

Zellulare Energiesysteme: Herausforderungen der Modellierung dezentral organisierter Märkte

Energiesystem- und Klimamodellierung

Aiko SCHINKE-NENDZA¹⁽¹⁾, Christoph WEBER⁽¹⁾

⁽¹⁾ House of Energy Markets and Finance, Essen, Deutschland.

Motivation und zentrale Fragestellung

Deutschland hat das politische Ziel formuliert, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu werden. Um dieses Ziel zu erreichen, steht vor allem der Energiesektor vor signifikanten Herausforderungen:

- der erforderlichen *Dekarbonisierung* zusammen mit der *schwankenden Erzeugung* durch hohe Anteile volatiler erneuerbarer Energien [1],
- der zunehmenden *Dezentralisierung* von Angebot und Nachfrage – insb. durch viele sehr kleine Anlagen –, vgl. [2], sowie
- der fortschreitenden *Digitalisierung*, welche neue Möglichkeiten für die Vernetzung bietet [3].

Hier stellen „zellulare Energiesysteme“ ein attraktives Framework auf Ebene des Markt- und Systemdesigns dar, um diesen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen [4]. Nachfolgend gehen wir daher auf die Herausforderungen der Modellierung dezentral organisierter Märkte ein.

Methodische Vorgangsweise

Aufbauend auf den Forschungsarbeiten im Projekt *Zellnetz2050*² wird unter einem „zellularen Energiesystem“ ein sektorenübergreifendes, ganzheitliches Markt- und Systemdesign auf nationaler Ebene verstanden, welches den regulatorischen Anforderungen auf europäischer Ebene entspricht und lokale bzw. dezentrale Markt-Mechanismen mit einem zentralen bzw. hierarchischen Ansatz verknüpft [5]. Im Gegensatz dazu forcieren *Smart Grids* oder *Microgrids* primär lokale und technisch orientierte Lösungen, wohingegen *lokale Flexibilitätsmärkte* technische und ökonomische Ansätze verbinden, jedoch erhebliche Nachteile durch fehlende Liquidität und „*Inc-Dec-Gaming*“ (strategisches Bieterverhalten) aufweisen [6].

Da der Wissens- und Forschungsstand auf diesem Gebiet noch relativ fragmentarisch ist bzw. tragfähige Ansätze zur Verknüpfung technischer & ökonomischer Ansätze bislang fehlten, ist in diesem Kontext folgendes Vorgehen auf methodischer Ebene verfolgt worden:

1. Grundlage der Arbeit bildeten umfassende Literaturrecherchen. Hierbei sollte, basierend auf einem Brownfield-Ansatz, eine Einbettung in das regulatorische Framework des europäischen und deutschen Elektrizitätsmarkts untersucht werden.
2. Daraufhin stand die Konzeptionierung und Entwicklung eines neuen Marktdesigns im Vordergrund.
3. Derzeit stehen die Modellierung und energieökonomische Analyse eines zellularen Energiesystems im Mittelpunkt. Hierbei wird, unter Anwendung von Methoden aus den Bereichen Operations-Research sowie der mathematischen Optimierung und Dekomposition ein energieökonomisches Modell des Markt- und Systemdesigns entwickelt.
4. Anhand quantitativer Analysen sowie mit Hilfe von Simulations- und Variationsrechnungen wird das entwickelte Konzept ökonomisch validiert.
5. Schlussendlich steht die Ableitung von Handlungsempfehlungen für Stakeholder bzw. die Entwicklung möglicher regulatorischer Entwicklungspfade.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Kontext der zuvor benannten Herausforderungen und der gewählten methodischen Vorgehensweise ist ein neuartiges Markt- und Systemdesign für zellulare Energiesysteme konzipiert worden, welches auf einem dezentralisierten und iterativen Market-Clearing zur Kopplung verschiedener Energiesektoren (Elektrizität, Wärme, Gas, Wasserstoff & Mobilität) basiert, siehe [5]. Bezüglich des Markt- und Systemdesigns soll hierbei durch sog. Energiezellen die Möglichkeit zur sektorenübergreifenden Interaktion bestehen, wobei das Market-Clearing dezentralisiert ablaufen soll, ausschließlich durch die Kommunikation zwischen hierarchisch organisierten bzw. benachbarten Zellen, siehe Abbildung 1. Bei der Gestaltung der Markt- und System-Architektur sind die Energiezellen in drei verschiedene Ebenen eingeteilt worden: A, B und C. Ebene A beinhaltet alle Units, d.h. Endverbraucher, Kraftwerke und

¹ Jungautor: Universitätsstraße 12, 45141 Essen, Deutschland, +49 201 1833 5625, aiko.schinke-nendza@uni-due.de, <https://www.linkedin.com/in/aiko-schinke-nendza/>

² Das Projekt wird vom deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz unter der Nummer 0350065C gefördert.

sektorenkoppelnde Anlagen. Die lokalen und zentralen ISOs (LISOs und CISOs) auf den Ebenen B und C sind vergleichbar zu heutigen Verteil- und Übertragungsnetzbetreibern, übernehmen jedoch (in Anlehnung zu amerikanischen Independent System Operators, ISOs) auch marktbezogene Aufgaben [7].

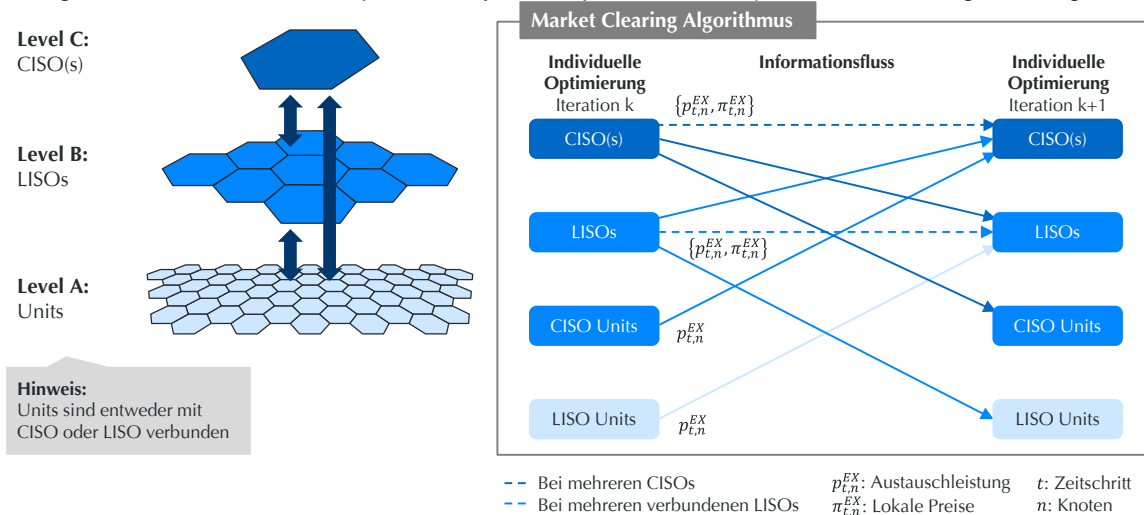


Abbildung 1: Markt- und System-Architektur im zellularen Energiesystem.

Im Zuge eines solchen Markt- und Systemdesigns stellen sich insb. Fragen nach der Ablauf-Organisation eines solchen Marktes, mathematischen Eigenschaften wie bspw. der Konvergenz und ökonomischen Auswirkungen bspw. durch strategisches Bieterverhalten. In diesem Kontext ergeben sich besondere Herausforderungen in drei unterschiedlichen Bereichen:

1. Die *zellulare Struktur von System und Markt* eröffnet Fragen nach Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten.
2. Bei einem *dezentralisierten Market-Clearing* besteht die Gefahr von Marktineffizienzen.
3. Ein *iteratives Market-Clearing* ist konträr zu bisherigen „single bid“ & „single auction“ Verfahren, bei welchen einmalige Angebote abgegeben werden.

Hinsichtlich der Ablauf-Organisation sind bereits erste Konzepte entwickelt worden, welche die Rolle der verschiedenen Marktteilnehmer, den zeitlichen Ablauf und die Auswirkungen auf andere Märkte aufzeigen, siehe [4], [5]. Ebenso liegen bereits erste Ansätze zur erfolgreichen Einbettung in das regulatorische Framework bestehender Elektrizitätsmärkte vor und offene Aspekte sind identifiziert und kritisch diskutiert worden [7]. Zur energie-ökonomischen Analyse ist das konzeptionierte Markt- und Systemdesign eines zellularen Energiesystems bereits als „large-scale“ Optimierungsproblem modelliert und in der Programmierumgebung Julia/JuMP implementiert worden. Hierzu werden aktuelle Ergebnisse für ein Zielszenario der Klimaneutralität dargestellt. Im nächsten Schritt steht nun die Anwendung von Dekompositionsansätzen zur Modellierung des dezentralen und iterativen Market-Clearings an, um die zuvor benannten Fragen zu adressieren.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Herausforderungen der Dekarbonisierung und Dezentralisierung des Energiesektors auch neue Lösungsansätze für die System- und Markt-Architektur erfordern. Die damit verbundenen konzeptionellen und modellierungsseitigen Herausforderungen sind im Rahmen des Projektes ZellNetz2050 adressiert worden und ein kohärenter Vorschlag für ein zukünftiges Systemführungskonzept auf Basis zellulärer Energiesysteme ist entwickelt und modelliert worden.

Literatur

- [1] International Energy Agency, "Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector," IEA Publications, 2021.
- [2] J. Radecke, J. Hefelea and L. Hirth, "Markets for Local Flexibility in Distribution Networks: A Review of European Proposals for Market-based Congestion Management in Smart Grids," ZBW – Leibniz Information Centre for Economics, Kiel, Hamburg, 2019.
- [3] R. Zafar, A. Mahmood, S. Razzaq, W. Ali, U. Naeem and K. Shehzad, "Prosumer based energy management and sharing in smart grid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews: Vol. 82, No. 1*, pp. 1675-1684, 2018.
- [4] A. Schinke-Nendza, G. Blumberg and C. Weber, "A Novel Design for Electricity Markets based on the Cellular Approach," *17th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 2020.
- [5] A. Schinke-Nendza, F. Flatter, H. Kramer, A. Khalid, B. Uhlemeyer, S. J. Rasti, C. Trossen, S. Mohammadi, D. Mayorga Gonzalez, U. Spanel, W. Wellssow, C. Weber, M. Zdrallek und P. Schegner, "ZellNetz2050' - A Concept for the Efficient and Effective Operation of Multi-Sector Web-of-Cells Energy Systems," *CIGRE Session*, 2022.
- [6] L. Hirth and I. Schlecht, "Market-Based Redispatch in Zonal Electricity Markets: The Preconditions for and Consequence of Inc-Dec Gaming," ZBW – Leibniz Information Centre for Economics, Kiel, Hamburg, 2020.
- [7] A. Schinke-Nendza, G. Blumberg, A. Khalid and C. Weber, "Regulatory and Policy Aspects for a Cellular Design of Electricity Markets," *Proceedings of the 5th International Hybrid Power Systems Workshop*, 18-19 May 2021.