

Technische Lösungsansätze zur Erhöhung der Aufnahmekapazität von Niederspannungsnetzen für Elektrofahrzeuge

Jonas Wussow

Tag der mündlichen Prüfung: 16.02.2021

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Christian Rehtanz

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Markus Henke

Die Elektromobilität ist ein wichtiger Ansatz zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor. Die steigende Anzahl an batterieelektrischen Fahrzeugen wird insbesondere bestehende vorstädtische Niederspannungsnetze vor große Herausforderungen hinsichtlich Spannungshaltung und Auslastungen stellen.

Die vorliegende Arbeit thematisiert den Einfluss von Ladevorgängen auf den Netzbetrieb und mögliche Lösungsansätze für die Kapazitätserhöhung von Vorstadtnetzen. Die Untersuchungen werden anhand von drei repräsentativen, vorstädtischen Niederspannungsnetzen und mithilfe eines realitätsnahen Modells für die Ladevorgänge durchgeführt. Die untersuchten Szenarien basieren hinsichtlich des Ladeverhaltens und des Energiebedarfs auf vorhandenen Statistiken. Zusätzlich ist ein Extrehtag definiert, der z. B. einen Sonntag mit vielen Ausflugsfahrten bei gutem Wetter darstellt und entsprechend höhere Energiebedarfe berücksichtigt.

Die Untersuchungen zeigen, dass insbesondere am definierten Extrehtag nur wenige Elektrofahrzeuge aufgrund von Überlagerungen der Ladevorgänge und abendlichen Ladespitzen in den bestehenden Netzen integriert werden können. Beim normalen Ladeverhalten sind hingegen tendenziell höhere Durchdringungsgrade möglich.

Um zusätzliche Elektrofahrzeuge bei einem weiterhin sicheren Netzbetrieb integrieren zu können, werden drei mögliche Lösungsansätze mit insgesamt 17 unterschiedlichen Maßnahmen vorgestellt und untersucht. Ein netzorientiertes Laden wird durch die Blindleistungsbereitstellung während des Ladevorgangs und eine spannungsabhängige Ladeleistungsreduktion erreicht. Die Funktionen von häuslichen PV-Speichersystemen werden erweitert. Diese umfassen die Blindleistungsbereitstellung zu jedem Zeitpunkt und zusätzlich das Laden des Speichers aus dem Netz an Tagen ohne PV-Erzeugung. Darüber hinaus werden netzseitige Maßnahmen, wie der regelbare Ortsnetztransformator, konventioneller Netzausbau und Speicher im Niederspannungsnetz, untersucht.

Mithilfe der erarbeiteten Lösungsansätze kann die Aufnahmekapazität von bestehenden vorstädtischen Niederspannungsnetzen für Elektrofahrzeuge grundsätzlich erhöht werden. Die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen ist von der jeweiligen Netztopologie abhängig. Eine gute technische Wirksamkeit weisen die

Ladeleistungsreduktion bei Elektrofahrzeugen, aus dem Netz geladene PV-Speichersysteme und bei Spannungsproblemen der Strangspeicher auf.

Bei einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse stellen bei Spannungsproblemen die erweiterte Blindleistungsbereitstellung der PV Speichersysteme und die Parallelleitung die besten Alternativen dar. Beim Netz mit Auslastungsproblemen haben die spannungsabhängige Ladeleistungsreduktion abhängig von der gewählten Kennlinie und der Austausch des Ortsnetztransformators die geringsten Kosten-Wirksamkeits-Quotienten.

Technical approaches for increasing the capacity of low-voltage grids for electric vehicles

Electric mobility represents an important approach to reducing CO₂-emissions in the transport sector. The increasing number of battery electric vehicles will pose a particular challenge to existing suburban low voltage grids.

The present work focuses on the impact of charging processes on grid operation and possible approaches for increasing the capacity of suburban grids. The investigations are carried out on the basis of three representative, suburban low-voltage grids and a realistic model for the charging processes. The investigated scenarios are based on existing statistics regarding charging behaviour and energy demand. In addition, an extreme day is defined, which, for example, represents a Sunday with many excursions in good weather.

The investigations show that only a few electric vehicles can be integrated into the existing grids, especially on the defined extreme day, due to the high energy requirements. These days pose challenges for the low-voltage grid with regard to voltage stability and utilization of the equipment. With conventional charging, on the other hand, higher penetration rates tend to be possible.

Three possible solutions with a total of 17 different measures are presented and investigated, in order to integrate additional electric vehicles while continuing to operate safely on the grid. Grid-oriented charging can be achieved by providing reactive power during the charging process and a voltage-dependent charging power reduction. For households with a PV storage system, its functions will be extended. These include the provision of reactive power at any time and additionally the charging of the storage from the grid on days without PV generation. In addition, grid-side measures such as the controllable local power transformer, conventional grid expansion and storages in the low-voltage grid will be investigated.

With the support of the developed approaches, the capacity of existing suburban low-voltage grids for electric vehicles can be increased. The effectiveness of the individual

measures depends on the respective grid topology. A good technical effectiveness is shown by the reduction of charging power, PV storage systems charged from the grid and, in the case of voltage problems, string storage systems.

In a cost-effectiveness analysis, extended provision of reactive power of the PV storage systems and parallel line are the best alternatives for voltage problems. For grids with load problems, the voltage-dependent charge power reduction depending on the selected characteristic curve and the replacement of the local power transformer have the lowest cost-effectiveness ratios.