



## **Master's Thesis**

for the Attainment of the Master of Science Degree in Management and Technology  
at the TUM School of Management of the Technische Universität München

# **Optimized Prosumer Households with Bidirectional Electric Vehicles: a Techno-Economic Analysis of Self-Consumption, Battery Utilization, and Distribution Grid Effects**

**Optimierte Prosumer-Haushalte mit bidirektionalen  
Elektrofahrzeugen: eine techno-ökonomische Analyse der  
Eigenverbrauchserhöhung, Batterienutzung, und  
Verteilnetzauswirkungen**

submitted by

**Sabine Englberger, B. Sc.**

Helene-Mayer-Ring 12, 80809 München

Student ID 03674930

submitted to

**Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner**

**Chair of Energy Economy and Application Technology**

submitted on

**April 15th, 2020**

In cooperation with the

**Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.**

Supervisors:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mauch

Mathias Müller, M. Sc. (FfE e. V.),

## Abstract

Due to the existing tariff structure in Germany, prosumer households have a strong incentive to self-consume their photovoltaic (PV) generation. Literature has shown that electric vehicles (EVs), heat pumps (HPs), stationary storage (SSs), and thermal energy storage (TESs) can increase the self-consumption of prosumer households, especially if optimizations are utilized. By developing RESOPT, a residential optimization tool, the effect of optimized uni- and bidirectional EV operation on a household's self-consumption and electricity profits, with and without additional components such as a SS, HP, or TES, was investigated. The integration of RESOPT into the existing distribution grid simulation tool, GRIDSIM, enabled the examination of the distribution grid effects caused by optimal behavior of households and different penetration rates of their components in the grid.

The results are presented on a household, battery, and grid level. In comparison to uncontrolled charging, optimized unidirectional charging causes a significant self-consumption increase of 20 %, on average. The highest self-consumption rates are achieved with a SS or HP included in the household. Self-consumption can be further increased by 16 % through bidirectional optimized charging. However, this effect is strongly dependent on EV user behavior. Depending on how often a bidirectional EV is present at the household, it can make the SS obsolete. Bidirectional operation causes a higher EV battery utilization, increasing equivalent full cycles (EFCs) by around 50 % per year. The majority of voltage violations occur in the upper band and during the daytime, due to PV power injection to the grid. Yet, despite the high component rates of up to 100 % the probability of a voltage violation is very low, below 0.15 % in all scenarios. The lowest number of voltage band violations is seen when the EVs are operated bidirectionally, because less PV generation is injected to the grid.

## Kurzfassung

Prosumer-Haushalte in Deutschland haben aufgrund der bestehenden Tarifstruktur einen starken Anreiz, ihre Photovoltaik-Erzeugung selbst zu verbrauchen. Die Literatur hat gezeigt, dass Elektrofahrzeuge (EV), Wärmepumpen (HP), stationäre Speicher (SS) und thermische Energiespeicher (TES) den Eigenverbrauch von Prosumer-Haushalten erhöhen können, insbesondere wenn Optimierungen verwendet werden. Durch die Entwicklung von RESOPT, einem Tool zur Optimierung von Wohngebäuden, wird der Effekt eines optimierten uni- und bidirektionalen EV-Betriebs auf den Eigenverbrauch und den Stromkosten eines Haushalts mit und ohne zusätzliche Komponenten wie SS, HP oder TES untersucht. Die Integration von RESOPT in das vorhandene Verteilnetz-Simulationstool GRIDSIM ermöglichte zusätzlich die Untersuchung der Verteilnetzauswirkungen, die durch das optimale Verhalten der Haushalte und die unterschiedlichen Durchdringungsraten ihrer Komponenten im Netz verursacht werden.

Die Ergebnisse werden auf Haushalts-, Batterie- und Netzebene dargestellt. Im Vergleich zum unkontrollierten Laden führt das optimierte unidirektionale Laden zu einem signifikanten Anstieg des Eigenverbrauchs um durchschnittlich 20%. Die höchsten Eigenverbrauchsdaten werden mit einer im Haushalt enthaltenen SS oder HP erzielt. Durch bidirektional optimiertes Laden kann der Eigenverbrauch um zusätzlich 16% gesteigert werden. Dieser Effekt hängt jedoch stark vom EV-Benutzerverhalten ab. Abhängig davon, wie oft ein bidirektionales Fahrzeug am Hausanschluss angesteckt ist, kann dies den SS überflüssig machen. Der bidirektionale Betrieb führt zu einer höheren Auslastung der EV-Batterien und erhöht die Vollzyklenzahl (EFCs) um 50%. Die meisten Spannungsverletzungen treten im oberen Band und tagsüber aufgrund der Einspeisung von PV-Strom in das Netz auf. Trotz der hohen Durchdringungsraten von bis zu 100% ist die Wahrscheinlichkeit einer Spannungsbandverletzung sehr gering und liegt in allen Szenarien unter 0,15%. Die geringste Anzahl von Spannungsbandverletzungen tritt auf, wenn die Elektrofahrzeuge bidirektional betrieben werden, da weniger PV-Erzeugung in das Netz eingespeist wird.