

# Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität – Überblick der Projektziele

Andreas Schuster<sup>1</sup>, Markus Litzlbauer<sup>1</sup>, Martin Reinthaler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TU Wien – Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, Gußhausstr. 25/E370-1, 1040 Wien, +43 1 58801 370 134, andreas.schuster@tuwien.ac.at, www.ea.tuwien.ac.at.

<sup>2</sup>AIT Austrian Institute of Technology, Giefingg. 2, 1210 Wien, +43 664 82 51 271, martin.reinthaler@ait.ac.at, www.ait.ac.at.

**Kurzfassung:** Zukünftige Stromnetze werden mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Verantwortlich dafür sind zusätzliche Verbraucher wie Fahrzeuge aus dem Bereich der Elektromobilität. Anhand des Spezialfalls einer Taxiflotte, welcher sich durch hohe Konzentration an den Standplätzen sowie relativ hohe Tageskilometer auszeichnet, werden die Auswirkungen von E-Taxis auf das Verteilnetz umfassend untersucht. Thermische Kurzzeitüberlastungen und Ladesteuerungen im elektrischen Netz sollen bei der Integration der Fahrzeuge sowie der Machbarkeit aller Taxifahrten helfen.

**Keywords:** Batterie-Elektrofahrzeug, Stadtverkehr, Taxiflotte, Ladeinfrastruktur, thermische Netzmodellierung, Ladesteuerung

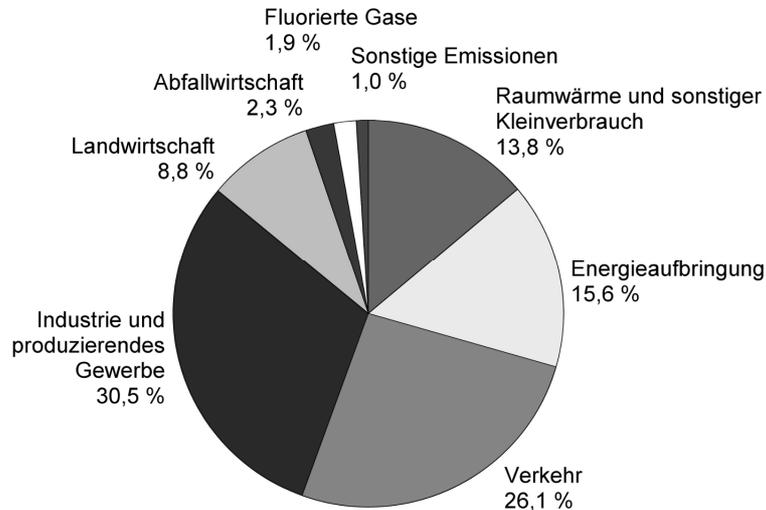
## 1 Einleitung

Die folgenden Aspekte basieren auf das durch den Klima- und Energiefonds (Ausschreibung: Neue Energien 2020) geförderte und derzeit laufende Projekt „ZENEM – Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität“. Unter der Leitung der TU Wien – Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe arbeiten AIT – Department Mobility (Geschäftsfeld DTS), TAXI 31300 VermittlungsgmbH und Wien Energie Stromnetz GmbH zusammen.

Entsprechend dem IPCC Bericht [1] besteht die Notwendigkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 um 50-80% gegenüber dem Basiswert von 2000 zu reduzieren, um eine Stabilisierung des Klimawandels bei 2°C zu erzielen. Wie in Abbildung 1 ersichtlich erzeugt der Verkehr mehr als ¼ der österreichischen Treibhausgasemissionen. Dieses hat auch die EU erkannt und schreibt eine mind. Reduktion von 60% des Treibhausgasausstoßes gegenüber 1990 bis 2050 im Sektor Verkehr europaweit vor [2]. Das zweite große Problem ergibt sich durch die weltweite Erdölverknappung und den damit verbunden Preisanstieg, welches den Verkehrssektor besonders stark trifft.

Die beste und nachhaltigste Methode die oben beschriebenen Probleme zu lösen ist die Verkehrsvermeidung bzw. der Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel. Dies kann sicherlich beim Individualverkehr überlegt werden. Jedoch stellt der Taxiverkehr eine notwendige Ergänzung der Mobilität dar, welche nur schwer mit öffentlichem Verkehr substituiert werden kann. In diesem Fall sind Elektrofahrzeuge eine effiziente und in Verbindung mit erneuerbaren Energiequellen umweltfreundliche Lösung. Vorwiegend treten die Belastungen durch konventionelle Taxis in Großstädten, einschließlich der suburbanen Randbezirke auf. Dort

könnten durch den Einsatz von Elektroautos lokal Lärm sowie Treibhausgasemissionen verringert werden. Die Anforderungen an Taxi-Fahrzeuge sind bedingt durch die große Kilometerleistungen und der ausgedehnten Betriebsdauern sehr hoch. Daher muss die Machbarkeit durch Elektrofahrzeuge noch näher analysiert werden.



**Abbildung 1: Anteil der Sektoren an den gesamten THG-Emissionen [3]**

Diese zusätzlichen elektrischen Verbraucher aus dem Bereich der Elektromobilität konfrontieren die zukünftigen Stromnetze mit neuen Aufgaben (vgl. [4]). Um die Auswirkungen einer hohen Durchdringung von Elektrofahrzeugen auf das Stromnetz zu untersuchen, wird die Umstellung einer gesamten Taxiflotte auf elektrische Fahrzeuge inkl. Ladestelleninfrastruktur näher analysiert.

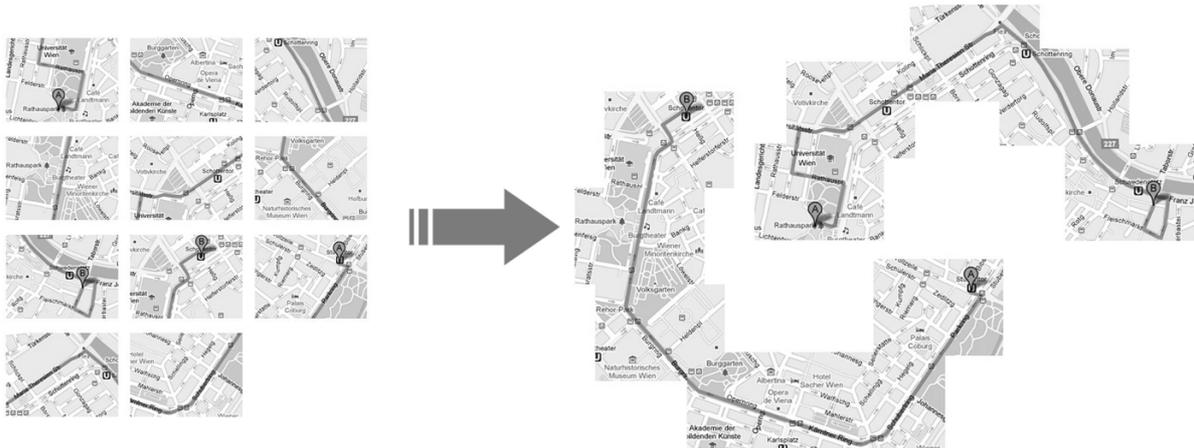
Die Innovation besteht aus neuen Konzepten zur Versorgung des Verbrauchers Elektromobilität, wobei die bestehenden elektrischen Netze mit möglichst geringfügigen Ausbauten belastet werden. Dabei sollen einerseits die Ladeleistungen angepasst, netzorientierte Lade-strategien durchgeführt und kurzzeitige Überlastungen in Hinsicht der Komponententalterung untersucht werden. Diese Analysen werden anhand des Spezialfalls Taxi vorgenommen, da dieser eine große Herausforderung an das elektrische Netz darstellt.

## 2 Methodik

Damit man Aussagen über den Energie- und Leistungsbedarf von zukünftigen elektrischen Taxis treffen kann, muss zuerst deren Mobilitätsverhalten analysiert werden. Mittels der Entwicklung von umfangreichen Szenarien können im Weiteren die drei wichtigen Parameter Batteriegröße, Ladestellenausbau und Ladeleistung, welche starken Einfluss auf die Machbarkeit aller Taxifahrten sowie Netzbelastungen haben, im Detail betrachtet werden. Die anschließende Verteilnetzanalyse gibt Auskunft über die resultierenden Netzbelastungen und mögliche Lösungen (thermische Kurzzeitüberlastungen und Ladesteuerungen) im Überlastungsfall.

## 2.1 Mobilitätsverhalten der Taxis

Seit 2006 sind alle Fahrzeuge der Taxiflotte 31300 mit GPS-Geräten ausgestattet, welche laufend im Abstand von mehreren Sekunden deren Positionsdaten in anonymisierter Form über Funk zu einem zentralen Server senden. Dort werden die gestückelten GPS Daten z.B. zur Bestimmung der aktuellen Verkehrslage im Wiener Raum von einem vom AIT entwickelten Programm weiterverarbeitet. Um den Anforderungen des Projekts ZENEM gerecht zu werden müssen die GPS Positionen, ähnlich einem Puzzle, für jede Fahrt computerunterstützt zusammengesetzt werden (siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2: Zusammenfügung der einzelnen GPS-Positionsdaten**

Die Herausforderung dabei ist es, die Datensätze korrekt den tatsächlich gefahrenen Straßen zuzuordnen und die gewählte Route zwischen den Datensätzen zu reproduzieren. Dabei werden Algorithmen zur Georeferenzierung, wie Mapmatching und Routing eingesetzt (vgl. [5]). Als Ergebnis erhält man die zeitlichen Trajektorien aller Fahrzeuge der Taxiflotte. Die resultierenden Trajektorien beinhalten die Abfolge der befahrenen Straße im zeitlichen Verlauf und werden im Anschluss als Weg-Zeit-Verläufe extrahiert. Diese Vereinfachung ist zulässig, da die genau zurückgelegte Route nicht von Interesse ist. Wichtig ist, wie viele Kilometer zwischen den Standzeiten zurückgelegt wurden und wo sich die Standortpositionen (z.B. Taxistandplatznummer 118, Neuer Markt) genau befinden. Die Ergebnisse der Weg-Zeit-Verläufe und der Standortverteilungen werden in tabellarischer Form realisiert.

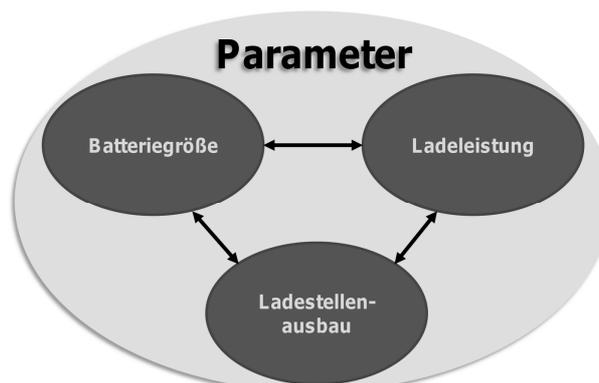
Für die weitere Berechnung entscheidend ist der elektrische Energieverbrauch der einzelnen Fahrten. Der Energieverbrauch jeder Fahrt setzt sich aus Energie zum Antrieb des Fahrzeugs, beeinflusst durch Faktoren, wie das Fahrverhalten des Fahrers, der Verkehrszustand und evtl. Nebenverbraucher, zusammen. Für das Projekt ZENEM wird ein Fahrzeugmodell mit den folgenden Parametern: Gewicht (Masse), Strömungswiderstandskoeffizient ( $c_w$ ) und Stirnfläche verwendet. Zur Berechnung wurde ein Referenz-Fahrzeugmodell definiert, welches die Zusammensetzung der Flotte mit überwiegend (ca. 80%) „großer“ bzw. „hoher“ Fahrzeuge, repräsentiert. Der Besetzungsgrad wird durch zusätzliches Gewicht berücksichtigt. Die Masse des Fahrers wird mit 80 kg, die zusätzliche Masse für Kundenfahrten wird mit 130 kg berücksichtigt (durchschnittliche Besetzung durch 1,5 Kunden \* 80 kg plus 10 kg Gepäck).

Die Verkehrslage nimmt Einfluss auf Anzahl und Intensität von Beschleunigungen. Als Datengrundlage wird das System FLEET verwendet, das alle gemessenen Fahrten berücksichtigt und mittlere Geschwindigkeiten für Strecken pro Zeitabschnitt berechnet. (vgl. [5])

Die Routenwahl, also die Abfolge der befahrenen Straßen, wird ebenfalls bewertet, da für das Abbiegen an Kreuzungen ein höherer Energiebedarf als für geradeausfahren angenommen werden kann. Der Einfluss wird durch die Simulation von Beschleunigungszyklen berechnet und den ermittelten Strecken zugeordnet.

## 2.2 Szenarienentwicklung

Eine Kernaufgabe des Projekts ZENEM stellt die richtige Wahl der betrachteten Szenarien dar. Diese werden auf einer Kombination aus Höhe der Ladeleistung, Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur und Größe der Batterie basieren (siehe Abbildung 3). Dabei sollen Ladeleistungen von 3,7 kW (~230 V einphasig, 16 A) bis über 10 kW (Schnellladen) berücksichtigt werden und die Bandbreite des Ladeinfrastrukturausbaus von einem Einstiegszenario mit wenigen Ladestationen bis hin zu einem Szenario mit vollständig ausgebauten Ladeinfrastrukturnetz reichen. Da die Batteriegröße nicht nur die Reichweite, sondern gleichermaßen auch die Investitionskosten der Taxis beeinflusst, werden die Batteriekapazitäten in den einzelnen Szenarien ebenfalls variiert.



**Abbildung 3: Darstellung der Abhängigkeiten der Szenarienparameter**

Die verschiedenen Szenarien werden für die gesamte Taxiflotte – mit Hilfe einer selbst erstellten Routine (verwendete Software MATLAB) – simuliert. Das bedeutet, dass jedes Taxi fiktiv seinen Weg-Zeit-Verlauf abfährt und bei Standorten mit definierter Lademöglichkeit die Batterie auflädt. Das Laden erfolgt ungesteuert, sofort nach Ankunft und immer wenn eine Möglichkeit vorhanden ist. Dabei wird während der gesamten Zeitdauer der „State of Charge“ (SOC) der Batterie mitgeschrieben und überprüft ob er nie den Grenzwert unterschreitet. Sollte dies doch der Fall sein, fällt dieses Fahrzeug für die weiteren Betrachtungen hinaus, da die Mobilitätsbedürfnisse nicht erfüllt werden konnten.

Ebenfalls wird der zeitliche Verlauf der Leistung jeder Ladestation, durch Addition der Einzelladungen der Fahrzeuge, berechnet. Diese Ladeprofile spiegeln den punktuellen Verbrauch der Elektrotaxis wider und stellen somit die Grundlage der Netzberechnungen dar. Diese GPS-basierende Berechnung des Ladebedarfs ist zwar komplex und zeitaufwendig, erbringt jedoch im Vergleich zu Modellen, die auf Verkehrsstatistiken aus dem Individualverkehr beruhen, qualitativ bessere und vor allem realitätsnähere Ergebnisse.

## **2.3 Verteilnetz-Analysen**

Aus den Leistungsprofilen der Ladestationen können jene Netzbereiche identifiziert werden, die am stärksten von der Elektromobilität belastet werden. Diese Verteilnetzabschnitte werden in Folge genauer analysiert. Erste Studien zeigen, dass das derzeitige Wiener Verteilnetz den gleichbleibendem elektrischen Haushalts- und Gewerbeverbrauch und zusätzlich eine 50%ige Durchdringung an Elektrofahrzeugen mit max. Ladeleistungen von 3,68 kVA meist problemlos bewältigen kann [6]. Steigt hingegen der elektrische Verbrauch an oder werden Schnellladestationen (11 kVA oder 22 kVA) installiert, sind rasch das erlaubte Spannungsband, sowie die zulässigen Betriebsmittelbelastungsgrenzen verletzt und besondere Maßnahmen notwendig.

Da die Elektromobilität – wie zuvor beschrieben – genau abgebildet ist, muss der aktuelle elektrische Verbrauch ebenfalls mit hoher Qualität erfasst werden. Da es zurzeit noch wenige Informationen über den örtlichen elektrischen Bedarf (Haushalte und Gewerbe) gibt, sollen in diesem Projekt die Leistungsverläufe der elektrischen Verbraucher durch Messungen an mehreren Netzknoten (in Schleifenkästen bzw. direkt an den Netztransformatoren) über einen längeren Zeitraum ermittelt werden. Mit Hilfe von anonymisierten Kundendaten (z.B. Jahresstromverbrauch und Art des Verbrauchers) der Wien Energie Stromnetz GmbH können dann die aktuellen Leistungsprofile aller elektrischen Verbraucher der betrachteten Netzabschnitte erstellt werden.

Die Netzabschnitte werden in einem Lastflussprogramm zusätzlich mit den angenommenen Ladestationen modelliert. Dafür werden alle Kenndaten der Netzkomponenten angefangen beim Netztransformator über die verwendeten Kabelleitungen bis hin zu den Verbrauchern erhoben. Mit Hilfe dieser Simulationsumgebung wird für die vorweg definierten Szenarien eine Vielzahl von Analysen durchgeführt. Die Berechnung der Lastflüsse lassen Aussagen über die Belastung der Netzkomponenten und die Einhaltung des Spannungsbandes an allen Netzpunkten zu. Weitere Berechnungen bezüglich Netzurückwirkungen, wie Auftreten von Oberschwingungen, Unsymmetrien und Flicker lassen Rückschlüsse auf die Güte der Netzqualität zu.

### **2.3.1 Thermische Kurzzeitüberlastungen**

Jene Szenarien, bei denen Betriebsmittel (Kabel und Transformator) in temporären Fällen über ihre Grenzen des normalen Betriebs treten, werden folgend noch genauer betrachtet. Mittels transiente thermische Modelle wird die Machbarkeit von kurzzeitigen elektrischen Überlastungen geprüft und die Auswirkungen auf die damit verbundene schnellere Alterung der Netzkomponenten analysiert. Damit soll die Einbindung der Taxi-Elektromobilität ohne jegliche Netzerneuerung bewerkstelligt werden.

### **2.3.2 Ladesteuerungen**

Kommt es jedoch bei der netztechnischen Analyse der Szenarien zu Überlastungen, welche für die Betriebsmittel auf keinen Fall (auch nicht kurzzeitig) zulässig sind bzw. zu Verletzungen des Spannungsbandes führen, muss das Laden der elektrischen Taxis gesteuert durchgeführt werden. Dafür sind im Projekt Ladekonzepte zu entwickeln, die es ermöglichen nur erlaubte Netzzustände zu erreichen. Die angewandte Form des gesteuerten Ladens wird als netzorientierte Ladesteuerung bezeichnet (vgl. [7]). Werden nun die Ladevorgänge der Elekt-

rotaxis verändert, muss überprüft und – in weiterer Folge durch Anpassungen – gewährleistet werden, dass die Mobilitätsbedürfnisse befriedigt werden. D.h. man muss einen Schritt zurückgehen und die Weg-Zeit-Verläufe der einzelnen Taxis inklusive der notwendigen Ladesteuerung ein weiteres Mal simulieren.

## 2.4 Ökologische und ökonomische Betrachtungen

Die technischen Betrachtungen werden mit einem eigenen Arbeitspaket über ökologische und ökonomische Aspekte abgerundet. Dabei werden Energiefluss und Umwandlungsketten von elektrisch und konventionell angetriebenen Fahrzeugen untersucht, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen beider Technologien miteinander vergleichen zu können. Weiters sollen die auftretenden Kosten, die sich in Fahrzeug-, Betriebs- und Infrastrukturkosten gliedern, analysiert werden. Die ersten beiden Kostengruppen sind voraussichtlich vom Taxiunternehmen zu leisten und werden mittels zurzeit verfügbaren Kostenaufstellungen elektrischer Fahrzeuge ermittelt. Die Kosten der Infrastruktur werden gemeinsam mit dem beteiligten Energieversorgungsunternehmen abgeschätzt. Zusätzlich zu den Kosten sind die politischen und baulichen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen, die für einen Umstieg auf elektrisch angetriebene Taxis von Nöten sind, zu recherchieren. Die Ergebnisse werden im Anschluss in einem nationalen Workshop mit Vertretern der Taxibranche, Energieversorgungsunternehmen und Netzbetreibern, sowie Verkehrs-, Raum- und Stadtplanern, diskutiert.

## 3 Ergebnisse

Anhand eines Spezialfalls, dem Taxi, das sich durch hohe Konzentrationen an den Standplätzen auszeichnet, soll die Auswirkung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen auf das Wiener Stromnetz untersucht werden. Dabei ist vorrangig zu zeigen, dass mit geringster bzw. notwendigster Infrastruktur eine Versorgung möglich ist. Folgende Teilergebnisse können definiert werden:

- Erstellung der Trajektorien aus aufgenommenen GPS-Rohdaten. Daraus werden die Standort- und Standortzeitverteilungen extrahiert und der Energiebedarf der betrachteten Flotte an ausgewählten Taxistandplätzen berechnet. Die Änderungen der Taxifahrten bei Verwendung von zukünftigen elektrischen Autos sollen ebenfalls berücksichtigt werden.
- Analyse der bestehenden elektrischen Verbraucher (private Haushalte und Gewerbe) ausgewählter Energienetzebereiche (Nieder- und Mittelspannungsebene), in denen Ladestationen der Elektrotaxis eingebunden werden sollen. Dabei werden die Leistungsprofile und die dazugehörigen Jahresstromverbräuche der bereits im Netz vorhandenen Verbraucher erhoben und diese mittels Messreihen validiert, um die freien Netzkapazitäten für die Elektromobilität zu erkennen.
- Definition von Szenarien, in denen verschiedene Batteriegrößen, Ladestrategien (gesteuertes und ungesteuertes Laden), Ladeleistungen (Normal- und Schnellladen) und Ausbaustufen der Ladestelleninfrastruktur berücksichtigt werden. Für diese wird ermittelt, welche Ladeleistungsprofile an den Ladestationen entstehen und in welchen Szenarien eine Durchführbarkeit mit elektrisch betriebenen Taxis möglich wäre.

- Betrachtung der notwendigen Netzintegration und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Netzstabilität und thermischen Belastungen des Verteilnetzes. Dies wird mittels Berechnung der Lastflüsse einzelner Szenarien an verschiedenen Netzabschnitten ermittelt. Weiters soll, mit Zuhilfenahme thermischer Modelle, auf die Alterung von Transformatoren und Leitungen bei temporären Überlastungen geschlossen sowie netzorientierte Ladesteuerung entwickelt werden.

Am Ende des Projekts ZENEM können Empfehlungen gegeben werden, welche Einstiegs- bzw. erweiterte Szenarien einer Zukunft mit Elektrotaxis den Ansprüchen des elektrischen Verteilnetzes genügen und welche ökonomische und ökologischen Auswirkungen und Rahmenbedingungen auf die österreichische Wirtschaft zukommen.

#### 4 Literaturverzeichnis

- [1] International Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: Synthesis Report*, p. 67, November 2007.
- [2] Europäische Kommission: *WEISSBUCH*, Brüssel, 2011.
- [3] Umweltbundesamt: *Klimaschutzbericht 2010*, Wien, 2010.
- [4] Schuster, A., Leitinger, C., Brauner, G.: *Begleitforschung der TU Wien in VLOTTE – Endbericht*, Wien, 2010.
- [5] Reinthaler, M., Zajicek, J.: *Real Time Route Analysis based on Floating Car Technology*, 18th IASTED International Conference on Modelling and Simulation, Montreal, Canada, 2007.
- [6] Bolzer, A.: *Auswirkungen von elektrischer Mobilität im Verteilnetz*, Diplomarbeit, TU Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Wien, September 2009.
- [7] Leitinger, C., Schuster, A., Litzlbauer, M.: *Smart Electric Mobility – Speichereinsatz für regenerative elektrische Mobilität und Netzstabilität*, 11. Symposium Energieinnovation, Graz, 2010.