

MULTIMODALE MARKTSIMULATION ZUR GANZHEITLICHEN ANALYSE DES EUROPÄISCHEN ENERGIESYSTEMS

Christoph MÜLLER¹, Tobias FALKE¹, Stephan RATHS¹,
Armin SCHNETTLER¹

Motivation und Zielsetzung

Die integrierte Betrachtung des Strom-, Wärme-, Gas- und Transportsektors stellt einen vielversprechenden Ansatz für die Gestaltung effizienter, kostengünstiger und umweltfreundlicher Energieversorgungssysteme bei einer hohen Durchdringung Erneuerbarer Energien dar. Das heutige Energieversorgungssystem ist durch zentrale Erzeugungsanlagen, wie Kohle- und Gaskraftwerke, geprägt. Aufgrund der zunehmenden Durchdringung von dezentralen Erzeugungsanlagen und Speichern müssen aber auch diese bei der Untersuchung eines integrierten Energiesystems berücksichtigt werden. Die große Anzahl dieser Anlagen sowie die integrierte Betrachtung einer Vielzahl an Energiesektoren führen zu einer hohen mathematischen Komplexität. Aus diesem Grund werden neue und effiziente Modellierungstechniken und Instrumente zur ganzheitlichen Analyse multimodaler Energiesysteme benötigt.

Im Rahmen des Projekts „The Energy System Development Plan“ [1] wurde ein Modell (ESDP-Toolchain, Abbildung 1) zur Analyse und Bewertung unterschiedlicher Ausprägungen (Szenarien) des Energiesystems entwickelt, das für verschiedene Regionen anwendbar ist. Die Bewertung umfasst sowohl die Erzeugungsanlagen und Speicher als auch die Übertragungs- und Verteilungnetze. Das Ziel dieses Papers ist die Präsentation des entwickelten Modells der multimodalen Marktsimulation des Europäischen Energiesystems (European Multimodal Market Simulation, EMMS). Dieses ermöglicht die Simulation von Energiewandlung und Speicherung in zentralen und dezentralen Energiesystemen im Europäischen Kontext. Zur Handhabung von potentiell Millionen von verteilten Energiesystemen im Gesamtsystem wird dabei das Konzept regional aufgelöster Energie-Zellen eingeführt.

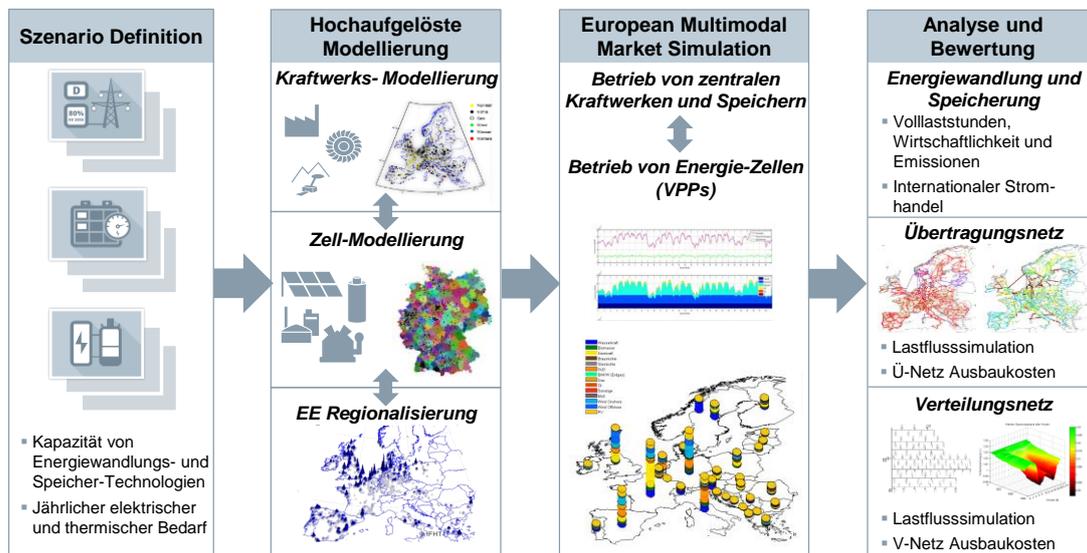


Abbildung 1: Einordnung d. European Multimodal Market Simulation in den Ablauf der ESDP-Toolchain.

¹ Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Schinkelstraße 2, 52056 Aachen, Tel.: +49 241 80 90149, mueller@ifht.rwth-aachen.de, www.ifht.rwth-aachen.de

Konzept der Energie-Zellen

Die Energie-Zellen repräsentieren in jeweils aggregierter Form das Versorgungsgebiet eines HöS/HS-Umspannwerks (380/110 kV bzw. 220/110 kV). Die Modellierung basiert auf regional hochaufgelösten Geo-Daten und erfolgt Bottom-Up.

In einer umfangreichen Datenbank wird jedes Gebäude bzw. jeder Betrieb in den betrachteten Sektoren Haushalte, Gewerbe und Industrie zunächst individuell mit seinem spezifischen Strom- und Wärmeverbrauch sowie seinem Portfolio an Erzeugungsanlagen und Speichern abgebildet. Anschließend erfolgt die Aggregation spezifisch für jeden Sektor und jeden Technologietyp (z.B. KWK-Anlagen, Wärmepumpen, Heizstäbe, Speicher). Dabei werden auch Kombinationen mehrerer Technologien (z.B. Blockheizkraftwerk mit Spitzenlastkessel und Solarthermieanlage) berücksichtigt. Das Konzept der Energie-Zellen ermöglicht die Betrachtung verschiedener Zellbetriebsmodi. Zu den implementierten Betriebsstrategien zählen unter anderem der marktgeführte Betrieb (in Abhängigkeit des Strommarkt-Spotpreises als Teil eines Virtuellen Kraftwerks) oder die Vorgabe lokaler Betriebsstrategien, z.B. die Eigenverbrauchsmaximierung von PV-Batteriespeichersystemen.

European Multimodal Market Simulation (EMMS)

Die European Multimodal Market Simulation (EMMS) ist ein multiregionales und multimodales Optimierungsmodell zur Berechnung der kostenminimalen Einsatzfahrpläne von zentralen und dezentralen Erzeugungsanlagen und Speichern in Europa. Dazu wurde ein umfassendes Abbild des Strom- und Wärmeversorgungssystems entwickelt. Dies umfasst unter anderem die detaillierte Modellierung der Strom- und Wärmebedarfe sowie der verfügbaren Technologien zur Energiewandlung zwischen unterschiedlichen Energieformen (Strom, Wärme, Brennstoffe z.B. Gas etc.). Zudem berücksichtigt das Modell den stündlichen internationalen Stromhandel zwischen den einzelnen europäischen Marktgebieten auf Basis des NTC-Ansatzes (Net Transfer Capacity). Auch die Fern- und Prozesswärmeversorgung durch zentrale Kraftwerke sowie der potentielle Einsatz von zentralen Power2Heat-Anlagen und thermischen Speichern wird betrachtet. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Integration weiterer zentraler Power2X-Technologien, die zur Flexibilisierung des Systems beitragen, z.B. von Power2Gas-Anlagen.

Als Zielgröße des Optimierungsproblems dient die Minimierung der variablen Kosten von Kraftwerken, dezentralen Erzeugungsanlagen und Power2Gas Anlagen gemäß Formel 1. Die Formulierungen der systemischen sowie der technologischen Nebenbedingungen werden im Rahmen der Langfassung aufgeführt.

$$\text{Min} \sum_t \sum_i \left(\sum_{pp} P_{pp,i,t}^{PP} \cdot c_{pp,i} - \sum_{p2g} P_{p2g,i,t}^{P2G} \cdot \text{Eff}_{p2g,i} \cdot p_{gas,i} + \sum_c \sum_{sc} \sum_{dgs} \dot{Q}_{dgs,sc,c,i,t}^{DGS} \cdot c_{dgs,sc,c,i} \right)$$

Die Integration dezentraler Erzeugungsanlagen und Speicher wird über den vorgestellten Ansatz der Energie-Zellen erreicht. Die Zellen werden in Form von virtuellen Kraftwerken zur Deckung von elektrischen und thermischen Lasten in den Sektoren Haushalte, Gewerbe und Industrie in die Marktsimulation eingebunden. Zusätzlich kann die Elektromobilität zur Partialbetrachtung des Transportsektors abgebildet werden. Die Aggregation dezentraler Energiesysteme zu Energie-Zellen ermöglicht somit die Reduktion der mathematischen Komplexität hinsichtlich der Anzahl an Entscheidungsvariablen und Nebenbedingungen im EMMS-Modell.

Erwartete Ergebnisse

Im Rahmen der Langfassung werden das entwickelte EMMS-Modell sowie der Zell-Ansatz detailliert erläutert. Funktionalität und Ergebnisse des Modells werden anhand eines exemplarischen Szenario-Rahmens vorgestellt. Neben den elektrischen und thermischen Fahrplänen von zentralen und dezentralen Erzeugungsanlagen und Speichern sowie den Import/Export Zeitreihen der einzelnen gekoppelten Marktgebiete, umfassen die Ergebnisse die resultierenden gesamtsystemischen Kosten, Schadstoffemissionen, Volllaststunden und den Primärenergieverbrauch aller Technologien. Darüber hinaus wird ein detaillierter Einblick in die Energieflüsse der vielfältigen Energieträger gegeben.

Referenzen

- [1] Raths, S.; Koopmann, S.; Müller, C. et al.: „The Energy System Development Plan (ESDP)“, ETG-Congress 2015, Bonn, 2015