

# VERGLEICH KOMMERZIELLER UND FREIER SOLVER BEI DER DURCHFÜHRUNG VON NETZBETRIEBSSIMULATIONEN

Christian BREDTMANN<sup>1</sup>, Jan KELLERMANN<sup>1</sup>, Albert MOSER<sup>1</sup>

## Hintergrund

Die Struktur der Energieerzeugung in Deutschland hat sich in den letzten Jahren, unter anderem aufgrund gesetzlicher Vorgaben zur Förderung regenerativer Erzeugungsanlagen, stark gewandelt. Wegen der Dargebotsabhängigkeit der erneuerbaren Energien, insbesondere von Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen, entstehen vermehrt dezentrale und lastferne Einspeiser. Die Folge ist ein ständiger Zuwachs des Transportbedarfs im Übertragungsnetz. Der dafür nötige Ausbau des Netzes geht jedoch wegen der mangelnden Akzeptanz in der Bevölkerung und aufgrund von langwierigen Genehmigungsverfahren nur langsamer voran als der Ausbau der dezentralen Einspeiser.

Dadurch kommt es im Übertragungsnetz zu einer stetig steigenden Anzahl von Netzengpässen, die durch netzbezogene Maßnahmen und Redispatchmaßnahmen behoben werden müssen. Die Entwicklung der Eintrittshäufigkeit von Redispatchmaßnahmen in Deutschland über die vergangenen Jahre ist in Abbildung 1 dargestellt. Im Jahr 2016 hat die Gesamtmenge an Redispatch in Deutschland dabei etwa 11,5 GWh entsprochen [1].

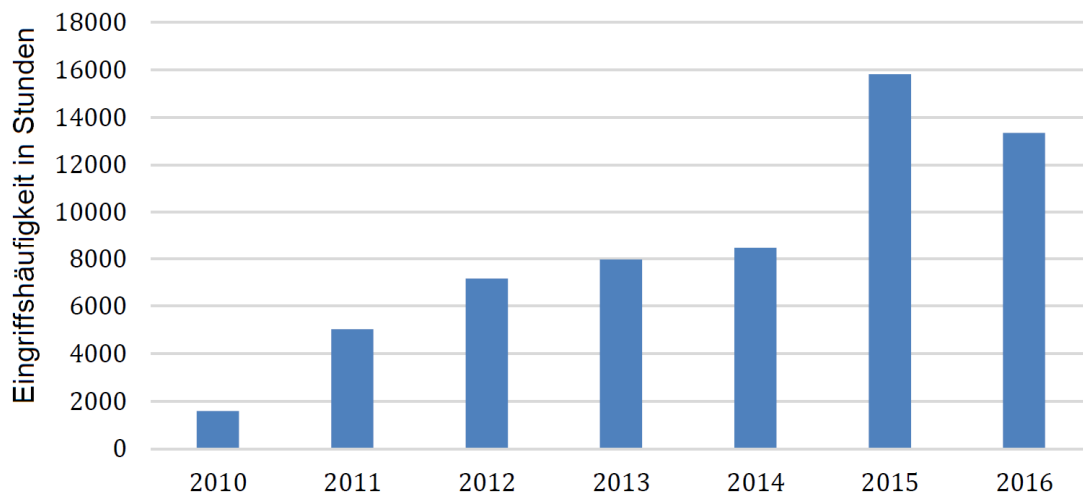


Abbildung 1: Entwicklung der Redispatchmaßnahmen im deutschen Übertragungsnetz [1]

Um einen möglichst kostenminimalen Redispatch zu bestimmen, der bestehende Engpässe behebt und einen sicheren Übertragungsnetzbetrieb auch nach möglichen Störungen im Netz ermöglicht, bietet sich der Einsatz von computerbasierten Optimierungsverfahren an. Die in diesen Verfahren durchgeführten Simulationen des Übertragungsnetzbetriebs, umfassen insbesondere Ausfallsimulationen und Optimierungen, die einen möglichst optimalen Einsatz der Kraftwerke im Netz sicherstellen sollen. Darüber hinaus werden solche Verfahren teilweise auch angewendet, um die Positionierung von Reservekraftwerken zu optimieren.

Insbesondere bei länderübergreifenden Betrachtungen mit vielen dezentralen Einspeisungen können die Modelle mehrere Tausend Netzknoten und steuerbare Elemente umfassen. Da diese Rechnung zunehmend häufiger durchgeführt und dabei immer komplexer werden [2], ist sowohl die Rechenzeit als auch die Robustheit gegenüber großen Netzmodellen der Simulationsrechnungen zu untersuchen. Die in den Simulationen zur Anwendung kommenden Solver zur Bestimmung der Lösung von Gleichungssystemen sowie Optimierungsproblemen werden im Rahmen dieses Papers daher hinsichtlich ihrer Rechenzeit, Genauigkeit und Robustheit untersucht.

<sup>1</sup> RWTH Aachen, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Schinkelstraße 6, 52062 Aachen, br@iaew.rwth-aachen.de, www.iaew.rwth-aachen.de

## Methodischen Vorgehen

Im Rahmen eines bereits bestehenden und von Übertragungsnetzbetreibern verwendeten Verfahrens zur Netzbetriebssimulation werden verschiedene Solver für die Durchführung der Optimierung angewendet und hinsichtlich ihrer Rechenzeit, der Ergebnislösungsgüte und der Robustheit anhand eines realistischen, großräumigen Übertragungsnetzes bewertet.

Das vorliegende Verfahren besteht aus einem sukzessiv linearen Optimierungsproblem, welches auf Basis der linearisierten Leistungsflussgleichungen Sensitivitäten für den ungestörten Betrieb sowie für den (n-1)-Fall berechnet und mithilfe dieser, auftretende Engpässe mithilfe netzbezogener und marktbezogener Maßnahmen behebt. Zur Berechnung eines optimierten Kraftwerkseinsatzes müssen dafür sowohl große, dünnbesetzte Matrizen (in großen, realistischen Netzmodellen etwa 20.000 Zeilen und Spalten) faktorisiert, als auch große Optimierungsprobleme gelöst werden.

Die typischerweise bei Optimierungen zur Anwendung kommenden leistungsfähigen Solver wie CPLEX, Gurobi, Clp etc. unterscheiden sich dabei sowohl hinsichtlich ihrer Eignung und Robustheit für derartige Optimierungen als auch hinsichtlich der Rechenzeit. Eine speziell entwickelte Schnittstelle im Quelltext des zum Einsatz kommenden Verfahrens ermöglicht die Austauschbarkeit der verschiedenen Solver unter ansonsten identischen Bedingungen.

## Exemplarische Untersuchungen

Die exemplarischen Untersuchungen finden anhand eines realistischen, großräumigen Übertragungsnetzes mit entsprechendem Optimierungsbedarf bei kritischen Last- und Einspeisesituationen statt. Für die Optimierung werden verschiedene kommerzielle wie frei verfügbare Solver, ggf. unter Variation relevanter Parameter der Solver, eingesetzt. Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen werden die Solver in Bezug auf ihre Robustheit sowie die benötigte Rechenzeit vergleichend gegenübergestellt.

## Literatur

- [1] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: Monitoringberichte bis 2017
- [2] J. Eickmann, C. Bredtmann, A. Moser: Security-Constrained Optimization Framework for Large-Scale Power Systems Including Post-Contingency Remedial Actions and Inter-Temporal Constraints, International Symposium on Energy System Optimization 2015; Heidelberg (DEU); 2015