

Internationales Verkehrswesen

POLITIK

Wo schnelle Antworten auf drängende Rechtsfragen gefordert sind

LOGISTIK

Straße, Wasser, Luft – welche Lösungen neue Chancen bieten

MOBILITÄT

Verkehrsmittelwahl: Alles eine Frage der richtigen Technik?

TECHNOLOGIE

Mehr Sicherheit durch intelligente Automatisierung

Digitalisierung – Theorie und Praxis

**Innovative Strategien für die
Mobilität von morgen**

Evaluation eines Standortpotenzialmodells für E-Ladeinfrastruktur

Bewertung des Hamburger Standortpotenzialmodells anhand aktueller Ladedaten der 600 Ladepunkte

Elektromobilität, Potenzialanalyse, Ladeinfrastruktur, Evaluation

Ein wesentlicher Schritt zur Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs besteht in der Bereitstellung einer angemessenen Ladeinfrastruktur. Die Freie und Hansestadt Hamburg hat frühzeitig mit der Installation von E-Ladesäulen begonnen, so dass nun Erfahrungswerte aus zwei Jahren vorliegen. Damit wurde das in Hamburg verwendete Standortpotenzialmodell evaluiert und weiter entwickelt. Es wird gezeigt, dass das verwendete Standortpotenzialmodell zweckmäßig ist und dass die Auslastung der Ladeinfrastruktur erheblich von einer deutlichen Kennzeichnung der betreffenden Parkstände abhängt.

Timotheus Klein, Christian Scheler

Die Freie und Hansestadt Hamburg hat sich mit Hilfe der stadt-eigenen Gesellschaften hySolutions und Stromnetz Hamburg früh als Wegbereiter der Elektromobilität positioniert und 2014 begonnen, eine flächendeckende Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge (battery electric vehicles, BEV) einzurichten. Zur Standortfindung und -priorisierung wurde ein geodatenbasiertes Modell entwickelt, mit dem die damaligen Erwartungen und Erfahrungen zum Nutzerverhalten [1, 2] sowie verkehrspolitischen Zielsetzungen wie die Förderung der Multimodalität berücksichtigt wurden. Eine der verkehrspolitischen Zielsetzungen bezieht sich explizit auf die Ausrichtung der öffentlichen Ladeinfrastruktur auf die Bedarfe des free-floating Carsharing, um eine Elektrifizierung dieser Flotten zu unterstützen.

Inzwischen liegen die Nutzungsdaten eines Jahres von ca. 300 Ladestandorten bzw. 600 Ladepunkten vor, so dass eine Evaluierung des Standortfindungsmodells und eine nachträgliche Optimierung bzw. Kalibrierung möglich sind.

Die Installation und Wartung öffentlicher Ladeinfrastruktur ist unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten problematisch. Wenn der abgenommene Strom

vom Verbraucher vergütet wird, rechnet sich ein 22 kW-Ladepunkt mit niedrigen Baukosten (rund 4000 EUR) ab einer Nutzungsintensität von 4 bis 8 % bzw. ca. täglich 1-stündiger Belegung, bei höheren Baukosten (10 450 EUR) jedoch erst über 40 % bzw. 9 bis 10 h [3]. Eine wirtschaftliche Quote Ladestation zu Fahrzeugbestand (C/V) liegt laut Wirges et al. [3] in Größenordnungen um 0,01 Ladestationen pro E-Fahrzeug. 2013 wurde in einer britischen Studie berichtet, dass nur 9 % des Ladevorgänge an öffentlich zugänglichen Ladepunkten erfolgten [4]. Dieser Befund deckt sich mit Beobachtungen in den USA und in Großbritannien, nach denen nur 1 bis 15 % des Fahrstroms aus öffentlichen Ladesäulen kommt [3]. Modellhafte Betrachtungen, die den Energiebedarf, die private Ladeinfrastruktur am Wohn- und Arbeitsstandort und eine minimale Auslastung der öffentlichen Ladeinfrastruktur berücksichtigen, lassen langfristig einen eher geringen Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur erwarten [3]. Es ist insofern unwahrscheinlich, dass sich eine flächendeckende Versorgung mit öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur wirtschaftlich betreiben lässt. Validierte Modelle zur Standortbestimmung liegen deshalb weiterhin im Interesse der hierfür verantwortlichen Gebietskörperschaften, um einen effizienten Einsatz der verfügbaren Mittel zu gewährleisten. Hinzu kommt, dass die Installation von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum weder unproblematisch noch unumstritten ist [5, 6] und daher stichhaltig begründet werden sollte.

Im Folgenden wird zunächst auf den Stand der Forschung und Praxis eingegangen. Im Anschluss daran

PEER REVIEW - BEGUTACHTET

Eingereicht: 17.11.2017
Endfassung: 23.01.2018

werden die im Rahmen dieser Evaluation verwendeten Datensätze beschrieben. Die Evaluation selber stellt zunächst die Potenzialabschätzung von 2014 mit den beobachteten Ladevorgängen gegenüber. Im Anschluss daran wird mit Hilfe von aktuellen und leicht zugänglichen Strukturdaten untersucht, welche Faktoren sich positiv auf eine intensive Nutzung der Ladeinfrastruktur auswirken.

Stand der Forschung und Praxis

Der Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur wird generell eine erhebliche Bedeutung für die Einführung der Elektromobilität eingeräumt [1, 7, 8]. Das Vorhandensein einer Ladestation in 1 bis 3 km Entfernung steigert bei 63 % der Befragten einer YouGov-Studie die Kaufabsicht für einen elektrischen PKW [9]. Hierbei spielt auch die Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum eine wichtige Rolle, die in einer Befragung 70 % der knapp 300 befragten E-Mobilisten monatlich oder öfter nutzen [10]. Ziel sollte es daher sein, die E-Ladeinfrastruktur da zu platzieren, wo sie aus Nutzerperspektive benötigt wird. Als Indikatoren einer solchen „idealen Ladeinfrastruktur“ gelten in räumlicher Hinsicht eine gute Erkennbarkeit bzw. Auffindbarkeit und Beschilderung einerseits, sowie eine flächendeckende Verfügbarkeit, besonders an Orten des täglichen Bedarfs sowie an Schnellstraßen und Autobahnen andererseits. Als wesentliches Problem wird die Fehlbelegung durch Verbrennerfahrzeuge genannt [11]. Weiterhin kommt der Sichtbarkeit der E-Ladeinfrastruktur eine gewisse Bedeutung zu, da das Unwissen über deren Vorhandensein als Hemmnis beim Umstieg auf elektrische Fahrzeuge identifiziert wurde [12].

Ein weiteres Argument für den Ausbau öffentlicher Ladeinfrastruktur besteht möglicherweise darin, dass sie helfen kann, Lastspitzen im Stromnetz abzubauen. Ausgehend von einer geringen Reichweite (115 km) und ausschließlich privater Ladeinfrastruktur haben sich in der Modellierung von BEV-Besitz und -Verwendung besonders wochentags ausgeprägte Elektrizitätsnachfragespitzen am frühen Abend gezeigt, die sich zudem mit der dann ohnehin gegebenen Nachfragespitze überlagern [13]. Eine gelegentliche Ladung an elektrotechnisch gut angebundenen Ladestandorten kann hier zu einer Verminderung von Lastspitzen beitragen.

Die Lage der Ladestationen zählt zu den wichtigsten Faktoren, von denen die Zufriedenheit mit der Ladeinfrastruktur abhängt [10, 11]. Bei der Platzierung von Ladeinfrastruktur ist grundsätzlich zwischen drei Maßstabsebenen zu differenzieren: der zwischengemeindlichen bzw. landesweiten Ebene, der innergemeindlichen Ebene und der straßenräumlichen Ebene.

Für die flächendeckende Versorgung einer Region oder eines Landes mit Ladeinfrastruktur sind Standortmodelle zweckmäßig, die z.B. Entfernungsraster berücksichtigen, wie in der Metropolregion Hannover, Göttingen, Braunschweig, Wolfsburg [11]. Auf der regionalen Ebene spielt auch die Thematik der Reichweitenverlängerung elektrischer Fahrzeuge eine stärkere Rolle [14]. Weiterhin ist auf großräumiger Ebene die Betrachtung von Fahrzeugbestand und Pendlerverflechtungen zweckmäßig, wie bei einem Modell für die Region Stuttgart [3]. Für die Analyse der Pendlerverflechtungen in Standortwahlmodellen dieser Maßstabsebene sprechen

auch psychologische Aspekte, da Personen, die einen größeren Teil ihrer Wege mit dem Auto zurücklegen, im Phasenmodell der Verhaltensänderung (Transtheoretical Model of Change) zur Anschaffung eines BEV in der Regel weiter fortgeschritten sind als multimodale Personen [12]. Diese Personen denken öfter kritisch über ihre private Motorisierung nach. Darüber hinaus wirken sich regionale Strukturen unter Umständen stärker auf das Verkehrsverhalten aus als kleinräumige Strukturparameter wie z. B. die Nutzungsmischung [15].

Zur Lokalisierung auf der innergemeindlichen Ebene gibt es zahlreiche Annahmen, die allerdings gewisse Muster erkennen lassen. In einer Literaturlauswertung zu Annahmen des Ladebedarfs, wurde dieser vor allem in Schwerpunkten der Verkehrsnachfrage insgesamt bzw. in Spitzenstunden, im Zusammenhang mit Pendlerverflechtungen, Parkdauern, Arbeitsplätzen und Wohnbevölkerung ausgemacht [16]. Weiterhin wird der Ladevorgang aufgrund seiner Dauer mit anderen Tätigkeiten kombiniert. Ein Großteil der Nutzer ist ab einem Aufenthalt von 15 Minuten bereit, einen Ladevorgang zu starten [10]. Laden am Arbeitsplatz wird ähnlich komfortabel beurteilt wie eine Lademöglichkeit zu Hause. Auch Einkaufen kommt in Frage, vor allem bei regelmäßigen Einkäufen. Generell sind regelmäßig angesteuerte Ziele geeignet [17]. Die Standortsuche auf innergemeindlicher Ebene kann dementsprechend unter Berücksichtigung des Verkehrsaufkommens (Zielverkehrsüberschuss), bei Einkaufszentren und Discountern, sowie sonstigen Point Of Interests (POI) erfolgen [6]. Zur Standortbestimmung in Rostock wurde ein weiter differenziertes Bewertungssystem entwickelt, in dem Points of Interest nach Aufenthaltsdauer, Nutzungshäufigkeit und Aufkommen motorisierter Nutzer klassifiziert und gewichtet wurden [18]. Ein weiterer Aspekt der Standortbestimmung besteht darin, vorhersehbaren Bedarf zu versorgen, der z. B. bei der Elektrifizierung von Taxen, kommunalen Flotten und Carsharing-Fahrzeugen anhand der Stationen oder, im Falle von Free-Floating-Carsharing, anhand deren Nutzerprofilen prognostiziert werden kann [6]. Darüber hinaus können im Hinblick auf die Reichweitenverlängerung der Stadtrand bzw. Ausfallstraßen in Betracht gezogen werden [6].

Während der Standortbestimmung in Hamburg hat sich gezeigt, dass aufgrund der Vielzahl an räumlichen und programmatischen Anforderungen an den Standort der Ladesäule eine Identifikation von großmaßstäblichen Suchräumen (rund 500 m) zielführend sind. So sind u.a. auf straßenräumlicher Ebene weitere Kriterien zu berücksichtigen, zu denen auch die konkurrierenden Nutzungen des öffentlichen Raums zählen, der durch Ladeinfrastruktur zusätzlich beansprucht wird [19]. Aus Nutzer- und Betreibersicht sind die Erreichbarkeit im Sinne der Anfahrbarkeit, die Sichtbarkeit, das Vorhandensein der technischen Stadtinfrastruktur und der Anschlusskosten [6] relevant.

Die Frage nach der Ladeleistung am Standort wird hier ausgeklammert, da eine größere Anzahl langsamer Wechselstrom-(AC)-Ladesäulen generell als wichtiger erachtet wird als der aufwendigere Ausbau von Gleichstrom-(DC)-Schnellladesäulen [10] und letztere offenkundig an Standorten sinnvoll sind, in denen ein hohes Aufkommen von Fahrzeugen auf längeren Strecken mit

exklusiv genutzten Stellplätzen zum Ausschluss von Fehlbelegungen zusammenkommen. Darüber hinaus ist aufgrund der heterogenen technologischen Entwicklung derzeit noch nicht absehbar, ob alle Fahrzeuge / Batterien in absehbarer Zeit DC-ladefähig sein werden.

Verwendete Daten

Die Potenzialabschätzung für die gleichmäßige und systematische Verortung von Ladesäulen im Bundesland Hamburg erfolgte unter Berücksichtigung der Wohn-, Gewerbe- und Freizeitdichte, der Entfernung zu Einkaufsmöglichkeiten oder zu sonstigen Zielen, bei denen aufgrund des typischen Besucherverhaltens von einer gewissen Affinität zur Elektromobilität ausgegangen wurde. Auch eine gute ÖPNV-Erschließung wurde dem Potential zugute gerechnet. Hintergrund hierfür ist die gewünschte programmatische Ausrichtung der Ladeinfrastruktur auch auf die Bedürfnisse des free-floating Car-sharing. Hierbei soll vor allem dem intermodalen Charakter dieser Systeme Rechnung getragen werden. Die Gesamtbewertung für eine Rasterzelle wurde durch einfache Addition der einzelnen Scores berechnet (Tabelle 1).

Diese Scores wurden für insgesamt 52 115 wabenförmige Rasterzellen im Bundesland Hamburg berechnet. Die sechseckigen Rasterzellen haben eine Fläche von ca. 1,5 ha und einen Umkreisdurchmesser von 150 m. Von diesen wurden bis Ende Mai 2017 189 mit einem oder mehreren öffentlichen Ladepunkten ausgestattet. In 29 Rasterzellen befanden sich Ladepunkte an Parkplätzen mit Bodenmarkierung. An den Ladepunkten wurden zwischen dem 09.02.2015 und dem 23.05.2017 über 68 000 Ladevorgänge an öffentlichen Ladesäulen registriert, davon allein im April 2017 ca. 4500. Dabei wurde auch ein Verbrauchswert in kWh und die Dauer des Ladevorgangs erfasst.

Für die Bewertung der Standorte unter Berücksichtigung des Ist-Zustands Mitte 2017 wurden aktuelle, allgemein zugängliche Daten ausgewertet (Tabelle 2). Dabei wurden potenzialrelevante Faktoren in der jeweiligen Einheit ausgewiesen, ohne eine Klassifizierung im Hinblick auf den Scoring-Wert vorzunehmen. Eine reproduzierbare manuelle Bereinigung der OpenStreetMap-Datensätze war im Rahmen der Evaluation nicht möglich, die entsprechenden Einflussfaktoren wurden für die Evaluation der Standortbewertung mit aktuellen Daten daher nicht berücksichtigt.

Methode

Zunächst werden die Entwicklung der Ladeinfrastruktur, die Anzahl der Ladevorgänge und die abgegebene Strommenge zwischen Mai 2015 und April 2017 dargestellt. Um die wesentlichen Einflussfaktoren für die Auslastung der Ladeinfrastruktur zu bestimmen, werden im Anschluss daran die Korrelationskoeffizienten unter Berücksichtigung der Ladedaten vom April 2017 berechnet. Von Interesse ist dabei einerseits die Potenzialbewertung aus dem Jahr 2015, die kritisch zu hinterfragen ist. Andererseits ist eine Gegenüberstellung mit den aktuellen Strukturdaten erforderlich, um abschließend Empfehlungen für den weiteren Ausbau der Infrastruktur geben zu können.

Die Korrelationskoeffizienten allein sind jedoch nicht ausreichend für eine Evaluation. Da die Ladedaten nur für realisierte Standorte vorliegen, ist die geringe oder nicht vorhandene Nachfrage an schlecht bewerteten Standorten nicht bekannt. Von den 52115 Rasterzellen tragen also nur ca. 180 vorab gut bewertete Standorte zum Ergebnis bei. Zum zweiten hat sich früh gezeigt, dass eine auffällige Bodenmarkierung der für das Laden ausgewiesenen Parkstände erheblich zur Reduzierung der Fehlbelegung durch Verbrenner beiträgt. Aufgrund der hohen Fehlbelegung der Parkstände ist die Bodenmarkierung ein dominierender Faktor, der den Einfluss anderer struktureller Faktoren sehr stark überlagert. Um aus den Ladedaten der Standorte ohne Bodenmarkierung Rückschlüsse auf die Relevanz struktureller Faktoren zu ziehen, wurde deshalb im Sinne einer Korrespondenzanalyse untersucht, wie sich die Nachfrage in den Rasterzellen mit der höchsten Wohn-, Freizeit- oder Gewerbebedichte etc. darstellt.

Ergebnisse

Allgemeine Trends Mai 2015 bis April 2017

Zwischen Mai 2015 und April 2017 stieg die Anzahl der Ladesäulen mit mindestens einem Ladevorgang im Monat in Hamburg von drei auf 183, wobei in 95 bis 4483 La-

Strukturgröße, Einheit	Quelle	Score 0	Score +1	Score +2
Wohndichte [ha BGF / km ²]	ALKIS	< 30	30-75	>= 75
Gewerbebedichte [ha BGF / km ²]	ALKIS	< 10	10-100	>= 100
Freizeitdichte [ha BGF / km ²]	ALKIS	< 7,5	7,5-50	>= 50
Einkaufsmöglichkeiten (Einkaufszentren und Supermärkte) [m Distanz Centroid Rasterzelle bis POI]	OpenStreetMap, manuell bereinigt und ergänzt	< 150	150-300	>= 300
E-Mobilitäts-affine Ziele (Universität, Bücherhallen, Sportzentren, Schwimmhallen, Museen, Zoo, Theater, Behörde, Ämter, Rathaus) [m Distanz Centroid Rasterzelle bis POI]	OpenStreetMap, manuell bereinigt und ergänzt	< 150	150-300	>= 300
ÖPNV Angebotsqualität (Takt [Min.] Hauptverkehrszeit HVZ)	HAFAS-Datensatz HVV, werktags	> 10 / kein	5-10	<= 5

Tabelle 1: Scoring-Beiträge in der Potenzialbewertung von 2014

Strukturgröße, Einheit	Quelle
BGF Wohnen [m ² BGF]	ALKIS
Wohndichte [ha BGF / km ²]	ALKIS
BGF Gewerbe [m ² BGF]	ALKIS
Gewerbebedichte [ha BGF / km ²]	ALKIS
BGF Freizeit [m ² BGF]	ALKIS
Freizeitdichte [ha BGF / km ²]	ALKIS
ÖPNV Angebotsqualität (Takt [Min.] HVZ)	HAFAS-Datensatz HVV, werktags
Bodenmarkierung [ja/nein]	Ladesäulendatenbank
Einkaufsmöglichkeiten (Einkaufszentren (EKZ) und Supermärkte) [m Distanz Centroid Rasterzelle bis POI]	OpenStreetMap, automatisch bereinigt
Entfernung bis Autobahn [km]	Routing auf OpenStreetMap-Netz
Entfernung bis Hauptstraße oder Autobahn [km]	Routing auf OpenStreetMap-Netz
Score (2014)	s. Tabelle 1

Tabelle 2: Mögliche Faktoren zur Potenzialbewertung

devorgängen zwischen 680 und 46985 kWh pro Monat verbraucht wurden. Das entspricht ca. 38 kWh in 3,6 Ladevorgängen pro Monat und Fahrzeug (ohne Krad) aus dem Hamburger Bestand von Anfang Mai 2017 (Tabelle 3).

Sowohl der Verbrauch als auch die Dauer der Ladevorgänge korrespondieren mit der Witterung und vergrößern sich um den Jahreswechsel herum. Dies zeigt sich sowohl in Bezug auf die Ladesäulen, als auch in Bezug auf die Ladevorgänge und die Anzahl der Ladevorgänge je Ladesäule scheint dabei leicht rückläufig, die Spitzen des Winters 2015/2016 werden im Winter 2016/2017 nicht mehr erreicht. Als Ursache kommen z. B. die Witterung oder das gestiegene Angebot an Ladeinfrastruktur in Frage, die Betrachtung über zwei Jahre lässt hier noch keine belastbaren Rückschlüsse zu.

Die Auslastung der Ladesäulen mit Bodenmarkierung auf den zugehörigen Parkständen liegt höher als bei denen ohne Bodenmarkierung. So lag der monatliche Verbrauch bei den markierten Standorten ab Dezember 2015 durchweg über 15 kWh, ab Januar 2016 gab es mindestens 30 Ladevorgänge und die durchschnittliche Belegung der Ladesäulen lag deutlich über 6 Stunden.

Standortpotenzialbewertung 2014 – Ladevorgänge und kWh vs. Score

Die Gegenüberstellung der Standortpotenzialbewertung mit den Ladevorgängen und dem Verbrauch ist auf den ersten Blick ernüchternd (Bild 3). Auch wenn sich der Zusammenhang zwischen Ladevorgängen und Potenzialbewertung visuell deutlich und positiv mit einem Korrelationskoeffizienten R von 0,182 darstellt, ist das Bestimmtheitsmaß dieses Zusammenhangs mit $R^2 = 0,03$ äußerst niedrig. Die Gegenüberstellung des Verbrauchs in kWh mit dem Scoring Wert liefert ein ähnliches Bild ($R = 0,141$ und $R^2 = 0,0197$).

Um eine etwas deutlichere Aussage zu den Zusammenhängen zwischen Ladevorgängen und Verbrauch einerseits und den quantifizierbaren Einflussfaktoren andererseits zu gewinnen, wurde die Frage formuliert, ob bei den Rasterwaben mit der stärksten Ausprägung der jeweiligen Faktoren eine eher über- oder unterdurchschnittlich häufige und verbrauchsintensive Nutzung zu beobachten ist. Dabei wurden die 2017 berechneten Faktoren verwendet.

Ausgehend von einem Mittelwert von ca. 0,8 Ladevorgängen im April 2017, die mit den etwa 25 Ladevorgängen pro Ladesäule (Bild 2) korrespondiert, zeigt sich z. B. bei den 1% Rasterwaben mit der höchsten Gewerbe-dichte eine mit ca. 1,6 Ladevorgängen deutlich intensivere Nutzung (Bild 4). Hierbei ist zu beachten, dass 100 % ca. 180 Rasterwaben entsprechen, die Fallzahl beim 1%-Quantil also sehr klein ist. Hingegen zeigen Bereiche mit hohen Wohndichten oder in unmittelbarer Nähe zu Hauptstraßen eine eher niedrige Nachfrage. Je nachdem, ob man Ladevorgänge oder Verbrauch (Bild 5) betrachtet, weichen die Ergebnisse für die Bereiche etwas voneinander ab. Relativ deutlich können sich Bereiche mit hoher Freizeit- und Gewerbe-dichte absetzen, während eine hohe Wohndichte eher mit einer geringeren Nachfrage einher zu gehen scheint. Die ÖPNV-Erschließungsqualität, die hier durch die Zug-(bzw. Bus)-Folgezeit in den Hauptverkehrszeiten quantifiziert wurde,

HH, April 2017	Zugmaschine	PKW	Bus	Krad	Lkw	Sonst
Privat	-	278	-	82	10	-
Gewerblich	1	775	6	46	158	14

Tabelle 3: In Hamburg gemeldete KFZ mit Elektroantrieb, April 2017 (Kraftfahrtbundesamt, 2017)

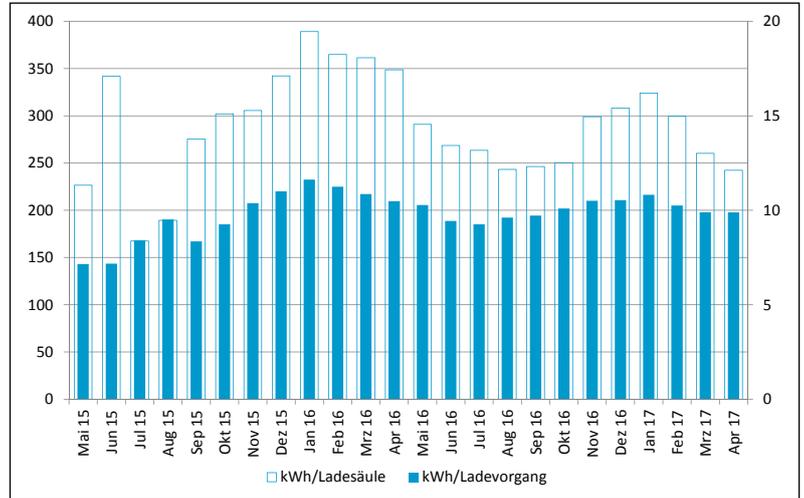


Bild 1: kWh pro Ladesäule und pro Ladevorgang zwischen Mai 2015 und April 2017

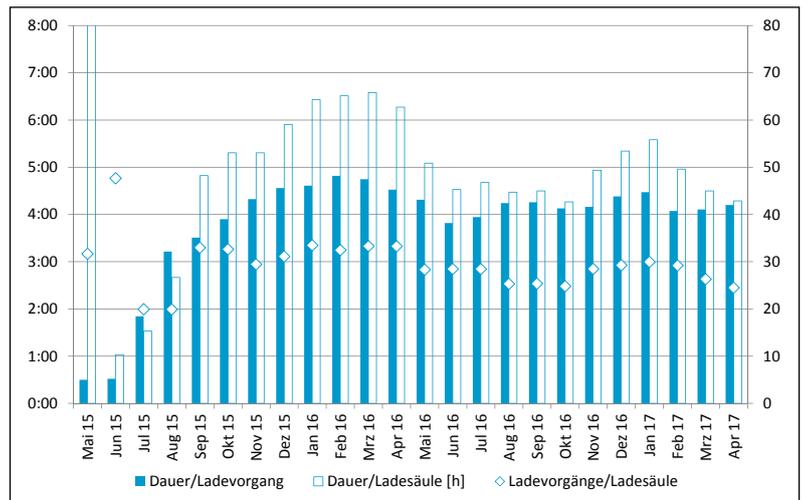


Bild 2: Dauer von Ladevorgang, Belegung der Ladesäulen und Anzahl der Ladevorgänge je Ladesäule zwischen Mai 2015 und April 2017

stellt in diesem Zusammenhang möglicherweise selber nur einen Indikator für urbane Dichte dar, die der Nachfrage eher zuträglich ist.

Unter Berücksichtigung der Markierung der den Ladesäulen zugeordneten Stellplätze ergibt sich ein sehr viel klareres Bild (Tabelle 4).

Zunächst einmal zeigt sich eine starke positive Korrelation zur Markierung der den Ladesäulen zugeordneten Parkstände. Doch auch bei dieser Selektion zeigt sich, dass die Wohndichte im Umfeld nur zum Verbrauch bei markierten Parkständen positiv korreliert, was mit längeren Standzeiten der Fahrzeuge plausibel erklärt werden kann. Hinsichtlich der Anzahl der Ladevorgänge ist die Wohndichte durchweg negativ korreliert.

Freizeit- und Gewerbe-dichte sind hingegen durchweg positiv korreliert mit einem maximalen Koeffizienten

von 0,6 für Ladevorgänge bei markierten Parkständen mit hoher Gewerbedichte im Umfeld. Die Korrelation bei ÖPNV und bei Entfernung zu Supermärkten und Einkaufszentren sowie zum Haupt- und Fernstraßennetz ist nur schwach. Die fast durchweg negativen Kor-

relationskoeffizienten für die untersuchten Entfernungsmaße sind sachlich plausibel.

Abschließend wurden die Potenzialbewertung-Scores untersucht. Bereits der Scoring-Wert von 2014 weist dabei eine positive Korrelation zu Ladevorgängen und Verbrauch auf. Diese kann jedoch unter Berücksichtigung der vorliegenden Daten deutlich verbessert werden, wenn eine alternative Berechnung des Scoring-Wertes durch eine Linearkombination mit einfachen numerischen Gewichten vorgenommen wird.

Die Gewichtung der Faktoren für ein verbessertes Scoring-Verfahren (Tabelle 5) wurde durch zweifache sequentielle manuelle Optimierungen der Gewichtung erreicht, nachdem die Verwendung des in MS-Excel implementierten Optimierungsalgorithmus („Solver“) ins Leere lief: Eine maximale Korrelation zwischen Bewertungs-Score und Ladevorgängen als Zielwert führte nur zu geringen Bestimmtheitsmaßen um 0,11.

Der so berechnete neue Scoring-Wert weist sowohl für die markierten als auch für die Gesamtheit der markierten Ladestandorte eine wesentlich stärkere Korrelation auf, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,62 für Ladevorgänge bei markierten Parkständen. Dieser entspricht einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,38$. Gegenüber dem Bestimmtheitsmaß der Scoring-Werte von 2014 (vgl. Tabelle 4) stellt dieser eine deutliche Verbesserung dar, ist aber immer noch relativ gering. Allerdings spricht die Zahl der Einflussgrößen, die hier nicht berücksichtigt wurden, gegen höhere Bestimmtheitsmaße: Die Potenzialbewertung erfolgte anhand einer beschränkten Auswahl allgemein zugänglicher Geodaten. Nicht betrachtet wurden die Nutzerseite und die Konkurrenzsituation zwischen öffentlicher und privater Ladeinfrastruktur. Ebenfalls ausgeblendet wurden Gebiete außerhalb Hamburgs und Bereiche, die in der Standortpotenzialbewertung 2014 eine schlechte Bewertung erhalten hatten und daher heute über keine Ladeinfrastruktur verfügen.

Diskussion und Fazit

Die in Hamburg beobachtete Auslastung der Ladeinfrastruktur ermöglicht bisher keinen wirtschaftlichen Betrieb, selbst bei geringen Anschlusskosten ist die Auslastung mit durchschnittlich vier bis fünf Stunden pro Monat weit von den als Schwellenwert genannten 4 % (ein bis zwei Stunden pro Tag) entfernt. Auch die Standorte mit Bodenmarkierung erreichen diesen Schwellenwert derzeit noch nicht. Eine Ursache besteht möglicherweise im zögerlichen Markthochlauf für E-Fahrzeuge und im gewerblichen Charakter der Fahrzeugflotten. So wird derzeit ein Großteil der gewerblichen Flotte in Hamburg auf privaten Flächen geladen (DHL, UPS etc.). Für die Hamburger Akteure stellt sich vor diesem Hintergrund die Frage, ob ein weiterer zügiger Ausbau der Ladeinfrastruktur kurzfristig sinnvoll ist. Die Ergebnisse der Evaluation sprechen eher dafür, die vorhandenen Standorte mit Bodenmarkierungen zu versehen und die weiteren Entwicklungen im Fahrzeugbestand und in der Auslastung der bestehenden Ladeinfrastruktur zu verfolgen.

Bei der Optimierung der Potenzialbewertung ist zu beachten, dass die hier betrachteten Einflussgrößen unterschiedliche Korrelationen zu Verbrauch einerseits und Anzahl der Ladevorgänge andererseits haben.

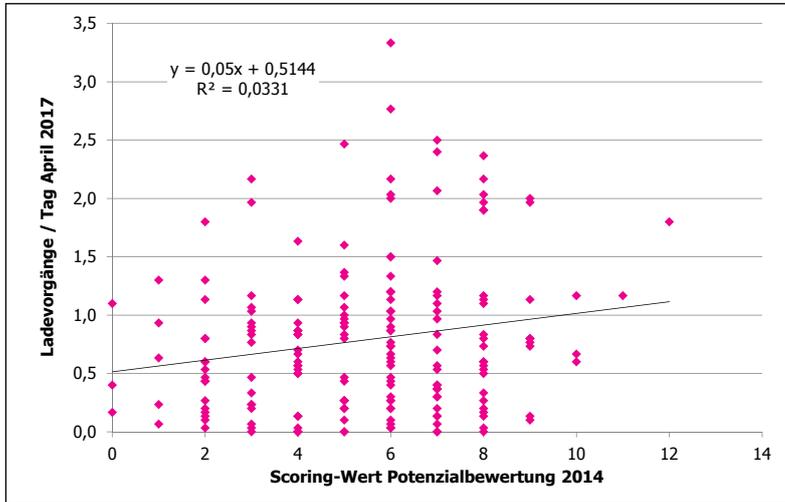


Bild 3: Ladevorgänge (April 2017) nach Scoring-Wert Potenzialbewertung (2014)

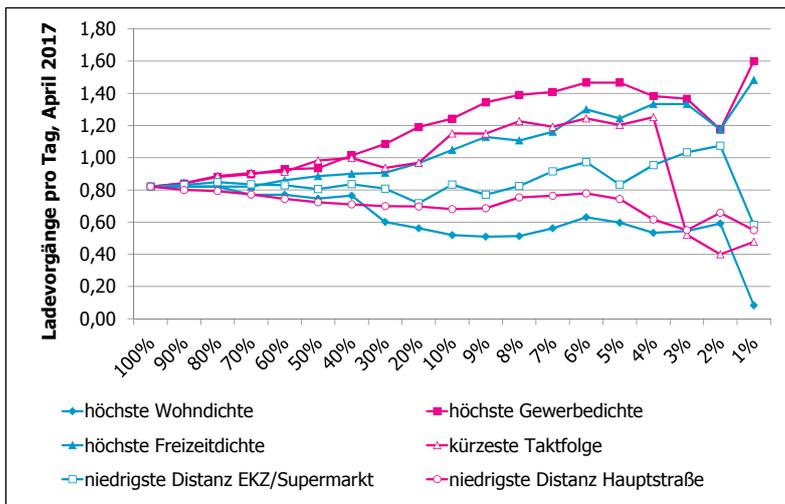


Bild 4: Ladevorgänge in Rasterwaben

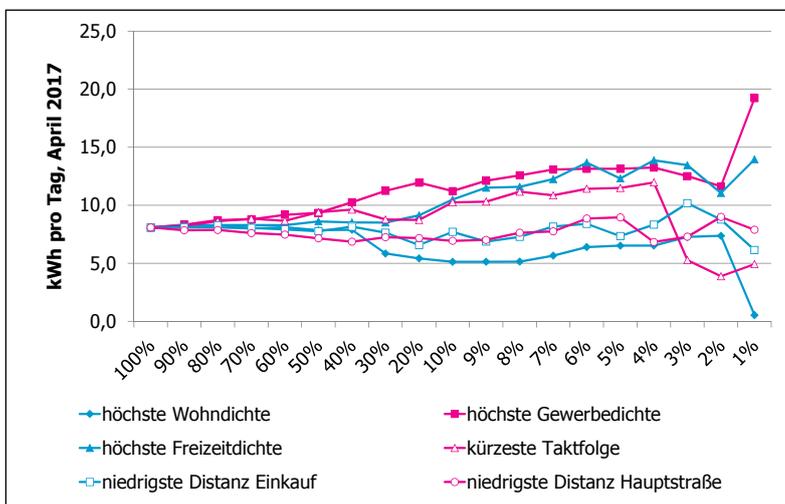


Bild 5: Verbrauch (kWh) in Rasterwaben

Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum ist leichter unter Verweis auf eine große Zahl Begünstigter zu rechtfertigen. Zum anderen ist auf den politisch avisierten Markthochlauf für E-Fahrzeuge zu verweisen. Es ist davon auszugehen, dass mit steigenden E-Fahrzeugzahlen in absehbarer Zeit auch die Nutzungszahlen steigen werden. Darüber hinaus ist das nicht messbare Sicherheitsversprechen, welches durch die Möglichkeit des Zwischenladens und des kostenlosen Parkens auf E-Ladepunkten ausgeht, bei der Etablierung der E-Ladeinfrastruktur letztlich nicht zu vernachlässigen.

Insgesamt hat sich in der Untersuchung gezeigt, dass die für die Platzierung der Ladeinfrastruktur in Hamburg verwendete Potenzialabschätzung zweckmäßig ist, auch wenn sie durch eine veränderte Auswahl und Gewichtung der einzelnen Faktoren verbessert werden kann. Die aus Literaturobserwungen und Plausibilitätsüberlegungen gewonnenen Annahmen zu potenzialrelevanten Faktoren wurden überwiegend bestätigt, wie z. B. der Einfluss gewerblicher und Freizeit-Nutzungen im Umfeld eines Standorts. Im Hinblick auf zukünftige Standortkonzepte stellen die Ergebnisse der Untersuchung eine hilfreiche empirische Basis für die Potenzialabschätzung dar. Eine auch nur vorläufig abschließende Bewertung der Standortfaktoren ist jedoch problematisch, da sich nicht nur die Zusammensetzung der Flotten und der Elektrofahrzeugnutzer ändert, sondern auch das Angebot an privater Ladeinfrastruktur.

Unser besonderer Dank geht an die Mitarbeiter der Stromnetz Hamburg GmbH, dem Betreiber der öffentlichen Ladeinfrastruktur in Hamburg, die uns im Zuge der Standortbewertung und -evaluation mit wichtigen Informationen unterstützt haben. Der Dank geht namentlich an Herrn Börger, Herrn Voelkel und Herrn Bomke.

LITERATUR

[1] Sommer, Klaus: Continental-Mobilitätsstudie 2011. Präsentationsfolien. Hannover, s.n., 15.12.2011

[2] Rothfuchs, Konrad und Scheler, Christian: Genau am richtigen Ort. der gemeinderat. 2017, Bd. 60, 5/2017, S. 22-23

[3] Wirges, Johannes; Linder, Susanne; Kessler, Alois: Modelling the Development of a Regional Charging Infrastructure for Electric Vehicles in Time and Space. European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR). 2012, 12(4), S. 391-416

[4] Bevis, Keith; Smyth, Austin; Walsh, Sue: Plugging the Gap – Can Planned Infrastructure Address Resistance to Adoption of Electric Vehicles. ETC 2013 Konferenzbeitrag. Frankfurt / M., AET 2013, 2013

[5] Hamann, Rainer: Elektromobilität mit unliebsamen Nebenwirkungen. PlanerIn. 2017, 5/17, S. 50-52

[6] Blümel, Hermann und Reil, Frithjof: Praxisbeispiel: Das Berliner Modell der Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge im öffentlichen Raum. Präsentation beim VHW Vertiefungsseminar Elektromobilität – Ladeinfrastrukturen im öffentlichen Raum als Chance und Herausforderung für Kommunen. Berlin, s.n., 27. April 2017

[7] Liao, Fanchao; Molin, Eric und van Wee, Bert: Consumer preferences for electric vehicles: a literature review. Transport Reviews. 2017, 37(3), S. 252-275

[8] Trip, Jan Jacob und Konings, Rob: Supporting electric vehicles in freight transport in Amsterdam. Delft University of Technology. Delft : s.n., 2014. Report written within the framework of Activity 7.4 of the Interreg IVB project E-Mobility NSR, file nr. 35-2-6-11

[9] Buckstegen, Nikolas: Großes E-Mobility-Potenzial liegt brach: Gefahr für deutsche Autobauer wächst. [Online] 5. Januar 2017. [Zitat vom: 15. September 2017.] <https://yougov.de/news/2017/01/05/grosses-e-mobility-potenzial-liegt-brach-gefahr-fu/>.

[10] BuW: Bedarfsorientierte Ladeinfrastruktur aus Kundensicht. Handlungsempfehlungen für den flächendeckenden Aufbau benutzerfreundlicher Ladeinfrastruktur. Frankfurt am Main : Deutsches Dialog Institut GmbH, 2017. Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW) Ergebnisrapier 35

Faktor	Alle Parkstände		Nur markierte Parkstände	
	Ladevorgänge	Verbrauch	Ladevorgänge	Verbrauch
Markierung	0,3454	0,3523		
Dichte Wohnen	-0,1865	-0,1226	-0,0580	0,1653
Dichte Gewerbe	0,2764	0,2378	0,6021	0,4641
Dichte Freizeit	0,1532	0,1269	0,2019	0,2096
ÖPNV	-0,0051	0,0125	-0,0882	-0,0781
Entfernung EKZ/ Supermarkt	-0,0443	0,0036	-0,1264	-0,1431
Entfernung BAB	-0,0551	-0,0669	-0,0366	-0,0846
Entfernung Hauptstraße	-0,0981	-0,0733	-0,0251	0,0186
Score (2014)	0,1818	0,1405	0,2510	0,2851
Score neu	0,3003	0,2545	0,6196	0,4921

Tabelle 4: Korrelationskoeffizienten für verschiedene Einflussgrößen

Faktor	Dichte Wohnen	Dichte Gewerbe	Dichte Freizeit	ÖPNV	Entf. EKZ/ Supermkt.	Entf. BAB	Entf. Hauptstr.
Gewicht	-0,15	19,00	10,00	-0,30	-0,50	0	-10,00

Tabelle 5: Gewichtungsfaktoren für neuen Score

[11] BuW: Status quo Ladeinfrastruktur 2016 Workshop Dokumentation. Frankfurt am Main : Deutsches Dialog Institut GmbH, 2016. Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW) Ergebnisrapier 36

[12] Langbroek, Joram H.; Franklin, Joel P. und Susilo, Yusak O: Changing towards electric vehicle use in Greater Stockholm. European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR). 2017, 17(3), S. 306-329

[13] Weiss, Christine; et al.: Assessing the Effects of a Growing Electric Vehicle Fleet Using a Microscopic Travel Demand Model. European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR). 2017, 17(3), S. 330-345

[14] Taefi, Tessa T: Viability of electric vehicles in combined day and night delivery: a total cost of ownership example in Germany. European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR). 2016, 16(4), S. 600-618

[15] Naess, Peter: Urban form and travel behaviour: Experience from a Nordic context. The Journal of Transport and Land Use. 2012, 5(2), S. 21-45. <http://jtlu.org>

[16] Schübler, Maximilian; Niels, Tanja und Bogenberger, Klaus: Model-based estimation of private charging demand at public charging stations. European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR). 2017, 17(1), S. 153-169

[17] Daubitz, Stefanie; Riedel, Veronique und Schwedes, Oliver: Schnellladen von Elektroautos. Internationales Verkehrswesen. 2015, 67(3), S. 44-47

[18] ARGUS Stadt- und Verkehrsplanung: Standortbestimmung E-Ladeinfrastruktur Rostock. Hamburg : s.n., 2017. Gutachten im Auftrag der Stadtwerke Rostock AG

[19] Schröter, Frank: Elektromobilität als Herausforderung für die Stadtgestalt. Rolf von der Horst [Hrsg.], STADT und RAUM. August 2017, 38(4), S. 196-200



Timotheus Klein, Dipl.-Ing.
 Fachbereichsleiter Verkehrsmodelle und GIS,
 ARGUS Stadt und Verkehr Partnerschaft mbB,
 Hamburg
t.klein@argus-hh.de



Christian Scheler, M.Sc.
 Projektleiter, ARGUS Stadt und Verkehr
 Partnerschaft mbB, Hamburg
c.scheler@argus-hh.de