchem Grund? Was hat dies für Auswirkungen in der Realität?
- d) Wie ändern sich die stündlichen Strompreise?
- e) Vergleichen Sie die Einsatzkosten (ohne zusätzliche Vergütungen) und Emissionen von Punkt 1, 2 und 3 miteinander. Was können Sie daraus schließen?

Aufgabe 3.4 – Kosten vs. Emissionen

- a) Ändern Sie die Zielfunktion des Optimierungsmodells (Punkt 2 und 3 jeweils getrennt) von (i) $\min(\text{Gesamtkosten})$ zu (ii) $\min(\text{Gesamtemissionen})$. Was passiert mit den Gesamtkosten bzw. Gesamtemissionen?
- b) Stellen Sie die Lösung graphisch dar!
- c) Verwenden Sie nun wieder Modell (i) und erhöhen Sie den CO_2 -Preis ausgehen von 0 EUR/t $_{\text{CO}_2}$ stetig und tragen Sie die jeweiligen Punkte ein Diagramm (Gesamtkosten und Gesamtemissionen in Abh. des CO_2 -Preises) ein. Was fällt Ihnen auf?
- d) Wie hoch muss der CO_2 -Preis in (i) sein, damit die Emissionen mit der Lösung von (ii) übereinstimmen?

Aufgabe 3.5 – Emissionsschranken und Dualität

- a) Betrachten Sie die in Aufgabe 3.4 ermittelten minimalen Emissionen als Schranke für die maximalen CO_2 -Emissionen, die innerhalb des Betrachtungszeitraumes ausgestoßen werden dürfen, und lösen Sie das *kostenminimale System* aus Punkt 2 (mit Erneuerbaren, ohne Speicher) mit der neuen Nebenbedingung. Verwenden Sie hierbei einen CO_2 -Preis von 0 EUR/t CO_2 .
- b) Analysieren Sie die Schattenvariablen (duale Variable) der Emissionsbeschränkung. Was fällt Ihnen auf?
- c) Schlussfolgerungen: Welcher Zusammenhang besteht zwischen dualer Variable der Emissionsbeschränkung (Schattenpreis der Emissionen) und dem CO_2 -Preis ?

Aufgabe 3.6 – Erweiterung der Modellierung

- a) Die bisherigen Modelle haben nur die kurzfristigen Grenzkosten der Kraftwerke berücksichtigt. Wie würde das Optimierungsmodell aus Aufgabe 3.1 aussehen, wenn statt der kurzfristigen die langfristigen Grenzkosten in die Berechnung aufgenommen werden müssen? Wie kann man die langfristigen Kosten in der Kraftwerkseinsatzplanung berechnen?

- b) Haben Sie Vorschläge, wie Startkosten (ramp-up-costs) und maximale Laständerungen der Kraftwerke modelliert werden können? Ist eine solche Modellierungserweiterung im Rahmen eines LP noch möglich? Was ist der Nachteil, wenn das Modell nicht durch ein LP darstellbar ist? Hinweis: Führen Sie eine Literaturrecherche (Stichwort: Unit Commitment Model) durch.

Abgabe

1. Protokoll

- Ergebnisse und Lösungsweg kommentieren (überflüssigen Text vermeiden!)
- Das Erscheinungsbild und die wissenschaftliche Gestaltung des Protokolls wird in die Beurteilung miteinbezogen.
 - <https://www.wissenschaftliches-arbeiten.org/>
 - Kriterien: Inhaltsverzeichnis, Abbildung- und Tabellenbeschriftung, Verweise, Modellbeschreibung, Lesbarkeit...
- Eine LaTeX Vorlage finden Sie im TUWEL (nicht verpflichtend).
- Abgabe des Protokolls als pdf Datei.

2. Matlab Code

Als Gruppenabgabe (Protokoll + Code gemeinsam als zip) ins TUWEL hochladen!

Deadline: 24.05.2020, 23:59 (keine spätere Abgabe möglich)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN



Theresia Perger

TU Wien
Energy Economics Group – EEG
Gußhausstraße 25-29/E 370-3
1040 Vienna, Austria

+43 (1) 58801 370359
perger@eeg.tuwien.ac.at
www.eeg.tuwien.ac.at