

Forschungsbericht BWPLUS

Intelligente Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Calw (ILEF)

von

Prof. Dr.-Ing. Lutz Gaspers
Dennis Dreher, M. Eng.
Madeleine Bode, B. Eng.

Hochschule für Technik Stuttgart
Kompetenzzentrum für Mobilität und Verkehr (MoVe)
In Kooperation mit der
deer GmbH Calw

Förderkennzeichen: BWINP 21115 und BWINP 21116

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

Oktober 2021 – Dezember 2022

Dieser Abschlussbericht wurde von der Hochschule für Technik Stuttgart verfasst. Das Forschungsprojekt ILEF Calw wurde als Verbundprojekt der Hochschule für Technik Stuttgart und der deer GmbH Calw durchgeführt. Auf Wunsch des Projektträgers wurden die Inhalte des Projektpartners in diesen Projektbericht integriert. Die inhaltliche Verantwortung sowie die Autorenrechte für diese Arbeitspakete liegen bei der deer GmbH. Es erfolgte keine inhaltliche Überarbeitung durch die Hochschule für Technik Stuttgart.

Die jeweiligen Autoren der Arbeitspakete werden in den einzelnen Kapiteln benannt.

Hochschule für Technik Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Lutz Gaspers (Projektleitung)

Dennis Dreher, M. Eng.

Madeleine Bode, B. Eng.

Pawan Elangovan, M. Sc.

deer GmbH Calw

Dipl.-Ing. Rebecca Heckmann (Projektleitung)

David Gall (Projektleitung)

Pia Epple

Sandra Behrendt

Inhalt

Einleitung.....	5
Projektaufgabe und Projektstruktur	5
Projektaufgabe	5
Arbeitspakete und Aufgabenverteilung	6
Abweichungen in der Projektdurchführung.....	8
Arbeitspaket 1 - Aufnahme der baulichen Voraussetzungen	9
Projekt Calwer Markt	9
Projekt Kaufland	10
Arbeitspaket 2 - Untersuchung und Auswahl der LIS und Steuerung des dynamischen Lastmanagements	13
Arbeitspaket 3 – Erfassung und Analyse der energetischen Lasten	14
Ergebnisse der allgemeinen Literaturrecherche zum Lastenmanagement	14
Simulationstool für den Bedarf an Ladepunkten bei Bestandsparkplätzen.....	19
Ergebnisse der Analyse der energetischen Lasten in den Demonstrationsprojekten	21
Arbeitspaket 4 - Vorbereitende Baumaßnahmen	24
Projekt Calwer Markt	24
Projekt Kaufland	25
Arbeitspaket 5 - Installation der Ladeinfrastruktur.....	25
Projekt Calwer Markt	25
Projekt Kaufland	26
Arbeitspaket 6 – Umsetzung des dynamischen Lastenmanagements.....	29
Voraussetzungen	29
Vorgehen (Ablauf oder Inbetriebnahme).....	29
Projekt Calwer Markt	29
Projekt Kaufland	31
Arbeitspaket 7 – Messung, Analyse und Auswertung der Lasten	33
Grundsätzliche Probleme	33
Arbeitspaket 8 – Akzeptanz- und Nutzungsanalyse	34
Verkehrserhebung - Erhebungskonzept.....	34
Verkehrserhebung - Auswertung	37
Bossertoff-Verfahren	41
Arbeitspaket 9 – Leitfaden	51
Arbeitspaket 10 – Dokumentation und Projektmanagement.....	51
Fazit	52

Quellenverzeichnis 53

Einleitung

Autoren: Hochschule für Technik Stuttgart – Dreher, Bode, Gaspers

Baden-Württemberg ist neben Großstädten, wie die Landeshauptstadt Stuttgart, durch einen hohen Anteil an ländlichen Räumen geprägt. Diese ruralen Gebiete stellen eine besondere Herausforderung für die Elektromobilität und deren Etablierung dar. Aufgrund von Zersiedelung und einer starken Ausprägung von Flächengemeinden ergeben sich im Vergleich zu kompakten, urbanen Gebieten andere Anforderungen an das Stromnetz.

Die Stadt Calw ist ein Mittelzentrum im nördlichen Schwarzwald. Die Stadt gliedert sich in eine Kernstadt und 12 weitere Stadtteile; unter anderem kleinteilige, dörfliche Agglomerationen. In einer solchen Raumstruktur bedarf es einer anderen Betrachtung der Elektromobilität. Die zurückgelegten Entfernungen sind weiter, das Elektrizitätsnetz besteht aus weitläufigen Verteilungen und der individuelle PKW hat häufig einen höheren Stellenwert, als im urbanen Raum. Vor diesem Hintergrund wurde die Stadt Calw als Untersuchungsraum für das Projekt ausgewählt.

Der Projektname ILEF steht für ‚Intelligente Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Calw‘. Das Forschungsprojekt setzt sich mit den Rahmenbedingungen ländlicher Räume an die Elektromobilität auseinander und setzt eine nachträgliche Ausstattung zweier Bestandsparkhäuser mit intelligenter Ladeinfrastruktur um. Begleitend zur Realisierung dieser Maßnahme, werden diverse Untersuchungen und eine entsprechende Forschungsarbeit geleistet.

Durchgeführt wird das Projekt von der Hochschule für Technik in Stuttgart, welche die begleitende Forschungsarbeit durchführt. Der Projektpartner deer GmbH leitet die Planung und bauliche Umsetzung der intelligenten Ladeinfrastruktur in Zusammenarbeit mit den Partnern Energie Calw (ENCW) und den Stadtwerken Calw.

Projektaufgabe und Projektstruktur

Autoren: Hochschule für Technik Stuttgart – Dreher, Bode, Gaspers

Projektaufgabe

Die Installation moderner Hochleistungsladeinfrastruktur hat Einfluss auf das elektrische Netz. Besonders in Bestandsgebäuden bieten sich besondere Herausforderungen an die Hausinstallation und vorhandene Netze. Das projektierte Vorhaben fokussiert sich daher auf die Installation von Ladeinfrastruktur in bestehenden Parkhäusern unter besonderer Berücksichtigung der Implementation in vorhandene Energienetze. Es soll geprüft werden, wie sich eine Vielzahl von Ladepunkten und deren maximale Anschlussleistung auf die städtischen Stromnetze auswirkt.

Es wird untersucht, wie sich das Energienetz unter Vollast, also gleichzeitigem Laden von Fahrzeugen an allen Ladepunkten, verhält und ob das intelligente Lastmanagement ausreichend Schutz bietet, um eine Überlast zu vermeiden. Ergänzend werden die möglichen positiven Einflüsse von lokalen Pufferspeichern und virtuellen Speichern genutzt, wenn lokal regenerative Energie ins Netz eingespeist wird. Als lokale Pufferspeicher kommen sowohl bidirektional-ladefähige Fahrzeuge sowie zusätzliche Akkus in Frage. Zudem wird eine Akzeptanz- und Auslastungsforschung durchgeführt. Diese beschäftigt sich damit, wie sich die Annahme der Lademöglichkeiten unter verschiedenen Tarifen und Rahmenbedingungen verändert: beispielsweise bei kostenlosem Laden versus gebührenpflichtigem Laden und nötiger Anmeldung beim Ladeinfrastrukturbetreiber. Es wird eine Nutzerbefragung durchgeführt, die untersucht, während welcher Aktivitäten die Nutzer ihre Fahrzeuge laden und

welche Lademöglichkeiten sich ihnen grundsätzlich bieten. Als Ergebnis dieser Forschung soll eine Studie geschaffen werden, die aufzeigt, an welchen neuralgischen Punkten Ladeinfrastruktur besonders relevant ist.

Zur Durchführung der erläuterten Untersuchungen plant das Konsortium eine Ausstattung zweier Bestandsparkhäuser in der Calwer Innenstadt mit einer Ladeinfrastruktur, welche intelligent steuerbar ist. In den ausgewählten Parkhäusern Calwer Markt und Kaufland gibt es bislang keine bis wenig Bestandladeinfrastruktur. Die Parkhäuser sind essentiell für den ruhenden Verkehr im Mittelzentrum Calw und erschließen zentrale Versorgungsstätten. Die zwei Parkhäuser werden im Rahmen des Forschungsvorhabens flächendeckend mit intelligenten Wallboxen mit je 22 Kilowatt Ladeleistung je Ladepunkt ausgestattet. Auf diese Weise wird ein möglichst heterogenes Ladeverhalten erzeugt, da einige Fahrzeuge mit 11 kW andere mit 22 kW laden. Außerdem werden Ladeinfrastrukturen verschiedener Hersteller installiert, um eine übergeordnete Kompatibilität zu testen. In den beiden Demonstrationsparkhäusern werden unterschiedliche Lastmanagementsysteme eingesetzt. Da bislang kaum praktische Erfahrungen mit dynamischen Lastmanagementsystemen vorhanden sind, sollen zwei Systeme hinsichtlich Funktionalität und Wirksamkeit verglichen werden. Dafür wird in einem Parkhaus ein System mit einer kabelgebundenen Kommunikation (ASKI-System mit KNX-Leitung), während im zweiten Parkhaus das dynamische Lastmanagement kabellos über Funk (GridX-Controller-System) an den einzelnen Ladepunkten umgesetzt werden soll.

Arbeitspakete und Aufgabenverteilung

Die Projektaufgabe wird in verschiedene Arbeitspakete aufgeteilt, die von den unterschiedlichen Projektpartnern realisiert werden. Zudem wird eine Abfolge der Arbeitspakete und ein entsprechender Zeithorizont zur Bearbeitung der Teilaufgaben festgelegt.

Die grundsätzliche Aufgabenverteilung sieht die Bearbeitung der Forschungsarbeit durch die Hochschule für Technik Stuttgart vor. Diese ist verantwortlich für die Simulation und Analyse des Energiemanagements sowie für die Akzeptanz- und Auslastungsforschung. Für die praktische Umsetzung und Planung des intelligenten Lastenmanagements ist die deer GmbH in Zusammenarbeit mit der Energie Calw (ENCW) und den Stadtwerken Calw, zuständig.

Die detaillierten Arbeitspakete und Aufgabenverteilung sowie der entsprechende Zeithorizont können dem nachfolgenden Gant Diagramm entnommen werden.

Die entsprechenden Arbeitspakete wurden von den bearbeitenden Institutionen verfasst und durch die Hochschule für Technik in ein gemeinsames Dokument verarbeitet.

ILEF Calw

Hochschule für Technik Stuttgart
Dennis Dreher

Projektanfang: 01.11.2021
Wochenanzahl: 10

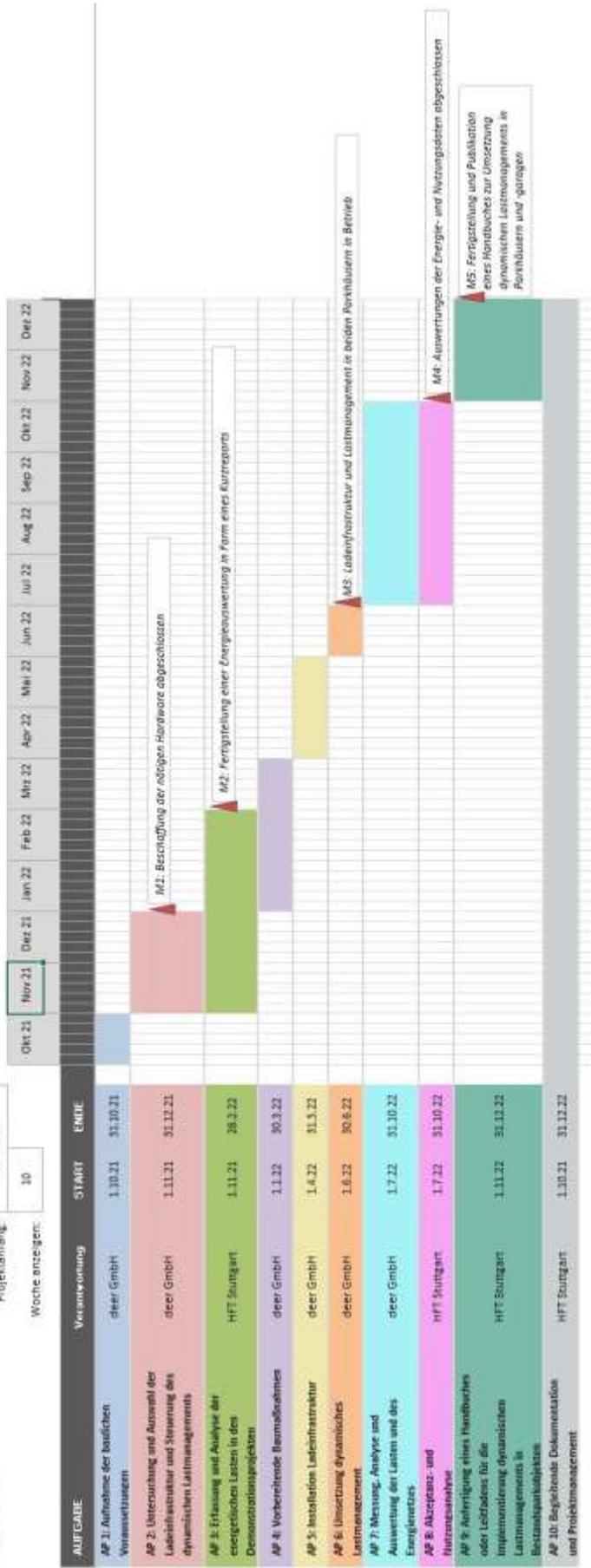


Abbildung 1: Gant Diagramm des Projekts

Abweichungen in der Projektdurchführung

Aufgrund der Corona Pandemie gab es diverse Abweichungen in der ursprünglich geplanten Projektaufgabe. Die Erfassung und Analyse der energetischen Lasten in Arbeitspaket 3 wurde aufgrund einer mangelnden Datenbasis um eine allgemeine Literaturrecherche zum Thema Lastenmanagement ergänzt. Aufgrund pandemiebedingter Verzögerungen und Schwierigkeiten in den Lieferketten konnte die bauliche Umsetzung der Ladeinfrastruktur und des dynamischen Lastenmanagements vom Projektpartner nicht im vorgesehenen Zeitrahmen realisiert werden. Eine ausführliche Darstellung dieser Problematik wird im Projektbericht gegeben. Vor diesem Hintergrund wurde das Arbeitspaket 8, welches eine Akzeptanz- und Nutzeranalyse vorsieht, anhand der bestehenden Ladeinfrastruktur in den Demonstrationsobjekten durchgeführt. Zudem wurde die allgemeine Bestandssituation in den Parkhäusern erfasst. Die Arbeitspakete 9 und 10 wurden entsprechend der ursprünglichen Planung durchgeführt.

Arbeitspaket 1 - Aufnahme der baulichen Voraussetzungen

Autoren: deer GmbH – Gall, Epple, Behrendt

Projekt Calwer Markt

Herangehensweise

Nach der ersten Vorortbegehung wurde das erste Planungskonzept auf Grundlage der örtlichen Gegebenheiten erstellt. Dieses Konzept sah vor, die Stromversorgung über den bereits vor Ort verfügbaren Hausanschluss zu gewährleisten. Um die überschüssige, verfügbare Anschlussleistung zu ermitteln, sollte demnach nachgelagert eine Lastgangmessung durchgeführt werden, welche Auskunft über die Leistungsdaten des Parkhauses geben soll. Die überschüssige Leistung sollte anschließend über ein dynamisches Lastmanagement geregelt werden.

Um die wissenschaftliche Relevanz dieses Projektes zu gewährleisten, wurde zudem vorgesehen, dass alle Wallboxen auf 11 kW Leistungsabgabe begrenzt werden. Eine Nichtbegrenzung bei ausreichender Anschlussleistung, würde das dynamische Lastmanagement unnötig erscheinen lassen.

Probleme im Verlauf

Auf Nachfragen beim Betreiber des Parkhauses, lag ein entsprechendes Lastgangprotokoll vor.

Strombezug Parkhaus Calwer Markt / Monatshöchstleistung

Monat	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Leistung in kW									
Januar	27,0	27,0	25,0	22,0	26,0	27,0	29,0	27,0	32,0	40,0
Februar	27,0	27,0	25,0	22,0	25,0	30,0	30,0	30,0	41,0	45,0
März	25,0	28,0	27,0	22,0	27,0	26,0	30,0	40,0	40,0	52,0
April	25,0	25,0	24,0	23,0	27,0	41,0	30,0	40,0	40,0	52,0
Mai	27,0	25,0	24,0	25,0	27,0	41,0	31,0	40,0	40,0	52,0
Juni	25,0	25,0	23,0	24,0	24,0	41,0	40,0	40,0	45,0	52,0
Juli	24,0	26,0	22,0	24,0	23,0	41,0	40,0	40,0	45,0	
August	25,0	24,0	21,0	24,0	27,0	41,0	28,0	40,0	45,0	
September	26,0	22,0	23,0	24,0	24,0	41,0	41,0	45,0	45,0	
Oktober	23,0	26,0	27,0	25,0	27,0	41,0	41,0	45,0	47,0	
November	27,0	23,0	25,0	24,0	27,0	41,0	41,0	45,0	51,0	
Dezember	27,0	25,0	23,0	24,0	27,0	41,0	42,0	47,0	51,0	
Gesamt	216	212	207	183	212	462	423	473	584	304

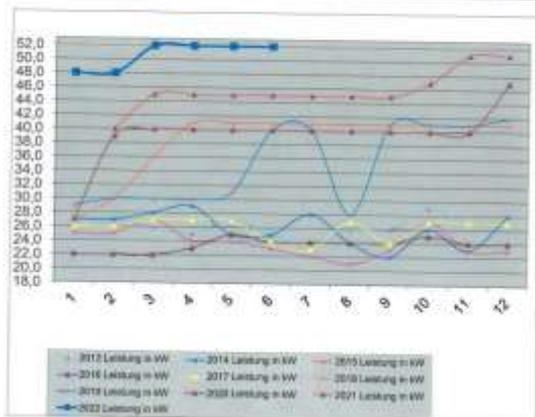


Abbildung 2: Lastgangprotokoll

Dieses Lastgangprotokoll legte jedoch dar, dass die zur Verfügung stehende maximale Anschlussleistung nicht ausreichend war. Zum Vergleich, eine Wallbox (gedrosselte Variante) hat eine Anschlussleistung von 11 kW. Daraufhin wurde ein neuer Netzanschluss bei der Netze BW GmbH angefragt. Leider überstieg das Angebot, die üblichen Branchenpreise um ein Vielfaches. Deshalb musste von der Alternative, des separaten Netzanschlusses Abstand genommen werden.

Die Befestigung der Wallboxen wurde zu Beginn branchenüblich, auf Stehlen oder als Wandmontage geplant. Leider war dies im Falle des Calwer Markt Parkhauses nicht möglich, da es keine Wände am Scheitelpunkt des Parkplatzes gab. Die Absicherung der Parkplätze zum darunterliegenden Parkdeck wird durch schräg verlaufende Metallgeländer sichergestellt. Aus Sicherheitsgründen wurde für die Klärung der Befestigungsfrage ein Statiker hinzugezogen. Schlussendlich hat man sich dann für verschiedene Befestigungsmöglichkeiten entschieden. Acht Wallboxen wurden an der Decke befestigt, eine Wallbox an der Wand und elf Wallboxen wurden an den vor Ort befindlichen Säulen installiert. Der Grund für die Varianz an Befestigungsformen ist eine bohrlose Montage, welche vom Statiker gefordert wurde. Die Befestigung wurde demnach nur durch verpressen und verklemmen von Bauteilen ermöglicht.

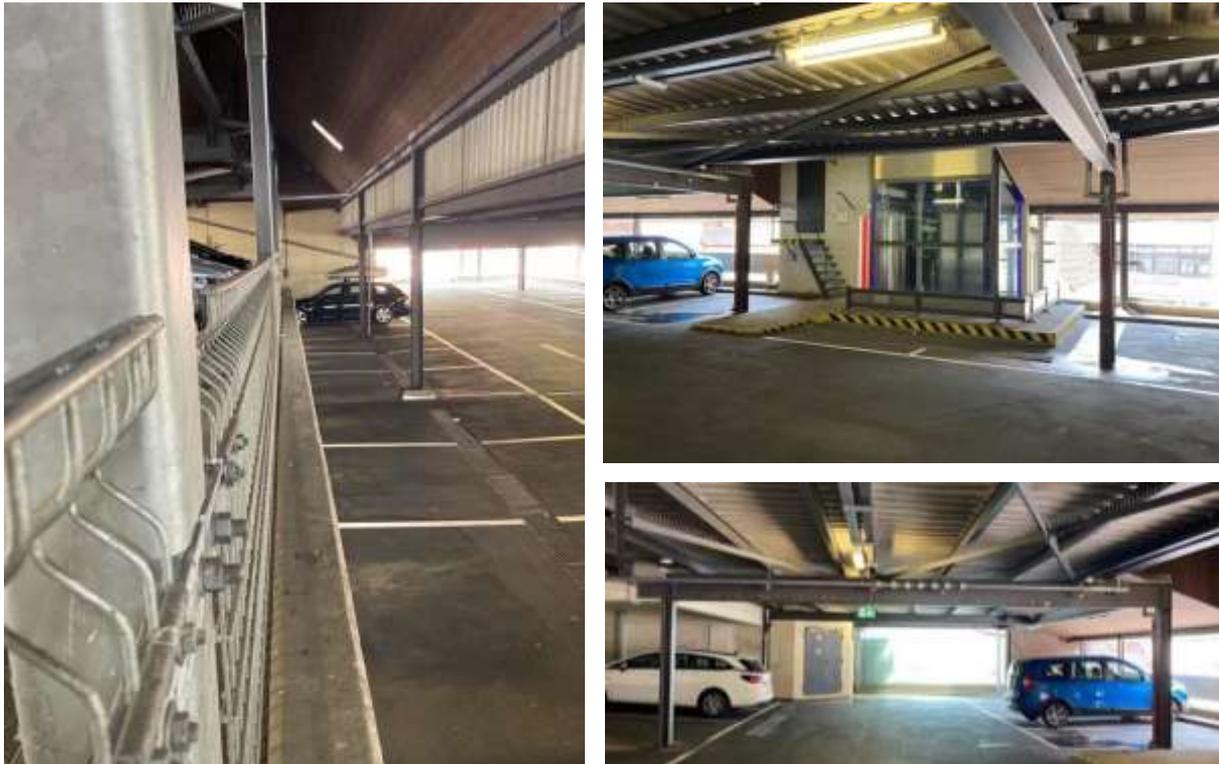


Abbildung 3: Innenaufnahme Parkhaus Calwer Markt

Projekt Kaufland

Herangehensweise

Nach der ersten Vorortbegehung wurde das erste Planungskonzept auf Grundlage der örtlichen Gegebenheiten erstellt. Wie auch im Calwer Markt sah dieses vor, die Stromversorgung über den bereits vor Ort verfügbaren Hausanschluss zu gewährleisten. Um die überschüssige, verfügbare Anschlussleistung zu ermitteln, sollte auch hier eine Lastgangmessung durchgeführt werden.

Zusätzlich sollte auch hier die Leistungsaufnahme der Wallboxen auf Grund der bereits oben genannten Gründe mit 11 kW je Wallbox bemessen werden.

Die Befestigung der Wallboxen war zu Beginn branchenüblich auf Stehlen oder als Wandmontage geplant. Nach der Vorortbegehung ist man zum Schluss gekommen, dass eine Stehlen-Montage die sinnvollste Variante ist. Schlussendlich hat man sich dann für zwei verschiedene Befestigungsmöglichkeiten entschieden. 16 Wallboxen wurden an regulären Stehlen auf dem Boden

befestigt und vier Wallboxen wurden an Stählen befestigt, welche an den bestehenden Säulen des Parkdecks installiert wurden.

Probleme im Verlauf

Nach einem ersten Treffen mit dem Eigentümer des Parkhauses (Kaufland) wurde schnell deutlich, dass eine Stromversorgung über das Kaufland nicht im Interesse des Eigentümers lag. Demnach war die einzige Möglichkeit ein separater Anschluss ans öffentliche Netz. Wie auch im Calwer Markt wurde hierfür ein Netzanschluss bei der Netze BW GmbH angefragt. Das Angebot beinhaltete eine maximal mögliche Anschlussleistung von 44 kW bei einem tragbaren Preis. Leider wurde dieses Angebot im Laufe des Projekts revidiert, da die versprochenen 44 kW wohl doch nicht realisiert werden konnten. Die letzte Möglichkeit war der Wechsel der Seite des Parkhauses für die elektrische Zuleitung. Statt wie zuvor geplant auf der Straßenseite, sollte nun die Zuleitung von der Nagoldseite erfolgen. Glücklicherweise stand noch ausreichend Anschlussleitung zur Verfügung. Auf Grund der extrem hohen Kosten für die gewünschte Anschlussleistung (> 100.000 €) hat man sich für eine geringere Anschlussleistung zu einem angemessenen Preis ausgesprochen.

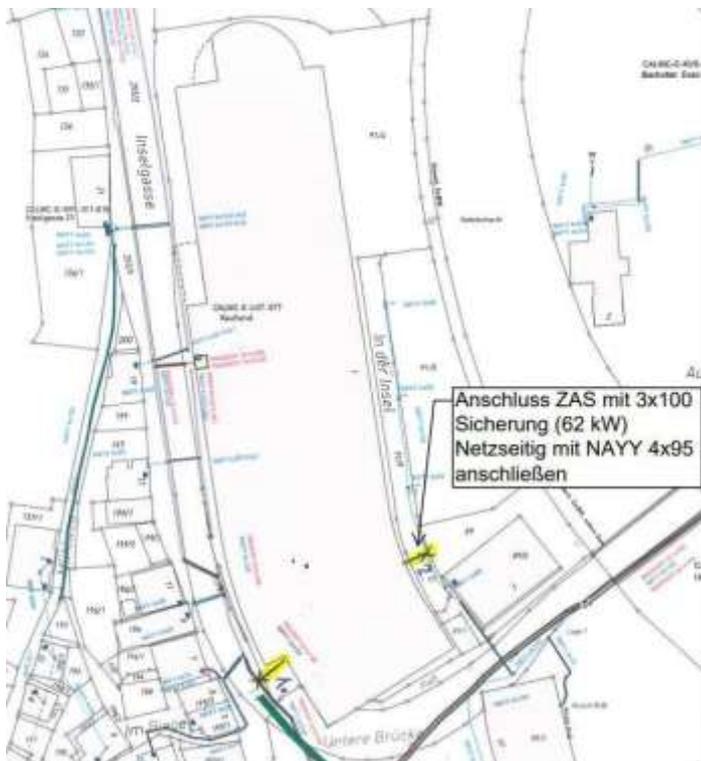


Abbildung 4: Anschlussstellen



Abbildung 5: Innenaufnahmen Parkhaus Kaufland

Arbeitspaket 2 - Untersuchung und Auswahl der LIS und Steuerung des dynamischen Lastmanagements

Autoren: deer GmbH – Gall, Epple, Behrendt

Auswahl der Ladeinfrastruktur

Zu aller erst ging es um die Fragestellung: Wallbox oder Ladesäule? Folgende Kriterien wurden hierbei betrachtet:

- Flexibilität bei der Montage
- Sicherheit
- Platzbedarf
- Nutzerfreundlichkeit
- Schutz vor Vandalismus

Die Wahl fiel schlussendlich auf die Wallbox, da eine Wallbox verschiedene Anbringungsmöglichkeiten bietet. Sie kann an der Wand, von der Decke hängend und auf Ständern am Boden montiert werden. Eine Ladesäule kann im Normalfall nur am Boden montiert werden. Zudem bietet die Ladesäule den sicherheitstechnischen Nachteil, dass man einen Abstand von mindestens 1,25 Meter zur dahinterliegenden Wand einhalten muss. Dieser zusätzliche Platzbedarf, in Kombination mit der größeren Bauform sprachen gegen die Ladesäule. Die gute Nutzerfreundlichkeit einer Ladesäule durch ein festangeschlagenes Kabel und der bessere Vandalismus Schutz können auch bei der Wallbox sichergestellt werden, da der Bereich der Parkhäuser kameraüberwacht ist und festangeschlagene Kabel zur Wallbox mitbestellt werden können.

Welche Wallbox wird verbaut?

Durch die jahrelange Erfahrung bezüglich der Installation und den Betrieb von Wallboxen fiel die Entscheidung hierbei auf den bewährten Wallbox-Hersteller Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG. Das Produkt, die AMTRON Professional PnC 22 C2, passt optimal zu den Voraussetzungen des Projektes. Die Wallbox ist abrechenbar und backendfähig, was die Nutzung als öffentlicher Ladepunkt möglich macht. Zudem bietet sie die Möglichkeit des Plug and Charge Ladens, was die Bedienbarkeit in Zukunft deutlich verbessern dürfte.

Leider gab es enorme Lieferprobleme beim Hersteller Mennekes, weshalb die Wallboxen eine Lieferverzögerung von insgesamt sechs bis neun Monaten aufwiesen.

Welcher Anbieter für das dynamische Lastmanagement?

Zu Projektbeginn wurde definiert, dass das Lastmanagement dynamischer gesteuert sein sollte, um die vorhandene Energie eines Bestandsparkhauses komplett auszuschöpfen.

Da die deer GmbH bereits gute Erfahrungen mit dem Anbieter Olmatic gemacht hatte, wurde dieser als Anbieter für eines der Parkhäuser ausgesucht. Das zweite Parkhaus sollte durch die Lösung des Herstellers GridX gesteuert werden. Da das Angebot von GridX deutlich teurer war, als das Angebot von Olmatic, wurde sich dafür ausgesprochen, dass beide Parkhäuser durch die Lösung des Anbieters Olmatic gesteuert werden sollten.

Arbeitspaket 3 – Erfassung und Analyse der energetischen Lasten

Autoren: Hochschule für Technik Stuttgart – Dreher, Bode, Gaspers, Elangovan

Ergebnisse der allgemeinen Literaturrecherche zum Lastenmanagement

2019 wurden in Baden-Württemberg rund 57,2 Terawattstunden (TWh) Strom erzeugt. Der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung stieg auf 31 Prozent und erreichte damit einen neuen Höchstwert (2009: 15 Prozent). Verbraucht wurden im Südwesten 2019 insgesamt 72,1 TWh Strom. Der im Land selbst erzeugte Strom deckte damit rund 79 Prozent des Stromverbrauchs. Die restlichen knapp 21 Prozent wurden per Saldo von anderen Bundesländern und dem Ausland eingeführt (vgl. Abbildung 6).

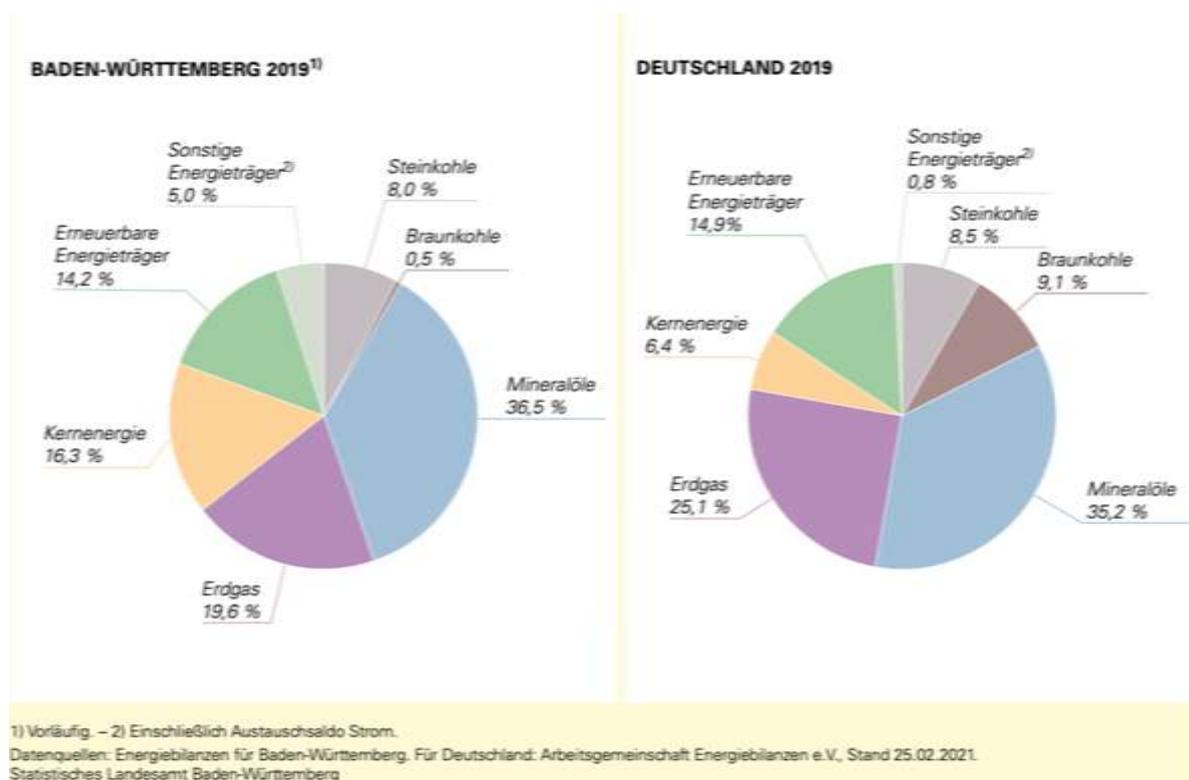
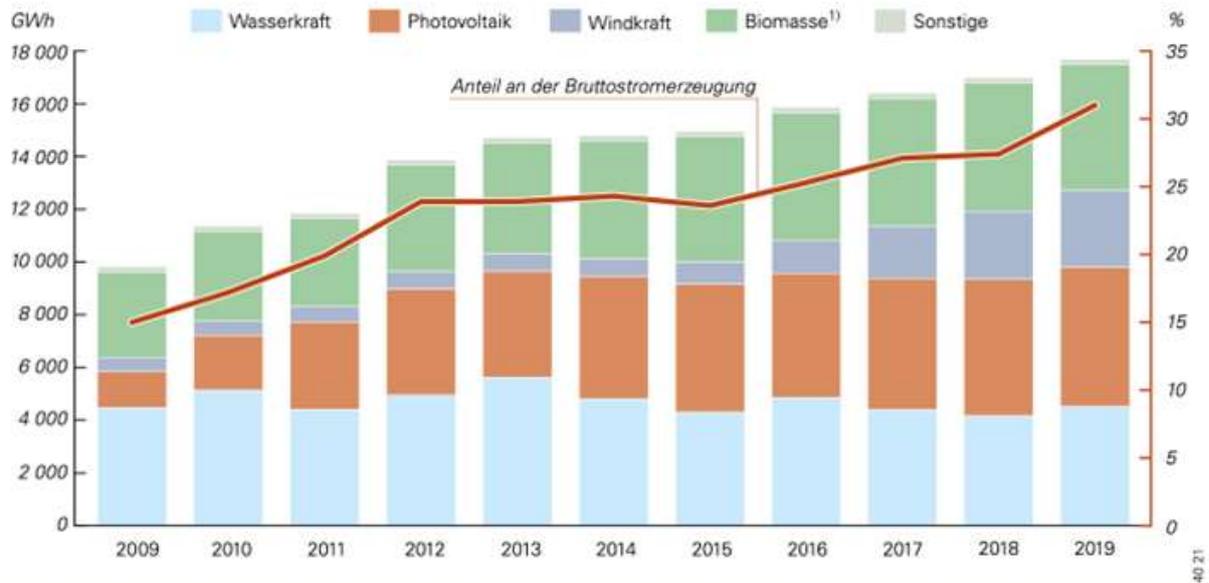


Abbildung 6: Stromerzeugung- und Verbrauch in Baden-Württemberg und Deutschland (vgl.: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg und Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021)

Ein zusätzlich wachsender Anteil an fluktuierenden Energiequellen erhöht den Bedarf nach Lastmanagement auf der Seite der Verbraucher (vgl. Abbildung 7).

ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIETRÄGER



1) Seit 2015 einschließlich Bruttostromerzeugung aus Klärgas in Industriekraftwerken.
 Datenquelle: Energiestatistiken nach EnStatG, eigene Berechnungen, Stand 09.12.2020.
 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Abbildung 7: Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung (vgl.: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg und Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021)

In einer Betrachtung des Energieverbrauchs nach Sektoren wird deutlich, dass der Verkehrssektor den größten Anteil am Energieverbrauch ausmacht. Entsprechend ist ein Lastenmanagement in diesem Bereich besonders wichtig, um auf eine fluktuierende Erzeugung reagieren zu können.

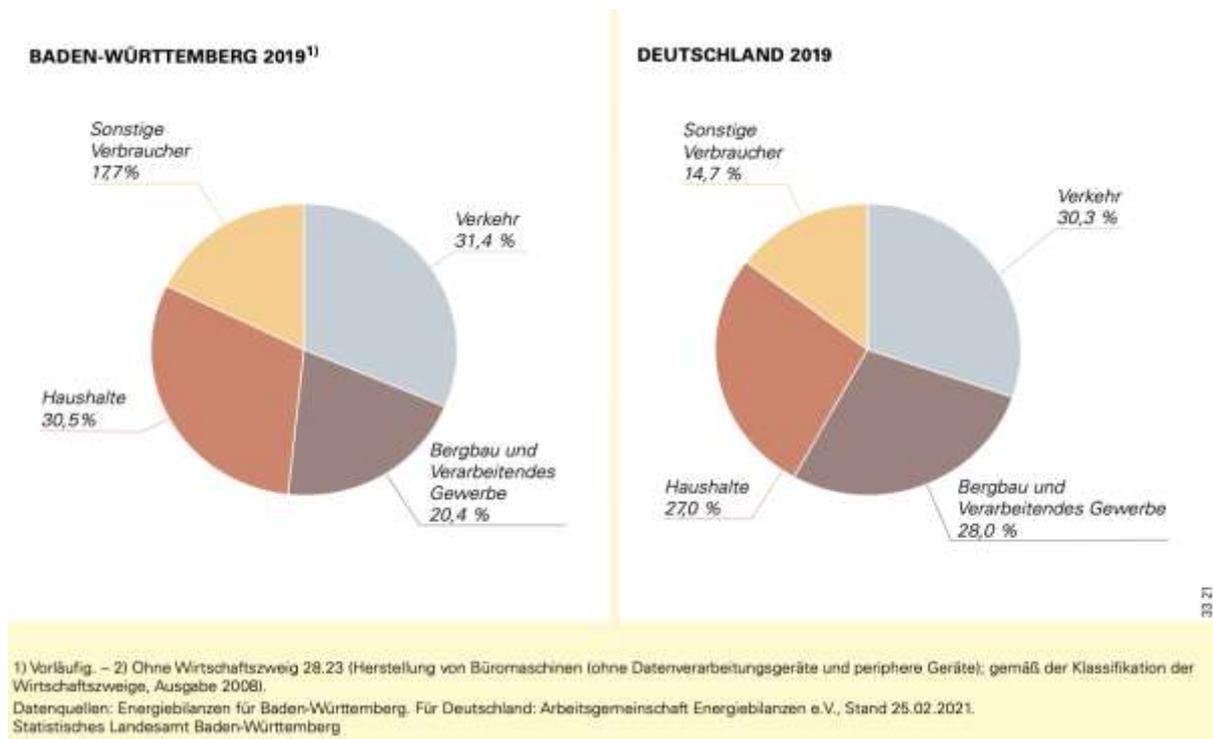


Abbildung 8: Energieverbrauch nach Sektoren (vgl.: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg und Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021)

Eine Studie Connect Energy Economics aus dem Jahr 2015 im Auftrag der Agora Energiewende bestätigt die wachsende Bedeutung von Lastenmanagement bei einem Anstieg des Anteils regenerativer Energien. Hierbei gibt es verschiedene Arten von Lastflexibilität: den Lastverzicht oder die Lastverschiebung (vgl. Abbildung 9). Auf dieser Annahme beruhend kann der Ansatz des Forschungsprojekts ILEF in den Bereich der Lastenverschiebung eingeordnet werden. Zudem wird ein kurzfristig regelbares Lastenmanagement angestrebt.

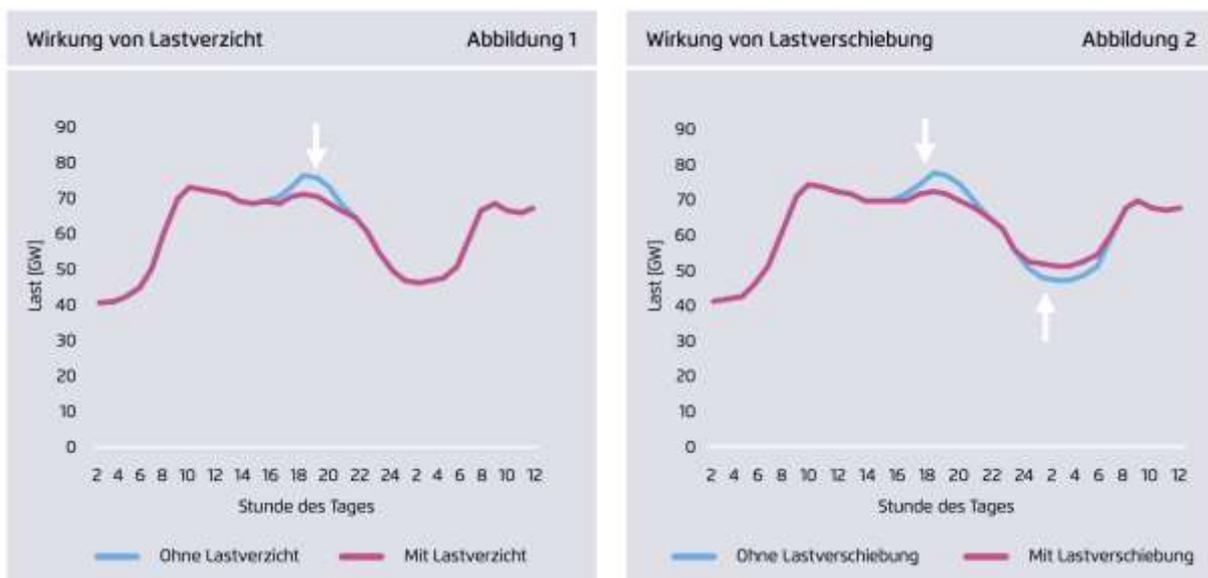


Abbildung 9: Wirkung von Lastverzicht und Lastverschiebung (vgl. Connect Energy Economics, 2015)

Auf diesen ermittelten Daten wird die Relevanz des Projekts ILEF bestätigt. Darauf aufbauend sollen die Präferenzen und Bedarfe der Ladeinfrastruktur auf einer allgemeinen Datenbasis erläutert werden.

In einer Betrachtung der Verteilung der Ladeinfrastruktur nach Use-Cases ergibt sich die in der nachfolgenden Abbildung dargestellte Verteilung.

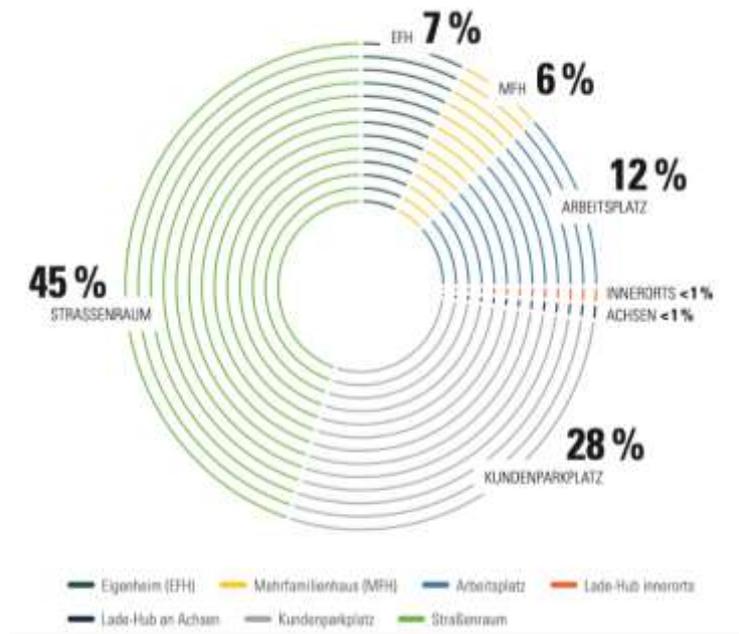


Abbildung 10: Fahrwege verteilt auf Lade-Use-Cases (vgl. BMVI und Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur)

Für das Projekt ILEF ergibt sich aus der vorangegangenen Statistik ein Anteil von 28% der auf Kundenparkplätze entfällt. In einer Betrachtung der belegten Ladepunkte für den Use-Case der Kundenparkplätze ergeben sich die nachfolgenden Ganglinien untergliedert nach Tageszeit und Wochentage.

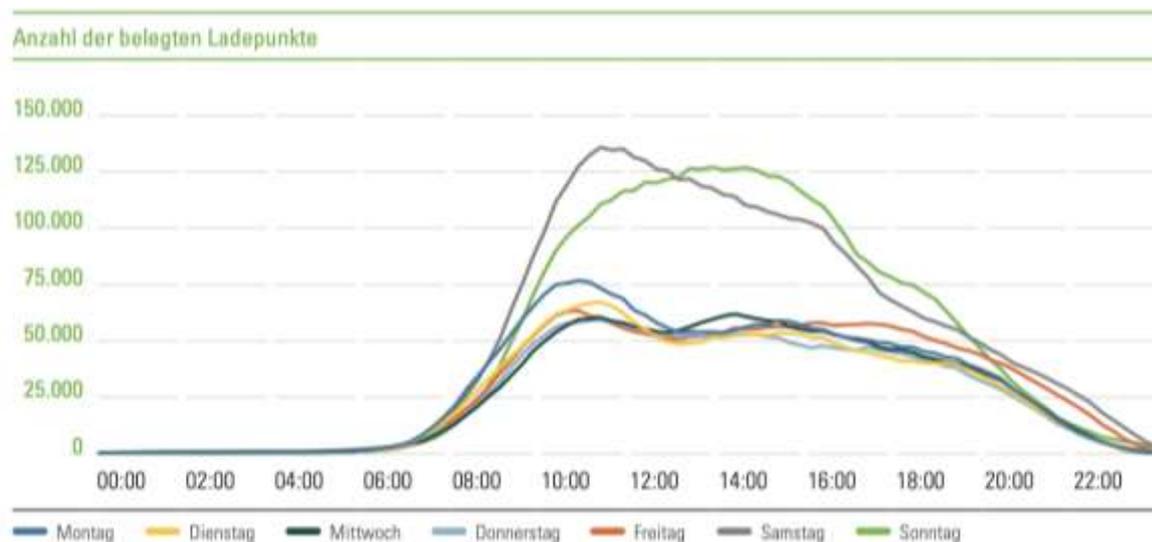


Abbildung 11: Ganglinien der Anzahl der belegten Ladepunkte auf Kundenparkplätzen (BMVI und Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur)

In einer Betrachtung der prognostizierten E-Fahrzeuge für Deutschland auf Basis der Cleanroom-Gespräche ergeben sich die, in der nachfolgenden Abbildung dargestellten, Zahlenwerte.

Antriebstechnologie	Bezug zu Ergebnissen	2025	2030
		PHEV	Spannbreite
	Median	2,4 Mio.	5,2 Mio.
	VDA	0,9 Mio.	3,3 Mio.
BEV	Spannbreite	2,8 bis 4,8 Mio.	7,9 bis 19,4 Mio.
	Median	3,1 Mio.	9,6 Mio.
	VDA	1,8 Mio.	7,2 Mio.

Abbildung 12: Prognostizierte E-Fahrzeuge für 2025 und 2030 (BMVI, Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur)

Entsprechend der Prognose der Anzahl der E-Fahrzeuge existieren Szenarien zur Verteilung der Ladevorgänge auf öffentliche bzw. private Ladeinfrastrukturen.



Abbildung 13: Verteilung von Ladevorgängen auf öffentliche bzw. private Ladeinfrastrukturen (BMVI und Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur)

Entsprechend lässt sich ein Verhältnis von E-Fahrzeugen zu öffentlich zugänglichen Ladepunkten bis 2030 für die unterschiedlichen Raumtypologien ableiten (vgl. Abbildung 14).



Abbildung 14: Verhältnis von E-Fahrzeugen zu öffentlichen Ladepunkten (BMVI und Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur)

In Summe ergibt sich eine verladene Energiemenge für unterschiedliche Typen von Ladepunkten im Jahr 2030.

Untersuchtes Szenario im Jahr 2030	Durchschnittlich verladene Energiemenge je Ladepunkt in kWh/Tag					
	Privater Stellplatz am Wohnort	3 Arbeitgeber	4 Lade-Hub innerort	5 Lade-Hub an Achsen	6 Kunden-parkplatz	7 Straßenraum
Referenzszenario	5,2	9,3	172,5	200,6	33,4	28,5
Geringe Verfüg. private LP	5,2	9,8	184,4	204,0	36,3	30,8
Hohe Verfüg. private LP	5,1	8,8	161,5	197,0	30,1	24,3
Digitale Angebote	5,2	9,3	214,7	231,1	36,9	29,6
Parkraum-bewirtschaftung	5,2	9,9	216,1	234,4	38,6	31,3
HPC-Laden	5,2	10,3	222,1	236,4	40,6	32,6

Abbildung 15: Verladene Energiemenge je Ladepunkt und Typ im Jahr 2030 (BMVI und Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur)

Aus der vorangegangenen Recherche lässt sich ableiten, dass auf Basis der ermittelten Daten und Zusammenhänge ein Simulationstool entwickelt wird, mit welchem der Bedarf für Ladepunkte ermittelt werden kann. Das erarbeitete Tool wird im nachfolgenden Teilkapitel erläutert.

Simulationstool für den Bedarf an Ladepunkten bei Bestandsparkplätzen

Die im Rahmen der vorangegangenen Recherche ermittelten Daten und Rahmenbedingungen werden unter der Kategorie Prämissen zusammengefasst. Sie bilden die Basisgrößen der Berechnung des Bedarfs für Ladepunkte. Die „Prämissen“ sind editierbar und können an die Entwicklungen im Bereich der E-Mobilität angepasst werden.

Im Bereich der Daten der Bestandsparkplätze wird die Anzahl der vorhandenen Parkplätze angegeben. Zudem kann für den Grund des Aufenthalts zwischen den Angaben Arbeitsplatz, Pendeln, Einkauf und Gemischt ausgewählt werden. Für die Raumtypen stehen die Kategorien Ländlich, Urban und Suburban zur Auswahl. Nach der Anpassung dieser individuellen Eingangsgrößen wird das Ergebnis als simulierter Bedarf angegeben. Neben der Anzahl der Ladepunkte wird auch die maximale Anschlussleistung mit und ohne Lastenmanagement angegeben, sowie die jährliche Energiemenge berechnet. Eine beispielhafte Berechnung des Tools ist in der nachfolgenden Abbildung angegeben. Das programmierte Tool wird als Excel-Datei zusätzlich zum Bericht eingereicht.

Simulation des Lade-Bedarfs für Parkplätze

Simulation für 2038

Prämissen (vorbefüllt, editierbar)

Anteil BEV & PHEV am Bestand	31,27%
PKW-Bestand aller Antriebe	48.000.000
Anzahl privater Ladepunkte DE	8.700.000
Anzahl Ladepunkte Arbeitsplatz DE	2.700.000
Anteil Ladevorgänge im öfftl. Raum	24%
⊗ Fahrleistung pro Jahr	13.700 km
⊗ elektrische Reichweite	200 km
Max. Ladestand bei Start Ladevorgang	60%
⊗ Ladehäufigkeit (Tage/Ladung)	2,13

Daten Parkplätze (Eingabe)

Anzahl Parkplätze	240
Grund des Aufenthalts	Arbeitsplatz
Raumtyp	Ländlich

Simulierter Bedarf (Ergebnis)

Anzahl Ladepunkte	15,0
Max. Anschlussleistung ohne Lastmanagement	330,0 kW
Anschlussleistung mit Lastmanagement	82,5 kW
Jährliche Energiemenge	2.258,438 kWh

Abbildung 16: Simulationstool zur Ermittlung des Bedarfs an Ladepunkten für Bestandsparkplätze

In Ergänzung des programmierten Tools wurde eine Oberfläche für das Tool erarbeitet, welche auf Webseiten oder Apps eingesetzt werden kann (vgl. Abbildung 17).

Home ×

Ladebedarf Simulator

https://www.hft-stuttgart.de/Ladebedarfsimulator

Simulation des Ladebedarfs für Parkplätze

RAHMENBEDINGUNGEN (editierbar)

Anteil BEV & PHEV am Bestand	31,27%	⊗ Fahrleistung pro Jahr	13.700 km
PKW Bestand aller Antriebe	48.000.000	⊗ elektrische Reichweite	200 km
Anzahl privater Ladepunkte in DE	8.700.000	max. Ladestand bei Start Ladevorgang	60%
Anzahl Ladepunkte Arbeitsplatz DE	2.700.000	⊗ Ladehäufigkeit (Tage/Ladung)	2,13
Anteil Ladevorgänge im öfftl. Raum	24%		

DATEN PARKPLÄTZE

Anzahl der Parkplätze: Grund des Aufenthalts: Raumtyp:

ERGEBNIS

Ladepunkte	max. Anschlussleistung ohne Lastmanagement	Jährliche Energiemenge
	Anschlussleistung mit Lastmanagement	

Abbildung 17: Oberfläche des Simulationstools

Ergebnisse der Analyse der energetischen Lasten in den Demonstrationsprojekten

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde eine Untersuchung zu den energetischen Lasten in den Demonstrationsprojekten durchgeführt. Die Datenbasis erstreckt sich hierbei über die Jahre 2017-2021. Alle untersuchten Daten wurden vom Projektpartner deer GmbH zur Verfügung gestellt. Da im Parkhaus Kaufland bislang keine Ladeinfrastruktur installiert ist, wurden Vergleichsdaten des Parkhaus Sparkasse herangezogen.

Zunächst wurde die prozentuale Verteilung der geladenen Energie und der Ladeleistung untersucht (vgl. Abbildung 18).

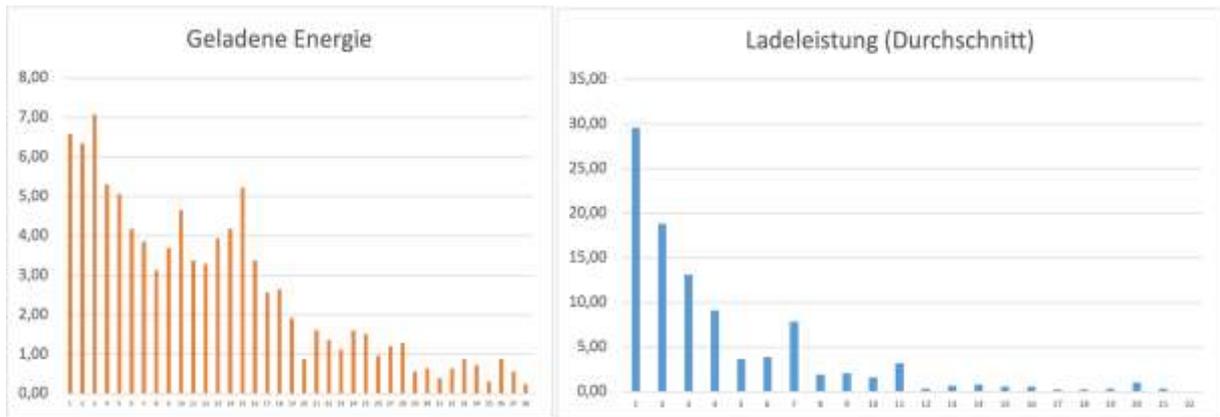


Abbildung 18: prozentuale Verteilung der geladenen Energie und der Ladeleistung

Im Durchschnitt werden Ladeleistungen über 11kW nicht überschritten. Die Mehrheit der Ladevorgänge umfasst im Durchschnitt weniger als 4 kW. Es besteht folglich ein erhebliches Potenzial für das Management der Lastspitzen, wenn eine Spitzenlast von 11 bzw. 22 kW je Ladepunkt betrachtet wird. Insgesamt hat die Mehrheit der Ladevorgänge eine Energiemenge von 10 kWh nicht überschritten. Sofern die Standzeit nicht der begrenzende Faktor war, deutet dies auf eine relativ volle Batterie schon zu Beginn der Ladevorgänge hin. Die geringe durchschnittliche Ladeleistung lässt vermuten, dass eine zu kurze Standzeit die Ladeleistung nur selten beschränkt hat. Der durchschnittliche Energiebedarf wird entsprechend nicht wesentlich über 10 kWh liegen.

Mit dem Tool Boxplot wurde die Entwicklung der Ladeleistung über die ausgewerteten Jahre analysiert.

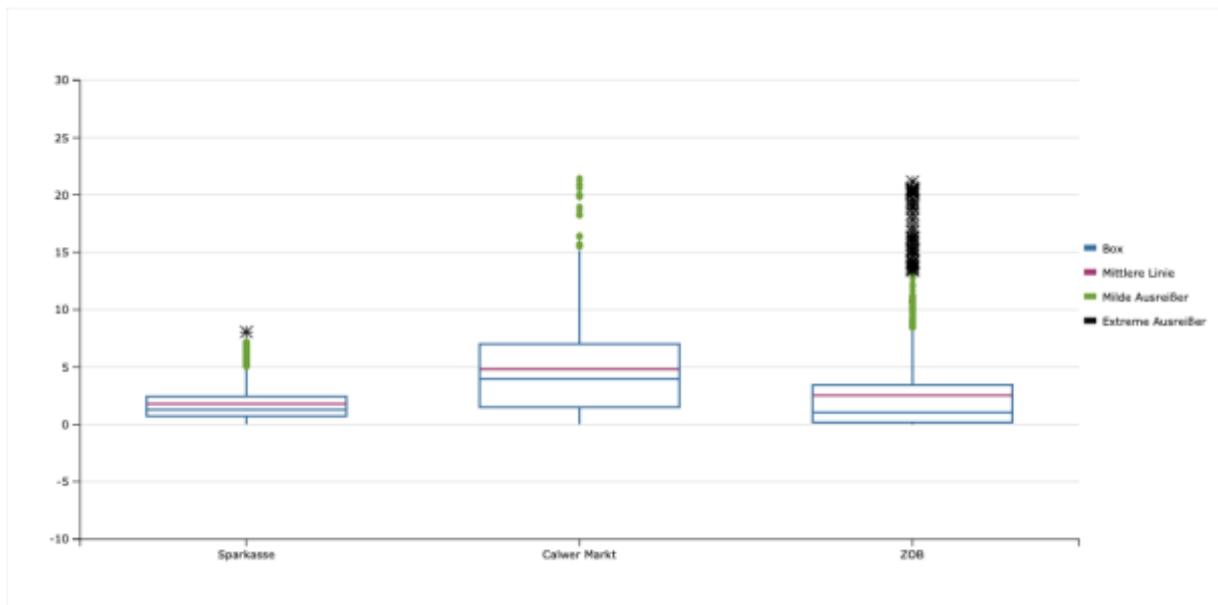


Abbildung 19: Ladeleistung in den unterschiedlichen Parkhäusern

In der Analyse wird der Unterschied der Ladedauer zwischen Ladevorgängen bei der Arbeit bzw. an Pendler-Parkplätzen im Vergleich kurzzeitigeren Aufenthalten deutlich. So beträgt die durchschnittliche Ladedauer am Parkhaus Sparkasse 14,83 h, am Parkhaus ZOB 19,2 h, am Parkhaus Calwer Markt jedoch nur 2,65 h. Über die Dauer eines kompletten Arbeitstags könnte, bei einer Wallbox mit 11 kW Ladeleistung, fast jedes Fahrzeug vollständig geladen werden. Entsprechend ist die durchschnittliche Ladeleistung auf den Parkplätzen mit einer längeren Verweildauer deutlich geringer. Diese liegt bei 1,79 bzw. 2,52 kW im Vergleich zu 4,81 kW. Bis zum dritten Quartil (75%) kann die Ladeleistung bei den ‚Langzeit-Parkern‘ schon mit 2,43 bzw. 3,44 kW abgedeckt werden, bei den kurzzeitigen Aufenthalten mit 7,00 kW. Eine Ladeleistung von mehr als 8 kW ist entsprechend bei den ‚Langzeit-Parkern‘ nicht sinnvoll, da nur statistische Ausreißer über dieser Ladeleistung liegen. Bei den kurzzeitigen Aufenthalten liegen die statistischen Ausreißer über 15 kW, d.h. hier besteht seitens der Kunden Bedarf nach einer deutlich höheren Ladeleistung. Entsprechend ist eine dynamische Regulierung der Spitzen sinnvoll.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde zudem die geladene Energie in den unterschiedlichen Parkhäusern untersucht. Die Ergebnisse werden in Abbildung 20 dargestellt.

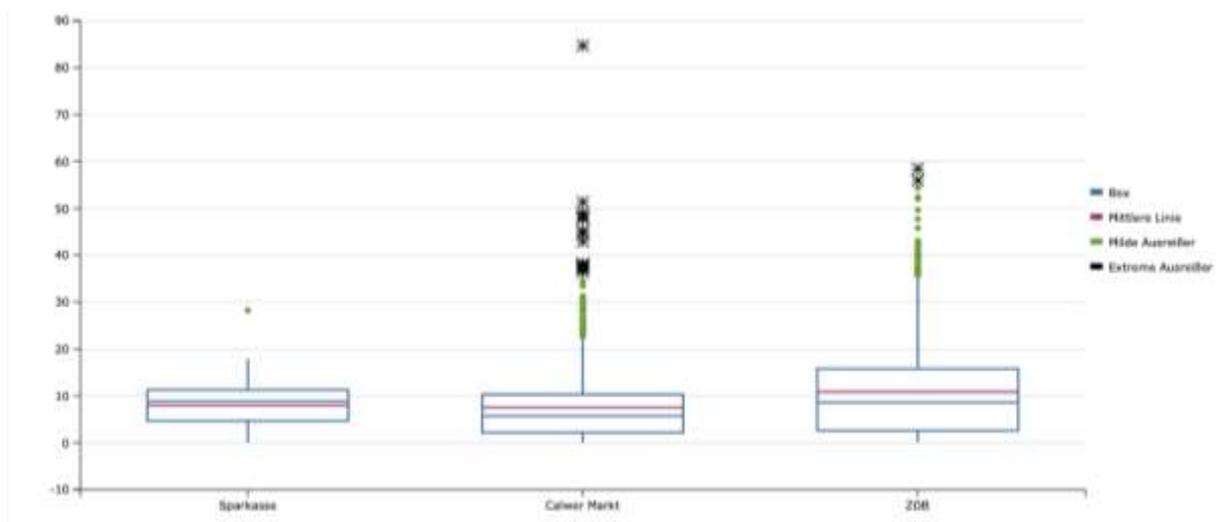


Abbildung 20: Geladene Energiemenge in den untersuchten Parkhäusern

Bezüglich eines geplanten Lastmanagements ist die Energiemenge von nachrangigem Interesse. Besonders interessant hingegen ist die geringe Spreizung der geladenen Energiemenge am Arbeitsplatz am Parkhaus Sparkasse. Es ergibt sich entsprechend ein schmaler Boxplot von 4,68 bis 11,28 kWh. Dies ergibt eine relativ gute Planbarkeit des Bedarfs aufgrund der regelmäßigen Standzeiten der MitarbeiterInnen.

Die durchschnittlich kurzen Standzeiten am Calwer Markt sind mit einer relativ geringen Energiemenge verbunden. Der Median liegt hierbei bei 5,70 kWh.

Die Ergebnisse aller Untersuchungen an den Demonstrationsprojekten werden in der nachfolgenden Grafik zusammengefasst.

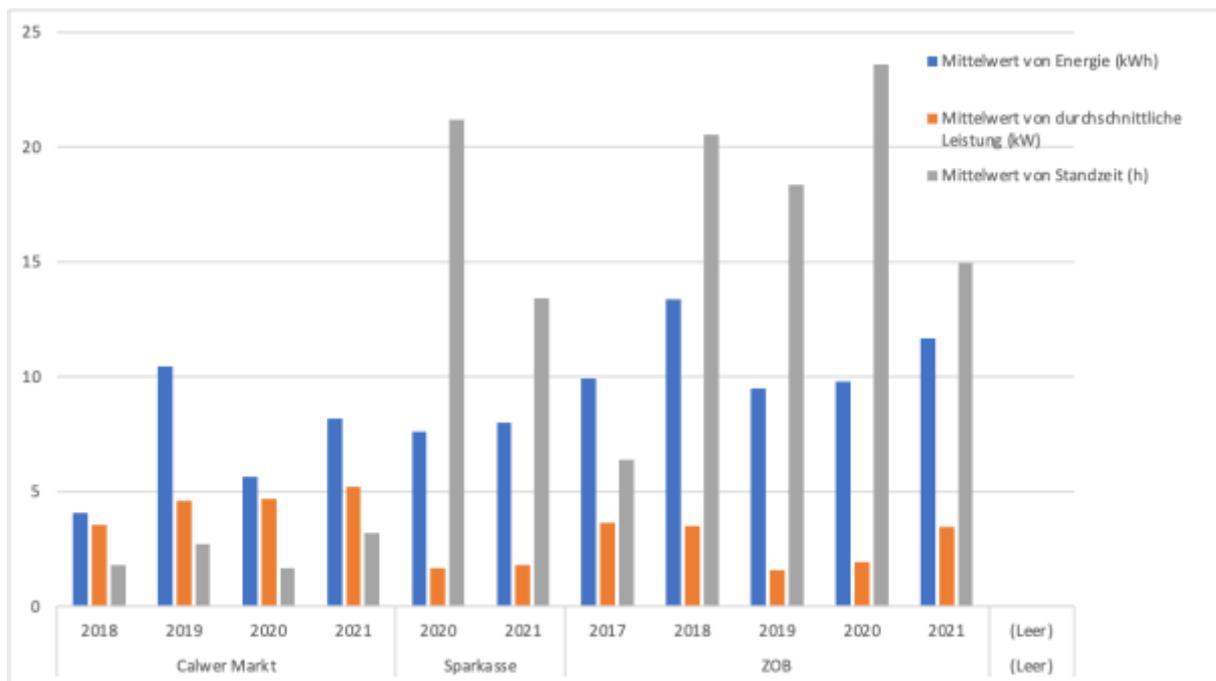


Abbildung 21: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der Demonstrationsobjekte

Arbeitspaket 4 - Vorbereitende Baumaßnahmen

Autoren: deer GmbH – Gall, Epple, Behrendt

Projekt Calwer Markt

KVS

Eine vorbereitende Baumaßnahme beinhaltete die Beschaffung eines Kabelverteilerschranks (KVS). Dieser Sicherungskasten wurde nach den Anforderungen der deer GmbH von der Fabian GmbH konfiguriert und hergestellt. Leider kam es beim Lieferanten zu enormen Lieferengpässen, sodass der KVS erst Monate nach den Bestellungen fertig bestückt werden konnte.

Elektrische Zuleitung

Im Zuge der Legearbeiten der Kabel musste eine Kernlochbohrung zum Aufzugsschacht vorgenommen werden. Aufgrund der örtlichen Brandschutzvorschriften wurde dieser im Nachgang fachmännisch abgeschottet. Die Kabel (insgesamt 68 m Kabelweg) wurden von dem im EG befindlichen Hausanschlusskasten (inkl. Verteiler) bis hin zum KVS gelegt. Hierfür wurden Kabel mit einem Querschnitt von 5x35mm² gewählt. Um eine optisch saubere und sicherheitstechnisch einwandfreie Lösung zu gewährleisten, wurden zum Schutz der Kabel, Kabelkanäle und Kabelrinnen installiert.

Wallboxmontage

Um die Wallboxmontage vorzubereiten, wurden entsprechende Halterungen konstruiert und montiert. Die Halterungen bestehen aus Montageplatten und ermöglichen eine beidseitige Halterung.

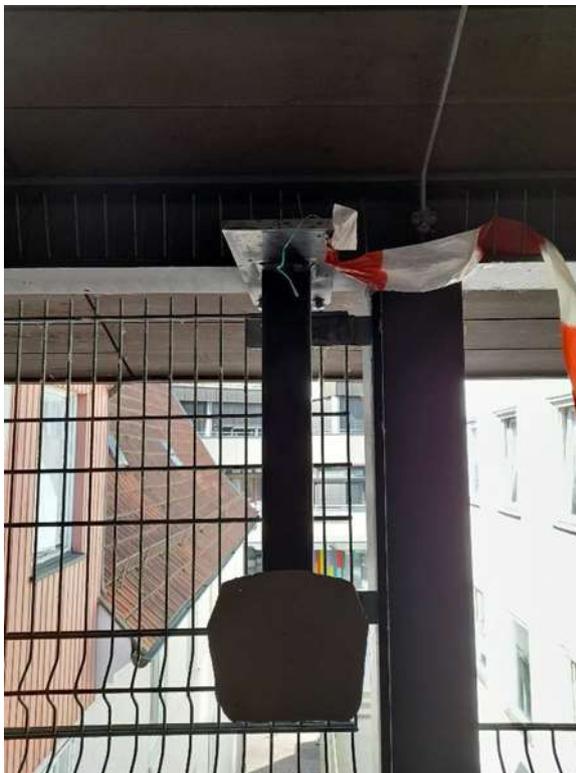


Abbildung 22: Halterungen für Wallboxmontage

Projekt Kaufland

KVS

Wie auch im Fall von Calwer Markt wurde auch im Kaufland ein KVS nach den Anforderungen der deer GmbH von der Fabian GmbH konfiguriert und hergestellt. Leider war auch diese Bestellung von den Lieferengpässen des Lieferanten betroffen.

Elektrische Zuleitung

Die Kabel (insgesamt 27 m Kabelweg) wurden vom in 25 m entfernten Netzanschluss bis zum obersten Parkdeck gelegt. Hierbei wurden die Kabel an der Hausfassade entlang gelegt, welches das Arbeiten mit entsprechendem Sicherungsgurt notwendig machte.

Um eine optisch saubere und sicherheitstechnisch einwandfreie Lösung zu gewährleisten, wurden zum Schutz der Kabel, Kabelkanäle installiert und Leerrohre gezogen.

ZAS

Um eine Zählung der Strommenge aus dem öffentlichen (ungezählten) Netz zu gewährleisten, wurde eine Zähleranschluss säule (ZAS) installiert. Der Anschluss erfolgt durch die Unterstützung des Netzbetreibers Netze BW GmbH.

Arbeitspaket 5 - Installation der Ladeinfrastruktur

Autoren: deer GmbH – Gall, Epple, Behrendt

Projekt Calwer Markt

Elektrische Zuleitung

Nach Abschluss der vorbereitenden Baumaßnahmen wurde ausgehend vom KVS, jeweils eine Zuleitung zu den einzelnen Wallboxen installiert. Hierfür wurden insgesamt ca. 1500 m NYY Kabel mit einem Kabel-Querschnitt von 5x10mm² gewählt.

Netzwerk

Im Rahmen der Installation wurden insgesamt ca. 1500 m CAT7-Netzwerkkabel vom Netzwerkschrank zu den einzelnen Wallboxen gezogen. Diese dienen dazu, die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten sicherzustellen. Der im Netzwerkschrank befindliche Switch verteilt die Daten zwischen den einzelnen Komponenten und stellt die Intelligenz der Ladevorgänge und der damit einhergehenden Backendeinbindung sicher. Da der KVS aufgrund der geringen Platzverhältnisse nicht ausreichend groß dimensioniert werden konnte, wurde ein separater Netzwerkschrank an einem getrennten Ort installiert.

Wallboxen

Anschließend fand die Installation der Wallboxen, an den dafür vorgesehenen Montageplatten statt.



Abbildung 23: Wallboxen und deer Fahrzeug am Standort Calwer Markt

Projekt Kaufland

Elektrische Zuleitung

Nach Abschluss der vorbereitenden Baumaßnahmen wurde ausgehend vom KVS, jeweils eine Zuleitung zu den einzelnen Wallboxen installiert. Hierfür wurden insgesamt ca. 800 m NYY Kabel mit einem Kabel-Querschnitt von 5x10mm² gewählt.

Netzwerk

Wie auch im Calwer Markt wurde die intelligente Kommunikation, wie oben beschrieben, durch eine Direktverbindung der einzelnen Wallboxen per CAT7-Netzwerkkabel an den Netzwerkschrank sichergestellt. Anders als beim Calwer Markt ist in diesem Fall, jedoch ausreichend Platz im KVS vorhanden, was die Installation eines externen Netzwerkschranks überflüssig machte.

Wallboxen

Anschließend fand die Installation der Wallboxen an den dafür vorgesehenen Stehlen statt.



Abbildung 24: Installation der Wallboxen Projekt Kaufland



Abbildung 25: Fertigstellung der Wallboxen Projekt Kaufland



Abbildung 26: Verlauf der Zuleitung

Arbeitspaket 6 – Umsetzung des dynamischen Lastmanagements

Autoren: deer GmbH – Gall, Epple, Behrendt

Voraussetzungen

Calwer Markt

Voraussetzung für die Installation und Inbetriebnahme des dynamischen Lastmanagements, sind die Hauptsicherungen im Hausanschlusskasten mit 160 A sowie die neu in Betrieb gegangenen Wallboxen.

Kaufland

Voraussetzung für die Installation und Inbetriebnahme des dynamischen Lastmanagements sind die Hauptsicherungen im Hausanschlusskasten mit 100 A sowie die neu in Betrieb gegangenen Wallboxen.

Vorgehen (Ablauf oder Inbetriebnahme)

Um sowohl die Wallboxen als auch das Gebäude als Verbraucher in das dynamische Lastmanagement mitaufzunehmen, kam ein Mitarbeiter der Firma Olmatic GmbH in beide Parkhäuser vor Ort. Hierfür installierte er die entsprechende Hardware im Hauptverteiler und in den Unterverteilerschränken, um die Gebäudeüberwachung zu gewährleisten. Die Inbetriebnahme des dynamischen Lastmanagements erfolgte ohne Zwischenfälle direkt im Anschluss.

Projekt Calwer Markt

Abnahmeprotokoll Installation

Deer GmbH PH Calwer Markt, ILS, Calw



Projekt	
Projektnummer	Deer GmbH PH Calwer Markt, ILS, Calw
Projektbezeichnung	Deer GmbH PH Calwer Markt, ILS, Calw
Auftraggeber	deer GmbH Robert-Bosch-Straße 20, 75365 Calw
Auftragnehmer	Die Mehrwerker Wiesenstraße 33, 72221 Halterbach
Teilnehmer	Hr. Burghardt / Deer Hr. Piplack / Mehrwerker Hr. Tonhäuser / Olmatic

Abbildung 27: Abnahmeprotokoll Installation Calwer Markt



LinienID	Messpunkt	Beschreibung Messp.	Lokalisierung	Beschreibung Gerät	LoRa DevEUI	ID	NID	Bemerkung	Level
D00000370000001	HAP	Hauptversorgung	Ebene 0	EMU Professional II LoRa	10.2.c.f.f.f.e-01-00:83	X	---	N/A	P1
2	HAP	Hauptversorgung	Ebene 7	LoRa Gateway / Dragino		X	---	N/A	P1
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

Grund der Prüfung	
Neuinstallation	X
Änderung	N/A
Erweiterung	X
Wiederholungsprüfung	N/A
Instandsetzung	N/A

Geprüft nach	
VDE 0100-600	N/A
VDE 0105-100	X
Betriebsicherheit	N/A
Sonstige	N/A

Abbildung 28: Installations-/Abnahme und Prüfpunkte Calwer Markt



Projektnummer	Deer GmbH PH Calwer Markt, ILS, Calw
Abnahme erteilt	X
Abnahme NICHT erteilt	N/A
Begründung für NICHTERTEILUNG:	N/A
Abnahme trotz Mängel erteilt	N/A
Bemerkung Mängel	N/A

Abbildung 29: Abnahme Installation Calwer Markt

Projekt Kaufland

Abnahmeprotokoll Installation

Deer GmbH PH Kaufland Calw, ILS, Calw



Projekt	
Projektnummer	D0000037
Projektbezeichnung	Deer GmbH PH Kaufland Calw, ILS, Calw
Auftraggeber	deer GmbH Robert-Bosch-Straße 20, 75365 Calw
Auftragnehmer	Olmatic GmbH Herzog-Eberhard-Str 56 72250 Freudenstadt
Subunternehmer	Die Mehrwerker Wiesenstraße 33, 72221 Halterbach
Teilnehmer	Hr. Ziegler / Deer Hr. Piplack / Mehrwerker Hr. Tonhäuser / Olmatic

Abbildung 30: Abnahmeprotokoll Installation Projekt Kaufland

Installations-/Abnahme und Prüfpunkte

Deer GmbH PH Kaufland Calw, ILS, Calw



LizenzID	Messpunkt	Beschreibung Messpt	Lokalisierung	Beschreibung Gerät	LoRa DevEUI	ID	N/O	Bemerkung	Level
D00000370000002	HAP	hauptanschlusspunkt UV eMobility	UV eMobility	EMU Professional II LoRa	10:2c:ef:ff:fe:01:03:22	X	---	N/A	P1
SW-D00000370000000	HAP	gateway hap	UV eMobility	LoRa Gateway / Dragino	N/A	X	---	N/A	P1

Grund der Prüfung	
Neuinstallation	X
Änderung	N/A
Erweiterung	X
Wiederholungsprüfung	N/A
Instandsetzung	N/A

Geprüft nach	
VDE 0100-600	N/A
VDE 0105-100	X
Betriebssicherheitsvorschriften	N/A
Sonstige	N/A

Abbildung 31: Installations-/Abnahme und Prüfpunkte Projekt Kaufland

Abnahme Installation

Deer GmbH PH Kaufland Calw, ILS, Calw



Projektnummer	Deer GmbH PH Kaufland Calw, ILS, Calw
Abnahme erteilt	✓
Abnahme NICHT erteilt	N/A
Begründung für NICHTERTEILUNG:	N/A
Abnahme trotz Mängel erteilt	N/A
Bemerkung Mängel	N/A

Abbildung 32: Abnahme Installation Projekt Kaufland

Arbeitspaket 7 – Messung, Analyse und Auswertung der Lasten

Autoren: deer GmbH – Gall, Epple, Behrendt

Aufgrund der Verzögerungen in den vorangegangenen Arbeitspaketen konnte das Arbeitspaket 7 nicht mehr umgesetzt werden.

Grundsätzliche Probleme

Aufgrund von externen Faktoren, wie z.B. unvorhersehbaren wirtschaftlichen Veränderungen, daraus resultierenden Lieferengpässen und coronabedingten Personalausfällen, veränderte sich der Projektverlauf maßgeblich.

Wir sind dementsprechend zufrieden, die uns zugewiesenen Arbeitspakete erfolgreich bearbeitet und das Projekt fristgerecht abgeschlossen zu haben.

Arbeitspaket 8 – Akzeptanz- und Nutzungsanalyse

Autoren: Hochschule für Technik Stuttgart – Dreher, Bode, Gaspers

Verkehrserhebung - Erhebungskonzept

Erhebungskonzept

Im Rahmen des Forschungsprojekts ILEF Calw wird eine Untersuchung des Nutzerverhaltens in den Parkhäusern Calwer Markt und Kaufland mithilfe einer Verkehrserhebung durchgeführt. Durch die Ermittlung von Tagesganglinien für unterschiedliche Verkehrs- bzw. Wochentage werden belastbare Aussagen über das Nutzerverhalten ermöglicht.

Das vorliegende Erhebungskonzept orientiert sich an den EVE 2012 (Empfehlungen für Verkehrserhebungen) der FGSV.

Vorgehensweise

Um Tagesganglinien für die Parkhäuser zu ermitteln, ist eine Verkehrszählung an den Zufahrten erforderlich. Aus diesem Grund wird als Erfassungsmethodik eine Querschnittszählung gewählt. Hierbei werden alle Fahrzeuge erfasst, die den Querschnitt innerhalb des Erhebungszeitraums durchfahren. In der Regel ist es für eine Verkehrszählung erforderlich, bei der Auswertung eine Klassifizierung nach Fahrzeugklassen vorzunehmen. Da die Parkhausstandorte jedoch lediglich von PKW genutzt werden, kann dieser Schritt entfallen.

Die Erhebung findet mithilfe von Radargeräten der Firma Sierzega statt, die an den Zufahrten zu den Parkhäusern angebracht werden. Im Gegensatz zur manuellen Zählung mithilfe von Personal, kann so ein längerer Zeitraum abgedeckt werden. Die ursprünglich angedachte Erhebung mittels Kamertechnik wurde zugunsten eines längeren Erhebungszeitraums und besseren Datenschutzes mit den Radargeräten verworfen.

Die Radargeräte ermöglichen technisch gesehen neben der Ermittlung der Anzahl der Fahrzeuge auch die Möglichkeit, Fahrzeuglängen und den Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen zu erfassen. Aufgrund der geringen Geschwindigkeiten, die an den Ein- und Ausfahrten der Parkhäuser gefahren werden, sind diese Angaben jedoch nicht belastbar und können nicht verwertet werden.

Die anschließende Auswertung kann aufgrund der geringen Zahl an Verkehrsströmen teilweise automatisiert erfolgen. Eine Erfassung bzw. Auswertung über die Kennzeichen oder Individuen ist mithilfe der eingesetzten Technik nicht möglich.

Erhebungszeitraum

Das Ziel der Erhebung ist es, Tagesganglinien für unterschiedliche Verkehrs-/Wochentage zu generieren. Im Erhebungszeitraum gibt es keine Ferien oder Feiertage, da diese ein geändertes Nutzerverhalten bedeuten können. Gegebenenfalls wird eine ergänzende Erhebung für diese Verkehrstage zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt. Durch den Einsatz der Radargeräte konnten folgende Zeiträume abgedeckt werden:

<i>Parkhaus Calwer Markt:</i>	Start:	Mi, 16.03.2022 07:00 Uhr
	Ende:	Sa, 26.03.2022 18:00 Uhr

Parkhaus Kaufland: Start: Mi, 16.03.2022 07:00 Uhr
Ende: Sa, 26.03.2022 18:00 Uhr

Durch den Erhebungszeitraum von 10 Tagen können Aussagen zu allen Verkehrstagen getroffen werden und belastbare Tages- und Wochenganglinien ermittelt werden. Durch die eingesetzte Erfassungstechnik können neben den Hauptverkehrszeiten auch die Nebenverkehrszeiten erfasst werden.

Erhebungsdesign am Parkhaus Calwer Markt

Am Parkhaus Calwer Markt ist die Zufahrt ausschließlich über die Lederstraße möglich. Dementsprechend wird das Erfassungsgerät an dieser Zufahrt angebracht (vgl. Abbildung 33). Da derselbe Querschnitt auch als Ausfahrt des Parkhauses genutzt wird, können sowohl ein- als auch ausfahrende Fahrzeuge gleichermaßen erfasst werden. Hierzu sind eventuell durch eine Gegenüberstellung Rückschlüsse über die Aufenthaltsdauer möglich.



Abbildung 33: Standort Radargerät am Parkhaus Calwer Markt. Eigene Darstellung auf Basis von OSM

Nach der Montage des Radargeräts wurde eine Kalibrierung durchgeführt. Hierfür wurde in definierten Zeitintervallen eine manuelle Zählung durchgeführt, um gegebenenfalls Korrekturfaktoren festlegen zu können.

Für den Standort Calwer Markt konnte in diesem Zusammenhang keine Abweichung zwischen manuell und automatisiert erfassten Daten festgestellt werden. Dementsprechend ist kein Korrekturfaktor notwendig.

Basisdaten Parkhaus Calwer Markt

Eingesetztes Erfassungsgerät: Sierzega SR4 (Gerät 8782)

Einfahrende sind definiert als „+ - Richtung“, Ausfahrende sind definiert als „- - Richtung“

Erhebungsdesign am Parkhaus Kaufland

Am Parkhaus Kaufland erfolgt die Zufahrt über die Rampe an der Inselgasse. Dementsprechend wird das Erfassungsgerät dort angebracht (vgl. Abbildung 34). Die Ausfahrt für das Parkhaus Kaufland erfolgt

über eine räumlich getrennte Rampe, die vom gewählten Standort nicht mit zu erfassen ist. An der Ausfahrt „In der Insel“ konnte kein Erfassungsgerät angebracht werden, welches nur den ausfahrenden Verkehrsstrom erfasst hätte. Aus diesem Grund sind an diesem Standort voraussichtlich keine Auswertungen im Hinblick auf die Aufenthaltsdauer möglich.

Die Erhebung kann am Parkhaus Kaufland zudem als Kalibrierung für das durchgeführte Bosserhoff-Verfahren verwendet werden.

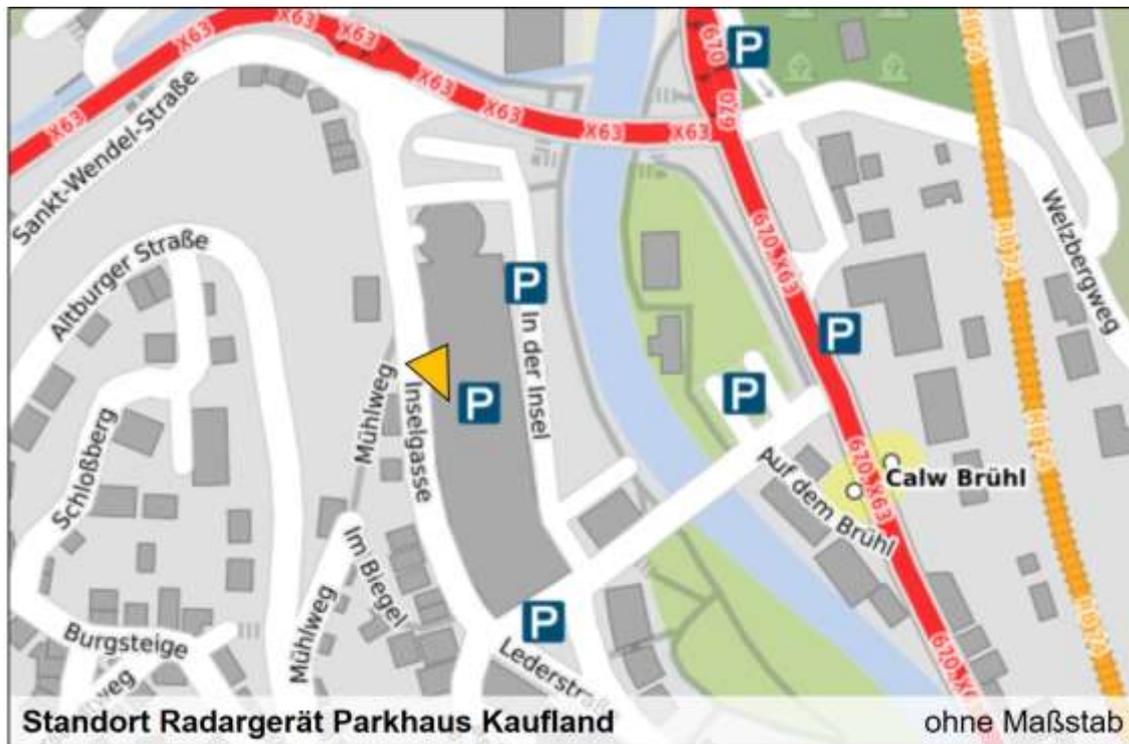


Abbildung 34: Standort Radargerät am Parkhaus Kaufland. Eigene Darstellung auf Basis von OSM

Nach der Montage des Radargeräts wurde eine Kalibrierung durchgeführt. Hierfür wurde in definierten Zeitintervallen eine manuelle Zählung durchgeführt, um gegebenenfalls Korrekturfaktoren festlegen zu können.

Für den Standort Kaufland konnte in diesem Zusammenhang eine deutliche Abweichung zwischen manuell und automatisiert erfassten Daten festgestellt werden. Dies liegt begründet an der Montage des Erfassungsgeräts unmittelbar vor einer Rampe. Aus diesem Grund wird jedes Fahrzeug doppelt gezählt. Dementsprechend ist ein Korrekturfaktor notwendig. Dieser wird basierend auf der Kalibrierung auf 0,5 festgelegt.

Basisdaten Parkhaus Kaufland:

Eingesetztes Erfassungsgerät: Sierzega SR4 (Gerät 8784)

Einfahrende sind definiert als „- Richtung“, Ausfahrende sind nicht erfasst worden.

Äußere Einflüsse und Messfehler

Um die Plausibilität der Erhebung bewerten zu können, ist eine Betrachtung äußerer Einflüsse sinnvoll. Damit kann ausgeschlossen werden, dass äußere Störeinflüsse, wie z.B. Baumaßnahmen, Umleitungen oder Großveranstaltungen zu einem veränderten Nutzerverhalten und damit zu verfälschten Ergebnissen führen. Zudem können bei einer Erhebung stets auch Messfehler auftreten.

Umleitung Parkhaus Haggasse

Während der Verkehrserhebung bestand im Bereich der Inselgasse eine Straßensperrung aufgrund von Bauarbeiten. Dieser Bereich ist in der Karte in Abbildung 20 rot gekennzeichnet. Dementsprechend musste die Zufahrt über die Brücke, die in der Karte grün gekennzeichnet ist, erfolgen. Die notwendige Umleitung war an allen relevanten Knotenpunkten gekennzeichnet (in der Karte mit „U“ gekennzeichnet).

Inwiefern diese Umleitung zu einem veränderten Verkehrsaufkommen am Parkhaus Kaufland führt, kann in dieser Untersuchung nur eingeschränkt bewertet werden. Gegebenenfalls weichen einige Nutzer des Parkhaus Haggasse auf das Parkhaus Kaufland aus, was hier zu einem höheren Verkehrsaufkommen als gewöhnlich führt. Dennoch ist zu unterstellen, dass der Einfluss der Umleitung als so gering einzustufen ist, dass die Erhebung trotzdem plausibel verwertbar ist.



Abbildung 35: Umleitung Parkhaus Haggasse. Eigene Darstellung auf Basis von OSM

Messfehler durch andere Verkehrsteilnehmer

Am Parkhaus Calwer Markt liegt der Erfassungsstandort unmittelbar neben dem Zugang zum Parkhaus für Fußgänger. Bei der Einrichtung konnte festgestellt werden, dass an dieser Stelle gelegentlich auch Fußgänger vom Radargerät erfasst wurden und fälschlicherweise als PKW klassifiziert wurden. Dementsprechend wurde die Minimalgeschwindigkeit V_{\min} auf 6 km/h eingestellt. Somit werden Fußgänger nicht mehr als ein- oder ausfahrende Fahrzeuge erfasst.

Am Parkhaus Kaufland ist die Rampe ausschließlich für PKWs befahrbar, weshalb diese Problematik dort nicht auftrat.

Verkehrserhebung - Auswertung

Vorgehensweise

Die erfassten Daten müssen für die Auswertung im ersten Schritt aufbereitet werden. Hierfür wurde die Software „Sierzega SRA 5.4“ verwendet. Dabei werden die Datensätze zunächst von den Erfassungsgeräten übertragen und können dann angezeigt und ausgewertet werden. Grundsätzlich ermöglicht die Software auch eine Klassifizierung in unterschiedliche Fahrzeugkategorien sowie die Erfassung der gefahrenen Geschwindigkeit und des Abstands zwischen Fahrzeugen. Für die Erhebung im Projekt ILEF sind diese Kenngrößen jedoch nicht relevant, sondern lediglich die Anzahl der KFZ im Messzeitraum. Da die Parkhäuser nicht von Fahrzeugen die größer als PKWs sind, genutzt werden können, ist eine Klassifizierung nach Fahrzeugkategorie ebenfalls nicht notwendig.

Für die Auswertung wurden die Datensätze in 15-Minuten-Intervallen exportiert, um die Spitzenstunden möglichst exakt bestimmen zu können. Bei den Diagrammen der Wochenganglinien wurden diese zu 60-Minuten-Intervallen aggregiert, um eine übersichtliche Darstellung zu ermöglichen.

Parkhaus Calwer Markt

Im Parkhaus Calwer Markt konnten sowohl ein- als auch ausfahrende Fahrzeuge erfasst werden.

In Tabelle 1 ist das Verkehrsaufkommen an den einzelnen Wochentagen dargestellt. Das höchste Verkehrsaufkommen zeigte sich am Mo, 21.03 mit 794 KFZ/24h sowie am Mi, 23.03 mit 790 KFZ/24h. Das niedrigste Verkehrsaufkommen zeigte sich am So, 20.03 mit 201 KFZ/24h.

Tabelle 1: Verkehrsaufkommen Parkhaus Calwer Markt

Wochentag	KFZ/24h
Mi, 16.03	652
Do, 17.03	775
Fr, 18.03	724
Sa, 19.03	595
So, 20.03	201
Mo, 21.03	794
Di, 22.03	735
Mi, 23.03	790

Die erfasste **Spitzenstunde** war am Samstag, 19.03.2022 von 9:00-10:00 Uhr mit 97 PKW.

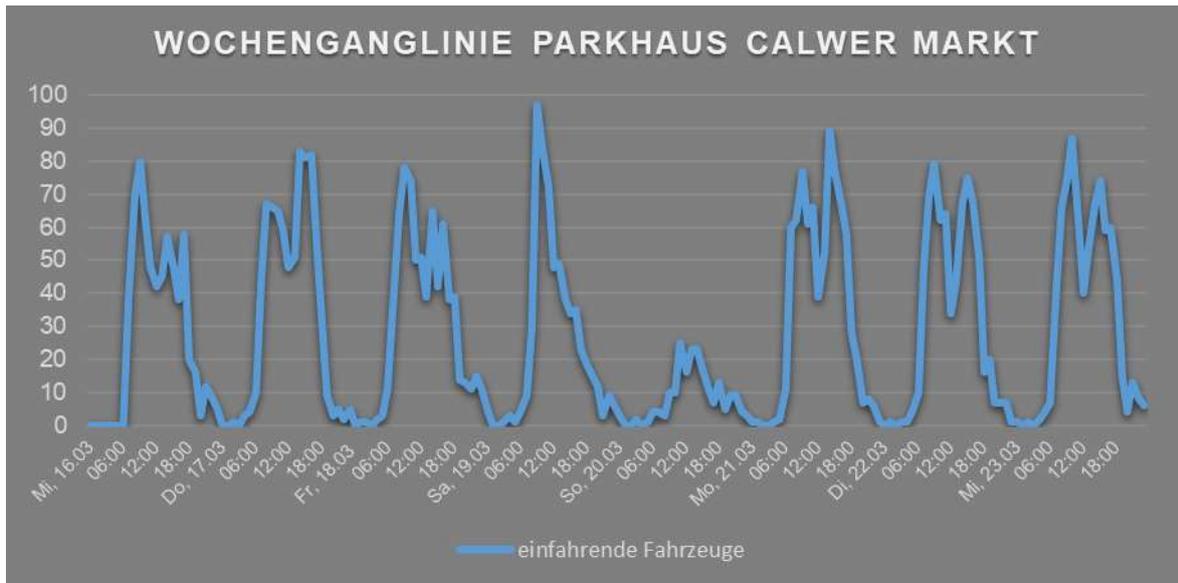


Abbildung 36: Wochenganglinie Parkhaus Calwer Markt (Einfahrende Fahrzeuge)

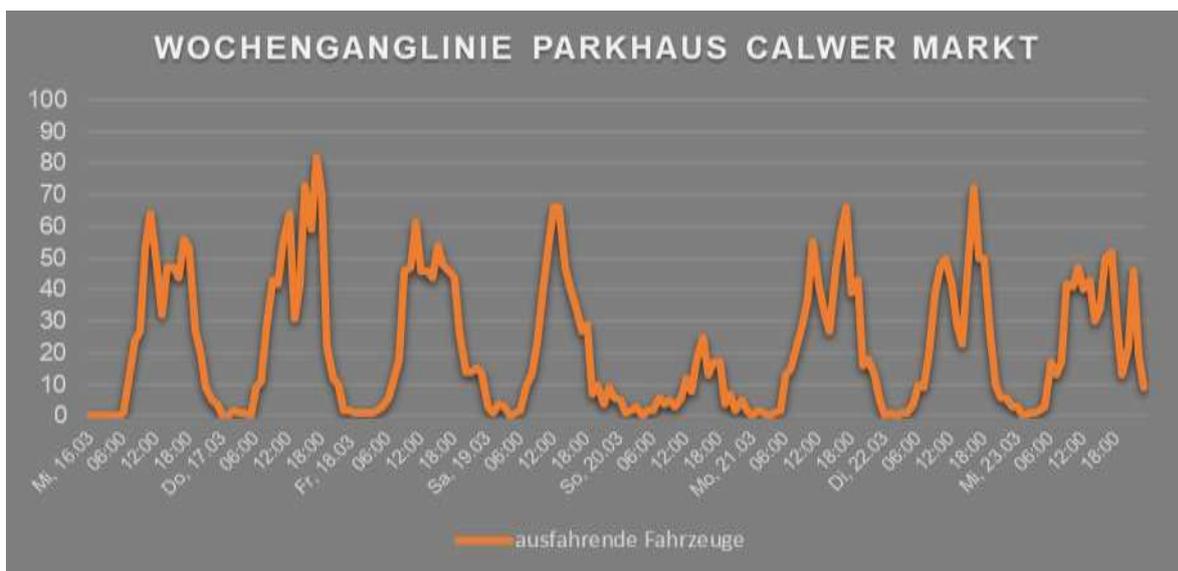


Abbildung 22: Wochenganglinie Parkhaus Calwer Markt (Ausfahrende Fahrzeuge)

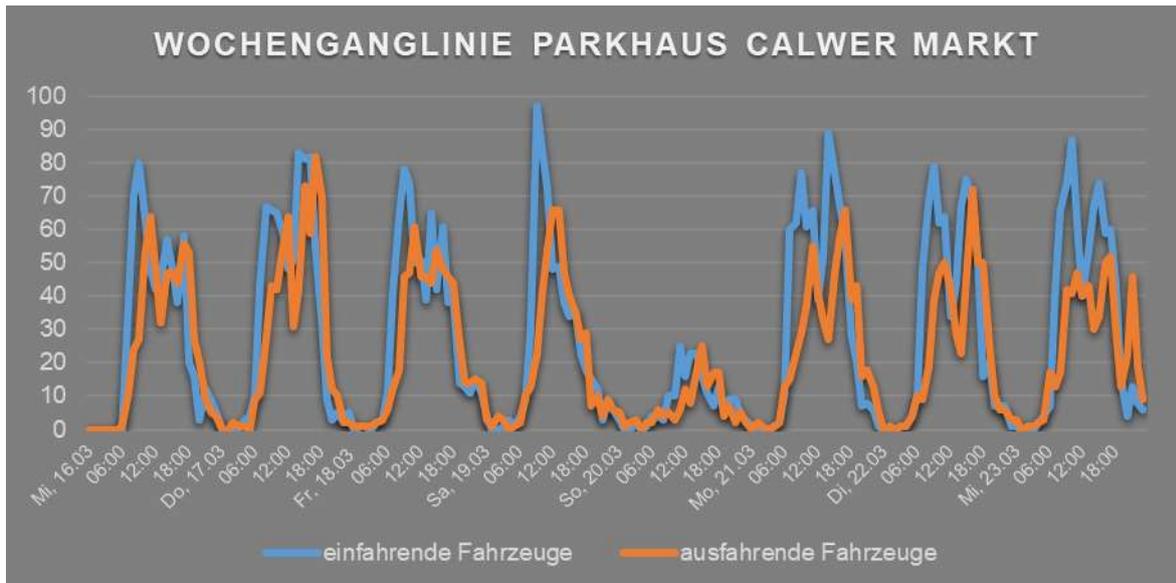


Abbildung 37: Wochenganglinie Parkhaus Calwer Markt (Ein- und ausfahrende Fahrzeuge)

Parkhaus Kaufland

Im Parkhaus Kaufland konnten ausschließlich einfahrende Fahrzeuge erfasst werden. Der in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** definierte Korrekturfaktor ist in der folgenden Auswertung bereits berücksichtigt.

In Tabelle 2 ist das Verkehrsaufkommen an den einzelnen Wochentagen dargestellt. Das höchste Verkehrsaufkommen zeigte sich am Fr, 18.03 mit 1.709 PKW/24h sowie am Sa, 19.03 mit 1.674 PKW/24h. Das niedrigste Verkehrsaufkommen zeigte sich am So, 20.03 mit 104 KFZ/24h.

Tabelle 2: Verkehrsaufkommen Parkhaus Kaufland

Wochentag	KFZ/24h
Mi, 16.03	1.280
Do, 17.03	1.550
Fr, 18.03	1.709
Sa, 19.03	1.674
So, 20.03	104
Mo, 21.03	1.537
Di, 22.03	1.398
Mi, 23.03	1.269

Die erfasste **Spitzenstunde** war am Samstag, 19.03.2022 von 9:00-10:00 Uhr mit 185 PKW.

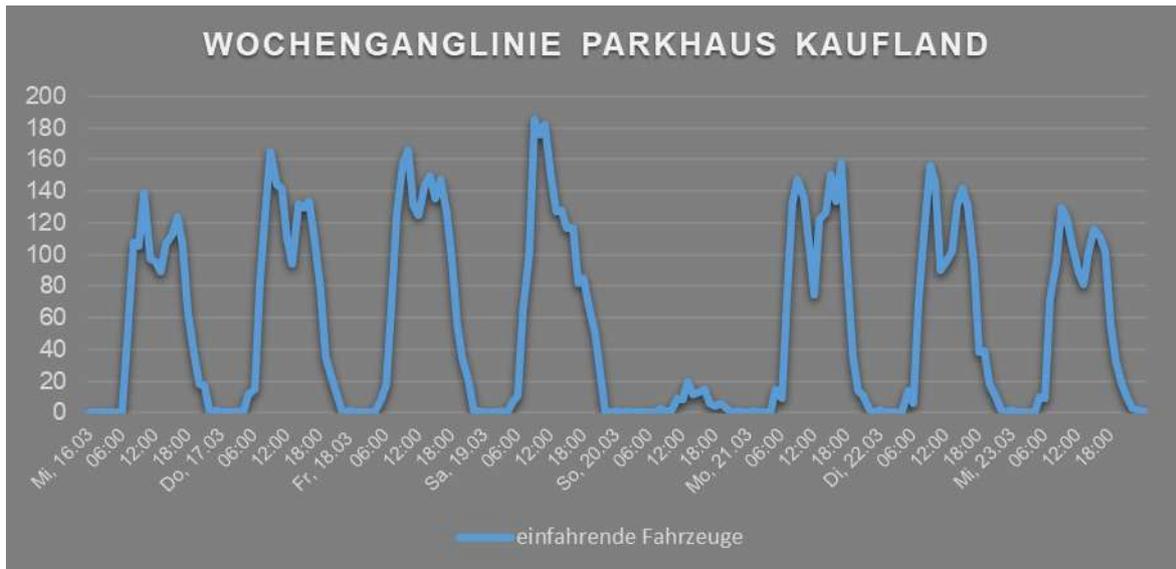


Abbildung 38: Wochenganglinie Parkhaus Kaufland (Einfahrende Fahrzeuge)

Bosserhoff-Verfahren

Das Programm „Ver_Bau“

Als Verfahren zur Abschätzung des erzeugten Verkehrsaufkommens durch Vorhaben der Bauleitplanung bietet sich das Bosserhoff-Verfahren für die verkehrliche Untersuchung des Parkhausstandorts Kaufland an. Unter Beachtung aller Verkehrsmittel können damit Einzelwerte oder Bandbreiten des täglichen Verkehrsaufkommens ermittelt werden. Neben der Abschätzung der Verkehrsmenge können über das Programm auch Tagesganglinien generiert werden, über die Aussagen zur Spitzenstunde getroffen werden können.

Dem Verfahren liegen zwei unterschiedliche Vorgehensweisen zugrunde: Neben der Variante, die sich an den Regelwerken der FGSV orientiert, gibt es auch eine Variante die auf der Schriftenreihe der HSVV basiert. Für die Abschätzung werden beide Verfahren angewendet und die Resultate im Nachgang verglichen. Vom Programmentwickler wird grundsätzlich die Vorgehensweise nach der HSVV empfohlen, da die zugrundeliegenden Werte dort aktueller sind.

Anwendungsfall Parkhaus „Kaufland“

Das Parkhaus „Kaufland“ liegt nahe der Calwer Innenstadt und weist somit eine integrierte Lage auf. Dementsprechend ist grundsätzlich zu unterstellen, dass das Parkhaus nicht nur von Kunden der Geschäfte im Kaufland-Gebäude genutzt wird, sondern auch für Kunden der Innenstadtgeschäfte sowie Besucher im Allgemeinen eine Rolle spielt. Dementsprechend wird als Gebietstyp für beide Verfahren „MK – Kerngebiet“ festgelegt.

Für die Berechnung mithilfe des Bosserhoff-Verfahrens wird als Grundlage dennoch in erster Linie die Verkaufsfläche des Kaufland-Komplexes herangezogen. Dementsprechend sollten im Hinblick auf die Sondereffekte im Kundenverkehr (Verbundeffekte, Konkurrenzeffekt und Mitnahmeeffekt) tendenziell die abgeschätzten Eingangsparameter am oberen Rand der Bandbreiten herangezogen werden. Dadurch kann das Verkehrsaufkommen mitberücksichtigt werden, welches von anderen Einzelhandels- und Versorgungseinrichtungen verursacht wird.

Zudem findet keine Berechnung des Anliefer- und Güterverkehrs statt, da dieser keinen Einfluss auf das Nutzverhalten im Parkhaus „Kaufland“ hat.

Für das Projekt ILEF in Calw ist die Bestimmung des Verkehrsaufkommens von Relevanz für die Untersuchung der Nutzergruppen sowie die des Nutzerverhaltens. Ein Abgleich der berechneten Ergebnisse des Bosserhoff-Verfahrens mit Verkehrserhebungen und Befragungen ermöglicht eine Plausibilisierung und Validierung der Kennwerte.

Eingangsgrößen für die Berechnung:

- BGF (Bruttogeschossfläche): 5.850 m²
- VKF (Verkaufsfläche): 4.800 m²
- Kategorie des Kaufland-Geb. Verbrauchermarkt
- MIV-Anteil (Kunden) 55 – 70%
- MV-Anteil (Beschäftigte) 60 – 80%

Vorgehen nach FGSV-Methode

Abschätzung der Strukturgrößen für Kunden und Beschäftigte

Die Abschätzung der *Beschäftigtenzahl* erfolgt über die Bruttogeschossfläche. Als Wert für die BGF/Beschäftigtem wird eine Bandbreite zwischen 70 – 100 gewählt, was dem Verfahren nach einem Verbrauchermarkt wie dem Kaufland entspricht (vgl. Abbildung 39).

Gebiet	Nutzung	BGF in qm	BGF/ Beschäftigtem	
			Max	Min
			BGF/B	
MK	Kaufland-Geb.	5.850	100,00	70,00
Summe		5.850		

Beschäftigte	
Min	Max
59	84
59	84

Abbildung 39: Abschätzung der Beschäftigtenzahl über die Bruttogeschossfläche

Die Abschätzung des *Kunden- bzw. Besucheraufkommens* erfolgt entweder über die Verkaufsfläche oder den Jahresumsatz. Da zu den Umsätzen keine Angaben vorliegen, kann die Abschätzung in diesem Fall nur über die Verkaufsfläche erfolgen. Analog zur Abschätzung der Beschäftigtenzahl werden die Werte für einen Verbrauchermarkt gewählt, was einer Bandbreite von 0,4 – 0,6 Kunden/m² VKF entspricht (siehe Abbildung 26).

Gebiet	Nutzung	VKF in qm	Kunden/ qm VKF	
			Min	Max
			KVKE	
MK	Kaufland-Geb.	4.800	0,40	0,60
Summe		4.800		

Kunden	
Min	Max
1.920	2.880
1.920	2.880

Abbildung 40: Abschätzung des Kunden-/ Besucheraufkommens über die Verkaufsfläche

Im nächsten Schritt sieht das Verfahren die Auswahl der Nutzerzahl für die folgenden Berechnungen vor. Da die Beschäftigten- und die Kunden-/Besucherzahlen jeweils nur über eine Eingangsgröße abgeschätzt wurden, werden die eingangs berechneten Werte übernommen (vgl. Abbildung 41).

Gebiet	Nutzung	Beschäftigte		Beschäftigte		Kunden		Kunden		Kunden	
		Abschätzung über Bruttogeschossfläche		Gewählte Anzahl für Verkehrsabschätzung		Abschätzung über Verkaufsfläche		Abschätzung über Jahresumsatz		Gewählte Anzahl für Verkehrsabschätzung	
		Min	Max			Min	Max	Min	Max	Min	Max
MK	Kaufland-Geb.	59	84	59	84	1.920	2.880			1.920	2.880
Summe		59	84	59	84	1.920	2.880			1.920	2.880

Abbildung 41: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Abschätzung der Beschäftigten- und Kunden-/Besucherzahl

Abschätzung des Verkehrsaufkommens

Der Kunden- und Besucherverkehr wird über die Kundenzahl, die Wegezähl sowie den MIV- Anteil und den PKW-Besetzungsgrad berechnet. Da aus dem Nahverkehrsplan aus dem Jahr 2016 Aussagen zum Modal Split vorliegen, können hierfür lokale Werte aus Calw verwendet werden. Es wird hierbei eine Bandbreite zwischen 55 – 70% MIV-Anteil für das Verfahren angesetzt. Der Wert für den PKW-Besetzungsgrad wird aus den Empfehlungen von Bosserhoff übernommen und auf 1,4 Personen/PKW abgeschätzt (vgl. Abbildung 42).

Gebiet	Nutzung	Kunden		Wege/Werktag		MIV-Anteil		Pkw-Besetzung	Pkw-Fahrten/ Werktag	
		Min	Max	2,0 Wege/Kunde		in %		Pers./Pkw	Min	Max
				Min	Max	Min	Max			
MK	Kaufland-Geb.	1.920	2.880	3.840	5.760	55	70	1,4	1.509	2.880
Summe		1.920	2.880	3.840	5.760				1.509	2.880

Abbildung 42: Berechnung des Kunden- und Besucherverkehrs

Für den Beschäftigtenverkehr finden dieselben Parameter Berücksichtigung. Das Verfahren nach Bosserhoff empfiehlt, einen höheren MIV-Anteil (gewählte Bandbreite 60-80%) und einen niedrigeren PKW-Besetzungsgrad (gewählter Wert 1,0 Pers./PKW) anzusetzen. Zudem wird über den Faktor der Wege/Beschäftigten einem gewissen Anteil an Teilzeitkräften Rechnung getragen (vgl. Abbildung 43).

Gebiet	Nutzung	Beschäftigte		Wege/ Beschäftigtem/d		Wege/Werktag		MIV-Anteil		Pkw-Fahrten/ Werktag		
		Min	Max	Wege/B/d				in %		1,0 Pers./Pkw	Min	Max
				Min	Max	Min	Max	Min	Max			
MK	Kaufland-Geb.	59	84	2,0	2,5	118	210	60	80	71	168	
Summe		59	84			118	210			71	168	

Abbildung 43: Berechnung des Beschäftigtenverkehrs

Grundsätzlich sieht das Verfahren nach Bosserhoff an dieser Stelle die Berechnung des Wirtschaftsverkehrs, der durch den Standort verursacht wird, vor. Da der damit verbundene LKW-Verkehr jedoch nicht das Parkhaus betrifft, wird auf eine Berechnung verzichtet.

Zudem sieht die Vorgehensweise nach den FGSV-Richtlinien die Berücksichtigung von Verbund- und Mitnahmeeffekten vor. Als Verbundeffekt wird dabei bezeichnet, dass bei räumlich zusammenliegenden Märkten die Kunden mehrere Märkte zugleich aufsuchen. Der Mitnahmeeffekt beschreibt die Situation, dass ein Markt an einem Standort errichtet wird, an dem es bereits Einzelhandel gibt. Dementsprechend wäre durch diese Effekte der induzierte Verkehr geringer. Da jedoch für das Parkhaus „Kaufland“ unterstellt werden kann, dass dieses umgekehrt auch von Personen benutzt wird, die Geschäfte und Einrichtungen außerhalb des Kaufland-Gebäudes besuchen, werden diese Effekte vernachlässigt. Zudem können diese Effekte besser bei Neuplanungen angewendet werden. Hierdurch soll erreicht werden, dass auch das Verkehrsaufkommen eben jener Nutzergruppen berücksichtigt wird. Somit wird sowohl für den Verbund- als auch für den Mitnahmeeffekt ein Wert von 0% festgelegt (vgl. Abbildung 44).

Gebiet	Nutzung	Fläche in qm	Anteil Verbund- effekt in %	Pkw-Fahrten/ Werktag		Kfz-Fahrten/ Werktag		Kfz-Fahrten/ Werktag		Anteil Mitnahme- effekt in %
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	
		VKF BGF								
MK	Kaufland-Geb.	4.800	0	1.580	3.048			1.580	3.048	0
			0							0
			0							0
			0							0
			0							0
Summe		4.800		1.580	3.048			1.580	3.048	

Abbildung 44: Gesamtverkehr nach Berücksichtigung von Verbund- und Mitnahmeeffekten

Somit ergeben sich folgende Tagesbelastungen im KFZ-Verkehr (vgl. Abbildung 45).

Gebiet	Nutzung	Einzelhandelsnutzung							
		Kunden-Verkehr Pkw-Fahrten		Beschäftigten-Verkehr Pkw-Fahrten		Wirtschafts-Verkehr Kfz-Fahrten		Gesamtverkehr Kfz-Fahrten	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
MK	Kaufland-Geb.	1.509	2.880	71	168			1.580	3.048
Summe		1.509	2.880	71	168			1.580	3.048

Abbildung 45: Tagesbelastungen im KFZ-Verkehr

Ableiten von Tagesganglinien

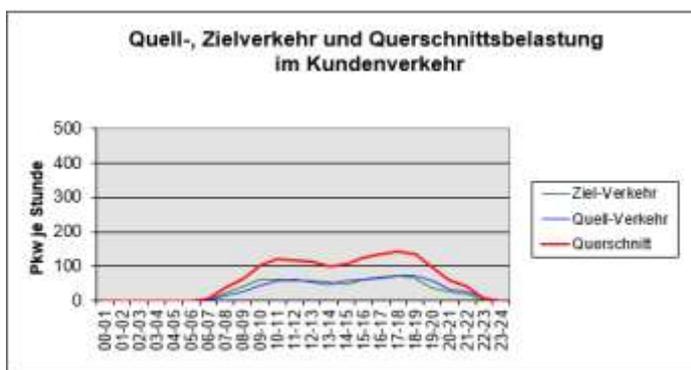
Die in dieser Vorgehensweise vorgeschlagenen Tagesganglinien basieren auf den Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR) 1991. Dadurch ergibt sich die Schwierigkeit, dass die Bezugswerte nur für Geschäfte mit Öffnungszeiten von 8 bis 20 Uhr ausgelegt sind. Das Kaufland in Calw hingegen weist Öffnungszeiten von 7 bis 22 Uhr auf, wodurch einige der vorliegenden Werte nicht angewendet werden können.

Es liegen aktuellere Ganglinien vor, die aus der EAR 2005 entnommen wurden. Der Programmentwickler rät jedoch davon ab, diese zu verwenden, da die zugrundeliegenden Erhebungen nicht nach Verkehrszweck unterschieden wurden. Im Hinblick auf die integrierte Lage des Parkhauses und die Mitberücksichtigung weiterer Nutzungen über die Kunden des Kauflands scheint diese Ungenauigkeit auf den ersten Blick weniger problematisch. Eine Plausibilitätsprüfung der Werte zeigt

jedoch Widersprüche gegenüber dem zu erwartenden Verhalten auf, weshalb auch die Nutzung dieser Bezugswerte hinfällig ist.

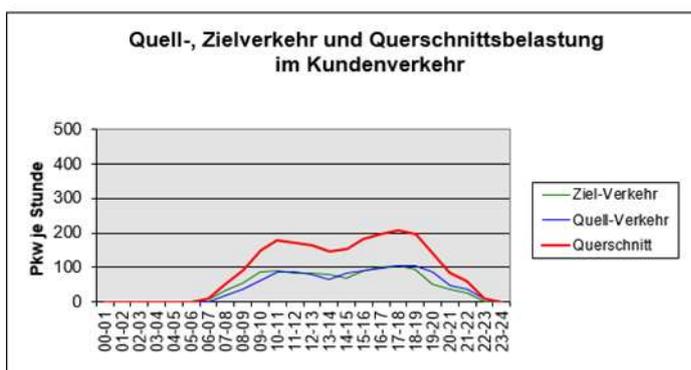
Dem Verfahren beigelegt sind Erkenntnisse aus einer Verkehrserhebung eines Kaufland- Standortes in Kerpen in Nordrhein-Westfalen. Hier wurde der Quell- und Zielverkehr an einem Donnerstag und einem Samstag erfasst. Diese Erhebung zeigt auch wesentliche Besonderheiten auf, die ein Parkhaus mit dominierendem Anteil an Einkaufsverkehr aufweist. So ist das Kundenaufkommen an Samstagen gegenüber einem regulären Wochentag um ca. 75% höher. Durch einen höheren PKW-Besetzungsgrad steigt das KFZ-Aufkommen nur um ca. 50% an. Zudem liegt die Spitzenstunde an Samstagen eher am Vormittag, während unter der Woche vor allem nachmittags hohe Belastungen auftreten. Grundsätzlich sollte bei diesem Standort auch immer die hohe Empfindlichkeit gegenüber Feiertagen oder vergleichbaren Ereignissen bedacht werden.

Es erscheint daher angebracht, für Ganglinien von Montag bis Freitag als Eingangswerte die untere bis mittlere Bandbreite zu verwenden (vgl. Abbildung 46 und Abbildung 47), während an Samstagen eher die obere Bandbreite berücksichtigt werden sollte (vgl. Abbildung 48).



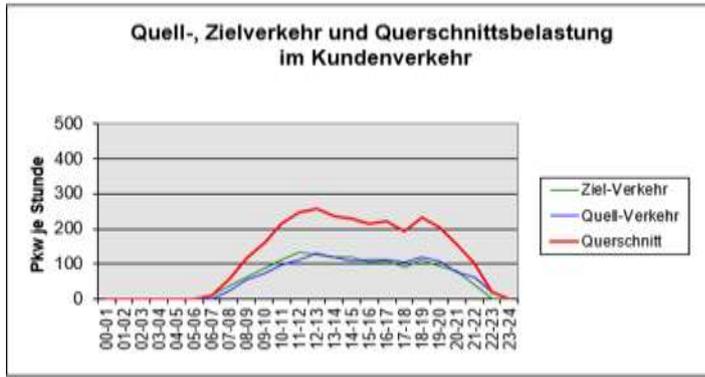
	Ziel-Verkehr	Quell-Verkehr	Querschnitt
00-01	0	0	0
01-02	0	0	0
02-03	0	0	0
03-04	0	0	0
04-05	0	0	0
05-06	0	0	0
06-07	5	0	5
07-08	24	11	37
08-09	38	24	62
09-10	61	42	103
10-11	63	59	122
11-12	57	60	118
12-13	57	56	113
13-14	55	46	100
14-15	48	57	105
15-16	63	63	126
16-17	69	67	136
17-18	72	72	144
18-19	64	72	137
19-20	36	59	95
20-21	25	33	58
21-22	17	25	43
22-23	0	6	6
23-24	0	0	0

Abbildung 46: Tagesganglinie für Verkehrsaufkommen am Minimum (Montag-Freitag)



	Ziel-Verkehr	Quell-Verkehr	Querschnitt
00-01	0	0	0
01-02	0	0	0
02-03	0	0	0
03-04	0	0	0
04-05	0	0	0
05-06	0	0	0
06-07	8	0	8
07-08	34	20	54
08-09	56	35	91
09-10	88	61	150
10-11	91	86	177
11-12	83	88	171
12-13	82	81	164
13-14	79	67	146
14-15	70	83	153
15-16	92	91	183
16-17	101	97	198
17-18	104	105	209
18-19	94	105	199
19-20	52	86	138
20-21	37	48	85
21-22	25	36	61
22-23	0	9	9
23-24	0	0	0

Abbildung 47: Tagesganglinie für Verkehrsaufkommen im Mittel (Montag-Freitag)



	Ziel-Verkehr	Quell-Verkehr	Querschnitt
00-01	0	0	0
01-02	0	0	0
02-03	0	0	0
03-04	0	0	0
04-05	0	0	0
05-06	0	0	0
06-07	10	0	10
07-08	36	22	58
08-09	63	55	118
09-10	88	73	161
10-11	114	99	213
11-12	134	114	248
12-13	127	131	258
13-14	118	120	238
14-15	120	109	229
15-16	104	112	216
16-17	108	112	220
17-18	89	104	193
18-19	114	121	235
19-20	94	109	203
20-21	81	78	158
21-22	42	60	102
22-23	0	20	20
23-24	0	0	0

Abbildung 48: Tagesganglinie für Verkehrsaufkommen am Maximum (Samstags)

Vorgehen nach HSVV-Methode

Abschätzung der Strukturgrößen für Kunden und Beschäftigte

Das Verfahren nach HSVV weist eine größere Bandbreite an Möglichkeiten auf, die Beschäftigten- und Kunden-/Besucherzahlen abzuschätzen. Dies umfasst jeweils die Abschätzung über:

- Bruttogeschossfläche
- Verkaufsfläche
- Jahresumsatz
- Analogieschluss (über Flächenzuwachs)

Da keine Angaben zum Jahresumsatz vorliegen und die Anwendung des Analogieschlusses nicht zum Anwendungsfall passt, werden die Strukturgrößen jeweils über die Bruttogeschossfläche und die Verkaufsfläche abgeschätzt.

Die Abschätzung der Kunden- und Besucherzahl über die Bruttogeschossfläche erfolgt unter der Annahme des Kennwerts von 0,30 – 0,45 Kunden/m² BGF (vgl. Abbildung 49).

Gebiet	Nutzung	BGF in qm	Kunden/ qm BGF	
			K/BGF	
			Min	Max
MK	Kaufland-Geb.	5.850	0,30	0,45
Summe		5.850		

Kunden	
Min	Max
1.755	2.633
1.755	2.633

Abbildung 49: Abschätzung der Kunden- /Besucherzahl über die Bruttogeschossfläche

Die Abschätzung der Kunden- und Besucherzahl über die Verkaufsfläche erfolgt unter der Annahme des Kennwerts von 0,40 – 0,93 Kunden/m² VKF (vgl. Abbildung 50).

Gebiet	Nutzung	VKF in qm	Kunden/ qm VKF	
			K/VKF	
			Min	Max
MK	Kaufland-Geb.	4.800	0,40	0,93
Summe		4.800		

Kunden	
Min	Max
1.920	4.464
1.920	4.464

Abbildung 50: Abschätzung der Kunden-/Besucherzahl über die Verkaufsfläche

Die Abschätzung der *Beschäftigtenzahl* über die Bruttogeschossfläche erfolgt unter der Annahme des Kennwerts von 70 – 100 m² BGF/Beschäftigtem (vgl. Abbildung 51).

Gebiet	Nutzung	BGF in qm	BGF/ Beschäftigtem	
			BGF/B	
			Max	Min
MK	Kaufland-Geb.	5.850	100	70
Summe		5.850		

Beschäftigte	
Min	Max
59	84
59	84

Abbildung 51: Abschätzung der Beschäftigtenzahl über die Bruttogeschossfläche

Die Abschätzung der *Beschäftigtenzahl* über die Verkaufsfläche erfolgt unter der Annahme des Kennwerts von 50 – 70 m² VKF/Beschäftigte (vgl. Abbildung 52).

Gebiet	Nutzung	VKF in qm	VKF/ Beschäftigte	
			VKF/B	
			Max	Min
MK	Kaufland-Geb.	4.800	70	50
Summe		4.800		

Beschäftigte	
Min	Max
69	96
69	96

Abbildung 52: Abschätzung der Beschäftigtenzahl über die Verkaufsfläche

Im nächsten Schritt sieht das Verfahren die Auswahl der Nutzerzahl für die folgenden Berechnungen vor. Da die Beschäftigten- und die Kunden-/Besucherzahlen jeweils über zwei unterschiedliche Eingangsgrößen abgeschätzt wurden, ist eine Entscheidung erforderlich. Grundsätzlich scheinen die berechneten Werte über die Bruttogeschossfläche in diesem Fall plausibler zu sein, da der Maximalwert bei der Abschätzung über die Verkaufsfläche sehr hoch ist. Dies liegt begründet in der großen Bandbreite der Eingangsgrößen, die das Verfahren vorschlägt. Dementsprechend werden die Berechnungen mit den Zahlen fortgeführt, die über die Bruttogeschossfläche ermittelt wurden. Dies gilt sowohl für den Beschäftigten- als auch für den Kunden-/Besucherverkehr (vgl. Abbildung 53 und Abbildung 54).

Gebiet	Nutzung	Kunden		Kunden		Kunden		Kunden		Kunden	
		Abschätzung über Bruttogeschossfläche		Abschätzung über Verkaufsfläche		Abschätzung über Jahresumsatz		Abschätzung über Analogieschluss		Gewählte Anzahl für Verkehrsabschätzung	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
MK	Kaufland-Geb.	1.755	2.633	1.920	4.464					1.755	2.633

Summe		1.755	2.633	1.920	4.464					1.755	2.633

Abbildung 53: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Abschätzung der Kunden-/Besucherzahl

Gebiet	Nutzung	Beschäftigte		Beschäftigte		Beschäftigte		Beschäftigte		Beschäftigte	
		Abschätzung über Bruttogeschossfläche		Abschätzung über Verkaufsfläche		Abschätzung über Anteil VKF an BGF		Abschätzung über Analogieschluss		Gewählte Anzahl für Verkehrsabschätzung	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
MK	Kaufland-Geb.	59	84	69	96					59	84
Summe		59	84	69	96					59	84

Abbildung 54: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Abschätzung der Beschäftigtenzahl

Abschätzung des Verkehrsaufkommens

Der Kunden- und Besucherverkehr wird über die Kundenzahl, die Wegezähl sowie den MIV- Anteil und den PKW-Besetzungsgrad berechnet. Da aus dem Nahverkehrsplan aus dem Jahr 2016 Aussagen zum Modal Split vorliegen, können hierfür lokale Werte aus Calw verwendet werden. Es wird hierbei eine Bandbreite zwischen 55 – 70% MIV-Anteil für das Verfahren angesetzt. Der Wert für den PKW-Besetzungsgrad wird aus den Empfehlungen von Bosserhoff übernommen und auf 1,4 Personen/PKW abgeschätzt (vgl. Abbildung 55).

Gebiet	Nutzung	Kunden		Wege/Werktag		MIV-Anteil		Pkw-Besetzung	
		Min	Max	2,0		in %		Pers./Pkw	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
MK	Kaufland-Geb.	1.755	2.633	3.510	5.266	55	70	1,4	
Summe		1.755	2.633	3.510	5.266			1.379	2.633

Abbildung 55: Berechnung des Kunden- und Besucherverkehrs

Für den *Beschäftigtenverkehr* finden dieselben Parameter Berücksichtigung. Das Verfahren nach Bosserhoff empfiehlt, einen höheren MIV-Anteil (gewählte Bandbreite 60-80%) und einen niedrigeren PKW-Besetzungsgrad (gewählter Wert 1,0 Pers./PKW) anzusetzen. Zudem wird über den Faktor der Wege/Beschäftigten einem gewissen Anteil an Teilzeitkräften Rechnung getragen (vgl. Abbildung 56). Der Faktor „Anwesenheit“ des Bosserhoff-Verfahrens findet daher keine Anwendung.

Gebiet	Nutzung	Beschäftigte		Anwesenheit	Wege/ Beschäftigtem/d		Wege/Werktag		MIV-Anteil		Pkw-Fahrten/ Werktag	
		Min	Max	in %	Wege/B/d		in %		1,0		Pers./Pkw	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
MK	Kaufland-Geb.	59	84	100	2,0	2,5	118	210	60	80	71	168
				100								
				100								
				100								
Summe		59	84				118	210			71	168

Abbildung 56: Berechnung des Beschäftigtenverkehrs

Grundsätzlich sieht das Verfahren nach Bosserhoff an dieser Stelle die *Berechnung des Wirtschaftsverkehrs*, der durch den Standort verursacht wird, vor. Da der damit verbundene LKW-Verkehr jedoch nicht das Parkhaus betrifft, wird auf eine Berechnung verzichtet.

Zudem sieht die Vorgehensweise nach den FGSV-Richtlinien die Berücksichtigung von *Verbund-, Konkurrenz und Mitnahmeeffekten* vor. Als Verbundeffekt wird dabei bezeichnet, dass bei räumlich zusammenliegenden Märkten die Kunden mehrere Märkte zugleich aufsuchen. Der Konkurrenzeffekt beschreibt die Situation, dass am Ort der geplanten Bebauung bereits ein vergleichbares Geschäft besteht und das Kundenpotential bereits teilweise ausgeschöpft ist. Der Mitnahmeeffekt beschreibt die Situation, dass ein Markt an einem Standort errichtet wird, an dem es bereits Einzelhandel gibt. Dementsprechend wäre durch diese Effekte der induzierte Verkehr geringer. Da jedoch für das Parkhaus „Kaufland“ unterstellt werden kann, dass dieses umgekehrt auch von Personen benutzt wird, die Geschäfte und Einrichtungen außerhalb des Kaufland-Gebäudes besuchen, werden diese Effekte vernachlässigt. Zudem können diese Effekte besser bei Neuplanungen angewendet werden. Hierdurch soll erreicht werden, dass auch das Verkehrsaufkommen eben jener Nutzergruppen berücksichtigt wird. Somit wird sowohl für den Verbund-, Konkurrenz- als auch für den Mitnahmeeffekt ein Wert von 0% festgelegt (vgl. Abbildung 57).

Gebiet	Nutzung	Fläche in qm VKF BGF	Anteil Konkurrenz- effekt in %	Anteil Verbund- effekt in %	Anteil Mitnahme- effekt in %	Pkw-Fahrten/ Werktag		Lkw-Fahrten/ Werktag		Kfz-Fahrten/ Werktag	
						Min	Max	Min	Max	Min	Max
MK	Kaufland-Geb.		0	0	0	1.450	2.801			1.450	2.801
			0	0	0						
			0	0	0						
			0	0	0						
			0	0	0						
Summe						1450	2801			1.450	2.801

Abbildung 57: Gesamtverkehr nach Berücksichtigung von Verbund- und Mitnahmeeffekten

Somit ergeben sich folgende *Tagesbelastungen im KFZ-Verkehr* (vgl. Abbildung 58).

Gebiet	Nutzung	Einzelhandelsnutzung							
		Kunden-Verkehr Pkw-Fahrten		Beschäftigten-Verkehr Pkw-Fahrten		Güter-Verkehr Lkw-Fahrten		Gesamtverkehr Kfz-Fahrten	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
MK	Kaufland-Geb.	1.379	2.633	71	168			1.450	2.801
Summe		1.379	2.633	71	168			1.450	2.801

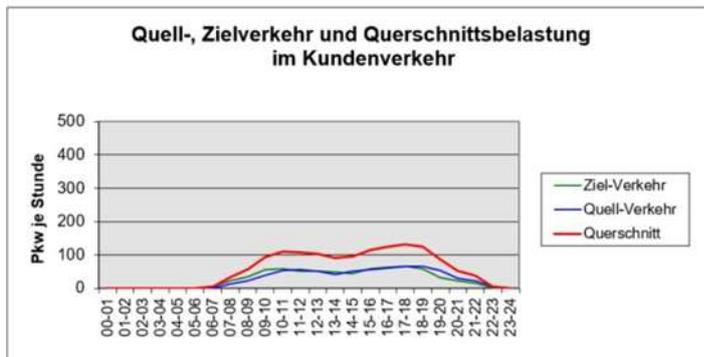
Abbildung 58: Tagesbelastungen im KFZ-Verkehr

Ableiten von Tagesganglinien

Für das Vorgehen nach HSVV sind verschiedene Optionen für Ganglinien hinterlegt. Ähnlich wie beim Vorgehen nach den FGSV-Richtlinien wird jedoch ebenfalls die, dem Verfahren beigefügte, Verkehrserhebung eines Kaufland-Standortes in Kerpen in Nordrhein-Westfalen verwendet. Damit werden die integrierte Lage und die langen Öffnungszeiten des Kauflands am besten berücksichtigt.

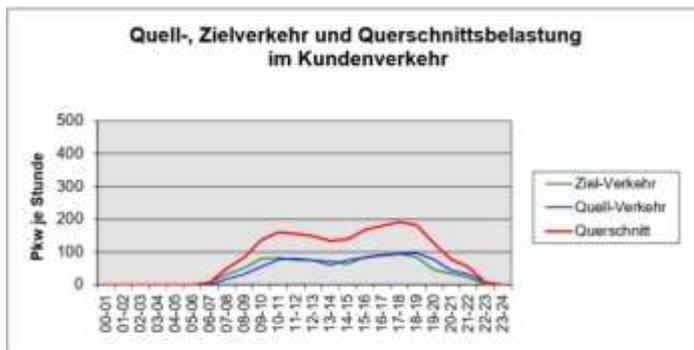
Dementsprechend ist das Verkehrsaufkommen anteilig bei beiden Verfahren gleich verteilt und unterscheidet sich nur in den absoluten Zahlen. Es gelten die gleichen Annahmen wie für das Vorgehen nach FGSV-Richtlinien. Es erscheint angebracht, für Ganglinien von Montag bis Freitag als

Eingangswerte die untere bis mittlere Bandbreite zu verwenden (vgl. Abbildung 59 und Abbildung 60), während an Samstagen eher die obere Bandbreite berücksichtigt werden sollte (vgl. Abbildung 61).



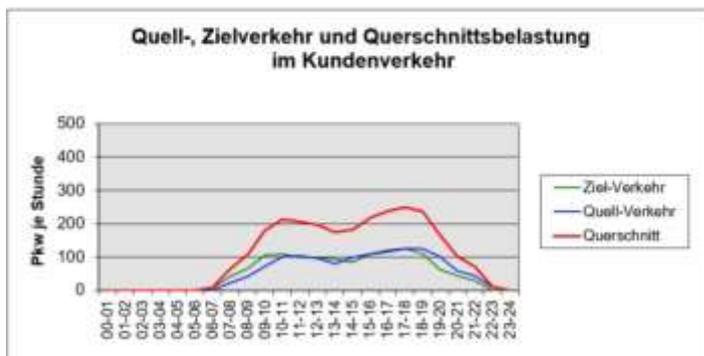
	Ziel-Verkehr	Quell-Verkehr	Querschnitt
00-01	0	0	0
01-02	0	0	0
02-03	0	0	0
03-04	0	0	0
04-05	0	0	0
05-06	0	0	0
06-07	5	0	5
07-08	22	12	34
08-09	35	22	57
09-10	55	38	94
10-11	57	54	111
11-12	52	55	107
12-13	52	51	103
13-14	50	42	92
14-15	44	52	96
15-16	58	57	115
16-17	63	61	125
17-18	66	66	131
18-19	59	66	125
19-20	33	54	87
20-21	23	30	54
21-22	15	23	38
22-23	0	6	6
23-24	0	0	0

Abbildung 59: Tagesganglinie für Verkehrsaufkommen am Minimum (Montag-Freitag)



	Ziel-Verkehr	Quell-Verkehr	Querschnitt
00-01	0	0	0
01-02	0	0	0
02-03	0	0	0
03-04	0	0	0
04-05	0	0	0
05-06	0	0	0
06-07	7	0	7
07-08	31	18	49
08-09	51	32	83
09-10	81	50	137
10-11	84	78	162
11-12	78	80	159
12-13	75	74	150
13-14	73	61	133
14-15	84	70	149
15-16	84	83	167
16-17	92	89	181
17-18	95	90	191
18-19	88	90	182
19-20	48	70	126
20-21	34	44	78
21-22	22	33	55
22-23	0	8	8
23-24	0	0	0

Abbildung 60: Tagesganglinie für Verkehrsaufkommen im Mittel (Montag-Freitag)



	Ziel-Verkehr	Quell-Verkehr	Querschnitt
00-01	0	0	0
01-02	0	0	0
02-03	0	0	0
03-04	0	0	0
04-05	0	0	0
05-06	0	0	0
06-07	9	0	9
07-08	41	24	65
08-09	87	42	129
09-10	106	73	179
10-11	110	103	213
11-12	100	105	205
12-13	99	96	196
13-14	95	80	175
14-15	84	99	183
15-16	110	109	219
16-17	121	117	238
17-18	125	125	251
18-19	112	120	238
19-20	63	103	166
20-21	44	58	102
21-22	29	43	73
22-23	0	11	11
23-24	0	0	0

Abbildung 61: Tagesganglinie für Verkehrsaufkommen am Maximum (Samstags)

Arbeitspaket 9 – Leitfaden

Autoren: Hochschule für Technik Stuttgart – Dreher, Bode, Gaspers

Im Rahmen des Projekts wurden Datenerfassungen durch Verkehrserhebungen und Nutzerbefragungen sowie eine umfangreiche Grundlagenrecherche zu den Themenkomplexen Ladeinfrastruktur in Bestandsparkhäusern und dynamischem Lastmanagement durchgeführt. Um diese Erkenntnisse in komprimierter Form darstellen zu können, wurde ein Leitfaden erstellt, der die wichtigsten Ergebnisse des Forschungsprojekts ILEF Calw in allgemeingültiger Form zusammenfasst.

Der Leitfaden ist dem Bericht beigelegt.

Arbeitspaket 10 – Dokumentation und Projektmanagement

Autoren: Hochschule für Technik Stuttgart – Dreher, Bode, Gaspers

Die Zuordnung der Arbeitspakete zu den Projektpartnern erfolgte zu Beginn des Projekts, womit auch die Zuständigkeiten festgelegt wurden. Neben einem regelmäßigen Jour-Fixe im 14-tägigen Rhythmus wurden alle zwei Monate Workshops in Präsenz durchgeführt. Die Dokumentation der Vorgehensweise und der Ergebnisse wurde vom jeweiligen Partner selbstständig vorgenommen.

Fazit

Die Untersuchungen im Projekt ILEF zeigen, wie wichtig flächendeckende Ladeinfrastruktur sowie (dynamisches) Lastmanagement perspektivisch sein werden. Selbst moderate Hochlaufkurven weisen einen zunehmenden Bestand an Elektroautos in den kommenden Jahren auf. Eine Vielzahl der Ladevorgänge wird im privaten Bereich und im beruflichen Umfeld durchgeführt werden. Dennoch wird auch der Bedarf an Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum zunehmen.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen insbesondere die Relevanz für Parkhäuser der Nutzungszwecke Einkaufen und Freizeit. Zu Spitzenzeiten werden diese von einer Vielzahl an Nutzern besucht, die dementsprechend auch Ladeinfrastruktur benötigen. Für eine effiziente Abwicklung der damit generierten Ladevorgänge ist dynamisches Lastmanagement als Lösungsansatz zu sehen, eine Überlastung der bestehenden Netze zu vermeiden, ohne auf einen kostenintensiven Netzausbau angewiesen zu sein.

Darüber hinaus wird durch den Einsatz von dynamischem Lastmanagement die Integration erneuerbarer Energien vereinfacht, da sehr gut auf die Volatilität der zur Verfügung stehenden Energiemengen reagiert werden kann. Zudem besteht im Zusammenspiel mit bidirektionalem Laden die Chance, eine effiziente Ressourcennutzung durch mögliche Sektorenkopplungen umzusetzen.

Somit sind die Erkenntnisse des Projekts ILEF in erster Linie für Parkhausbetreiber relevant, aber auch für andere Akteure, die eine große Zahl von Ladevorgängen zur gleichen Zeit zu bewältigen haben. Der Projektbericht und Leitfaden der HFT Stuttgart fassen hierbei primär die theoretischen Grundlagen sowie Verhaltens- und Nutzungsuntersuchungen zusammen, während der Projektbericht der deer GmbH die technische Umsetzung beleuchtet.

Potentiell weiterer Forschungsbedarf im Themenkomplex des Lastmanagements wird in erster Linie in der Kombination von dynamischem Lastmanagement und bidirektionalem Laden gesehen. Zudem bestehen Anknüpfungspunkte zur Sektorenkopplung oder der ganzheitlichen Integration von Ladeinfrastruktur in die Gebäudeenergie-technik. Als weiter gefasstes Forschungsfeld bietet das Lastmanagement zudem Untersuchungsansätze unseres zukünftigen Mobilitäts- und Verkehrsverhaltens.

Quellenverzeichnis

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021: Energiebericht kompakt

Connect Energy Economics, 2015: Aktionsplan Last- management. Endbericht einer Studie von Connect Energy Economics. Studie im Auftrag von Agora Energiewende

BMVI und Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, Studie im Auftrag des BMVI Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/11/Studie_Ladeinfrastruktur-nach-2025-2.pdf (zuletzt abgerufen am 07.12.2022)