

KURZFASSUNG

Der stetige Ausbau Erneuerbarer Energien bedingt einen starken Wandel im Energiesektor und insbesondere in der elektrischen Energieversorgung. Durch den steigenden Anteil an volatiler elektrischer Energie wird es zunehmend schwerer, Erzeugung und Verbrauch sowohl zeitlich als auch regional (räumlich) in Einklang zu bringen. Die Verbesserung des regionalen Ausgleichs erfolgt hauptsächlich durch die Ertüchtigung sowie den Ausbau der Energieübertragungs- und Verteilnetze. Der zeitliche Ausgleich hingegen bietet eine deutlich größere Vielzahl an Möglichkeiten. Als Beispiele seien an dieser Stelle Energiespeicher, Verbrauchersteuerung, Elektromobilität und die Verknüpfung des elektrischen Sektors mit den Sektoren Wärme und Transport genannt. All diese Ansätze tragen ihren Teil bei auf dem Weg zu einer sicheren und stabilen Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien.

Welche Gesamtpotentiale sich für die einzelnen Ansätze ergeben, erfordert eine genaue Untersuchung. Dazu bedarf es Modellen, um die genannten Ansätze und ihren Einsatz im Versorgungssystem zu simulieren und zu bewerten. Diese Energiesystemmodelle (Englisch: energy system models) ermöglichen die frühzeitige Bestimmung der Einsatzgebiete und Einflüsse neu entwickelter Technologien und Lösungsansätzen.

Die vorliegende Arbeit stellt ein neues Energiesystemmodell vor, das in ein Optimierungsprogramm eingebettet ist. Das entwickelte Energy System Optimization Studio (kurz ESOS) ermöglicht erstmalig einen schnellen und detaillierten Überblick über die Einsatzmöglichkeiten und die Effektivität verschiedener Maßnahmen im Elektrizitätssektor. Auch die Einbindung der Sektoren Wärme und Transport ist möglich. Zielhorizont ist die Simulation von Zeiträumen mehrerer Monate bis zu mehreren Jahren bei einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten bis zu einer Stunde. Trotz der langen Simulationzeiträume ermöglicht es ESOS, die integrierten Technologien mit einem hohen technischen Detaillierungsgrad zu modellieren.

Zur Systemoptimierung bedient sich das Programm der linearen Programmierung und greift auf verfügbare Programme und Solver zurück. Der generische Programmansatz bietet große Freiheiten bei der Definition des zu untersuchenden Systems und bei der Beschreibung der Rahmenbedingungen für die Systemoptimierung. Ein erstelltes Netzwerkmodell auf Basis der Graphentheorie lässt eine Lastflussberechnung über die Approximation einer Gleichstromübertragung zu. Durch die Aggregation von Regionen oder Technologien können komplexe und weitläufige Systeme vereinfacht dargestellt und somit mit reduzierter Rechenzeit untersucht werden. Zudem erlaubt es der entwickelte rekursive Kalkulationsansatz für Stromgestehungskosten eine dynamische, nicht-lineare Kostenkalkulation in die lineare Optimierung zu integrieren. Die Einsatzmöglichkeiten des Programms werden anhand unterschiedlicher Beispiele aufgezeigt und Sensitivitäten untersucht.

ABSTRACT

The continuously increasing installed power of renewable energies causes strong changes in energy and especially electricity supply systems. With increasing share of intermittent renewable energy, it is becoming more and more difficult to compensate the areal and temporal mismatches of energy production and consumption. To increase the areal balancing, transmission and distribution system extension will be needed. The temporal balancing is a more complex issue to address because there are various technical options including demand side integration, import/export of energy, excess installation of renewable energy producing units, using excess energy for other sectors like the heating and transport sector and last but not least storing the energy during times of surpluses and providing it during times of shortages.

All these options will have a share in the final solution, but the particular share will still have to be defined. The question that has to be answered in the upcoming years is how much of each measure will be needed to fulfill the political goals of renewable energy integration and CO₂ emissions on the one side and to maintain the system stability and the security of supply on the other side. The achievement of these goals has to be investigated against the background of economic considerations like minimum electricity generation costs. This can only be done by modeling the supply system under certain scenario assumptions.

This thesis presents the Energy System Optimization Studio (ESOS), a new tool for energy system modeling including technical as well as non-technical considerations and closing the gap between physics based system-dynamic models and projection models. With ESOS it is now possible to study the influence of different framework conditions (technical, economic and political) on the power plant dispatch, energy storage needs and operation strategies, load flows, CO₂ emission and costs. In general, a transparent and reproducible approach to model energy supply systems is carried out, which up to date is still missing in research and literature. The simulation period can range from few hours to multiple years with a timely resolution of 15 minutes to one hour. Even when calculating periods of multiple years, ESOS allows the modelling of the integrated technologies with much details by using a rolling optimization approach.

ESOS uses linear programming together with available programs and solvers. The generic programming approach offers very high degrees of freedom regarding the system under investigation on the one side and the definition of the optimization framework conditions on the other side. Load flow calculations are made with an DC transmission system. By aggregating technologies or regions, complex and large systems can be modelled simplified and thus with lower simulation times. A newly developed cost calculation approach further allows the integration of a non-linear cost calculation into a linear programming framework.