

# Modellgestützte Bewertung von Flexibilitätsoptionen und Versorgungsstrukturen eines Bilanzraums mit hohem Eigenversorgungsgraden mit Energie

Lukasz BRODECKI<sup>1\*</sup>, Markus BLESL<sup>1</sup>

## Hintergrund und Zielsetzung

Um die im „Klimaschutzplan 2050“ verfassten Zwischenziele der Bundesregierung die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um mindestens 55 % gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren und darüber hinaus bis 2050 eine Reduktion um gar 85 % zu erreichen, müssen Strukturveränderungen im Energiesystem flächenmäßig umgesetzt werden [1]. Dabei steigen lokal angesiedelte Energieprojekte und dezentral organisierte Energiesysteme in ihrer Zahl und werden zunehmend als mögliche Alternative oder Ergänzung zu konventionellen Systemen angesehen [2]. Viele Verbraucher folgen daher derzeit dem Ansatz der Selbstversorgung, versuchen zur Deckung ihres Energiebedarfs beizutragen und werden somit vom zentralen Energieversorgungssystem zu Teilen unabhängig [3]. Die Energiewende und die damit einhergehenden politisch bedingten Einspeisevergütungen bilden zurzeit die bestimmenden Faktoren bei der steigenden Anzahl von Prosumern. Weitere marktwirtschaftliche Treiber, technische Entwicklungen oder soziale Treiber können jedoch zukünftig für Prosumer eine zunehmende Rolle einnehmen und so den Wandel des Energiesystems mitgestalten und beschleunigen [4, 5]. Die Energie-(Teil)Autarkie stellt dabei einen Aspekt dar, den verschiedene Akteure als Ziel auffassen. Im Rahmen des Beitrages wird daher untersucht inwieweit dieses Ziel erreichbar und welcher Grad an Autarkie technisch-wirtschaftlich überhaupt sinnvoll ist. Zudem wird der Frage nachgegangen, welche Folgen zu erwarten sind. Das Ziel ist die Entwicklung methodischer Ansätze zur Abbildung von Energie-Autarkie in Energiesystemmodellen sowie die systemanalytische Bewertung im Kontext eines übergeordneten Systems. Die Arbeit fokussiert sich auf Prosumer eines städtischen Energiesystems mit hoher Eigenversorgung mit Wärme und Strom. Ziel ist es die sektorübergreifenden Wechselwirkungen zwischen der Energiebereitstellungs- und Nachfrageseite, bedingt durch hohe Selbstversorgungsanteile mit Energie in Kombination mit Flexibilitätsoptionen zu untersuchen. Darüber hinaus werden gezielt die energiesystemtechnischen Unterschiede zu einer reinen Erneuerbaren Quote und zu Emissionszielen erarbeitet.

## Energiesystemmodellierung in TIMES Local

Grundlage bildet das Energiesystemmodell TIMES Local. Dabei handelt es sich um ein lineares Optimierungsmodell, das auf dem Modellgenerator TIMES basiert, welches innerhalb des Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) der Internationalen Energieagentur (IEA) entwickelt wurde. Mithilfe von TIMES wird ein Energiesystem bottom-up technologisch detailliert als ein Netzwerk von Prozessen (z. B. Kraftwerkstypen, Verkehrstechnologien), Gütern (Energieträgern, Material) und den entstehenden Emissionen in Form eines Referenzenergiesystems abgebildet [6, 7, 8]. TIMES Local stellt dabei eine Anwendung mit dem Schwerpunkt auf die Betrachtung von denjenigen Prozessen dar, die für ein Stadt- oder Quartiersmodell relevant sind. Die Zielfunktion ist die integrale Kostenminimierung unter Umsetzung von Autarkie-Zielen und unter Einhaltung technischer sowie ökologischer Restriktionen [9]. Der Modellierungszeitraum ist von 2010 bis 2050 in 5-Jahresschritte eingeteilt. Im Rahmen der Optimierung wird eine integrale Ausbau- und Einsatzoptimierung über den gesamten Modellierungszeitraum durchgeführt. Das Referenzenergiesystem berücksichtigt dabei die Sektoren öffentliche Strom- und Wärmebereitstellung, private Haushalte, GHD, Transport, Industrie und den Import von Energieträgern. Zur detaillierten Abbildung von Energie-Autarkie ist es notwendig eine zeitliche Struktur zu wählen, die neben den technischen Eigenschaften der Energie-Autarkie und der damit einhergehenden Problematik der Kopplung einer fluktuierenden

---

<sup>1</sup> Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Heßbrühlstraße 49a, 70565 Stuttgart, Fax: +49 (0)711 685 87873, Internet: [www.ier.uni-stuttgart.de](http://www.ier.uni-stuttgart.de), {Tel.: +49 (0)711 685 87858, [lukasz.brodecki@ier.uni-stuttgart.de](mailto:lukasz.brodecki@ier.uni-stuttgart.de)} {Tel.: +49 (0)711 685 87865, [markus.blesl@ier.uni-stuttgart.de](mailto:markus.blesl@ier.uni-stuttgart.de)}

Nachfrage sowie einer dargebotsabhängigen Erzeugung auf Basis von Erneuerbaren Energien, auch die Lösbarkeit des Modells gewährleistet [10]. Hierfür wird eine hohe zeitliche Auflösung benötigt, die die Darstellung von Spitzen und Tälern in der Erzeugung und im Verbrauch sowie eine genaue Abbildung des Einsatzes der verschiedenen Flexibilitätsoptionen ermöglicht. Zudem ist es notwendig repräsentative und zusammenhängende Zeitsegmente über einen längeren Zeitraum von Tagen oder Wochen zu wählen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist die zeitliche Auflösung in fünf Typwochen mit einer stündlichen Auflösung unterteilt. Dabei entsprechen vier Typwochen je einer Jahreszeit (672 Zeitsegmente pro Jahr) und die fünfte charakterisiert eine Peak-Woche mit einer stündlichen Auflösung (zusätzlich 168 Zeitsegmente pro Jahr) zur Abbildung einer hohen Einspeisung fluktuierender Erneuerbarer Energien.

### **Bestandteile der Modellierung von Versorgungsaufgaben zur Erreichung hoher Anteile an Selbstversorgung mit Energie**

Die Modelltechnische Abbildung der o.a. Aufgabenstellung erfordert neben methodischen Erweiterungen auch inhaltliche Anpassungen. Daher wird nachfrageseitig zwischen sechs verschiedenen Wohngebäudetypen (jeweils drei für den Bestand und Neubau) unterschieden. Des Weiteren wird der GHD Sektor in kleine und große Verbraucher unterteilt. Im Verkehrssektor wird zwischen Kurz- und Langstrecken im motorisierten Individualverkehr sowie zwischen ÖPNV und Nutzverkehr differenziert. Die Abbildung der Industrie erfolgt als ein Verbraucher in aggregierter Form. Auf der Erzeugungsseite liegt der Fokus auf der Modellierung netzgebundener Versorgungskapazitäten in Verknüpfung mit Erneuerbaren Energien, wie solarthermisch unterstützte Nahwärme oder die Integration von Abwasserwärmepumpen ins Energiesystem. Im Verkehrssektor erfolgt eine detaillierte Abbildung der Elektromobilität sowie der Ladevorgänge. Neben des sektorspezifischen Zubaus von Solaranlagen bietet die Nutzung von Abwärme oder Biomasse Potenzial für eine Versorgung basierend auf lokal verfügbaren Ressourcen. Zusätzlich werden Flexibilitätsoptionen in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität zum zeitlichen und räumlichen Ausgleich von Angebot und Nachfrage implementiert. Dazu zählt der Einsatz von thermischen und elektrischen Speichern auf Gebäudeebene. Zur Flexibilisierung des Einsatzes zentraler KWK-Anlagen werden die Optionen eines elektrischen Heizstabs im Nahwärmenetz oder Großwärmepumpen in Kombination mit Wärmespeichern als Power-to-Heat Anwendung ins Modell implementiert. Der eingeschränkte Einsatz von Vehicle-to-Grid stellt ebenfalls eine Variante der Systemflexibilität dar.

### **Ergebnisse - Auswirkungen hoher Selbstversorgungsgrade mit Energie auf das lokale Energiesystem**

Da Energie-Autarkie im direkten Zusammenhang mit dem Einsatz Erneuerbarer Energien und der Ausschöpfung von Effizienzmaßnahmen steht, trägt diese zur Dekarbonisierung sowohl der Elektrizitätsversorgung als auch des Wärmemarktes und des Verkehrs bei. Ergebnisse einer Szenarioanalyse zeigen, dass bei hohen Anforderungen hinsichtlich des Autarkiegrades zum einen die Elektrifizierung insgesamt und die Eigenstromnutzung im speziellen zunimmt. Zudem ist zu beobachten, dass aufgrund der Verdrängung teurer Versorgungslösungen und durch die Incentivierung der Eigenstromnutzung die Teil-Energie-Autarkie bis zu einem Grad von 40 % in der Beispielkommune wirtschaftlich vorteilhaft sein kann. Es zeigt sich, dass insbesondere durch den Ausbau der lokal nutzbaren Erneuerbaren Energien, wie Wind, PV oder Solarthermie in Kombination Flexibilitätsoptionen (elektrische und thermische Quartierspeicher) ein bilanzieller Autarkiegrad von ca. 80 % (für Strom und Wärme) erreicht werden kann. Power-to-Heat spielt dabei im Nahwärmebereich eine zentrale Rolle. Noch höhere Autarkie-Grade erfordern die zusätzliche Nutzung nicht wirtschaftlicher Potenziale Erneuerbarer und großer Kapazitäten von lokalen Haushaltsspeichern. Eine Abkopplung vom übergreifenden Strom- und Gasnetz ist unter den gegebenen Bedingungen auf städtischer Ebene nicht möglich. Maximaler Speichereinsatz und die Ausnutzung der Systemflexibilitätsoptionen gewährleisten keine vollständig lastgerecht autarke Versorgung zu Zeitpunkten mit einer hohen Wärmenachfrage im Winter gekoppelt mit gleichzeitigen Lastspitzen im Stromsektor. Im weiteren Verlauf soll der Einsatz unterschiedlicher Tarife auf das Energiesystem untersucht werden sowie eine Weiterentwicklung des Demand-Side-Managements erfolgen. Diese Änderungen eröffnen zusätzliche Möglichkeiten das Autarkiepotenzial eines städtischen Energiesystems positiv zu beeinflussen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „Klimaschutzplan 2050,“ [Online]. Available: [https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf). [Zugriff am 17.11.2017].
- [2] BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Energie der Zukunft - Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende,“ Berlin, 2015.
- [3] L. Brodecki, U. Fahl, J. Tomaschek, M. Wiesmeth, F. Gutekunst, A. S. A. Siebenlist, M. Baumann, R. Graf, L. Brethauer, R. Horn, W. Hauser, M. Sonnberger, C. León, U. Pfenning und M. O’Sullivan, „Analyse des Energie-Autarkiegrades unterschiedlich großer Bilanzräume mittels integrierter Energiesystemmodellierung,“ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, 2016.
- [4] W. Rickerson, T. Couture, G. Barbose, D. Jacobs, G. Parkinson, E. Chessin, A. Belden, H. Wilson und H. Barrett, „Residential Prosumers - Drivers and Policy Options,“ IEA - RETD, Kyoto, 2014.
- [5] U. Pfenning und R. Schröter, „Von Energiewenden und neuen Energiebürgern,“ in *ISSN 1867 9935*, Neu-Isenburg, Genossenschaftsverband e.V. Netzwerk Magazin für Kooperation & Management, Ausgabe 02/2016, 2016, pp. S.10-12.
- [6] ETSAP und IEA, Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP), Contributing to the Kyoto Protocol, Summary of Annex VII (1999-2002), 2002.
- [7] U. Remme, „Zukünftige Rolle erneuerbarer Energien in Deutschland: Sensitivitätsanalyse mit einem linearen Optimierungsmodell,“ Dissertation, Stuttgart, 2006.
- [8] R. Loulou, A. Lehtilä, A. Kanudia, U. Remme und G. Goldstein, „Documentation for the TIMES Model Part II,“ Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP), 2016.
- [9] M. Blesl, „Kraft-Wärme-Kopplung im Wärmemarkt Deutschlands und Europas - eine Energiesystem- und Technikanalyse,“ Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart, 2011.
- [10] J. Welsch und M. Blesl, „Modellierung von Energiespeichern und Power-to-X-Technologien mit dem europäischen Energiesystemmodell TIMES PanEU,“ in *VDI Optimierung in der Energiewirtschaft*, 2015.