

eSpeicher Halle (Saale) - Nutzung von Speichertechnologie für intelligentes Lademanagement

eSpeicher Halle (Saale) - use of storage technology for intelligent charging management

M.Eng. Maik Amling**, Dipl.-Ing. Peter Hackbarth***, B.Sc. Philipp Kohl****, Dipl.-Ing. Thomas Kraus****, M.Eng. Niklas Rack**, Prof. Dr.-Ing. Jörg Scheffler**, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jan Stoye****, Dipl.-Ing. (FH) Stefan Töpfer***, Dipl.-Ing. Isabel Viehmann****, Dipl.-Ing. Daniel Zwick*

* Stadt Halle (Saale), ** Hochschule Merseburg, *** Energieversorgung Halle Netz GmbH, ****EVH GmbH, ***** pwp-systems GmbH Halle (Saale)

Kurzfassung

Gegenstand des Projektes bildeten die Implementierung einer beispielhaften Ladeinfrastrukturlösung, bestehend aus Ladestationen, einem Batteriespeicher und einem intelligenten Managementsystem sowie die Nutzungsanalyse und Wirkungsabschätzung der geschaffenen Lademöglichkeiten im praktischen Betrieb.

Am Standort werden zum einen ein Verwaltungsgebäude der Stadt Halle (Saale) und zum anderen vier bestehende Ladepunkte mit je 22kW Ladeleistung versorgt. Eine geplante Erweiterung um sechs Ladepunkte mit je 22kW war vorgesehen. Die dafür ermittelten Leistungsreserven am Hausanschluss waren unzureichend. Durch den Einsatz eines Batteriespeichers wurde eine weitestgehend uneingeschränkte Nutzung auch der zusätzlichen Ladeinfrastruktur ohne Ausbau des Netzanschlusses ermöglicht. Der Betrieb wird durch ein Speicher-Lade-Management unter Einbeziehung statischer und dynamischer Netzgrößen optimiert. Ergebnis ist die Ermittlung einer dem Bedarf folgenden Ladekapazität ohne negative Auswirkungen auf das vorgelagerte Netz.

Im Projekt wurde ein Online-Wirtschaftlichkeitstool entwickelt, welches über einen Bewertungsalgorithmus und unter Berücksichtigung sich verändernder Kosten eine erste finanzielle Bewertung des Einsatzes von Speicher-Systemen im Vergleich zu einem Netzausbau erlaubt. Ein weiterer Schwerpunkt der begleitenden Forschung war eine Wirkungsabschätzung für das errichtete System sowie eine gesamtstädtische Potenzialabschätzung für die Stadt Halle (Saale) bezüglich der Reduzierung von Klimagas- und Schadstoffemissionen.

Abstract

The aim of the project was the implementation of a charging infrastructure solution consisting of charging stations, a battery storage system and an intelligent management system as well as the usage analysis and impact assessment of the created charging solutions in practical operation.

At the site, on the one hand an administrative building of the city of Halle (Saale) and on the other hand four existing charging points with 22kW charging power each are supplied. An expansion by another six charging points with 22kW each was envisaged. The power reserves determined for this at the house connection were insufficient. The use of a battery storage system enabled largely unrestricted use of the additional charging infrastructure without expanding the grid connection. Operation is optimized by means of a storage-charge

management system that takes into account static and dynamic grid variables. The result is the determination of a charging capacity following the demand without negative effects on the upstream grid.

In the project, an online economic efficiency tool was developed, which allows a first financial evaluation of the deployment of storage systems compared to grid expansion by means of an evaluation algorithm and considering changing costs. Another focus of the accompanying research was an impact assessment for the installed system as well as a city-wide potential assessment for the city of Halle (Saale) regarding the reduction of greenhouse gas and pollutant emissions.

Inhalt

1	Ziele und Inhalte des Vorhabens	6
2	Randbedingungen für den Anschluss von Ladeinfrastruktur an das Netz der öffentlichen Versorgung für den Standort Am Stadion 5 in Halle (Saale)	7
3	Konzeptionierung des Lade-Speicher-Systems.....	9
3.1	Analyse des Nutzungsverhaltens der vier bestehenden Ladepunkte.....	9
3.2	Dimensionierung des eSpeichers.....	10
3.3	Planung, Errichtung und Betrieb der Ladeinfrastruktur - Hintergrund	11
4	Konzipierung des übergeordneten Lade-Speicher-Managements.....	14
5	Wirtschaftlichkeitstool zur Bewertung des Einsatzes von eSpeichern.....	17
6	Wirkungs- und Potenzialabschätzung zur Schadstoffreduzierung	18
6.1	Einführung.....	18
6.2	Wirkungsabschätzung für das errichtete System	18
6.3	Potenzialabschätzung für die Stadt Halle (Saale)	20
7	Erkenntnisse und Ausblick.....	23
	Literaturverzeichnis	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ansicht des im Rahmen des Projektes aufgestellten Containers mit der Speichertechnik und einer der neu installierten Ladesäulen [Fotos: Herr Peter Kolbert, Halle (Saale)] ...	6
Abbildung 2:	Prinzipskizze der Ausgangssituation [Netz Halle]	7
Abbildung 3:	Prinzipskizze Sollzustand [Netz Halle].....	8
Abbildung 4:	Lastgangbetrachtung Netzanschluss „Am Stadion 5“ [EVH]	8
Abbildung 5:	Beispielhafter elektrischer Lastgang des bestehenden Verwaltungsgebäudes für einen Wochentag im Winter [EVH]	9
Abbildung 6:	Tageszeitliche Verteilung der an den vorhandenen Ladepunkten abgerufenen kumulierten elektrischen Energie [EVH].....	10
Abbildung 7:	Leistungsreserve am Hausanschlusskasten und am Abgang zu den Ladesäulen [EVH]	11
Abbildung 8:	Übersicht unterschiedlicher Lade-Use-Cases [1, S.9]	12
Abbildung 9:	Entwicklung Zulassungszahlen BEV und PHEV in Halle (Saale), Stand 30.06.2022 [EVH]	13
Abbildung 10:	Übersichtsplan der Gesamtanlage am Standort mit Darstellung der Modbus-Kommunikationsverbindungen (farbig), der Ladesäulen (LS) und der Ladepunkte (LP) [HSM]	15
Abbildung 11:	Prozessbild aus der Simulation des Lade-Speicher Managements mit einem Graphic User Interface GUI [HSM]	16
Abbildung 12:	Übersicht der grundlegend zu berücksichtigenden, lastseitigen Eingangsgrößen des Wirtschaftlichkeitstools [HSM]	17
Abbildung 13:	Wirtschaftlichkeitstool (Screenshot) [HSM]	18
Abbildung 14:	Fahrleistung der Elektrofahrzeuge am Standort Am Stadion 5 in Halle (Saale), welche durch die Mitarbeiter*innen der Stadtverwaltung erbracht wurde [pwp].....	19
Abbildung 15:	Reduzierung Klimagas- und Luftschadstoffemissionen der Stadtverwaltung Halle (Saale) durch Nutzung der Elektrofahrzeuge [pwp]	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ausstattungs-elemente der Ladestation [2]	14
Tabelle 2:	Täglich verladene Energiemenge an öffentlicher Ladeinfrastruktur in Halle (Saale) [pwp].....	21
Tabelle 3:	Zusätzlich benötigte Anzahl an Ladepunkten in Halle (Saale) [pwp].....	22
Tabelle 4:	Reduzierung der Emissionen durch Errichtung von je zwei Normal- und Schnellladepunkten [pwp].....	23

Abkürzungsverzeichnis

AC-LP	Wechselstromladepunkt (Normalladepunkt)
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
BEV	battery electric vehicle (rein batterieelektrisches Fahrzeug)
BNetzA	Bundesnetzagentur
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
DC-LP	Gleichstromladepunkt (Schnellladepunkt)
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EVH	EVH GmbH
gV pLIS	Szenario geringe Verfügbarkeit privater Ladeinfrastruktur
HAK	Hausanschlusskasten
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
hV pLIS	Szenario hohe Verfügbarkeit privater Ladeinfrastruktur
HSM	Hochschule Merseburg
Kfz	Kraftfahrzeug
kVA	Kilovoltampere
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
LP	Ladepunkt
LSV	Ladesäulenverordnung
N ₂ O	Distickstoffmonoxid (Lachgas)
NAV	Niederspannungsanschlussverordnung
Netz Halle	Energieversorgung Halle Netz GmbH
NLL	Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickstoffoxide
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
PHEV	plug-in hybrid electric vehicle (Plug-in-Hybrid)
Pkw	Personenkraftwagen
pwp	pwp-systems GmbH
SWH	Stadtwerke Halle GmbH
TAB	Technische Anschlussbedingungen
WTW	Well-to-Wheel

1 Ziele und Inhalte des Vorhabens

Die Stadt Halle (Saale) verfolgt eine nachhaltige und klimagerechte Entwicklung einschließlich des Ausbaus der Elektromobilität. Zu deren Etablierung hat die Stadt Halle (Saale) mit ihrem kommunalen Tochterunternehmen Stadtwerke Halle GmbH (SWH) Ziele formuliert, welche u.a. die Förderung betrieblicher Mobilitätsflotten durch Schaffung geeigneter Ladeinfrastruktur beinhalten. Zudem hat die Stadtverwaltung Halle (Saale) beschlossen, Teile ihrer betrieblichen Mobilität mit Carsharing-Fahrzeugen abzudecken. Am Verwaltungsstandort Am Stadion 5 in Halle (Saale) sollten Elektro-Carsharingfahrzeuge stationiert werden. Bei wachsendem Einsatz von Ladeinfrastruktur stellt sich jedoch zunehmend das Problem, dass die Übertragungskapazität der vorhandenen Niederspannungsnetze für das gleichzeitige Laden mehrerer Fahrzeuge an einem Standort nicht ausreicht.

Dieses Problem zeigte sich auch Am Stadion 5, wo die vorhandene Kapazität des Netzanschlusses, welcher bereits das kommunale Verwaltungsgebäude sowie vier Ladepunkte versorgte, für die geplante Anzahl Elektrofahrzeuge und die damit verbundene, notwendige Ladeinfrastruktur nicht ausreichend war. Dem konnte durch einen Netzausbau oder dem Einsatz von elektrischer Speichertechnologie begegnet werden. Da eine Netzertüchtigung zu langwierig gewesen wäre, wurde im Rahmen des Vorhabens am Standort ein eSpeicher-System, bestehend aus einem eSpeicher und sechs Normalladepunkten errichtet, welches an den vorhandenen Netzanschluss angeschlossen wurde. Durch den Einsatz des eSpeichers zur Zwischenspeicherung elektrischer Energie in bedarfsschwachen Zeiten kann auf einen Netzausbau verzichtet werden.

Abbildung 1 zeigt links den Container mit den Speicherelementen und den Wechselrichtern und rechts eine der neu errichteten Ladesäulen.



Abbildung 1: Ansicht des im Rahmen des Projektes aufgestellten Containers mit der Speichertechnik und einer der neu installierten Ladesäulen [Fotos: Herr Peter Kolbert, Halle (Saale)]

Zur Konzeptionierung der Anlage wurden in einem ersten Schritt die Lastgänge des über den Netzanschluss bereits versorgten Verwaltungsgebäudes und der dort vorhandenen Ladepunkte ausgewertet oder durch Messungen aufgenommen. Darauf aufbauend konnte die Größe des elektrischen Speichers abgeleitet werden. Zur effizienten und vorausschauenden Nutzung des Speichers kommt ein im Projekt entwickeltes Lade-Speicher-Management zum Einsatz. Ein Wirtschaftlichkeitstool ermöglicht eine kommerzielle Beurteilung vergleichbarer Vorhaben. Des Weiteren wurde eine Wirkungsabschätzung für das errichtete System und eine gesamtstädtische Potenzialabschätzung für die Stadt Halle (Saale) durchgeführt.

2 Randbedingungen für den Anschluss von Ladeinfrastruktur an das Netz der öffentlichen Versorgung für den Standort Am Stadion 5 in Halle (Saale)

Für die Errichtung und den Anschluss von Ladeinfrastruktur gelten, neben den gesetzlichen Bestimmungen und anerkannten Regeln der Technik, die Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz. Hierbei sind beispielsweise unter anderem die folgenden Bestimmungen zu beachten:

- die Ladesäulenverordnung (LSV),
- das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG),
- die Niederspannungsanschlussverordnung (NAV),
- die Technischen Anschlussbedingungen (TAB),
- die VDE-AR-N 4100,
- die VDE-AR-N 4105,
- die VDE-AR-N 4110.

Aus diesen Regelungen geht hervor, dass bei der Errichtung neuer Ladeinfrastruktur ab einer Summenladeleistung von 3,6 kVA eine Meldepflicht besteht und ab 12 kVA die Zustimmung des Netzbetreibers erforderlich ist. Daher führt der Netzbetreiber eine Überprüfung der Leistungserhöhung am Hausanschluss durch.

Im konkreten Fall am Standort Am Stadion 5 in Halle (Saale) stellte sich dabei die Ausgangssituation wie folgt dar:

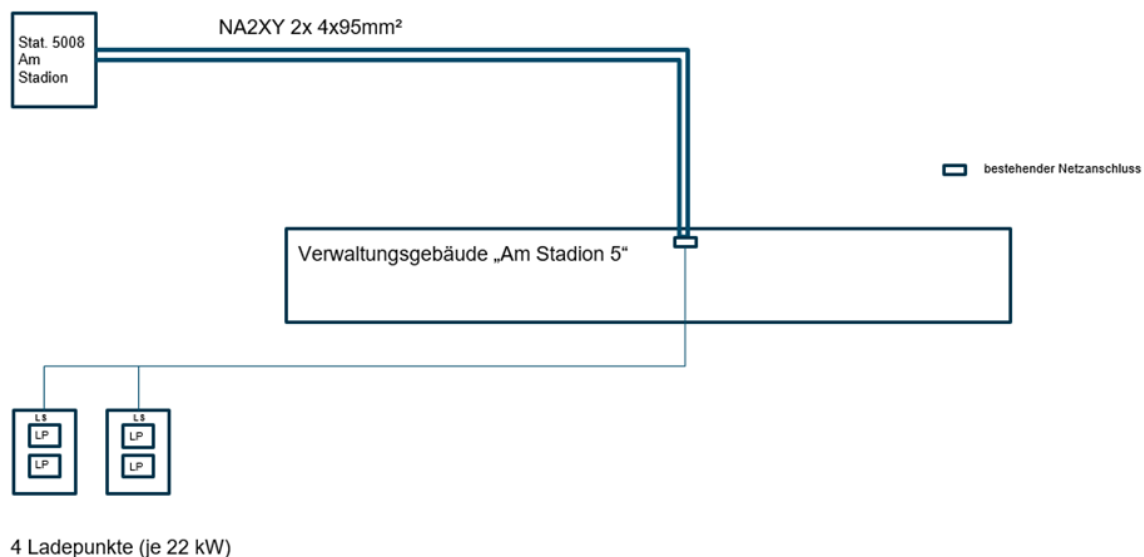


Abbildung 2: Prinzipskizze der Ausgangssituation [Netz Halle]

Der bestehende Netzanschluss „Am Stadion 5“ wird über ein Doppelkabel aus der Transformatorstation 5008 Am Stadion gespeist. Über den Hausanschluss werden zum einen das Verwaltungsgebäude der Stadt Halle (Saale) und zum anderen die bestehenden vier Ladepunkte versorgt. Die geplanten Erweiterungen umfassten sechs weitere Ladepunkte mit je 22 kW (vgl. Abbildung 3).

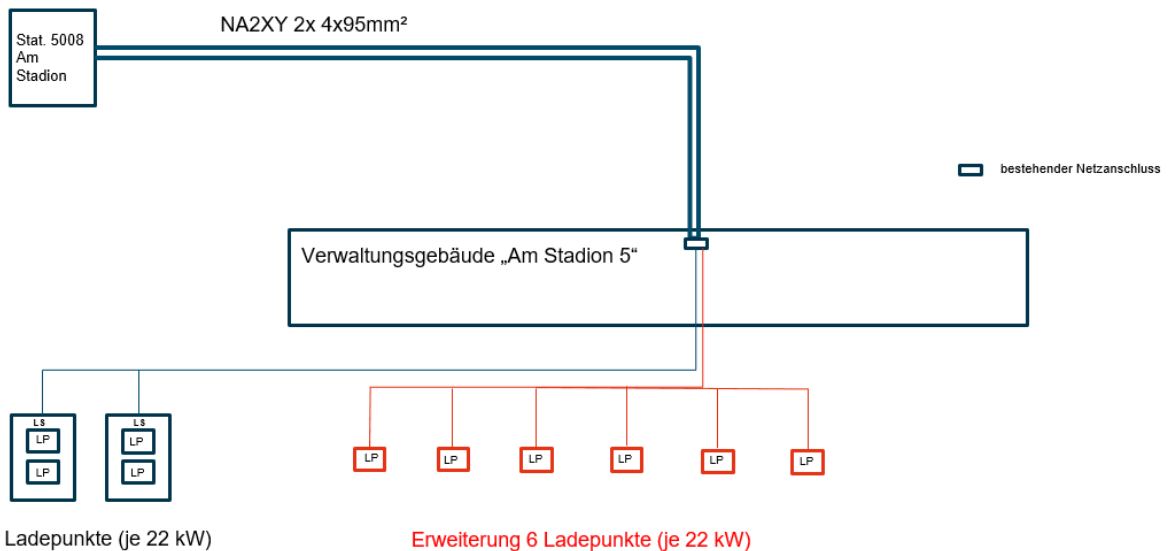


Abbildung 3: Prinzipskizze Sollzustand [Netz Halle]

Aus einer Lastgangbetrachtung wurde ersichtlich, dass die Leistungsreserven des Netzanschlusses nicht genühten, um der gleichzeitigen Belastung der Ladepunkte zu entsprechen. Wie in Abbildung 4 dargestellt entspricht die minimale Leistungsreserve ca. 40 kW, die zusätzlich benötigte maximale gleichzeitige Leistung hingegen ca. 135 kW. Daraus wird ersichtlich, dass die Leistungsreserven nicht genügen.

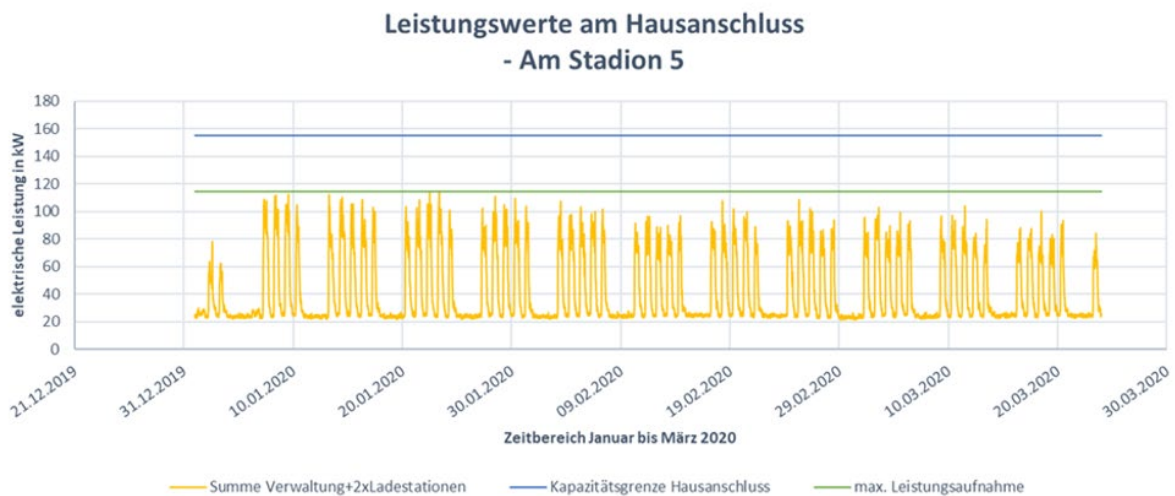


Abbildung 4: Lastgangbetrachtung Netzanschluss „Am Stadion 5“ [EVH]

Hierbei entstanden verschiedene Möglichkeiten des weiteren Vorgehens. Einerseits hätte die zusätzlich benötigte Leistung durch einen Netzausbau gewährleistet werden können. Andererseits bestand die Möglichkeit, die gleichzeitige Leistung am Anschlusspunkt mit Hilfe eines Lastmanagementsystems zu begrenzen. Bisher würde durch ein einfaches Lastmanagementsystem die Summenladeleistung der Ladepunkte eingeschränkt bzw. zu Spitzenlastzeiten reduziert werden. Durch den Einsatz eines Batteriespeichers (eSpeicher) sollte diese Ladeleistungsreduzierung minimiert werden.

3 Konzeptionierung des Lade-Speicher-Systems

3.1 Analyse des Nutzungsverhaltens der vier bestehenden Ladepunkte

Die Funktionsweise des eSpeichers lässt sich aus dem Verbrauchsprofil ermitteln. Dabei musste herausgestellt werden, wie groß die benötigte Kapazität des eSpeichers ist, bzw. wann Energie im eSpeicher vorgehalten werden muss, da die Netzreserven erschöpft sind und wann dieser potenziell wieder geladen werden kann.

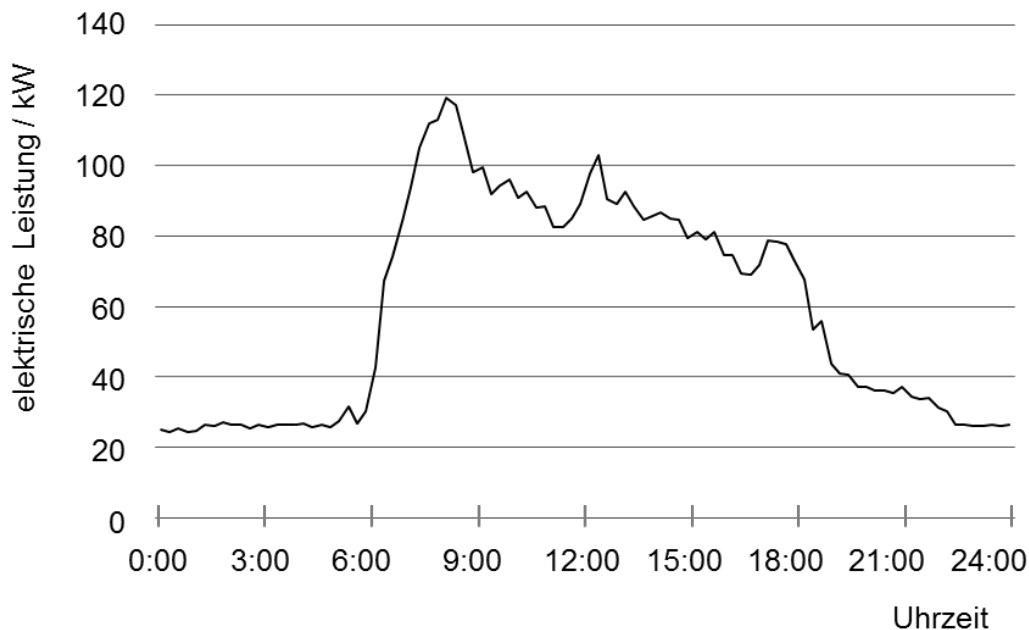


Abbildung 5: Beispielhafter elektrischer Lastgang des bestehenden Verwaltungsgebäudes für einen Wochentag im Winter [EVH]

Als Basis dienen neben dem Lastgang des Verwaltungsgebäudes die Verbrauchsprofile der Ladeinfrastruktur. Mit diesen Daten sollte bestimmt werden, wann die Netzreserve zum Laden des eSpeichers ausreichend vorhanden ist und wann Energie vorgehalten muss, um das Laden von Fahrzeugen zu unterstützen.

Neben der Tageszeit, wann die Fahrzeuge zum Laden angeschlossen werden, ist auch deren Ladeleistung bzw. Ladedauer für die Auswertung relevant. Vor Ort befinden sich bereits zwei Ladesäulen mit jeweils zwei Ladepunkten. Sie wurden 2015 durch die EVH als öffentlich zugängliche Ladestationen errichtet und 2021 modernisiert. Während der Öffnungszeiten stehen sie allen Nutzer*innen zur Verfügung. Seit Errichtung der drei neuen Ladestationen im Rahmen dieses Projektes werden sie deutlich mehr durch Dritte wie Mitarbeiter*innen, Gäste, Reisende und Anwohner*innen genutzt. Der Energieverbrauch der Ladesäulen wird über jeweils einen RLM-Zähler (Registrierende Leistungsmessung) gemessen. Diese, als Lastgang bezeichnete Messung, erfasst die jeweils übertragene elektrische Energie für eine Messperiode von 15 Minuten. Abbildung 6 zeigt die kumulierte übertragene Energie, dargestellt über die jeweilige Tageszeit. Grundlage bildeten Daten aus der Zeit zwischen Januar 2015 bis November 2019.

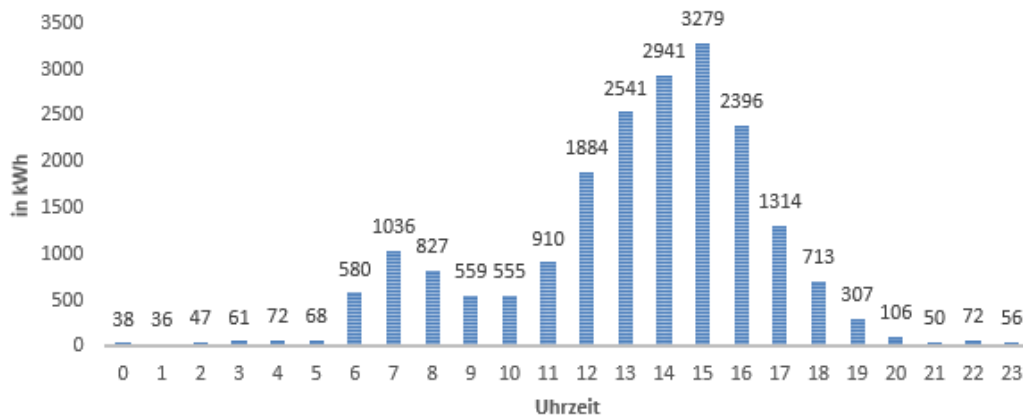


Abbildung 6: Tageszeitliche Verteilung der an den vorhandenen Ladepunkten abgerufenen kumulierten elektrischen Energie [EVH]

Die Ladesäulen vor Ort unterlagen im genannten Zeitraum Öffnungszeiten zwischen 6 und 22 Uhr, welche in der Abbildung 6 erkennbar dargestellt sind. Es ist gut abzulesen, dass die Auslastung der Ladesäulen zwischen 13 Uhr und 16 Uhr am größten ist. Das bestätigt die erfahrungsgemäße Verwendung der Fahrzeuge, welche auf Aussagen der Mitarbeiter*innen beruhen. Die Fahrzeuge werden häufig morgens bis in die Nachmittagsstunden genutzt und anschließend wieder zum Laden angeschlossen. Deshalb verschiebt sich die Nutzung der Ladesäulen häufig auf den Nachmittag. Resultierend für die Arbeitsweise des Managementsystems lässt sich aussagen, dass eine Energiereserve für die Hauptlast am Nachmittag vorgehalten werden muss. In den Abend- und Nachtstunden zwischen 20 und 6 Uhr werden keine Fahrzeuge geladen, sodass der eSpeicher wieder vollgeladen werden kann.

Der zweite Teil der Vorabanalyse widmete sich der Auslastung der Einspeisung zum Gebäude selbst. Da sich der Abgang zu den Ladesäulen, des eSpeichers und dem Verwaltungsgebäude einen Hausanschlusskasten (HAK) teilen, musste dessen Reserve unter der zu erwartenden Belastung der einzelnen Abgänge ermittelt werden.

3.2 Dimensionierung des eSpeichers

Abbildung 7 zeigt die elektrische Leistung in Abhängigkeit der Tageszeit. Sie enthält die jeweiligen Spitzenleistungen, welche im Jahr 2019 zur auf der x-Achse aufgetragenen Tageszeit erfasst sind. Auch die Ladeleistungen der Ladesäulen entsprechen den jeweiligen Maximalwerten, sodass das Diagramm als „Worst-Case“-Szenario zu interpretieren ist. Die horizontale Linie stellt die maximale Anschlussleistung von 243 kW dar. Man sieht, dass die Reserve zur maximalen Leistung, welche sich aus der Summe der einzelnen Leitungen ergibt, bei minimal ca. 97 kW liegt. Auch im ungünstigsten Fall ist genügend Reserve vorhanden, sodass eine Überlastung der Einspeisung mit der vorhandenen Konstellation kein ernstzunehmendes reales Szenario darstellt.

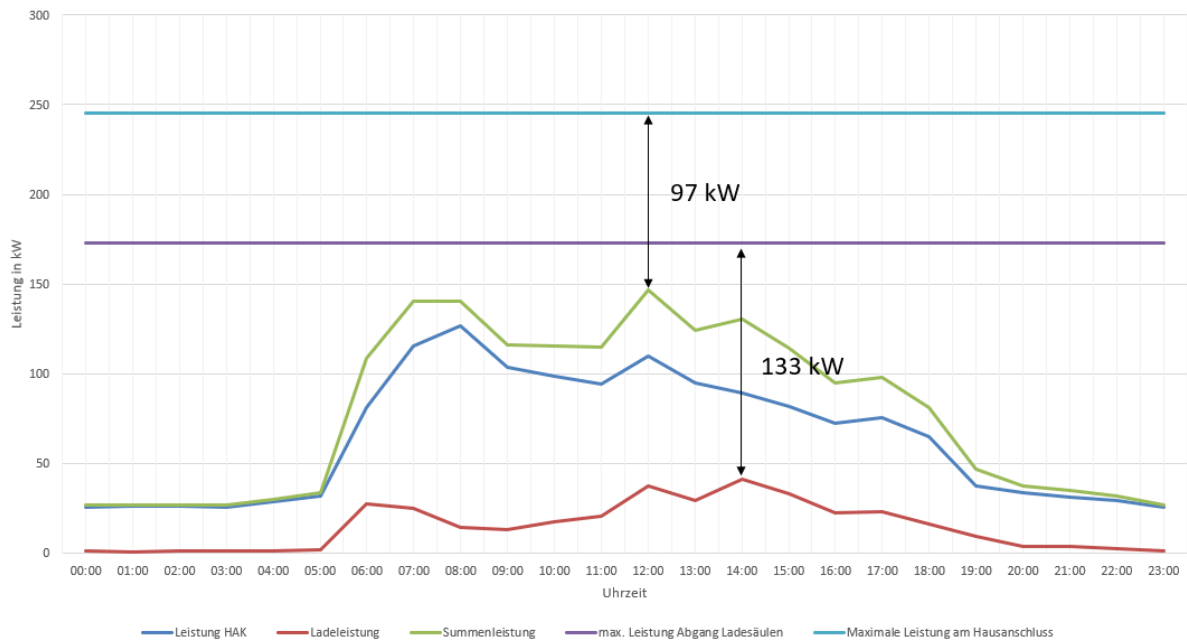


Abbildung 7: Leistungsreserve am Hausanschlusskasten und am Abgang zu den Ladesäulen [EVH]

Die Erweiterung der Ladeinfrastruktur vor Ort führt dazu, dass die theoretische Gesamtladeleistung auf 220 kW steigt und mit dem eSpeicher ein zusätzlicher, potenzieller Verbraucher während der Beladung über die Hauseinspeisung versorgt werden muss. In der geänderten Konstellation besteht das Risiko, die maximale Leistung des Hausanschlusses zu überlasten, denn es muss davon ausgegangen werden, dass mit steigender Anzahl der Ladepunkte mehr Fahrzeuge parallel geladen werden. Das Energiemanagement muss diese kritische Situation vermeiden, indem es in Abhängigkeit der Netzreserven an der Hauseinspeisung das Laden von Fahrzeugen unterstützt. Das Managementsystem fungiert zwischen 13 und 16 Uhr als Unterstützung des Strombezugs aus dem Netz der öffentlichen Versorgung. Von abends 18 Uhr bis morgens 6 Uhr bleibt dem Managementsystem genügend Zeit, den eSpeicher wieder voll zu laden. Trotzdem muss aufgrund kurzfristig schwankender Belastung auch nachmittags geladen werden können.

3.3 Planung, Errichtung und Betrieb der Ladeinfrastruktur - Hintergrund

Die Bedeutung der Elektromobilität zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes im Verkehrssektor und damit die Bedeutung von notwendiger Ladeinfrastruktur nimmt stark zu.

Ladeinfrastruktur ist die Basis für das Wachstum der Elektromobilität. Lademöglichkeiten werden u.a. vorrangig im wohnungsnahen Umfeld oder beim Arbeitgeber entstehen, also da, wo Fahrzeuge über längere Zeiträume stehen. Eine Übersicht zu den zukünftigen Ladeszenarien zeigt Abbildung 8.



Abbildung 8: Übersicht unterschiedlicher Lade-Use-Cases [1, S.9]

Nicht nur private Fahrzeuge, sondern darüber hinaus betriebliche Fahrzeugflotten bieten ein hohes Elektrifizierungspotenzial. Mit dem Markthochlauf und der damit verbundenen Nutzungsintensivierung an den Ladepunkten entwickeln sich zum Teil spezifische technische Lösungen für jedes Ladeszenario.

Die Entwicklung der Zulassungszahlen von Kfz mit elektrischem Antrieb in Halle (Saale) ist in Abbildung 9 dargestellt. Jeder zusätzlich errichtete Ladepunkt für die wachsende Anzahl von Elektrofahrzeugen, senkt den „Ladedruck“ auf die bestehende Ladeinfrastruktur.

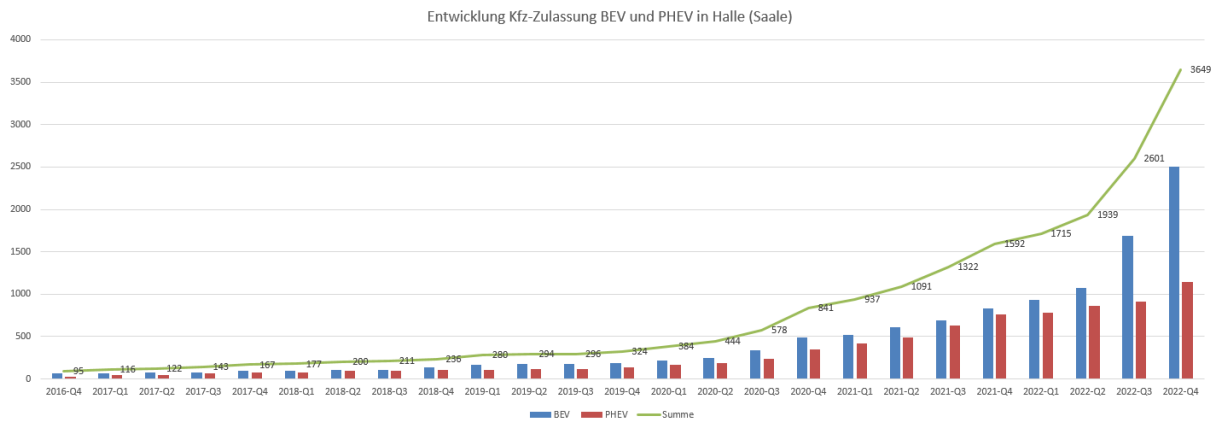


Abbildung 9: Entwicklung Zulassungszahlen BEV und PHEV in Halle (Saale)¹, Stand 30.06.2022 [EVH]

Gerade das Laden einer Fahrzeugflotte stellt hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit und Steuerbarkeit von Ladeleistung bei in der Regel leistungslimitierten Netzanschlusskapazitäten. Bereits seit Frühjahr 2015 haben SWH und die EVH damit begonnen, im Rahmen des Forschungsprojektes „Grüne Mobilitätskette“ öffentlich zugängliche Ladepunkte zu planen und zu errichten. Dies war zu einem Zeitpunkt, an dem die technische Entwicklung von Hardware und zum Betrieb benötigter Systeme noch in den Kinderschuhen steckte und für die Realisierung viel Pionierarbeit nötig war. Auch für die Erprobung der Einsatzfähigkeit von Speichertechnologien als Baustein der Mobilitätswende ist Pionierarbeit notwendig. Dazu wurden in dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt praktische Fragen danach, ob Speicher Flottenladeanwendungen ermöglichen, unterstützen und dabei wertvolle Netzanschlusskapazitäten schonen können, untersucht.

Auf Basis der bisherigen Elektrofahrzeugnutzung und der Einführung des nutzeroffenen E-Carsharings am Verwaltungsstandort konnten mit den Daten zu den täglichen Fahrtstrecken und Standzeiten technische Parameter für die Speicher- und Ladepunktauslegung festgelegt werden.

Im Ergebnis haben sich Normalladepunkte² mit einer maximalen Ladeleistung von 22 kW als geeignet dargestellt. Für die Ladung der Fahrzeugflotte sind an dem Standort sechs Ladepunkte notwendig. Diese sind aufgrund ihrer Nutzungsart nicht öffentlich zugänglich zu errichten und zu betreiben. Neben diesen sechs exklusiven Ladeplätzen betreibt die EVH an dem Standort vier weitere öffentlich zugängliche Ladepunkte, um den weiteren Ladebedarf an dem Standort zu decken. Der Standort ist unter bestimmten Bedingungen um Ladepunkte erweiterbar, soweit die Skalierung notwendig ist.

Die elektrotechnische Planung vom erneuerten Hausanschluss über die Niederspannungsverteilung bis hin zum eSpeicher und den Ladepunkten wurde in Kooperation mit der Errichtungsfirma erstellt. Hierzu zählte auch die Planung der datentechnischen Verbindung zwischen allen Anlagenkomponenten.

Die Auswahl der Ladehardware, die den Anforderungen des Projektes entspricht, fiel auf die Ladestation AMEDIO Professional+ PnC 22 des Herstellers Mennekes. Nach Angaben des Herstellers bietet die Ladestation den „...Aufbau einer zukunftsfähigen Ladeinfrastruktur [...] hohe Sicherheitsanforderungen, kundenfreundliche Bedienung, Vernetzungsfähigkeit zur Umsetzung anforderungsgerechter Abrechnung, Systemmonitoring und Lastmanagement...“ [2]. Die Ladestation weist die in Tabelle 1 dargestellten Ausstattungsmerkmale auf.

¹ Darstellung EVH GmbH auf Basis der veröffentlichten Statistikdaten unter <https://halsis.halle.de>

² Nach § 2 Abs. 3 Ladesäulenverordnung ist ein „...Normalladepunkt ein Ladepunkt, an dem Strom mit einer Ladeleistung von höchstens 22 Kilowatt an ein elektrisch betriebenes Fahrzeug übertragen werden kann“

Tabelle 1: Ausstattungselemente der Ladestation [2]

<p>Allgemein</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ladung nach Mode 3 gemäß IEC 61851-1 – Steckvorrichtungen gemäß IEC 62196-2 – Kommunikation zum Fahrzeug gemäß ISO 15118 – Max. Ladeleistung: 44 kW – Anschluss: 1-phasig / 3-phasig – Max. Ladeleistung konfigurierbar durch Elektrofachkraft – Von außen ablesbarer geeichter Smart Meter Zähler eHZ mit eMoc (MID konform) – Eichrechtskonform gemäß Baumusterprüfbescheinigung DE-19-M-PTB-0043 – Eichrechtskonforme Datenübertragung der signierten Ladedaten zum Backend-System (inkl. Nutzer-ID) – Statusinformation per LED-Infofeld – Entriegelungsfunktion bei Stromausfall – Gehäuse aus Stahlblech – Abschließbarer Deckel aus Kunststoff mit integriertem Profil-Halbzylinder 	<p>Möglichkeiten zur Vernetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Anbindung an ein Netzwerk über LAN / Ethernet (RJ45) – Vernetzung mehrerer Produkte über LAN / Ethernet (RJ45) <p>Möglichkeiten zur Anbindung an ein Backend-System</p> <ul style="list-style-type: none"> – Über das integrierte Mobilfunkmodem (2G (GSM) / 3G(UMTS) / 4G (LTE)) <ul style="list-style-type: none"> – Micro SIM-Karte notwendig – Backendanbindung von bis zu 50 Ladepunkten über eine SIM-Karte – Unterstützung der Kommunikationsprotokolle OCPP 1.5s, OCPP 1.6s und OCPP 1.6j <p>Möglichkeiten zur Anbindung an ein externes Energiemanagementsystem (EMS)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Über Modbus TCP – Dynamische Steuerung des Ladestroms über ein OCPP-System (Smart Charging)
<p>Möglichkeiten zur Autorisierung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Autostart (ohne Autorisierung) – RFID (ISO / IEC 14443 A) – Kompatibel zu MIFARE classic und MIFARE DESFire – Über ein Backend-System – Plug and Charge <ul style="list-style-type: none"> – Gemäß ISO 15118 – Mittels Fahrzeug-ID (Autocharge) <p>Integrierte Schutzeinrichtungen</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fehlerstromschutzschalter Typ A – Leitungsschutzschalter – DC-Fehlerstromüberwachung > 6 mA mit einem Auslöseverhalten nach IEC 62752 – Überspannungsschutz Typ 2 – Zusätzlicher Überspannungsschutz Typ 3 für Ethernet 	<p>Möglichkeiten zum lokalen Lastmanagement</p> <ul style="list-style-type: none"> – Reduzierung des Ladestroms über ein externes Steuersignal (Downgrade-Eingang) – Reduzierung des Ladestroms über ein externes Steuersignal (Downgrade) des vorgelagerten, externen Energiezählers vom Typ Siemens PAC2200 – Statisches Lastmanagement – Dynamisches Lastmanagement für bis zu 100 Ladepunkte (phasengenau) – Reduzierung des Ladestroms bei ungleichmäßiger Phasenbelastung (Schieflastbegrenzung) – Lokaler Blackoutschutz durch die Anbindung eines externen Modbus TCP Energiezählers

Die im Rahmen des Projektes errichteten Anlagen sind Bestandteil der technischen Gebäudeausstattung des Objektes. In diesem Sinn ist die Stadt Halle (Saale) Betreiberin der Anlagen. Die technische Betriebsführung der Ladestationen inkl. Wartung und Instandhaltung übernimmt die EVH im Auftrag, wobei dies eng abgestimmt mit der Betreiberin des von der Hochschule Merseburg erstellten Hintergrundsystems und der Speicherbetreiberin erfolgt.

4 Konzipierung des übergeordneten Lade-Speicher-Managements

Das System der Speicher-Lade-Infrastruktur (vgl. Abbildung 10) am Standort besteht grundlegend aus mehreren Netzanalysatoren, der errichteten Ladeinfrastruktur selbst, sowie einem Batteriespeichersystem mit integriertem Energiemanagement und Stromrichtersystemen. Zur Durchführung eines Energiemanagements

wird ein Rechnersystem angebunden, welches zudem auch die Speicherung der anfallenden Daten in einer Datenbank übernimmt und ausgewählte Prozessdaten mit Hilfe eines Webservices visualisiert.

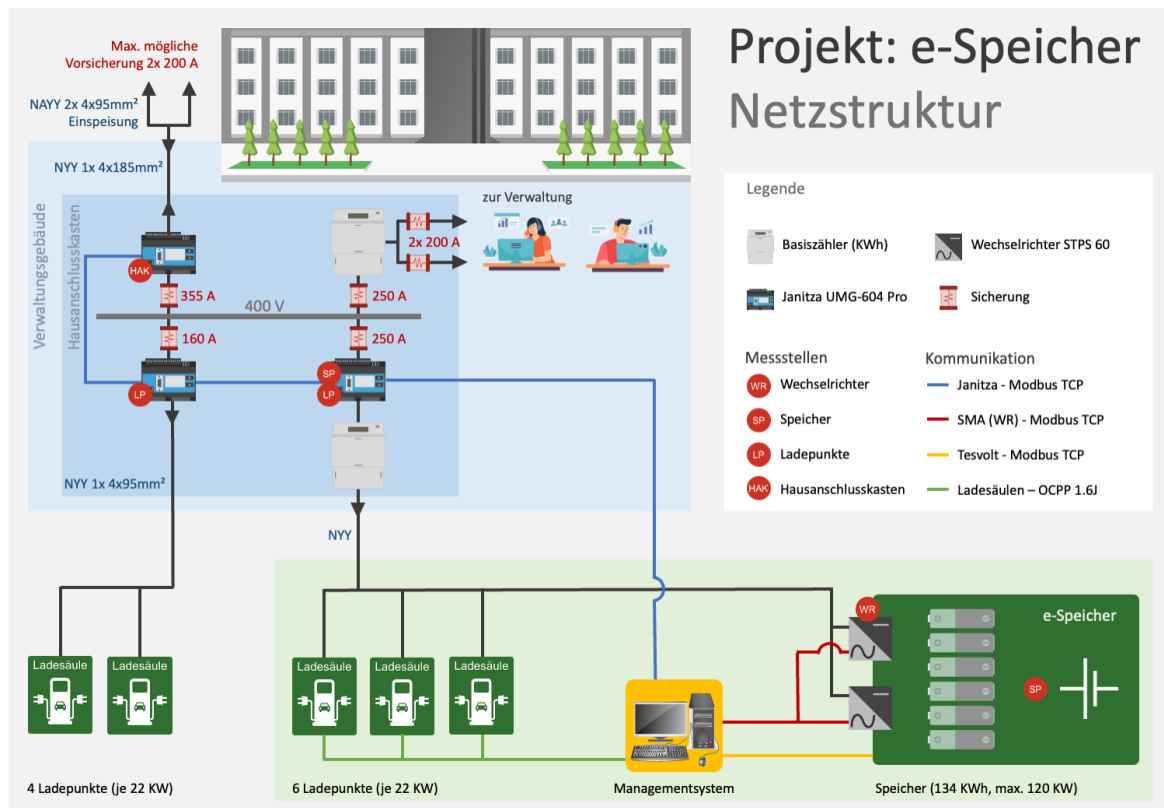


Abbildung 10: Übersichtsplan der Gesamtanlage am Standort mit Darstellung der Modbus-Kommunikationsverbindungen (farbig), der Ladesäulen (LS) und der Ladepunkte (LP) [HSM]

Das gesamte Energiemanagement besteht aus mehreren Systemprozessen, die selbstständig arbeiten und die Kommunikation mit den Feldgeräten übernehmen. Um den Implementierungsaufwand zu begrenzen, wurde sich bei der Auslegung des Systems bzw. der Auswahl der Komponenten auf die Protokolle Modbus-TCP und OCPP1.6J festgelegt. Je Protokoll wird ein Systemprozess gestartet, welcher die für den Gesamtprozess wichtigen Parameter erfasst und zyklisch an den Hauptprozess liefert. Durch Konfigurationsdateien wird das Verhalten der einzelnen Prozesse gesteuert und die notwendigen Netzwerkinformationen hinterlegt. Am Beispiel des Modbus-TCP-Prozesses sind das unter anderem die IP-Adressen und Port-Nummern der Feldgeräte sowie Namen, Datentypen und Registernummern der zu lesenden und zu schreibenden Geräteparameter. Die Kommunikationspartner dieses Prozesses sind die Netzwerkanalysatoren in der Hausinstallation und das Speichersystem mit vorgelagertem Management. Der Teilprozess für die OCPP1.6J-Kommunikation wird ebenfalls als separater Systemprozess betrieben und sein Verhalten wird durch eine JSON-Datei beschrieben. Dieser Prozess kommuniziert mit den drei errichteten Ladesäulen am Standort und nimmt neben den Ladedaten der angeschlossenen Fahrzeuge auch Statusinformationen der Ladepunkte auf und liefert diese an den Hauptprozess. Dieser übernimmt hauptsächlich die Regelung und Steuerung der Energieflüsse im System sowie die Überwachung der einzelnen Teilprozesse. Informationsgrundlage sind die Daten aus den Feldgeräten, welche in einer Konfigurationsdatei miteinander verknüpft und angereichert werden. Die Ausgangsdaten dieses Prozesses werden dann als Steuerinformationen über den entsprechenden Teilprozess wieder zu dem Feldgerät gesendet.

Den Kern der Regelungsstruktur bildet in der aktuellen Systemausführung ein einfacher Proportionalregler, welcher die Speicherbeladung regelt. Diese liegt in Form eines prozentualen Beladungszustands vor und wird durch eine Lookup-Table dynamisch an das Ladeverhalten am Standort angepasst. Dafür wurde der Ladebedarf am Standort über mehrere Jahre ausgewertet und hinsichtlich seiner durchschnittlichen Dauer

und Leistung sowie zeitlichem Aufkommen und Gleichzeitigkeit bewertet. Die Daten dienen als grundsätzliches Bedarfsprofil, woraus sich eine Sollwertvorgabe ableiten lässt. In Form von Zeitscheiben, denen jeweils ein Beladungszustand zugewiesen ist, wird via Konfiguration der spezifische Bedarf feingranular approximiert. Beim Wechsel zwischen aufeinander folgenden Sollwertvorgaben werden diese linearisiert, um Sollwertsprünge zu vermeiden. Die Implementierung erlaubt es, diese Linearisierung beliebig anzupassen und auch außerordentliche Bedarfe abzubilden. Der momentane Istwert der Speicherbeladung wird durch das Speichersystem bereitgestellt und durch das Modbus-TCP-Protokoll über den entsprechenden Teilprozess bezogen. Die Stellgröße des Reglers muss sowohl aufgrund von Restriktionen, die hinsichtlich des Einspeiseverhaltens bestehen, als auch durch verschiedene Systemgrenzen auf handhabbare Werte skaliert und begrenzt werden. Als Grenzwerte für die Speicherentladung gelten die maximale Leistungsvorgabe für den Wechselrichter und die momentan bezogene Leistung der gesamten Ladepunkte. Über die von den Elektrofahrzeugen bezogene Leistung hinaus soll das System nicht betrieben werden, um nicht in das vorgelagerte Netz einzuspeisen. Für die Speicherbeladung gilt ebenfalls eine Maximalgrenze für den Wechselrichter. Um bei Speicherladevorgängen das Netz nicht zu überlasten, wird zusätzlich die momentane Netzauslastung beurteilt und die für das Laden vorhandene Netzreserve als Grenzwert gesetzt. Dieser leitet sich aus den Werten der Vorsicherungen sowie dem aktuellen Leistungsbezug her.

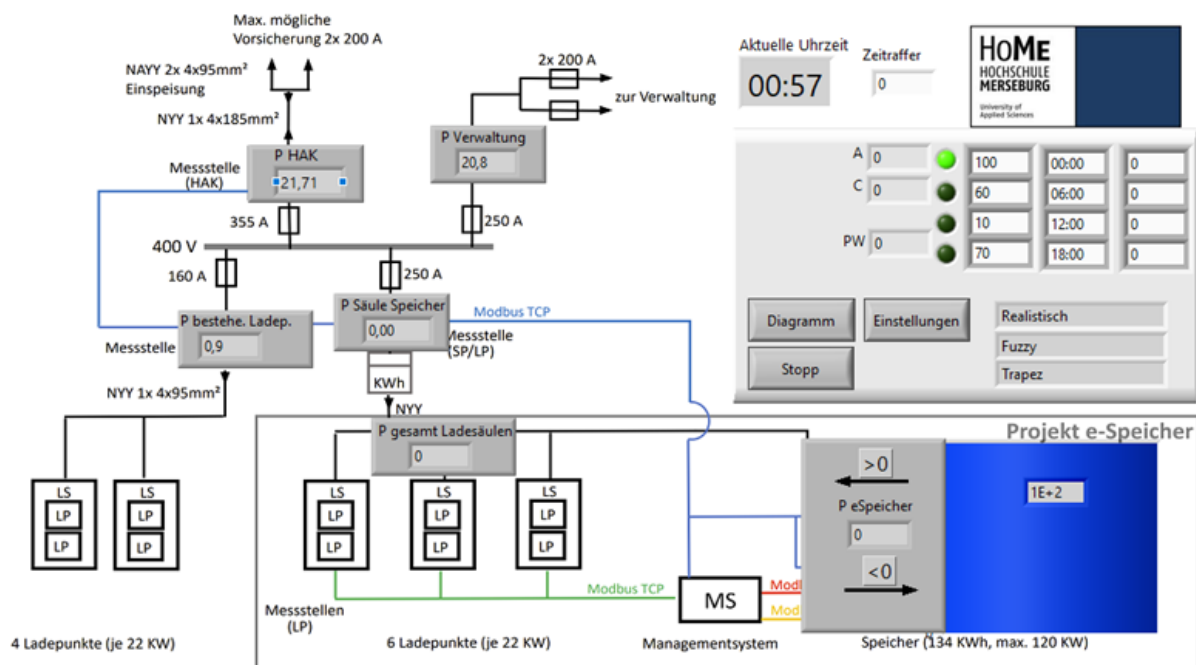


Abbildung 11: Prozessbild aus der Simulation des Lade-Speicher Managements mit einem Graphic User Interface GUI [HSM]

Um darüber hinaus dynamisch Netzreserven zu nutzen und Netzengpässe zu vermeiden, kann für jeden parametrisierten Sollwert des Systems eine zusätzliche Regler-Komponente aktiviert werden. Durch eine Integration (I-Anteil) wird dann der Netzzustand bewertet. Um mehr Energie für Ladevorgänge bereitstellen zu können, werden so Zeiten geringer Netzauslastung für zusätzliche Speicherladungen genutzt. Eine hohe Netzbelastung verursacht hingegen ein stärkeres Stützen der Ladevorgänge aus Speicherenergie. In Form eines Offsets wirkt sich die netzdienliche Regler-Komponente auf den ursprünglichen Sollwertverlauf der Regelung aus.

Aktuell wird das Systemverhalten hinsichtlich seiner Stabilität und Regelgüte und -dynamik bewertet. Durch Parametrierung können andere Auslegungen des Gesamtsystems simuliert und getestet werden. Um Erkenntnisse über optimale Speicherdimensionierungen in Abhängigkeit variabler Bedarfsprofile und Netzanforderungen zu gewinnen, variierten die Mitarbeiter der Hochschule Merseburg verschiedene Systemparameter wie die maximalen Stromrichtergrößen oder die Größe des Energiespeichers.

5 Wirtschaftlichkeitstool zur Bewertung des Einsatzes von eSpeichern

Das Wirtschaftlichkeitstool soll dazu dienen, die gewonnenen Informationen und Erfahrungen aus dem Projekt für andere Einrichtungen oder Gewerbetreibende nutzbar zu machen. Es ist aus dem Internet öffentlich erreichbar, sodass potenziellen Interessenten die Möglichkeit gegeben wird, vor dem Errichten von Ladesäulen anfallende Kosten abzuschätzen und zu entscheiden, ob ein Ausbau des Niederspannungsnetzanschlusses oder eher ein eSpeicher lohnend ist. Bewertet werden dabei die reinen Kosten für die Anschaffung bzw. für den Umbau. Andere Aspekte, die zu berücksichtigen sind, wie die gegenwärtige Verfügbarkeit, Platzbedarf oder bereits vorhandene Installationen (z.B. Photovoltaikanlage), werden in die Bewertung nicht mit einbezogen. Abbildung 12 zeigt eine Übersicht, welche Größen für die Berechnung der Kosten erforderlich sind.

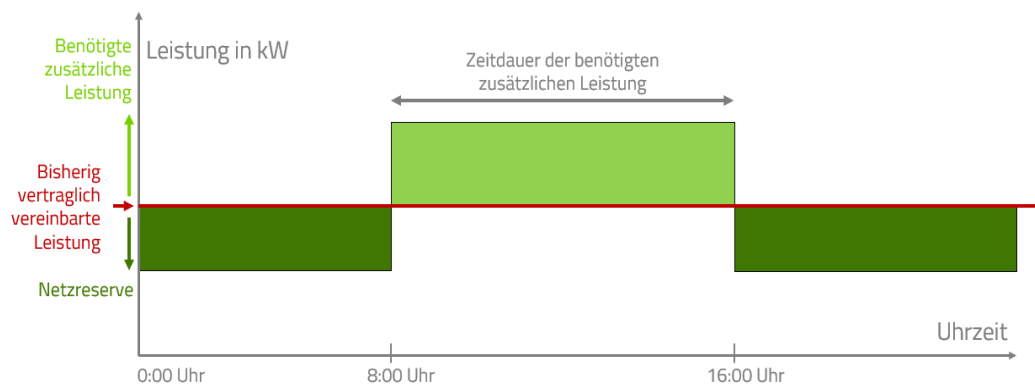


Abbildung 12: Übersicht der grundlegend zu berücksichtigenden, lastseitigen Eingangsgrößen des Wirtschaftlichkeitstools [HSM]

Die einzugebenden Parameter sind so gewählt, dass für die Anwendung kaum spezifisches Wissen über die elektrotechnische Installation notwendig ist. Auch dessen Anzahl ist auf ein Minimum reduziert (vgl. Abbildung 13). Zudem ist zu erkennen, dass die Parameter für die Berechnung des Netzausbaus und die Kosten zum Aufstellen eines eSpeicher separiert sind. Für letzteres muss die aktuelle Sicherungsgröße, also die vertraglich vereinbarte Leistung, bekannt sein. Wie hoch die zusätzlich benötigte Leistung ist, sollte aus der maximalen Ladeleistung und der Anzahl der zu installierenden Ladesäulen abgeschätzt werden. Festzulegen ist ebenfalls der Zeitraum, in der diese Leistung potenziell benötigt wird, dies kann z.B. von geplanten Öffnungszeiten abhängen. Die Netzreserve beschreibt die Differenz zwischen der bisherigen vertraglich vereinbarten und der durchschnittlich benötigten Leistung außerhalb der Öffnungszeiten. Damit soll bestimmt werden, ob es aufgrund der Kapazität des eSpeichers überhaupt möglich ist, diesen außerhalb der Nutzungszeit wieder zu füllen. Aus den genannten Parametern berechnet das Wirtschaftlichkeitstool die vorgehaltene Energiemenge, welche erforderlich ist, um das Laden während der Öffnungszeiten zu stützen. Nicht betrachtet ist die Möglichkeit, während der Nutzungs- bzw. Öffnungszeiten aufgrund einer geringen Netzauslastung zwischenzuladen. Mittels eines Richtwertes seitens des Herstellers werden aus den genannten Einflussgrößen die Kosten zur Anschaffung eines eSpeichers berechnet.

Für die Kostenbestimmung zur Anpassung des Netzanschlusses für die höhere Belastung muss die Art des Untergrunds und die Länge festgelegt werden, welche freigelegt werden muss, um ein neues Versorgungskabel zu verlegen. In den hinterlegten Werten zum jeweiligen Untergrund sind bereits alle weiteren Kosten wie z.B. Verkehrssicherung, Baumschutz oder Bodenanalysen integriert. Diese Werte sind von der EVH berechnet und zu einem Preis zusammengefasst. Somit gilt die Anwendung des vorgestellten Wirtschaftlichkeitstool nur für deren Einzugsbereich.



Parameter für den eSpeicher	Parameter für den Niederspannungsnetzanschluss
Auswahl der bisherigen Sicherungsgröße 31,2 kW (3 x 50 A)	Länge die freigelegt werden muss / m 1
Durch neue Ladeinfrastruktur benötigte Mehrleistung / kW 1 / 70	Auswahl des Untergrunds unbefestigt
Kundenseitige Leistungsreserve zwischen maximal benötigter und vertraglich vereinbarter Leistung /kW 1 / 200	
Zeitdauer pro Tag, die die Mehrleistung benötigt wird / h 1 / 12	
Berechne	

Abbildung 13: Wirtschaftlichkeitstool (Screenshot) [HSM]

6 Wirkungs- und Potenzialabschätzung zur Schadstoffreduzierung

6.1 Einführung

Im Rahmen des Projektes wurde eine Wirkungsabschätzung für das bestehende System und eine gesamtstädtische Potenzialabschätzung zur Klimagas- und Luftschadstoffreduzierung bei Umstellung auf Elektroantrieb aufgrund einer verbesserten Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur durchgeführt. Dabei wurde angenommen, dass ohne den Einsatz von eSpeicher-Systemen die Fahrten mit Verbrennerfahrzeugen an Stelle von Elektrofahrzeugen durchgeführt würden. Betrachtet wurden die Luftschadstoffemissionen NO_2 und NO_x und die Klimagasemissionen in Form von CO_2e (WTW), demnach die verkehrsrelevanten Klimagase (Kohlendioxid CO_2 sowie Methan CH_4 und Lachgas N_2O) einschließlich der Vorkette zur Energiebereitstellung. Die Betrachtung der Emissionen zur Errichtung der notwendigen Infrastruktur, u.a. des eSpeichers, war nicht Gegenstand des Projektes.

6.2 Wirkungsabschätzung für das errichtete System

Ansatz und Datengrundlage

Zur Wirkungsabschätzung für das errichtete System wurde die Emissionsreduzierung ermittelt die entsteht, weil die vorhandenen Fahrzeuge durch Elektrofahrzeuge ersetzt wurden. Dabei wurde angenommen, dass das Fahrverhalten der Nutzer*innen gleichgeblieben ist, d. h. die untersuchten Fahrten wären gleichermaßen

mit den vorher verfügbaren Fahrzeugen durchgeführt worden. Am Standort sind derzeit sechs Elektrofahrzeuge stationiert, aufgrund verschiedener Randbedingungen schwankte die Anzahl zwischen kurzzeitig fünf und acht Elektrofahrzeugen. Diese Fahrzeuge können von den Mitarbeiter*innen der Stadtverwaltung für Dienstfahrten und von allen Kund*innen des Carsharing-Anbieters genutzt werden. Für die Wirkungsabschätzung wurden ausschließlich die Nutzungsdaten der Stadtverwaltung Halle (Saale) betrachtet. Dies hat mehrere Gründe - der Standort wurde zuvor nur wenige Monate mit Verbrennerfahrzeugen betrieben und Carsharing-Nutzer*innen können auf andere Standorte ausweichen.

Der betrachtete Wirkungszeitraum umfasst November 2021 (Beginn Stationierung der Elektrofahrzeuge) bis September 2022 (Projektende). Das Fuhrparkmanagement der Stadt Halle stellte die Nutzungsdaten der Elektrofahrzeuge sowie die Daten zu den vorher am Standort stationierten Dienstfahrzeugen bereit. Die vorher stationierten Dienstfahrzeuge wurden mit Benzin, Diesel, Erdgas oder Strom betrieben. Auf Basis der Nutzungsdaten wurde die monatliche Fahrleistung berechnet. Aus der Fahrleistung und den Emissionsfaktoren wurden sowohl die tatsächlichen Emissionen der Elektrofahrzeuge als auch die Emissionen ermittelt, die durch Nutzung der vorher stationierten Fahrzeuge entstanden wären. Die Emissionsfaktoren wurden dem HBEFA (Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs) [3] entnommen sowie aus einer Untersuchung des Umweltbundesamtes zu den Emissionswerten für die Stromgewinnung aus Wasserkraft [4] und des ADAC zu den durchschnittlichen Verbrauchswerten des eingesetzten Elektrofahrzeugtyps [5] abgeleitet. Aus der monatlichen Fahrleistung sowie den Emissionsfaktoren wurden die Emissionen der Elektrofahrzeuge berechnet und die Emissionen, die durch weitere Nutzung der vorher stationierten Fahrzeuge entstanden wären. Durch Differenz der jeweiligen Werte wurde die Reduktion der Klimagas- und Luftschadstoffemissionen ermittelt.

Datenauswertung

Die Nutzungsdaten durch die von Mitarbeiter*innen der Stadtverwaltung genutzten Elektrofahrzeuge wurden jeweils monatlich über alle Fahrzeuge aufsummiert. Diese sind in Abbildung 14 dargestellt. Insgesamt wurden im betrachteten Zeitraum mit den Fahrzeugen ca. 34.500 km zurückgelegt. Ab März 2022 steigt die Nutzung sprunghaft an, dies ist vermutlich auf die gelockerten Corona-Auflagen zurückzuführen.

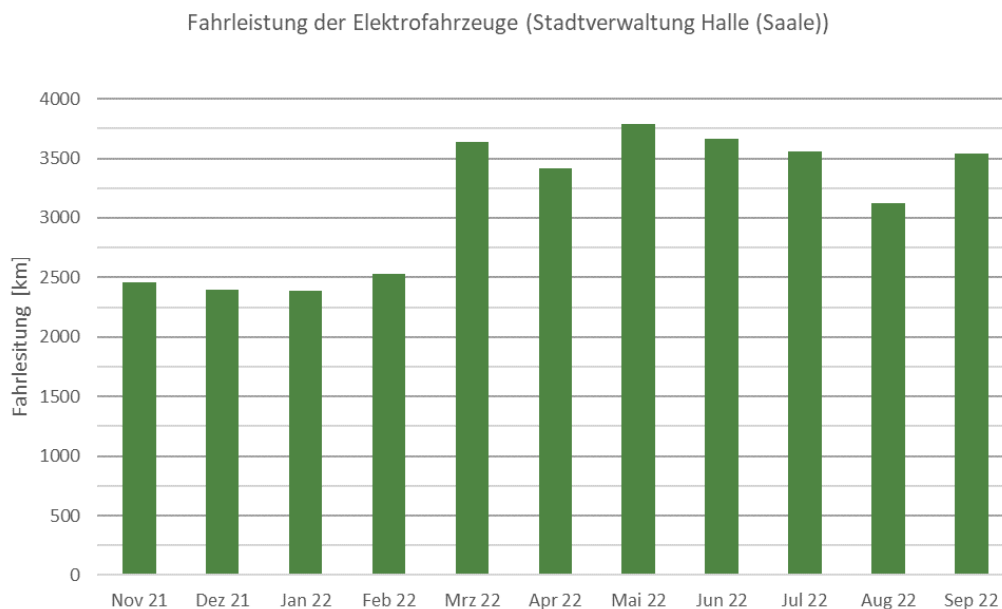


Abbildung 14: Fahrleistung der Elektrofahrzeuge am Standort Am Stadion 5 in Halle (Saale), welche durch die Mitarbeiter*innen der Stadtverwaltung erbracht wurde [pwp]

Basierend auf den Nutzungsdaten und den Emissionsfaktoren wurde die Reduzierung der Klimagas- und Luftschadstoffemissionen ermittelt, diese sind in Abbildung 15 dargestellt. Die Klimagase (CO₂e (WTW)) sind

auf der linken, die Luftschadstoffe (NO₂, NO_x) auf der rechten y-Achse abgetragen. Die Kurven entsprechen dem Verlauf der Fahrleistung, da sich die Werte proportional zueinander verhalten, entsprechend ist auch hier ein deutlicher Anstieg im März 2022 zu verzeichnen.

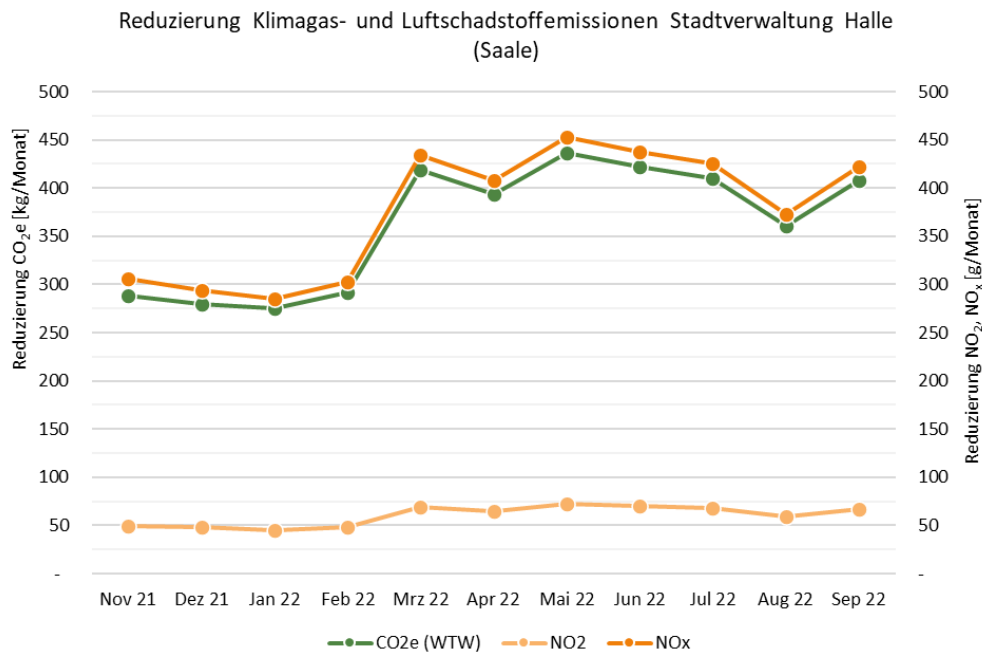


Abbildung 15: Reduzierung Klimagas- und Luftschadstoffemissionen der Stadtverwaltung Halle (Saale) durch Nutzung der Elektrofahrzeuge [pwp]

Im ausgewerteten Zeitraum konnten durch Nutzung der Elektrofahrzeuge insgesamt ca. 3.900 kg CO₂e (WTW), 650 g NO₂ und 4.100 g NO_x eingespart werden.

6.3 Potenzialabschätzung für die Stadt Halle (Saale)

Ansatz und Datengrundlage

Die in Halle (Saale) zuständige Netzbetreibergesellschaft Energieversorgung Halle Netz GmbH (kurz: Netz Halle) hat bereits Mittel eingestellt, um eine ausreichende Netzkapazität für den Markthochlauf der Elektromobilität in den nächsten Jahren zu schaffen. Demnach kann Ladeinfrastruktur an den gewünschten Standorten errichtet werden, je nach Standort ist jedoch unter Umständen eine längere Wartezeit notwendig. In diesen Fällen kann es sinnvoll sein, übergangsweise ein eSpeicher-System einzusetzen.

Die Potenzialabschätzung erfolgt somit basierend auf den ohne eSpeicher-System nicht zeitnah realisierbaren Ladepunkten. Dabei werden die Prognosejahre 2025 und 2030 betrachtet. Zunächst wurde die bereits vorhandene sowie der prognostizierte Bedarf an Ladeinfrastruktur in der Stadt Halle (Saale) ermittelt. Anschließend wurden Standorte für die zukünftig notwendige Ladeinfrastruktur bestimmt. Durch Netz Halle erfolgte eine technische Vorprüfung dieser Standorte hinsichtlich der vorhandenen Netzkapazität. Die aufgrund nicht vorhandener Netzkapazität nicht umsetzbaren Standorte wurden bestimmt und die infolgedessen nicht mögliche Fahrleistung mit Elektrofahrzeugen abgeleitet. Abschließend wurde ermittelt, um wieviel geringer die Reduzierung der Klimagas- und Luftschadstoffemissionen beim Umstieg von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor auf Elektrofahrzeuge ausfällt, wenn Ladeinfrastruktur aufgrund zu geringer Netzkapazität nicht errichtet werden kann.

Status Quo der Ladeinfrastruktur

Zur Ermittlung der zukünftig zu errichtenden Ladeinfrastruktur ist zunächst die Ermittlung des Status Quo notwendig. Die vorhandene Ladeinfrastruktur wurde über das Ladesäulenregister der Bundesnetzagentur [6] ermittelt und mit den Daten der Internetportale LemNet [7] und GoingElectric [8] ergänzt. Die ermittelten Ladepunkte wurden hinsichtlich ihrer Zugänglichkeit in uneingeschränkt zugängliche und eingeschränkt zugängliche Ladepunkte eingeteilt. Ladepunkte können z. B. aufgrund von Öffnungszeiten oder aufgrund von Zugangshemmnissen wie Schranken oder Pfortner eingeschränkt zugänglich sein. Zudem wurde nach Normal- und Schnellladepunkten differenziert.

Die in Halle (Saale) vorhandene Ladeinfrastruktur ist gleichmäßig über das Stadtgebiet verteilt, größere Agglomerationen sind vorrangig im Bereich der Alt- und Innenstadt vorhanden. Schnellladepunkte befinden sich insbesondere an den größeren Verkehrsachsen. Insgesamt wurden 92 öffentlich zugängliche Ladepunkte ermittelt, 23 davon sind Schnellladepunkte. Ladepunkte, deren Zufahrt beschränkt ist und daher von Nutzer*innen nicht als öffentlich zugänglich wahrgenommen werden, z. B. bei Lademöglichkeiten auf Betriebsgelände, wurden nicht betrachtet.

Prognose des Bedarfs an Ladeinfrastruktur

Die Anzahl der zukünftig notwendigen Ladepunkte ist von der Anzahl der zugelassenen Elektrofahrzeuge, der sich daraus ergebenden notwendigen Lademenge und dem Anteil an Ladevorgängen, die an öffentlicher Ladeinfrastruktur getätigt werden, abhängig.

Als Grundlage diente die Studie „Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf“ [1] der Nationalen Leitstelle für Ladeinfrastruktur (NLL). In dieser Studie wurde der erwartete Bestand an Elektrofahrzeugen für die Jahre 2025 und 2030 prognostiziert, die ermittelten Werte decken eine große Spannweite ab. Betrachtet man den Median-Wert wurden für das Jahr 2025 insgesamt 5,5 Mio. Elektrofahrzeuge angenommen, für das Jahr 2030 wurde die Anzahl an Elektrofahrzeugen mit 9,6 Mio. BEV (batterieelektrische Fahrzeuge) und 5,2 Mio. PHEV (Plug-in-Hybrid) abgeschätzt. Zudem wird der Ladebedarf im öffentlichen Raum abgeschätzt. Bezüglich der Ladeanteile im privaten und öffentlichen Raum wurden drei verschiedene Szenarien betrachtet: ein Referenzszenario, ein Szenario mit geringer Verfügbarkeit privater Ladeinfrastruktur (kurz: gV pLIS) sowie ein Szenario mit hoher Verfügbarkeit privater Ladeinfrastruktur (kurz: hV pLIS). Da mit der Stadt Halle (Saale) ein urbaner Raum betrachtet wird, werden in vorliegender Untersuchung die zwei erstgenannten Szenarien berücksichtigt. Der von der NLL für ganz Deutschland errechnete jährliche Ladebedarf wird anhand des Anteils der in Halle (Saale) zu den in ganz Deutschland zugelassenen Elektrofahrzeugen [9] bestimmt und auf einen Tag gerechnet. Dieser ist für die relevanten Szenarien in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Täglich verladene Energiemenge an öffentlicher Ladeinfrastruktur in Halle (Saale) [pwp]

Prognose	Referenzszenario	gV pLIS
2025	13.319 kWh	16.717 kWh
2030	41.547 kWh	52.145 kWh

Die notwendigen Ladepunkte wurden nun aus dem prognostizierten Ladebedarf abgeleitet. Mit Verweis auf [10] wird angenommen, dass ab dem Jahr 2025 ein wirtschaftlicher Betrieb der Ladeinfrastruktur möglich ist. Anhand u.a. der angesetzten Kosten für Errichtung und Betrieb sowie der angesetzten Marge wurde in [10] die notwendige, tägliche Auslastung je Ladepunkt ermittelt. Anhand dieser Auslastung wurde die Ladeleistung an den bereits vorhandenen Ladepunkten bestimmt und vom prognostizierten Ladebedarf abgezogen. Anschließend wurde die Anzahl der zusätzlich benötigten Ladepunkte ermittelt, dazu wurden weitere Annahmen getroffen: Normalladepunkte verfügen über 22 kW und Schnellladepunkte über 150 kW Ladeleistung, zudem soll ein Drittel der Ladepunkte durch Schnellladepunkte abgedeckt werden. Anhand dieser Annahmen ergibt sich die in Tabelle 3 dargestellte Anzahl an Ladepunkten je relevantem Szenario und Prognosejahr.

Tabelle 3: Zusätzlich benötigte Anzahl an Ladepunkten in Halle (Saale) [pwp]

Prognose		Referenzszenario	gV pLIS
2025	Normalladepunkte	77	108
	Schnellladepunkte	38	54
	Ladepunkte insgesamt	115	162
2030	Normalladepunkte	336	433
	Schnellladepunkte	168	217
	Ladepunkte insgesamt	504	650

Standortwahl der benötigten Ladeinfrastruktur

Für die Standortwahl der benötigten Ladeinfrastruktur ist eine Lokalisierung von Bedarfsräumen notwendig. Dafür wurde das StandortTOOL [11] genutzt, welches die NLL frei zur Verfügung stellt. Basierend auf sozio-ökonomischen und flächenanalytischen Parametern sowie Daten aus Verkehrsanalyse, Ladeverhalten und der bereits verfügbaren Ladeinfrastruktur wird der Ladebedarf auf lokaler Ebene qualitativ im Raster von 500 x 500 m ausgegeben. Dabei kann der Zeithorizont, die prognostizierte Anzahl an Elektrofahrzeugen, die Aufbaustrategie der Ladeleistung und der Anteil des privaten Ladens angepasst werden. Zudem wurde zwischen den vier Ladeinfrastrukturkategorien Ladeinfrastruktur in Wohngebieten, Ladeinfrastruktur an Versorgungs- und Freizeiteinrichtungen, Ladeinfrastruktur an intermodalen Standorten und Schnelllade-Hubs an Verkehrsachsen unterschieden. Anhand dieser Kategorien und der mit Hilfe des StandortTOOLS lokalisierten Bedarfsräume wurde an entsprechenden Standorten Ladeinfrastruktur verortet.

Insgesamt wurden für das Jahr 2025 216 Ladepunkte an 64 Standorten verortet, davon waren 148 Normalladepunkte. Der ermittelte Bedarf wird dabei leicht überschritten. Es wurde jedoch bewusst ein etwas erhöhtes Szenario gewählt, da zu erwarten ist, dass es verstärkter Impulse auch seitens des Ladeinfrastrukturaufbaus bedarf, um das ambitionierte Ziel von insgesamt 5,5 Mio. zugelassenen Elektrofahrzeugen zu erreichen.

Für das Jahr 2030 wurden insgesamt 770 Ladepunkte an 168 Standorten verortet, darunter 590 Normalladepunkte. Damit wird der Ladebedarf abgedeckt, der zwischen dem Referenzszenario und dem Szenario geringe Verfügbarkeit privater Ladeinfrastruktur liegt. Die Schnellladepunkte sind großteils an Schnelllade-Hubs mit überwiegend 12 Ladepunkten verortet. Für das Jahr 2030 wurden sowohl bereits für das Jahr 2025 gewählte Standorte aufgewertet als auch neue Standorte gewählt.

Prüfung der Netzkapazität

Die Prüfung der vorhandenen Netzkapazität wurde durch Netz Halle durchgeführt, welche ebenfalls im Projekt eSpeicher beteiligt war. Dabei handelte es sich um eine technische Vorprüfung. Es wurde geprüft, ob an der jeweiligen Transformatorstation ausreichend Netzkapazität für die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur vorhanden ist. Bei tatsächlicher Umsetzung wäre eine wesentlich detailliertere Prüfung notwendig, z. B. hinsichtlich freier Niederspannungsabgänge in den Transformatorstationen. Ebenso konnte weder der geplante Netzausbau noch der zukünftige Strombedarf aufgrund komplexerer Randbedingungen berücksichtigt werden. Bei Standorten mit einer hohen Anzahl an Schnellladepunkten wurde vereinfachend angenommen, dass diese prinzipiell ohne Netzertüchtigung nicht realisiert werden könnten.

Die technische Vorprüfung ergab, dass im Jahr 2030 526 der geplanten 590 Normalladepunkte und 14 der geplanten 80 Schnellladepunkte mit dem derzeitigen Netzausbau realisiert werden könnten.

Potenzialabschätzung

Die Standorte, die aufgrund mangelnder Netzkapazität nicht errichtet werden könnten, wurden identifiziert und die dort geplante, zu verladene Energiemenge anhand der für einen wirtschaftlichen Betrieb notwendigen Auslastung ermittelt. In die Betrachtung nicht einbezogen wurden Standorte mit mehr als 4 Schnellladepunkten. Es ist theoretisch möglich, eSpeicher mit einer dafür ausreichenden Speicherkapazität aufzustellen. Jedoch muss der eSpeicher mit der vorhandenen Netzkapazität geladen werden können. Aufgrund der bei gleichzeitigem Laden hohen Entladeleistung kann dies jedoch nicht pauschal sichergestellt werden. Aus der an den nicht umsetzbaren Standorten ermittelten Energiemenge wird die sich daraus ergebende Fahrleistung mit Elektrofahrzeugen abgeleitet. Die Energie Baden-Württemberg AG berechnete basierend auf einer Untersuchung des ADAC [12] einen durchschnittlichen Stromverbrauch von 22 kWh/100 km für Elektrofahrzeuge [13], dieser Wert wird hier angesetzt. Anschließend wird angenommen, dass diese Fahrleistung aufgrund der mangelnden Ladeinfrastruktur anstelle von Elektrofahrzeugen mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor durchgeführt werden würde. Für die Jahre 2025 und 2030 wird anhand des HBEFA entsprechend der prognostizierten Anteile von Benzin- und Diesel-Pkw gewichtete Mittel für die Emissionsfaktoren der Verbrennerfahrzeuge bestimmt. Für das Jahr 2030 ergibt sich - bei Berechnung über alle relevanten Standorte und Betrachtung des Szenarios geringe Verfügbarkeit privater Ladeinfrastruktur - eine tägliche Einsparung von ca. 5,4 t CO₂e (WTW), 280 g NO₂ und 3,1 kg NO_x.

Diese Betrachtung ist jedoch stark vereinfacht, da die Standorte sukzessive errichtet werden würden. Die eSpeicher würden somit nicht gleichzeitig an diesen Standorten betrieben, sondern aufeinander folgend an mehreren Standorten. Daher wurde ergänzend berechnet, wie hoch das Potenzial für zwei Normal- und zwei Schnellladepunkte wäre. Diese Größe kann für zu betrachtende Standorte skaliert werden. In Tabelle 4 ist die Emissionsreduktion pro Tag bei Errichtung von je zwei Normalladepunkten (AC-LP) und zwei Schnellladepunkten (DC-LP) für die Prognosejahre 2025 und 2030 angegeben.

Tabelle 4: Reduzierung der Emissionen durch Errichtung von je zwei Normal- und Schnellladepunkten [pwp]

Szenario: 1 Standort mit jeweils 2 AC-LP und DC-LP		2025		2030	
Anzahl Ladepunkte		AC-LP	DC-LP	AC-LP	DC-LP
Anzahl		2	2	2	2
Fehlende Energiemenge	[kWh]	53	330	53	330
Ø Verbrauch E-Fzg	[kWh/100km]	22		22	
Fahrtstrecke	[km]	240	1.500	240	1.500
Emissionsreduktion					
CO ₂ e (WTW)	[kg]	50	314	48	301
NO ₂	[g]	6	36	3	16
NO _x	[g]	50	313	28	177

Für das Jahr 2030 könnten durch die Errichtung von 2 Schnellladepunkten täglich 301 kg CO₂e (WTW), 16 g NO₂ und 177 g NO_x eingespart werden.

7 Erkenntnisse und Ausblick

Das geplante Lade-Speicher-System wurde erfolgreich umgesetzt und in Betrieb genommen. Die implementierte Regelung stützt über den Batteriespeicher die Ladevorgänge. Bei der derzeitigen Nutzung der Ladeinfrastruktur sind noch Leistungsreserven vorhanden und auch die vorhandene Einspeisung ist noch nicht ausgelastet. Damit wird das volle Potenzial des Speichers noch nicht ausgeschöpft. Je nach Entwicklung des Fahrzeugbestandes der Carsharing Unternehmen als Hauptnutzer und der Nutzung der Fahrzeuge ist hier eine höhere Auslastung zu erwarten. Aus Sicht der erfolgten Ladevorgänge ist die Anzahl der jetzt verfügbaren Ladepunkte derzeit bedarfsdeckend.

Mit der derzeitigen Regelstrategie unterstützt der Batteriespeicher derzeit jeden Ladevorgang. Bei Priorisierung einer Nicht-Überlastung der Einspeisung wäre eine kleinere Dimensionierung des Batteriespeichers möglich. Im Hinblick auf eine mögliche Nutzung der Technik auch an anderen Standorten ist die gewählte Auslegung jedoch vorteilhaft.

Die Wirkungsabschätzung hat ergeben, dass allein durch die Mitarbeiter*innen der Stadtverwaltung von November 2021 bis September 2022 insgesamt ca. 3.900 kg CO₂e, 650 g NO₂ und 4.100 g NO_x eingespart werden konnten.

Im Rahmen der Potenzialabschätzung wurde die bereits vorhandene und künftig zusätzlich benötigte öffentliche Ladeinfrastruktur betrachtet und die Netzkapazität direkt an den Trafostationen geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die Standorte mit ausschließlich Normalladestationen fast in allen Fällen ohne eSpeicher errichtet werden könnten. An Standorten mit Schnellladestationen bedarf der Einsatz von eSpeichern einer genauen Prüfung. eSpeicher können in diesem Anwendungsgebiet den Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur unterstützen. Ein höheres Potenzial wird jedoch beim Einsatz von eSpeichern im halböffentlichen und gewerblichen Bereich gesehen, wenn vorhandene Hausanschlüsse genutzt werden sollen und/oder der Betrieb in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage erfolgen soll.

Künftige Projekte sollten Preissignale, bereitgestellt zum Beispiel über Smart Meter Gateway, und dezentrale Eigenerzeugung, zum Beispiel über Photovoltaikanlagen, einbeziehen. Die praktische Verfügbarkeit des bidirektionalen Ladens der angeschlossenen Elektrofahrzeuge eröffnet zudem einen neuen Horizont in der Nutzung der installierten Speicherkapazitäten.

Literaturverzeichnis

[1]

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (Hrsg.): Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf. Berlin, 2020

[2]

Mennekes: Technisches Produktdatenblatt - Amedio Professional+ PnC 22. URL: https://www.mennekes.de/fileadmin/products_media/media_mennekes_org/140832412_de_53439_originaldatei.pdf, Stand: 30.09.2022

[3]

INFRAS/MKC: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), Version 4.2.2, Stand: 19.04.2022. Programm basierend auf MS Access.

[4]

Umweltbundesamt (Hrsg.): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger – Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020. Dessau-Roßlau, November 2021.

URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energetraeger-2020>, Stand: 14.03.2022

[5]

Allgemeiner Deutscher Automobilclub: Renault Zoe im ADAC Dauertest: Wie alltagstauglich ist der Elektro-Kleinwagen?.

URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/renault/renault-zoe-dauertest/>, Stand: 18.07.2022

[6]

Bundesnetzagentur: Liste der Ladesäulen.

URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html>, Stand: 01.05.2022

[7]

LemNet: Verzeichnis von Stromtankstellen für Elektrofahrzeuge.

URL: <https://lemnet.org/de>, Stand: 01.05.2022

[8]

GoingElectric: Stromtankstellenverzeichnis.

URL: <https://www.goingelectric.de/stromtankstellen/>, Stand: 01.05.2022

[9]

Kraftfahrtbundesamt FZ1: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach

Zulassungsbezirken - 1. Januar jeden Jahres. URL:

https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/fahrzeugklassen_node.html, Stand 01.01.2022

[10]

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (AG5): Bedarfsgerechte und wirtschaftliche öffentliche Ladeinfrastruktur – Plädoyer für ein dynamisches NPM-Modell. Berlin, April 2020

[11]

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur: Ladebedarfe bis 2030.

URL: <https://www.standorttool.de/strom/ladebedarfe/>, Stand 23.08.2022

[12]

Allgemeiner Deutscher Automobilclub: Elektroautos im Test: So hoch ist die Reichweite wirklich.

URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>, Stand: 08.09.2022

[13]

EnBW Energie Baden-Württemberg AG: Wie hoch ist der Stromverbrauch von Elektroautos?.

URL: <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/wie-hoch-ist-der-stromverbrauch-von-elektroautos/>, Stand: 08.09.2022