

# METHODEN ZUR REDUKTION DER RECHENZEIT LINEARER OPTIMIERUNGSMODELLE IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT – EINE PERFORMANCE-ANALYSE

Karl-Kiên CAO<sup>1</sup>, Ambros GLEIXNER<sup>2</sup>, Matthias MILTENBERGER<sup>2</sup>

## Hintergrund

Liberalisierung und zunehmende Dezentralisierung in der Energiewirtschaft führen dazu, dass Energieversorgungssysteme stetig komplexer werden. Vor dem Hintergrund der angestrebten Schaffung gemeinsamer Energiebinnenmärkte und der fortschreitenden Transformation des Energiesystems hin zu einer verstärkten Sektor-Kopplung und hohen Stromversorgungsanteilen aus dezentralen Erzeugungsanlagen kann von einer Fortführung dieses Trends ausgegangen werden. In diesem Zusammenhang stehende, neue energiewirtschaftliche und energiepolitische Fragestellungen werden häufig mit Hilfe von Optimierungsmodellen untersucht.

Die zunehmende Komplexität des zu modellierenden Systems führt allerdings dazu, dass heutige Energiesystemmodelle an ihre Grenzen in Bezug auf die vertretbare Rechenzeit stoßen. Denn die sich ergebenden linearen Optimierungsprobleme (LPs) erreichen mittlerweile Größenordnungen, die zum Zeitpunkt der Entwicklung der verwendeten Lösungsalgorithmen keine anwendungsnahe Relevanz hatten.

Eine Vielzahl an Arbeiten im Bereich der Energiesystemanalyse, die sich mit dieser Herausforderung konfrontiert sieht, begegnet ebendieser mit unterschiedlichen Strategien. Naheliegend aus Anwendersicht ist die Reduktion der Modellgröße entweder durch die Verkleinerung der Modellauflösung oder mittels verstärkter Einschränkung des Untersuchungsgebiets, innerhalb der zeitlichen, räumlichen oder technologischen Dimensionen des Modells. Dazu zählen unter anderem 1. die Aggregation bzw. Reduktion von Modellknoten, 2. die Verringerung der Anzahl berücksichtigter Technologien, 3. die Vergrößerung von Zeitschritten und 4. die Verkleinerung betrachteter Zeitperioden, beispielsweise durch die Verwendung von „Typ-Tagen“. Zwar ist die Anwendung dieser Strategien häufig Teil der Methodik inhaltlicher Studien, systematische Benchmarks zur Bewertung ihrer Effektivität werden jedoch meist nicht durchgeführt.

## Untersuchungsschwerpunkt und Methodik

Neben der Erstellung einer Übersicht und der Kategorisierung existierender Ansätze zur Reduzierung der Rechenzeit in Energiesystemmodellen adressiert die vorliegende Arbeit genau diesen Sachverhalt. Hierzu werden LP-Instanzen verschiedener Größenordnungen des Modells REMix [1] generiert. Diese unterscheiden sich jeweils in den o.g. Modellcharakteristika (1.-4.) und ferner darin, inwieweit zusätzlich eine Ausbauplanung (5.) für bestimmte Technologien zulässig ist. Unter Berücksichtigung einer dreistufigen Differenzierung der jeweiligen Modellcharakteristika in „min“, „std“, „max“ wird für eine Anzahl von 45 Modellinstanzen ein Benchmarking kommerzieller Löser (u.a. CPLEX und MO-SEK) durchgeführt. Neben dem Einsatz unterschiedlicher Lösungsalgorithmen, wie dem Simplex- oder Barrier-Verfahren (mit und ohne Crossover), wird sowohl der Speed-Up mittels Multithreading als auch die Skalierung der LP-Instanzen analysiert. Für letzteres werden im Folgenden Modellinstanzen, welche sich jeweils nur in einem Merkmal (1.-5.) unterscheiden, miteinander verglichen. Als wesentliche Indikatoren dienen hierzu zum einen die Modellgröße (Anzahl der „non-zeros“ im LP) und zum anderen die Zeitdauer zum Lösen des Optimierungsproblems.

---

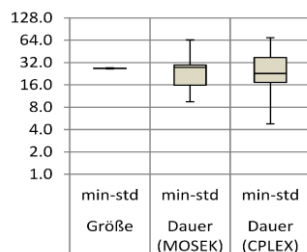
<sup>1</sup> Institut für Technische Thermodynamik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Tel.: +49 711 6862-459, [karl-kien.cao@dlr.de](mailto:karl-kien.cao@dlr.de), [www.dlr.de/tt](http://www.dlr.de/tt)

<sup>2</sup> Zuse Institut Berlin, Takustraße 7,  
{Tel.: +49 30 84185-169, [gleixner@zib.de](mailto:gleixner@zib.de)},  
{Tel.: +49 30 84185-245, [miltenberger@zib.de](mailto:miltenberger@zib.de)},  
[www.zib.de](http://www.zib.de)

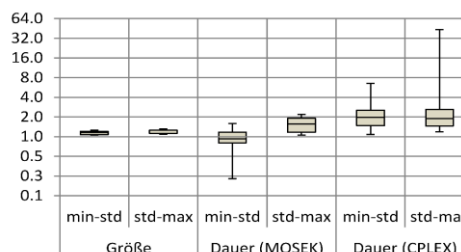
## Exemplarische Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse zeigen im Allgemeinen, dass sich im Vergleich der Lösungsverfahren die Verwendung des Barrier-Lösungsverfahrens ohne anschließenden Crossover empfiehlt. Die folgenden Abbildungen veranschaulichen für eine Auswahl von Modellinstanzen, die so gelöst wurden, inwieweit sich Modellgröße und Lösungsdauer erhöhen, wenn einerseits die im Modell betrachtete Zeitspanne (4.) und andererseits der Grad der zulässigen Ausbauplanung (5.), verändert werden. Konkret bedeutet dies im Falle von ersterem eine Verlängerung des modellierten Zeithorizonts von einem Tag („min“) auf 30 Tage („std“). Anhand des Box-Plots auf der linken Seite von Abbildung 1 wird erkenntlich, dass die Modellgröße in allen Fällen nahezu proportional dazu skaliert. Dies gilt im Mittel zwar weitestgehend auch für die Dauer zum Lösen des Optimierungsproblems, diese variiert allerdings stärker. Je nach Modellkonfiguration erhöht sie sich um das 5- bis 70-fache.

Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 2, inwieweit die Modellinstanzen skalieren, wenn einerseits lediglich die Ausbauplanung einer flexiblen Stromerzeugungstechnologie („min“) zulässig ist, andererseits aber auch zusätzlich Übertragungsnetzkapazitäten („std“) oder sogar Energiespeichertechnologien („max“) bei der Ausbauplanung hinzukommen. Während sich hierdurch die Modellgröße nur minimal ändert, wird deutlich, dass sich zwar für einen Großteil der untersuchten Instanzen die Lösungsdauer um nicht mehr als das 2,5-fache erhöht, sie in bestimmten Fällen aber auch erheblich zunimmt. Dies ist jedoch nicht auf die Modellgröße zurückzuführen, denn die höchsten Rechenzeiten ergeben sich u.a. für eine Instanz der Größenklasse „medium“, wo Ausbauplanung von Übertragungskapazitäten und Speichern gleichzeitig stattfindet und die maximale Anzahl an Modellknoten berücksichtigt wird.



**Abbildung 1: Skalierung der Modellinstanzen durch Variation der berücksichtigten Zeitspanne.**



**Abbildung 2: Skalierung der Modellinstanzen<sup>1\*</sup> durch Variation der zulässigen Ausbauplanung.**

## Schlussfolgerungen und weitere Inhalte

Der hier vorgestellte Beitrag zeigt mögliche Ansätze zur Reduktion der Rechenzeit von LPs mit energie-wirtschaftlichem Anwendungshintergrund auf. Diese Ansätze bilden im Allgemeinen die Grundlage für konzeptionelle Strategien zur Beschleunigung von Energiesystemmodellen, welche häufig auf eine Vereinfachung des zu Grunde liegenden Optimierungsproblems durch dessen Zerlegung in Teilprobleme abzielen. Die gezeigten Ergebnisse legen u.a. den Schluss nahe, dass, im Vergleich von Verkürzung von Betrachtungszeiträumen gegenüber unterschiedlichen Stufen der Ausbauplanung, ersteres deutlichere Potentiale zur Senkung der Rechenzeit bietet. Dies trifft umso mehr vor dem Hintergrund zu, dass typische energiewirtschaftliche Anwendungen nicht nur wenige Tage, sondern ganze Jahreszeiträume betrachten. Folgerichtig findet deshalb auch vermehrt die Methode der rollierenden Einsatz- bzw. Ausbauplanung in der Praxis Anwendung. Weitere, hier nicht vorgestellte Analysen, zeigen zudem die Potentiale zur Rechenzeitreduktion durch Änderung der räumlichen oder zeitlichen Auflösung der LPs, sowie durch Ausnutzung der Parallelisierbarkeit des Barrier-Lösungsverfahrens.

## Verweise

- [1] „Renewable Energy Mix for sustainable electricity supply“ (Scholz Y, Gils HC, Pregger T, Luca de Tena D, Heide D: Integrated capacity expansion and operation modelling for variable renewable energy based power supply in Europe. Energy 2016 [in preparation])

<sup>1\*</sup> Diese Auswertung ist gültig für drei von vier Modellgrößen-Klassen (34 Instanzen): „small“ (< 1MB), „medium“ (<40 MB) und „large“ (<100 MB), d.h. die 12 Instanzen der Größenklasse „huge“ (<200 MB) sind in dieser Auswertung nicht berücksichtigt. Rechenumgebung: Intel Xeon CPU X5672 3.20GHz, Quad-core, 4 Threads, 48 GB Arbeitsspeicher Ubuntu Linux 14.04.1 LTS, 64 bit