

Bestimmung der Potentiale von Elektrofahrzeugen für V2G-Anwendungen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten im Nutzerverhalten

Mathias Kammerlocher

Tag der mündlichen Prüfung: 01.07.2016

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Sonnenschein

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Markus Henke

In der vorliegenden Arbeit wird die Frage behandelt, wie groß das Potential von Elektrofahrzeugen für Vehicle-to-Grid-Anwendungen zur Unterstützung des Stromnetzes ist. Die Frage ist von großem Interesse, da das Stromnetz im Zuge der 'Energiewende' zusätzliche Flexibilität benötigt, um den steigenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Erzeugungsanlagen und den Verbrauch auszugleichen. Elektrofahrzeuge können hierbei aufgrund ihres Batteriespeichers eine Schlüsselrolle einnehmen. Zur Analyse des Potentials von Elektrofahrzeugen für Vehicle-to-Grid-Anwendungen wird ein Simulationsmodell präsentiert, welches auf empirischen Daten aus einem Flottenversuch mit Elektrofahrzeugen aufbaut und erstmalig Unsicherheiten im Nutzerverhalten berücksichtigt.

Nach einer ausführlichen Beschreibung der Motivation dieser Arbeit und ihren zentralen Forschungsfragen, wird im zweiten Kapitel gezeigt, wie fluktuierende Stromerzeuger das elektrische Energiesystem verändern und welchen Anteil Elektrofahrzeuge zur Integration der erneuerbaren Energien in das Stromnetz beitragen können. Von zentraler Bedeutung für die intelligente Netzintegration von Elektrofahrzeugen ist das Verhalten der Nutzer, da nur dann ein Flexibilitätspotential beim Laden der Elektrofahrzeuge besteht, wenn die Nutzer einen Teil des Batteriespeichers freigeben und ihre Energiebedarfe zum Fahren planen.

Darauf aufbauend wird im dritten Teil der Arbeit, anhand von empirischen Daten aus einem einjährigen Flottenversuch mit Elektrofahrzeugen, das Verhalten der Nutzer im Umgang mit einem System zur intelligenten Netzintegration von Elektrofahrzeugen untersucht. Dabei werden die zentralen Einflussgrößen für das Speicherpotential, wie die Anschlusszeiten der Elektrofahrzeuge und die Einstellungen der Nutzer zur Speicherfreigabe, erörtert. Es wird gezeigt, dass Unsicherheiten im Nutzerverhalten, bezogen auf die Speicherfreigabe für Vehicle-to-Grid-Anwendungen, eine wichtige Rolle spielen und bei der Netzintegration von Elektrofahrzeugen berücksichtigt werden müssen.

Aus den Grundlagen zur Funktionsweise des Energiesystems und den empirischen Ergebnissen zum Nutzerverhalten, werden im vierten Teil dieser Arbeit

Anforderungen zur Untersuchung des Vehicle-to-Grid-Potentials abgeleitet. Als Ergebnis stehen Bewertungskriterien zur Verfügung, die eingesetzt werden können, um bestehende Modelle miteinander zu vergleichen. Des Weiteren wird ein Überblick über vorhandene Simulationsmodelle gegeben. Anschließend wird ein eigenes Simulationsmodell vorgestellt, welches auf den zuvor präsentierten empirischen Nutzerdaten aufbaut und, im Gegensatz zu den bestehenden Modellen, Unsicherheiten im Nutzerverhalten berücksichtigt. Außerdem wird eine Optimierungsstrategie zur Teilnahme der Elektrofahrzeuge am Energiemarkt präsentiert, die Prognose, Planung und Regelung der Pool-Leistung beinhaltet.

Zur Untersuchung des Vehicle-to-Grid-Potentials wird im fünften Kapitel auf Grundlage der aktuellen Entwicklungen am Strommarkt und der Fahrzeugtechnologie ein Szenario für das Jahr 2025 hergeleitet. Dieses Szenario beinhaltet auf Seite des Strommarktes dynamische Stromtarife und veränderte Ausschreibungsbedingungen für Regelleistung. Auf Seite der Fahrzeugtechnologie wird eine vergrößerte Batteriekapazität, eine bidirektionale Ladestation und eine Optimierung der Ladeleistung durch einen Aggregator angenommen.

Auf Basis dieses Szenarios und des entworfenen Simulationsmodells, wird im letzten Kapitel das Potential von Elektrofahrzeugen für Vehicle-to-Grid-Anwendungen, am Beispiel der Bereitstellung von Sekundärregelleistung, diskutiert. Hier wird gezeigt, wie viel Leistung ein Pool von Elektrofahrzeugen bereitstellen kann und welchen Einfluss Unsicherheiten im Nutzerverhalten auf das Potential haben. Insbesondere beim Ausgleich von Unsicherheiten im Nutzerverhalten kommt der bidirektionalen Lademöglichkeit eine besondere Rolle zu. Des Weiteren stellt der kurzfristige Intraday-Handel ein wichtiges Instrument zum Ausgleich von Prognoseungenauigkeiten dar. Insgesamt wird aufgezeigt welchen Mehrwert Elektrofahrzeuge für das Stromnetz darstellen können und welche Aspekte bei einer intelligenten Ladestrategie berücksichtigt werden müssen.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung sowie einer kritischen Würdigung der erzielten Ergebnisse. Im Anhang finden sich vertiefende Erläuterungen zu dynamischen Regelungsmethoden und der Funktionsweise und Alterung von Lithium-Ionen Batterien. Diese Erkenntnisse können zur Anpassung der beschriebenen Modelle für weitere Anwendungen genutzt werden.

Determination of potentials of electric vehicles for V2G applications considering uncertainties in user behavior

In This thesis examines the potential of electric vehicles to support the power grid by vehicle-to-grid-services. Intelligent charging strategies for electric vehicles have

obtained much interest over the last decade due to the potential to support the power grid. In particular, load shifting can decrease charging cost and support the integration of renewable energy sources into the electricity system. Furthermore, ancillary services delivered by electric vehicles can balance short term variations of demand and supply in the electricity grid. In order to analyze the potential of electric vehicles for vehicle-to-grid-services, a dynamic simulation model is introduced. This model is based on empirical fleet test data including, for the first time, uncertainties in user behavior.

After a detailed introduction, in chapter two the basic principles of the energy sector and the influence of intermittent renewable energy sources are described. Furthermore, the framework for the integration of electric vehicles into the power grid is introduced. Within this framework the potential of electric vehicles for vehicle-to-grid-services depends on the acceptance of the users as they have to provide a share of their storage capacity for the service by specifying their driving needs. Ultimately, these driving needs define constraints for the charging strategy.

The next chapter presents data about the mobility behavior and the storage potential which was gained during a 12 month fleet test with 20 battery electric vehicles equipped with communication and bidirectional charging technology for providing ancillary services. In this system, the users had to specify their driving needs via a smartphone app. It is demonstrated that intelligent charging strategies need to consider a high proportion of unpredicted trips and diverse individual mobility behaviors. The results obtained are of particular relevance for the successive analysis of the potential of vehicle-to-grid-services.

Considering the results described above, in chapter four criteria for analyzing the vehicle-to-grid-potential are defined. Furthermore, a simulation algorithm which models a large pool of electric vehicles based on the described fleet test data is presented. In contrast to previous work, this model includes spontaneous driving events and cancelled trips. Therefore, it allows investigation of the influence of uncertainties in user behavior on the vehicle-to-grid-storage potential. In addition an aggregator strategy for operating the pool of electric vehicles is introduced.

In the following, future developments in the energy markets and the next generation of electric vehicles are described. Furthermore, a scenario for the vehicle-to-grid-integration in the year 2025 is outlined. Main characteristics of this future scenario include larger battery capacities, bidirectional charging technology and an aggregator coordinating the charging strategy for a pool of electric vehicles.

Finally, the potential of electric vehicles providing ancillary services is examined before the background of the possible developments outlined in the scenario 2025.

By using the simulation model developed in this thesis, the impact of uncertainties in user behavior on the vehicle-to-grid-potential is analyzed. It is demonstrated that a pool of electric vehicles qualifies to provide ancillary services with sufficient accuracy and guaranteed delivery by using the aggregator strategy developed within this thesis. Furthermore, the results indicate the importance of short term power trading for the vehicle-to-grid-potential. This is due to the fact that the storage capacity of a pool of electric vehicles is limited and energy obtained from regulation activity needs to be marketed consequently. Moreover, bidirectional charging technology is an important component regarding the control strategy as it allows the balancing of spontaneous charging events by discharging of other cars.

The thesis ends with a summary of the most important findings. The appendix provides additional background information on dynamic control strategies and lithium-ion batteries which can be used to adjust the presented simulation model for further examinations.