

Erfüllbarkeitsszenarien einer E-Taxiflotte – Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts ZENEM

Markus LITZLBAUER, Andreas SCHUSTER

Technische Universität Wien – Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe
Gußhausstraße 25 / E370-1, 1040 Wien, Tel.: +43 1 58801 370 132
E-Mail: markus.litzlbauer@tuwien.ac.at, Web: www.ea.tuwien.ac.at

Kurzfassung:

Mit dem Forschungsprojekt ZENEM¹ hat man sich zum Ziel gesetzt, die Auswirkungen von zukünftigen E-Taxis für unterschiedliche Erfüllbarkeitsszenarien auf das Verteilnetz in Wien umfassend zu untersuchen [1]. Als Grundlage dienen GPS-basierende, historische Mobilitätsdaten einer Wiener Taxiflotte, die gemeinsam mit den gewählten E-Fahrzeugeigenschaften und Ladeinfrastrukturvarianten die berücksichtigten Szenarien charakterisieren. In diesem Artikel wird die Entwicklung der einzelnen Erfüllbarkeitsszenarien dargelegt und der Frage nachgegangen, wie viele der bestehenden Taxis unter den gegebenen technischen Rahmenbedingungen als rein elektrische Fahrzeuge betrieben werden können, ohne die ermittelten Taxifahrten zu beeinflussen.

Keywords: Elektromobilität, Taxiflotte, Ladestellenausbau, Erfüllbarkeitsszenarien, Forschungsprojekt ZENEM

1 Einleitung

Entsprechend dem IPCC Bericht [2] besteht die Notwendigkeit, die CO₂-Emissionen bis 2050 um 50 bis 80 % gegenüber dem Basiswert vom Jahr 2000 zu reduzieren, um eine Stabilisierung des Klimawandels bei 2°C zu erzielen. Dabei erzeugt der Verkehr in Österreich mehr als ein Viertel der hiesigen Treibhausgasemissionen [3]. Zusätzlich ergeben sich weitere Problematiken durch die weltweite Erdölverknappung und den damit verbundenen Preisanstieg, welcher 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. Dabei besitzt der im Projekt ZENEM betrachtete Taxiverkehr eine Sonderstellung, da er sowohl öffentlichen als auch individuellen Charakter aufweist. Das Taxi stellt eine notwendige Ergänzung des Mobilitätsangebots dar und kann durch den fahrplanorientierten Öffentlichen Verkehr nur schwer substituiert werden. Die Belastungen des Taxiverkehrs treten vorwiegend in Großstädten,

¹ Das Projekt ZENEM „Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität“ wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ im Zeitraum von Mai 2011 bis April 2013 durchgeführt.

einschließlich der suburbanen Randbezirke auf. Dort könnten durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen lokal Lärm, sowie Treibhausgasemissionen verringert werden.

Zukünftige E-Taxis konfrontieren jedoch andererseits die elektrischen Stromnetze, vor allem im Niederspannungsbereich, mit neuen Herausforderungen. Um die Auswirkungen einer hohen Durchdringung von elektrisch angetriebenen Taxis auf das Stromnetz zu untersuchen, wird im Projekt ZENEM die Umstellung einer gesamten Taxiflotte auf Elektrofahrzeuge inklusive Ladestelleninfrastruktur näher analysiert. Dabei besteht das Projektkonsortium aus der Technischen Universität Wien (Institut für Energiesysteme und elektrische Antriebe), dem Austrian Institute of Technology (Department Mobility – Geschäftsfeld DTS), der TAXI 31300 VermittlungsgmbH und der Wien Energie Stromnetz GmbH.

2 Ausgangssituation

Zur Abbildung des Mobilitätsverhaltens einer Taxiflotte wurden im Projekt ZENEM die anonymisierten GPS-Daten der Wiener Vermittlungsgesellschaft Taxi 31300 für das gesamte Kalenderjahr 2011 herangezogen. Da das GPS-System der Taxizentrale grundsätzlich für die Vermittlung konzipiert wurde, bestehen die Originaldaten jeder Taxifahrt aus mehreren Teilabschnitten mit unregelmäßigen, lückenhaften Berichtsintervallen (ca. 25-60s). Diese systembedingte Eigenschaft und die Anonymisierung macht es unmöglich das Mobilitätsverhalten einzelner Taxis bzw. auf Ebene der Kundenfahrten darzustellen. Durch die Entwicklung einer Synthesemethode konnten jedoch aus den gestückelten Mobilitätsdaten Fahrten (Trajektorien) zwischen den Taxisstandplätzen und darüber hinaus durchgängigen Wegeketten modellhaft rekonstruiert werden². Dazu wurden vom Projektpartner AIT im wesentlichen MapMatching, Routing, Filteralgorithmen und Aggregierungsfunktionen angewendet.

Neben dem Mobilitätsverhalten wurde ebenfalls der Energiebedarf vom Projektpartner AIT abgeschätzt. Zur Energieberechnung eines zukünftigen E-Taxis berücksichtigt das zugrundeliegende Fahrzeugmodell das Gewicht (Masse), den Strömungswiderstandskoeffizienten (c_w) und die Stirnfläche eines E-Taxis. Darüber hinaus werden die zusätzliche Masse für den durchschnittlichen Besetzungsgrad plus Gepäck, die Verkehrslage (Einfluss auf Anzahl und Intensität von Beschleunigungen) und die Routenwahl (höherer Energiebedarf beim Abbiegen an Kreuzungen) in die Berechnungen mit aufgenommen.

Das Pool der aufbereiteten GPS-basierenden Mobilitätsdaten beinhaltet schließlich die wichtigsten Merkmale, wie Fahrtlängen, -dauern, Verweilzeiten an den Taxistandplätzen (TSP), die geographische Verteilung der Fahrten und Standorte, sowie den Energiebedarf je Fahrt für das gesamte Jahr 2011. Abbildung 1 stellt den mittleren Verlauf der gleichzeitig fahrenden, konventionellen Taxis dar. Es ist eine klare Wochentagscharakteristik erkennbar. Dabei sind in der Nacht auf Samstag, Sonntag und auf Feiertage die meisten Taxis unterwegs. Diese Mobilitätsverhalten wurden in erster Linie für die Analysen ohne Fahrverhaltensänderungen bei einem Umstieg auf rein batteriebetriebene Elektrotaxis herangezogen. Dies be-

² Dabei kann nicht zwischen Kunden- und Leerfahrt unterschieden werden. Für die energetische Betrachtung des Projekts ZENEM ist dies aber auch nicht notwendig.

deutet, dass genau die gemessenen Standdauern an den bestehenden Taxistandplätzen die möglichen Ladezeiträume und die aus den Trajektorien ermittelten Verbräuche den Energiebedarf vorgeben.

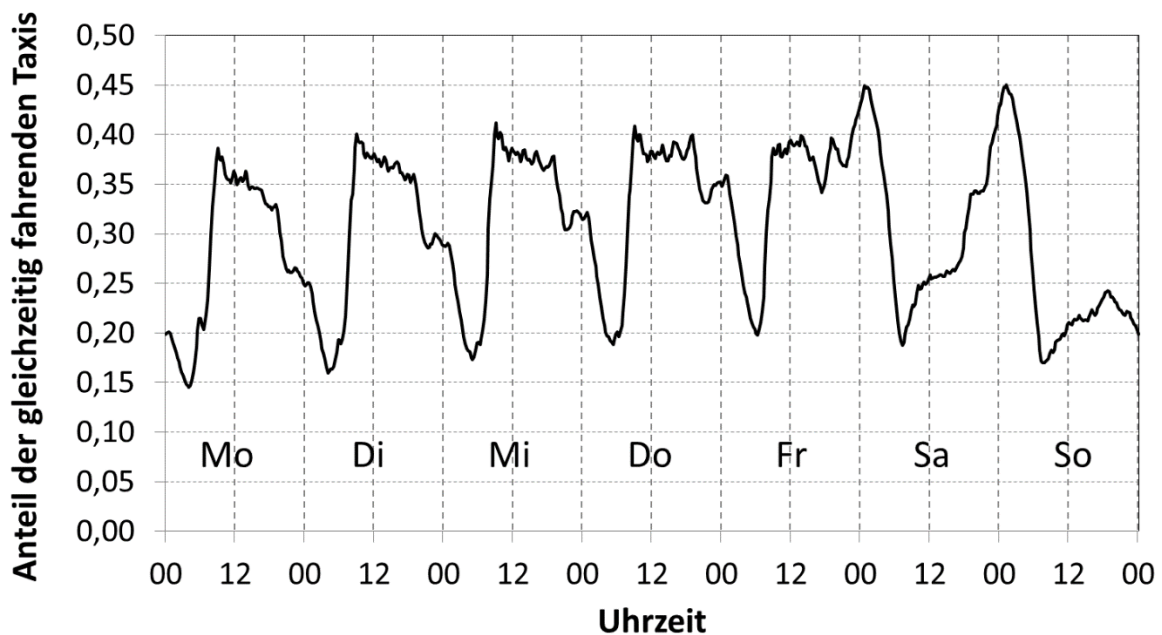


Abbildung 1: Gemittelter Wochenverlauf der gleichzeitig fahrenden Taxis der Flotte (Jahr 2011)

3 Clusterung und Reihung der Taxistandplätze

Zur Konzeptionierung des Ladeinfrastrukturausbaus wurden die über 250 Taxistandplätze³ geclustert, d.h. nahe aneinander liegende Taxistandplätze zusammengefasst, und im Anschluss daran die TSP-Cluster bestmöglich nach ihrer „Wichtigkeit“ gereiht.

Für die TSP-Clusterung wurde die Straßenkarte von Wien in 6-eckige, wabenförmige Cluster mit einem Durchmesser von einem Kilometer unterteilt. Alle in einem Cluster angeordneten Taxistandplätze wurden zusammengefasst und werden in weiterer Folge, in Bezug auf die Ladevorgänge, als ein einzelner betrachtet. Es wird angenommen, dass sich die dadurch teilweise entstandenen „Zusatzwege“ innerhalb der Cluster im Mittel aufheben und energetisch vernachlässigt werden können. Abbildung 2 skizziert die angewendete Methodik der TSP-Clusterung. Hierbei kann erwähnt werden, dass maximal neun Taxistandplätze in einem Cluster zusammengefasst werden und die Anzahl natürlicher Weise in Richtung Stadtrand abnimmt.

Um der Frage nachzugehen, welche TSP-Cluster vorrangig mit Ladeinfrastruktur ausgestattet werden sollen, wurde ein Ranking der zusammengefassten Taxistandplätze durchgeführt. Aus dieser Fragestellung ergibt sich ein kombinatorisches Optimierungsproblem, welches auf Grund der Vielzahl möglicher TSP-Permutationen und der resultierenden Berechnungs-

³ Etwa zwei Drittel der Taxistandplätze in Wien sind von 0 bis 24 Uhr nutzbar und der restliche Teil besteht aus zeit- oder bedarfsbeschränkten Taxistandplätzen.

dauer nicht vollständig ausgewertet werden kann. Deshalb wurde die Menge aller Taxisstandplätze schrittweise in Untermengen aufgeteilt. Für alle Teilmengen wurde nach den jeweiligen lokalen Optima gesucht und aus diesen näherungsweise eine Lösung des Gesamtproblems ermittelt. Die Zielfunktion wird dabei durch die „Erfüllbarkeit“ der Wegeketten gebildet, welche es gilt zu maximieren. Der Begriff „Erfüllbarkeit“ gibt in diesem Zusammenhang Auskunft darüber, wie viele Wegeketten unter den gewählten Bedingungen (Ladeleistung, Batteriekapazität und Ladestellenausbau, sowie Ladezustandsgrenzen) bewältigt werden können.

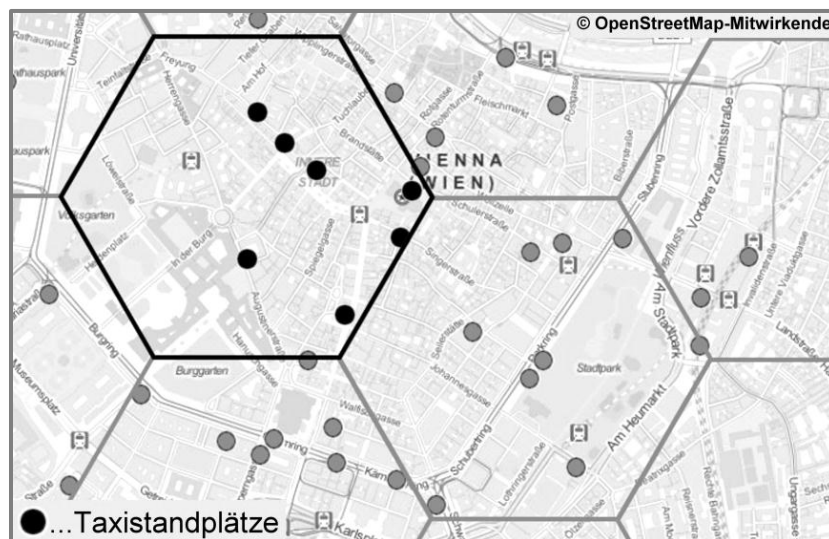


Abbildung 2: Skizze für die Clusterung der Taxistandplätze in Wien mittels Wabenstruktur (Durchmesser: 1km); Straßenkarten aus „OpenStreetMap.org“

4 Erfüllbarkeitsanalyse und Ladestellenausbauszenarien

Ausgehend von den aufbereiteten Mobilitätsdaten und einem im Projekt ZENEM weiterentwickelten MATLAB®-Modell können die fahrzeugexakten und szenarienabhängigen SOC-Verläufe (SOC...state of charge, Ladezustand), und darüber hinaus auch die Ladeleistungsprofile, der abgebildeten E-Taxiflotte in Minutenwerten berechnet werden. Als Grundlage für die Erfüllbarkeitsanalyse wurde das synthetische Mobilitätsdatenpool weiter eingeschränkt und nur jene Wegeketten ausgewählt, die einerseits gewissen Qualitätskriterien (z.B. obere Geschwindigkeitsgrenze) entsprechen und andererseits zumindest sechs Stunden durchgängig andauern. Dadurch erhält man, unter den getroffenen Vereinfachungen, jene synthetischen Wegeketten, die gesamte Taxischichten (Dienste) darstellen. Diese Einschränkung des Datenpools hat jedoch kaum Einfluss auf die Verteilungen der aggregierten Mobilitätsmerkmale der Fahrten (Fahrtlängen, Standzeiten, etc.), wodurch der verbleibende Datensatz in diesem Sinne die gesamte Taxiflotte repräsentiert, auch wenn die einzelnen Taxis nicht abgebildet werden können.

Im Projekt ZENEM wird von der „Erfüllbarkeit einer Wegekette“ eines E-Taxis gesprochen, wenn der Batterieladezustand am Ende der Wegekette (Abmeldung⁴ des Taxis vom System der Vermittlungsgesellschaft) größer oder gleich ist, als jener am Beginn (Anmeldung) und dazwischen niemals seine Grenze (SOC_{MIN} von 5 % gewählt) unterschritten wird. Für einen SOC_{START} und einen SOC_{END} von 50 % ist die höchste Erfüllbarkeit der Wegeketten gegeben. Bei kleiner bzw. größer gewählten Ladezustandswerten sind die Distanzen der ersten bzw. der letzten Wege für ein schlechteres Ergebnis verantwortlich.

Eine Begründung für die Gleichsetzung des SOC_{END} mit dem SOC_{START} ist, dass großteils die Schichten zeitlich nahtlos aneinander folgen und somit nicht die Gelegenheit besteht, das E-Taxi z.B. über Nacht am Abstellplatz wieder vollzuladen. Es kommt durch diese Annahme ebenfalls zu keiner Verschleppung des Energiebedarfs und auch zu keiner Verfälschung der Energiebilanz.

Tabelle 1: Parameterwerte der vier gewählten Szenarien

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Ladeleistung	50 kW			
Ladestellenausbau	20 TSP-Cluster		55 TSP-Cluster	
Batteriekapazität	24 kWh	48 kWh	24 kWh	48 kWh

Der Raum aller möglichen Szenarien wird durch die Parameter „Batteriekapazität“, „Ladeleistung“ und „Ladestellenausbau“ aufgespannt. Durch kombinatorische Variation dieser Stellgrößen mit diskreten Schrittweiten innerhalb ihrer vordefinierten Parametergrenzen wurde die prozentuelle Erfüllbarkeit für jeden betrachteten Fall berechnet. Aus den Ergebnissen wurden vier zentrale Szenarien gewählt, die in weiterer Folge als Grundlage für die Netzsimulationen [4] dienen.

Die Analysen der Erfüllbarkeit haben deutlich gezeigt, dass die gemessenen Standzeiten an den Taxistandplätzen zu kurz sind um den elektrischen Energiebedarf unter den gewählten Rahmenbedingungen mit Normalladen (Anschlussleistung von 3,7 kW) zu decken. Dieses Ergebnis ist unabhängig von der Anzahl der mit Ladeinfrastruktur ausgestatteten TSP-Cluster.

Vernünftige Erfüllbarkeitsraten stellen sich, unter den implizierten Vereinfachungen, erst mit Ladeleistungen von 50 kW ein. Eine weitere Erhöhung auf z.B. 100 kW bringt weniger als eine entsprechende Vergrößerung der Batteriekapazität bzw. Ausweitung der Ladeinfrastruktur. In Tabelle 1 sind die eingestellten Parameter der vier gewählten Szenarien aufgelistet.

⁴ Eine Abmeldung des Taxis vom Vermittlungssystem kann einerseits einen Chauffeurwechsel bedeuten, aber andererseits auch nur eine Pause des Taxilenkers bzw. einen Verbindungsfehler zum System.

Es zeigt sich, dass in einem Einstiegsszenario (Szenario 1) mit heute gängigen Batteriekapazitäten von 24 kWh (z.B. Nissan Leaf), aktuell möglichen Schnellladeleistungen von 50 kW (z.B. CHADEMO-Standard) und einem Ladestellenausbau von 20 TSP über 25 % der analysierten Wegeketten erfüllt werden können (siehe Abbildung 2). Batteriekapazität und Ladestellenausbau haben naturgemäß den stärksten Einfluss auf die Erfüllbarkeit der Fahrtraster. Werden 48 kWh je Fahrzeug vorausgesetzt und 55 TSP mit Ladeinfrastruktur ausgestattet, so können sogar 80 % der betrachteten Wegeketten unter den gegebenen Rahmenbedingungen bewältigt werden. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, können keine 100 % Erfüllbarkeiten erreicht werden, auch wenn nach jeder Fahrt die Möglichkeit einer Schnellladung geboten wird. Grund dafür ist eine Kombination aus zu langen Einzelwegen gepaart mit zu kurzen, darauffolgenden Standzeiten.

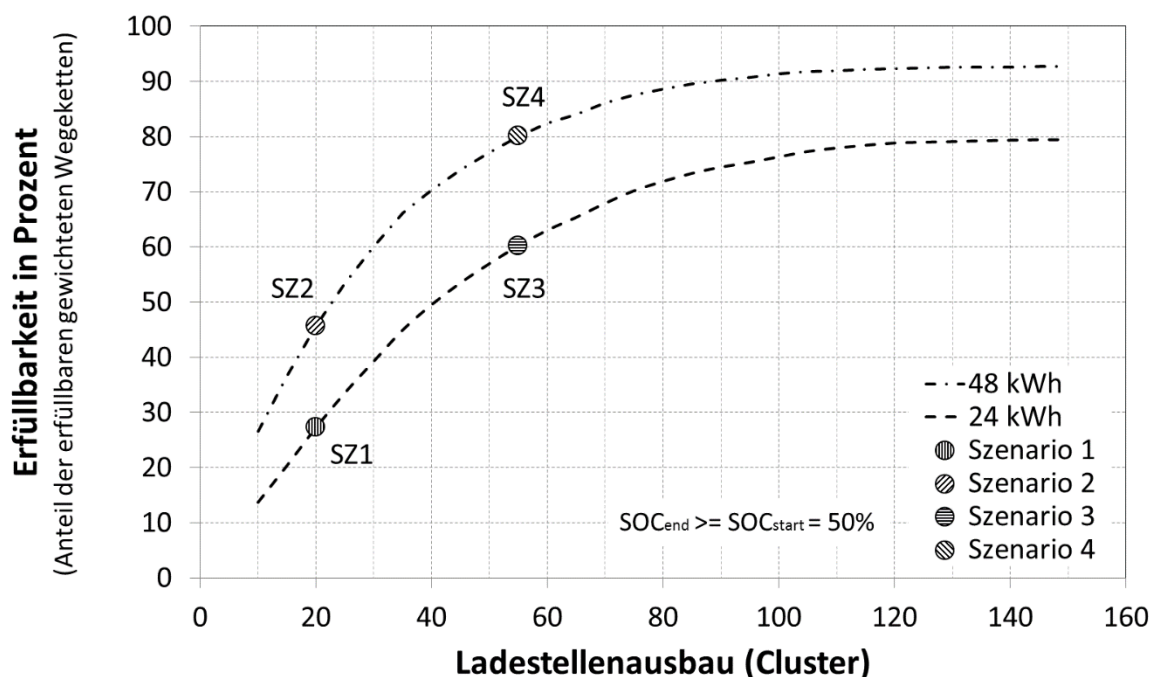


Abbildung 2: Prozentuelle Erfüllbarkeitsrate der vier betrachteten Szenarien

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Basierend auf den anonymisierten Mobilitätsdaten einer Wiener Taxiflotte wurden im Projekt ZENEM vier Ausbauszenarien der Ladeinfrastruktur definiert, für welche in weiterer Folge SOC-abhängige Ladeleistungsprofile für jeden Taxisstandplatz mit Ladeinfrastruktur berechnet werden. Diese dienen als Grundlage für die anknüpfenden Niederspannungsnetzsimulationen und deren Auswertungen.

Die Erfüllbarkeitsanalyse zeigt deutlich, dass Normalladen (einphasig, 230 V, 16 A) in keiner Weise für die kurzen Standzeiten der Taxiflotte ausreicht. Hingegen scheinen 50 kW (DC-Ladung, netzseitig dreiphasiger Anschluss) einen sinnvollen Leistungslevel darzustellen. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen können mit einer Batteriekapazität von 24 kWh (z.B. Nissan Leaf), Ladeleistungen von 50 kW (z.B. CHADEMO-Standard) und 20 Taxi-

standplätze (TSP-Cluster) mit Schnellladeinfrastruktur mehr als 25 % aller Wegeketten erfüllen werden. Mit doppelter Batteriekapazität und 55 TSP-Cluster ergeben sich sogar über 80 % Erfüllbarkeit. In Bezug auf die gesamte Taxiflotte kann abgeleitet werden, dass die prozentuellen Erfüllbarkeitswerte auf Grund der Repräsentativität der verwendeten Mobilitätsdaten und der gewählten Rahmenbedingungen ($SOC_{START} \geq SOC_{END} = 50\%$) für alle Taxis mit mehreren Schichten (Chauffeuren) Gültigkeit haben.

An dieser Stelle sollte jedoch auch angemerkt werden, dass zukünftige, rein elektrisch betriebene Taxis mit einer Batteriekapazität von 24 kWh (48 kWh), welche nur von einem Chauffeur gelenkt werden und eine Lademöglichkeit am Abstellplatz besitzen, für Tage mit Fahrleistungen von überschlagsmäßig < 100 km (< 200 km) auch ohne Schnellladeinfrastruktur an den Taxistandplätzen das Auslangen finden.

Im Projekt ZENEM werden abschließend ebenfalls Analysen in Bezug auf umweltrelevante und wirtschaftliche Gesichtspunkte durchgeführt. Dabei wird auf das Potenzial der CO₂-Reduktion für die Region Wien eingegangen und eine Abschätzung der auftretenden Kosten vorgenommen. Weiters werden die derzeitigen politischen und baulichen Rahmenbedingungen für einen Umstieg auf elektrisch angetriebene Taxis recherchiert und in einem nationalen Workshop diskutiert.

Literatur

- [1] Schuster, A., Litzlbauer M., Reinthaler, M.: Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität – Überblick der Projektziele, 12. Symposium Energieinnovation, Graz, 2012.
- [2] International Panel on Climate Change: Climate Change 2007: Synthesis Report, p. 67, November 2007
- [3] Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2010. Wien, 2010.
- [4] Schuster, A., Litzlbauer, M., Gawlik, W.: Auswirkungen einer E-Taxiflotte auf das städtische Verteilnetz – Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts ZENEM, 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2013.