

Economic quantification of regional power interruptions using the Value of Lost Load (Master Thesis)

Autor: Christian Hueppe
Erstprüfer: Univ.-Prof. Dr.-Ing Aaron Praktiknjo
Betreuung: Prof. Dr. Rainer Elsland

Kurzfassung

Der uneingeschränkte und jederzeit verfügbare Zugang zu Energie ist für die Zukunftsfähigkeit moderner Gesellschaften und den wirtschaftlichen Wohlstand von entscheidender Bedeutung und bildet die Grundlage für zukünftigen Fortschritt. Deshalb wird im ersten Abschnitt des ersten Paragraphen des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) die Versorgungssicherheit als ein zentrales Ziel der deutschen Energiepolitik hervorgehoben. Allerdings führen die Klimaschutzpläne der Bundesregierung, die den Ausbau der erneuerbaren Energien fördern, zu einer volatilen Versorgungssicherheit. Ein wichtiger Indikator für die mit Stromausfällen verbundenen Kosten ist der Value of Lost Load (VoLL). In dieser Arbeit wird versucht, die herkömmlichen Konzepte des VoLL zu erweitern, um die sektoralen und regionalen Auswirkungen von Stromausfällen darzustellen.

Die Folgen des Klimawandels und die begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen erfordern umfassende Maßnahmen auf nationaler und supranationaler Ebene. Angesichts dieser Herausforderung haben sich die Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU) auf gemeinsame politische Maßnahmen geeinigt, um die Energieeffizienz zu fördern und den Einsatz erneuerbarer Energiequellen auszuweiten und gleichzeitig ihre Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern. Um diese Aufgaben zu erreichen, hat sich die EU verbindliche Klimaschutz- und Energiesparmaßnahmen gesetzt. Mittelfristige Ziele sind zum Beispiel die Senkung der Treibhausgasemissionen um 20,0 % unter das Niveau von 1990 und die gleichzeitige Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Energieverbrauch um 20,0 %. Unter den 28 Mitgliedsstaaten der EU hat sich Deutschland die ehrgeizigsten Ziele zur Bekämpfung des Klimawandels gesetzt. Die 2015 von der Bundesregierung beschlossenen Klimaschutzziele umfassen Klimaaktionspläne bis 2030 (mittelfristig) und 2050 (langfristig). In Erweiterung der EU-Umweltziele ist das Hauptziel eine schrittweise Senkung der Treibhausgasemissionen um insgesamt 90 % bis 2050. Diese Maßnahmen bergen unvermeidliche Risiken und Unsicherheiten für die deutsche Versorgungssicherheit.

Vor dem Hintergrund dieses beispiellosen Wandels der deutschen Energiewirtschaft müssen Energiemodelle die Entwicklung der zukünftigen Versorgungssicherheit präzise abbilden. Insbesondere Abschätzungen aus Fallstudien, die die sich verändernden Bedingungen in der Versorgungswirtschaft projizieren, liefern den Entscheidungsträgern wertvolle Informationen für die Umsetzung der Politik. Tatsächlich führt die deutsche Energiewende - bedingt durch den wachsenden Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung und den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022 - zu einer Abhängigkeit von präzisen Energiemodellen. Dies vor allem deshalb, weil die wirtschaftlichen Folgen von Stromausfällen und -unterbrechungen erheblich sein können. Daher ist ein Indikator, der die sozioökonomischen Schäden und wirtschaftlichen Verluste, die durch Stromunterbrechungen hervorgerufen werden, monetarisiert, von großer Bedeutung - dieser Indikator ist der VoLL.

Stromausfälle und Stromversorgungsunterbrechungen (Lastverluste) haben unweigerlich finanzielle Auswirkungen (Wert) auf die Wirtschaft und die Gesellschaft. Der VoLL kann somit als sozioökonomischer Indikator verstanden werden, der die wirtschaftlichen Folgen von Stromunterbrechungen aufzeigt. Er bestimmt die monetären Auswirkungen, die sich aus dem Verlust wirtschaftlicher Aktivitäten aufgrund von Stromausfällen ergeben, und zwar im Verhältnis zu der Menge an gelieferter Elektrizität (kWh) und wirtschaftlicher Aktivität, die ohne Stromunterbrechungen ausgeübt würde. Der VoLL als Indikator zur Monetarisierung der durch Unterbrechungen der Versorgungssicherheit verursachten Auswirkungen ist jedoch komplex zu modellieren, bietet eine Reihe unterschiedlicher Ansätze und wird auf einer hoch aggregierten Ebene geschätzt. Darüber hinaus fehlen eine einheitliche Definition des VoLL sowie ein universell anwendbarer analytischer Rahmen für die Bewertung des VoLL, der eine internationale Vergleichbarkeit ermöglicht. Es lassen sich vier vorherrschende Faktoren des VoLL unterscheiden, die zu einer großen Heterogenität der Ergebnisse führen und das Potenzial für subjektive Verzerrungen bergen. (1) Wahl des methodischen Ansatzes (direkte oder indirekte Ansätze), (2) länder- und regionalspezifische Merkmale (Industrie- oder Entwicklungsländer), (3) gewählte Sektoren und gesetzte Rahmenbedingungen sowie (4) Struktur des Szenarios (Einzel- oder Mehrländer, statische oder dynamische Analyse usw.).

Darüber hinaus konzentriert sich die akademische Literatur auf hochaggregierte Bewertungsansätze, ohne explizite sektorale, zeitliche und regionale Unterschiede zu berücksichtigen. Die Betrachtung technologischer Aspekte wird oft weder modelliert noch spielt sie eine wichtige Rolle für die VoLL. Dennoch gibt es zahlreiche Beispiele, die die Bedeutung des technologischen Wandels für die Versorgungssicherheit unterstreichen, wie z.B. die rasche Verbreitung von Wärmepumpen im Wohnbereich oder die Elektromobilität (E-Mobilität). Daher müssen Energiemodelle zur Abschätzung der VoLL auf einer techno-ökonomischen Basis arbeiten, um den zukünftigen Verlauf der Versorgungssicherheit genau abschätzen zu können.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, die regionale Abschätzung der VoLL für ökologisch-ökonomische Sektoren zu verbessern. Die sektoralen Verluste durch gehemmten Stromverbrauch werden für den industriellen und tertiären Sektor aller deutschen Landkreise (402 NUTS3-Ebenen, siehe Anhang A.1.) und 20 ausgewählte Regionen des Haushaltssektors geschätzt. Ein technologiebasiertes Bottom-Up-Modell (BU), das die Dynamik von Technologien und sozioökonomischen Faktoren auf regionaler Ebene berücksichtigt, dient als Grundlage für die konzeptionelle Erweiterung konventioneller VoLL-Bewertungsmethoden. Dieses Modell ist das FORecasting Energy Consumption Analysis and Simulation Tool (FORECAST). FORECAST ermöglicht die Entwicklung von Langzeitszenarien für den zukünftigen Energiebedarf einzelner Länder und Regionen bis 2050.

In diesem Kurs soll die übergeordnete Forschungsfrage *"Welche zukünftigen Kosten durch unterbrechungsbedingten, gedrosselten Stromverbrauch sind aufgrund des derzeitigen Wandels der deutschen Energiewirtschaft in unterschiedlichen Sektoren und Regionen zu erwarten (bzw. projiziert)?"* beantwortet werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden Leitfragen gestellt, die eine schrittweise Annäherung an das Hauptziel der Arbeit unterstützen.

- (1) Was sind Kennzahlen der Energieversorgungssicherheit und welche Konzepte zur Bewertung der VoLL gibt es?
- (2) Gibt es einen Zusammenhang zwischen der VoLL und Kennzahlen der Versorgungssicherheit?
- (3) Was sind die Anforderungen, die sektorale und regionale Unterschiede berücksichtigen?
- (4) Wie unterscheiden sich die Ergebnisse der erweiterten Kostenabschätzung durch den gehemmten Energieverbrauch von den konventionellen (differenzierten) Ansätzen.

Abstract

The unrestricted, any time available access to energy has become crucial for the sustainability of modern societies and economic prosperity, forming the very basis for future progress. This is why the first section of the first paragraph written in the German Energy Economy Law (EnWG) stresses security of supply as a key goal of the German energy politics. However, governmental climate action plans promoting more renewable power generation lead to a volatile security of supply. An important indicator to exemplify costs associated with electricity disruptions is the Value of Lost Load (VoLL). This thesis seeks to extend conventional concepts of the VoLL to depict sectoral- and regional impacts of power outages.

The thread of climate change and a limited availability of resources demand comprehensive actions on both national- and supranational levels. Facing this challenge, member states of the European Union (EU) agreed on mutual policy measures to stimulate energy efficiency and extend the application of renewable energy sources, while reducing their dependency on fossil fuels. The EU has set itself binding climate protection- and energy saving measures to achieve these tasks. Medium-term goals are for instance to cut greenhouse gas emissions by 20.0% below 1990 levels and simultaneously increase the share in energy consumption coming from renewable sources by 20.0%. Among the 28 member states of the EU, Germany set itself the most ambitious goals to tackle climate change. The goals for climate control adopted by the German government in 2015 comprise of climate action plans until 2030 (medium-term) and 2050 (long-term). Extending the EU's environmental objectives, the key goal is a stepwise decrease in greenhouse gas emissions by a total of 90% until 2050. These actions pose inevitable risks and uncertainties to the German security of supply.

Referring to this unprecedented transition of the German utility industry, energy models need to depict the development of future security of supply accurately. Especially estimates gained from case studies projecting changing conditions in the utility industry provide valuable information to decision makers regarding policy implementation. In fact, the German Energiewende – caused by both growing amounts of renewable energy in the electricity supply and the gradual phase-out of nuclear power until 2022 – leads to a dependency on precise energy models. This is especially because economic consequences of power blackouts and electricity outages can be significant. Hence, an indicator that monetises the socio-economic damages and economic losses evoked by power interruptions of electricity supply is of great importance – this indicator is the VoLL.

Power outages and electricity supply interruptions (lost load) have an inevitable financial impact (value) on the economy as well as society. Thus the VoLL can be understood as a socio-economic indicator pointing out economic consequences of power interruptions. It determines the monetary impact arising from the loss of economic activities due to power outages, related to the amount of electricity (kWh) delivered and economic activity exerted without power interruptions to happen. However, the VoLL as an indicator monetising impacts caused by interruptions in security of supply is complex to model, offers a range of varying approaches and is estimated on a highly aggregated level. Furthermore, a consistent definition of the VoLL as well as a universally applicable analytical framework for the evaluation of the VoLL, enabling international comparability, is missing. Four predominant factors of the VoLL can be distinguished that lead to a large heterogeneity of results and carry the potential for subjective bias. (1) Choice of methodological approach (direct or indirect approaches), (2) country- and region specific features (industrialized or developing countries), (3) sectors chosen and framework

conditions set as well as (4) structure of the scenario (single- or multiple countries, static or dynamic analysis etc.).

Additionally, the academic literature focuses on highly aggregated valuation approaches, not considering explicit sectoral, temporal and regional differences. The contemplation of technological aspects is often neither modeled nor thought to play an important role for the VoLL. Nevertheless, multiple examples exist that stress the importance of technological change on the security of supply, such as the rapid diffusion of heat-pumps in the residential sector or electro mobility (e-mobility). Therefore, energy models estimating the VoLL need to operate on a techno-economic basis to accurately estimate the future course of supply security.

The main objective of this thesis is to improve the regional evaluation of the VoLL for economic sectors. Sectoral losses caused by inhibited electricity consumption (EC) are estimated for the industrial- and tertiary sector of all German counties (402 NUTS3 levels, see appendix A.1.) and 20 selected regions of the household sector. A technology-based Bottom-Up (BU) model that considers the dynamics of technologies and socio-economic drivers on a regional level serves as a basis for the conceptual extension of conventional VoLL evaluation methods. This model is the FOREcasting Energy Consumption Analysis and Simulation Tool (FORECAST). FORECAST enables the development of long-term scenarios for future energy demand of single countries and regions until 2050.

In this course, the overall research question *'What future costs evoked by interruption-based, inhibited electricity consumption can be expected (projected) due to the current transition of the German utility industry in varying sectors and regions?'* shall be answered. Guiding questions are set during this thesis, supporting a stepwise approach towards the thesis' main objective.

- (1) What are key figures in energy security of supply and what concepts for the evaluation of the VoLL exist?
- (2) Does a correlation between the VoLL and key figures in supply security exist?
- (3) What are requirements accounting for sectoral- and regional differences?
- (4) How do results of extended cost estimations by inhibited EC differ from conventional (differentiated) approaches.