

BEWERTUNG POLITISCHER MAßNAHMEN IM ENERGIESYSTEM MITTELS KOPPLUNG EINES AGENTENBASIERTEN UND LINEAR OPTIMIERENDEN ENERGIESYSTEMMODELLS

Christoph SCHIMECZEK^{1,3}, Marc DEISSENROTH^{1,3},
Benjamin FLEISCHER^{2,3}, Matthias REEG^{1,3}

Motivation

Zur effektiven Steuerung der Transformation der weltweiten Energiesysteme mit dem Ziel verbesserter Nachhaltigkeit müssen nicht nur optimale Zielzustände identifiziert werden, sondern auch die Pfade, die zur Erreichung dieser Zielzustände notwendig sind. Die für die Ermittlung von Zielzuständen vielfach herangezogene Modellklasse der linearen Optimierungsmodelle [1] ist zwar prinzipiell in der Lage, ein volkswirtschaftlich optimales Energiesystem zu finden, versagt aber bei der Frage, ob und mittels welcher politischer Maßnahmen dieser Zustand von den Marktteilnehmern unter Berücksichtigung ihrer individuellen betriebswirtschaftlich optimierenden Zielfunktionen und des damit verknüpften Verhaltens erreicht werden kann [2]. Agentenbasierte Modelle [3] hingegen können das Entscheidungsverhalten einzelner Marktteilnehmer berücksichtigen, welches beispielsweise durch unvollkommene Informationen sowie Gewinnstreben geprägt ist. Diese Modelle können jedoch keine volkswirtschaftlich optimalen Zielzustände identifizieren. Durch Kopplung der beiden Modellklassen [4] kann das gesamtökonomische Optimum, welches auch die Kosten und Wirkungen politischer Maßnahmen berücksichtigt, bestimmt werden.

Im Rahmen des Projektes ERAFlex [5] wird eine solche Modellkopplung erarbeitet und exemplarisch zur Untersuchung von Flexibilitätsoptionen im Elektrizitätssektor angewendet.

Methode

Das Europäische Elektrizitätsmarktmodell „E2M2“ [6] ermittelt den Einsatz und Zubau konventioneller Kraftwerkskapazitäten, die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen, sowie den Einsatz gegebener Flexibilitätsoptionen, beispielsweise Energiespeicher und Abregelung von Last oder Erzeugung, mittels linearer Optimierung in stündlicher Auflösung. Hierfür werden sowohl betriebswirtschaftliche Parameter (z. B. Investitionskosten und Betriebskosten) als auch technische Parameter (z. B. Mindestleistungen und lastabhängige Brennstoffverbräuche) der Kraftwerke berücksichtigt. Im Gegensatz zu E2M2 simuliert das Agentenmodell zur Integration Regenerativer [Energie] in die Strommärkte „AMIRIS“ [7] die Vermarktung von Strom aus erneuerbaren Energien unter verschiedenen regulatorischen Rahmenbedingungen.

Im Simulationsmodell sind die relevanten Akteure die Direktvermarkter sowie die Betreiber der Erneuerbaren-Energien-Anlagen als Agenten prototypisiert abgebildet. Dabei unterscheiden sich verschiedene Typen von Agenten (z. B. Stadtwerke und Grünstromhändler als Direktvermarkter) anhand sozio-ökonomischer Profile, welche das Handeln (z. B. Gebote und Abregelungsentscheidungen) der Agenten mitbestimmen. Im Vergleich zu E2M2 existiert keine übergeordnete Zielfunktion. Stattdessen ergibt sich das Simulationsergebnis aus dem Zusammenspiel der Handlungen der einzelnen als Agenten abgebildeten Akteure unter ausgewählten regulatorischen Rahmenbedingungen.

Modellkopplung

Die beiden Modelle werden, wie in Abbildung 1 gezeigt, gekoppelt: E2M2 bestimmt einen Kraftwerkspark, welcher dem vorher gesetzten energiepolitischen Rahmen (z. B. CO₂-Emissionen oder Anteil erneuerbarer Energien) genügt. Zudem wird in E2M2 der kostenminimale Einsatz des Kraftwerksparks und der Flexibilitätsoptionen bestimmt. Die resultierenden CO₂-Preise sowie der Kraftwerkspark werden an AMIRIS übergeben, welches dann das individuelle Handeln der Marktteilnehmer simuliert.

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Technische Thermodynamik, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Tel.: +49 711 6862-8223, christoph.schimeczek@dlr.de, www.dlr.de
² Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Heßbühlstraße 49a, 70565 Stuttgart, benjamin.fleischer@ier.uni-stuttgart.de, www.ier.uni-stuttgart.de
³ Stuttgart Research Initiative on Integrated Systems Analysis for Energy (STRise), www.strise.de

Aus abweichenden Einsatzprofilen der Stromerzeuger in beiden Modellen kann dann ermittelt werden, welche politischen Rahmenbedingungen notwendig wären, um einen volkswirtschaftlich optimaleren Einsatz des Kraftwerksparks in AMIRIS zu erreichen. Zudem können betriebswirtschaftlichen Randbedingungen an die Zusammensetzung des Kraftwerksparks in E2M2 abgeleitet werden. Durch Wiederholen dieser Schritte und wechselseitiger Anpassung der Rahmenbedingungen sollen die Ergebnisse beider Modelle zur Konvergenz gebracht und der Weg hin zu einem mikroökonomisch realisierbaren makroökonomischen Optimum aufgezeigt werden.

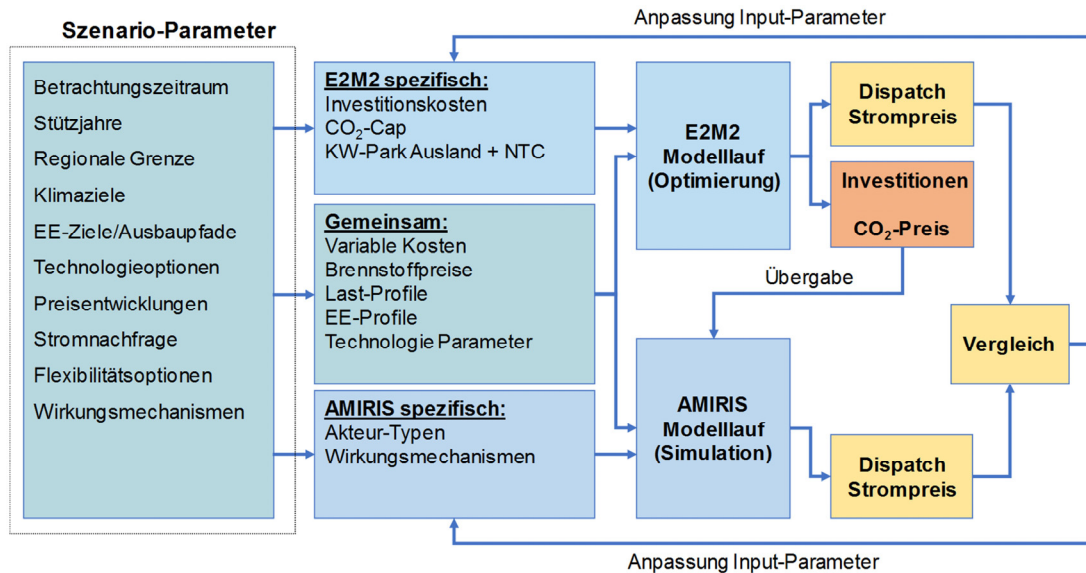


Abbildung 1: Kopplungsschema des Optimierungsmodells E2M2 und Agentenmodells AMIRIS vgl. [5]

Ergebnisse der Modellharmonisierung

Um die erwarteten Unterschiede der Ergebnisse der beiden Modelle besser verstehen zu können, wurden die Modelle zunächst auf Komponentenebene harmonisiert. Hierfür wurden gemeinsame Eingabeparameter angeglichen und Handlungsstrategien der beteiligten Agenten bzw. Modellkomponenten aneinander angepasst. Ein Vergleich der Modellergebnisse zeigte, dass sich bei isolierter Betrachtung der Komponenten Energieerzeuger, Abregelung und Energiespeicher deren Verhalten in beiden Modellen harmonisieren lässt. Auch abgeleitete Größen wie Börsenpreise wiesen in diesen Fällen jeweils nahezu identische Ergebniszeitreihen auf. Nach der Harmonisierung führt der gezielte Einsatz unvollkommener Informationen in AMIRIS zu relevanten Abweichungen bei den Ergebnissen der Modelle. Die Analyse dieser Abweichungen verspricht spannende Einsichten über den optimalen Ausbau und Einsatz von Flexibilitätsoptionen im Elektrizitätssektor.

Literatur

- [1] Möst et al., Einführung zur Energiesystemanalyse, Universitätsverlag Karlsruhe, 2009
- [2] Chappin et al., Simulating climate and energy policy with agent-based modelling: The Energy Modelling Laboratory (EMLab), Environmental Modelling & Software, 2017
- [3] Ringler et al., Agent-based modelling and simulation of smart electricity grids and markets – A literature review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016
- [4] Weiss et al., Market designs for a 100 % renewable energy system: Case isolated power system of Israel, Energy, 2017
- [5] Deissenroth et al., Efficient pathways for the energy transition by soft coupling of optimization and simulation model, IAEE Conference Proceedings, 2017
- [6] Sun N., Modellgestützte Untersuchung des Elektrizitätsmarktes – Kraftwerkeinsatzplanung und Investitionen, Universität Stuttgart, 2013
- [7] Deissenroth et al., Assessing the Plurality of Actors and Policy Interactions - Agent-based Modelling of Renewable Energy Market Integration, Complexity (in press), 2017