

# BEWERTUNG VON STANDORTEN FÜR ELEKTRISCHE LADEINFRASTRUKTUR ANHAND DER LAGE ZUM STROMNETZ IN KOMBINATION MIT DEM VERKEHRS-AUFKOMMEN

Jens D. SPREY\*, Jan KELLERMANN\*, Mirko WAHL\*, Albert MOSER

IAEW RWTH Aachen, Schinkelstraße 6, 52056 Aachen, Tel: 0241/80-96711,  
Fax: 0241/80-92197 sy@iaew.rwth-aachen.de, <http://www.iaew.rwth-aachen.de>

**Kurzfassung:** Im Zuge der Diskussionen um Fahrverbote für dieselbetriebene Fahrzeuge, werden die Bestrebungen und politischen Äußerungen hin zu einer verstärkten Nutzung von Elektromobilität in Deutschland und Europa lauter. Um dem oft kritisierten Problem der begrenzten Reichweite von Elektrofahrzeugen gerecht zu werden, ist eine entsprechende Ladeinfrastruktur entlang der Hauptverkehrsstraßen erforderlich. Das Bundesprogramm Ladeinfrastruktur ist ein Programm zum Ausbau der Ladeinfrastruktur in Deutschland mit einem Gesamtvolumen von mehreren Hundertmillionen Euro. Dabei ist die Wahl von Standorten, die für solche Schnellladestationen in Frage kommen nicht nur durch das Verkehrsaufkommen bedingt, sondern auch durch die bestehende Stromnetzinfrasturktur beeinflusst.

Die Wahl geeigneter und gesamtwirtschaftlich effizienter Standorte erfordert daher eine sektorenübergreifende Bewertung verschiedene Strukturparameter. Im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung werden verschiedene öffentliche Datenquellen miteinander in Verbindung gesetzt und eine entsprechende Bewertungsmethode entwickelt, mit der verschiedene Zielfunktionen zur Priorisierung möglicher Standorte ausgewertet werden können.

**Keywords:** Elektromobilität, Ladeinfrastruktur, Netzanschluss, Verteilnetz

## 1 Motivation

„Ohne Steckdose kein E-Auto“ lautet der Titel eines aktuellen Artikels der Zeit [1]. Das Ziel der Bundesregierung in Deutschland bis 2020 1 Mio. Elektroautos auf die deutschen Straßen zu bekommen ist quasi nicht mehr zu erreichen. Mit ein Grund dafür ist die fehlende Ladeinfrastruktur. Entsprechend startete im März 2017 mit dem „Bundesprogramm Ladeinfrastruktur“ eine Förderung für den Ausbau der Ladeinfrastruktur mit einem Gesamtvolumen von über 600 Mio. Euro. Ziel des Förderprogrammes ist es, eine flächendeckende Ladeinfrastruktur in Deutschland bereitzustellen, um die Entwicklung der Elektromobilität zu beschleunigen [2]. Gab es bis Ende 2015 nur ca. 5.800 öffentlich zugängliche Ladepunkte in Deutschland, sollen laut Förderprogramm bis zum Jahr 2020 insgesamt 15.000 Ladesäulen vorhanden sein. Mögliche Standorte für diese Ladesäulen sind Tankstellen und Autohöfe an Hauptverkehrsachsen, Einkaufs-, Sport- und Messezentren sowie Bahnhöfe und Flughäfen.

Für die Förderung von leistungsstarken Schnellladestationen sind in der Förderung 200 Mio. Euro für den Aufbau von 5.000 Schnellladestationen vorgesehen. Neben der Förderung von Ladepunkten werden auch die Netzanschlusskosten mitfinanziert. Voraussetzung für die Förderung ist unter anderem, dass die Ladesäulen öffentlich zugänglich sind und mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden [2]. Im September 2017 wurde die Förderung durch den Bund bereits erneut ausgerufen.

Diese Entwicklungen stellen neben der Automobilindustrie auch die Energiewirtschaft und -infrastruktur vor neue Aufgaben und Herausforderungen. Um dem Kritikpunkt der begrenzten Reichweite von Elektrofahrzeugen zu begegnen, ist eine leistungsfähige Ladeinfrastruktur entlang der Hauptverkehrswege in Deutschland notwendig, welche durch die erwähnten Förderprogramme in naher Zukunft errichtet werden soll. Im Gegensatz zu Ladesäulen in Privathaushalten ist entlang von Reiserouten die Errichtung von Schnellladesäulen mit einem höheren maximalen Leistungsbezug erforderlich, um kurze Ladezeiten auch für mehrere Fahrzeuge gleichzeitig zu ermöglichen.

Die Wahl der Standorte für neu zu errichtende Schnellladestationen ist somit neben dem Verkehrsaufkommen auch von der Verfügbarkeit der notwendigen elektrischen Netzinfrastruktur beeinflusst. So können die Entfernung zum nächstliegenden Netzverknüpfungspunkt oder mögliche Engpässe in der bestehenden Netzinfrastruktur der öffentlichen Stromversorgung die Entscheidung für einen Standort für die Errichtung einer neuen Ladeinfrastruktur maßgeblich beeinflussen.

## **2 Methodik**

Im Folgenden werden die Grundidee des methodischen Vorgehens sowie die genutzten Eingangsdaten der Untersuchungen vorgestellt.

### **2.1 Vorgehen**

Zur Abschätzung der Eignung von Standorten für den Ausbau einer leistungsstarken elektrischen Ladeinfrastruktur werden unterschiedliche georeferenzierte Datenquellen miteinander verknüpft und zur systematischen Auswertung aufbereitet. Fokus der Untersuchung ist dabei die Eignung von autobahnnahen Rasthöfen sowie Autobahntankstellen, da insbesondere dort eine leistungsstarke Ladeinfrastruktur benötigt wird.

In einem ersten Schritt werden Datenquellen zur Bewertung der Standorte recherchiert und aufbereitet. Zu den öffentlich verfügbaren Daten zählen Netzstandorte und Umspannwerke der öffentlichen Stromversorgung, regionale Einspeisungen auf Basis erneuerbarer Energien (EE) und die Flächennutzung im Umfeld der Standorte, z. B. durch Industrie-, Gewerbe- oder Wohngebiete. Die Daten werden in einem nächsten Schritt so aufbereitet, dass sie als georeferenzierte Eingangsdaten für unterschiedliche Auswertungen zur Verfügung stehen. Mögliche Auswertungen für zu bewertende Standorte umfassen eine Bestimmung des Abstandes zu Umspannwerken des Hochspannungsnetzes (110 kV zu Mittelspannung), einer Zuordnung zum zuständigen Netzbetreiber sowie eine Berücksichtigung der Nähe zu Industrie-/Gewerbe- oder Wohngebieten oder der regionalen EE-Einspeisung. Durch die Georeferenzierung der Daten ist darüber hinaus eine einfache Visualisierung der Ergebnisse in Geoinformationssystemen (GIS) möglich. Die so gewonnenen Informationen können für die

Vorauswahl möglicher Ladeinfrastrukturstandorte genutzt werden. Eine endgültige Bewertung der realen Netzanschlusskapazität kann jedoch auch weiterhin nur der zuständige Netzbetreiber vornehmen.

## 2.2 Datengrundlage

### 2.2.1 Netzinfrasturktur

Da Schnellladestationen zum Teil einen hohen Leistungsbezug (zukünftig werden Größenordnungen im einstelligen MW-Bereich diskutiert) aufweisen können, kann ihr Anschluss die bestehenden Stromnetze signifikant belasten. Der Anschluss solcher Leistungen erfolgt in der Regel in der Mittelspannungsebene (MS), könnte perspektivisch jedoch auch ausgehend von HS/MS-Umspannwerken erfolgen.

Damit es beim Anschluss in bestehenden MS-Netzen bei hohen Ladeleistungen nicht zu thermischen Überlastungen oder kritischen Spannungseinbrüchen kommt, muss der Netzanschluss der Ladesäulen entsprechend geplant und durch den Netzbetreiber beurteilt werden. Allgemein lässt sich festhalten, dass Netzverknüpfungspunkte in der Nähe bestehender HS/MS-Umspannwerke oder in stärker dimensionierten Netzen (z. B. in bestehenden Gewerbegebieten mit hohem Leistungsbezug) weniger kritisch sind, als der Anschluss am Ende langer Netzausläufer mit aktuell geringem Leistungsbezug.

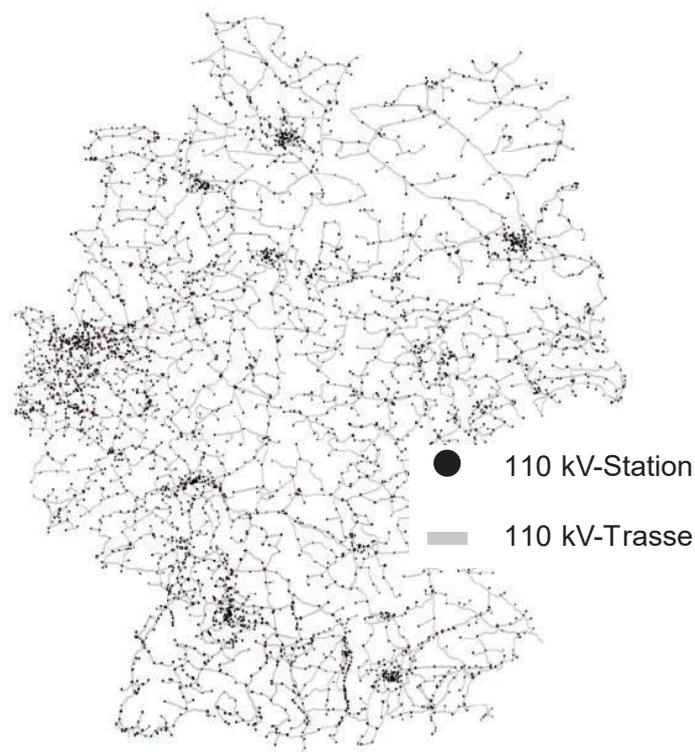


Abbildung 1: Umspannwerke der 110 kV-Hochspannungsebene in Deutschland

Daher wird ein am IAEW erstelltes Netzmodell der Hochspannungsebene genutzt, um die Leistungsfähigkeit der Netzinfrasturktur in der Umgebung zu bewertender Standorte abzuschätzen. Das Modell basiert auf öffentlich verfügbaren Daten und wurde durch veröffentlichte Netzschemapläne der Netzbetreiber weiter angepasst. Das in Abbildung 1

dargestellte Modell enthält rund 92.000 km Leitungslänge, 4.000 Hochspannungsschaltanlagen sowie rund 2.700 Verzweigungspunkte.

Für die unterlagerten MS- und NS-Netze sind keine deutschlandweiten georeferenzierten Daten der Netzstationen oder Trassenverläufen öffentlich verfügbar. Als ein Indikator für die Leistungsfähigkeit der MS-Infrastruktur wird daher der Abstand zum nächsten HS/MS-Umspannwerk genutzt. Ein weiterer Indikator für die Leistungsfähigkeit des bestehenden MS-Netzes ist die aktuelle Flächennutzung in der Umgebung des zu bewertenden Standortes. Auf diese wird im Folgenden eingegangen.

### 2.2.2 Flächennutzung

Die Flächennutzung in der Umgebung der zu bewertenden Standorte wird als Indikator für den Stromverbrauch und damit für die bestehende Netzinfrastruktur genutzt. Für die Bestimmung der Flächennutzung werden öffentlich zugängliche Daten aus dem europaweiten Projekt „CORINE Land Cover“ (CLC) genutzt [3]. Ziel des Projektes ist die Bereitstellung von einheitlichen und vergleichbaren Daten der Bodenbedeckung für Europa. Die Landnutzung wird in insgesamt 44 verschiedene Landnutzungsklassen unterteilt. Für Deutschland liegen die Daten in einem quadratischen Raster mit einer Kantenlänge von 100 m vor. Um eine einfache Bewertung zu ermöglichen, werden die Landnutzungsklassen in den nachfolgenden Untersuchungen in fünf Kategorien unterteilt: Städtisch, Industrie/Gewerbe, Parks/Freizeitnutzung, Landwirtschaft sowie restliche Flächen (Wald, Grünfläche, Wasser etc.). Abbildung 2 zeigt die Flächennutzung in der Umgebung einer exemplarischen Autobahntankstelle.

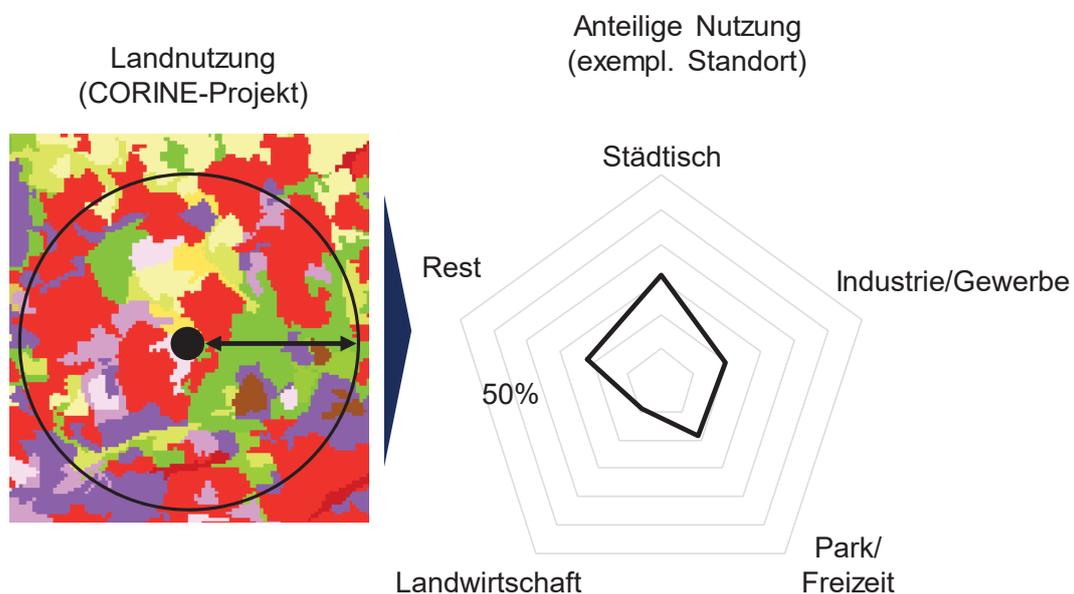


Abbildung 2: Flächennutzung für exemplarischen Rasthof

Für die Bewertung potenzieller Standorte kann die Flächennutzung in einem beliebigen Umkreis der Standorte, oder aber die kürzeste Distanz zu bestimmten Flächennutzungskategorien ausgewertet werden.

### 2.2.3 Installierte EE-Leistung

Auch die aktuell installierte EE-Leistung lässt Rückschlüsse auf die bestehende Netzinfrastruktur zu. Als Datenbasis dienen die im EEG-Anlagenregister für jede Gemeinde bzw. Postleitzahl-Region in Deutschland installierten Erzeugungsleistungen je Netzebene und je Primärenergietyp. Die heutige Verteilung der installierten Anlagenleistung aus Photovoltaik und Windenergie ist in Abbildung 3 dargestellt. Mit Hilfe dieser Daten können zum Beispiel Regionen mit einem lokalen EE-Überangebot identifiziert werden.

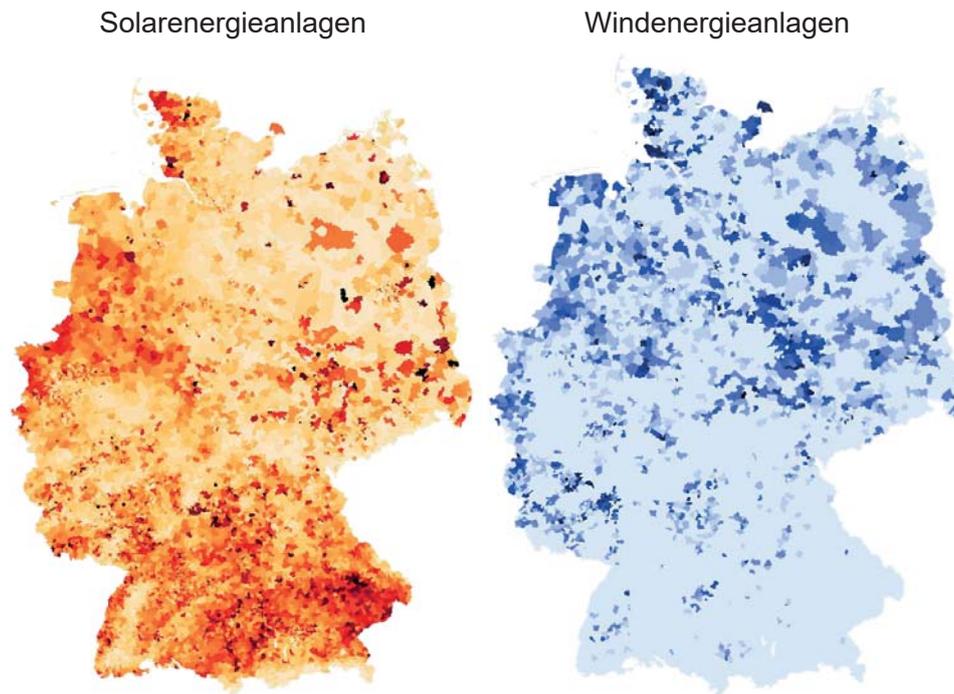


Abbildung 3: Leistungsdichte von EE-Anlagen (Stand Ende 2015)

Auf Basis historischer Einspeise- und Verbrauchszeitreihen können Abschätzungen über die zeitliche Verteilung der EE-Überschüsse über den Tag und damit einer ggf. vorhandenen zeitlichen Korrelation zwischen einem hohen Ladebedarf und einer hohen Einspeisung getroffen werden. Für den Fall, dass die Ladeinfrastruktur über einen Speicher verfügt, könnte die Ladeinfrastruktur als steuerbare Last ggf. sogar einen positiven Einfluss auf das elektrische Netz in diesen Regionen nehmen.

## 2.2.4 Verkehrswege und Rasthöfe

Als mögliche Standorte für Schnellladestationen kommen insbesondere Rasthöfe an Autobahnen sowie Autobahntankstellen in Frage. Im Rahmen der Untersuchungen wird ein Datensatz mit ca. 500 potenziellen Standorten in Deutschland untersucht und bewertet. Generell lassen sich weitere mögliche Standorte mit Hilfe öffentlich verfügbarer Daten, bspw. aus dem OpenStreetMap-Projekt [4], identifizieren. Eine Darstellung der regionalen Verteilung der bewerteten Standorte in Deutschland ist in Abbildung 4 dargestellt.

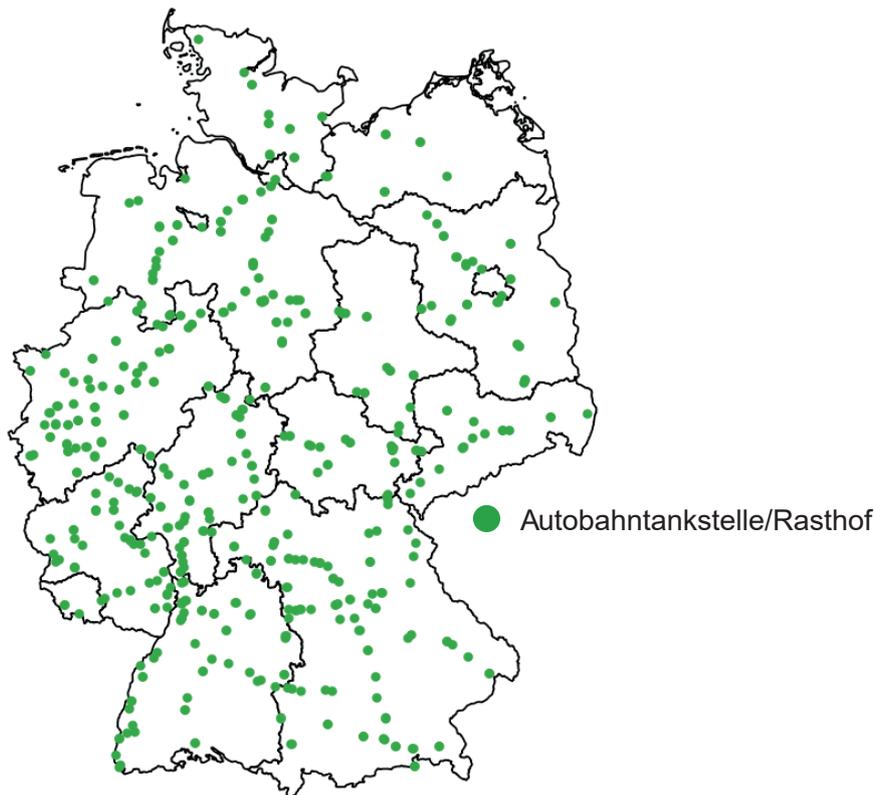


Abbildung 4: Rasthöfe und Autobahntankstellen entlang der Hauptverkehrsrouten in Deutschland

## 2.2.5 Zählstellen für den Verkehr

Für die Dimensionierung der Schnellladestationen ist neben der verfügbaren Netzkapazität insbesondere der erwartete Bedarf an zeitgleichen Ladevorgängen entscheidend. Für Tankstellen und Rasthöfe an Autobahnen kann für die Abschätzung des Bedarfs beispielsweise auf Daten der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zurückgegriffen werden [5]. Das BASt unterhält 1.744 automatische Zählstellen in Deutschland, davon 815 auf Bundesstraßen und 929 auf Autobahnen. Für jede Zählstelle sind neben den geografischen Koordinaten unter anderem Daten über das durchschnittliche zeitliche Verkehrsaufkommen je Standort unterteilt nach Fahrzeugtyp (PKW/LKW), Uhrzeit, Wochentag oder Fahrtrichtung verfügbar. Eine exemplarische Darstellung des durchschnittlichen Verkehrsaufkommens an Werktagen für beide Fahrtrichtungen ist in Abbildung 5 dargestellt.

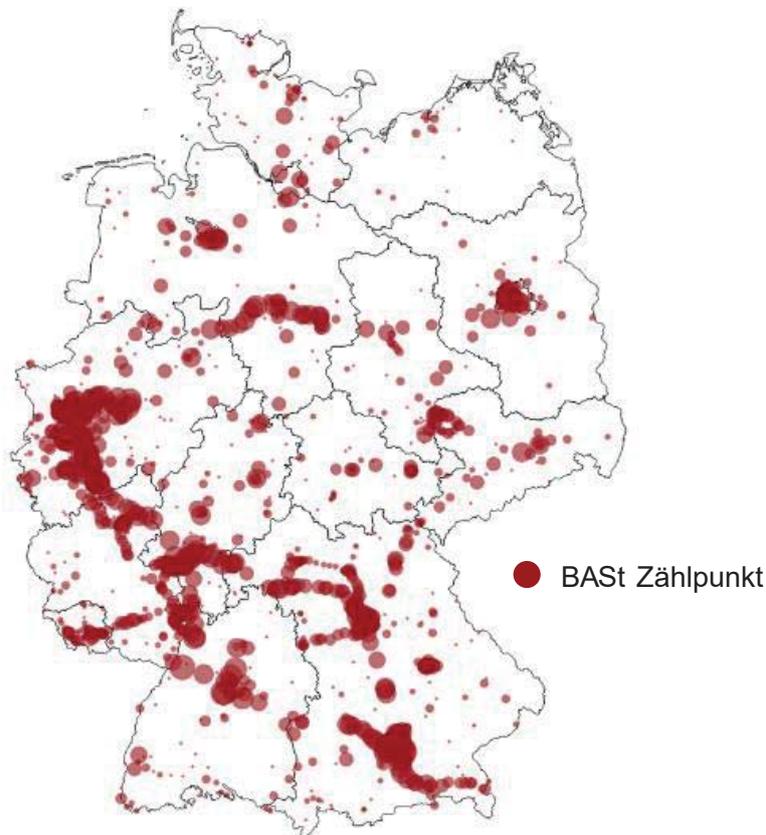


Abbildung 5: Verkehrsaufkommen (Mo-Fr: Kfz/24 h) gemäß BAST-Zählpunkten

### 3 Datenaufbereitung und Auswertung

Die Daten der zuvor aufgeführten Datenquellen werden derart aufbereitet, dass sie mit Hilfe gängiger GIS Software visualisiert, weiterverarbeitet und verknüpft werden können. Für standortbezogene Größen liegen demnach immer entsprechende Geokoordinaten vor und für flächenbezogene Größen liegen Geokoordinaten der Flächenumrisse (z. B. Gemeinden oder Postleitzahlregionen) vor. Basierend auf den aufbereiteten Daten werden für jeden zu bewertenden Standort die nachfolgend aufgeführten Bewertungskenngrößen bestimmt.

Da für Rasthöfe und Autobahntankstellen keine öffentlich zugänglichen Daten bzgl. der Netzanschlusskapazität vorliegen, werden die Flächennutzung und die Entfernung zum nächstgelegenen HS/MS-Umspannwerk als Indikatoren für das Vorhandensein einer leistungsstarken Netzinfrastruktur verwendet.

Basierend auf den Netzstationen aus dem Netzmodell der Hochspannungsebene wird für jeden zu bewertenden Standort der Abstand zum nächstgelegenen HS/MS-Umspannwerk bestimmt. Die ermittelten Abstände liegen hier in einem Bereich von unter 200 m bis zu Werten über 10 km. Neben den Abständen werden zusätzlich die zuständigen HS-Netzbetreiber in der entsprechenden Region identifiziert.

Darüber hinaus wird die Flächennutzung in der Umgebung der Standorte als Indikator für den Stromverbrauch und damit für eine vorhandene Netzinfrastruktur bewertet. Dazu werden zum einen die kürzeste Entfernung zu Industrie-/Gewerbe- oder Wohngebieten und zum anderen

die anteilige Flächennutzung je Flächennutzungskategorie für einen frei definierbaren Umkreis um den Standort bestimmt.

Für die Bewertung der regionalen EE-Einspeisung wird die Schnittfläche eines frei wählbaren Umkreises um den Standort mit den umliegenden Gemeinden gebildet und die durchschnittliche Leistungsdichte für jeden Standort auf Basis der Werte je Gemeinde bestimmt. Eine regional höher aufgelöste Bestimmung der EE-Leistungsdichte ist mit öffentlich verfügbaren Daten nicht möglich. Für ausgewählte Netzregionen (eine windenergie- und eine solarenergiegeprägte Region) erfolgt zusätzlich die Auswertung historischer Einspeise- und Lastzeitreihen zur Bestimmung der Häufigkeit des Auftretens von negativen Residuallasten, in denen Ladevorgänge zur Entlastung des Netzes beitragen könnten.

Bei der Priorisierung einzelner Standorte muss nun eine Abwägung zwischen den verschiedenen Kenngrößen getroffen werden. Exemplarisch wird dies bereits in Abbildung 2 für die Flächennutzung veranschaulicht.

Da ein direkter Vergleich aller Kenngrößen (z. B. Entfernungen und anteilige Flächennutzung) nicht immer möglich ist und eine unterschiedliche Gewichtung einzelner Einflussgrößen sinnvoll erscheint, erfolgt für jede Kenngröße eine Normierung auf einen Wertebereich von null bis eins. Abschließend werden verschiedene Zielfunktionen definiert, die aus einer gewichteten Summe der einzelnen normierten Größen bestehen. So können bspw. entweder Standorte mit kleiner Entfernung zu Umspannwerken oder aber Standorte in Gewerbegebieten unterschiedlich stark bevorzugt werden.

Die so ermittelten Informationen werden in den Untersuchungen genutzt, um eine Priorisierung von Standorten zu generieren. Dabei werden unterschiedliche Parametrierungen der Zielfunktion untersucht. Die endgültige Bewertung der realen Netzanschlusskapazität muss jedoch weiterhin durch den Netzbetreiber erfolgen.

## **4 Exemplarische Ergebnisse und Ausblick**

### **4.1 Ergebnisse**

Um eine Priorisierung der Standorte zu ermitteln, werden verschiedene Zielfunktionen untersucht. Es wird eine Priorisierung von Standorten in der Nähe von Umspannwerken mit einer Priorisierung von Standorten in Gewerbe-, Industrie- und Wohngebieten verglichen. In einem nachfolgenden Schritt erfolgt die Auswahl der besten 20 % der Standorte je Bundesland, um eine regionale Verteilung der ausgewählten Standorte sicherzustellen. Eine Betrachtung der Schnittmenge der Auswahl je nach Priorisierungsansatz zeigt, dass nur ca. 50 % der Standorte bei beiden Ansätzen in der Auswahl enthalten wären. Um eine Priorisierung unter der Berücksichtigung beider Einflusskenngrößen zu ermöglichen, werden die Gewichtungparameter in einer weiteren Zielfunktion anschließend so angepasst, dass sowohl Entfernungen, als auch die Flächennutzung in die Bewertung eingehen. Die Auswertungen für zwei exemplarische Standorte in der Nähe von Aachen sind in Abbildung 6 dargestellt.

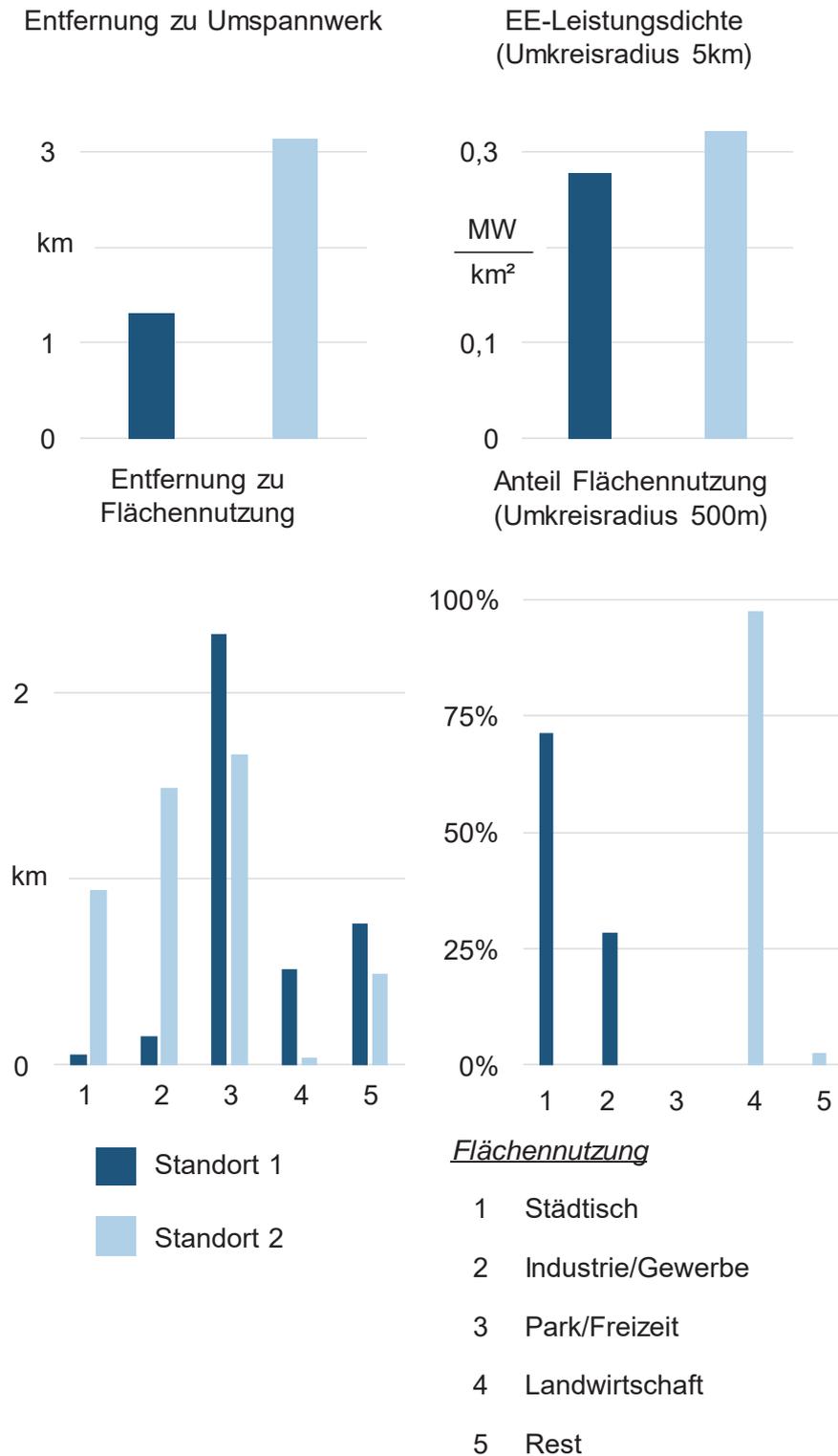


Abbildung 6: Vergleich zweier potenzieller Standorte in der Umgebung von Aachen

Basierend auf den untersuchten Zielfunktionen wird der Standort 1 priorisiert, da er sowohl eine kürzere Distanz zum nächstgelegenen Umspannwerk aufweist, als auch in seiner direkten Umgebung einen höheren Anteil an städtischer und industriell/gewerblicher Nutzung aufweist.

## 4.2 Ausblick

Bisher werden Standorte mit der vorgestellten Vorgehensweise nur in Bezug auf die erwartete Netzanschlusskapazität bewertet. Für eine detailliertere Priorisierung ist jedoch auch der erwartete Ladebedarf entscheidend. Die Karte in Abbildung 5 zeigt mögliche Eingangsdaten für diese Bewertung auf. Ein Vergleich mit den bisher bestimmten Auswertungen zeigt, dass die ausgewählten Standorte häufig auch in Regionen mit einem hohen Verkehrsaufkommen liegen. Es gibt jedoch auch Standorte mit einer guten Netzanbindung, die in eher verkehrsschwachen Regionen liegen. Bei der weiterführenden Entwicklung von Priorisierungsansätzen sollten diese Aspekte daher mitberücksichtigt werden.

## 5 Ergebnisse und Fazit

Mit der angedachten Vorgehensweise lassen sich verschiedene Standorte für Ladeinfrastruktur in Bezug auf die erwartete Netzanschlusskapazität bewerten. Für eine weitergehende, detailliertere Priorisierung ist jedoch auch der erwartete Ladebedarf entscheidend. Weitere Auswertungen ausgewählter Standorte in Kombinationen mit dem Verkehrsaufkommen, erlauben eine weiterführende Priorisierung einzelner Standorte/Regionen die zur Erreichung der politischen Zielsetzung, die verstärkte Nutzung von Elektromobilität, entscheidend sein werden. Denn um den am häufig kritisierten Punkt der begrenzten Reichweite von Elektrofahrzeugen zu begegnen, ist eine leistungsfähige Ladeinfrastruktur entlang der Hauptverkehrswege notwendig.

Die Methodik und die Ergebnisse wurden ebenfalls in [6] vorgestellt und diskutiert.

## 6 Literatur

- [1] <http://www.zeit.de/mobilitaet/2018-01/kaufpraemie-elektroautos-ladesaeulen-mobilitaet-kommentar>, Abruf: 08.01.2018
- [2] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2017/019-dobrindt-e-ladesaeulenoffensive>, Abruf: 06.03.2017
- [3] Corine Landcover: [http://www.corine.dfd.dlr.de/intro\\_de.html](http://www.corine.dfd.dlr.de/intro_de.html), Abruf: 06.03.2017
- [4] OpenStreetMap Foundation, OpenStreetMap: <https://www.openstreetmap.org>, Abruf: 06.03.2017
- [5] Bundesanstalt für Straßenwesen: [http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/zaehl\\_node.html](http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/zaehl_node.html), Abruf: 08.03.2017
- [6] Forschungsgesellschaft Energie - Jahresbericht 2017