

<p>FuE-Programm "Erneuerbar Mobil" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)</p>	
<p>Schlussbericht</p>	
<p>Vorhabenbezeichnung: Integrierte Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur - lautlos&einsatzbereit</p>	
<p>Laufzeit des Vorhabens: vom: 01.09.2016 bis: 31.03.2020</p>	
<p>Zuwendungsempfänger: Niedersächsisches Ministerium für Inneres und Sport (LPP)</p> <p>Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig / Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion, Lehrstuhl für Produktion und Logistik (AIP) ▪ Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) ▪ Institut für Fahrzeugtechnik (IfF) ▪ Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Professur für Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering (IWF) 	<p>Förderkennzeichen: 16EM3107-1</p> <p>16EM3107-2</p>

Schlussbericht zum Verbundprojekt

lautlos&einsatzbereit

Berichtszeitraum:

01.09.2016 bis 31.03.2020

Stand: 16.04.2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Zusammenfassung	2
2. Zielstellung des Verbundprojektes	4
3. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes	7
3.1. Modul 1: Vorbereitung Betrieb	8
3.2. Modul 2: Betrieb	33
3.3. Modul 3: Wissenschaftliche Begleitforschung	35
3.4. Modul 4: Entwicklung Leitfaden	80
3.5. Übergreifende wichtige Ereignisse	102
4. Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan	109
5. Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik	111
6. Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf	113
7. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)	115
8. Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses	117

1. Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt *lautlos&einsatzbereit* startete am 1. September 2016. Zusammen mit der Technischen Universität Braunschweig (Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik -NFF) wird der kombinierte Einsatz von Plug-In-hybriden (PHEV) und batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) innerhalb der Polizei Niedersachsens getestet. Der Forderung nach einer ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Mobilität können Unternehmen und Behörden mittelfristig nur durch die Integration hybrider und batterieelektrischer Fahrzeuge in ihren Flotten nachkommen. Bislang stellt diese Aufgabe die Beschaffer und Betreiber von Fahrzeugflotten jedoch vor große Herausforderungen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein umweltschonender Einsatz von hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugen insbesondere durch die Versorgung der Fahrzeuge mit Energie aus erneuerbaren Energiequellen, wie zum Beispiel lokalen Erzeugungsanlagen, zu gewährleisten ist. Daher stellt die Auslegung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur eine komplexe Aufgabe dar.

Wurden in Vorgängerprojekten häufig Fahrzeuge insbesondere im Bereich der Fiskalfahrten getestet, wurden die Schwerpunkte des Projekts *lautlos&einsatzbereit* nunmehr in Extrembereichen wie den Einsatz- und Streifendiensten (ESD) sowie den Ermittlungsdiensten (ZKD, KED, KDD) gesetzt. Die zur Verfügung gestellten Projektmittel ermöglichten die Beschaffung von 53 Fahrzeugen und 30 Ladepunkten für die Polizei Niedersachsen und damit die Erprobung in den Einsatz- und Streifendiensten, den (Zentralen) Kriminalermittlungsdiensten sowie in Bereichen mit Stabs- und Fiskalfahrten. Unter der Koordination des Landespolizeipräsidiums (Referat 26), der Leitung durch die Polizeidirektion Braunschweig und mit der umfangreichen Unterstützung der Zentralen Polizeidirektion Niedersachsen konnte das Projekt trotz einiger Hürden durchgeführt werden. Polizeiliche Fahrzeugflotten werden im Vergleich zu konventionellen Flotten unter Extrembedingungen betrieben, da Polizeifahrzeuge grundsätzlich rund um die Uhr verfügbar sein müssen und sowohl einer hohen Flexibilität und Fahrleistung, als auch einer Unplanbarkeit hinsichtlich des Einsatzes und der jeweiligen Reichweiten unterliegen. Diese Aspekte verschärfen sich nochmals bei der vergleichenden Betrachtung der unterschiedlichen Anforderungen in den verschiedenen Polizeibehörden. Beispielsweise unterliegt ein Funkstreifenwagen des Einsatz- und Streifendienstes in einem Flächenlandkreis anderen Nutzungsbedingungen als im innerstädtischen Bereich. Darüber hinaus werden die Fahrzeuge durch die häufigen Nutzer-Wechsel sehr stark beansprucht. Ähnlich hohe Anforderungen sind in Fuhrparks privater beziehungsweise privatwirtschaftlicher Unternehmen kaum zu finden. Auch innerhalb von öffentlichen Institutionen oder Organisationen kommen solch extreme Anforderungen selten zusammen. Der innerhalb des Projekts erstellte Leitfaden wird daher Entscheidungsträger bei der Planung, der Beschaffung und dem Betrieb von Flotten mit besonderen Anforderungen unterstützen und damit eine Übertragung der erzielten Ergebnisse auf weitere Bereiche mit ähnlichen Anwendungsprofilen ermöglichen. In Frage kommen dabei auch Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) wie beispielsweise Feuerwehren, Technisches Hilfswerk und Rettungsdienste. Das Vorliegen einer praxistauglichen Planungsgrundlage für

die Polizei kann damit auch problemlos auf weit weniger anspruchsvolle Flotten angewendet werden.

Bei dem Forschungsprojekt ging es insbesondere um die Fragestellung, ob sich Elektrofahrzeuge unter Extrembedingungen, aber auch für den generellen Einsatz bei der Polizei eignen und welche logistischen Herausforderungen eine funktionierende elektrifizierte Flotte mit sich bringt. Zudem fandet durch die Erhebung von umfangreichen Messdaten, eine wissenschaftliche Begleitforschung hinsichtlich der Mobilitäts- und Ladebedarfe in den Fahrzeugen selbst sowie in der Ladeinfrastruktur statt. Ein wesentliches Element war die Entwicklung eines Systems zur Flottenplanung und -steuerung einschließlich eines Lademanagements für die Anforderungen der Polizei. Sämtliche Ergebnisse flossen in den entwickelten Leitfaden ein. Das Projekt endete am 31.03.2020.

2. Zielstellung des Verbundprojektes

Der Forderung nach einer nachhaltigen Mobilität können Unternehmen und Behörden langfristig nur durch die Integration hybrider und batterieelektrischer Fahrzeuge in ihre Flotten nachkommen. Bislang stellt diese Aufgabe die Beschaffer und Betreiber von Fahrzeugflotten jedoch vor große Herausforderungen. So geht die Nutzung hybrider und batterieelektrischer Fahrzeuge im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen mit langen Ladezeiten, begrenzten Reichweiten und der daraus resultierenden begrenzten Verfügbarkeit der Fahrzeuge einher. Für den Betrieb der Fahrzeuge wird darüber hinaus eine Energie- und Ladeinfrastruktur benötigt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein umweltschonender Einsatz von hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugen insbesondere durch die Versorgung der Fahrzeuge mit Energie aus erneuerbaren Energiequellen, wie z. B. lokalen Erzeugungsanlagen, zu gewährleisten ist. Somit stellt die Auslegung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur eine komplexe Aufgabe dar.

Diese Herausforderungen verstärken sich zusätzlich, wenn der Einsatz einer differenzierten Fahrzeugflotte (Plug-in Hybrid- (PHEV) und Elektrofahrzeugen (BEV)) unter Extrembedingungen, wie zum Beispiel im Einsatz- und Streifendienst der Polizei oder im Einsatz- und Rettungsdienst der Feuerwehr, erfolgt. Diese Einsatzgebiete sind durch höchste Anforderungen an Technik und Verfügbarkeit der Fahrzeuge gekennzeichnet. Der Technologiereife, dem spezifischen Energiebedarf sowie der Nutzerakzeptanz kommt bei der Auslegung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur eine besondere Bedeutung zu. Besonders ausschlaggebend sind dabei die Fahrprofile und damit die Einsatzzeiten der Fahrzeuge. Die Batteriekapazität der Fahrzeuge, die Ladeleistung, die Ladeart und die Energieversorgung müssen an den Anforderungen der Flotte ausgerichtet werden. Dadurch entstehen eine Vielzahl von Abhängigkeiten zwischen der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur und die Planungs- und Steuerungskomplexität erhöht sich um ein Vielfaches. Trotz dieser großen Herausforderungen kommt dem Einsatz von hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugen in behördlichen Flotten unter Extrembedingungen eine hohe Bedeutung zu, da sie eine wichtige Vorreiterrolle und Vorbildfunktion einnehmen.

Bei der Planung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur sind komplexe Entscheidungen zur Auslegung der Flotte zu treffen, z. B. Anzahl der Fahrzeuge, Fahrzeugtypen (konventionelle, hybride und batterieelektrische Fahrzeuge), Ladeinfrastrukturvarianten (Anzahl benötigter AC und/ oder DC Ladestationen, ungesteuert vs. gesteuertes Laden), Energieversorgung (Fremdbezug vs. Eigenproduktion). Es bestanden weder in der Praxis noch in der Wissenschaft Ansätze für die integrierte Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur unter Extrembedingungen.

Hier setzte das Verbundprojekt *lautlos&einsatzbereit* an. Es fokussierte auf die Entwicklung eines Leitfadens zur integrierten Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur mit dem Schwerpunkt eines ökologischen und ökonomischen Betriebs von Fahrzeugflotten unter Extrembedingungen mit hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugen. Dieser Leitfaden unterstützt Entscheidungsträger wie strategische Entscheidungsträger aus Politik und Verwaltung, Flottenmanager, Fuhrparkverantwortliche, Ladeinfrastruktur-

verantwortliche, Anwender/Nutzer, Werkstatt/Techniker, Fahrzeughersteller sowie Hersteller für Ladeinfrastruktur bei der Planung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur, der Beschaffung und dem Betrieb von Flotten mit besonderen Anforderungen.

Vor diesem Hintergrund gliederten sich die Aufgaben der einzelnen Partner wie in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Aufgaben der Projektpartner

Partner	Aufgaben im Verbundprojekt
LPP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projektmanagement, Pressearbeit und Kommunikation ▪ Erstellung des Grobkonzeptes in Abstimmung mit den Polizeibehörden und detaillierter Beschreibung der zu beschaffenden Fahrzeugklassen hinsichtlich Einsatzzweck, Standort und Sonderausstattung sowie der Ladeinfrastruktur hinsichtlich Art, Anzahl und Standortauswahl ▪ Erstellen von Leistungsverzeichnissen, Initiierung des Ausschreibungsverfahrens, Begleitung des Beschaffungsprozesses (Baubesprechungen, Einhaltung des Zeitplanes, Abnahme von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur), Schulung und Einweisung in die Fahrzeuge und die Ladetechnik im Rahmen von Informationsveranstaltungen in den Polizeibehörden, Übergabe der Fahrzeuge an die Polizeibehörden ▪ Aufbau und Betrieb der Fahrzeuge sowie der Ladeinfrastruktur ▪ Ermittlung benötigter Messdaten (Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur) aus einsatztaktischer Sicht in Zusammenarbeit mit dem IfF, Überprüfung der Datenerhebung aus datenschutzrechtlicher Sicht ▪ Bewertung der Fahr- und Ladedaten aus einsatztaktischer Sicht ▪ Umsetzung der Planungs- und Steuerungsergebnisse in den laufenden Flotten- Energie- und Ladeinfrastrukturbetrieb ▪ Mitarbeit an der Entwicklung des Leitfadens mit spezifischem Fokus auf polizeispezifische (Rahmen-) Bedingungen
NFF	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projektmanagement, Pressearbeit und Kommunikation
NFF-AIP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analyse der Einsatzzwecke und Überführung der Fahrprofile des IfF in eine Flottenklassifikation ▪ Erhebung, Analyse und Auswertung bestehender Flottensteuerungsprozesse, Ableitung von Anforderungen an die Flottensteuerung unter Berücksichtigung von PHEV und BEV ▪ Mitentwicklung eines integrierten Gesamtkonzepts für die Planung und Steuerung von Flotten und Infrastruktur unter Berücksichtigung von PHEV und BEV mit spezifischem Fokus auf der Flottensteuerung ▪ Analyse der Fahr- und Ladedaten für den Einsatz in der Flottenplanung und -steuerung ▪ Entwicklung und Bereitstellung von Steuerungsregeln für die Planung der Flotten, Energie- und Ladeinfrastruktur ▪ Entwicklung einer Entscheidungsunterstützung zur Flottensteuerung ▪ Übertragung der Ergebnisse der Planung und Steuerung in den Betrieb der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur ▪ Zusammenführung und Evaluation der Ergebnisse der Flottenplanung und -steuerung ▪ Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Flottenplanung und -steuerung in Abstimmung mit dem IWF unter besonderer Berücksichtigung wirtschaftlicher Fragestellungen ▪ Koordination der Entwicklung des Leitfadens, Mitarbeit an der Entwicklung des Leitfadens mit spezifischem Fokus auf die Flottenplanung und -steuerung sowie wirtschaftliche Fragestellungen

<p>NFF- ELE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ermittlung der benötigten Energie- und Ladeinfrastruktur für die verschiedenen Anwendungsfälle unter Nutzung eines bestehenden Werkzeugs für die Infrastrukturplanung ▪ Erhebung, Analyse und Auswertung bestehender Infrastrukturplanungs- und -steuerungsprozesse, Ableitung von Anforderungen ▪ Mitentwicklung eines integrierten Gesamtkonzepts für die Planung und Steuerung von Flotten und Infrastruktur unter Berücksichtigung von PHEV und BEV mit spezifischem Fokus auf der Infrastrukturplanung und -steuerung ▪ Erstellung Messkonzept, Aufbau und Einrichtung Messkonzept, Aufnahme und Analyse der Lade- und Energieerzeugungsdaten ▪ Einsatz und Weiterentwicklung des bestehenden Werkzeugs für die Energie- und Ladeinfrastrukturplanung und -steuerung unter Berücksichtigung der Steuerungsregeln und des Outputs der Flottenplanung, Definition und Ausarbeitung von Schnittstellen zwischen der Planung und -steuerung von Flotten sowie Lade- und Energieinfrastruktur mit spezifischem Fokus auf die Infrastruktur ▪ Übertragung der Ergebnisse der Planung und Steuerung in den Betrieb der Energie- und Ladeinfrastruktur; Entwicklung von Ladealgorithmen für PHEV und BEV ▪ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Lade- und Energieinfrastrukturplanung in Abstimmung mit AIP Iff und IWF ▪ Mitarbeit an der Entwicklung des Leitfadens mit spezifischem Fokus auf die Lade- und Energieinfrastrukturplanung und -steuerung
<p>NFF- Iff</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auswertung von Fahrprofilen zur Charakterisierung der Bedarfe und Anforderungen an den Fahrbetrieb ▪ Generierung, automatisierte Speicherung und Übertragung der benötigten Messdaten der Fahrzeuge aus dem Fahrbetrieb ▪ Aufbereitung und Analyse der Messdaten insb. zur Berechnung von charakteristischen Parametern wie Fahranteilen, Energiebedarfen, Kraftstoffverbräuchen von BEV und PHEV ▪ Auswertung fahrzeugseitiger Einflüsse von BEV und PHEV auf veränderte Energie- und Ladedaten ▪ Fahrzeugseitige Bewertung der Ergebnisse ▪ Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur technischen Auslegung von Fahrzeugflotten ▪ Mitarbeit an der Entwicklung des Leitfadens mit spezifischem Fokus auf die technischen Fahrzeugspezifikationen
<p>NFF- IWF</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Überführung der vom Iff erhobenen Fahrprofile in ein bestehendes Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung für die Flottenplanung mit Elektrofahrzeugen, Simulation des Flottenbetriebs zur Ermittlung einer geeigneten Flottenkonfiguration für LPP ▪ Mitentwicklung eines integrierten Gesamtkonzepts für die Planung und Steuerung von Flotten und Infrastruktur unter Berücksichtigung von PHEV und BEV mit spezifischem Fokus auf der Flottenplanung ▪ Einsatz und Weiterentwicklung des bestehenden Werkzeugs für die Planung von Flotten unter Berücksichtigung der Steuerungsregeln und Anforderungen aus der Infrastrukturplanung und -steuerung, Definition und Ausarbeitung von Schnittstellen zwischen der Planung und -steuerung von Flotten sowie Lade- und Energieinfrastruktur mit spezifischem Fokus auf die Flotten ▪ Analyse und ökologische Auswertung der Flottenplanung ▪ Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Flottenplanung und -steuerung in Abstimmung mit dem AIP unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Fragestellungen ▪ Mitarbeit an der Entwicklung des Leitfadens mit spezifischem Fokus auf die Flottenplanung sowie ökologische Fragestellungen

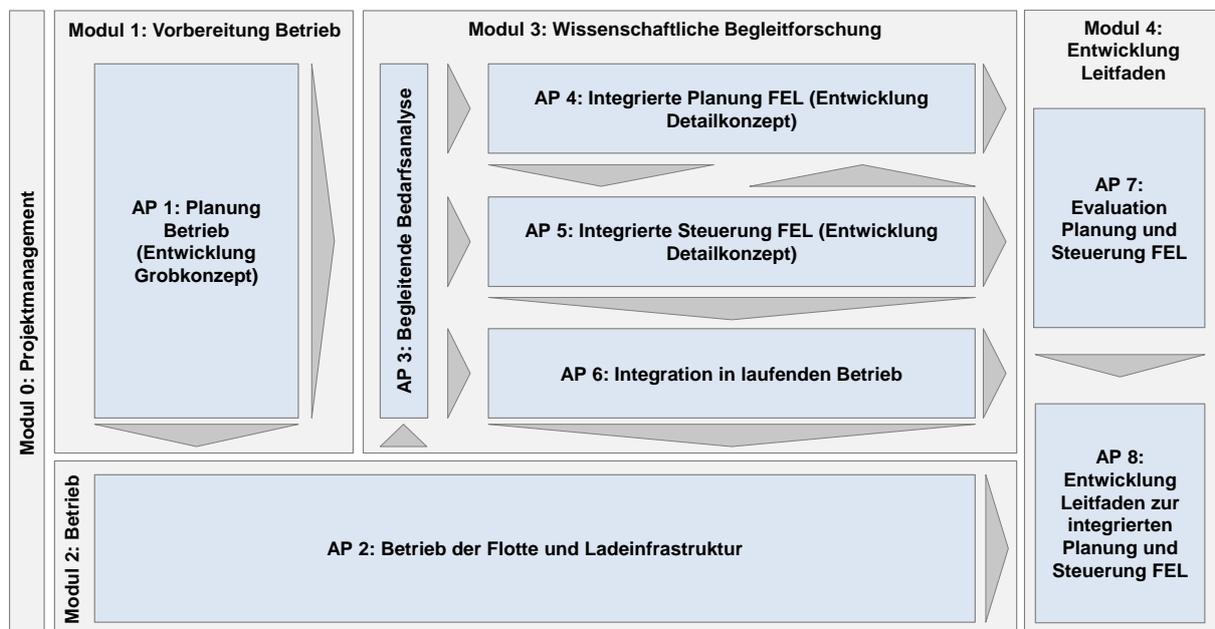
3. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes

Das vorliegende Dokument beinhaltet den Abschlussbericht zum Verbundprojekt *lautlos&einsatzbereit*. Der Bericht ist als Verbundbericht aller am Projekt beteiligten Verbundpartner strukturiert. Dieser Abschnitt enthält aufgeschlüsselt für alle Projektmodule

- die Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten in Bezug zum Arbeitsplan,
- die Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse sowie
- die wichtigsten übergreifenden Ereignisse.

Die geplanten Arbeiten im Forschungsprojekt gliederten sich in vier Module: In Modul 1 erfolgte die Planung des Betriebs, die Entwicklung eines Grobkonzepts und die Beschaffung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur. In Modul 2 wurde die Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur ausgerüstet und betrieben sowie die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung aus Modul 3 in den Betrieb integriert. In Modul 3 erfolgte die wissenschaftliche Begleitforschung: ein Detailkonzept für die integrierte Planung und Steuerung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur wurde entwickelt und in den Betrieb übertragen. In Modul 4 wurden die entwickelten Planungs- und Steuerungskonzepte auf Basis der Anwendungsszenarien evaluiert und in einen Leitfaden zur integrierten Planung und Steuerung von Flotten-, Energie-, und Ladeinfrastruktur überführt. Die Gesamtstruktur des Projektes ist der Abbildung 1 zu entnehmen.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der **Projektmodule 1 bis 4** auf Basis von Arbeitspaketen (AP) und Arbeitsschritten (AS) detailliert dargestellt.



FEL: Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur

Abbildung 1: Gesamtstruktur des Projektes

3.1. Modul 1: Vorbereitung Betrieb

In **Modul 1** wurde der Betrieb vorbereitet. Hierzu wurden in **AP 1** die dafür erforderlichen Konzepte und Methoden erarbeitet. Die Vorbereitung des Betriebs umfasste die Planung des Betriebs und die Entwicklung eines dazugehörigen Grobkonzepts.

AP 1: Planung Betrieb (Entwicklung Grobkonzept)

Ziel des **AP 1** war die Planung des Betriebs und die Entwicklung eines Grobkonzeptes für die Beschaffung von alternativ angetriebenen Fahrzeugen sowie zugehöriger Lade- und Energieinfrastrukturen. Hierfür wurde durch AIP, ELE und IWF ein Beschaffungsprozess für die Flotten des LPP auf Basis bestehender Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung durchgeführt, um hierauf aufbauend Anforderungen an die Planung und Steuerung von Flotten und Ladeinfrastruktur abzuleiten und diese in ein Gesamtkonzept zu überführen.

In AS 1.1 erfolgten zunächst die Erfassung des Mobilitätsbedarfs des LPP und die Ableitung einer Flottenklassifikation.

Hierzu wurden vorhandene Fahrprofile des LPP vom IFF ausgewertet und Bedarfe und Anforderungen an den Fahrbetrieb charakterisiert. Hierauf aufbauend haben das IWF und das AIP diese Fahrprofile unter Berücksichtigung der Einsatzzwecke in eine Flottenklassifikation überführt. Das LPP unterstützte durch die Erläuterung von Einsatzzwecken und durch die Prüfung der entwickelten Flottenklassifikation.

Zur Erfassung des Mobilitätsbedarfs des LPP wurde im ersten Schritt eine grundlegende Differenzierung der Flotte durchgeführt, da die Fahrzeugflotte der Polizei Niedersachsen zum Teil erhebliche Unterschiede bei der Nutzung aufweist. Dabei wurde nach Einsatzzweck (Einsatz- und Streifendienst, Kriminal- und Ermittlungsdienst, Stab), Einsatzraum (urban, rural), Organisationsbereich (Behörde / Polizeidirektion, Polizeiinspektion, Polizeikommissariat, Polizeistation) und Organisationsgrößen sowie entsprechenden Nutzungsprofilen differenziert. Im zweiten Schritt wurden zwei exemplarische Organisationsbereiche näher betrachtet und entsprechende Fahrtstreckenprofile erhoben. Hierfür wurden in einem aufwändigen Verfahren die Fahrdaten der Polizeiinspektion Braunschweig (urban) und der Polizeiinspektion Gifhorn (rural) gemeinsam vom LPP und IFF ausgewertet und geclustert. Dadurch konnten Grundprofile erstellt und auftretende Spitzen analysiert werden. Auf Basis dieser Daten wurde der Mobilitätsbedarf des LPP abgeleitet und die in Abbildung 2 bis Abbildung 4 dargestellten Einsatzszenarien definiert.

In Abbildung 2 ist der Einsatz- und Streifendienst (ESD) dargestellt. Er hat grundsätzlich die Schwerpunktaufgaben der (Sofort-)Einsatzbewältigung, der Gefahrenabwehr, der Verkehrsüberwachung, der Kriminalitätsbekämpfung sowie der Prävention und Bürgerpräsenz im rund-um-die-Uhr-Betrieb innerhalb des örtlichen Zuständigkeitsbereiches. Einsatz- und Streifendienste sind organisatorisch grundsätzlich bei Polizeiinspektionen (PI) und Polizeikommissariaten (PK) angegliedert.

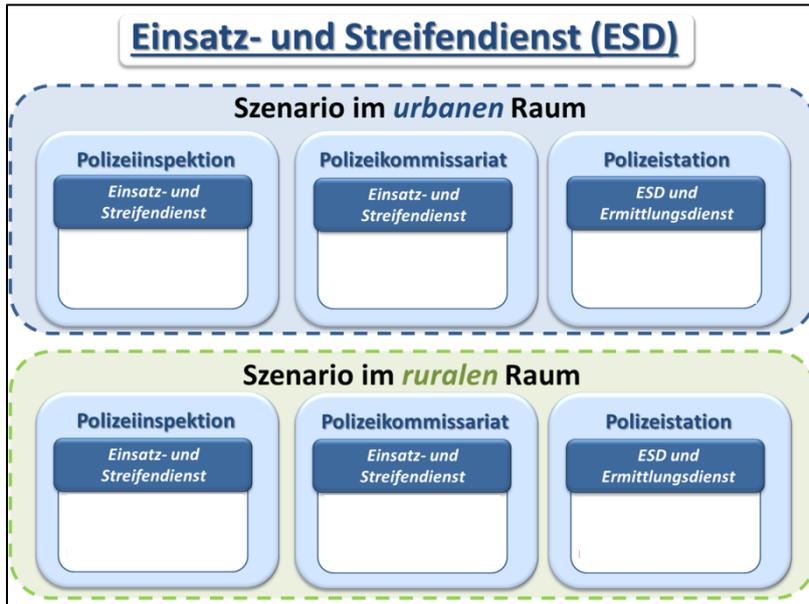


Abbildung 2: Einsatz- und Streifendienst

Bei der Auswertung der zugeliferten Daten konnte im Ergebnis festgestellt werden, dass für ein Anwendungsszenario Einsatz- und Streifendienst (ESD) aufgrund der großen Spannen in Bezug auf die gefahrenen Distanzen, der Anzahl der täglichen Fahrten und damit einhergehend auch der Standzeiten sowie des benötigten Fahrzeugsegments der Einsatz von BEV nicht berücksichtigt werden konnte. PHEV konnten dagegen im ESD eingeplant werden, da das Fahrzeugsegment Mittelklasse durch die Hersteller bedient wird.

Im ESD finden sich zudem besondere Bereiche wie beispielsweise die Spezialisierte Tatortaufnahme (SpeT) oder in urbanen Regionen der Verkehrsunfalldienst (VUD). Diese wurden von den nachfolgenden Betrachtungen ausgenommen.

Gleiches gilt für die ESD-Bereiche von Dienststellen, welche für Bundesautobahnen (ESD BAB) zuständig sind. Insbesondere hier gibt es derzeit kein elektrifiziertes Fahrzeugmodell, welches den hohen Anforderungen entsprechen kann (Fahrzeugsegment: obere Mittelklasse; entspr. Endgeschwindigkeit, Zuladung, Raumbedarf).

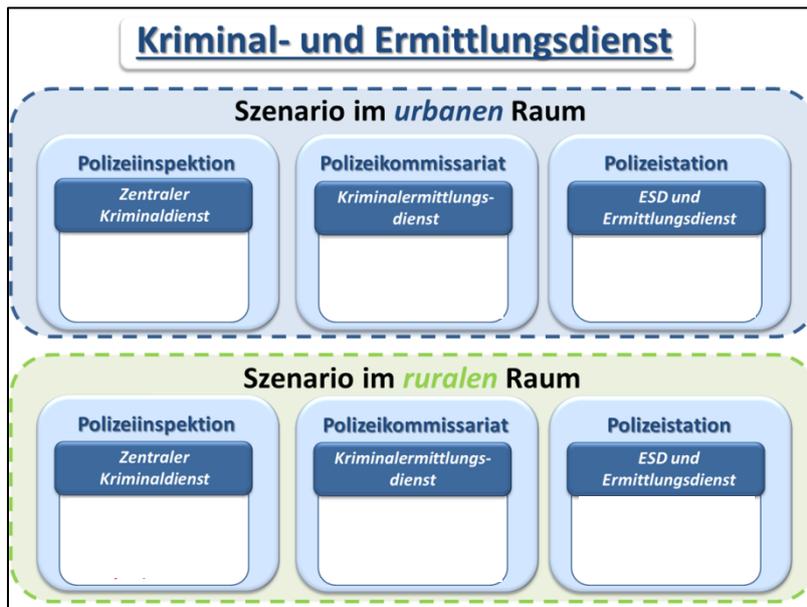


Abbildung 3: Kriminal- und Ermittlungsdienst

Der Kriminal- und Ermittlungsdienst (vgl. Abbildung 3) befasst sich im Wesentlichen mit der Kriminalitätsbekämpfung im jeweiligen Zuständigkeitsgebiet. Er umfasst neben dem Zentralen Kriminaldienst (ZKD) der Polizeiinspektionen auch die dazugehörigen operativen Bereiche der Fahndung, der Kriminaltechnik (Fachkommissariat 5), sofern vorhanden den Kriminaldauerdienst (KDD) sowie die Kriminalermittlungsdienste (KED) der Polizeikommissariate. In diesem Szenario wurden auch Anwendungsfälle der Zentralen Kriminalinspektionen sowie des Landeskriminalamtes berücksichtigt, welche u.a. überregional für die spezialisierte Bekämpfung von Schwermriminalität zuständig sind.

Im Vergleich zum ESD, jedoch mit Ausnahme des KDD, sind beim Anwendungsszenario Kriminal- und Ermittlungsdienst die Fahrten besser planbar und weisen längere Standzeiten auf, da die meisten Fahrzeuge grundsätzlich über Nacht nicht genutzt werden. Gleichzeitig sind im Szenario Kriminal- und Ermittlungsdienst die Anforderungen an Platzbedarf, Zuladung und Ausstattung geringer, wodurch für den Einsatz neben PHEV auch BEV in Frage kommen.

Polizeistationen (PSt) nehmen als Organisationsteil einer Dienststelle allgemeinpolizeiliche Aufgaben in ihrem Zuständigkeitsbereich (z. B. einer Samtgemeinde) wahr. Dazu zählen neben den Aufgaben des ESD auch Präsenz- und Ermittlungstätigkeiten. Im Vergleich zum ESD sind Polizeistationen in der Regel nicht ständig besetzt. Aufgrund der Bandbreite an Tätigkeiten, finden sich die exemplarischen Fahrprofile sowohl im Anwendungsszenario ESD als auch im Szenario Ermittlungen wieder. Eine Aufteilung der jeweiligen Profilanteile von ESD und KED sind auf dieser Ebene nicht einheitlich möglich.

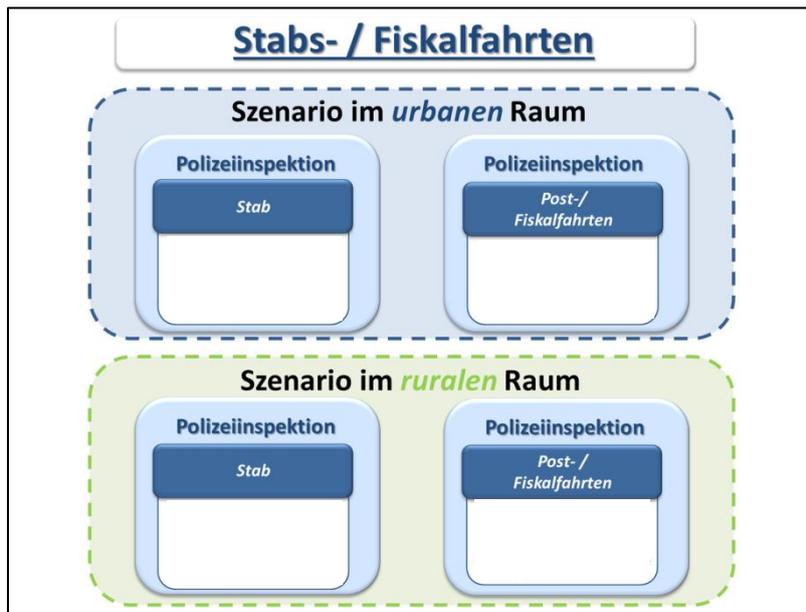


Abbildung 4: Stabs- und Fiskalfahrten

Das dritte (exemplarische) Anwendungsszenario der Fiskalfahrten (vgl. Abbildung 4) wurde in die Bereiche Stab und Post- bzw. reine Fiskalfahrten untergliedert. Diese Unterteilung war notwendig, da sich die Anforderungen zum Teil erheblich unterscheiden. Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt lag darin, dass einige Fahrzeuge aus dem Pool der Stabs- und Fiskalfahrten die Anforderungen des Einsatz- und Streifendienstes bzw. des Kriminal- und Ermittlungsdienstes erfüllen müssen. Im erstgenannten Szenario sind Fahrzeugausfälle aufgrund der hohen Notwendigkeit der Verfügbarkeit im 24/7-Betrieb nicht hinnehmbar. Etwaige Ausfälle können aufgrund der knapp bemessenen Fahrzeugpoolgröße und der stark unterschiedlichen Fahrzeugtypen (spezielle Gefangenenfahrzeuge, Tatortfahrzeuge, etc.) zumeist nicht selbst kompensiert werden. Daher muss im Zweifel auf Funkstreifenwagen anderer Fahrzeugpools -häufig aus dem Stabsbereich- zurückgegriffen werden. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass sich im Vergleich zum ESD oder Kriminal- und Ermittlungsdienst ein größerer Anteil der Fahrzeuge aus dem Stabsbereich durch die tendenziell geringeren Gesamtanforderungen am besten durch reine Elektrofahrzeuge (BEV) ersetzen ließe.

Auf Basis der definierten Einsatzszenarien wurde eine Flottenklassifikation abgeleitet. Die Flottenklassifikation stellt eine Entscheidungsunterstützung für den Einsatz von BEV und PHEV im Polizeidienst dar und richtet sich an die Verantwortlichen der Fahrzeugbeschaffung bei der Polizei Niedersachsen, z. B. Sachbearbeiter Kfz. Bei der Polizei Niedersachsen ist es üblich, dass bestehende Fahrzeuge nach einer gewissen Zeit ersetzt werden. So liegen dem Verantwortlichen in der Regel bei der Neubeschaffung eines Fahrzeuges Informationen über das Einsatzszenario und das Nutzungsprofil des Fahrzeugs vor, welche die Grundlage für die Entscheidung des zu beschaffenden Fahrzeugs bilden.

Aufgrund der zum Teil großen Unterschiede der gefahrenen Kilometer (s. Stab in Abbildung 4) und der Anzahl der Fahrten pro Tag (s. Einsatz- und Streifendienst einer Polizeiinspektion Abbildung 2) innerhalb der Einsatzszenarien erscheint eine allgemeingültige Entscheidung über den Einsatz von BEV und PHEV auf Grundlage der Unterteilung der Polizeiflotte nach

Einsatzszenarien nicht sinnvoll. Bei jeder Beschaffung muss individuell über die Möglichkeit des Einsatzes von BEV und PHEV auf Grundlage von Kriterien entschieden werden. Deshalb wurden aufbauend auf der Flottenklassifikation von [Mennenga 2014] und in Zusammenarbeit mit dem LPP Kriterien und deren Ausprägungen definiert, anhand derer über den Einsatz von BEV und PHEV in der Polizeiflotte entschieden werden kann, und diese vom AIP in einen Fragenkatalog überführt. Folgende Kriterien und entsprechende Fragen wurden definiert:

1. Fahrzeugsegment: Welchem Fahrzeugsegment lässt sich das zu beschaffende Fahrzeug zuordnen?
2. Fahrzeugausstattung: Welche polizeitechnische Sonderausstattung benötigt das zu beschaffende Fahrzeug?
3. Planbarkeit der Fahrten: Wie viel Prozent der Fahrten des Fahrzeugs sind planbar?
4. a.) Kilometer pro Fahrt: Wie viele Kilometer werden im Schnitt an einem Tag mit dem Fahrzeug zurückgelegt?
b.) Kilometer pro Fahrt: Wie viele Kilometer werden maximal an einem Tag mit dem Fahrzeug zurückgelegt?
c) Kilometer pro Fahrt: Nur relevant, wenn der Einsatz eines BEV in Frage 4b kritisch war. An wie vielen Tagen pro Jahr wird mit diesem Fahrzeug die in Frage 4b angegebene maximale Kilometeranzahl gefahren?
5. a) Stillstandszeiten: Wie viele Stunden (am Stück) pro Tag beträgt im Schnitt die zur Ladung des Fahrzeugs nutzbare Stillstandszeit des Fahrzeugs?
b) Stillstandszeiten: Wie viele Stunden (am Stück) pro Tag beträgt die minimale zur Ladung des Fahrzeugs nutzbare Stillstandszeit des Fahrzeugs?
c) Stillstandszeiten: An wie vielen Tagen pro Jahr wird die in Frage 5b angegebene minimale Stillstandszeit zum Laden genutzt?
6. Ersatz-/Poolfahrzeug: Falls der Einsatzzweck nicht mit einem BEV erfüllt werden kann, ist es in Ausnahmefällen möglich auf ein anderes Fahrzeug aus Ihrem Pool zurück zu greifen, um den Einsatzzweck des zu beschaffenden Fahrzeugs zu erfüllen?
7. Zuladung: Wie viel Kilogramm beträgt die durchschnittliche Zuladung des Fahrzeugs inkl. Personen und Sonderausstattung?
8. a) Höchstgeschwindigkeit: Werden Geschwindigkeiten über 120 km/h benötigt?
b) Höchstgeschwindigkeit: Wie hoch ist die maximal benötigte Geschwindigkeit?

Je nach Frage werden zwei bis zehn Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Jede Antwortmöglichkeit ordnet sich einer der drei Kategorien zu: 1) Einsatz BEV möglich, 2) Einsatz BEV kritisch, 3) Einsatz BEV nicht möglich. PHEV werden hier nicht explizit benannt, da deren Einsatz in jedem Fall möglich wäre, der Einsatz von BEV aufgrund der ökonomischen und ökologischen Vorteilhaftigkeit allerdings priorisiert wird. Wenn alle Antworten in Kategorie 1) fallen, kann ein BEV eingesetzt werden. Sobald einige Antworten Kategorie 2) zuzuordnen sind und damit der Einsatz von BEV kritisch sein könnte, werden dem Verantwortlichen weitere Kriterien und deren Ausprägungen vorgeschlagen, die bei der Entscheidung über den Einsatz

eines BEV ausschlaggebend sind und zu einer eindeutigen Zuordnung zu Kategorie 1) oder 3) führen. Überwiegen die Antworten der Kategorie 3) sollte kein BEV eingesetzt werden.

Bevor der Fragebogen beantwortet werden kann, sind Informationen über die aktuell auf dem Markt verfügbaren BEV und Ladetechniken vom Entscheider einzuholen. Aufgrund der schnellen Entwicklung im Bereich Elektrofahrzeuge und Ladetechnik, werden bis Ende des Forschungsprojekts eine Vielzahl von neuen Fahrzeugmodellen mit höheren Reichweiten sowie schnellerer Ladetechnik auf dem Markt verfügbar sein. Um die Aktualität des Fragebogens auch nach Ende des Forschungsprojekts zu gewährleisten, sind die Informationen zu Fahrzeugmodellen und Ladetechnik zum Zeitpunkt der zu treffenden Entscheidung einzuholen.

Im Folgenden wird die Beschaffungsentscheidung anhand von zwei Beispielen auf Grundlage der verfügbaren Fahrzeugmodelle Q4/2016 dargestellt (eine umfassende Recherche zu verfügbaren Fahrzeugmodellen wurde durchgeführt):

Szenario 1: Einsatz- und Streifendienst (rural, Polizeikommissariat)

1. Fahrzeugsegment: Welchem Fahrzeugsegment lässt sich das zu beschaffende Fahrzeug zuordnen?
 - Mini (z. B. VW up!, Fiat 500)
 - Kleinwagen (z. B. VW Polo, Ford Fiesta)
 - Kompaktklasse Limousine (z. B. VW Golf, Skoda Octavia)
 - Kompaktklasse Kombi (z. B. VW Golf Variant)
 - Mittelklasse Limousine (z. B. VW Passat, Audi A4)
 - **Mittelklasse Kombi (z. B. VW Passat Variant) → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: verfügbare Fahrzeugmodelle**
 - Großraum-Vans (z. B. VW Touran, Opel Zafira)
 - Utilities (z. B. VW Transporter, VW Caddy)
 - Sonstige

2. Fahrzeugausstattung: Welche polizeitechnische Sonderausstattung benötigt das zu beschaffende Fahrzeug?
 - Keine Sonderausstattung
 - Funkstreifenwagenausstattung in neutraler Optik / zivil
 - **Funkstreifenwagenausstattung mit polizeitypischer Beklebung → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: gewähltes Fahrzeugmodell und Produktionsmöglichkeiten Hersteller**
 - Spezialausstattung

3. Planbarkeit der Fahrten: Wie viel Prozent der Fahrten des Fahrzeugs sind planbar?
 - **0% → kein BEV**
 - 1 - 25%
 - 25% - 49%
 - 50% - 74%
 - > 75%

4. a.) Kilometer pro Fahrt: Wie viele Kilometer werden im Schnitt an einem Tag pro Schicht mit dem Fahrzeug zurückgelegt?
- <30 km
 - 31 km – 50 km
 - 51 km – 80 km
 - 81 km – 100 km
 - 101 km – 120 km
 - **121 km – 250 km → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: Reichweite gewähltes Fahrzeugmodell**
 - 251 km – 350 km
 - 351 km – 500 km
 - 501 km – 700 km
 - > 700 km
- b.) Kilometer pro Fahrt: Wie viele Kilometer werden maximal an einem Tag pro Schicht mit dem Fahrzeug zurückgelegt?
- < 60 km
 - 61 km – 80 km
 - 81 km – 100 km
 - 101 km – 120 km
 - 121 km – 250 km
 - **251 km – 350 km → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: Reichweite gewähltes Fahrzeugmodell**
 - 351 km – 500 km
 - 501 km – 700 km
 - > 700 km
- c) Kilometer pro Fahrt: Nur relevant, wenn der Einsatz eines BEV in Frage 4b kritisch war. An wie vielen Tagen pro Jahr wird mit diesem Fahrzeug die in Frage 4b angegebene maximale Kilometeranzahl gefahren?
- 1 – 5 Tagen
 - 6 – 10 Tagen
 - 10 – 50 Tagen
 - **51 – 100 Tagen → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: Ersatz-/Poolfahrzeug**
 - > 100 Tagen
5. a) Stillstandszeiten: Wie viele Stunden (am Stück) pro Tag beträgt im Schnitt die zur Ladung des Fahrzeugs nutzbare Stillstandszeit des Fahrzeugs?
- < 0,5 h
 - **Bis zu 1 h → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: Ladegeschwindigkeit abhängig von Fahrzeugmodell und Ladetechnik**
 - Bis zu 2 h
 - Bis zu 3 h
 - Bis zu 4 h
 - Bis zu 5 h
 - Bis zu 6 h

- Bis zu 7 h
 - Bis zu 8 h
 - Bis zu 9 h
 - Bis zu 10 h
 - Mehr als 10 h
- b) Stillstandszeiten: Wie viele Stunden (am Stück) pro Tag beträgt die minimale zur Ladung des Fahrzeugs nutzbare Stillstandszeit des Fahrzeugs?
- **< 0,5 h → kein BEV**
 - Bis zu 1 h
 - Bis zu 2 h
 - Bis zu 3 h
 - Bis zu 4 h
 - Bis zu 5 h
 - Bis zu 6 h
 - Bis zu 7 h
 - Bis zu 8 h
 - Bis zu 9 h
 - Bis zu 10 h
 - Mehr als 10 h
- c) Stillstandszeiten: An wie vielen Tagen pro Jahr wird die in Frage 5b angegebene minimale Stillstandszeit genutzt?
- 1 – 5 Tagen
 - 6 – 10 Tagen
 - 10 – 50 Tagen
 - **51 – 100 Tagen → kein BEV**
 - > 100 Tagen
6. Ersatz-/Poolfahrzeug: Falls der Einsatzzweck nicht mit einem BEV erfüllt werden kann, ist es in Ausnahmefällen möglich auf ein anderes Fahrzeug aus Ihrem Pool zurück zu greifen, um den Einsatzzweck des zu beschaffenden Fahrzeugs zu erfüllen?
- Ja
 - **Nein → kein BEV**
7. Zuladung: Wie viel Kilogramm beträgt die durchschnittliche Zuladung des Fahrzeugs inkl. Personen und Sonderausstattung?
- 209 kg – 300 kg
 - **301 kg – 400 kg → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: Zuladung gewähltes Fahrzeugmodell**
 - 401 kg – 500 kg
 - 501 kg – 600 kg
 - 601 kg – 700 kg
 - 701 kg – 800 kg
 - 801 kg – 1000 kg
 - 1001 kg – 1200 kg

- 1201 kg – 1500 kg
 - >1500 kg
8. a) Höchstgeschwindigkeit: Werden Geschwindigkeiten über 120 km/h benötigt?
- **Ja → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: max. Geschwindigkeit gewähltes Fahrzeugmodell**
 - Nein
- b) Höchstgeschwindigkeit: Wie hoch ist die maximal benötigte Geschwindigkeit?
- < 120 km/h
 - 120 - 140 km/h
 - 141 - 160 km/h
 - 161 - 180 km/h
 - **181 - 200 km/h → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: max. Geschwindigkeit gewähltes Fahrzeugmodell**
 - 201 - 220 km/h
 - 221 - 250 km/h
 - > 250 km/h

Fazit Szenario 1: Einsatz- und Streifendienst (rural, Polizeikommissariat)

Bei vier von dreizehn Fragen ist ein Einsatz von BEV nicht möglich. Neun der dreizehn Antworten sehen den Einsatz von BEV in diesem Szenario eher kritisch. Aufgrund der nicht vorhandenen Planbarkeit und der geringen Stillstandszeiten des Fahrzeugs sowie der aktuell auf dem Markt verfügbaren BEV sollte in diesem Szenario vom Einsatz eines BEV abgesehen werden. Die Kombination der Anforderungen einer schnellen Ladung, hoher Reichweiten und hoher Zuladung kann in dem gewählten Fahrzeugsegment noch nicht bedient werden.

Szenario 2: Kriminalermittlungsdienst (urban, Polizeikommissariat)

1. Fahrzeugsegment: Welchem Fahrzeugsegment lässt sich das zu beschaffende Fahrzeug zuordnen?
- Mini (z. B. VW up!, Fiat 500)
 - Kleinwagen (z. B. VW Polo, Ford Fiesta)
 - Kompaktklasse Limousine (z. B. VW Golf, Skoda Octavia)
 - **Kompaktklasse Kombi (z. B. VW Golf Variant) → Einsatz BEV möglich**
 - Mittelklasse Limousine (z. B. VW Passat, Audi A4)
 - Mittelklasse Kombi (z. B. VW Passat Variant)
 - Großraum-Vans (z. B. VW Touran, Opel Zafira)
 - Utilities (z. B. VW Transporter, VW Caddy)
 - Sonstige
2. Fahrzeugausstattung: Welche polizeitechnische Sonderausstattung benötigt das zu beschaffende Fahrzeug?
- Keine Sonderausstattung
 - **Funkstreifenwagenausstattung in neutraler Optik / zivil → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: gewähltes Fahrzeugmodell und Produktionsmöglichkeiten Hersteller**

- Funkstreifenwagenausstattung mit polizeitypischer Beklebung
 - Spezialausstattung
3. Planbarkeit der Fahrten: Wie viel Prozent der Fahrten des Fahrzeugs sind planbar?
- 0%
 - 1 - 25%
 - 25% - 49%
 - 50% - 74% → **Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: Kilometer pro Fahrt und Stillstandszeiten**
 - > 75%
4. a.) Kilometer pro Fahrt: Wie viele Kilometer werden im Schnitt an einem Tag mit dem Fahrzeug zurückgelegt?
- <30 km
 - 31 km – 50 km
 - 51 km – 80 km
 - 81 km – 100 km
 - **101 km – 120 km → Einsatz BEV möglich**
 - 121 km – 250 km
 - 251 km – 350 km
 - 351 km – 500 km
 - 501 km – 700 km
 - > 700 km
- b.) Kilometer pro Fahrt: Wie viele Kilometer werden maximal an einem Tag mit dem Fahrzeug zurückgelegt?
- < 60 km
 - 61 km – 80 km
 - 81 km – 100 km
 - 101 km – 120 km
 - **121 km – 250 km → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: Reichweite gewähltes Fahrzeugmodell**
 - 251 km – 350 km
 - 351 km – 500 km
 - 501 km – 700 km
 - > 700 km
- c) Kilometer pro Fahrt: Nur relevant, wenn der Einsatz eines BEV in Frage 4b kritisch war. An wie vielen Tagen pro Jahr wird mit diesem Fahrzeug die in Frage 4b angegebene maximale Kilometeranzahl gefahren?
- 1 – 5 Tagen
 - **6 – 10 Tagen → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: Ersatz-/Poolfahrzeug**
 - 10 – 50 Tagen
 - 51 – 100 Tagen
 - > 100 Tagen

5. a) Stillstandszeiten: Wie viele Stunden (am Stück) pro Tag beträgt im Schnitt die zur Ladung des Fahrzeugs nutzbare Stillstandszeit des Fahrzeugs?
- < 0,5 h
 - Bis zu 1 h
 - Bis zu 2 h
 - Bis zu 3 h
 - Bis zu 4 h
 - Bis zu 5 h
 - Bis zu 6 h
 - Bis zu 7 h
 - Bis zu 8 h
 - Bis zu 9 h
 - Bis zu 10 h
 - **Mehr als 10 h → Einsatz BEV möglich**
- b) Stillstandszeiten: Wie viele Stunden (am Stück) pro Tag beträgt die minimale zur Ladung des Fahrzeugs nutzbare Stillstandszeit des Fahrzeugs?
- < 0,5 h
 - Bis zu 1 h
 - Bis zu 2 h
 - Bis zu 3 h
 - Bis zu 4 h
 - Bis zu 5 h
 - Bis zu 6 h
 - Bis zu 7 h
 - Bis zu 8 h
 - Bis zu 9 h
 - Bis zu 10 h
 - **Mehr als 10 h → Einsatz BEV möglich**
- c) Stillstandszeiten: An wie vielen Tagen pro Jahr wird die in Frage 5b angegebene minimale Stillstandszeit genutzt?
- 1 – 5 Tagen
 - 6 – 10 Tagen
 - 10 – 50 Tagen
 - 51 – 100 Tagen
 - **> 100 Tagen → Einsatz BEV möglich**
6. Ersatz-/Poolfahrzeug: Falls der Einsatzzweck nicht mit einem BEV erfüllt werden kann, ist es in Ausnahmefällen möglich auf ein anderes Fahrzeug aus Ihrem Pool zurück zu greifen, um den Einsatzzweck des zu beschaffenden Fahrzeugs zu erfüllen?
- **Ja → Einsatz BEV möglich**
 - Nein
7. Zuladung: Wie viel Kilogramm beträgt die durchschnittliche Zuladung des Fahrzeugs inkl. Personen und Sonderausstattung?

- **209 kg – 300 kg → Einsatz BEV möglich**
- 301 kg – 400 kg
- 401 kg – 500 kg
- 501 kg – 600 kg
- 601 kg – 700 kg
- 701 kg – 800 kg
- 801 kg – 1000 kg
- 1001 kg – 1200 kg
- 1201 kg – 1500 kg
- >1500 kg

8. a) Höchstgeschwindigkeit: Werden Geschwindigkeiten über 120 km/h benötigt?
- **Ja → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: max. Geschwindigkeit gewähltes Fahrzeugmodell**
 - Nein
- b) Höchstgeschwindigkeit: Wie hoch ist die maximal benötigte Geschwindigkeit?
- < 120 km/h
 - 120 - 140 km/h
 - **141 - 160 km/h → Einsatz BEV kritisch, Entscheidungskriterium: max. Geschwindigkeit gewähltes Fahrzeugmodell**
 - 161 - 180 km/h
 - 181 - 200 km/h
 - 201 - 220 km/h
 - 221 - 250 km/h

Fazit Szenario 2: Kriminalermittlungsdienst (urban, Polizeikommissariat)

Bei sieben von dreizehn Fragen ist ein Einsatz von BEV möglich. Sechs der dreizehn Antworten sehen den Einsatz von BEV in diesem Szenario kritisch. Aufgrund der geringen Beanspruchung des Fahrzeugs bzw. der verhältnismäßig geringen zurückgelegten Kilometerzahl, der langen Stillstandszeiten, der besseren Planbarkeit der Einsätze (im Vergleich zum ESD) sowie der Möglichkeit auf ein Ersatz-/Poolfahrzeug zurückgreifen zu können, kann in diesem Szenario ein BEV zum Einsatz kommen.

In AS 1.2 erfolgte die vorbereitende Planung der Beschaffung von Fahrzeugen sowie zugehöriger Lade- und Energieinfrastrukturen für das LPP auf Basis bestehender Werkzeuge.

Hierzu wurde seitens IWF eine Bedarfsanalyse für zu beschaffende Fahrzeuge und seitens ELE für die benötigte Lade- und Energieinfrastruktur durchgeführt. Die Bedarfsanalyse der zu beschaffenden Fahrzeuge war unter Nutzung eines am IWF entwickelten Werkzeugs zur Entscheidungsunterstützung für die Flottenplanung geplant, welches im Rahmen des Forschungsprojekts Fleets Go Green entstanden ist [Mennenga 2014]. Hierzu wurden die in **AS 1.1** vom IfF erhobenen Fahrprofile ausgewertet und versucht, in die Entscheidungsunterstützung zu implementieren und auf dieser Basis eine Simulation des Flottenbetriebs mit unterschiedlichen Flottenkonfigurationen für PHEV und BEV

durchzuführen. Auf dieser Grundlage sollten Handlungsempfehlungen für eine aus funktionaler, ökonomischer und ökologischer Sicht zu präferierende Flottenkonfiguration abgeleitet werden. Zwar konnten aufbauend auf den verfügbaren Daten des LPP und darauf aufbauenden Annahmen exemplarische Simulationsläufe durchgeführt werden, allerdings war es nicht möglich, aussagekräftige Ergebnisse zu geeigneten Flottenkonfigurationen zu erzielen, da die vorhandenen Fahrprofile des LPP zu viele Informationen nicht enthielten, die für die Simulation notwendig waren. Die Ermittlung von geeigneten Flottenkonfigurationen basierte stattdessen auf den Ergebnissen aus **AS 1.1**. Zur modellhaften Beschreibung der Referenzszenarien sind Kennzahlen gebildet worden. Diese Kennzahlen umfassen Informationen über Auftragsaufkommen, Einsatzzweck, Einsatzgebiet, Streckennutzung und Zwischenhalte. Die Kennzahlen dienen im nächsten Schritt zum Erkenntnistransfer zur Flotten- und Infrastrukturgestaltung. Der Bedarf der Ladeinfrastruktur wurde anhand der vorliegenden Fahrprofile der Polizei Niedersachsen sowie den Informationen zu bestehenden Ladepunkten ermittelt. Anschließend wurde eine Grobplanung für bedarfsgerechte Lade- und Energieinfrastruktur durchgeführt. An punktuell ausgewählten Orten fand eine Begehung der Liegenschaft zur Ermittlung der möglichen Ladeleistung statt. Auf Basis der Bedarfsplanung, der potenziellen Fahrzeuge sowie der verfügbaren Anschlussleistungen an den jeweiligen Standorten erfolgte die Ausschreibung der Ladeinfrastruktur. Für das Projekt waren pro Ladepunkt mindestens 11 kW AC Leistung vorgesehen, wobei hier zwischen einem intelligenten und einem nachrüstbaren Ladepunkt unterschieden wurde. Die Ladestandorte, an denen die Messtechnik zur Erfassung der Ladedaten vorgesehen waren, wurden mit intelligenten Ladepunkten ausgestattet. Eine Übersicht der Ladestandorte ist in Abbildung 5 dargestellt.

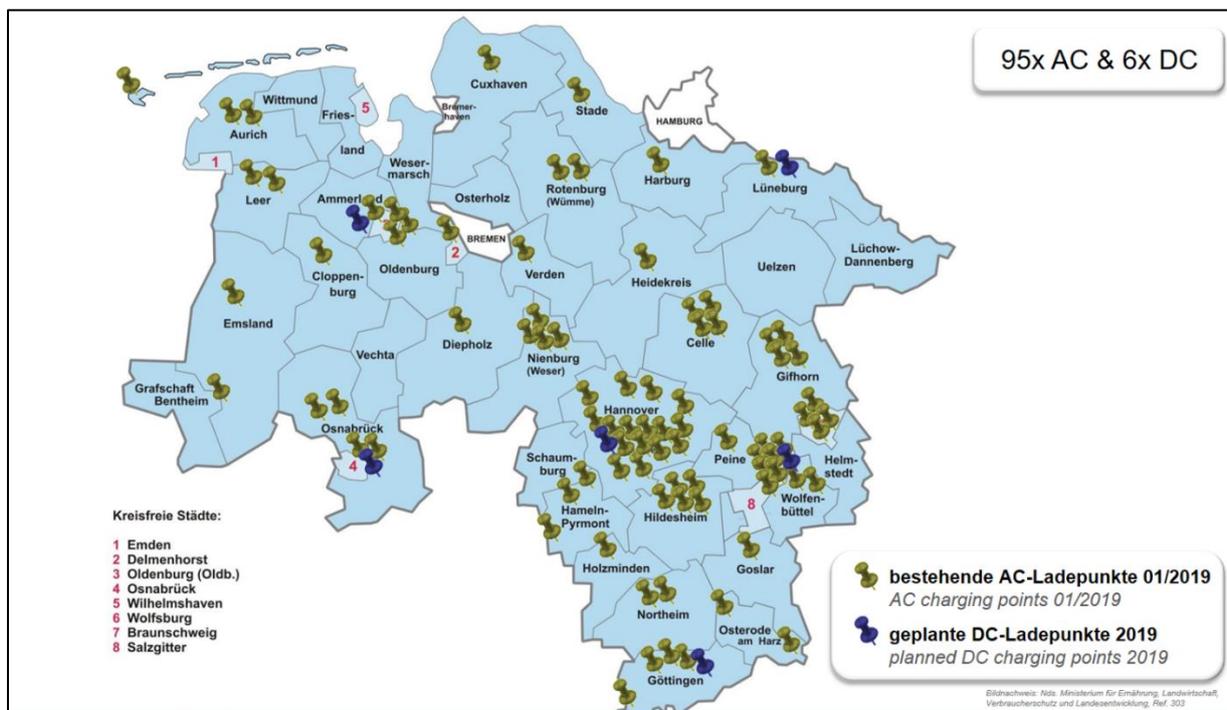


Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung des Ausbaus polizeieigener Ladeinfrastruktur

In AS 1.3 erfolgte die Beschaffung und Inbetriebnahme von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur des LPP.

Die Beschaffung und Installation von insgesamt 51 AC-Ladestationen konnte bereits im Jahr 2018 abgeschlossen werden. Zusätzlich wurde dem Antrag auf Erweiterung des Projektumfangs um 2 DC-Ladestationen mit Änderungsbescheid vom 30.09.2019 zugestimmt, so dass noch bis Ende 2019 die Beschaffung und Installation dieser beiden Ladestationen in Hannover und Leer realisiert werden konnte (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Liste der installierten Ladeinfrastruktur (Stand 31.12.2019)

lfd. Nr.	Auftrags-Nr. ZPD	Behörde	Objekt	Zuschlag	Lieferdatum	Status 31.12.2019	Standort
L 01	19/17	PD BS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 02	19/17	PD BS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 03	19/17	PD BS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 04	19/17	PD BS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 05	19/17	PD BS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 06	19/17	PD BS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 07	19/17	PD BS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 08	19/17	PD H	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 09	19/17	PD H	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 10	19/17	PD H	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 11	19/17	PD H	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 12	19/17	PD H	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 13	19/17	PD H	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 14	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 15	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 16	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 17	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 18	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 19	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 20	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 21	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 22	19/17	PD LG	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 23	19/17	PD GÖ	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 24	19/17	PD GÖ	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 25	19/17	PD GÖ	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 26	19/17	PD GÖ	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 27	19/17	PD GÖ	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 28	19/17	PD GÖ	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 29	19/17	PD GÖ	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 30	19/17	PD GÖ	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 31	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 32	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 33	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 34	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 35	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 36	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 37	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 38	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 39	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 40	19/17	PD OS	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 41	19/17	PD OL	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 42	19/17	PD OL	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 43	19/17	PD OL	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 44	19/17	PD OL	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 45	19/17	PD OL	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 46	19/17	PD OL	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 47	19/17	PD OL	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 48	19/17	PA NI	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 49	19/17	PA NI	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 50	19/17	PA NI	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 51	19/17	LKA NI	AC-Wallbox	Wallbe	14.10.2017	installiert	
L 52	13/18	PD OS	DC-Station	Ecotap	26.09.2019	installiert	
L 53	13/18	PD H	DC-Station	Ecotap	26.09.2019	installiert	

Der Beschaffungsprozess beinhaltete die Beschaffung von insgesamt 53 Fahrzeugen, von denen die letzten acht Fahrzeuge Anfang 2019 ausgeliefert werden konnten.

Die benötigte Messtechnik für die Erhebung der Lade- und Fahrdaten wurde jeweils direkt nach Auslieferung der Fahrzeuge installiert. Bis zum 31.12.2019 konnten so insgesamt 49 Neufahrzeuge mit Datenmesstechnik ausgestattet werden. Vier dieser Fahrzeuge sind aufgrund von Unfällen nicht mehr im Einsatz, so dass am 31.12.2019 insgesamt 45 Projektfahrzeuge mit der Datenloggermesstechnik versehen waren. Eine Übersicht über den Stand der Projektfahrzeuge gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Liste der vorgesehenen Projektfahrzeuge (Stand 31.03.2020)

lfd. Nr.	Auftrag ZPD	HHJ der Behördenplanung	Behörde	Objekt	Antrieb	Vergleichsfahrzeugtyp	Typ	Kennzeichen	Einsatzszenario	Status 31.12.2019	Einbau Datenlogger
P01				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	01.04.2018
P02				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P03				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P04				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	14.12.2017
P05				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	26.05.2018
P06				FUSTW	PHEV					ausgesondert	Totalschaden
P07				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	14.12.2017
P08				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P09				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P10				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	14.12.2017
P11				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	30.05.2018
P12				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	30.05.2018
P13				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	30.05.2018
P14				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P15				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	04.02.2019
P16				FUSTW	PHEV					ausgesondert	Totalschaden
P17				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	22.01.2019
P18				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	22.01.2019
P19				FUSTW	PHEV					ausgesondert	Totalschaden
P20				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	22.01.2019
P21				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	22.01.2019
P22				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	04.02.2019
P23				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P24				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	18.01.2018
P25				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P26				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	14.06.2018
P27				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	14.06.2018
P28				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	14.06.2018
P29				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	26.05.2018
P30				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	14.12.2017
P31				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	10.04.2018
P32				FUSTW	PHEV					ausgesondert	Totalschaden
P33				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	22.01.2019
P34				FUSTW-N	BEV					ausgeliefert	14.06.2018
P35				FUSTW	BEV					ausgeliefert	21.05.2019
P36				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P37				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	10.04.2018
P38				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P39				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	10.04.2018
P40				KFZ-N	PHEV					ausgeliefert	14.12.2017
P41				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	01.04.2018
P42				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P43				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P44				FUSTW-N	PHEV					ausgeliefert	10.01.2018
P45				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	08.08.2017
P46				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	14.12.2017
P47				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	01.04.2018
P48				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	nein
P49				FUSTW	PHEV					ausgeliefert	nein
P50				KFZ-N	BEV					gestrichen	nein
P51				FUSTW-N	PHEV					ausgeliefert	nein
P52				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	10.04.2018
P53				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	10.04.2018
P54				KFZ-N	BEV					ausgeliefert	nein

In AS 1.4 erfolgten die Durchführung einer Bedarfsanalyse sowie die Ableitung von Anforderungen an eine generische Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur.

Seitens AIP, ELE und IWF wurden bestehende Planungs- und Steuerungsprozesse für Flotten und Infrastruktur mittels Umfragen, Workshops und Analyse bestehender Dokumentationen erhoben, analysiert und ausgewertet. Bestehende Prozesse wurden hierbei u. a. bei den Polizeibehörden sowie der Polizeiakademie Niedersachsen, untersucht. Hierauf aufbauend erfolgte durch AIP, ELE, und IWF die Ableitung von Anforderungen an eine integrierte Planung und Steuerung von Flotten und Infrastruktur unter Berücksichtigung von PHEV und BEV.

Erhebung, Analyse und Auswertung bestehender Flottenplanungsprozesse, Ableitung von Anforderungen an eine Flottenplanung unter Berücksichtigung von Elektrofahrzeugen

Seitens des IWF wurden zwischen November 2016 und Mai 2017 zwölf leitfadengestützte Experteninterviews mit Mitarbeitenden der Landespolizei Niedersachsen durchgeführt. Ziel der Interviews mit den in die Flottenplanung involvierten Mitarbeitenden war es, die bestehenden Flottenplanungsprozesse und relevante Organisationsstrukturen seitens der Polizei zu erfassen und zu analysieren.

Hierzu wurde in einem ersten Schritt die Organisationsstruktur der Polizei Niedersachsen erfasst und hiervon ausgehend die internen **Prozesse** im Rahmen des Flottenmanagements bei der Polizei Niedersachsen aufbereitet. Jeder Prozessschritt wurde einem der verantwortlichen Prozesspartner zugeordnet, namentlich dem Niedersächsischen Ministerium für Inneres und Sport – Landespolizeipräsidium (MI - LPP), der zentralen Polizeidirektion (ZPD), sowie der Flächendirektionen (PD), dem Landeskriminalamt (LKA) bzw. der Polizeiakademie (PA). Die Prozesse sind in die sieben **Kernprozesse** der Bedarfsplanung, Bestandsverwaltung, Aussonderung, Beschaffungsplanung, Bestellung, Auslieferung und Betrieb unterteilt. Sie wurden mit allen Prozessbeteiligten gemeinsam abgestimmt und vom MI – LPP für verbindlich erklärt. Exemplarisch ist in Abbildung 6 der Prozess der Bedarfsplanung dargestellt.

Die **Analyse der Strukturen und Prozesse** ergab, dass ein hoher Grad an Prozessorganisation und -standardisierung vorherrscht. Für alle Abläufe, für die es sinnvoll erscheint, existieren detaillierte Beschreibungen und Verantwortlichkeiten. Auf Grund der fehlenden Planbarkeit findet keine Flottenzuordnungs- und -reihenfolgenplanung statt. Seit Einführung eines professionellen Fuhrparkmanagements im Jahr 2009 findet ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess statt. Die neu eingeführte eigenverantwortliche Behördenbudgetierung im Jahr 2017 war die letzte große Umstrukturierung des Flottenmanagements der Landespolizei Niedersachsen.

Anhand von drei Bereichen wurden bedeutende **Herausforderungen** der Landespolizei identifiziert, Auswirkungen auf den Flottenbetrieb ermittelt und mögliche Lösungen erarbeitet. Die Bereiche umfassen die Investitionsplanung, die Verwaltungssoftware COSware, sowie

Hürden bei der Steigerung der Elektrifizierungsrate des Polizeifuhrparks. Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Interviews haben ergeben, dass die zentralen Herausforderungen in fehlenden Finanzmitteln und einer daraus resultierenden zunehmenden Alterung des Fuhrparks bestehen. Hinzu kommen eine starre Investitionsplanung und Unzulänglichkeiten der Verwaltungssoftware COSware. Im Folgenden ist kurz erläutert, worin diese Herausforderungen im Detail bestehen und wie sie adressiert werden könnten.

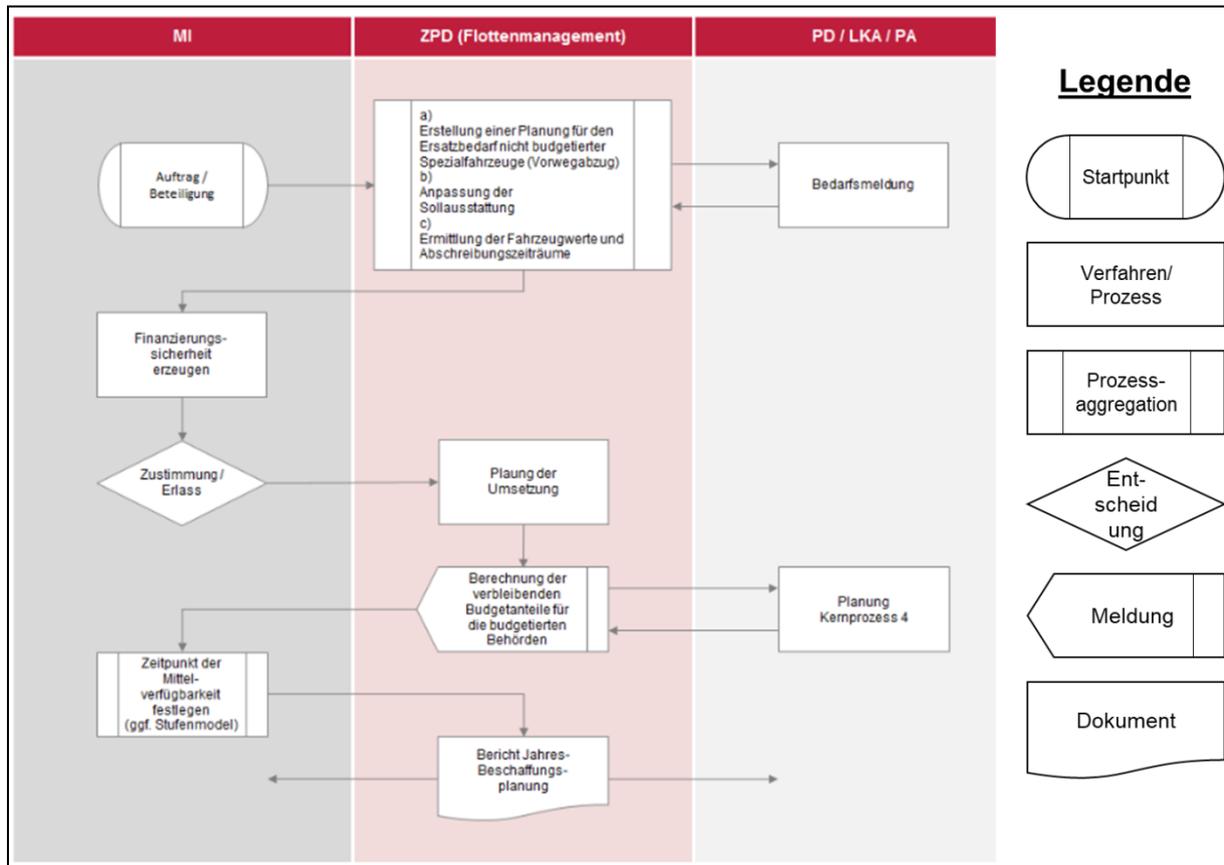


Abbildung 6: Darstellung des Bedarfsplanungsprozesses

Die **Investitionsplanung** wird vor allem durch zu geringe Mittel (Fahrzeugüberalterung), den jährlichen Planungshorizont, die strikte Trennung der Investitionen und Betriebskosten und die neu hinzugekommene wirtschaftliche Planungsverantwortung auf Seiten der Behörden bestimmt. Zuvor hatten die Behörden vorrangig die technischen Aspekte der Planung zu verwalten, der neu hinzugekommene wirtschaftliche Aspekt bindet zusätzliche Ressourcen und erzeugt Schulungsbedarf. Zusätzliche Haushaltsmittel, eine flexiblere Mittelverwaltung in Bezug auf den Zeitpunkt der Mittelausgaben sowie auf die Mittelverwendung könnten hier Abhilfe schaffen.

In Bezug auf **COSware** wurde die wenig intuitive Bedienung und der umfangreiche Schulungsbedarf, sowie die Vielzahl an nötigen manuellen Eingaben als Kritikpunkte benannt. In der Folge entstehen Fehler bei der Kilometereingabe beim Tanken und bei der manuellen Fahrtenbuchführung. Die Analyse des Fuhrparkzustands wird als zeitraubend eingestuft. Dezentral verwaltete Fahrzeugpools sorgen für eine ungleichmäßige Auslastung der Pools und mangelnde Nutzungstransparenz. Durch eine Optimierung der Software hinsichtlich der

genannten Unzulänglichkeiten, eine automatisierte Kilometerstanderfassung, Fahrtenbuchauswertung und Fuhrparkanalyse könnten nicht unerhebliche Ressourcen eingespart werden.

Für den Einsatz von **Elektromobilität** in der Polizeiflotte bestehen folgende Hindernisse: Ungenaue Fahrtenbücher erschweren die genaue Bedarfserfassung in Bezug auf benötigte Reichweite und Ladedauer. Mehrinvestitionen für teurere (aber im Unterhalt günstigere) Elektrofahrzeuge und deren Ladeinfrastruktur werden durch die Investitionsplanung verhindert. Generell fehlen am Markt noch Fahrzeuge, welche die polizeilichen Anforderungen (insb. an Ladedauer und Reichweite) erfüllen. Die oben genannten Abhilfen wären auch hier größtenteils wirksam, um die Einführung von Elektrofahrzeugen zu begünstigen.

Erhebung, Analyse und Auswertung bestehender Steuerungsprozesse der Polizeiflotte für den ESD

Im Rahmen von Hospitationen (beobachtende Teilnahme) und Experteninterviews wurden die nachfolgenden Erkenntnisse gewonnen. Dabei wurde versucht, die grundsätzlichen Abläufe standardisiert zu beschreiben, um sie auf diesem Wege auf alle niedersächsischen Regionen übertragen zu können.

Die jeweiligen **Zuständigkeitsbereiche** werden größtenteils nach geografischen Regionen (z.B. Landkreis- oder Gemeindegrenzen) abgegrenzt. Einsätze oder Notrufe werden jeweils von einer lokalen, überregionalen oder kooperativen Leitstelle koordiniert. Nach einem Anruf in der jeweiligen Leitstelle werden die wichtigsten Daten (Ort, Daten der/des Meldenden) für evtl. Rückfragen (Telefonnummer, Name) sowie Schilderung des Sachverhaltes manuell aufgenommen. Für die Fahrzeugzuordnung zu den Einsätzen nutzt die Polizei Einsatzleitsysteme. Sofern der oder die Meldende ein Mobilfunk-Netz verwendet, wird für die erste grobe Standorteinordnung das GPS-Signal von den Funkmasten an das System übermittelt.

Durch die Kategorisierung des Sachverhaltes wird eine Einsatzübersicht erstellt, welche verschiedene **Prioritäten** enthält. Hierbei haben körperliche (Gewalt-) Handlungen bzw. Verletzte/tote Personen (Schlägerei, Verkehrsunfall) immer Vorrang gegenüber Sachschäden bzw. Ruhestörungen.

Die **Reaktionszeit** von einem Anruf des Meldenden in der Leitzentrale bis zum Eintreffen der Fahrzeuge soll möglichst geringgehalten werden. Sofern keine parallelen Einsätze vorhanden sind, werden die Polizeifahrzeuge ausgewählt, welche die geringste Entfernung bzw. Fahrzeit zum Einsatzort aufweisen. Andernfalls werden die Einsätze nach Prioritäten vergeben („menschlicher Sachverstand“ und polizeiliche Erfahrung). Demnach wird nicht nur versucht die Reaktionszeit / Wartezeit aller Einsätze am Einsatzort zu minimieren, sondern auch die Dringlichkeit von Einsätzen berücksichtigt. Hierfür erfolgt gegebenenfalls eine Standortabfrage der Fahrzeuge mittels GPS bzw. Funk.

Die jeweiligen **Dienstzeiten** des Einsatz- und Streifendienstes sind üblicherweise nach sog. Schichtplänen vorgeplant. Die genutzten Fahrzeuge müssen dementsprechend beim Einsatz-

und Streifendienst rund um die Uhr verfügbar sein. Für die durchschnittliche Verweildauer am Einsatzort gibt es zum Zeitpunkt der Hospitation nur Schätzungen (Richtwerte), welche jedoch mit starken Schwankungen und somit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind. Diese Unsicherheiten ergeben sich u.a. aufgrund der Individualität der Einsätze oder durch die unspezifischen (Sammel-)Eintragungen in gängigen Fahrtenbüchern. Derzeit konnte beispielsweise noch nicht erhoben werden, wieviel Energie im Funkstreifenwagen beim Einsatz der zusätzlichen, polizeispezifischen Ausstattung (wie z.B. Funk, Martinshorn, Blaulicht) verbraucht wird. Sowohl Anzahl und Art, als auch der Zeitpunkt der Einsätze sind mit Unsicherheiten verbunden. Jede Sachlage ist somit unplanbar. Aus diesem Grund wird im Einsatz- und Streifendienst mit einem dynamischen System gearbeitet. Bei diesem werden die Prioritäten bzw. Entfernungen mitberücksichtigt. Bei Ausfällen von Fahrzeugen werden Ersatzfahrzeuge aus dem Pool verwendet bis das eigentliche Fahrzeug wieder zur Verfügung steht oder ersetzt wurde. Probleme und Herausforderungen bei der Nutzung des Ersatzfahrzeuges könnten sich u.a. aufgrund des Fahrzeugsegmentes, der möglichen Zuladung oder des zur Verfügung stehenden Kofferraumvolumens (z.B. Material zur Spurensicherung oder Absicherung von Unfallstellen) ergeben.

In AS 1.5 wurde ein Grobkonzept für die zukünftige Beschaffung von Fahrzeugen sowie zugehöriger Lade- und Energieinfrastrukturen für das LPP unter besonderer Berücksichtigung von PHEV und BEV entwickelt.

Das Grobkonzept basiert auf den untersuchten und durchgeführten Beschaffungsprozessen und den darüberhinausgehenden Anforderungen an eine integrierte Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur.

Entwicklung eines integrierten Gesamtkonzepts für die Planung und Steuerung von Flotten und Infrastruktur unter Berücksichtigung von PHEV und BEV mit spezifischem Fokus auf der Flottenplanung

Ausgehend von den erfassten Prozessen im Rahmen des Flottenmanagements wurde ein **Flottenplanungskonzept für den Einsatz elektrisch betriebener Fahrzeug bei der Polizei Niedersachsen** entwickelt. Dazu wurde zunächst das Konzept aus [Mennenga 2014] auf den Anwendungsfall der Polizei angewandt und die spezifischen Anforderungen und Randbedingungen berücksichtigt. Dazu wurde eine Situations- und Anforderungsanalyse in Form einer Recherche und eine Auswertung von Fahrdaten der im Vorfeld der Elektrifizierung im Betrieb befindlichen Polizeifahrzeuge durchgeführt. Basierend darauf erfolgte eine Vorauswahl potenziell geeigneter Elektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge und mit diesen wurde der reale Fahrbetrieb exemplarisch simuliert. Das Ergebnis der Simulation wurde anschließend auf Plausibilität geprüft. Abschließend erfolgte die Auswertung der Ergebnisse sowie eine Abschätzung unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten.

Darauf aufbauend wurde erarbeitet, wie die Flottenplanung in ein integriertes Grobkonzept zur Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur einbezogen werden kann. Dieses sollte die Erkenntnisse aus den Experteninterviews (AS 1.4) einbeziehen und die

Beschaffung der geeigneten Fahrzeuge in Bezug auf Anzahl und Antriebsart erleichtern. Im weiteren Projektverlauf sollte es als Grundlage für ein detailliertes, integriertes Konzept dienen.

Um ein Fahrtenprofil der Polizeifahrzeuge zu erstellen, wurden die Fahrtenbücher von Polizeifahrzeugen (konventionell betrieben: Verbrennungsmotor) im ESD und ZKD in der Stadt sowie im Mischgebiet für den Zeitraum von einem Monat ausgewertet. Die **Fahrtenauswertung** ergab, dass diese im ESD zwischen 20 und 340 km am Tag und im ZKD zwischen 0 und 230 km am Tag betrieben werden, wobei die durchschnittlich zurückgelegten Tageskilometer von der Stadt über das Mischgebiet hin zum ländlichen Gebiet zunehmen. Beobachtungen aus der Praxis (ESD, Mischgebiet) ergaben, dass die Fahrzeuge im Schnitt pro Schicht ca. 1,4 h am Einsatzort sowie ca. 3,5 h an der Dienststelle stehen. Außerdem können etwa 20 % der Fahrstrecke als Fahrten mit erhöhter Geschwindigkeit und Beschleunigung, wie z.B. im Einsatzfall, charakterisiert werden. Diese Informationen werden bei der Simulation für die Durchschnittsgeschwindigkeit berücksichtigt. Die **Randbedingungen** umfassen eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 250.000 km bzw. sechs Jahren (polizeiinterne Vorgabe), konstante Kraftstoff- und Strompreise auf dem Niveau des Jahres 2016 (nach ADAC/BDEW), ein konstanter Strommix wie im Jahr 2016 (Statistisches Bundesamt) sowie klimatische Bedingungen für Hannover (Deutscher Wetterdienst). Als verfügbare Ladepunkte wurden Schuko-Steckdosen betrachtet. Schnelllademöglichkeiten wurden zunächst nicht einbezogen.

Mit der Absicht, mögliche in Frage kommende elektrifizierte **Fahrzeuge** für die Verwendung durch die Polizei herauszufiltern, wurden vier elektrische (BEV) bzw. teilelektrische (PHEV) Fahrzeuge des Herstellers Volkswagen, e-up!, Golf GTE, e-Golf und Passat GTE Variant, sowie als Referenz ein Passat TDI Variant (Diesel), vorbewertet. Es wurde ersichtlich, dass der e-up!, der Golf GTE sowie der e-Golf durch die zu geringe zulässige Zuladung (Anforderung: >100 kg bzw. >250 l) nicht für den ESD geeignet sind. Es blieben als verwendete Fahrzeuge für die Simulation der Passat GTE (ESD & ZKD), der e-Golf (ZKD) sowie als Referenz der Passat TDI (ESD & ZKD), siehe Abbildung 7.

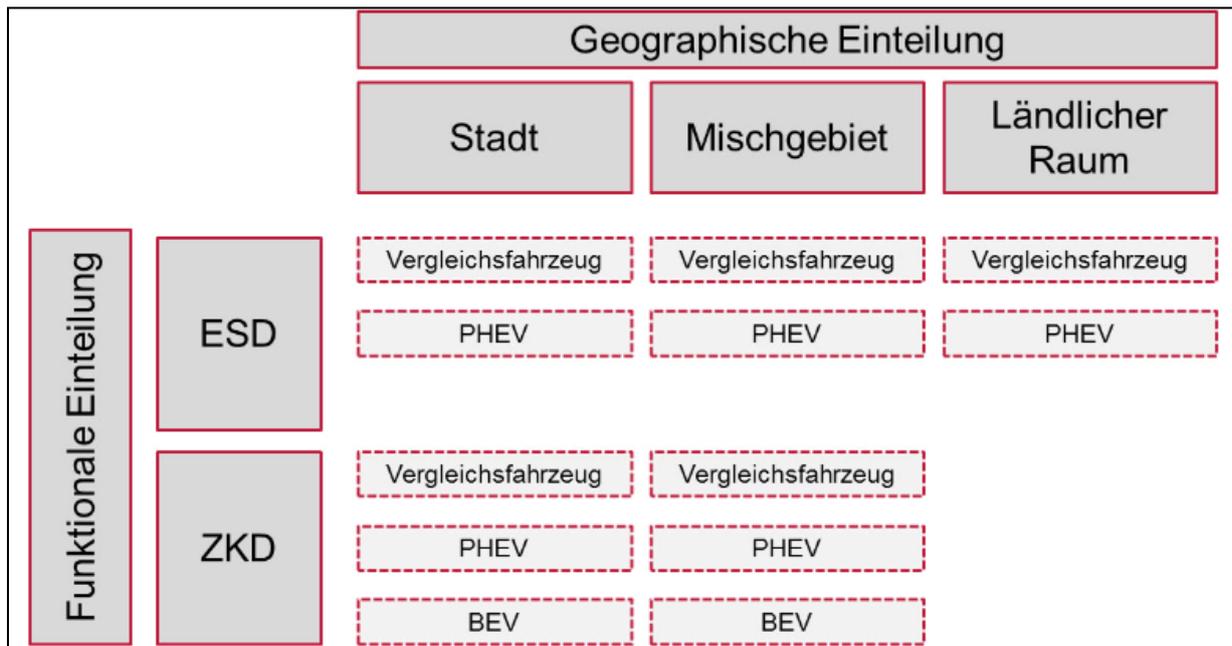


Abbildung 7: Betrachtete Fahrzeugtypen je nach Flottenfunktion und -einsatzgebiet

Das **Ergebnis** der Simulation zeigt hinsichtlich der monatlichen Fahrstrecke eine maximale Abweichung von 8 % im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Fahrtenauswertungen und deckt sich damit vergleichsweise gut mit der Realität. Zu beachten ist, dass die Fahrtenauswertungen auf einer Stichprobe von einem Monat basieren und nicht notwendigerweise repräsentativ sind. Die simulierten Kraftstoffverbräuche (PHEV: 2,0 - 3,4 l/100 km, Diesel: 5,6 - 11,9 l/100 km) und Stromverbräuche (BEV: 22,4 - 24,0 kWh/100 km, PHEV: 7,1 - 14,2 kWh/100 km) wurden zur Plausibilitätsprüfung mit einer empirischen Studie verglichen [Helms 2010]. Zwar waren Abweichungen zu den ermittelten Werten erkennbar ([Helms 2010]: Diesel: 4,0 - 5,6 l/100 km, PHEV: 0,6 - 2,6 l/100 km & 10,6 - 17,8 kWh/100 km, BEV: 20,4 - 20,8 kWh/100 km), doch stimmten die relativen Verhältnisse der Verbräuche über die Antriebsarten und Einsatzgebiete hinweg (Stadt/Mischgebiet) überein. Die höheren Verbrauchswerte der Simulation lassen sich durch das Fahrprofil im Einsatz, welches teilweise deutlich von einer zivilen Nutzung abweicht, erklären. Außerdem unterscheiden sich die Fahrzeuge in der empirischen Studie auf Grund des zeitlichen Abstands von denen welche im Jahr 2017 verfügbar waren, und damit möglicherweise auch deren Energieverbrauch. Als grobe Einordnung der simulierten Werte wurden die Werte aus [Helms 2010] zur Validierung genutzt.

Die im Anschluss an die Simulation des Fahrbetriebs durchgeführte abschätzende lebenszyklusorientierte **Bewertung** zur Unterstützung der Flottenplanung basierte auf ökologischen und ökonomischen Kriterien. Als Maßstab für die umweltrelevante Betrachtung wurden die CO₂-Emissionen (und über Umrechnungsfaktoren weitere Emissionen wie Methan), die über den gesamten Lebenszyklus hinweg bei Herstellung, Betrieb und Entsorgung der Fahrzeuge anfallen, herangezogen. Als Messgröße für die ökonomische Betrachtung dienten die Total Cost of Ownership (TCO), also die Gesamtlebenszykluskosten. In Abbildung 8 und Abbildung 9 sind diese für alle Einsatzorte und -funktionen abgebildet.

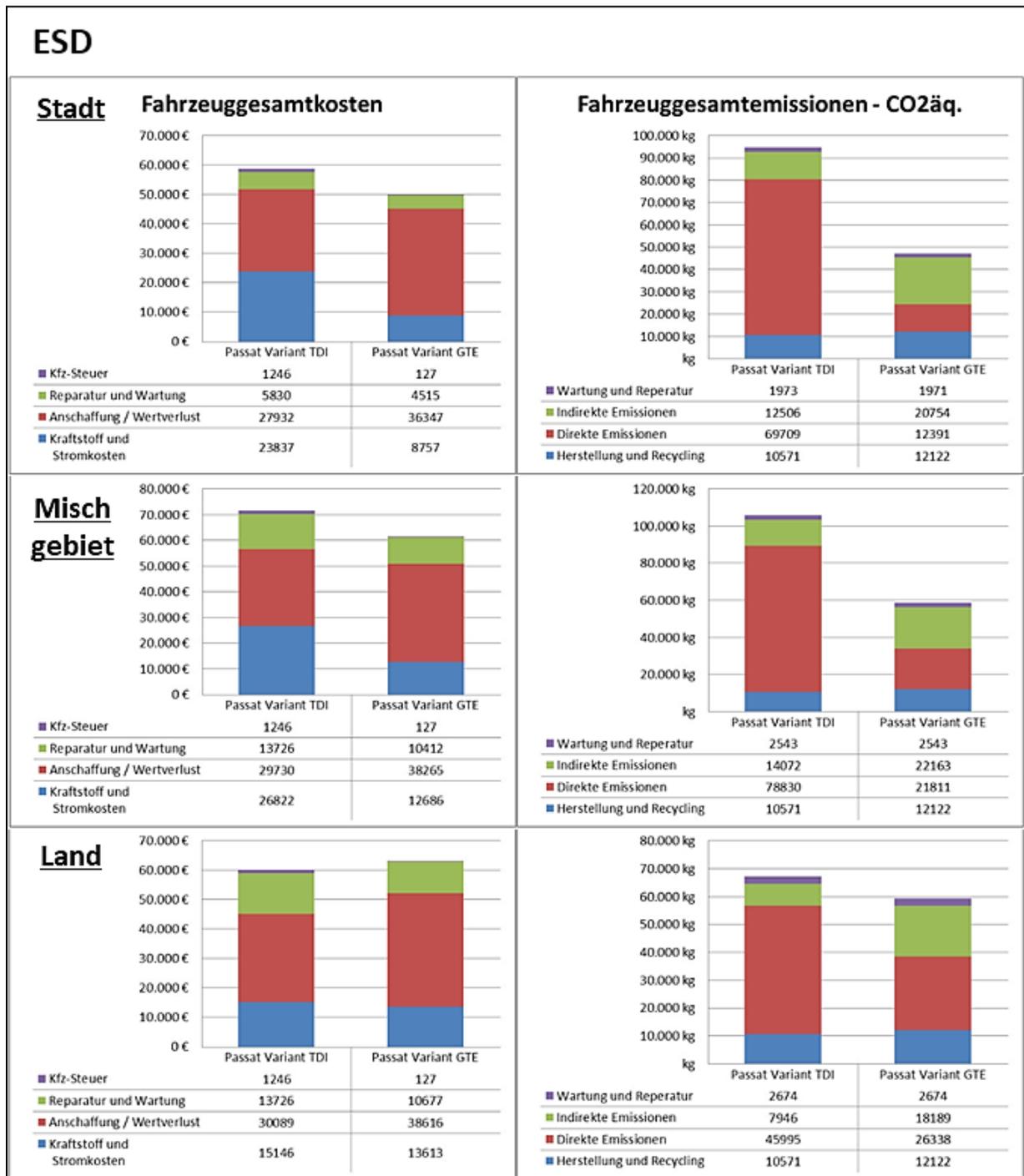


Abbildung 8: Simulierte Fahrzeuggesamtkosten und -emissionen für den Einsatz- und Streifen dienst zur Erstabschätzung

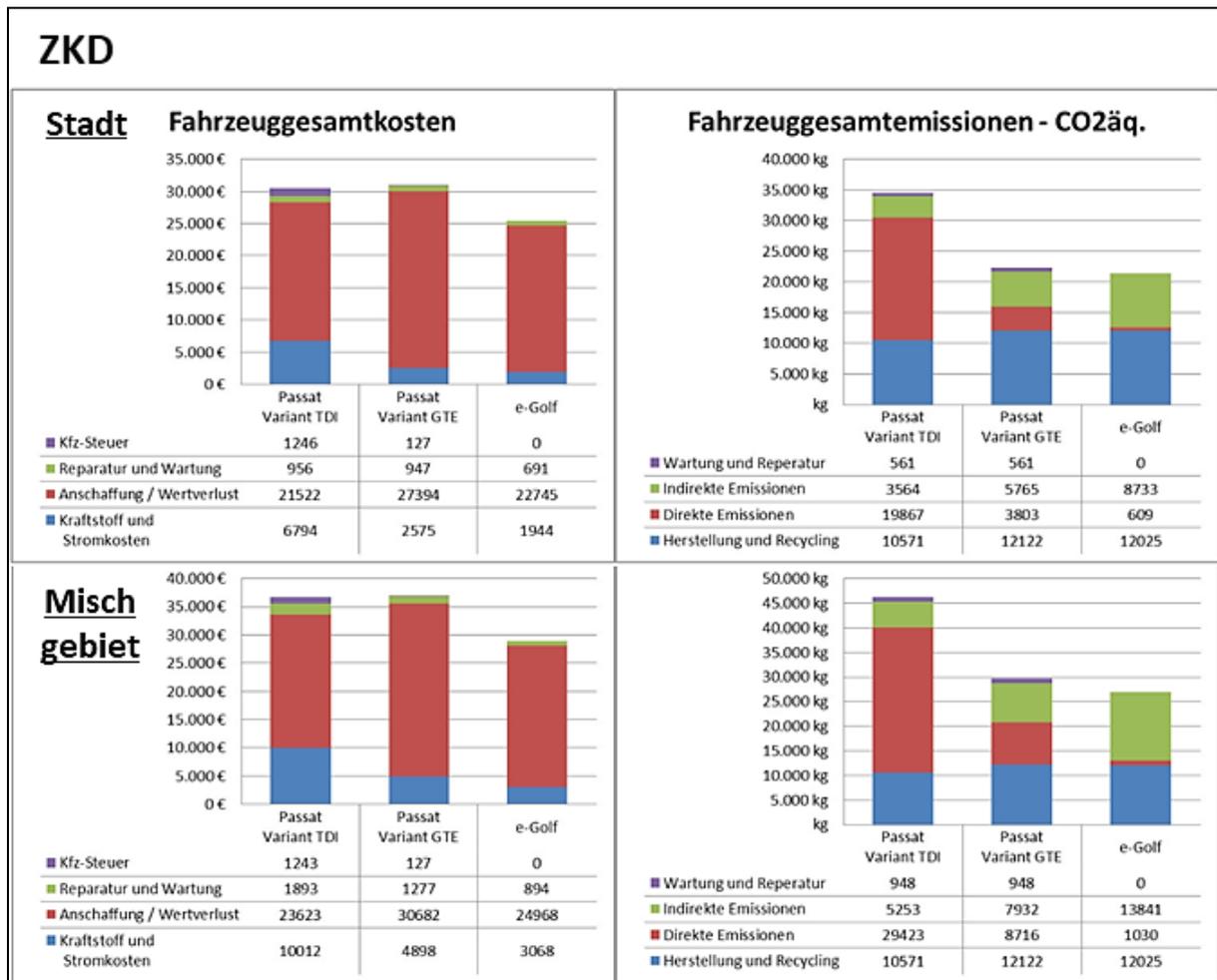


Abbildung 9: Simulierte Fahrzeuggesamtkosten und -emissionen für den Kriminal- und Ermittlungsdienst zur Erstabschätzung

Die indirekten Emissionen beziehen sich auf die gesamte Kraftstoffherstellungskette bzw. Stromerzeugungskette, die direkten Emissionen auf den durch das Fahrzeug selbst verursachten Ausstoß. Es zeigt sich, dass im städtischen ESD sowohl **ökologische als auch ökonomische Kriterien** für den Einsatz von PHEV sprechen. Im städtischen ZKD ist das PHEV ebenfalls umweltfreundlicher, aber mit geringen Mehrkosten verbunden. Das BEV ist hier in beiderlei Hinsicht überlegen. Für den ESD im Mischgebiet ist das Ergebnis das gleiche wie für den städtischen ESD, jedoch mit weniger stark ausgeprägten Vorteilen für das PHEV. Der relative Vergleich der Antriebsvarianten fällt beim ZKD im Mischgebiet nahezu gleich aus wie der im Stadtgebiet, wenn auch auf höherem Niveau (Mehrkosten und -emissionen im Mischgebiet). Der ESD im ländlichen Bereich weist geringe Mehrkosten seitens des PHEV gegenüber dem Diesel auf, dafür mit geringerer Umweltbelastung.

Die **Analyse der Simulationsergebnisse** deckt sich mit den bekannten Eigenschaften der betrachteten Antriebssysteme. Im Stadtbetrieb (geringe Geschwindigkeiten und geringer Fahrleistungsbedarf, kurze Strecken) kommt bei PHEV überwiegend der Elektroantrieb zum Einsatz. Dieser hat gesamtsystemisch betrachtet (unter Einbeziehung der gesamten Energiekette) einen höheren Wirkungsgrad und erzeugt weniger Treibhausgasemissionen (im deutschen und europäischen Strommix) als ein Verbrennungsmotor. Demnach fallen die

Vorteile für PHEV und BEV im städtischen Betrieb besonders stark ins Gewicht. Auf Grund der höheren Fahrleistung wird der relative Vorteil umso deutlicher, je höher die Fahrleistung ausfällt. So sind die Unterschiede im ESD zwischen Stadt (geringere monatliche Fahrleistung) und Mischgebiet zu erklären. Gleiches gilt für den Unterschied zwischen ESD (höhere Fahrleistung) und ZKD – in der Stadt wie im Mischgebiet. Beim ESD im ländlichen Raum sowie beim ZKD (Stadt und Mischgebiet) fallen die Fahrleistungen voraussichtlich nicht hoch genug aus, damit sich die Anschaffungsmehrkosten für einen PHEV im betrachteten Zeitraum amortisieren. Diese Mehrkosten entstehen vor allem auf Grund zweier kompletter Antriebsysteme (batterieelektrisch und verbrennungsmotorisch), welche im Fahrzeug vorhanden sind. Beim Vergleich mit dem BEV ist zu beachten, dass dieses aus einer anderen Fahrzeugklasse stammt (Kompakt- statt Mittelklasse). Bei einem BEV der Mittelklasse ist anzunehmen, dass auf Grund höherer Anschaffungskosten und eines höheren Energieverbrauchs das Ergebnis anders ausfallen würde.

Die dargestellten Werte stellen im Rahmen der Projektarbeiten eine **erste Abschätzung** dar, welche zur Flottenplanung herangezogen werden können, wenn (noch) keine exakten Daten zum Flottenbetrieb vorliegen. Diese Ergebnisse, welche zu Projektbeginn basierend auf Fahrtenbüchern und Simulationen ermittelt wurden, galt es, im weiteren Projektverlauf mit Hilfe von realen Fahrdaten zu validieren und gegebenenfalls zu aktualisieren. Dies erfolgte anschließend im weiteren Projektverlauf, und wird in den Abschnitten zu AS 6.1 und AS 7.3 beschrieben.

Die dargestellten Erkenntnisse zu Anforderungen und Rahmenbedingungen bei der Flotten-, Lade- und Infrastrukturplanung haben zur Erarbeitung eines **Grobkonzepts** geführt, welches in Abbildung 10 abgebildet ist.

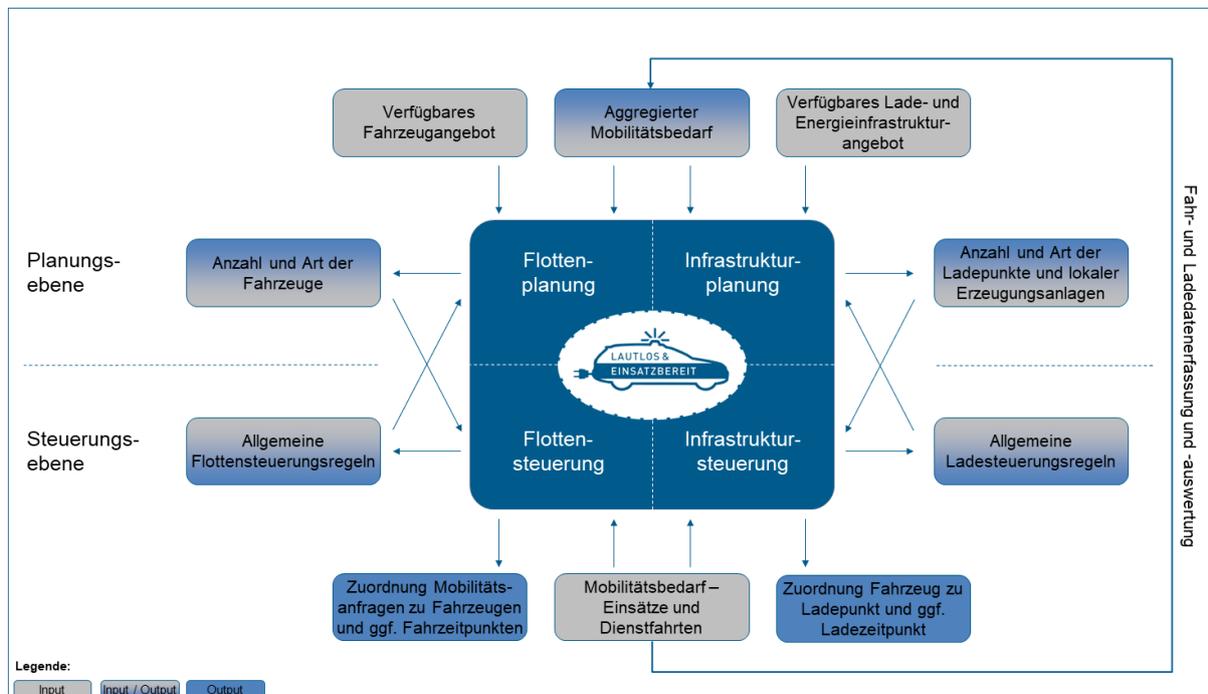


Abbildung 10: Grobkonzept zur Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur

Die Mobilitätsbedarfe für Einsätze und Dienstfahrten wurden im Rahmen des Projekts zunächst für die Anforderungsermittlung in Form von Fahrtenbuchauswertungen durchgeführt, und im weiteren Projektverlauf durch Messdatenerfassung validiert. Daraus ergibt sich der aggregierte Mobilitätsbedarf für eine Gesamtflotte, beispielsweise alle Polizeifahrzeuge im Einsatz- und Streifendienst einer Polizeidienststelle. Das verfügbare Fahrzeugangebot ergibt sich aus den am Markt angebotenen Fahrzeugen, welche nach den Anforderungen für den Polizeieinsatz geprüft und gefiltert werden. Die verfügbare Lade- und Energieinfrastruktur ist, wie sich gezeigt hat, für den Fall der Elektromobilität sehr dynamisch und derzeit im Ausbau befindlich. Grundsätzlich unterscheiden sich die Ladeinfrastrukturplanungen von den Fahrzeugplanungen in der Form, dass einmal beschaffte Ladesäulen für voraussichtlich deutlich längere Zeit zur Verfügung stehen als die gleichzeitig beschafften Fahrzeuge genutzt werden, und damit die Barriere für die Beschaffung kommender Elektrofahrzeuggenerationen senken. Aus den verfügbaren Fahrzeugen und Ladepunkten sowie dem Mobilitätsbedarf ergeben sich dann Regeln für die Steuerung der Fahrzeuge (Fahrten) sowie deren Energiebereitstellung (Laden). Diese beinhalten die Zuordnung von Fahrten, Fahrzeugen und Ladepunkten sowie die entsprechende Ladestrategie, um eine Mobilität der Fahrzeuge zu gewährleisten, technische Randbedingungen zu berücksichtigen und gleichzeitig ökonomische und ökologische Faktoren zu optimieren.

3.2. Modul 2: Betrieb

In **Modul 2** erfolgte der Betrieb der beschafften Flotten und Ladeinfrastruktur.

AP 2: Betrieb der Flotte und Ladeinfrastruktur

Ziel des **AP 2** war die Erprobung der beschafften Flotten sowie der Ladeinfrastruktur.

In AS 2.1 erfolgte in der Erprobungsphase die Aufnahme der benötigten Messdaten der Fahrzeuge, wie z. B. der Energieverbrauch.

Abbildung 11 zeigt die verschiedenen betrachteten Dimensionen bei der Fahrzeugdatenerhebung.

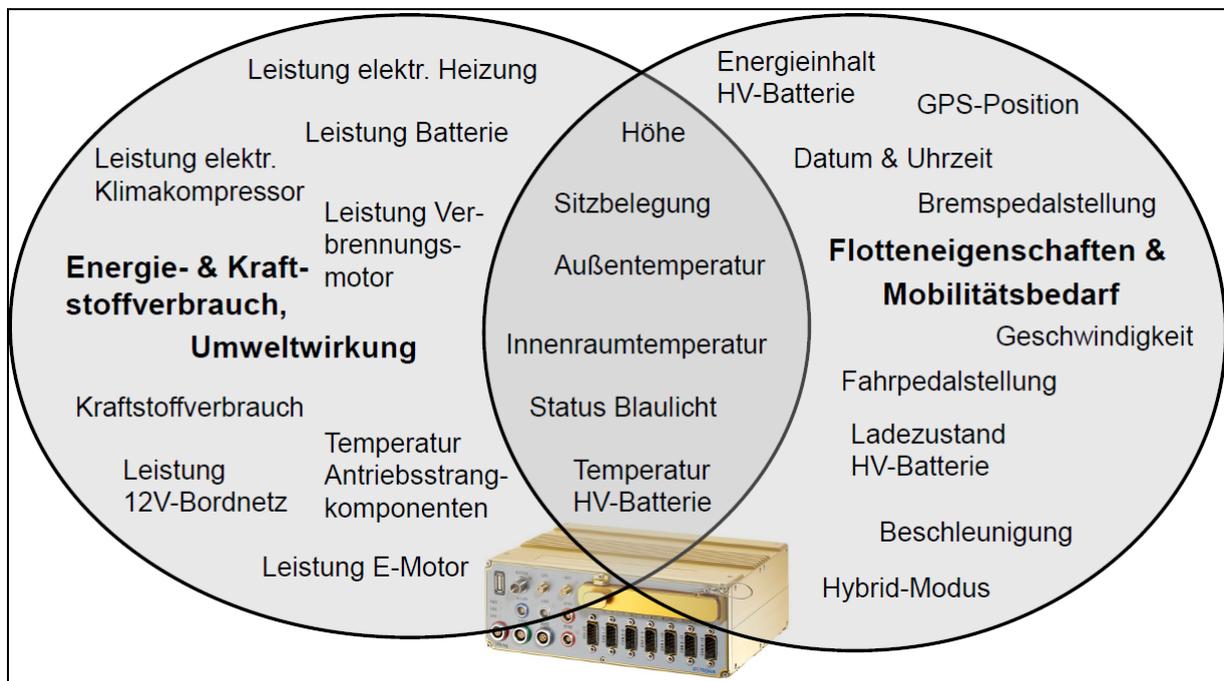


Abbildung 11: Betrachtete Dimensionen bei der Fahrzeugdatenerhebung

Im Zeitraum von August 2017 bis März 2020 wurden Daten über eine Laufleistung von insgesamt ca. 3.105.000 km sowie einer Messzeit von über 94.200 h aufgezeichnet. Die Aufteilung der Datenbasis auf die Szenarien Einsatz- und Streifendienst (ESD), Kriminalermittlungsdienst (KED) und Stab & Fiskal zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: Anzahl an Fahrzeugen, Laufleistung und Messzeit in den jeweiligen Szenarien (BAB = Autobahn)

Szenario	Anzahl Fahrzeuge	Laufleistung [km]	Messzeit [h]
ESD	25	2.702.190	83.736
KED	18	253.236	6.222
Stab & Fiskal	9	149.880	4.318
Gesamt	52	3.105.102	94.276

Im Rahmen der Arbeiten zu AS 2.2 wurden Daten an den Ladestationen erfasst. Ein Fokus lag dabei auf der Ladeleistung und der Ladezeit während eines Ladevorgangs eines Elektrofahrzeuges.

Während der Projektlaufzeit wurden an sechs Standorten ab März bzw. Mai 2019 an insgesamt 16 Ladepunkten Messdaten erhoben (vgl. Tabelle 5). Die Standorte wurden nach der Lage und Anzahl der Ladepunkte ausgewählt. Für die Verbindung der einzelnen Ladepunkte mit dem Router war die räumliche Nähe sowohl der Ladepunkte untereinander als auch zum Router von großer Bedeutung. Zudem wurden ausschließlich Standorte mit mindestens zwei Ladepunkten gewählt, da bei einer geringeren Anzahl an Ladepunkten ein Lademanagement nicht sinnvoll ist. Durch die gesetzten Bedingungen kamen sechs von ursprünglich neun geplanten Messstandorten in Frage.

Tabelle 5: Übersicht über die Ladepunkte mit Messdatenerhebung

Standort	Anzahl der gemessenen Ladepunkte	Zeitraum
Celle	2	Ab Mai 2019
Leer	2	Ab Mai 2019
Lingen	2	Ab Mai 2019
Rotenburg	3	Ab Mai 2019
Gifhorn	4	Ab März 2019
Hildesheim	3	Ab März 2019
Gesamt:	16	

3.3. Modul 3: Wissenschaftliche Begleitforschung

In **Modul 3** wurde die wissenschaftliche Begleitforschung durchgeführt, um den Flottenbetrieb des LPP durch ein optimales Planungs- und Steuerungskonzept zu unterstützen und umzusetzen. Dafür wurden zuerst die Daten aus dem Fahrbetrieb erfasst und analysiert, um die Bedarfe aus dem Kundeneinsatz zu ermitteln. Auf Basis dieser Daten wurden Detailkonzepte für die integrierte Planung und Steuerung der Flotten-, Lade- und Energieinfrastruktur entwickelt. Abschließend erfolgte die flottenspezifische Umsetzung der entwickelten Planungs- und Steuerungsergebnisse in den Betrieb der Flotte und Ladeinfrastruktur des LPP.

AP 3: Begleitende Bedarfsanalyse

Ziel des **AP 3** war die begleitende Datenerfassung, -aufbereitung und -analyse aus dem Betrieb des LPP. Dafür wurden die Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur messtechnisch ausgestattet. Dadurch konnten Informationen über elektrische Energiebedarfe und das Ladeverhalten aus dem realen Fahrbetrieb ermittelt werden. Diese Messdaten dienten als Basis für die Entwicklung der Detailkonzepte zur Planung und Steuerung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur.

In AS 3.1 erfolgte die Ermittlung der benötigten Fahr- und Ladedaten für die Flottensteuerung.

Ziel war es, auf Basis der Betriebsdaten der Polizeiflotte, die Besonderheiten der Einsatzzwecke zu analysieren und geeignete Steuerungsregeln zu entwickeln. Um einen umfassenden Überblick über den Betrieb der verschiedenen Einsatzzwecke zu erhalten, wurden für jeden Einsatzzweck u. a. folgende Fahrdaten benötigt: Anzahl Fahrten, Fahrtbeginn, Fahrtende, Kilometer pro Fahrt, Geschwindigkeit, Fahrtstrecke, Entladerate der Batterie pro Zeit, Kraftstoff- sowie elektrischer Energieverbrauch und Standzeiten. Die nachfolgende Übersicht (vgl. Abbildung 12) zeigt sämtliche Fahrzeugparameter, welche mit der Datenmesstechnik erfasst und analysiert wurden.

✓ Datum, Uhrzeit	✓ Außentemperatur	✓ Längsbeschleunigung
✓ Umgebungstemperatur	✓ Bremsdruck	✓ Querbearbeitung
✓ Radgeschwindigkeit hi.-li.	✓ Bremspedalstellung	✓ Rekuperationsstufe
✓ Radgeschwindigkeit hi.-re.	✓ Drehzahl (Verbrennungsmotor)	✓ Restreichweite
✓ Radgeschwindigkeit vo.-li.	✓ Drehmoment (Verbrennungsmotor)	✓ Sitzbelegung
✓ Radgeschwindigkeit hi.-re.	✓ Energiegehalt der HV-Batterie	✓ Spannung am Spannungswandler HV-Seite
✓ Drehmoment Getriebeeingang	✓ Fahrpedalstellung	✓ Spannung des Spannungswandlers NV-Seite
✓ Temperatur Kühlkreislauf vor HV-Batt.	✓ Fahrstufe des Getriebes	✓ Spannung Leistungselektronik
✓ Temperatur Kühlkreislauf nach HV-Batt.	✓ Fahrzeuggeschwindigkeit	✓ Spannung elektr. Heizelement
✓ Temperatur Getriebe	✓ Gang	✓ Spannung elektr. Klimakompressor
✓ Temperatur Motorkühlmittel	✓ GPS-Position (Breitengrad)	✓ Spannung HV-Batterie
✓ Höhe	✓ GPS-Position (Längengrad)	✓ Spannung Ladegerät
✓ Temperatur Motoröl	✓ Innenraumtemperatur	✓ SOC der HV-Batterie
✓ jew. Status Gurtschloss aller 5 Insassen	✓ Kickdown-Schalter	✓ Strom am Spannungswandler HV-Seite
✓ gesamte Reichweite des Fzg.	✓ Kilometerstand	✓ Strom am Spannungswandler NV-Seite
✓ Kraftstoffverbrauch d. Verbr.-Motors	✓ Kraftstoffverbrauch	✓ Strom Leistungselektronik
✓ Reichweite nur mit Elektromotor	✓ Messbeginn (Datum, Uhrzeit)	✓ Strom elektr. Heizelement
✓ Energieverbrauch der elektr. Systeme	✓ Messende (Datum, Uhrzeit)	✓ Strom elektr. Klimakompressor
✓ Eingriff ABS	✓ Temperatur des E-Motors	✓ Strom HV-Batterie
✓ Eingriff ESP	✓ Temperatur HV-Batterie	✓ Strom Ladegerät
✓ Drehzahl (Elektromotor)	✓ Wunschttemperatur Innenraum	✓ Zustand Sondersignal
✓ Drehmoment (Elektromotor)	✓ Temperatur der Leistungselektronik	✓ Getriebeprogramm
✓ Ladezustand der HV-Batterie	✓ Temperatur des Rotors des E-Motors	✓ Geschwindigkeit des Fzg. über GPS
✓ Höhe über GPS	✓ Uhrzeit / Datum über GPS	

Abbildung 12: Übersicht der relevanten Fahrzeugparameter

Um die Flotten- und Ladesteuerung aufeinander abzustimmen, wurden Ladedaten der eingesetzten Ladesäulen an den verschiedenen Standorten erhoben, u. a. Ladeleistung, Ladedauer, Standzeiten an der Ladesäule und sowie die Erzeugungsart der für das Laden zur Verfügung gestellten Energie.

In AS 3.2 wurden bestehende PHEV und BEV des LPP mit Messtechnik ausgestattet (vgl. Abbildung 13).

Insgesamt wurden im Berichtszeitraum 54 Fahrzeuge mit Datenloggern versehen, davon 23 PHEV, vier ICV und 27 BEV. Die Fahrzeuge wurden in den Szenarien ESD (urban, rural, BAB) KED (urban, rural) sowie Stab & Fiskal (urban, rural) eingesetzt (vgl. Abbildung 13).



Abbildung 13: Datenlogger verbaut in einem PHEV

Abbildung 14 zeigt schematisch die Integration des Datenloggers in die Fahrzeugarchitektur. Die Datenlogger wurden zum einen mit dem CAN-Bus des Fahrzeugs verbunden, von welchem fahrzeugeitige Daten wie die Fahrgeschwindigkeit aufgezeichnet werden konnten. Zum anderen bestand eine Verbindung zur Sondersignalanlage, abhängig vom Hersteller dieser Anlage entweder ebenfalls über einen CAN-Bus oder über eine analoge Verbindung. Ferner verfügte der Datenlogger über einen GPS-Empfänger, mit welchem die Position des Fahrzeugs erfasst wurde.

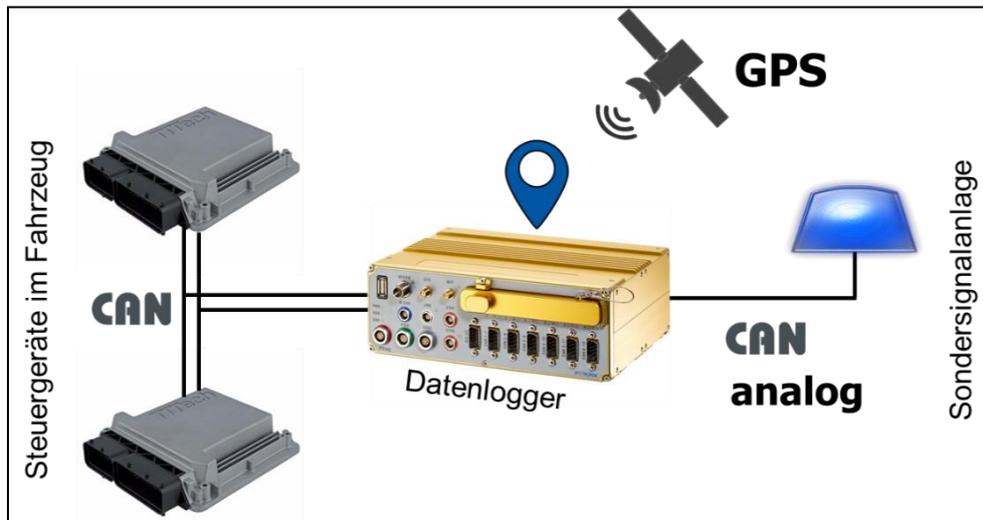


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Fahrzeugdatenerfassung

In AS 3.3 wurde die Datenübertragungskette von der Messtechnik im Fahrzeug bis zur Datenspeicherung aufgebaut.

Im Rahmen eines Datenkonzepts wurde der Übertragungsweg der Messdaten von den Fahrzeugen bis zur TU Braunschweig definiert. Aufgrund der hohen Sensibilität der erhobenen Fahrzeugdaten war die Einführung umfangreicher Sicherungsmaßnahmen notwendig, welche alle Projektpartner betrafen. Die Maßnahmen erstrecken sich dabei auf technische, organisatorische und vertragliche Regelungen.

Hinsichtlich der technischen Sicherungsmaßnahmen erfolgte grundsätzlich keine Erfassung von personenbezogenen Daten. Die Messdaten wurden vom Datenlogger verschlüsselt lokal gespeichert. Der Abruf der erhobenen, verschlüsselten Daten erfolgte ausschließlich über autorisierte und ebenfalls verschlüsselte USB-Speichermedien. Die Verwendung anderer USB-Speichermedien war nicht möglich und wurde vom Datenlogger verweigert. Ein Auslesen der Daten war daher u.a. für Angehörige der Polizei Niedersachsen dadurch nicht möglich. Darüber hinaus war ein Fernabruf der Fahrzeugdaten oder die Erstellung eines Bewegungsbildes von Fahrzeugen (sog. „Tracking“) über die Projektmesstechnik ausgeschlossen. Ebenso war ein technisches Ausleiten von Daten z.B. mit anderen USB-Sticks, über Verwendung von SIM-Karten o.ä. nicht möglich. Eine Schnittstelle zum polizeilichen Funksystem bestand zu keinem Zeitpunkt.

Bezüglich der organisatorischen Sicherungsmaßnahmen wurde der Abruf von gespeicherten Daten in festgelegten Intervallen durch namentlich bekannte Verantwortliche festgelegt.

Dabei erfolgte eine strikte Trennung der manuell geführten Fahrtenbücher (ausschließlich Polizei) und der genutzten Analysesoftware (ausschließlich TU Braunschweig/NFF). Darüber hinaus erfolgte eine zusätzliche Anonymisierung durch die Zusammenführung von Einzeldatensätzen zu Sammeldatensätzen durch die TU Braunschweig/NFF. Die weitere projektbezogene Nutzung erfolgte ausschließlich durch anonyme Sammeldaten, wodurch kein individueller Rückschluss mehr möglich war.

Zuletzt sind im Rahmen der vertraglichen Sicherungsmaßnahmen entsprechende Regelungen getroffen worden. Zwischen den Projektbeteiligten wurde bereits zu Projektbeginn ein gemeinsamer Kooperationsvertrag als primäre Handlungsgrundlage geschlossen. Des Weiteren wurde vereinbart, alle polizeiexternen Projektpartner auf das Datenschutzgeheimnis (§ 5 NDSG) zu verpflichten. In Bezug auf die projektbezogenen Analyseergebnisse und wissenschaftlichen Werke unterliegen diese einer polizeilichen Prüfung vor der Veröffentlichung (sog. „Sperrvermerk“).

Um jeden polizeilichen Nutzer auf die verbaute Messtechnik hinzuweisen, wurden in allen Fahrzeugen spezielle Hinweisaufkleber (vgl. Abbildung 15 und Abbildung 16) in den Maßen 90x40 mm angebracht.



Abbildung 15: Hinweisaufkleber



Abbildung 16: Exemplarische Anbringungssituation in einem Funkstreifenwagen (PHEV)

In den polizeilichen Zivilfahrzeugen (BEV) wurden diese Hinweisaufkleber aus taktischen Gründen verdeckt im Bereich der Türholme auf der Fahrer- und Beifahrerseite angebracht. Über den QR-Code konnten Interessierte weiterführende Informationen zum Projekt erhalten. Des Weiteren konnte jederzeit direkt Kontakt mit dem Projektteam aufgenommen werden.

In AS 3.4 erfolgten die Aufzeichnung der Messdaten der Fahrzeuge sowie die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit von Datenaufzeichnung und -übertragung.

In diesem Rahmen wurden unter anderem defekte GPS-Empfänger sowie elektrische Sicherungen ausgetauscht. Des Weiteren wurde die Toolkette zur Datenanalyse aufgebaut und erprobt. Zum Handling der großen Datenmengen wurde die Toolkette weitestgehend automatisiert. Zunächst wurden die Daten auf den USB-Speichermedien entschlüsselt und anschließend auf einen Rechner übertragen. Im Anschluss wurden die Speichermedien zurückgesetzt und ggf. aktualisierte Konfigurationen für die Datenlogger aufgespielt. Dann erfolgte eine Konvertierung der Daten für Auswertetools des IfF in das Matlabformat. Abschließend erfolgten eine Plausibilisierung der Daten zur Fehlererkennung und Sortierung der Daten sowie einige Standardauswertungen wie die Berechnung von Streckenlängen, Fahrzeiten und Energieverbräuche für jede Messung. Die Toolkette ist in Abbildung 17 schematische dargestellt.



Abbildung 17: Schematische Darstellung der Toolkette zum Handling der Messdaten am IfF

Um die Ladedaten zu messen, zu übertragen und zu speichern wurde in **AS 3.5** ein Konzept zur Datenverarbeitung geschaffen. Dieses beinhaltete die Messtechnik als Hardware, das Übertragungskonzept und das datenverarbeitende Backend.

Die Messtechnik basierte auf dem Überordnungs-Unterordnungs-Prinzip, welches beschreibt, dass es über den Ladesäulen (untergeordnet) eine vorgeschaltete Mess- und Steuerungseinheit (übergeordnet) gibt, die zum Backend kommuniziert. Dabei können alle untergeordneten Ladesäulen an einem Standort mit einer zentralen vorgeschalteten Mess- und Steuerungseinheit verbunden werden. Die Anbindung erfolgte über ein LAN-Kabel. Die vorgeschaltete Einheit sendet die empfangenen Daten über ein Virtuelles Privates Netzwerk (VPN) an das Backend. Für die Versendung der Daten wurde ein den Randbedingungen entsprechendes Konzept entwickelt.

Die Abbildung 18 stellt das Gesamtkonzept zur Datenübertragung dar. Zur Errichtung eines VPN und einer Datenweiterleitung waren zwei Router erforderlich. Der erste Router (Ubiquiti ERLite-3) beinhaltete eine SIM-Karte und stellte damit eine Internetverbindung her. In Verbindung mit dem zweiten Router (Teltonika LTE RUT950), der eine gesicherte Verbindung zum Empfängerserver aufbauen kann, wurde eine Datenübertragung ermöglicht. Diese beiden

Router befanden sich in einem witterungsfesten und abgeschlossenen Schaltschrank, von dem jeweils einer an sechs Standorten in der Nähe der Wallboxen angebracht wurde. Die Route des VPN ging über das GSM bzw. LTE zum GSM-Provider (Vodafone), der eine eigene Firewall betreibt. Im nächsten Schritt wurde eine Verbindung über das Deutsche Forschungsnetz (DFN) zum Gauß-IT Zentrum der TU Braunschweig (GITZ) hergestellt. Diese beiden Mainframes hatten zum Schutz drei weitere Firewalls. Vom GITZ wurden die Daten an das Empfänger VPN-Gateway in das elenia-Netzwerk gesendet. Dabei stellte das VPN-Relay die Schnittstelle zwischen dem Gateway und den Servern dar. Die ankommenden Daten wurden in dem Datenbank-Server gespeichert und in dem App-Server im Backend verarbeitet (vgl. 3.6). Diese Route verlief bei Vorgabe eines Ladewertes durch das Backend in umgekehrter Reihenfolge.

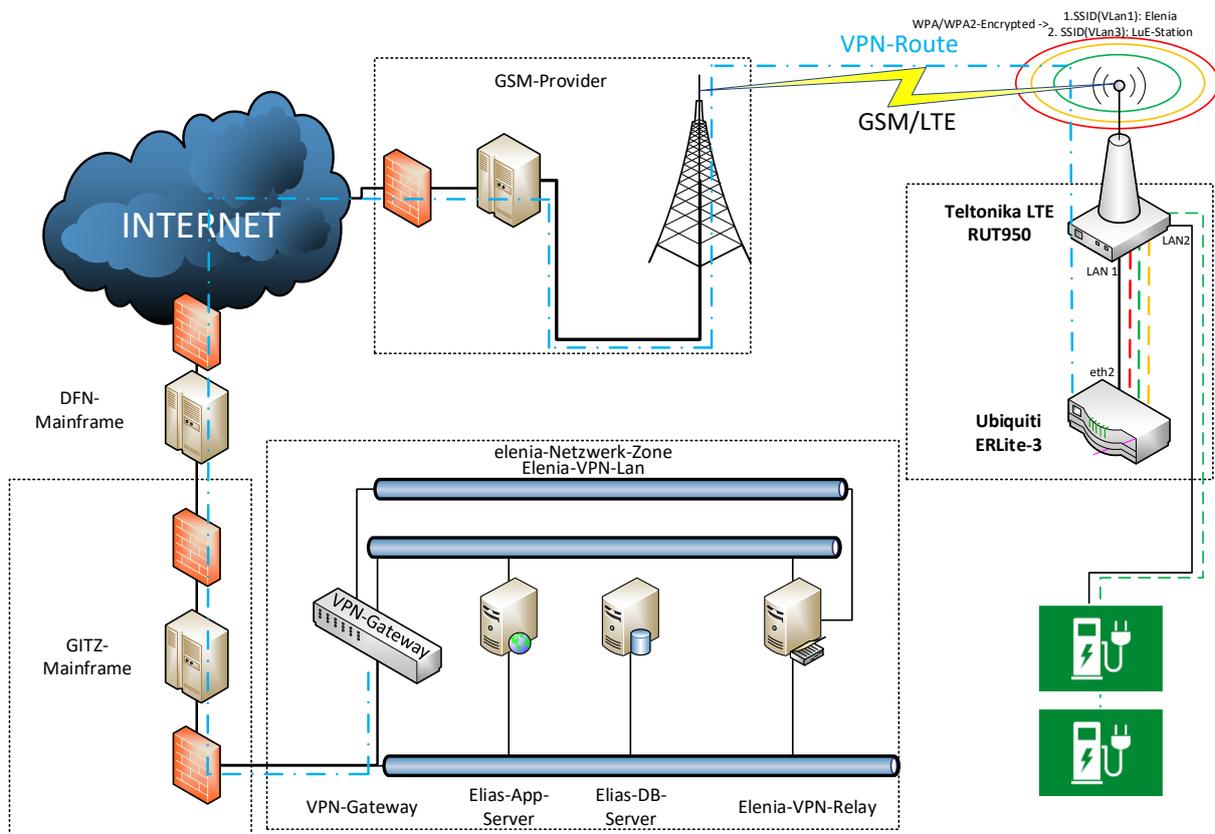


Abbildung 18: Gesamtkonzept der Datenübertragung von der Ladestation ins Backend

Der Sicherheitsaspekt stand bei dieser Entwicklung ebenfalls im Vordergrund. Neben den vier Firewalls über die VPN-Route verfügten die beiden Router ebenfalls über jeweils eine Firewall. Zudem war der Zugang zu den Routern durch verschiedene Passwörter und Schlüssel gesichert. Falls es dennoch dazu gekommen wäre, dass sich jemand Zugang zu den Routern verschafft hätte, wäre eine Nachricht an das ELE gesendet worden, welches den Router per Fernsteuerung deaktiviert hätte.

In AS 3.6 wurde die Funktionsfähigkeit der Datenaufzeichnung, -übertragung und -analyse für die Ladestationen geprüft.

Die Datenübertragung verlief über einen Router, der eine SIM-Karte beinhaltet. Durch Störungen des Netzanbieters und der Router war das System nicht stabil. Es kam häufig (im Durchschnitt einmal die Woche) zu einem Ausfall einzelner Messsysteme. Um diesen Ausfall zu beheben, wurde ein automatischer Neustart der Router (einmal die Woche) integriert. Zudem gelang eine Benachrichtigung von Störungen über ein Monitoring Service Manager. Bei aktuellen Störungen ließen sich die Router per SMS neustarten.

Die Daten der Ladepunkte wurden über das institutseigene Backend des ELE in eine Datenbank gespeichert. Die Aufzeichnung der Messdaten der Ladestationen sowie die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit von Datenaufzeichnung und -übertragung, wie sie in **AS 3.6** definiert ist, erfolgte im Backend elias 2.0. Elenias Ladeinfrastruktur Informations- und Anwendungssystem (elias) wurde für das Projekt neu aufgebaut (Version 2.0), um eine höhere Stabilität zu erreichen. Das Backend mit seinen In- und Outputs ist in Abbildung 19 dargestellt. Die Kommunikation zwischen Ladesäule und Backend erfolgt über ein standardisiertes Protokoll der Open Charge Alliance namens Open Charge Point Protocol (OCPP, Version 1.6). Innerhalb des Backends wandelt ein Parser-Service das Protokoll in Werte um, die sich zur Weiterverarbeitung eignen. Chronologisch betrachtet bekommt das Backend im ersten Schritt eine Anfrage von der Ladesäule. Diese Anfrage entsteht, wenn der Nutzer sein Fahrzeug an die Ladesäule anschließt und sich, um den Ladevorgang zu starten, mit einem RFID-Chip an der Ladesäule autorisiert. In diesem Moment wird die Autorisierungsanfrage an den Service Authorization gesendet. Der Service vergleicht die RFID-Nummer mit den im User-Store hinterlegten Daten. Sobald ein Abgleich erfolgt ist, wird eine Freigabe an die Ladesäule gegeben. Gleichzeitig werden die Autorisierungsdaten in der Datenbank gespeichert. Damit wird ermöglicht, die Ladevorgänge den einzelnen Fahrzeugen zuzuordnen. Beim Ladevorgang werden minütlich Werte des Zählerstandes in der Ladesäule an den Service Monitoring gesendet. Innerhalb des Services werden die Werte verarbeitet und in die Datenbank geschrieben. Das errichtete Informationssystem beinhaltet ebenfalls ein Front-End, welches die Daten den Projektpartnern anschaulich zur Verfügung stellt.

Das im elias 2.0 integrierte Anwendungssystem beinhaltet eine Ladesteuerung (Charge Control). Das Charge Control besteht hauptsächlich aus Algorithmen, die Werte abfragen und anhand dessen einen Ladewert berechnen. Ist das Lademanagement aktiv, folgt nach der Autorisierungsanfrage eine Ladestromanfrage. Aus den Fahrzeuginformationen, den Netzdaten und den Erzeugungsdaten errechnen die Algorithmen einen zulässigen Ladestrom, der an das Fahrzeug weitergegeben wird. Die Algorithmen können für jeden Standort unterschiedlich ausgelegt sein. Dabei bestehen die Möglichkeiten eine Fahrzeugflotte besonders nutzerfreundlich, ökologisch oder ökonomisch zu Steuern. Speziell für den Anwendungsfall der Polizeiflotte ausgelegte Algorithmen werden in AS 5.2 beschrieben.

Aufgrund der im Vergleich zu den Fahrzeugdaten geringeren Sensibilität konnten die gespeicherten Messdaten zur Ladeinfrastruktur von der Polizei per Fernabruf an die TU Braunschweig/NFF übertragen werden.

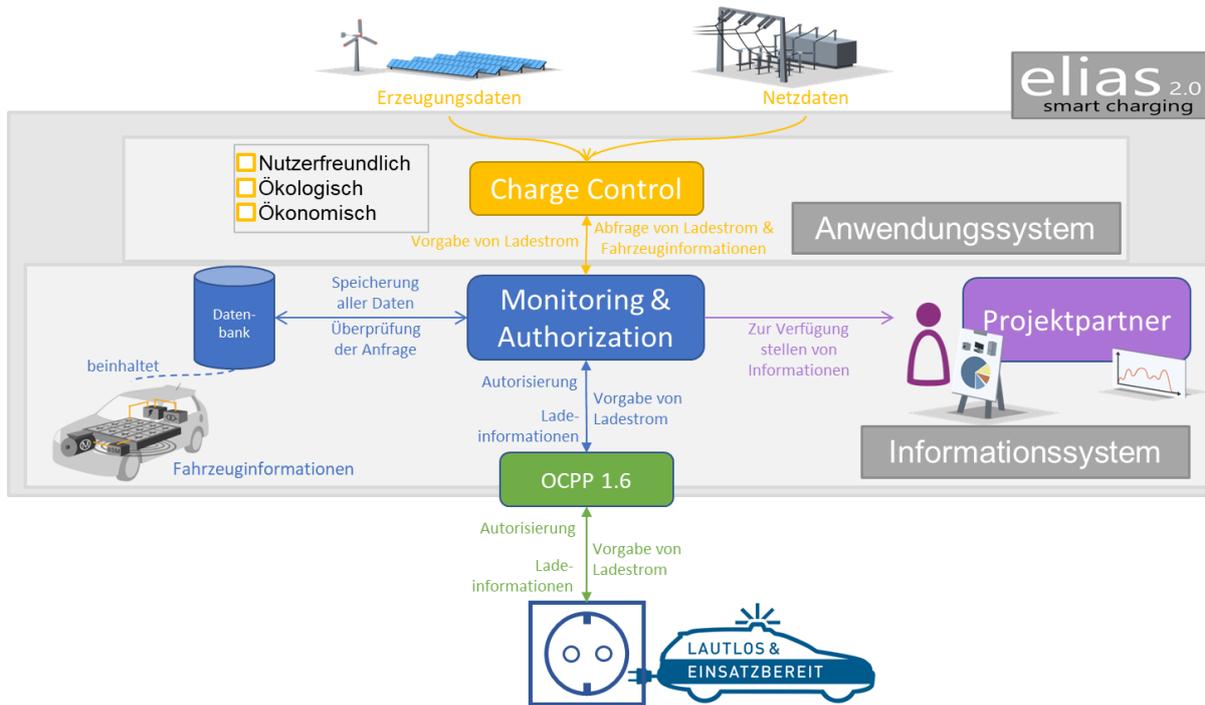


Abbildung 19: Backend elias 2.0

Insgesamt konnten somit 4.690 abgeschlossene Ladevorgänge aufgezeichnet werden. Der Großteil dieser Aufzeichnungen konnte wegen Messfehler der Wallbox, einer fehlenden Autorisierung und Verbindungsabbrüchen jedoch nicht zur Auswertung verwendet werden.

In AS 3.7 werden die Fahr-, Energie- und Ladedaten analysiert. Dies umfasst den Mobilitätsbedarf sowie den Energieverbrauch in den verschiedenen Szenarien.

Ein maßgeblicher Aspekt des Mobilitätsbedarfs ist die tägliche Fahrleistung in den einzelnen Szenarien. Abbildung 20 zeigt die Häufigkeit und den Anteil dieses Parameters für die Szenarien ESD urban, rural sowie BAB.

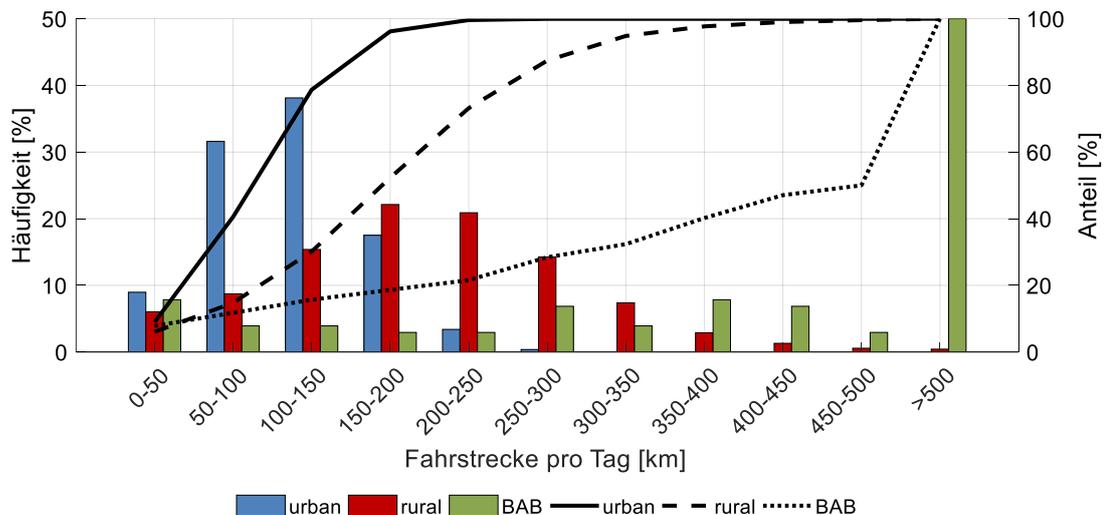


Abbildung 20: Häufigkeit und Anteil der täglichen Fahrstrecke in den Szenarien ESD urban, rural sowie BAB

Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den drei Szenarien im ESD. Die täglichen Fahrstrecken im urbanen ESD sind deutlich kürzer als in den anderen beiden Szenarien. Während der Projektlaufzeit wurden an keinem Tag mehr als 300 km zurückgelegt. Im Vergleich dazu repräsentiert diese Fahrleistung von 300 km ca. 85 % der Tage in ruralen ESD, beim ESD BAB entspricht dies lediglich ca. 30 % der Tage. Besonders deutlich wird dies auch beim Vergleich einer täglichen Fahrleistung bis 200 km. Dies entspricht im urbanen ESD ca. 95 % aller Tage, im ruralen jedoch lediglich 50 % und bei der BAB ca. 20 %. Im Szenario BAB wurden an rund der Hälfte aller Tage im Messzeitraum mehr als 500 km pro Tag zurückgelegt. An ca. 2 % der Tage wurden sogar mehr als 1.000 km am Tag zurückgelegt. Der urbane ESD ist in Bezug auf die zu bietende Reichweite eines BEV eher unkritisch und bereits diverse heute am Markt verfügbare BEV könnten diese bereitstellen. Für BAB-Anwendungen wären hingegen eine sehr hohe Reichweite und voraussichtlich Ultra-Schnellladeinfrastruktur erforderlich.

Abbildung 21 zeigt die Häufigkeit und den Anteil der täglichen Fahrleistung für die Szenarien KED urban sowie rural.

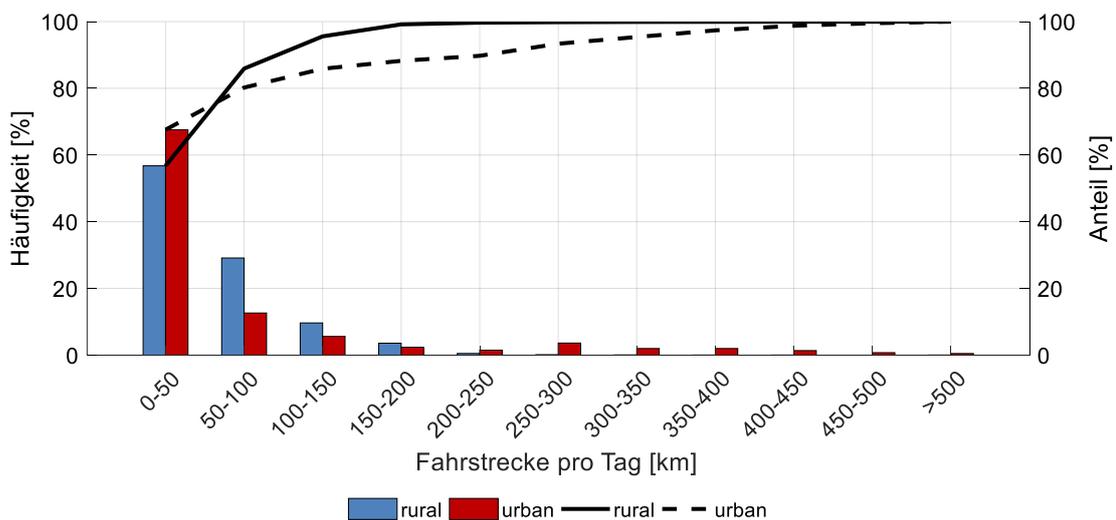


Abbildung 21: Häufigkeit und Anteil der täglichen Fahrstrecke in den Szenarien KED urban sowie rural

Auch für den KED sind deutliche Unterschiede zwischen urbaner und ruraler Umgebung erkennbar. Im Vergleich zu vorherigen Zwischenberichten hat sich durch das Hinzukommen weiterer Fahrzeuge die Tendenz der eher geringen täglichen Fahrleistung verstärkt, sodass im ruralen Bereich fast 60 % und im urbanen Bereich fast 70 % der täglichen Strecken kürzer als 50 km sind. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass hier fast ausschließlich BEV mit einer Reichweite von ca. 230 km nach WLTP zum Einsatz kommen und mit Datenloggern ausgerüstet sind, sodass diese Fahrzeuge für längere Fahrten ohnehin nicht genutzt wurden. Das unterschiedliche Fahrprofil des PHEV einer ZKI, mit häufigen sehr langen täglichen Strecken hat sich weiter bestätigt.

Abbildung 22 zeigt die täglichen Fahrstrecken für das Szenario Stab & Fiskal urban sowie rural.

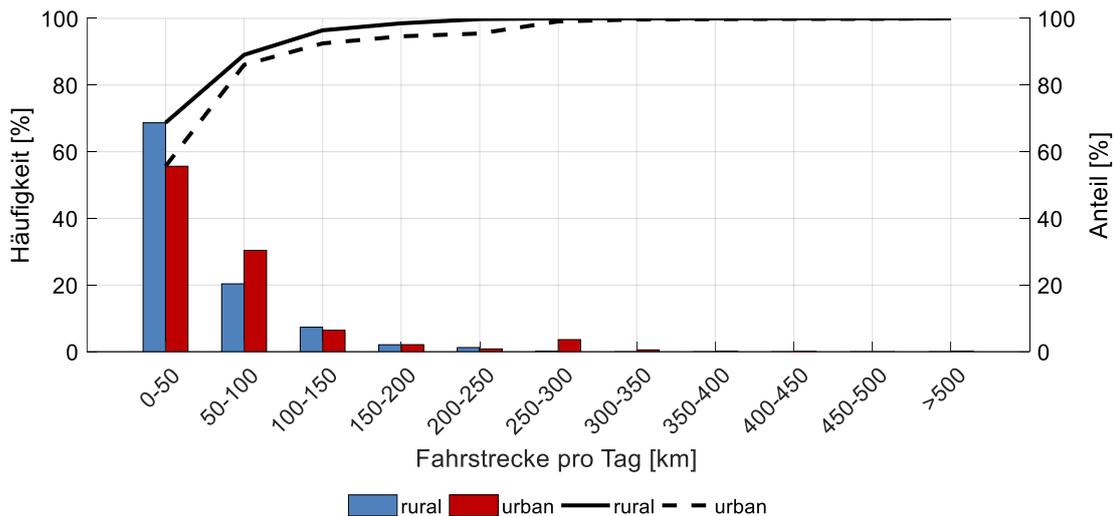


Abbildung 22: Häufigkeit und Anteil der täglichen Fahrstrecke im Szenario Stab und Fiskal urban sowie rural

Im Vergleich zu vorangegangenen Zwischenberichten sind in dieser Auswertung nun auch Fahrzeuge in ruralen Dienststellen enthalten. Dennoch sind wie zuvor die täglichen Fahrstrecken an ca. 95 % der Tage kürzer als 150 km. Insbesondere in den ruralen Dienststellen ist die tägliche Fahrleistung kurz, wie im Szenario KED sind hier nur BEV mit relativ geringer Reichweite vorhanden. Im Gegensatz dazu werden in urbanen Dienststellen längere Strecken am Tag absolviert. Dies ist nicht zuletzt auf die Verwendung von zwei BEV mit einer Reichweite von ca. 420 km nach WLTP zurückzuführen, sodass die Fahrzeuge auch für längere Strecken verwendet werden können.

Neben den gefahrenen täglichen Strecken sind die Standzeiten an der Dienststelle sowie die Länge einzelner Fahrten, also zwischen zwei Lademöglichkeiten, von sehr hoher Bedeutung für die Verwendung von BEV. Eine Fahrt beginnt und endet dabei jeweils an der Heimatdienststelle. Abbildung 23 stellt die Standzeiten an der Heimatdienststelle und Abbildung 24 die Strecken pro Fahrt für den Bereich ESD dar.

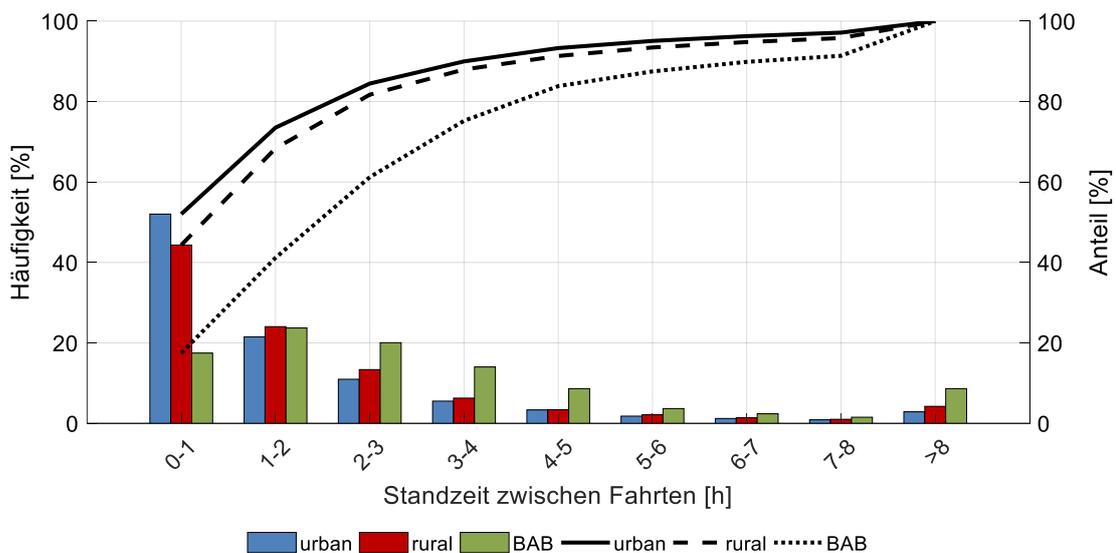


Abbildung 23: Dauer von Standzeiten an der Heimatdienststelle im ESD in urbaner und ruraler Umgebung sowie für die BAB

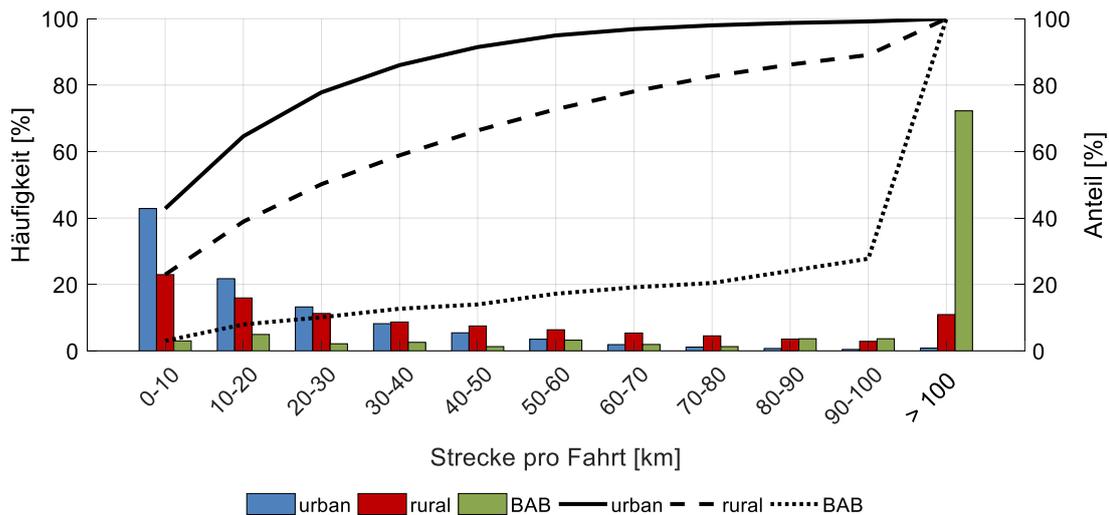


Abbildung 24: Strecke pro Fahrt im ESD in urbaner und ruraler Umgebung sowie für die BAB

Anhand der Abbildung 23 wird deutlich, dass sich im ESD urban und rural im Vergleich zu vorherigen Zwischenberichten keine signifikanten Änderungen ergeben haben und die Standzeiten an der Dienststelle in 80-90 % der Fälle unter drei h betragen. Im Szenario BAB sind die Standzeiten deutlich länger, insbesondere der Anteil sehr kurzer Standzeiten unter einer h ist wesentlich geringer, sodass ca. 80 % der Standzeiten kürzer als fünf h sind. Dies wirkt sich entsprechend auch auf die Anzahl der Fahrten pro Tag aus, welche im Vergleich zu den Szenarien urban und rural geringer ist. Aus Abbildung 24 geht hervor, dass die Strecke pro Fahrt im urbanen Umfeld eher gering sind, zu über 40 % kürzer als 10 km und zu etwa 90 % kürzer als 50 km. In ruralen Dienststellen sind die Fahrten erwartungsgemäß länger, 50 km entsprechen hier unter 70 %, 90 % aller Fahrten werden erst bei 100 km erreicht. Beim Szenario BAB werden erheblich längere Strecken zwischen zwei Aufenthalten an der Dienststelle zurückgelegt, über 70 % aller Fahrten sind länger als 100 km und 10 % länger als 200 km.

Die Standzeiten und die Strecken pro Fahrt im Bereich KED sind in Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellt.

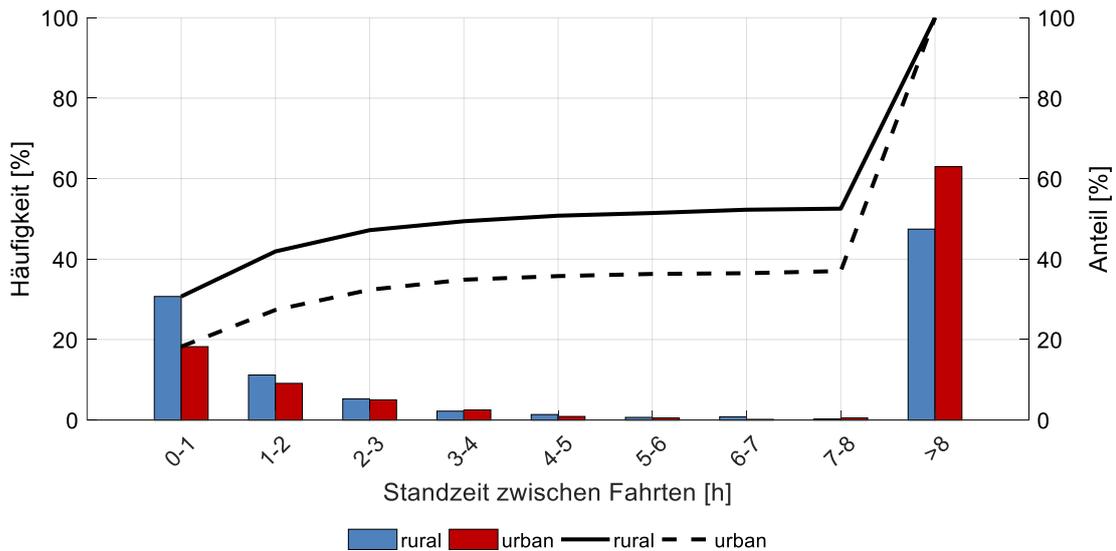


Abbildung 25: Dauer von Standzeiten an der Heimatdienststelle im KED in urbaner und ruraler Umgebung

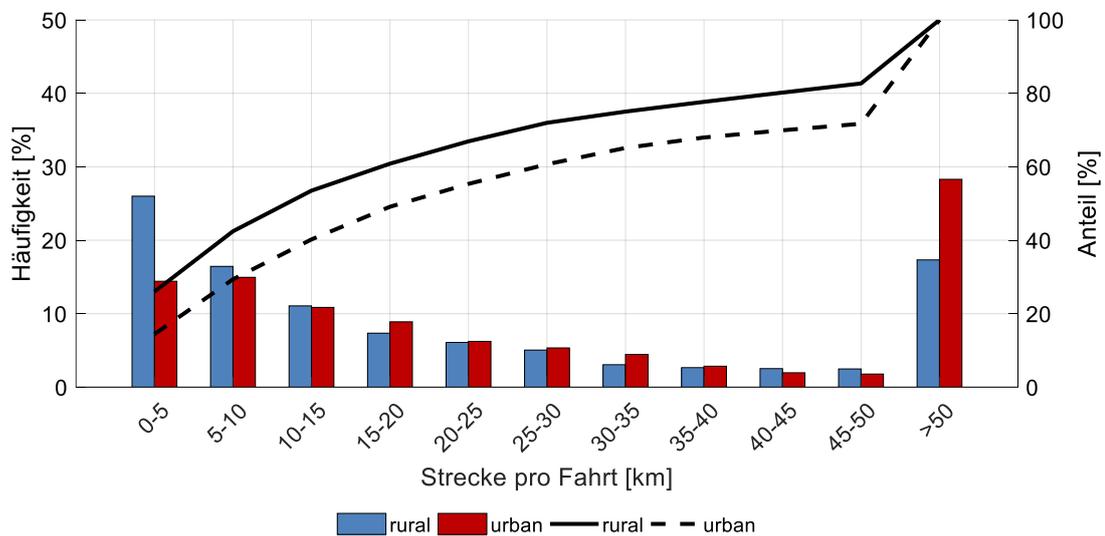


Abbildung 26: Strecken pro Fahrt im KED in urbaner und ruraler Umgebung

Auch im KED gibt es einen relativ hohen Anteil an kurzen Standzeiten bis zwei Stunden, jedoch außerdem viele Standzeiten über acht Stunden. Außerdem sind 70-80 % der Strecken pro Fahrt mit weniger als 50 km kurz. Wie schon zuvor erwähnt, sind in dieser Auswertung überwiegend BEV mit relativ geringer Reichweite enthalten, sodass längere Strecken unterrepräsentiert sind.

Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen die Standzeiten und die Strecken pro Fahrt im Bereich Stab & Fiskal.

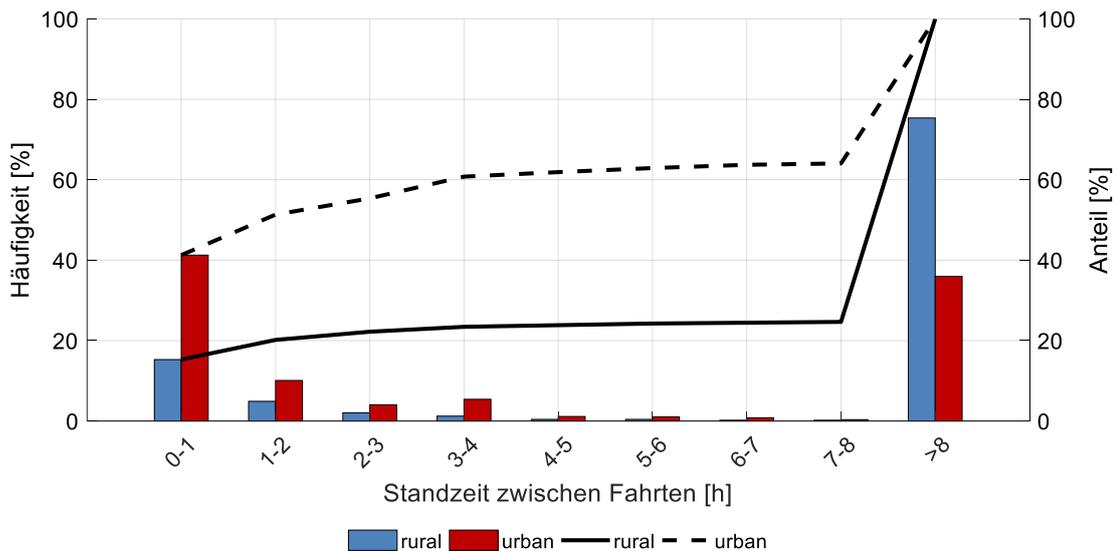


Abbildung 27: Dauer von Standzeiten an der Heimdienststelle im Szenario Stab und Fiskal urban sowie rural

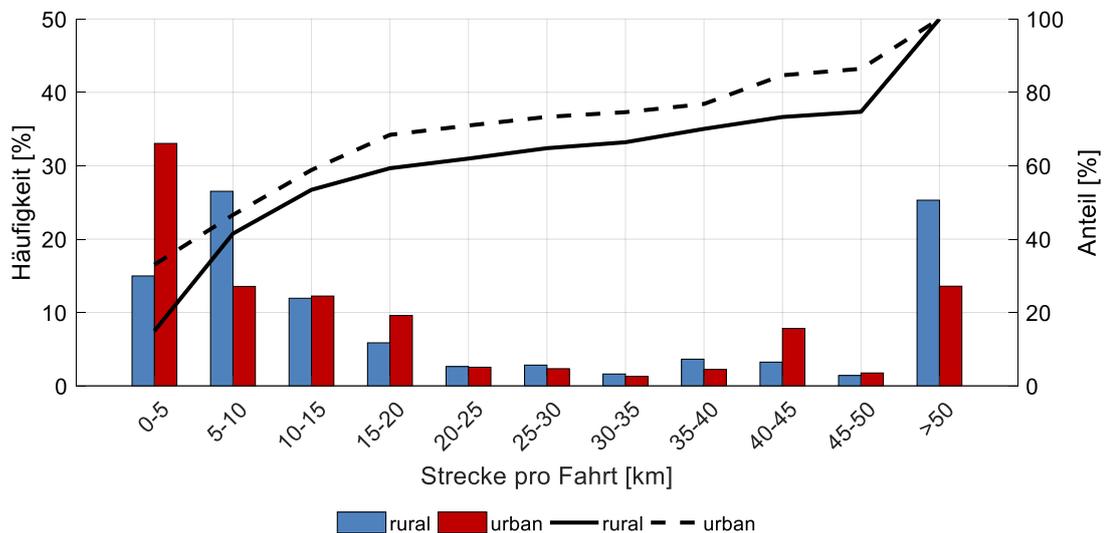


Abbildung 28: Strecken pro Fahrt im Bereich Stab und Fiskal in urbaner sowie ruraler Umgebung

Im Bereich Stab & Fiskal verhält es sich ähnlich wie im Szenario KED, Standzeiten größer acht h sind relativ häufig. Die Strecken pro Fahrt sind ebenfalls überwiegend kürzer als 50 km. Es gelten ferner die gleichen Einschränkungen bezüglich des Anteil von BEV in den der Auswertung zugrunde gelegten Fahrdaten.

Zur Auswertung der sich aus den Fahrstrecken ergebenden Umweltwirkung der Fahrzeugnutzung werden streckenbezogenen CO₂-Emissionen herangezogen. Es wird die Kette „Well-to-Wheel“ betrachtet, also auch die Emissionen der Kraftstoffvorkette bzw. aus der elektrischen Energieerzeugung. Nicht enthalten sind die Emissionen aus der Fahrzeugherstellung und -entsorgung. Diese sind im Sinne einer ökobilanziellen Betrachtung in AS 7.3 inbegriffen. Die CO₂-Emissionen sind als Durchschnittswerte für die verschiedenen Antriebsarten (PHEV, BEV, ICV) in den Szenarien ESD, KED sowie Stab und Fiskal jeweils rural und urban in Abbildung 29 dargestellt. Zur Berechnung wurde für Benzin ein Wert von 2,26 kg CO₂/l und für Diesel von 2,76 kg CO₂/l verwendet. Der Emissionsfaktor für die

Erzeugung von elektrischer Energie wurde mit einem CO₂-Ausstoß von 474 g/kWh berücksichtigt, das dem deutschen Durchschnitt entspricht [Icha 2019].

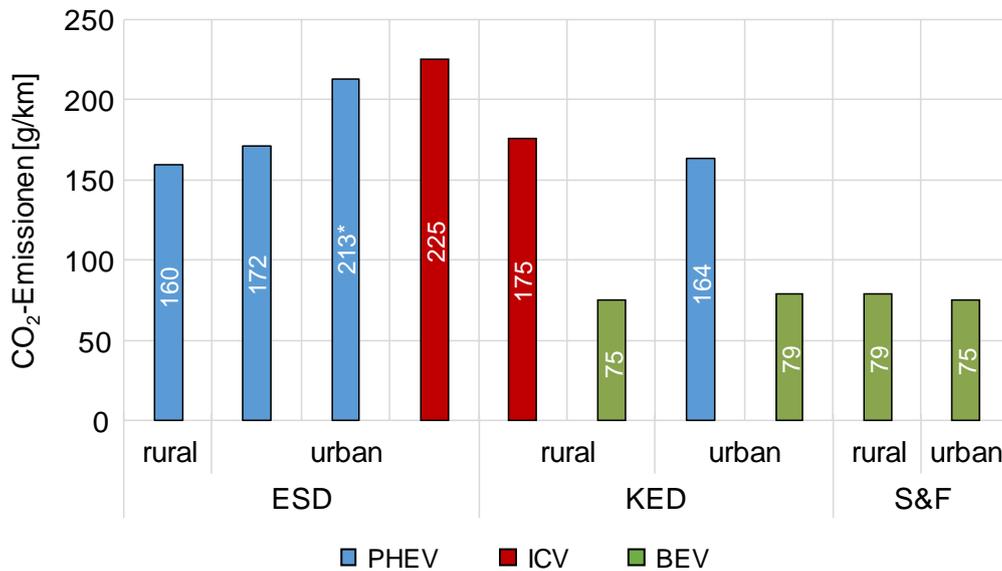


Abbildung 29: Streckenbezogene CO₂-Emissionen der Antriebsarten PHEV, ICV und BEV in den Szenarien ESD, KED sowie Stab und Fiskal (S&F). Mit * ist ein Einzelfahrzeug (PHEV im ESD urban) ohne Lademöglichkeit gekennzeichnet (nur Nutzung)

Die CO₂-Emissionen der BEV sind im Vergleich am geringsten. Insbesondere im Szenario KED rural ist die Reduktion deutlich (57 %), bei vergleichbarer Nutzung der Fahrzeuge. Auch die PHEV im ESD weisen geringere CO₂-Emissionen im Vergleich zum ICV auf. Aufgrund von Sanierungsarbeiten des entsprechenden Standortes musste ein Fahrzeug (PHEV) im ESD urban an einen anderen Standort verlegt werden, an dem aufgrund der baulichen Gegebenheiten keine Möglichkeit besteht das Fahrzeug zu laden. Dies lässt den CO₂-Ausstoß gegenüber den anderen Fahrzeugen im gleichen Szenario erheblich ansteigen, um ca. 24 %.

Im Weiteren wurden die Ladedaten ausgewertet. Ein Fokus lag hierbei auf der Ladeleistung und der Ladezeit. Mit den Ladedaten aus den Wallboxen konnten die Ladeverläufe der Fahrzeuge nachgebildet werden. Da der Ladezustand (engl. State of Charge (SoC)) nicht über die Ladesäule übertragen wird, wurde diese Messgröße den Daten des Datenloggers entnommen. Somit lassen sich folgende vier beispielhafte Ladeverläufe für einen GTE darstellen (vgl. Abbildung 30).

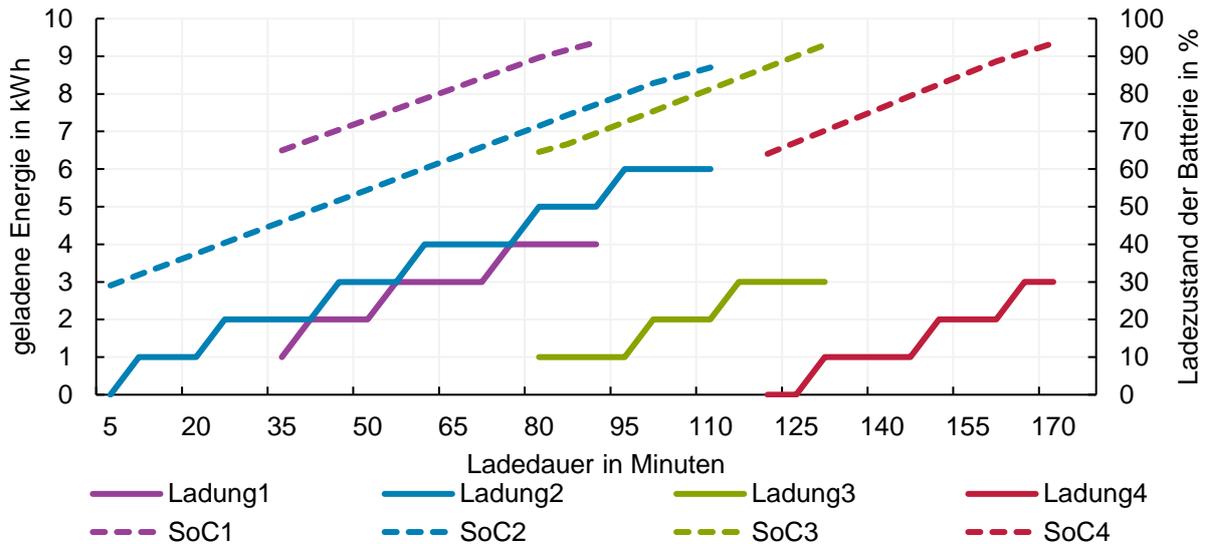


Abbildung 30: Beispielhafte Ladeverläufe eines GTE

Um die unterschiedlichen Ladungen besser sichtbar zu machen, beginnen die Ladungen versetzt. Weil das Messsystem keine Dezimalzahlen ausgibt, ist die geladene Ladung stufenförmig dargestellt. Das Messsystem nimmt Ladeabschnitte im Abstand von fünf min auf. Der Verlauf des SoC wurde anhand des Start- und End-SoC aus den Datenloggern und der gemessenen Ladeleistung berechnet. Wie der Tabelle 6 entnommen werden kann, wurden die GTE die meiste Zeit der Ladedauer (73,77 %) mit 3,45 kW geladen. Alle Werte unter 15 A traten zum Ende eines Ladevorgangs (ca. 5-30 min vorher) auf. Diese Abflachung der Ladekurve wird durch das Batteriemanagementsystem (BMS) und dem integrierten Constant-Curent-Constant-Voltage-Verfahren (CCCV-Verfahren) gesteuert. Die Reduzierung der Ladeleistung ist in allen Kurven zu erkennen. Hier wurde die Ladeleistung, beim Erreichen eines SoC von etwa 90 %, in den letzten zehn Minuten des Ladevorgangs reduziert.

Tabelle 6: Verteilung der Ladeleistung von den gemessenen Ladevorgängen des GTE

Strom pro Phase in A	Ladeleistung in kW	Anteil in %
<8	bis 1,84	0,83
9	2,07	0,83
10	2,30	2,17
11	2,53	0,57
12	2,76	0,63
13	2,99	0,40
14	3,22	1,89
15	3,45	73,77
16	3,68	18,91

Durch die höhere Batteriekapazität konnten bei den E-Golf-Fahrzeugen längere Ladeverläufe gemessen werden. Vier dieser beispielhaften Ladeverläufe für einen E-Golf sind in Abbildung 31 dargestellt. Bei den aufgezeichneten Verläufen konnte keine Absenkung der Ladeleistung zum Ende eines Ladevorgangs festgestellt werden.

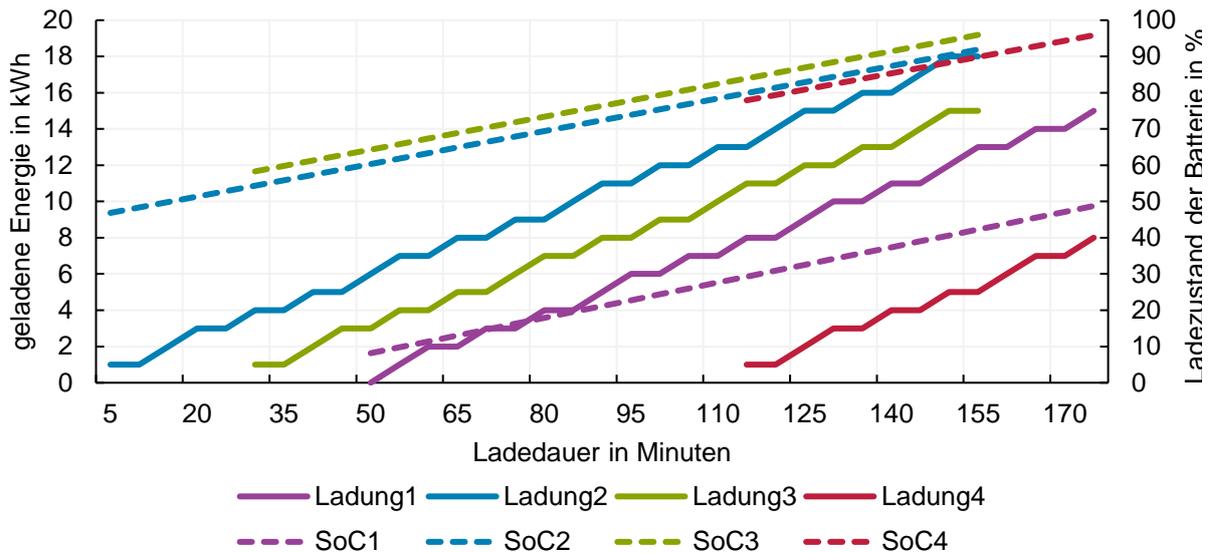


Abbildung 31: Beispielhafte Ladeverläufe eines E-Golf

In der Tabelle 7 ist die Verteilung der Ladeleistung von den gemessenen Ladevorgängen des E-Golf abzulesen. Hier ist festzustellen, dass die meisten Ladevorgänge wie beim GTE mit 15 A vollzogen wurden. Hierbei ist zu beachten, dass der E-Golf im Gegensatz zum einphasigen GTE zweiphasig lädt. Obwohl das BMS die Ladeleistung zum Ende des Ladevorgangs nicht abregelt, werden 26,75 % aller Ladeabschnitte mit weniger als 8 A geladen. Diese geringen Ladeströme wurden während einzelner Abschnitte aufgezeichnet. Wenn das Fahrzeug lange steht und weiterhin an der Ladesäule angeschlossen ist, fährt das System des Fahrzeugs nochmal hoch und entnimmt der Ladesäule während einer Laufzeit von etwa 10-100 min eine geringe Energie. Da die E-Golf-Fahrzeuge im KED und Stab & Fiskal eingesetzt werden, kommt es dem Szenario entsprechend häufig zu langen Standzeiten.

Tabelle 7: Verteilung der Ladeleistung von den gemessenen Ladevorgängen des E-Golf

Strom pro Phase in A	Ladeleistung in kW	Anteil in %
<8	bis 3,68	26,75
9	4,14	0,38
10	4,60	0,33
11	5,06	0,11
12	5,52	0,65
13	5,98	0,00
14	6,44	3,96
15	6,9	45,79
16	7,36	22,03

Um auf das Ladeverhalten der Nutzer zu schließen, konnten die Daten aus den Datenloggern verwendet werden. Wie bereits der Abbildung 23 zu entnehmen ist, haben die Fahrzeuge des ESD nur sehr kurze Standzeiten (80 % unter zwei Stunden). Jedoch sind die Standzeiten relativ häufig, wie in der Abbildung 32 dargestellt. Es ist abzulesen, dass ein Fahrzeug im ESD

in 50 % der Fälle mindestens sechs Standzeiten hat. Somit kommen die Fahrzeuge des ESD auf Ladezeiten von insgesamt über acht Stunden in 90 % der Fälle (vgl. Abbildung 33). Die Fahrzeuge wurden kürzer aber häufiger geladen, was sich in den SoC-Werten widerspiegelt. In nur 26,98 % der Ladevorgänge wurden die Fahrzeuge des ESD vollgeladen (>90 %). Die häufigen Stopps reichten jedoch aus, um eine vollständige Entladung der Batterien zu vermeiden. Nur 25,36 % der Fahrzeuge kamen mit einem SoC von unter 10 % an der Dienststelle an. Weiterhin ist in Abbildung 34 kein wesentlicher Unterschied zwischen Tag und Nacht zu erkennen. Nachts standen die Fahrzeuge nicht sehr lange, dafür aber häufiger am Standort. Am Tag wurde mit 60 % der Ladungen insgesamt länger und häufiger geladen. Mehr als 24 Stunden stehen die Fahrzeuge des ESD lediglich in 1,26 % der Fälle.

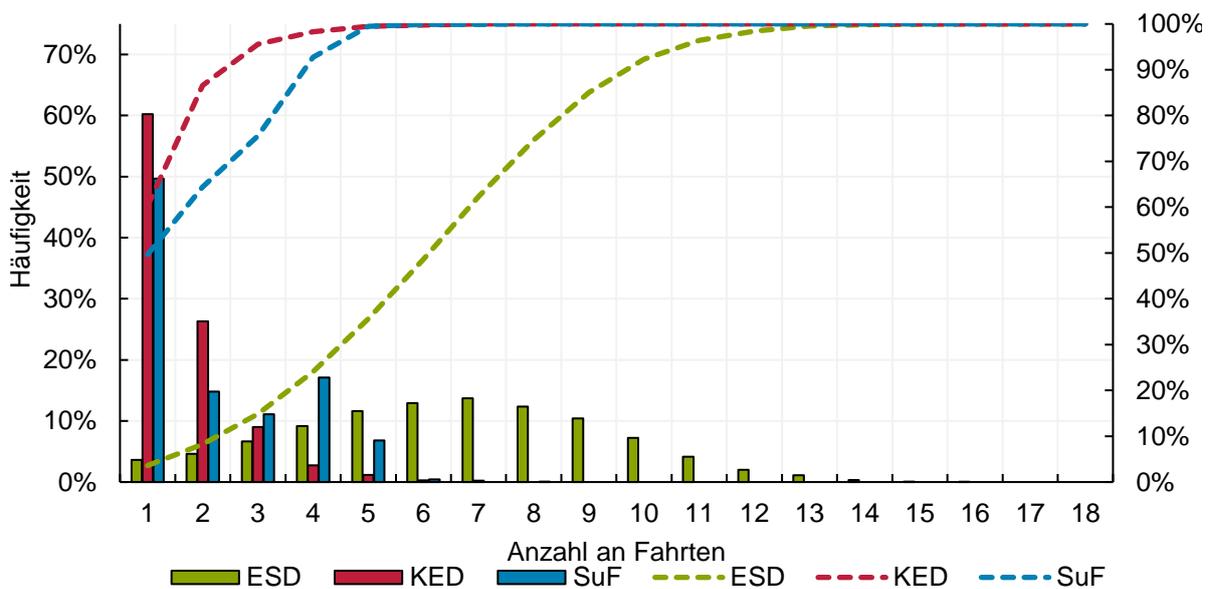


Abbildung 32: Verteilung der Anzahl an Fahrten pro Tag für die Fahrzeuge des Einsatz- und Streifendienstes (ESD), des Kriminal- und Ermittlungsdienstes (KED) und der Stabs- und Fiskalfahrten (Stab & Fiskal)

Die Fahrzeuge des KED hatten in Gegensatz zum ESD sehr lange Standzeiten (vgl. Abbildung 25). Jedoch ist die Anzahl der Fahrten sehr gering, wie der Abbildung 32 entnommen werden kann. Dem Szenario entsprechend sind die Fahrzeuge etwa ein- bis zweimal täglich über einen längeren Zeitraum unterwegs. Insgesamt hatten sie somit Ladezeiten von meist über acht Stunden an einem Tag (vgl. Abbildung 33). Die Ladezeiten verteilten sich hauptsächlich in kurzen Zeiträumen über den Tag und längeren Zeiträumen über die Nacht, wie in Abbildung 35 dargestellt ist. Viele der Fahrzeuge des KED (45,62 %) standen mehr als 24 h an der Dienststelle. Werden alle aufgezeichneten Standzeiten betrachtet, wurden 68,40 % mit einem SoC von über 90 % beendet. Davon endeten 52,25 % während des Tages (16,15 % nachts). Die Fahrzeuge des KED kommen in nur 12,32 % der Fälle mit einem SoC unter 50 % am Standort an.

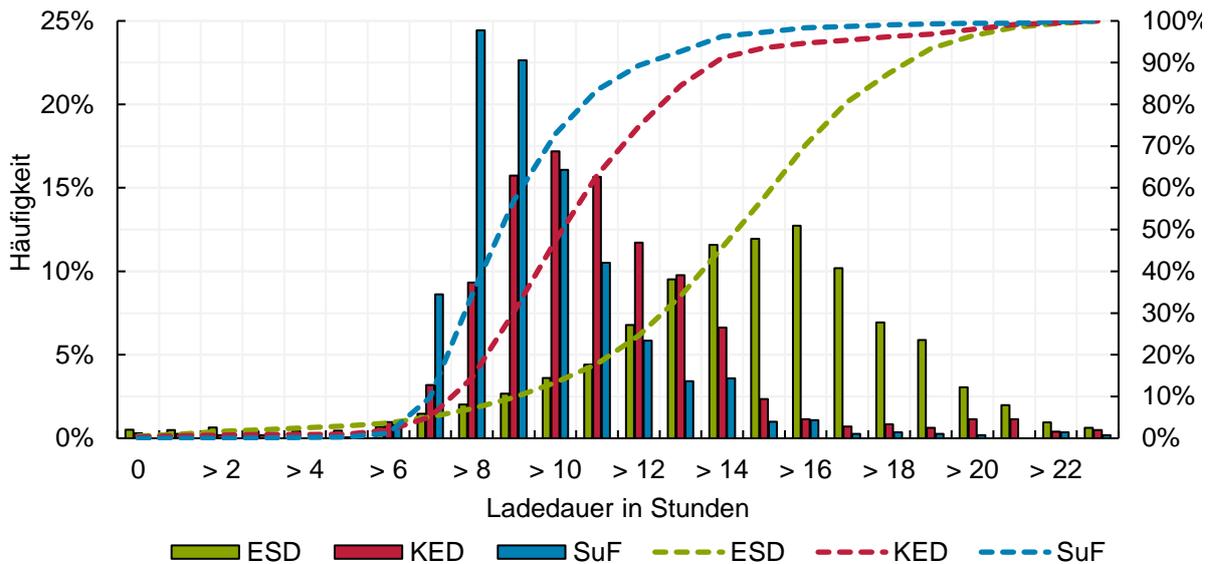


Abbildung 33: Verteilung der Ladedauern pro Tag für die Fahrzeuge des Einsatz- und Streifendienstes (ESD), des Kriminal- und Ermittlungsdienstes (KED) und der Stabs- und Fiskalfahrten (Stab & Fiskal)

Wie der Abbildung 27 entnommen werden kann, stand ein Fahrzeug im Stab & Fiskal ähnlich wie eines im KED über mehrere Stunden an der Dienststelle. Die Spannweite der Anzahl von Fahrten war jedoch etwas größer (vgl. Abbildung 32). Insgesamt kamen die Fahrzeuge des Stab & Fiskal, ähnlich wie im KED auf Ladedauern von insgesamt ungefähr acht Stunden am Tag, wie in der Abbildung 28 erkennbar ist. Die Fahrzeuge standen in 32,64 % der Fälle über 24 Stunden an der Dienststelle. Sie standen tagsüber häufig nur kurz an der Dienststelle, um einen kleinen Zwischenstopp zu machen. Ansonsten sind sie nachts nur selten unterwegs gewesen und standen diese Zeit somit ebenfalls an der Dienststelle (vgl. Abbildung 36). In 52,39 % der Fälle erreichten die Fahrzeuge einen SoC von über 90 %. Davon wurden 33,26 % noch während des Tages (19,13 % nachts) erreicht. Lediglich 9,32 % der Fahrzeuge kamen mit weniger als 50 % SoC am Standort an.

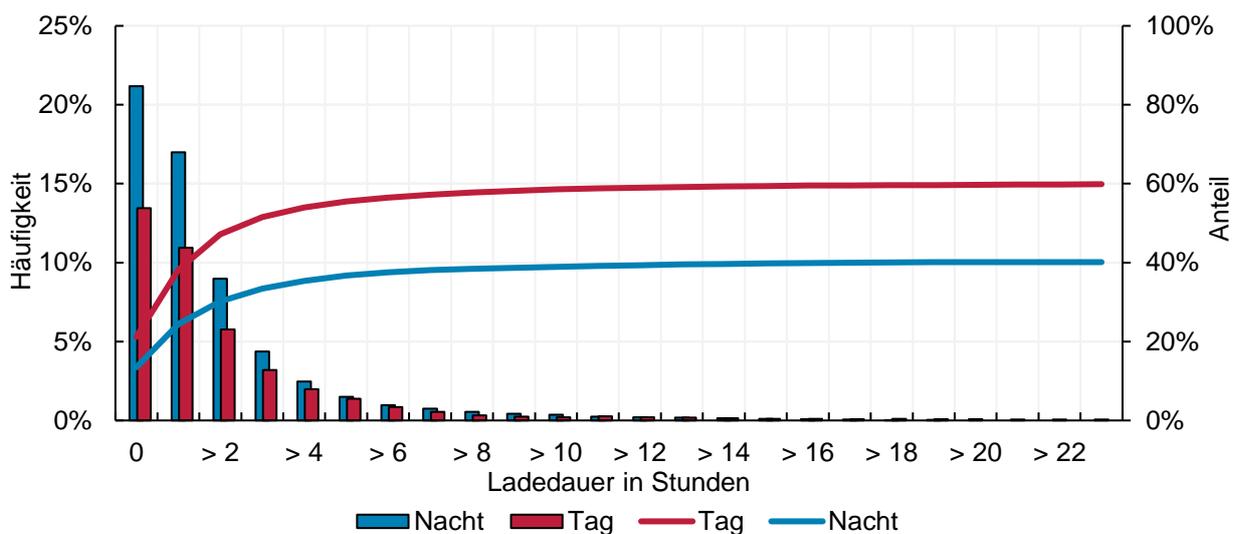


Abbildung 34: Verteilung der Ladedauer über Tag und Nacht (max. 24 h) eines Fahrzeugs im ESD

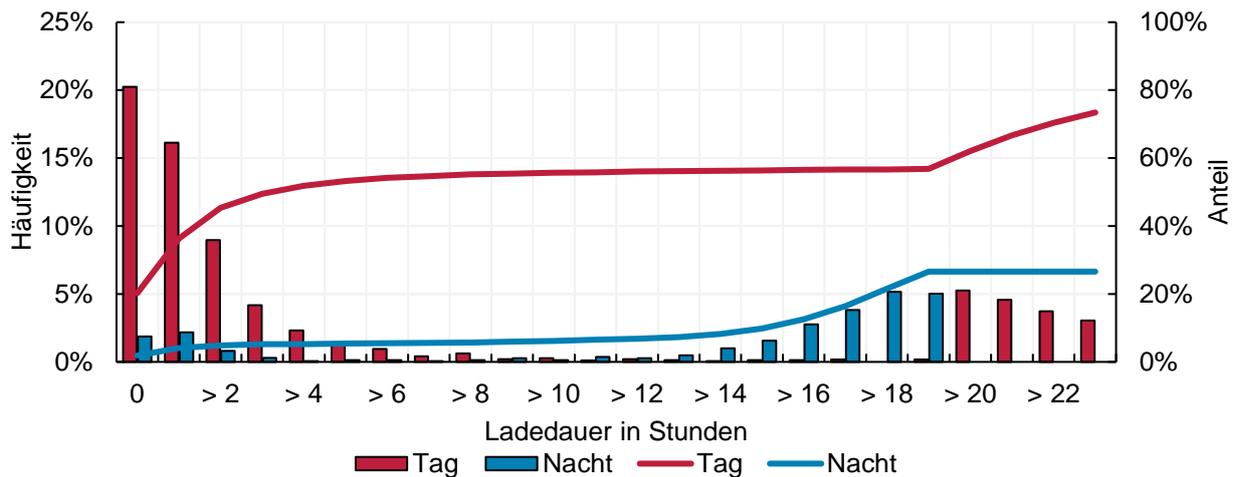


Abbildung 35: Verteilung der Ladedauer über Tag und Nacht (max. 24 h) eines Fahrzeugs im KED

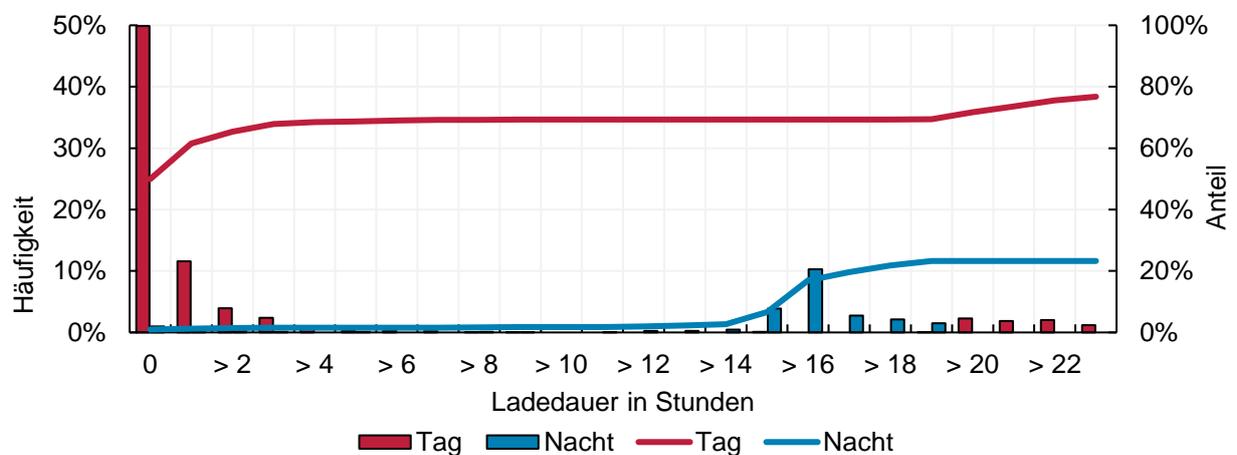


Abbildung 36: Verteilung der Ladedauer über Tag und Nacht (max. 24 h) eines Fahrzeugs für Stab & Fiskal

Es ist festzustellen, dass die langen Standzeiten für die Ladung der Fahrzeugbatterien ausreichen. Der ESD hatte kumuliert die längsten Standzeiten, wenn nur ein Tag betrachtet wird. Der KED und Stab & Fiskal hatten häufig Standzeiten über Nacht und über 24 h. Diese Standzeiten genügten, um die Batterie wieder voll aufzuladen. Während der Aufzeichnungen der Datenlogger konnte nicht festgestellt werden, wie lange das Fahrzeug während der Standzeit geladen hat. Im KED und Stab & Fiskal kann es dazu gekommen sein, dass die Fahrzeuge während des Ladevorgangs wieder von der Ladesäule gelöst wurden, wenn der Ladezustand einen für den Fahrer akzeptablen Stand angezeigt hat. Dieses Verhalten kann die Zahl der Vollladungen verfälscht haben, da potenziell mögliche Vollladungen nicht erfasst wurden. Ebenso wurden die Fahrzeuge nicht bei jeder Ankunft an der Dienststelle an die Ladesäule angeschlossen.

AS 3.8: Mitarbeitersensibilisierung und Ableitung von Anforderungen an den Leitfaden

Am 06. und 07. November 2018 wurde ein bundesweiter Workshop zum Thema Elektromobilität in polizeilichen Flotten ausgerichtet. Die Veranstaltung wurde von rund 100 nationalen und internationalen Gästen aus Deutschland, Dänemark, Luxemburg, Österreich und der Schweiz besucht.



Abbildung 37: Einladung zum bundesweiten Workshop

Die Veranstaltung war in drei Teile untergliedert. Im ersten Teil wurde von den Projektpartnern das Projekt *lautlos&einsatzbereit* sowie bisherige Erfahrungen und Analyseergebnisse vorgestellt.



Abbildung 38: Vorstellung von Projektergebnissen beim bundesweiten Workshop am 06./07.11.2018

Im zweiten Teil hatten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die Möglichkeit aktuelle polizeiliche Fahrzeugmodelle als PHEV oder BEV zu begutachten. Dabei wurden nicht nur die Projektfahrzeuge von *lautlos&einsatzbereit* ausgestellt, sondern auch weitere Modelle aus dem Bundesgebiet und angrenzenden europäischen Nachbarstaaten bereitgestellt.



Abbildung 39: Ausstellung von teil- und vollelektrischen Einsatzfahrzeugen der Polizei (Foto: Massel)

Im dritten Teil der Veranstaltung wurde ein sog. World Café durchgeführt, um Erwartungen, Anforderungen und Standards des noch zu erstellenden Leitfadens zu erheben und zu diskutieren. Die Ergebnisse wurden im Nachgang von allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern priorisiert, sodass eine eindeutige Rangreihenfolge zu jedem Themengebiet erstellt werden konnte.



Abbildung 40: Durchführung eines World Cafés zur Erhebung und Priorisierung von Anforderungen und Standards an den Leitfaden

Im Rahmen des Projektes wurde ein Themenspeicher für Anwenderhinweise und Probleme jeglicher Art implementiert. Das Projektteam erhielt seit Projektbeginn fortlaufend diverse Anfragen und Problemstellungen vorrangig von den Anwenderinnen und Anwendern zu unterschiedlichen Themenfeldern.



Abbildung 41: Fehlermeldung eines FUSTW (PHEV)

Die Anfragen ergaben sich teilweise durch technische Fehlfunktionen der Projektfahrzeuge bzw. der Ladeinfrastruktur, durch allgemeine Fragen zur Anwendung, durch technisch bedingte Limitierungen oder auch im Zusammenhang mit Verkehrsunfällen.



Abbildung 42: FUSTW (PHEV) nach einem Frontalzusammenstoß vor der Aussonderung

Alle bearbeiteten Themen und Erfahrungen fließen direkt in die Erstellung des Leitfadens mit ein.

Darüber hinaus wurde im Juni 2018 ein projekteigener Twitter-Account (@Projekt_lautlos) eingerichtet, um einerseits aktuelle Informationen nach innen und außen zur Verfügung zu stellen und andererseits zusätzliche Impulse von Nutzern, Medien, Fahrzeugherstellern sowie von Behörden und Organisationen aufzugreifen.

Polizeiintern wurden die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter durch Beiträge in lokalen und überregionalen Mitarbeiterzeitschriften sowie über das polizeiinterne Intranet informiert. Detaillierte Informationen wurden häufig auf bundesweiten Fachmessen, in Fortbildungsveranstaltungen und Dienstbesprechungen auf allen Organisationsebenen zur Verfügung gestellt (vgl. Ziff. 2.3 und 2.4).

AP 4: Integrierte Planung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur (Entwicklung Detailkonzept)

Ziel des **AP 4** war die Entwicklung eines Detailkonzepts für die integrierte Flotten-, Lade- und Energieinfrastrukturplanung. Basis dafür war die erstellte Grobplanung in AP 1 sowie die Ergebnisse aus AP 3. Dafür wurden Charakteristika von verschiedenen Fahrzeugflotten bestimmt und in die Flotten des LPP eingeordnet. Das entwickelte Konzept wurde in das Tool zur Flottenplanung aus AP 1 integriert.

*In **AS 4.1** wurden unter Berücksichtigung der neu beschafften Elektrofahrzeuge allgemeine und besondere Charakteristika (Standzeiten, Fahrzeiten, Ladeverhalten, ...) der verschiedenen Einsatzzwecke des LPP bestimmt.*

Diese gehen über die in AS 1.1 ermittelten Charakteristika hinaus. Hierauf aufbauend wurden die bisher ermittelten Anforderungen an die integrierte Planung von Flotten sowie Energie- und Ladeinfrastruktur aus AS 1.4 ergänzt. Auf Grundlage des in AP 1 ermittelten Flottenklassifikationsschemas wurde die bestehende Flottenklassifikation der Einsatzzwecke entsprechend angepasst.

Für die Ermittlung der benötigten Daten wurde von ELE ein Datenkonzept erstellt. Dieses beschreibt die Schnittstellen und die Zusammenhänge der benötigten Lade- und Energiedaten. Für den Start des Ladevorganges wurden entsprechende Autorisierungsdaten benötigt. Die Autorisierung erfolgte über eine RFID-Karte, die je einem Fahrzeug zugeordnet wurde. In einstellbaren Zeitintervallen wurden Energie- und Zeitdaten an ein Backend übermittelt. Für die optionale Einbindung von lokalen erneuerbaren Energien wurden Mess- oder Prognosedaten benötigt. Diese Schnittstelle ist im Messkonzept integriert. Für eine dynamische Ladesteuerung wurden Fahr- und Fahrzeuginformationen gebraucht. Diese Schnittstelle ist im Datenkonzept ebenfalls integriert. Eine Übersicht über das Datenkonzept sowie die benötigten Daten ist in Abbildung 43 dargestellt.

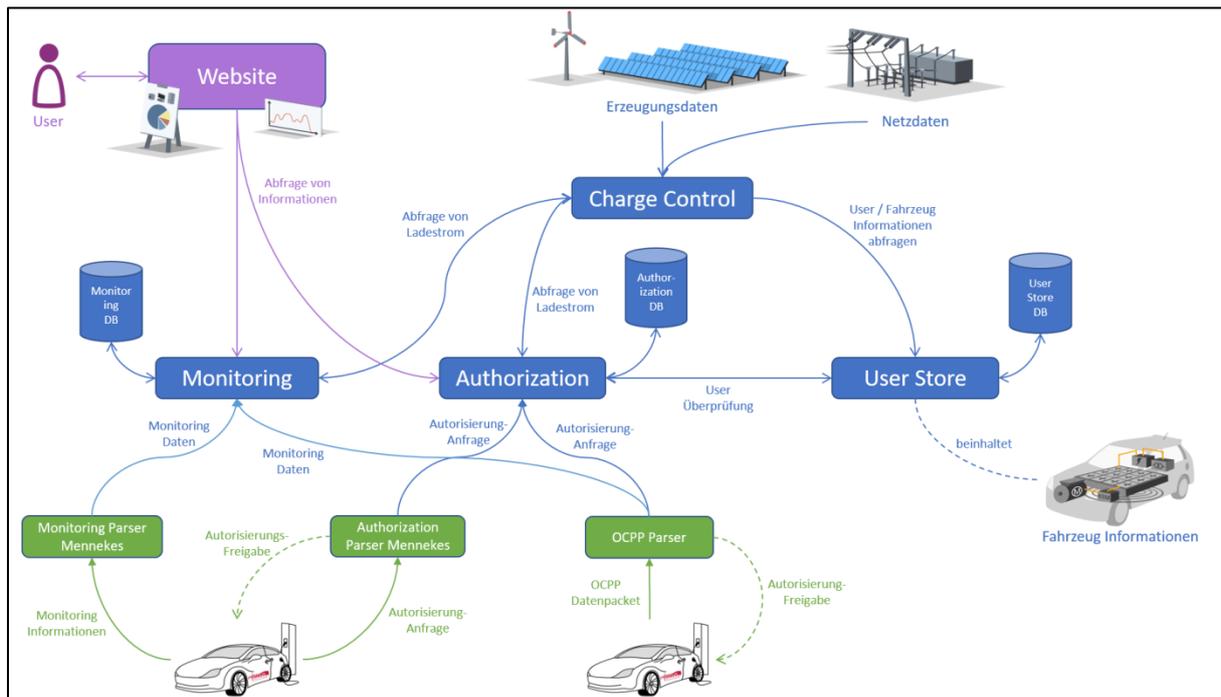


Abbildung 43: Datenkonzept Lade- und Energieinfrastruktur

In AS 4.2 erfolgte die Entwicklung und Definition allgemeingültiger Regeln für die Flotten- und Ladeinfrastruktursteuerung sowie deren Berücksichtigung zur Verbesserung der Planung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur.

Basierend auf der Auswertung der Betriebsdaten zu den Fahrzeugen und der Ladeinfrastruktur des LPP sowie des in AS 5.3 entwickelten Ansatzes zur Flottensteuerung, konnten folgende Steuerungsregeln abgeleitet werden:

- Standzeiten sind Ladezeiten: Für den effizienten Betrieb der Flotte ist es wichtig, dass jeder Halt an der Dienststelle zum Laden der Fahrzeuge genutzt wird. Gerade im ESD ist der nächste Einsatz in der Regel in Bezug auf Zeit, Ort und Dauer unbekannt, sodass jede zusätzliche Lademinute von Vorteil sein kann.
- Berücksichtigung des Ladezustandes bei der Zuweisung eines Einsatzes zu einem Fahrzeug: Bei der Zuweisung der Einsätze zu Fahrzeugen/Teams sollte grundsätzlich auch der Ladezustand der Batterie des Fahrzeugs (insb. bei BEV) Berücksichtigung finden. Hierbei sollte dem Fahrzeug mit der höchsten, aktuell verfügbaren Reichweite der Vorrang gegeben werden. Wenn dies aufgrund mangelnder Technik nicht möglich ist, sollten Prioritätsfahrzeuge festgelegt werden. Diese werden bei Aufteilung der nur eingeschränkt an einem Standort zur Verfügung stehenden Leistung priorisiert.

Hieraus konnten folgende Erkenntnisse für die Planung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur abgeleitet werden:

- Die zu errichtenden Ladepunkte sollten sich an den tatsächlichen und taktisch relevanten Standorten der Fahrzeuge orientieren (z.B. an der Straße vor dem Dienstgebäude). Der Standort hat einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzerakzeptanz und damit auf die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen.

- Insbesondere im Bereich des ESD sollte die Möglichkeit des Einsatzes von Schnellladeinfrastruktur geprüft werden, da hier die Standzeiten zwischen zwei Einsätzen an der Dienststelle sehr kurz ausfallen können und somit der Erhöhung der Lademenge in kürzerer Zeit einsatztaktische Vorteile aufweisen kann.
- Fahrzeuge mit einer hohen maximalen Batteriekapazität sind bei der Beschaffung zu bevorzugen.

In AS 4.3 wurde ein detailliertes Rahmenkonzept zur integrierten Planung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur entwickelt. Hierzu wurde das in AP 1 entwickelte Grobkonzept mit den in AS 4.1 aktualisierten Anforderungen abgeglichen.

Das in der nachfolgenden Abbildung 44 dargestellte Rahmenkonzept wurde unter Berücksichtigung der Steuerungsregeln und Anforderungen aus der Infrastrukturplanung und -steuerung sowie der Definition und Ausarbeitung von Schnittstellen zwischen der Planung und Steuerung von Flotten sowie Lade- und Energieinfrastruktur mit spezifischem Fokus auf die Flotten eingesetzt und weiterentwickelt. Dazu flossen Informationen aus dem realen Fahrbetrieb der polizeilichen PHEV- und BEV-Flotte ein. Dieses Rahmenkonzept wird im Folgenden näher beschrieben.

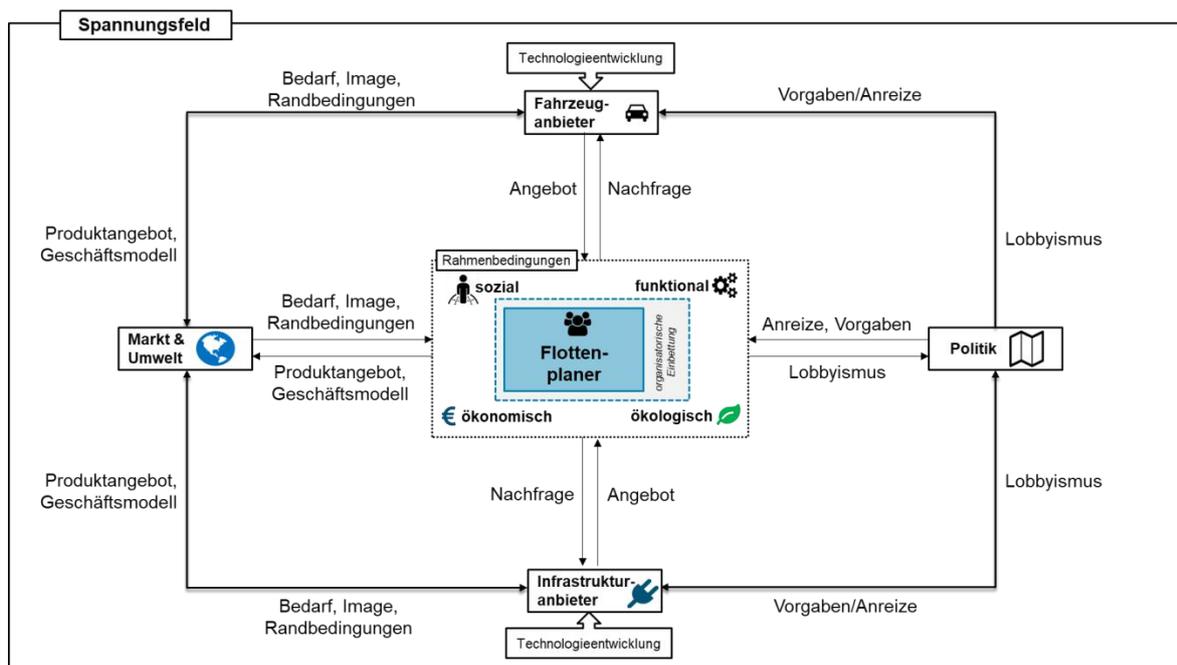


Abbildung 44: Konzept für eine integrierte Planung und Steuerung von Flotten sowie Energie- und Ladeinfrastruktur

An den Einsatz von elektrifizierten Fahrzeugen im Polizeidienst existiert eine Vielzahl von gesetzlichen, behördlichen und polizeitaktischen **Anforderungen und Herausforderungen**. Diese müssen sowohl bei der strategischen Planung der Fahrzeugflotte (Strategiefestlegung) als auch bei der Beschaffung und Steuerung der Energie- und Ladeinfrastruktur berücksichtigt werden.

Entscheider und Flottenplaner bewegen sich zunehmend in einem komplexen **Spannungsfeld** mit verschiedensten Einflussgrößen, welches über die Bereiche Markt und Umwelt, Fahrzeug- und Infrastrukturanbieter sowie Politik, stets unter der Berücksichtigung von zahlreichen Interdependenzen und Unsicherheiten, aufgespannt wird. Die Flottenplanung erfordert daher ein umfangreiches Systemverständnis, um die Folgen möglicher Entscheidungen sowie gegenseitige Abhängigkeiten analysieren und abschätzen zu können.

Im Zentrum der Betrachtungen steht der Flottenplaner, welcher unter gegebenen Rahmenbedingungen dafür sorgt, dass die Fahrzeugflotte aus **sozialer, funktionaler, ökonomischer** und **ökologischer** Sicht bestmöglich betrieben wird. Er kann dabei entweder selbst Bestandteil der die Flotte betreibenden Organisation sein oder über Drittanbieter eingebunden werden. Besonders hervorzuheben sind dabei die sozialen Anforderungen an die Flottenplanung. Laut Einschätzungen von befragten Polizeibeamten nimmt die Nutzerakzeptanz einen hohen Stellenwert bei der Planung von Flotten ein. Aktuell existieren viele Hemmnisse und Ängste bei Fahrzeugnutzern hinsichtlich des Einsatzes von elektrifizierten Fahrzeugen. Der Überzeugungsaufwand, den ein Flottenplaner bei der Beschaffung von elektrifizierten Fahrzeugen gegenüber den Fahrzeugnutzern leisten muss, ist enorm und beeinflusst wesentlich seine Entscheidungen.

Der (äußere) Rahmen der Flottenplanung reicht über die **Bereiche Markt und Umwelt, Fahrzeug- und Infrastrukturanbieter sowie Politik**. Markt und Umwelt fungieren als zentrale Anspruchsgröße der Organisation. Sie definieren den Bedarf, auf welchen sie durch ein entsprechendes Geschäftsmodell bzw. Produktangebot reagiert. Hieraus resultiert die zentrale Motivation für den Flottenbetrieb. Weiterhin werden die Randbedingungen (z. B. Marktanforderungen) an eine Organisation festgelegt. Infrastruktur- und Fahrzeuganbieter stellen das Angebot an Flottenfahrzeugen sowie der für deren Betrieb ggf. erforderlichen (Lade-) Infrastruktur. Diese werden vom Flottenplaner entsprechend nachgefragt. Das Angebot hängt maßgeblich von der technologischen Entwicklung in den jeweiligen Bereichen sowie analog zum Flottenbetreiber vom Bedarf ab, welcher seitens des Marktes vorgegeben wird. Die Politik setzt die politischen Rahmenbedingungen, sowohl im Hinblick auf Fahrzeug- und Infrastrukturanbieter als auch auf die Organisation. Sie macht Vorgaben und setzt Anreize mit dem Anspruch, politische Zielvorgaben zu erreichen. Diese können seitens der Anbieter und Flottenbetreiber über eine erfolgreiche Lobbyarbeit beeinflusst werden.

Das skizzierte Rahmenkonzept macht deutlich, dass die Planung von Fahrzeugflotten sowie der zugehörigen Infrastruktur und die Festlegung einer langfristigen Strategie zur Beschaffung von Flottenfahrzeugen unter vielfältigen, unsicheren, im Wesentlichen exogen vorgegebenen Rahmenbedingungen erfolgt. Strategische Entscheider und Flottenplaner stehen somit bei der Festlegung einer Strategie sowie der Beschaffung von Fahrzeugen und Infrastruktur vor der großen Herausforderung der adäquaten Berücksichtigung der zahlreichen Interdependenzen und Unsicherheiten. Die Planung erfordert ein umfangreiches Systemverständnis, um die Folgen möglicher Entscheidungen sowie gegenseitige Abhängigkeiten, z. B. in Bezug auf Flottenalterung, Haushaltsfragen und technische Entwicklungen, systematisch analysieren

und abschätzen zu können. In der nachfolgenden Tabelle 8 werden die relevanten Einflussgrößen auf der Planungs- und Steuerungsebene noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 8: Parameter der Planungs- und Steuerungsebene

Planungsebene	Steuerungsebene
Anzahl und Art der Fahrzeuge	Allgemeine Flotten- und Ladesteuerungsregeln
Verfügbares Fahrzeugangebot	Zuordnung Mobilitätsbedarf zu Fahrzeugen und ggf. Fahrzeitpunkten
Aggregierter Mobilitätsbedarf	Mobilitätsbedarf: Einsatz- und Dienstfahrten
Verfügbares Lade- und Energieinfrastrukturangebot	Zuordnung Fahrzeug zu Ladepunkt und ggf. Ladezeitpunkt
Anzahl, Art und Standort der Ladepunkte und lokaler Erzeugungsanlagen	

Im Ergebnis soll eine Empfehlung hinsichtlich der optimalen Flottengröße und -zusammensetzung in Verbindung mit einer Flotten- und Ladeinfrastruktursteuerung stehen (siehe dazu auch **AS 6.1**).

AP 5: Integrierte Steuerung Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur (Entwicklung Detailkonzept)

Ziel von **AP 5** war die Entwicklung eines Detailkonzepts zur integrierten Steuerung der Flotten-, Energie und Ladeinfrastruktur. Basis dafür war die erstellte Planung in AP 1 sowie die Ergebnisse aus AP 3 und das Detailkonzept aus AP 4. In AP 5 wurden intelligente Ladealgorithmen sowie eine Entscheidungsunterstützung für die optimale Fahrzeugzuordnung entwickelt.

*Zur Vorbereitung der Flottensteuerung wurden in **AS 5.1** Charakteristika der verschiedenen Einsatzzwecke des LPP bestimmt und Anforderungen an die Steuerung von Flotten-, Lade- und Energieinfrastruktur abgeleitet.*

Die ermittelten steuerungsrelevanten Charakteristika der Einsatzzwecke des LPP wurden mit den zur Verfügung stehenden Daten, welche im AS 3.7 analysiert worden sind, abgeglichen. Die ermittelten Charakteristika lassen sich für den ruralen Raum gut bestätigen, da die Polizeifahrzeuge in diesem Bereich eine große Spannweite aufweisen und an einigen Tagen die Streifenwagen mehr als 500 Kilometer gefahren sind. Im urbanen Bereich des ESD wurden die elektrifizierten Fahrzeuge an keinem Tag länger als 300 km genutzt. Weiterhin ist ersichtlich, dass 95 % der täglichen Gesamtfahrten eine Grenze von 200 km nicht überschreiten (siehe Abbildung 20). Mittels der Datenauswertungen lassen sich somit die anfangs aufgestellten kritischen Faktoren der nicht ausreichenden Reichweite von Elektrofahrzeugen für den städtischen Bereich nicht (vollständig) bestätigen.

*Im **AS 5.2** wurden Ladealgorithmen für das intelligente Laden unter Berücksichtigung der Restriktionen von Fahrzeugen, Fahrzeugnutzern sowie der Energieverfügbarkeit entwickelt.*

Dabei wurde das Charge Control im Backend elias 2.0 (siehe AS 3.6) als zentrales Steuerelement verwendet. Das Fahrzeug, die Lademenge und die verfügbare Energie sind die Inputgrößen in dem Algorithmus. Damit wird ein Ladewert für ein EV berechnet und dieser dem EV vorgegeben. Ladealgorithmen können je nach Bedarf ökonomisch, ökologisch oder nutzerfreundlich eingestellt werden. Für den Anwendungsfall des Einsatz- und Streifendienstes ist eine hohe Verfügbarkeit das wichtigste Kriterium. Somit lag der Schwerpunkt des Charge Control dort in der Nutzerfreundlichkeit.

Ladealgorithmen, die die Verfügbarkeit der Einsatz- und Streifendienst (ESD)-Fahrzeuge steigern sollen, können mit der Strategie der „Fixed External Priorities“ (FEP) aufgebaut werden. Das FEP beschreibt eine Prioritätenzuordnung der Fahrzeuge. Für den Fall, dass mehrere Fahrzeuge an einem Standort nicht gleichzeitig die volle Leistung aus dem Netz beziehen können, ist diese Steuerung ein gutes Instrument um die Verfügbarkeit von ESD-Fahrzeugen zu erhöhen.

Zur Erprobung eines statischen Lademanagements wurde eine Simulation in einer Python-Umgebung erstellt. Das Grundmodell des Algorithmus ist in Abbildung 45 dargestellt.

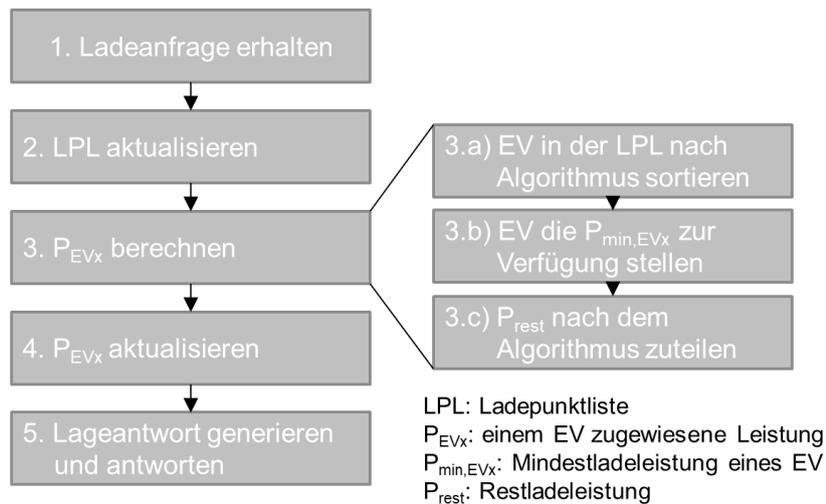


Abbildung 45: Grundmodell Algorithmus - statisches Lademanagement

Das Charge Control erhält im ersten Schritt eine Ladeanfrage (1.) welche es in die Ladepunktliste (LPL) einträgt (2.). Daraufhin wird die dem EV zugewiesene Leistung berechnet (3.). Diese Berechnung erfolgt in drei dargestellten Unterschritten. Im ersten wird die LPL nach dem ausgewählten Algorithmus (Erläuterung folgt im nächsten Abschnitt) sortiert (3.a)). Im Weiteren wird im Schritt 3.b) sichergestellt, dass alle EV die Mindestladeleistung $P_{min,EVx}$ (Mindestladestrom 6 A) zur Verfügung gestellt bekommen. Die verbleibende Leistung P_{rest} wird nach dem ausgewählten Algorithmus zugeteilt (3c)).

Beim statischen Lademanagement mit der Betrachtung von Prioritätsfahrzeugen kommen grundsätzlich zwei Lademanagementmethoden in Frage, Equal und First Come First Serve (FCFS). Der Algorithmus Equal teilt allen Fahrzeugen die gleiche Leistung zu. Der Algorithmus FCFS hingegen bevorzugt die Fahrzeuge, die als erstes den Ladevorgang beginnen. Kommen Prioritätenfahrzeuge (EV_{prio}) hinzu werden diese zu jeder Zeit mit voller Leistung geladen. Die übrigen Fahrzeuge teilen sich P_{rest} nach dem voreingestellten Ladealgorithmus auf, wie es in Abbildung 46 dargestellt ist.

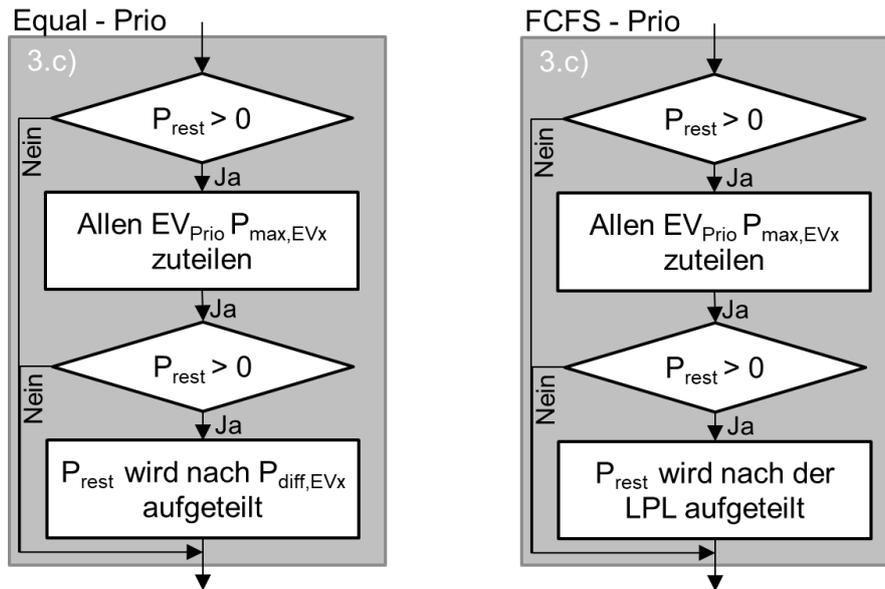


Abbildung 46: Algorithmen Equal und FCFS mit Betrachtung von Prioritäten

Nach der Zuteilung der $P_{min, EVx}$ (3.b), vgl. Abbildung 45) wird P_{rest} erst an die EV_{Prio} verteilt bis deren maximale Ladeleistung $P_{max, EVx}$ erreicht ist. Darauf folgend wird, wenn vorhanden, die übrige P_{rest} nach dem gewählten Algorithmus an die Fahrzeuge verteilt. In diesen Fällen bedeutet es, die Leistung gleich zu verteilen (Equal) oder die Fahrzeuge nach der LPL abzuarbeiten (FCFS).

Um ein solches Lademanagement abzubilden, wurde eine Simulation erstellt. Dabei wird der entwickelte Algorithmus in einem Simulator eingebettet, wie es in Abbildung 47 zu sehen ist.

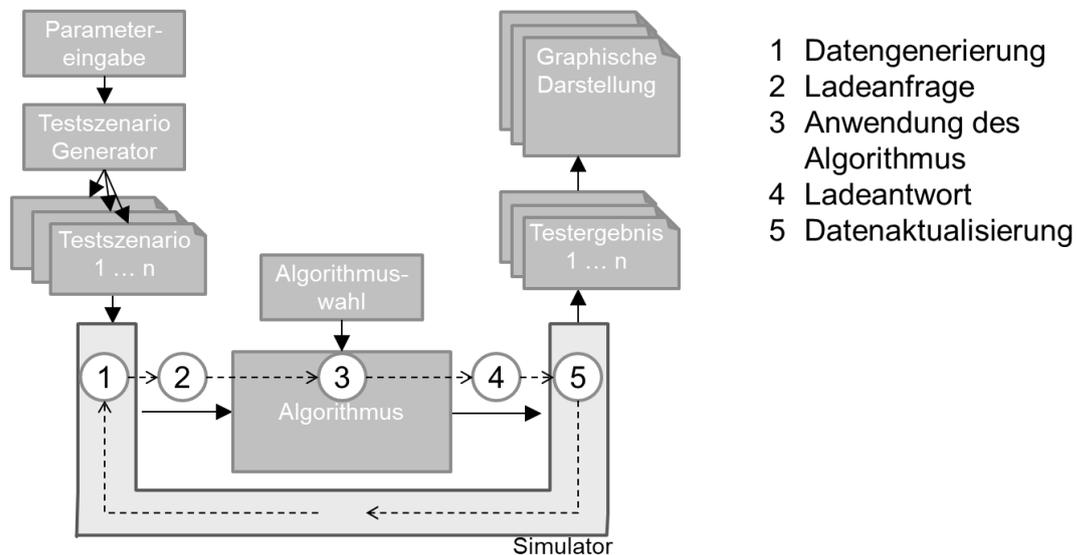


Abbildung 47: Simulationsaufbau statisches Lademanagement

In den hier bezeichneten Simulator werden Daten generiert und eingelesen, welche sich auf ein Testszenario beziehen (1). Daraufhin wird eine Ladeanfrage an den Algorithmus gesendet (2). Die Daten werden somit zu Inputdaten des ausgewählten Algorithmus (3). Folgend wird eine Ladeantwort mit dem Ergebnis weitergeleitet (4). Die so entstehenden Daten werden verarbeitet und als Eingangsdaten an die Ladeanfrage (2) weitergeleitet (5).

Um herauszustellen welches der beiden Lademanagementstrategien das Effektivste ist, wurde ein einfaches, gut vergleichbares Szenario gewählt. Innerhalb dessen werden zehn EV (EV1-EV10) von dem Typ VW E-Golf (35 kWh) untersucht. Dieser hat eine maximale Ladeleistung von 7,2 kW und eine Mindestladeleistung von 1,38 kW. Der Netzanschluss ist auf 30 kW begrenzt. Es werden 24 Stunden betrachtet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die EVs in einem Abstand von 30 min ab 14:30 Uhr an ihrer Dienststelle ankommen und ihren Ladevorgang mit einem SOC von 10 % beginnen. Dabei wurden verschiedene Fälle untersucht. Im ersten Fall wurden keine Prioritätsfahrzeuge betrachtet, im zweiten bis vierten Fall kam jeweils ein Prioritätsfahrzeug mehr hinzu. In folgender Abbildung 48 ist der Ladeplan beispielhaft zu dem Fall Equal mit zwei Prioritätsfahrzeugen dargestellt.

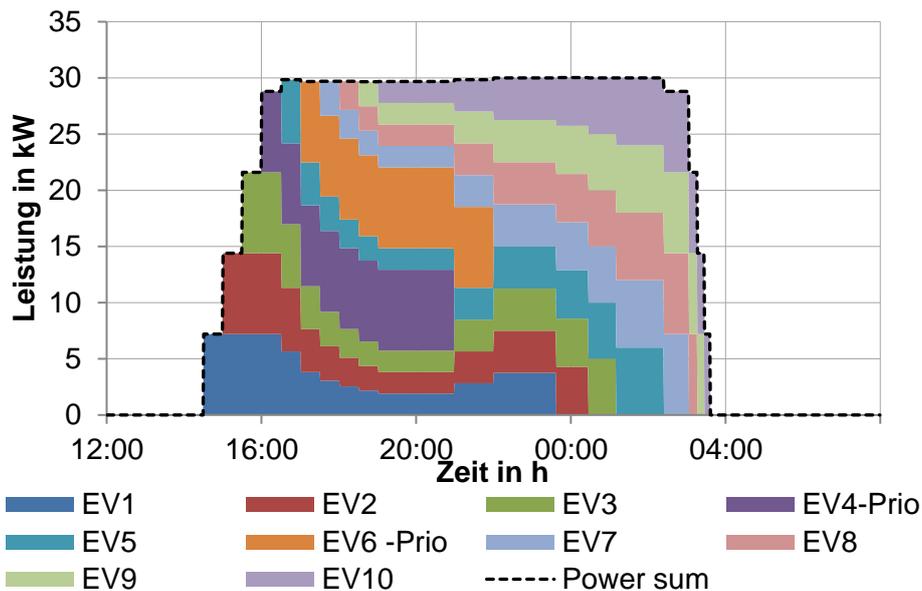


Abbildung 48: Ladeplan zur Simulation Equal-Prio2

Dabei ist zu erkennen, dass die summierte Leistung aller EV (Power sum) die 30 kW nicht überschreitet. Es ist sichergestellt, dass alle EVs ihre Mindestladeleistung erhalten. Wenn ein Prioritätsfahrzeug (EV-Prio) ankommt, wird dieses direkt mit der vollen Ladeleistung bedient. Ähnlich ist es bei dem Algorithmus FCFS, wie es in der Abbildung 49 zu sehen ist.

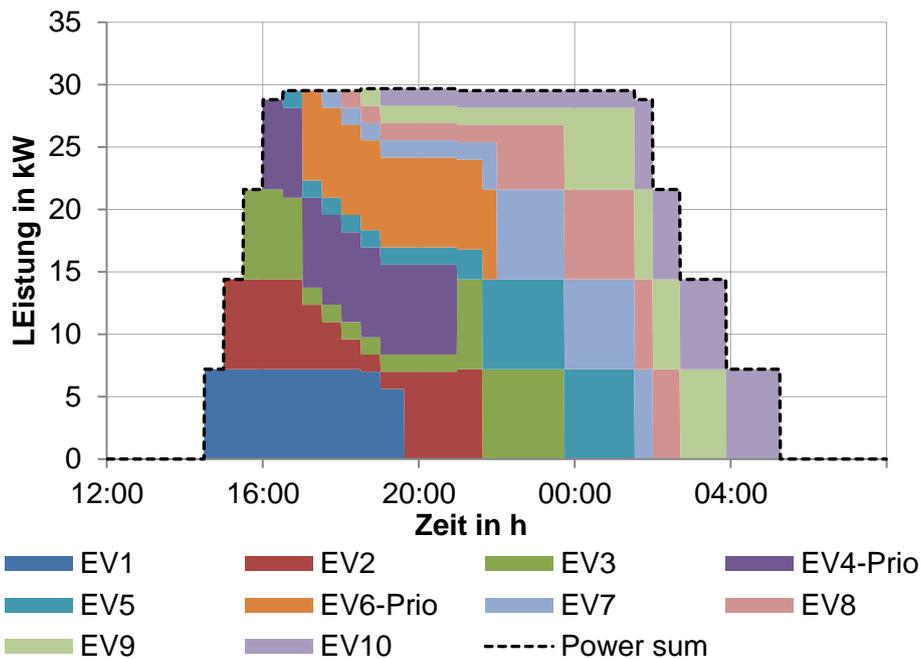


Abbildung 49: Ladeplan zur Simulation FCFS-Prio2

In dem Ladeplan FCFS-Prio2 ist zu erkennen, dass die EV, die als erstes ankommen, die volle Ladeleistung erhalten. Die übrigen EV werden während dieser Zeit begrenzt und erhalten erst dann mehr Leistung, wenn diese zur Verfügung steht. Es ist in diesem Beispiel nicht sinnvoll mehr als drei EV-Prio einzusetzen. Dies ergibt sich aus der Berechnung der maximalen Ladeleistung der EV-Prio und der verfügbaren Netzanschlussleistung. Werden in diesem Fall vier EV-Prio eingesetzt, können bei gleichzeitigem Laden dieser einschließlich (nur) einem Nicht-EV-Prio, welches die P_{min} benötigt nicht alle EV-Prio die volle Ladeleistung erhalten, da dies die Netzkapazitäten übersteigt ($4 \times 7,2 \text{ kW} + 1,34 \text{ kW} > 30 \text{ kW}$).

Bei einem direkten Vergleich der Ladedauern (LD) ergibt sich Tabelle 9.

Tabelle 9: Übersicht über die Lademanagement(LM)-Methoden und ihrer Ladedauern (LD) in h

LM-Methode	Durchschnitt LD	Totale LD	Kürzeste LD	Längste LD
Equal	8.97	13.15	7.88	9.52
Equal-Prio1	8.69	13.13	4.98	9.65
Equal-Prio2	8.45	13.10	4.98	9.90
Equal-Prio3	8.36	13.28	4.98	10.20
FCFS	7.41	14,17	4.98	9.72
FCFS-Prio1	7.45	14.40	4.98	9.90
FCFS-Prio2	7.59	14.77	4.98	10.27
FCFS-Prio3	7.87	13.95	4.98	10.12

Festzustellen ist hier, dass die durchschnittliche Ladedauer bei Equal am längsten ist. Jedoch ist der Wert für die totale Ladedauer bei Equal gleichzeitig am geringsten. Im Vergleich dazu ist die durchschnittliche Ladedauer bei FCFS am geringsten und dafür die totale Ladedauer am höchsten. Deutlicher werden die Unterschiede anhand der Abbildung 50.

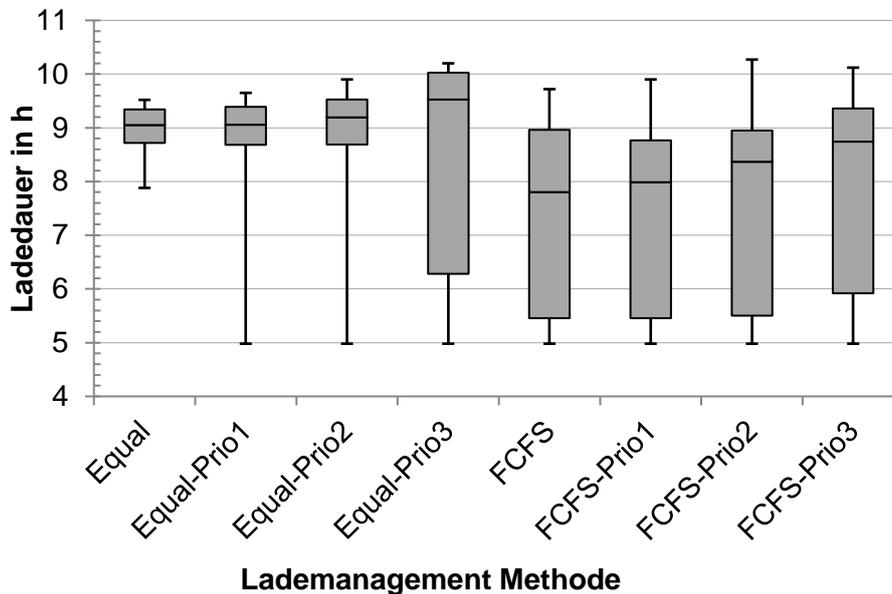


Abbildung 50: Übersicht der Ladedauer in einer Box-Plot-Darstellung

Eine Box in der Box-Plot-Darstellung stellt die Werte der mittleren 50 % dar. Demnach kennzeichnet das obere Ende der Box die 75 %-Grenze und das untere Ende die 25 %-Grenze. Der Strich in der Box bildet den Median ab. Die Linien die aus den Boxen herausragen (Whisker) stellen die Spannweite der Werte außerhalb dieser 50 % dar. Somit lässt sich erkennen, dass bei FCFS 75% der EVs innerhalb von maximal neun h geladen werden, wobei neun h den Durchschnittswert von Equal abbilden. Aus den Ergebnissen aus Abbildung 50 und Tabelle 9 lassen sich folgende Schlussfolgerung ziehen:

- Soll die genannte Flotte so schnell wie möglich wieder verfügbar sein, ist es wegen der geringen totalen Ladedauer ratsamer das Lademanagement Equal einzusetzen.
- Ist es ausreichend, dass 75 % der Flotte schnellstmöglich geladen wird, bringt das Lademanagement FCFS den größeren Vorteil.
- Eine sinnvolle Anzahl an EV-Prio kann anhand der verfügbaren Ladeleistung (Netzanschluss) gewertet werden.

Anhand dieser Simulation können Szenarien getestet und simuliert werden, bevor die gewählten Algorithmen in das Lademanagement implementiert und angewendet werden.

Für die Entscheidungsunterstützung der Zuordnung von elektrifizierten Fahrzeugen zu den Einsatzzwecken der Polizei wurde ein Tourenplanungsmodell im AS 5.3 entwickelt, welches die Charaktereigenschaften des Kriminalermittlungsdienstes (KED) mitberücksichtigt.

Die Ergebnisse werden im AS 4.2. weiterentwickelt und fließen erneut in die Flottenplanung ein. Der KED zeichnet sich u.a. durch überwiegend planbare Einsatzzeiten bzw. -orten sowie

durchschnittlichen, zumeist bekannten Verweildauern aus. Jedoch sind die planbaren Einsatzzeiten zeitkritisch, da beispielsweise andere Personen in dem Einsatzzweck involviert sein könnten, sodass Verspätungszeiten unerwünscht sind und vermieden werden sollten.

Das problemadäquate Optimierungsmodell bildet in der Zielfunktion somit sowohl Kosten zur Minimierung der Fahrt- als auch der Verspätungszeit mit unterschiedlichen Gewichtungen ab. Die insgesamt 20 erhobenen Nebenbedingungen gliedern sich in drei verschiedenen Kategorien: Routenbedingungen, welche die typischen Tourenplanungsbedingungen beinhalten, Zeitbedingungen für alle betrachteten Standorte (Polizei-, Ladestation sowie Einsatzorten) sowie Ladebedingungen, um einen ausreichenden Batteriezustand der Elektrofahrzeuge zu gewährleisten. Der Ansatz kann aufgrund der linearen Struktur der Nebenbedingungen als gemischt-ganzzahliges lineares Problem gekennzeichnet werden. Dieser Ansatz stellt eine Erweiterung des „Vehicle-Routing-Problems“ dar, weshalb das Modell auch als NP-hart charakterisiert wird. Für die Implementierung wurde das Softwareprogramm AIMMS genutzt und mittels eines CPLEX 12.7 Solver erste Fallbeispiele berechnet. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden erste Steuerungsansätze abgeleitet. Je kritischer die Einsätze sind, d.h. je höher der Strafkostensatz für eine verspätete Minute ist, desto höher ist die Akzeptanz längere Fahrzeiten zu berücksichtigen. Weiterhin hat der maximale Ladezustand eines Polizeifahrzeuges einen wesentlichen Einfluss auf die Zuordnung der Elektrofahrzeuge zu den Einsätzen, um die geplanten Startzeiten der Einsätze einhalten zu können.

Der detaillierte Modellansatz ist von Schmidt et al (2018) im Sammelwerk „Operations Research Proceedings“ publiziert worden [Schmidt 2018]. Mit dem Ziel dieses Tourenplanungsmodell zur Zuordnung von elektrifizierten Fahrzeugen zu den Einsatzzwecken der Polizei praxisrelevant und problemadäquat weiterzuentwickeln, wurden, in Weiterführung des **AS 5.3**, partielles Laden, Prioritäten bei den Einsätzen sowie ein realitätsnäherer Verbrauch der elektrifizierten Einsatzfahrzeuge in dem Modell abgebildet.

Darauf basierend konnten Erkenntnisse durch Zusatzverbräuche (z.B. Blaulicht, Martinshorn, Funk), Wettereinflüsse sowie Gewichtvariationen durch beispielsweise Zuladung von polizeispezifischem Equipment abgeleitet werden. Eine Flotte sollte robust zusammengestellt werden, um auf unterschiedliche Auswirkungen von Jahres-, Wochen- bzw. Tageszeiteinflüsse reagieren zu können. Darüber hinaus sollte eine integrierte Planung und Steuerung der Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur in Betracht gezogen werden, um bei der Polizei einen ökologischen und wirtschaftlichen Betrieb von Fahrzeugflotten zu erreichen.

AP 6: Integration in den laufenden Betrieb

Das Ziel von AP 6 war die projektbegleitende Überführung und flottenspezifische Umsetzung der entwickelten Planungs- und Steuerungsergebnisse in den Betrieb der Flotte und Ladeinfrastruktur des LPP. Dafür wurden aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen Anforderungen an die Flotte und Ladeinfrastruktur abgeleitet. Die Integration wurde in enger Zusammenarbeit der Partner abgestimmt, vorbereitet und umgesetzt.

Die Möglichkeit der Integration der Planungs- und Steuerungsergebnisse in den laufenden Betrieb stellte sich im Projektverlauf anders dar als im Antrag ursprünglich vorgesehen. Planungsseitig bestand die Herausforderung in der dezentralen Entscheidungsstruktur der einzelnen Polizeibehörden hinsichtlich der Beschaffung von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur. Hier war es somit kurzfristig und ohne politische Zustimmung nicht möglich, zentrale Vorgaben zu tätigen. Aus diesem Grund wurden Empfehlungen an die entsprechenden Entscheidungsträger in den Bereichen

- Strategische Entscheidungsträger aus Politik und Verwaltung,
- Flottenmanager,
- Fuhrparkverantwortlicher,
- Ladeinfrastrukturverantwortlicher sowie
- Anwender/Nutzer

über die Durchführung von Workshops, die Erstellung und Verbreitung von Strategieberichten sowie individuelle Überzeugungsarbeit herangetragen. Steuerungsseitig sieht die derzeitige polizeitaktische und organisatorische Arbeit aufgrund nicht verwendeter/fehlender technischer Systemunterstützung leider nicht die Möglichkeit einer Einflussnahme im operativen Betrieb der Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur vor.

Die Ermittlung und Abschätzung der Wirkungsweise und -zusammenhänge sowie der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der erarbeiteten Planungs- und Steuerungsregeln erfolgte daher durch die Entwicklung und Anwendung geeigneter Methoden, welche im Folgenden in AP 6 beschrieben werden. Darauf aufbauend erfolgt die Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse in AP 7 sowie die Ableitung von Handlungsempfehlungen in AP 8.

In AS 6.1 erfolgte die Entwicklung geeigneter Methoden zur Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der erarbeiteten Planungs- und Steuerungsregeln sowie die Einteilung und Definition von Szenarien zur Planung polizeilicher Flotten (angepasst).

Als Grundlage für die ökonomische und ökologische Abschätzung für die zukünftige Fahrzeugflotte der Polizei dienen verschiedene Zukunftsszenarien und Beschaffungsstrategien, welche nachfolgend beschrieben sind.

Zukunftsszenarien und Beschaffungsstrategien

Es wurden fünf mögliche Strategien in drei möglichen Szenarien hinsichtlich des zukünftigen Ausbaus der Elektromobilität in der polizeilichen Flotte für den Betrachtungszeitraum 2020 bis 2030 definiert. Es sollten insbesondere die Auswirkungen der jeweiligen Beschaffungsstrategien auf den jährlichen Haushaltsmittelbedarf und auf die Umwelt analysiert werden.

Szenarien

Das erste Szenario „*Basisszenario*“ betrachtet den aktuellen Status Quo des Fuhrparks. Beim Erhalt des Status Quo wurde angenommen, dass sich die Anteile an den jährlich zu tätigen Ersatzbeschaffungen von ICV und EV an den derzeitigen Anteilen orientieren. Dies bedeutet, dass bereits vorhandene ICV, BEV und PHEV antriebsgleich ersetzt werden. Das Szenario „*Contra Elektromobilität*“ betrachtet den Fall, dass jedes neu beschaffte Fahrzeug ein ICV ist. Das dritte Szenario „*Pro Elektromobilität*“ beschreibt den Fall, dass jedes neu beschaffte Fahrzeug einen elektrifizierten Antrieb (EV) besitzt. Die Ausbaustrategien variieren dabei hinsichtlich des Anteils der jährlich zu tätigen Ersatzbeschaffungen von ICV sowie EV.

Beschaffungsstrategien¹

1. *Recht*: Im Rahmen der Strategie „Recht“ orientieren sich die Anteile der EV an den jährlich zu tätigen Ersatzbeschaffungen an den derzeit existierenden sowie den zu erwartenden (gesetzlichen) Bestimmungen. In Anlehnung an Ziffer 8 der Koalitionsvereinbarung für die 18. Wahlperiode des Niedersächsischen Landtages 2017-2022 werden 10% der zu tätigen Ersatzbeschaffungen an ICV durch EV ersetzt. Entsprechend des im Jahr 2019 in der Polizei Niedersachsen vorliegenden Verhältnisses zwischen PHEV und BEV entfallen davon 5% auf PHEV sowie 5% auf BEV. Bereits vorhandene BEV und PHEV werden antriebsgleich ersetzt.

Für den Zeitraum 2026 bis 2030 ist zukünftig mit einer Verschärfung der gesetzlichen Bestimmungen zu rechnen. So diskutiert zum Beispiel die Niedersächsische Landesregierung derzeit die Forderung nach einem Anteil von alternativen Antrieben von 30% bei der Neu- und Ersatzbeschaffung von Fahrzeugen in behördlichen Flotten. In Anlehnung daran werden 30% der zu tätigen Ersatzbeschaffungen an ICV durch EV ersetzt. Davon entfallen 10% auf PHEV sowie 20% auf BEV. Bereits vorhandene BEV und PHEV werden antriebsgleich ersetzt.

2. *CO₂*: Im Rahmen der Strategie „CO₂“ orientieren sich die Anteile der EV an den jährlich zu tätigen Ersatzbeschaffungen an dem Ziel der Bundesregierung bis zum Jahr 2030 40% der CO₂-Emissionen im Vergleich zum Jahr 1990 einzusparen. Zur Erreichung dieses Zieles wäre es bis zum Jahr 2030 nötig, jährlich 80% der ICV durch EV zu ersetzen. Davon entfallen 20% auf PHEV sowie 60% auf BEV. Bereits vorhandene BEV und PHEV werden antriebsgleich ersetzt.

3. *PHEV*: Die Anteile der EV an den jährlich zu tätigen Ersatzbeschaffungen im Rahmen der Strategie „PHEV“ orientieren sich an dem derzeitigen, maßgeblich durch

¹ Hinweis: Bei den Berechnungen wurden Kosten für die Ladeinfrastruktur inkludiert.

Förderprogramme beeinflussten Beschaffungsverhalten. Für den Betrachtungszeitraum 2020 bis 2025 werden im Rahmen der Strategie „PHEV“ 50% der ICV durch EV ersetzt. Davon entfallen 30% auf PHEV sowie 20% auf BEV. Bereits vorhandene BEV und PHEV werden antriebsgleich ersetzt.

Langfristig gesehen (Betrachtungszeitraum 2026 bis 2030) werden 100% der ICV durch EV ersetzt. Davon entfallen 50% auf PHEV sowie 50% auf BEV. Bereits vorhandene BEV und PHEV werden durch BEV ersetzt.

4. EV extrem: Die Strategie „EV extrem“ setzt sich zum Ziel, den betrachteten Fuhrpark bis 2030 nahezu vollständig zu elektrifizieren. Die jährlich zu tätigen Ersatzbeschaffungen orientieren sich entsprechend an den im Rahmen des Projektes I&e ermittelten oberen Potenzialen für den Einsatz von EV. Die Ergebnisse zeigen, dass bis zum Jahr 2025 nach derzeitigem Stand der Technik bis zu 40% der betrachteten Fahrzeuge durch BEV sowie 100% durch PHEV ersetzt werden können. In Anlehnung daran werden im Rahmen der Strategie „EV extrem“ 100% der ICV durch EV ersetzt. Davon entfallen 60% auf PHEV sowie 40% auf BEV. Bereits vorhandene BEV und PHEV werden antriebsgleich ersetzt.

Für den nachfolgenden Zeitraum bis zum Jahr 2030 ist zukünftig mit einer Erhöhung der Reichweite sowie der Ladeleistung von BEV zu rechnen. In Anlehnung daran werden 100% der zu tätigen Ersatzbeschaffungen (ICV sowie EV) durch BEV ersetzt.

5. BEV: Der Einsatz von BEV kann nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch vorteilhaft gegenüber ICV und PHEV sein. Im Rahmen der Strategie „BEV“ wird daher der Fall betrachtet, dass auf den Erwerb von PHEV verzichtet wird und die Anteile der EV an den jährlich zu tätigen Ersatzbeschaffungen vollständig durch BEV gedeckt werden. 20% der ICV werden im Betrachtungszeitraum 2020 bis 2025 durch BEV ersetzt. Bereits vorhandene BEV werden antriebsgleich, bereits vorhandene PHEV durch ICV ersetzt.

Erhalt des Status Quo: Diese Strategie weist in allen Szenarien zu Beginn des Betrachtungszeitraumes die geringsten jährlichen Haushaltsmittel auf. Im Zeitverlauf steigen die jährlichen Haushaltsmittel jedoch stark an und die Vorteilhaftigkeit dieser Strategie ist maßgeblich abhängig vom zugrundeliegenden Szenario. Im Szenario „Pro Elektromobilität“ würde der Erhalt des Status Quo zu den teuersten Strategien gehören. Im Szenario „Contra Elektromobilität“ würde diese Strategie auch langfristig die günstigste in Bezug auf die Haushaltsmittel sein. Definitionsgemäß bleibt der Elektrifizierungsgrad bis zum Jahr 2030 konstant bei nur knapp 6%.

Für den Zeitraum 2026 bis 2030 ist zukünftig mit einer Erhöhung der Reichweite sowie der Ladeleistung von BEV zu rechnen. In Anlehnung daran werden 100% der zu tätigen Ersatzbeschaffungen (ICV sowie EV) durch BEV ersetzt.

Beschreibung des Vorgehens zur Bewertung der ökologischen Auswirkungen der Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antrieben

Nachfolgend ist zusammengefasst, mittels welcher Methodik die Lebenszyklusemissionen für die im Projekt eingesetzten Fahrzeuge abgeschätzt wurden, um daraus Erkenntnisse zu

gewinnen und Handlungsempfehlungen für eine möglichst klimafreundliche Flottenplanung und -steuerung abzuleiten. Dazu wird nach einer kurzen Erläuterung relevanter Grundlagen beschrieben, wie im Projekt ermittelte Fahrzeugnutzungsdaten mit Daten und Informationen aus der Literatur zu einer Gesamtbetrachtung kombiniert wurden. In der Beschreibung zu AS 7.3 folgt die Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse, die mittels dieser Methodik erzielt wurden. Im Gegensatz zu den in AS 1.5 dargestellten Ergebnissen der ökologischen Bewertung basiert die nachfolgende Bewertung auf realen Fahrdaten, und nicht auf Einträgen aus Fahrtenbüchern. Außerdem wurden aktualisierte Werte für die Berücksichtigung von Randbedingungen (z.B. deutscher Strommix) berücksichtigt.

Die ökologischen Auswirkungen von Fahrzeugen entstehen über deren gesamten Lebenszyklus hinweg, von der Gewinnung der Rohmaterialien über die Produktion und Nutzung bis zur Entsorgung. Die Umweltwirkungen umfassen dabei eine Vielzahl unterschiedlicher Wirkmechanismen und zu schützender Entitäten (z.B. Gewässer, Biodiversität, Rohstoffe). Die nachfolgende Betrachtung beschränkt sich ausschließlich auf die Auswirkungen auf den Klimawandel durch den Fahrzeuglebenszyklus. In vielen Fällen lassen sich diese Ergebnisse auf andere Umweltwirkungskategorien übertragen.

Klimawirksame Emissionen (v.a. Kohlendioxid, Methan, Lachgas) entstehen primär bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Bei verbrennungsmotorisch betriebenen Fahrzeugen (ICV) geschieht dies schwerpunktmäßig während der Nutzung, der Energieträger ist dabei überwiegend erdölbasierter Kraftstoff (und zu geringen Anteilen pflanzenbasierter Kraftstoff, Ethanol oder Biodiesel). Bei rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen (BEV) entstehen Treibhausgasemissionen während der Nutzung nur in indirekter Form, in den Kraftwerken, welche den Strom zum Vortrieb des Fahrzeugs generieren. Die Energieträger sind dabei je nach Kraftwerkstyp Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Biogas, Wasserkraft, Sonnenenergie, Wind oder Geothermie. Bei beiden Fahrzeugtypen entstehen auch während der anderen Lebenszyklusphasen Emissionen, die sich in ihrer Menge jedoch teils deutlich unterscheiden. Der Unterschied zwischen ICV und BEV ist dabei vor allem auf die Fahrzeugbatterie zurückzuführen.

Zur Ermittlung der Lebenszyklusemissionen werden die in AS 3.7 errechneten Werte (vgl. Abbildung 29) für die Nutzungsphase ergänzt um Literaturwerte für die Rohmaterialien, Produktion und die Entsorgung. Dazu werden Werte für Produktion und Entsorgung („End of Life“) aus der Studie von Ellingsen und Kollegen aus dem Jahr 2016 herangezogen [Ellingsen 2016]. Als repräsentativer BEV Vertreter wird der VW E-Golf herangezogen, der in der Studie durch ein Fahrzeug der Klasse C („EV – medium car“) abgebildet wird. Als ICV Referenzfahrzeuge dienen einmal ein Klasse C („ICV – medium car“) und einmal ein Klasse D („ICV – large car“) Fahrzeug, welche einen VW Golf TSI bzw. VW Passat TDI abbilden sollen. PHEV wurden in der Studie nicht untersucht, hier wird eine lineare Interpolation zwischen den Werten für BEV und ICV durchgeführt. Anschließend werden die Ergebnisse für ein PHEV mit denen aus der Studie von Nordelöf und Kollegen aus dem Jahr 2014 verglichen, um die Plausibilität der Werte zu gewährleisten [Nordelöf 2014]. Abweichend von den beiden genannten Studien wird eine Fahrzeuglebensdauer von 300.000 km angenommen, um die

vergleichsweise lange Nutzungsdauer der Fahrzeuge bei der Polizei abzubilden. Es wird ferner angenommen, dass sowohl für PHEV als auch für BEV kein Batterietausch im Laufe des Fahrzeuglebens notwendig ist. Dies entspricht den bisherigen Erfahrungen im Projekt. Die Ergebnisse der Berechnungen basierend auf diesen Randbedingungen sind in der Beschreibung des AS 7.3 dargestellt.

Beschreibung des Vorgehens zur Bewertung der haushälterischen Auswirkungen der Flottenplanung mit heterogenen Fahrzeugtypen

Die vorgestellten Strategien in den jeweiligen Szenarien haben unterschiedliche Auswirkungen in Bezug auf den Haushaltsmittelbedarf. Bei der Ermittlung der jährlichen Haushaltsmittel für die Strategien wird zwischen den Investitionsmitteln (initiale (Beschaffungs-) Kosten für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur) und den Konsumtivmitteln (variable Kosten während des Betriebs eines Fahrzeuges) der Flotte unterschieden.

Für die Berechnungen wird die Annahme zugrunde gelegt, dass für jedes EV ein Ladepunkt zur Verfügung zu stellen ist. Es werden darüber hinaus durchschnittliche Gesamtkosten (Ladepunkt, Hardware und Erd-/ Installationsarbeiten) für die Ladeinfrastruktur angenommen. Wird ein ICV durch ein EV ersetzt, so fallen einmalig Kosten für die Beschaffung und Installation des Ladepunktes an. Bei der Beschaffung von Ladepunkten für BEV wird dabei zwischen AC- und DC-Ladepunkten variiert, für PHEV wird immer die Beschaffung eines AC-Ladepunktes unterstellt.

Die haushälterischen Auswirkungen der Flottenplanung für die beschriebenen Zukunftsszenarien und Beschaffungsstrategien ist unter AS 3.7 beschrieben.

Einteilung und Definition von Szenarien zur Planung polizeilicher Flotten

Die Unterteilung der polizeilichen Anwendungsbereiche erfolgt in einen ruralen und einen urbanen Anwendungsfall, ausgehend von der Dienststelle. Den urbanen Szenarien wurden Dienststellen in Hannover, Braunschweig, Osnabrück und Oldenburg zugeordnet. Alle weiteren Standorte wurden dem ruralen Anwendungsfall zugeordnet. Zwischen den einzelnen Dienststellen im ruralen Szenario des Anwendungsfalls ESD gibt es jedoch eine große Varianz in Bezug auf den Mobilitätsbedarf, sodass sich für einzelne Dienststellen im ruralen ESD unterschiedliche Fahrzeugauslegungen ergeben. Daher wurde eine weitere Kategorie, „extra rural“, eingeführt.

Für die Zuordnung der Dienststellen in die drei Kategorien sowie die Einordnung weiterer Dienststellen sind geeignete Kennparameter erforderlich. Diese sollen auf für einen Anwender einfach zugänglichen Daten und verständlichen Zusammenhängen basieren. Als mögliche Einflüsse auf den Mobilitätsbedarf wurden die polizeiliche und räumliche Struktur der Dienststelle vermutet. Die polizeiliche Struktur umfasst beispielsweise Anzahl und Distanz zu benachbarten Dienststellen, die räumliche Struktur (Zuständigkeitsbereich), Fläche, Einwohnerzahl und Bevölkerungsdichte. Es wurde eine Korrelationsanalyse verschiedenster

Einzelparameter und Parameterkombinationen mit der täglichen Laufleistung im ESD durchgeführt. Dabei hat sich die Einwohnerzahl in der Stadt des Standorts der Dienststelle als geeignetster Kennparameter mit der höchsten Korrelation herausgestellt, vgl. Abbildung 51.

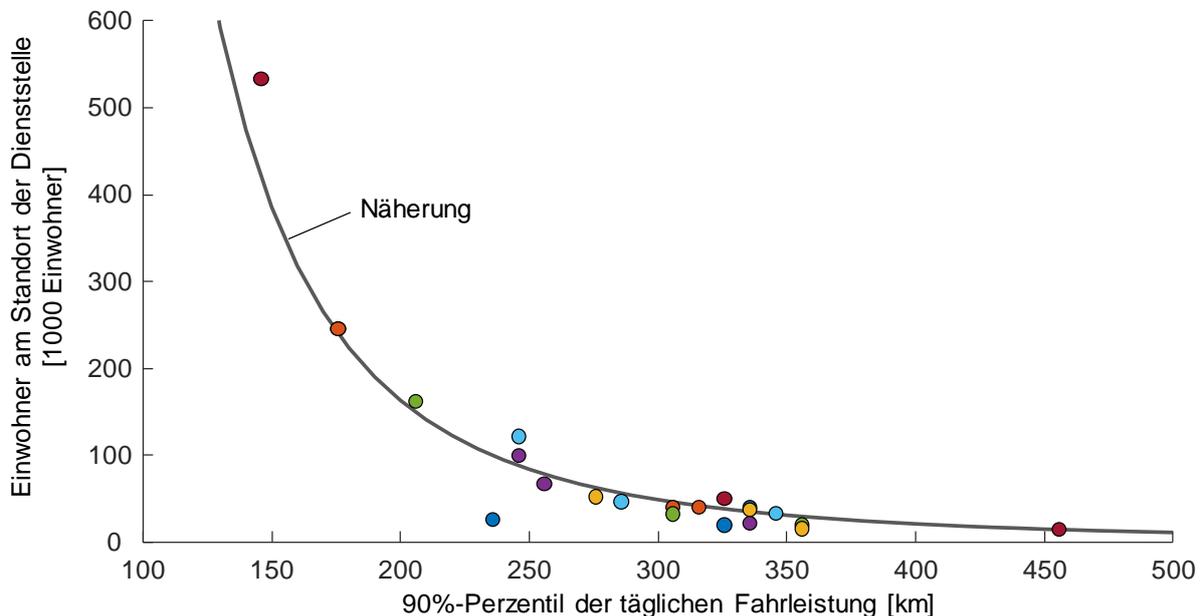


Abbildung 51: Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl am Standort der Dienststelle und der täglichen Fahrleistung (als 90%-Perzentil) im ESD, mit dem Verlauf einer Näherungsfunktion

Eine hohe Einwohnerzahl führt folglich zu kürzeren Strecken bzw. geringeren täglichen Fahrleistungen im ESD. Der Zusammenhang ist stark nichtlinear. Auf Basis der Einwohnerzahl kann die tägliche Fahrleistung mit folgender Näherungsgleichung abgeschätzt werden:

$$s = \sqrt[3]{\frac{1,3 \cdot 10^9}{\text{Einwohnerzahl [1000]}}}$$

Zu erkennen ist insgesamt eine sehr gute Näherung. Der Korrelationskoeffizient liegt bei -0,84. Bei einer Fahrleistung von ca. 240 km ist ein Standort zu sehen, welcher deutlich von der Näherungsfunktion abweicht. Auf Basis der Bevölkerungszahl ist eine deutliche höhere Fahrleistung zu erwarten. Diese Abweichung ist auf organisatorische Besonderheiten zurückzuführen. Zum einen gibt es vergleichsweise viele nachgeordnete Dienststellen in der direkten Umgebung und zum anderen eine Verbundstreife mit einer benachbarten Autobahndienststelle, unter Verwendung der Fahrzeuge der Autobahndienststelle. Daher werden die Fahrzeuge der Projekt-Dienststelle weniger im Umland des Standorts der Dienststelle eingesetzt, sodass geringere Laufleistungen und kürzere Fahrten die Folge sind. In Abbildung 51 sind unterschiedliche Organisationsebenen der Polizei zusammengefasst. Die betrachteten Fahrzeuge im ESD sind sowohl Polizeiinspektionen (PI) als auch Polizeikommissariaten (PK) zugeordnet, wobei die PI die höhere Organisationsebene darstellt. Diese sind fast immer in der größten Stadt (zumeist Kreisstadt) ihres Zuständigkeitsbereichs angesiedelt, während die PK als untergeordnete Ebene eher in kleineren Orten beheimatet sind. Wird der Korrelationskoeffizient nur unter Berücksichtigung der PI-Standorte und ohne den zuvor genannten Ausreißer errechnet, steigt dieser auf -0,95. Insgesamt ergibt für die

untersuchten PI (ohne den Ausreißer) eine relative Abweichung von im Mittel 1 % sowie eine maximale Abweichung von ca. ± 10 % zwischen der tatsächlichen täglichen Fahrleistung und der über die Näherungsfunktion berechneten. Auf Basis dieser Untersuchung wurden die Szenarien wie in Tabelle 10 gezeigt eingeteilt.

Tabelle 10: Einteilung des Szenarios ESD anhand der Einwohnerzahl am Standort der Dienststelle und das zugehörige mittlere 90%-Perzentil der täglichen Fahrleistung

Szenario	Einwohnerzahl am Standort der Dienststelle	90%-Perzentil der täglichen Fahrleistung [km]
ESD urban	> 160.000	183
ESD rural	17.000 - 160.000	303
ESD extra rural	< 17.000	437

Für die Anwendungsfälle KED sowie Stab & Fiskal zeigen sich geringe Unterschiede im Mobilitätsbedarf und den daraus resultierenden Fahrzeuganforderungen aufgrund der räumlichen Zuordnung der Dienststellen.

In AS 6.2 erfolgte eine Potenzialanalyse für den Elektrifizierungsgrad der Polizeiflotte sowie eine Simulation möglicher zukünftiger Ladestrategien bei entsprechender Infrastruktur (angepasst).

Basierend auf dem in AS 5.3 entwickelten Ansatz sowie den in AS 4.2 entwickelten und definierten allgemeingültigen Regeln für die Flotten- und Ladeinfrastruktursteuerung erfolgte eine Übertragung der Ergebnisse in die Steuerung des Betriebes.

Potenzialanalyse einer Elektrifizierung der polizeilichen Fahrzeugflotte

Durch die Datenerhebung und -analyse können für wesentliche polizeiliche Teile bereits zum jetzigen Zeitpunkt konkrete Aussagen zum bestehenden Potenzial einer möglichen Elektrifizierung innerhalb der polizeilichen Fahrzeugflotte getroffen werden. In der Gesamtbetrachtung und unter Berücksichtigung der betrachteten technischen erfolgskritischen Parameter (Fahrtstrecke pro Tag, gefahrene Geschwindigkeiten, Standzeiten als potentielle Ladezeiten sowie Fahrten pro Tag) kann folgendes Elektrifizierungspotenzial für Fahrzeuge des täglichen Dienstes (nur PKW) angenommen werden:

		Einsatz- und Streifendienst	Ermittlungsdienst
BEV AC		20 bis 60 %	55 bis 90 %
		40 bis 70 %	60 bis 90 %
PHEV AC		100 %	100 %

Abbildung 52: Potenzial [in %] für derzeitige Elektrofahrzeuge (BEV und PHEV) in der polizeilichen Flotte

Die Potenziale wurden erhoben, indem in jedem einzelnen Szenario (ESD, KED sowie Stab & Fiskal) u.a. folgende technische Kernparameter analysiert und bewertet wurden:

- Gefahrene Strecken pro Tag
- Gefahrene Fahrtgeschwindigkeiten
- Standzeiten, als potenzielle Ladezeiten
- Elektrischer Energie- und Kraftstoffverbrauch
- Verteilung der Fahrzeiten über die Tageszeit

Die betrachteten Parameter sind als kritisch zu bewerten, da jeder einzelne von ihnen den Einsatz von BEV, limitiert durch den derzeitigen Stand der Technik, ausschließen kann. Die Erfüllung der Kernparameter stellt sozusagen die technischen Mindestanforderungen dar. Nachfolgend werden in Abbildung 53, Abbildung 54 und Abbildung 55 – auszugsweise – drei Parameter dargestellt:

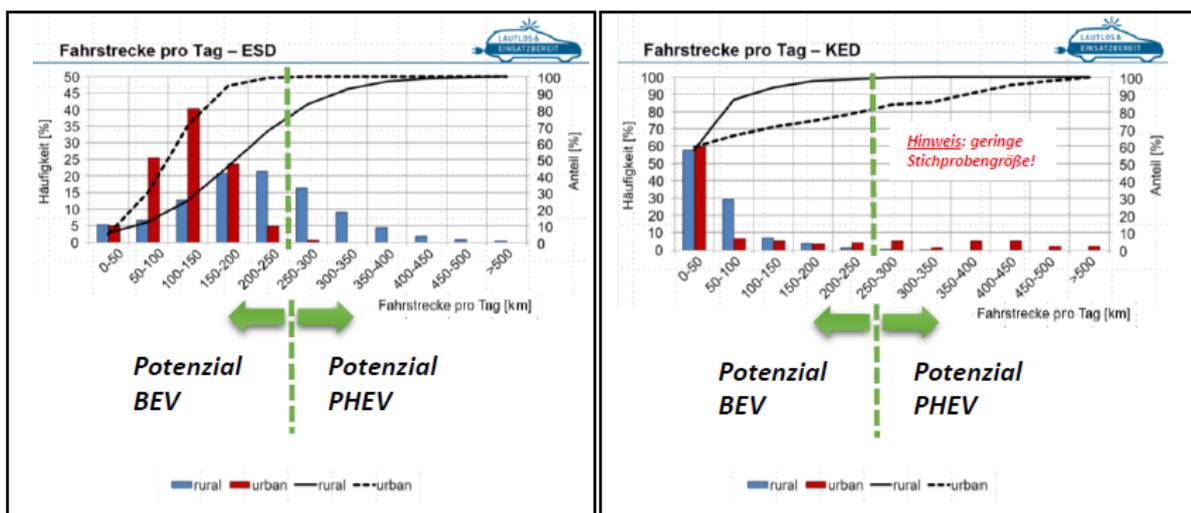


Abbildung 53: Analyse der Fahrtstrecken pro Tag

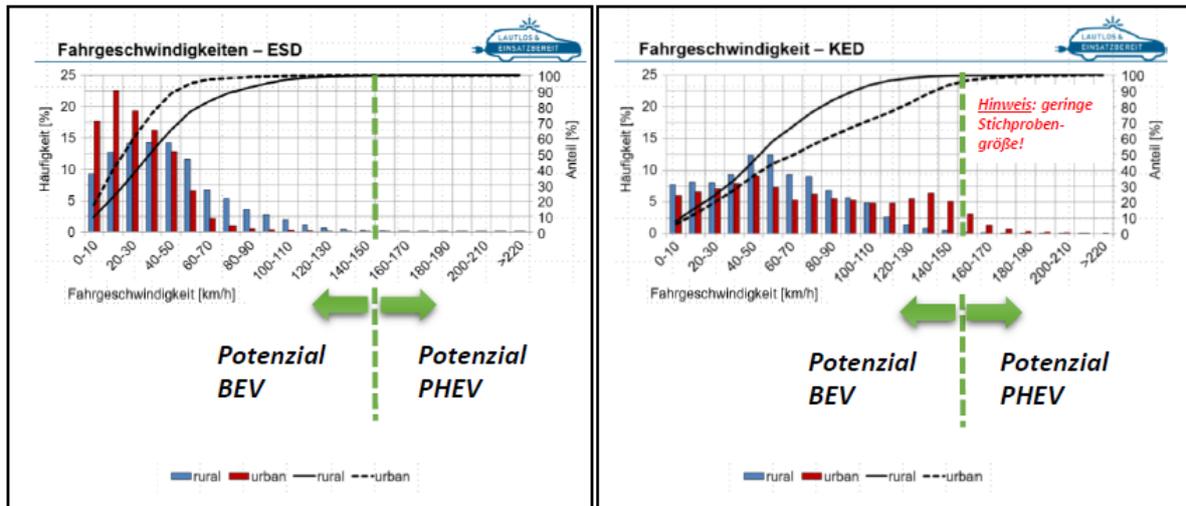


Abbildung 54: Analyse der Fahrtgeschwindigkeiten

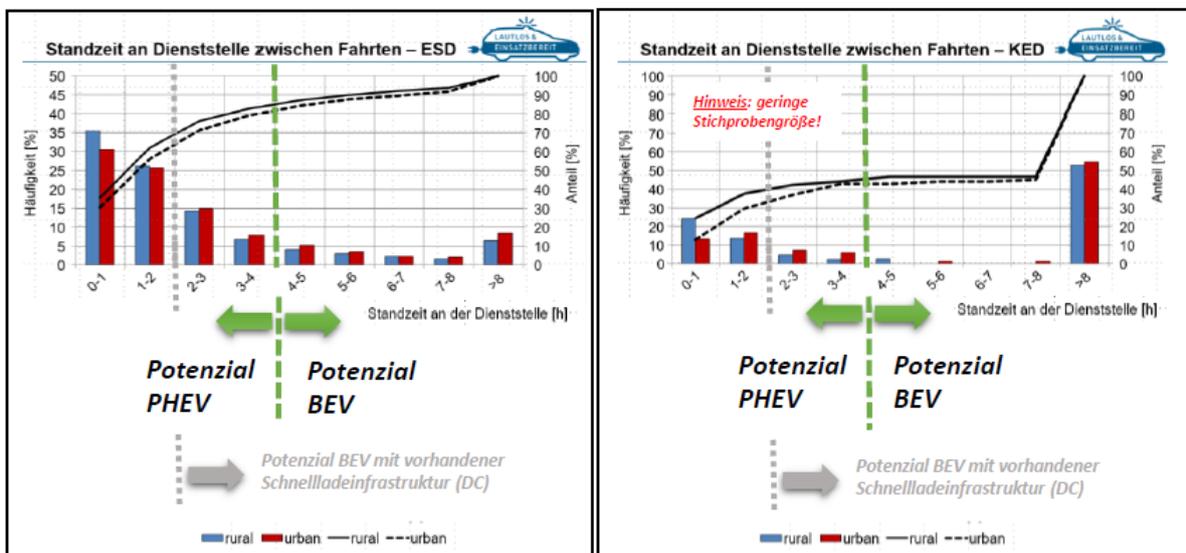


Abbildung 55: Analyse der Standzeiten als potenzielle Ladezeiten

Das Problem einer anfänglich zu geringen Stichprobengröße in einzelnen Szenarien wurde durch die Ausrüstung weiterer Vergleichsfahrzeuge mit Projektmesstechnik behoben. Nach den durchgeführten Analysen und Bewertungen konnten folgende Potenziale erhoben werden: Im **ESD** (urban und ländlich) kann bei einer standartmäßigen AC-Ladung je nach Standort etwa 20% bis 60% des Mobilitätsbedarfes (FUSTW) durch BEV erfüllt werden. Bei einem ergänzenden Einsatz von Schnellladetechnik (DC) liegt das Potenzial für den Einsatz von BEV sogar zwischen 40% und 70%. PHEV können den Mobilitätsbedarf im ESD (FUSTW) zu 100% decken. Im **Ermittlungsdienst** (urban und ländlich) kann bei einer standartmäßigen AC-Ladung je nach Standort etwa 55% bis 90% des Mobilitätsbedarfes (FUSTW-N, KFZ-N) durch BEV erfüllt werden. Bei einem ergänzenden Einsatz von Schnellladetechnik (DC) liegt das Potenzial für den Einsatz von BEV hier sogar zwischen 60% und 90%. PHEV können den Mobilitätsbedarf auch im Ermittlungsdienst zu 100% decken.

Realitätsnahe Ladesteuerungssimulation zur Veranschaulichung der Ergebnisse

Eine Übertragung der Ergebnisse zur Lade- und Energiesteuerung in den Betrieb war nicht möglich, da das System der Datenübertragung zu instabil war. Ein Eingriff in das Ladeverhalten der Fahrzeuge der Polizei war mit einem nicht vollkommen zuverlässigen System nicht vertretbar, da es zu Fahrzeugausfällen hätte kommen können. Zudem waren die Standortbedingungen mit maximal vier steuerbaren Ladesäulen an einem Standort nicht repräsentativ. In Zukunft werden Standorte mit mehr als fünf Ladesäulen eine Herausforderung für die Dienststellen darstellen, da diese an die Grenzen des Netzanschlusses kommen. Um eine Steuerung unter kritischen Bedingungen zu testen, wurde eine Simulation angefertigt. Der Simulationsaufbau sowie die verwendeten Algorithmen wurden bereits im AS 5.2 beschrieben. Anhand der gesammelten und ausgewerteten Fahrzeug- und Ladedaten wurden nun Standorte mit einer höheren Anzahl an Fahrzeugen mit realen Daten simuliert. Hier wurde exemplarisch ein Tag mit und ohne ein Lademanagement simuliert.

Als Simulationsstandort wurde die PI Gifhorn (PI GF) gewählt, da hier eine gute Datengrundlage vorhanden ist. Zudem handelt es sich bei der PI GF um eine mittelgroße Dienststelle, die mit einer Vielzahl anderer Dienststellen im Land gut vergleichbar ist. Die PI GF hat einen Netzanschluss von 60 kW und eine ungefähre Gebäudegrundlast von 20 kW. Somit sind 40 kW für das Laden von Elektrofahrzeugen verfügbar. An dem Standort sind sechs Fahrzeuge im ESD, 12 Fahrzeuge im KED und 12 Fahrzeuge im Stab & Fiskal im Einsatz. Die mögliche Anzahl an Fahrzeugen, die an dem Standort geladen werden können, kann anhand der folgenden Formel bestimmt werden.

$$n_{EV,Prio} \cdot P_{max,EV,Prio} + n_{EV,N} \cdot P_{min,EV,N} \leq P_{St}$$

Dabei darf die Anzahl an Prioritätsfahrzeugen $n_{EV,Prio}$ multipliziert mit der maximalen Leistung dieser Fahrzeuge $P_{max,EV,Prio}$ addiert mit dem Produkt aus der Anzahl der übrigen Fahrzeuge $n_{EV,N}$ und derer minimalen Ladeleistung $P_{min,EV,N}$ nicht größer sein als die am Standort zur Verfügung stehende Leistung P_{St} . Unter Berücksichtigung der Formel wurde für das Szenario eine Anzahl von drei ESD und sechs KED bzw. Stab & Fiskal Fahrzeugen festgelegt. Dabei werden exemplarisch Fahrzeuge mit einer Batteriekapazität von 31,5 kWh angenommen, die eine minimale Ladeleistung von 2,76 kW und eine maximale Ladeleistung von 7,4 kW haben. Der Verbrauch wird mit 20 kWh hoch angesetzt, sodass eine Fahrt im ländlichen Gebiet mit Zusatzverbrauchern wie Blaulicht und zusätzlichem Gewicht durch Ausrüstung abgebildet werden kann. Der Verbrauch zwischen den Standzeiten wird vereinfacht als linear angenommen. Die Fahrzeuge im KED kommen in der Zeit zwischen 17 Uhr und 18.30 Uhr an und fahren am nächsten Morgen zwischen 6.30 Uhr und 9 Uhr wieder ab. Sie absolvieren nur eine Fahrt und kommen erst wieder nach 17 Uhr an der Dienststelle an. Die Fahrzeuge des ESD absolvieren 8-10 Fahrten und stehen über den Tag verteilt jeweils weniger als zwei Stunden an der Ladesäule. Die Ergebnisse der Simulation werden in AS 7.2 beschrieben.

3.4. Modul 4: Entwicklung Leitfaden

In Modul 4 erfolgte die Evaluation der Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur sowie die Entwicklung des Leitfadens zur integrierten Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur.

AP 7: Evaluation der Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur

Ziel des AP 7 ist die ökonomische, ökologische und funktionale Bewertung der durchgeführten integrierten Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur. Wie eingangs in AP 6 dargelegt erfolgt die Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse auf Basis der in AP 6 dargestellten Methoden.

In AS 7.1 wurde der Einfluss der Ladeinfrastruktur auf Fahrzeugenergiebedarf und -emissionen ermittelt und die Energiekosten und Fahrzeugemissionen für verschiedene Antriebskonzepte simuliert (angepasst).

Das Potenzial von PHEV im ESD zur Reduktion des Energieverbrauchs sowie der CO₂-Emissionen wurde bereits in AS 3.7 aufgezeigt. Dort wurde bereits vermerkt, dass es bei einem Fahrzeug im ESD urban zu einem Standortwechsel aufgrund von Sanierungsarbeiten an der Dienststelle kam und am neuen Standort keine Lademöglichkeit zur Verfügung stand. Dies hat unmittelbar Einfluss auf den elektrischen Energieverbrauch sowie den Kraftstoffverbrauch und folglich auf die CO₂-Emissionen und Kosten der Fahrzeuge. Abbildung 56 zeigt diese Parameter für ein ebenfalls im ESD urban eingesetztes Fahrzeug mit Lademöglichkeit (A) sowie das Fahrzeug ohne Lademöglichkeit (B).

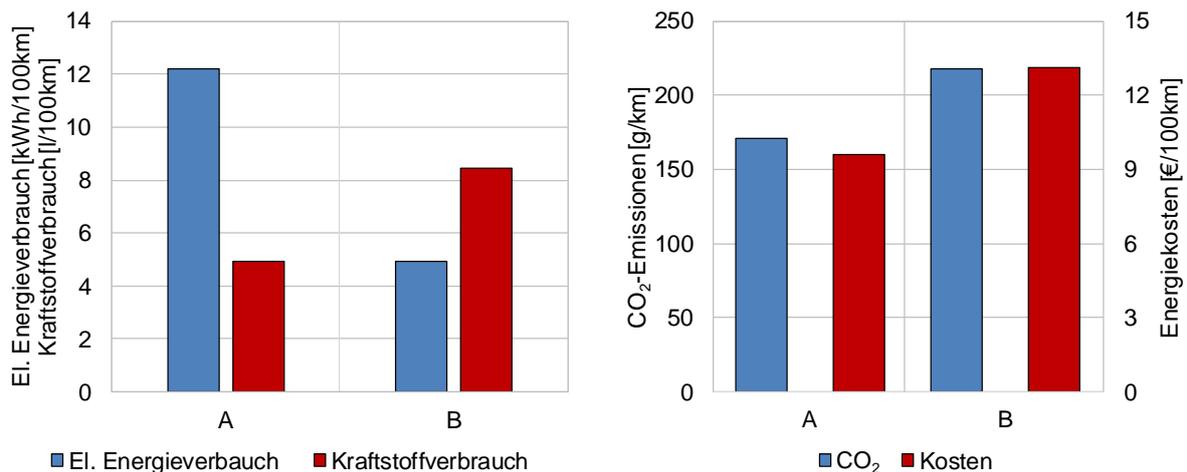


Abbildung 56: Vergleich von elektrischem Energieverbrauch, Kraftstoffverbrauch, CO₂-Emissionen und Energieträgerkosten von zwei Fahrzeugen im ESD urban, Fahrzeug A mit Lademöglichkeit und Fahrzeug B ohne Lademöglichkeit (nur während der Nutzung)

Hinsichtlich des elektrischen Energieverbrauch sowie des Kraftstoffverbrauchs weisen die beiden Fahrzeuge ein gegensätzliches Verhalten auf und der Einfluss des externen

Nachladens der Batterie auf den Verbrauch von PHEV wird deutlich. Während Fahrzeug A einen Kraftstoffverbrauch von knapp unter 5 l/100 km bei einem elektrischen Energieverbrauch von ca. 12 kWh/100 km aufweist, beträgt der Kraftstoffverbrauch von Fahrzeug B ca. 8,5 l/100 km zuzüglich ca. 5 kWh/100 km elektrischer Energie. Dies führt zu einem um fast 50 g/km (27%) höheren CO₂-Ausstoß². Dabei ist das Fahrprofil von Fahrzeug B von einem höheren Anteil kurzer Strecken geprägt, welche einen hohen elektrischen Fahranteil ermöglichen würden. Zugleich steigen die Energiekosten³ des Fahrzeugs um ca. 3,50 €/100 km (37%).

Wie bereits beschrieben, sind PHEV aus funktionaler Sicht in allen Anwendungsfällen einsetzbar. Am Beispiel eines im Szenario KED urban eingesetzten PHEV, welches häufig für Fahrten über lange Strecken mit hohem Autobahnanteil eingesetzt wird, wurde bereits im Zwischenbericht 2018 gezeigt, dass dieses einen vergleichsweise hohen Kraftstoffverbrauch und folglich hohen CO₂-Ausstoß aufweist. Aufgrund des Nutzungsprofils lassen sich die Vorteile eines PHEV durch die externe Nachladung elektrischer Energie nicht nutzen und es war zu prüfen, ob diese Antriebsart bei dieser Nutzung sinnvoll ist. Dazu wurde mit Hilfe eines Gesamtfahrzeugsimulationsmodells [Lange 2018] der Energieverbrauch verschiedener Antriebskonzepte für eine beispielhafte Realfahrt in diesem Szenario ermittelt. Betrachtet wurde eine Fahrt über eine Distanz von ca. 340 km und die Antriebsarten ICV und PHEV mit Benzin- und mit Dieselmotor sowie BEV; die Fahrzeugparameter entsprechen einem Volkswagen Passat B8. In Tabelle 11 sind die divergierenden Daten der Antriebskonzepte dargestellt. Für die Varianten mit Benzin- und Dieselmotor wurden jeweils die gleichen Parameter angenommen.

Tabelle 11: Parameter der betrachteten Antriebskonzepte

Antriebsart	ICV	PHEV	BEV
Fahrzeuggewicht [kg]	1.500	1.720	2.100
Antriebsleistung [kW]	150	160	150
Nutzbare Batteriekapazität [kWh]	-	8	80
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	>200	>200	160

In Abbildung 57 sind der simulierte CO₂-Emissionen sowie Energiekosten der Antriebskonzepte gezeigt. Zur Berechnung wurden die bereits zuvor genannten Werte verwendet.

² Benzin: 2,26 kg CO₂/l, Diesel: 2,76 kg CO₂/l, elektrische Energie: 474 g/kWh

³ Benzin: 1,43 €/l, elektrische Energie: 0,21 €/kWh

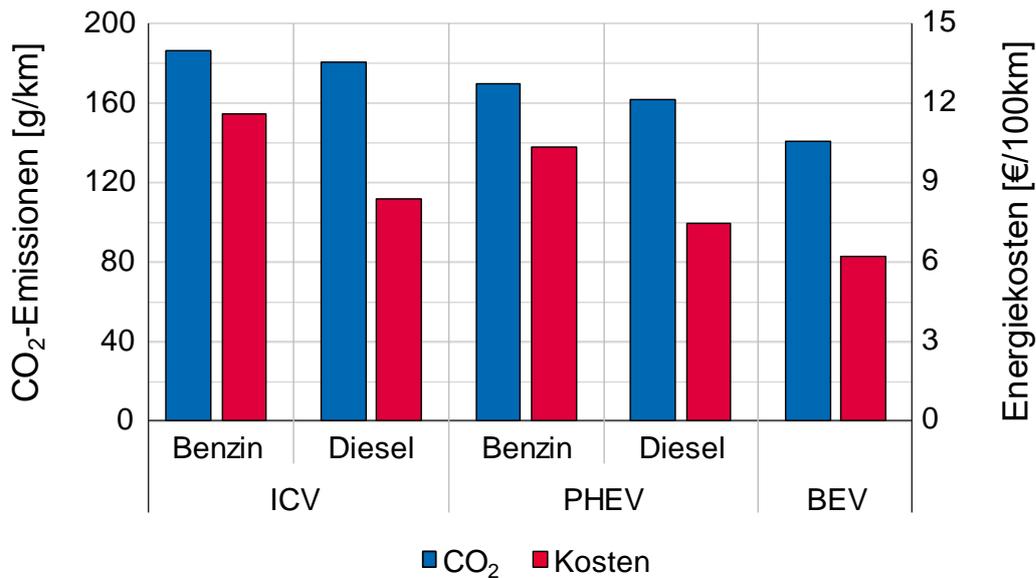


Abbildung 57: Gesamtenergieverbrauch und CO₂-Emissionen als Ergebnis der Simulation der betrachteten Antriebskonzepte für die beispielhafte Realfahrt im Szenario KED urban

Die CO₂-Emissionen der ICV und PHEV in der Benzin- und Dieselvariante unterscheiden sich nur relativ gering. Insgesamt sind die CO₂-Emissionen der PHEV etwa 15-20 g/km geringer als die der ICV-Varianten. In dem hier betrachteten Fall, kann durch die Nutzung eines PHEV unter den gegebenen Randbedingungen ein deutlich geringerer Vorteil gegenüber einem ICV erzielt werden, als beispielsweise im ESD urban. Eine Verringerung der spezifischen CO₂-Emissionen der elektrischen Energie sowie eine größere Batteriekapazität der PHEV würde die streckenbezogenen Emissionen weiter verringern. Bei einem Emissionsfaktor der elektrischen Energie von 0 g CO₂/kWh, würde sich eine Einsparung von ca. 20-30 g CO₂/km der PHEV gegenüber den ICV ergeben. Die geringsten CO₂-Emissionen weist das BEV auf. Der Energieverbrauch von ca. 30 kWh/100 km führt mit der gegebenen Batteriekapazität jedoch dazu, dass es nicht möglich ist mit einer Batterieladung die gesamte Strecke zurückzulegen. Folglich wäre eine Zwischenladung notwendig. Unter der Annahme, dass die Nachladung mit einer mittleren Ladeleistung von 100 kW durchgeführt wird, würde sich die Reisezeit um ca. 0,5 h verlängern, bei einer Gesamtdauer der Fahrt ohne Ladestopp von ca. 3,1 h. Im Hinblick auf die Energiekosten sind die benzinbetriebenen Fahrzeuge am teuersten. Aufgrund der niedrigeren Preise von Diesel-Kraftstoff sind Diesel-ICV und Diesel-PHEV erheblich günstiger (ca. 3 €/100 km) als die Varianten mit Benzin als Kraftstoff. Die geringsten Energiekosten weist ebenfalls das BEV auf.

Im AS 7.2 erfolgte die Auswertung der Energie- und Ladedaten für gesteuertes und nicht gesteuertes Laden. Die Ergebnisse der Auswertung fließen in den zu erstellenden Leitfaden in AP 8 ein (angepasst).

Folgend sind die Ergebnisse der Simulation wie sie in AP 6.2 erläutert sind dargestellt. In der Abbildung 58 ist die Ladeleistungsverteilung der neun simulierten Fahrzeuge während eines Tages dargestellt. Die Leistung der Fahrzeuge ist in den unterschiedlichen Farben dargestellt.

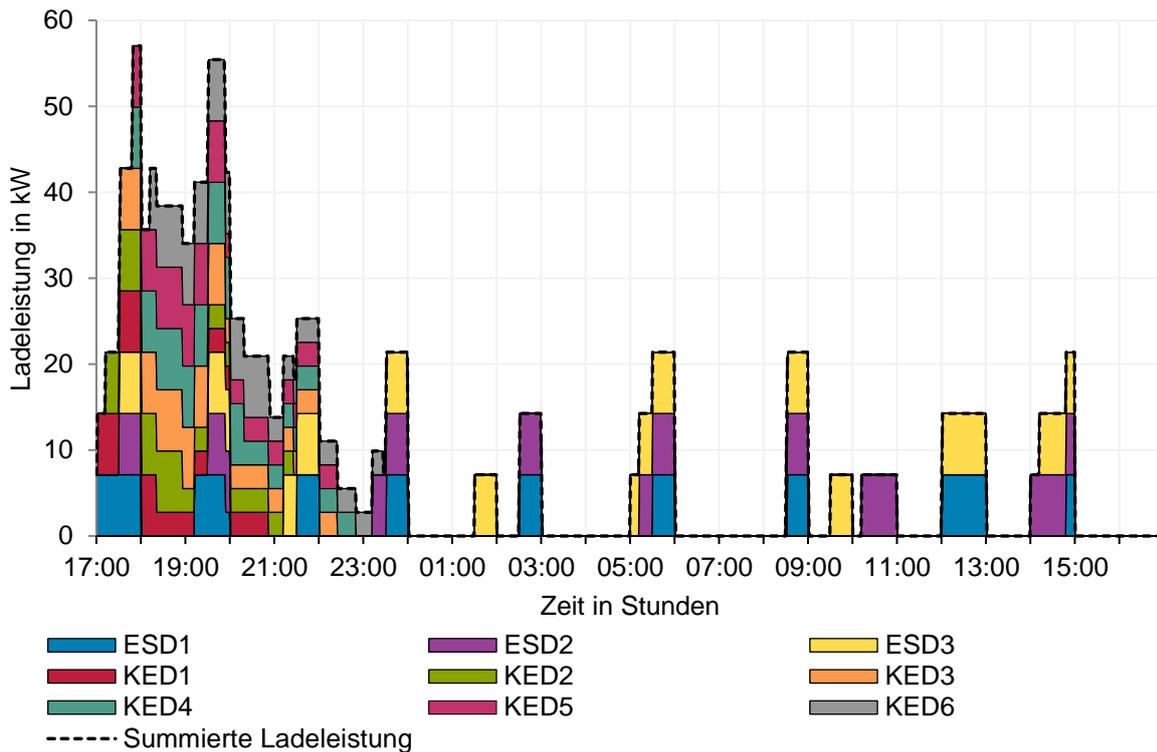


Abbildung 58: Ladeleistungsverteilung bei einer nicht gesteuerten Ladung

Somit würden beim ungesteuerten Ladevorgang alle Fahrzeuge immer mit ihrer maximalen Ladeleistung (7,4 kW) laden. Ausgenommen ist der Bereich ab 80 % SoC, da ab diesem Ladezustand das BMS die Ladeleistung auf das Minimum (2,76 kW) reduziert. Des Weiteren kommen Leistungsverluste von 10 % während der gesamten Ladezeit hinzu. Die Abbildung 58 zeigt, dass die betrachtete Netzanschlussleistung eines Standortes (40 kW) zeitweise stark überschritten wird. Hier wäre ohne Steuerung ein Netzausbau notwendig, der je nach Aufwand mehrere Tausend € bis in den sechsstelligen Bereich kosten kann. Alternativ dürften maximal nur fünf BEV mit einer maximalen Ladeleistung von 7,4 kW an diesem Standort eingesetzt werden. Abbildung 59 zeigt, dass ein weiterer Netzausbau nicht notwendig ist, wenn stattdessen ein statisches Lademanagement, z.B. mit einem First Come First Serve (FCFS)-Ladealgorithmus, eingesetzt werden würde. Zusätzlich wurden die ESD-Fahrzeuge als Prioritätsfahrzeuge deklariert. Somit bekommen diese zu jeder Zeit die maximale Ladeleistung. Damit wird sichergestellt, dass es nicht zu Engpässen in den Einsätzen kommen kann.

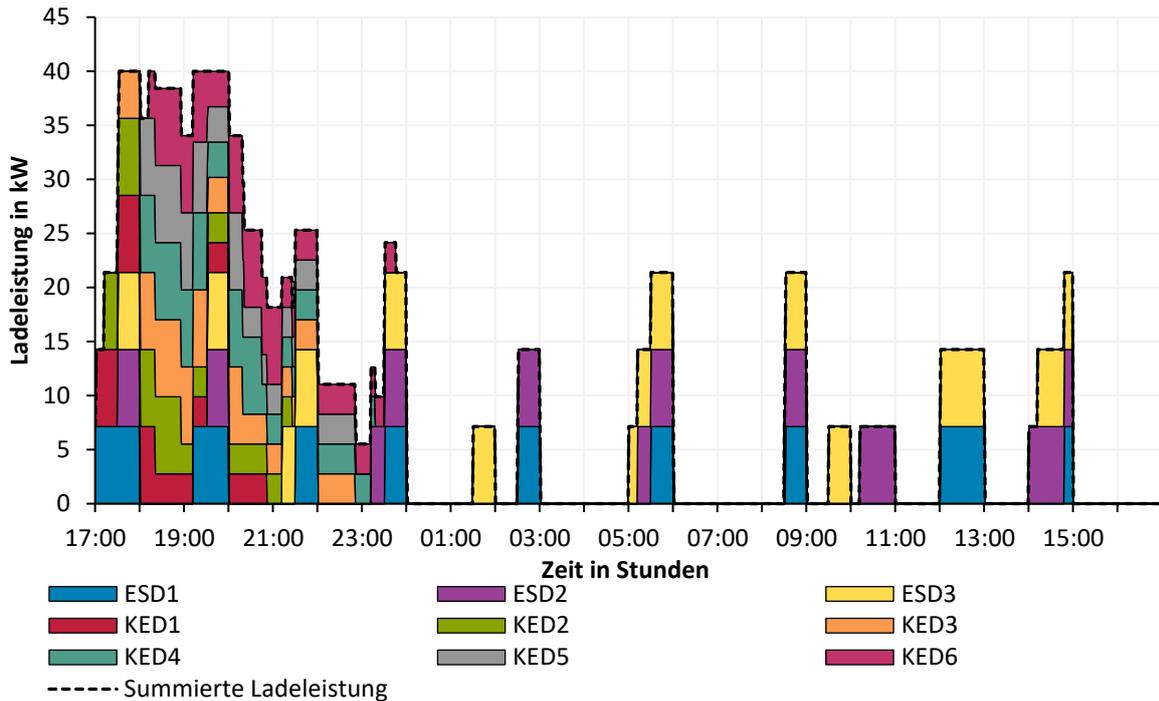


Abbildung 59: Ladeleistung während des gesteuerten Ladevorgangs First Come First Serve

Wie in Abbildung 59 zu erkennen ist, wird die eingestellte Grenze von 40 kW nicht überschritten. Die zur Verfügung stehende Leistung wird unter den Fahrzeugen aufgeteilt, wobei die Prioritätsfahrzeuge die volle Ladeleistung bekommen. Bei den übrigen Fahrzeugen wird die Ladeleistung nach der ankommenden Reihenfolge verteilt (FCFS). Als einzig kritischer Zeitraum stellt sich der Abend dar, wo um 19.30 Uhr alle Fahrzeuge zur gleichen Zeit an der Dienststelle laden.

Die Änderung des Batteriezustands über die Zeit ist in Abbildung 60 dargestellt. Hier ist erkennbar, dass die Ladekurve der ESD-Fahrzeuge immer die gleiche Steigung aufweist. Die KED-Fahrzeuge hingegen schwanken. Zudem ist erkennbar, dass die Ladekurve ab einem SoC von 80 % abflacht. Das letzte KED-Fahrzeug ist bereits um Mitternacht vollständig geladen.

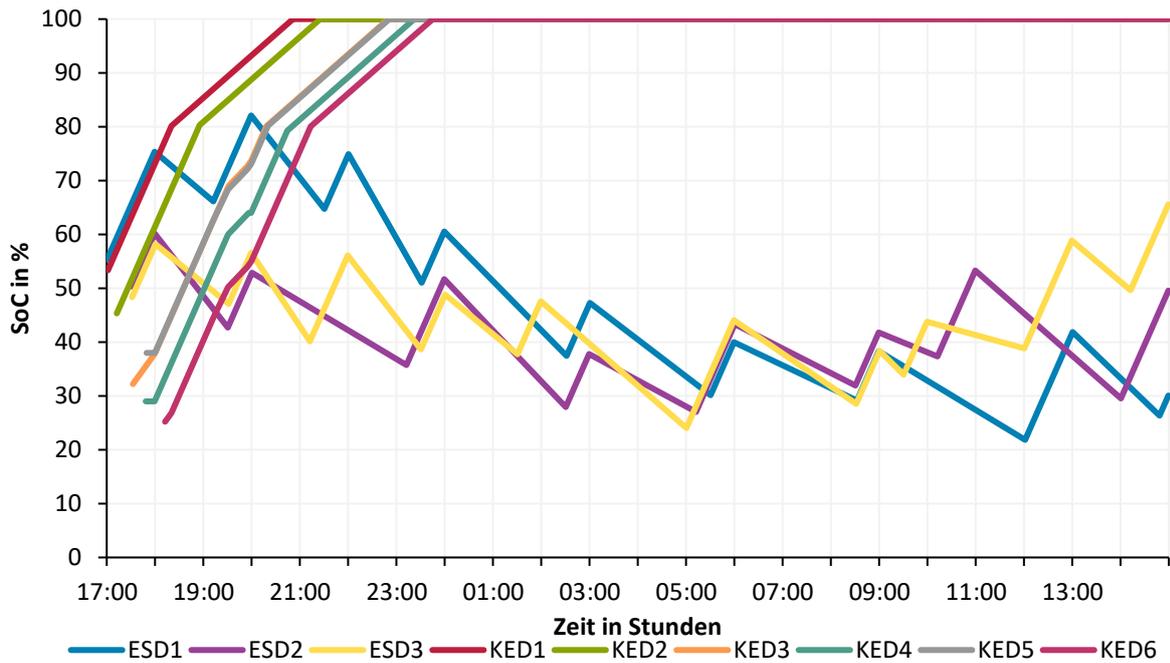


Abbildung 60: Verlauf des SoC während des gesteuerten Ladevorgangs FCFS

Eine andere Möglichkeit der Steuerung stellt der Ladealgorithmus Equal dar. Dieser teilt die Energie zwischen den Fahrzeugen mit Ausnahme der Prioritätsfahrzeuge gleich auf. Um die Batterie zu schonen bietet es sich an die Fahrzeuge, die ohnehin eine lange Standzeit aufweisen nur mit der Mindestladeleistung zu laden. Dieses Beispiel ist in der Abbildung 61 dargestellt.

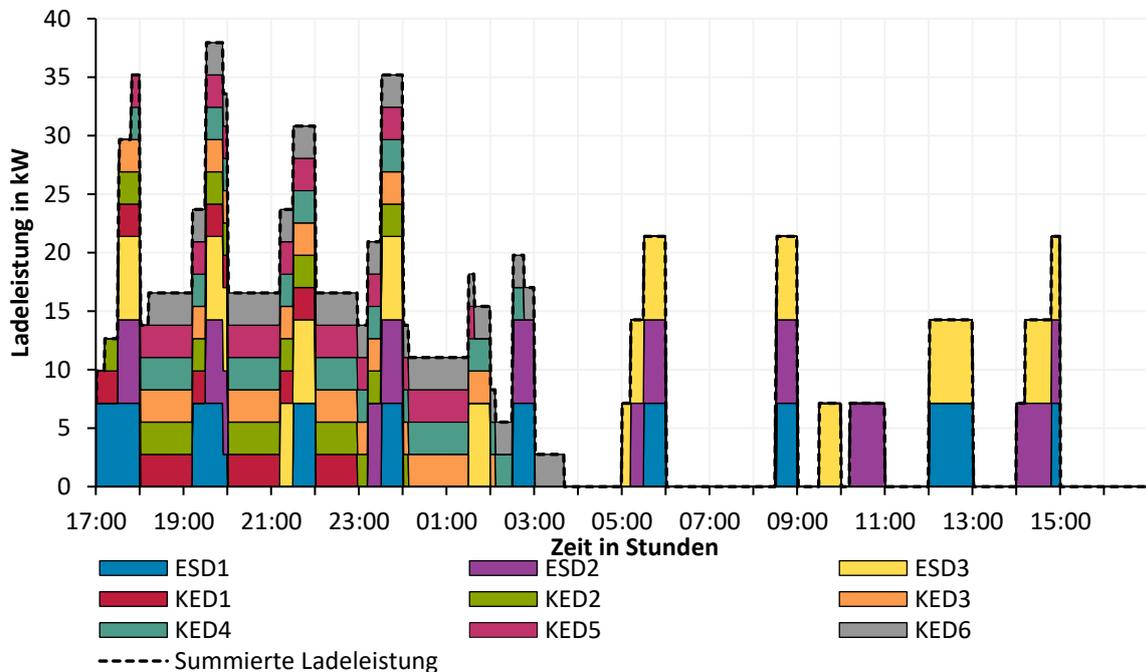


Abbildung 61: Ladeleistung während des gesteuerten Ladevorgangs Equal mit minimaler Ladeleistung

Es ist zu erkennen, dass die Mindestladeleistung genügt, damit das letzte Fahrzeug bereits um 4 Uhr einen vollen Ladezustand erreicht hat. Somit können nicht nur die Ausgaben für den Netzausbau eingespart, sondern auch die Batteriebensdauer verlängert werden.

Weiterhin besteht die Option die verfügbare Leistung durch eine Photovoltaikanlage (PV-Anlage) am Standort zu erhöhen. Die Leistungsmessung der erzeugten Leistung kann direkt in das Lademanagement miteinfließen. Dabei sind Steuerungen, die danach ausgerichtet sind die erzeugte Leistung zu verwenden, möglich. Am Beispiel der PI Gifhorn könnte auf der Dachfläche des Hauptgebäudes mit 700 m² eine PV-Leistung von 70 kW installiert werden. Der ungefähre Jahresverbrauch der Dienststelle inklusive neun BEV liegt bei ungefähr 146.000 kWh. Die Erzeugung der PV-Anlage würde in Gifhorn bei schätzungsweise 800 Volllaststunden und somit bei 56.000 kWh liegen. Die Energiekosten belaufen sich in diesem Szenario auf ungefähr 36.960 € im Jahr. Eine PV-Anlage würde bei 100 % Eigenverbrauch Energiekosten von insgesamt 12.320 € einsparen. Dabei muss jedoch der Preis der PV-Anlage mit eingerechnet werden. Dieser liegt derzeit bei ungefähr 70.000 €. Bei den kalkulierten Einsparungen würde sich die Anlage in 5,68 Jahren amortisieren. Um eine hohe Eigenverbrauchsquote zu erreichen, würde sich zusätzlich anbieten einen Speicher anzuschaffen. Die Kosten eines Speichers belaufen sich auf ca. 1.000 €/kWh. Der Vorteil der PV-Anlage liegt ebenfalls in der Einsparung von CO₂-Emissionen, da die Fahrzeuge nicht den Strommix nutzen, der Energie aus fossilen Energieträgern enthält.

In AS 7.3 erfolgte die Anwendung geeigneter Methoden zur Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der erarbeiteten Planungs- und Steuerungsregeln (angepasst).

Die Ergebnisse der Berechnung der klimawirksamen Lebenszyklusemissionen sowie der haushalterischen Auswirkungen für verschiedene Antriebsarten und Einsatzszenarien, wie in AS 6.1 beschrieben, ist nachfolgend dargestellt. Die Grundlage stellen reale, im Rahmen des Projekts erfasste Fahrdaten sowie die in AS 6.1 beschriebenen Zukunftsszenarien und Beschaffungsstrategien dar. Zunächst wurde dazu für die Emissionen eine rückblickende Bewertung für die im Rahmen des Projekts absolvierte, tatsächliche Fahrleistung der mit Datenloggern ausgestatteten Fahrzeuge durchgeführt. Anschließend erfolgte eine auf die Zukunft ausgerichtete Bewertung für die Polizei Niedersachsen für den Zeitraum von 2020 bis 2030, unter Berücksichtigung der klimawirksamen Emissionen und der haushalterischen Auswirkungen.

Rückblickende Bewertung der klimawirksamen Emissionen

Im Rahmen der rückblickenden Bewertung wurde die AS 6.1 beschriebene Methodik aufgegriffen und auf reale Kraftstoff- bzw. Energiebedarfsdaten von im Projekt betriebenen Fahrzeugen angewendet. Die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

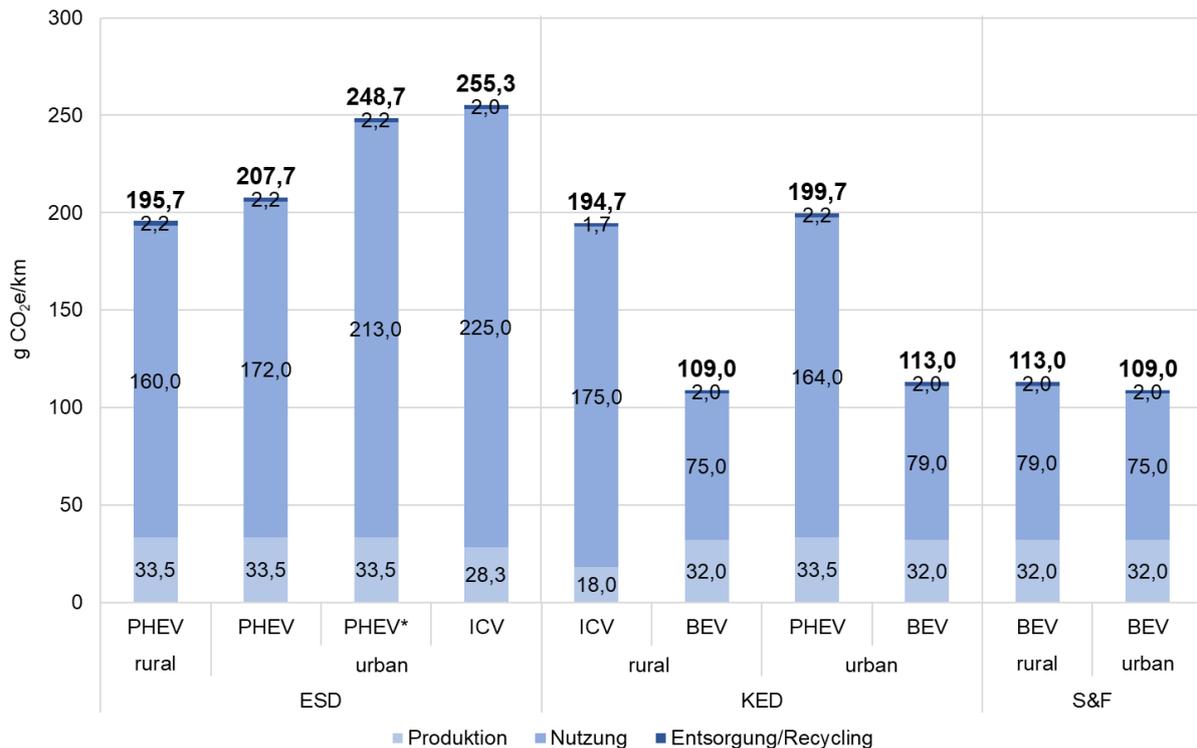


Abbildung 62: Klimawirksame Lebenszyklusemissionen in Gramm CO₂-Äquivalenten der Antriebsarten PHEV, ICV und BEV in den Anwendungen ESD, KED sowie Stab & Fiskal. Die fett geschriebenen Werte benennen die Summe aller Anteile (Produktion, Nutzung, Entsorgung). Mit * ist ein Einzelfahrzeug (PHEV im ESD urban) ohne elektrische Lademöglichkeit gekennzeichnet. Basiert auf den in Abbildung 10 dargestellten Emissionen der Nutzungsphase, und Literaturwerten für Produktion und Entsorgung/Recycling; angenommene Fahrzeug- und Batterielebensdauer 300.000 km.

Es zeigt sich, dass für alle Antriebsarten die Nutzungsphase die dominierende Einflussgröße auf die Lebenszyklusemissionen darstellt. Daher decken sich die Relationen weitestgehend mit den in Abbildung 62 dargestellten Ergebnissen für die Emissionen aus der Nutzung. Die Unterschiede für die Produktion stammen, neben den unterschiedlichen Emissionen der Antriebsarten, aus den unterschiedlichen Fahrzeuggrößen. Für den ESD wurde durchgehend die große Fahrzeugklasse (VW Passat) angenommen, während im KED nur die PHEV als große Fahrzeuge angenommen wurden. Im Stab & Fiskal gelten mittelgroße Fahrzeuge (VW Golf) als Referenz. Die Werte für die Produktion der PHEV (33,5 g) erscheinen, verglichen mit denen in der Studie von Nordelöf und Kollegen zitierten Werten (31-34 g, angepasst bezüglich Fahrzeuglebensdauer), plausibel [Nordelöf 2014]. Werte für das Recycling sind darin nicht explizit aufgeführt.

Die folgende Tabelle 12 bietet Aufschluss darüber, welche Menge an klimawirksamen Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eingespart werden kann, wenn für jedes der gezeigten Szenarien die jeweils emissionsärmste Antriebsvariante eingesetzt wird. Dabei sind nur diejenigen Kombinationen aus Antriebsart und Einsatzszenario berücksichtigt, für die auch reale Verbrauchsdaten vorliegen, d.h. für die ein mit Datenlogger ausgestattetes Fahrzeug im Betrieb befindlich ist.

Tabelle 12: Reduktionspotenzial für klimawirksame Lebenszyklusemissionen bei Einsatz der jeweils emissionsärmsten Antriebsvariante in jedem Einsatzszenario. Für manche Einsatzszenarien liegen nur für eine Antriebsvariante realitätsnahe Emissionswerte vor, daher kann hier kein Reduktionspotenzial aufgezeigt werden. Angaben in Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilometer bzw. %.

[g CO ₂ e / km] / [%]	ESD		KED		S&F	
	rural	urban	rural	urban	rural	urban
Emissionen absolut „worst case“	195,7	255,3	194,7	199,7	113,0	109,0
Emissionen absolut „best case“	195,7	207,7	109,0	113,0	113,0	109,0
Reduktion absolut	-	47,6	85,7	86,7	-	-
Reduktion relativ	-	18,6 %	44,0 %	43,4 %	-	-
Antriebsart „worst case“	PHEV	ICV	ICV	PHEV	BEV	BEV
Antriebsart „best case“	PHEV	PHEV	BEV	BEV	BEV	BEV

Es zeigt sich, dass durch den Einsatz elektrifizierter bzw. elektrischer Fahrzeuge die klimawirksamen Lebenszyklusemissionen signifikant, um bis zu 44 %, gesenkt werden können. BEV zeigen dabei, sofern sie geeignet eingesetzt werden können, ein deutlich größeres Emissionsreduktionspotenzial als PHEV, wie insbesondere auch der direkte Vergleich (KED urban) zeigt.

Im **Vergleich zur in AS 1.5 beschriebenen Grobabschätzung** der Lebenszyklusemissionen auf Basis von Fahrtenbüchern und Simulationen zeigt sich, dass der allgemeine Trend bestätigt wird: BEV weisen die geringsten Emissionen auf, gefolgt von PHEV – ICV haben die höchsten Emissionswerte. Jedoch fallen in der Realität die Reduktionen durch Einsatz eines PHEV im Vergleich zu einem ICV nicht so hoch aus wie zunächst angenommen. Die hohen prognostizierten Einsparpotenziale durch BEV wurden hingegen bestätigt.

Abschätzung der klimawirksamen Emissionen zukünftiger Beschaffungsstrategien

Nach dieser rückblickenden Bewertung der klimawirksamen Emissionen der im Projekt betriebenen Fahrzeuge wurde die Methodik außerdem auf verschiedene, in AS 6.1 beschriebene **Zukunftsszenarien** angewandt. Ziel war es, die Lebenszyklusemissionen unterschiedlicher Beschaffungsstrategien der Polizei Niedersachsen für die Jahre 2020 bis 2030 zu bewerten. Dabei sind unterschiedliche Szenarien berücksichtigt, welche verschiedene Randbedingungen abbilden, die sich auf die Emissionen von ICV, PHEV und BEV auswirken.

In Tabelle 13 sind übergreifende Annahmen sowie die Randbedingungen der Szenarien „Pro EV“, „Basis“ und „Contra EV“ zusammengefasst, welche Auswirkungen auf die Umweltwirkungen haben.

Tabelle 13: Übergreifende und szenariospezifische Annahmen zur Ermittlung der klimawirksamen Flottenemissionen

	Übergreifend		
Jährliche Laufleistung pro Fahrzeug [km] ⁴	17.590		
Kraftstoffbedarf ICV 2020 [l/100 km] ⁴	7,17		
Kraftstoffbedarf PHEV 2020 [l/100 km] ⁴	5,83		
Energiebedarf PHEV 2020 [kWh/100 km] ⁴	6,58		
Energiebedarf BEV 2020 [kWh/100 km] ⁴	16,23		
Spezifische Emissionen Batterieherstellung [kg CO ₂ äq./kWh] ⁵	83,5		
Batteriekapazität BEV 2020 [kWh] ⁶	60		
Batteriekapazität PHEV 2020 [kWh] ⁷	15		
Batteriekapazität ICV (ab 2025, MHEV) [kWh] ⁸	1		
Spezifische Emissionen Fahrzeugherstellung 2020 [kg CO ₂ äq./kg] ⁹	4,81		
Well-to-Tank Emissionsfaktor Benzin 2020 [kg CO ₂ äq./l] ¹⁰	2,72		
Well-to-Tank Emissionsfaktor Diesel 2020 [kg CO ₂ äq./l] ¹⁰	3,1		
Fahrzeuggewicht ICV [kg] ¹¹	1.600		
Fahrzeuggewicht PHEV (ohne Batterie) [kg] ¹²	1.704		
Fahrzeuggewicht BEV (ohne Batterie) [kg] ¹³	1.393		
Emissionsfaktor Strom 2020 [kg CO ₂ äq./kWh] ¹⁴	0,427		
Emissionsfaktor Batterierecycling [kg CO ₂ äq./kWh] ¹⁵	4,89		
Emissionsfaktor Fahrzeugrecycling [kg CO ₂ äq./kg] ¹⁶	0,39		
	Pro EV	Basis	Contra EV
Fahrzeugnutzungsdauer ICV [Jahre]	10	10	10
Fahrzeugnutzungsdauer PHEV [Jahre]	10	10	9

⁴ Basiert auf Daten aus dem Projekt I&e

⁵ [Emilson 2019]

⁶ Basiert auf einem Opel Ampera-e

⁷ Basiert auf einem VW Passat GTE

⁸ Annahme: ab 2025 keine ICV mehr ohne Mild-Hybridisierung

⁹ [Ellingsen 2016]

¹⁰ Umweltbundesamt Österreich, <https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html>

¹¹ Basiert auf einem VW Passat TDI Variant

¹² Basiert auf einem VW Passat GTE Variant

¹³ Basiert auf einem VW e-Golf

¹⁴ Umweltbundesamt Deutschland, <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bilanz-2019-co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom>

¹⁵ [Ciez 2019]

¹⁶ [Hawkins 2013]

Fahrzeugnutzungsdauer BEV [Jahre]	10	10	9
Veränderung Kraftstoffbedarf ICV pro Jahr [l/100 km]	-0,1076	-0,1434	-0,1793
Veränderung Kraftstoffbedarf PHEV pro Jahr [l/100 km]	-0,0875	-0,0583	-0,0292
Veränderung Energiebedarf PHEV pro Jahr [kWh/100 km]	0,0526	0,0329	0,0329
Veränderung Energiebedarf BEV pro Jahr [kWh/100 km]	0	0,0406	0,0812
Jährliche Veränderung Emissionen Batterieherstellung [kg CO ₂ äq./kWh] ¹⁷	-3	-1	1
Jährliche Zunahme Batteriekapazität BEV [kWh] ¹⁸	2	3	4
Jährliche Zunahme Batteriekapazität PHEV [kWh] ¹⁹	0,5	1	1,5
Jährliche Veränderung Emissionen Fahrzeugherstellung [kg CO ₂ äq./kg] ²⁰	-0,1655	-0,0828	0
Jährliche Änderung Emissionsfaktor Benzin [kg CO ₂ äq./l] ²¹	0,0272	0	-0,0272
Jährliche Änderung Emissionsfaktor Diesel [kg CO ₂ äq./l] ²¹	0,031	0	-0,031
Jährliche Änderung Emissionsfaktor Strom [kg CO ₂ äq./kWh] ²²	-0,0145	-0,0073	0
Jährliche Änderung Emissionsfaktor Batterierecycling [kg CO ₂ äq./kWh] ²³	-0,1	-0,05	0

Die **übergreifenden Annahmen** spiegeln dabei den Status Quo wider, und basieren entweder auf Literaturangaben oder auf Messdaten aus dem Projekt *lautlos&einsatzbereit* (z.B. Kraftstoff- und Energiebedarf der Fahrzeuge). Die Szenarien stellen mögliche zukünftige Entwicklungen dar, wobei das Szenario „Pro EV“ niedrigere klimawirksame Emissionen für BEV verursacht, während das Szenario „Contra EV“ höhere klimawirksame Emissionen für diese Fahrzeuge zur Folge hat. Das Szenario „Basis“ befindet sich zwischen diesen beiden Ausprägungsformen.

Abbildung 63 zeigt, welche **klimawirksamen Emissionen** über den gesamten Flottenlebenszyklus für die verschiedenen Strategien und Szenarien zwischen den Jahren 2020 bis 2030 (eingeschlossen) insgesamt voraussichtlich entstehen. Die Einheit sind 1.000 Tonnen CO₂-Äquivalente, alle klimawirksamen Gase sind entsprechend ihres Potenzials in die vergleichbare Menge an Kohlendioxid umgerechnet worden. Enthalten sind die

¹⁷ Annahme „Pro EV“: zunehmender Anteil an erneuerbaren Energien im Strommix, Prozessoptimierung und Skalierung bei der Batterieproduktion; Annahme „Contra EV“: zunehmender Anteil an Batterien wird in Ländern mit hohem Kohlestromanteil gefertigt (z.B. China)

¹⁸ Annahme „Pro EV“: durchschnittliche Batteriekapazität von 80 kWh in 2030; Annahme „Contra EV“: durchschnittliche Batteriekapazität von 100 kWh in 2030

¹⁹ Annahme „Pro EV“: durchschnittliche Batteriekapazität von 20 kWh in 2030; Annahme „Contra EV“: durchschnittliche Batteriekapazität von 30 kWh in 2030

²⁰ Entspricht 2,9 kg CO₂äq./kg Fahrzeuggewicht [T&E 2020]

²¹ Annahme Szenario „Pro EV“: +10 % Emissionen bis 2030; mehr Öl aus Quellen mit hohen indirekten Emissionen, z.B. Teersände, Fracking etc.; Annahme Szenario „Contra EV“: -10 % Emissionen bis 2030; mehr Öl aus Quellen mit niedrigen indirekten Emissionen (z.B. Saudi Arabien)

²² [Agora 2019]

²³ Annahme Szenario „Pro EV“: zunehmender Anteil an erneuerbaren Energien im Strommix, Prozessoptimierung und Skalierung im Batterierecycling; Annahme Szenario „Contra EV“: keine Veränderung zu 2020

Rohmaterialgewinnung, Produktion, Nutzung und Entsorgung der Fahrzeuge und der von ihnen genutzten Energieträger. Nicht enthalten ist die Wartung und Reparatur der Fahrzeuge, sowie die Lebenszyklen der Infrastruktur (Straßen, Tankstellen, Ladesäulen).

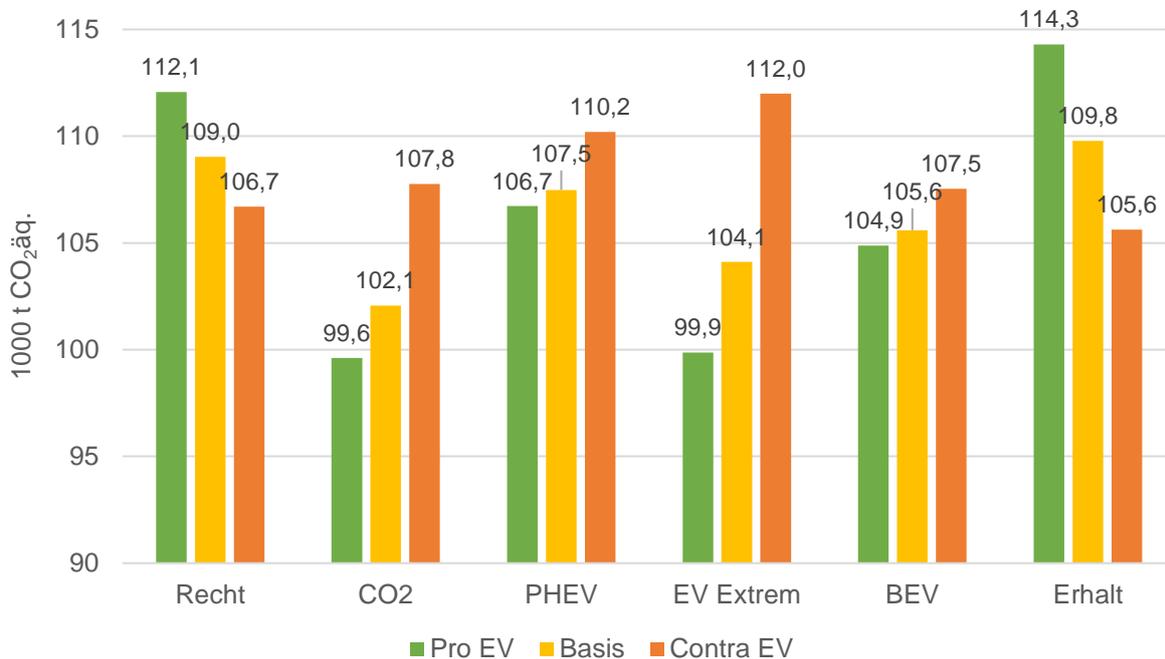


Abbildung 63: Kumulierte klimawirksame Emissionen für die Jahre 2020 bis 2030, für verschiedene Beschaffungsstrategien und Szenarien, unter Einbeziehung des gesamten Fahrzeuglebenszyklus, für die Flotte der niedersächsischen Polizei (2355 Fahrzeuge).

Die **Strategie** „CO₂“ verursachen für das Szenario „Pro EV“ und das Basisszenario die geringsten Emissionen. Lediglich für das Szenario „Contra EV“ weisen die Strategien „Erhalt“, „Recht“ und „BEV“ geringere Emissionen auf. Insbesondere die Strategie „EV extrem“ ist vergleichsweise sensitiv bezüglich des Szenarios, d.h. bezüglich der äußeren Randbedingungen. Im Vergleich dazu weist das Szenario „BEV“ nur eine geringe Sensitivität auf. Dies rührt daher, dass die Strategie „EV extrem“ am stärksten von allen auf der Beschaffung von elektrifizierten Fahrzeugen basiert, und dementsprechend stark von günstigen (und ungünstigen) Randbedingungen bezüglich der ökologischen Auswirkungen dieser elektrifizierten Fahrzeuge betroffen ist.

Für ein detaillierteres Verständnis der klimawirksamen Emissionen für die **einzelnen Fahrzeugantriebsarten** sind diese in Abbildung 64 dargestellt. Zu sehen sind darin die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeugtypen, umgerechnet in Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilometer, für jedes der Jahre 2020 bis 2030. Die Veränderungen über der Zeit ergeben sich aus den Annahmen aus Tabelle 13. Ein Datenpunkt spiegelt die Emissionen durch Produktion, Nutzung und Entsorgung eines Fahrzeugtyps in dem jeweiligen Jahr wider.

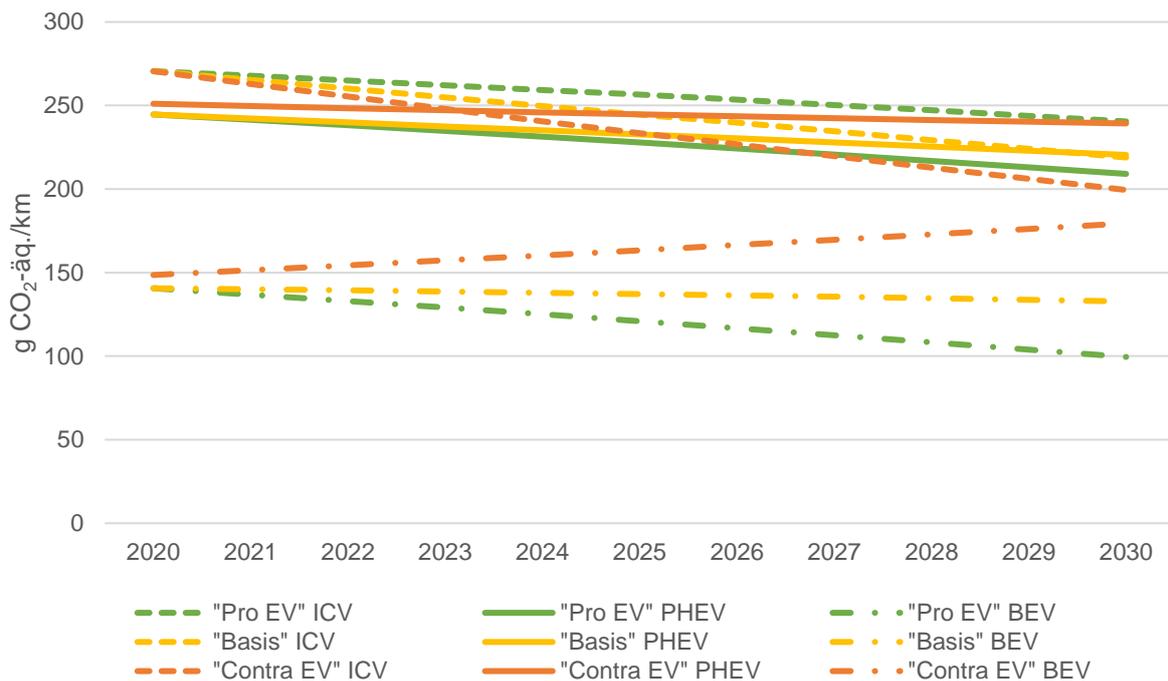


Abbildung 64: Klimawirksame Lebenszyklusemissionen für verschiedene Fahrzeugantriebe und Szenarien in den Jahren 2020 bis 2030, in Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilometer. „Pro EV“ ICV beschreibt die Emissionen eines ICV im Szenario „Pro EV“, vgl. Tabelle 13.

Über den gesamten betrachteten Zeitraum und für alle Szenarien weisen **BEV die niedrigsten Emissionen** auf. PHEV liegen im Jahr 2020 nur knapp unterhalb von ICV, im weiteren zeitlichen Verlauf ist keine klare Unterscheidung mehr zwischen den Emissionen von ICV und PHEV mehr möglich.

Aus Abbildung 63 und Abbildung 64 lässt sich aus ökologischer Sicht (klimawirksame Emissionen) die klare **Empfehlung** ableiten, so viele Fahrzeuge wie möglich durch BEV zu ersetzen. Dies gilt für den Betrachtungszeitraum bis 2030, sowie die erhobenen Daten und getroffenen Annahmen für den Anwendungsfall der Polizei Niedersachsen. Ursache dafür ist vor allem der hohe Gesamtwirkungsgrad von BEV (von der Quelle bis zum Rad). Im weiteren Zeitverlauf wird eine Überprüfung dieser Daten und Annahmen, sowie ein Abgleich mit den beschriebenen Szenarien empfohlen, um die weitere Beschaffungsstrategie anzupassen. Dies spricht aus ökologischer Sicht für die Strategien „CO₂“ und „EV extrem“, mit einer etwaigen Anpassung, sollten sich die Randbedingungen gemäß dem Szenario „Contra EV“ entwickeln. Schließlich wird auch noch eine vollständige Ökobilanz unter Einbeziehung anderer Umweltwirkungskategorien empfohlen.

Abschätzung der haushalterischen Auswirkungen zukünftiger Beschaffungsstrategien

Die nachfolgende Abbildung 65 zeigt den durchschnittlichen jährlichen prozentualen Anstieg der Haushaltsmittel für die einzelnen Strategien und Szenarien im Überblick.

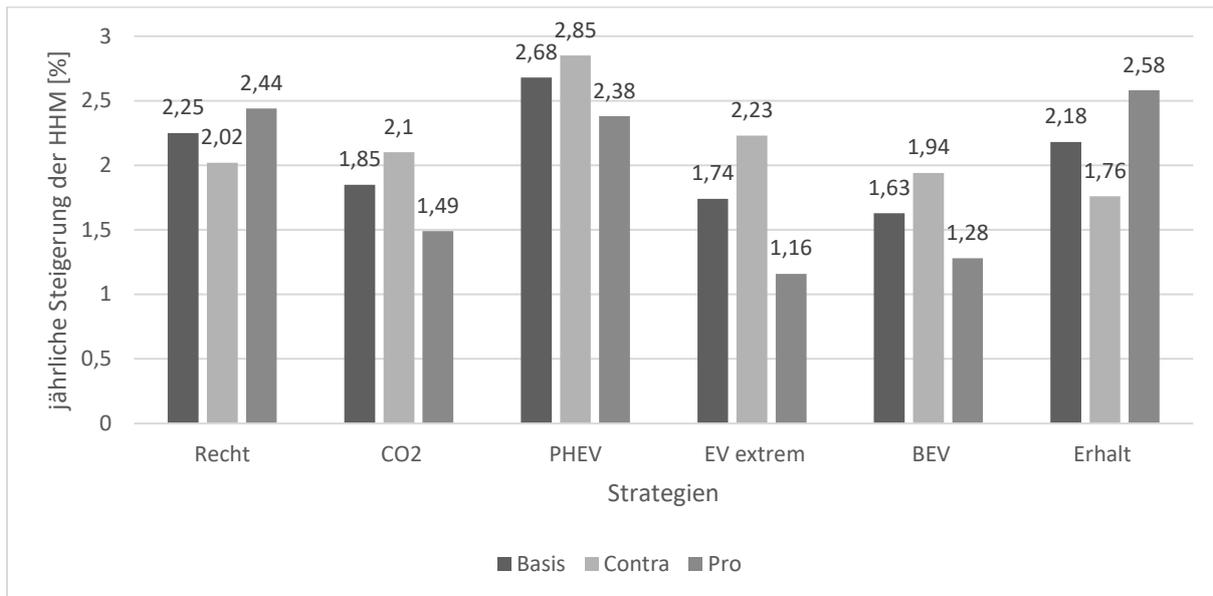


Abbildung 65: Durchschnittliche jährliche Steigerung der Haushaltsmittel [%] im Vergleich anhand der Beschaffungsstrategien und Szenarien.

Unabhängig von den Szenarien sowie den Ausbaustrategien für die Fahrzeugersatzbeschaffungen sowie den Betrieb des betrachteten Fuhrparks steigen die jährlichen Haushaltsmittelbedarfe an. Dies ist auch bei einem Erhalt des Status Quo der Fall. Die durchschnittliche jährliche prozentuale Steigerung der Haushaltsmittel für alle drei Szenarien beträgt für die günstigste Strategie 1,61% (Strategie „BEV“) und für die teuerste sogar 2,64% (Strategie „PHEV“). Es kann eine durchschnittliche Gesamtkostensteigerung für die unterschiedlichen Beschaffungsstrategien von 2,03% verzeichnet werden. Hinsichtlich der drei Szenarien ist das Szenario „Pro Elektromobilität“ am günstigsten (1,89% Steigerung der durchschnittlichen jährlichen Haushaltsmittelbedarfe), gefolgt von dem Basis-Szenario (2,05% Steigerung der durchschnittlichen jährlichen Haushaltsmittelbedarfe) und dem Szenario „Contra Elektromobilität“ (2,15% Steigerung der durchschnittlichen jährlichen Haushaltsmittelbedarfe).

Fazit: Die unterschiedlichen Beschaffungsstrategien von Fahrzeugen und der (zugehörigen) Ladeinfrastruktur erhöhen den jährlichen Bedarf in Bezug auf die Haushaltsmittel. Unter Einbezug der jährlichen Investitions- und Konsumtivmittel sowie des Elektrifizierungsgrades der betrachteten Flotte ist die Strategie „BEV“ vorteilhaft gegenüber allen anderen Strategien.

In AS 7.4 wurde eine Expertenbefragung zur entwickelten Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur durchgeführt.

Für acht relevante Adressaten wurden Fragen identifiziert, die die Bereiche Haushalt, Technologie und Markt sowie verwaltungs- und umweltpolitische Themen betreffen. Im Folgenden werden ausgewählte Fragen vorgestellt:

Für strategische Entscheidungsträger aus Politik und Verwaltung:

- Wie wirken sich unterschiedliche Beschaffungsstrategien auf den Haushaltsmittelbedarf aus?
- Welchen Einfluss hat die Technologieentwicklung der Fahrzeuge (z.B. Elektrifizierungsgrad, Reichweite, Robustheit) sowie der Infrastruktur (z.B. Ladetechnologie, Energiespeicher, Netzausbau) auf die Bewertung unterschiedlicher Beschaffungsstrategien?
- Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Flottenzusammensetzungen in Bezug auf die Fahrzeugantriebsarten (BEV/PHEV/ICV) auf die klimawirksamen Emissionen (direkt und indirekt) einer Flotte?

Für Flottenmanager:

- Welche technischen Eigenschaften der Fahrzeuge müssen in der Leistungsbeschreibung aufgelistet werden?
- Welche Vor- und Nachteile bieten verschiedene Beschaffungsoptionen wie Kauf, Leasing oder Fahrzeugkauf mit Batteriemiete?

Für Fuhrparkverantwortliche:

- Was ist bei der Einweisung der Nutzer in die Elektrofahrzeuge zu beachten?
- Welche Auswirkungen hat der Einsatz von Elektrofahrzeugen auf den jährlichen Haushalt (Fix- und Betriebskosten)?

Für Ladeinfrastrukturverantwortliche:

- Welche technischen Herausforderungen gibt es (Netzanschluss, etc.)?
- Welchen Investitionsbedarf gibt es?
- Ist ein Lademanagement erforderlich?

Für Anwender / Nutzer

- Welche polizeitaktischen Vor- und Nachteile bietet ein Elektrofahrzeug?
- Was ist bei Unfällen / Rettung / Panne zu beachten?

Für Werkstatt / Techniker:

- Welche Hochvolt-Schulungen sind notwendig und wie viele der Mitarbeiter sollten beschult werden?
- Wie ist mit verunfallten E-Fahrzeugen umzugehen?

Für Hersteller Fahrzeuge:

- Welche technischen Anforderungen (Ausstattung, Reichweite/Akkukapazität, Ladeleistung etc.) werden für BOS empfohlen?
- Wie hoch ist das geschätzte Absatzpotenzial?

Für Hersteller Ladeinfrastruktur:

- Welche technischen Anforderungen (Ladeleistung, Kommunikation, Lademanagement) werden für BOS gestellt?
- Sind Wartungsverträge gewünscht?

In AS 7.5 wurden die Ergebnisse aus AS 7.1 bis 7.3 zusammengeführt und evaluiert.

Die Zusammenführung und Evaluation der Ergebnisse erfolgte in 2020 und die Ergebnisse und Erkenntnisse finden Eingang in den Abschlussbericht sowie den Leitfaden. Die wichtigsten Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Flottenplanung ist eine komplexe Aufgabe und wird von unsicheren Einflussfaktoren und externen Akteuren am Markt beeinflusst.
- Gesetzliche Rahmenbedingungen lassen ein alleiniges Festhalten an ICV nicht zu. Klimaschutzvorgaben werden schrittweise verschärft und zwingen Fahrzeughersteller die Elektrifizierung des Antriebsstranges voranzutreiben. Gesetzliche Vorgaben, die zu einer (Teil-) Elektrifizierung der Flotte zwingen, sind in naher Zukunft sehr wahrscheinlich und sollten aufgrund ihrer erheblichen Auswirkungen bedacht und zeitgerecht vorbereitet werden.
- Das Marktangebot und die Technologieentwicklung von Fahrzeugen und der Ladeinfrastruktur beeinflussen die Entscheidungen von Flottenplanern. Es ist zu erwarten, dass der Elektrifizierungsgrad der Flotte weiter ansteigt, da in den kommenden Jahren das Produktportfolio der Automobilhersteller sich weiterhin tiefgehend verändern und die Technologieentwicklung voranschreiten wird. So wird auch der Flottenplaner einer behördlichen Flotte durch die Markteinführung von innovativen Antriebskonzepten und politischen Interventionen in seinem Entscheidungsraum beeinflusst.
- Die unterschiedlichen Beschaffungsstrategien von Fahrzeugen und der (zugehörigen) Ladeinfrastruktur erhöhen den jährlichen Bedarf in Bezug auf die Haushaltsmittel. Unter Einbezug der jährlichen Investitions- und Konsumtivmittel sowie des Elektrifizierungsgrades der betrachteten Flotte ist die Strategie „BEV“ vorteilhaft gegenüber allen anderen Strategien.
- Das Elektrifizierungspotenzial in ist vielen Anwendungsszenarien deutlich größer als von vielen angenommen.
- Die im Projekt eingesetzten, elektrifizierten Polizeifahrzeuge haben sich etabliert. Einzelne (hybride) Fahrzeuge erreichen Laufleistungen von bis zu 90.000 Kilometer im Jahr pro Fahrzeug.
- Die möglichen Einsatzbereiche der Elektrofahrzeuge innerhalb der Polizei sind insgesamt größer als bislang angenommen.
- Der Einsatz von Schnellladesäulen erhöht das Elektrifizierungspotenzial einer Flotte. Das Potenzial verteilt sich jedoch heterogen, je nach Nutzung des betrachteten Flottenteils (z. B. ESD oder KED).

- Die Elektrifizierung der polizeilichen Fahrzeugflotte erhöht zwar kurzfristig den Haushaltsmittelbedarf, jedoch bieten EV langfristig wirtschaftliche Vorteile.
- Der Erhalt des Status Quo ist weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll. Zusätzlich gilt es zu berücksichtigen, dass der Erhalt des Status Quo weder den gesetzlichen Mindestanforderungen gerecht wird, noch eine Marktverfügbarkeit von ICV bis 2030 garantiert werden kann.
- Das maßgeblich durch Förderprogramme beeinflusste Beschaffungsverhalten mit einem starken Fokus auf PHEV gilt es zu überdenken. Dieses Vorgehen kann allerdings maßgeblich zum Gelingen der Einführung von EV sowie insbesondere zur Erlangung einer hohen Nutzerakzeptanz beigetragen.
- Aufgrund des hohen ökonomischen und ökologischen Vorteils von BEV ist der Ausbau der Elektromobilität mit dieser Antriebsart vorrangig, und wenn polizeitaktisch möglich, zu beschaffen.
- Mit der empfohlenen BEV-Strategie können mittelfristig relative Einsparungen erwirtschaftet und die jährliche Steigerung des Haushaltsmittelbedarfes reduziert werden. Sie untermauert das innovative Erscheinungsbild der Polizei, erhöht die positive Außenwirkung, berücksichtigt die prognostizierte Entwicklung und sinkende Bedeutung konventionell angetriebener Fahrzeuge.
- Aus ökologischer Sicht weisen die Strategien CO₂ und EV extrem die geringsten klimawirksamen Emissionen auf – außer, die Randbedingungen entwickeln sich stark in eine für BEV ungünstige Richtung. Hier ist eine fortwährende Überprüfung und ggf. Anpassung der Strategie notwendig.
- Unabhängig von den Randbedingungen weisen BEV von allen Antriebsarten bis zum Jahr 2030 die geringsten klimawirksamen Emissionen über den gesamten Lebenszyklus auf.
- Aufgrund des jährlich um durchschnittlich 2,03% steigenden Haushaltsmittelbedarfs (Investitions- und Konsumtivmittel) – unabhängig von der zugrundeliegenden Strategie – sollte eine Anhebung des jährlichen Haushaltsmittelbudgets zur Sicherstellung der polizeilichen Mobilität erfolgen.
- Im Rahmen der Haushaltsführung gilt es eine Möglichkeit zu schaffen, welche den Ausgleich höherer Investitionsmittel durch geringere Konsumtivmittel innerhalb eines Budgetbereichs ermöglicht.
- Der Aufbau einer polizeieigenen einheitlichen Ladeinfrastruktur (LIS) wird dringend empfohlen und sollte sich an der jährlichen Ersatzbeschaffung von Elektrofahrzeugen orientieren. Der Aufbau sollte darüber hinaus zentral und behördenübergreifend koordiniert werden. Für BAO-Lagen²⁴ sollten zusätzlich mobile Schnellladestationen zur Verfügung stehen.

²⁴ Einsatzlagen der Besonderen Aufbauorganisation wie z.B. polizeiliche Großseinsätze oder Katastrophenlagen

- Eine Sensibilisierung der Mitarbeiter für das Thema „Elektromobilität“ sowie regelmäßige Schulungen sollten stattfinden.
- Die Rückkehr zu einer Flotte mit rein konventionell angetriebenen Fahrzeugen ist ökonomisch nicht sinnvoll.
- Je höher der BEV-Anteil an den jährlichen Ersatzbeschaffungen ist, desto schneller und deutlicher tritt eine Gesamtkostenersparnis ein. Es gilt somit der Beschaffungsgrundsatz „BEV vor PHEV“.
- Zur Erreichung eines formulierten Zieles, z. B. (bis zu) X% der Ersatzbeschaffungen durch Fahrzeuge mit (teil-)elektrischem Antrieb vorzunehmen, wird empfohlen, eine Verbindlichkeit z. B. in Form einer für die jeweiligen Einsatzbereiche maßgeschneiderten Quotierung bei der Ersatzbeschaffung festzulegen.
- Bei Neubau- und Erweiterungsneubauvorhaben sollten standardmäßig bereits zu errichtende Ladepunkte oder zugehörige Vorbereitungsmaßnahmen (wie z.B. Leerrohre, entsprechend dimensionierte Stromanschlüsse, Kernbohrungen) bei der Planung berücksichtigt werden. Diese Maßnahmen erhöhen die Baukosten zwar minimal, reduzieren jedoch die späteren Aufwände für Erdarbeiten sowie die Installations- und Montagekosten um ein Vielfaches.
- Die zu errichtenden Ladepunkte sollte sich an den tatsächlichen und taktisch relevanten Standorten der Fahrzeuge orientieren (z.B. an der Straße vor dem Dienstgebäude). Der Standort hat einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzerakzeptanz und damit auch auf die potenzielle Betriebskostensparnis. Häufig vermutete Beschädigungen oder missbräuchliche Benutzungen von polizeilicher Ladeinfrastruktur, welche öffentlich zugänglich ist, konnte bislang nicht festgestellt werden.
- Die beschriebenen Vorteile der Elektromobilität hängen maßgeblich mit der Nutzerakzeptanz zusammen. Je intensiver BEV genutzt werden, desto größer ist die Wirkung ihrer Vorteile.
- Der Ausbau der Elektromobilität wird zu einer Diversifizierung der Flotten führen. Für jeden Einsatzzweck wird das passende Fahrzeug mit jeweils individuellen Standards, jedoch unter Berücksichtigung der übrigen Flottenstandards, beschafft werden.

AP 8: Entwicklung des Leitfadens zur integrierten Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur

Das **AP 8** verfolgt das Ziel aus den evaluierten Ergebnissen aus AP 7 Handlungsempfehlungen für die integrierte Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur abzuleiten und diese in einen Leitfaden zu überführen.

In AS 8.1 wurden Handlungsempfehlungen zur integrierten Flottenplanung und -steuerung aus ökologischer und ökonomischer Sicht abgeleitet (angepasst).

Handlungsempfehlung basierend auf der Bewertung der ökologischen Auswirkungen der Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antrieben

Aus Sicht der Auswirkungen auf das Klima wird eine klare Empfehlung ausgesprochen, eine möglichst weitreichende Verbreitung von BEV in der Flotte der Polizei anzustreben. Diese weisen unter realen Fahrbedingungen um bis zu 44 % niedrigere klimawirksame Emissionen als vergleichbare ICV auf, wobei die Emissionen für die Produktion und die Entsorgung der Fahrzeuge bereits mit eingerechnet sind. Sollten technische Anforderungen einen Einsatz von BEV nicht zulassen, so ist stattdessen die Nutzung von PHEV erstrebenswert. Deren klimawirksames Emissionsreduktionspotenzial beträgt bis zu 19 % verglichen mit vergleichbaren ICV.

Diese Erkenntnisse werden bestätigt durch die Abschätzung der klimawirksamen Emissionen für verschiedene **Beschaffungsstrategien** der Polizei Niedersachsen bis 2030. Unter allen betrachteten Randbedingungen (z.B. Entwicklung des deutschen Strommixes) weisen BEV die geringsten klimawirksamen Emissionen für den betrachteten Zeitraum auf. Je nach Entwicklung der Randbedingungen und Strategie lassen sich so zwischen 2020 und 2030 für die Flotte der Polizei Niedersachsen (2.355 Fahrzeuge) insgesamt bis zu 15.000 t CO₂-Äquivalente einsparen (Unterschied zwischen den einzelnen Beschaffungsstrategien und Zukunftsszenarien).

Handlungsempfehlungen basierend auf der Bewertung der haushalterischen und polizeispezifischen Auswirkungen der Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antrieben

Basierend auf den unter AS 6.1 dargestellten Ergebnissen lassen sich für die Flotte der Polizei Niedersachsen folgende Handlungsempfehlungen ableiten (vgl. auch AS 7.5):

- Die Rückkehr zu einer Flotte mit rein konventionell angetriebenen Fahrzeugen ist ökonomisch nicht sinnvoll.
- Je höher der BEV-Anteil an den jährlichen Ersatzbeschaffungen ist, desto schneller und deutlicher tritt eine Gesamtkostenersparnis ein. Es gilt somit der Beschaffungsgrundsatz „BEV vor PHEV“.
- In der Haushaltsführung sollten Möglichkeiten geschaffen werden, höhere Fixkosten durch geringere Betriebskosten innerhalb eines Budgetbereichs ausgleichen zu können.

- Zur Erreichung des formulierten Zieles, (bis zu) 10% der Ersatzbeschaffungen durch Fahrzeuge mit (teil-)elektrischem Antrieb vorzunehmen, wird empfohlen, eine Verbindlichkeit z.B. in Form einer Quotierung bei der Ersatzbeschaffung festzulegen.
- Darüber hinaus wird ein Anteil an Fahrzeugen mit (teil-)elektrischem Antrieb von mindestens 20% an den jährlichen Ersatzbeschaffungen empfohlen.

Neben der konkreten Fahrzeugbeschaffung sollte parallel der Ausbau einer flächendeckenden, polizeieigenen Ladeinfrastruktur vorangetrieben werden.

- Bei Neubau- und Erweiterungsneubauvorhaben sollten standardmäßig bereits zu errichtende Ladepunkte oder zugehörige Vorbereitungsmaßnahmen (wie z.B. Leerrohre, entsprechend dimensionierte Stromanschlüsse, Kernbohrungen) bei der Planung berücksichtigt werden. Diese Maßnahmen erhöhen die Baukosten zwar minimal, reduzieren jedoch die späteren Aufwände für Erdarbeiten sowie die Installations- und Montagekosten um ein Vielfaches.
- Die zu errichtenden Ladepunkte sollte sich an den tatsächlichen und taktisch relevanten Standorten der Fahrzeuge orientieren (z.B. an der Straße vor dem Dienstgebäude). Der Standort hat einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzerakzeptanz und damit auch auf die potenzielle Betriebskostensparnis. Häufig vermutete Beschädigungen oder missbräuchliche Benutzungen von polizeilicher Ladeinfrastruktur, welche öffentlich zugänglich ist, konnte bislang nicht festgestellt werden.

In AS 8.2 erfolgte die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur integrierten Planung und Steuerung der Lade- und Energieinfrastruktur.

Um die zukünftige Belastung des Netzanschlusses durch eine steigende Anzahl an BEV zu minimieren und dort gleichzeitig hohe Kosten für die Ausweitung des Netzanschlusses einzusparen wird die Verwendung einer Ladesteuerung empfohlen. Die ESD-Fahrzeuge sollten dabei einen Prioritätsstatus zugeschrieben bekommen, da es mit einem hohen Risiko behaftet ist diese Fahrzeuge in ihrer Ladeleistung zu regulieren. Es ist sinnvoll Fahrzeuge, die über mehrere Stunden bzw. die Nacht an der Dienststelle stehen, auf die Mindestladeleistung herabzusetzen. Dies schont die Fahrzeugbatterie. Sollen einzelne Fahrzeuge der Flotte schnellstmöglich laden, empfiehlt sich der Ladealgorithmus First Come First Serve, welcher die Ladeleistung nach dem Ankunftszeitpunkt steuert.

Generell lässt sich weiterhin empfehlen, Photovoltaik-Anlagen auf den Dachflächen der Dienststellen zu installieren. Zusätzlich hilft ein Energiespeicher den Eigenverbrauch zu steigern. Die Nutzung von selbst erzeugter Energie senkt die CO₂-Emissionen in der Nutzung auf 0. Zudem werden Stromkosten eingespart, die die Investition in eine PV-Anlage innerhalb weniger Jahre amortisieren.

Die Überführung der Handlungsempfehlungen in einen Leitfaden wurde in AS 8.3 durchgeführt.

Der zu entwickelnde Leitfaden richtet sich an acht unterschiedliche Adressaten:

- Strategische Entscheidungsträger aus Politik und Verwaltung
- Flottenmanager
- Fuhrparkverantwortlicher
- Ladeinfrastrukturverantwortlicher
- Anwender/Nutzer
- Werkstatt/Techniker
- Fahrzeughersteller
- Hersteller von Ladeinfrastruktur

Mit Hilfe von Leitfragen werden die unterschiedlichen Adressatengruppen durch die für sie relevanten Abschnitte des Leitfadens geführt. Insgesamt gliedert sich der Leitfaden nach derzeitigem Stand wie folgt in drei Hauptabschnitte:

- I Einleitung und thematische Einführung
 - 1 Grußworte
 - 2 Danksagung
 - 3 Management Summary / Kurzfassung
 - 4 Einleitung
 - 5 Begrifflichkeiten
 - 6 Datenbasis und Anwendungsfälle
- II Zentrale Ergebnisse und Handlungsempfehlungen
 - 7 Entscheidungsunterstützung und Rahmenbedingungen
 - 8 Beschaffung
 - 9 Betrieb
- III Erläuterungen und Verweise
 - 10 Grundlagen
 - 11 Sachverzeichnis
 - 12 Literaturverzeichnis
 - 13 Kontakt
 - 14 Autoren

Für die Gewinnung valider Erkenntnisse sowie die Ableitung wohl fundierter Handlungsempfehlungen wurde die Messdatenerhebung bis zum Ende der Projektlaufzeit (31. März 2020; Ende der kostenneutralen Verlängerung) ausgeweitet. Dies ermöglicht eine umfangreiche, ganzjährige Datenerhebung. Um diese, für den Leitfaden äußerst relevanten Ergebnisse mit aufnehmen zu können, ist die Fertigstellung des Leitfadens bis zum 31.10.2020 geplant.

3.5. Übergreifende wichtige Ereignisse

Da das Thema Elektromobilität in der Fahrzeugflotte der Polizei Niedersachsen noch relativ jung und wenig bekannt ist, war bereits zu Projektbeginn erkennbar, dass die (polizei-) interne Öffentlichkeitsarbeit eine besondere Rolle spielt. Daher sind bereits zu Beginn des Projekts mehrere Vorstellungstermine initiiert und auf allen Ebenen durchgeführt worden. Die Veranstaltungen wurden dabei insbesondere an besonders relevanten Stakeholdern orientiert.

Aufgrund des verschobenen Projektstarts auf den 01.09.2016, konnte die offizielle Kickoff-Veranstaltung nach einiger Vorarbeit erst am 25.11.2016 durchgeführt werden. Mit diesem Termin startete auch zeitgleich die externe Öffentlichkeitsarbeit, welche zwischenzeitlich stark ausgeweitet wurde. Neben den regionalen und überregionalen Printmedien und den bekannten Online-Medien sowie Social-Media-Kanälen wie Facebook und Twitter (@Projekt_lautlos; #lautlos), konnten durch verschiedene Aktionen zusätzlich Veröffentlichungen im Rahmen von Radiointerviews oder bundesweite Print- und Herstellermedien platziert werden.

Insgesamt haben die projektbeteiligten Institute der TU Braunschweig und das Projektteam der Polizei Niedersachsen im Zeitraum 2016 bis Ende September 2020 bereits über 132 gemeinsame Termine wahrgenommen.

Aufgrund der frühzeitig veranlassten Initiierung des Beschaffungsprozesses konnte die Bestellung von 15 Plug-in-Hybrid-Funkstreifenwagen noch in 2016 veranlasst werden. Nach erfolgter Baubesprechung Anfang 2017 konnte die Auslieferung der bereits mit Datenmesstechnik ausgestatteten Fahrzeuge am 10.08.2017 feierlich auf dem Schlossplatz in Braunschweig an die Nutzer übergeben werden (siehe Abbildung 66).



Abbildung 66: Feierliche Fahrzeugübergabe am 10.08.2017 auf dem Schlossplatz in Braunschweig

Darüber hinaus wurden zunehmend deutsche und europäische Polizeiorganisationen in das Projekt *lautlos&einsatzbereit* eingebunden. Hier erfolgte ein grenzübergreifender Informationsaustausch sowie, im Fall der Polizei Luxemburg, eine gemeinsame im Oktober 2018 gestartete Kooperation. Eine Übersicht der beteiligten Länder ist der nachfolgenden Übersicht zu entnehmen.



Abbildung 67: Übersicht der am Erfahrungs- und Informationsaustausch beteiligten Länder

Die seitens der TU Braunschweig beschaffte Datenmesstechnik konnte durch die Verzögerungen im Rahmen der WLTP-Umstellung und des Verkaufes von Opel nicht wie vorgesehen in die beauftragten Fahrzeuge eingebaut werden. Darüber hinaus mussten aus verunfallten und völlig zerstörten Projektfahrzeugen (vgl. Abbildung 42) die Messtechnik wieder ausgebaut werden und standen dem Projekt „zusätzlich“ zur Verfügung. Ein Datenlogger wurde in einem Einsatzfahrzeug der Autobahnpolizei Winsen/Luhe eingebaut, um das Szenario „ESD BAB“ zu erforschen (vgl. Abbildung 73).

Bei weiteren Fahrzeugen des Projektpartners in Luxemburg wurde ebenfalls Projektmesstechnik verbaut. Diese betreibt zwei Tesla Model S im Einsatzszenario „Autobahn“ sowie vier Fahrzeuge VW eGolf als FUSTW im „Einsatz- und Streifendienst“ ländlich und urban.



Abbildung 68: Mit Messtechnik ausgestatteter FUSTW (BEV) im Szenario „BAB“ der Polizei Luxemburg



Abbildung 69: Mit Messtechnik ausgestatteter FUSTW (BEV) im Szenario "ESD rural" der Polizei Luxemburg

Damit konnte das Projekt auf vergleichbare aber bereits ausgerüstete und betriebsbereite Polizeifahrzeuge (BEV) analoger Szenarien zurückgreifen und reduzierte dadurch kostenneutral die bereits eingetretenen Verzögerungen. Darüber hinaus konnte der

vollelektrische Betrieb in einem weiteren polizeirelevanten Szenario (Autobahn) im Projekt sowie im Leitfaden kostenneutral berücksichtigt werden. Weiterhin konnte durch die Kooperation der (Projekt-)Fahrzeugbestand kostenneutral erhöht werden.



Abbildung 70: Gemeinsame Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der Projektpartner

Das gute Prestige des Projekts konnte durch die Kooperation noch einmal verstärkt und auf eine internationale Ebene gehoben werden. Dadurch wurde auch die bisherige positive Presseberichterstattung gesteigert.

Aufgrund der Einbindung weiterer nationaler Kooperationspartner (andere Länderpolizeien und Feuerwehren) konnten teils neue fachliche (Anwender-)Perspektiven berücksichtigt und damit die Akzeptanz und Reichweite für den Leitfaden als Projektergebnis erhöht werden.



Abbildung 71: Unterzeichnung des Kooperationsvertrages in Luxemburg

Bereits bei der ursprünglichen Planung der Fahrzeug- und Infrastrukturbeschaffungen im Projekt *lautlos&einsatzbereit* zeigte sich, dass herstellerseitig kontinuierlich neue bzw. weiterentwickelte Fahrzeuge angeboten wurden. Daher beteiligte sich das Projekt neben der Beschaffung und Präsentation von Elektrokrädern in 2018 zusätzlich auch an der Beschaffung des europaweit ersten zum FUSTW ausgebauten Opel Ampera-e.



Abbildung 72: Opel Ampera-e (BEV) ausgebaut als FUSTW

Die Analyseergebnisse indizieren deutlich höhere technische Potenziale in der Flotte der Polizei Niedersachsen mit extremen Anwendungsszenarien als bislang vermutet. Um die Grenzbereiche innerhalb der extremen Anwendungsszenarien noch weiter zu erforschen, wurde ein FUSTW der Autobahnpolizei Winsen/Luhe mit der im Projekt verwendeten Datenmesstechnik ausgestattet.

Fahrzeuge der Autobahnpolizei zeichnen sich im Vergleich zu konventionellen FUSTW im Einsatz- und Streifendienst in urbanen und ländlichen Regionen insbesondere durch folgende Faktoren aus:

- Deutlich längere Fahrtstrecken (pro Fahrt und pro Tag)
- Höhere Motorleistung
- Höhere Endgeschwindigkeit (>230 Km/h)
- Höhere Beschleunigung (Einfädeln vom Standstreifen in den fließenden Verkehr)
- Höhere Zuladung
- Größerer Stauraum (Mitführen von umfangreicher Absicherungstechnik)
- Höheres Fahrzeugsegment (obere Mittelklasse)



Abbildung 73: Mit Projektmesstechnik ausgestattetes Einsatzfahrzeug der Autobahnpolizei Winsen/Luhe (Mercedes-Benz E 350d)

Aufgrund des hohen Interesses an dem Projekt *lautlos&einsatzbereit*, beteiligten sich die Projektpartner auch an nationalen und internationalen Veranstaltungen mit Bezug zu potenziellen Zielgruppen.



Abbildung 74: Ausgestellte Projektfahrzeuge beim Journée de la Police 2019 in Mersch (Luxemburg)

4. Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

Der Projektstart erfolgte nach erfolgreicher Bewilligung am 01.09.2016. Durch die Messzyklusumstellung von NEFZ auf WLTP kam es zu herstellerseitigen Verzögerungen bei der Auslieferung von acht Projektfahrzeugen. Darüber hinaus führte eine nicht bediente Ausschreibung zu Verzögerungen bei der Auslieferung von weiteren sechs Projektfahrzeugen. Durch die verspäteten Auslieferungen konnten die Installation der Messtechnik und die Datenerfassung erst verspätet im ersten Quartal 2019 erfolgen. Die Verzögerung betrug hier etwa sechs Monate.

Bei den verzögert ausgelieferten Fahrzeugen handelte es sich maßgeblich um rein elektrische Fahrzeuge (BEV), welche u.a. als Funkstreifenwagen im Einsatz- und Streifendienst der Polizei eingesetzt werden sollten. In diesem Szenario wurden im Rahmen des Projektes bislang hauptsächlich Hybridfahrzeuge (PHEV) eingesetzt, sodass die Erprobung der BEV in diesem Szenario aufgrund des erwarteten hohen Erkenntnisgewinnes für das Projekt und den zu entwickelnden Leitfaden von besonderem Interesse war.

Darüber hinaus konnte aufgrund von Softwareproblemen bei den Ladestationen (Wallboxen), und einer damit einhergehenden fehlerhaften Übermittlung der Daten, nicht unmittelbar mit der planmäßigen Arbeit begonnen werden. Die Wallboxen mussten zunächst durch den Hersteller umprogrammiert werden. Die uneingeschränkte Datenerhebung erfolgte somit verspätet ab dem ersten Quartal 2019. Auch hier betrug die Verzögerung durch die herstellerseitige Anpassung der Software etwa sechs Monate.

Für die Gewinnung valider Erkenntnisse sowie die Ableitung wohl fundierter Handlungsempfehlungen war eine umfangreiche, ganzjährige Datenerhebung unerlässlich. Eine Erprobung der Fahrzeuge sowie der Ladeinfrastruktur im Herbst und Winter wäre jedoch nicht möglich gewesen, obwohl die Umgebungsbedingungen in den unterschiedlichen Jahreszeiten einen hohen Einfluss auf den Betrieb von Elektrofahrzeugen haben und die Ergebnisse damit von hohem Interesse waren.

Um eine ausreichend valide Datenmenge als Grundlage zur Erstellung des Leitfadens nutzen zu können, wurde die notwendige Dauer einer kostenneutralen Verlängerung um sieben Monate (bis 31.03.2020) erhoben, beantragt und bewilligt. Diese ermöglichte die fortlaufende Erhebung der projektbezogenen Daten in den Fahrzeugen der Polizei im Rahmen von Forschungsvorhaben gem. §25 NDSG. Der ursprüngliche Zeitplan wurde geringfügig angepasst und ist Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: Zeitplan *lautlos&einsatzbereit*

Zeitplan	2016		2017				2018				2019				2020	
	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2
Modul 0																
AP 0																
Modul 1																
AP 1																
AS 1.1																
AS 1.2																
AS 1.3																
AS 1.4																
AS 1.5																
Modul 2																
AP 2																
AS 2.1																
AS 2.2																
Modul 3																
AP 3																
AS 3.1																
AS 3.2																
AS 3.3																
AS 3.4																
AS 3.5																
AS 3.6																
AS 3.7																
AS 3.8																
AP 4																
AS 4.1																
AS 4.2																
AS 4.3																
AP 5																
AS 5.1																
AS 5.2																
AS 5.3																
AP 6																
AS 6.1																
AS 6.2																
Modul 4																
AP 7																
AS 7.1																
AS 7.2																
AS 7.3																
AS 7.4																
AS 7.5																
AP 8																
AS 8.1																
AS 8.2																
AS 8.3																
Meilensteine																

- verschoben aufgrund des verspäteten Projektstarts
- zeitliche Anpassung aufgrund des verspäteten Projektstartes
- zeitliche Anpassung durch Verzögerung im Beschaffungsprozess
- zeitliche Anpassung durch Verzug des MS 2
- zeitliche Anpassung durch Verzug der Ladesäulenbeschaffung
- verschoben aufgrund des verspäteten Ladesäulenbeschaffung

5. Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

Alternativ angetriebene Fahrzeuge und deren Einsatz in Flotten mit besonderen Anforderungen

Im Bereich der Flottenplanung befassen sich Initiativen u.a. mit der Schaffung eines Systems für die bessere Integration von Elektromobilität in den Privat- und Wirtschaftsverkehr (iZEUS, eFlotte-Hessen, Initiative BB und Initiative-BW), der Konzeption und Erprobung von IKT-Lösungen für die Elektromobilität (Shared E-Fleet, sMobility, O(SC)²ar), den Potenzialen zur Einbindung von gewerblichen Elektrofahrzeugen in Logistik-, Energie- und Mobilitätsinfrastrukturen (eMobility-Scout, 3connect), der Entwicklung von intelligenten Mobilitätsmanagementsystemen (EcoGuru, I-eMM) und Einsatzprofiloptimierungen durch effektives Flottenmanagement zur Maximierung der jährlichen Fahrleistung von Elektrofahrzeugen im Pendler- und Außendienstmitarbeiterbetrieb (RheinMobil) sowie unterstützende Systeme zur besseren Integration und Akzeptanz von Elektromobilität (BIE). Weitere Aktivitäten zielen u.a. auf die Vermarktung einer Lösung zur Entscheidungsfindung über die Umstellung auf eine Elektrofahrzeugflotte (elektromobilisiert.de), auf neue Geschäftsmodelle sowie auf Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und ökologische Bewertungen für die Flottenplanung (ePowered Fleets Hamburg (alphabet), Fleets Go Green) ab. Ein integrierter Planungsansatz, wie er im Projekt *lautlos&einsatzbereit* im Fokus stand, fehlt in der Literatur sowie in der Praxis bislang.

Infrastrukturplanung

Der Fokus im Bereich der Infrastrukturplanung liegt auf der Integration eines Energie- und Lademanagements, welches strategische Entscheidungen maßgeblich beeinflusst. Initiativen zielen auf die Schaffung von Plattformen für dessen Integration (eFlotte, EV Charging Suite) und setzen auf ökonomische Steuerungsregeln. Ein Management, welches in allen Anwendungsfällen integriert werden kann, fehlt bislang. Darüber hinaus fehlt die Option das Management flexibel nach Flottenzielen (ökonomisch, ökologisch, verfügbar) variieren zu können.

Entscheidungsunterstützung für Flottenplaner im Spannungsfeld zwischen Politik, Umwelt, Markt und Anbietern

Existierende Ansätze zur Entscheidungsunterstützung beleuchten einzelne Teilbereiche des Spannungsfeldes. Dazu zählen insb. Arbeiten, die an der TUBS entstanden sind. Mennenga (2014) fokussiert auf den Flottenplaner und untersucht die lebenszyklusorientierte Flottenplanung mit alternativ angetriebenen Fahrzeugen. Müller et al. (2018) untersuchen den Zusammenhang zwischen Flottenplaner und Markt/Umwelt mit dem Fokus auf Planungsentscheidungen in Flugzeugflotten. Mummel (2019) entwickelt ein Werkzeug zur Planungsunterstützung der Energie- und Ladeinfrastruktur. Wachter (2016) beschäftigt sich mit Infrastruktur- und Fahrzeuganbietern und analysiert Wettbewerbsstrategien zur Einführung von Fahrzeugen mit innovativen Antriebstechnologien. Kieckhäfer (2013) analysiert die Marktanteilsentwicklung innovativer Antriebe zur Unterstützung der strategischen Planung von

Produktportfolios in der Automobilindustrie. Der Fokus liegt auf Fahrzeuganbietern und dem Einfluss von politischen Maßnahmen. Wansart (2012) analysiert Strategien der Automobilindustrie zur Einhaltung umweltgesetzlicher Vorgaben. Hier bilden die aus dem Projekt *lautlos&einsatzbereit* resultierenden Ergebnisse einen ersten, wichtigen Ansatz. Eine weitere Ausgestaltung sowie die Betrachtung weiterer Akteure des Spannungsfeldes bilden weiteren Forschungsbedarf (vgl. Kapitel 6).

Stand der Technik bei der Datenerhebung und -analyse

Die im Projekt *lautlos&einsatzbereit* durchgeführte Messdatenerhebung bei der Polizei fand erstmalig in diesem Umfang statt, sowohl hinsichtlich der Anzahl der vermessenen Fahrzeuge als auch des betrachteten Zeitraums. Einige Fahrzeuge im Einsatz- und Streifendienst (ESD) haben seit Beginn der Datenerhebung bereits Laufleistungen von mehr als 150.000 km erzielt. Bei Verlängerung der Datenerhebung könnten einzelne Fahrzeuge bis zum Ende ihrer vorgesehenen Lebensdauer vermessen werden. Eine zu diesem Zeitpunkt erfolgte datenloggerbasierte Vermessung von Fahrzeugen über die gesamte Nutzungsphase ist aus der Literatur nicht bekannt.

6. Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

Wirtschaftliche Verwertung

Durch die erfolgreiche und sehr sichtbare Erprobung von PHEV und BEV bei der Polizei Niedersachsen wurden die Fahrzeuge unter Extrembedingungen bzgl. der Verfügbarkeit, der Flexibilität, der Reichweite und der Fahrleistung getestet. Mit dieser erfolgreichen Erprobung wurde und wird der Öffentlichkeit gezeigt, dass PHEV und BEV unter diesen Extrembedingungen eine gute Performance erreichen und somit der Einsatz in weitere Anwendungsszenarien möglich ist. Hemmnisse und Ängste des Einsatzes von Elektrofahrzeugen in gewerblichen und kommunalen Flotten wurden durch eine intensive Öffentlichkeitsarbeit (Messen, Veranstaltungen, Zeitschriftenbeiträge, Twitter-Account, etc.) und die Verbreitung der Ergebnisse und positiven Erfahrungen reduziert, was einen zunehmenden Einsatz von Elektrofahrzeugen in diesen zur Folge hatte und hat. Zudem führt die überwiegende Gestaltung der Fahrzeuge im Corporate Design der Polizei dazu, dass die Polizei Niedersachsen mit gutem Beispiel vorangeht und die Bevölkerung weiter für das Thema Elektromobilität sensibilisiert wird.

Das Vorhaben mündete in der Bereitstellung eines Leitfadens für die Beschaffung und den Betrieb von BEV und PHEV bei der Polizei sowie dem weiteren öffentlichen Dienst mit ähnlichen Anwendungsprofilen. Der Bedarf eines derartigen Leitfadens ist vorhanden, denn bereits vor Projektbeginn sowie während der Projektlaufzeit war erkennbar, dass weitere Polizeidienststellen und Einrichtungen des öffentlichen Dienstes, wie Einsatz- und Rettungsdienste der Feuerwehr, ebenfalls am Einsatz von BEV und PHEV in ihren Flotten interessiert sind. Besondere Anforderungen an diese Fahrzeuge erschwerten allerdings bisher die gezielte Integration in die Flotten. Zudem scheiterte das Vorhaben häufig aufgrund der hohen Investitionen für Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur, der damit verbundenen finanziellen Risiken und der fehlenden Informationen für Flottenbetreiber. Betreiber von Flotten mit besonderen Anforderungen sind nun auf Grundlage des entwickelten Leitfadens in der Lage Elektrofahrzeuge in bestehende Flotten zu integrieren.

Wissenschaftliche Verwertung

Die beteiligten Hochschulinstitute haben die Projektinhalte sowie die erzielten Ergebnisse in allgemeingültige Erkenntnisse gewandelt und eine Verbreitung der Ergebnisse in Lehre und Forschung vorgenommen. Dies schließt z. B. neue Lehrinhalte im betriebs-, ingenieur- und naturwissenschaftlichen Bereich ein. Es wurden zentrale Analyse- und Forschungsergebnisse auf nationaler und internationaler Ebene in wissenschaftlichen Publikationen sowie auf Fachtagungen veröffentlicht (vgl. Kapitel 8). Die wissenschaftliche Verwertung ist in enger Verknüpfung mit der wirtschaftlichen Verwertung zu betrachten. Gleichzeitig bildet die Vernetzung der Polizei mit Akteuren der Forschung die Grundlage zur zukunftsfähigen Nutzung von PHEV und BEV bei weiteren Flotten im öffentlichen Dienst. Die Ergebnisse des Projektes flossen und fließen in die Arbeiten des Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik (NFF) sowie der Technischen Universität Braunschweig (TUBS) ein. Die

Begleitung des Vorhabens sowie die Verbreitung der Ergebnisse erfolgte darüber hinaus über die Internet-Präsenz des NFF sowie der TUBS.

Weiterer F&E-Bedarf

Ausweitung der Erprobung und Datenerfassung

Die Ausweitung der Erprobung und Datenerfassung innerhalb der polizeilichen Flotte würde die Untersuchung von Fragestellungen ermöglichen, deren Betrachtung im Projekt nicht vorgesehen waren. Sie zielt auf die Gewinnung zusätzlicher Erkenntnisse bzgl. der Rahmenbedingungen der polizeilichen Flotte ab. Hierzu zählen u.a.:

- die Betrachtung neuer Einsatzszenarien (z.B. Autobahndienststellen), zusätzlicher Fahrzeugklassen (z.B. leichte Nutzfahrzeuge), neuer technischer Entwicklungen (z.B. höhere Reichweiten) oder neuer Antriebstechnologien (z.B. Wasserstoff),
- die Untersuchung der Fahrzeug- und Batteriealterung sowie die Berücksichtigung längerer Betrachtungsintervalle von Wartungs- und Unterhaltskosten sowie Verschleiß,
- die Betrachtung der Nutzerakzeptanz,
- die Analyse von Auswirkungen und Interdependenzen bei einer höheren Flottendurchdringung mit elektrischen und elektrifizierten Fahrzeugen,
- die Datenerhebung bei Schnellladeinfrastruktur (DC), die Betrachtung wechselseitiger Auswirkungen zwischen AC- und DC-Ladung, die Weiternutzung von Speichersystemen.

Der Mehrwert resultiert insbesondere aus einem längeren Datenerfassungszeitraum und der damit einhergehenden gesteigerten Validität der Datenbasis sowie einer höheren Flottendurchdringung von Elektrofahrzeugen.

Entwicklung eines Methoden- und Werkzeugbaukastens zur Unterstützung des strategischen Flottenmanagements für Mischflotten

Die Entwicklung eines Methoden- und Werkzeugbaukasten würde der Unterstützung der strategischen Planung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur im Spannungsfeld zwischen Politik, Umwelt & Markt sowie Anbietern unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Interdependenzen dienen. Ein derartiger Ansatz würde die Beantwortung u.a. folgender Fragen ermöglichen:

- Wie wirken sich unterschiedliche Beschaffungsstrategien auf Alterung, Schadstoff- und CO₂-Reduktion, Kostenersparnis sowie haushalterische Vorgaben der Flotte aus?
- Welchen Einfluss haben die Technologieentwicklung der Fahrzeuge (z.B. Elektrifizierungsgrad, Antriebstechnologie) sowie der Infrastruktur (z.B. Ladetechnologie, Energiespeicher, Netzausbau) auf die Bewertung unterschiedlicher Beschaffungsstrategien?
- Wie wirken sich unterschiedliche politische, umwelt- oder marktseitige Anreize und Anforderungen auf die Bewertung unterschiedlicher Beschaffungsstrategien aus?

7. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Einsatz von hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugen und Erreichung des Ziels 2020

Die Ergänzung der Polizeiflotte Niedersachsen durch insgesamt 53 BEV und PHEV trug zur Steigerung der Anzahl von Elektrofahrzeugen in Deutschland bei. Durch den Einsatz bei der Polizei Niedersachsen ist die Anzahl der erreichten Nutzer um ein Vielfaches höher als bei Privatkäufern.

Mitarbeitende konnten und können die BEV und PHEV während ihres Dienstes erproben, wodurch auch potenzielle Käufer gewonnen werden. Die Fahrzeuge stießen bei den Nutzenden und in der breiten Öffentlichkeit auf eine hohe Begeisterung aber auch auf Vorbehalte. Einige Vorbehalte konnten während der Projektlaufzeit sowohl durch eigene Nutzungserfahrungen als auch durch eine große Präsenz des Projektes bei öffentlichen Veranstaltungen und Messen abgebaut werden.

Darüber hinaus sind die Fahrzeuge der Polizei Niedersachsen durch ständige Einsatz- und Streifendienste sowie durch Fiskalfahrten permanent im öffentlichen Raum präsent, die Beschäftigten der Polizei in häufigem Austausch mit der Bevölkerung und dadurch sehr geeignete Werbeträger für den Einsatz von Elektrofahrzeugen. Zudem hat die Polizei eine Vorbildfunktion in der Gesellschaft, welche sie zielführend für die Promotion von Elektrofahrzeugen einsetzen kann.

Erreichung der klimapolitischen Ziele des Sektors Verkehr

Durch den dauerhaften Einsatz der BEV und PHEV bei der Polizei Niedersachsen ist es gelungen, vollelektrisch oder bei Einsatz- und Streifendiensten mit PHEV teilelektrisch zu fahren und dadurch bereits kurzfristig zur Verringerung der Umwelt- und Lärmbelastung in ländlichen und städtischen Gebieten beizutragen. So konnten mit den Projektfahrzeugen allein während der Projektlaufzeit mehr als 150 t CO₂-äq. eingespart werden.

Langfristig unterstützt der im Rahmen dieses Projektes entwickelte Leitfaden den Einsatz von BEV und PHEV in Flotten mit besonderen Anforderungen, indem der Leitfaden zur Vereinheitlichung und Vereinfachung der Beschaffung und des Einsatzes von Elektrofahrzeugen beiträgt. Es werden Hemmnisse für die Beschaffung und den Einsatz von PHEV und BEV in Flotten mit ähnlich hohen Anforderungen (Einsatz- und Rettungsdienst der Feuerwehr, Zoll, ...) abgebaut. Die damit einhergehende Zunahme an Elektrofahrzeugen in Flotten des öffentlichen Diensts trägt zur weiteren Verringerung der Umwelt- und Lärmbelastung in ländlichen und städtischen Gebieten bei. Über die gesamte Projektlaufzeit - bis heute- erhielt das Projektteam diverse Anfragen. Dazu zählten beispielsweise

- Kooperationsangebote,
- Beratungsanfragen von Flottenbetreibern, Fahrzeugherstellern, Zulieferer, Energieversorgungsunternehmen und Ladeinfrastrukturanbieter,

- Anfragen zur Begleitung unterschiedlicher wissenschaftlicher Arbeiten,
- Besichtigungs- und Hospitationsanfragen,
- Konkrete Fragestellungen sowie lokale Anliegen aus nahezu sämtlichen Bundesländern und angrenzenden europäischen Nachbarstaaten (Interessenten aus privaten, teilöffentlichen und öffentlichen Sektoren)
- Sachstandsanfragen,
- Medienanfragen (Print, Radio, Fernsehen, Online) etc.

Aufgrund des sehr hohen Interesses wurden zunehmend größere Zeitanteile des Projektteams in die Öffentlichkeitsarbeit und die Beantwortung der Anfragen investiert (vgl. Abbildung 67).

Erschließung des Klima- und Umweltvorteils von plug-in-hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugen im Zusammenwirken mit Energieversorgungssystemen

Der Zuwachs von Elektrofahrzeugen bedeutet in den nächsten Jahren einen erhöhten Bedarf an bereitzustellender Energie. Um den Ladestrom der Fahrzeuge vorrangig aus erneuerbaren Energien zur Verfügung zu stellen, werden neue Erzeugungsanlagen benötigt. Die gezielte Integration von lokalen dezentralen Erzeugungsanlagen erhöht den Anteil erneuerbarer Energien am Ladestrom und kann die Energiekosten für den Nutzer reduzieren. Auf Basis der Fahrdaten der BEV und PHEV wurde innerhalb der Lademanagementsimulation eine Möglichkeit des Einsatzes lokaler Erzeugungsanlagen aufgezeigt. Auf Basis von erhobenen Fahr-, Energie- und Ladedaten und der dadurch ermittelten Fahrprofile der Dienstfahrzeuge kann mit Hilfe der Simulation das einsparpotential an Kosten und CO₂-Emissionen durch Erneuerbare Energien berechnet werden. Somit ist es möglich, das Potenzial der Nutzung von lokal erzeugtem regenerativem Strom in Kombination mit einem intelligenten Lademanagement in Flotten mit besonderen Anforderungen bzgl. der ökologischen und ökonomischen Vorteilhaftigkeit abzuschätzen.

8. Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses

Erfolgte Veröffentlichungen:

- Mummel, J.; Suckow, O. (2017): lautlos & einsatzbereit - Integrierte Planung und Steuerung von Flotten-, Energie-, Ladeinfrastruktur in NewsMagazin „E-MAIL“ zum Forum ElektroMobilität - KONGRESS 2017, Berlin
- Suckow, O. (2017): Elektromobilität in polizeilichen Fuhrparks, Seminar Polizeitechnik im Wandel 2017, Deutsche Hochschule der Polizei, Münster
- Mummel, J.; Suckow, O.; Wiersig, R. (2017): Scheduling of Electric Vehicles in the Police Fleet - International Electric Vehicle Symposium & Exhibition 2017 (EVS30), Stuttgart, Germany
- Suckow, O. (2017), Können E-Mobile konventionelle Fahrzeuge vollwertig ersetzen?, Pro Polizei, Heft 1/2017, 14-15
- Mummel, J.; Suckow, O. (2017): Elektromobilität in der Polizei Niedersachsen – Cloud der Wissenschaft, Braunschweig, 22.09.2018 (Vortrag)
- Suckow, O. (2017): Die Fahrzeugflotte der Polizei Niedersachsen – Thementag der Technischen Universität Braunschweig, Braunschweig, 11.07.2017 (Vortrag)
- Schmidt, K.; Suckow, O. (2018): Zwischenergebnisse aus dem Projekt lautlos&einsatzbereit – NDR Info; Interview vom 17.08.2018, Braunschweig
- Suckow, O. (2018): Projekt lautlos&einsatzbereit Elektromobilität in der Polizei - General Police Equipment Exhibition & Conference 2018 (GPEC 2018), Frankfurt am Main, 20.-22.02.2018 (Vortrag)
- Suckow, O. (2018), Projekt lautlos&einsatzbereit erreicht wichtigen Meilenstein, Pro Polizei, Heft 1/2018, 27
- Suckow, O. (2018): Elektromobilität in polizeilichen Fuhrparks, Seminar Polizeitechnik im Wandel 2018, Deutsche Hochschule der Polizei, Münster
- Mummel, J.; Suckow, O.; Wiersig, R. (2018): lautlos & einsatzbereit - Integrierte Planung und Steuerung von Flotten-, Energie-, Ladeinfrastruktur - BOS-Beschaffungertage, Bonn
- Schmidt, K.; Pronobis, O.; Sander, M.; Schäfer, M.; Suckow, O.; Wiersig, R.; Graumann, T. (2018): Bundesweiter Workshop - Elektromobilität in polizeilichen Flotten, Braunschweig
- Pronobis, O., Kurrat, M. (2018): Grid Supported Charging Management with Uncertainty Analysis, NEIS Conference 2018, Hamburg, 20.-21. September 2018
- Schmidt, K.; Saucke, F.; Spengler, T. S. (2018): Scheduling of Electric Vehicles in the Police Fleet, in: Kliwer, N., Ehmke, J. F., Borndörfer, R. (ed.): Operations Research Proceedings 2017 - International Conference on Operations Research (OR 2017 Conference), Berlin, Germany, Springer, pp. 693–699.
- Schmidt, K.; Saucke, F.; Spengler, T. S. (2018): Electric-Vehicle Routing with partial charging, time windows, and priorities, in: Operations Research 2018, Brussels, Belgium, 12.09.2018 (Vortrag).

- Sander, M.; Ringleb, A.; Küçükay, F. (2018): lautlos&einsatzbereit – Electric vehicles in police operation, in: ITS Mobility e. V. (ed.), Hybrid and Electric Vehicles, Braunschweig, Germany, pp. 47-57.
- Suckow, O. (2019), Projekt lautlos&einsatzbereit Elektrofahrzeuge bei der Polizei, Pro Polizei, Heft 1/2019, 22-23
- Schmidt, K; Suckow, O.; Wiersig, R. (2019): Elektromobilität – Erfahrungen aus dem Einsatzbereich der Polizei; 22. Europäischer Polizeikongress, Berlin
- Suckow, O.; Schmidt, K. (2019), Große Potenziale für Polizeibehörden in Moderne Polizei, Ausgabe 4/2019, BehördenSpiegel, 30-31
- Suckow, O. (2019): Potenziale und Grenzbereiche von polizeilichen E-Fahrzeugen – Hybrid- und Elektrofahrzeuge (HEV2019), Braunschweig
- Schmidt, K; Sander, M.; Suckow, O.; Wiersig, R.; Graumann, T. (2019): Electric mobility in police fleets – Experiences from the project lautlos&einsatzbereit, Copenhagen, Denmark
- Schmidt, K; Suckow, O.; Wiersig, R.; (2019): Elektromobilität – Erfahrungen aus dem Einsatzbereich der Polizei, Beschaffungsallianz Elektromobilität, Hannover
- Suckow, O. (2019): Elektromobilität im Einsatzbereich der Polizei, Seminar Polizeitechnik im Wandel 2019, Deutsche Hochschule der Polizei, Münster
- Schmidt, K.; Wiersig, R. (2019): Elektromobilität in der Polizei Niedersachsen – Elektro-Motorrad-Tage, Osnabrück
- Suckow, O. (2019): Elektromobilität in polizeilichen Fuhrparks, Seminar Strategische Ausrichtung der Verkehrssicherheitsarbeit – Verkehrspolizeiliche Aspekte technischer Entwicklungen, Deutsche Hochschule der Polizei, Münster
- Schmidt, K.; Suckow, O. (2019): Elektromobilität im Einsatzbereich der Polizei - 53. Sitzung des Ausschusses für Inneres und Sport, Hannover
- Suckow, O.; Graumann, T. (2019): Scheduling of Electric Vehicles in the Police Fleet – Journée de la Police, Mersch, Luxemburg
- Suckow, O. (2019): Elektromobilität im Einsatzbereich der Polizei – Strategieforum der Polizei Niedersachsen 2019, Hannover
- Suckow, O. (2019): Elektromobilität im Einsatzbereich der Polizei – Sicherheitsaspekte im kommunalen Raum, Vechta
- Schmidt, K.; Suckow, O.; Wiersig, R. (2019): Elektromobilität im Einsatzbereich der Polizei – Erfahrungsaustausch mit der Kantonspolizei Zürich und der Polizei Nordrhein-Westfalen, Lüneburg
- Suckow, O. (2019): Teilergebnisse aus dem Projekt lautlos&einsatzbereit - 72. Dienstbesprechung des Landespolizeipräsidiums mit den Polizeivizepräsidenten, dem Landeskriminalamt Niedersachsen und der Polizeiakademie Niedersachsen, Hannover
- Suckow, O. (2019): Elektromobilität im Einsatzbereich der Polizei - Erweiterte Führungskräftebesprechung der Zentralen Polizeidirektion Niedersachsen (Abt. IV), Visselhövede

- Schmidt, K.; Wiersig, R. (2019): Herausforderung Elektrifizierung Behördenfahrzeuge - VW Funktionsfahrt, Salzgitter
- Pronobis, O., Kurrat, M. (2019): Assessment of Static Charging Management Methods, ETG Kongress, Esslingen am Neckar, 8.- 9. Mai 2019
- Sander, M.; Küçükay, F. (2019): Comparison of driver behaviour in ICV, PHEV and BEV, in: WKM-Symposium 2019, Karlsruhe.
- Schmidt, K; Mennenga, M.; Pronobis, O.; Quidde, S.; Sander, M.; Schäfer, M.; Suckow, O.; Wiersig, R.; Herrmann, C.; Kurrat, M.; Küçükay, F.; Spengler, T. S. (2020): Strategische Planung von Fahrzeugflotten – Ein Bezugsrahmen und seine Anwendung am Beispiel der Elektrifizierung der Fahrzeugflotte der Polizei Niedersachsen, in: Proff, H. (ed): Wissenschaftsforum Mobilität 2020.
- Suckow, O. (2020): Zwischenergebnisse aus dem Projekt lautlos&einsatzbereit, NDR1 – Niedersachsen, Interview vom 08.01.2020, Lüchow

Geplante Veröffentlichungen:

- I&e (2020): Leitfaden zur integrierten Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur, Ergebnisse aus dem BMU-geförderten Projekt lautlos&einsatzbereit.
- Sander, M.; Suckow, O. (2020): eMobilität in der Polizei Niedersachsen – Potenziale, Grenzen und Auswirkungen – Webkonferenz Neue Mobilität: Strategien für Kommunen und öffentliche Fuhrparks, Stuttgart, 07.10.2020 (Vortrag).
- Schmidt, K; Mennenga, M.; Pronobis, O.; Quidde, S.; Schäfer, M.; Herrmann, C.; Kurrat, M.; Spengler, T. S. (2021): A Framework for Strategic Decision Making in Vehicle Fleet Planning.
- Pronobis, O. (2021): Lademanagementalgorithmen mit Nutzerspezifikation für Elektrofahrzeugflotten, Dissertation TU Braunschweig.
- Sander, M. (2021): Sonderkunden im 3F-Parameterraum, Dissertation, TU Braunschweig.
- Quidde-Kik, S. (2023): Entwicklung einer Entscheidungsunterstützung für Flottenplaner am Beispiel von (teil-) elektrifizierten Fahrzeugflotten, Dissertation TU Braunschweig.

Dr. Kerstin Schmidt

- Projektleitung Technische Universität Braunschweig/NFF -

Oliver Suckow

- Projektleitung Polizei Niedersachsen -