

# MODELLIERUNG VON ENERGIESPEICHERN UND POWER-TO-X-TECHNOLOGIEN MIT DEM EUROPÄISCHEN ENERGIESYSTEMMODELL TIMES PANEU

Julia WELSCH<sup>1</sup>, Ulrich FAHL<sup>1</sup>, Markus BLES<sup>1</sup>

## Hintergrund und Zielsetzung

Der im Energiekonzept der Bundesregierung vorgesehene Anteil der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung in Deutschland führt zu einem erhöhten Bedarf an Flexibilisierungsoptionen zum zeitlichen und räumlichen Ausgleich von Angebot und Nachfrage von elektrischer Energie. Das Ziel des Beitrags ist die Entwicklung methodischer Ansätze zur Abbildung von Speichern und Power-to-X in Energiesystemmodellen sowie die systemanalytische Bewertung von Energiespeichern in Deutschland im Kontext des europäischen Energiesystems.

## Das europäische Energiesystemmodell TIMES PanEU

Den Ausgangspunkt bildet das europäische Energiesystemmodell TIMES PanEU. Dieses ist ein lineares Optimierungsmodell basierend auf dem Modellgenerator TIMES, der in der mathematischen Modellierungsumgebung GAMS implementiert ist. TIMES ist ein Modellgenerator für Bottom-up Energiesystemmodelle, der innerhalb des Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) der International Energy Agency (IEA) entwickelt wurde [1 bis 2].

In TIMES PanEU wird das Energiesystem der Staaten der EU-28 sowie von Norwegen und der Schweiz hinsichtlich seiner Gesamtsystemkosten integral optimiert. Der Modellierungszeitraum reicht von 2010 bis 2050 und ist in mehrere Zeitschritte unterteilt (5-Jahres-Schritte). Bei der Optimierung erfolgt eine integrale Ausbau- und Einsatzoptimierung über den gesamten Modellierungszeitraum [3 bis 5]. Das Referenzenergiesystem ist in mehrere Bereiche gegliedert: Öffentliche Strom- und Wärmebereitstellung, sonstige Energieumwandlung (z. B. Raffinerien) Haushalte, GHD, Landwirtschaft, Transport, Industrie (inklusive Eigenerzeugung) und Bereitstellung von Energieträgern.

## Herausforderungen bei der Modellierung von Speichern in Energiesystemmodellen

Eine methodische Herausforderung bei der Modellierung von Speichern in Energiesystemmodellen besteht darin, sowohl die notwendige zeitliche und räumliche Struktur eines Modells als auch die Lösbarkeit des Modells zu gewährleisten [6]. Mit wachsender Anzahl an Regionen und Zeitsegmenten, die integral optimiert werden, steigt die Rechenzeit exponentiell an. Eine hohe zeitliche Auflösung, z. B. eine stündliche Auflösung, ermöglicht die Abbildung großer Schwankungen in den Einspeiseganglinien sowie die Darstellung von Lastspitzen und Lasttälern. Die Abbildung des kontinuierlichen Betriebes eines Energiespeichers erfordert eine hohe zeitliche Auflösung basierend auf repräsentativen, zusammenhängenden, aufeinanderfolgenden Zeitsegmenten.

Bei einer hohen räumlichen Auflösung, z. B. der Unterteilung jedes europäischen Staates in mehrere Teilregionen, können darüber hinaus Stromnetze und regional differenzierte Wärme- bzw. Fernwärmenachfragen detailliert abgebildet werden, so dass Kapazitäten der Stromnetze bzw. der Fernwärmeversorgung optimiert werden (bei Gewährleistung von Lösbarkeit und akzeptablen Rechenzeiten). Die Herausforderung besteht darin, eine angemessene zeitliche und räumliche Struktur im Zusammenhang mit der Komplexität der Topologie einer Modellregion zu finden.

---

<sup>1</sup> Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Heßbrühlstraße 49a, 70565 Stuttgart, Fax: +49 711 685 878 73, [www.ier.uni-stuttgart.de](http://www.ier.uni-stuttgart.de),  
{Tel.: +49 711 685 878 48, [julia.welsch@ier.uni-stuttgart.de](mailto:julia.welsch@ier.uni-stuttgart.de)},  
{Tel.: +49 711 685 878 30, [ulrich.fahl@ier.uni-stuttgart.de](mailto:ulrich.fahl@ier.uni-stuttgart.de)},  
{Tel.: +49 711 685 878 65, [markus.blesl@ier.uni-stuttgart.de](mailto:markus.blesl@ier.uni-stuttgart.de)}

Die Betrachtung aller Bereiche (Strom, Wärme, Mobilität) ermöglicht die integrierte Analyse der sektorübergreifenden Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Energiebereitstellungs- u. -nachfragesektoren, z. B. durch den Einsatz von Power-to-Heat, erhöht jedoch gleichzeitig auch die Komplexität des Energiesystem-modells. Dabei können sowohl Speicherausbau als auch Speichereinsatz durch diese Wechselwirkungen beeinflusst werden.

Darüber hinaus stellt sich bei der Ausbau- und Einsatzoptimierung die Frage nach der Dimensionierung der Speichertechnologien hinsichtlich des Verhältnisses von Speicherkapazität und Ein- bzw. Ausspeicherleistung. Ein variables, modellendogenes Verhältnis von Speicherkapazität und Speicherleistung führt auf der einen Seite zu einem optimierten Ausbau und Einsatz von Speichertechnologien, erhöht jedoch auf der anderen Seite auch die Komplexität des Modells.

## **Erhöhung der zeitlichen Auflösung in TIMES PanEU**

Zur detaillierten Abbildung von Energiespeichern ist es notwendig, die zeitliche Auflösung für die Modellregion Deutschland zu erhöhen. Für Resteuropa wird die ursprüngliche zeitliche Auflösung beibehalten, da der Fokus bei der Modellierung und Bewertung von Speichertechnologien auf der Modellregion Deutschland liegt.

Aufgrund der zeitpunktübergreifenden Bedingungen eines Speicherprozesses, nach denen der Speicherfüllstand eines Zeitsegmentes Einfluss auf den Speicherfüllstand des nachfolgenden Zeitsegmentes hat, ist die Modellierung repräsentativer, zusammenhängender Zeitsegmente über mehrere Tage bzw. Wochen notwendig. Daher wird die zeitliche Auflösung für Deutschland auf fünf Typwochen mit dreistündlicher Auflösung erhöht. Diese fünf Typwochen setzen sich zusammen aus einer Standard-Typwoche pro Jahreszeit (224 Zeitsegmente pro Jahr) und einer zusätzlichen Herbst-Peakwoche zur Abbildung hoher Einspeisung fluktuierender erneuerbarer Energien (56 Zeitsegmente pro Jahr). Damit können kurzfristige, tagesübergreifende Speicher detailliert dargestellt werden.

## **Speichermodellierung in TIMES PanEU**

In der vorliegenden Analyse werden ausgewählte mechanische, thermische und chemische Energiespeicher betrachtet, die im Rahmen der Energiesystemmodellierung und bei der Bewertung von Speichertechnologien im deutschen und europäischen Energiesystem von besonderer Bedeutung sind. Bei der Modellierung von Stromspeichern werden Pumpspeicherkraftwerke, adiabate und diabate Druckluftspeicherkraftwerke sowie stationäre und mobile Akkumulatoren betrachtet, da diese Technologien in technischer und ökonomischer Hinsicht für die großtechnische Speicherung elektrischer Energie geeignet sind. Zur Flexibilisierung des Kraftwerkseinsatzes von KWK-Anlagen und solarthermischen Kraftwerken sind der elektrische Heizstab und die Großwärmepumpe in Kombination mit einem Wärmespeicher geeignet. Auch dezentrale Wärmespeicher in Haushalten in Kombination mit elektrischen Heizstäben sowie Nachtspeicherheizungen werden in TIMES PanEU abgebildet. Zentrale Gasspeicher (Erdgasspeicher, Wasserstoffspeicher, Erdgasnetz) in Kombination mit Power-to-Gas (Wasserelektrolyse, Methanisierung) können ebenfalls zur Flexibilisierung des Energiesystems beitragen.

Die Speicher werden in TIMES PanEU als Abfolge von drei Prozessen modelliert: Einspeicherprozess, Speicherprozess, Ausspeicherprozess. Dies ermöglicht ein variables, modellendogenes Verhältnis von Speicherkapazität und Speicherleistung, da dem Ein- und Ausspeicherprozess eine Leistung und dem Speicherprozess eine Energiemenge (maximaler Energieinhalt) als Kapazität zugewiesen wird.

## **Ergebnis der Szenarioanalyse und Ausblick**

Die Analyse eines Energiewendeszenarios zeigt, dass die zunehmende fluktuierende Einspeisung von Strom aus Wind- und PV-Anlagen unter der Annahme der Fortschreibung des EEG bis zu einem Anteil von rund 55 % erneuerbarer Energien am Stromverbrauch insbesondere durch die Flexibilisierungsoptionen Curtailment, veränderte Stromnachfrage, Lastverschiebung und verstärkten Strom-handel erfolgen kann. Bei höheren Anteilen erneuerbarer Energien ist zusätzlich ein Zubau von großen Stromspeicherkapazitäten und Power-to-Heat notwendig. Power-to-Gas erweist sich unter den betrachteten Rahmenannahmen als ökonomisch nicht tragfähig. Zukünftige Szenarioanalysen sollen sich darüber hinaus mit der integrierten Berücksichtigung von Elektromobilität und Nachtspeicherheizungen bzw. Power-to-Heat (mit Wärmespeichern) in Haushalten befassen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Remme, U.: Zukünftige Rolle erneuerbarer Energien in Deutschland: Sensitivitätsanalysen mit einem linearen Optimierungsmodell. Dissertation. Stuttgart 2006
- [2] Loulou, R.; Lehtilä, A.; Kanudia, A.; Remme, U.; Goldstein, G.: Documentation for the TIMES Model, Part II. 2005
- [3] Blesl, M.: Kraft-Wärme-Kopplung im Wärmemarkt Deutschlands und Europas – eine Energiesystem- und Technikanalyse. Forschungsbericht Nr. 120, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER). Stuttgart 2014
- [4] Blesl, M.; Kober, T.; Kuder, R.; Bruchof, D.: Implications of different climate policy protection regimes for the EU-27 and its member states through 2050. Climate Policy Vol. 12, S. 301-319. 2012
- [5] Blesl, M.; Kober, T.; Bruchof, D.; Kuder, R.: Effects of climate and energy policy related measures and targets on the future structure of the European energy system in 2020 and beyond. Energy Policy 38 6278-6292. 2010
- [6] Welsch, J.; Blesl, M.: Modellierung von Energiespeichern und Power-to-X-Technologien mit dem europäischen Energiesystemmodell TIMES PanEU, VDI Optimierung in der Energiewirtschaft, November 2015