

## ■ **Impact and Chances of Electric Mobility on German Low Voltage Distribution Grids**

**Dipl.-Ing. Gerhard Walker**

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. S. Tenbohlen

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. N. Parspour

Tag der mündlichen Prüfung:

13.10.2017

With continuously increasing numbers of electric vehicles on German roads, distribution system operators are looking at options for integrating them into low voltage grids. This thesis highlights how electric vehicles show strong localization as they attract a certain customer base. These hot spots are especially critical to stable grid operations as they can cause a large accumulation of charging power on small grid segments.

In order to gain a better understanding of how electric vehicles will affect German low voltage distribution grids, a detailed investigation was conducted into the grid region operated by the Netze BW. Based on the German National Electric Mobility Development Plan a model was derived which allows insights into which regions will witness the highest electric vehicle dissemination. With this model a probabilistic simulation environment based on the Monte Carlo Method and a driving pattern model was designed. This model delivered information on expected electric vehicle distribution levels throughout the grid region operated by the Netze BW and therefore allowed the identification of hot-spots. By assessing driving, distance, and arrival patterns the model also allowed the deduction of grid planning tools for distribution system operators. This included both grid planning principles and tools for grid development plans, which were made available to the Netze BW. Furthermore, an analysis of the load situation expected at secondary substation transformers throughout the critical regions was conducted to identify those with a high probability of overload.

As no load data was available for individual feeders and to obtain a transferable simulation environment all low voltage feeders operated by the Netze BW were analyzed using a clustering method. Feeder type clusters were identified and reference feeders determined. These reference feeders allowed a representable calculation of grid conditions. By applying these reference feeders to the simulation model for electric vehicles, it was possible to determine the impact of the added load on each cluster type. This allowed a view on which feeder constellations are less suited for higher levels of electric vehicle adoption rates. By application of the Monte Carlo Method it was possible to assign probabilities to overload and under voltage events, allowing the distribution system operator access to information for a detailed grid development plan.

Based on the insights gained from the analysis performed on the grid region of the Netze BW and the electric vehicle simulation models a new approach for an intelli-

gent charging infrastructure was designed. For this, a field test was implemented. Within this field test, prototypes of a three-phase charging infrastructure with the ability to simulated charging cycles were developed and installed. By addressing the various problems which are caused by electric vehicles, a set of controllers was developed which allow charging infrastructure to minimize its own effect on the distribution grid. This included a controller to match the phase load of the charging cycle to the phase voltage levels. Thus, it was possible to minimize the voltage drop during charging and increase phase symmetry. Furthermore, existing reactive power controllers were upgraded to allow a decentralized adaptive reactive power management. Finally, demand side management controllers were implemented to reduce the chance of simultaneously charging electric vehicles and to supply frequency response reserve. Most importantly, this was accomplished with minimal effect on the customer experience. To optimize the controllers, models were created in both MatLab® Simulink® and PowerFactory®. This allowed an independent verification of the approaches, both on a simulation level and under real life conditions in the field test.

The results of this thesis represent a comprehensive view on the impact of electric mobility on German low voltage distribution systems and, based on those impacts, an approach for intelligent charging infrastructure to maximize the chances for such an infrastructure. By developing detailed distribution and driving models for electric vehicles, a complete analysis of the current grid structure operated by the Netze BW was possible. As a direct result, tools for the grid planning process were proposed. Finally, a list of recommendations for the major participants of the electric vehicle integration was drawn up. With application of this list, electric vehicles can be integrated into low voltage distribution grids at minimal cost.

- **Folgen und Chancen der Elektromobilität für deutsche Niederspannungsverteilnetze**

**Dipl.-Ing. Gerhard Walker**

Durch die stetig zunehmende Anzahl an Elektrofahrzeugen in Deutschland sehen sich die Verteilnetzbetreiber gezwungen, ihre Planungsgrundsätze und Zielnetzplanungen anzupassen. Besonders durch die starke lokale Häufung von Elektrofahrzeugen in einigen wenigen Regionen kann es schnell zu Engpasssituationen im Verteilnetz kommen.

Um zu verstehen, wie sich die Elektromobilität auf die Niederspannungsverteilnetze auswirkt, wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes der Netze BW GmbH folgende Untersuchung erarbeitet. Zunächst wurde für Baden-Württemberg ein Model zur Prognostizierung der Elektrofahrzeugverteilung erstellt. Dieses Model stützt sich auf die Zielszenarien des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität, sowie ver-

schiedene Einflussfaktoren wie z.B. die Einkommensstruktur und die allgemeine Bevölkerungsdichte. Basierend auf diesem Verteilungsmodell wurden die Netzregionen der Netze BW auf die Auswirkungen der Elektromobilität hin untersucht. Für die Untersuchung der Netzgebiete wurde eine probabilistische Simulationsumgebung basierend auf der Monte Carlo Methode und ein Fahrtenmodell für Elektroautos entwickelt. Hieraus wurden dann Werkzeuge für die Erstellung der Planungsgrundsätze und die Zielnetzplanung abgeleitet und der Netze BW zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurde eine Analyse der Transformatoren in besonders kritischen Regionen durchgeführt.

Zur Ermittlung des Spannungs- und Lastverhaltens von Ladevorgängen und um eine übertragbare Simulationsgrundlage zu generieren, wurden alle Niederspannungsstränge der Netze BW mit Hilfe eines Clusteransatzes untersucht und Referenzstränge gebildet. Durch dieses Verfahren war es möglich repräsentative Niederspannungsstränge zu identifizieren. Zusammen mit der Simulationsumgebung und den neuen Planungsgrundsätzen war es nun möglich, kritische Strangkonstellationen zu identifizieren und Netzentwicklungsvorschläge abzuleiten. Durch den probabilistischen Simulationsansatz waren Aussagen über die Wahrscheinlichkeiten bestimmter Szenarien möglich. Des Weiteren wurden aus diesen Erkenntnissen Planungsprämissen und Werkzeuge für die Zielnetzplanung abgeleitet.

Die Analyse der Niederspannungsnetze und das Erstellen der Planungsgrundsätze lieferten wichtige Einblicke in die verschiedenen Probleme, die sich bei einer erhöhten Durchdringung von Elektrofahrzeugen ergeben. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde im zweiten Schritt ein Feldversuch implementiert, für welchen Prototypen einer intelligenten Ladeinfrastruktur entwickelt wurden. Für diese Prototypen wurde ein Paket von dezentralen Regler-Konzepten entwickelt, welches es der Ladeinfrastruktur erlaubt, ihren eigenen Einfluss auf das Verteilnetz zu minimieren. Dies beinhaltet einen Regler zur Phasenausgleichsbelastung, welcher seine Ladeleistung asymmetrisch entgegen der Phasenspannungen auf die Außenleiter aufteilt. Auch das Thema des Lastmanagements wurde durch ein dezentral agierendes Regelkonzept ohne nennenswerte Negativauswirkungen auf den Kunden adressiert. Bestehende Blindleistungsregelkonzepte wurden weiterentwickelt, um einen dezentral optimierten Einsatz zu ermöglichen. Auch ein Beitrag der Ladeinfrastruktur zur Regelleistungsbereitstellung war Teil der Regler. Für die Optimierung der Regler wurden sowohl MatLab® Simulink® als auch PowerFactory® Modelle passend zu den Prototypen entwickelt. Alle Konzepte wurden separat, sowohl in den Simulationsmodellen als auch im Feldtest, validiert und in die Prototypen implementiert.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine Analyse der kritischen Netzgebiete der Netze BW sowie die notwendigen Daten für eine Anpassung der Planungsgrundsätze mit Blick auf die Elektromobilität. Des Weiteren wurde anhand von Prototypen im Netz ein Ansatz für eine intelligente, dezentrale Ladeinfrastruktur, welche in der Lage ist, Ladevorgänge mit minimalen Auswirkungen auf das Verteilnetz durchzuführen, entwickelt. Hierbei wurden die einzelnen Probleme der Verteilnetze aus der vorhergegangenen Untersuchung der Netzregion der Netze BW adressiert. Auf Basis der

Referenznetze, der Simulationsmodelle und des Feldtestes konnten die Auswirkungen der Regler detailliert untersucht werden. Abschließend wurde eine Liste mit Empfehlungen an die Hauptteilnehmer des Markthochlaufes der Elektromobilität erstellt, mit welchen eine möglichst reibungslose Netzintegration von Elektrofahrzeugen sichergestellt werden soll.