

Auswirkungen einer E-Taxiflotte auf das städtische Verteilnetz – Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts ZENEM

Andreas SCHUSTER, Markus LITZLBAUER, Wolfgang GAWLIK

TU Wien – Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe,
Gußhausstr. 25/E370-1, 1040 Wien, Tel.: +43158801370134,
andreas.schuster@tuwien.ac.at, <http://www.ea.tuwien.ac.at>

Kurzfassung:

Mögliche Auswirkungen durch Ladevorgänge von E-Taxis auf städtische Verteilnetze wurden anhand von fünf ausgewählten Niederspannungsnetzen sowie GPS-Mobilitätsmessungen einer Taxiflotte im Wiener Stadtgebiet analysiert. Netzsimulationen eines ganzjährigen Betrachtungszeitraums fokussierten einerseits auf die Spannungshaltung und andererseits auf die Auslastungen der Netzkomponenten (Trafo und Leitungen). Diese ergaben, dass aufgrund der geringen Netzausdehnungen sowie dreiphasiger DC-Schnellladeanschlüsse der E-Taxis Spannungsbandverletzungen und -unsymmetrien nicht zu erwarten sind. Umspannerüberlastungen sind nur in Einzelfällen aufgetreten und können durch das klassische Verteilnetzmanagement vermieden werden. Dagegen übersteigen die Auslastungen der Strangleitungen durchwegs in allen betrachteten Netzen und Ausbauszenarien die erlaubten Grenzwerte. Diese bilden somit den kritischen Punkt bei der Einführung der E-Taximobilität. In zukünftigen Betrachtungen werden diese Strangüberlastungen mit Hilfe thermischer Simulationen noch detaillierter analysiert, um somit die Auswirkungen auf thermischer Ebene abschätzen zu können. Weiters werden die Auswirkungen von Ladesteuerungen für die E-Taxis in diesen Fällen untersucht. Alle Ergebnisse stammen aus dem durch den Klima- und Energiefonds geförderten Forschungsprojekt „ZENEM – Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität“.

Keywords: Elektromobilität, Taxiflotte, Verteilnetzbelastungen, Forschungsprojekt ZENEM

1 Einleitung

Die folgenden Analysen basieren auf dem durch den österreichischen Klima- und Energiefonds geförderten Projekt „ZENEM – Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität“.

Ein Elektrofahrzeug besitzt gegenüber konventionellen Fahrzeugen höhere Effizienz sowie Energiequellenunabhängigkeit und verringert somit Treibhausgasemissionen. Ohne Elektrifizierung des Antriebsstrangs können die hochgesteckten EU-Klimaziele im Sektor Verkehr (mind. 60% Reduktion des Treibhausgasausstoßes gegenüber 1990 bis 2050 [1]) nicht erreicht und die Ölimportabhängigkeit nicht minimiert werden. Die meisten Probleme in den Städten können durch verstärkte Substitution mit öffentlichen Verkehrsmitteln gelöst werden.

Hingegen kann der Taxiverkehr nur schwer ersetzt werden. Deshalb wird in dem Projekt ZENEM die Umstellung einer gesamten Wiener Taxiflotte auf elektrische Fahrzeuge inkl. Ladestelleninfrastruktur näher analysiert.

Die Innovation besteht aus neuen Konzepten zur Versorgung des Verbrauchers Elektromobilität, wobei die bestehenden elektrischen Netze mit möglichst geringfügigen Ausbauten belastet werden. Dabei sollen einerseits die Ladeleistungen angepasst, netzorientierte Ladestrategien durchgeführt und kurzzeitige Überlastungen von Komponenten in Hinsicht der Alterung untersucht werden. Diese Analysen werden anhand des Spezialfalls „E-Taxi“ vorgenommen.

2 Methodik

Damit man Aussagen über den Energie- und Leistungsbedarf von zukünftigen elektrischen Taxis treffen kann, muss zuerst deren Mobilitätsverhalten analysiert werden. Als Ergebnis daraus erhält man synthetische zeitliche Trajektorien der Fahrzeuge.

Eine Kernaufgabe stellt die richtige Wahl der betrachteten Szenarien dar. Diese basieren auf einer Kombination aus Höhe der Ladeleistung, Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur und Größe der Batteriekapazität. Erfüllbarkeitsuntersuchungen haben ergeben, dass Ladeleistungen von 50 kW zweckmäßig sind und eine weitere Erhöhung der Ladeleistung keinen entscheidenden Vorteil mehr für die Durchführbarkeit von Fahrten bringt [2]. Da die Batteriekapazität nicht nur die Reichweite, sondern gleichermaßen auch die Investitionskosten beeinflusst, werden die Batteriekapazitäten in den einzelnen Szenarien variiert. Mit der Berechnung des „State of Charge“ (SOC) aller Fahrzeugbatterien über die gesamte Zeitdauer erhält man typische Ladeprofile je Fahrzeug und Ladestation.

Diese Ladeprofile belasten die elektrischen Verteilnetze zusätzlich zum normalen Bedarf (vgl. [3]). Um den örtlichen elektrischen Verbrauch genauer bestimmen zu können, wurden die Leistungsverläufe der betreffenden Hausanschlüsse durch Messungen an mehreren Netzknoten (in Schleifenkästen bzw. direkt an den Netztransformatoren) über einen längeren Zeitraum (rund 4 Wochen) ermittelt. Zusammenfassend standen der Verteilnetzanalyse Ladeleistungsprofile aller Taxistandplätze für jedes Szenario für das gesamte Jahr 2011 sowie alle Netz- und Verbrauchsdaten von fünf Niederspannungsnetzen für jeweils rund einem Monat zur Verfügung.

Da sich das Projekt ZENEM zum Ziel gesetzt hat, mit minimaler Infrastruktur eine Versorgung zu ermöglichen, wurden (auch bei resultierenden Überlastungen) die Netzstrukturen nicht geändert und ebenfalls keine Netzausbaumaßnahmen angenommen. Überlastungen sollen in erster Linie mittels Ladesteuerungen der E-Taxis abgefangen werden.

2.1 Simulationsmethode

Alle elektrischen Netze wurden mittels der Simulationssoftware NEPLAN (Busarello+Cott+Partner) im 4-Leitersystem (unsymmetrische Belastungen) analysiert. Die Aufbereitung der Leistungsprofile wurde mit MATLAB (MathWorks) durchgeführt. Hierbei wurden die gemessenen Lastprofile gemäß den Jahresenergieverbräuchen auf die einzelnen Haushalte aufgeteilt. Die Ladeprofile der Elektrotaxis wurden anhand von Testmessungen einzelner DC-Schnellladevorgänge (Standard CHAdeMO) auf die drei Außenleiter (Phasen) aufgeteilt und ein dementsprechend negativer Blindleistungsanteil (kapazitiv) hinzugefügt.

Der Simulationszeitraum umfasste das ganze Jahr 2011 im 15-Minutenraster. Um das ganze Jahr abbilden zu können, wurden die gemessenen Haushaltslastprofile entsprechend wiederholend aneinandergereiht. Zusammen mit den obigen Adaptionen und den Ladeprofilen der berücksichtigten Taxistandplätze wurden die Netzabschnitte simuliert. Hierbei sind alle Taxistandplatzprofile aller Szenarien in jedem der fünf NS-Netze als Lasten eingefügt und als unterschiedliche Varianten (in Summe 3 000 Jahressimulationen) berechnet worden. Alle Ladevorgänge der E-Taxis sind hierbei ungesteuert.

Durch eine vorangestellte vereinfachte „worst case“-Simulation konnte ermittelt werden, dass Spannungshaltungsproblematiken in den betrachteten Netzen bedingt durch Ladevorgänge der E-Taxis nicht zu erwarten sind. Weiters treten bedingt durch den dreiphasigen Anschluss der DC-Schnellladesysteme in den Niederspannungsnetzen auch keine zusätzlichen Unsymmetrien auf. Daher konnten die Knotenspannungsergebnisse in den weiteren Analysen ausgespart werden. In den umfangreichen Simulationen waren deshalb Auslastungen der Umspanner (MS/NS-Transformatoren) und Stränge (Anschlussleitung eines Abzweigs) im Fokus. Für die im Projekt ZENEM anschließende Betrachtung der thermischen Auslastungen der Netzkabeln wurden des Weiteren auch die Stromverläufe der relevanten Stränge simuliert und ausgegeben.

Aufgrund der umfangreichen Simulationen wurden diese mittels automatisierten Stapelverarbeitungen im Zusammenspiel von NEPLAN und MATLAB durchgeführt. Die resultierenden Auslastungen der Netzkomponenten sind folgend dargestellt.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen anhand eines Spezialfalls der Elektromobilität, dem E-Taxi, das sich durch hohe Konzentrationen an den Standplätzen auszeichnet, die Auswirkungen elektrisch betriebener Fahrzeuge auf das Wiener Stromnetz. Wie schon in Kapitel 2 kurz beschrieben, **treten bedingt durch ungesteuerte Ladevorgänge der E-Taxis in keinem der betrachteten Fälle und Netze Spannungsbandverletzungen und -unsymmetrien gemäß DIN EN 50160 auf.**

Aufgrund der längenmäßig geringen Ausdehnung der „Stadtnetze“ sind Spannungshaltungsprobleme nicht zu erwarten. Bei Niederspannungsnetzen mit großflächiger Ausdehnung könnte diese Problematik jedoch entstehen. Im Folgenden werden die jeweiligen Auslastungen der Umspanner (Transformatoren) sowie Strangleitungen bezogen auf die Nennwerte untersucht.

3.1 Umspanner

Die Umspanner (MS/NS-Transformatoren) bilden das Bindeglied der Niederspannungsnetze zur Mittelspannungsebene. In den meisten Fällen sind diese für Leistungen bis max. 630 bzw. 800 kVA verwendbar. Abbildung 1 zeigt die Streubereiche der mittleren und maximalen Auslastungen in Prozent der Nennwerte bei derzeitiger Belastung („Ohne E-Taxis“) und mit allen im Projekt simulierten Taxistandplatzprofilen („Mit E-Taxis“). Diese Abbildung fasst hierbei alle fünf NS-Netze überblicksmäßig zusammen.

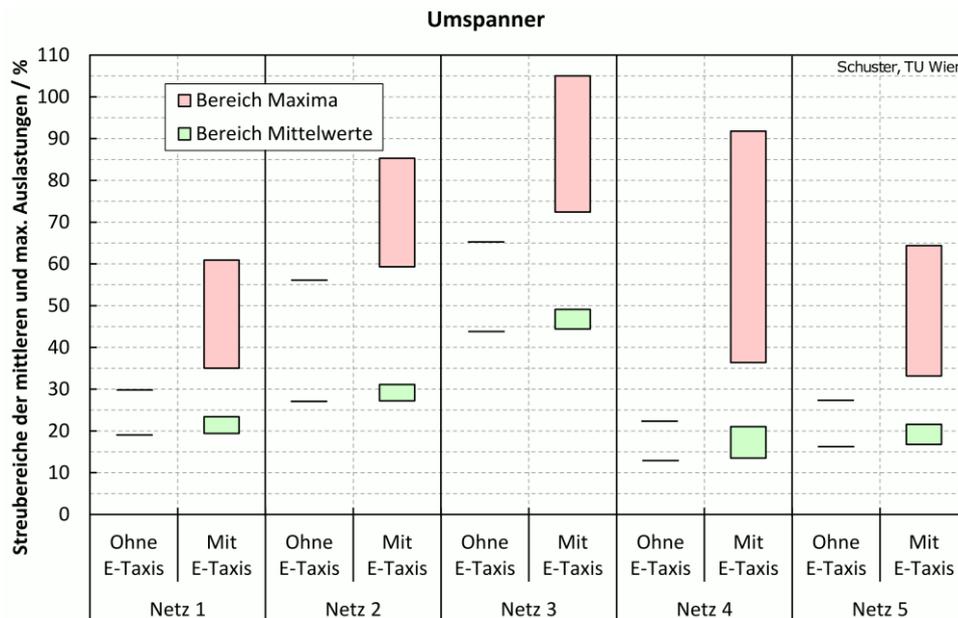


Abbildung 1: Streubereiche der mittleren und maximalen Umspanner-Auslastungen in Prozent der Nennwerte aller fünf Netze mit (ungesteuert) und ohne E-Taxis

Die derzeitigen Belastungen ohne jegliche Elektromobilität sind bei den Netzen schon sehr unterschiedlich. Das „Netz 3“ ist mit max. rund 65% am meisten ausgelastet. **Durch die Einbindung der ungesteuerten E-Taxis kommen hier vereinzelt Überlastungen vor, jedoch nur in marginaler Ausprägung (0,06% der gesamten Simulationsdauer) bei speziellen Taxistandplatzprofilen.** Alle anderen Spitzenauslastungen erreichen nie die 100%-Marke. Hingegen werden alle Maxima-Bereiche erhöht und auch stark verbreitert, was einer großen Selektivität bezüglich der simulierten Taxistandplätze gleich kommt.

Die Bereiche der Mittelwerte allerdings erhöhen sich durch die E-Taxis nur geringfügig und zeigen, dass die Ladevorgänge in Summe energetisch kaum relevant sind, sowie verhältnismäßig klein gegenüber dem herkömmlichen elektrischen Verbrauch ausfallen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Auslastungen bedingt durch ungesteuerte E-Taxis an den Umspannern durchwegs im unproblematischen Bereich liegen. In Ausnahmefällen müssen die Umspannerbelastungen näher betrachtet werden.

3.2 Strangleitung

Die Strangleitung ist jenes Leitungsstück, welches einen Niederspannungsabzweig mit der Sammelschiene des Umspanners verbindet. Folglich fließen alle Ströme der nachfolgenden Verbraucher in Summe durch ihn. Daher sind die maximalen Auslastungen immer dort zu vermuten, wenn alle Leitungsstücke die gleiche Bauart besitzen. In den Wiener Niederspannungsnetzen ist dies der Fall, da im Allgemeinen 4x150mm² Aluminium-Erdkabel verwendet werden. Diese können im Nennbetrieb maximal 275 A je Phase permanent durchleiten. Nur sehr kleine Verbraucher in Abzweigungen werden mit 4x35mm² Kupferleitungen versorgt.

Abbildung 2 zeigt analog zum Umspanner wieder die Streubereiche der mittleren und maximalen Auslastungen der relevanten Strangleitungen in Prozent der Nennwerte bei derzeitiger Belastung („Ohne E-Taxis“) und mit allen im Projekt simulierten Taxistandplatzprofilen („Mit E-

Taxis“). Zusätzlich stellt die rechte Ordinate die maximale Häufigkeit der auftretenden Überlastung (entspricht einer Auslastung höher 100%) in Promille der gesamten Simulationsdauer (das ganze Jahr 2011) dar.

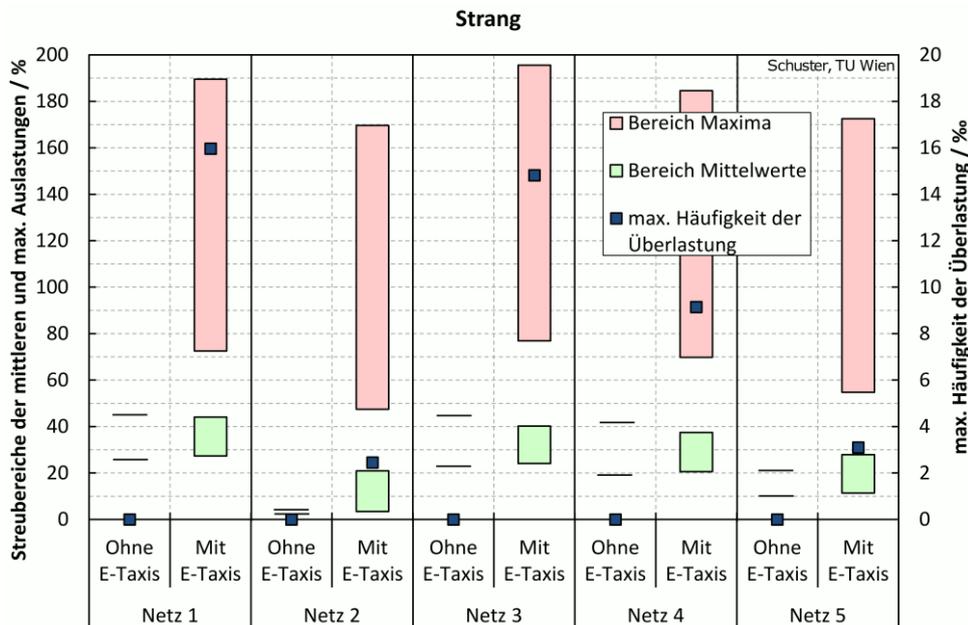


Abbildung 2: Streubereiche der mittleren und maximalen Strangleitungs-Auslastungen in Prozent der Nennwerte aller fünf Netze mit (ungesteuert) und ohne E-Taxis sowie die maximale Häufigkeit der Überlastung in Promille der Gesamtsimulationsdauer (rechte Achsenbeschriftung).

Im Gegensatz zum Umspanner treten in den Strangleitungen starke und relevante Überlastungen im ungesteuerten Fall auf. Die Spitzenwerte liegen im Bereich von 170 bis fast 200%. Die Bereiche der Maxima sind durchwegs über der maximalen Nennbelastung. Betrachtet man die auftretenden Häufigkeiten, so ist ersichtlich, dass diese Überlastungen jedoch mit maximal 16‰ der gesamten Simulationsdauer eher selten auftreten. Aufgrund der Ganzjahresbetrachtung sind dies in Summe dennoch fast 6 Tage. Mit klassischer Netzplanung würden diese Strangleitungen mit diesen zusätzlichen E-Taxis entweder ausgetauscht oder mit Hilfe einer Doppelleitung entlastet werden, da die möglichen Maximalbelastungen im Normalfall, also ohne Störfälle im offenen Ring, zu hoch wären.

Die Bereiche der Mittelwerte erhöhen sich auf zumindest derzeit auftretende Maximalauslastungen (ohne E-Taxis). **Zusammenfassend sind Strangleitungen bei der Einführung der Elektromobilität in Städten via E-Taxis am stärksten betroffen, und in allen der betrachteten Niederspannungsnetze müssen Adaptionen (z.B. Ladesteuerungen) durchgeführt werden.**

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die in dem Projekt ZENEM durchgeführten Verteilnetzanalysen geben einen umfangreichen Einblick, auf welche Problemstellungen eine zukünftige Einführung von E-Taxis trifft. Die Ladestationen für E-Taxis sollten dementsprechend entweder direkt an der Sammelschiene des Umspanners oder nach einer allgemeinen Adaption des Netzes angeschlossen werden, um sonst zu befürchtende Strangüberlastungen zu vermeiden. Probleme an Umspannern sind nur in sehr speziellen Strukturen, in welchen schon derzeit maximale Trafoauslastungen von über

60% auftreten, zu erwarten. Spannungsbandverletzungen müssen diesbezüglich nicht mehr näher betrachtet werden, da diese sogar bei sehr seltenen Belastungen nicht auftreten.

Im Sinne der derzeitigen Betriebsweise der städtischen NS-Netze im „offenen Ring“, welche im Normalbetrieb nur maximale Auslastungen von 60% zulässt, müssen vertiefende Analysen auch in Abhängigkeit der benachbarten Netze durchgeführt werden. Der Netzausbau bedingt durch die E-Taxis nach herkömmlichen Planungskriterien würde unnötige Ressourcen verbrauchen.

Auch werden im Projekt ZENEM mittels vertiefenden Simulationen die resultierenden thermischen Auswirkungen solcher Überlastungen ausgearbeitet. Hierbei wird noch ein weiterer Spielraum der eingesetzten Netzkomponenten gesehen. In einem parallelen Lösungsverfahren werden die Strangüberlastungen mittels Ladesteuerungen der E-Taxis gelöst. Diese Steuerungen dürfen dabei zu keiner Einschränkung der der möglichen Taxifahrten führen.

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „ZENEM – Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität“ wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Neue Energien 2020“ durchgeführt.

Literatur

- [1] Europäische Kommission: WEISSBUCH, Brüssel, 2011.
- [2] Litzlbauer, M., Schuster, A.: Erfüllungsszenarien einer E-Taxiflotte - Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts ZENEM, 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2013.
- [3] Schuster, A., Leitinger, C., Brauner, G.: Begleitforschung der TU Wien in VLOTTE – Endbericht, Wien, 2010.