

# Kurzfristige Einsatzoptimierung eines thermischen Kraftwerksblocks

(6) Modellierung

Jungautor Dominik PUTZ<sup>1</sup>

EVN AG, TU Wien Energy Economics Group

## Motivation und zentrale Fragestellung

Die Einsatzoptimierung von Energieversorgungsunternehmen (EVU) hat als Aufgabe den optimalen Kraftwerkseinsatz zur jeweiligen Marktsituation zu gewährleisten. Die EVUs nutzen dafür entwickelte und angepasste Softwarelösungen mit Schwerpunkt Optimierung. Durch die steigenden Anforderungen und den Grad an Komplexität ist es für die Softwareentwicklung eine größer werdende Herausforderung optimale und zugleich performante Lösungen zu bieten.

Ziel der Arbeit ist, anhand einer zu programmierenden Applikation die Vorteile der noch jungen Programmiersprache Julia anhand Backward-Dynamic-Programming im Vergleich zu Mixed Integer Linear Programming mittels GUROBI in MatLab auszuloten. Der Schwerpunkt der Analyse soll dabei bei der Optimierungsdauer, Speicherbedarf und Bedienbarkeit liegen und mit anderen Lösungen verglichen werden.

## Methodische Vorgangsweise

Bei dem zu modellierenden thermischen Kraftwerksblock handelt es sich um einen fiktiven Gas- und Dampf- Kombikraftwerksblock. Das Modell optimiert den Abrufplan in Abhängigkeit des Strompreises. Die Daten für den Strompreis werden von der EXAA bezogen. Das Modell hat speziellen Einschränkungen und Rahmenbedingungen zu genügen, damit der errechnete Abrufplan auch tatsächlich umsetzbar ist, wie zum Beispiel

- Maximale und minimale elektrische Leistung des Kraftwerksblocks
- Minimale Betriebs- und Stillstandsdauer
- Anfahrtrampen kalt/warm/heiß und Abfahrtrampe für elektrische Leistung und Brennstoffwärmeleistung
- Maximaler Leistungsänderungsgradient
- Wirkungsgradverlauf über quadratisch inverse Produktionsfunktion
- CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor Brennstoff
- elektrische Zusatzkosten

Das Optimierungsproblem wird auf zwei Arten gelöst. Einerseits anhand einer gemischt-ganzzahlig linearen Optimierung (MILP) mittels GUROBI in MatLab. Grundsätzlich besteht sie aus einer zu optimierenden Zielfunktion und aus einer festgelegten Anzahl an Gleichungen und Ungleichungen, die das mathematische Problem beschränken. Die Lösung muss alle Gleichungen und Ungleichungen erfüllen, um als gültige Lösung zu existieren, andernfalls ist die Zielfunktion nicht optimierbar.

Die dynamische Programmierung (DP) in Julia dient als Vergleich. Der Vorteil von DP besteht darin, dass sich die optimale Lösung des Problems aus den optimalen Lösungen der Teilprobleme zusammensetzt. Die Teilprobleme sind einfacher zu lösen bzw. zu optimieren und lassen sich somit als optimale Lösung des Gesamtproblems heranziehen. Des Weiteren werden einmal berechnete Lösungen von Teilproblemen gespeichert und bei gleichartigen Teilproblemen wird auf diese Zwischenlösung zurückgegriffen, anstatt sie erneut zu berechnen.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Performancevergleich schneidet die dynamische Programmierung signifikant besser ab, als die gemischt-ganzzahlig lineare Optimierung, veranschaulicht in Tabelle 1.

Die Optimierungsdauer bei MILP Problemen nimmt mit steigender Schrittzahl drastisch zu (mindestens quadratisch), bis sie in absehbarer Zeit nicht mehr lösbar ist (in Tabelle 1 ab 4 Monaten ersichtlich). Des Weiteren hängt die Simulationsdauer von den Randdaten ab, mit denen das Modell

---

<sup>1</sup> Trinkhausstraße 3/2/10, 1110 Wien  
+43 664/88987003  
dominik.putz@interconnect.at

zu arbeiten hat und dies kann weiterhin zu einer starken Schwankungsbreite für die Simulationsdauer führen.

Die dynamische Programmierung hingegen ist von den gegebenen Daten entkoppelt. Die Simulationsdauer steht in linearer Beziehung zur Schrittzahl. Als Nachteil jedoch wird der höhere Grad an Komplexität in der Implementierung im Gegensatz zu MILP in Kauf genommen. Als sehr schwierig in der Einbindung in das Modell haben sich die unterschiedlichen Anfahrtrampen erwiesen.

*Tabelle 1 Auswertung der Simulationsdauer von gemischt-ganzzahliger linearer Optimierung und dynamischer Programmierung (System: Windows 7 Enterprise 64 Bit, Intel Core i5 6500 3,20 GHz, 16 GB RAM)*

<b>Auswertung</b>		<b>MILP</b>	<b>DP</b>
<b>Art</b>	<b>Schritte</b>	<b>Simulationsdauer in Sekunden</b>	
<b>1 Tag</b>	96	4,67	0,18
<b>1 Woche</b>	672	43,93	0,25
<b>2 Wochen</b>	1344	254,40	0,29
<b>3 Wochen</b>	2016	157	0,30
<b>1 Monat</b>	2688	350	0,35
<b>2 Monate</b>	5376	1122	0,59
<b>3 Monate</b>	8064	2581	0,86
<b>4 Monate</b>	10752	n.v.	1,14
<b>6 Monate</b>	16128	n.v.	1,67
<b>1 Jahr</b>	35040	n.v.	3,72

Für die Energieversorgungsunternehmen ist eine hoch performante Lösung von entscheidender Bedeutung. Sie ermöglicht die Planung und Adaptierung von Fahrplänen unter minimalen Zeitaufwand. So wird die beispielsweise die Zeitanforderung von einer standardmäßigen 4 Wochen Prognose von 350 Sekunden mit MILP, auf 0,35 Sekunden durch DP verkürzt, was dem Faktor 1.000 entspricht und einen signifikanten Vorteil bei Marktentscheidungen für EVUs in der Realität bringt. Bei einer noch größeren Schrittzahl oder steigendem Grad an Komplexität, fällt der Vorteil der dynamischen Programmierung noch stärker aus.