

Forschungsbericht BWPLUS

**E-Ladeinfrastruktur Intelligent Steuern und Anbinden in
Baden-Württemberg
Kurztitel: “eLISA-BW“**

von

Sebastian Sigle (DLR), Tobias Schneider (DLR), Dennis Huschenhöfer (ZSW)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Fahrzeugkonzepte

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW)

Förderkennzeichen: BWINP 19010 – 19011

Laufzeit: 01.07.2019 – 30.09.2021

Die Arbeiten des Baden-Württemberg-Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung
(BWPLUS) werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

Februar 2022



Schlussbericht

eLISA-BW

14. März 2022

**Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V.**

Institut für Fahrzeugkonzepte





Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Fahrzeugkonzepte
Pfaffenwaldring 38-40
D-70569 Stuttgart

Institutsleitung
Prof. Dr.-Ing T. Siefkes
Tel.: +49 30 67055 691

Projektleitung
Sebastian Sigle
Tel.: +49 (0)711/6862-8222

Titel	vorläufiger Abschlussbericht		
Autor	Sebastian Sigle Tel.: +49 (0)711/6862-8222; sebastian.sigle@dlr.de Weitere Autoren: Tobias Schneider (DLR), Dennis Huschenhöfer (ZSW)		
Projekt	eLISA-BW		
Versions-Nr.	Änderung	Gesamt-Seitenzahl	Datum
1	vorläufiger Abschlussbericht	47	03.11.2021
2	Abschlussbericht	61	14.03.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Management Summary	1
2	Aufgabe/Ziele/Einleitung	2
3	Vorgehen/Plan	4
4	Durchführung	9
4.1	Zeitplan, Abweichungen und Verlängerung.....	9
4.2	Datensammlung Umfeldanalyse	13
4.3	Aufbau der Hardware in der Tiefgarage	14
4.4	Definition der Schnittstellen und Entwicklung des Systemschaubild.....	15
4.5	Aufbau der Datenbank	16
4.6	Entwicklung des Last- und Lademanagement.....	16
5	Ergebnis	21
5.1	Umfeldanalyse	21
5.1.1	Energieverbrauch Nebenverbraucher.....	21
5.1.2	Fahrtenauswertung	21
5.1.3	Statistiken Parkgarage	26
5.2	Auswertungen aus dem Realbetrieb	28
5.2.1	Ladeinfrastruktur	28
5.2.2	Auswertung Leistungsverlauf am vorgelagerten Transformator.....	30
5.2.3	Fahrzeugpoolauswertung.....	34
5.3	Aus- und Bewertung des Last- und Lademanagements.....	35
5.4	Erkenntnisse aus dem Reallabor	41
6	Verwertung und Transfer	42
6.1	Teilnahme an Konferenzen	42
6.2	Strategiedialog Automobilwirtschaft	42
6.3	Vorstellungen/Präsentationen	43
6.4	Workshop	43
6.5	Öffentlichkeitsarbeit	44
6.5.1	Öffentlichkeitsarbeit/Presse.....	44
6.5.2	Leitfaden	49



6.5.3	Weiternutzung PBW	49
6.5.4	Weiterentwicklung des Lademanagement	49
7	Schlussfolgerung	50
8	Anhang	52
8.1	Projektzeitplan	52
8.2	Programm Workshop	52
8.3	Slido Umfrageergebnisse Workshop	52
8.4	Leitfaden	52



Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BEV	Batterieelektrische Fahrzeuge
EV	Elektrofahrzeuge
LIS	Ladeinfrastruktur
LS	Ladestation
NAP	Netzanschlusspunkt
PBW	Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg
PHEV	Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge
PPT	Parkplätze, Parkhäuser und Tiefgaragen
RPK	Regierungspräsidium Karlsruhe
SOC	State of Charge (Ladezustand)
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
VuB	Landesbetrieb Vermögen und Bau

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan der Parkgarage und des Transformators (Quelle: pbw.de).....	4
Abbildung 2: Arbeitspaketstruktur eLISA-BW	6
Abbildung 3: alter Hauptverteiler links und neuer Hauptverteiler rechts	10
Abbildung 4: alter Unterverteiler vor der Installation der neuen Ladesäulen.....	11
Abbildung 5: alter Unterverteiler nach der Installation der neuen Ladesäulen	11
Abbildung 6: alter Unterverteiler für die Ladesäulen - Einbausituation	12
Abbildung 7: neue Ladestationen mit RPK-Fahrzeugen (noch ohne Folierung und Beleuchtung)	14
Abbildung 8: Detailansicht der neuen Ladestation (Quelle: DLR/Eppler).....	14
Abbildung 9: Systemschaubild des Projektes eLISA-BW (HV – Hauptverteiler, LMK – Leistungsmessklemme, LS – Ladestation mit 44 kW, UV – Unterverteiler)	15
Abbildung 10: Ladevorgänge entsprechend des theoretischen Beispiels aus Tabelle 1...18	
Abbildung 11: Komponenten des Lademanagements.....	20
Abbildung 12: Anzahl Fahrten Einzelfahrzeuge.....	22
Abbildung 13: Durchschnittliche Fahrstrecke Einzelfahrzeuge	23
Abbildung 14: Fahrstreckenquartile für die Fahrzeuggruppen Diesel, Hybrid und Elektro	24
Abbildung 15: Vergleich zwischen Standzeit und Abwesenheit.....	25
Abbildung 16: Anzahl "Dauerparker"	26
Abbildung 17: Aufenthaltsdauer „Dauerparker“	27
Abbildung 18: Aufgetretene Ladeleistungen und deren Häufigkeiten	28
Abbildung 19: Dauer der Ladevorgänge und deren Häufigkeit.....	29
Abbildung 20: Aufgenommene Energiemenge während der Ladevorgänge und deren Häufigkeit.....	30
Abbildung 21: Darstellung der Leistungsdaten des Transformators und Messdaten der Parkgarage über den gesamten Zeitraum.....	31
Abbildung 22: Darstellung der Daten des Transformators und Messdaten der Parkgarage über die Woche und Tag mit dem höchsten Energieverbrauch	33
Abbildung 23: Entwicklung des Fahrzeugbestandes des RPK	34
Abbildung 24: Simulierter Ladeplan mit realen Buchungsdaten	35
Abbildung 25: Angesteckte Fahrzeuge des Regierungspräsidiums für den Vororttest (Quelle: ZSW).....	36
Abbildung 26: Erster Ladeplan, der im Realtest ermittelt wurde, mit jeweils der Zielladung, der voraussichtlichen Ladung und der Batteriekapazität	37
Abbildung 27: Zweiter Ladeplan (nach dem Anstecken des fünften Fahrzeuges), mit jeweils der Zielladung, der voraussichtlichen Ladung und der Batteriekapazität	38



Abbildung 28: Dritter Ladeplan (nach dem Anstecken des sechsten Fahrzeugs) , mit jeweils der Zielladung, der voraussichtlichen Ladung und der Batteriekapazität.....	39
Abbildung 29: Screenshot aus dem Online Workshop	43
Abbildung 30: Projektlogo eLISA-BW.....	44
Abbildung 31: Fototermin Inbetriebnahme LIS (Quelle: DLR/Eppler)	45
Abbildung 32: Fototermin Inbetriebnahme LIS Konsortium (Quelle: DLR/Eppler).....	45
Abbildung 33: Impressionen von der Stuttgarter Mobilitätswoche	47
Abbildung 34: Twitter-Meldung Leitfaden.....	48
Abbildung 35: LinkedIn-Meldung Leitfaden	48



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Annahmen und Ergebnisse eines Beispiels zum Vergleich von Ladestrategien	18
Tabelle 2: Auflistung der veröffentlichten Pressemeldungen	46



1 Management Summary

Das Projekt eLISA-BW (elektrische Ladeinfrastruktur intelligent steuern und anbinden in Baden-Württemberg) wurde im Rahmen des Förderaufrufs INPUT (Intelligente Netzanbindung von Parkhäusern und Tiefgaragen) gefördert. Das Projekt startete im Juli 2019 und endete im September 2021. Dabei wurde in der Tiefgarage Waldhornstraße der Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg (PBW) die vorhandene Ladeinfrastruktur um acht Ladepunkte erweitert und ein intelligentes Lademanagementsystem implementiert. Dieses Lademanagement bietet eine Schnittstelle zum Buchungssystem des Regierungspräsidiums Karlsruhe (RPK) sowie zum Backend der Ladesäulen. Über Messtechnik am Haupt- und Unterverteiler des Gebäudes wird der aktuelle Lastzustand erkannt, an das System übermittelt und die verfügbare Ladeleistung für die Fahrzeuge berechnet. Der entwickelte intelligente Algorithmus verteilt die verfügbare Leistung bedarfsgerecht auf die Fahrzeuge, so dass diese zum Einsatzzeitpunkt möglichst vollgeladen sind. Dadurch kann die fast vollständig elektrifizierte Fahrzeugflotte des Regierungspräsidiums Karlsruhe (RPK), die zum größten Teil aus Plug-In-Hybridfahrzeugen (PHEV) und batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) besteht, zukünftig bedarfsgerecht geladen werden, ohne in neue Netzinfrastruktur investieren zu müssen. Eine Auswertung der Fahrtendaten ergab zudem, dass der größte Anteil der Fahrten für batterieelektrische Fahrzeuge geeignet wäre, obwohl auch PHEV eingesetzt werden. Die Ergebnisse des Projektes wurden kontinuierlich einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Dazu wurde unter anderem ein Workshop durchgeführt sowie ein Leitfaden erstellt. Eine weitere Umstellung der Fahrzeugflotte des RPK von PHEVs auf BEVs ist technisch daher zwar möglich, wird derzeit aber nicht geplant. Der Grund ist administrativer Art: Die Ladeplätze in der Tiefgarage können z.Z. nicht exklusiv für die Flottenfahrzeuge reserviert werden. Man kann das Konzept aber jederzeit ausbauen bzw. auf andere Parkhäuser übertragen.

2 Aufgabe/Ziele/Einleitung

Das Projekt adressiert direkt den Grundsatz „Intelligenz statt nur Kupfer“ aus den Fördergrundsätzen. Mittels eines innovativen, intelligenten Lade-, Last- und Nutzungskonzepts unter Berücksichtigung der Charakteristika des Anwendungsfalls E-Fahrzeugflotte RPK in der Parkgarage Waldhornstraße sollen hohe Netzbelastungen, Leistungsnachfragen, Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge und damit notwendiger Netzausbau vermieden werden.

Das Projekt eLISA-BW verfolgt also die Ziele:

1. Ein reales Problem lösen: In einer existierenden Parkgarage mehr Ladeinfrastruktur realisieren – obwohl die Netzanschlussleistung zu klein ist.
2. Das beschriebene Problem **mit intelligentem Lademanagement lösen** – ohne Netzanschlussausweitung oder Energiespeicher.
3. **Die Digitalisierung nutzen**: Informationen aus verschiedenen Quellen effizient verknüpfen und in ein zuverlässiges und vorausschauendes Lademanagement umsetzen.
4. Schwerpunkt auf **Behörden und Unternehmen mit Fuhrpark** legen: Für die Nutzung elektrischer Dienstfahrzeuge berücksichtigt das Lademanagement die typischen Daten eines Fuhrpark-Buchungssystems.
5. **Handlungsempfehlungen für intelligentes Lademanagement in Parkplätze, Parkhäuser und Tiefgaragen (PPT)** ausarbeiten. Die Schwerpunkte beschreiben die Fragen: Welche Informationen werden für ein intelligentes Lademanagement benötigt? Welche nicht?

In der ersten Projektphase wird die **neue Ladeinfrastruktur (LIS) in der Parkgarage installiert** und gedrosselt betrieben, während für das Lademanagement Schnittstellen zu Informationsquellen der Demo-Site realisiert werden. Im nächsten Schritt wird ein **dynamisches Lademanagement entwickelt und im Realbetrieb ausgerollt**. Während des Realbetriebs werden die Netzurückwirkungen erfasst, die Datenquellen zur LIS- und Fahrzeugnutzung analysiert und Verbesserungspotentiale für das Lademanagement aufgezeigt. Im Rahmen der begleitenden Datenauswertung wird mit Szenarien ein **Zuwachs an Ladebedarf durch den Markthochlauf Elektromobilität** prognostiziert und die Potentiale sowie Grenzen des intelligenten Lademanagements aufgezeigt. Mit den Daten des Realbetriebs wird die Übertragbarkeit auf andere PPT analysiert und alle notwendigen Rahmenbedingungen und **Handlungsempfehlungen für intelligentes PPT-Lademanagement** in einem Leitfaden zusammengefasst.

Durch intelligentes Lastmanagement unter Nutzung von Buchungsdaten zur Fahrzeugnutzung der RP-Flotte sowie Monitoring der Gesamtleistung am Hausanschluss wird die zur Verfügung gestellte Ladeleistung jedes neuen Ladepunkts so gesteuert, dass einerseits die Limitierungen des Hausanschlusses stets eingehalten werden, andererseits zu den geplanten Nutzungszeitpunkten der Fahrzeuge der Ladevorgang abgeschlossen ist. Im Gegensatz zu anderen Lösungen soll diese Lösung nicht durch Ausbau der installierten Hardware (Vergrößerung Netzanschluss / mehr Kupfer) oder den Einsatz eines Energiespeichers zur Pufferung (mehr Chemie) erfolgen, sondern durch intelligente Ladesteuerung. Diese intelligente Ladesteuerung ermöglicht die Inbetriebnahme und Verwendung weiterer LIS unter Beibehaltung der bereits bestehenden LIS.

Kern des Projekts bildet die Entwicklung einer Hard- und Softwarelösung zur Steuerung der Ladeleistung, die über geeignete Schnittstellen an verfügbare Informationsquellen angebunden wird und im Realbetrieb in der Parkgarage Waldhornstraße zum Einsatz kommt. Die wesentlichen Informationsquellen und Datenflüsse sind:

1. Planungstool der Fahrzeugdisposition RPK (Input)
2. aktueller Leistungsbedarf am Hausanschluss (NAP) der PBW-Parkgarage (Input)
3. Lastgang am Netzknoten (Niederspannungstransformator) des Netzbetreibers Vermögen und Bau (VuB) (Input)
4. Identifikation der zu ladenden Fahrzeuge mit Hilfe der PBW-Parkhaussteuerung (Input)
5. Steuerung der zur Verfügung gestellten Ladeleistung (Output)

Die Projektverwertung gestaltet sich wie folgt:

1. Das Laden in der Parkgarage ist erfolgreich realisiert und in der Praxis etabliert. Das RPK kann seine Fahrzeuge zuverlässig und ohne Einschränkungen durch das Lademanagement nutzen.
2. Ein Projektbeteiligter nutzt die Projektergebnisse für die eigene Produktentwicklung.
3. Ausrollen der Projektlösung in weiteren betroffenen PPT der PBW - Hemmnisse für den weiteren Markthochlauf der E-Mobilität werden ausgeräumt.
4. Wirksame Kommunikationsarbeit bei relevanten Interessengruppen, z.B. PPT-Betreiber, Netzbetreiber, Stadtwerke, Automobilindustrie, ...
5. Weiternutzung der Testumgebung und der Projektdaten in Folgeprojekten zu E-Mobilität und Sektorkopplung durch ZSW und DLR.

3 Vorgehen/Plan

Die Parkgarage in der das Projekt umgesetzt wurde, befindet sich in Karlsruhe in der Waldhornstraße. Der Standort des RPK befindet sich direkt gegenüber der Parkgarage. Für das Laden der Elektrofahrzeuge des RPK wird die vorhandene Ladeinfrastruktur in der Parkgarage genutzt. Die Parkgarage ist an eine Ringleitung angeschlossen, über die noch weitere öffentliche Gebäude ihre elektrische Leistung beziehen. Der zugehörige Transformator ist in den Kellerräumen der Universität Karlsruhe untergebracht und befindet sich damit in unmittelbarer Nähe zum RPK und der Parkgarage. Zur besseren Orientierung sind in Abbildung 1 die entsprechenden Gebäude auf der Karte eingezeichnet.

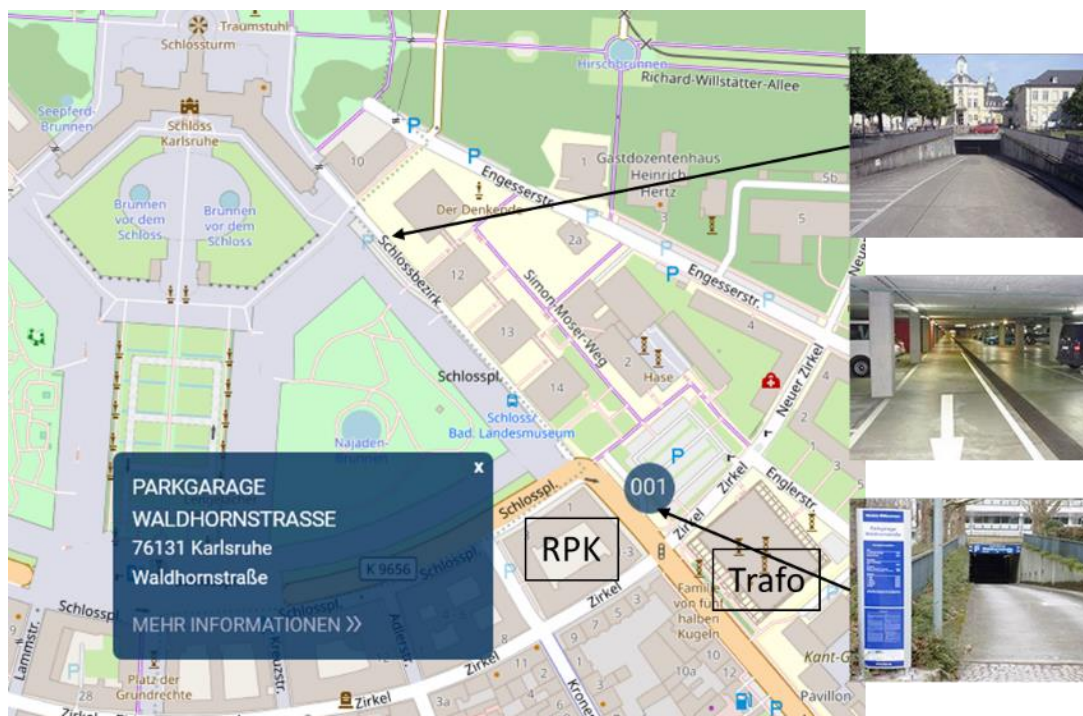


Abbildung 1: Lageplan der Parkgarage und des Transformators (Quelle: pbw.de)

Nachfolgend wird kurz die Ausgangssituation, die Herausforderungen, die es zu lösen galt sowie die Lösungsansätze beschrieben.

Ausgangssituation Parkgarage:

- 222 Stellplätze



- Öffnungszeiten: täglich 24 h
- Zugang für Kurz- und Dauerparker
- Parkplätze für die Fahrzeugflotte des RPK
- Drei Ladestationen mit sechs Ladepunkten und 22 kW Ladeleistung je Ladepunkt
- Maximale Ladeleistung gedrosselt aufgrund des begrenzten Hausanschlusses

Herausforderungen:

- Kontinuierliche Elektrifizierung des RPK Fuhrparks, um batterieelektrische Fahrzeuge (BEVs) und Plug-in-Hybrid (PHEV) Fahrzeuge
- Acht zusätzliche Ladepunkte für die RPK Flotte zur Verfügung stellen trotz begrenztem Netzanschluss
- Sicherstellung der benötigten Energiemengen für die bevorstehenden Dienstfahrten
- Vermeidung von Einschränkungen für die Bestandladeinfrastruktur, die öffentlich genutzt werden kann

Ansatz:

- Nutzung der Buchungsdaten des RPK sowie Lastmonitoring des Hausanschlusses
- Dynamische Steuerung der maximalen Ladeleistung basierend auf den Standzeiten und benötigten Energiemengen für die bevorstehenden Fahrten

Der Ablauf des Projektes war wie folgt geplant:

1. Umfeldanalyse
2. Einrichtung Messtechnik/Schnittstelle
3. Einbindung Ladesäulen
4. Messung und Auswertung

Um einen strukturierten Ablauf des Projektes sicherzustellen, wurde vor Projektbeginn eine Arbeitspaketstruktur erarbeitet (Abbildung 2). Insgesamt wurden hierfür sechs Arbeitspakete definiert und den drei Phasen Konzept und Aufbau, Inbetriebnahme und Erprobung sowie Auswertung und Optimierung zugeordnet.

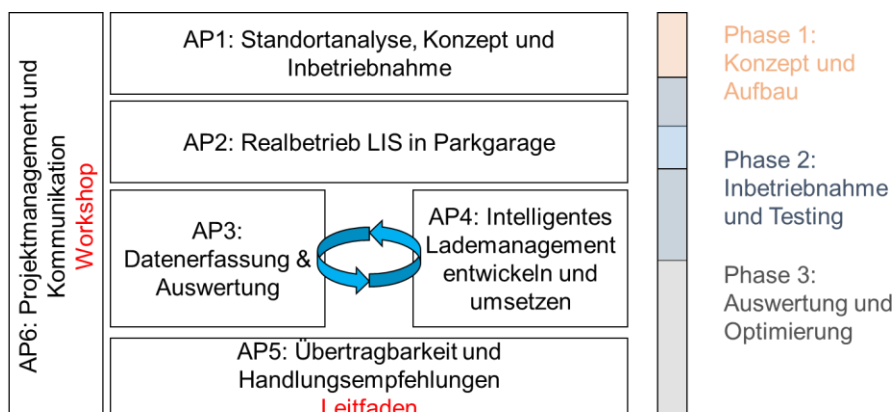


Abbildung 2: Arbeitspaketstruktur eLISA-BW

Nachfolgend soll die Vorgehensweise anhand der Inhalte und Ziele der einzelnen Arbeitspakete kurz beschrieben werden.

AP 1 Standortanalyse, Konzept und Inbetriebnahme:

Die Arbeiten des AP1 umfassen eine Standortanalyse der Parkgarage hinsichtlich Kundenstatistik, insbesondere der Ladeinfrastruktur, um die zukünftigen Bedarfe über der Zeit besser abschätzen zu können. Hinzu kommen die Besonderheiten des E-Fuhrparks des Regierungspräsidiums in der Parkgarage zu erfassen und die datentechnische Anbindung des Buchungsportals vorzunehmen. Weiterhin ist ein Konzept für die Datenschnittstelle zum dynamischen Leistungsmanagement (eLISA-Server) der neu installierten Ladeinfrastruktur zu entwickeln, welches die einzelnen Ladepunkte über das eingesetzte Backend des Parkraumbetreibers steuert.

Für die Erfassung der Leistungsdaten des Netzanschlusspunkts, des Unterverteilers der Ladestationen sowie der Großverbraucher sind entsprechende Sensoren und Energiecontroller zu installieren.

AP 2 Realbetrieb LIS in Parkgarage:

In AP 2 ist der laufende Realbetrieb der Ladeinfrastruktur in der Parkgarage verortet. Voraussetzung hierfür sind insbesondere der Aufbau und die Inbetriebnahme der LIS inklusive Anbindung an das Backend, um die Ansteuerung der Ladepunkte realisieren zu können. Die Gewährleistung eines störungsfreien Betriebs über die Projektlaufzeit ist



hier wichtig. Weiterhin gehört zu AP 2 das Aktualisieren der Softwareupdates, welche im Rahmen von AP 4 aus dem Realbetrieb entwickelt und getestet werden. Dadurch ist die Steuerung um die dynamische Leistungsvorgabe über das Backend zu erweitern.

AP 3 Datenerfassung und Auswertung:

Das AP 3 beinhaltet das Erfassen und Auswerten der Daten unter Verwendung der in AP 1 installierten Messtechnik. Zur Verwertung der Daten ist vom ZSW eine MariaDB-Datenbank einzurichten. Die kontinuierlich aufgezeichneten Daten des Realbetriebs sind vom DLR fortlaufend auszuwerten. Dabei geht es zum einen um die Optimierung des Lademanagements, wofür insbesondere die Anforderungen für das zweite Update an das AP 4 übergeben werden. Es wird evaluiert, inwieweit die Buchungsdaten mit der Realität übereinstimmen und inwieweit das beim Lademanagement berücksichtigt werden kann bzw. welche Flexibilität dadurch gewährleistet werden. Ein weiterer Aspekt der Arbeiten ist, den Mehrwert einer Nutzung weiterer Informationsquellen zu untersuchen.

AP 4 Intelligentes Lademanagement entwickeln und umsetzen:

Das Ziel in AP 4 ist, die zunächst aufgrund der NAP-Leistung statisch begrenzte Ladeleistung der LIS schrittweise durch das in diesem AP entwickelte Lademanagement zu optimieren. Voraussetzung hierfür sind die in AP 3 ausgewerteten Daten unter Berücksichtigung der Fahrzeug-ID, Buchungsdaten und Auslastung des Netzanschlusses. Aus den Daten erfolgt die Entwicklung der Algorithmen, welche nach erfolgreicher Validierung in der virtuellen Testumgebung des ZSW auf dem eLISA-BW Server implementiert werden. Dieser kommuniziert über die Schnittstelle mit dem eingesetzten Backend der Parkgarage. Nach erfolgreichem Funktionsnachweis sollen auch die Updates auf den Controller in der Parkgarage Waldhornstraße installiert werden, um im Realbetrieb das entsprechende Ladeleistungsprofil für die einzelnen Ladepunkte vorgeben zu können.



AP 5 Übertragbarkeit und Handlungsempfehlung (Leitfaden):

Dieses AP umfasst die Ausarbeitung der Faktoren, welche zu einem guten Gelingen des Projekts geführt haben bzw. welche Hindernisse überwunden werden mussten. Daraus soll abgeleitet werden, welche Erkenntnisse daraus für andere Anwendungsfelder gewonnen und wie sie ggf. übertragen werden können. Für Betreiber von Parkgaragen sowie Netzbetreiber wird ein Leitfaden geschrieben, der diese Übertragbarkeit beschreibt und Handlungsempfehlungen gibt.

AP 6 Projektmanagement und Kommunikation (Workshop):

Das Projektmanagement begleitet das Projekt während seiner gesamten Laufzeit. Es umfasst die erfolgreiche Koordination des Projektes zur Zielerreichung gemäß den quantifizierten Projektzielen durch Koordination und Steuerung der Projektpartner, administrative Steuerung, Management und Reporting gegenüber dem Fördermittelgeber. Die Kommunikation umfasst die Ausarbeitung und Umsetzung einer Kommunikationsstrategie zur öffentlichkeitswirksamen Präsentation des Projekts und seiner Ergebnisse. Hierzu gehört zum Beispiel die Durchführung eines Workshops, der sich an Akteure aus dem Bereich der intelligenten Ladeinfrastruktur richtet.

4 Durchführung

4.1 Zeitplan, Abweichungen und Verlängerung

Der im Gegensatz zur ursprünglichen Planung umgesetzte Zeitplan ist in Anhang 8.1 dargestellt. Verschobene Meilensteine sind dabei in lila markiert. Das Projekt hätte ursprünglich im Dezember 2020 enden sollen, musste jedoch wegen den unten beschriebenen Gründen um neun Monate, bis September 2021 verlängert werden.

Verzögerte Übergabe des Förderbescheids

Die verzögerte Übergabe des Förderbescheids Mitte Oktober 2019 bewirkte einen verspäteten Beginn der Arbeiten. Die dadurch verzögerte Bearbeitung der Arbeitspakete und Beauftragung von Unterauftragnehmern im Bereich der Messtechnik und der Datenerfassung erforderten eine Verschiebung der Arbeiten im AP 1 und AP 2, deren Ergebnisse die Grundlage für die weiteren APs bildeten.

Aufbau Messtechnik und Steuerung

Zu Beginn des Projekts wurde von den Verantwortlichen der PBW kommuniziert, dass der **Hauptverteiler** (Abbildung 3) zu erneuern ist, und dass dies Ende 2019 geschehen soll. Bis zur Errichtung des neuen Hauptverteilers war es daher nicht sinnvoll, Messtechnik zu installieren. Der Neubau des Hauptverteilers sowie die Installation der Messtechnik war im Dezember 2019 abgeschlossen. Erst danach konnte die Messtechnik für die geplante Datenaufzeichnung eingerichtet werden. Der Neubau des Hauptverteilers war nicht Teil des Projektes, konnte aber von Seiten des DLR nicht mehr beeinflusst werden, da die Planungen dazu bereits vor Projektbeginn durchgeführt wurden. Dies bewirkte eine Verzögerung von vier Monaten im Zeitplan.



Abbildung 3: alter Hauptverteiler links und neuer Hauptverteiler rechts

Der Aufbau der Messtechnik und der Steuerung verzögerte sich wie oben dargestellt schon ab Projektbeginn um 4 Monate. Versuche die Bearbeitung zu beschleunigen schlugen fehl, da sich keine Elektroinstallateure finden ließen, die eine dem Zeitplan entsprechende Ausführung anbieten konnten. Durch deren gute Auftragslage hat sich zudem die Angebotserstellung bei allen Angebotsanfragen stark verzögert was sich auf den Projektverlauf ausgewirkt hat. Prinzipiell scheint der Mangel an entsprechenden Fachkräften ein erhebliches Hemmnis für den weiteren Ausbau von Ladeinfrastruktur zu sein.

Nach der Planung der Messtechnik am Hauptverteiler startete die Planung für die Messtechnik am Unterverteiler. Die größte Verzögerung wurde durch die Neuplanung der Messtechnik am **Unterverteiler** bedingt. Durch die Erweiterung der Ladeinfrastruktur Ende Oktober 2019 zeigte sich, dass der Schaltschrank zu klein war, um weitere Messtechnik einzubauen. In Abbildung 4 ist der Unterverteiler vor der Installation der neuen Ladesäulen zu sehen und in Abbildung 5 der Unterverteiler nach der Installation der neuen Ladesäulen.

Für die Erweiterung des Schaltschranks des Unterverteilers wurden mehrere Angebote eingeholt, die sowohl einen Neubau des bestehenden Schaltschranks mit größerem Schrankvolumen als auch das Aufstellen eines zweiten Schaltschranks rein für die Messtechnik, jeweils an identischem Ort, vorsahen. Die Angebote wurden im Februar 2020 zugestellt. Der bisherige Unterverteiler befindet sich im Parkraum neben den alten Ladesäulen. Die räumliche Begrenzung lässt sich an Abbildung 6 erkennen. Ein zweiter Schaltschrank, der nur die Messtechnik enthalten hätte, stellte sich als nicht ideal heraus, da sämtliche Leitungen, die in und aus dem Unterverteiler geführt werden, durch den zweiten Schaltschrank hätten geführt werden müssen. Ein neuer, größerer Schaltschrank hätte dieses Problem gelöst, jedoch wäre dieser aufgrund der räumlichen Begrenzung nach dem Einbau der Messtechnik bereits wieder zu 100% gefüllt gewesen. Eine mittelfristige Erweiterung der Ladeinfrastruktur, wie sie aktuell angedacht ist, wäre somit erschwert gewesen. Ein größerer Schaltschrank hätte auch tiefer gebaut werden müssen. Dabei wäre ein Anfahrtschutz vor dem Schaltschrank nötig gewesen, der den Parkplatz stark eingeschränkt hätte. Als weiteres Hindernis stellte sich der Brandschutz heraus, der in beiden Fällen für Schaltschränke einen größeren Abstand zu den Fahrzeugen erfordert, als das bisher der Fall ist.



Abbildung 4: alter Unterverteiler vor der Installation der neuen Ladesäulen



Abbildung 5: alter Unterverteiler nach der Installation der neuen Ladesäulen

Aus diesen Gründen entschied man sich gemeinsam dafür einen anderen Platz für einen neuen, größeren Unterverteiler mit Messtechnik zu suchen. Nachdem ein danebenliegender Raum nicht zur Verfügung stand, da dieser nicht der PBW gehört, wurde beschlossen den neuen Unterverteiler in den Raum mit dem Hauptverteiler zu stellen, wofür auf einer zusätzlichen Distanz von 20 m die Kabel neu verlegt werden mussten. Wie ebenfalls beim Hauptverteiler zeigte sich die Beauftragung eines Fachbetriebes als schwierig und zeitaufwendig, da in der Regel mit mehreren Monaten Wartezeit gerechnet werden musste. Die Programmierung der Messtechnik wurde deswegen schon vorab am ZSW durchgeführt und so zeitgleich zur Fertigstellung des Unterverteilers in Betrieb genommen.



Abbildung 6: alter Unterverteiler für die Ladesäulen - Einbausituation

Datentechnische Anbindung

Die neuen Ladesäulen wurden im Q 4 2019 elektrisch angeschlossen. Die datentechnische Anbindung sollte in Q 1 2020 erfolgen. Ein Anschluss an das Netzwerk der PBW erfolgte ebenfalls. Im Laufe von Q 3 2020 stellte sich heraus, dass diese Anbindung an das Siemens Backend E-Car OC nicht stattgefunden hat und technisch aufwendig ist. Hintergrund ist, dass die installierten Ladesäulen der Marke EBG Compleo nicht ohne weiteres kompatibel zum Siemens Backend sind.

Die datentechnische Anbindung an das Siemens Backend wurde schlussendlich erst im Juli 2021 durchgeführt. Bis dahin war daher keine Anbindung an die Steuerung möglich. Der Aufbau und die elektrische sowie datentechnische Anbindung der Ladesäulen war nicht Teil des Projekts eLISA-BW, sondern eine Geschäftsbeziehung zwischen der PBW und Siemens bzw. EBG Compleo.

Im Projekt enthalten war die Erstellung einer Schnittstelle zum Backend, die damit eine Steuerung der Ladesäulen und Datenerfassung ermöglicht. Die Abstimmungen zur Schnittstelle benötigten mehr Iterationen als angenommen. Die Fertigstellung inklusive Erprobung fand im Januar 2021 statt.

Einflüsse der Corona-Pandemie

Der dritte Grund, weshalb eine Laufzeitverlängerung erforderlich wurde, waren die Beeinträchtigungen durch die aktuelle Corona Situation. Nach Beginn des Lockdowns reduzierte das RPK seine Außentermine fast vollständig und es fanden daher kaum noch Dienstreisen mit den Dienstfahrzeugen statt. Mit den fortlaufenden Lockerungen stieg die Zahl der Dienstreisen nur leicht an (ca. 2-3 Dienstfahrten pro Tag statt ca. 10 Fahrten in Zeiten vor der Corona Situation), da bisher noch strenge Regeln für das Durchführen von Außenterminen galten. Es war davon auszugehen, dass frühestens Ende 2021 die Zahl der Dienstreisen wieder deutlich ansteigt. Daher wurden nach Projektende im September 2021 noch weitere Messungen und Auswertungen durchgeführt, die in diesem Bericht auch gezeigt werden.

4.2 Datensammlung Umfeldanalyse

Zur Umfeldanalyse gehörte die Betrachtung der Ausgangssituation der Parkgarage. Der Standort wurde hinsichtlich des Nutzerverhaltens, der vorhandenen und benötigten LIS sowie der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) auf der Stromseite analysiert. Grundlage hierfür war die Beschaffung der Nutzerstatistiken und der TGA Energieverbräuche der Parkgarage von der PBW, der Fahrtenbücher vom RPK sowie die Messdaten des Niederspannungstransformators von Vermögen und Bau BW. Diese Auswertungen wurden im weiteren Projektverlauf für die Planung verwendet.

4.3 Aufbau der Hardware in der Tiefgarage

Damit das RPK ohne Reduzierung der Verfügbarkeit der öffentlichen Ladestationen seine elektrischen Fahrzeuge laden kann, wurden während des Projektes vier zusätzliche Ladestationen mit je zwei Ladepunkten à 22 kW installiert (Abbildung 7 und Abbildung 8). Drei Ladestationen mit insgesamt sechs Ladepunkten waren bereits vorhanden. Eine der vorhandenen Ladestationen kann in Abbildung 6 gesehen werden.

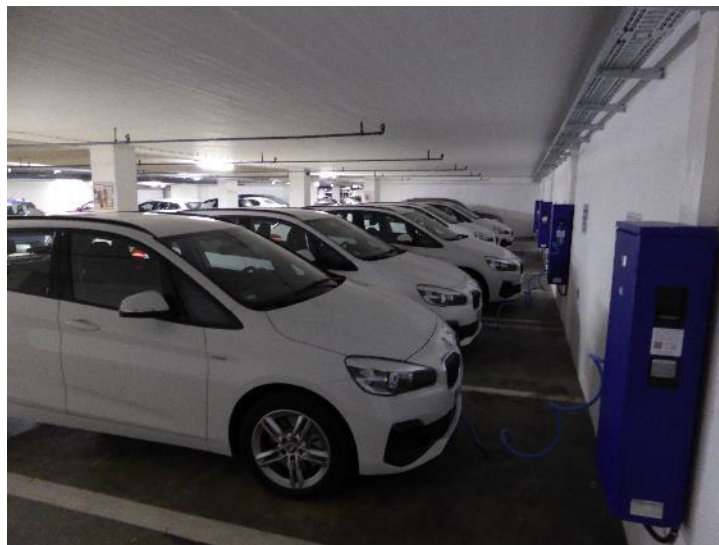


Abbildung 7: neue Ladestationen mit RPK-Fahrzeugen (noch ohne Folierung und Beleuchtung)

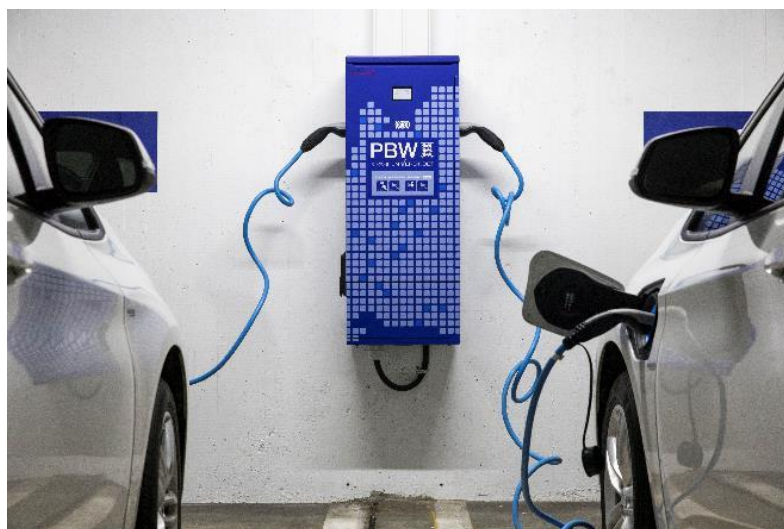


Abbildung 8: Detailansicht der neuen Ladestation (Quelle: DLR/Eppler)

4.4 Definition der Schnittstellen und Entwicklung des Systemschaubilds

Zur Sicherstellung der Verfügbarkeit der Dienstwagen, wurde die Entwicklung und Umsetzung eines Last- und Lademanagements im Projekt durchgeführt. Dafür wurden Daten aus mehreren Quellen benötigt. Zur Einbindung wurde das Schnittstellenkonzept, wie in Abbildung 9 dargestellt, in AP 1.3 definiert und umgesetzt. Dazu zählt die Messdatenerfassung mittels den ZSW-Controllern und die Integration der Buchungsdaten aus dem System des RPK sowie die Anbindung an das E-Car OC Backend von Siemens.

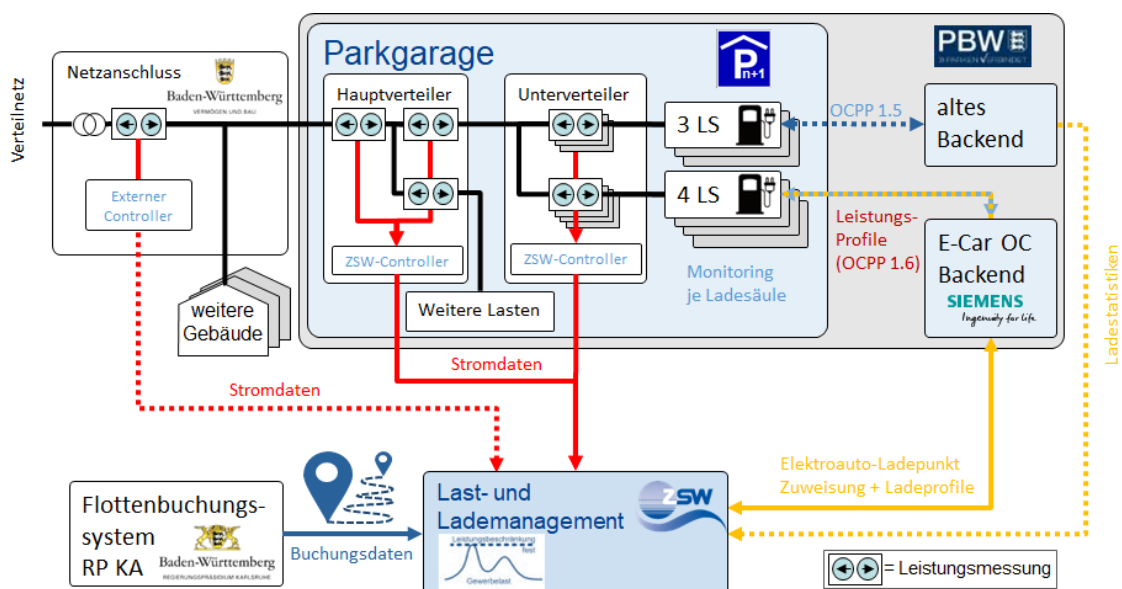


Abbildung 9: Systemschaubild des Projektes eLISA-BW (HV – Hauptverteiler, LMK – Leistungsmessklemme, LS – Ladestation mit 44 kW, UV – Unterverteiler)

Die Messdatenerfassung liefert neben verlässlichen Leistungsdaten auch genaue Spannungs- und Stromwerte von verschiedenen Punkten aus dem Stromkreislauf der Parkgarage. Diese werden vom Lastmanagement genutzt um dynamisch die technischen Begrenzungen der Verteiler einzuhalten. Mit Hilfe der Buchungsdaten kann der Algorithmus des Last- und Lademanagements für die bevorstehenden Dienstfahrten die verfügbare Leistung optimal verteilen. Durch die Backendanbindung können Informationen von den Ladepunkten im Lademanagement genutzt und Steuersignale an die Ladeinfrastruktur gesendet werden. Alle Daten werden in einer Datenbank gespeichert. Die Datenflüsse sind in dem vorherigen Systemschaubild dargestellt.

4.5 Aufbau der Datenbank

Am ZSW wurde im Rahmen von AP 3.1 eine MariaDB Datenbank aufgebaut, die allen Projektpartnern zugänglich gemacht wurde. Diese hatte die Aufgabe, die Messdaten aus den Controllern vor Ort sowie die Buchungsdaten aus dem Flottenbuchungssystem zu speichern und für das Lademanagementsystem zur Verfügung zu stellen. Ebenfalls diente sie als Quelle für die weitergehende Auswertung der Daten.

4.6 Entwicklung des Last- und Lademanagements

Um den Netzanschluss besser auszunutzen, kann der Einsatz eines Lastmanagements erfolgen. Dieses begrenzt die Gesamtleistung der Ladestationen und verteilt unter Verwendung einer Lademanagementstrategie die verfügbare Leistung. Lademanagementstrategien können unterschiedliche Ziele verfolgen. Die am Markt verfügbaren Lösungen nutzen meistens das gleichverteilte Laden und das Laden nach dem First-Come-First-Serve-Prinzip. Diese sowie das im Projekt umgesetzte Verfahren werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Beim gleichverteilten Laden wird die Ladeleistung zwischen den aktiven Ladevorgängen gleichmäßig aufgeteilt. Der Vorteil ist, dass keine Datenerhebung zu den Ladevorgängen sowie deren Integration in das Lademanagement notwendig ist. Nachteilig ist, dass Fahrzeuge mit einer kurzen Standzeit nur wenig Ladeenergie erhalten, wenn die insgesamt verfügbare Ladeleistung auf Grund gleichzeitig laufender Ladevorgänge reduziert ist.

Bei der Ladestrategie First-Come-First-Serve wird die Ladeleistung nach den Startzeiten der Ladevorgänge verteilt. So erhält der erste Ladevorgang die maximal mögliche Ladeleistung. Ab einer kritischen Anzahl von gleichzeitigen Ladevorgängen erhält der zuletzt gestartete Ladevorgang jedoch entweder eine verringerte oder im Extremfall keine Ladeleistung. Erst, wenn das Lastmanagement freie Kapazitäten feststellt, verteilt es diese auf die zuvor gedrosselten Ladepunkte. Für diese Strategie muss man die Startzeiten der Ladevorgänge in das Lademanagement integrieren. Dies bedeutet einen zusätzlichen Aufwand im Gegensatz zum gleichverteilten Laden.

Eine Erweiterung der beiden vorherigen Strategien ist das priorisierte Laden oder »VIPLaden«. Dabei kann man einen Ladevorgang vorrangig mit Leistung versorgen.



Sollte während des Ladevorganges eines priorisierten Nutzers die Netzanschlussleistung überschritten werden, reduziert das Lademanagement die Ladeleistungen aller anderen Ladevorgänge. Der Registrierungsprozess umfasst daher auch die Definition der bevorzugten Nutzer. Vorteil dieser Erweiterung ist, dass man für eine bestimmte Nutzergruppe auch für kurze Standzeiten hohe Ladeleistungen sichern kann. Nachteilig ist einerseits, dass diese Gruppe eine kritische Größe nicht überschreiten darf, da ansonsten die Verteilung der Ladeleistung wieder wie bei der übergeordneten Strategie erfolgt. Andererseits ist die Prioritätseinstufung in der Regel fest. Dies kann dazu führen, dass sich die verfügbare Ladeleistung nur auf die priorisierten Ladevorgänge verteilt. Andere Ladevorgänge, die unter Umständen auch kurze Standzeiten aufweisen, werden dann möglicherweise nur ungenügend bedient.

Mithilfe weiterer Daten, wie den Abfahrtszeitpunkten und den Ladezuständen der Fahrzeuge, kann man die Verteilung der Ladeleistung optimieren. Die Lösungen am Markt leisten das aktuell noch nicht, denn zum einen übermitteln die Fahrzeuge die notwendigen Daten nicht automatisch und zum anderen sind sie auf andere Weise nur sehr aufwendig zu erheben.

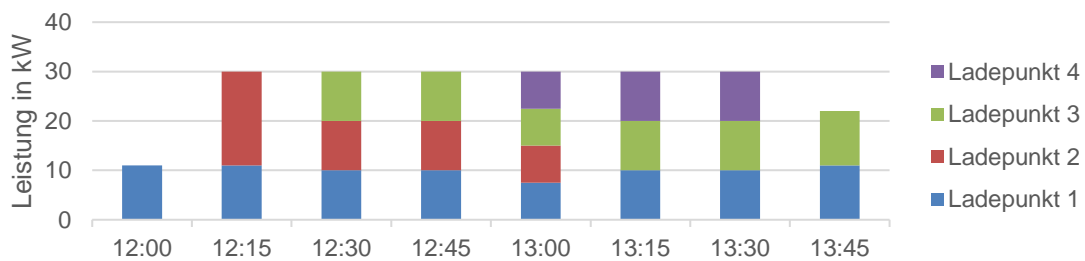
Folgendes Beispiel soll die unterschiedliche Arbeitsweise der Ladestrategien aufzeigen:

Innerhalb von zwei Stunden erfolgen vier Ladevorgänge an 4 Ladepunkten, die jeweils 22 kW zur Verfügung stellen können. Die maximale Leistung des Anschlusspunktes beträgt 30 kW. Die Verteilung der Ladeleistung erfolgt nach verschiedenen Strategien: Gleichmäßig (Equal), First-Come-First-Serve (FCFS) und Optimierte. Vergleichen werden die Strategien anhand der Differenz der geladenen Energie zu dem angenommenen Bedarf. Ein positiver Wert (Überladung) beschreibt, dass in dem Ladevorgang mehr Energie geladen werden konnte als Bedarf war. Ein negativer Wert (Unterladung) beschreibt, dass in dem Ladevorgang weniger Energie geladen werden konnte als Bedarf war. Diese Energie muss dann ggf. von dem Nutzer extern nachgeladen werden.

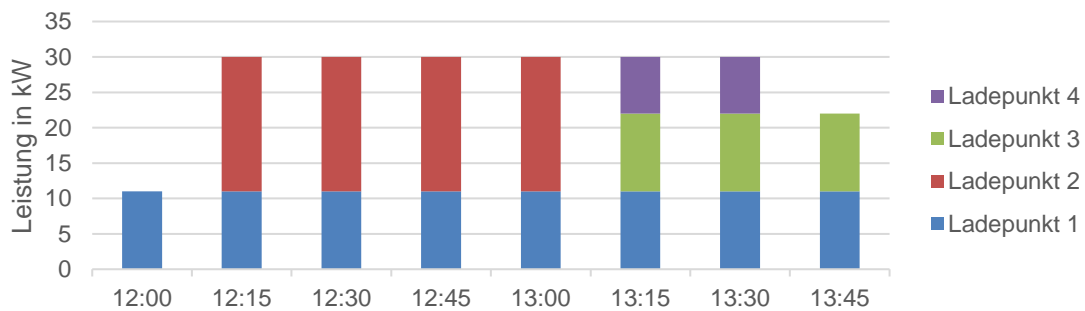
Tabelle 1: Annahmen und Ergebnisse eines Beispiels zum Vergleich von Ladestrategien

Über- und Unterladung durch unterschiedliche Ladestrategien						
	Standzeit	Leistung	Bedarf	Equal	FCFS	Optimiert
Vorgang 1	12:00 – 14:00	11 kW	10 kWh	10,125 kWh	12 kWh	0 kWh
Vorgang 2	12:15 – 13:15	22 kW	12 kWh	-0,375 kWh	7 kWh	0,5 kWh
Vorgang 3	12:30 – 14:00	11 kW	14 kWh	0,625 kWh	-5,75 kWh	0,25 kWh
Vorgang 4	13:00 – 14:00	22 kW	16 kWh	-9,125 kWh	-12 kWh	0,5 kWh

Gleichverteiltes Laden



First-Come-First-Serve



Optimiert

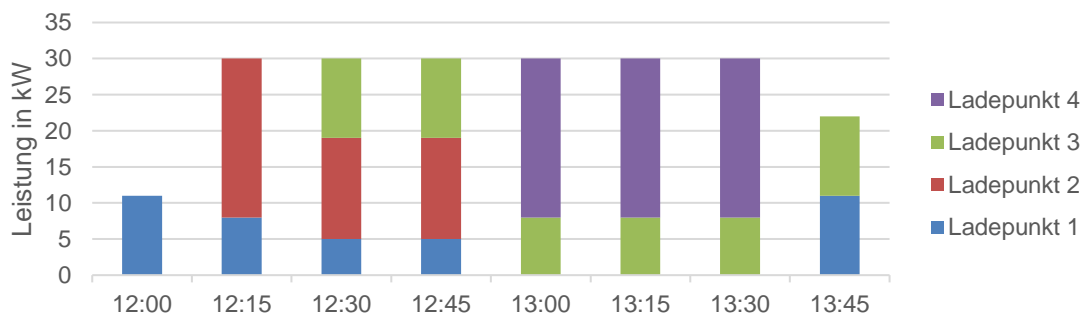


Abbildung 10: Ladevorgänge entsprechend des theoretischen Beispiels aus Tabelle 1

Die Ergebnisse aus *Tabelle 1* zeigen den Vorteil einer optimierten Verteilung der verfügbaren Leistung. Im Gegensatz dazu werden beim gleichverteilten Laden Ladevorgänge mit langen Standzeiten gegenüber denen mit kurzen bevorteilt. Die Nutzung der First-Come-First-Serve-Strategie benachteiligt wiederum Ladevorgänge mit spätem Startzeitpunkt.

Um die Vorteile eines Lademanagements mit einer optimierten Verteilung der Ladeleistungen in der Realität zu zeigen, wurde im Rahmen des Projektes ein solches Last- und Lademanagement mit den entsprechenden Algorithmen entwickelt. Dafür wurde ein virtueller Server als Umgebung für die Entwicklung installiert. Dies dient in erster Linie der Einhaltung der Leistungsgrenzen des Netzanschlusspunktes am Hauptverteiler und des Unterverteilers. Hierfür werden die Messdaten, die alle 15 Sekunden übertragen werden, analysiert. Die verfügbare Leistung, die am Netzanschluss bereitsteht, wird an den Ladealgorithmus weitergegeben. Das Lademanagement plant die Ladevorgänge über einen Ladeplan mit der Maxime, dass alle Dienstwagen zur nächsten Fahrt mindestens ausreichend viel Energie für die angemeldete Distanz geladen haben. Der Ladealgorithmus verwendet dafür neben den aktuellen Messdaten die Buchungsdaten und die aktuellen Daten der Ladevorgänge vom Backend. Die Buchungsdaten werden entsprechend der Abbildung 9 zweimal täglich an das ZSW übertragen und in der in AP 3.1 erstellten Datenbank gespeichert. Bei ihnen wird direkt zwischen historischen und aktuellen Buchungen unterschieden. Zu den anonymisiert gespeicherten Daten zählen der geplante Buchungszeitraum, die voraussichtliche Fahrstrecke und das gewählte Fahrzeug. Zu den Daten, die vom Backend gesendet werden, gehören aktuelle Leistungsdaten je Ladepunkt und die Daten zur Identifikation des angeschlossenen Fahrzeugs. Letzteres wird im Algorithmus genutzt um die geplanten Leistungsvorgaben dem richtigen Ladepunkt zuzuweisen und anschließend an das Backend zu übertragen. Abbildung 11 stellt schematisch dar, welche Ereignisse die Aktualisierung des Ladeplans durch das Lademanagement auslösen (links) und welche Daten für die Berechnung genutzt werden (rechts).

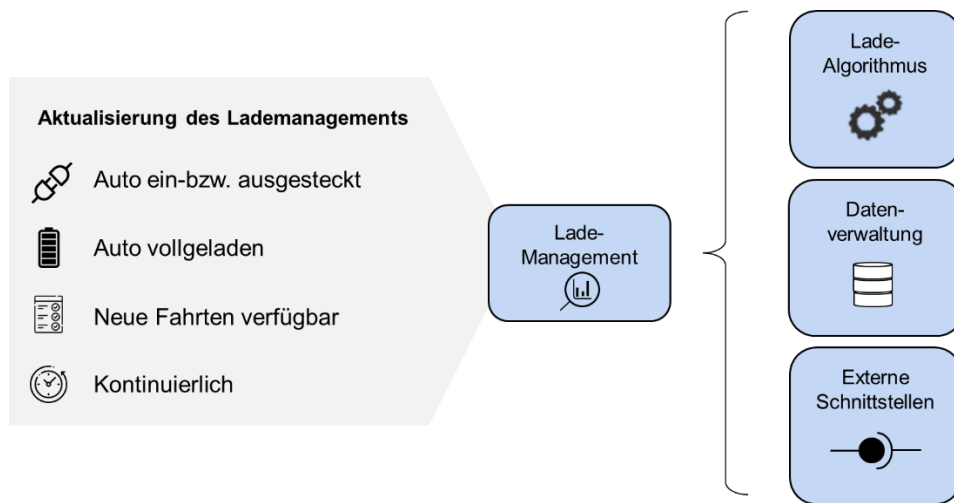


Abbildung 11: Komponenten des Lademanagements

5 Ergebnis

5.1 Umfeldanalyse

5.1.1 Energieverbrauch Nebenverbraucher

Die im Folgenden genannten Nebenverbrauchertypen sind in der Tiefgarage installiert. Im Rahmen einer PBW-internen Auflistung wurde der typische elektrische Energieverbrauch der jeweiligen Nebenverbrauchertypen ermittelt. Unter der Annahme einer kontinuierlichen Leistungsaufnahme ergibt sich damit auch der nachstehende mittlere elektrische Leistungsbedarf.

Schrankenanlage:	1.700 kWh/a	194 W
Kamera:	1.500 kWh/a	171 W
Kassenautomat:	2.200 kWh/a	251 W
Firewall Netzwerk:	7.000 kWh/a	799 W
Rechner:	1.000 kWh/a	114 W

Zusätzlich ist eine Beleuchtung mit Neonröhren vorhanden. Eine Sprinkleranlage ist ebenfalls installiert, diese wird aber nur im Notfall aktiviert. Die Tiefgarage besitzt keine maschinelle Lüftung mehr, da ein Gutachten bestätigt hat, dass diese nicht mehr erforderlich ist. Den Werten ist zu entnehmen, dass die Nebenverbraucher in der Tiefgarage kaum Bedeutung für die Auslastung des Netzanschlusspunktes haben. Bei der Messdatenauswertung hat sich gezeigt, dass der Wert für die Nebenverbraucher relativ konstant bei ca. 5 kW liegt.

5.1.2 Fahrtenauswertung

Die Abbildung 12 zeigt die Anzahl der Fahrten jedes einzelnen Flottenfahrzeugs. Eine Fahrt ist definiert als ein Zyklus mit dem Fahrzeug, der im Parkhaus beginnt und dort endet. Die Datengrundlage basiert auf dem Datensatz der Fahrtenbücher aus dem Zeitraum von 11/2018 bis 10/2019.

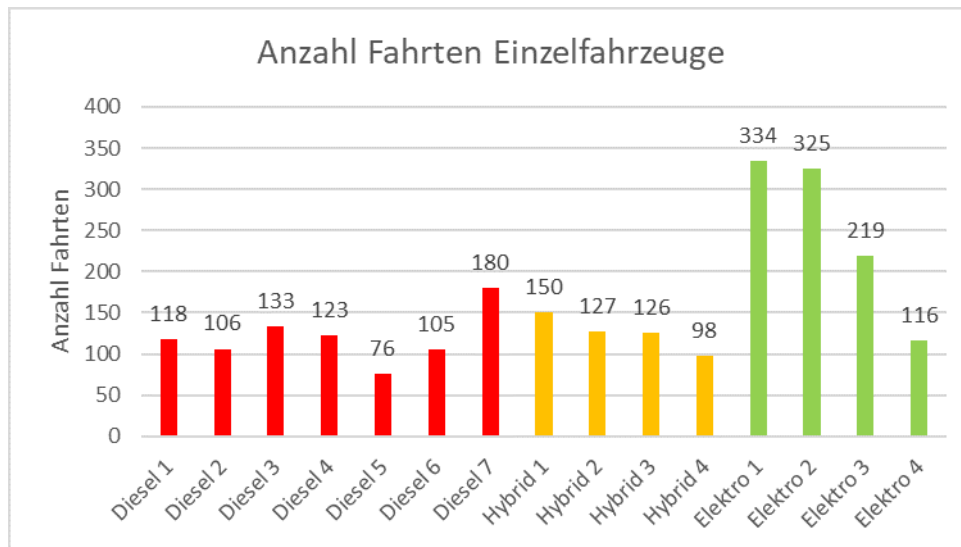


Abbildung 12: Anzahl Fahrten Einzelfahrzeuge

Mit Ausnahme der Fahrzeuge Diesel 7, BEV 1, BEV 2 und BEV 3 wurden die Rundfahrten im Zeitraum eines Jahres durchgeführt. Bei den Dieselfahrzeugen war Nummer 3 das Fahrzeug mit den meisten Fahrten und Nummer 5 das mit den wenigsten. Die orangefarbenen Balken zeigen ein absteigendes Verhalten, wobei Hybrid 1 für 150 Fahrten und Hybrid 4 für 98 Fahrten genutzt wurde. Auf den ersten Blick hat es den Anschein, dass die BEVs für mehr Einzelfahrten genutzt wurden. Wie bereits erwähnt, lässt sich dies durch die längere Nutzungszeit der BEVs 1, 2 und 3 erklären. BEV 4 kommt innerhalb des Einjahreszeitraums auf 116 Fahrten. Zusammengefasst ergibt sich eine Gesamtzahl von 2.336 Fahrten, aufgeteilt in 841 Fahrten für die Dieselfahrzeuge, 501 Fahrten für die Hybride und 994 Fahrten für die BEVs.

Im nächsten Schritt wurden die durchschnittlichen Fahrstrecken der einzelnen Fahrzeuge, wie in Abbildung 13 dargestellt, evaluiert. Die ermittelte durchschnittliche Fahrstrecke über alle Fahrten lag bei 159 km. Diese wurde von allen Dieselfahrzeugen überschritten. Für die Dieselfahrzeuge ergaben sich Fahrstrecken zwischen 165 km (Diesel 4) und 282 km (Diesel 7), wobei Diesel 5 auch sehr nahe am maximalen Wert lag. Die Gruppe der PHEVs ist geteilt, zwei Fahrzeuge liegen unter dem Durchschnitt und die anderen beiden darüber, mit einer Reichweite von 128 km (Hybrid 1) bis 222 km (Hybrid 4). Bei den grünen Balken fällt als erstes auf, dass sie im Vergleich zu den anderen Fahrzeuggruppen deutlich niedriger sind. Außerdem wird der Durchschnittswert von allen BEVs unterschritten.

Im extremsten Fall ist die durchschnittliche Fahrstrecke von BEV 2 um den Faktor 4 niedriger. Die Spanne liegt zwischen 39 km und 67 km (BEV 3).

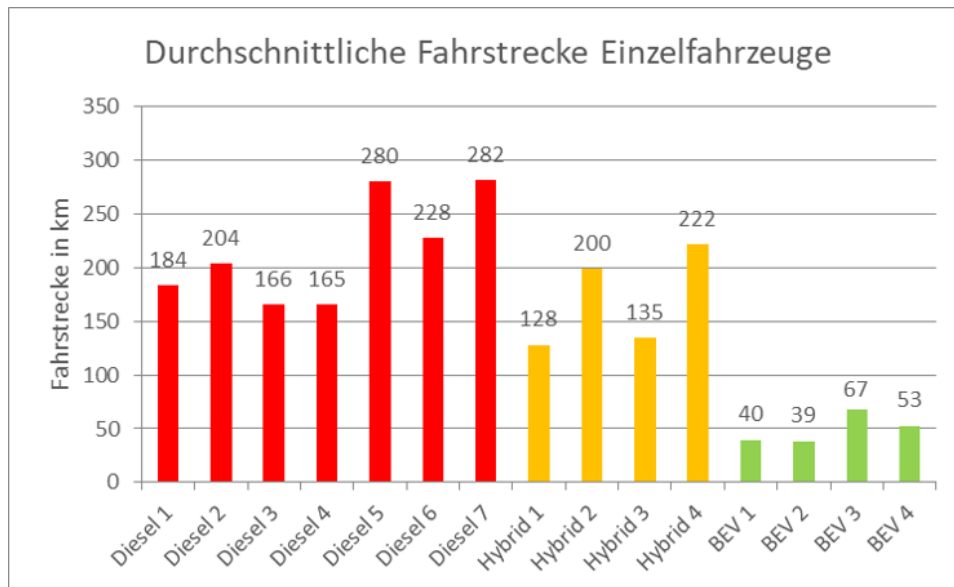


Abbildung 13: Durchschnittliche Fahrstrecke Einzelfahrzeuge

Daraus lässt sich schließen, dass die BEVs vor allem für Fahrten mit einer zu erwartenden kürzeren Fahrstrecke genutzt wurden. Die Nutzung der BEVs für Kurzstrecken zeigt ein nachhaltiges Verhalten der Nutzer. Nichtsdestotrotz kann man sagen, dass mit den BEVs auch weitere Fahrstrecken bewerkstelligt werden könnten, da die derzeit auf dem Markt verfügbaren BEVs eine höhere Reichweite bieten. Wird zukünftig mehr elektrisch gefahren werden, hat dies keine Auswirkungen auf die LIS. Bereits während der Planungsphase wurde darauf geachtet, dass die neue LIS in Kombination mit dem Lademanagement den zukünftigen Bedarf abdecken könnte. Die durchschnittlichen Fahrstrecken der einzelnen Fahrzeuggruppen betragen 216 km (Diesel), 171 km (Hybrid) und 50 km (BEV).

Um herauszufinden wie häufig einzelne Fahrstrecken auftreten, wurden Boxplots (Abbildung 14) erstellt, welche die Fahrstreckenquartile darstellen.

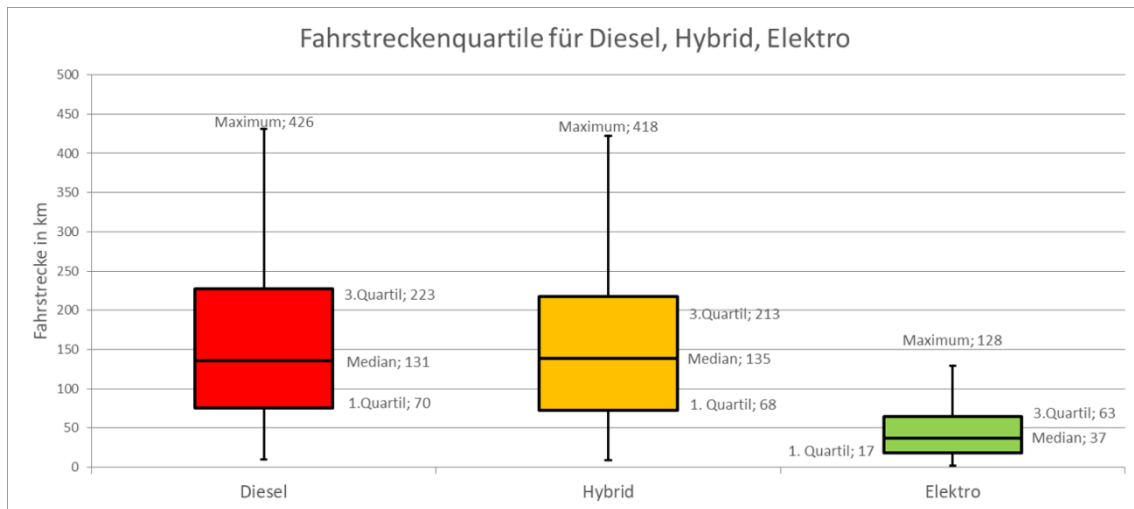


Abbildung 14: Fahrstreckenquartile für die Fahrzeuggruppen Diesel, Hybrid und Elektro

Zunächst einmal wurden große Ausreißer herausgefiltert. Manchmal wurde ein Fahrzeug über einen sehr langen Zeitraum geblockt. Dementsprechend war die Fahrstrecke verhältnismäßig lang. Das Problem ist, dass solche Abwesenheiten ebenfalls als nur eine Fahrt im Fahrtenbuch gespeichert wurden und somit den Durchschnitt verfälschen. Im zweiten Schritt wurden die Quartile der Fahrstrecken für jede der Fahrzeuggruppen berechnet und anschließend zusammengefasst. Das Ergebnis sind die drei oben dargestellten Boxplots. Was sofort auffällt ist, dass die Boxplots für die Diesel- und Hybridfahrzeuge nahezu identisch sind. Mit Ausnahme des Medians für die Hybridfahrzeuge sind die Werte für das Minimum, das Maximum, das erste und das dritte Quartil etwas niedriger. Zwischen den Werten des dritten Quartils ist der Unterschied mit 10 km am größten. Im Allgemeinen lassen sich von den Nutzern mit beiden Fahrzeuggruppen die gleichen Fahrprofile ableiten. Bei den batterieelektrischen Fahrzeugen ergibt sich ein anderes Bild. Wie schon bei den ermittelten durchschnittlichen Fahrstrecken fallen die zurückgelegten Strecken für die einzelnen Quartile recht gering aus. Das Maximum liegt bei 128 km und insgesamt waren 75 % aller Fahrten kürzer als 63 km.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die technische Auslegung einer intelligenten Ladeinfrastruktur besteht darin, zu wissen wann die Fahrzeuge anwesend oder abwesend sind. Zur besseren Übersicht sind in Abbildung 15 für jedes Fahrzeug die durchschnittliche Fahrzeit sowie die Standzeit zwischen zwei Fahrten dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die durchschnittliche Standzeit immer deutlich länger war. Ein Grund dafür ist, dass der Fuhrpark hauptsächlich an Werktagen genutzt wurde und an den Wochenenden stillstand. Klammert man die Wochenenden aus, verringert sich die durchschnittliche Standzeit erheblich. Ähnliches lässt sich über die durchschnittliche Fahrzeit sagen. Mit Ausnahme der BEVs lagen die Abwesenheitszeiten der Dieselfahrzeuge und PHEVs deutlich über den üblichen Arbeitszeiten. Daraus lässt sich ableiten, dass die Fahrzeuge auch über einen längeren Zeitraum (Tage) genutzt wurden, bevor sie ins Parkhaus zurückkehrten.

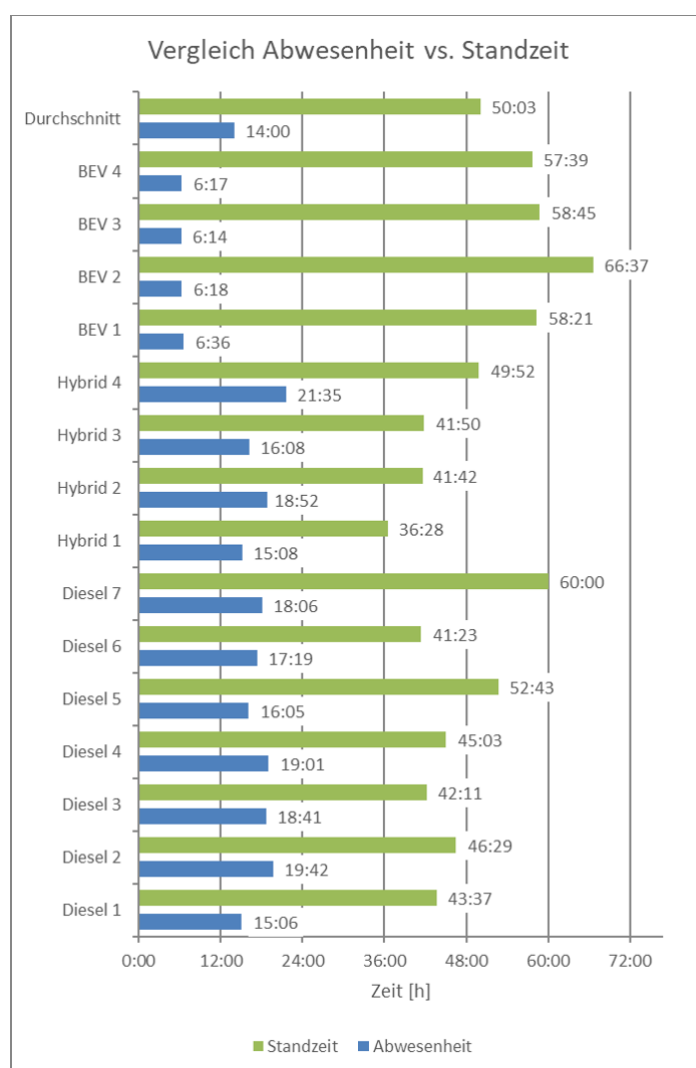


Abbildung 15: Vergleich zwischen Standzeit und Abwesenheit

Das durchschnittliche Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit beträgt etwa 3,5, wobei BEV 2 mit 10,5 das höchste und Hybrid 2 mit einem Faktor von 2,2 das niedrigste Verhältnis aufwies.

5.1.3 Statistiken Parkgarage

Eine detaillierte Auswertung der Benutzerstatistiken für die Parkgarage konnte wegen der fehlenden Datengrundlage nicht durchgeführt werden. Die gelieferten Daten stammen alle direkt aus der Erfassung über die verbaute Schrankenanlage in der Tiefgarage. Diese liefert zwar Diagramme, aber ohne eine ausreichend genaue Zahlentabelle. Weiterhin gab es zu den dargestellten Zahlenwerten keine weiterführenden Informationen wie diese sich zusammensetzen.

Abbildung 16 zeigt die Anzahl an Dauerparker für den Zeitraum von Januar 2019 bis Juli 2020. Als Dauerparker wurden Nutzer:innen definiert, die beispielsweise einen monatlichen Parktarif abgeschlossen haben.

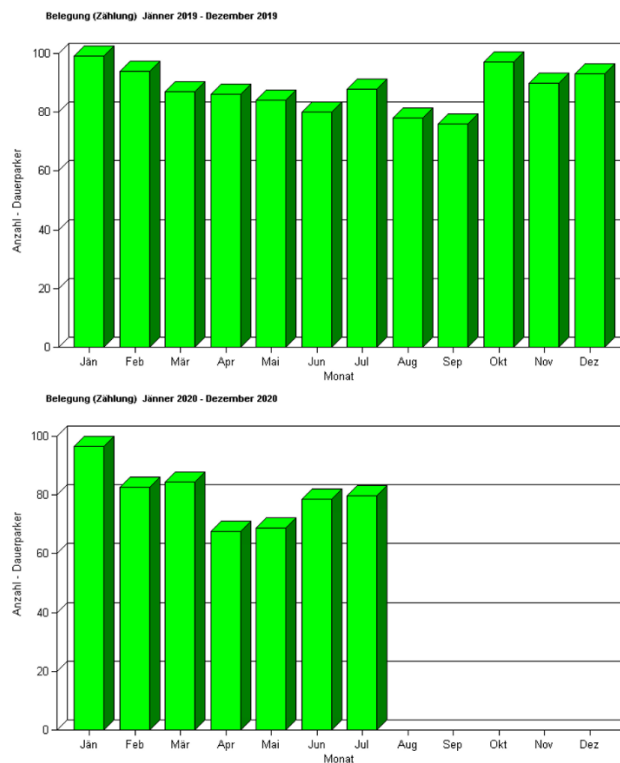


Abbildung 16: Anzahl "Dauerparker"

Während dem oben genannten Zeitraum belief sich die Anzahl der Dauerparker auf 65 bis 100 und schwankte von Monat zu Monat.

Abbildung 17 zeigt die Häufigkeit der Aufenthaltsdauer für die identifizierten Dauerparker in den Jahren 2019 und 2020. Die Aufenthaltsdauern auf der x-Achse reichen von 20 Min bis mehrere Tage.

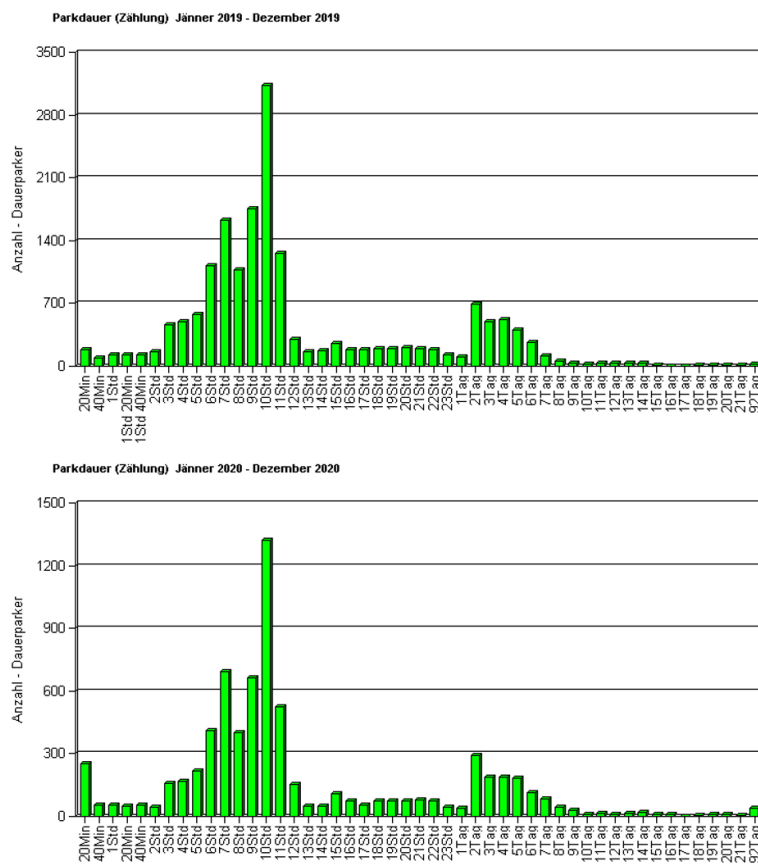


Abbildung 17: Aufenthaltsdauer „Dauerparker“

Beide Histogramme weisen eine nahezu identische Verteilung auf und unterscheiden sich lediglich in den auftretenden Häufigkeiten der Aufenthaltsdauern. Aus dem unteren Diagramm lässt sich damit ableiten, dass die Parkgarage im Jahr 2020 von Dauerparkern weniger häufig genutzt wurde. In beiden Histogrammen treten die häufigsten Aufenthaltsdauern zwischen sechs und elf Stunden auf, wobei die größte Häufigkeit bei zehn Stunden vorliegt.

5.2 Auswertungen aus dem Realbetrieb

5.2.1 Ladeinfrastruktur

Für die Auswertung der Ladeinfrastruktur wurden insbesondere die einzelnen Ladevorgänge in dem Zeitraum von Oktober 2020 bis Mitte Januar 2022 betrachtet. Insgesamt standen zur Analyse 1.207 Ladevorgänge zur Verfügung.

Abbildung 18 zeigt, die aufgetretenen Ladeleistungen und deren dazugehörigen Häufigkeiten.

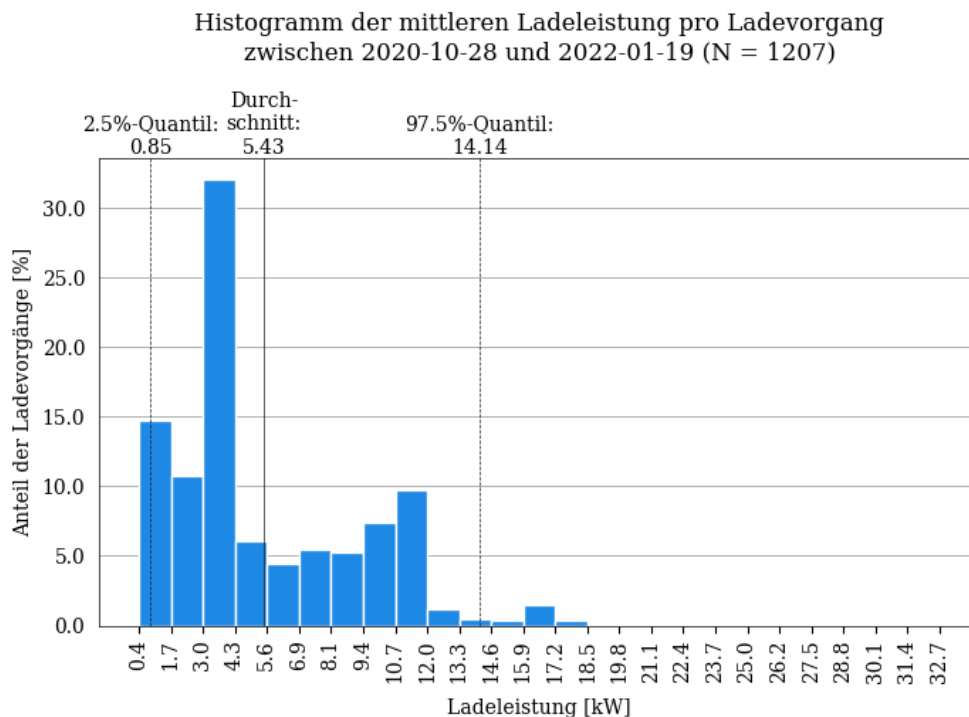


Abbildung 18: Aufgetretene Ladeleistungen und deren Häufigkeiten

Die durchschnittliche Ladeleistung lag bei 5,43 kW und insgesamt weisen 97,5 % der Ladevorgänge eine Ladeleistung kleiner 14,14 kW auf. Es lässt sich deutlich erkennen, dass nur wenige Fahrzeuge eine Ladeleistung >11 kW verwenden. Bei ca. 40 % der Ladevorgänge ist sogar nur eine Ladeleistung von max. 4,3 kW genutzt worden, was auf Fahrzeugtypen mit einer maximalen Ladeleistung von 3,6 kW hindeutet.

Neben der Ladeleistung wurde auch die Ladedauer ausgewertet. Wichtig ist hierbei, dass sich die Ladedauer rein auf den Ladevorgang bezieht und nicht auf die Standzeit des Fahrzeuges. Die Verteilung der Ladedauer in Abhängigkeit der Häufigkeit ist in Abbildung 19 dargestellt.

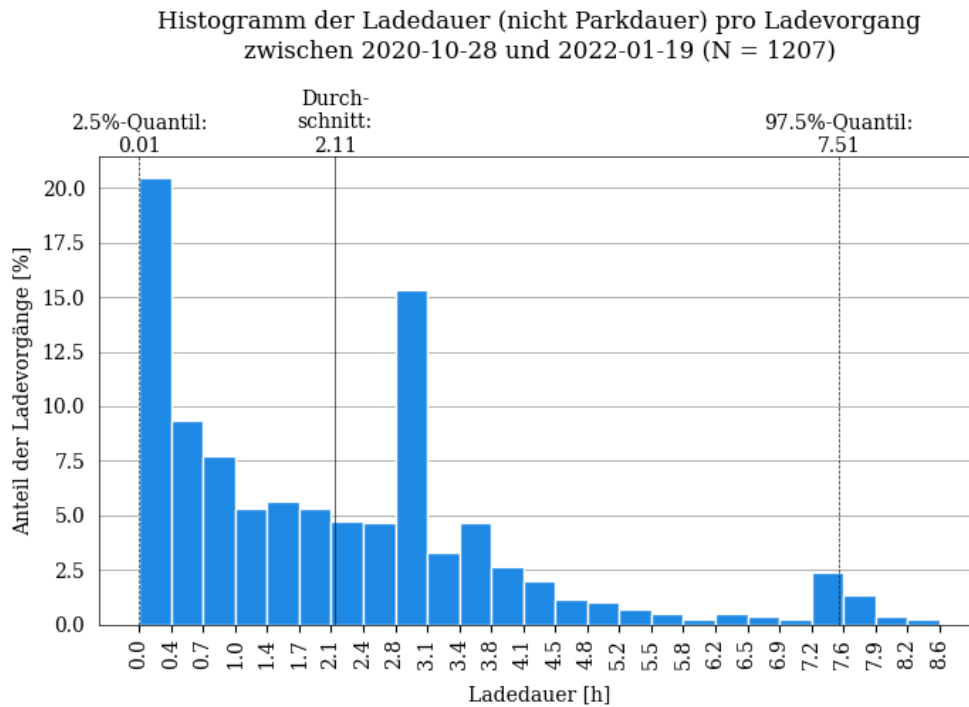


Abbildung 19: Dauer der Ladevorgänge und deren Häufigkeit

Die durchschnittliche Ladedauer aller Ladevorgänge im gemessenen Zeitraum von 10/2020 bis 01/2022 liegt bei 2,11 h. Kombiniert mit den geringen Ladeleistungen lässt sich daraus schließen, dass es sich um Fahrzeuge handelt, deren Batterien nur eine sehr kleine Kapazität besitzen. Diese Vermutung wird bestätigt, betrachtet man die aufgenommene Energiemenge pro Ladevorgang in Abbildung 20.

Die durchschnittliche bezogene Energiemenge eines Ladevorgangs beläuft sich auf 10,31 kWh. Dies ist ein typischer Wert für die Kapazität der Batterien in PHEVs. Somit fanden die meisten Ladevorgänge mit PHEVs statt. Vereinzelt gab es auch Ladevorgänge mit größeren geladenen Energiemengen, was wiederum bedeutet das auch rein batterieelektrische Fahrzeuge geladen wurden.

Histogramm der geladenen Energiemenge pro Ladevorgang
zwischen 2020-10-28 und 2022-01-19 (N = 1207)

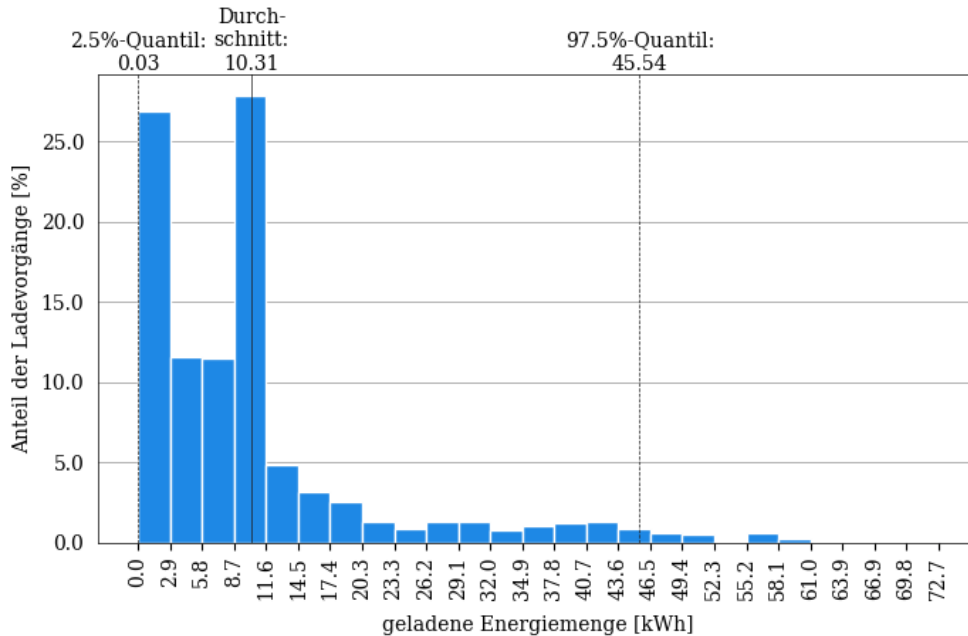


Abbildung 20: Aufgenommene Energiemenge während der Ladevorgänge und deren Häufigkeit

5.2.2 Auswertung Leistungsverlauf am vorgelagerten Transformator

Abbildung 21 zeigt die Leistungsdaten des Transformators ergänzt durch die in der Parkgarage aufgenommenen Messdaten am Hauptverteiler (rot), für die Großverbraucher (grün) und die Ladeinfrastruktur (gelb). Die Leistungsdifferenz zwischen Transformator und Hauptverteilung der Tiefgarage wird durch die weiteren Gebäude, die an den Transformator angeschlossen sind, bezogen. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Gebäude der Universität. Das Diagramm oben zeigt den vollständigen Datensatz und das Diagramm darunter den Zeitraum, in dem sich die Leistungsdaten des Transformators sowie die Messdaten aus der Parkgarage überlappen. Auf der y-Achse ist die Leistung in Watt und auf der x-Achse die Zeit aufgetragen.

Betrachtet man im Diagramm oben die Daten des Transformators, so lassen sich verschiedene Leistungsrückgänge beobachten.

In den Zeiträumen vom 19. November bis 3. Dezember 2019 und vom 30. Juni bis 13. Juli 2020 liegen keine Messdaten vor. Der Grund für die fehlenden Daten ist nicht bekannt. Es wird davon ausgegangen, dass dies auf einen fehlerhaften Betrieb des Messcontrollers zurückzuführen ist.

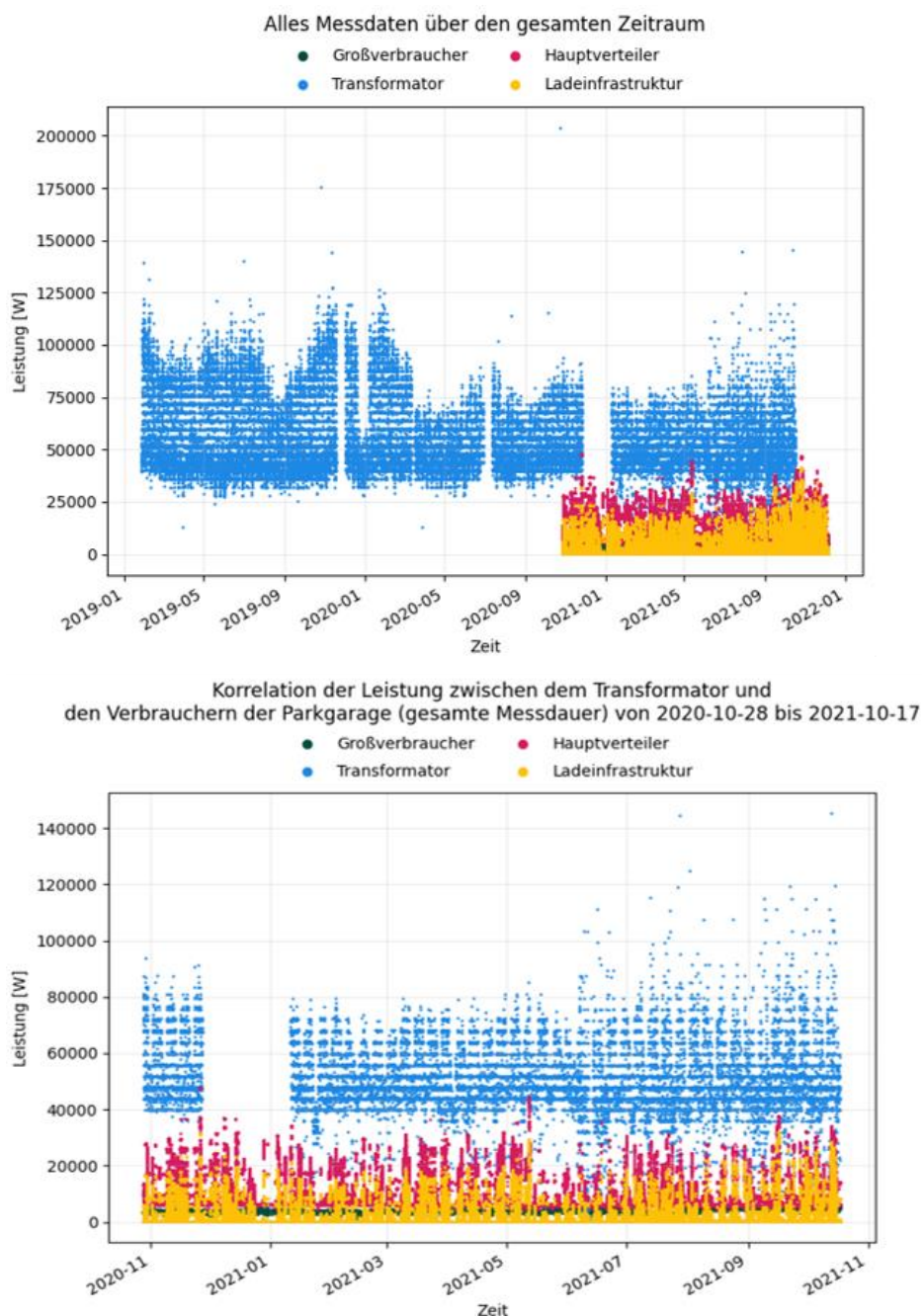


Abbildung 21: Darstellung der Leistungsdaten des Transformators und Messdaten der Parkgarage über den gesamten Zeitraum

Betrachtet man den Leistungsrückgang im August 2019 und während des Jahreswechsels zwischen Dezember 2019 und Januar 2020, so lässt sich dieser Leistungsrückgang mit den Ferien korrelieren und begründen, da ein Großteil der an den Transformator angeschlossenen Gebäude zur Universität gehören.

Im März 2020 ist ein weiterer starker Rückgang zu sehen. Dieses Verhalten kann mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den im März 2020 in Kraft getretenen bundesweiten Lockdown zurückgeführt werden.

Die Messungen der Ladeinfrastruktur, der Großverbraucher und des Hauptstromanschlusses begannen ab Mitte Oktober 2020. Diese Messpunkte markieren den Zeitpunkt, an dem das Messkonzept im Parkhaus umgesetzt wurde und die ersten Daten erfasst werden konnten. Das Diagramm unten zeigt die Leistungszusammenhänge zwischen dem Transformator und den Parkhausverbrauchern für deren überschneidende Zeiträume. Es ist zu erkennen, dass der Leistungsverlauf am Hauptverteiler der Parkgarage vor allem durch die Leistungsaufnahme der Ladeinfrastruktur dominiert wird. Da die Großverbraucher dagegen recht konstant sind und keine Leistungsspitzen aufweisen, können sie bei der Untersuchung der Ursachen für die Leistungsänderungen am Transformator vernachlässigt werden.

Abbildung 22 zeigt, die gleichen Daten mit einer höheren zeitlichen Auflösung. Das Diagramm oben zeigt die Woche mit dem höchsten Gesamtenergieverbrauch an der Ladeinfrastruktur. Vergleicht man die Leistungsspitzen des roten und des gelben Datensatzes, so fällt auf, dass sie konsistent sind. Betrachtet man den Verlauf, der am Transformator auftretenden Leistung, so ist zu erkennen, dass an denselben Stellen, an denen die Ladevorgänge beginnen, Leistungsausreißer aufgenommen wurden. Der Einfluss der Ladeinfrastruktur auf die Transformatorleistung wird durch die Betrachtung der unteren Grafik deutlicher. Die Grafik zeigt den Tag mit der höchsten Leistungsspitze an der Ladeinfrastruktur. Sowohl die Datenpunkte des Transformators als auch die des Hauptanschlusses und der Ladeinfrastruktur steigen und fallen in fast identischen Intervallen. Dies deutet auf eine Korrelation zwischen dem Stromverbrauch an der Ladeinfrastruktur und der Leistungsaufnahme am Transformator hin. Da jedoch keine Kontrolldaten ohne die Ladeinfrastruktur zur Verfügung stehen, kann hier keine abschließende Aussage getroffen werden.

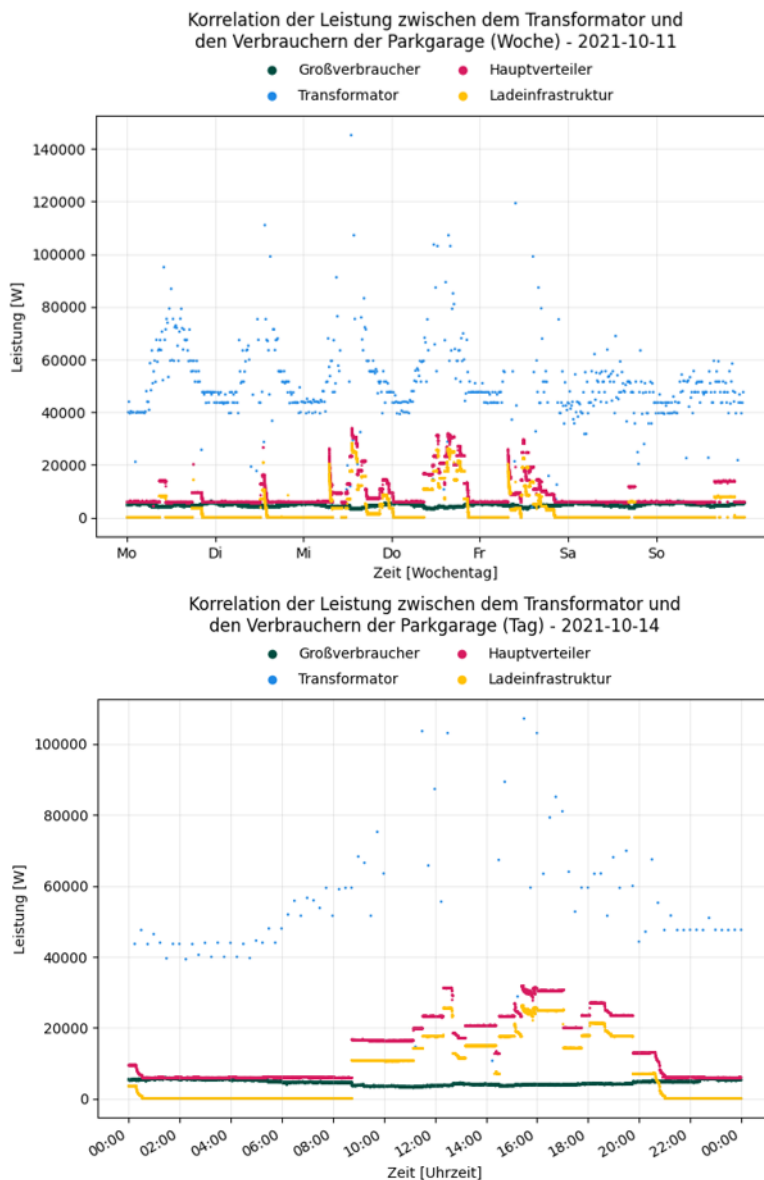


Abbildung 22: Darstellung der Daten des Transformators und Messdaten der Parkgarage über die Woche und Tag mit dem höchsten Energieverbrauch

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein Einfluss der LIS auf die Leistung des Transformators naheliegend ist. Um den Einfluss der Ladeinfrastruktur auf die Transformatorleistung endgültig nachweisen zu können, müsste ein Test erfolgen, bei dem die LIS und die maximale Auslastungsgrenze gebracht wird. Gleichzeitig müsste weiterhin die Transformatorleistung mit einer höheren zeitlichen Auflösung geloggt werden. Ohne Lademanagement würde allein die rein installierte Leistung aller Ladepunkte die zur Verfügung stehende Leistung am NAP um in etwa das doppelte

übersteigen. Es zeigt sich, dass der Lastgang des Transformators eine hohe Tageszeitabhängigkeit aufweist. Insbesondere in den Nachtstunden ist die Auslastung deutlich geringer. Dies ist von besonderem Interesse für das Lademanagement, da die Flottenfahrzeuge gerade in diesen Stunden in der Parkgarage stehen. Eine Erhöhung der zugesicherten Netzanschlussleistung für die Tiefgarage in Nachtzeiten wäre eine Möglichkeit das Lastmanagement noch effizienter zu gestalten um damit einen Austausch des Transformators durch einen leistungsstärkeren bei Erweiterung der Ladeinfrastruktur zu vermeiden.

5.2.3 Fahrzeugpoolauswertung

Während der Laufzeit des Projektes wurde auch der Fuhrpark des RPK zunehmend elektrifiziert. In dem Balkendiagramm in Abbildung 23 ist neben der Gesamtanzahl an Fahrzeugen für das jeweilige Jahr auch die Zusammensetzung des Fuhrparks dargestellt. Die Fahrzeugkategorien sind den unterschiedlichen Farben zugeordnet, mit aufsteigendem Jahr von links nach rechts.

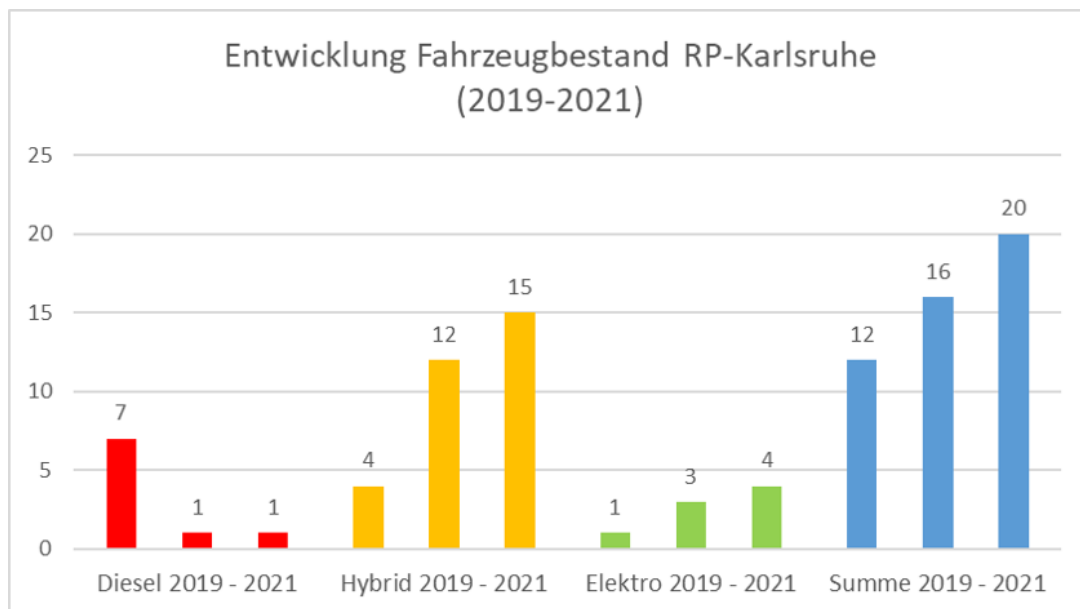


Abbildung 23: Entwicklung des Fahrzeugbestandes des RPK

So wurden über die drei Jahre nahezu alle Dieselfahrzeuge durch Plug-in-Hybride oder reine batterieelektrische Fahrzeuge ersetzt. Neben der steigenden Anzahl an Elektrofahrzeugen nahm auch die Gesamtanzahl über die Jahre zu. Allerdings unterliegt

die Gesamtanzahl der Fahrzeuge starken Schwankungen, da viele Fahrzeuge an unterschiedliche Leasingverträge gebunden sind.

5.3 Aus- und Bewertung des Last- und Lademanagements

Nach dem das Last- und Lademanagement, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, konzipiert und entwickelt wurde, erfolgte die Implementierung auf der Testumgebung. Anschließend wurde ein virtueller Test mit realen Buchungsdaten und realen Strommessdaten durchgeführt und validiert. Dabei wurde das Lademanagement und die Anbindung an das Siemens-Backend erfolgreich getestet.

Ein beispielhafter simulierter Ladeplan für einen Horizont von 12 h, den das Lademanagement erstellt, ist in Abbildung 24 dargestellt. Dabei ist bspw. am Vergleich des gelben Ladepunktes (LP1) zum grünen Ladepunkte (LP3) zu erkennen, dass Ladepunkte mehr Leistung zugewiesen bekommen, wenn das angeschlossene Fahrzeug früher benötigt wird.

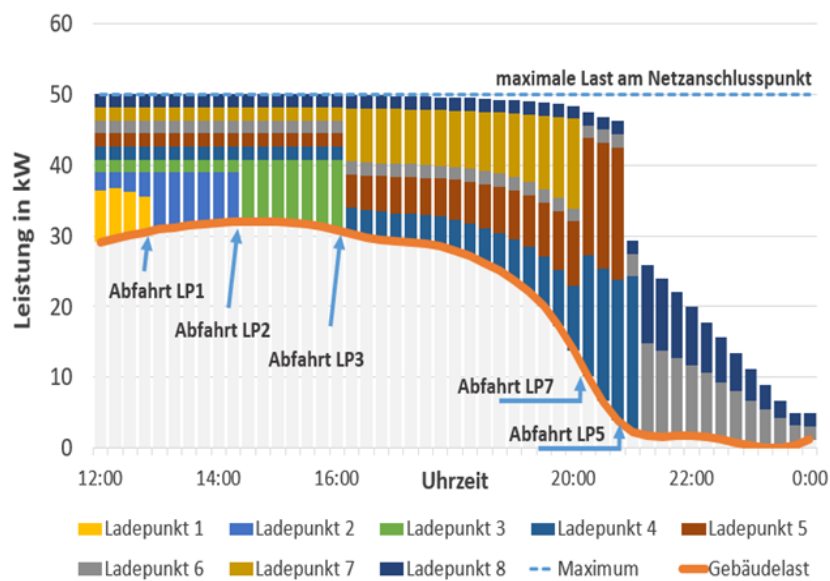
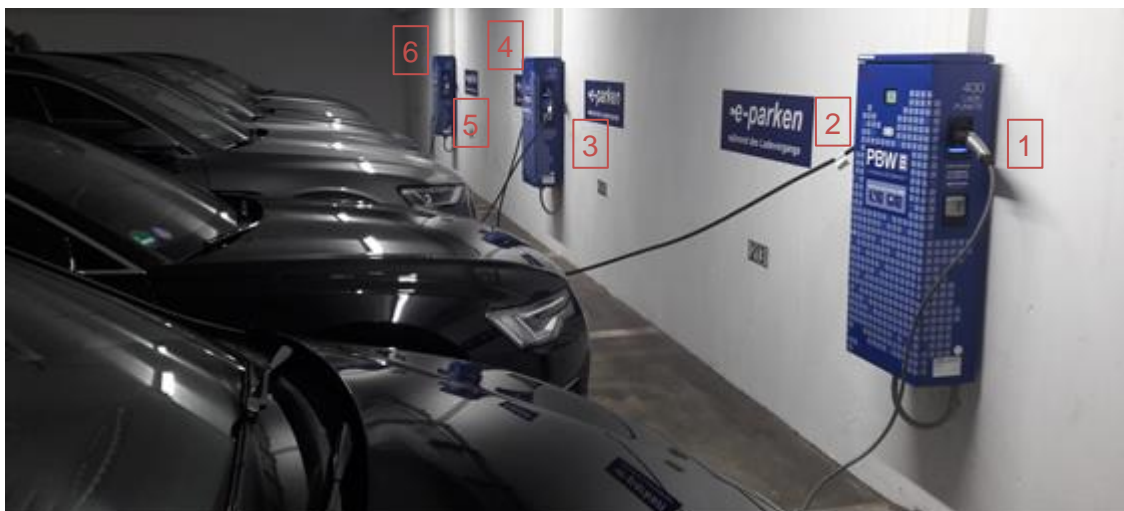


Abbildung 24: Simulierter Ladeplan mit realen Buchungsdaten

Da die batterieelektrischen Fahrzeuge des Regierungspräsidiums im Zeitraum des Projekts nicht konsequent genug den konventionellen Fahrzeugen und den PHEVs vorgezogen wurden, konnte das Lademanagement in der Realität nicht voll ausgelastet werden.

Deswegen wurde ein realer Test mit den Fahrzeugen des Regierungspräsidiums und zusätzlichen Fahrzeugen des DLR und des ZSW durchgeführt. Dieser fand am 14.12.2021 statt.



**Abbildung 25: Angesteckte Fahrzeuge des Regierungspräsidiums für den Vororttest
(Quelle: ZSW)**

Zu Beginn des Tests wurden Fahrten geplant und in die Datenbank eingetragen. Hierzu gehörten die Abfahrtszeit, die geplante Länge der Fahrtstrecke und die Zuweisung zu einem Fahrzeug. Außerdem wurde die Leistungsgrenze für den Anschlusspunkt auf 31 kW verringert. Für die restliche Last wurde entsprechend den Erfahrungen aus den gemessenen Werten 5 kW reserviert. Während des Tests wurden die Ladestationen (LS) 2 bis 4 genutzt. Die Zuordnung der Ladestationen gemäß Abbildung 25 ist wie folgt:

- 1 = Ladepunkt 1 von Ladestation 2 (LS2_LP1)
- 2 = Ladepunkt 2 von Ladestation 2 (LS2_LP2)
- 3 = Ladepunkt 1 von Ladestation 3 (LS3_LP1)
- 4 = Ladepunkt 2 von Ladestation 3 (LS3_LP2)
- 5 = Ladepunkt 1 von Ladestation 4 (LS4_LP1)
- 6 = Ladepunkt 2 von Ladestation 4 (LS4_LP2)

Im nächsten Schritt wurden zunächst vier Fahrzeuge an die Ladestationen angeschlossen und mit den RFID-Karten des Regierungspräsidiums zum Laden autorisiert. Diese Aufgabe wurde von dem Backend von Siemens jeweils innerhalb

weniger Sekunden bewerkstelligt. Der Start der einzelnen Ladevorgänge mit Informationen zur Autorisierung wurden vom Siemens Backend an das Last- und Lademanagement des ZSWs weitergeleitet. Die Software ermittelte daraufhin ebenfalls innerhalb weniger Sekunden den optimierten Ladeplan (siehe Abbildung 26).

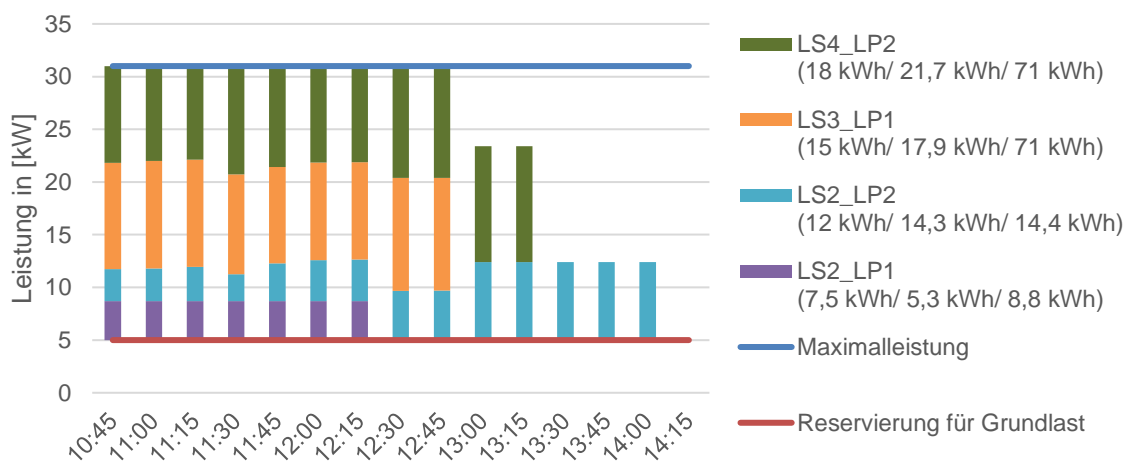


Abbildung 26: Erster Ladeplan, der im Realtest ermittelt wurde, mit jeweils der Zielladung, der voraussichtlichen Ladung und der Batteriekapazität

Entsprechend dem ersten Ladeplan, den die Software berechnet hatte, hätten drei Ladeziele eingehalten werden können (LS2_LP2, LS3_LP1, LS4_LP2). Ein Ladeziel würde nicht erreicht werden (LS2_LP1). Grund hierfür war, dass die Zeit zu kurz zum Laden des Fahrzeuges (PHEV) wegen dessen geringer maximalen Ladeleistung von nur 3,7 kW war.

Nachdem die Ladevorgänge der vier Fahrzeuge gestartet waren, wurde ein fünftes an LS3_LP2 angesteckt. Daraufhin hat die Software den folgenden neuen Ladeplan bestimmt, der in Abbildung 27 gezeigt ist.

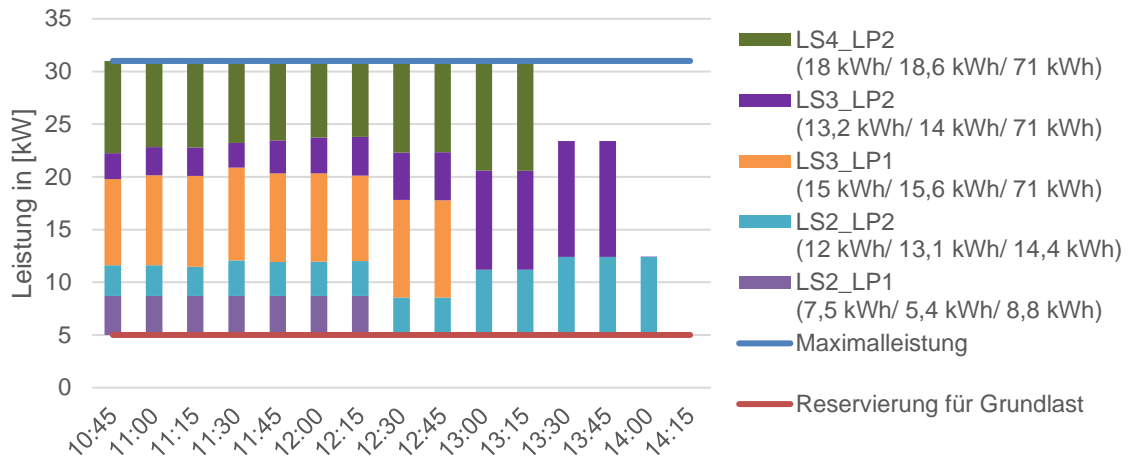


Abbildung 27: Zweiter Ladeplan (nach dem Anstecken des fünften Fahrzeuges), mit jeweils der Zielladung, der voraussichtlichen Ladung und der Batteriekapazität

Wegen der ausreichend langen Standzeit kann das Ladeziel des fünften Fahrzeuges ohne Gefährdung der Ladeziele der anderen Fahrzeuge erreicht werden. Hierbei ist hervor zu heben, dass ein Großteil der Ladeenergie, die für das Fahrzeug an dem Ladepunkt LS3_LP2 zur Verfügung steht, erst nach 13 Uhr erreicht wird.

Als nächstes wurde das sechste Fahrzeug angesteckt. Auch danach ermittelte der Algorithmus einen neuen Ladeplan (siehe Abbildung 28). An den Ergebnissen der Planung erkennt man, dass das Einstecken des sechsten Fahrzeuges dazu führt, dass die Ladeziele für alle nicht mehr erreicht werden. Grund hierfür ist, dass die verfügbare Leistung (zu vor auf 31 kW begrenzt) und die daraus maximal beziehbare Energie am Netzanschlusspunkt nicht ausreichen.

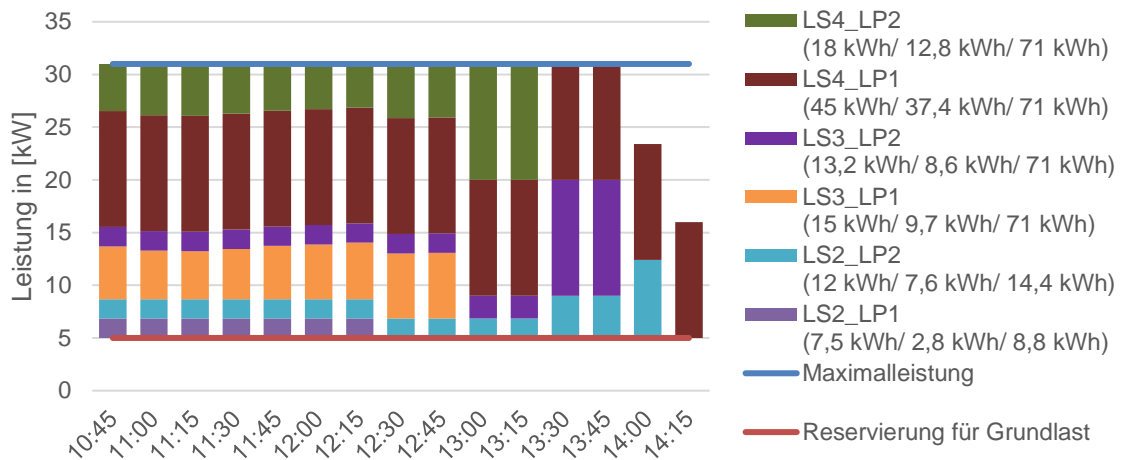


Abbildung 28: Dritter Ladeplan (nach dem Anstecken des sechsten Fahrzeugs), mit jeweils der Zielladung, der voraussichtlichen Ladung und der Batteriekapazität

Die verfügbare Leistung und die entsprechende Energie verteilt der Algorithmus aber fair auf die Ladevorgänge, bezogen auf die absolute Abweichung zum Ladeziel. Diese Abweichungen unterscheiden sich jedoch zwischen den Ladevorgängen, da zum einen die Ladeleistung der Fahrzeuge die beziehbare Energie begrenzen und zum anderen eine Mindestladeleistung jedem Fahrzeug zugesichert wird. Die Abweichungen der Ladungen an den verschiedenen Ladepunkten ergaben sich absteigend nach ihrer Größe wie folgt:

1. LS4_LP1 mit 7,6 kWh:
Da die Standzeit des Fahrzeuges bei der fahrzeugspezifischen Ladeleistung von max. 11 kW nicht zum Laden von mehr Energie ausreicht
2. LS3_LP1 und LS4_LP2 mit etwa 5,2 kWh:
Dies kann nicht weiter verringert werden, weil zum einen LS2_LP1, LS2_LP2 und LS3_LP2 bis 13 Uhr bereits mit minimaler Ladeleistung laden (1,84 kW) und LS4_LP1 die maximale Ladeleistung zugeteilt wird. Zum anderen kann die Ladeleistung für LS4_LP2 ab 13 Uhr nicht weiter erhöht werden, da das Fahrzeug mit maximal 11 kW laden kann.
3. LS2_LP1 mit 4,674 kWh:
Hier kann nur mit minimaler Ladeleistung geladen werden, da der Ladevorgang in Konkurrenz zu LS3_LP1 und LS4_LP2, deren Abweichung höher ist, sowie zu

LS3_LP2 und LS2_LP2 steht. Wobei für die beiden letzteren bereits schon die minimale Ladeleistung eingeplant ist.

4. LS3_LP2 mit 4,56 kWh:

Zwischen 13:30 und 14 Uhr wird bereits mit maximaler Ladeleistung (11 kW) geladen, daher ist keine Verschiebung von LS2_LP2 zu LS3_LP2 in diesem Zeitintervall möglich.

5. LS2_LP2 mit 4,379 kWh:

Im Zeitraum von 14:00 bis 14:15 ist keine weitere Erhöhung der Ladeleistung möglich, da bereits mit 7,4 kW geladen. Dies ist das Maximum des PHEVs.

Im Rahmen des Tests wurde unter anderem festgestellt, dass die Fahrzeuge nicht unbedingt mit der Leistung laden, die der Algorithmus berechnet und über das Backend an die Ladestationen sendet. Zum einen fanden Rundungen oder Umrechnungen der Sollwerte statt (von Leistung in Strom). Zum anderen entscheiden die Laderegler der Fahrzeuge selber über wie viele Phasen sie Energie beziehen. Beispielhaft ist folgender Vorgang:

1. Der Algorithmus berechnet eine maximale Ladeleistung von 8 kW für einen Ladepunkt und sendet diese an die entsprechende Ladestation.
2. Die Ladestation berechnet den zulässigen Strom pro Phase von 11,59 A, rundet ihn auf 11 A und gibt diesen Maximalwert an das Fahrzeug weiter.
3. Der Laderegler entscheidet bei 11 A nur über eine Phase Energie zu beziehen. Dadurch lädt das Fahrzeug nur mit etwa 2,5 kW.
4. Man kann entweder die Differenzleistung von rund 5,5 kW ungenutzt lassen oder sie an andere Ladepunkte verteilen. Hierfür müsste man aber die ursprüngliche Ladeleistung auf 2,5 kW reduzieren. Wenn dies aber der Ladestation vorgegeben wird, würde diese einen zulässigen Strom von 3 A (abgerundet von 3,6 A) berechnen und an das Fahrzeug weiterleiten. Da dieses bei dieser geringen Leistung aber nicht lädt, würde der Ladevorgang pausiert werden.

Schlussfolgerung: für Fahrzeuge muss immer die mögliche Ladeleistung bei der Nutzung aller drei Phasen freigehalten werden. Andernfalls kann es dazu führen, dass Ladevorgänge pausiert werden und ggf. nicht mehr starten.

5.4 Erkenntnisse aus dem Reallabor

Im Gespräch mit Vertretern des Regierungspräsidiums wurden während des abschließenden Tests weitere Erkenntnisse hinsichtlich des zukünftigen Einsatzes von BEVs gesammelt.

Zum einen kann das Regierungspräsidium bei der Beschaffung neuer Fahrzeuge das Fahrzeugmodell nicht direkt aussuchen. Es kann bei der Beschaffung über das Land nur in einem gewissen Rahmen Vorgaben machen. Dies hatte während der Projektlaufzeit unter anderem dazu geführt, dass zu große und zu schwere Fahrzeuge beschafft wurden. Diese sind wegen ihres höheren Energiebedarfs jedoch weniger nachhaltig. Zudem wurden durch die Nutzer:innen die Fahrzeuge seltener genutzt, da sie gerade für den Stadtverkehr weniger geeignet sind.

Zum anderen musste das Regierungspräsidium ihre LIS an die PBW abgeben. Dadurch besitzen sie keine garantierten bzw. reservierten Park- und Ladeplätze mehr. Eine Fortführung der Umstellung der Flotte auf BEVs ist ohne garantierte Lademöglichkeiten jedoch nicht möglich, da die Fahrzeuge nicht zuverlässig für die Dienstfahrten geladen werden können. Es ist so höchstens eine Umstellung auf PHEVs möglich. Grund hierfür ist auch, dass externes Laden einerseits aktuell verwaltungsmäßig nicht gestattet und andererseits zeitlich zu aufwendig ist.

Für den Parkraumbetreiber gibt es derzeit noch keine monetären Anreize für eine optimierte Ladesteuerung. Dies liegt daran, dass pro vergebener Ladekarte eine Ladeflatrate verkauft wird. Über diese kann zwar unbegrenzt viel Energie bezogen werden, aber es wird keine Ladeleistung garantiert. Eine Steuerung der Ladevorgänge durch den Parkraumbetreiber würde für diesen nur einen Mehraufwand ohne entsprechende Kompensation bedeuten. Ohne diese ist die Ladung einer bestimmten Energiemenge bis zu einem bestimmten Zeitpunkt aber nicht sichergestellt. Dies führt dazu, dass weder eine zuverlässige Ladung noch Bereitstellung der BEVs des Regierungspräsidiums garantiert werden kann, obwohl das Lademanagementkonzept jederzeit bereitsteht.

6 Verwertung und Transfer

Bei der Planung für das Projekt wurde ein besonderer Wert auf die Verbreitung der Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt gelegt. Dazu wurden diese in verschiedenen Formaten in diversen Kanälen verteilt, wie nachfolgend dargestellt wird.

6.1 Teilnahme an Konferenzen

- Schneider, Tobias und Sigle, Sebastian und Huschenhöfer, Dennis (2020) Car Usage in the fleet of a Regional Council and Need for Intelligent Charging Infrastructure. 4th E-Mobility Power System Integration Symposium, 03.11.2020, Deutschland.
- Sigle, Sebastian und Huschenhöfer, Dennis und Schneider, Tobias (2021) project eLISA-BW:intelligent control of electric charging infrastructure in Baden-Württemberg. In VDE ETG Kongress 2021, VDE Verlag GmbH Berlin.
- Huschenhöfer, Dennis und Petzschmann, Jonas und Schneider, Tobias und Sigle, Sebastian (2021) Balanced Priority Charging Put Into Practice for an E-Mobility Fleet of a Regional Council. 5th E-Mobility Power System Integration Symposium, 27.09.2021, Deutschland.

6.2 Strategiedialog Automobilwirtschaft

- Filmbeitrag im Rahmen der Zwischenbilanzkonferenz Strategiedialog Automobilwirtschaft BW. Der Gesamtfilm ist unter <https://sda2020.de/teaser-video.php?video=xdbXUclEyzc&yt=1> einsehbar, der Beitrag zu eLISA-BW wird ca. ab Minute 10:50 gezeigt.
- Teilnahme am Strategiedialog Automobilwirtschaft BW im Rahmen eines Erfahrungsberichtes über die bisherigen Ergebnisse des Projektes eLISA-BW zum 3. Workshop „Integration der Elektromobilität in die Verteilnetze“ am 03. Dezember 2020.
- Vorstellung Projekt eLISA-BW im Rahmen eines Treffens der AG „Netze und Infrastruktur“ des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW im Umweltministerium BW am 03.03.2020

6.3 Vorstellungen/Präsentationen

- Präsentation beim Webinar „Eigenverbrauch, PV-Carports und Lademanagement im Unternehmen: Rechtliche und wirtschaftliche Aspekte“ der Regionalen Kompetenzstelle Energieeffizienz Mittlerer Oberrhein
- Präsentation im Rahmen des europäischen Projektes „4Region4Future“ durch das RPK im November 2021 auf einer Zwischenveranstaltung in Belgien

6.4 Workshop

Am 23.09.2021 wurde der geplante Workshop durchgeführt, um die Erkenntnisse aus dem Projekt mit anderen relevanten Akteuren im Bereich intelligentes Laden zu diskutieren. Aufgrund der aktuellen Corona Verordnungen wurde er als Online-Workshop konzipiert. Während des Projektes wurde systematisch nach verschiedenen Interessengruppen gesucht, die an der Thematik interessiert sind (Meilenstein 10). Bei der Einladung und Konzeption orientierten wir uns an den bereits im Projekt gesammelten Interessengruppen. Die Agenda des Workshops befindet sich im Anhang. Angemeldet waren 31 Personen.

Zusätzlich zu den Vorträgen der Referenten wurden Online Umfragen mit dem Tool Slido durchgeführt. Die Auswertung der Umfragen befinden sich ebenfalls im Anhang.

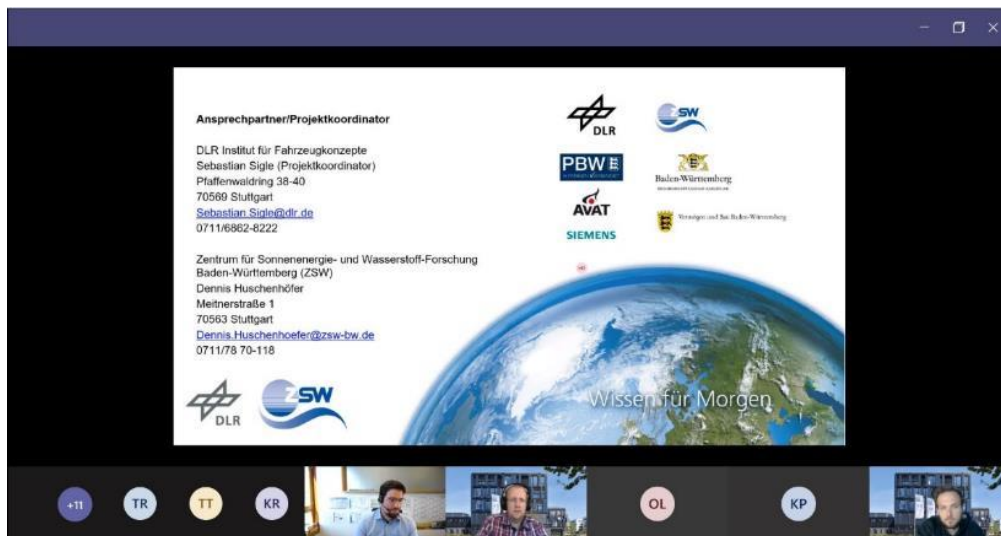


Abbildung 29: Screenshot aus dem Online Workshop

6.5 Öffentlichkeitsarbeit

Um eine einheitliche Außendarstellung zu erzielen und die Identifikation im Projektkonsortium mit dem Projektnamen zu erhöhen, wurde von einem Industriedesigner ein Logo für das Projekt entworfen, das die Elemente Ladesäule, Parkplatz und Intelligenz (symbolisiert durch ein Gehirn) beinhaltet. Symbolisch werden diese Elemente unter einem Dach, gemeint ist das Dach des Parkhauses, angeordnet. Die Farbe Grün soll verdeutlichen, dass die Umwelt hier im Vordergrund steht.



Abbildung 30: Projektlogo eLISA-BW

Es wurde auf der Homepage des DLR eine Seite zum Projekt erstellt. Auf dieser Seite sind die Links zu den Internetmeldungen zur Übergabe der Unbedenklichkeitsbescheinigung im Umweltministerium im Jahr 2019 sowie zum Projektstart mit Fototermin enthalten.

Link: https://www.dlr.de/fk/desktopdefault.aspx/tabid-3731/5826_read-74471/

6.5.1 Öffentlichkeitsarbeit/Presse

- **Pressetermin** mit **Fototermin** am 10.3.2020 vor Ort in der Tiefgarage Waldhornstraße. Erwähnung in den nachfolgend aufgelisteten Medien. Die beim Fototermin erstellten Bilder wurden bereits an anderen Stellen stellvertretend für die INPUT Projekte verwendet.



Abbildung 31: Fototermin Inbetriebnahme LIS (Quelle: DLR/Eppler)



Abbildung 32: Fototermin Inbetriebnahme LIS Konsortium (Quelle: DLR/Eppler)

Die Pressemeldung wurde in den folgenden Medien aufgenommen:

Tabelle 2: Auflistung der veröffentlichten Pressemeldungen

Quelle	Link
50komma2	https://50komma2.de/w/elisa-bw-intelligentes-ladekonzept-fuer-ausbau-der-elektromobilitaet-ohne-ueberlastung-der-netzanschluesse/
Car IT	https://www.car-it.com/forscher-testen-intelligente-ladestationen-im-realbetrieb/id-0071929
DLR	https://www.dlr.de/fk/desktopdefault.aspx/tabid-8355/14259_read-63108/
DLR	https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/01/20200310_elisa-bw.html
Ecomento	https://ecomento.de/2020/04/02/dlr-und-zsw-entwickeln-intelligentes-ladekonzept/?utm_source=ecomento.de&utm_campaign=15d6f771f1-RSS_DAILY_EMAIL_CAMPAIGN_EDE&utm_medium=email&utm_term=0_efd1d50217-15d6f771f1-1204374277
Electrive	https://www.electrive.net/2020/03/12/elisa-bw-elektro-flotte-des-rp-karlsruhe-im-lade-feldtest/
Finanznachrichten	https://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2020-03/49086195-elisa-bw-elektro-flotte-des-rp-karlsruhe-im-lade-feldtest-649.htm
ZSW	https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Aktuelles/2020/Presse-Information_eLISA-BW_Print.pdf

- **Interview** mit dem Branchendienst **Energate** über das Projekt eLISA-BW <https://www.energate-messenger.de/news/201698/sigle-wir-vermeiden-leistungspeaks-beim-laden->

Stuttgarter Mobilitätstage 2021

Das Projekt eLISA-BW war auch auf der ersten Stuttgarter Mobilitätswoche vertreten, welche vom 16. bis zum 22. September stattfand. Die Projekthalte wurden im Rahmen der Veranstaltung Parkhäuser als zukünftige Mobilitäts- und Logistikhubs in Kooperation mit der APCOA und Breuninger vorgestellt.



Abbildung 33: Impressionen von der Stuttgarter Mobilitätswoche

Social Media Meldung

Am 14.09.2021 wurden vom ZSW und DLR identische Social Media Meldungen zum Start des intelligenten Lademanagementalgorithmus veröffentlicht. Dabei wurden jeweils Meldungen in Twitter, Facebook und LinkedIn veröffentlicht.

Twitter:

Im Projekt #eLISABW konnte ein intelligenter Lademanagementalgorithmus seine Arbeit starten. Er sorgt für bedarfsabhängige Ladung der Fahrzeuge des Karlsruher Regierungspräsidiums trotz Einschränkungen in der verfügbaren elektrischen Leistung der Tiefgarage. #KöpfchenstattKupfer

Facebook und LinkedIn:

Intelligentes Laden vermeidet Netzausbau und Speicher: Im Projekt eLISA-BW konnte ein intelligenter Lademanagementalgorithmus seine Arbeit aufnehmen. Er sorgt für bedarfsabhängige Ladung der Fahrzeuge des Karlsruher Regierungspräsidiums trotz Einschränkungen in der verfügbaren elektrischen Leistung in der Tiefgarage. Danke an alle Projektpartner Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) PBW-Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Regierungspräsidium Karlsruhe Vermögen und Bau Baden-Württemberg Siemens @AVAT @Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

#eLISABW #intelligentesLaden #KöpfchenstattKupfer

Weitere Meldungen wurden zur Verbreitung des Leitfadens am 09.02.2022 durchgeführt. Diese sind in Abbildung 34 und Abbildung 35 zu sehen.



Abbildung 34: Twitter-Meldung Leitfaden



Abbildung 35: LinkedIn-Meldung Leitfaden



6.5.2 Leitfaden

Die Erkenntnisse aus dem Projekt wurden in einen Leitfaden überführt. Dieser Leitfaden erfüllt dabei die folgenden Ziele:

- Aufzeigen der Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf andere Parkieranlagen
- Aufzeigen der Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf andere Fahrzeug-Flotten
- Eine Checkliste für die Fragestellung: Kann ich für meine Flotte/meinen Parkplatz ein Lademanagement einführen?

Der Leitfaden wurde in Zusammenarbeit mit einer Grafikagentur erstellt. Die Verbreitung des Leitfadens soll aufgrund der aktuellen Corona Situation vor allem online stattfinden. Der Leitfaden kann unter nachfolgendem Link direkt aufgerufen werden. Er ist ebenso im Anhang zu finden.

http://www3-cxxl.dlr.de/fk/PortalData/40/Resources/DLR_Leitfaden-Ladeinfrastruktur.pdf

6.5.3 Weiternutzung PBW

Nach dem Projektende wird das Lademanagement des ZSW zur Sicherstellung der Ladevorgänge des Regierungspräsidiums weiter eingesetzt. Die PBW prüft aktuell die Nutzung für andere Standorte.

6.5.4 Weiterentwicklung des Lademanagements

Nach dem Projektende führt das ZSW die Entwicklung am Lademanagement fort, um Technologietransfer zu ermöglichen.

7 Schlussfolgerung

Das Projekt eLISA-BW konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Dennoch bleibt festzuhalten, dass die Anbindung der Ladeinfrastruktur an das jeweilige Backend nicht immer per »plug-and play« zu realisieren ist. Im Projekt war ein hoher Aufwand für Abstimmungen und Fehlerbehebung notwendig. Es wurde deutlich, dass ein intelligentes Lademanagement ein großes Potential bei Fahrzeugflotten besitzt. Mithilfe des Lademanagements ist es auch zukünftig in der Parkgarage Waldhornstraße möglich, weitere Ladeinfrastruktur zu errichten ohne die Netzanschlussleistung mit großen Investitionen zu erhöhen. Ein weiteres Potential besteht in der Nutzung von nicht ausgenutzten Leistungsreserven des vorgelagerten Transformators z.B. in den Nachtstunden.

Im Schnitt stehen die Fahrzeuge für längere Zeitspannen, als sie zum Laden benötigen. Also können sie für bevorstehende Fahrten in der Regel ausreichend Energie laden. Denn bei mehreren gleichzeitigen Ladevorgängen kann die Summe der Ladeleistungen die restliche verfügbare Leistung übersteigen, falls keine Limitierung der Ladeleistung erfolgt. Die Verwendung von Buchungsdaten ermöglicht ein intelligentes Lademanagement. Damit wird die Flotte kostengünstig und effizient geladen - und die notwendigen Energien für bevorstehende Fahrten können garantiert zur Verfügung gestellt werden.

Moderne Elektrofahrzeuge haben genug Reichweite für den größten Anteil an Fahrten. Dennoch zeigen sich Berührungsängste mit E-Fahrzeugen und Unsicherheiten bezüglich der Reichweite. Man sollte daher Nutzer:innen durch Aufklärung und Schulung an den Umgang mit E-Fahrzeugen heranführen. Eine Möglichkeit dazu: Nutzer:innen bei der Buchung informieren, welches Fahrzeug zur geplanten Fahrt passt. Es sollte darüber nachgedacht werden, die Ladezeit automatisch im Buchungssystem zu blockieren um den Planungsprozess transparenter zu gestalten.

Hauptsächlich wurden dabei PHEVs verwendet, was zu geringen Ladeleistungen und Ladezeiten geführt hat, aber auch zu einer geringeren Entlastung der Umwelt durch verringerte CO₂-Emissionen. Ebenso ist darauf hinzuweisen, dass das volle Umweltpotential der E-Fahrzeug Flotte erst mit sparsamen Fahrzeugen gehoben werden kann. Die verwendeten Fahrzeuge gehören zu dem Typ SUV und haben daher einen



hohen spezifischen Verbrauch, was sich auch in der CO₂-Bilanz zeigt, da diese für die gleichen Fahrstrecken höhere Ladeenergien und auch längere Ladezeiten benötigen. Die Auswahl der Flottenfahrzeuge geschieht dabei über eine Landesauschreibung auf die das RPK keinen Einfluss hat. Es ist ebenfalls darauf hinzuweisen, dass die Transformation von Flotten von PHEVs zu BEVs nur gelingen kann, wenn für die Flottenfahrzeuge garantierte Ladeplätze zur Verfügung gestellt werden können.

Schlüsselfertige Lösungen für spezifische Anwendungsfälle gibt es bisher noch kaum. Ein Beispiel dafür sind Buchungssysteme, die bereits in das Lademanagement integriert sind. Das Projekt hat jedoch gezeigt, dass zusätzliche Informationen helfen, ein Lademanagement-System effizienter zu gestalten. Dadurch können Kosten für zusätzliche Investitionen in den Netzausbau oder in Speicher vermieden werden.

8 Anhang

- 8.1 Projektzeitplan**
- 8.2 Programm Workshop**
- 8.3 Slido Umfrageergebnisse Workshop**
- 8.4 Leitfaden**