

AUSLEGUNG UND BEWERTUNG VON WASSERSTOFFRÜCKVERSTROMUNGSPFADEN IN NATIONALEN ENERGIESYSTEMEN MITTELS RÄUMLICH- ZEITLICH AUFGELÖSTER ENERGIESYSTEMOPTIMIERUNG

Lara WELDER¹, Peter STENZEL¹, Natalie EBERSBACH¹, Peter MARKEWITZ¹,
Martin ROBINIUS¹, Bernd EMONTS¹, Detlef STOLTEN¹

Einleitung

Im Rahmen von nationalen Klimaschutzplänen wurde u.a. von Deutschland das Ziel formuliert, eine weitestgehend CO₂-neutrale Strombereitstellung im Jahr 2050 zu erreichen. Dies erfordert einen signifikanten Ausbau an erneuerbaren Energien, insbesondere Windenergie und Photovoltaik, sowie deren Integration in das jeweilige Energiesystem. Mit diesem Ausbau geht ein räumlich verteiltes, fluktuierendes Stromdargebot einher, welches in vielen Fällen nicht mit den lokalen Stromnachfragen korreliert. Stromüberschüsse (negative Residuallasten) und Stromdefizite (positive Residuallasten) entstehen durch Netzengpässe oder eine allgemeine Über- oder Unterproduktion an Strom aus erneuerbaren Energien.

Resultieren die Stromdefizite alleinig aus Netzengpässen, können diese durch einen Netzausbau reduziert werden. Andernfalls kann der Ausgleich der Stromdefizite mittels konventioneller Kraftwerke oder großskaligen Energiespeichersystemen realisiert werden. In diesem Kontext bietet sich die Produktion von Wasserstoff aus negativen Residuallasten mit einer großskaligen, kosteneffizienten Speicherung in Salzkavernen und einer zeitversetzten, bedarfsorientierten Rückverstromung zur Deckung von positiven Residuallasten an. Diese Option zur CO₂-neutralen Deckung der Stromdefizite wurde bislang in der wissenschaftlichen Literatur vorrangig bilanziell untersucht. Eine Bewertung mittels räumlich-zeitlich aufgelöster Energiesystemoptimierung steht bisher noch aus.

Methodik

Mit Hilfe eines räumlich und zeitlich aufgelösten Optimierungsmodells werden für das Jahr 2050 Wasserstoffrückverstromungspfade - ausgelegt und bewertet. Zielfunktion ist die Minimierung der Gesamtsystemkosten. Minimiert werden die Annuitäten des Energieversorgungssystems bestehend aus Rückverstromungspfad und HGÜ-Kabel. Dabei werden 39 Regionen und eine stündliche Auflösung der jährlichen Residuallasten berücksichtigt. Die Optimierung ist als gemischt ganzzahliges lineares Optimierungsprogramm formuliert. Die gewählten Nebenbedingungen stellen zu jeder Stunde im Szenario-Jahr eine ausgeglichene Energiebilanz sicher, indem Überschussstrom aus Erneuerbaren Energien zu 60 Euro/MWh in den benötigten Mengen einkauft wird, sowie Technologien zur Energieumwandlung, -speicherung und -transport in den betrachteten Regionen ausgewählt, dimensioniert und betrieben werden.

Als Ausgangspunkt wird hierfür ein Energieszenario für Deutschland zugrunde gelegt, welches positive und negative Residuallasten auf Landkreisebene in stündlicher Auflösung für das Szenario-Jahr zur Verfügung stellt. Die Stromerzeugung basiert dabei vorrangig auf Erneuerbaren Energien. Lediglich die positiven Residuallasten können durch einen konventionellen Kraftwerkspark ausgeglichen werden. Die höchsten positiven Residualenergien treten in dem Szenario im Bundesland Nordrhein-Westfalen auf und betragen ca. 84 TWh im Szenario-Jahr. Dies entspricht ca. 57 % der insgesamt in Deutschland auftretenden positiven Residualenergien. Mittels eines Wasserstoffrückverstromungspfades sowie eines Ausbaus des Stromnetzes, soll dieses Stromdefizit durch negative Residualenergien aus Bundesländern in Norddeutschland ausgeglichen werden. Hierdurch kann auf einen Einsatz konventioneller Kraftwerke verzichtet werden.

¹ Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energie- und Klimaforschung, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich, Tel.: +49 2461 61-9776, Fax: +49 2461 61-3385, {l.welder|d.stolten}@fz-juelich.de, www.fz-juelich.de/iek/iek-3

Die Betrachtung legt einen regionalen Fokus auf die Versorgung des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen. Die vorgestellte Methodik ist auch für überregionale Betrachtungen, z.B. auf Bundesebene, anwendbar.

Die Landkreise im Norden von Deutschland bieten eine Standortoption zur Wasserstoffproduktion aus negativen Residuallasten mittels Elektrolyse. Der produzierte Wasserstoff kann von dort mittels Pipeline zu einem Salzkavernenspeicherstandort geleitet werden. Von dort besteht die Option den Wasserstoff mittels Pipeline in die Lastzentren von Nordrhein-Westfalen zu leiten, wo er zur Deckung der positiven Residuallasten genutzt werden kann. Als Rückverstromungsoptionen werden sowohl thermische Kraftwerke (mit Wasserstoff betriebene Gasturbinen, Gasmotoren sowie Gas- und Dampfkraftwerke) als auch Brennstoffzellen (Polymerelektrolytbrennstoffzelle und Festoxidbrennstoffzelle) betrachtet. Um einen räumlichen, zeitgleichen Ausgleich der Residuallasten zu ermöglichen wird weiterhin die Option eines Hochspannungs-Gleichstrom-Kabelausbaus (HGÜ-Kabel) berücksichtigt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Optimierung zeigen, dass die Stromnachfrage in dem betrachteten Szenario zu 100 % aus Erneuerbaren Energien abgedeckt werden kann. In der optimalen Energiesystemauslegung wird für den zeitlichen Ausgleich der Residuallasten auf das Wasserstoffrückverstromungssystem zurückgegriffen. Für den räumlichen, zeitgleichen Ausgleich wird bevorzugt der Transport per HGÜ-Kabel gewählt, um Wirkungsgradverluste zu vermeiden und so die Kosten durch den Stromeinkauf zu reduzieren.

Die Stromgestehungskosten, welche sich aus den Kosten des Energieversorgungssystems und den Kosten für den Stromeinkauf ergeben, liegen für alle Rückverstromungstechnologien unter 300 Euro/MWh. Die Wasserstoffrückverstromung mittels Gas- und Dampfkraftwerk weist die niedrigsten Kosten auf, gefolgt von der Rückverstromung mittels Festoxidbrennstoffzelle als zweitgünstigste Option.

Die betrachteten Pfade ermöglichen darüber hinaus eine Reduktion der CO₂-Emissionen und eine maßgebliche Erhöhung der Versorgungssicherheit des Energiesystems. So können mittels der ausgelegten Pfade in dem Szenario, unter der Annahme eines Emissionsfaktors von 531 gCO₂/kWh des konventionellen Kraftwerkparks welcher alternativ zur Deckung der positiven Residuallast eingesetzt wird, 44,4 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart werden. Andererseits kann durch die Integration von großskaligen Energiespeichern die Stromproduktion und -nachfrage zeitlich entkoppelt werden und so auch unter statistisch unsicheren Rahmenbedingungen eine Energieversorgungssicherheit gewährt werden.

Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes Virtuelles Institut Strom zu Gas und Wärme erarbeitet, das mit Mitteln des Landes NRW gefördert wird.

Projekt Homepage: <http://strom-zu-gas-und-waerme.de>