

PB:E-Mobil

E-Mobilitätskonzept für Paderborn

Abschlussbericht

Version 1.0

09. Oktober 2019

Zusammenfassung

Dieser Abschlussbericht dokumentiert die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Entwicklung eines Ladeinfrastrukturkonzeptes für die Stadt Paderborn. Im Projekt wurden Markthochlaufszzenarien für die Stadt Paderborn entwickelt, darauf basierend ein Ausbauplan der Ladeinfrastruktur für die einzelnen Stadtgebiete sowie öffentlichen Parkplätze ermittelt und schließlich die Auswirkungen von Ladevorgängen auf das Energienetz des örtlichen Verteilnetzbetreibers untersucht. Ergänzend zu diesem Dokument wird an dieser Stelle auf den Foliensatz mit allen Ergebnissen im Anhang verwiesen.

Inhalt

Zusammenfassung.....	2
1 Motivation und Zielsetzung.....	3
2 Ermittlung von Hochlaufszzenarien	3
3 Ermittlung einer effektiven Ladeinfrastruktur für die Stadt Paderborn	5
3.1 Eingabedaten der Simulation	5
3.2 Vorgehensweise der Simulation.....	6
4 Ergebnisse	9
5 Fazit	11

1 Motivation und Zielsetzung

Im Kampf gegen die globale Erwärmung gerät der Straßenverkehr zunehmend ins Visier der Politik. Ein Fünftel aller Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland wird durch den Straßenverkehr verursacht. Die Elektromobilität wird dabei zukünftig aufgrund jüngster politischer und technologischer Entwicklungen als wesentlicher Treiber gesehen, um diese Emissionen zu reduzieren. Batterieelektrische Fahrzeuge sind kurzfristig die konvergente Technologie für PKW und Standard-Nutzfahrzeuge. Sie weisen gegenüber Wasserstoff- oder Biokraftstoff-Fahrzeugen aktuell die meisten Vorteile auf, erfordern aber den Ausbau einer umfassenden Ladeinfrastruktur. Günstige Entwicklungen bei den politischen Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel die Kaufpreisprämie für batterieelektrische Fahrzeuge sowie des aktuellen technischen Fortschritts bei der Batterietechnik führen zu Prognosen, dass die Elektromobilität in Zukunft stark wachsen wird (vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1: Fortschritt der Elektromobilität

In dieser Studie wird die Fragestellung untersucht, wie eine effektive Ladeinfrastruktur in der Stadt Paderborn in Zukunft gestaltet sein muss. Ziel ist es, einen Entwicklungsplan für die nächsten 15 Jahre zu entwickeln. Dabei sollen die jeweilige Durchdringung der Elektromobilität genauso berücksichtigt werden wie die Auswirkungen von Ladevorgängen auf das Energienetz des örtlichen Verteilnetzbetreibers Westfalen Weser Netz.

2 Ermittlung von Hochlaufszszenarien

Welcher Marktanteil an Elektrofahrzeugen ist in Paderborn in den nächsten 15 Jahren zu erwarten? Zur Beantwortung dieser Frage ist ein Marktmodell entwickelt und entsprechend der gegenwärtigen Ausgangslage in der Stadt Paderborn parametrisiert worden, mit dem Ziel, Szenarien zu erstellen. Insgesamt sind drei Szenarien entwickelt worden (d. h. „WORST-Case“, „BASE-Case“ und „BEST-Case-Szenario“). Neben technischen Faktoren sind bei der Entwicklung der Szenarien auch ökonomische Daten berücksichtigt worden. Zu den technischen Daten zählt beispielsweise die zukünftige Entwicklung der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien. Zu den ökonomischen Daten zählen Faktoren wie die ge-

ringeren Betriebskosten durch die höhere Energieeffizienz des Elektroantriebs. Ebenso wurden hemmende Rahmenbedingungen für die Verbreitung von Elektrofahrzeugen, beispielsweise die aktuell noch unzureichende Rohstoffverfügbarkeit von Lithium und seltenen Erden berücksichtigt. Weitere Annahmen für die Entwicklung der Markthochlaufszszenarien sind für das „BASE-Case-Szenario“ in Abbildung 2 aufgeführt.

Startzeitpunkt des Hochlaufs (2022)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mehrere Bedingungen müssen gleichzeitig erfüllt sein: <ul style="list-style-type: none"> • Bezahlbare Fahrzeuge von etablierten Massenherstellern erst ab 2020 im Markt • Langstrecken-Ladeinfrastrukturnetzwerk (Daimler, BMW, Ford, VW) in nennenswerter Anzahl erst ab 2020 sichtbar • Voraussetzungen für Laden in MFH noch nicht geschaffen
Mengen vor Hochlauf gering	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mengenentwicklung mit ähnlich moderaten Wachstumsraten wie seit 2010 angenommen ▪ Beschleuniger sind noch nicht erkennbar, daher weiter nur Pioniere und gewerbliche Kurzstrecken-Fuhrparks ▪ Letztere haben lange Fahrzeug-Laufzeiten und daher nur moderate Wechselraten
Sättigungswert 50% bei PKW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Annahme, dass max. 50% der PKW bei aktueller Technologie durch reine E-Fahrzeuge ersetzt werden; extreme Fahrprofile und Sondernutzungen sind außen vor. ▪ Bei weitgehend stabilem PKW-Bestand (46 Mio. Fahrzeuge) also ca. 23 Mio. E-PKW ▪ Bestandsänderungen durch autonomes Fahren und Car-Sharing nicht im Betrachtungshorizont angenommen, eher nach 2030 wirksam.
Zeitpunkt der Sättigung (2037)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nach Eintreten der Hochlaufs (alle Voraussetzungen sind endlich erfüllt) erwarten wir eine mittlere Adaptionrate – Zögerer und Promoter halten sich die Waage. ▪ Keine höheren PKW-Absatzraten als aktuell ▪ Lieferfähigkeit vorausgesetzt ▪ Sättigung nach ca. 15 Jahren (2037), Abflachen der Kurve daher ab ca. 2030

Abbildung 2: Annahmen für Markthochlaufszszenario (BASE-Case)

Für jedes der oben beschriebenen Szenarien ist anschließend das resultierende Marktvolumen an Elektrofahrzeugen für Paderborn prognostiziert worden. In Abbildung 3 ist das entsprechende Marktvolumen im jeweiligen Szenario im Zeitverlauf dargestellt. Zwischen den einzelnen Szenarien lassen sich dabei deutliche Unterschiede in der Stärke des Marktwachstums feststellen. Diese Unterschiede begründen sich durch die aktuell noch hohen Unsicherheiten bei der zukünftigen Entwicklung von technischen und ökonomischen Einflussfaktoren (siehe oben). Insgesamt ist erst ab 2021/22 in allen Szenarien mit einer deutlich anziehenden Nachfrage an Elektrofahrzeugen zu rechnen. Dies begründet sich darin, dass etablierte Massenhersteller voraussichtlich ab diesem Zeitpunkt bezahlbare Fahrzeuge mit akzeptabler Reichweite am Markt anbieten werden.

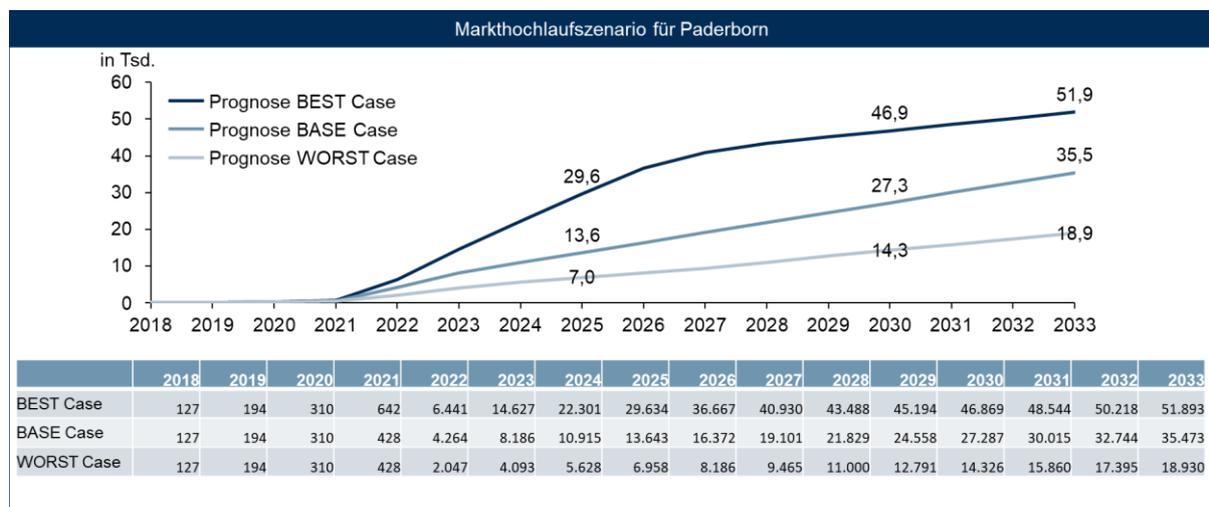


Abbildung 3: Markthochlaufszszenarien für Paderborn

3 Ermittlung einer effektiven Ladeinfrastruktur für die Stadt Paderborn

In diesem Abschnitt wird das Vorgehen zur Ermittlung einer effektiven Ladeinfrastruktur für die Stadt Paderborn vorgestellt. Dazu wird ein Simulationsverfahren eingesetzt, welches ausgehend von aktuellen Mobilitätsdaten und Daten zu Parkplatzstandzeiten den Bedarf an öffentlichen Ladepunkten bestimmt, anschließend unter Berücksichtigung einer möglichst effizienten Bedarfsdeckung Ladepunkte im Stadtgebiet verteilt und schließlich die Auswirkungen auf die Auslastung der Ortsnetzstationen des Energienetzes untersucht. In diesem Abschnitt werden die notwendigen Eingabedaten und die Funktionsweise der entwickelten Simulation beschrieben. Eine Übersicht zur groben Funktionsweise der Simulation ist in Abbildung 4 dargestellt.

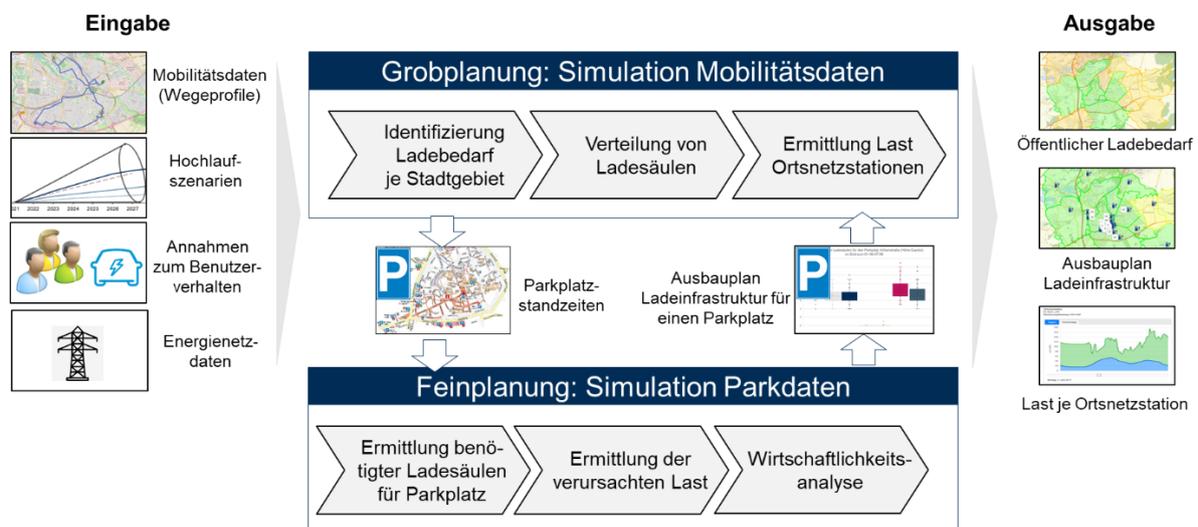


Abbildung 4: Übersicht der Simulation

3.1 Eingabedaten der Simulation

In diesem Abschnitt werden zunächst die erforderlichen Eingabedaten der Simulation spezifiziert. Dazu zählen die Markthochlaufszenerarien, Mobilitätsdaten, Annahmen zum Benutzerverhalten, Energienetzdaten und Parkplatzstandzeiten.

Markthochlaufszenerarien

Der Markthochlauf der Elektromobilität ist ein wichtiger Einflussfaktor für den Bedarf an Ladeinfrastruktur. Da er von mehreren nicht exakt prognostizierbaren technischen und ökonomischen Einflussfaktoren abhängt, wurden drei Szenarien erstellt, die eine langsame („WORST-Case-Szenario“), schnelle („BEST-Case-Szenario“) und mittlere („BASE-Case-Szenario“) Entwicklung des Hochlaufs der Elektromobilität abdecken (vgl. Kapitel 2). Insgesamt geben die Szenarien das erwartete Marktvolumen an Elektrofahrzeuge in Paderborn bis zum Jahr 2033 wieder.

Mobilitätsdaten (Wegeprofile)

Die Stadt Paderborn hat im Jahr 2018 eine Haushaltsbefragung zur Mobilität durchgeführt. Teil dieser Befragung war ein Wegeprotokoll, in dem die befragten Bürger Angaben zu einzelnen Wegstrecken an einem Stichtag gemacht haben. Die Angaben enthielten die Uhrzeiten zu Beginn und Ankunft, den

Zweck, das genutzte Verkehrsmittel, das Ziel sowie die zurückgelegte Entfernung. Die räumliche Genauigkeit war dabei innerhalb von Paderborn der Stadtteil bzw. „Sozialraum“ und bei Zielen außerhalb von Paderborn die jeweilige Stadt. Aus diesen Daten sind Wegeprofile von Autofahrten abgeleitet worden. Die Daten enthalten außerdem Informationen darüber, ob ein eigener Stellplatz oder eine Garage zur Verfügung steht.

Annahmen zum Benutzerverhalten

Bezüglich des öffentlichen Ladebedarfs mussten Annahmen getroffen werden, da bisher wenig Erfahrungswerte vorliegen. So wird angenommen, dass 80% der Personen, die über eine eigene Garage verfügen, diese zum Erfüllen ihres Ladebedarfs nutzen. Bei Personen mit einem eigenen (nicht witterungsgeschützten) Stellplatz wird angenommen, dass 50% diesen zum Laden nutzen. Bei Personen ohne eigenen Stellplatz (Laternenparker) wird angenommen, dass diese nicht zu Hause laden können. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass von den Personen, die nicht zu Hause laden können, 20% bei ihrer Arbeitsstelle laden. Des Weiteren wurde bei der Analyse unterstellt, dass Nutzer ihre aktuellen Wegprofile auch bei Nutzung eines Elektrofahrzeugs beibehalten. Weitere Annahmen betreffen den Verbrauch der Elektrofahrzeuge. Hier wurde ein durchschnittlicher Verbrauch von 20 kWh/100 km unterstellt. Zudem muss die Ladeleistung der Ladesäulen vor Beginn eines Simulationslaufs festgelegt werden (hier: 11 kW).

Energienetz

Der Betreiber des Paderborner Stromnetzes Westfalen Weser Netz hat Daten zum Energienetz von Paderborn zur Verfügung gestellt. Aus diesen Daten wurde ein Simulationsmodell erstellt, mit dem die Auslastung der einzelnen Ortsnetzstationen auf Grundlage von Standardlastprofilen über das Jahr 2017 simuliert werden kann.

Parkplatzstandzeiten

Die Stadt Paderborn hat Daten über die von ihr bewirtschafteten Parkflächen bereitgestellt. Dies umfasst Daten aus Parkscheinautomaten, Parkhäusern und dem Parkleitsystem. Dadurch konnte der zeitliche Verlauf der Belegung von einzelnen Parkflächen ermittelt werden. Für die Ermittlung der notwendigen Ladeinfrastruktur waren insbesondere die Standzeiten der Fahrzeuge wichtig, da hieraus die konkrete Dauer eines Parkvorgangs und die Belegung eines Parkplatzes, die zur Planung eines Ladevorgangs wichtig sind, abgeleitet werden können. Da nicht alle Parkscheinautomaten Daten zu einzelnen Parkvorgängen aufzeichnen, konnten die Standzeiten nicht für alle Parkflächen ermittelt werden.

3.2 Vorgehensweise der Simulation

Bedingt durch die unterschiedliche Art der verwertbaren Daten, wurde die Simulation in zwei Detailgraden durchgeführt. Im ersten Schritt wird eine Grobplanung durchgeführt, die auf einer Simulation mit Mobilitätsdaten (Wegeprofilen) basiert. Daraus ergeben sich auch potenzielle Standzeiten für die Parkflächen. In einem zweiten Schritt erfolgt dann eine Feinplanung, bei der auf Grundlage der Parkdaten eine Simulation von einzelnen Parkflächen erfolgt. Auf die Grob- und Feinplanung wird im Folgenden im Detail eingegangen. Zusätzlich wurde eine Energienetzsimulation durchgeführt, um die Auswirkungen der Ladevorgänge auf das Energienetz zu untersuchen.

Grobplanung: Ermittlung des Bedarfs an Ladeinfrastruktur für einzelne Stadtteile

Die Grundlage für die Grobplanung ist eine Simulation der Wegeprofile. Da die räumliche Genauigkeit der Wegeprofile innerhalb von Paderborn auf die Sozialräume begrenzt ist, entspricht dies auch der Genauigkeit der Simulation.

Jedem Simulationslauf wird ein Jahr aus einem Szenario zu Grunde gelegt, woraus sich der Anteil der Elektrofahrzeuge ergibt. Es wird ein exemplarischer Tag simuliert, bei dem die Wegeprofile auf die prognostizierte Anzahl von Elektrofahrzeugen in Paderborn hochgerechnet werden. Die gefahrenen Strecken erzeugen einen Energieverbrauch, der unten den in Abschnitt 3.1. getroffenen Annahmen nachgeladen werden muss (Nachladebedarf).

Fahrzeuge mit einer ausreichend großen Batterie müssen nicht jeden Tag nachgeladen werden. Es wird trotzdem für alle Elektrofahrzeuge am exemplarischen Tag ein Ladebedarf angenommen, da davon ausgegangen wird, dass ein potentiell geringerer Ladebedarf durch Fahrzeuge, die an diesem Tag nicht laden, vom Mehrbedarf der Fahrzeuge ausgeglichen wird, die einen Energieverbrauch nachladen, der an einem vorherigen Tag entstanden ist und somit nicht berücksichtigt wurde.

Auf Grundlage des ermittelten Ladebedarfs werden im folgenden Schritt Ladestationen in den Sozialräumen platziert, um den Ladebedarf zu decken. Dabei werden so viele Ladestationen aufgestellt, dass mindestens 50% des Ladebedarfs gedeckt wird sowie die maximale Auslastung der Ladestation maximal 60% beträgt. In der Kernstadt soll die maximale Auslastung 30% betragen, da hier eine hohe Anzahl an Besuchern von außerhalb Paderborns erwartet wird, für welche bei der Erstellung der Studie keine Wegeprofile zur Verfügung standen. Es wird berücksichtigt, dass Fahrzeuge im Laufe des Tages in unterschiedlichen Sozialräumen parken und laden können. Somit können auch Ladestationen in einem Sozialraum den Ladebedarf von Personen, die in einem anderen Sozialraum wohnen, abdecken.

Feinplanung: Ermittlung des Bedarfs für öffentliche Parkplätze

Im Rahmen der Feinplanung wird auf Basis der Parkplatzstandzeiten der öffentliche Ladebedarf für entsprechende Parkplätze ermittelt. Während in der Grobplanung nur Einwohner des Stadtgebiets Paderborn erfasst wurden (aufgrund der erhobenen Mobilitätsprofile), werden in der Feinplanung sämtliche Parkplatznutzer berücksichtigt (d. h., es werden Einwohner aus Paderborn sowie auswärtige Besucher erfasst, die sich einen Parkschein gekauft haben).

Zunächst wird für eine repräsentative Woche eines jeden Kalenderjahres des Planungszeitraums die Anzahl benötigter Ladepunkte ermittelt. Dazu wird entsprechend der Markthochlaufszenerarien zunächst simuliert, welche Parkvorgänge im entsprechenden Szenario mit einem E-PKW erfolgen. Von dieser Menge wird anschließend zufällig ermittelt, welches Fahrzeug einen Ladebedarf hat (Annahme: 16% der E-PKW laden) und wie hoch dieser ist (dreiecksverteilt; min. 5 kWh, mean 10 kWh, max. 20 kWh). Entsprechend der Ankunfts- und Abfahrtszeiten sowie der definierten Ladeleistung der Ladesäulen wird schließlich die Anzahl der benötigten Ladepunkte ermittelt. Um robuste Ergebnisse zu bekommen, wird dieses Vorgehen 200-mal wiederholt und schließlich der Mittelwert bezüglich der Anzahl an benötigten Ladepunkten berechnet.

Im Anschluss an die Ermittlung der benötigten Ladepunkte wird die durch die Ladevorgänge verursachte Last ermittelt. Zudem wird mittels Kapitalwertmethode die Wirtschaftlichkeit der Investition der Ladesäulen unter Berücksichtigung des Stromabsatzes ermittelt.

Integration der Ergebnisse Grob- und Feinplanung

Die Ergebnisse der Grob- und Feinplanung beruhen auf unterschiedlichen Datenquellen. So verwendet die Grobplanung Daten aus der Haushaltsbefragung zur Mobilität der Stadt Paderborn. Dadurch kann der Ladebedarf für die Einwohner von Paderborn identifiziert werden. Die Feinplanung operiert dagegen auf Parkplatzstandzeiten auf Basis von Daten der Parkscheinautomaten und erlaubt damit die Berücksichtigung all jener, die einen Parkschein lösen. Dazu zählen einerseits auswärtige Besucher, andererseits aber auch Einwohner von Paderborn, die keine andere Berechtigung, wie einen Anwohnerparkausweis, besitzen. Die zuletzt genannte Menge ist allerdings auch in der Datengrundlage der Daten der Haushaltsbefragung enthalten. Dies führt dazu, dass die beiden Ergebnisse nicht schnittmengenfrei sind (vgl. Abbildung 5). Vielmehr ergibt sich ein Intervall (aus der maximalen Anzahl an benötigten Ladepunkte aus den beiden Teilmengen sowie der Summe der benötigten Ladepunkte der beiden Teilmengen) für die Anzahl notwendiger Ladepunkte, woraus anschließend ein Mittelwert als Handlungsempfehlung für den zukünftigen Ausbau der Ladeinfrastruktur berechnet wird.



Abbildung 5: Verwendete Datenarten in der Simulation und deren Schnittmenge

Energienetzsimulation

Im Rahmen der Energienetzsimulation werden die Auswirkungen von Ladevorgängen auf das Energienetz untersucht. Dazu wird zunächst die Grundlast der Ortsnetzstationen in Paderborn auf Basis von Standardlastprofilen ermittelt. Auf diese Grundlast wird dann die durch die Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen entstehende Last (siehe Grob- und Feinplanung) aufgerechnet. Diese Ladelast unterteilt sich in die drei Arten von Ladevorgängen: Heimpladen, Laden am Arbeitsplatz und öffentliches Laden.

Da es für das Heimpladen nur eine allgemeine Ladelast je Sozialraum gibt, erfolgt eine Zuordnung an die Hausanschlüsse im Stromnetz anteilig zu ihren Standardlastprofilen für private Verbraucher (H0). Dadurch verursacht die Heimpladung insbesondere dort eine Last, wo Privatpersonen wohnen. Dabei beginnt der Ladevorgang bei der, laut Wegeprofil, letzten Ankunft zu Hause. Die Ladelast für das Laden

auf der Arbeitsstelle wird analog zur Heimladung anhand der Standardlastprofile für gewerbliche Verbraucher (G*) zugeordnet. Der Ladevorgang beginnt bei Ankunft am Arbeitsort. Die Ladelast durch öffentliches Laden kann direkt aus der Simulation der Wegeprofile übernommen werden. Die an den aufgestellten Ladestationen anfallenden Ladelasten werden den entsprechenden Ortsnetzstationen zugewiesen.

4 Ergebnisse

Auf Grundlage der entwickelten Szenarien wurde zunächst mit der Grobplanung der Ladebedarf in den einzelnen Stadtgebieten (d.h., Stadtteilen und Sozialräumen) Paderborns ermittelt. Anschließend wurde die Feinplanung ausgeführt, um den Ladebedarf für konkrete Parkplätze zu identifizieren¹. Die Ergebnisse wurden anschließend, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, miteinander kombiniert.

Das Ergebnis dieser Simulation ist zunächst der Bedarf an Ladungen je Stadtgebiet, aufgeteilt in Bedarf nach Heimpladen, Arbeitsladen und öffentlichem Laden. Da sich die Anteile unter anderem daraus ergeben, ob ein eigener Parkplatz oder eine Garage zur Verfügung steht und die Verfügbarkeit in den Stadtteilen sehr unterschiedlich ist, unterscheiden sich auch die entsprechenden Anteile in den einzelnen Sozialräumen. Während beispielsweise in Sennelager 75 % aller Ladungen zu Hause stattfinden, ist dies in der Altstadt nur bei 34 % der Ladungen der Fall. Entsprechend größer ist dort auch der Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur. Dieser Effekt wird noch durch die Tatsache verstärkt, dass in der Altstadt eine deutlich höhere Anzahl von Besuchern aus anderen Sozialräumen parkt.

Neben der Menge an benötigter Ladenergie in kWh ergibt sich auch eine zeitliche Verteilung des Ladebedarfs. Wie in Abbildung 6 dargestellt, fällt ein Großteil der Ladevorgänge im öffentlichen Raum in den Abend- und Nachtstunden an. Dies ist dadurch zu erklären, dass auch Personen ohne eigene Lademöglichkeit ihre Elektrofahrzeuge insbesondere nachts an öffentlicher Ladeinfrastruktur laden.



Abbildung 6: Auslastung einer Ladestation

¹ Anmerkungen: Bei fehlenden Parkplatzstandzeiten wurde der Ladebedarf des entsprechenden Parkplatzes auf Basis der Parkplatzgröße und der Ergebnisse anderer Parkplätze hochgerechnet.

Im nächsten Schritt wurde die Anzahl der benötigten Ladepunkte in den einzelnen Sozialräumen und auf den einzelnen Parkplätzen im Stadtgebiet ermittelt. Der sich daraus ergebende Ausbauplan für das gesamte Stadtgebiet ist für das BASE-Case-Szenario in Tabelle 1 dargestellt. Der Ausbauplan für die konkreten Parkplätze im Stadtgebiet ist in Tabelle 2 aufgeführt. Analog zu dem prognostizierten HochlaufszENARIO ist ab etwa 2022 mit einem ansteigenden Bedarf zu rechnen. Der Großteil fällt dabei insbesondere auf die Kernstadt. Jedoch wird auch in den dünner besiedelten Stadteilen mit zunehmender Anzahl an Elektrofahrzeugen ein Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur entstehen. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte immer eine gerade Anzahl an Ladepunkten errichtet werden (d.h., eine Ladesäule mit zwei Ladepunkten).

	2018	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	<i>(neu)</i>																
Altstadt	8	12	12	16	16	36	50	58	64	74	78	94	96	108	112	120	124
Kernstadt	12	12	12	12	14	34	56	68	80	98	110	126	142	154	168	182	196
West/Nord																	
Kernstadt Ost	2	2	2	2	2	6	12	14	18	22	24	28	32	34	38	42	44
Kernstadt Süd	12	16	16	16	16	36	54	68	78	92	102	114	130	138	152	164	174
Stadtheide	2	2	2	2	2	4	8	10	12	14	16	20	22	24	26	28	30
Lieth/Kaukenberg	0	2	2	2	2	4	6	6	8	10	10	12	14	14	16	18	18
Schloß Neuhaus/Mastbruch	0	2	2	2	2	6	10	14	18	20	24	28	30	32	36	38	42
Sennelager	0	2	2	2	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10	12	12	14
Elsen	0	2	2	2	2	6	8	12	14	16	20	22	24	28	30	32	34
Sande	0	2	2	2	2	2	4	4	4	6	6	8	8	8	10	10	12
Marienloh	0	2	2	2	2	2	2	4	4	4	6	6	6	8	8	8	10
Wewer	0	2	2	2	2	2	4	6	6	8	8	10	10	12	12	14	14
Benhausen	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4
Neuenbeken	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4
Dahl	0	2	2	2	2	2	2	4	4	4	6	6	6	6	8	8	8
Summe	26	64	64	68	70	146	224	276	320	378	424	488	536	582	634	684	728

Tabelle 1: Ausbauplan der Ladeinfrastruktur für das „BASE-Case-Szenario“ nach Stadtteilen (Anzahl Ladepunkte; inkl. Parkplätze)

	2018	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	<i>(neu)</i>																
Tiefgarage Königsplatz	2	2	2	4	4	10	14	16	18	20	22	26	28	30	32	34	36
Parkhaus Libori-Galerie	0	2	2	2	2	6	10	12	14	16	16	20	20	24	24	26	28
Parkplatz Paderhalle & Maspornplatz	2	2	2	4	4	10	14	18	18	22	24	28	28	32	34	36	36
Tiefgarage Volksbank	0	2	2	2	2	2	4	4	4	6	6	8	8	8	8	10	10
Parkplatz Westernmauer	2	2	2	2	2	4	4	4	6	6	6	6	6	8	8	8	8
Parkplatz Domplatz	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
Parkplatz Kulturwerkst.	0	2	2	2	2	2	4	4	4	6	6	6	8	8	10	10	10
Parkhaus Neuhäuser Tor	2	2	2	2	4	10	18	22	26	32	36	42	46	50	54	60	64
Parkplatz Westerntor	0	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	6
Parkplatz Rathenastr.	0	2	2	2	2	4	4	6	8	10	10	12	14	14	16	16	18

Parkhaus Rolandsweg	0	2	2	2	2	10	18	22	26	30	36	40	46	50	54	60	64
Parkplatz Florianstraße	0	2	2	2	2	6	10	12	14	16	18	22	24	26	28	30	34
Parkplatz Hauptbahnhof	0	2	2	2	2	2	8	10	12	12	14	16	20	22	24	26	28
Parkhaus Brüderkrank.	0	4	4	4	4	6	6	8	8	12	12	14	16	16	18	20	22
Parkplatz Südring Center	0	6	6	6	6	22	34	42	48	56	62	70	76	82	90	96	100
Parkplatz Liboriberg	0	4	4	4	4	6	6	8	10	12	14	14	18	18	20	22	24
Summe	10	38	38	42	44	102	156	188	214	254	280	322	354	386	416	450	476

Tabelle 2: Ausbauplan der Ladeinfrastruktur für das „Base-Case-Szenario“ nach Parkplätzen (Anzahl Ladepunkte)

Die Ergebnisse der Energienetzsimulation sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Dort sind, exemplarisch für das Jahr 2028, für jedes Szenario die Anzahl der Ortsnetzstationen angegeben, bei denen die maximale Auslastung innerhalb des simulierten Jahres einen bestimmten Wert überschreitet. Es wird deutlich, dass die Ladevorgänge nur geringe Engpässe im Stromnetz verursachen. Im BASE-Case-Szenario ist an lediglich 3 von 813 Ortsnetzstationen (im BEST-Case-Szenario bei 5 von 813 Ortsnetzstationen) von einer Überlastung auszugehen. Daraus lässt sich ableiten, dass das Stromnetz in Bezug auf die Ortsnetzstationen in Paderborn genug Kapazitäten für die Elektromobilität besitzt und kein präventiver Ausbau notwendig ist, um die Stabilität sicherzustellen. Da die Auswirkungen auf das Energienetz stark von der tatsächlichen Entwicklung der Elektromobilität abhängig sind, sollte diese kontinuierlich beobachtet werden.

SZENARIO	> 20%	> 40%	> 60%	> 80%	> 100%
WORST	428	100	16	4	1
BASE	453	134	24	5	3
BEST	495	206	54	13	5
(OHNE E-MOBILITÄT)	374	66	11	3	1

Tabelle 3: Auslastung der Ortsnetzstationen je Szenario (2028)

5 Fazit

Es ist davon auszugehen, dass durch die Verbreitung von Elektrofahrzeugen ein hoher Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur entsteht. Dabei ist der Investitionsbedarf in den nächsten 2-3 Jahren überschaubar. Dagegen ist ab 2022 mit einem deutlich höheren Bedarf zu rechnen. Die aktuelle Auslastung sowohl der Ladesäulen als auch der Parkflächen im Allgemeinen zur Validierung der Ausbauplanung sollte daher kontinuierlich beobachtet und der weitere, geordnete Ausbau daran gekoppelt werden. Öffentliche Ladebedarfe werden nicht nur in der Kernstadt, sondern auch in den angrenzenden Ortsteilen erwartet. Die Ladeinfrastruktur sollte aus wirtschaftlichen Gründen zum größten Teil aus Wechselstromladestationen bestehen, die um wenige Schnellladesäulen ergänzt werden. Das Stromnetz in Paderborn besitzt in Bezug auf die Ortsnetzstationen ausreichend Kapazitätsreserven für die Elektromobilität. Punktuell sind potenzielle Engpässe mit dem weiteren Aufbau der Ladeinfrastruktur zu prüfen. Weitere Analysen zu Auswirkungen von Ladevorgängen auf das Energienetz sollten in Bezug auf die Auslastung der Erdkabel durchgeführt werden.

Anlage 1: Ausbauplanung der Ladeinfrastruktur im „Base-Case-Szenario“ für das Jahr 2028

