

Kurzfassung

Die Energiewende und die Bewältigung der sich daraus ergebenden technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen stellen eine zentrale Aufgabe der deutschen Energiewirtschaft dar. Ein wesentlicher Baustein der Energiewende ist die Windenergie. Um die System- und Marktintegration weiter zu forcieren, wurden in den Jahren 2009 und 2013 die rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen, um die Leistung bei Netzengpässen bzw. ungünstigen Marktsituationen ferngesteuert reduzieren zu können. Im Jahr 2016 wurde der entstandene Ertragsausfall in der Regel zu mindestens 95 % kompensiert. Bei einer weiteren Marktintegration von erneuerbaren Energien sind diese Entschädigungszahlungen in Frage zu stellen. Daher haben Windparkbetreiber schon heute ein Interesse daran, die Ausfallarbeit zu nutzen. Für Neuanlagen, die nach dem 1. Januar 2016 in Betrieb genommen wurden, gibt es weitere Restriktionen der Ertragskompensation. Demnach erhalten Windparkbetreiber keine Marktprämie in dem Zeitraum einer negativen Preiskette am Day-Ahead-Markt, die ≥ 6 Stunden ist. Dies bietet weitere Anreize für alternative Lösungskonzepte aus Sicht des Windenergieanlagenbetreibers.

In der vorliegenden Arbeit wird die ferngesteuerte Leistungsreduzierung von Windenergieanlagen aufgrund von Einspeisemanagement- (EisMan-) Maßnahmen und negativen Börsenpreisen untersucht. Zur Bestimmung der Ausfallarbeit aus Windenergieanlagen wird ein Berechnungsmodell mit dem General Algebraic Modeling System (GAMS) entwickelt. Die Ursachen, die Wechselwirkungen und der Einfluss auf den Windparkbetreiber stehen bei der Untersuchung der Ausfallarbeit im Fokus. Sowohl für Deutschland als auch für den untersuchten Windpark ist tendenziell ein Anstieg der Ausfallarbeit durch EisMan-Maßnahmen zu beobachten. Um die Ausfallarbeit in einem Elektrolyse-System wirtschaftlich und technologisch zu verwerten, werden vier Szenarien gebildet. In diesen vier Szenarien werden die Elektrolyseproduktgestehungskosten bzw. die maximierten Jahreserlöse berechnet. Zur Maximierung der Jahreserlöse wird ein lineares Optimierungsmodell mit GAMS unter Berücksichtigung der derzeit (im Jahr 2016) rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen programmiert. In diesem Modell wird die Zielfunktion maximiert und somit auch die optimale Fahrweise eines Elektrolyseurs, eines Speichers und einer Brennstoffzelle ermittelt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass insbesondere die Einbindung einer Chloralkalielektrolyse in einem Windpark aus wirtschaftlicher Sicht vielversprechend ist. Die ermittelten Elektrolyseproduktgestehungskosten der Chloralkalielektrolyse liegen zum Teil deutlich unter dem angenommenen Verkaufspreis.

Abstract

The energy transition and their technical and economic challenges are central tasks for the German energy industry. One essential element of this energy transition is the wind energy. In 2009 and 2013 legal regulations were implemented in order to force the system and the market integration to limit the turbine power by grid management and negative spot prices. Currently (2016) the revenue losses are being compensated to a minimum of 95 %. This compensation of revenue losses can be questioned with a further enforced market integration of renewable energy. That is one of the reasons why wind farm owners are interested in exploiting the energy losses by using other technical concepts and to suggest changes to current legislation. There are even more restrictions for wind turbines were put into operation after January 1st, 2016. Therefore wind farm owners do not get a Marktprämie (revenue) when the Day-Ahead price is negative for 6 or more hours (in a chain of negative prices). This provides more incentives for alternative implementation concepts for a wind farm owner.

The present dissertation investigates the remote controlled power limitation of wind turbines based on grid management and negative spot prices. To calculate the energy losses of the wind farm a calculation model by GAMS has been developed. Important aspects of this paper are to identify the reasons, interdependencies and the impacts for the turbine owners of the energy losses. More and more energy losses as based on grid management. This can be generally observed in Germany but also specifically for the selected wind farm. In order to assess the technical and economical aspects for using the energy losses in electrolysis systems four scenarios have been examined. The aim is to calculate the costs of the electrolysis product or to maximize the yearly revenues. A linear programming model has been designed with GAMS to calculate the maximum yearly revenues considering the economical and legal requirements. The aim of the model is to maximize the objective function which results in an optimal operation mode of the electrolyzer, the storage and the fuel cell.

The outcome of the investigations shows that the involvement of the chloralkali electrolysis in a wind farm is economically promising. The calculated costs of the electrolysis products are in some cases significantly below the sales price.