

Techno-ökonomische Analyse von Speichertechnologien und Erneuerbaren Energien für eine zukünftige Energieversorgung (Masterarbeit)

Autor: Oliver Berlin
Erstprüfer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Aaron Praktiknjo
Betreuung: Thomas Schöb, M. Sc.

Kurzfassung

Im April 2021 fällte das Bundesverfassungsgericht ein Urteil zur Anpassung des deutschen Klimaschutzgesetzes. Das Urteil schreibt vor, dass ein Zeithorizont und Zwischenziele zur Erreichung der bereits im Gesetz verankerten Treibhausgasneutralität festgelegt werden müssen. Abgesehen von ersten Gesetzesentwürfen ist die konkrete Ausgestaltung dieses Zeitplans Gegenstand aktueller Arbeiten. Unumstritten ist dabei die Erforderlichkeit der Substitution fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energien (EE). Als Schlüsselement zur Integration der EE gelten Energiespeicher, wobei unklar ist, welche Speichertypen wann und in welchem Umfang bis 2050 benötigt werden.

Vor diesem Hintergrund wird in dieser Arbeit die Transformation des deutschen Energiesystems vom heutigen Stand 2020 bis zum Jahr 2050 in verschiedenen Szenarien analysiert. Dazu wird das Energiesystemmodell NESTOR des Instituts für Energie- und Klimaforschung, Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3) des Forschungszentrums Jülich verwendet. Jedes betrachtete Szenario liefert als Ergebnis ein vollständiges Energiesystem, welches aus den jeweils variierten Eingangsparametern der Optimierung resultiert. Die anfänglichen Parameter, und damit das Energiesystem ES-0, beruhen auf dem 95 % Reduktionsszenario aus der Studie „Wege für die Energiewende“. Mit einem Fokus auf die Energiespeicher werden diese in einzelnen Szenarien getrennt angepasst. Die gleichzeitige Anpassung aller Parameter ergibt das Energiesystem ES-1, welches sich signifikant von dem ES-0 unterscheidet. So weist das ES-1 im Vergleich zum ES-0 im Jahr 2050 unter anderem einen um 30 % erhöhten Bestand von Offshore-Windenergieanlagen sowie nahezu eine Verdreifachung installierter Batteriespeicherkapazitäten auf Netzebene auf. Die installierten Kapazitäten der Wärmespeicher nehmen in diesem Szenario von 253 GWh auf 7418 GWh stark zu. Die Betriebsweise der an das Fernwärmenetz angeschlossenen Speicher ändert sich von einer kurz- bis mittelfristigen Speicherung zu einer saisonalen. Das Energiesystem ES-1 wird anschließend als Grundlage zur Analyse weiterer Einflussgrößen verwendet.

Im Energiesystem ES-1.1 wird, im Gegensatz zu allen anderen Szenarien, keine Zeitreihenaggregation verwendet. Die Analyse der stündlichen Verläufe der Speicherfüllstände im Jahr 2050 zeigt, dass Fernwärmespeicher den Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen eine stromnachfragegetriebene Fahrweise ermöglichen. Dezentrale Wärmespeicher und Nahwärmespeicher bewirken neben der zeitlichen Verschiebung des Wärmebedarfs eine Flexibilisierung des Energiesystems durch das Auffangen von Stromspitzen über den Betrieb von Wärmepumpen. Die Sektorkopplung bewirkt, dass der Füllstand sowohl von Fernwärmespeichern als auch von Wasserstoffkavernen vorrangig von der Strombereitstellung abhängig ist. Es ergibt sich in Folge für beide ein ähnlicher saisonaler Verlauf.

Die Berücksichtigung einer kalten Dunkelflaute ergibt das Energiesystem ES-1.2. Im Vergleich zum ES-1 im Jahr 2050 werden signifikant weniger EE installiert und deutlich mehr Primärenergie importiert. Weiterhin wären zur Erreichung des ES-1.2 die Umwidmung von 260 Kavernen, sowie die Neuerrichtung von 396 Kavernen zur Wasserstoffspeicherung nötig.

Die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für die Installation von Freiflächen-Photovoltaik (FF-PV) lässt große zusätzliche Potentiale für deren Ausbau entstehen. Eine entsprechende Anpassung der Eingangsparameter resultiert in dem Energiesystem ES-1.3. Im Vergleich zum ES-1 erhöht sich die installierte Leistung von FF-PV-Anlagen um 67 %. Wasserstoff-Importe entfallen über den gesamten Zeithorizont.

Abstract

In April 2021, the German Federal Constitutional Court issued a ruling on the amendment of the German Climate Protection Act. The ruling stipulates that a time horizon and interim targets must be set for achieving the greenhouse gas neutrality already contained in the law. Apart from an initial draft legislation, the shape and form of this timetable is the subject of current work. As the need to substitute fossil fuels with renewable energies has become a widely acknowledged fact, a key part of the planning is the integration of energy storage, where the question of what types of storage to use at what time is still to be answered.

Against this background, this thesis analyzes the transformation of the German energy system within a timespan between the years 2020 and 2050 in different scenarios. For this purpose, the energy system model NESTOR of the Institute for Energy and Climate Research, Techno-economic System Analysis (IEK-3) of the Research Center Jülich is used. Each scenario considered produces a complete energy system, resulting from the varied input parameters of the optimization. The initial parameters, leading to the first setting for the energy system ES 0, are based on the 95 % reduction scenario from the study "Wege für die Energiewende". The input parameters are adapted in several individual scenarios with a focus on energy storage. The simultaneous adjustment of all parameters results in the energy system ES-1, which differs significantly from the ES-0. Compared to the ES-0 in the year 2050, the ES-1 shows, among other things, a 30% increase in the number of offshore wind turbines and a near tripling of installed battery storage capacities at grid level. Installed thermal storage capacities increase sharply from 253 GWh to 7418 GWh in this scenario. Storage facilities connected to the district heating grids change from a short- to medium-term storage period to seasonal storage operation. The results are then used as a baseline scenario for further analyzing the influence of individual parameters.

The energy system ES-1.1 is based on an optimization without time series aggregation. The analysis of the hourly resolution of storage levels in 2050 shows that district heating storage enables cogeneration plants to run on electricity demand. In addition to shifting the heat demand over time, decentralized as well as local heat storage facilities make the energy system more flexible by absorbing electricity peaks through the operation of heat pumps. Due to sector coupling, the filling level of both district heating storage facilities and hydrogen caverns is primarily dependent on the supply of electricity. Consequently, a highly similar seasonal change in storage levels results for both storage types.

Taking into account a two-week cold dark period results in the energy system ES-1.2. Compared to ES-1 in 2050, significantly less renewable energy is installed and significantly more primary energy is imported. Furthermore, to achieve ES-1.2, the conversion of 260 caverns, as well as the new construction of 396 caverns for hydrogen storage is necessary.

The use of agricultural land for the installation of open-field photovoltaics (OF-PV) gives rise to large additional potentials for their expansion. Corresponding adjustment of input parameters results in the energy system ES-1.3. Compared to ES-1, the installed capacity of OF-PV systems increases by 67%. At the same time, hydrogen imports are eliminated over the entire time horizon.