

KOMMUNALES ELEKTROMOBILITÄTS- KONZEPT

für den Kreis Soest



- Projektabschlussbericht -

Version 1.0

Hamm, 22.03.2019

Autoren (Hochschule Hamm-Lippstadt):
Prof. Dr.-Ing. Uwe Neumann
Christoph Brandt
Felix Neumann
Michael Pietruschka
Benedikt Wessel

Förderkennzeichen 03EMK102



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Koordiniert durch:



Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	2
1 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG	1
2 GRUNDANNAHMEN UND GENERELLE VORGEHENSWEISE	3
2.1 ERMITTLUNG DES BEDARFS FÜR DIE ÖFFENTLICHE LADEINFRASTRUKTUR.....	3
2.2 GRUNDANNAHMEN ZUR BEDARFSERMITTLUNG.....	6
2.3 GENERELLE VORGEHENSWEISE.....	7
3 STANDORTIDENTIFIKATION AUS KUNDENSICHT	9
3.1 ERSTE EINTEILUNG VON GEBIETEN	9
3.2 KUNDENKATEGORIEN	12
3.2.1 <i>Verweildauer</i>	12
3.2.2 <i>Ladebedarf</i>	14
3.2.3 <i>Definition von Kundenkategorien</i>	16
3.3 WEITERE RELEVANTE KRITERIEN	18
3.4 VORGEHENSWEISE.....	21
3.4.1 <i>Identifikation potentieller Standorte</i>	22
3.4.2 <i>Klassifizierung der Points of Interest</i>	22
3.4.3 <i>Bewertung der Points of Interest</i>	23
3.4.4 <i>Verdichtung</i>	25
3.4.5 <i>Priorisierung der Standorte</i>	27
4 TECHNISCHE BEWERTUNG POTENTIELLER STANDORTE	31
4.1 VERFÜGBARE UND ZUKÜNFTIGE LADELEISTUNGEN	31
4.1.1 <i>Ladebetriebsarten</i>	31
4.1.2 <i>Ladeschnittstellen und Steckertypen</i>	32
4.2 NETZINFRASTRUKTUR	34
4.2.1 <i>Netztopologie</i>	35
4.2.2 <i>Kabelquerschnitte und Kabeltypen</i>	36
4.2.3 <i>Transformatoren</i>	39
4.3 INTEGRATION DER LADEINFRASTRUKTUR UND GLEICHZEITIGKEIT	39
4.4 SIMULATIONSBEISPIEL	40
4.4.1 <i>Modellierung der benötigten Eingangsgrößen</i>	41
4.4.2 <i>Durchführung</i>	43
4.4.3 <i>Auswertung</i>	44
4.4.4 <i>Hochrechnung auf den Kreis Soest</i>	46

4.5	ERSTELLUNG EINES EXCEL-WERKZEUGES.....	47
4.6	DECKUNG DES STROMBEDARFS DURCH ERNEUERBARE ENERGIEN.....	48
5	WIRTSCHAFTLICHKEIT	51
5.1	BEISPIELSZENARIEN.....	52
5.2	ANMERKUNGEN ZUR WIRTSCHAFTLICHKEITSABSCHÄTZUNG.....	56
6	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG.....	57
	TABELLENVERZEICHNIS	61
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	62
	QUELLENVERZEICHNIS	64
	ANHANG A – STANDORT- UND HAUPTKATEGORIEN.....	67
	ANHANG B – ERLÄUTERUNG DES EXCEL-WEKZEUGES	69
	<i>Anwendungsbeispiel</i>	<i>70</i>

1 Motivation und Zielsetzung

In den kommenden zehn Jahren ist mit einer deutlichen Zunahme von Elektrofahrzeugen in Deutschland zu rechnen. Bis zum Jahr 2022 sollen ca. 1 Million und bis zum Jahr 2030 sogar 6 Millionen elektrisch betriebene Fahrzeuge auf Deutschlands Straßen vorzufinden sein. Vor diesem Hintergrund besteht die Frage nach dem geeigneten Ausbau der Ladeinfrastruktur. Ein „geeigneter“ Ausbau zeichnet sich dadurch aus, dass er dem Bedarf der Kunden gerecht wird und zu einer akzeptablen Auslastung der Ladeinfrastruktur führt, was sich wiederum für die am Ausbau der Elektromobilität beteiligten Gruppen positiv darstellen wird. Ferner soll durch einen geeigneten Ausbau die Einführung der Elektromobilität weiter forciert werden.

Im Rahmen der hier beschriebenen Studie sollen die Standorte im Kreis Soest ermittelt werden, die in den kommenden 10 Jahren für den Ausbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur (LIS) am besten geeignet sind. Hierbei wird zwischen Standorten mit einer höheren Priorität und vermeintlich unwichtigeren Standorten unterschieden. Neben einer räumlichen Eingrenzung eines geeigneten Gebietes zur Errichtung von Ladepunkten werden zusätzlich *konkrete* Standorte vorgeschlagen, an denen eine öffentliche LIS auf Basis der Ergebnisse dieser Studie errichtet werden sollte.

Neben der Bewertung der Standorte aus Sicht der Kunden („kundenorientierte Sicht“) ist ebenfalls im Rahmen einer technischen Sicht abzuschätzen, ob an den ermittelten Standorten grundsätzlich aus energieverorgungstechnischer Sicht eine Ladeinfrastruktur zulässig ist. Die Zulässigkeit kann durch technische Engpässe des Versorgungsnetzes eingeschränkt sein. Die technische Beurteilung eines Standortes ist individuell vorzunehmen, was nur unter Kenntnis der Versorgungsnetzdaten möglich ist. Im Rahmen des Projektes wurden von einzelnen Gemeinden oder Stadtwerken aus dem Kreis Soest beispielhafte Daten zur Verfügung gestellt. Anhand von beispielhaften Szenarien wurde eine Abschätzung für die kommenden Jahre vorgenommen sowie ein einfaches Excel-Werkzeug zur ersten Abschätzung der Realisierbarkeit einer Ladestation erstellt.

Die Studie beschränkt sich auf die Ermittlung geeigneter Standorte für eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur. Private Ladeeinrichtungen von Hauseigentümern oder Unternehmen für die Beschäftigten werden folglich nicht detailliert untersucht. Aus diversen anderen Studien und Projekten wird berichtet, dass ca. 85 % bis 90 % der Ladevorgänge für Elektrofahrzeuge zu Hause oder bei den jeweiligen Arbeitgebern erfolgen werden. Da es sich hierbei um private Ladeeinrichtungen handelt, sollten diese Einrichtun-

gen bei konkreten Anträgen geprüft, installiert und weiter berechnet werden. Eine strategische Positionierung und der individuelle Umgang mit diesen Anträgen ist nicht Bestandteil dieser Studie.

Trotz der eingeschränkten Anzahl an zu erwartenden Ladevorgängen an öffentlichen Ladeeinrichtungen besteht aus Sicht der Städte und Gemeinden gerade hierfür das Interesse, über diese Infrastruktur in ausreichendem Maße zu verfügen, um sich für Besitzer von Elektrofahrzeugen und damit potentiellen Kunden der Stadt bzw. Einrichtungen innerhalb des Stadtgebietes in den Bereichen Arbeit, Kultur, Gesundheit, Touristik etc. attraktiv aufzustellen. Gleichzeitig stellt sich jedoch gerade bei den öffentlich zugänglichen Ladeeinrichtungen die Frage des wirtschaftlichen Betriebes, der durchaus unterschiedlich motiviert sein kann. Eine vom tatsächlichen Betreiber unabhängige wirtschaftliche Betrachtung des Betriebs einer öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur rundet die Studie ab.

2 Grundannahmen und generelle Vorgehensweise

Um die potenziellen Ladestandorte festlegen zu können, werden im Vorfeld einige Kenn-daten des Kreises Soest analysiert.

Der Kreis Soest weist zum Ende 2017 eine Bevölkerung von ca. 300.000 Einwohnern auf [1]. Diese verteilen sich auf vierzehn Gemeinden und Städte.

Für die Nutzung der öffentlichen Ladeinfrastruktur spielen jedoch auch andere Nutzer-gruppen eine wichtige Rolle. Hierbei handelt es sich vor allem um die Ein- und Auspend-ler sowie um den Tourismus. Laut [2] wurden zum Stand Juni 2018 ca. 28.420 Einpend-ler und 36.662 Auspendler im Kreis Soest registriert. Von den ca. 111.500 sozialversi-cherungsregistrierten Arbeitnehmern pendeln ca. 25,5 % aus anderen Kreisgebieten in den Kreis Soest.

2.1 Ermittlung des Bedarfs für die öffentliche Ladeinfrastruktur

Im Kreis Soest waren zum 31.12.2018 insgesamt 638 elektrische Fahrzeuge, davon 387 rein batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electric Vehicle, BEV) und 251 Plug-in Hyb-rid Electric Vehicle (PHEV) angemeldet. [KREIS18], für die ca. 159 Ladepunkte zur Ver-fügung stehen. Demgegenüber stehen im Kreis Soest insgesamt 184.369 zugelassene Pkw zum 1. Januar 2018 [3].

Im bundesweiten Vergleich ist die Anzahl der BEV vom 1. Januar 2018 bis zum 1. Januar 2019 von 53.861 auf 83.175 Fahrzeuge gestiegen (+54%) sowie im gleichen Zeitraum von 44.419 auf 66.997 PHEV (+51%)¹. Insgesamt liegt der Anteil der Elektrofahrzeuge (BEV und PHEV) mit ca. 0,35% leicht oberhalb des bundesdeutschen Anteils von 0,32%.

Da für die Planung einer Ladeinfrastruktur sowohl BEV als auch PHEV von Interesse sind, werden im Folgenden immer beide Fahrzeuggruppen gemeint, wenn von Elektro-fahrzeugen die Rede ist.

¹ Vgl. Kraftfahrtbundesamt (https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/be-stand_node.html)

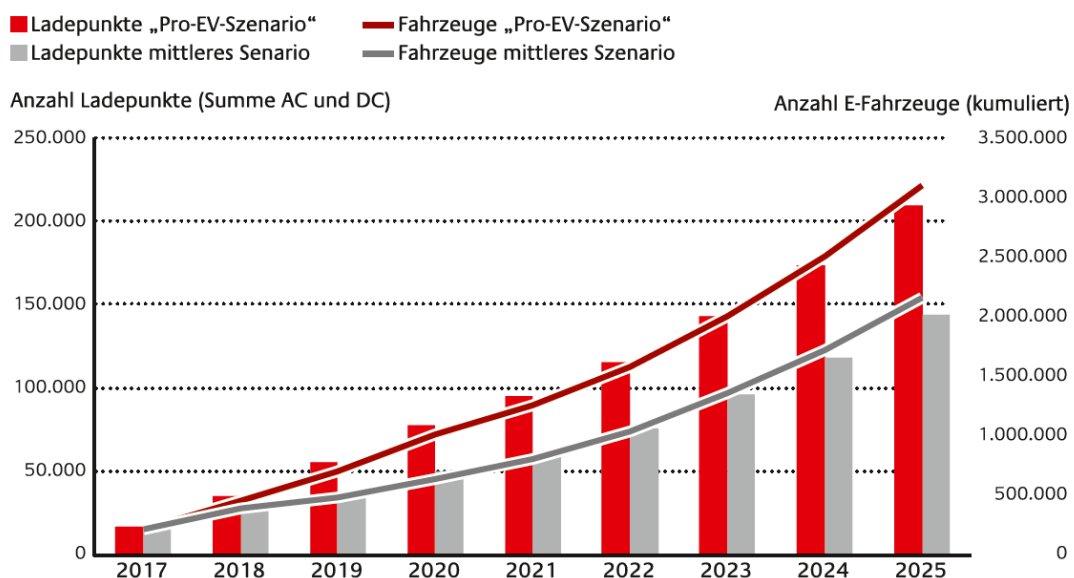
Tabelle 1: Bestand und Anteile der Elektro-Pkw am Gesamt-Pkw-Bestand

	Bestand BEV		Bestand PHEV		Anteil an Gesamt-Pkw-Bestand	
	Kreis Soest	Deutschland	Kreis Soest	Deutschland	Kreis Soest	Deutschland
01.01.2018	211	53.861	148	44.419	0,19%	0,21%
01.01.2019	387	83.175	251	66.997	0,35%	0,32%

Werden die Markthochlaufszenerarien der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) (vgl. folgende Abbildung 1) angenommen, ergeben sich für den Kreis Soest bei einer insgesamt angenommenen Pkw-Anzahl von 185.000 bis zum Jahr 2025 im Mittel ca. 9.500 Elektrofahrzeuge (BEV und PHEV zusammen) und bis 2030 ca. 23.000 Elektrofahrzeuge.

Tabelle 2: Prognose der Elektrofahrzeuge für die Jahr 2025 und 2030

	2025	2030
Prognose Deutschland	1,7 – 3,1 Mio.	4,2 – 7 Mio.
[4]	(4 – 6,5 %)	(10 – 15 %)
Abgeleitete Prognose Kreis Soest	ca. 7.400 – 11.800	18.500 – 27.750



Bis 2025 ergibt sich ein Bedarf von 145 Tsd. bis 210 Tsd. Ladepunkten im öffentlichen Bereich und von 2,4 bis 3,5 Mio. Ladepunkten im privaten Bereich.

Abbildung 1: Markthochlauf E-Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur (aus [4], S. 55)

Um dieser Entwicklung auch im Bereich der öffentlichen Ladeinfrastruktur gerecht zu werden, geht die NPE davon aus, dass bis zum Jahr 2025 ein Verhältnis von einem öffentlichen (Normal-)Ladepunkt² pro 16,5 Elektrofahrzeuge vorhanden sein sollte. Auf den Kreis Soest gerechnet, bedeutet dies für

- 2025: ca. 450 bis 720
- 2030: ca. 1.120 bis 1.700

neue Ladepunkte. Angaben und Prognosen aus anderen Studien, wie z. B. des Centers of Automotive Management [5], gehen von folgenden Anteilen von Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen aus:

- bis 2020: 2,5% - 6 %
- bis 2025: 12% - 25%
- bis 2030: 25% - 40%

Unter Berücksichtigung dieser Zahlen und der Empfehlung eines Verhältnisses von 1:10 öffentlichen Ladepunkten zu Elektrofahrzeugen sind ebenfalls zwischen 1.500 und 2.500 öffentliche Ladepunkte bis 2030 erforderlich. Da der Markthochlauf insgesamt jedoch derzeit zögerlicher anläuft als in den genannten Studien angenommen, wird eher von einem vorsichtigeren und aktuelleren Szenario des NPE ausgegangen.

Unter einem Ladepunkt wird die gleichzeitige Anschlussmöglichkeit eines Elektrofahrzeuges verstanden. Eine Ladesäule beinhaltet in der Regel zwei Ladepunkte. Um das Risiko einer besetzten Ladesäule zu minimieren, sollten an einem geeigneten Standort mehr als eine Ladesäule vorhanden sein. Da es sich bei den Prognosen immer um eine unsicherheitsbehaftete Aussage handelt und zudem die Anzahl der Ladesäulen pro Standort variieren kann, sollten nach Einschätzung der Autoren dieses Berichtes bis 2030 nicht mehr als ca. 250 Ladestandorte ausgewiesen sein.

Wichtig ist bei der Errichtung von öffentlichen Ladepunkten, dass die Standorte gezielt gewählt werden. Hierbei liegt der Fokus vor allem auf einer Zentrierung der Ladestandorte, wodurch die maximale Anzahl an Standorten noch deutlich reduziert werden kann. Im Rahmen dieser Studie werden insgesamt 234 Standorten identifiziert, die bis 2030 ausreichen könnten.

² Normalladepunkt: bis zu 22 kW AC-Ladung

Die Erstellung des Elektromobilitätskonzeptes soll im Allgemeinen dazu dienen, eine Verbindung zwischen der Entwicklung der Elektromobilität und dem Ausbau der Ladeinfrastruktur zu schaffen. Der Schwerpunkt liegt in der strukturierten Planung der potentiellen zukünftigen Ladeinfrastruktur. Dies soll für die Gemeinden und Städte des Kreises Soest aus kundenorientierter Sicht unter Berücksichtigung technischer Aspekte erfolgen.

2.2 Grundannahmen zur Bedarfsermittlung

Laut unterschiedlicher Studien, u.a. auch der Empfehlung der NPE, wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass ca. 85% der Ladevorgänge durch private Ladeeinrichtungen erfolgen (vgl. folgende Abbildung). Unter privater Ladeinfrastruktur wird sowohl das „Zu-Hause-Laden“ als auch das Laden beim Arbeitgeber verstanden. Da ein Elektrofahrzeug sowohl zu Hause als auch beim Arbeitgeber laden kann, geht die NPE auch von einem zukünftigen Verhältnis von 1,125:1 von Ladepunkten zu Elektrofahrzeugen aus. Das bedeutet, dass es mehr private Ladepunkte geben wird als elektrische Fahrzeuge.

Die öffentliche Ladeinfrastruktur (LIS) bezieht sich somit auf öffentlich zugängliche Ladeflächen, die durchaus in privatem Eigentum liegen kann, wie z. B. einem Supermarktbetreiber. Sie zeichnet sich jedoch dadurch aus, dass ein entsprechender Stellplatz für ein Elektrofahrzeug öffentlich zugänglich ist.



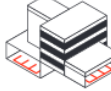
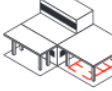


Verteilung Ladevorgänge	Privater Aufstellort 85%			Öffentlich zugänglicher Aufstellort 15%		
Typische Standorte für Ladeinfrastruktur	 Einzel- / Doppelgarage bzw. Stellplatz beim Eigenheim	 Parkplätze bzw. Tiefgarage von Wohnanlagen, Mehrfamilienhäusern, Wohnblocks	 Firmenparkplätze / Flottenhöfe auf eigenem Gelände	 Autohof, Autobahn-Raststätte	 Einkaufszentren, Parkhäuser, Kundenparkplätze	 Straßenrand / öffentliche Parkplätze

Abbildung 2: Übersicht über die Standorte der Ladeinfrastruktur (aus [6])

Es ist davon auszugehen, dass öffentlich zugängliche Ladepunkte (kurz: öffentliche Ladepunkte) dann genutzt werden, wenn entweder ein konkreter Ladebedarf vorliegt oder ein „Mitnahmeeffekt“ vorliegt. Was einen konkreten Ladebedarf auszeichnet, wird in Kapitel 3.2.2 näher erläutert. Ein Mitnahmeeffekt ergibt sich dann, wenn das Laden des Elektrofahrzeuges so attraktiv erscheint, dass es zu einem Ladevorgang kommt, selbst wenn gar kein tatsächlicher Ladebedarf vorliegt. Dies kann z. B. dann der Fall sein, wenn

kostenlos oder wesentlich schneller oder preiswerter geladen werden kann, als es an privaten Ladeeinrichtungen zu Hause möglich wäre.

Da ein unbedingter Ladebedarf und somit ein Bedarf für eine öffentliche Ladeeinrichtung kaum von den Einwohnern einer Gemeinde oder Stadt selbst ausgeht, da die Entfernungen hierfür oftmals zu gering sind, sind zusätzliche Zahlen über Pendler, Besucherzahlen von touristischen und kulturellen Einrichtungen, Hotelübernachtungen etc. sinnvoll. Da diese oft nicht in einem hinreichenden Maße für die einzelnen Gemeinden und Städte vorliegen, wird vereinfachend angenommen, dass die Einwohnerzahl und damit die hiervon abgeleitete Zahl an zu erwarteten Elektrofahrzeugen ein guter Indikator für den Ladebedarf darstellen kann.

Ein öffentlicher Ladepunkt wird in der Regel von einem Unternehmen oder einer Kommune betrieben, sodass je nach Interessenssituation auch die Wirtschaftlichkeit des Ladepunktes berücksichtigt werden muss. Zurzeit werden mehr als 75% der Ladepunkte von Unternehmen der Energiebranche betrieben.³ Von den Unternehmen oder Kommunen wird die Frage gestellt werden, wie sich die erforderliche Investition und die laufenden Kosten decken lassen. Unter diesen Umständen sollte ein Ausbau einer öffentlichen LIS schrittweise erfolgen und sich immer an dem tatsächlichen Bedarf orientieren und weniger auf Mitnahmeeffekte fokussiert sein. Falls natürlich aus politischen oder werbewirksamen Gründen eine öffentliche Ladeinfrastruktur errichtet werden soll, können die wirtschaftlichen Betrachtungen in den Hintergrund treten. Die vorliegende Studie geht von einem dem Ladebedarf angepassten Szenario aus und versucht daher, mittels eines systematischen Ansatzes den tatsächlichen Ladebedarf zu konkretisieren und als Ausgangspunkt für die Identifikation eines Standortes für einen Ladepunkt heranzuziehen.

2.3 Generelle Vorgehensweise

In der folgenden Abbildung 3 ist die generelle Vorgehensweise des Projektes vorgestellt. Auf der einen Seite wird die Kundensicht betrachtet. Sie sollte letztendlich den Bedarf für einen Ladepunkt generieren. Über die Sammlung und Auswertung möglicher „Interessenspunkte“ (Points of Interests, POI), wie sie in zahlreichen Navigationssystemen

³ Siehe <https://www.bdew.de/energie/elektromobilitaet-dossier/energiewirtschaft-baut-ladeinfrastruktur-auf/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2019

oder geographischen Kartenanwendungen zu finden sind, werden mögliche Kundenkategorien abgeleitet und zu Standortempfehlungen verdichtet. Die genauere Vorgehensweise ist in Kapitel 3 beschrieben.

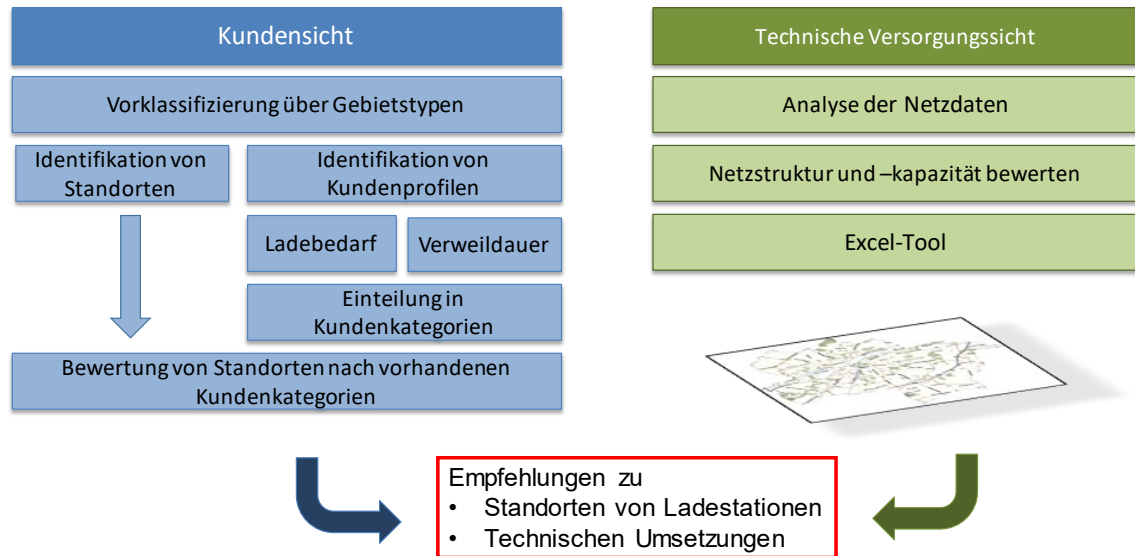


Abbildung 3: Grundsätzliche Vorgehensweise

Auf der technischen Seite sind die identifizierten Standorte netztechnisch zu bewerten. Da im Rahmen des Projektes keine umfassenden Netzdaten verwendet werden konnten und eine individuelle Betrachtung den Umfang des Projektes überstiegen hätte, wird eine grundsätzliche Einschätzung auf Basis typischer Szenarien gegeben und ein einfaches Excel-Werkzeug zur Abschätzung der Zulässigkeit der Implementierung von Ladepunkten in einem Netzstrang oder Netzausschnitt erstellt. Die technische Bewertung ist in Kapitel 0 näher erläutert.

Kernaussagen

- Auf den Kreis Soest übertragene Prognosen zur weiteren Entwicklung der Elektromobilität lassen eine Anzahl von ggf. mehr als 25.000 Elektrofahrzeuge bis 2030 erwarten
- Aktuelle Studien gehen davon aus, dass ca. 85% der Ladevorgänge zu Hause oder am Arbeitsplatz erfolgt.
- Nach aktuellen Empfehlungen bezüglich des Verhältnisses von öffentlich zugänglichen Ladepunkten zu Elektrofahrzeugen ergeben sich daraus bis ca. 1.700 öffentliche Ladenpunkte für den Kreis Soest; das Projekt empfiehlt insgesamt 234 Standorte für Ladepunkte bis 2030.

3 Standortidentifikation aus Kundensicht

Eine öffentliche Ladeinfrastruktur sollte dem tatsächlichen Bedarf gemäß geplant und implementiert werden. Ein Ladebedarf ergibt sich aus der bislang zurückgelegten und der weiter geplanten Strecke eines Elektrofahrzeuges in Kombination mit der verfügbaren Ladekapazität eines Fahrzeuges. Ein unbedingter Ladebedarf ergibt sich in der Regel nur bei rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen (BEV), da Hybridfahrzeuge immer noch eine alternative Antriebsart auf Grundlage von Benzin, Diesel oder (Erd-)Gas beithalten.

Die erforderliche Ladeleistung wird im Wesentlichen durch den *Ladebedarf* und der *Verweildauer* bestimmt. Beide Faktoren, d.h. Ladebedarf und Verweildauer, ergeben sich wiederum aus dem Anlass, aus dem ein Elektrofahrzeug an einem bestimmten Standort ist. Die abgeleitete Aufgabe hieraus ist die Überlegung, welche Standorte im Stadtgebiet aus welchen Gründen und damit von welcher *Kundenkategorie* besucht werden.

Die Zahl der Einwohner repräsentiert den generellen Ladebedarf der Bewohner eines Gebietes. Die Zahl der Arbeitsplätze und der Pendlerzahlen können Auskunft darüber geben, welcher Ladebedarf bei Kunden besteht, die von außerhalb des Gebiets anreisen, sofern diese in ausreichender Qualität vorliegen. Des Weiteren wurde untersucht, ob es im Gebiet bedeutende öffentlich zugängliche Stellplatzanlagen, wie Parkhäuser, Tiefgaragen und großflächige Stellplatzanlagen gibt, insbesondere in den Innenstädten und in innenstadtnahen Lagen. Außerdem sollte über ein Gebiet bekannt sein, ob hochfrequentierte intermodale Verknüpfungspunkte vorzufinden sind. Darunter fallen beispielsweise Haltestellen des schienengebundenen Regional- und Fernverkehrs (Bahnhöfe) und Busbahnhöfe.

3.1 Erste Einteilung von Gebieten

Der erste Schritt bei der Identifikation von potentiellen Standorten für eine LIS ist die Vorklassifizierung von Gebietstypen, um zunächst festzustellen, wo ein öffentlicher Ladebedarf zu erwarten sein wird, d. h. welche Kundenkategorien erwartet werden. In reinen Wohngebieten wird bspw. das private Laden vorherrschen, sodass eine öffentlich angebotene LIS in diesen Gebieten eine untergeordnete Rolle spielt. Gebiete, in denen intermodale Verknüpfungspunkte oder auch touristische Einrichtungen zu finden sind, werden eher für öffentliche LIS eine Rolle spielen.

Die Baunutzungsverordnung (BauNVO) [7] unterscheidet mehrere Baugebiete, die auch im Rahmen der Studie SIMONE [8] herangezogen worden sind. Die BauNVO bestimmt in Deutschland die möglichen Festsetzungen bezüglich Art und Maß der baulichen Nutzung eines Grundstücks, der Bauweise und der überbaubaren Grundstücksfläche in Bauleitplänen. Die von der PTV AG aus Karlsruhe im Jahr 2015 erstellte SIMONE-Studie beschäftigt sich mit dem Thema „Bedarfsorientiertes Verfahren zur Planung von Ladeinfrastruktur“. Aus den Rahmenbedingungen der BauNVO und den Ergebnissen der SIMONE-Studie kann jeder definierte Landkreis oder jede kreisfreie Stadt in Gebietstypen eingeteilt werden, die durch die vorherrschende Flächennutzung genau charakterisiert sind. Aus diesen Gebietstypen kann eine erste Abschätzung erfolgen, in welchen Bereichen eine öffentliche LIS zu installieren sein wird.

Kerngebiete

In Kerngebieten finden sich aufgrund einer Vielzahl von Nutzungsansprüchen auch unterschiedlichste Bedarfe an Ladeinfrastruktur, welche sich mit diesen Ansprüchen überlagern. Kerngebiete dienen vorwiegend der Unterbringung von Nahversorgungseinrichtungen, zentralen Wirtschaftseinrichtungen, sowie Verwaltungs- und Kulturgebäuden. Zeitgleich dienen diese Gebiete auch dem Wohnen (vgl. BauNVO § 7). Diese Struktur lässt sich häufig in Innenstadtbereichen auffinden und stellt vorwiegend zentrale Gebiete von Städten dar.

Mischgebiete

Die Mischgebiete dienen dem Wohnen, zeitgleich aber auch zur Unterbringung von nicht störenden Gewerbebetrieben. Häufig findet sich in diesen Gebieten eine Mischung aus Wohn-, Büro- und Geschäftshäusern, Einzelhandelsbetrieben, Restaurants oder bspw. Verwaltungseinrichtungen (vgl. BauNVO § 6). Diese Gebiete können in Innenstadtrandanlagen oder Stadtteilzentren befinden.

Allgemeine Wohngebiete

Allgemeine Wohngebiete dienen vorwiegend dem Wohnen. Für diese sind zusätzlich Nahversorgungseinrichtungen, Schank- und Speisewirtschaften sowie Anlagen für kirchliche-, kulturelle-, soziale-, gesundheitliche-, und sportliche Zwecke zulässig. Weiterhin gibt es Ausnahmen für nicht störende Gewerbebetriebe und z.B. Betriebe des Beherbergungsgewerbes (vgl. BauNVO § 4).

Reine Wohngebiete

Reine Wohngebiete sind Gebiete zum Wohnen, zulässig dafür sind weiterhin Anlagen zur Kinderbetreuung, die den Bedürfnissen der Bewohner des Gebiets dienen (vgl. BauNVO § 3). Kleinere Betriebe, zur Befriedigung der Nahversorgung, können unter Ausnahme zugelassen werden.

Gebiete mit hohem Kunden- und Besucheraufkommen

Nach der SIMONE-Studie handelt es sich bei diesen Gebieten um Gebiete, „welche aufgrund von Einzelhandels- und Freizeiteinrichtungen oder anderen Dienstleistungsbetrieben ein sehr starkes Kunden- und Besucheraufkommen aufweisen. Im Gegensatz zu den Kerngebieten liegen diese Gebiete jedoch nicht in der Innenstadt. Der Anteil an Wohngebäuden ist sehr gering. Es kann sich um Gewerbe- oder Sondergebiete nach der Baunutzungsverordnung handeln (vgl. BauNVO §§ 8 und 11). Dies können bspw. Areale von Einkaufszentren, Baumärkten, Parks/Tierparks, Messegelände oder eine Bündelung von kleinteiligeren Freizeit- und Versorgungseinrichtungen innerhalb eines Gebietes sein.“ [8]

Gebiete mit Arbeitsplätzen

„Gebiete mit Arbeitsplätzen können nach Baunutzungsverordnung ebenfalls Gewerbe-, Industrie- oder Sondergebiete sein (vgl. BauNVO §§ 8, 9 und 11). Diese werden jedoch in erster Linie von Beschäftigten aufgesucht. Wohnbevölkerung, Kunden und Besucher spielen in diesen Gebieten kaum eine Rolle. Beispielhaft sind hier Technologieparks, Bürostandorte und Industrieareale zu nennen.“ [8]

Gebiete mit hohem Kunden- und Besucheraufkommen und Arbeitsplätzen

„Hier handelt es sich um eine Mischform aus den Gebieten mit hohem Kunden- und Besucheraufkommen und Gebieten mit Arbeitsplätzen [...]“ [8]

Sonstige Gebiete

„Sonstige Gebiete sind Gebiete, die keinen oder kaum Zielverkehr aufweisen. Dies können Waldgebiete, Brachflächen, Verkehrsflächen und ähnliches sein.“ [8]

Für die Identifizierung der möglichen Standorte in dieser Studie wurden die Definitionen der Gebietstypen der SIMONE-Studie als Grundlage herangezogen. So war es in einem ersten Schritt möglich, Gebiete gezielter zu analysieren. Darüber hinaus sind einige Eck-

daten der definierten Gebiete zu erheben, um eine ungefähre Abschätzung des Ladebedarfs vornehmen zu können. Die relevantesten Gebiete für die Ermittlung geeigneter Standorte einer öffentlichen LIS sind:

- Kerngebiete
- Allgemeine Wohngebiete
- Gebiete mit hohem Kunden- und Besucheraufkommen
- Gebiete mit hohem Kunden- und Besucheraufkommen und Arbeitsplätzen und
- Sonstige Gebiete

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass sich in den genannten Gebieten vorwiegend geeignete Standorte finden. Trotzdem erlaubt diese Betrachtung keine detailliertere Festlegung von Standorten für Ladeeinrichtungen, sodass eine weitere Analyse notwendig ist.

3.2 Kundenkategorien

Eine kundenorientierte Planung von LIS setzt voraus, die Kundenanforderungen zu beschreiben, um hieraus die Erfordernisse für Ladeeinrichtungen abzuleiten. Die Definition von Kundenkategorien spielt somit eine zentrale Rolle in der Bewertung und Priorisierung von POI und erfolgt im Wesentlichen durch zwei Kriterien. Entscheidend sind der *Ladebedarf* und die *Verweildauer* eines Kunden an einem Standort. Aus diesen zwei Variablen lassen sich die Kundenkategorien erstellen.

Weitere Kriterien wie die Anzahl der verfügbaren Stellplätze, die Flächendichte, Integration in den Stadtraum sowie die Einschätzung der Möglichkeit der Errichtung von Ladestationen stellen eher einschränkende Randbedingungen dar, die bei der konkreten Planung von Ladeeinrichtungen wichtig werden, jedoch nicht bei der grundsätzlichen Feststellung einer Kundenanforderung für eine Ladeeinrichtung.

3.2.1 Verweildauer

Die Verweildauer beschreibt die Zeit, die ein Kunde maximal an einem Ladepunkt verbringen wird. Die Verweildauer hängt direkt vom besuchten POI ab. Deshalb sind die vielschichtigen Bedürfnisse der Kunden zu beachten und die Ladeinfrastruktur unter anderem nach diesem Parameter auszurichten. Beispielsweise ist die Verweildauer an einer Sportstätte eine andere als die an einer Nahversorgungseinrichtung (z. B. Lebens-

mittelmarkt, Apotheke). Im Rahmen dieses Projekts wurden vier verschiedene Verweildauern als Kategorien definiert. Bei der Identifikation von Kundenkategorien hinsichtlich der Verweildauer wird zwischen *Kurzzeit-, Mittelzeit-, Langzeit- und Tagesparkern* je nach Aufenthaltsdauer unterschieden. Die Verweildauer bestimmt letztendlich die Ladeleistung, die an einem Standort verfügbar sein muss. Verweilt der Kunde nur eine kurze Zeit an einem POI, würde er es als unnötig empfinden, sein Elektrofahrzeug zu laden, falls nur eine geringe Ladeleistung verfügbar wäre. Die einzelnen Profile werden im Folgenden erläutert.

Kurzzeitparker

Das erste Profil wird als Kurzzeitparker bezeichnet und schließt Kunden mit einer Verweildauer am potentiellen Standort von weniger als 20 Minuten ein. Verweilt der Kunde so kurz an einem Standort, gibt es in der Regel zwei Möglichkeiten zur Nutzung einer Ladestation. Die erste Möglichkeit ist ein Ladevorgang mit hoher Leistung an einer Schnellladestation. Der Kunde hat hierbei einen direkten Ladebedarf, um die Reichweite entsprechend seiner noch zurückzulegenden Strecke zu erreichen, möchte aber eigentlich seine Fahrt nicht unnötig lang unterbrechen. Diese Art der Aufladung wird vordergründig an Autobahnen und Schnellstraßen zum Einsatz kommen.

Die zweite Möglichkeit wird im Rahmen dieser Studie als „Mitnahmeeffekt“ bezeichnet. Trotz keines tatsächlichen Ladebedarfs lädt der Kunde kurzzeitig sein Fahrzeug nach, da bspw. die Energie kostenlos abgegeben wird oder die Ladeleistung wesentlich höher ist als zu Hause.

Mittelzeitparker

Die nächste Kundengruppe – im Rahmen dieser Studie „Mittelzeitparker“ genannt – verweilt zwischen 20 und 180 Minuten an einem POI. Zu dieser Kategorie gehören Kunden, die zum Beispiel einen größeren Einkauf in einem Supermarkt planen oder eine sportliche oder kulturelle Veranstaltung besuchen möchten, die mit maximal drei Stunden Dauer angesetzt wird.

Langzeitparker

In die Kategorie Langzeitparker fallen Kunden, die bis zu sechs Stunden an einem Standort verweilen. In diese Kategorie fallen zum Beispiel Pendler mit Teilzeitbeschäftigung, die ihr Fahrzeug auf einem Park & Ride-Parkplatz abstellen, Besucher von Freizeiteinrichtungen oder der Innenstadt mit mehrstündigem Aufenthalt.

Tagesparker

Die letzte Kategorie beschreibt die Tagesparker, die mehr als sechs Stunden an einem Standort verbringen. Darunter fallen vordergründig Arbeitnehmer, die vollzeitbeschäftigt sind oder ebenfalls Pendler, die Bahnhofsparkplätze nutzen, um mit anderen öffentlichen Personennahverkehrsmitteln (ÖPNV) weiter zu fahren. Des Weiteren gehören in diese Kategorie auch die Anwohner, die keine Möglichkeit haben, eine eigene Ladevorrichtung zu nutzen.

Die folgende Tabelle zeigt alle Kundenprofile hinsichtlich der Verweildauer.

Tabelle 3: Verweildauern von Kunden

Nr.	Zeitintervall	Bezeichnung
1	Parkdauer \leq 20 min	Kurzzeitparker
2	20 min < Parkdauer \leq 180 min	Mittelzeitparker
3	180 min < Parkdauer \leq 6 h	Langzeitparker
4	Parkdauer > 6 h	Tagesparker

An dieser Stelle ist anzumerken, dass sich die Abgrenzung der Kategorien, d.h. die angenommenen Dauern, sich im Projekt bei der Betrachtung der unterschiedlichen POI ergeben hat. Die Grenzen sind dabei unscharf, sodass teilweise keine eindeutige Abgrenzung vorgenommen werden kann. Für die weitere Betrachtung stellt dies jedoch kein Hindernis dar, da, wie in den Kapiteln 3.4.3 und 3.4.4 noch erläutert wird, in der Regel ein Standort durch mehrere Kundenprofile gekennzeichnet wird und es somit zu einem Ausgleich dieser zunächst scharf erscheinenden Grenzen kommt.

3.2.2 Ladebedarf

Der *Ladebedarf* beschreibt im Wesentlichen die zurückgelegte Distanz des Kunden zum potentiellen Standort und die noch zurückzulegende Strecke. Mithilfe dieses Parameters werden Kunden nach der Notwendigkeit des Ladens bewertet. Die Notwendigkeit hängt deutlich von der grundsätzlichen Reichweite der Fahrzeuge und damit auch von der Technologie und der individuellen Fahrzeugmodelle ab. Somit müssen die Grenzen bei Anwendung der Methodik in einigen Jahren ggf. zu anderen Grenzen führen. Das bedeutet, dass die im Rahmen dieses Projektes genannten 50 km durchaus sich in naher

Zukunft auch auf 100 km oder mehr verschieben können. Dies führt letztendlich zu einer defensiveren Ausbaustrategie für LIS.

Im Rahmen dieses Projektes werden Kunden in drei verschiedene Ladebedarf-Kategorien eingeteilt. Diese werden im Folgenden erklärt.

Nah (bis 20 km)

In der ersten Kategorie sind Kunden zu finden, die eine Strecke bis zu 20 km zum Standort zurücklegen. Dies ist in der Regel eine typische Strecke im Stadtverkehr. Beispielsweise könnte eine Person ihre Kinder zur Schule bringen oder zum Einkaufen fahren. Kunden, die sich in dieser Kategorie befinden, haben üblicherweise keinen dringenden Ladebedarf. Die zurückgelegte Strecke kann mehrmals gefahren werden, ohne dass der Akkumulator bis auf einen kritischen Wert entladen wird. Das Laden wird in diesem Fall nur dann genutzt, wenn ein Mitnahmeeffekt besteht.

Mittel (20 bis 50 km)

Die nächste Kategorie betrifft Kunden, die eine Strecke zwischen 20 und 50 km bis zu dem ausgewählten Standort zurücklegen. Diese Strecke könnte z.B. der Weg eines Arbeitnehmers zu seiner Arbeitsstätte sein. Die zurückzulegende Strecke wäre bei einer angenommenen einfachen Strecke von 50 km insgesamt 100 km lang. Aufgrund der Akkukapazität der Elektrofahrzeuge wäre es ggf. wünschenswert, an dem angefahrenen Ort laden zu können, da die Reichweite meist zwischen 100 und 400 km liegt.

Weit (mehr als 50 km)

Die letzte Kategorie beschreibt Kunden, die Strecken über 50 km zurücklegen. Dies können beispielsweise Personen sein, die einen weiten Arbeitsweg zurücklegen müssen oder aber auch Personen, die zu speziellen kulturellen oder sportlichen Veranstaltungen fahren möchten. Auch hier kann die Akkukapazität ein Problem werden, sodass die Möglichkeit einer Nachladung erforderlich ist.

Tabelle 4: Ladebedarf von Kunden

Nr.	Zurückgelegte Distanz	Beschreibung
1	< 20 km	Nah
2	20 – 50 km	Mittel
3	> 50 km	Weit

3.2.3 Definition von Kundenkategorien

Durch das Zusammenführen der beiden Kategorien *Verweildauer* und *Ladebedarf* wird eine Tabelle zur Definition von Kundenkategorien erstellt. Die Kundenkategorien werden mit den Buchstaben A bis E abgekürzt und im Folgenden beschrieben.

Tabelle 5: Kundenkategorien

Ladebedarf/ Verweildauer	< 20 km	20 - 50 km	> 50 km
< 20 min	D	D	A
< 180 min	E	C/ D/ E	C
< 6 h	E	E	C
> 6 h	B	B	B

Kundenkategorie A (Schnelllader, Fernreisende)

Kategorie A beschreibt Kunden, die eine kurze Verweildauer besitzen, aber einen definitiven Ladebedarf besitzen. Eine klassische Gruppe hierfür sind Fernreisende bzw. Durchreisende, die eigentlich nur zum Nachladen ihre Reise unterbrechen wollen und die Unterbrechung möglichst kurz ausfallen soll. Die Ladeleistung sollte mehr als 22 kW betragen. Typische Standorte für die Ladeinfrastruktur sind Autobahnraststätten oder Rastplätze an Schnellstraßen.

Eine Ausnahme könnten konzentrierte Schnelladepunkte sein, die vorrangig für Bewohner von Mehrfamilienhäusern ohne eigene Möglichkeit einer privaten Ladeeinrichtung erstellt werden. Eine kurze Einschätzung hierzu wird in der Zusammenfassung in Kapitel 0 gegeben.

Kundenkategorie B (Langzeitlader)

Kategorie B beschreibt Kunden, die länger als 6 Stunden an einem Ort verweilen und somit selbst bei geringeren Ladeleistungen von 3,7 kW bis 11 kW in dieser Zeit eine Reichweite von mehr als 100 km nachladen können. Bei einer grundsätzlichen Annahme von 22 kW ergeben sich rechnerisch Lademengen, die für heutige Elektrofahrzeuge für eine Vollladung ausreichen. Typische Vertreter dieser Kundenkategorie sind Anwohner,

die nachts zu Hause oder in der Nähe parken, Pendler an intermodalen Verknüpfungspunkten, Pendler am Arbeitsort, Touristen oder Besucher von Freizeiteinrichtungen mit längerer Aufenthaltsdauer (mind. einige Stunden, Tagesgäste) oder private Besucher.

Kundenkategorie C (Mittelzeitlader)

In dieser Kategorie ist ein Nachladen voraussichtlich erforderlich bzw. wünschenswert, ein Kunde nimmt touristische Angebote (Konzert, Theater, Museum) wahr, ist ein Besucher von Sportstätten und Freizeiteinrichtungen oder besucht Nahversorgungseinrichtungen. Die besuchten Einrichtungen müssen dabei eine so hohe Bedeutung aufweisen, dass sie auch für Personen mit einer weiteren Anreise als 50 km (weit) von Interesse sind.

Kundenkategorie D (Mitnahmeeffekt, Kurzzeit)

In dieser Kategorie geht es um einen Mitnahmeeffekt. Das Nachladen ist nicht unbedingt erforderlich, aber für Strecken von 20 - 50 km wünschenswert.

Kundenkategorie E (Mitnahmeeffekt, Mittelzeit)

In dieser Kategorie ist das Nachladen nicht erforderlich, die Zielgruppe hat Standzeiten von bis zu 6 Stunden und legt Strecken von weniger als 20 km bis zu 50 km zurück.

Ein Standort bzw. ein POI wird in den seltensten Fällen nur von einer Personengruppe besucht. Beispielsweise kann bei einem Krankenhaus eine Kundengruppe aus Besuchern bestehen (je nach Krankenhaus Kundenkategorie C oder D). Eine Kundengruppe besteht jedoch auch aus dem Personal des Krankenhauses (ggf. Kundenkategorie B). Daraus ergeben sich Kombinationen aus Kategorien, die für die Bewertung eines Standortes von Relevanz sind.

Im Rahmen dieser Studie werden für eine öffentliche LIS Ladesäulen mit bis zu 22 kW Ladeleistung angenommen. Gespiegelt auf die Kundenkategorien bieten sich diese Ladesäulen für ein öffentliches Laden für die Kundenkategorien B und C an. Die Kundenkategorie B wird hierzu im Folgenden *Langzeitlader*, die Kategorie C *Mittelzeitlader* genannt. Bei den anderen Kategorien handelt es sich entweder um Mitnahmeeffektlader (Kategorie D und E), auf deren Grundlage zumindest aus wirtschaftlichen Gründen keine Ladeinfrastruktur geplant werden sollte, oder um Fernreisende (Kategorie A), die eher

eine DC-Schnellladung erfordern und die Ladeeinrichtungen eher an Autobahnen und Schnellstraßen zu finden sind.

Der Fokus der weiteren Untersuchung liegt daher auf den Mittelzeit- (in der folgenden Tabelle hellgrün dargestellt) und Langzeitladern (in der folgenden Tabelle dunkelgrün dargestellt).

Tabelle 6: Zusammengefasste Kundenkategorien

Ladebedarf \ Verweildauer	Nah	Mittel	Weit
< 20 min	grau	grau	rot
< 180 min	grau	hellgrün	hellgrün
< 6 h	grau	grau	hellgrün
> 6 h	dunkelgrün	dunkelgrün	dunkelgrün

<p>Langzeitlader</p> <p>Nachladen bei langer Verweildauer möglich/ erforderlich (z. B. Berufspendler, Anwohner, Touristen)</p>
<p>Mittelzeitlader</p> <p>Nachladen innerhalb von wenigen Stunden erforderlich (z. B. Touristen, Besucher von diversen Einrichtungen)</p>

Fernreisende (in der obigen Tabelle rot dargestellt) und Mitnahmeeffektlader (in der obigen Tabelle grau dargestellt) stehen nicht im primären Fokus der Studie.

3.3 Weitere relevante Kriterien

Umfragen unter „Elektromobilisten“ haben ergeben, dass mehr als zwei Ladepunkte pro Standort existieren sollten, damit bei Anfahren eines Standortes und bei „Besetztsein“ eines Ladepunktes möglichst direkt ein anderer und hoffentlich freier Ladepunkt gewählt werden kann. Ein langwieriges Suchen nach ggf. noch freien Ladepunkten kann dadurch vermieden werden. Zwar existieren bereits Lösungen, mit denen der Parkraum insofern überwacht werden kann, ob ein Parkplatz belegt ist oder nicht. Diese Information kann

auch über mobile Apps an den Fahrer oder der Fahrerin eines Elektrofahrzeuges übermittelt werden. Allerdings erfolgt dies (noch) nicht flächendeckend. Eine Konzentration mehrerer Ladepunkte auf einen Standort scheint im Rahmen dieses Projektes daher als sinnvoll.

Diese Konzentration von mehreren Ladepunkten pro Standort ergibt sich in der Regel bei öffentlich zugänglichen Parkplätzen oder Parkhäusern bzw. Tiefgaragen. Bei den öffentlich zugänglichen Parkplatzflächen kann es sich sowohl um (kommunale) öffentliche Parkplätze/ Parkhäuser als auch um private, aber öffentlich zugängliche, Parkplatzflächen an Supermärkten, Baumärkten o.ä. handeln. Im Rahmen der folgenden Untersuchungen werden daher immer derartige öffentlich zugängliche Parkplatzflächen für die Positionierung von Ladesäulen priorisiert.

„Elektromobilisten“ priorisieren im öffentlichen Raum vor allem den Bedarf an Ladepunkten mit einer Ladeleistung von 22 kW, was auch als Grundlage in dieser Studie verwendet wird. [9]

Weitere Kriterien, die nicht in die Kategorisierung miteinfließen, welche aber durchaus bei der Bewertung von POI berücksichtigt werden müssen, werden in den folgenden Unterabschnitten näher erläutert. Es handelt sich hierbei um Kriterien, die einen Einfluss auf die Attraktivität des Standortes haben. Wohingegen die Festlegung einer Kundenkategorie auf Grundlage des POI weitestgehend automatisiert erfolgen kann, ist eine Betrachtung der im Folgenden genannten Kriterien durch manuelle Nacharbeit erforderlich. Zum einen liegen für eine automatisierte Beurteilung notwendige Daten nicht in entsprechender Form vor, zum anderen ist oftmals eine Betrachtung des geografischen Umfeldes des POI erforderlich, um ein Kriterium genauer beurteilen zu können.

Eine genauere Ortskenntnis kann dabei zu weiteren oder zu anderen Standorten für eine Ladeinfrastruktur führen, wenn z. B. eine besondere Attraktivität eines Standortes bekannt ist, was aus der reinen Kenntnis der Art eines Standortes nicht hervorgehen kann.

Anzahl der Ladepunkte und Stellplätze

Die Anzahl der Stellplätze bzw. Ladepunkte an einem potentiellen Standort ist entscheidend für die Attraktivität des POI. Je mehr Ladepunkte zur Verfügung stehen, desto eher tritt ein Kunde die Fahrt zu besagtem Standort an (s.o.). Eine zu geringe Anzahl bzw. keine verfügbaren Ladepunkte können eine abschreckende Wirkung auf Kunden haben.

Wichtig ist es daher, dass der potentielle Standort genügend Stellplätze für Ladeeinrichtungen zur Verfügung stellen kann. Zudem sollte sich der Standort in unmittelbarer Umgebung des jeweiligen POI befinden.

Anbindung an andere Verkehrsträger

Die Anbindung an andere Verkehrsträger fließt ebenfalls in die Bewertung eines Standorts mit ein. Ist der Standort sehr nah und verkehrsgünstig an einer starkbefahrenen Schnellstraße bzw. Autobahn, kann sich das sehr gut auf seine Attraktivität auswirken. Auch die Anbindung an den öffentlichen Personennahverkehr wird berücksichtigt. Standorte in der Nähe von Bahnhöfen etc. können Pendler sehr gut nutzen.

Anhäufung von POI

Liegen viele POI sehr dicht aneinander, wirkt es sich sehr günstig auf die Bewertung der Standorte aus. Eine hohe Flächendichte bewirkt ein hohes Kundenaufkommen und benötigt eine ausreichende Deckung des Ladebedarfs. Dieser Aspekt wird bei der in Abschnitt 3.4.4 beschriebenen Verwendung der sog. „Heatmaps“ berücksichtigt.

Integration in den Stadtraum

Befindet sich ein ausreichend großer Parkplatz in der Nähe von vielen POI wird dieser bei der Planung miteinbezogen. Es wird somit versucht, die Ladeinfrastruktur so gut wie möglich in den vorhandenen Stadtraum miteinzubeziehen.

Einschätzung der Möglichkeit

Es kann durchaus vorkommen, dass z.B. aus platztechnischen Gründen keine Ladesäulen an einem gegebenen Standort errichtet werden können. Überlegungen, inwiefern an einem Standort Ladeinfrastruktur gebaut werden kann, fließen ebenfalls in die Bewertung mit ein.

3.4 Vorgehensweise

Die Systematik der Identifikation von konkreten Standorten ist in der nachfolgenden Abbildung überblicksweise dargestellt.

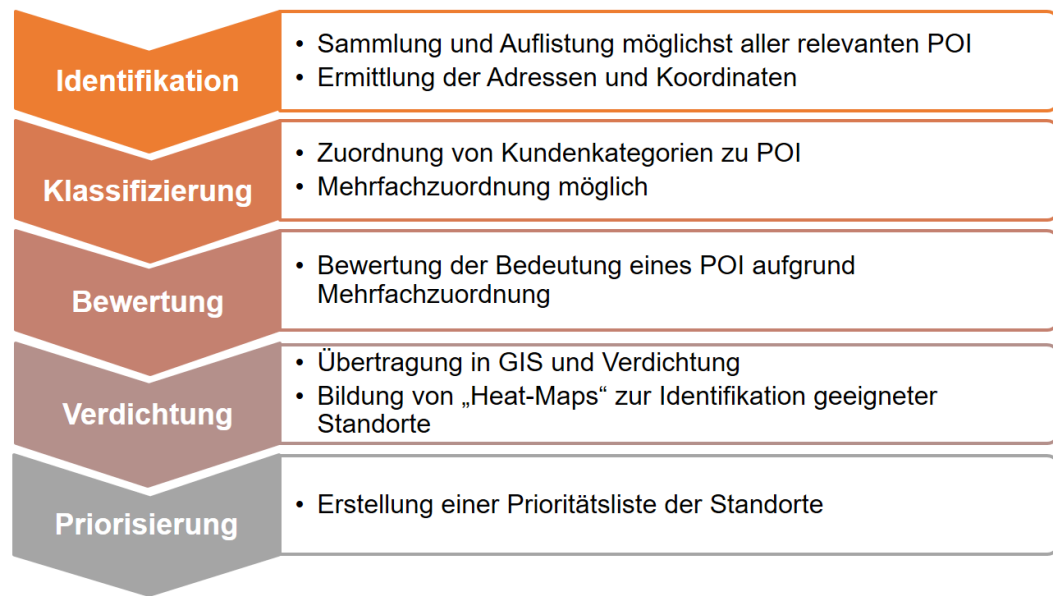


Abbildung 4: Vorgehensweise der Standortidentifikation

Zunächst werden in einem ersten Identifikationsschritt alle relevanten Points of Interests (POI) zusammengestellt und kategorisiert. Im Rahmen der Zusammenstellung werden weiterhin ggf. Adressdaten korrigiert und Geokoordinaten ergänzt.

Auf Basis der Kategorien der POI können den POI entsprechende Kundenkategorien zugeordnet werden, wobei ein POI durchaus für mehrere Kundenkategorien Relevanz besitzen kann. Die darauffolgende Bewertung aller POI erfolgt auf Basis der Mehrfachzuordnungen von Kundenkategorien. Im anschließenden Schritt werden die evaluierten POI in ein geographisches Informationssystem (GIS) übertragen und dort mithilfe von sogenannten „Heatmaps“ visualisiert. In den Heatmaps werden Anhäufungen von geeigneten Punkten farblich so gekennzeichnet, dass es in einem definierbaren Radius zu einer „großen Hitze“ und damit zu unterschiedlichen Farbtönen kommt. Durch eine entsprechende Wahl von geeigneten Radien und Überlagerung von POI lässt sich folglich identifizieren, in welchen Gebieten mehrere Ladepunkte installiert werden sollten.

Im letzten Schritt werden die ermittelten Gebiete genauer auf die Verfügbarkeit von öffentlich zugänglichen Parkplätzen untersucht, auf denen geeignete Ladestationen auffindbar sind. Aus diesem Grund wurden parallel zur Identifikation der potentiellen Standorte Parkplätze gesucht, die in einer zumutbaren fußläufigen Umgebung liegen. In den folgenden Abschnitten wird das soeben beschriebene Vorgehen näher erläutert.

3.4.1 Identifikation potentieller Standorte

Die Identifikation potentieller Standorte für Ladestationen erfolgt durch Sammlung und Auflistung möglichst aller relevanten POI in den definierten Stadtgebieten. Als Quelle für die Definition der POI dienen Websites der Gemeinde und Städten zur Ermittlung von z. B. öffentlichen Einrichtungen, Freizeiteinrichtungen, touristischen Angeboten, weitere Register sowie Google-Maps. Insgesamt sind für den Kreis Soest auf diese Weise mehr als 3.400 POI aus verschiedenen Quellen identifiziert worden, die den beteiligten Gemeinden und Städten in Form von CSV- bzw. Excel-Dateien (inkl. der Geokoordinaten) zur Verfügung gestellt werden.

Zur Ermittlung der geographischen Koordinaten wird für jeden einzelnen POI die genaue Adresse (d.h. Straße, Hausnummer, Ort und Postleitzahl) bestimmt und ggf. korrigiert. Die Koordinatendaten werden mittels OpenStreetMap ermittelt, sodass sie in einem späteren Schritt in ein geographisches Informationssystem (GIS) übertragen werden können.

3.4.2 Klassifizierung der Points of Interest

Unter der Voraussetzung einer möglichst hohen Auslastung eines Ladepunktes ist zu untersuchen, welche Kundenkategorien an welchen Standorten zu erwarten sind. Hierzu ist in einem vorangehenden Schritt eine Kategorisierung der Standorte hilfreich, um direkt aus einer Standortkategorie eine Kundenkategorie abzuleiten. Standortkategorien sind beispielsweise Bahnhof, Café, Feuerwehr, Freibad, Freizeit, Friedhof, Gaststätte, Hotel, Bildungseinrichtungen, Kindergarten etc. Dabei wird versucht, Einrichtungen so weit wie möglich zusammenzufassen, sofern identische Kundenbedürfnisse ableitbar sind. Die einzelnen Begriffe der Kategorien dienen der Beschreibung der Kategorien, die genaue Wortwahl ist hierbei nicht entscheidend. Wichtiger ist die Einschätzung der Verweildauern, des Ladebedarfs und der daraus abgeleiteten Kundenkategorie. Die gewählten ca. 70 Standortkategorien sind im Anhang A aufgeführt. Im Rahmen des Projektes

für den Kreis Soest lassen sich diese zu folgenden Hauptkategorien zusammenfassen (vgl. Anhang A).

- Bildung
- Einkaufszentrum
- Fachmärkte
- Freizeit und Naherholung
- Hotel und Gastronomie
- Kultur
- Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
- Nahversorgung
- Öffentliche Einrichtungen und Dienstleistungen
- Religiöse Einrichtungen
- Soziale Einrichtungen
- Sport
- Verkehr

Die Klassifizierung der individuellen POI erfolgt nach den definierten Standort- und somit auch Kundenkategorien. Trotz dieser generellen Zuordnung der Kundenkategorien zu Standortkategorien ist bei genauerer Ortskenntnis ggf. eine Anpassung individueller POI erforderlich, da teilweise die Standortkategorie nicht ausreicht, um einen individuellen Standort zu beurteilen. Beispielsweise ist für eine ortsfremde Person aus dem Projektteam bei einem Facharzt oder Gaststätte nicht ersichtlich, ob das Einzugsgebiet des Facharztes oder der Gaststätte über eine Grenze von über 50 Kilometern erstreckt. Insofern sind im Projekt generelle Annahmen getroffen worden, die in Einzelfällen bereits angepasst wurden.

3.4.3 Bewertung der Points of Interest

Da ein POI in der Regel von mehreren Kundenkategorien besucht wird, ergeben sich abgrenzbare Kombinationen von Kundenkategorien (Mischkategorien).

Für die weitere Betrachtung sind die Kundenkategorien B und C (Mittel- und Langzeitlander) von Bedeutung. Folgende Standortkategorien ergeben sich für diese Kundengruppen als relevant:

- Augenheilkunde
- Anästhesie

- Bahnhof
- Bildung
- Café
- Campingplatz
- Chirurgie
- Dialysezentrum
- Einkaufszentrum
- Feuerwehr
- Freibad/Hallenbad
- Freizeit
- Freizeit und Erholung
- Gastronomie
- Gefängnis
- Gesundheitszentrum
- Haut- und Geschlechtskrankheiten
- Hotel
- Kieferorthopädie
- Kinder- u. Jugendlichen-Psychotherapie
- Kinder- und Jugendmedizin
- Kindertageseinrichtung
- Krankenhaus
- Kultur
- Medizinisches Versorgungszentrum
- Möbelhaus
- Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie
- Museum
- Neurochirurgie
- Neurologie und Psychiatrie
- Parks
- Pflegeheim
- Physikalische und Rehabilitative Medizin
- Polizei
- Physiotherapie
- Radiologie
- Raststätte

- Reha
- Sport
- Strahlentherapie
- Therapiezentrum
- Veranstaltung
- Verwaltung

3.4.4 Verdichtung

Die ermittelten und zugeordneten POI werden in ein GIS übertragen. Eine Übersicht aller ermittelten POI ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Ein roter Punkt stellt jeweils einen identifizierten POI dar.

Hinweis: Die im Folgenden aufgeführten Abbildungen stellen nur exemplarisch die Umsetzung der Daten in einem GIS dar und beziehen sich nicht auf eine konkrete Gemeinde oder Stadt.

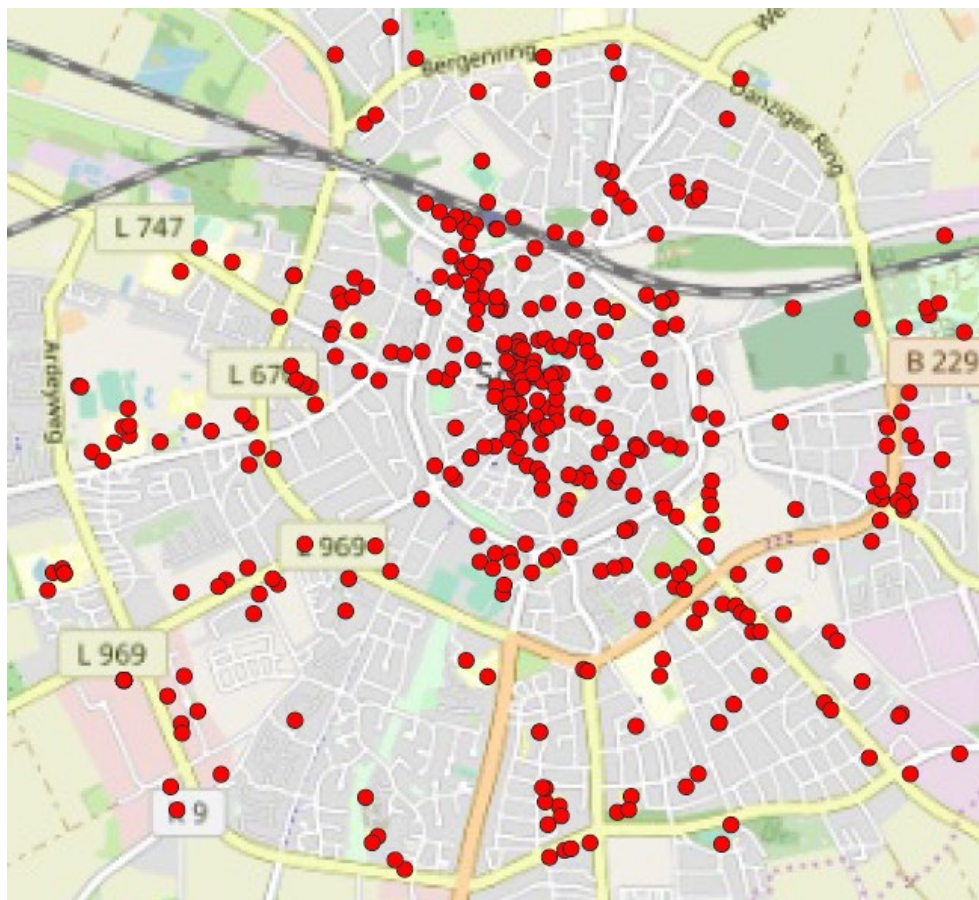


Abbildung 5: Beispielhaft ermittelte POI

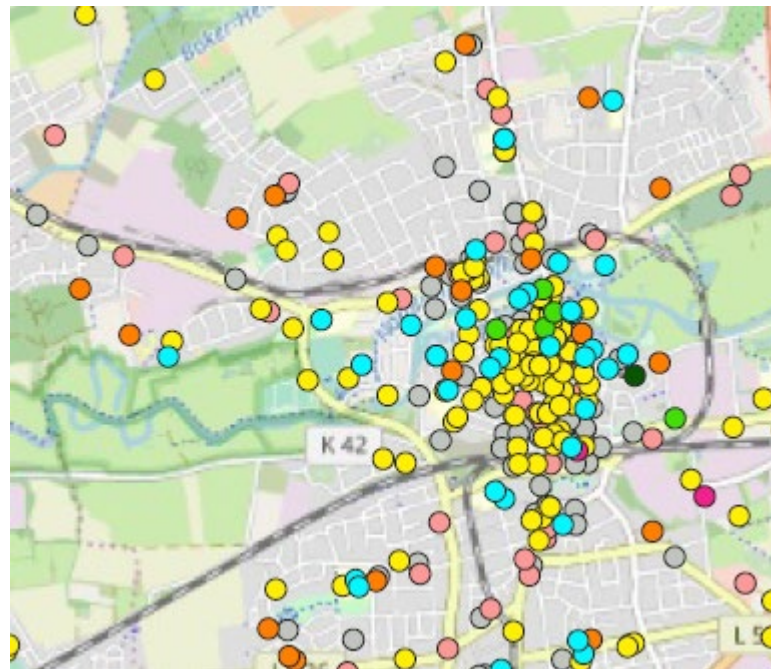


Abbildung 6: Eingruppierung in Mischkategorien in GIS

Aus der Karte aus Abbildung 5 mit allen POI werden die Mischkategorien in die Karte eingetragen. Für jede Mischkategorie wird eine andere Farbe gewählt. Anhand der Karte zeichnen sich erste Ballungsräume ab. Weiterhin ist zu erkennen, dass die Mischkategorien räumlich unweit voneinander getrennt sind und häufig in den urbanen Bereichen vorkommen (vgl. Abbildung 6).

Um zwischen den Mischkategorien Verbindungen herzustellen, werden Puffer eingefügt. Diese Puffer haben einen Durchmesser von 100 Meter. Mit Hilfe dieser Puffer ist es möglich, die Einzugsgebiete der POI abzubilden und Schnittpunkte unter den Mischkategorien herauszufinden. Auf Basis dieser Schnittpunktanalyse können Bereiche mit besonderer Bedeutung kenntlich gemacht werden.

Ein genauere Blick auf die Mischgebiete ermöglicht eine genauere Erkennung der Puffer und die Überschneidungen der Mischkategorien sowie von Hotspots. Hot Spots bilden sich durch eine Häufung von POI in einem bestimmten Bereich und aus Überschneidungen von den Pufferumkreisen der Mischkategorien.



Abbildung 7: Heatmap

In der in Abbildung 7 gezeigten Heatmap wird anhand der dunkelroten Bereiche deutlich, in welchen Gebieten es zu einer geballten Anhäufung von POI und somit von verschiedenen bewerteten Mischkategorien kommt. Auch die hellroten Gebiete zeigen Regionen, in denen vermehrt Mischkategorien vorkommen.

Diese Heatmaps geben einen ersten groben Überblick darüber, in welchen Gebieten ein oder mehrere Ladepunkte installiert werden sollten. Ein genauere Blick auf einen Gemeinde- oder Stadtteil ermöglicht eine präzisere Begutachtung der einzelnen Hot Spots.

3.4.5 Priorisierung der Standorte

Mit Hilfe der Schnittpunktanalyse, der Heatmap und der in Abschnitt 3.3 genannten weiteren Kriterien werden in einem nächsten Schritt Bereiche ermittelt, in denen eine Ladestation benötigt wird. In diesen Bereichen wird nach geeigneten, öffentlich zugänglichen Parkplätzen gesucht, die dann in das GIS eingetragen werden. Die nächste Abbildung zeigt beispielsweise ermittelte Parkplätze.

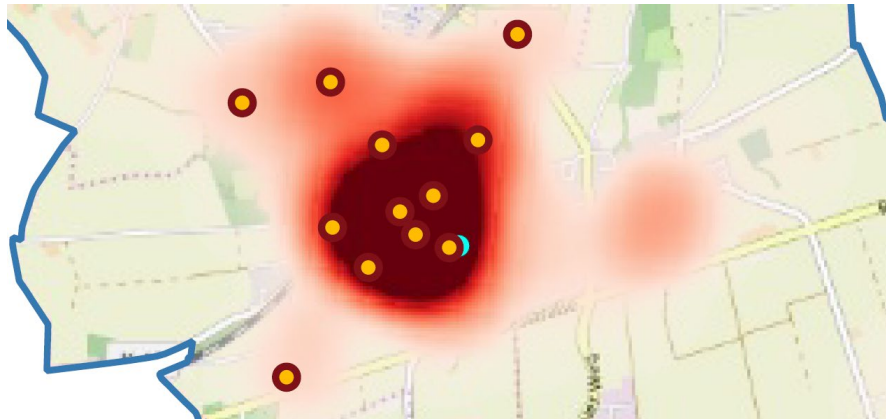


Abbildung 8: Heatmap mit ermittelten öffentlich zugänglichen Parkplätzen

Bei der Ermittlung der geeigneten Parkplätze wird darauf geachtet, dass diese bestmöglich zugänglich sind, um eine schlechte Auslastung der Ladeinfrastruktur zu vermeiden. Daher sollte die Errichtung von Ladesäulen möglichst nicht auf Parkplätzen am Straßenrand von Wohngebieten erfolgen. Die Parkplätze sollten zentral liegen, damit viele Kunden aus verschiedenen Mischkategorien die Ladeinfrastruktur nutzen können. Für die An- und Abfahrt der ausgewählten Parkplätze sollten dem Kunden keine längeren Umwege zugemutet werden. Einbahnstraßen oder Straßen mit Wende- und Abbiegeverboten sollten möglichst vermieden werden. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass bestimmte Abstände z.B. zu Radwegen oder Briefkästen eingehalten werden.

Um den Kunden die Sorge zu nehmen, keinen geeigneten Ladepunkt vorzufinden, ist das Errichten einer ausreichenden Anzahl an Ladesäulen wichtig. Bei der Wahl der Parkplätze muss daher darauf geachtet werden, dass die Ladeinfrastruktur bei einem erhöhten Bedarf an diesem Standort weiter ausgebaut werden kann. Gleichzeitig sollte bei der Planung der Ladepunkte, gerade im Bereich des Markthochlaufs, darauf geachtet werden, dass nicht allzu viele individuelle Standorte mit einzelnen Ladesäulen existieren, sondern eher zentrierte Standorte mit mehreren Ladesäulen.

Wichtig ist auch, dass die Kunden den jeweiligen POI gut fußläufig erreichen können. Hierbei ist festzuhalten, dass der zumutbare Bereich aus Sicht der Kunden sehr unterschiedlich bewertet werden kann. In diesem Bericht wird von einer Entfernung von 150 Metern und von 300 Metern ausgegangen. In diesem Umkreis sollte eine Lademöglichkeit bereitgestellt werden. Somit ist die Platzierung nicht an einen Punkt gebunden, sondern es wird empfohlen, in dem jeweiligen Kreis einen Ladepunkt zu platzieren.

Die nächsten beiden Abbildungen zeigen die ermittelten öffentlich zugänglichen Parkplätze mit einer 150 Meter und mit einer 300 Meter Pufferung.

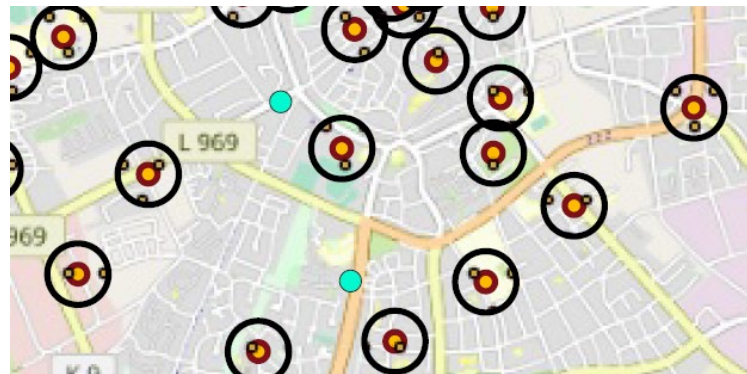


Abbildung 9: Öffentlich zugängliche Parkplätze mit einer 150 Meter Pufferung



Abbildung 10: Öffentlich zugängliche Parkplätze mit einer 300 Meter Pufferung

Anhand Abbildung 9 und Abbildung 10 lassen sich Überschneidungen der als zumutbar angegebenen Bereiche erkennen. Aufgrund dieser Tatsache ist es möglich, für bestimmte Bereiche einen zentralen Standort festzulegen. Durch diese Maßnahme lässt sich die Anzahl der benötigten Standorte verringern.

Um die Ladeinfrastruktur bedarfsgerecht aufzubauen, ist eine priorisierte Festlegung der ermittelten Standorte zu empfehlen. Für einige der größeren Gemeinden und Städte sind daher weitere Standorte priorisiert worden.

Kernaussagen

- Die meisten Ladevorgänge werden heute und in Zukunft durch privates Laden zu Hause oder am Arbeitsplatz vorgenommen.
- Der Ausbau öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur kann in den Gemeinden und Städten unterschiedlich motiviert sein.
- Öffentlich zugängliche Ladepunkte werden bei konkretem Bedarf oder bei einem „Mitnahmeeffekt“ genutzt.
- Das Laden sollte auf öffentlich zugänglichen Parkplatzflächen stattfinden. Es ist vorteilhafter, an einem Standort mehrere Ladepunkte zur Verfügung zu stellen als in der Nähe einen weiteren neuen Standort zu definieren.
- Bei den im Rahmen des Projektes berücksichtigten Ladeeinrichtungen wird standardmäßig eine Leistung von 22 kW angenommen, ein kurzfristiges Nachladen mit hoher Leistung (≥ 50 kW) ist in der Regel nur an Fernstraßen und Autobahnen notwendig.
- Zur Ermittlung relevanter Standorte für eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur ist eine Untersuchung der potentiellen Kunden sinnvoll. Diese lassen sich im Wesentlichen aus der Verweildauer und dem Ladebedarf ableiten.
- Für den Kreis Soest wurden ca. 3.400 Points of Interest identifiziert. Aus einer Zuordnung von Kundenkategorien, Verdichtung der Kategorien und Bildung von räumlichen Puffern ergeben sich ca. 230 geeignete Standorte für eine öffentliche Ladeinfrastruktur.

4 Technische Bewertung potentieller Standorte

Nach der Ermittlung potentiell interessanter Standorte aus Kundensicht wird im nachfolgenden Schritt eine Analyse hinsichtlich der technischen Machbarkeit durchgeführt. Bei dieser Untersuchung stehen vor allem die bestehende Netztopologie, die im Netz verwendeten Betriebsmittel sowie die Ladeleistung der geplanten Ladesäulen im Mittelpunkt. Dabei werden in diesem Kapitel zunächst die jeweiligen Ladeleistungen beschrieben, welche auf dem Markt vorzufinden sind. Im nächsten Schritt werden dann die vorzufindenden Netztopologien sowie die in den untersuchten Netzabschnitten eingesetzten relevanten Betriebsmittel aufgeführt. Im Rahmen einer Simulation anhand eines fiktiven repräsentativen Netzausschnittes wird abgeschätzt, ab welcher kritischen Anzahl von Elektrofahrzeugen ein Netzausbau und somit Investitionen in die Infrastruktur unabdingbar werden.

Für die Abschätzung der Belastung eines Kabels sowie eines Netzausschnittes, bei dem in der Regel der speisende Transformator einen Engpass darstellen kann, wird ein einfaches Excel-Werkzeug erstellt. Mithilfe dieses Werkzeuges können erste Einschätzungen hinsichtlich der technischen Machbarkeit einer Ladesäuleninstallation getroffen werden.

4.1 Verfügbare und zukünftige Ladeleistungen

Bei den Ladeleistungen muss zum einen unterschieden werden, welche Leistungen von den Ladeeinrichtungen angeboten. Zum anderen ist festzuhalten, dass viele Fahrzeuge (noch) nicht in der Lage sind, die angebotene Leistung von 22 kW (AC) tatsächlich zu laden. Trotzdem besteht für den Normalladebetrieb die Empfehlung, in naher Zukunft eine Ladeinfrastruktur genau mit 2 x 22 kW-Ladesäulen auszustatten.

4.1.1 Ladebetriebsarten

Folgende unterschiedliche, standardisierte Ladebetriebsarten (Modes) kommen in Europa zum Einsatz:

Tabelle 7: Ladebetriebsarten [10]

Ladebetriebsart	Beschreibung
Mode 1	Wechselstromladen (AC) an Haushaltssteckdose mit 3,7 kW („Notladung“) Keine Kommunikation mit Fahrzeug
Mode 2	Ein- oder dreiphasiger Wechselstrom (AC) mit Steuereinrichtung im ICCB-Ladekabel (Mode 2- Ladekabel) Ladeleistung bei dreiphasigem Wechselstrom (32 A) bis zu 22 kW
Mode 3	Ein- oder dreiphasiger Wechselstrom (AC) an fest installierten Ladestationen (z. B. öffentlichen Ladeeinrichtungen) Steuereinrichtung in Ladestation Übliche Ladeleistung 22 kW (bei 63 A bis zu 43,5 kW möglich)
Mode 4	Gleichstrom (DC) an fest installierten Ladestationen (z. B. öffentlichen Ladeeinrichtungen) Steuereinrichtung in Ladestation Ladeleistung derzeit bis 170 kW möglich (bis \geq 350 kW geplant)

4.1.2 Ladeschnittstellen und Steckertypen

Derzeit werden im Wesentlichen drei standardisierte Ladeschnittstellen bzw. Steckertypen unterschieden:

In Europa wurde der Typ-2-Stecker als Norm für das Laden mit Wechselstrom festgelegt. Beim Laden mit Gleichstrom gibt es keine einheitliche Lösung. Der Typ-2-Stecker ist dafür zwar auch nutzbar, jedoch ermöglicht dieser nur eine Ladeleistung von max. 38 kW. Sollen höhere Leistungen erzielt werden, muss auf CCS umgestiegen werden. Dieser Standard soll für Fahrzeuge in Europa und den USA zum Einsatz kommen. Dafür wird der sogenannte Combo-2-Stecker benutzt. Es handelt sich dabei um einen Typ-2-Stecker mit zwei zusätzlichen „High-Power-DC-Charging Pins“. Voraussetzung ist eine fahrzeugseitige CCS-Ladedose, die häufig nur optional angeboten wird. Im asiatischen Raum wird der CHAdeMO-Stecker favorisiert.

Tabelle 8: Steckertypen [11]

Modell	Max. Ladeleistung	Stromart
Typ-1-Stecker	7,4 kW (230 V, 32 A)	Wechselstrom (einphasig)
Typ-2-Stecker	22 kW (400 V, 32 A) 43,5 kW (400 V, 63 A)	Wechselstrom (einphasig und dreiphasig)
CCS (Combined Charging System)	38 kW – 170 kW	Wechselstrom und Gleichstrom
CHAdeMO	bis zu 100 kW	Gleichstrom
Tesla-Super-Charger	bis zu 120 kW	Gleichstrom

Für die Untersuchung öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur, die sich nicht an Fernstraßen und Autobahnen befindet, wird im Rahmen dieser Studie einheitlich von Ladesäulen mit je zwei Ladepunkten à 22 kW Ladeleistung mit CCS-Anschluss ausgegangen.

Trotz der mittlerweile hohen Leistungen der Ladesäulen kann längst nicht jedes Elektroauto die komplette Ladeleistung verwenden. In der folgenden Tabelle sind die neun beliebtesten Elektrofahrzeuge in Deutschland mit ihrer zugehörigen maximal möglichen Ladeleistung zu sehen. Auffällig ist, dass die meisten derzeitig erhältlichen Elektrofahrzeuge nur sehr geringe Ladeleistungen ermöglichen.

Tabelle 9: Deutschlands beliebteste Elektrofahrzeuge und ihre maximal möglichen Ladeleistungen

Auto	Ladeleistung (in kW AC) ⁴	Ladeleistung (in kW DC)
Renault Zoe	3,7 – 22 43 bei anderen Modellen	
VW e-Golf	3,7 – 7,4 11*	40*

⁴ * = optional gegen Aufpreis

Auto	Ladeleistung (in kW AC) ⁴	Ladeleistung (in kW DC)
Smart EQ fortwo	3,7 – 4,6 22*	
BMW i3	2,7 – 11	50
Kia Soul EV	3,7 - 6,6	50
Nissan Leaf	3,7 – 6,6	50
Hyundai Ioniq	3,7 – 6,6	70
Tesla Model s	2,5 -11 (22*)	145
VW e-Up	2,3 – 3,6	40

In Zukunft sollen die möglichen Ladeleistungen jedoch stetig erhöht werden. Die folgende Tabelle zeigt einige bald auf den Markt kommende Elektrofahrzeuge und ihre möglichen Ladeleistungen.

Tabelle 10: Neu auf den Markt kommende Elektrofahrzeuge und ihre maximal möglichen Ladeleistungen

Auto	Ladeleistung (in kW AC)	Ladeleistung (in kW DC)
Audi e-tron	3,7 – 11 (22*)	150
Mercedes EQC	7,4	110
e.GO Life	3,7 – 11	
Tesla Model 3		150
Sono Sion	3,7 – 22	50

4.2 Netzinfrastuktur

Bei der netztechnischen Betrachtung der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur spielen vor allem die Mittel- und Niederspannungsebene eine zentrale Rolle. Dies sind die Spannungsebenen, welche in ländlichen und urbanen Strukturen vorliegen und für die Anbindung der gewählten Ladeeinrichtungen infrage kommen. Zur Beurteilung der technischen Realisierbarkeit spielt die Netztopologie eine entscheidende Rolle.

4.2.1 Netztopologie

Für eine technische Betrachtung ist es empfehlenswert, galvanisch zusammenhängende Einheiten einer Spannungsebene als Netz zu bezeichnen. Dabei bilden die Transformatoren als physisches Element die Netzgrenzen.

Die Struktur der Verteilnetze ist maßgeblich von der vorliegenden Lastdichte im jeweiligen Netzgebiet abhängig. Diese Lastdichte gibt die Summe aller Lasten, bezogen auf eine Fläche, an. In ländlichen Regionen ist die Lastdichte meist niedriger, gerade in dünn besiedelten Wohngebieten, weshalb hier bevorzugt Strahlennetze zum Einsatz kommen. Diese Netzform besteht aus verzweigten Leitungen, welche durch eine gemeinsame Umspann- bzw. Ortsnetzstation versorgt werden. Ein Nachteil ist hierbei die vergleichsweise geringe Ausfallsicherheit bzw. die deutliche Abhängigkeit der Spannungsbeträge von der Last.

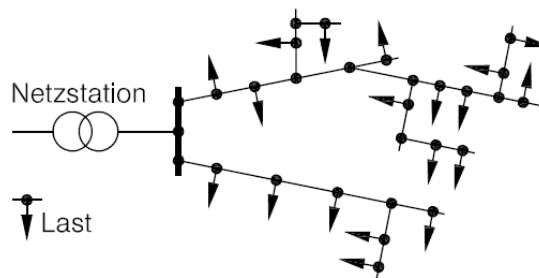


Abbildung 11: Strahlennetz ([12], S. 83)

Bei höheren Lastdichten, wie sie in urbanen Gebieten und Ballungsräumen vorkommen, werden komplexere Strukturen verwendet. In diesen Regionen kommen meist offene Ringstrukturen oder auch verzweigte Ringstrukturen zum Einsatz. Diese Netzformen weisen bereits eine höhere Sicherheit, verglichen mit einem reinen Strahlennetz, auf.

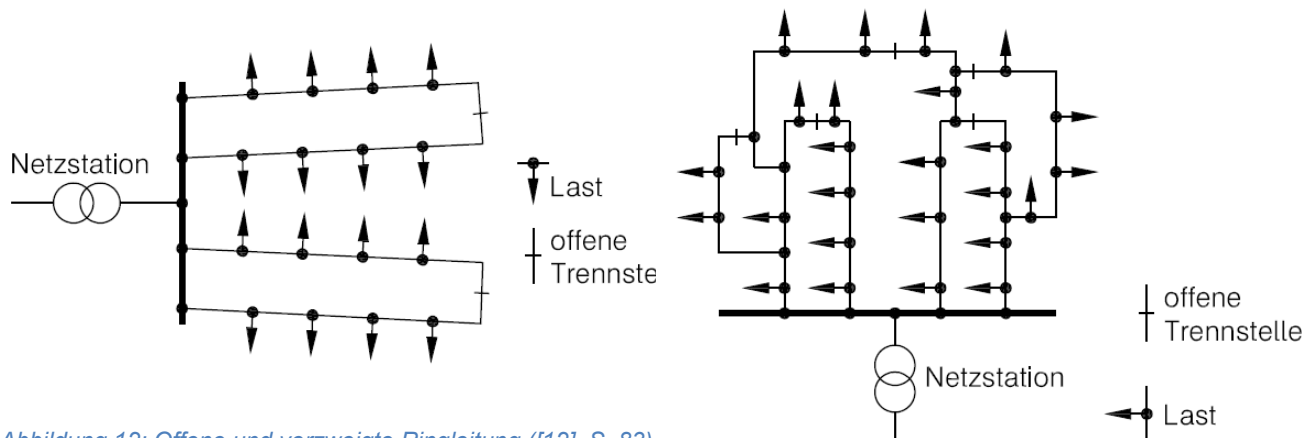


Abbildung 12: Offene und verzweigte Ringleitung ([12], S. 83)

Bei weiter verzweigten Netzen mit mehreren Einspeisungen und somit Maschennetzen ist die Mehrzahl der vorhandenen Trennstellen im normalen Betriebsfall geschlossen. Maschennetze werden ab einer Lastdichte von etwa 5 MVA/km² eingesetzt. Die vorteilhaften Eigenschaften sind hohe Versorgungssicherheiten, konstante Spannungsverläufe sowie niedrige Netzverluste [12].

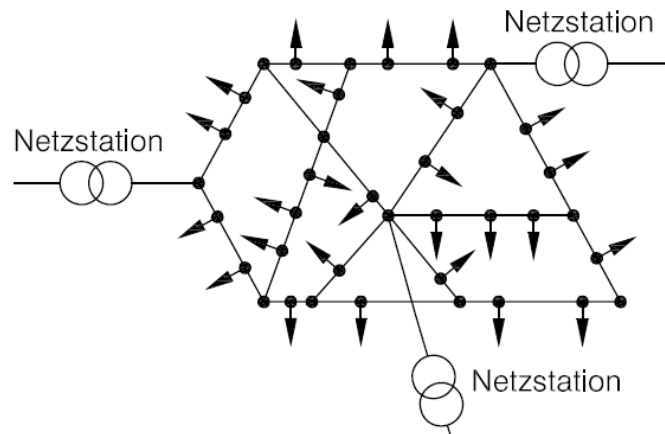


Abbildung 13: Maschennetz [12]

In den zur Verfügung gestellten und beispielhaften Netzdaten im Kreisgebiet konnten diese Strukturen gemäß den Beschreibungen vorgefunden werden.

4.2.2 Kabelquerschnitte und Kabeltypen

Ebenso wie die Spannungsebene und die Netztopologie haben die verwendeten Kabel einen entscheidenden Einfluss darauf, ob eine Ladesäule in einem bestimmten Bereich installiert werden kann. Im Rahmen dieser Studie wurden die Netzpläne einzelner Kommunen untersucht, um so Gemeinsamkeiten und Analogien herauszuarbeiten. Dieser Schritt ist essentiell für die nachfolgenden Kapitel, da die hier gesammelten Erkenntnisse als Grundstein für die weiteren Berechnungen dienen.

4.2.2.1 Hausanschlüsse

Bei gewöhnlichen Hausanschlusskabeln liegen im Normalfall Querschnitte in der Größenordnung von ca. 25 mm² bis 35 mm² vor, vereinzelt liegen aber auch Querschnitte in Höhe von 50 mm² vor. Als Leitermaterialien kommen Kupfer und Aluminium zum Einsatz. Beispielhafte, häufig in den untersuchten Netzstrukturen vorkommenden Kabeltypen werden in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 11: Kabeltypen - Hausanschlüsse

Kabeltyp	Leitermaterial	Querschnitt
NY Y	Kupfer	4x25 mm ²
		4x35 mm ²
NA2XY	Aluminium	4x25 mm ²
		4x35 mm ²
NYCWY	Kupfer	3x25 mm ²
NAYY	Aluminium	4x50 mm ²

4.2.2.2 Nieder- und Mittelspannung

Anders als bei den Hausanschlüssen wird bei den eingesetzten Kabeln im Nieder- und Mittelspannungsnetz auf größere Querschnitte von bis zu 240 mm² gesetzt. Zusätzlich bestehen nahezu alle Leiter aus Aluminium und nicht mehr aus Kupfer. Durch die größer gewählten Querschnitte können folglich höhere Lasten oder weitere Netzabschnitte an ein Kabel angeschlossen werden, bevor dieses überlastet ist. Größtenteils bestimmen Kabel mit Kunststoffisolierungen (bspw. PVC) das Bild in der Nieder- und Mittelspannungsebene. Vereinzelt sind in den untersuchten Netzabschnitten auch ältere, in Öl getränkte Kabel (*NAKBA*) vorzufinden, wie die folgenden Tabellen verdeutlichen.

Tabelle 12: Aluminium-Kabeltypen – Niederspannung

Kabeltyp	Vorhandene Querschnitte
NAKLY	3x95 mm ²
NA2XY	4x95 mm ²
	4x150 mm ²
NAKBA	95 mm ²
NAYCWY	3x95 mm ²
	3x120 mm ²

Tabelle 13: Kabeltypen - Mittelspannung

Kabeltyp	Querschnitt
NA2XS2Y	3x1x150 mm ²
NA2XS(F)2Y	3x1x150 mm ²
	3x1x240 mm ²
NAKBA	3x95 mm ²
	3x185 mm ²
	3x1x240 mm ²

Kabeltyp	Vorhandene Querschnitte
	3x185 mm ²
NA2XY-J 4x150	4x150 mm ²

Für den Anschluss von Sonderkunden werden beispielhafte folgende Anschlusskabel verwendet:

Tabelle 14: Kabeltypen - beispielhafte Einrichtungen

Einrichtung	Spannungsebene	Kabeltyp
Kläranlage	Mittelspannung	NA2XS(F)2Y 3x1x240
Supermarkt	Niederspannung	NAYCWY 3x185/185
Energieintensive Industrie	Mittelspannung	NA2XS(F)2Y 3x1x240
Soziale Einrichtung – Pflegeheim	Mittelspannung	NAKBA 3x95
	Niederspannung	NYCWY 3x35/35
Schule	Niederspannung	NYY 3x35/35
(Gemeinde-) Bahnhof	Niederspannung	NYCWY 3x35/35

Vor allem leistungsstärkere Einrichtungen sind an das Mittelspannungsnetz angeschlossen. Bei Supermärkten oder auch Schulen reichen in der Regel die Niederspannungsebene und vergleichsweise geringe Kabelquerschnitte aus, um den Leistungsbedarf zu decken.

An jene Standorte, welche an das Mittelspannungsnetz angeschlossen sind, können in der Regel ein bis zwei Ladesäulen installiert werden, ohne dass weitere Anpassungen vorzunehmen sind. Trotzdem empfiehlt sich auch hier eine individuelle Prüfung durch den Netzbetreiber.

Im Niederspannungsnetz sollte stets im ersten Schritt überprüft werden, ob aus technischer Sicht die Installation einer Ladesäule möglich ist. Diese Überprüfung liegt folglich auch im Fokus des *technischen Ladesäulenkonzeptes*.

4.2.3 Transformatoren

Transformatoren gehören als Kupplungselemente der verschiedenen Spannungsebenen zu den Grundelementen eines elektrischen Versorgungsnetzes. Für die technische Analyse hinsichtlich der Implementierung von Ladesäulen ist die Bemessungsscheinleistung relevant, welche die dauerhaft zulässige Belastung eines Transformators angibt.

Hierbei dominieren bei den zur Verfügung gestellten Netzdaten drei Werte die Netztopologie: 250 kVA, 400 kVA und 630 kVA.

4.3 Integration der Ladeinfrastruktur und Gleichzeitigkeit

Die Gleichzeitigkeit, d. h. im vorliegenden Kontext der Anteil der gleichzeitigen Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen, spielt für die technische Betrachtung eine zentrale Rolle. Zu dem Zeitpunkt bzw. Zeitabschnitt, zu dem die maximale Anzahl an Elektrofahrzeugen in einem betrachteten Netzausschnitt gleichzeitig lädt, besteht die die maximale Gleichzeitigkeit und die damit verbundene Lastspitze. Hinsichtlich dieser Lastspitze ist zu prüfen, ob die gegebene Infrastruktur diesen Leistungsbedarf decken kann. Zusätzlich zu diesen Lastspitzen der Elektromobilität sind auch die Lastspitzen von weiteren Verbrauchern, wie bspw. Haushalte interessant. Aus einem Szenario, welches aus Elektromobilitäts- und aus Haushaltslasten besteht, stammt beispielsweise folgendes Schaubild.

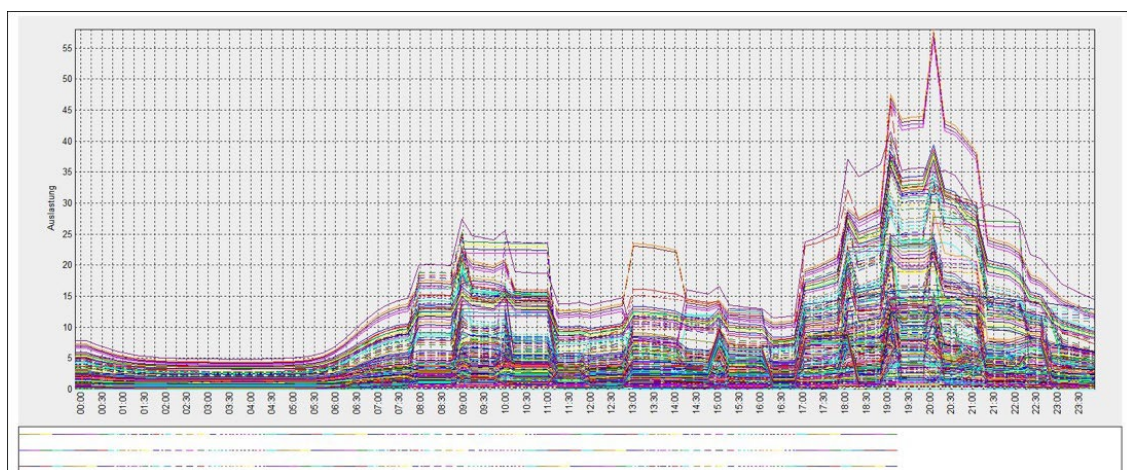


Abbildung 14: Zeitliche Belastung von Netzelementen bei Elektromobilitäts- und Haushaltslasten

In Abbildung 14 wird deutlich, dass die maximale Belastung für die Betriebsmittel um 20:00 Uhr vorliegt und das Netz folglich nach dieser maximalen Belastung untersucht oder auch dimensioniert werden muss.

Für die technische Implementierung von Ladesäulen in die vorhandene Netzstruktur sind im Wesentlichen die Belastbarkeit sowie bspw. die Spannungshaltung im Netz zu prüfen. Die dafür nötige Untersuchung der technischen Machbarkeit geschieht dabei meist mithilfe von Netzberechnungsprogrammen. Im Folgenden wird untersucht, wie an einer typischen und beispielhaften Netzstruktur unter Berücksichtigung der Kabeltypen und Transformatoren der zur Verfügung gestellten Netzdaten die Auswirkungen einer erhöhten Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen zu bewerten sind.

4.4 Simulationsbeispiel

Im Folgenden wird im Rahmen dieses Berichts ein Simulationsbeispiel aufgezeigt, welches die kritische Anzahl von Ladepunkten in einem Netzausschnitt eines typischen, beispielhaften Niederspannungsnetzes mit vorwiegend ländlicher Struktur abschätzen soll. Eine kritische Anzahl von Ladepunkten für ein Versorgungsnetz liegt dann vor, wenn durch die gleichzeitigen Ladevorgänge erste Betriebsmittel im Netz überlastet sind oder das vereinbarte Spannungsprofil nicht mehr eingehalten wird.

Ziel dieser Simulation ist daher, unter Annahme möglichst realer Verteilungen von Ladestationen in einem zeitlich ungünstigen Fall – d.h. wenn ziemlich viele Lasten gleichzeitig vorliegen – abzuschätzen, wie viele Ladevorgänge und damit Ladepunkte der bestehende Netzausschnitt gleichzeitig „vertragen“ könnte. Hierzu wird ein beispielhafter Netzabschnitt einer Gemeinde mit vorwiegend ländlicher Struktur und folglich dominierender Wohnbebauung in eine Netzplanungssoftware implementiert. Insgesamt befinden sich 220 einzelne Haushaltslasten in diesem Modell wieder (jeweils ein Knotenpunkt).

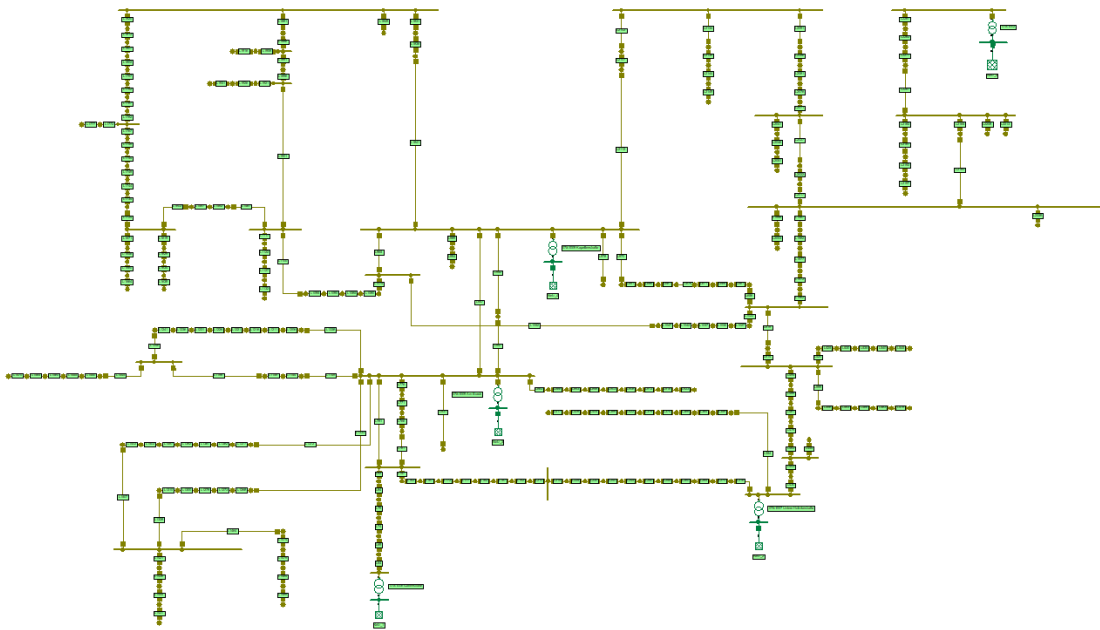


Abbildung 15: Beispielhafter Netzausschnitt

4.4.1 Modellierung der benötigten Eingangsgrößen

Da in der Niederspannungsebene in der Regel keine individuellen Leistungswerte erfasst werden, wird die kumulierte Leistung in diesen Fällen aus der Anzahl der Wohneinheiten über eine Gleichzeitigkeitsfunktion ermittelt. Die benötigten Leistungsparameter zur Beschreibung der Niederspannungsnetze und Haushaltslasten werden der DENA-Verteilnetzstudie entnommen [13].

Für Elektromobilitätslasten werden der Startzeitpunkt und die Dauer des Ladevorgangs (abhängig von der Batteriekapazität) sowie die angenommene Ladeleistung vorgegeben. Der Startzeitpunkt des Ladevorgangs liegt in 65 % aller Fälle zwischen 17:00 und 20:00 Uhr, weshalb in diesem Zeitraum folglich auch die größte Belastung für das elektrische Netz vorliegt. Bei den Batteriekapazitäten wird eine Mindestkapazität in Höhe von 22 kWh (z. B. Renault Zoe) und eine Obergrenze in Höhe von 75 kWh (z. B. Tesla Model S) angenommen. Nicht berücksichtigt werden in dieser Simulation Ladeleistungen in Höhe von 3,7 kW und 40 kW. Dies liegt darin begründet, dass Ladeleistungen in Höhe von 3,7 kW kaum nennenswerte Auswirkungen auf die einzelnen Betriebsmittel aufweisen und die 40 kW Ladetechnik meist an Schnellladepunkten außerhalb von urbanen Gebieten angesiedelt ist. Laut der Online-Plattform Chargemap liegen in Deutschland zu den angegebenen Zeitpunkten die folgenden Verteilungen hinsichtlich der Ladeleistungen vor. In der Tabelle sind die von Chargemap verwendeten Begriffe der Ladearten mit den dazugehörigen Leistungen abgebildet:

Tabelle 15: Ladeleistungen⁵

Art	Anteil (in %) (April 2018)	Anteil (in %) (Februar 2019)	Ladeleistung (in kW)
normal	14,2	11	3,7
halb-beschleunigt	17,6	15,4	11
beschleunigt	56,3	62,2	22
schnell	11,9	11,5	≥ 40

Es ist zu erkennen, dass der Ausbau der 22-kW-Ladepunkte gegenüber den 11-kW-Ladepunkten zugenommen hat. In der Simulation wurden nur 11-kW- und 22-kW-Ladepunkte mit einer Verteilung von ca. 63:37 angenommen.

Weiterhin wurde angenommen, dass ein angeschlossenes Fahrzeug jeweils vollständig aufgeladen wird. Zusätzlich zu den oben aufgeführten Ladeleistungen wurden auf Basis von Marktanteilen Verteilungen von Batteriekapazitäten vereinfachend angenommen. Unter der Annahme einer vollständigen Aufladung eines Fahrzeuges führt die Kombination aus Batteriekapazität und Ladeleistung zur folgenden Abschätzung der Verteilung von Ladeleistungen und geforderten Lademengen:

Tabelle 16: Verteilung der Kombination aus Ladeleistung und Lademenge

Ladeleistung (in kW)	Lademenge (in kWh)	Verteilung (in %)
11	22	21
11	40	12,5
11	75	3,7
22	22	35
22	40	21,4
22	75	6,3

⁵ <https://de.chargemap.com/about/stats/deutschland> , abgerufen im April 2018 und Februar 2019

Neben diesen beiden physikalischen Aspekten spielt, wie bereits erwähnt, die Gleichzeitigkeit, also der Zeitpunkt des Ladebeginns eine entscheidende Rolle. Hierbei werden die in Tabelle 17 dargestellten Ladezeiten angenommen. Hintergrund hierfür ist, dass zur Betrachtung eines möglichst ungünstigen Szenarios für das Netz, d. h. möglichst hoher Auslastung der Netzelemente, der Großteil der Ladevorgänge zu den Höchstlastzeiten des Standardlastprofils für Haushaltslasten angenommen wird, hier mit ca. 65 % der Ladevorgänge.

Tabelle 17: Zeitliche Verteilung der Ladevorgänge

Ladebeginn	Beschreibung	Verteilung (in %)
08:00 – 10:00	Laden am Arbeitsplatz	20
17:00 – 20:00	Laden nach Feierabend	65
Sonstige Zeiten	Sonst. Laden	15

4.4.2 Durchführung

Wie zu Beginn des Abschnitts 4.4 erwähnt ist, ist das Ziel der Simulation die Bestimmung einer maximalen Anzahl an Ladesäulen in diesem Netzgebiet. Dabei wird der Ort einer jeweiligen Ladesäule zufällig ausgewählt. Dieser Schritt wird so lange wiederholt, bis die ersten Betriebsmittel überlastet sind. Bei dem gewählten Beispiel konnten bis zu diesem kritischen Zustand durchschnittlich insgesamt ca. 86 Ladepunkte in den Abschnitt implementiert werden. Dabei ergeben sich die in Tabelle 19 und Tabelle 20 dargestellten Verteilungen der Ladeleistungen, Lademengen und Ladezeiten.

Tabelle 18: Verteilung der Ladesäulen

Leistung (in kW)	Menge (in kWh)	Anzahl
11	22	19
11	40	11
11	75	4
22	22	28
22	40	20
22	75	4

Tabelle 19: Zeitliche Verteilung der Ladevorgänge

Ladebeginn	Beschreibung	Verteilung
08:00 – 10:00	Laden am Arbeitsplatz	16
17:00 – 20:00	Laden nach Feierabend	61
00:00 – 24:00	Sonstiges Laden	9

4.4.3 Auswertung

Bei der Untersuchung der Auslastungen der einzelnen Betriebsmittel fällt vor allem auf, dass ein Großteil nur geringfügig ausgelastet ist. Bezogen auf die vorliegenden Kabel bedeutet dies, dass lediglich fünf Kabel zu über 90 % ausgelastet sind. Bei den Transformatoren sind insgesamt zwei zu über 90 % ausgelastet, wie die folgenden Abbildungen aus dem Simulationsprogramm verdeutlichen:

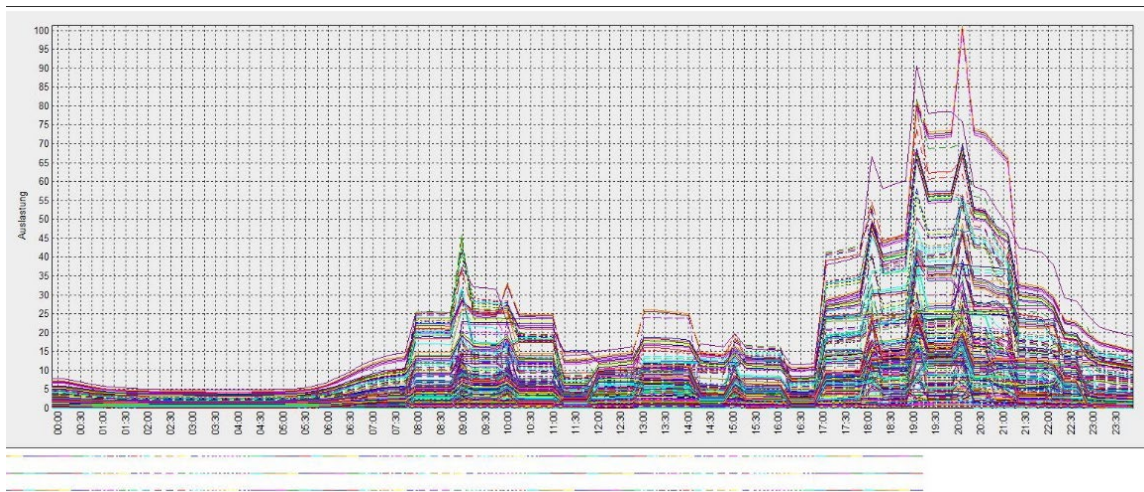


Abbildung 16: Kabelauslastung

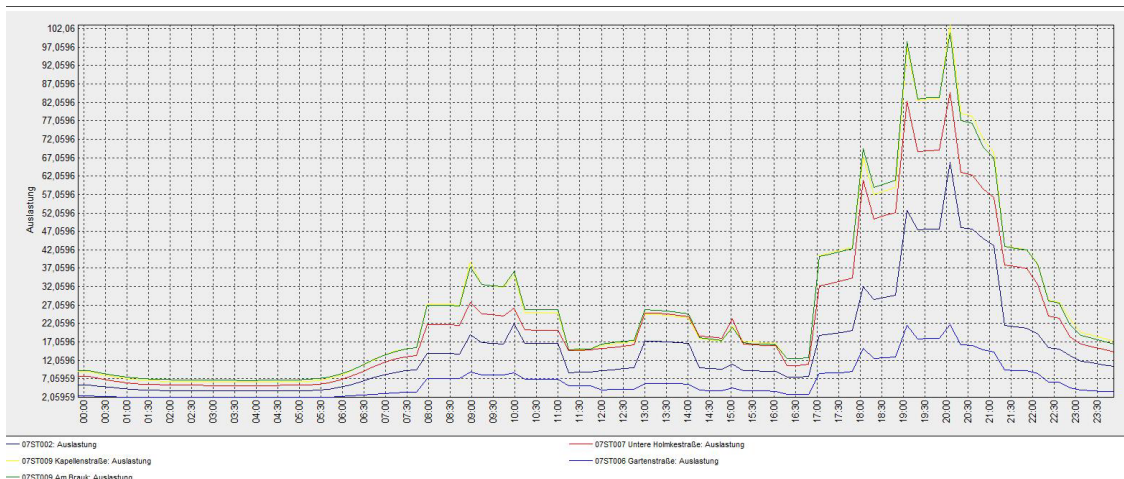


Abbildung 17: Trafoauslastung

Zur räumlichen Einordnung der „kritischen“ Betriebsmittel wird die nachfolgende Abbildung herangezogen. Dabei wird deutlich, dass vor allem jene Kabel überlastet sind, an welche ein nachgelagertes Netzgebiet angeschlossen ist. Dies liegt darin begründet, dass durch diese Kabelabschnitte die gesamte Leistung aller nachgelagerter Verbraucher fließt und somit zu einer erhöhten Belastung führt. Dies ist ein wichtiger Punkt, da diese Verbindungen natürlich den Ausbau der Ladesäulen maßgeblich beeinflussen können und somit die maximal mögliche Anzahl reduziert wird. Bei den Transformatoren sind vor allem zentral gelegene Stationen überlastet, wohingegen die teils abseits liegenden Trafos eher durch ein einzelnes, für die komplette Leistungsabgabe zu gering dimensioniertem Kabel eingeschränkt werden.

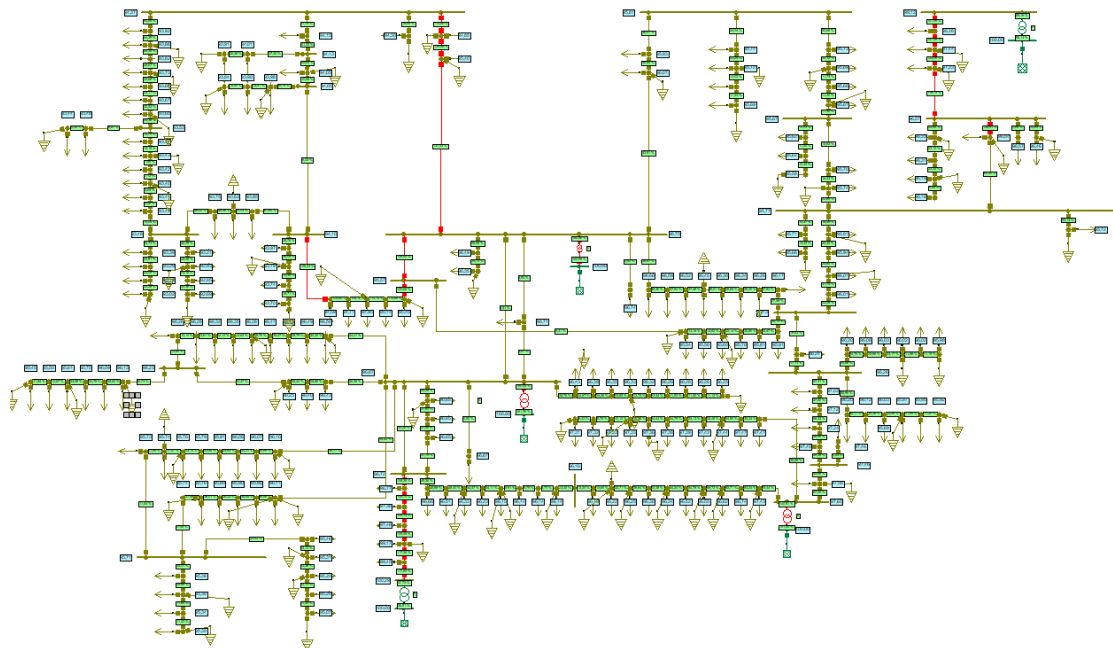


Abbildung 18: Kritisch belastete Betriebsmittel

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass in dieser Untersuchung eine maximale Auslastung von 100 % untersucht wurde. In der Realität sollte dies jedoch nicht angestrebt werden, da durch Kurzschlüsse o.ä. Kabel ausfallen können und die Leistung dann über andere vorhandene Kabelstrecken übertragen werden muss. Folglich liegt für eine begrenzte Zeit ein zu hoher Stromfluss im Kabel vor, sodass dieses evtl. zerstört oder beschädigt werden kann.

4.4.4 Hochrechnung auf den Kreis Soest

An dieser Stelle wird nur das Niederspannungsnetz betrachtet, sodass das Mittelspannungsnetz sowie die an dieses Netz angeschlossenen energieintensiven Verbraucher nicht berücksichtigt werden. Der untersuchte Netzabschnitt besteht aus insgesamt 220 Haushalten. Wird angenommen, dass durchschnittlich jeweils 2,3 Personen in einem Haushalt leben, ergibt dies eine Anzahl von 506 Personen. Das heißt, dass im Ergebnis insgesamt 86 Elektroautos je 506 Einwohner vorliegen. Bei einer Gesamtbevölkerung im Kreis Soest von ca. 300.000 ergibt sich so eine maximale Anzahl an Elektrofahrzeugen in Höhe von ungefähr 51.000. Das entspricht einem Anteil von mehr als 25 % Elektrofahrzeugen. Dieser Anteil ist nach aktuellen Prognosen nicht in den nächsten zehn Jahren zu erwarten.

An dieser Stelle ist natürlich darauf hingewiesen, dass aufgrund der dem Projekt allgemein zur Verfügung stehenden Netzdaten keine individuelle und genauere Rechnung möglich ist, sondern beispielhafte Rechnungen durchgeführt wurden, von denen ein Beispiel in diesem Abschnitt näher erläutert wurde. Trotzdem zeigt die Simulation unter ungünstigen Bedingungen, dass ein beispielhaftes heutiges Niederspannungsnetz in der Lage ist, noch einige zusätzliche Ladeeinrichtungen zu „verkräften“. Dies deckt sich auch mit Einschätzungen der Nationalen Plattform Elektromobilität [4]. Die NPE betont jedoch auch, dass bei zunehmender Marktdurchdringung weitere Investitionen in den Netzausbau und in eine intelligente und netzdienliche Steuerung der Ladeinfrastruktur erforderlich sein werden.

Während der Projektlaufzeit sind weitere Ergebnisse aus Studien zu ähnlichen Fragestellungen veröffentlicht worden. Die Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen dieses Projektes, auch wenn die Vorgehensweise teilweise anders gewählt wurde und wesentlich mehr Simulationen vorgenommen werden konnten.

Laut der Metastudie [14], welche die Ergebnisse aus insgesamt 110 Szenarien unterschiedlicher Projekte zur Netzbelastung durch Elektromobilität untersucht hat, ist „mit 23

% [...] der Anteil von Szenarien mit resultierenden Netzüberlastungen relativ gering, obwohl zahlreiche progressive Szenarien betrachtet werden. Oftmals ist also kein Netzausbau auch bei größeren Durchdringungen erforderlich.“ ([14], S. 16). Gerade bei einer Marktdurchdringung der Elektromobilität unterhalb von 15%, also innerhalb des von dieser Studie betrachteten Zeitrahmens, kommt es in den Studien nur in Ausnahmefällen zu Überlastungen. Allerdings wird in der Studie darauf verwiesen, dass „[...] lokal auch bei geringen Durchdringungen der E-Mobilität bereits Überlastungen möglich [sind]“, die auf eine hohe Gleichzeitigkeit bei z. B. „nachbarschaftlichen Nachahmer-Effekten“ zurückzuführen sind. ([14], S. 18)

In [15] werden Simulationen sowohl für ländliche als auch kleinstädtische Bereiche unter Berücksichtigung von Lastprofilen und Gleichzeitigkeiten durchgeführt. Auch hier kommt es nur in einigen Fällen, in denen bereits auch ohne Elektromobilität zu einer hohen Auslastung der Betriebsmittel kommt, zu einer Überlastung. In allen anderen Fällen sind selbst bei einer Marktdurchdringung von 50% noch keine unzulässigen Betriebsmittelzustände erkennbar.

Trotzdem wird in vielen Studien darauf hingewiesen, dass es durch eine hohe Gleichzeitigkeit und ein ungesteuertes Laden lokal zu unzulässigen Betriebszuständen kommen kann. Vor der detaillierten Planung und individuellen Installation einer Ladeeinrichtung ist daher in jedem Fall vom zuständigen Verteilnetzbetreiber die technische Machbarkeit zu prüfen. Weiterhin können durch weitere Netzanschlüsse oder Umbaumaßnahmen die Voraussetzungen für einen Anschluss einer Ladeeinrichtung verändert sein.

4.5 Erstellung eines Excel-Werkzeuges

Durch sich wiederholende Netzstrukturen und den entsprechenden Netzelementen ist es oftmals möglich, mithilfe von einfachen mathematischen Zusammenhängen und Regeln einfache Abschätzungen zur technischen Realisierbarkeit von zusätzlichen Ladeeinrichtungen vorzunehmen. Diese können in ein einfaches Excel-Werkzeug überführt werden, um ohne großen Aufwand *erste* Einschätzungen hinsichtlich der Machbarkeit einer Ladesäuleninstallation zu treffen. Im Rahmen dieses Projektes ist ein entsprechendes Excel-Werkzeug erarbeitet worden, das anhand eines Anwendungsbeispiels im Anhang B näher beschrieben wird.

4.6 Deckung des Strombedarfs durch erneuerbare Energien

Wird gemäß Abschnitt 2.2 eine mittlere erwartete Anzahl von Elektrofahrzeugen für den Kreis Soest bis 2030 geschätzt, ergibt sich eine ungefähre Anzahl von ca. 23.500 Elektrofahrzeugen. Auf Basis der vom Kraftfahrtbundesamt angegebenen durchschnittlichen Fahrleistung von ca. 14.000 km pro Jahr und Pkw (2017) ergibt sich eine durchschnittliche Tagesfahrleistung von ca. 38 km pro Pkw. Bei einem angenommenen Durchschnittsverbrauch von 15 kWh/ 100 km ergibt sich pro Fahrzeug ein täglicher Energiebedarf von 5,7 kWh. Wird dieser Bedarf mit der Anzahl von Elektrofahrzeugen multipliziert, kann für 2030 für alle Elektrofahrzeuge ein täglicher Energiebedarf des Kreises Soest von ca. 134 MWh ermittelt werden. Werden alle regenerativen Anlagen und ihre zugehörigen Nennleistungen im gesamten Kreis Soest mithilfe der Energie- und Klimaschutzkarte sowie des PV-Rechners⁶ aufgelistet und anschließend mit der typischen Volllaststundenanzahl multipliziert, ergibt sich ein täglicher Energieertrag von ca. 2.200 MWh/d (vgl. Tabelle 20). Das würde bedeuten, dass zum jetzigen Stichtag der Bedarf um mehr als das Sechszehnfache gedeckt werden könnte.

Tabelle 20: Erzeugte erneuerbare Energie im Landkreis Soest

Technologie	Durchschnittliche Leistung (in kW)	Anzahl	Energiemenge (in MWh/d)
Photovoltaik	18	10.181	465
Windkraft	1.043	300	1.424
Bioenergie	407	45	307
Summe		2.197	

Eine Studie zur Häufigkeitsverteilung von Ladevorgängen an Ladestationen, welche nach unterschiedlichen Kategorien unterteilt ist, hat eine Verteilung gemäß Abbildung 27 ergeben. Obwohl die Kurve natürlich für eine begrenzte Menge von Ladestationen statt-

⁶ <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/in/nordrhein-westfalen/soest>, 07.01.2019

gefunden hat, die sicherlich nicht repräsentativ für den Kreis Soest sein kann, ist sicherlich das grundsätzliche Ladeverhalten erkennbar, dass für ein Laden zu Hause, am Arbeitsplatz oder für einen öffentlichen Ladepunkt charakteristisch ist.

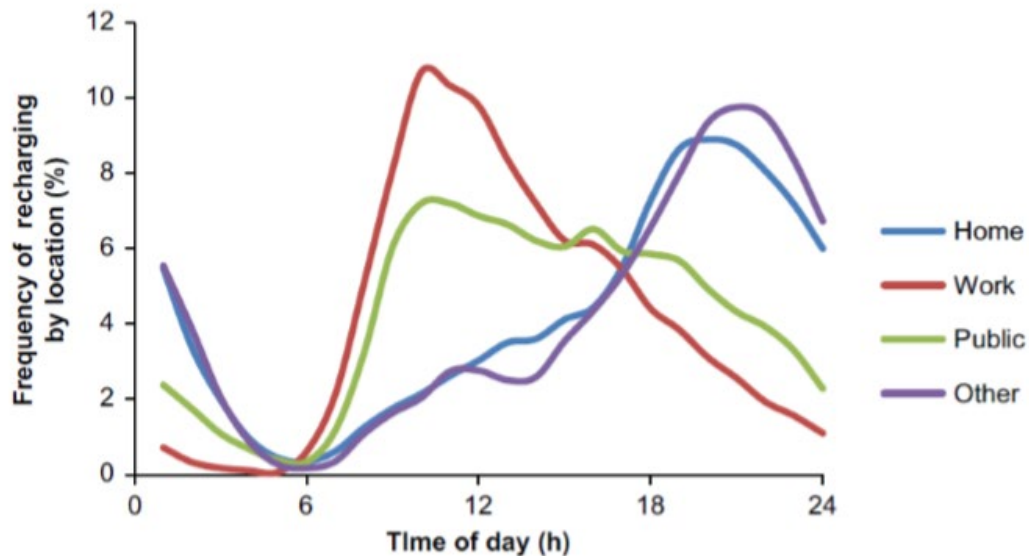


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung von Ladevorgängen je nach Ladekategorie [16]

Sowohl das Laden an öffentlichen Ladepunkten als auch das Laden am Arbeitsplatz zeigt eine Lastspitze in den Morgen- bis Mittagsstunden und sinkt wieder zum Abend hin. Vor diesem Hintergrund kann geprüft werden, ob eine eventuell schon vorhandene PV-Anlage oder noch zu planende PV-Anlage den benötigten Strom für einen Ladepunkt bereitstellen kann.

Eine Abschlussarbeit an der Hochschule Hamm-Lippstadt hat ergeben, dass eine entsprechend dimensionierte Photovoltaikanlage in Verbindung mit Ladeinfrastruktur neben der Anwendung für den privaten Wohnbereich auch bei größeren Anwendungen wie dem Laden einer Fahrzeugflotte am Arbeitsplatz helfen kann, den Energiebedarf zu decken. Bei einem hohen Leistungsbedarf wird der Einsatz von Speichern unvermeidbar. Auch für das Laden in der Nacht oder in den Abendstunden ist ein Speicher essentiell. Photovoltaikanlagen eignen sich dann für öffentlich zugängliche Ladepunkte innerhalb von Städten oder Ortschaften, sofern die Ladeleistungen aufgrund längerer Verweilzeiten gedrosselt werden können. Beispiele für die Anwendung wären auf Dachflächen von großen Supermärkten, an Schulen oder sonstigen Arbeitsplätzen.

Die Eignung und wirtschaftliche Dimensionierung einer PV-Anlage für eine konkrete Ladensäule ist individuell zu prüfen.

Kernaussagen

- In den kommenden Jahren wird das elektrische Versorgungsnetz in der Regel den neuen Anforderungen durch die Elektromobilität gewachsen sein.
- Durch lokale Anhäufungen von Ladeeinrichtungen kann es punktuell zu Überlastungen von Betriebsmitteln kommen. In den meisten Fällen weisen Kabel/ Leitungen eine geringere Belastung als die (Ortsnetz-)Transformatoren auf.
- Ein im Rahmen dieses Projektes erstelltes Excel-Werkzeug kann zur ersten Abschätzung von Betriebsmittelüberlastungen durch Ladeinfrastruktur verwendet werden.
- Vor einer individuellen Planung und Implementierung einer Ladesäule ist die technische Umsetzbarkeit vom zuständigen Verteilnetzbetreiber zu prüfen.

5 Wirtschaftlichkeit

Die Errichtung einer öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur kann unterschiedlich motiviert sein. Sofern eine Ladesäule wirtschaftlich betrieben werden soll, ist darüber nachzudenken, durch welche Einnahmequellen sie gegenfinanziert werden kann. Für private Unternehmen, die auf ihrem öffentlich zugänglichen Parkplatz eine Ladeeinrichtung installieren möchten, kann die Ladeeinrichtung ein Teil ihrer Werbestrategie sein, sodass beispielsweise die Ladeeinrichtung ggf. zusätzlich mit entsprechender Werbung versehen wird.

Sofern die Ladeinfrastruktur vom Betreiber kostendeckend zu betreiben ist und als einzige Einnahmequelle der Stromverkauf infrage kommt, muss durch den Stromverkauf ein Gewinn erzielt werden. Sofern kommunale Unternehmen oder Stadtwerke Betreiber der Ladeinfrastruktur sein sollen und ein ähnlicher Gewinn wie beim Verkauf von Haushaltsstrom für Privatkunden erzielt werden soll, muss der verkaufte Strom auch zu vergleichbaren Konditionen verkauft werden.

Sofern, wie in dieser Studie angenommen, eine Ladeleistung von 22 kW bereitgestellt wird und ein Fahrzeug somit schneller geladen werden kann als beim Kunden in der Regel zu Hause, ist er gemäß einer Umfrage [9] auch bereit, einen erhöhten Preis im Vergleich zu seinem Haushaltsstrom zu zahlen. Laut der Studie besteht diese Bereitschaft bereits ab einer Ladeleistung von 11 kW. Danach wird bei einer Ladeleistung von mehr als 11 kW ein Mehrpreis von 30% bis 50% gegenüber dem Haushaltsstromtarif, bei einer Schnellladung (> 50 kW) sogar ein Mehrpreis von 60% bis 70% akzeptiert.

Einem aktuellen Rechtsgutachten des BMWi [17] zufolge hat eine Abrechnung des geladenen Stroms auf Basis der gelieferten Kilowattstunden verbrauchsabhängig zu erfolgen. Die hierfür angesetzten Preise können ggf. noch um weitere Gebühren angepasst werden, z. B. über die Parkdauer oder Einmalgebühren. Eine alleinige Abrechnung aufgrund der Ladezeit ist nicht zulässig, da nach Aussage des Gutachtens „Der nach Zeit bezahlte Preis [...] also in keiner Relation zur gelieferten Energiemenge [steht], die das Hauptanliegen des Verbrauchers bei der Nutzung einer Ladesäule ist“ [17]. Auch wenn eine Ladesäule mit einer Ladeleistung von 22 kW Ladeleistung zur Verfügung steht, bedeutet dies nicht, dass ein Fahrzeug tatsächlich mit dieser Leistung geladen werden kann. Zum aktuellen Zeitpunkt existieren wenige Fahrzeuge auf dem Markt, die tatsächlich mit dieser Leistung geladen werden können.

Eine Ergänzung der verbrauchsabhängigen Preisbestandteile durch zeitabhängige Bestandteile haben den Vorteil, dass das „Besetzthalten“ eines Ladepunktes aktiv gesteuert werden kann. Gemäß [9] werden auch zeitabhängige Bestandteile von den Kunden akzeptiert, sofern an den Parkplatzflächen auch ansonsten Zeittarife üblich sind. Bei Standorten, die hauptsächlich für die Kundenkategorie „Mittelzeitlader“ vorgesehen sind, wäre eine Belegung der Ladepunkte durch Langzeitparker wenig attraktiv, sodass über eine Kombination von Preismodellen nachgedacht werden sollte. Bislang noch existierende rein zeitabhängige Abrechnungsmodelle werden in einer Übergangsfrist bis zum 1. April 2019 noch toleriert.

5.1 Beispielszenarien

Für die folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird ein rein verbrauchsabhängiger Tarif als alleinige Einnahmequelle betrachtet. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden zunächst unterschiedliche Annahmen getroffen:

- Zinssatz: 5%
- Abschreibungszeitraum: 10 Jahre
- Instandhaltungskosten: 2%/a der Neuinvestition
- Betriebskosten: pauschal 100 €/a bzw. 500 €/a
- Inflation (für Strompreis, IH und Betrieb): 2%/a

Unter Berücksichtigung dieser Annahmen wird berechnet, welche Energiemenge in Kilowattstunden (kWh) täglich pro Ladepunkt verkauft werden muss, um die Ladesäule kostendeckend betreiben zu können. Unter Berücksichtigung von möglichen Förderprogrammen, aktuellen Preisen für Ladeeinrichtungen und möglichen zukünftigen Preissenkungen wird exemplarisch mit Investitionen von 10.000 €, 6.000 € und 4.000 € gerechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 21 und Abbildung 21 dargestellt.

Werden bei den o.g. Annahmen bspw. für eine Ladesäule Investitionskosten von 10.000 € angesetzt, müssen durchschnittlich 41 kWh (100 €/a Betrieb) (bzw. 52 kWh bei 500 €/a) Strom pro Ladepunkt und Tag verkauft werden, damit eine Ladesäule bei Betrachtung einer Lebensdauer von 10 Jahren kostendeckend betrieben werden kann, wenn durch den Stromverkauf ein Gewinn von 5 ct/ kWh erzielt wird. Bei einer genutzten Ladeleistung von 22 kW pro Ladepunkt bedeutet dies eine Belegung von ca. 2 bis 2,5 Stunden pro Tag pro Ladepunkt.

Bei einer ungefähren durchschnittlichen jährlichen Fahrtstrecke von 15.000 km/a für einen PKW in Deutschland und einem durchschnittlichen Verbrauch von ca. 15 kWh/ 100 km bedeutete dies, dass zwischen 13 und 17 Fahrzeuge ausschließlich an einer Ladesäule laden müssten, um diese refinanzieren zu können. Hieran ist ersichtlich, dass dieses Szenario praktisch nicht kostendeckend funktionieren kann, zumal davon ausgegangen wird, dass der Großteil der Ladungen zu Hause und am Arbeitsplatz erfolgt.

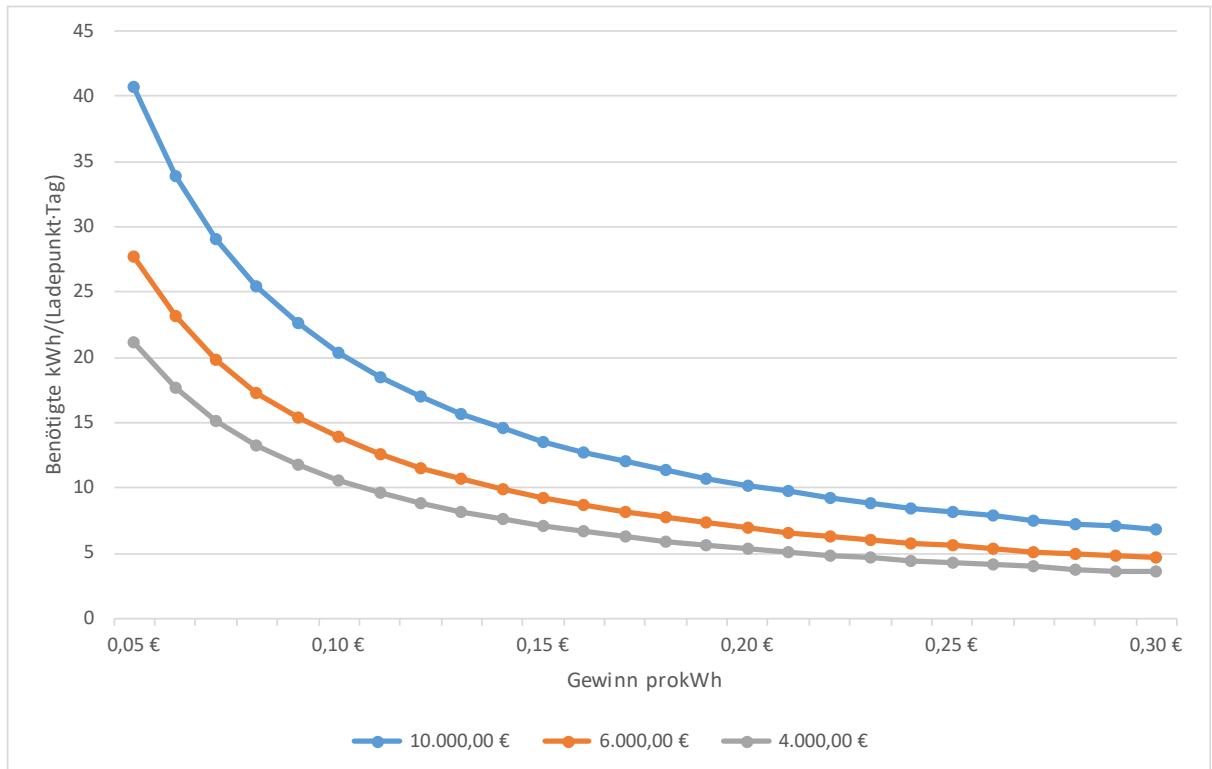


Abbildung 20: Erforderliche Lademenge pro Ladepunkt und Tag (zusätzliche Pauschale von 100 €/a)

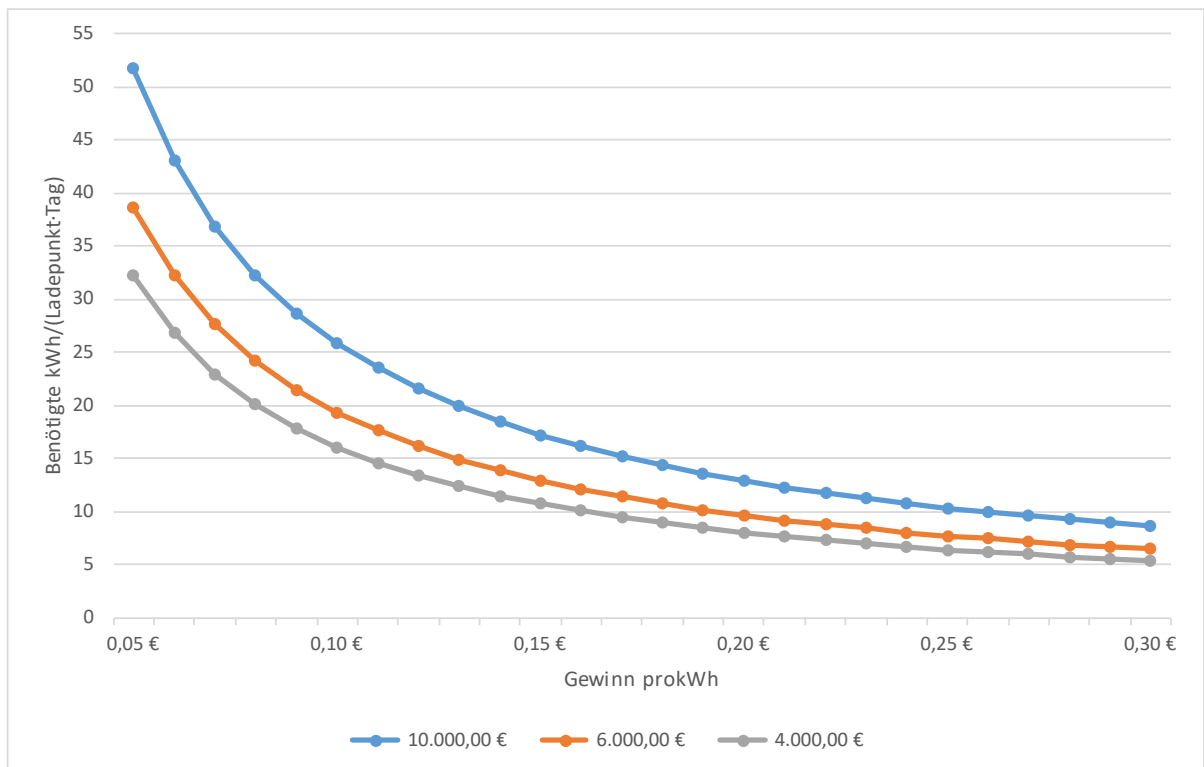


Abbildung 21: Erforderliche Lademenge pro Ladepunkt und Tag (zusätzliche Pauschale von 500 €/a)

Daraus ist ersichtlich, dass eine Ladesäule nur dann kostendeckend betrieben werden kann, wenn

- weitere Einnahmequellen betrachtet werden (Werbung, zeitabhängige Tarifkomponenten),
- die Investitionskosten geringer werden,
- die Kosten für Betrieb und Instandhaltung deutlich reduziert werden oder
- der Gewinn pro kWh deutlich höher angesetzt wird.

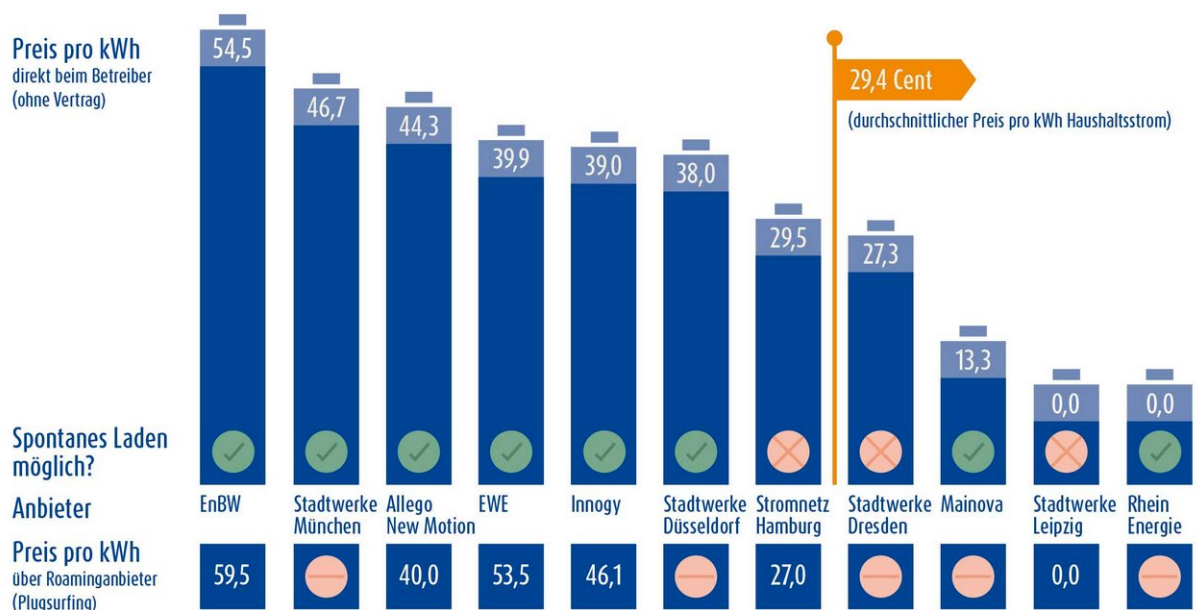
Wird umgekehrt angenommen, dass ein Verhältnis von öffentlichen Ladepunkten zu Elektrofahrzeugen von 1:16,5 besteht und zwischen 85% und 90% der erforderlichen Ladevorgänge zu Hause oder am Arbeitsplatz erfolgen, werden bei den durchschnittlichen Fahrleistungen und Verbräuchen auch in Zukunft nicht mehr als durchschnittlich ca. 10 bis 15 kWh pro Tag und Ladepunkt abgenommen werden. Ein kostendeckender Betrieb sollte daher von diesen Angaben ausgehen. Bei den o.g. Annahmen würde dies laut Abbildung 21 einen Gewinn von mind. ca. 10 ct/ kWh erfordern.

Werden aktuelle Erfahrungen anderer Betreiber herangezogen (siehe z. B. Stromnetz Hamburg, [18]), so ergeben sich umgerechnet durchschnittliche Lademengen von derzeit ca. 5,5 kWh pro Ladepunkt und Tag. Hierbei ist jedoch auch zu berücksichtigen,

dass das Verhältnis Ladepunkte zu Elektrofahrzeuge in Hamburg laut [18] bei 1:2,8 liegt und somit gegenüber aktuellen Empfehlungen derzeit deutlich zu hoch ist.

Aktuelle Preisvergleiche zeigen, dass aktuelle Anbieter durchaus Tarife anbieten, die oberhalb des Haushaltsstromtarifs liegen und entsprechende Gewinne vermuten lassen. Mit der Aussage der Umfrage aus [9] würden die Kunden bei dem angegebenen Haushaltsstromtarif aber durchaus bereit sein, zwischen 38 ct/ kWh und 44 ct/ kWh zu bezahlen. In Abbildung 22 ist jedoch zu berücksichtigen, dass für eine Vergleichbarkeit von derzeit noch verbrauchsunabhängigen Zeittarifen und verbrauchsabhängigen Tarifen eine Umrechnung von Energiemengen auf Ladedauern vorgenommen wurde und die dort angegebenen Preise so nicht in Preisblättern der Anbieter zu finden sind.

Ladesäulen-Check 2018: Tarif-Chaos und hohe Preise



Quelle: Lichtblick SE / Alle Daten: Untersuchung des Recherche- und Marktforschungsunternehmens statista auf den Webseiten der Ladeinfrastrukturbetreiber, Stand: Juni 2018
Berechnungsgrundlage: Kosten pro kWh für eine Tankfüllung für 100km mit einem BMW i3 (ca. 15kWh) AC-3-Tarife ohne Vertragsbindung / Ladedauer 1:36h

Abbildung 22: Preise pro geladener kWh gemäß [19]

5.2 Anmerkungen zur Wirtschaftlichkeitsabschätzung

Die genaue spätere Auslastung eines Ladepunktes ist nur ungenau vorhersehbar und bedarf einer möglichst nachvollziehbaren und systematischen Planung, wozu diese Studie einen Beitrag liefern soll. Wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit besitzen aber auch die einmaligen Investitionskosten, die Betriebskosten sowie die Preis- und Tarifgestaltung. Da davon auszugehen ist, dass gerade in diesen Bereichen in den kommenden Jahren in der Markthochlaufphase der Elektromobilität noch viele Bewegungen zu erwarten sind, sind diese Parameter intensiv zu beobachten und verschiedene Anbieter und Modelle zu vergleichen.

Der Kreis Soest mit seinen Gemeinden und Städten hat gemeinsam die Möglichkeit, sich diesbezüglich fachlich auszutauschen und Erfahrungen zu diskutieren. Eine Gemeinde allein wird in der Regel nicht in der Lage sein, ausreichende Erfahrungen zu sammeln.

Kernaussagen

- Der Ausbau der Ladeinfrastruktur kann in den Kommunen unterschiedlich motiviert sein.
- Sofern eine Ladesäule sich allein durch den Stromverkauf rechnen soll, ist eine entsprechende Auslastung der Ladepunkte notwendig.
- Umfragen haben ergeben, dass Kunden in der Regel bereit sind, einen Mehrpreis gegenüber ihrem Haushaltsstrom zu zahlen, sofern die Ladeleistung mindestens 11 kW beträgt [9].
- Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Ladeinfrastruktur ist eine entsprechende Preisgestaltung und Auslastung der Ladestation.

6 Zusammenfassung und Empfehlung

Aktuelle Prognosen gehen davon aus, dass der Ladebedarf für Elektrofahrzeuge heute und in Zukunft im Wesentlichen durch eine private Ladeinfrastruktur (zu Hause) und durch ein Laden beim Arbeitgeber gedeckt sein wird. Nichtsdestotrotz wird eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur benötigt, um unterschiedlichen Kundengruppen die Möglichkeit zum (Nach-)Laden zu ermöglichen. Die Planung dieser Ladeinfrastruktur sollte möglichst die tatsächlichen Ladebedarfe berücksichtigen, um eine hohe Auslastung der Ladepunkte anzustreben.

Im Rahmen des Projektes wurde eine systematische und nachvollziehbare Vorgehensweise erarbeitet und auf den Kreis Soest angewendet. Für den Kreis Soest sind auf diese Weise insgesamt ca. 230 Standorte mit unterschiedlicher Priorität für eine öffentliche Ladeinfrastruktur als grundsätzlich geeignet identifiziert worden. Für eine öffentliche Ladeinfrastruktur sind solche Standorte zu bevorzugen, die eine höhere Auslastung erwarten lassen. Teilweise sind aus diesem Grund Standorte priorisiert worden. Die Gemeinden und Städte erhalten die Ergebnisse mit allen identifizierten POI und den daraus abgeleiteten als geeignet eingestuften Standorten für eine öffentliche Ladeinfrastruktur in Form von Tabellen und GIS-geeigneten Dateien.

Eine Schnellladeinfrastruktur ist vorwiegend an Autobahnen und Fernverkehrsstraßen anzubieten. Hier existieren bereits Standorte an den Autobahnen im Kreis Soest. In [9] wird dies zusammenfassend mit dem Satz „Je schneller die Straße, desto schneller die Ladestation“ ausgedrückt. Grundsätzlich kann natürlich darüber nachgedacht werden, Schnelllademöglichkeiten gerade für die „Elektromobilisten“ anzubieten, die keine Möglichkeit einer privaten Ladeeinrichtung besitzen und daher auf ein öffentliches Laden angewiesen sind. Hierfür gesondert angebotene Standorte – ähnlich einer jetzigen Tankstelle – sind natürlich auch zentrumsnah an auch ansonsten attraktiven Standorten denkbar. Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Investitionskosten weitaus höher und die versorgungstechnischen Voraussetzungen anspruchsvoller sind als bei Normalladestationen. Zudem wird ein Schnellladenetz ohnehin an Autobahnen und Schnellstraßen errichtet. Die betroffenen Kundengruppen könnten also durchaus auch dort ihren Ladebedarf decken, gerade während des Markthochlaufs, bei dem noch zahlreiche Unsicherheiten und Risiken bzgl. des tatsächlichen Bedarfs und der Abschätzung der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit bestehen.

An zentralen und priorisierten Standorten sollte bei Installation von Ladepunkten grundsätzlich darüber nachgedacht werden, sofort mehr als zwei Ladepunkte und somit mindestens zwei Ladesäulen zu implementieren. Bei gleichzeitigem Überwachen und Protokollieren der Auslastung der Ladepunkte sollte ein weiterer Ausbau mit Augenmaß erfolgen, gerade auch vor der Betrachtung eines möglichst wirtschaftlichen Betriebs der Ladestationen.

Falls geeignete Standorte auf öffentlich zugänglichen Parkplatzflächen von privaten Unternehmen liegen, sollten diese dazu ermutigt werden, da aus Sicht der privaten Investoren durchaus weitere Anreize für die Errichtung der Ladeinfrastruktur bestehen können (Erhöhung der Attraktivität des Standortes, Werbung).

Wenn die identifizierten ca. 230 Standorte durchschnittlich zukünftig mit ca. sechs bis acht Ladepunkten versehen werden sollten, können bei einem empfohlenen Ladepunkt-Elektrofahrzeug-Verhältnis von 1:16,5 mehr als 25.000 E-Fahrzeuge versorgt werden, die bei positiven Prognosen für das 2030 erwartet werden können.

Neben der Planung einer öffentlichen Ladeinfrastruktur sollte der Fokus ebenso auf einer privaten Ladeinfrastruktur liegen, da, wie bereits erwähnt, ein Großteil der Ladevorgänge privat zu Hause oder beim Arbeitgeber abgewickelt werden wird. Sofern die Gemeinden und Städte dies aktiv fördern möchten, sollten aus diesem Grund

- Gespräche mit Arbeitgebern in der Kommune gesucht werden und
- Vermieter und Wohnungsbaugesellschaften ermutigt werden, Ladeinfrastrukturen in Wohngebieten nach Bedarf/ Anfrage aufzubauen.

Bei Mehrfamilienhäusern ohne ausreichende Stellflächen kann (zunächst) auf öffentliche Parkplätze ausgewichen werden. Diese Empfehlung begründet sich dadurch, dass zurzeit noch Unwägbarkeiten und rechtliche Unsicherheiten bei der Errichtung von privater Ladeinfrastruktur in bspw. Tiefgaragen von Mehrfamilienhäusern bestehen. Hierfür liegen derzeit Vorschläge zur Reform des Wohnungseigentumsrechts vor (vgl. [20]), eine Änderung des Gesetzes ist jedoch bislang nicht erfolgt.

Unabhängig davon, ob die Kommunen im Kreis Soest die Verbreitung der Elektromobilität aktiv fördern wollen, kann eine Internetplattform mit regionalen Übersichten zur Elektromobilität, Erfahrungsberichten von Privatpersonen, Arbeitgebern, Stadtwerken etc. eine Unsicherheit bei den Bürgerinnen und Bürgern im Kreis Soest gegenüber dem

Thema der Elektromobilität verringern und einen direkten lokalen Bezug geben. Beispielformhaft sei an dieser Stelle der Internetauftritt des Kreises Warendorf genannt.⁷

Aktuelle Publikationen, Forschungsberichte, Internetauftritte, politische Diskussionen etc. zeigen, dass im Bereich der Elektromobilität derzeit viel Bewegung und Unsicherheiten herrschen. Diese Studie liefert einen Beitrag dazu, aus den vorhandenen Informationen auf Basis einer begründbaren und nachvollziehbaren Methodik eine Planung für eine öffentliche Ladeinfrastruktur zu ermöglichen. Trotzdem sind auch in den kommenden Jahren viele Fragen zu erläutern, die einige Kommunen nicht allein beantworten können, da die zur Verfügung stehende Datenbasis zu gering ist. Im Kreis Soest finden sich jedoch viele strukturelle Ähnlichkeiten, sodass ein gemeinsamer regelmäßiger Erfahrungsaustausch bzw. Expertenkreis zum Thema der Elektromobilität für alle Beteiligten einen Mehrwert bringt.

⁷ <https://e-mobilität-kreis-waf.de/>

Kernaussagen

- Für die Städte und Gemeinden im Kreis Soest sind im Rahmen dieser Studie Standorte für öffentliche Ladepunkte identifiziert, die aus Kundensicht eine geeignete Attraktivität bieten und eine entsprechende Auslastung erwarten lassen.
- Trotz grundsätzlich ausreichend erscheinender Dimensionierung des Versorgungsnetzes für die kommenden Jahre ist bei Errichtung eines Ladepunktes die dann aktuelle Situation individuell technisch zu prüfen, um ggf. erforderliche Anpassungen vorzunehmen.
- Der Ausbau von Ladepunkten sollte schrittweise erfolgen und dem tatsächlichen Bedarf angepasst sein; ein Monitoring der tatsächlichen Auslastung der Ladepunkte wird empfohlen.
- Private Investoren sollten ermutigt werden, an identifizierten Standorten in Ladeinfrastruktur zu investieren, da für diese oft ein zusätzliches Interesse zu „reinem Stromverkauf“ besteht.
- Zur weiteren Begleitung der Entwicklung der Elektromobilität wird empfohlen, einen Expertenkreis zum regelmäßigen Erfahrungsaustausch innerhalb der Kommunen einzurichten. Ein gemeinsamer Internetauftritt kann bei den Bürgerinnen und Bürgern des Kreises Transparenz schaffen und die Elektromobilität voranbringen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestand und Anteile der Elektro-Pkw am Gesamt-Pkw-Bestand.....	4
Tabelle 2: Prognose der Elektrofahrzeuge für die Jahr 2025 und 2030	4
Tabelle 3: Verweildauern von Kunden	14
Tabelle 4: Ladebedarf von Kunden.....	15
Tabelle 5: Kundenkategorien.....	16
Tabelle 6: Zusammengefasste Kundenkategorien.....	18
Tabelle 7: Ladebetriebsarten [10].....	32
Tabelle 8: Steckertypen [11].....	33
Tabelle 9: Deutschlands beliebteste Elektrofahrzeuge und ihre maximal möglichen Ladeleistungen	33
Tabelle 10: Neu auf den Markt kommende Elektrofahrzeuge und ihre maximal möglichen Ladeleistungen	34
Tabelle 11: Kabeltypen - Hausanschlüsse.....	37
Tabelle 12: Aluminium-Kabeltypen – Niederspannung - Mittelspannung	Tabelle 13: Kabeltypen 37
Tabelle 14: Kabeltypen - beispielhafte Einrichtungen	38
Tabelle 15: Ladeleistungen	42
Tabelle 16: Verteilung der Kombination aus Ladeleistung und Lademenge.....	42
Tabelle 17: Zeitliche Verteilung der Ladevorgänge.....	43
Tabelle 19: Verteilung der Ladesäulen	44
Tabelle 20: Zeitliche Verteilung der Ladevorgänge.....	44
Tabelle 20: Erzeugte erneuerbare Energie im Landkreis Soest.....	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Markthochlauf E-Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur (aus [4], S. 55)	4
Abbildung 2: Übersicht über die Standorte der Ladeinfrastruktur (aus [6]).....	6
Abbildung 3: Grundsätzliche Vorgehensweise.....	8
Abbildung 4: Vorgehensweise der Standortidentifikation	21
Abbildung 5: Beispielhaft ermittelte POI	25
Abbildung 6: Eingruppierung in Mischkategorien in GIS	26
Abbildung 7: Heatmap.....	27
Abbildung 8: Heatmap mit ermittelten öffentlich zugänglichen Parkplätzen	28
Abbildung 9: Öffentlich zugängliche Parkplätze mit einer 150 Meter Pufferung	29
Abbildung 10: Öffentlich zugängliche Parkplätze mit einer 300 Meter Pufferung	29
Abbildung 11: Strahlennetz ([12], S. 83).....	35
Abbildung 14: Offene und verzweigte Ringleitung ([12], S. 83).....	35
Abbildung 13: Maschennetz [12]	36
Abbildung 14: Zeitliche Belastung von Netzelementen bei Elektromobilitäts- und Haushaltlasten.....	39
Abbildung 15: Beispielhafter Netzausschnitt.....	41
Abbildung 16: Kabelauslastung	44
Abbildung 17: Trafoauslastung.....	45
Abbildung 18: Kritisch belastete Betriebsmittel	45
Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung von Ladevorgängen je nach Ladekategorie [16]..	49
Abbildung 20: Erforderliche Lademenge pro Ladepunkt und Tag (zusätzliche Pauschale von 100 €/a)	53
Abbildung 21: Erforderliche Lademenge pro Ladepunkt und Tag (zusätzliche Pauschale von 500 €/a)	54

Abbildung 22: Preise pro geladener kWh gemäß [19].....	55
Abbildung 23: Layout des Excel-Tools.....	69
Abbildung 24: Gewählter Netzausschnitt.....	71
Abbildung 25: Excel-Tool-Netzabschnitt.....	72
Abbildung 26: Auswahl beispielhafter Kabeltypen	73
Abbildung 27: (Stich-) Leitung	74

Quellenverzeichnis

- [1] Datenatlas des Kreises Soest (abgerufen zuletzt am 13.03.2019 unter <http://datenatlas.kreis-soest.de/atlas.html>)
- [2] Bundesagentur für Arbeit: Pendleratlas (Stand: Juni 2018) (abgerufen zuletzt am 20.03.2019 unter <https://statistik.arbeitsagentur.de/Navigations/Statistik/Statistische-Analysen/Interaktive-Visualisierung/Pendleratlas/Pendleratlas-Nav.html>)
- [3] Kraftfahrtbundesamt: Fahrzeugzulassungen (FZ) - Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken zum 1. Januar 2018 (abgerufen zuletzt am 13.03.2019 unter https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2018/fz1_2018_xls.xls?__blob=publicationFile&v=3)
- [4] Nationale Plattform Elektromobilität: Fortschrittsbericht 2018 –Markthochlaufphase, Berlin, Mai 2018 (abgerufen zuletzt am 07.03.2019 unter http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_Fortschrittsbericht_2018_barrierefrei.pdf)
- [5] Center of Automotive Management (CAM): Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen für das Jahr 2030: Deutschland, EU, USA und China. Eine Szenarioanalyse, Bergisch Gladbach, Dezember 2017 (abgerufen zuletzt am 07.03.2019 unter https://giessereichemie.de/wp-content/uploads/2018/02/Studie_Industrieverband_Giesserei_v2.7_SB.pdf)
- [6] Nationale Plattform Elektromobilität: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland - Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015; Berlin, November 2015 (abgerufen zuletzt am 07.03.2019 unter http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_AG3_Statusbericht_LIS_2015_barr_bf.pdf)
- [7] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO) in der Fassung vom 21.11.2017 (siehe z. B. <https://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/BauNVO.pdf>)

- [8] Kindl, A. et al.: SIMONE - Bedarfsorientiertes Verfahren zur Planung von Ladeinfrastruktur, Leitfaden; PTV AG, Berlin/ Karlsruhe, 2015
(abgerufen zuletzt am 07.03.2019 unter <https://www.starterset-elektromobilitaet.de/content/1-Bausteine/6-Ladeinfrastruktur/simone-leitfaden.pdf>)
- [9] Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW) (Hrsg.): Ergebnispapier 35, Bedarfsorientierte Ladeinfrastruktur aus Kundensicht - Handlungsempfehlungen für den flächendeckenden Aufbau benutzerfreundlicher Ladeinfrastruktur, Frankfurt, März 2017
(abgerufen zuletzt am 07.03.2019 unter: https://schaufenster-elektromobilitaet.org/media/media/documents/dokumente_der_begleit__und_wirkungsforschung/EP35_Studie_LIS_online.pdf)
- [10] DKE/AK EMOBILITY.60: Der Technische Leitfaden Ladeinfrastruktur Elektromobilität Version 2; Juli 2016
(abgerufen zuletzt am 15.03.2019 unter <https://www.vde.com/resource/blob/988408/750e290498bf9f75f50bb86d520caba7/leitfaden-elektromobilitaet-2016--data.pdf>)
- [11] A. Karle: Elektromobilität – Grundlagen und Praxis; Hanser, 3. Auflage, 2018
- [12] K. Heuck, K.-D. Dettmann, D. Schulz: Elektrische Energieversorgung; Springer Vieweg, 9. Auflage, 2013
- [13] dena-Verteilnetzstudie: Ausbau-und Innovationsbedarf der Strom-verteilnetze in Deutschland bis 2030; Deutsche Energie-Agentur GmbH; Berlin; Dezember 2012 (abgerufen zuletzt am 22.03.2019 unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9100_dena-Verteilnetzstudie_Abschlussbericht.pdf)
- [14] H. Vennegeerts, J. Tran, F. Rudolph, P. Pfeifer: Metastudie Forschungsüberblick Netzintegration Elektromobilität; FGH-Studie im Auftrag von VDE.FNN und BDEW; Aachen, Dezember 2018
- [15] L. Liu: Einfluss der privaten Elektrofahrzeuge auf Mittel- und Niederspannungsnetze; Dissertation; TU Darmstadt; Darmstadt, 2018
- [16] B. Walzel, M. Hirz, H. Brunner: Anforderungen an die Tankstelle im Jahr 2025, Institut für Fahrzeugtechnik/ TU Graz, 2016 (abgerufen zuletzt am 22.03.2019 unter https://pure.tugraz.at/ws/portalfiles/portal/3078162/EnInnov2016_LF_Walzel.pdf)

- [17] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Rechtsgutachten zur Anwendbarkeit von § 3 Preisangabenverordnung (PAngV) auf Ladestrom für Elektromobile sowie zur Zulässigkeit und Vereinbarkeit verschiedener am Markt befindlicher Tarifmodelle für Ladestrom mit den Vorgaben der PAngV; Berlin, 24. August 2018 (abgerufen zuletzt am 13.03.2019 unter <https://www.ratgeber-elektroautos.de/download/preisangabe-fuer-und-abrechnung-von-ladestrom-fuer-elektromobile-rechtsgutachten.pdf>)
- [18] R. Brücken: Saft- und kraftlos; Artikel in den VDI-Nachrichten Nr. 43 vom 26. Oktober 2018, S. 19
- [19] Lichtblick/ Statista: Ladesäulen-Ckeck 2018; Hamburg, Juli 2018 (abgerufen zuletzt am 13.03.2019 unter <https://www.lichtblick.de/presse/news/2018/07/13/ladesaeulen-check-2018-teure-tarife-und-regionale-monopole-bestimmen-den-markt/>)
- [20] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV): Diskussionsentwurf: gesetz zur Förderung von Barrierefreiheit und Elektromobilität im Miet- und Wohnungseigentumsrecht, 31. Juli 2018 (abgerufen zuletzt am 13.03.2019 unter <https://www.bmjv.de/SharedDocs/Gesetzgebungsverfahren/DE/Reform+Wohnungseigentumsgesetz+WEG.html>)

Anhang A – Standort- und Hauptkategorien

Standortkategorie	Hauptkategorie
Allgemeinmedizin und Praktische Ärzte	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Anästhesist	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Ateliers & Ausstellungsräume	Kultur
Augenheilkunde	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Bahnhof	Verkehr
Baumarkt	Nahversorgung
Bildung	Bildung
Bücherei	Öffentliche Einrichtungen und Dienstleistungen
Café	Hotel und Gastronomie
Campingplatz	Freizeit und Naherholung
Chirurgie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Diagnose-Center	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Dialysezentrum	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Einkaufszentrum	Einkaufszentrum
Erholungspark	Freizeit und Naherholung
Feuerwehr	Öffentliche Einrichtungen und Dienstleistungen
Frauenheilkunde und Geburtshilfe	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Freibad/Hallenbad	Sport
Freizeit	Freizeit und Naherholung
Friedhof	Religiöse Einrichtungen
Fußpflege	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Gaststätte	Hotel und Gastronomie
Gefängnis	Öffentliche Einrichtungen und Dienstleistungen
Gesundheitszentrum	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Haut- und Geschlechtskrankheiten	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Heilpraktiker	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Homöopathie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Hotel	Hotel und Gastronomie
Innere Medizin	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Jugendzentrum	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Kieferorthopädie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Kinder- u. Jugendlichen-Psychotherapie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Kinder- und Jugendmedizin	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Kindertageseinrichtung	Soziale Einrichtungen
Klinik	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Krankengymnastik	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Krankenhaus	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Kultur	Kultur
Logopäde	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Medizinische Einrichtung	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Medizinisches Versorgungszentrum	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Möbelhaus	Fachmärkte
Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte

Standortkategorie	Hauptkategorie
Museum	Kultur
Nahversorgung	Nahversorgung
Neurochirurgie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Neurologie und Psychiatrie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Orthopädie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Parks	Freizeit und Naherholung
Pflegeheim	Soziale Einrichtungen
Physikalische und Rehabilitative Medizin	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Physiotherapie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Podologie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Polizei	Öffentliche Einrichtungen und Dienstleistungen
Psychiatrie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Psychotherapie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Radiologie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Raststätte	Verkehr
Religiöse Einrichtung	Religiöse Einrichtungen
Restaurant	Hotel und Gastronomie
Sport	Sport
Strahlentherapeut	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Therapiezentrum	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Tierarzt	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Urologie	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte
Veranstaltung	Kultur
Verwaltung	Öffentliche Einrichtungen und Dienstleistungen
Zahnärzte	Medizinische Einrichtungen und Fachärzte

Anhang B – Erläuterung des Excel-Werkzeuges

Grundlage des Werkzeuges bilden vor allem verknüpfte Leistungsgleichungen aus den Nieder- und Mittelspannungsebenen, welche mithilfe eines Netzberechnungsprogramms überprüft und verifiziert wurden. Insgesamt besteht das Werkzeug aus zwei Kategorien, zum einen die Abschätzung einer einzelnen Stichleitung und zum anderen die Abschätzung eines abgeschlossenen Netzgebietes, was sich auch im Aufbau des Werkzeuges widerspiegelt (vgl. Abbildung 23). Das Ziel oder auch die Grundlage der Berechnung einer Stichleitung ist dabei die Kabelauslastung, wohingegen in der Kategorie des Netzgebietes vor allem die Transformatorleistung von Interesse ist.

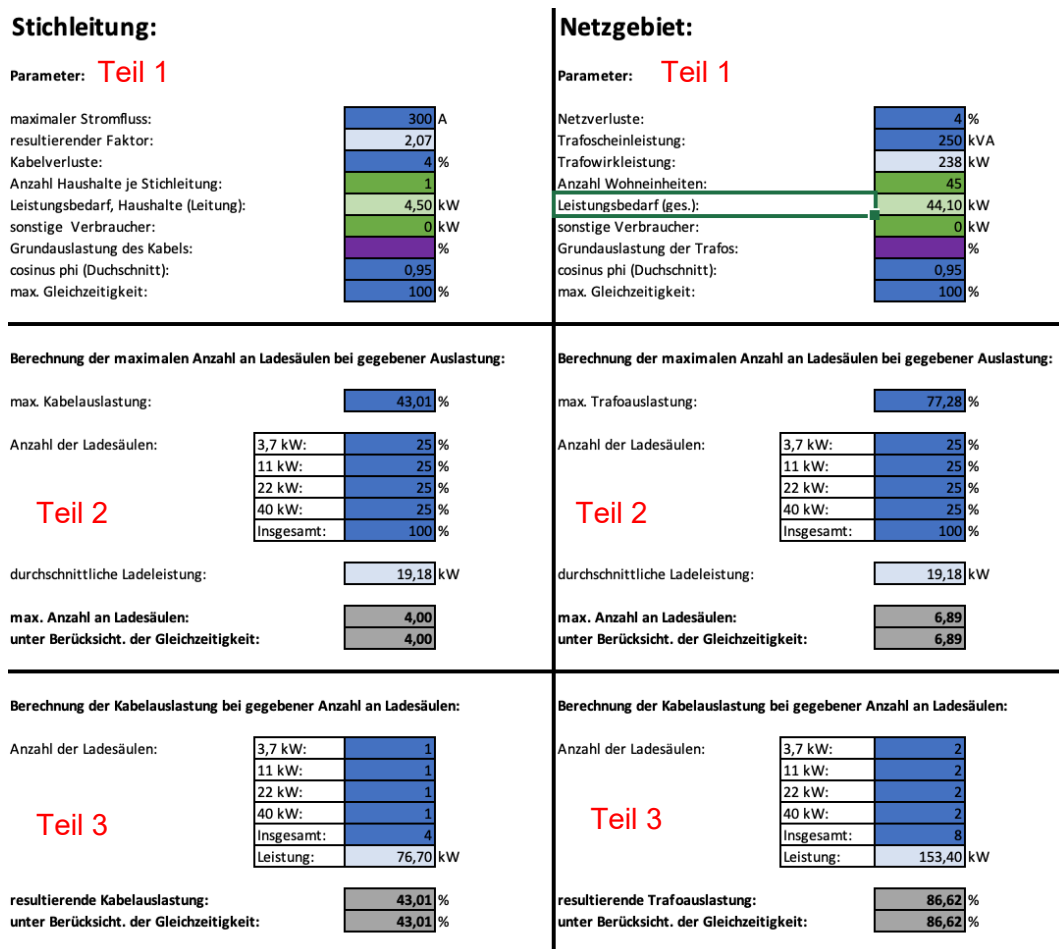


Abbildung 23: Layout des Excel-Tools

Jede Kategorie besteht aus jeweils drei Teilen: In dem ersten Teil werden die grundlegenden Parameter für die Berechnung eingetragen. Der maximale Stromfluss eines Kabels aus der ersten Kategorie kann dabei dem zugehörigen Datenblatt des Kabels entnommen werden. In den nachfolgenden zwei Teilen wird entweder die maximale Anzahl

an Ladepunkten bei gegebener Auslastung oder die resultierende Auslastung bei gegebener Anzahl an Ladepunkten berechnet.

Die dunkel gefärbten Felder stehen hierbei für die Felder, in welche der Nutzer die gegebenen Randbedingungen eingibt. Die Felder mit einer hellen Färbung werden vom Tool selbstständig berechnet. Die grauen Felder beinhalten das Ergebnis einer jeweiligen Berechnung. Wichtig zu erwähnen ist zudem die Bedeutung der grün und violett gefärbten Felder. Das Tool rechnet hierbei immer mit den Zahlenwerten einer Färbung. Entweder kann an dieser Stelle die Anzahl der Wohneinheiten sowie der Leistungsbedarf von sonstigen Verbrauchern angegeben werden (grün) oder es wird direkt mit einer vorliegenden Kabel- oder Trafoauslastung in % gerechnet (violett). Wird in das violette Feld ein Wert eingetragen, so wird der Nutzer automatisch darüber informiert, dass an dieser Stelle folglich mit der Grundauslastung gerechnet wird und nicht mit dem Leistungsbedarf der Verbraucher. Für die Berechnung mit letzteren muss das Feld der Grundauslastung leer bleiben.

Um die maximale Belastung der Betriebsmittel unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit zu ermitteln, fließt an dieser Stelle noch der Faktor der maximalen Gleichzeitigkeit mit in die Berechnungen ein. Liegen bspw. 20% der Ladevorgänge zwischen 00:00 bis 08:00 Uhr, 40 % zwischen 08:00 und 16:00 Uhr und 60 % zwischen 16:00 und 24:00 Uhr so liegt die größte Belastung in den Abendstunden vor. Dies hat zur Folge, dass lediglich 60 % der Ladevorgänge gleichzeitig durchgeführt werden und somit die gesamte Auslastung der Betriebsmittel sinkt.

Für eine unproblematische und schnelle Verwendung des Tools sorgt zudem eine zusätzliche Tabelle mit einer Sammlung von häufig verwendeten Kabelarten und den zugehörigen maximalen Strömen.

Anwendungsbeispiel

In den folgenden beiden Abschnitten wird das Excel-Tool anhand von zwei Beispielen erläutert, zum einen die Installation einzelner Ladesäulen an einem Kabel, zum anderen die maximale Anzahl an Ladesäulen in einem Netzgebiet.

Netzgebiet

Zur Verifikation des Excel-Tools wird eine geeignete Simulationsumgebung geschaffen. In dieser Simulation wird ein Maschennetz mit 75 Haushaltslasten und 10 Ladesäulen

mit jeweils 11 kW erstellt (vgl. Abbildung 24). Für jeden Trafo in diesem Gebiet wird eine identische Nennleistung. Von 400 kVA angenommen.

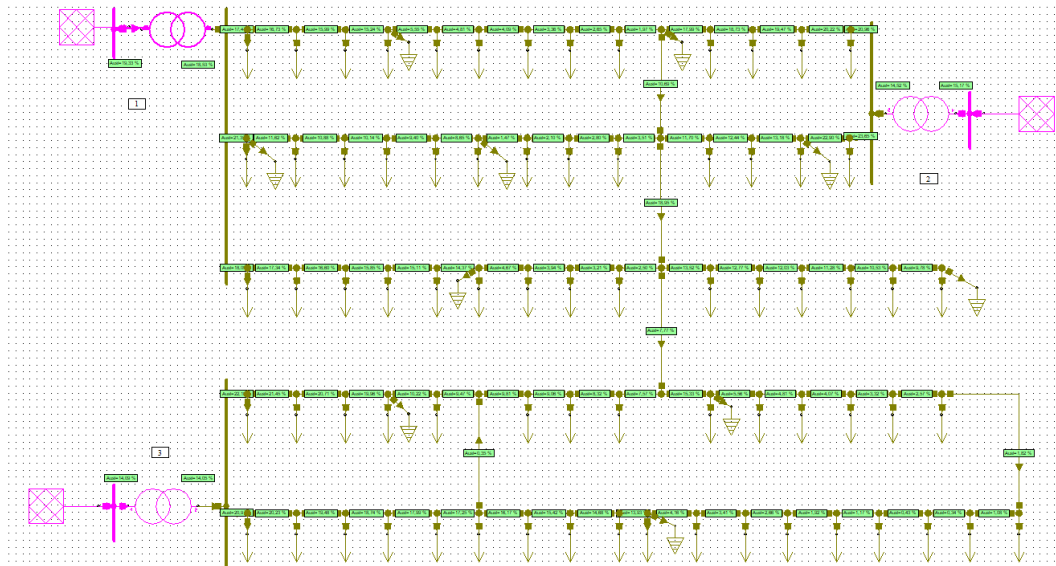


Abbildung 24: Gewählter Netzausschnitt

Die Simulation ergibt folgende Transformatorauslastungen:

- Trafo 1: 19,33 %
- Trafo 2: 15,17 %
- Trafo 3: 14,09 %

Im Mittel ergibt sich eine Transformatorauslastung von 16,197 %.

Zur Überprüfung des Excel-Tools soll geprüft werden, wie viele Ladeeinrichtungen von 11 kW bei einer gesamten Transformatorleistung von 1200 kVA (dreimal 400 kVA) und einer mittleren Auslastung von 16,197 % (bei kompletter Gleichzeitigkeit) zulässig sind. Abbildung 25 zeigt die einzutragenden Werte in das Excel-Tool.

Netzgebiet:

Parameter:

Netzverluste:	4	%
Trafoscheinleistung:	1200	kVA
Trafowirkleistung:	1140	kW
Anzahl Wohneinheiten:	75	
Leistungsbedarf (ges.):	68,37	kW
sonstige Verbraucher:	0	kW
Grundauslastung der Trafos:		%
cosinus phi (Duchschnitt):	0,95	
max. Gleichzeitigkeit:	100	%

Berechnung der maximalen Anzahl an Ladesäulen bei gegebener Auslastung:

max. Trafoauslastung: 16,197 %

Anzahl der Ladesäulen:	3,7 kW:	0	%
	11 kW:	100	%
	22 kW:	0	%
	40 kW:	0	%
	Insgesamt:	100	%

durchschnittliche Ladeleistung: 11,00 kW

max. Anzahl an Ladesäulen: 9,90
unter Berücksicht. der Gleichzeitigkeit: 9,90

Berechnung der Trafoauslastung bei gegebener Anzahl an Ladesäulen:

Anzahl der Ladesäulen:	3,7 kW:	0
	11 kW:	10
	22 kW:	0
	40 kW:	0
	Insgesamt:	10
Leistung:	110,00	kW

resultierende Trafoauslastung: 16,30 %
unter Berücksicht. der Gleichzeitigkeit: 16,30 %

Abbildung 25: Excel-Tool-Netzabschnitt

Laut der Berechnung können insgesamt 9,9 Ladesäulen installiert werden, dies entspricht einem Fehler in Höhe von 1%. Die prozentuale Abweichung der zweiten Berechnung liegt sogar bei unter 1 %. Insgesamt kann das Tool an dieser Stelle jedoch, wie bereits erwähnt, nur einen gemittelten Wert aller Trafoauslastungen berechnen, wodurch bei einer ungleichmäßigen Verteilung ein Transformator deutlich stärker belastet sein kann als die restlichen Transformatoren.

(Stich-) Leitung

Mit dieser Berechnung soll ein einzelnes Kabel für die Überprüfung des Excel-Tools verwendet werden. Bei einer Stichleitung mit 15 Haushaltslasten und 5 Ladesäulen à 11 kW wird eine Lastflussanalyse mit einem Netzberechnungsprogramm durchgeführt. In diesem Beispiel wird der Kabeltyp NAYCWY 4x185/95 1kV-TN verwendet. Das Simulationsergebnis ergibt eine Kabelauslastung von 34,5%.

Für die Berechnung der Belastbarkeit eines Kabels ist der zulässige Dauerstrom eines Kabels entscheidend. Im zweiten Arbeitsblatt des Excel-Tools sind beispielhaft die maximalen Ströme für unterschiedliche Kabeltypen angegeben, die jedoch auch aus anderen Quellen ermittelt werden können. Das ausgewählte Kabel ist bei Verlegung unter der Erde für einen maximalen Dauerstrom von 313 A zugelassen.

1	Kabeltyp	Aderzahl und Nennquerschnitt	Erde	Luft
112	NAYCWY 0.6/1 kV	3 x 35 RE/ 35	123	101
113	NAYCWY 0.6/1 kV	3 x 50 SE/ 50	145	121
114	NAYCWY 0.6/1 kV	3 x 70 SE/ 70	180	155
115	NAYCWY 0.6/1 kV	3 x 95 SE/ 95	216	189
116	NAYCWY 0.6/1 kV	3 x 120 SE/120	246	220
117	NAYCWY 0.6/1 kV	3 x 150 SE/150	276	249
118	NAYCWY 0.6/1 kV	3 x 185 SE/185	313	287
119	NAYCWY 0.6/1 kV	4 x 35 RE/ 16	123	101
120	NAYCWY 0.6/1 kV	4 x 50 SE/ 25	145	121
121	NAYCWY 0.6/1 kV	4 x 70 SE/ 35	180	155
122	NAYCWY 0.6/1 kV	4 x 95 SE/ 50	216	189
123	NAYCWY 0.6/1 kV	4 x 120 SE/ 70	246	220
124	NAYCWY 0.6/1 kV	4 x 150 SE/ 70	276	249
125	NAYCWY 0.6/1 kV	4 x 185 SE/ 95	313	287
126	NAYCWY 0.6/1 kV	4 x 240 SE/120	362	339
127	NA2XY 0.6/1 kV	4 x 35 RE	135	126
128	NA2XY 0.6/1 kV	4 x 50 SE	158	149

Abbildung 26: Auswahl beispielhafter Kabeltypen

Die einzutragenden Daten sind in der folgenden Abbildung ersichtlich.

Stichleitung:

Parameter:

maximaler Stromfluss:	313	A
resultierender Faktor:	2,16	
Kabelverluste:	4	%
Anzahl Haushalte je Stichleitung:	15	
Leistungsbedarf, Haushalte (Leitung):	14,20	kW
sonstige Verbraucher:	0	kW
Grundauslastung des Kabels:		%
cosinus phi (Duchschnitt):	0,95	
max. Gleichzeitigkeit:	100	%

Berechnung der maximalen Anzahl an Ladesäulen bei gegebener Auslastung:

max. Kabelauslastung:	34,5	%
Anzahl der Ladesäulen:	3,7 kW:	0 %
	11 kW:	100 %
	22 kW:	0 %
	40 kW:	0 %
	Insgesamt:	100 %
durchschnittliche Ladeleistung:	11,00	kW
max. Anzahl an Ladesäulen:	4,89	
unter Berücksicht. der Gleichzeitigkeit:	4,89	

Berechnung der Kabelauslastung bei gegebener Anzahl an Ladesäulen:

Anzahl der Ladesäulen:	3,7 kW:	0
	11 kW:	5
	22 kW:	0
	40 kW:	0
	Insgesamt:	5
Leistung:	55,00	kW
resultierende Kabelauslastung:	35,13	%
unter Berücksicht. der Gleichzeitigkeit:	35,13	%

Abbildung 27: (Stich-) Leitung

Laut der ersten Berechnung können lediglich 4,89 Ladesäulen anstatt 5 installiert werden. Der Fehler beträgt 2,2 %. Auch bei der zweiten Berechnung ergibt sich eine prozentuale Abweichung in Höhe von ca. 1,8 %. Diese geringen Abweichungen sind für einen ersten Überblick hinsichtlich der Machbarkeit einer Ladesäuleninstallation durchaus tolerierbar.