

---

# Entwicklung eines Stadtmodells für ein Ladeinfrastrukturkonzept auf Basis von Geo- und Nutzerdaten

Karsten HAGER<sup>1</sup>, Andreas BRAUN<sup>1</sup> und Wolfgang RID<sup>12</sup>

<sup>1</sup>Universität Stuttgart · karsten.hager@si.uni-stuttgart.de

<sup>2</sup>Fachhochschule Erfurt

## Zusammenfassung

Durch eine Kombination von stadtstrukturellen Merkmalen sowie Berücksichtigung der Nutzerperspektive bei Elektroautos wird am Beispiel der Mittelstadt Göppingen eine „Elektromobile Quartierstypologie“ entwickelt. Deren Ziel ist es, das Potenzial von Elektromobilität im Kontext der Stadtstruktur und deren Quartiere zu analysieren, um Standortvorschläge für Ladesäulen zu erarbeiten. Im Ergebnis wird eine optimale Standortempfehlung für Ladeinfrastruktur vorgestellt, welche die Potenziale der Elektromobilität, verschiedene urbane Indikatoren sowie die Schwerpunkte der städtischen Versorgungsketten berücksichtigt. Zur Erstellung der Typologie werden geostatistische Routinen vorgestellt, um aufgrund soziodemografischer und stadtstruktureller Indikatoren mehrere Quartierstypen zu ermitteln und eine Verortung von Ladeinfrastruktur im städtischen Kontext zu gewährleisten. Abschließend wird der vorgestellte Ansatz mit vergleichbaren wissenschaftlichen Konzepten verglichen und Schlussfolgerungen gezogen.

## 1 Elektromobilität

### 1.1 Zielsetzung

Die Europäische Union hat sich das Ziel gesetzt, bis 2020 sichtbare Fortschritte bei der Bewältigung des Klimawandels und der Energie- und Ressourcenknappheit zu erzielen. Das Handlungsfeld Elektromobilität ist ein wichtiger Baustein zur Erreichung der europäischen Klimaschutzziele (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2010). Bis heute sind in Deutschland gerade einmal rund 1.500 Ladestationen für Elektroautos für die Öffentlichkeit zugänglich, obwohl bis Ende dieses Jahrzehnts rund 86.000 funktionsfähige Ladesäulen aufgestellt sein sollen (KAFSACK & SCHWENN 2013). Der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur soll bedarfsgerecht erfolgen, wobei davon ausgegangen wird, dass das Vorhalten von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge einen positiven Einfluss auf das Kaufverhalten von Elektrofahrzeugen ausübt (BIOLY et al. 2012). Das hier vorgestellte Konzept wurde im Rahmen des EMiS-Projektes (Elektromobilität im Stauerland, <http://www.emis-projekt.de/>) an den Mittelstädten Göppingen und Schwäbisch-Gmünd mit jeweils ca. 55.000 Einwohnern erprobt.

## 1.2 Ladeinfrastruktur

Der Ladevorgang eines Elektrofahrzeugs muss erfolgen, wenn die Nutzer nicht mobil sein müssen und über einen gewissen Zeitraum einer bestimmten Aktivität nachgehen. Dies kann über Nacht, tagsüber während der Arbeit oder bei Freizeitaktivitäten der Fall sein. Deshalb müssen zur Erarbeitung eines optimalen Konzeptes die städtischen Wohngebiete sowie „Points of Interest“ (POIs) berücksichtigt werden. Zu den POIs gehören z. B. Knotenpunkte des öffentlichen Verkehrs, Kliniken und Ärztezentren oder großflächige Einzelhändler. Das Laden während der Arbeitszeit wird kritisch gesehen, da diese Stellplätze ganztägig besetzt wären, Pendeldistanzen zu Arbeitsstellen in der Regel mit einer Ladung zu leisten sind und eine Bereitstellung durch den jeweiligen Arbeitgeber und nicht durch die öffentlichen Institutionen geleistet werden soll (HUBER & REUTTER 2012)

Grundsätzlich werden zwei Personengruppen unterschieden, die zum Auftanken ihrer Elektrofahrzeuge auf öffentliche Ladeinfrastruktur zurückgreifen müssen: Auswärtige und Anwohner ohne private Lademöglichkeit. Um Auswärtige mit längerem Anfahrtsweg zu versorgen, sollte sich die Ladeinfrastruktur an vorhandenen Parkplätzen und ggf. Tankstellen orientieren. Für Anwohner müssen insbesondere die Wohngebiete auf ihre potenzielle Verfügbarkeit von privater Ladeinfrastruktur untersucht werden, um den Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur feststellen zu können.

## 2 Elektromobile Quartierstypologie

Die „Elektromobile Quartierstypologie“ definiert verschiedene Quartierstypen, die einen unterschiedlichen Bedarf an Ladeinfrastruktur besitzen. Dabei wird allen Wohngebäuden einer der Quartierstypen Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus oder Geschosswohnungsbau zugewiesen. Diese Quartierstypen unterscheiden sich in ihren jeweiligen Auswirkungen auf Intermodalität, Umwelt, Infrastruktur sowie Stadt und Energie. Es werden nur die Wohngebiete der Städte betrachtet, da dort die größten Potenziale für öffentliche Ladeinfrastruktur vorhanden sind. Gewerbegebiete wurden aus den in Kapitel 1.2 genannten Gründen bislang nicht in diesen Ansatz miteinbezogen. Die relevante Stadtstruktur wird über die vorgestellten Quartierstypen widerspiegelt.

Die Zuweisung der Quartierstypen auf die Gebäude erfolgt mithilfe einer unüberwachten Klassifikation, die auf Basis von drei gebäudebezogenen Variablen erfolgt: die Grundfläche des Gebäudes, die Höhe des Gebäudes sowie die Distanz zum nächstgelegenen Gebäude. Die so klassifizierten Gebäude werden durch einen GIS-Algorithmus in die Fläche interpoliert, um großräumige Quartiere entstehen zu lassen. Dabei werden bis zu einer festgelegten Distanz Gebäude des gleichen Typs im Umfeld identifiziert und zu Quartierstypen zusammengefasst. Falls im Umfeld eines Gebäudes kein weiteres Gebäude des gleichen Quartierstyps gefunden werden kann, wird kein Quartierstyp erstellt, weil einzelne Gebäude keinen Einfluss auf die Verteilung von Ladeinfrastruktur besitzen. Als Ergebnis sind die Wohngebiete des gesamten Stadtgebietes mit einem der drei Quartierstypen klassifiziert worden.

Für Gebiete, die als Einfamilienhaus klassifiziert sind, ist kein Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur gegeben. Hier muss das Laden von Elektrofahrzeugen privat in Garagen oder auf Parkplätzen in Häusereinfahrten organisiert werden. Die Flächen, die als Mehrfamilien-

haus oder Geschosswohnungsbau typisiert sind, müssen mit öffentlicher Ladeinfrastruktur versorgt werden. Um die optimalen Standorte in diesen Gebieten zu finden, müssen zusätzlich POIs herangezogen werden. Diese POIs werden durch verschiedene Kriterien gewichtet:

- hohe Nutzungsdichte im Umfeld,
- Nutzungsmischung im Umfeld (Wohnen, öffentliche Einrichtung, Gewerbe),
- hohe Besucherfrequenz potenzieller Nutzer,
- Freihaltung hochwertigen öffentlichen Raums,
- gute allgemeine Sichtbarkeit,
- gute Zugangsmöglichkeit & Auffindbarkeit vor Ort,
- Intermodalität.

Durch eine erhöhte Nutzungsdichte bzw. Nutzungsmischung im Umfeld sowie eine hohe Besucherfrequenz wird das Risiko einer zu geringen Auslastung der Ladesäule reduziert. Eine Übermöblierung des öffentlichen Raums durch Ladeinfrastruktur kann die Akzeptanz der Elektromobilität senken. Trotzdem sollte die Ladeinfrastruktur für die Allgemeinheit sichtbar und mit guten Zugangsmöglichkeiten platziert werden, damit das Bewusstsein in der Bevölkerung für Elektromobilität gestärkt wird. Gerade in Kombination mit anderen Verkehrsträgern besitzen Elektrofahrzeuge großes Potenzial, um negative Auswirkungen des Verkehrs zu verringern.

Auf Basis der Quartierstypen und der Gewichtung der POIs wird eine Entscheidungsgrundlage für die örtlichen Verwaltungseinrichtungen ermittelt. In einer Diskussionsrunde können spezifische Gegebenheiten einzelner Standorte erörtert und in das Konzept eingearbeitet werden. Die Einzugsgebiete der POIs werden mit den Einzugsgebieten der Quartiere abgeglichen und der Standort in Einklang mit beiden Kriterien gebracht.

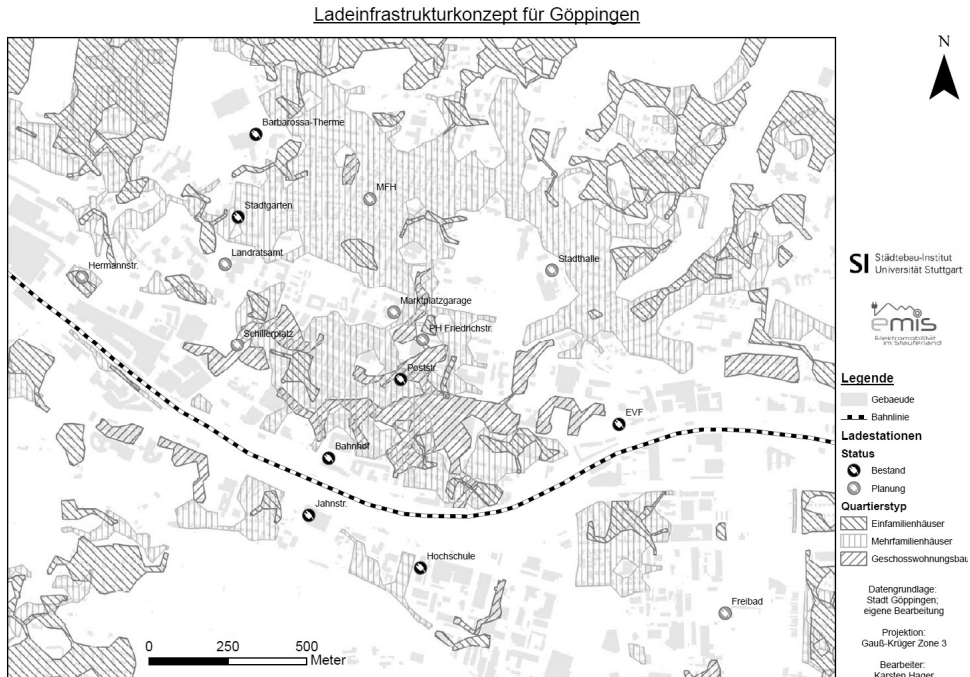
Die vorgestellte Methode der „Elektromobile Quartierstypologie“ ist sehr gut geeignet, um das Potenzial und den Bedarf an Ladeinfrastruktur in urbanen Räumen zu ermitteln. Der Ansatz kann ohne zusätzliche Daten oder Informationen auf vergleichbare Untersuchungsgebiete übertragen werden. Im Folgenden werden nun die Ergebnisse am Beispiel von Göppingen vorgestellt.

### 3 Ergebnisse

Die von keinem Quartierstyp bedeckten Gebiete Göppingens sind entweder Gewerbegebiete, besitzen überhaupt keine Bebauung oder besitzen nicht genug Wohnbebauung, um nach der vorgestellten Definition als Quartierstyp zu gelten (s. Abb. 1). Die Innenstadt von Göppingen zeichnet sich durch eine hohe Mischung an Quartierstypen sowie eine hohe Dichte an POIs aus. Im nahen Umfeld der Innenstadt dominieren Mehrfamilienhäuser, in Stadtteilen abseits vom Zentrum dominieren Einfamilienhäuser (nicht mehr auf der Abbildung zu sehen).

Insgesamt sind zurzeit sieben Ladesäulen in Göppingen in Betrieb, acht weitere sind noch in Planung (s. Abb. 1). 13 dieser insgesamt 15 Standorte sind mithilfe der „Elektromobilen Quartierstypologie“ verortet. Die identifizierten Einfamilienhausgebiete können als Standorte ausgeschlossen werden, sofern kein POI in der unmittelbaren Umgebung ist. Mehrfamilienhausgebiete und Geschosswohnungsbau müssen mit Ladeinfrastruktur versehen wer-

den. Dazu wird um diese Gebiete ein Radius gelegt (zumutbare Mindestentfernung für potenzielle Nutzer), um die Einzugsgebiete der Quartierstypen mit den Einzugsgebieten der gewichteten POIs abzugleichen und damit potenzielle Überschneidungen bzw. exakte Standorte zu identifizieren. Während in Wohngebieten eine Anpassung bzw. eine Umwidmung des Straßenraums für den Aufbau einer Ladesäule vorgenommen werden muss, besitzen POIs i. d. R. schon vorhandene Parkmöglichkeiten, die eine Aufstellung von Ladesäulen ohne größere Umbauten möglich machen.



**Abb. 1:** Quartierstypologie Göppingen (eigene Darstellung)

## 4 Diskussion

Deutschlands urbane Struktur setzt sich zum größten Teil aus Mittelstädten wie Göppingen zusammen. In diesen städtischen Räumen entscheidet sich die Zukunft des Verkehrssystems bezüglich der Umweltverträglichkeit des Verkehrs an sich und der Akzeptanz von neuen Antriebstechnologien in der Bevölkerung. Die „Elektromobile Quartierstypologie“ setzt an diesem Punkt an, um eine übertragbare Methode zur Verortung von Ladeinfrastruktur in Mittelstädten zu gewährleisten. Der vorgestellte Ansatz wird weiterentwickelt (z. B. bei der Anzahl der verwendeten Quartierstypen und den Gebäudevariablen) und in vergleichbaren Projekten an anderen Mittelstädten angewandt.

Die Standorte der Ladeinfrastruktur von Göppingen konnten bedarfsgerecht für das städtische Gebiet ermittelt und den Entscheidungsträgern vorgelegt werden. Zusätzliche poten-

zielle Standorte können verortet werden. Die Hälfte aller vorgeschlagenen Standorte wurde von den lokalen Entscheidungsträgern angenommen und umgesetzt. Nach dem Aufbau der Ladeinfrastruktur muss die Auslastung der einzelnen Ladesäulen überprüft werden, um ihre Aufstellung zu rechtfertigen. Die Aktivitäten, denen die Nutzer der Ladesäulen an Ihren jeweiligen Standorten nachgehen, müssen sich in den technischen Spezifikationen widerspiegeln (fährt der Nutzer z. B. zu einer Sporthalle wird er dort weniger Zeit verbringen als über Nacht in seiner Wohnung. Dementsprechend kürzer ist die Zeit, um das Elektroauto ausreichend zu laden).

Während sich der hier vorgestellte Ansatz auf die Verwendung von Geo- und Nutzerdaten beschränkt, können auch Variablen wie die Bevölkerung oder das durchschnittliche Einkommen verwendet werden, um Ladeinfrastruktur im städtischen Raum zu verorten (EFTHIYMOU et al. 2012). Eine Studie, die in England durchgeführt wurde, bezieht noch detailliertere soziodemografische Daten ein. Allerdings muss dabei auch auf die andere Gebäudestruktur hingewiesen werden (Einzelhaus, Doppelhaushälfte und Reihenhäuser), die bei einer Anpassung zu diesem Ansatz andere Quartierstypen zur Folge hätte (NAMDEO et al. 2013). Weitere technische Spezifikationen können ebenfalls in Studien für potenzielle Ladeinfrastruktur integriert werden (ZUBARYEVA et al. 2012). Andere Möglichkeiten zur Verlängerung der Reichweite von Elektroautos, wie z. B. Batteriewechsel, sowie die Verortung von solchen Stationen im städtischen Raum, sind ebenfalls Gegenstand der Forschung (LIU 2012). Die Verortung von Ladestationen kann auch vollkommen automatisch ohne Berücksichtigung der Nutzerperspektive erfolgen (XU et al. 2013). Eine Studie, die zu einem vergleichbaren Ergebnis kommt, sieht die Standorte der Ladeinfrastruktur an zentrale Versorgungseinrichtungen, vergleichbar mit den POIs (DONG et al. 2014). Ebenso wird die Bedeutung von der Nähe von Ladeinfrastruktur zu den Versorgungsketten der Städte hervorgehoben (LUCAS et al. 2012).

## 5 Fazit

Die Verortung von Ladesäulen im urbanen Raum ist eine der zentralen Aufgaben, die es zu Erfüllen gilt, um der Elektromobilität einen Platz im Verkehrssystem von heute und morgen zu garantieren. Diese Fragestellung ist mindestens genauso wichtig wie die technischen Herausforderungen bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen, um die Reichweite aus technischer Sicht zu verlängern und die Ladezeit zu verkürzen. Der Literaturvergleich hat gezeigt, dass der vorgestellte Ansatz durch viele Facetten noch erweitert und u. U. verbessert werden kann. Die Hervorhebung der Nutzerperspektive ist im wissenschaftlichen Vergleich ein Alleinstellungsmerkmal der „Elektromobilen Quartierstypologie“.

Der Fokus der „Elektromobilen Quartierstypologie“ liegt auf der Analyse der Stadtstruktur sowie der Berücksichtigung der Nutzerperspektive, um Ladeinfrastruktur bedarfsgerecht aufzubauen. Letztendliche Zielerreichungswerte können erst gemessen werden, wenn die Ladesäulen über einen längeren Zeitraum in Betrieb sind und die Auslastung ausgewertet wurde. Der öffentliche Raum ist mit Infrastruktur überladen, weshalb zusätzliche bauliche Verdichtungen des öffentlichen Raums nur in geringem Ausmaß stattfinden sollten. Aus diesem Grund sollte Ladeinfrastruktur nicht im Überfluss gebaut werden, sondern nur an Orten mit Bedarf. Ein solcher Ansatz wurde in dieser Arbeit vorgestellt.

## Literatur

- BIOLY, S., KUCHSHAUS, V. & KLUMPP, M. (2012), Elektromobilität und Ladesäulenstandortbestimmung – Eine exemplarische Analyse mit dem Beispiel der Stadt Duisburg. In: KLUMPP, M. (Hrsg.), *ild Schriftenreihe Logistikforschung*, 24. FOM Hochschule für Oekonomie & Management, *ild Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement*.
- DONG, J., LIU, C. & LIN, Z. (2014), Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles: An activity-based approach using multiday travel data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 44-55.
- EFTHYMIU, D., ANTONIOU, C., TYRIOPOYLOS, Y. & MITSAKIS, E. (2012), Spatial Exploration of Effective Electric Vehicle Infrastructure Location. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 48, 765-774.
- EMIS (2014), EMiS – Elektromobilität im Stauferland. <http://www.emis-projekt.de> (16.04.2014).
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2010), EUROPA 2020 – Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum. KOM(2010) 2020. [http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/index\\_de.htm#](http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/index_de.htm#) (16.04.2014).
- HUBER, F. & REUTTER, U. (2012), Potenziale und mögliche Entwicklungspfade für Elektromobilität in Leipzig und alternative Mobilitätsmaßnahmen. *Fachgutachten*, 35 S. Wuppertal/Kaiserslautern.
- KAFSACK, H. & SCHWENN, K. (2013), 86000 Elektro-Tankstellen für Deutschland. U-Parlament fordert flächendeckenden Ausbau / Koalition will Elektroautos fördern. *Frankfurter Allgemeine Zeitung (F.A.Z.)*, 27.11.2013 (276).
- LIU, J. (2012), Electric vehicle charging infrastructure assignment and power grid impacts assessment in Beijing. *Energy Policy*, 51, 544-557.
- LUCAS, A., ALEXANDRA SILVA, C. & COSTA NETO, R. (2012), Life cycle analysis of energy supply infrastructure for conventional and electric vehicles. *Energy Policy*, 41, 537-547.
- NAMDEO, A., TIWARY, A. & DZIRULA, R. (2013), Spatial planning of public charging points using multi-dimensional analysis of early adopters of electric vehicles for a city region. In: *Technological Forecasting and Social Change* (in press).
- XU, H., MIAO, S., ZHANG, C. & SHI, D. (2013), Optimal placement of charging infrastructures for large-scale integration of pure electric vehicles into grid. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 159-165.
- ZUBARYEVA, A., THIEL, C., ZACCARELLI, N., BARBONE, E. & MERCIER, A. (2012), Spatial multi-criteria assessment of potential lead markets for electrified vehicles in Europe. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46 (9), 1477-1489.