
Tote Winkel für Ladeinfrastruktur – was bei der Platzierung öffentlicher Ladeinfrastruktur im Detail zu beachten ist

Timotheus Klein*, Thomas Prill, Daniela Kind

Abstract

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Fahrzeuge erfordert die Identifikation von Bereichen, in denen Ladeinfrastruktur viele Nutzer bedient und wirtschaftlich betrieben werden kann. Oft werden dabei Bedarfs-Hotspots auf einer Rasterzellenebene von einigen hundert Quadratmetern bestimmt. In dieser Studie war das Ziel, Nutzungsrelevante Faktoren innerhalb solcher Hotspots zu identifizieren. Dafür wurden Nutzung und Umgebung von benachbarten Ladestationen verglichen.

Schlagwörter / Keywords:

Standort, Erreichbarkeit, Elektromobilität, HeatMap

1. Einleitung

Nachdem Deutschland zunächst das Ziel verfehlt hat, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen (Bundesregierung 2009), verlagert sich die deutsche Automobilindustrie in letzter Zeit verstärkt auf batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) (Wappelhorst 2020), wodurch die Erweiterung der Ladeinfrastruktur zunehmend dringlicher wird (Routes de France; ERF, FNTP; FIEC; CICA 2020). Die Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten wird im Hinblick auf die Kaufentscheidung zugunsten eines Elektrofahrzeugs als elementar erachtet (Buckstegen 2017; PwC Strategie& 2020; Wolbertus 2020). In Hamburg waren Anfang 2022 nur 13078 BEV registriert (KBA 2022), aber eine aktuelle Studie rechnet für Hamburg bis 2030 mit bis zu 320000 BEV, die bis zu 23000 normale und mehr als 1000 öffentliche Gleichstrom-Schnellladestationen benötigen würden (Nicholas & Wappelhorst, 2020).

Die Stadt Hamburg hat bereits 2014 einen Masterplan für öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur verabschiedet (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2014), der den Aufbau von 592 Ladepunkten im öffentlichen Raum für voraussichtlich 4900 Fahrzeuge im Jahr 2016 vorsieht. Im Dezember 2019 hat die Zahl der öffentlichen Ladepunkte im gesamten Stadtgebiet 1000 überschritten. Kurzfristig kann es zu Engpässen kommen, wenn eine Quote über 10 Fahrzeugen pro öffentlichem Ladepunkt überschritten

wird, die in der europäischen Verordnung für alternative Kraftstoffe als Obergrenze empfohlen wird. Andere Regionen bieten attraktivere Kennzahlen – z.B. 5,5 – 7,0 in den vier großen Stadtregionen der Niederlande (Wolbertus 2020). Die aktuellen Entwicklungen in Hamburg und im Rest Deutschlands erfordern daher einen zeitnahen Ausbau der Ladeinfrastruktur.

Die öffentliche Ladeinfrastruktur in Hamburg wurde mithilfe einer Heatmap lokalisiert, in der das Nachfragepotential für öffentliches Laden anhand einer Reihe von Umgebungsattributen beurteilt wurde. Eine Auswertung der Ladedaten ergab jedoch niedrige Korrelationskoeffizienten zwischen den in der Heatmap berücksichtigten Umgebungsattributen und dem beobachteten Ladebedarf. Im Rahmen des Projektes „E-MetropoLIS“, in dem öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur in Ballungsräumen evaluiert wird, soll diese Studie Faktoren identifizieren, die einen Standort mit hoher Nachfrage von einem Standort mit geringer Nachfrage unterscheiden, sofern sich die bisher betrachteten Merkmale nicht wesentlich unterscheiden. Die hierfür gewählte Methode ist der Vergleich öffentlicher Ladestationen in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander, die ähnliche oder identische Umgebungseigenschaften aufweisen, deren Auslastung jedoch stark voneinander abweicht. Mit diesem Vergleich sollen Faktoren identifiziert werden, die bisher nicht berücksichtigt wurden, aber für die Auslastung öffentlicher Ladeinfrastruktur relevant sein können.

Der nächste Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über den bisherigen Standortwahlansatz in Hamburg, die zugrunde liegenden Überlegungen und die Ergebnisse der Evaluation. Der folgende Abschnitt beschreibt die Daten und den methodischen Ansatz dieser Studie. Der dritte Abschnitt und die darauf folgenden präsentiert die Ergebnisse, die im letzten Abschnitt diskutiert werden.

2. Lokalisierung der bestehenden öffentlichen Ladestandorte in Hamburg

Zielsetzung des ursprünglichen Ansatzes für die Standortwahl für öffentliche Ladeinfrastruktur in Hamburg war neben einer maximalen Auslastung auch strategische Überlegungen wie die Unterstützung intermodaler Wegeketten mit batterieelektrischen Carsharing-Fahrzeugen und dem ÖPNV. Für über 50.000 wabenförmige Zellen mit einem maximalen Durchmesser von 150 Metern wurden dementsprechende Umgebungsvariablen bewertet. Die Bewertung berücksichtigte die Erreichbarkeit mit öffentlichen und privaten Verkehrsmitteln, die Dichte der Wohn-, Gewerbe- und Freizeitnutzung, die Entfernung zu Points of Interest (POI) mit Einkaufsgelegenheiten und verschiedene Einrichtungen wie Bibliotheken, Ämter usw. Für vordefinierte Klassen der unterschiedlichen Attributskategorien wurden Punkte vergeben und durch Addition zu einer Gesamtpunktzahl aggregiert (Tabelle 1). Gebiete, die ausweislich einer hohen Gesamtpunktzahl ein hohes Ladebedarfspotenzial aufweisen, wurden vor Ort unter Berücksichtigung der straßenräumlichen Situation, des urbanen Umfelds und der elektrischen Infrastruktur untersucht.

Tabelle 1: Umgebungsvariablen, Datenquellen und dimensionslose Bewertung der Rasterwaben für die Ladeinfrastruktur (Klein & Scheler, 2018). ALKIS = Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem, BGF = Bruttogeschossfläche

Umgebungsvariable [Einheit]	Quelle	0 Punkte	+1 Punkt	+2 Punkte
Wohndichte [ha BGF / km ²]	ALKIS (Gebäudetabelle)	< 30	30-75	>= 75
Gewerbedichte [ha BGF / km ²]		< 10	10-100	>= 100
Dichte Freizeitnutzungen [ha BGF / km ²]		< 7,5	7,5-50	>= 50
Einkaufsgelegenheiten (Einkaufszentren und Supermärkte) [m Entfernung zum Centroid der Rasterwabe]	OpenStreetMap, bearbeitet und ergänzt	< 150	150-300	>= 300
Verschiedene Nutzungen (Universität, Bibliothek, Sportzentrum, Museum, Zoo, Theater, Öffentliche Einrichtung) [m Entfernung zum Centroid der Rasterwabe]		< 150	150-300	>= 300
Bedienungshäufigkeit öffentlicher Verkehr in der Hauptverkehrszeit [Minuten zwischen Abfahrten]	Fahrplandaten Werktag	> 10 / keine	5-10	<= 5

Quelle: ARGUS

Dieser allgemeine Ansatz und die zur Abschätzung des potenziellen Ladebedarfs verwendeten Umgebungsvariablen spiegelten den Stand von Forschung und Praxis wider. Methodiken zur Lokalisierung von

Ladeinfrastruktur auf städtischer oder lokaler Ebene orientieren sich an nutzerInnenspezifischen Anforderungen und berücksichtigen das tatsächliche Verkehrsaufkommen, die Verkehrsbeziehungen, das potenzielle NutzerInnenverhalten und die räumlichen Strukturen (Brost, Funke, & Lembach 2018; Csaba, Bálint, Földes, Wirth, & Lovas 2019; Niels, Bogenberger, Gerstenberger & Hessel 2020). Grundlage dieser Praxis sind Erhebungen zum potenziellen, beabsichtigten oder praktizierten Ladeverhalten (BuW 2017; Kontou, Liu, Xie, & Wu 2019; Csaba et al. 2019). 70 % der NutzerInnen von Elektrofahrzeugen gaben an, mindestens monatlich öffentliche Ladeinfrastrukturen zu nutzen. Zudem fanden mehrere Studien heraus, dass Parkdauern von mindestens 15 Minuten für einen Ladevorgang attraktiv sind, sodass sich Aktivitäten mit entsprechender Dauer für eine nutzerzentrierte Auswertung besonders eignen (BuW 2017; Csaba et al. 2019). Grober, Janßen, & Küçükay (2020) beobachteten, dass BEV-FahrerInnen jede Gelegenheit zum Aufladen nutzen, egal ob notwendig oder nicht. Mögliche Motive sind die Angst vor leeren Akkus, exklusives Parken zum Aufladen von Fahrzeugen und die obligatorische Aufladung bei der Anmietung. Es überrascht daher nicht, dass größere Städte mehr Ladevorgänge pro Station aufweisen als kleinere Städte (Ziem-Milojevic & Wanitschke 2020). Allerdings schätzen Wirges, Linder & Kessler (2012) ein, dass nur ein kleiner Teil aller Ladevorgänge in der öffentlichen Infrastruktur stattfinden wird. Der überwiegende Teil tritt im privaten Bereich auf, zum Beispiel in Garagen mit hauseigenen Wallboxen. Dieser Umstand erfordert einen Kompromiss zwischen einer sichtbaren, also möglichst hohen Anzahl von Ladestationen und deren Auslastung. In jedem Fall muss die öffentliche Ladeinfrastruktur attraktiv sein und in einem Umfang genutzt werden, der die öffentlichen Investitionen in Infrastruktur und Stadtraum rechtfertigt.

Der Planungsprozess in Hamburg wurde 2018 evaluiert. Im Fokus der Evaluation stand der Zusammenhang zwischen quantifizierbaren Umweltmerkmalen und Ladebedarf auf der Ebene der hexagonalen Gitterzellen. Der Ladebedarf wurde anhand von Ladeereignissen und dem Energieverbrauch quantifiziert. Alle Korrelationskoeffizienten lagen für den gesamten Datensatz unter 0,36 und für eine Teilmenge von Ladestationen mit einer speziellen Markierung auf dem Boden der entsprechenden Parkplätze unter 0,62 (Klein & Scheler 2018).

2. Methode und Daten

Grundlage dieser Analyse ist ein Datensatz von ca. 150.000 Ladeereignissen an öffentlichen Ladepunkten in Hamburg in den Jahren 2018 und 2019, der vom lokalen Netzbetreiber Stromnetz Hamburg (SNH) für das Forschungsprojekt E-MetropoLIS bereitgestellt

wurde. Die Tabelle der Ladeereignisse enthält die entsprechende Ladestation, Zeitstempel für Start und Stopp des Ladevorgangs und die verbrauchte Energie in Kilowattstunden. Die Ladedaten wurden für Ladestationen aggregiert. Parameter zur Quantifizierung des Ladebedarfs sind die Anzahl der Ladevorgänge, die Dauer aller Ladevorgänge und die verbrauchte Energie. Es wurden zwei Jahre, 2018 und 2019, analysiert und alle Parameter durch die Anzahl der Betriebstage im jeweiligen Jahr dividiert. Saisonale Schwankungen wurden nicht analysiert.

Um zu erkennen, wo die lokale Variation der Umgebung zu großen Unterschieden im Ladebedarf führt, wurden Gradienten zwischen Paaren von Ladestationen nach Gleichung (1) berechnet.

$$g = \frac{m_2 - m_1}{d} \quad (1)$$

mit g: Gradiente
 m: Maßeinheit (z.B. Kilowattstunden);
 index: Nummer der Ladestationen in
 Tabellen 2 und 3.
 d: Distanz [m]

Diese Gradienten setzen die Differenz des Ladebedarfs ins Verhältnis zur Entfernung zwischen zwei Ladestationen. Es wurden nur Paare von Ladestationen im Abstand von weniger als 300 m zueinander berücksichtigt. Ladestationen mit Wechselstrom (AC) wurden nicht mit Stationen, die Gleichstrom (DC) liefern, gepaart, um Auswirkungen der Ladegeschwindigkeit zu eliminieren. Sowohl AC- als auch DC-Ladestationen im Datensatz verfügen im Allgemeinen über zwei Ladepunkte, mit einer Ausnahme, die nicht in den nachfolgend erörterten Einzelfällen vorkommt.

Auch die mit aktuellen Landnutzungsdaten und der Gewichtung von Klein et al. (2018) berechneten Bewertungen wurden verglichen, indem die Gradienten zwischen den benachbarten Bewertungen berechnet wurde (Tabellen 2 und 3). Diese weisen vor allem auf Unterschiede in der Flächennutzungsdichte (Wohnen, Gewerbe) hin. In geringerem Maße berücksichtigt der Standort-Score auch die Frequenz des ÖPNV, Entfernungen zu Einkaufs-, Freizeit- und Privatangelegenheiten sowie zu Ausfallstraßen, da diese Faktoren in den ursprünglichen Standort-Score einfließen. In dieser Form wurden quantitative Kennwerte berücksichtigt. Vor allem zielt diese Studie hingegen auf eine individuelle Untersuchung von Einzelfällen ab, die möglicherweise besser geeignet ist, den tatsächlichen Planungsprozess zu unterstützen als beispielsweise eine Regressionsanalyse von Umgebungsvariablen.

Unter den Paaren von AC-Ladestationen wurden die fünfzehn höchsten Gradienten für den Energieverbrauch untersucht. Da ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen Energieverbrauch einerseits und

Verbindungsdauer bzw. Anzahl Ladeereignissen andererseits besteht, wurden die Gradienten zwischen letzteren nach einem ersten Screening nicht separat untersucht. Unter den DC-Ladestationen wurden nur fünf Paare ausgewählt, da es für weitere Beispiele nicht genügend DC-Ladestationen in hinreichender Nähe zueinander gab.

Der allgemeine Arbeitsablauf dieser Studie lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- 1) Aggregation der Ladedaten für 2018 und 2019.
- 2) Berechnung der Gradienten für AC- und DC-Ladestationen.
- 3) Auswahl von bis zu 15 Paar Ladestationen mit den höchsten Gradienten.
- 4) Untersuchung der lokalen Umgebung ausgewählter Ladestations-Paare auf potenziell relevante Aspekte.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse für die AC-Ladesäulen sind in Tabelle 2 dargestellt, die für die DC-Ladesäulen in Tabelle 3. In beiden Tabellen ist die erste Ladesäule (Nr. 1) diejenige, an der weniger Energie verbraucht wurde. Im Allgemeinen sind die Unterschiede zwischen den normalisierten Scoring-Werten gering, nur zwei von fünfzehn liegen über 0,1. Insgesamt zeigen die ausgewählten Daten einen deutlichen Anstieg der Nachfrage von 2018 bis 2019. Generell ist eine Tendenz zu mehr Ladeereignissen, längeren Ladezeiten und höherem Energieverbrauch zu erkennen, trotz des Ausbaus der öffentlichen Ladeinfrastruktur von 413 Ladestationen Ende des Jahres 2018 auf 473 Ende 2019.

Die örtliche Umgebung der in den Tabellen 2 und 3 aufgeführten Paare öffentlicher Ladestationen werden im folgenden Abschnitt detaillierter beschrieben.

Die Unterschiede zwischen quantifizierbaren Umgebungsvariablen, wie sie im normalisierten Scoring-Wert zusammengefasst sind, sind im Allgemeinen gering, mit zwei Ausnahmen. Die Vorzeichen der Gradienten der normalisierten Scores stimmen nicht immer mit denen der Gradienten des Energieverbrauchs überein. In fünf von fünfzehn Fällen fiel ein höherer Score mit einem niedrigeren Energieverbrauch zusammen. Dies bestätigt die Annahme, dass allein quantifizierbare Umgebungsvariablen nicht die ideale Position für eine Ladestation im fußläufigen Umfeld berechnen können.

Tabelle 2: Unterschiede beim Energieverbrauch [kWh/Tag] zwischen benachbarten AC-Ladestationen und andere Ladestationsnummern für 2019 und 2018 (zweite Zeile). Auswahl der fünfzehn AC-Ladesäulenpaare mit dem höchsten Gradienten für Energieverbrauch bezogen auf die Entfernung im Jahr 2019.

Station		Distanz [m]	Energieverbrauch [kWh/d]		Gradienten [kWh/d/m]	Diff. Score	Ladevorgänge [Vorgänge/d]		Ladedauer [s/d]	
Nr. 1	Nr. 2		Nr. 1	Nr. 2			Nr. 1	Nr. 2	Nr. 1	Nr. 2
402	267	55	22.9	39.7	0.31	0.02	2.4	3.8	20942	32934
			8.9	31.1			1.0	3.2	10025	28859
901	231	56	19.7	29.3	0.17	-0.25	1.9	3.3	32207	25791
			13.8	20.0			1.6	2.7	28296	20418
531	474	78	4.3	16.5	0.16	0.04	0.4	2.0	7502	37129
			0.6	6.1			0.4	0.9	1843	14526
556	249	225	19.6	51.6	0.14	0.05	1.4	3.1	21380	41244
			6.0	27.3			0.8	2.6	10512	28585
693	351	139	6.9	26.6	0.14	0.02	0.7	2.2	7482	32049
			n/a	22.7			n/a	2.0	n/a	34937
218	446	260	10.4	46.6	0.14	-0.06	1.1	3.8	21598	62285
			8.1	26.9			0.9	2.3	21088	36061
635	300	199	16.0	40.3	0.12	-0.09	1.8	2.6	18795	32970
			n/a	25.7			n/a	2.2	n/a	28556
527	351	130	11.0	26.6	0.12	0.05	1.3	2.2	31711	32049
			2.6	22.7			0.3	2.0	4264	34937
326	212	195	7.3	27.9	0.11	-0.05	1.0	2.5	15681	28737
			2.0	17.2			0.3	1.8	2583	21555
568	438	78	7.9	15.7	0.10	0.03	0.9	1.4	7455	24309
			n/a	7.4			n/a	0.8	n/a	15766
551	203	200	3.3	22.8	0.10	-0.03	0.3	2.2	5731	23539
			0.6	17.7			0.3	1.7	9174	18907
468	222	233	7.3	29.6	0.10	0.22	0.9	2.7	5503	26256
			3.0	20.7			0.4	2.3	3528	24839
644	523	288	2.0	29.0	0.09	0.01	0.3	1.8	2351	41931
			n/a	24.4			n/a	1.5	n/a	32702
362	463	220	0.0	19.4	0.09	0.01	0.0	1.1	1	24611
			0.1	12.1a			0.0	0.9	79	18799
586	393	246	1.3	22.9	0.09	0.01	0.1	1.4	1400	34785
			n/a	13.5			n/a	0.9	n/a	17483

Quelle: ARGUS

Tabelle 3: Unterschiede beim Energieverbrauch [kWh/Tag] zwischen benachbarten DC-Ladestationen und andere Ladestationsnummern für 2019 und 2018 (zweite Zeile). Auswahl der fünfzehn DC-Ladesäulenpaare mit dem höchsten Gradienten für Energieverbrauch bezogen auf die Entfernung im Jahr 2019.

Station		Distanz [m]	Energieverbrauch [kWh/d]		Gradienten [kWh/d/m]	Diff. Score	Ladevorgänge [Vorgänge/d]		Ladedauer [s/d]	
Nr. 1	Nr. 2		Nr. 1	Nr. 2			Nr. 1	Nr. 2	Nr. 1	Nr. 2
37	32	237	33.5	76.1	0.18	0.04	2.9	5.3	8122	12888
			6.0	25.7			0.5	1.8	1284	9780
22	37	196	1.1	33.5	0.17	0.01	1.5	2.9	4893	8122
			0.1	6.0			0.6	0.5	3353	1284
49	37	196	21.4	33.5	0.06	0.01	0.9	2.9	4638	8122
			n/a	6.0			n/a	0.5	n/a	1284
81	25	279	20.1	24.4	0.02	-0.02	1.8	1.8	5408	5261
			n/a	12.6			n/a	1.7	n/a	8361
81	47	279	20.1	23.4	0.01	0.12	1.8	1.6	5408	4687
			n/a	7.1			n/a	0.9	n/a	2639

Quelle: ARGUS

Die detailliertere Betrachtung der Leistungsfähigkeit und des lokalen Umfelds benachbarter Ladesäulen offenbart ein wiederkehrendes Thema für eine attraktive Ladeinfrastruktur: gute Anfahrbarkeit für AutofahrerInnen und Erreichbarkeit für FußgängerInnen sowie Sichtbarkeit für möglichst viele regelmäßig und zufällig vorbeifahrende potenzielle NutzerInnen. Insbesondere die Lage der Ladeinfrastruktur in Einbahnstraßen, die lange Umwege erfordern, erscheint einer

wirtschaftlichen Nutzung abträglich. Folglich sollten Kennwerte der Erreichbarkeit zur Identifizierung von Ladeinfrastrukturstandorten idealerweise das Pkw-Routing auf Hausnummernebene berücksichtigen und dabei nicht nur Einbahnstraßen, sondern auch zulässige Abbiegebewegungen und Fahrtrichtungsteiler berücksichtigen.

Darüber hinaus scheinen eine gute Sichtbarkeit und die Möglichkeit, den Ladevorgang mit Besorgungen oder alltäglichen Freizeitaktivitäten zu kombinieren, zur Attraktivität einer öffentlichen Ladestation beizutragen. Dies setzt jedoch eine gute fußläufige Erreichbarkeit solcher Nutzungen von der Ladestation voraus.

4. Detailbetrachtung für AC-Ladestationen

402 und 267: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 267 um 74% höher als an Ladestation Nr. 402. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Ladestation Nr. 267 liegt in der eher ruhigen innerstädtischen Erschließungsstraße Altstädter Straße mit vielen Parkplätzen und einigen Dienstleistungs- und Einkaufsmöglichkeiten im Erdgeschoss. Nr. 402 liegt am „Johanniswall“, einer Sammelstraße gegenüber dem „City-Hof“, dessen Abriss im April 2019 begann.

901 und 231: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 231 um 49% höher als an Ladestation Nr. 901. Auch die Anzahl der Ladevorgänge war höher, die Ladezeit jedoch kürzer. Ladestation Nr. 231 liegt am Alstertor, einer innerstädtischen Erschließungsstraße mit zahlreichen Geschäften im Erdgeschoss, gegenüber von einem der renommiertesten Theater Hamburgs (Thalia). Nr. 901 befindet sich in einer Garage eines Einkaufszentrums.

531 und 474: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 474 um 283% höher als an Ladestation Nr. 531. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Ladestation Nr. 474 befindet sich in der Marktstraße, einer Erschließungsstraße und beliebten Einkaufsstraße mit Einrichtungsverkehr. Nr. 531 befindet sich in der „Laeiszstraße“, einer Sackgasse, die früher an die „Marktstraße“ anschloss und gesperrt wurde (vgl. LGV FHH 2020), vermutlich um den Durchgangsverkehr zu reduzieren.

556 und 249: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 249 um 164% höher als an Ladestation Nr. 556. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Ladestation Nr. 249 liegt an der Seilerstraße, einer Erschließungsstraße, die auf ihrer Südseite als Zufahrt zu den Veranstaltungsorten der Reeperbahn dient und auf der Nordseite von mehrgeschossigen Wohnhäusern gesäumt wird. Am westlichen Ende der Straße befindet sich ein großes Parkhaus unterhalb eines Büroturms

mit einer Autovermietung. Der Standort ist über die Bundesstraße B4 gut zu erreichen. Nr. 556 liegt an der Clemens-Schultz-Straße, einer Erschließungsstraße in einem Wohngebiet mit mehreren Geschäften, Bars und Restaurants. Sie ist auf dem größten Teil ihrer Länge eine nach Osten ausgerichtete Einbahnstraße, jedoch nicht auf dem Abschnitt, wo sich Ladestation Nr. 556 befindet (Abbildung 1). Ladestation Nr. 556 ist für das Längsparken auf der Nordseite der Straße vorgesehen, so dass die Benutzer Richtung Westen fahren müssen, um StVO-konform zu parken.

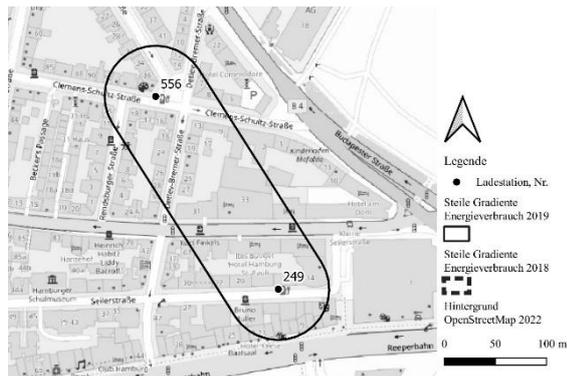


Abbildung 1: Lage der Ladestationen Nr. 556 und Nr. 249 (Quelle ARGUS)

693 und 351: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 351 um 285% höher als an Ladestation Nr. 693. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Ladestation Nr. 351 liegt an einer Hauptverkehrsstraße im Zentrum von Altona, der Barnerstraße, gegenüber dem Kultur- und Konzerthaus „FABRIK“. Nr. 693 liegt an der Bahrenfelder Straße, einer Sammelstraße, die orthogonal zur Barnerstraße verläuft und aus dem Zentrum herausführt. In der Bahrenfelder Straße gibt es wesentlich mehr Geschäfte und Dienstleistungen. Allerdings wurde Nr. 693 erst im August 2019 installiert (Abbildung 2).

218 und 446: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 446 um 349% höher als an Ladestation Nr. 218. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Die Ladestation 218 befindet sich an der Erschließungsstraße Bornstraße, in der Nähe der Sammelstraße Grindelhof. Das Gebiet ist durch den angrenzenden Universitätscampus, ein Programmkino und entsprechende Geschäfte und Dienstleistungen geprägt. Es wurde ein hoher Parkdruck in der Umgebung beobachtet (ARGUS 2004). Die Bornstraße ist ohne Linksabbieger an die Grindelallee, eine Hauptverkehrsstraße, und an den Grindelhof, eine Einbahnstraße zwischen Grindelallee und Bornstraße, angeschlossen. Ladestation Nr. 446 liegt weiter nördlich am Grindelhof und ist über mehrere Sammelstraßen (Hallerstraße, Rothenbaumchausee) leichter zu erreichen.

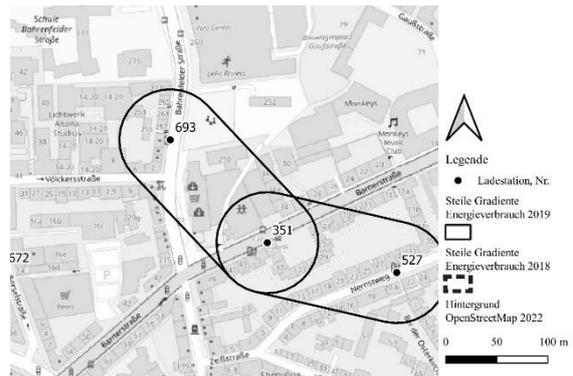


Abbildung 2: Lage der Ladestationen Nr. 351, 693 und 527 (Quelle ARGUS)

635 und 300: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 300 um 152% höher als an Ladestation Nr. 635. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Beide Ladestationen befinden sich in Erschließungsstraßen nahe der Bundesstraße B431 „Bahrenfelder Chaussee“ / „Stremannstraße“ in der Nähe eines umgenutzten Fabrikgeländes. Beide Erschließungsstraßen sind Sackgasen. Es gibt eine moderate Anzahl von Dienstleistungen, Geschäften und Gastronomiebetrieben in der Umgebung. Der Hauptvorteil der Station Nr. 300 über Station Nr. 635 ist, dass erstere vom Bahrenfelder Steindamm aus gut zu erreichen ist, der das Ortszentrum Ottensen im Süden mit dem Bornkampsweg verbindet, der weiter nördlich zur Autobahn A7 führt (Abbildung 3).

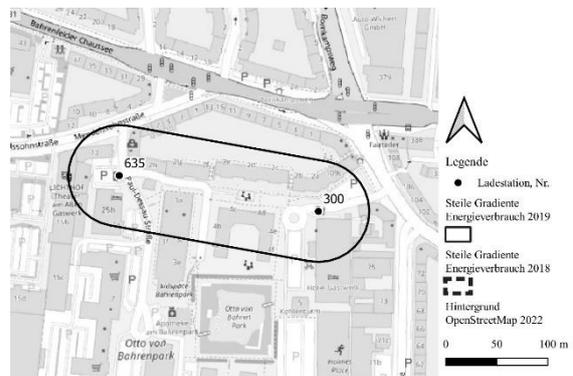


Abbildung 3: Lage der Ladestationen Nr. 635 und 300 (Quelle ARGUS)

527 und 351: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 351 um 141% höher als an Ladestation Nr. 527. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Ladestation Nr. 351 liegt an einer Hauptstraße im Zentrum von Altona, Barnerstraße, gegenüber dem Kultur- und Konzerthaus „FABRIK“. Nr. 527 befindet sich im Nernstweg, einer ruhigen Anliegerstraße mit kaum Geschäften und Dienstleistungen (Abbildung 2).

326 und 212: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 212 um 280% höher als an Ladestation Nr. 326. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Ladestation Nr. 326 befindet sich in der „Präsident-Krahn-Straße“, einer Einbahnstraße, die die Sammelstraße „Julius-Leber-Straße“ mit dem Altonaer Fernbahnhof verbindet. Aufgrund von Bauarbeiten an der Unterführung der Julius-Leber-Straße unter dem Bahnhof war die Zufahrt zur Präsident-Krahn-Straße seit 2016 noch weiter eingeschränkt. Nr. 212 liegt an der Max-Brauer-Allee, einer großen Ringtangente, die Altona mit dem Norden Hamburgs verbindet. Nur wenige Gehminuten von Ladestation Nr. 212 befindet sich eine Fußgängerzone.

568 und 438: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 438 um 99% höher als an Ladestation Nr. 568. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Die Ladestation 568 ist eine neue Anlage auf der Ostseite der Kellinghusenstraße, einer Sammelstraße mit regelmäßigem ÖPNV-Busverkehr. Nr. 438 befindet sich auf einem Parkplatz auf der gegenüberliegenden (westlichen) Seite. Ebenfalls auf der Westseite, in unmittelbarer Nähe, befinden sich eine Schule und ein Schwimmbad. Weiter westlich befindet sich in fußläufiger Entfernung ein Marktplatz („Marie Jonas-Platz“) mit einem Supermarkt und weiteren Geschäften, Restaurants und einem dreiwöchentlichen Bio-Bauernmarkt. Die Fahrbahn der Kellinghusenstraße ist ca. 12 m breit. Die nächste signalisierte Quermöglichkeit befindet sich 200 m von der Ladestation Nr. 568 entfernt, wodurch die Straße zu einer effektiven Barriere zwischen der Ladestation und den Einrichtungen wird, die NutzerInnen anziehen könnten.

551 und 203: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 203 um 595% höher als an Ladestation Nr. 551. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Die Ladestation 551 befindet sich in der Scharjestraße, einer Einbahnstraße, die nur über Rechtsabbieger mit der Max-Brauer-Allee verbunden ist, einer Haupttangente, die Altona mit dem Hamburger Norden verbindet. Nr. 203 befindet sich in der Schillerstraße, einer Zufahrtsstraße zum Parken und Anliefern südlich der Fußgängerzone „Neue Große Bergstraße“.

468 und 222: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 222 um 303% höher als an Ladestation Nr. 468. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Die Ladestation 468 befindet sich in der Buckmannstraße, einer Einbahnstraße in St. Georg unweit des Hamburger Hauptbahnhofs. Nr. 222 liegt auf der Südseite des Steindamms, dem innerstädtischen Ende einer Hauptverkehrsstraße zum Nordwesten Hamburgs. In unmittelbarer Nähe von Nr. 222 gibt es einen Supermarkt,

ein großes Bürogebäude und verschiedene andere Läden und Dienstleistungen.

644 und 523: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 523 um 1332% höher als an Ladestation Nr. 644. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Die Ladestation 644 befindet sich in der Lichtwarkstraße, einer Erschließungsstraße in einem Wohngebiet. Die Straße ist auf der Südseite bebaut, während die Nordseite an ein Stadtbahngleis grenzt. Nr. 523 befindet sich am Looeplatz an der Südseite des ÖPNV-Knotens Kellinghusenstraße (Bus- und Stadtbahnlinien U1 und U3).

362 und 463: In den Jahren 2019 und 2018 wurde die Ladestation Nr. 362 kaum genutzt. Möglicherweise war sie aufgrund von Wartungsarbeiten oder angrenzenden Bauarbeiten nicht zugänglich. Die Ladestation 362 befindet sich an der „Schwarzen Straße“, einer Einbahnstraße, die zur Sammelstraße „Sievekingsdamm“ führt. Die Ladestation 463 befindet sich an der Bundesstraße B5 Burgstraße, direkt neben der Stadtbahnstation Burgstraße (U2 und U4).

586 und 393: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 393 um 1709% höher als an Ladestation Nr. 586. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Die Ladestation 586 befindet sich in der Semperstraße, einer Erschließungsstraße in einem Wohngebiet von Barmbek. Nr. 393 liegt an der Bundesstraße und Bundesstraße B5 „Barmbeker Straße“. In der Umgebung gibt es mehrere soziale Dienste (Kindertagesstätte, Spielplatz) sowie Freizeiteinrichtungen (Sportvereinsheim, Kleingärten). Nördlich von Nr. 393, Richtung Stadtbahnstation Borgweg (U3), befinden sich mehrere Geschäfte.

4. Detailbetrachtung für DC-Ladestationen

37 und 32: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 32 um 127% höher als an Ladestation Nr. 37. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Ladestation Nr. 32 befindet sich in der Sackgasse ‚Beim Grünen Jäger‘. In unmittelbarer Nähe befinden sich zahlreiche beliebte Geschäfte, Dienstleistungen, Bars und Restaurants. Vor Covid-19 war die Gegend eine der beliebtesten Gegenden Hamburgs für „Cornering“ (Schipkowski 2015). Laut Augenzeugenbericht wurde die Station oft von Fahrzeugen des in Hamburg inzwischen eingestellten CleverShuttle genutzt. Die Straße ‚Beim Grünen Jäger‘ ist an die Richtungsfahrbahn zu Innenstadt der Bundesstraße B4 „Neuer Pferdemarkt“ / „Budapester Straße“ angebunden. Nr. 37 liegt in einer Sackgasse in einem reinen Wohngebiet.

22, 49 und 37: Im Jahr 2019 war der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 37 um 2894% höher als an Ladestation Nr. 22, und 56% höher als an Ladestation

Nr. 49. Die Anzahl der Ladevorgänge war höher und die Ladezeit war länger. Beide Ladestationen Nr. 22 und Nr. 49 liegen oder befanden sich in einer Wohngebiets-Sackgasse. Nr. 49 ersetzte 2019 Nr. 22, vier Monate nachdem diese geschlossen worden war.

81 und 25, 47: Der Energieverbrauch an Ladestation Nr. 25 war um 21% höher als an Ladestation Nr. 81. Auch die Anzahl der Ladevorgänge war höher, die Ladezeit jedoch kürzer. An der Ladestation Nr. 47 war der Energieverbrauch 16% höher als an der Ladestation Nr. 81. Die Ladezeit war ebenfalls länger, aber die Anzahl der Ladevorgänge war geringer. Die Ladestation 81 ist die dritte Installation vor der St. Michaelskirche. Während sie ähnlich gut angebunden ist wie ihre konkurrierenden Stationen Nr. 25 („Zeughausmarkt“) und 47 („Schaarsteinweg“) könnten die wiederholten Sperrungen aufgrund von Wartungsarbeiten potenzielle NutzerInnen abgeschreckt haben.

5. Diskussion und Schlussfolgerung

Ziel dieser Studie war es, Aspekte des lokalen Umfelds zu identifizieren, die die Nutzung öffentlicher Ladeinfrastruktur beeinflussen. Dazu wurden Gradienten berechnet, die das Verhältnis von der Differenz im Energieverbrauch und der direkten Entfernung zwischen verschiedenen Ladestationen mit ähnlicher Ladeleistung und -geschwindigkeit messen. Dieser Ansatz war erfolgreich, um schnell Paare benachbarter Ladestationen mit großen Unterschieden im Energieverbrauch zu identifizieren. Die Verwendung einer anderen Distanzmetrik im Nenner der Gradienten wäre möglich, z.B. die geroutete Geh- oder Fahrstrecke oder die Fahrzeit. Auch könnte eine lineare oder nicht-lineare Ableitung der Distanzmetrik hilfreich sein, um die Steigung der Gradienten an sich zu interpretieren. Die im Ergebnis dargestellte Stichprobe von Ladesäulenpaaren mit hohen Gradienten ist nicht groß genug, um die Auswirkungen eines der lokalen Faktoren zu quantifizieren. Sie zeigt allerdings, dass die Variation im lokalen Maßstab beträchtlich sein kann. In den

Literatur

ARGUS (2004), Quartiersgarage Allendeplatz - Standortuntersuchung, Hamburg: s.n.

Brost, W., Funke, T. & Lembach, M. (2018), Spatial Analysis of the Public Transport Accessibility for Modelling the Modal Split in the Context of Site Identification for Charging Infrastructure. *infrastructures*, 04.07., Ausgabe 2018, 3, 21, S. 1-15.

Buckstegen, N. (2017), Großes E-Mobility-Potenzial liegt brach: Gefahr für deutsche Autobauer wächst. [Online] Download von <https://yougov.de/news/2017/01/05/grosses-e-mobility-potenzial-liegt-brach-gefahr-fu/> [Zugriff am 15.9.2017].

meisten Beispielfällen hatte die attraktivere Ladestation trotz allgemein steigender Nachfrage mehr als den doppelten Energieverbrauch gegenüber der weniger attraktiven.

Ein wichtiger Faktor dürfte die Beobachtung sein, dass BEV-Fahrer dazu neigen, jede Lademöglichkeit zu nutzen (Grober et al. 2020). Dies kann auch daran liegen, dass das Aufladen bei einem durchschnittlichen Ladezustand viel schneller ist als das Aufladen des Autos auf 100 % (FASTNED 2020). Zudem raten die Betreiber zunehmend von langen Ladevorgängen ab, z. ENBW (EnBW 2020).

Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass es Faktoren bei der Standortwahl gibt, die mit einem Standort-Lokalisierungstool, insbesondere einem für eine ganze Stadt oder noch größere Gebiete konzipierten, kaum berücksichtigt werden können und im Einzelfall eine suboptimale Platzierung zur Folge haben können: das Vorhandensein einer elektrischen Infrastruktur zur Stromversorgung und eine Vielzahl von potenziellen räumlichen Konflikten aufgrund der Knappheit des öffentlichen Raums in dicht besiedelten Stadtgebieten. Der sowohl automobilen als auch fußläufigen Erreichbarkeit muss im Lichte dieser Ergebnisse ein größeres Gewicht bei der Platzierung eingeräumt werden.

Im Hinblick auf die Bevorzugung gut erreichbarer Ladestationen an beliebten Standorten stellt sich mit den Ergebnissen dieser Studie jedoch auch die Frage, ob die flächendeckende Bereitstellung von Ladeinfrastruktur in verdichteten urbanen Wohnquartieren ohne private Parkplätze wichtig genug ist, um entsprechende Konflikte in solchen Gebieten zu rechtfertigen. Vielleicht ist die Idee einer gleichmäßig über die ganze Stadt verteilten öffentlichen Elektroladeinfrastruktur genauso verfehlt wie die des leichten Elektrofahrzeugs vor einigen Jahren. Es könnte effektiver sein, bestehende und beliebte Ladestationen zu Ladehubs zu entwickeln.

Bundesregierung (2009), Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. [Online] Download von https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nep_09_bmu_bf.pdf [Zugriff am 10.11.2020].

Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2014), Drucksache 20/12811 - Masterplan Ladeinfrastruktur. Hamburg: s.n.

BuW (2017), Bedarfsorientierte Ladeinfrastruktur aus Kundensicht. Handlungsempfehlungen für den flächendeckenden Aufbau benutzerfreundlicher Ladeinfrastruktur, Frankfurt am Main: Deutsches Dialog Institut GmbH.

Council of the European Union; European Parliament (2014), Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure Text with EEA relevance. [Online] Download von <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d414289b-5e6b-11e4-9cbe-01aa75ed71a1/language-en>

Csaba, C. et al. (2019), Urban public charging station locating method for electric vehicles based on land use approach. *Journal of Transport Geography*, January, Band 74, S. 173-180.

EnBW (2020), Damit Ladepunkte für alle verfügbar sind: Blockiergebühr für EnBW mobility+. [Online] Download von <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/enbw-news/damit-ladepunkte-fuer-alle-verfuegbar-sind-blockiergebuehr-fuer-enbw-mobility/>

[Zugriff am 04. November 2020].

FASTNED (2020), Vehicles & charging tips. [Online] Download von <https://support.fastned.nl/hc/en-gb/sections/115000180588-Vehicles-charging-tips>

[Zugriff am 07.7.2020].

Grober, F., Janßen, A. & Küçükay, F. (2020), Einflüsse auf das Ladeverhalten von Elektrofahrzeug-Nutzern. *Internationales Verkehrswesen*, Ausgabe (72)3.

KBA (2022), Bestand nach Zulassungsbezirken (FZ 1). [Online] Download von https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz1_b_uebersicht.html

[Zugriff am 20.5.2022].

Klein, T. & Scheler, C. (2018), Evaluation eines Standortpotenzialmodells für E-Ladeinfrastruktur. *Internationales Verkehrswesen*, Ausgabe (70)1, S. 32-37.

Kontou, E., Liu, C., Xie, F. & Wu, X. (2019), Understanding the linkage between electric vehicle charging network coverage and charging opportunity using GPS travel data. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, Band 98, S. 1-13.

LGV FHH (2020), Historische Karten 1: 5000 - Auswahl. [Online] Download von <https://meta-ver.de/trefferanzeige?cmd=doShow-Document&docuuid=7A32A730-8B7A-4BB1-9D7F-D0BB37805696>

Nicholas, M. & Wappelhorst, S. (2020), Regional Charging Infrastructure Requirements in Germany through 2030, Beijing, Berlin, San Francisco, Sao Paulo, Washington: icct.

Niels, T., Bogenberger, K., Gerstenberger, M. & Hessel, C. (2020), Modellbasiertes Vorgehen zur Ermittlung von Standorten öffentlicher Ladeinfrastruktur - Methodik und Anwendung am Fallbeispiel Landkreis München. *Straßenverkehrstechnik*, Ausgabe 11.2020, S. 739-746.

PwC strategy& (2020), e-Readiness Study Survey Report. s.l.:s.n.

Routes de France; ERF, FNTP; FIEC; CICA (2020), New Mobility & Road Infrastructure. International Benchmark 2020. [Online] Download von https://www.routesdefrance.com/wp-content/uploads/ERF_Etude_Benchmark_VF.pdf

Schipkowski, K. (2015), Ein bisschen wie in der Bronx. *DIE ZEIT*, 10.6.

Wappelhorst, S. (2020), The end of the road? An overview of combustion-engine car phase-out announcements across Europe, Beijing, Berlin, San Francisco, Sao Paulo, Washington: icct.

Wirges, J., Linder, S. & Kessler, A. (2012), Modelling the Development of a Regional Charging Infrastructure for Electric Vehicles in Time and Space. *European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR)*, Ausgabe 12(4), S. 391-416.

Wolbertus, R. (2020), Evaluating Electric Vehicle Charging Infrastructure Policies. Delft: s.n.

Ziem-Milojevic, S. & Wanitschke, A. (2020), Data Insights aus dem Förderprogramm EM vor Ort. Berlin: s.n.

AutorInnenangaben

Timotheus Klein*
ARGUS Stadt und Verkehr
t.klein@argus-hh.de

Thomas Prill
HafenCity Universität Hamburg (HCU)
tommyprill@gmail.com

Daniela Kind
ARGUS Stadt und Verkehr
d.kind@argus-hh.de