



Elektrisch Mobil in der Erzdiözese Freiburg



Dokumenteigenschaften

Titel	Elektrisch Mobil in der Erzdiözese Freiburg
Betreff	
Institut	DLR-FK
Erstellt von	Ulrike Kugler, Holger Dittus
Beteiligte	Benedikt Schalk
Geprüft von	
Freigabe von	
Datum	29. Juni 2017
Version	
Dateipfad	

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	7
2.	Eingesetzte Fahrzeuge und Einsatzorte	8
2.1.	Eingesetzte Elektrofahrzeuge	9
2.1.1.	Smart fortwo electric drive	10
2.1.2.	Renault Zoe Z.E.	11
2.1.3.	Volkswagen e-up!	12
2.2.	Verrechnungsstellen.....	13
2.2.1.	Verrechnungsstelle Riegel	13
2.2.2.	Verrechnungsstelle Stegen.....	15
2.2.3.	Verrechnungsstelle Villingen	16
2.2.4.	Verrechnungsstelle Stühlingen.....	16
2.3.	Sozialstationen.....	17
2.3.1.	Sozialstation St. Elisabeth, Stockach.....	17
2.3.2.	Pflegezentrum St. Verena, Rielasingen	18
2.3.3.	Caritas Altenhilfe, Region Konstanz	20
2.3.4.	Sozialstation Oberer Hegau St. Wolfgang, Engen	23
2.3.5.	Caritasverband Singen-Hegau	23
2.3.6.	Katholische Sozialstation Freiburg	25
2.3.7.	Sozialstation St. Blasien, Caritas-Sozialstationen Hochrhein.....	25
2.3.8.	Sozialstation St. Martin, Bad Säckingen, Caritas-Sozialstationen Hochrhein.....	27
3.	Ladeinfrastruktur (LIS)	28
3.1.	Aufbau der LIS – Erfahrungen aus „elektrisch mobil“	28
3.2.	LIS an den Dienststellen/Zentralen.....	28
3.3.	Effizienz der LIS und Ladeverluste.....	31
3.4.	Laden am privaten Stromanschluss der Nutzer mit ubitricity	35
4.	Einstellungen, Erwartungen und Erfahrungen: Nutzerbefragungen	37
4.1.	Datenquellen.....	37
4.2.	Auswertung der Fragebögen vor und während der Fahrzeugnutzung	37
4.2.1.	Grunddaten der Befragung.....	38
4.2.2.	Auswertung der Verrechnungsstellen.....	40
4.2.3.	Auswertung der Sozialstationen.....	53
4.3.	Ergebnisse Nutzer-Workshop und sonstige Nutzer-Erfahrungen	65
4.3.1.	Nutzer-Workshop.....	65

4.3.2.	Sonstige Nutzer-Erfahrungen	69
4.4.	Zusammenfassung	69

5. Grunddaten: Laufleistung, Energiebedarf, Kosten & Preise . 71

5.1.	Datenquellen	71
5.2.	Verrechnungsstellen	71
5.2.1.	Laufleistung und Tourenprofile	71
5.2.2.	Energiebedarf und CO ₂ -Emissionsfaktoren	76
5.2.3.	Kosten und Preise	78
5.3.	Sozialstationen	82
5.3.1.	Laufleistung	82
5.3.2.	Energiebedarf und CO ₂ -Emissionsfaktoren	82
5.3.3.	Kosten und Preise	86
5.4.	Nutzung Photovoltaik für Batterieladung	93
5.4.1.	Datenlogger der PV-Anlage	94
5.4.2.	BEV Datenlogger	96
5.4.3.	Database Agorameter & Icha und Kuhs	96
5.4.4.	Datenbasis Energiekosten (Deutschland & KSE), CO ₂ -Emissionen KSE	97
5.4.5.	Anwendungsfall VSt. Riegel 2015	98
5.4.6.	Nutzung Photovoltaik für Batterieladung	100

6. Wirtschaftlichkeit – Kosten in 2015 101

6.1.	Datenquellen und Methodik	101
6.2.	Verrechnungsstellen	102
6.2.1.	Absolute Jahreskosten	102
6.2.2.	Wirtschaftlichkeit – Kosten pro Kilometer	105
6.3.	Sozialstationen	107
6.3.1.	Absolute Jahreskosten	107
6.3.2.	Wirtschaftlichkeit – Kosten pro Kilometer	110

7. Bilanz der CO₂-Emissionen 113

7.1.	Methodik und Datenquellen	113
7.2.	CO ₂ -Emissionen während der Nutzung	115
7.2.1.	Verrechnungsstellen: Elektrofahrzeuge versus Dieselfahrzeug	115
7.2.2.	Sozialstationen: Elektrofahrzeuge versus Benzinfahrzeuge	117
7.3.	CO ₂ -Emissionen aus Herstellung von Fahrzeug und Batterie	118
7.3.1.	Verrechnungsstellen: Elektrofahrzeuge versus Dieselfahrzeug	118
7.3.2.	Sozialstationen: Elektrofahrzeuge versus Benzinfahrzeuge	120
7.4.	Gesamtbilanz: CO ₂ -Emissionen aus Herstellung und Nutzung	123

7.4.1.	Verrechnungsstellen: Elektrofahrzeug versus Dieselfahrzeug	123
7.4.2.	Sozialstationen: Elektrofahrzeug versus Benzinfahrzeuge	124
8.	Datenerhebung mit Fahrzeugloggern	126
8.1.	Methodik	126
8.2.	Probleme und Grenzen	126
8.3.	Ergebnisse der Datenloggerauswertung	127
8.3.1.	Täglicher Fahrzeugeinsatz und Batterieladezustand	127
8.3.2.	Fahrzeugauswertung Energiebedarf ab Batterie und Temperatureinfluss	130
8.3.3.	Zusammenfassung Temperaturabhängigkeit Energiebedarf	150
9.	Zusammenfassung	152
10.	Abbildungsverzeichnis	155
11.	Tabellenverzeichnis	161
12.	Literatur	163
13.	Anhang	164
13.1.	Sozialstationen: Absolute Jahreskosten	164
13.2.	Bilanz der CO ₂ -Emissionen	170

Abkürzungsverzeichnis

BEV	Battery electric vehicle - batterieelektrisches Fahrzeug
BMS	Batteriemanagementsystem
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
CO ₂	Kohlendioxid
CV	Caritasverband
KSE	Gesellschaft zur Energieversorgung kirchlicher und sozialer Einrichtungen mit beschränkter Haftung
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LIS	Ladeinfrastruktur
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
SOC	State of Charge - Ladezustand der Batterie
SST	Sozialstation
TTW	Tank to wheel
VST	Verrechnungsstelle
WTT	Well to tank

1. Einleitung

Die Bundesregierung hat es sich zum Ziel gesetzt, Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln (Bundesregierung, 2011). Im Zuge dessen wurde eine Reihe von Forschungsprogrammen zur Intensivierung der Elektromobilität ins Leben gerufen. Das Forschungsprojekt „InitiativeE-BW¹“ ist Teil des BMUB-Förderprogramms „Erneuerbar Mobil“ und ermöglicht Teilnehmern eine Anschaffung von Leasingfahrzeugen mit elektrischen Antrieben zu vergünstigten Konditionen. Als Teil der wissenschaftlichen Begleitforschung wurden vom DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte Daten zur realen, täglichen Nutzung der Elektrofahrzeuge erhoben und analysiert, um weitere Erkenntnisse zum Nutzer-, Fahr- und Ladeverhalten zu gewinnen.

Die Erzdiözese Freiburg hat sich einem ambitionierten Klima- und Umweltschutz verschrieben. Nach der erfolgreichen Energie-Offensive kam mit dem Wechsel der Selbstfahrerdienstwagenflotte im Jahr 2014 die Mobilität stärker in den Blick. In dem Pilotprojekt „elektrisch mobil“ mit Elektrofahrzeugen im Einsatz kirchlicher Dienststellen und in der mobilen Pflege sollte überprüft werden, ob und wie Elektromobilität im kirchlichen Bereich sinnvoll umgesetzt werden kann. Weiterhin sollte die Frage beantwortet werden, wo und in welchen Bereichen e-Mobilität in Zukunft ausgeweitet werden soll.

Aus der Verknüpfung der Projekte „InitiativeE-BW“ und „elektrisch mobil“ wurde an das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte der Auftrag vergeben, zusätzlich zu den Inhalten des „InitiativeE-BW“-Projekts die E-Fahrzeuge aus der Flotte der Erzdiözese Freiburg über ein Jahr hinweg detailliert zu untersuchen hinsichtlich Nutzererfahrungen, Energiebedarfen, CO₂-Emissionen und Kosten (Wirtschaftlichkeit). Als Datenquellen wurden dazu vor allem Aufzeichnungen aus Fahrtenbüchern und Buchungseinträgen und Nutzerbefragungen mit Hilfe von Online-Fragebögen und Erfahrungsberichten genutzt. Zu einem kleineren Teil konnten auch die Aufzeichnungen von Daten aus On-Board-Diagnosis-(OBD)-Fahrzeugloggern ausgewertet werden. Die Datenbasis basiert im Wesentlichen auf Aufzeichnungen und Erhebungen aus dem Kalenderjahr 2015 – Abweichungen werden ausgewiesen.

Der vorliegende Bericht fasst die erarbeiteten Ergebnisse der Beauftragung zusammen. In Kapitel zwei werden die eingesetzten Fahrzeuge und Ihre Einsatzorte in kirchlichen Verrechnungsstellen und Sozialstationen vorgestellt. Die Kapitel drei bis sieben widmen sich den Themen Nutzererfahrungen und –akzeptanz, Fahrleistungen, Energiebedarf, CO₂-Emissionen aus Nutzung und Fahrzeugproduktion und Wirtschaftlichkeit (Kosten).

¹ Siehe auch <http://www.initiative-bw.de/>; Fördergeber: BMUB; Laufzeit: 2014-2016

2. Eingesetzte Fahrzeuge und Einsatzorte

2014-2015 wurden im Rahmen des Pilotprojekts „elektrisch mobil“ 15 batterieelektrische Fahrzeuge in Dienst gestellt. Davon 9 Renault Zoe Z.E., 4 Volkswagen e-up! und 2 smart fortwo electric drive. Die technischen Daten der Fahrzeuge werden nachfolgend kurz zusammengefasst.

Die E-Fahrzeuge wurden in drei kirchlichen Verrechnungsstellen (Riegel, Stegen, Villingen) und in acht kirchlichen Sozialstationen eingesetzt (Caritas Altenhilfe in Konstanz, Caritasverband in Singen, Caritas-Sozialstationen Hochrhein in Bad Säckingen und St. Blasien, St. Elisabeth in Stockach, Katholische Sozialstation in Freiburg, St. Verena in Rielasingen und St. Wolfgang in Engen). In den drei kirchlichen Verrechnungsstellen waren die E-Fahrzeuge gleichzeitig auch die ersten Dienstfahrzeuge, die den Mitarbeitern zur Verfügung gestellt wurden. In den Sozialstationen waren die E-Fahrzeuge immer Teil einer vorhandenen Benzinfahrzeugflotte. Abbildung 2-1 gibt einen Überblick zu den Einsatzorten in Baden-Württemberg.

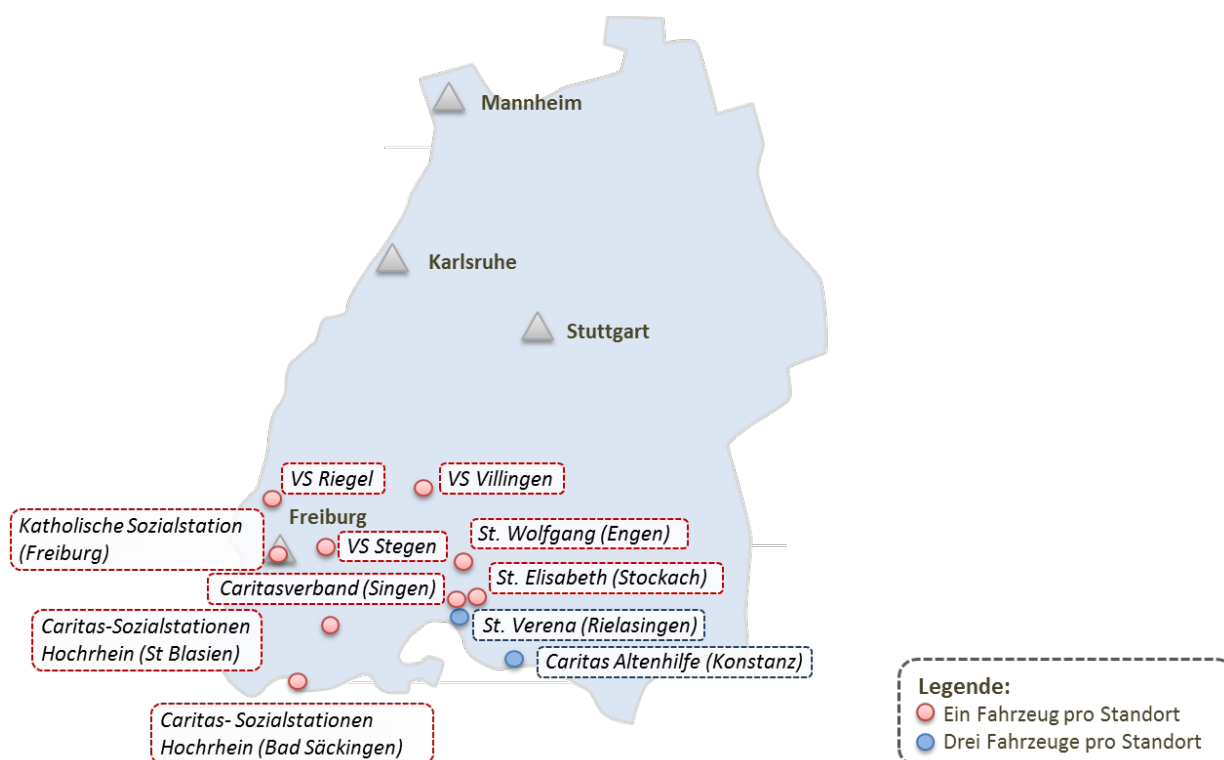


Abbildung 2-1: Standorte der E-Fahrzeugflotte des erzbischöflichen Ordinariats Freiburg

2.1. Eingesetzte Elektrofahrzeuge



Abbildung 2-2: Übergabe der Elektrofahrzeuge an die Sozialstationen am 25. September 2014 beim Kloster Birnau am Bodensee (Quelle: Tobias Heink / Erzbistum Freiburg)

Zur Auswahl der Fahrzeuge wurde der Mobilitätsbedarf in den Verrechnungsstellen und Sozialstationen analysiert. Passend dazu kamen im Projekt „elektrisch mobil“ der Erzdiözese Freiburg drei Typen von E-Fahrzeugen zum Einsatz: Renault Zoe Z.E., smart fortwo electric drive und Volkswagen e-up!. Deren technische Daten und Verbrauchsangaben basierend auf Datenblättern der Hersteller werden im Folgenden zusammengefasst.

Die Herstellerangaben zu Energiebedarf und Reichweite beziehen sich auf standardisierte Zulassungstests im neuen europäischen Fahrzyklus (NEFZ). Sie werden unter Laborbedingungen auf einem Rollenprüfstand mit einer vorgegebenen Fahrweise ohne Nebenverbraucher ermittelt und sind daher kaum auf den realen Fahrzeugeinsatz übertragbar. Die reale Reichweite wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, z.B.:

- Fahrweise und Streckenprofil,
- Witterungsbedingungen,
- Energiebedarf für Nebenaggregate (z.B. Heizung),
- Zuladung

Der reale Energiebedarf wird zusätzlich beeinflusst durch

- den Wirkungsgrad des Ladegeräts und
- die auftretenden Ladeverluste.

Die reale Reichweite ist daher in der Regel deutlich geringer und der reale Energiebedarf deutlich höher als die Werte, die aus den Zulassungstests ermittelt werden. Als zusätzliche Information werden daher die im realitätsnahen ADAC EcoTest² ermittelten Energiebedarfe und Reichweiten mit angegeben. Die tatsächlichen Reichweiten der im Projekt elektrisch mobil eingesetzten Fahrzeuge und ihre elektrischen Energiebedarfe ab Energieversorger sind im Kapitel 5 zusammengefasst.

2.1.1. Smart fortwo electric drive



Abbildung 2-3: Die Katholische Sozialstation Freiburg erhält im Mai 2015 einen Smart electric drive (Quelle: Roger Köppe / Erzbistum Freiburg)

² Eine Beschreibung dieser Tests steht beim ADAC zur Verfügung: <https://www.adac.de/ecotest/>

Tabelle 2-1: Technische Daten smart fortwo electric drive (lt. Hersteller und ADAC-Testergebnis)

Dauerleistung / max. Leistung	35 kW / 55 kW
Max. Drehmoment	130 Nm
Beschleunigung 0 - 100 km/h	11,5 s
Höchstgeschwindigkeit	125 km/h
Batterietyp und Kapazität	Li-Ionen, 17,6 kWh
Leergewicht / Zuladung	975 kg / 175 kg
Energiebedarf ab Batterie, Herstellerangabe	15,1 kWh/100 km
Energiebedarf ab Batterie, ADAC EcoTest	16,1 kWh/100 km
Reichweite, Herstellerangabe	145 km
Reichweite, ADAC EcoTest	110 km
Energiebedarf inkl. Ladeverluste lt. ADAC, Stadt / Land / BAB	13,2 / 17,1 / 26,8 kWh/100 km
Anzahl Fahrzeuge	2

2.1.2. Renault Zoe Z.E.



Abbildung 2-4: Der Renault Zoe Z.E. der Sozialstation St. Blasien ist auch im winterlichen Schwarzwald ein treuer Begleiter (Quelle: Roger Köppe / Erzbistum Freiburg)

Tabelle 2-2: Technische Daten Renault Zoe Z.E. (lt. Hersteller und ADAC-Testergebnis)

Dauerleistung / max. Leistung	43 kW / 65 kW
Max. Drehmoment	220 Nm
Beschleunigung 0 - 100 km/h	13,5 s
Höchstgeschwindigkeit	135 km/h
Batterietyp und Kapazität	Li-Ionen, 22 kWh
Leergewicht / Zuladung	1503 kg / 440 kg
Energiebedarf ab Batterie, Herstellerangabe	14,6 kWh/100 km
Energiebedarf ab Batterie, ADAC EcoTest	18,0 kWh/100 km
Reichweite, Herstellerangabe	210 km
Reichweite, ADAC EcoTest	120 km
Energiebedarf inkl. Ladeverluste lt. ADAC, Stadt / Land / BAB	14,0 / 17,0 / 28,3 kWh/100 km
Anzahl Fahrzeuge	9

2.1.3. Volkswagen e-up!



Abbildung 2-5: Die Caritas Altenhilfe in Konstanz besucht ihre Kunden im VW e-up (Quelle: Tobias Heink / Erzbistum Freiburg)

Tabelle 2-3: Technische Daten Volkswagen e-up! (lt. Hersteller und ADAC-Testergebnis)

Dauerleistung / max. Leistung	k. A. / 60 kW
Max. Drehmoment	210 Nm
Beschleunigung 0 - 100 km/h	12,4 s
Höchstgeschwindigkeit	130 km/h
Batterietyp und Kapazität	Li-Ionen, 18,7 kWh
Leergewicht / Zuladung	1139 kg / 361 kg
Energiebedarf ab Batterie, Herstellerangabe	11,7 kWh/100 km
Energiebedarf ab Batterie, ADAC EcoTest	11,5 kWh/100 km
Reichweite, Herstellerangabe	160 km
Reichweite, ADAC EcoTest	165 km
Energiebedarf inkl. Ladeverluste lt. ADAC, Stadt / Land / BAB	10,4 / 11,9 / 18,6 kWh/100 km
Anzahl Fahrzeuge	4

2.2. Verrechnungsstellen

Verrechnungsstellen sind regionale Verwaltungseinheiten der Erzdiözese Freiburg. Sie sind für die Rechnungsführung, Buchhaltung und Personalsachbearbeitung für die Kirchengemeinden eines oder mehrerer Dekanate zuständig. In den vergangenen Jahren wurden die Dienstleistungsangebote ausgeweitet, so dass heute zusätzlich Geschäftsführer/innen von Kindertagesstätten, Verwaltungsbeauftragte sowie Gebäudefachleute die Verantwortlichen vor Ort unterstützen. Dadurch ist auch der Mobilitätsbedarf stark angestiegen.

Bislang wurden in den Verrechnungsstellen jährlich Dienstfahrten im Umfang von ca. 60.000 km mit den Privatfahrzeugen der Mitarbeitenden durchgeführt und mit 0,35 € /km vergütet. In einer Pilotphase sollte in vier Verrechnungsstellen geprüft werden, ob Dienstwagen organisatorisch sinnvoll und wirtschaftlich eingesetzt werden können. Die Fahrzeuge wurden vom Erzbistum Freiburg beschafft (geleast). Die Kosten hatten die jeweiligen Dienststellen aus ihren Budgets zu tragen.

In drei Verrechnungsstellen kamen im Rahmen von „elektrisch mobil“ Elektrofahrzeuge zum Einsatz. In einer Verrechnungsstelle wurde ein herkömmliches Dieselfahrzeug getestet. Alle Fahrzeuge wurden im Mai/Juni 2014 übergeben.

2.2.1. Verrechnungsstelle Riegel

Riegel am Kaiserstuhl liegt etwa 25 km nördlich von Freiburg im Breisgau, zwischen dem südwestlichen Rand des Schwarzwalds und der Rheinebene. Die kirchliche Verrechnungsstelle Riegel hat 24 Mitarbeiter und ein E-Fahrzeug des Modells Renault Zoe beschafft. Im Jahr 2015 haben 15 Mitarbeiter

aus den Verrechnungsstellen Riegel und Stegen das E-Fahrzeug für dienstliche Fahrten eingesetzt, in der Mehrheit die Leitung und die Kindergartengeschäftsführer.

In Riegel kam eine Renault ZOE mit einer nutzbaren Batterieleistung von 22 kWh zum Einsatz. Als Ladeinfrastruktur wurde am Standort in Riegel eine Ladestation der Firma Keba, Modell Comfort KE Typ 2 installiert. Während der Laufzeit des Projekts wurde die Ladestation mit einer Ladeleistung von 11 kW betrieben. Die Stromversorgung aus dem öffentlichen Netz erfolgt über den Energieversorger KSE mit Strom auf Basis erneuerbarer Energie. Bei drei Mitarbeitern wurden am Wohnort Ladepunkte über die Firma ubitricity (vgl. Kap. 3.4) eingerichtet, um bei Ladevorgängen am Wohnort der Mitarbeiter die Abrechnung des Energiebedarfs zu ermöglichen. Die Verrechnungsstelle Riegel verfügt über eine eigene Photovoltaikanlage zur Stromgewinnung, die auch zur Ladung des E-Fahrzeugs eingesetzt wird (vgl. Kap. o).

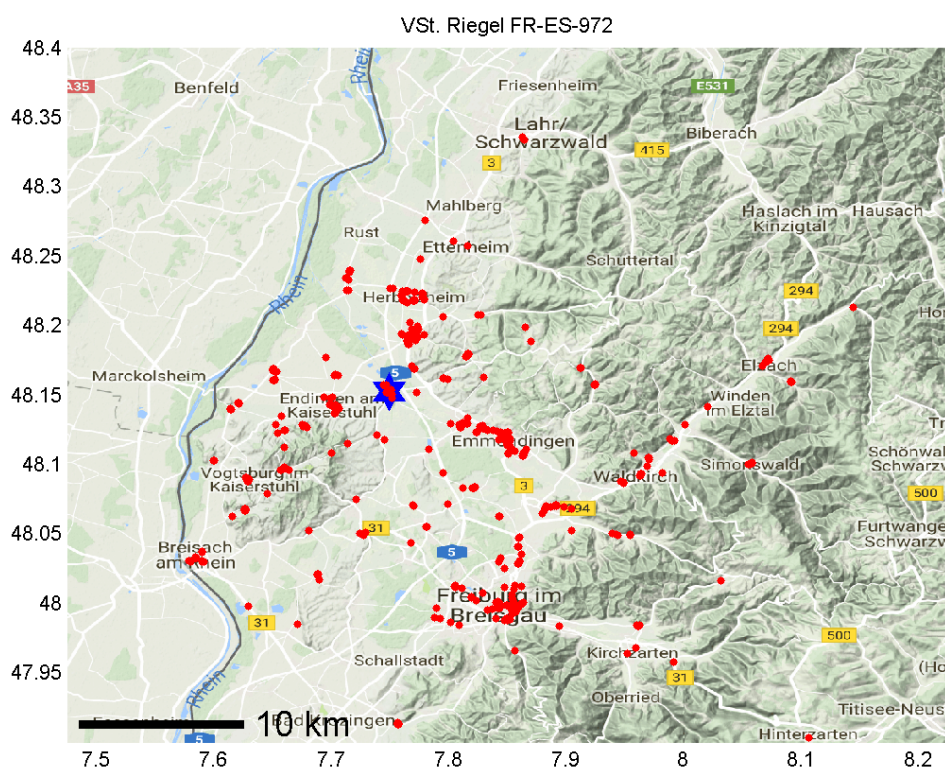


Abbildung 2-6: Einsatzgebiet Renault Zoe der VSt. Riegel

Abbildung 2-6 zeigt das aus den GPS-Daten des Datenloggers ermittelte Einsatzgebiet des Fahrzeugs. An der Endposition jedes Datensatzes wurde ist roter Punkt auf der Karte eingezeichnet, der Standort des Fahrzeugs an der Verrechnungsstelle Riegel ist mit einem blauen Stern markiert. Mit Hilfe des eingezeichneten Maßstabs lässt sich erkennen, dass das typische Einsatzgebiet innerhalb eines Radius von ca. 20 km (Luftlinie) um die Verrechnungsstelle liegt und im Westen durch den Rhein und die Ländergrenze zu Frankreich begrenzt wird. Viele Fahrten fanden in der Rheinebene mit Zielen in und um Freiburg, Endingen, Emmendingen, Kenzingen und Herbolzheim statt. Anhand der topographischen Darstellung wird deutlich, dass dabei nur geringe Höhenunterschiede zu überwin-

den waren. Größere Höhenunterschiede traten bei Fahrten am Kaiserstuhl und im westlichen Schwarzwald auf.

2.2.2. Verrechnungsstelle Stegen

Stegen liegt etwa 11 km in östlicher Linie von Freiburg im Breisgau, am südwestlichen Rand des Schwarzwalds. Die kirchliche Verrechnungsstelle Stegen hat 20 Mitarbeiter. Im Rahmen des Projekts wurde ein E-Fahrzeug des Modells Renault Zoe beschafft, mit einer nutzbaren Batterieleistung von 22 kWh. Im Jahr 2015 haben 14 Mitarbeiter aus den Verrechnungsstellen Riegel und Stegen das E-Fahrzeug für dienstliche Fahrten eingesetzt, in der Mehrheit die Kindergartengeschäftsführer und Verwaltungsbeauftragte.

Als Ladeinfrastruktur wurde am Standort eine Ladestation der Firma Keba, Modell Comfort KE Typ 2 installiert. Während der Laufzeit des Projekts wurde die Ladestation mit einer Ladeleistung von 11 kW betrieben. Die Stromversorgung erfolgt über den Energieversorger KSE mit Strom auf Basis erneuerbarer Energie. Bei einem Mitarbeiter wurde ein Ladepunkt über die Firma ubitricity eingerichtet, um bei Ladevorgängen am Wohnort die Abrechnung des Energiebedarfs zu ermöglichen.

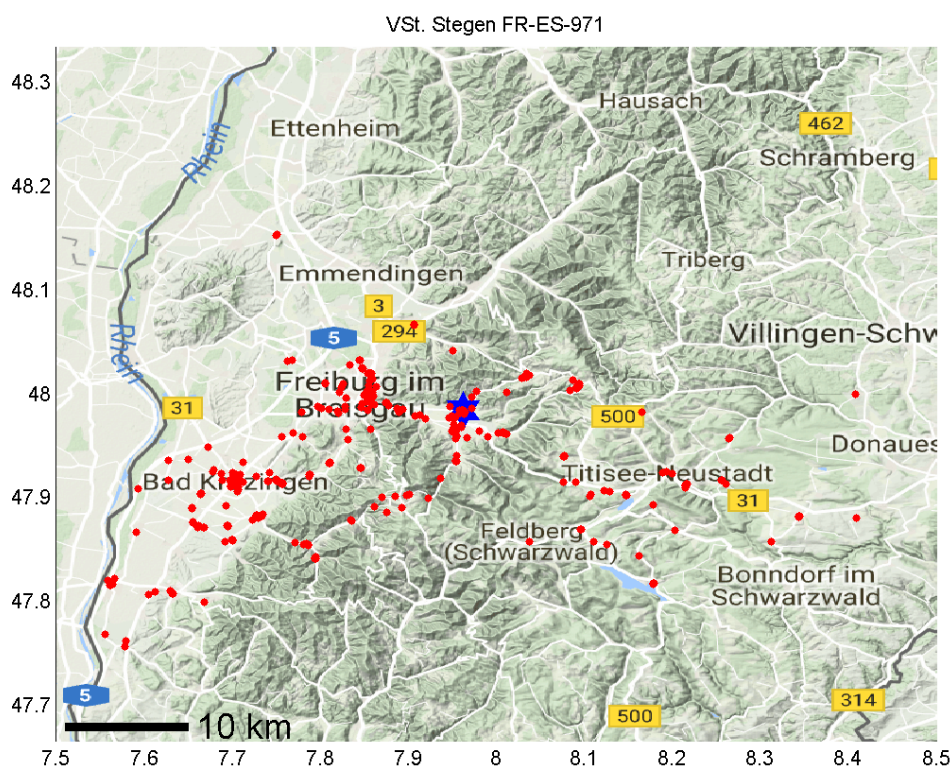


Abbildung 2-7: Einsatzgebiet Renault Zoe der VSt. Stegen

Die Topographie für die Fahrten in Stegen ist deutlich anspruchsvoller als in Riegel - das Einsatzgebiet reicht von der Rheinebene (240 m) bis in den Hochschwarzwald (1.280 m) – zudem liegen die Einsatzorte seltener an Schnellstraßen.

2.2.3. Verrechnungsstelle Villingen

Das Einzugsgebiet der Verrechnungsstelle Villingen reicht vom Oberen Kinzigtal (Wolfach) über die Höhen des Schwarzwalds, die Baar bis zu den Westausläufern der Schwäbischen Alb (bei Tuttlingen) und reicht von 270 m bis ca. 880 m. Die kirchliche Verrechnungsstelle Villingen hat 19 Mitarbeiter. Im Rahmen des Projekts wurde ein E-Fahrzeug des Modells Renault Zoe beschafft, mit einer nutzbaren Batterieleistung von 22 kWh. Im Jahr 2015 haben 6 Mitarbeiter das E-Fahrzeug für dienstliche Fahrten eingesetzt, in der Mehrheit die Verwaltungsbeauftragten und der Gebäudefachmann.

Als Ladeinfrastruktur wurde am Standort eine Ladestation der Firma Keba, Modell Comfort KE Typ 2 installiert. Während der Laufzeit des Projekts wurde die Ladestation zunächst mit einer Ladeleistung von 11 kW, ab Februar 2015 mit 22 kW betrieben. Die Stromversorgung erfolgt über den Energieversorger KSE mit Strom auf Basis erneuerbarer Energie.

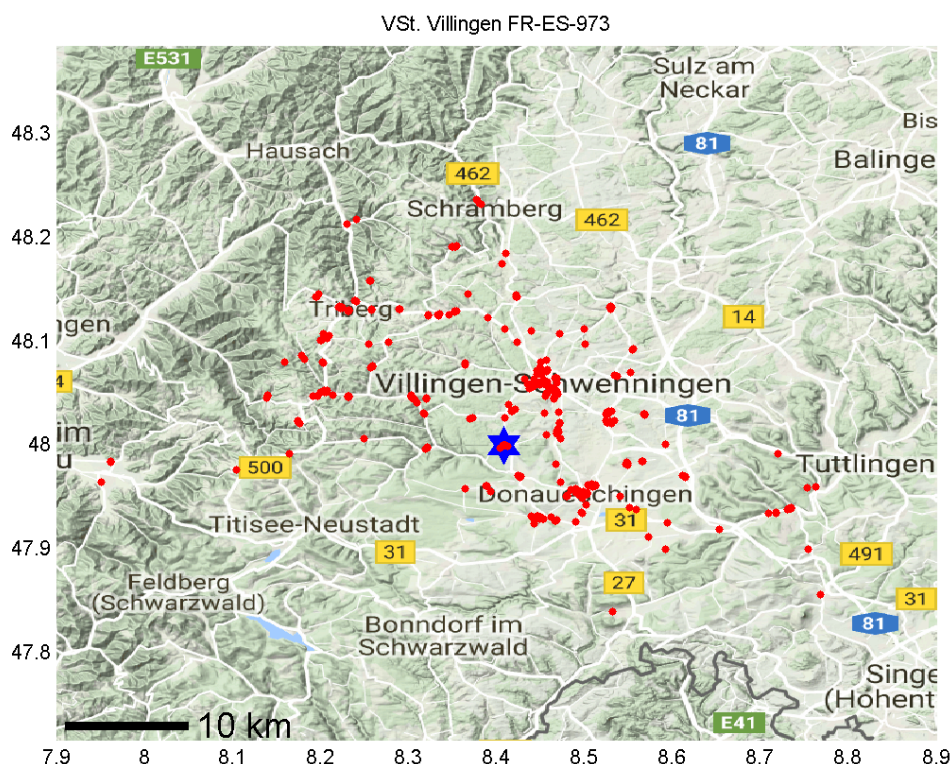


Abbildung 2-8: Einsatzgebiet Renault Zoe der VSt. Villingen

2.2.4. Verrechnungsstelle Stühlingen

Als Referenz im Bereich der Verrechnungsstellen dient die Dienststelle in Stühlingen. Deren Einzugsgebiet liegt entlang des Hochrheins, erstreckt sich über den Hotzenwald reicht im Norden bis auf die Baarhochfläche zwischen südlichen Schwarzwald und Schwäbischer Alb (Höheprofil von ca. 330 m bis ca. 880 m).

Die Verrechnungsstelle Stühlingen beschäftigt 25 Mitarbeiter. In Stühlingen wurde ein VW Polo mit Dieselantrieb eingesetzt, der im Jahr 2015 von insgesamt 15 Mitarbeitern genutzt wurde. Zu fast 90% waren die Kita-Geschäftsführer und Verwaltungsbeauftragten mit dem Polo unterwegs mit einer durchschnittlichen Tourenlänge von ca. 57 km. Die restlichen Fahrten wurden den Mitgliedern der MAV, sowie Mitarbeitern aus dem Personalbereich und der Assistenz unternommen und weisen eine durchschnittliche Tourenlängen von 120 km auf.

2.3. Sozialstationen

Sozialstationen sind Einrichtungen von privaten oder öffentlichen Trägern der Freien Wohlfahrtspflege (z. B. Deutsches Rotes Kreuz, Caritas und Diakonie), die es sich zur Aufgabe gemacht haben, betreuungsbedürftigen Menschen Alten- und Krankenpflege in der jeweils eigenen Wohnung gegen Entgelt zukommen zu lassen.

Die Initiative für den Flottentest in diesem Bereich kam vom Pflegezentrum St. Verena in Rielasingen. Nach einem ersten Start (September 2014) mit fünf Einrichtungen im Hegau (westlicher Bodensee) kamen noch drei Sozialstationen am Hochrhein, im Hochschwarzwald und in Freiburg dazu. So konnten alle Topographien sowie ländlich und städtisch geprägte Einsatzgebiete abgedeckt werden.

Die Fahrzeuge wurden von den Sozialstationen beschafft (geleast) und in deren Fuhrpark integriert. Der Kostendruck in den Sozialstationen ist sehr hoch. Zusätzlich werden auf konventionelle Fahrzeuge verhältnismäßig hohe Rabatte gewährt. Die Elektrofahrzeug-Förderung im Rahmen des Projekts „Initiative E-BW“ reichte daher bei weitem nicht aus, um in den Sozialstationen auf vergleichbare Kostenansätze zu kommen (s. a. Kapitel 5.3.3 und Kapitel 6.3). Daher hat die Erzdiözese einen zusätzlichen Zuschuss zum Fahrzeugleasing gewährt und die KSE als Energieversorger die Errichtung der Ladeinfrastruktur gefördert.

2.3.1. Sozialstation St. Elisabeth, Stockach

Stockach liegt ca. 10 km vom nördlichen Bodenseeufer entfernt auf 491 m. Die Sozialstation St. Elisabeth hat 70 Mitarbeiter und 10 Fahrzeuge in ihrer Flotte, davon ein E-Fahrzeug des Modells Renault Zoe.

Für die Ladung des E-Fahrzeugs wurde eine Ladestation angeschafft, die mit Strom auf Basis erneuerbarer Energiequellen der Stadtwerke Stockach betrieben wird. Diese besitzt allerdings keinen eigenen Stromzähler. Mittelfristig ist geplant, eine Photovoltaikanlage zur Stromgewinnung zu installieren und damit auch das E-Fahrzeug zu laden.

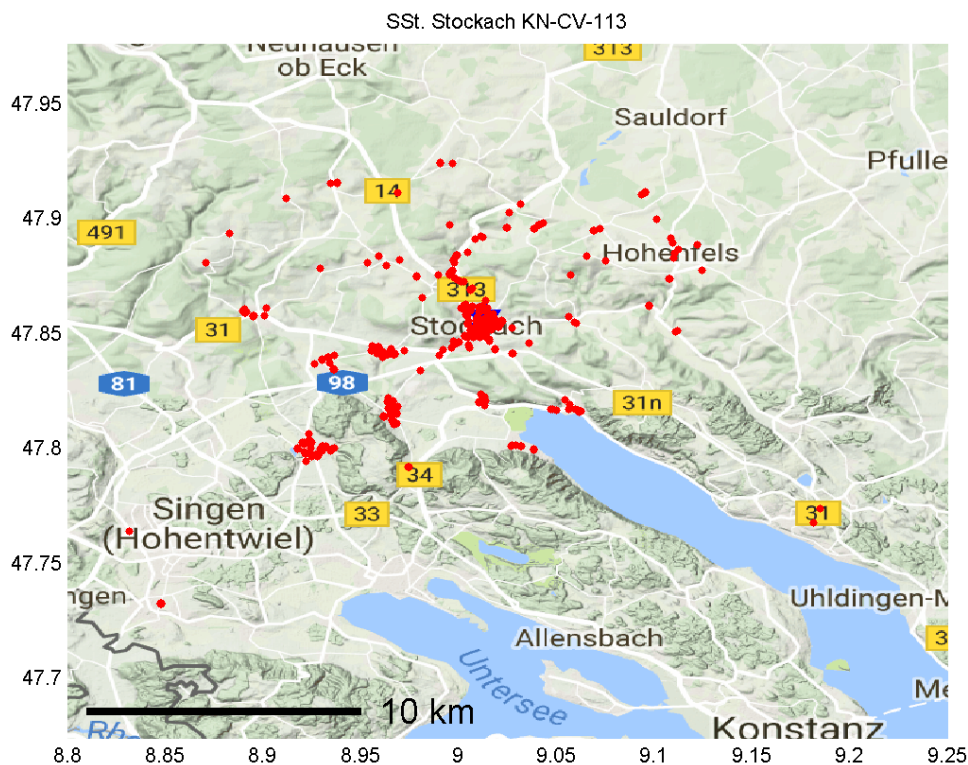


Abbildung 2-9: Einsatzgebiet Renault Zoe der Sozialstation Stockach

2.3.2. Pflegezentrum St. Verena, Rielasingen

Rielasingen liegt in der Nähe der Schweizer Grenze, ca. 9 km westlich des Bodensees (Untersee). Das Pflegezentrum St. Verena hat insgesamt 230 Mitarbeiter. In der mobilen Pflege sind 25 Pflegerinnen und Pfleger in einer Flotte von 13 Fahrzeugen unterwegs. Davon sind 8 Fahrzeuge benzinbetrieben, und 5 elektrifiziert. Drei davon wurden über InitiativeE-BW und elektrisch mobil beschafft (zwei Renault Zoe und ein VW e-up!).

Für jedes Fahrzeug wurde am Standort in Rielasingen eine Ladestation der Firma Keba, Modell Comfort KE Typ 2 mit einer Ladeleistung von 11 kW installiert. Der Energiebedarf der drei Ladestationen wird über einen gemeinsamen Stromzähler erfasst. Eine exakte Zuordnung des verbrauchten Stroms zu den jeweiligen E-Fahrzeugen ist daher nicht möglich. St. Verena verfügt über eine eigene Photovoltaikanlage zur Stromgewinnung und verwendet zusätzlich Strom auf Basis erneuerbarer Energiequellen des Energieversorgers KSE.

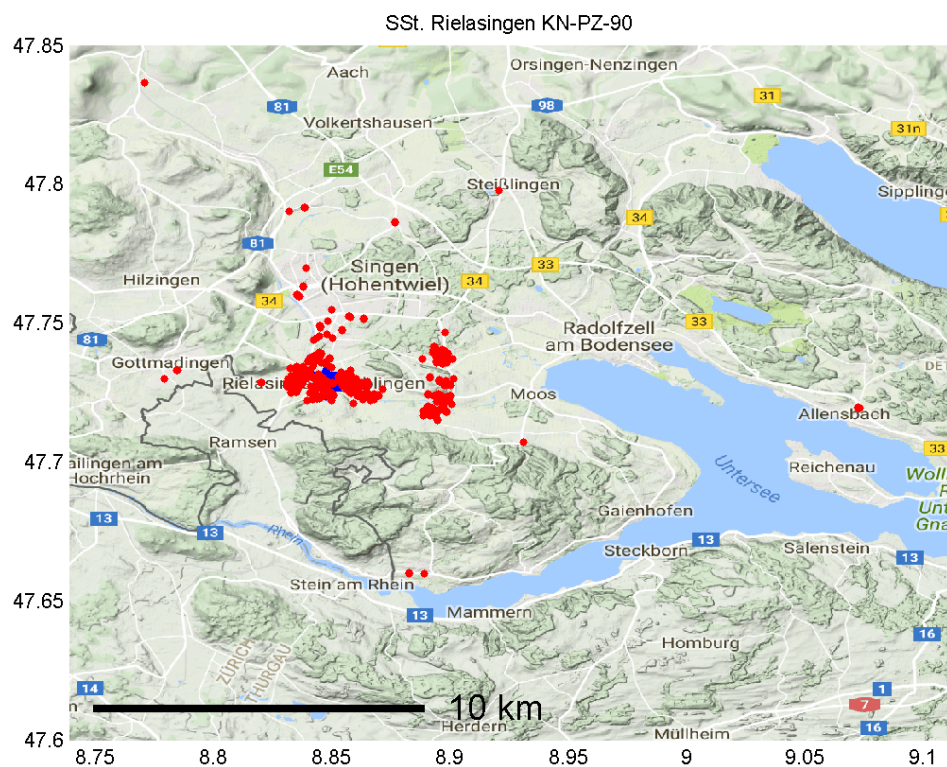


Abbildung 2-10: Einsatzgebiet VW e-up! der Sozialstation Rielasingen

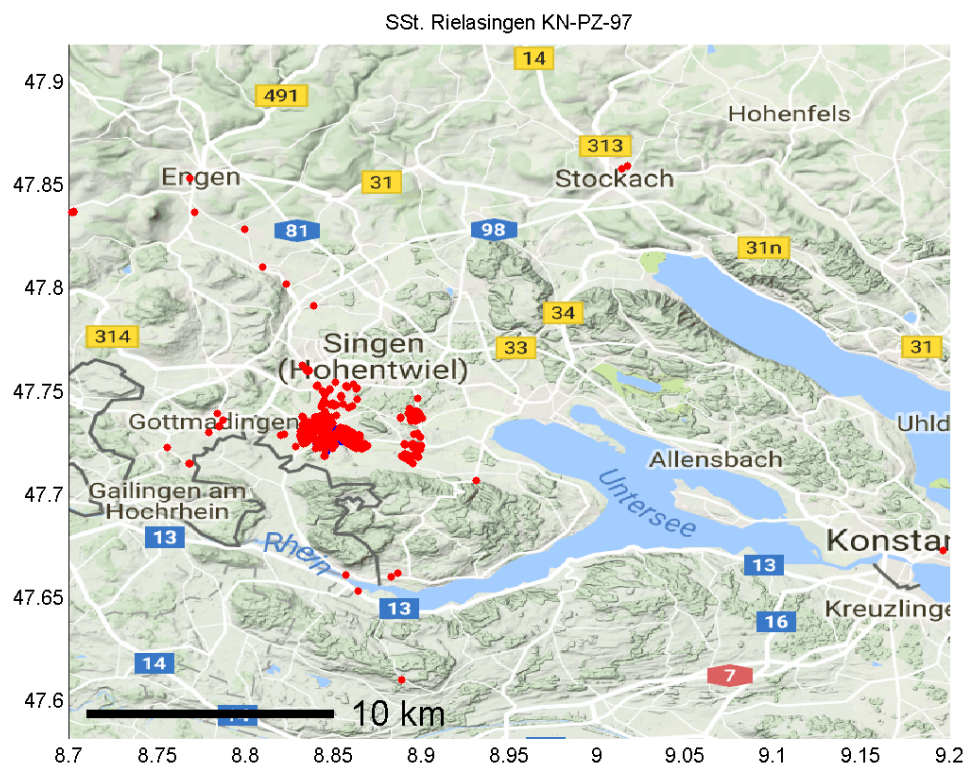


Abbildung 2-11: Einsatzgebiet Renault Zoe 1 der Sozialstation Rielasingen

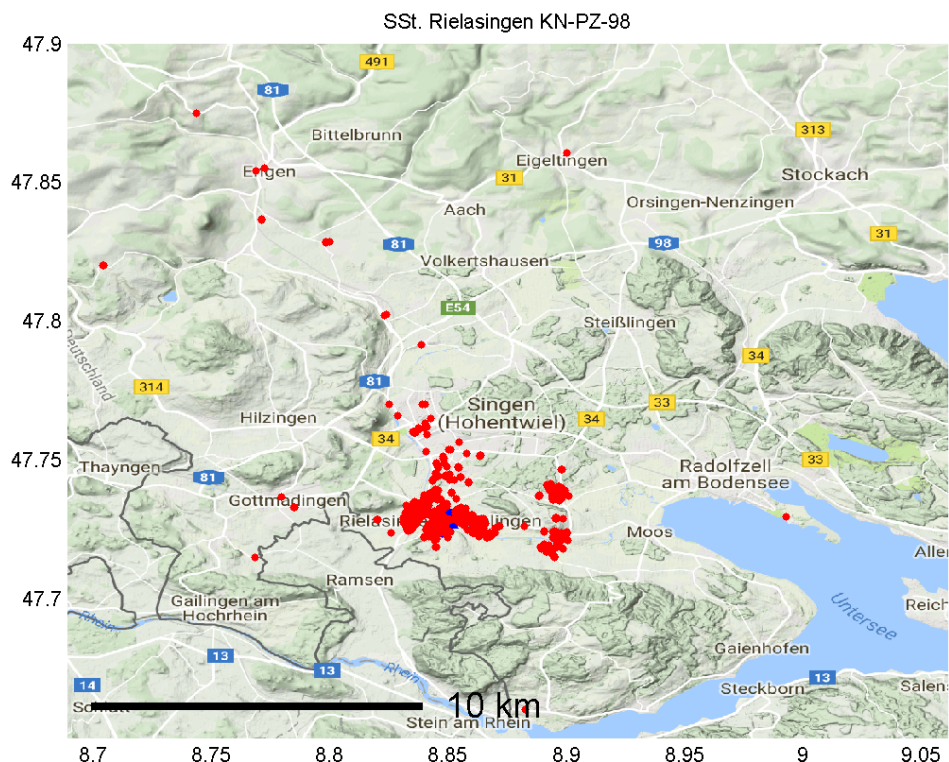


Abbildung 2-12: Einsatzgebiet Renault Zoe 2 der Sozialstation Rielasingen

2.3.3. Caritas Altenhilfe, Region Konstanz

Konstanz liegt am südlichen Ufer des Bodensees direkt an der Grenze zur Schweiz. Die Caritas Altenhilfe Region Konstanz hat insgesamt 560 Mitarbeiter, davon 250 am Standort. 74 Mitarbeiter sind in der Pflege beschäftigt. 46 davon nutzen ein Fahrzeug aus der Firmenflotte, die 31 Fahrzeuge umfasst. Über das Projekt InitiativeE-BW wurden zwei E-Fahrzeuge vom Typ VW e-up! und ein smart fortwo electric drive beschafft. Die beiden VW e-up! werden ausschließlich für Fahrten im Rahmen der mobilen Pflege eingesetzt. Der smart wird im Frühdienst für Botentouren, bspw. für Einkäufe, genutzt. Im Spätdienst dann auch für die mobile Pflege.

Für jedes Fahrzeug wurde am Standort eine Ladestation der Firma Mennekes, Modell Amtron Start 11 mit einer Ladeleistung von 11 kW installiert. Der Energiebedarf der drei Ladestationen wird über einen gemeinsamen Stromzähler erfasst. Eine exakte Zuordnung des verbrauchten Stroms zu den jeweiligen E-Fahrzeugen ist daher nicht möglich. Die Caritas Altenhilfe Konstanz verfügt über eine eigene Photovoltaikanlage zur Stromgewinnung und verwendet zusätzlich Strom auf Basis erneuerbarer Energiequellen des Energieversorgers KSE.

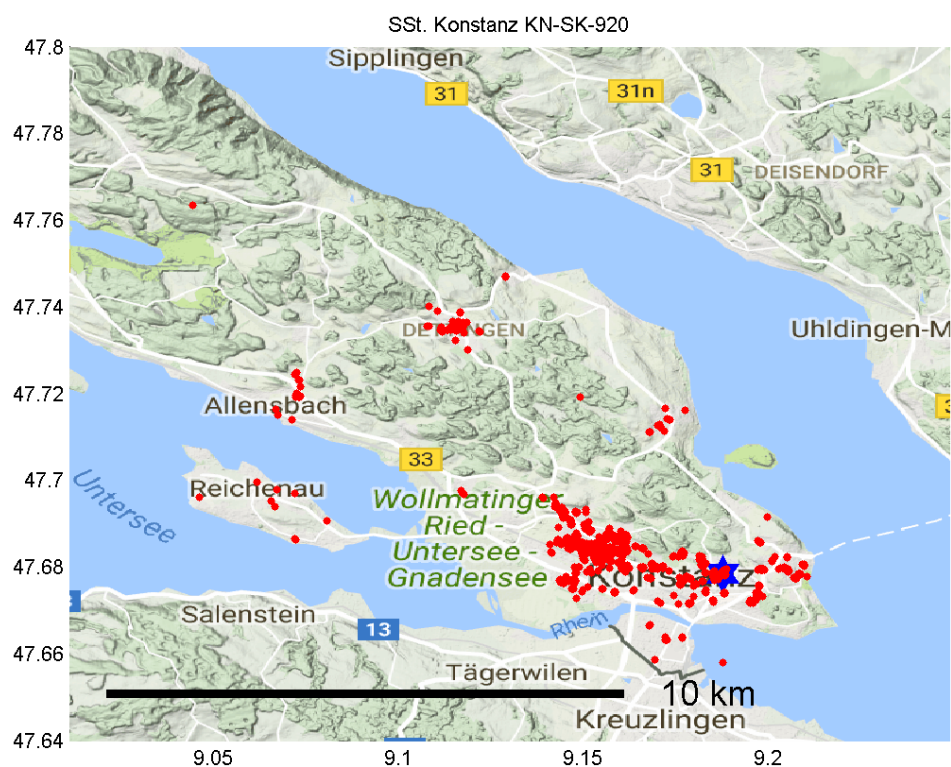


Abbildung 2-15: Einsatzgebiet VW e-up! 2 der Sozialstation Konstanz

2.3.4. Sozialstation Oberer Hegau St. Wolfgang, Engen

Engen liegt im Landkreis Konstanz, ca. 20 km nordwestlich von Singen. Die Sozialstation St. Wolfgang beschäftigt 27 Pflegefachkräfte, die Fahrzeuge der Dienstwagenflotte nutzen und 31 Pflegehilfskräfte in der mobilen Pflege. Die Fahrzeugflotte für die mobile Pflege umfasst 12 Fahrzeuge, die von den Pflegefachkräften genutzt werden, darunter ein E-Fahrzeug des Modells VW e-up!. Die Pflegehilfskräfte nutzen ihre Privat-Pkw.

Für die Ladung des E-Fahrzeugs wurde eine Ladestation der Firma Mennekes, Modell Amtron Start 11 mit einer Ladeleistung von 11 kW installiert, die mit dem Tarif Hegau Business Plus basierend auf einem Wind/Wasser-Mix der Stadtwerke Engen betrieben wird.

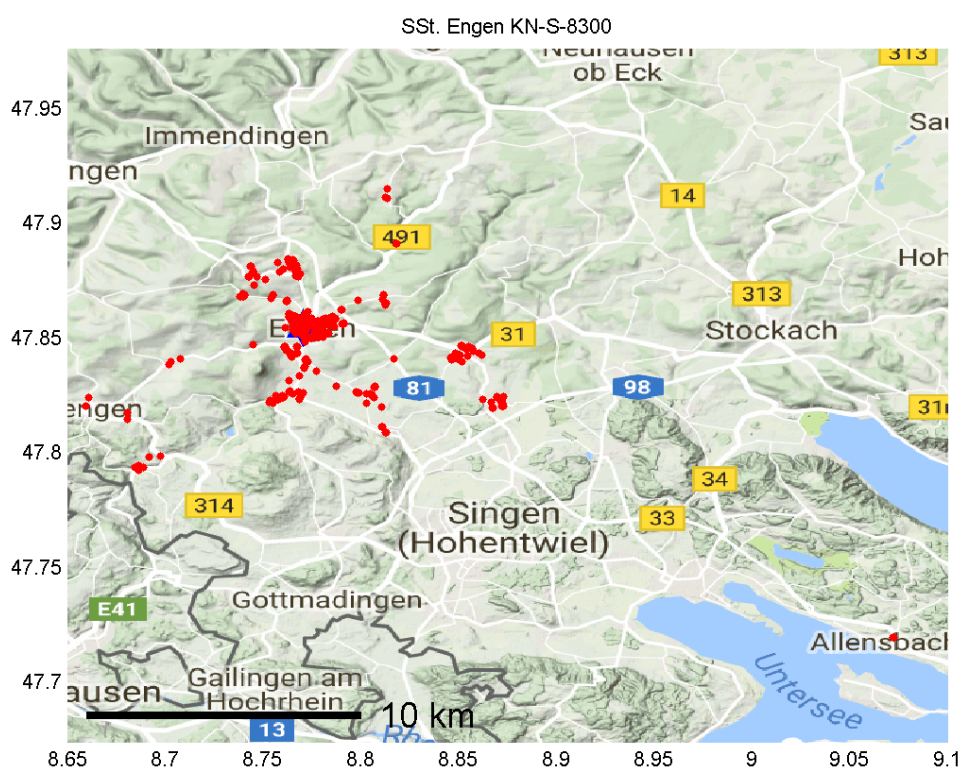


Abbildung 2-16: Einsatzgebiet VW e-up! der Sozialstation Engen

2.3.5. Caritasverband Singen-Hegau

Singen liegt in der Nähe der Schweizer Grenze, ca. 12 km vom westlichen Ende des Bodensees (Obersee) entfernt. Der Caritasverband Singen-Hegau beschäftigt 20 Mitarbeiter am Standort Singen. Die Fahrzeugflotte umfasst drei Fahrzeuge, darunter ein E-Fahrzeug des Modells Renault Zoe. Das Fahrzeug ist hier einer spezifischen Person zugeordnet und wird ausschließlich von dieser genutzt. Für die Ladung des E-Fahrzeugs wurde eine Ladestation der Firma KEBA, Modell Comfort KE Z.E. mit einer Ladeleistung von 11 kW installiert, die mit Strom auf Basis erneuerbarer Energiequellen des Energie-

versorgers Thüga betrieben wird. Bei der Mitarbeiterin, der das Fahrzeug zugeordnet ist, wurde ein Ladepunkt über die Firma ubitricity eingerichtet, um bei Ladevorgängen am Wohnort die Abrechnung des Energiebedarfs zu ermöglichen.

Im Jahr 2015 war das Fahrzeug mehrere Monate außer Betrieb, weiterhin war erst in 2016 ein Stromzähler für die Ladestation installiert. Aus diesem Grund werden für den Caritasverband Singen-Hegau im Rahmen dieses Berichts Daten des Jahres 2016 verwendet.

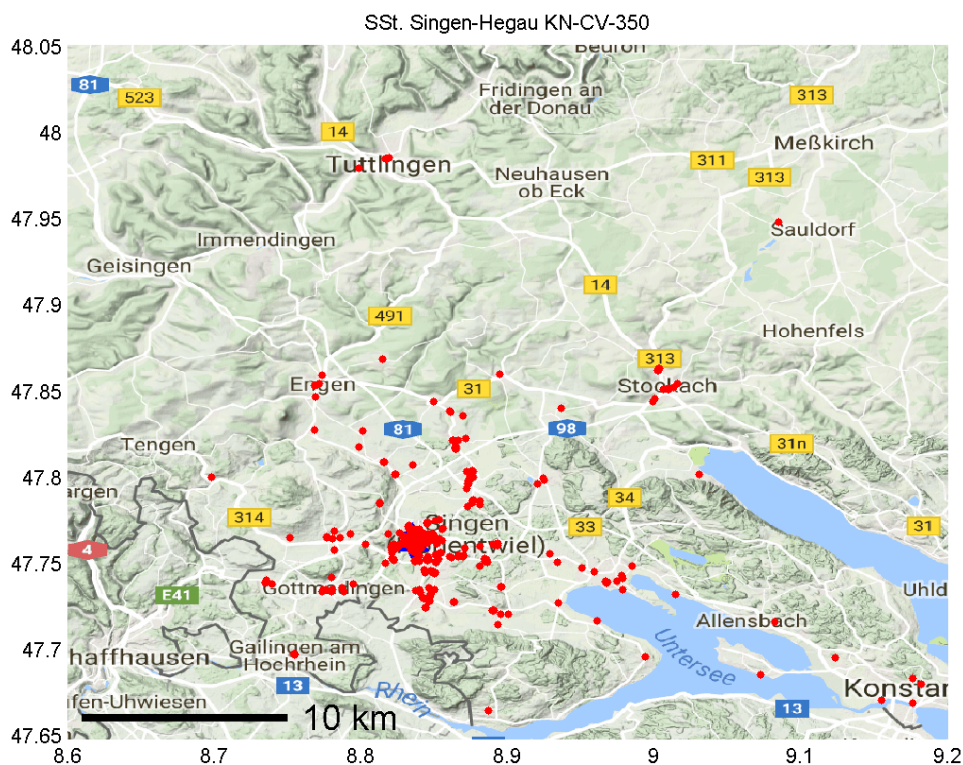


Abbildung 2-17: Einsatzgebiet Renault Zoe der Sozialstation Singen-Hegau

2.3.6. Katholische Sozialstation Freiburg

Die katholische Sozialstation Freiburg hat 128 Mitarbeiter, die in der Pflege beschäftigt sind, und eine Flotte von 57 Fahrzeugen, darunter ein E-Fahrzeug des Modells smart fortwo electric drive. Für die Ladung des E-Fahrzeugs wurde eine Ladestation der Firma Mennekes, Modell Amtron Light 11 C2 mit einer Ladeleistung von 11 kW angeschafft, die mit Strom auf Basis erneuerbarer Energiequellen des Energieversorgers KSE betrieben wird.

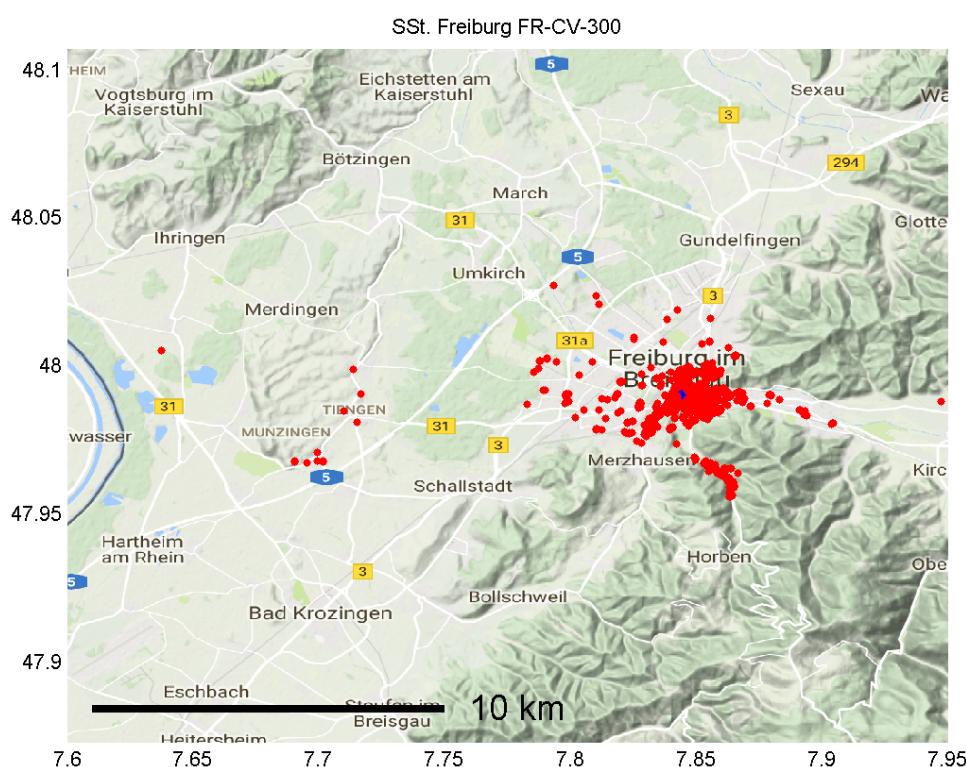


Abbildung 2-18: Einsatzgebiet smart fortwo electric drive der Sozialstation Freiburg

2.3.7. Sozialstation St. Blasien, Caritas-Sozialstationen Hochrhein

St. Blasien liegt im Schwarzwald südlich des Feldbergs. Die Sozialstation St. Blasien hat 55 Mitarbeiter am Standort und 13 Benzinfahrzeuge in ihrer Flotte (ebenfalls am Standort), darunter ein E-Fahrzeug des Modells Renault Zoe. Die Benzinfahrzeugflotte weist im Mittel über drei Fahrzeuge mit 34.700 km/a eine vergleichsweise hohe Fahrleistung auf.

Für die Ladung des E-Fahrzeugs wurde eine Ladestation der Firma KEBA, Modell Comfort KE Z.E. mit einer Ladeleistung von 11 kW angeschafft, die mit Strom auf Basis erneuerbarer Energiequellen des Energieversorgers KSE betrieben wird.

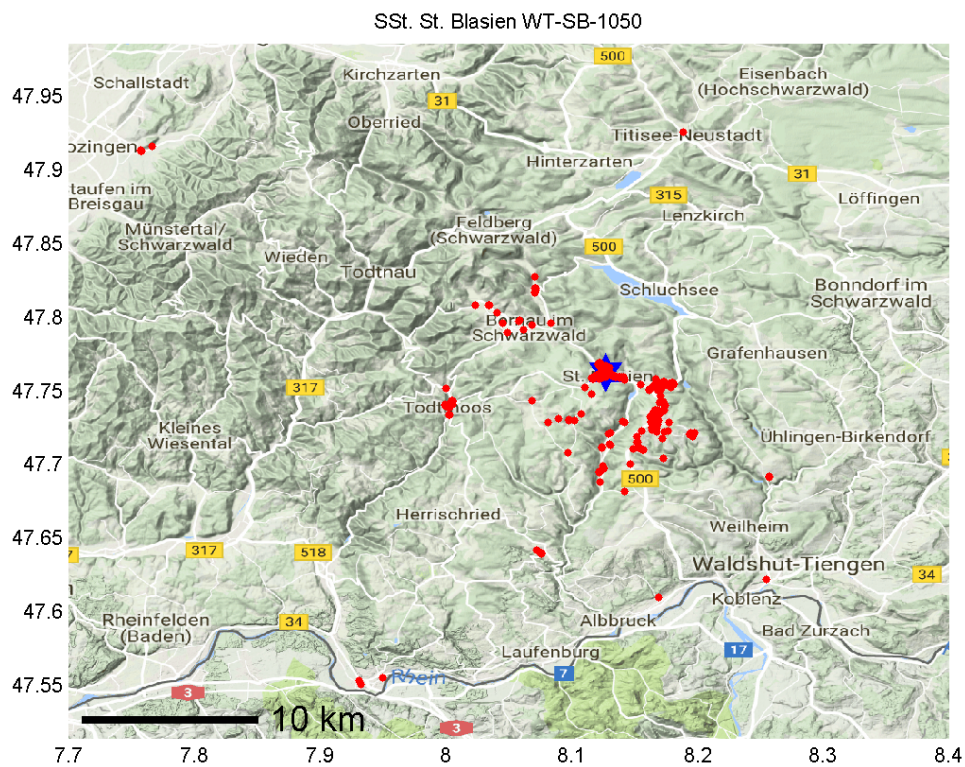


Abbildung 2-19: Einsatzgebiet Renault Zoe der Sozialstation St. Blasien

2.3.8. Sozialstation St. Martin, Bad Säckingen, Caritas-Sozialstationen Hochrhein

Bad Säckingen liegt an der Schweizer Grenze am Rhein. Die Sozialstation St. Martin hat 91 Mitarbeiter am Standort und 25 Fahrzeuge in seiner Flotte (ebenfalls am Standort), darunter ein E-Fahrzeug des Modells Renault Zoe. Für die Ladung des E-Fahrzeugs wurde eine Ladestation der Firma KEBA, Modell Comfort KE Z.E. mit einer Ladeleistung von 11 kW angeschafft, die mit Strom auf Basis erneuerbarer Energiequellen der Stadtwerke Bad Säckingen betrieben wird.

Eine Besonderheit des Standortes in Bad Säckingen ist die anspruchsvolle Topografie zwischen Rheintal und Schwarzwald, die sowohl bei E-Fahrzeugen als auch bei den benzinbetriebenen Referenzfahrzeugen zu großen Verbräuchen führt.

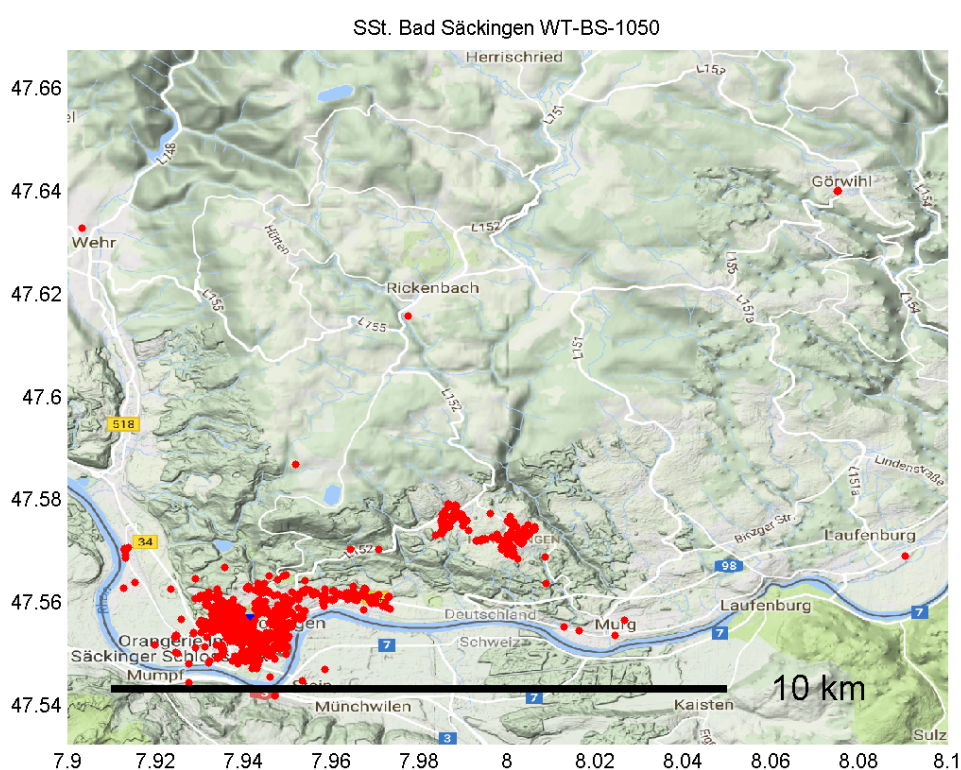


Abbildung 2-20: Einsatzgebiet Renault Zoe der Sozialstation Bad Säckingen

3. Ladeinfrastruktur (LIS)

3.1. Aufbau der LIS – Erfahrungen aus „elektrisch mobil“

Um das Laden nicht zu einer Hürde für die Nutzung von Elektrofahrzeugen werden zu lassen, sind einfache Handhabung und kurze Wege zur Lademöglichkeit notwendig. Weiterhin sollte gewährleistet sein, dass zu Beginn einer Dienstfahrt das Elektrofahrzeug möglichst mit seiner gesamten Reichweite zur Verfügung steht.

Solange kein ausgebautes und barrierefrei zugängliches Ladesäulennetz zu Verfügung steht, muss die Ladeinfrastruktur von den Nutzern selbst aufgebaut werden. Die Reichweite der Fahrzeuge, deren Ladeleistung und die Nutzung sind dabei in Einklang zu bringen. Zunächst ist hier eine Mobilitäts- und Bedarfsanalyse unabdinglich.

In den Verrechnungsstellen sollte zum Beispiel das Fahrzeug schon nach etwa einer Stunde wieder vollgeladen für die nächste Dienstfahrt zur Verfügung stehen. Zusätzlich sollte es möglich sein, die Dienstfahrzeuge zu Hause über Nacht zu laden, zum Beispiel nach langen Sitzungen mit den ehrenamtlichen Gremien in den Kirchengemeinden.

Bei den Sozialstationen wiederum bleibt während der Pflgetouren keine Zeit zum Laden, die Fahrzeuge kommen immer wieder an die Zentrale zurück und haben dort regelmäßige und länger dauernde (mindestens 2 Stunden) Standzeiten zwischen den Touren.

Für die Umsetzung wurde zusätzlich eine Beratung in Anspruch genommen bzw. angeboten. Der Aufbau einer LIS ist noch keine Alltagsaufgabe, die Beteiligten haben wenig Erfahrungen und es sind viele technische (Kapazität des Hausanschlusses, Platz im Zählerschrank, Absicherung, ...), planerische (Standort des Stellplatzes, Zuleitung, Erdarbeiten, ...) und rechtliche (Brandschutz, Mietrecht, ...) Fragen zu klären.

Trotz einer fundierten Beratung bedeutet der Aufbau einer LIS organisatorischen und finanziellen Aufwand, der nicht unterschätzt werden darf. Vor Überraschungen ist man dabei nicht gefeit.

3.2. LIS an den Dienststellen/Zentralen

Ergebnis der Analyse und Beratung: In allen Einrichtungen wurden Ladestationen an der Dienststelle / Zentrale errichtet, um die Batterien der Fahrzeuge am jeweiligen Standort aufladen zu können. Für jedes Fahrzeug wurde eine eigene Ladestation eingerichtet, damit bei mehreren E-Fahrzeugen bei Bedarf auch gleichzeitig geladen werden kann. In Tabelle 3-1 sind die Standorte und verwendeten Ladestationen sowie die anfallenden Kosten für die Ladestation selbst und die Installationskosten zusammengefasst. Zum Teil sind für die Ladestation keine Kosten angefallen, da diese bereits mit

dem Fahrzeug ausgeliefert und im Fahrzeugpreis enthalten war. Die Kosten für die Beratung wurden im Projekt vom Erzbistum übernommen und sind in den Kosten nicht aufgeführt.

Es kamen ausschließlich Ladestationen der Hersteller KEBA und Mennekes zum Einsatz mit einer Ladeleistung von 11 kW. Die Ladestation der Verrechnungsstelle Villingen wurde zunächst mit 11 kW betrieben, ab Februar 2015 auf 22 kW umgestellt. Für den Einsatz in den Verrechnungsstellen und Sozialstationen hat sich gezeigt, dass die Ladeleistung von 11 kW ausreichend war.

Die Kosten der Ladestationen liegen zwischen 850 und 1.200 € mit Ausnahme der Mennekes Ladestation am Standort der Sozialstation Freiburg, wo durch einen zusätzlichen Schutzschalter Kosten in Höhe von 1.575 € entstanden. Die Installationskosten weisen eine größere Bandbreite auf. Im günstigsten Fall (Verrechnungsstelle Stegen) waren hier 846 € aufzuwenden, im schlechtesten Fall (Sozialstation Freiburg) wurden für die Installation 5.483 € in Rechnung gestellt. Bei den meisten Anlagen betrugen die Installationskosten zwischen 1.800 und 2.600 €. Die große Bandbreite lässt sich durch unterschiedliche Aufwände beim Anschluss an das existierende Stromnetz der Gebäude erklären. Für zukünftige Beschaffungen sollte daher bereits frühzeitig der Installationsaufwand geklärt und gegebenenfalls ein günstigerer Montagestandort für die Ladestation gewählt werden. Die Empfehlung lautet: Die Ladeinfrastruktur muss vor der Bestellung der Fahrzeuge geklärt sein!

Tabelle 3-1: Ladeinfrastruktur in den verschiedenen Einrichtungen

Einrichtung	Leistung [kW]	Typ	Anbieter	Kosten Ladestation	Kosten Installation
VST Villingen	11 / 22 ab Feb. 2015	Comfort KE Typ 2	Electrodrive / KEBA	1.199,00 €	3.217,36 €
VST Stegen	11	Comfort KE Typ 2	Electrodrive / KEBA	1.154,00 €	846,41 €
VST Riegel	11	Comfort KE Typ 2	Electrodrive / KEBA	1.199,00 €	1.454,35 €
Sozialstation Stockach	11	Comfort KE Z.E.	Electrodrive / KEBA	in Leasingrate enthalten	2.976,83 €
Sozialstation Konstanz	11	Amtron Start 11	Mennekes	862,75 €	1.817,41 €
Sozialstation Konstanz	11	Amtron Start 11	Mennekes	862,75 €	1.817,41 €
Sozialstation Konstanz	11	Amtron Start 11	Mennekes	862,75 €	1.817,41 €
Pflegezentrum Rielasingen	11	Comfort KE Typ 2	Electrodrive / KEBA	849,66 €	2.600,08 €
Pflegezentrum Rielasingen	11	Comfort KE Typ 2	Electrodrive / KEBA	in Leasingrate enthalten	2.600,08 €
Pflegezentrum Rielasingen	11	Comfort KE Typ 2	Electrodrive / KEBA	in Leasingrate enthalten	2.600,08 €
Sozialstation Engen	11	Amtron Start 11	Mennekes	862,75 €	1.874,42 €
Caritasverband Singen-Hegau	11	Comfort KE Z.E.	Electrodrive / KEBA	in Leasingrate enthalten	1.537,12 €
Sozialstation Freiburg	11	Amtron Light 11 C2	Mennekes	1.574,98 € incl. Schutzschalter	5.482,70 €
Sozialstation St. Blasien	11	Comfort KE Z.E.	Electrodrive / KEBA	in Leasingrate enthalten	1.861,54 €
Sozialstation Bad Säckingen	11	Comfort KE Z.E.	Electrodrive / KEBA	in Leasingrate enthalten	2.123,40 €

3.3. Effizienz der LIS und Ladeverluste

Zur Bestimmung der tatsächlich notwendigen Ladeenergie für die Fahrzeuge sollte untersucht werden, welche Energie auf dem Weg vom Stromzähler über die Ladeinfrastruktur bis in die Batterie verloren geht.

Dazu wurden von den Fahrzeugnutzern der Sozialstationen und Verrechnungsstellen in mehreren Messkampagnen Ladeprotokolle erstellt. Protokolliert wurden bei Ankunft und Abfahrt die Ladezustände laut Fahrzeugdisplay und die Stände der Ladestationsstromzähler. Es wurden drei Messkampagnen durchgeführt, im September 2015 (Q3 2015), im Januar 2016 (Q1 2016) und Ende April bzw. Anfang Mai 2016 (Q2 2016). Damit sollte ein eventueller Einfluss der Witterung auf die Ladeverluste ermittelt werden.

Für die Auswertung der Ladeprotokolle wurde im Projekt InitiativeE-BW eine so genannte Ladekennzahl definiert. Diese Kennzahl beschreibt, wieviel Wh elektrische Energie der Ladestation zugeführt werden, um eine Änderung des Ladezustands um einen Prozentpunkt zu erreichen. Die Einheit der Ladekennzahl ist Wh / %SOC. Die Auswertung der Ladeprotokolle hat gezeigt, dass die Ladekennzahlen einzelner Ladevorgänge eine sehr große Bandbreite aufweisen. Das ist darauf zurückzuführen, dass der gemessene Strom am Eingang der Ladestation nicht vollständig der Batterie zugeführt wird, sondern weitere Verluste auftreten, z.B. in der Wallbox, im Ladekabel (Erwärmung!), im fahrzeugseitigen Ladegerät sowie in der Batterie selbst. Neben diesen Verlusten kommt zur Ladeenergie, die der Batterie zugeführt wird, noch der Bedarf zur Deckung der während des Ladevorgangs aktiven Verbraucher hinzu. Das sind der Leistungsbedarf für Kühlung oder Beheizung der Fahrzeuggabine und der Leistungsbedarf zur Kühlung, Heizung oder Belüftung der Batterie.

Neben den Unsicherheiten hinsichtlich der aktiven Verbraucher und deren Leistungsbedarf enthalten die Messdaten der Ladeprotokolle noch weitere Unsicherheiten, die eine exakte Bestimmung der Ladekennzahlen erschweren. Das sind einerseits Rundungsfehler bei der Ablesung der Stromzähler sowie Rundungsfehler bei den SOC-Werten im Fahrzeugdisplay, wenn dieses nur als ganzzahliger Prozentwert ausgegeben wird. Eine weitere Fehlerquelle bildet der im Fahrzeugdisplay dargestellte Ladezustandswert selbst. Im Display wird ein so genannter „Nutzer-SOC“ dargestellt, der nicht zwingend identisch mit dem tatsächlich vom Batteriemanagementsystem (BMS) verwendeten SOC sein muss. Jeder Fahrzeughersteller nutzt eigene Algorithmen, um den BMS-SOC in den Nutzer-SOC umzurechnen. Meist wird dabei so vorgegangen, dass der Nutzer-SOC beim Entladen zunächst schneller abnimmt, als der „echte“ BMS-SOC. Dieser „Vorsprung“ des Nutzer-SOC wird wieder an den BMS-SOC angeglichen, wenn die Batterie weitgehend entladen ist. Je näher der echte Ladezustand gegen 0% geht, umso mehr nähern sich Nutzer-SOC und BMS-SOC wieder an. Im Ergebnis hat der Nutzer dann z.B. in den letzten 25% des für ihn sichtbaren Nutzer-SOC mehr Energie zur Verfügung, als in den ersten 25 % und hat damit die Garantie, dass er den Rückweg auf jeden Fall schafft, wenn er auf dem Hinweg nicht unter 50 % Nutzer-SOC kommt.

Oben genannte Gründe führen dazu, dass die impliziten Messungenauigkeiten größer als die Unterschiede zwischen verschiedenen Wallboxen sind und daher ein Effizienzvergleich der verschiedenen Ladestationen nicht durchführbar ist. Durch die definierte Ladekennzahl lässt sich dennoch ermitteln, wie groß der Aufwand an Ladeenergie war und wie groß die Streuungen sind. Dazu wurde für jedes Fahrzeug und jede Messkampagne der Mittelwert der Ladekennzahl ermittelt.

Abbildung 3-1 zeigt die Mittelwerte der Ladekennzahlen jeder Messkampagne für die Renault Zoes an den Standorten Bad Säckingen, St. Blasien, Stockach, Riegel, Stegen und Villingen. Die hier verwendeten Wallboxen sind ausschließlich vom Hersteller KEBA, wobei die zwei verwendeten Typen Comfort KE Z.E. und Comfort KE Typ 2 in der Bauart ähnlich sind. In St. Blasien zeigen sich sehr geringe Abweichungen zwischen den einzelnen Messkampagnen, in Riegel ist die Bandbreite am größten. Zusammenfassend ist für die einzelnen Messkampagnen festzustellen, dass im besten bzw. schlechtesten Fall 241 bzw. 419 Wh / %SOC aufgebracht werden müssen, um die Batterie zu laden und aktive Verbraucher zu versorgen. Für eine 100% Ladung der 22 kWh Batterie müssten der Ladestation 24,1 bzw. 41,9 kWh elektrische Energie zugeführt werden. Somit sind bestenfalls ca. 91 % der von der Ladestation bezogenen Energie in der Batterie verfügbar, im schlechtesten Fall sind es lediglich 52 %.

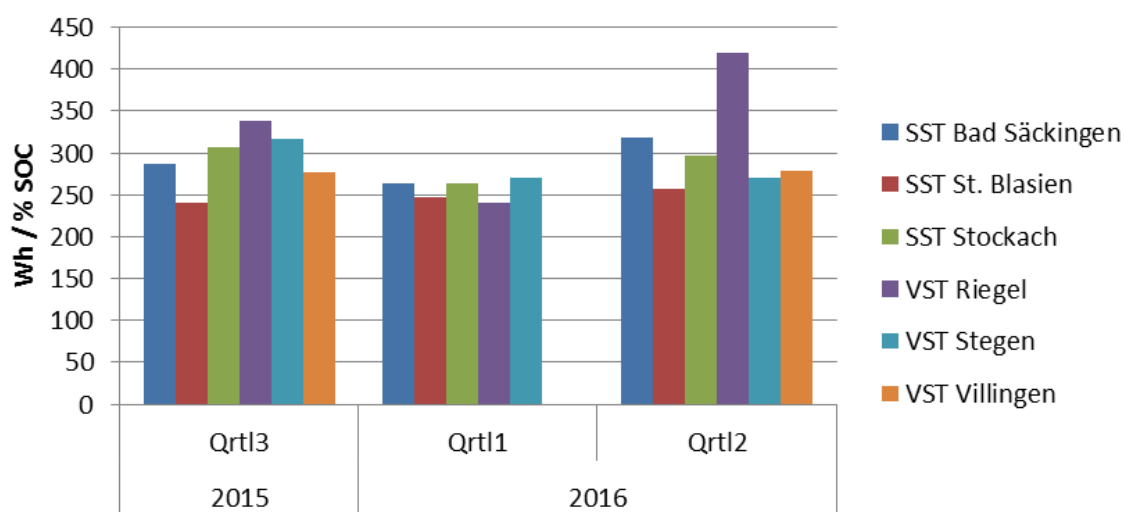


Abbildung 3-1: Ladekennzahlen Renault Zoe für die 3 Messkampagnen

Für die weitere Auswertung wurde die durchschnittliche Ladekennzahl der drei Messkampagnen für jeden Standort ermittelt, daraus die notwendige Energie bei einer 100 % Ladung berechnet und der nutzbaren Batteriekapazität des Fahrzeugs (22 kWh) gegenübergestellt (Abbildung 3-2).

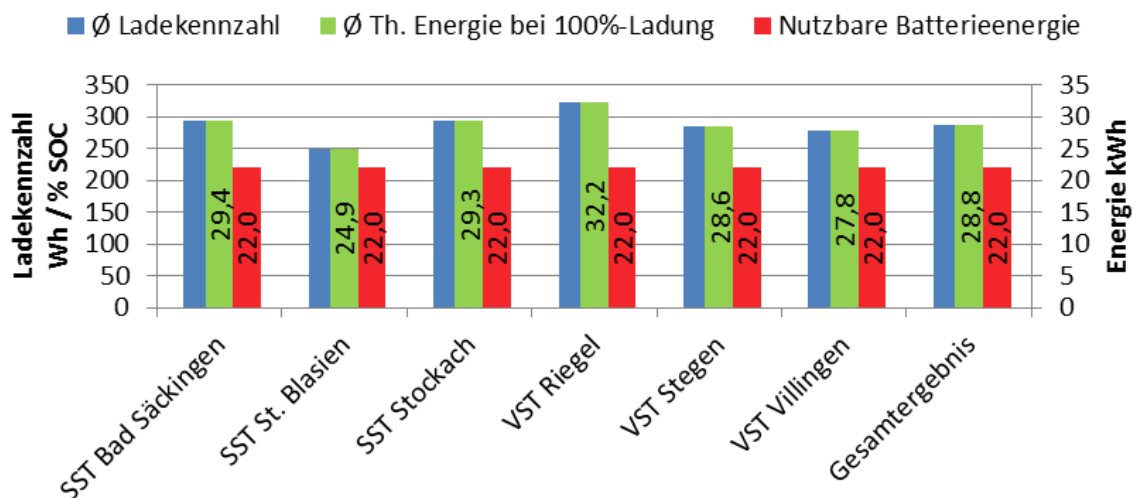


Abbildung 3-2: Mittlere Ladekennzahl, resultierende Energiemenge für 100%-Ladung und tatsächliche Batteriekapazität

Im besten Fall (SST St. Blasien) wären durchschnittlich 24,9 kWh für eine volle Batterieladung inkl. Versorgung aktiver Verbraucher aufzubringen, im schlechtesten Fall (VST Riegel) wären es 32,2 kWh. Somit sind zur Ermittlung des realen Energiebedarfs der Renault Zoes inkl. aktiver Verbraucher die im Fahrzeugdisplay angegebenen Verbrauchswerte mit Zuschlägen zwischen 13% und 46% zu verwenden, im Mittel aller Messkampagnen beträgt der Zuschlag 31 %.

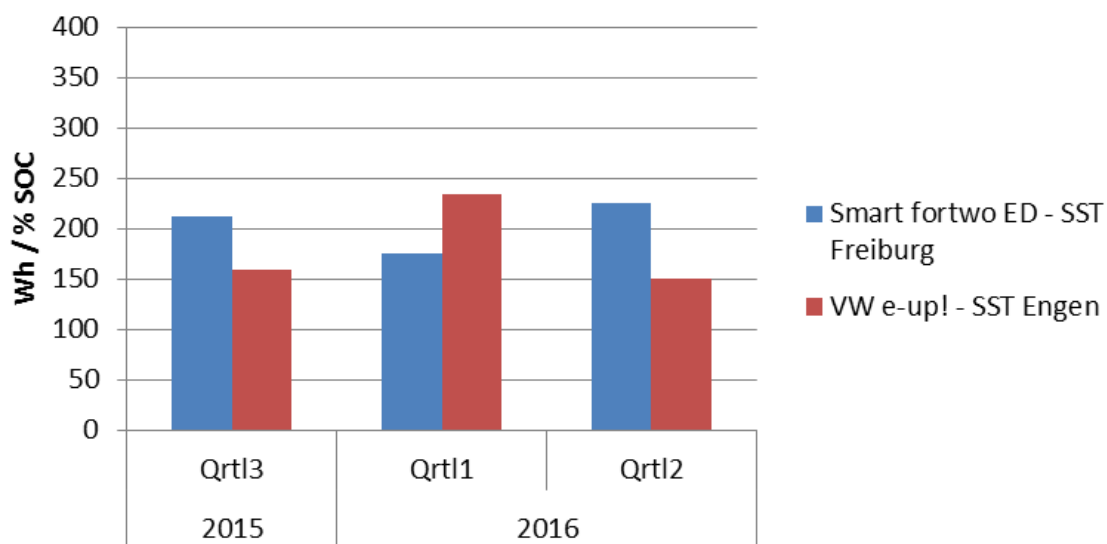


Abbildung 3-3: Ladekennzahlen smart fortwo electric drive und VW e-up! für die 3 Messkampagnen

Die Fahrzeuge smart fortwo electric drive und VW e-up! werden in den Sozialstationen Freiburg und Engen mit Ladestationen des Herstellers Mennekes (Typen Amtron light 11 C2 und Amtron Start 11) eingesetzt. Dort wurden ebenfalls Ladeprotokolle erstellt, deren Auswertung identisch zu der Aus-

wertung für die Zoes vorgenommen wurde. Abbildung 3-3 zeigt die ermittelten Ladekennzahlen je Fahrzeug und Messkampagne. Auch hier ist aus geschilderten Gründen eine große Bandbreite zwischen 150 bis 233 Wh / %SOC festzustellen, insgesamt sind die Ladekennzahlen aufgrund der kleineren nutzbaren Batteriekapazitäten kleiner als bei den Zoes.

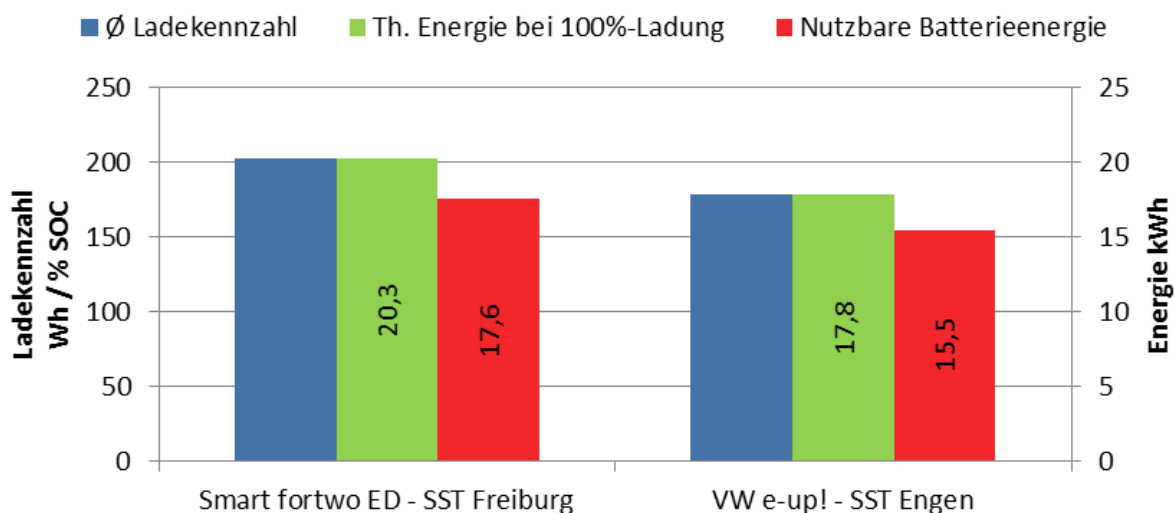


Abbildung 3-4: Mittlere Ladekennzahl, resultierende Energiemenge für 100%-Ladung und tatsächliche Batteriekapazität

Abbildung 3-4 zeigt die durchschnittlichen Ladekennzahlen der Messkampagnen, die daraus resultierende Energiemenge für eine 100 % Ladung und die nutzbare Batteriekapazität der Fahrzeuge smart fortwo electric drive und e-up!. Beim smart ergibt sich für die Ladung der 17,6 kWh Batterie inklusive Versorgung aktiver Verbraucher ein Energiebedarf von 20,3 kWh, woraus ein Zuschlag zu den im Display angezeigten Energieverbrauchswerten von 15,4 % abgeleitet werden kann. Für den e-up! mit ca. 15,5 kWh nutzbarer Batteriekapazität müssen der Ladestation bei 100%-Ladevorgängen 17,8 kWh zugeführt werden. Der ermittelte Zuschlag für Verluste und aktive Verbraucher beträgt beim e-up! 15%.

Zusammenfassend setzt sich der zusätzliche Energiebedarf beim Laden aus den Wirkungsgradverlusten (Ladestation, fahrzeugseitiges Ladegerät, Ladekabel und Batterie) und dem zusätzlichen Aufwand für aktive Verbraucher zusammen. Unter der Annahme, dass bei den kleinsten ermittelten Ladekennzahlen keine Verbraucher aktiv waren, betragen die Wirkungsgrad-Verluste ca. 12-14%. Eine Temperaturabhängigkeit dieser Verluste konnte aus den vorhandenen Daten nicht abgeleitet werden.

In Extremfällen (Ladevorgänge mit geringem Ladehub mit langer Dauer aktiver Kabinenbeheizung und Batterietemperierung) übersteigt der Energiebedarf für die Versorgung aktiver Verbraucher den für die Batterieladung. In diesen Fällen lässt sich, wie die große Bandbreite der Renault Ladekennzah-

len zeigt, durch geeignete Maßnahmen, z.B. zeitgesteuerter Ladevorgang und Verzicht auf kontinuierliche Kabinenbeheizung, ein großes Einsparpotential realisieren.

Tabelle 3-2 zeigt für die ausgewerteten Ladevorgänge für jede Kombination von Fahrzeugtyp und Ladestation den resultierenden Zuschlag, der zur Ermittlung des Lade-Strombedarfs ab Energieversorger aus den im Fahrzeugdisplay angezeigten Energiebedarfswerten angesetzt werden kann. Mit diesem Zuschlag sind alle Wirkungsgradverluste und die während der Erfassung der Ladevorgänge aktiven Verbraucher abgedeckt.

Tabelle 3-2: Zuschläge zum im Fahrzeug angezeigten Energiebedarf zur Ermittlung des Stromverbrauchs

Einsatzort	Fahrzeug	Ladestation Hersteller / Modell	Zuschlag zum Verbrauch ab Batterie
SST Bad Säckingen	Renault Zoe	KEBA Comfort KE Z.E.	34%
SST St. Blasien	Renault Zoe	KEBA Comfort KE Z.E.	13%
SST Stockach	Renault Zoe	KEBA Comfort KE Z.E.	33%
VST Riegel	Renault Zoe	KEBA Comfort KE Typ 2	46%
VST Stegen	Renault Zoe	KEBA Comfort KE Typ 2	30%
VST Villingen	Renault Zoe	KEBA Comfort KE Typ 2	26%
SST Freiburg	smart fortwo electric drive	Menekes Amtron light 11 C2	15%
SST Engen	VW e-up!	Menekes Amtron Start 11	15%

3.4. Laden am privaten Stromanschluss der Nutzer mit ubitricity

Um die Flexibilität in der Nutzung und die reale Reichweite der E-Fahrzeuge zu erhöhen wurden bei einzelnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Verrechnungsstellen Ladestationen am Wohnort installiert. Hier konnten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über Nacht die elektrischen Dienstfahrzeuge aufladen. Dabei sollte eine genaue Erfassung und Abrechnung gewährleistet sein. In dem Projekt „elektrisch mobil“ wurde daher eine Zählererfassung der Firma ubitricity genutzt. Die Abrechnung erfolgte über die mobile Zähleinheit für die monatlich eine Grundgebühr von 9,90 Euro bezahlt wurde.

In Abbildung 3-5 ist der monatliche Energieverbrauch der Heimpladestationen in den drei Verrechnungsstellen dargestellt. Die Möglichkeit des Heimladens wurde fast ausschließlich in Riegel und Villingen genutzt, mit Minimalwerten von 9 kWh im November in Villingen (1 Plug-in) und Maximalwerten von 80 kWh im Juni in Villingen (5 Plug-ins). Insgesamt wurde die Möglichkeit des Heimladens

in den Verrechnungsstellen selten genutzt und der Anteil der Ladeenergie war im Vergleich zum gesamten Ladeenergiebedarf so gering, dass durch die Grundgebühr höhere Kosten als für den Energiebedarf beim Laden entstanden (vgl. Kap. 5). Eine Möglichkeit der Kostensenkung ergibt sich daher durch andere Modelle zur Vergütung des Heimpladens.

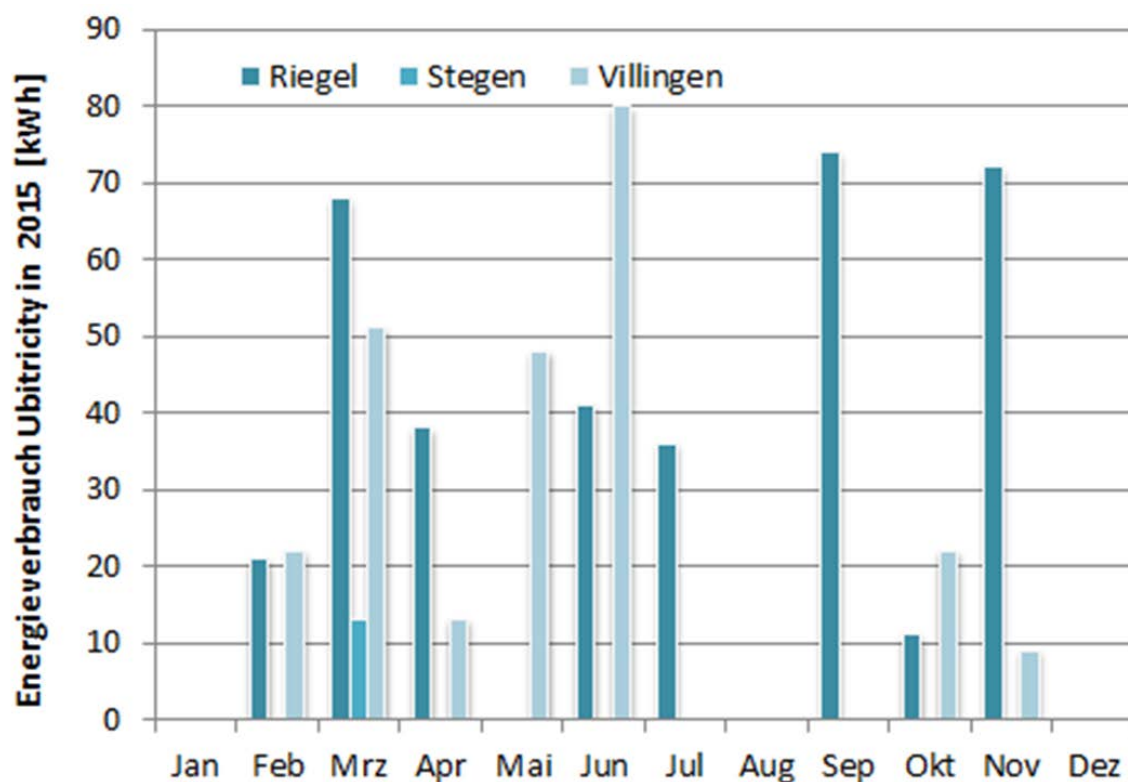


Abbildung 3-5: Verrechnungsstellen: Energieverbrauch durch Heimpladen

4. Einstellungen, Erwartungen und Erfahrungen: Nutzerbefragungen

4.1. Datenquellen

Zur Erhebung der Einstellungen, Akzeptanz und Erfahrungen der E-Fahrzeug-Nutzer wurden zum einen Fragebögen erarbeitet, die jeweils zu Beginn und nach einem Jahr der Nutzung verteilt wurden. Zum anderen wurde im Frühjahr 2016, nach einem reichlichen Nutzungsjahr, ein Nutzerworkshop durchgeführt. Zusätzlich konnten Rückmeldungen und sonstige Erfahrungsberichte, die im Laufe des Projekts gegeben wurden, aufgenommen werden (Abbildung 4-1).

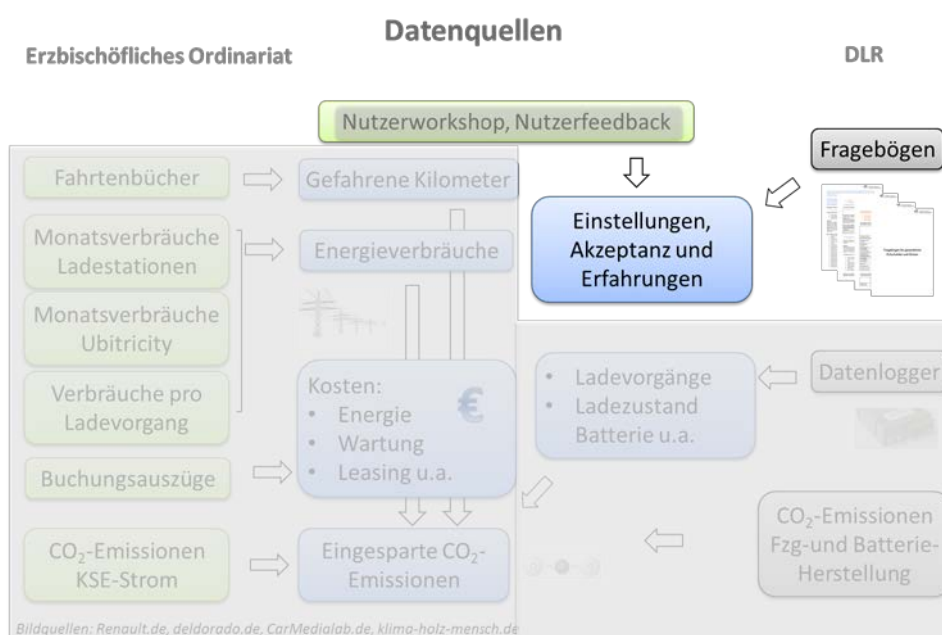


Abbildung 4-1: Verwendete Datenquellen für die Nutzerbefragungen

4.2. Auswertung der Fragebögen vor und während der Fahrzeugnutzung

Im Rahmen der übergeordneten Forschungsprojekte „InitiativE-BW“ und „InitiativE-BB³“ wurde eine Nutzerbefragung konzeptioniert unter Berücksichtigung von:

- (1) der Erfassung der persönlichen Einstellungen und Präferenzen zur Elektromobilität vor der Nutzung und nach einer Eingewöhnungszeit im Umgang mit den Fahrzeugen und
- (2) der Beschreibung der Teilnehmer des Flottenprojektes im Hinblick auf Soziodemographie bzw. Betriebsspezifika und generelles Mobilitätsverhalten.

³ <http://www.emo-berlin.de/initiative/>

Es wurden vier verschiedene Nutzergruppen identifiziert (private Nutzer, gewerbliche Nutzer, gewerbliche Nutzer und Entscheider, gewerbliche Entscheider), um eine differenzierte Befragung der unterschiedlichen Kundengruppen zu ermöglichen. Die Fragebögen beinhalten neben Fragestellungen zum Mobilitäts- und Ladeverhalten auch Angaben zur Motivation und geplanten Nutzung bei der Anschaffung eines Elektrofahrzeugs, zu bisherigen Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen, zu Erwartungen an das Elektrofahrzeug und zu grundsätzlichen Einstellungen zu den Themen Umwelt und Elektromobilität.

4.2.1. Grunddaten der Befragung

Eine Herausforderung im übergeordneten Forschungsprojekt „InitiativE-BW“ war die Sicherstellung einer zufriedenstellenden Rückläuferquote, besonders in der zweiten Befragungsrunde. Hier wurden die Fragebögen oft nur noch von einem Studienteilnehmer ausgefüllt, obwohl die E-Fahrzeuge von mehreren Personen genutzt wurden. Im Rahmen des Projekts „elektrisch mobil“ konnte hingegen durch gezielte, z.T. auch wiederholte Ansprache der beteiligten Nutzer/verantwortlichen Entscheider und der Ermöglichung des handschriftlichen Ausfüllens der Fragebögen eine sehr hohe Anzahl von Rückläufern erzielt werden.

Tabelle 4-1 stellt die Anzahl der Teilnehmer und ihr Geschlecht⁴ in den zwei Befragungsrunden dar. Insgesamt nahmen in der ersten Befragungsrunde 79 Nutzer teil, davon 18 Teilnehmer aus den Verrechnungsstellen (8 weiblich, 9 männlich) und 61 Teilnehmer aus den Sozialstationen (45 weiblich, 13 männlich). In der zweiten Befragungsrunde nahmen insgesamt 68 Nutzer teil, davon 20 Teilnehmer aus den Verrechnungsstellen (9 weiblich, 11 männlich) und 48 Teilnehmer aus den Sozialstationen (32 weiblich, 15 männlich). Bedingt durch die Beschäftigtenstruktur in den Sozialstationen ist der Anteil der weiblichen Nutzer mit 71% in der ersten Befragungsrunde und 62% in der zweiten Befragungsrunde eher hoch. Zum Vergleich: im Hauptprojekt InitiativE-BW lag der Anteil der weiblichen Befragten inklusive der hier ausgewerteten Nutzer bei 26% in der ersten Befragungsrunde und 34% in der zweiten Befragungsrunde. In Deutschland sind 50,7% der Bevölkerung weiblich (Statistisches Bundesamt, 2017).

⁴ Die Angabe des Geschlechts erfolgte auf freiwilliger Basis und wurde nicht durchgängig gemacht.

Tabelle 4-1: Grunddaten der Nutzerbefragungen

Name	Fragebogen -Nr ⁵	Anzahl Nutzer	Anzahl Entscheider & Nutzer
VST Riegel	To	4 (w: 2; m: 2)	1 (w)
	T1	4 (w: 2; m: 2)	1 (w)
VST Stegen	To	6 (w: 3; m: 2; k.A.: 1)	1 (m)
	T1	7 (w: 2; m: 5)	1 (m)
VST Villingen	To	5 (w: 2; m: 3)	1 (m)
	T1	6 (w: 4; m: 2)	1 (m)
Summe über alle VST	To	15 (w: 7; m: 7; k.A.: 1)	3 (w: 1; m: 2)
	T1	17 (w: 8; m: 8)	3 (w: 1; m: 2)
Sozialstation Stockach	To	1 (w)	1 (k.A.)
	T1	3 (w)	1 (w)
Pflegezentrum Rielasingen	To	24 (w: 22; m: 2)	1 (w)
	T1	18 (w: 17; m: 1)	1 (w)
Sozialstation Kon- stanz	To	9 (w: 6; m: 3)	1 (m)
	T1	6 (w: 4; m: 2)	1 (m)
Sozialstation Engen	To	2 (w)	1 (m)
	T1	1 (w)	1 (m)
CV Singen-Hegau	To	1 (w)	1 (m)
	T1	1 (w)	1 (m)
Sozialstation Freiburg	To	6 (w: 4; m: 2)	2 (m)
	T1	5 (w: 1; m: 4)	2 (m)
Sozialstation St. Blasien	To	4 (w: 3; m: 1)	1 (m)
	T1	- ⁶	1 (m)
Sozialstation Bad Säckingen	To	5 (w: 4; m: 1)	1 (w)
	T1	5 (w: 3; m: 2)	1 (m)
Summe über alle Sozialstationen	To	52 (w: 43; m: 9)	9 (w: 2; m: 6; k.A.: 1)
	T1	39 (w: 30; m: 9)	9 (w: 3; m: 6)

⁵ To: zu Nutzungsbeginn

T1: nach einem Nutzungsjahr

⁶ Fragebögen gingen auf dem Postweg verloren

Im Folgenden werden für einige ausgewählte Aspekte die Ergebnisse der Befragungen für die Verrechnungsstellen und Sozialstationen dargestellt.

4.2.2. Auswertung der Verrechnungsstellen

Die kirchlichen Verrechnungsstellen Riegel, Stegen und Villingen haben im Rahmen des Projekts jeweils ein Dienst-E-Fahrzeug angeschafft, einen Renault Zoe. Die Mitarbeiter haben bisher für dienstliche Fahrten ihr Privatfahrzeug genutzt und wurden dafür mit 35 €/km entschädigt.

4.2.2.1. Zu Nutzungsbeginn

4.2.2.1.1. Vorerfahrungen und Fahrverhalten

Ein Drittel aller Nutzer in den Verrechnungsstellen konnte vor Nutzungsbeginn erste Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen sammeln (Abbildung 4-2).

Konnten Sie vor dem Erwerb des Elektrofahrzeugs bereits Praxiserfahrungen im Umgang mit Elektrofahrzeugen sammeln?

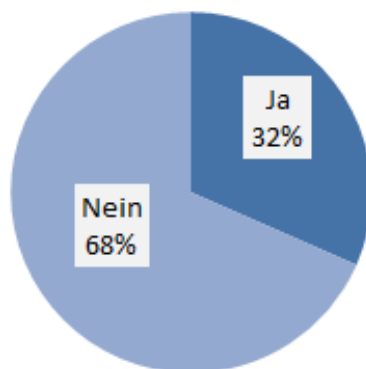
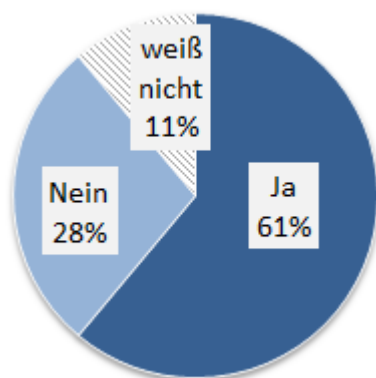


Abbildung 4-2: Verrechnungsstellen (N=19): Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen zu Beginn der Nutzung

60% der Befragten waren zu Beginn der Nutzung überzeugt, dass sich ihr Fahrverhalten ändern würde (Abbildung 4-3, links). Der Großteil von Ihnen war überzeugt, durch die Nutzung eines Elektrofahrzeugs energiesparender, vorausschauender und auch langsamer zu fahren (Abbildung 4-3, rechts).

Denken Sie, dass sich Ihr Fahrverhalten durch die Nutzung des Elektrofahrzeugs verändern wird? (N=18)



Inwiefern wird sich Ihr Fahrverhalten verändern? Werden Sie... (N=11, Mehrfachnennungen mgl.)

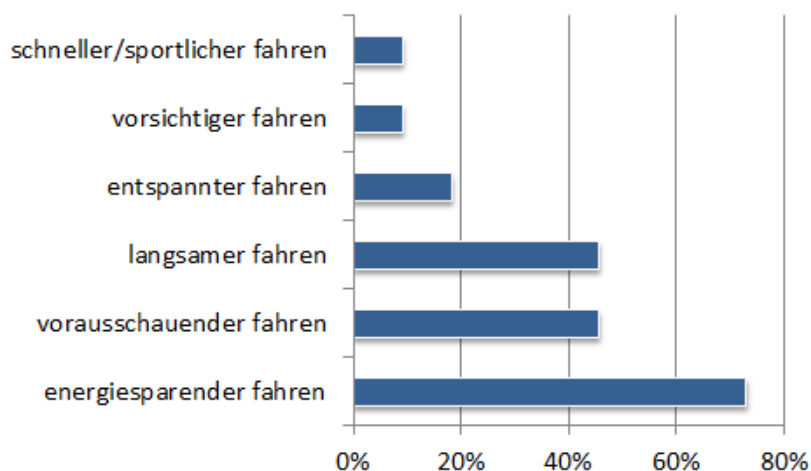


Abbildung 4-3: Verrechnungsstellen: Erwartungen an Fahrverhaltensänderungen durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen

4.2.2.1.2. Allgemeine Erwartungen an Elektrofahrzeuge

Zur graphischen Darstellung der weiteren Umfrageergebnisse wurden sog. „Boxplots“⁷ gewählt, um die statistische Verteilung der Antworten zu veranschaulichen. Ein Boxplot setzt sich idealerweise zusammen aus einem Rechteck (Box) und zwei Linien, die dieses Rechteck verlängern und das untere und oberes Quartil (=Viertel) der Daten repräsentieren. Das untere Quartil stellt dabei die kleinsten 25 % der Datenwerte dar, das obere Quartil die größten 25 % der Datenwerte. Das Ende der Linien stellt den jeweiligen Minimal- und Maximalwert der Daten dar. Ein Strich in der Box repräsentiert i.d.R. den Medianwert⁸, d.h. den Wert, der an der mittleren Stelle der Daten steht und anzeigt, dass die Hälfte der Antworten genau darüber/darunter liegt. Die Ausdehnung der Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Grundsätzlich gilt: je größer die Ausdehnung, desto höher ist die Streuung der Angaben und desto weniger einig sind sich die Befragten.

Als Lesebeispiel zu Abbildung 4-4: Die Nutzer wurden gefragt, welche Erwartung Sie an das Elektrofahrzeug bezüglich des Parameters „Wirtschaftlichkeit“ im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug haben. Sie konnten auf einer Skala zwischen 1 („deutlich schlechter“) und 7 („deutlich besser“) antworten. Die mittleren 50% der Befragten wählten einen Bereich zwischen 3 und 6 („eher schlech-

⁷ Eine ausführliche Erläuterung findet sich bspw. unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Boxplot>

⁸ Eine ausführliche Erläuterung findet sich bspw. unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Median>

ter“ bis „überwiegend besser“, Ausdehnung des hellblauen Kastens). Der Median (dunkelblaue Raute) lag dabei zwischen 4 („gleich“) und 5 („eher besser“). Das Minimum der Einschätzung lag bei 2 („überwiegend schlechter“), das Maximum bei 7 („deutlich besser“). Bei einigen Parametern (Klimaschutz, Leasingmöglichkeiten, gesellschaftliche Wahrnehmung, Alltagstauglichkeit und Benutzerfreundlichkeit) ist der Medianwert gleich mit den kleinsten und/oder größten 25 % der Datenwerte, weswegen Teile der Box „zusammenschrumpfen“. Es bedeutet, dass sich die Befragten sehr einig waren und überwiegend die gleiche Einschätzung hatten. Deutlich wird dies am Parameter „Benutzerfreundlichkeit“. Hier waren fast alle Nutzer der Meinung, E-Fahrzeuge seien genauso benutzerfreundlich wie konventionelle Fahrzeuge.

Abbildung 4-4 zeigt weiterhin, dass die Erwartungen an E-Fahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen zu Nutzungsbeginn in allen VST eher positiv war. Dies gilt besonders für Umweltaspekte wie Klimaschutz, lokale Luftqualität und Lärmschutz, aber auch für Imageeigenschaften und technologischen Fortschritt. Eher skeptisch waren die Nutzer beim Thema Alltagstauglichkeit, der Median liegt hier bei 3 („eher schlechter“).

Welche Erwartung haben Sie an das geleaste Elektrofahrzeug bezüglich folgender Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug?

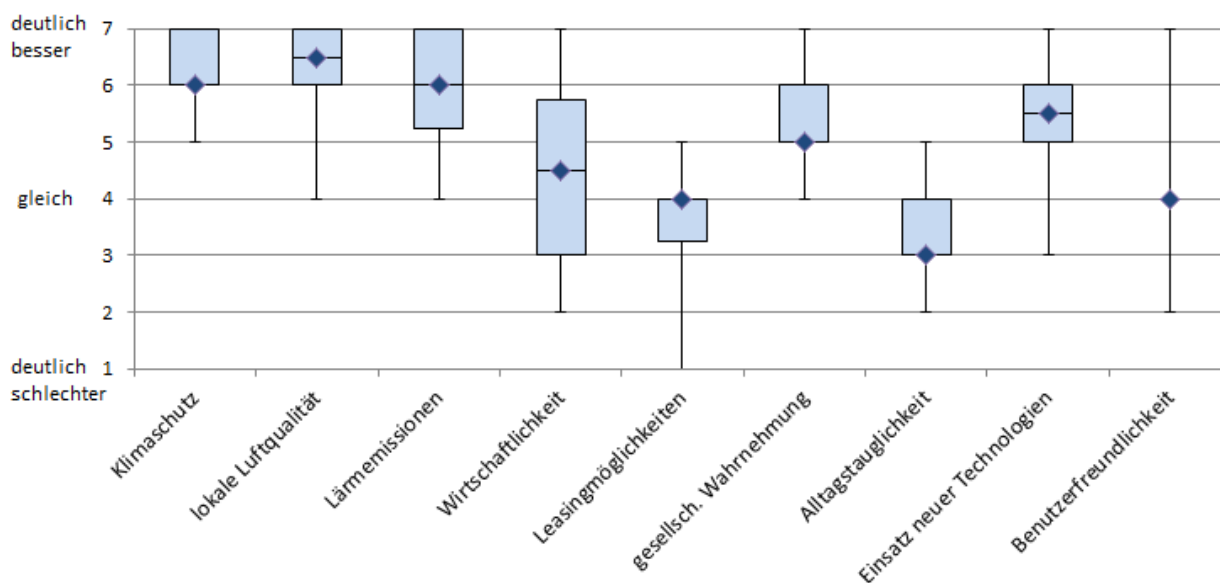


Abbildung 4-4: Verrechnungsstellen (N=18): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. Umweltauswirkungen, Wirtschaftlichkeit, gesellschaftlicher Wahrnehmung und Tauglichkeit; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser

4.2.2.1.3. Erwartungen bezüglich der Fahrzeugeigenschaften

Die Nutzer aus den Verrechnungsstellen wurden weiterhin gefragt, welche Erwartungen sie an Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen bezüglich technischer Fahrzeugeigenschaften hätten (Abbildung 4-6). Der Energieverbrauch von E-Fahrzeugen wird ganz allgemein als eher besser bis deutlich besser als der von konventionellen Fahrzeugen eingeschätzt (Median: 6). Wenig überraschend wird die Reichweite von E-Fahrzeugen als überwiegend bis deutlich schlechter angesehen (Median: 2). Konträr zu dem, was erwartbar wäre, schätzt der Großteil der Befragten das Fahrvergnügen und das Beschleunigungsverhalten als vergleichbar mit konventionellen Fahrzeugen ein (Median: jeweils 4), wobei die Maximalwerte zeigen, dass einige Befragte bereits Erfahrungen mit E-Fahrzeugen sammeln konnten. Fahrgeräusche von E-Fahrzeugen werden als eher bis überwiegend besser eingestuft (Median: 6). Alle weiteren angefragten Fahrzeugeigenschaften (Design, Höchstgeschwindigkeit, Transportkapazität, Zuverlässigkeit, Fahrzeugsicherheit, Sommer- und Wintertauglichkeit) werden gleich gut eingeschätzt wie bei konventionellen Fahrzeugen, teilweise leicht schlechter (Medianwerte zwischen 4 und 3).

Welche Erwartung haben Sie an das geleaste Elektrofahrzeug bezüglich folgender Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug?

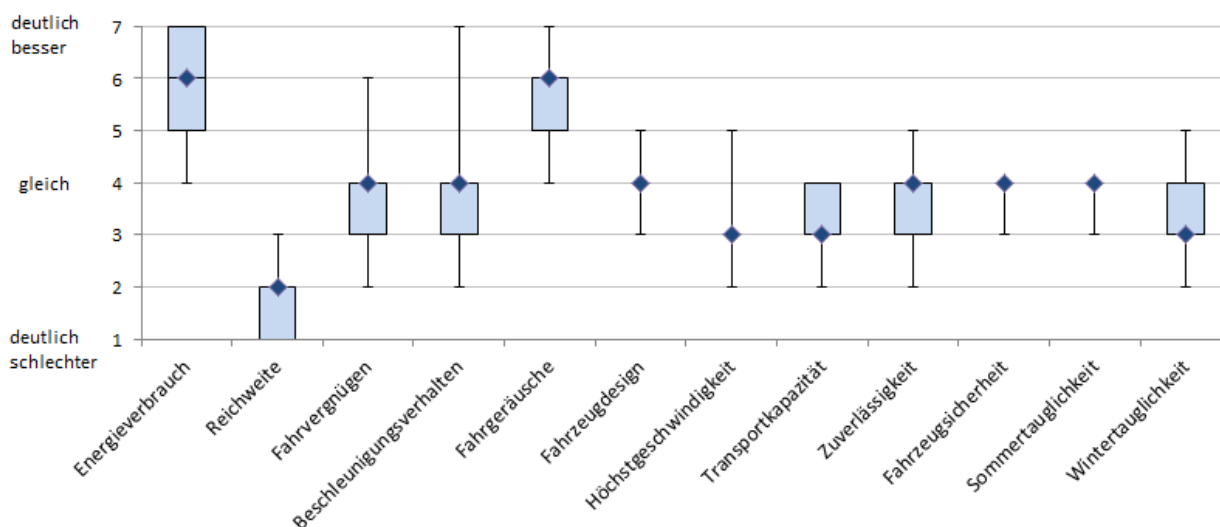


Abbildung 4-5: Verrechnungsstellen (N=18): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. technischer Eigenschaften; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser

4.2.2.1.4. Erwartungen zu Kosten und Aufwand

Nach Ihren Erwartungen hinsichtlich der Kosten von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen befragt (Abbildung 4-6), zeigten sie sich eher skeptisch beim Thema Wiederverkaufswert. Der Median liegt hier bei 3 („eher niedriger“), und das untere Quartil bei 1 („deutlich niedriger“). Insgesamt weist die Box eine relativ große Ausdehnung auf, was auf eine noch hohe Unsicherheit bei diesem Thema schließen lässt. Bezüglich der Wartung von E-Fahrzeugen werden ähnlich hohe Kosten und Aufwände erwartet wie bei konventionellen Fahrzeugen (Median: 4 bzw. 3,5). Energiekosten von Elektrofahrzeugen werden als eher niedriger eingeschätzt (Median: 3, unteres Quartil: 2, oberes Quartil: 3,25). Die Anschaffungskosten werden hingegen von fast allen Befragten als überwiegend höher eingeschätzt (Median: 6). Ebenso wird der Aufwand zum Laden des E-fahrzeugs als eher höher bis deutlich höher erwartet (Median: 6).

Welche Erwartung haben Sie an das geleaste Elektrofahrzeug bezüglich folgender Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug?

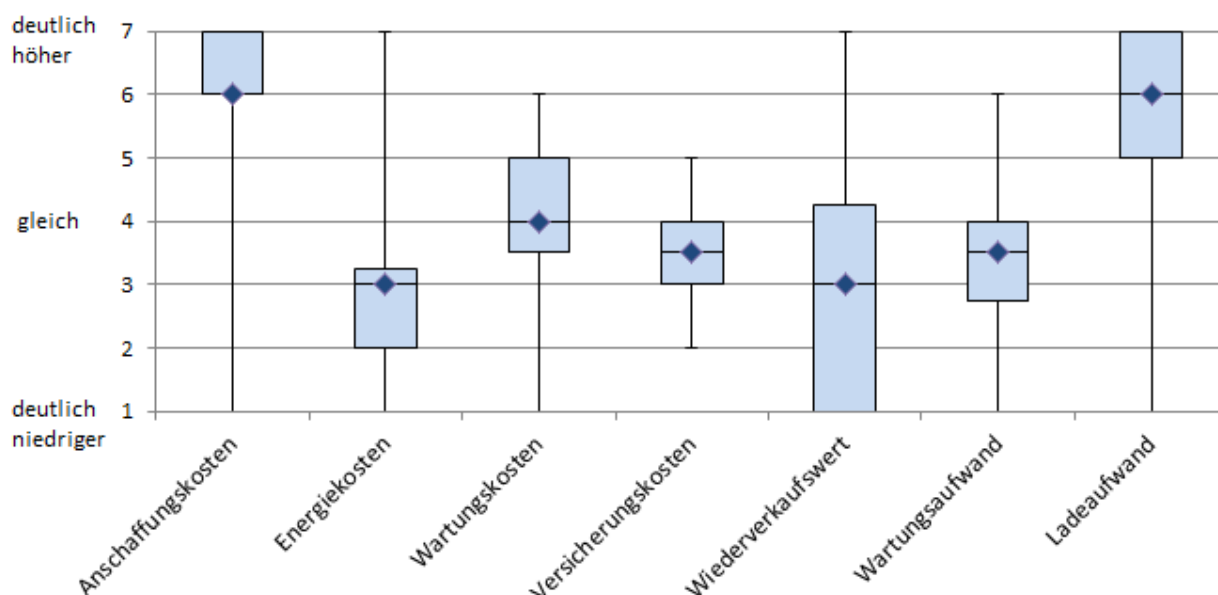


Abbildung 4-6: Verrechnungsstellen (N=16): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. ihrer Kosten und des Lade-/Wartungsaufwands; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich niedriger, 2: überwiegend niedriger, 3: eher niedriger, 4: gleich, 5: eher höher, 6: überwiegend höher, 7: deutlich höher

4.2.2.1.5. Auswirkungen auf das Unternehmensimage

Die meisten Befragten erwarteten, dass E-Fahrzeuge eine eher positive Auswirkung auf das Image Ihrer Einrichtung haben werden (Abbildung 4-7). 50% meinten, dass Elektrofahrzeuge zu einem ökologischen Unternehmensimage beitragen können und dass durch den Einsatz von E-Fahrzeugen eine Aufwertung des Images möglich sei (Median jeweils bei 6, „stimme überwiegend zu“, zweites und drittes Quartil zwischen 5 und 6). Analog dazu lag bei der Frage, ob der Einsatz von E-Fahrzeugen keine Auswirkungen auf das Image des Unternehmens haben würde, der Median bei 3 („stimme eher nicht zu“). E-Fahrzeuge wurden allerdings eher nicht als Mittel zur Mitarbeiterbindung gesehen, 75% der Antworten lagen hier zwischen 1 („stimme gar nicht zu“) und 4 („teils, teils“).

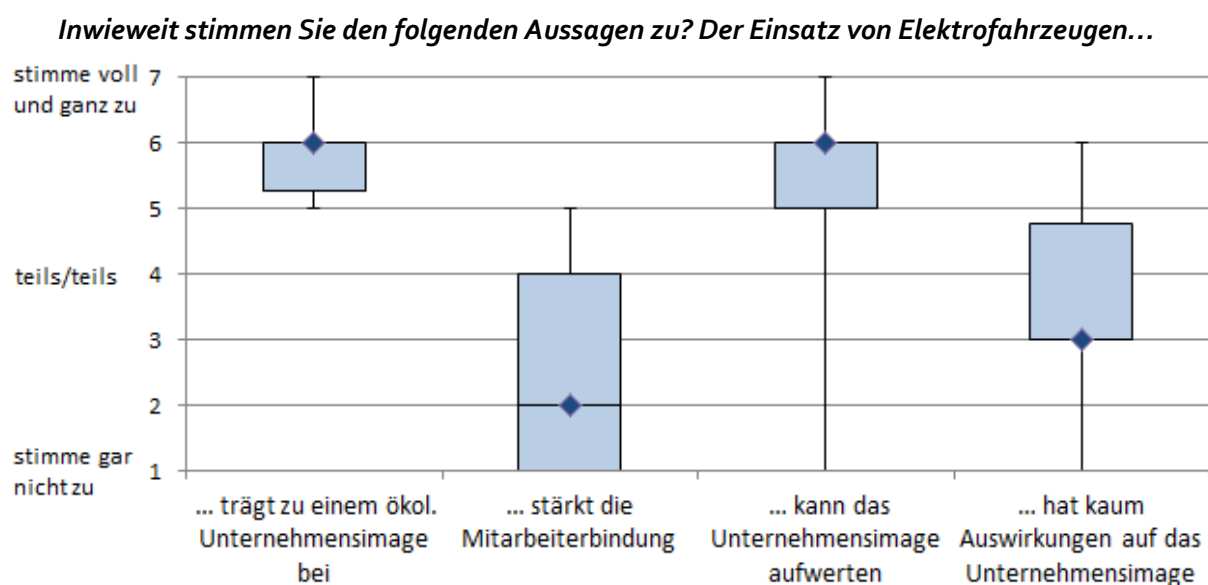


Abbildung 4-7: Verrechnungsstellen (N=18): Erwartungen an Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf Unternehmensimage und Mitarbeiterbindung; Werte der vertikalen Achse: 1: stimme gar nicht zu, 2: stimme überwiegend nicht zu, 3: stimme eher nicht zu, 4: teils/teils, 5: stimme eher zu, 6: stimme überwiegend zu, 7: stimme voll und ganz zu

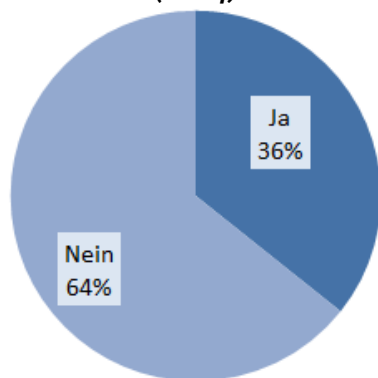
4.2.2.2. Nach einem Nutzungsjahr

4.2.2.2.1. Fahrverhalten

Der Vergleich der Fragebögen zu Beginn der Nutzung und nach einem Nutzungsjahr zeigt, dass ein Drittel der Befragten überzeugt ist, durch die Nutzung von E-Fahrzeugen nun anders zu fahren (Abbildung 4-8). Die Fahrverhaltensänderungen entwickelten sich tatsächlich in die vorher erwartete Richtung (energiesparender, vorausschauender, langsamer und entspannter).

Denken Sie, dass sich Ihr Fahrverhalten durch die Nutzung des Elektrofahrzeugs geändert hat?

(N=14)



Inwiefern wird hat sich Ihr Fahrverhalten geändert? Fahren Sie...

(N=10, Mehrfachnennungen möglich)

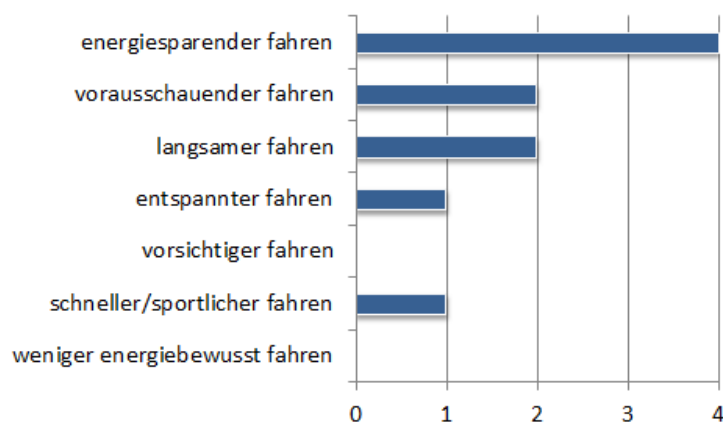
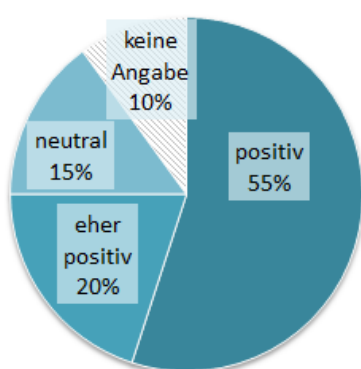


Abbildung 4-8: Verrechnungsstellen: Nach einem Nutzungsjahr - Fahrverhaltensänderungen durch E-Fahrzeuge

4.2.2.2. Reaktionen des Umfelds und Zufriedenheit

Der überwiegende Teil der Nutzer aus den Verrechnungsstellen zeigte sich in der zweiten Befragungsrunde zufrieden mit ihren E-Fahrzeugen (Abbildung 4-9), trotz Schwierigkeiten mit Ladeinfrastruktur und Reichweite. Als Vorteile wurden positive Umweltaspekte, Geräuscharmheit und Fahrspaß genannt. Die Reaktion der Kunden war überwiegend positiv.

Wie bewerten Sie die Reaktionen Ihrer Kunden auf das Elektrofahrzeug?



Wie zufrieden sind Sie im Allgemeinen mit dem Elektrofahrzeug?

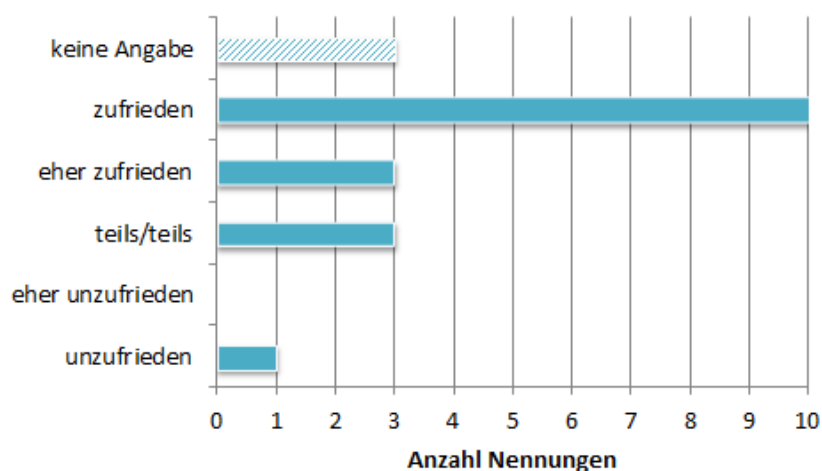


Abbildung 4-9: Verrechnungsstellen (N=20): Kundenreaktionen (links) und Zufriedenheit (rechts) nach einem Nutzungsjahr

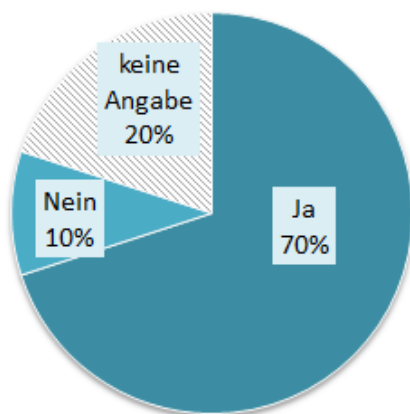
4.2.2.2.3. Ausweichen auf einen konventionellen Pkw

Trotz aller Zufriedenheit mussten 70% der Befragten in 2015 in allen Verrechnungsstellen mindestens einmal auf den Privat-Pkw ausweichen (Abbildung 4-10, linke Seite). Gründe dafür waren:

- Mangelnde Reichweite (70%),
- Batterie nicht ausreichend geladen,
- Keine Lademöglichkeit am Zielort sowie
- Witterungsbedingungen (Schnee).

Abbildung 4-10 (rechte Seite) zeigt zusätzlich, dass die Anzahl der Fälle, an denen ein Ausweichen notwendig war, tendenziell gering waren (maximal 10 Ausweichfälle in 2015). Über die Hälfte der Betroffenen mussten nur ein bis vier Mal in dem betrachteten Jahr auf ein konventionelles Fahrzeug ausweichen.

Gab es Fälle, in denen Sie auf ein herkömmliches Auto ausweichen mussten? (N=20)



Wie viele solcher Fälle gab es im vergangenen Jahr? (N=10)

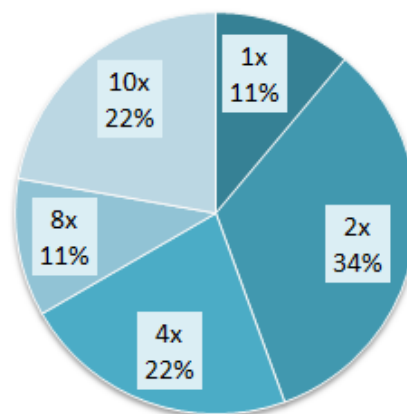


Abbildung 4-10: Verrechnungsstellen: Ausweichnotwendigkeit (links) und Ausweichanzahl (rechts) auf konventionelle Fahrzeuge innerhalb des Nutzungsjahres

4.2.2.2.4. Erwartungen bezüglich der Fahrzeugeigenschaften

Über alle Verrechnungsstellen hinweg wurden die Nutzer-Erwartungen an die E-Fahrzeuge in Bezug auf deren technische Eigenschaften erfüllt bis übertroffen (Abbildung 4-11). Der Vergleich der Medianwerte zu Beginn der Nutzung mit denen nach einem Nutzungsjahr zeigt, dass sich Beschleunigungsverhalten, Fahrvergnügen, Transportkapazität und Energieverbrauch als positiver als erwartet herausstellten (Anstieg der Medianwerte um einen bzw. einen halben Skalenwert). Der „vorher-nachher“-Vergleich zeigt besonders bei Fahrvergnügen und Beschleunigungsverhalten, dass die gesammelten Fahrerfahrungen zu einer deutlich positiveren Einschätzung des Elektrofahrzeugs führen. Während zu Beginn der Nutzung bei beiden Parametern die ersten und dritten Quartile zwischen 3 und 4 lagen („eher schlechter“ bis „gleich“), wandern diese nun auf Werte von 4 („gleich“) bis 6 („überwiegend besser“) bzw. 7 („deutlich besser“).

Wie bewerten Sie das geleaste Elektrofahrzeug bezüglich folgender Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug?

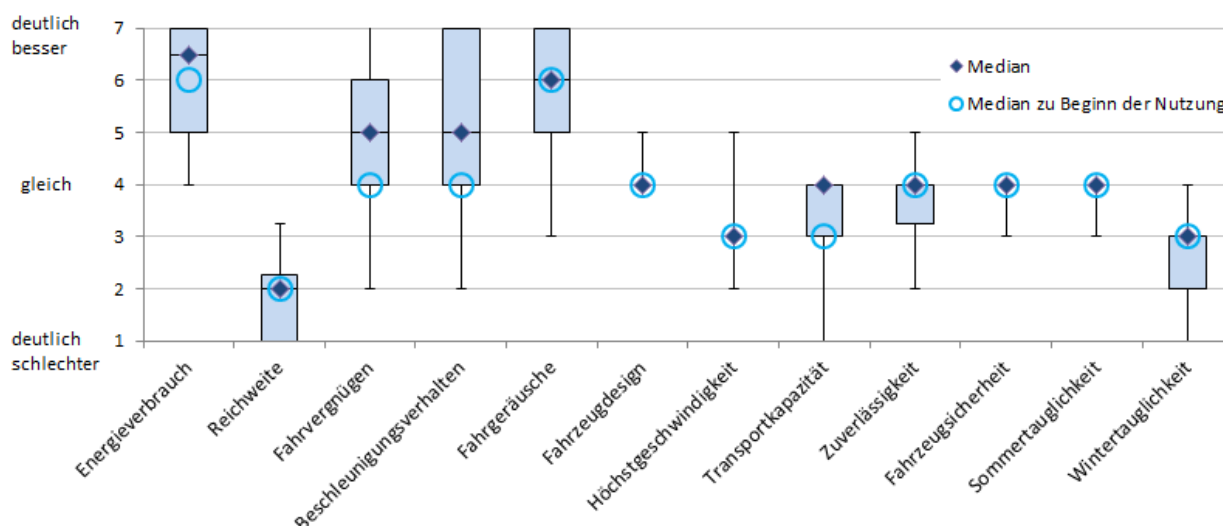


Abbildung 4-11: Verrechnungsstellen: Erwartungen zu Beginn der Nutzung im Vergleich zu Erfahrungen nach einem Nutzungsjahr bzgl. technischer Eigenschaften (N=14) - hellblauer Kreis stellt Medianwerte der Befragung zu Beginn dar; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser

4.2.2.2.5. Auswirkungen auf das Unternehmensimage

Die E-Fahrzeuge wurden und werden in allen Verrechnungsstellen als „Aufwerter“ für das Image des Unternehmens gesehen (Abbildung 4-12). Die zu Beginn der Nutzung vorhandenen Erwartungen konnten mit einer Ausnahme auch in der Rückschau nach einem Jahr erfüllt werden. So lag für die Aussage „Der Einsatz von Elektrofahrzeugen trägt zu einem ökologischen Unternehmensimage bei“ der Medianwert zu Beginn bei 6 („stimme überwiegend zu“) und stieg nach einem Jahr der Nutzung noch leicht auf 6,5 an. Auch für die Aspekte Stärkung der Mitarbeiterbindung und Auswirkung auf das Unternehmensimage durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen wurden die Erwartungen erfüllt (Medianwerte zu Beginn und nach einem Jahr gleich). Einzig für die Frage, ob das Elektrofahrzeug das Image der Einrichtung aufbessern könne, zeigten sich die Nutzer nach einem Jahr leicht skeptischer (Medianwert zu Beginn: 6, nach einem Jahr: 5). Das Minimum der angegebenen Antworten verbesserte sich allerdings von 1 („stimme gar nicht zu“) auf 3 („stimme eher nicht zu“).

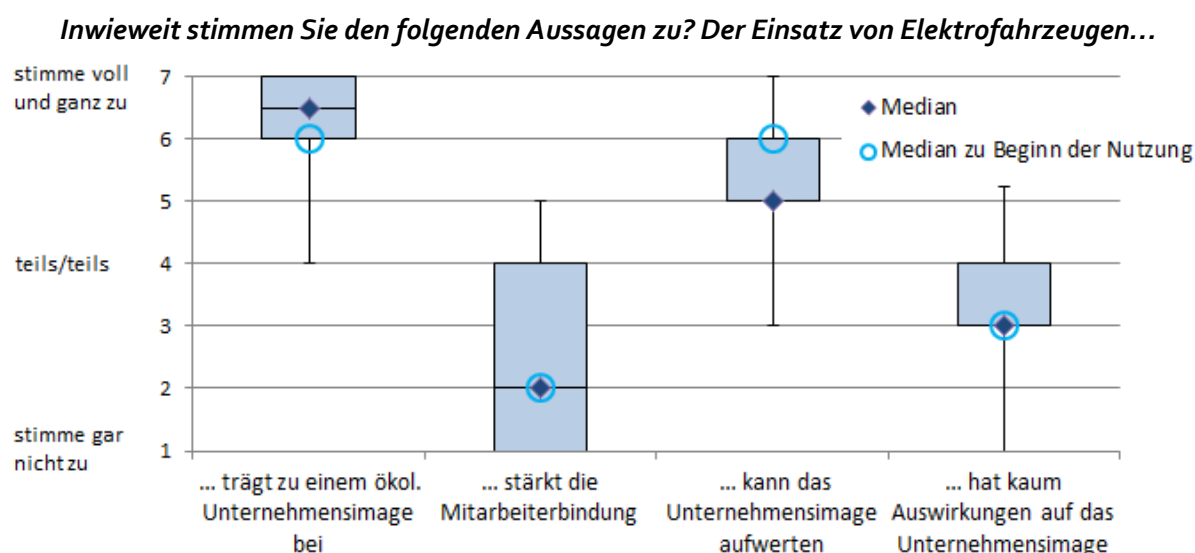
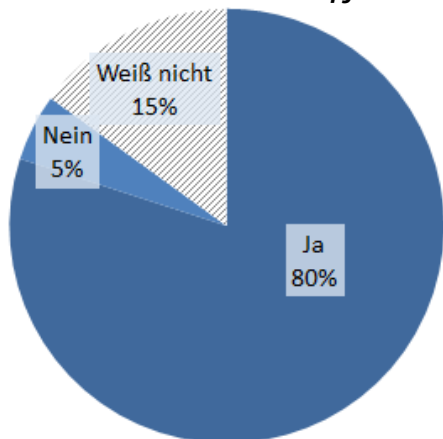


Abbildung 4-12: Verrechnungsstellen (N=14): Erwartungen zu Beginn der Nutzung im Vergleich zu Erfahrungen nach einem Nutzungsjahr bzgl. der Auswirkungen von E-Fahrzeugen auf das Image des Unternehmens - hellblauer Kreis stellt Medianwerte der Befragung zu Beginn dar; Werte der vertikalen Achse: 1: stimme gar nicht zu, 2: stimme überwiegend nicht zu, 3: stimme eher nicht zu, 4: teils/teils, 5: stimme eher zu, 6: stimme überwiegend zu, 7: stimme voll und ganz zu

4.2.2.2.6. Empfehlung von Elektrofahrzeugen für gewerbliche und private Zwecke

Abbildung 4-13 (links) verdeutlicht, dass 80% aller befragten Teilnehmer anderen Einrichtungen Ihrer Branche die Nutzung von Elektrofahrzeugen empfehlen würden, während dies nur 5% nicht tun würden. Die Eignung von Elektrofahrzeugen für spezifisch gewerbliche Zwecke wird demnach anscheinend deutlich positiv gesehen. Eher negativ wird anscheinend hingegen die Eignung von Elektrofahrzeugen für private Zwecke gesehen (Abbildung 4-13, rechte Seite). Hier halten es nur 10% der Befragten für eher bis recht wahrscheinlich, dass sie sich auch privat ein solches Fahrzeug innerhalb der nächsten drei bis fünf Jahre anschaffen werden. 80% der Befragten halten es für eher bis sehr unwahrscheinlich, sich in der nächsten Zukunft privat ein Fahrzeug mit Elektroantrieb zuzulegen.

Würden Sie den Einsatz von Elektrofahrzeugen für gewerbliche Zwecke auch anderen Unternehmen aus Ihrer Branche empfehlen?



Wie wahrscheinlich ist es, dass Sie auch privat ein Elektrofahrzeug anschaffen?

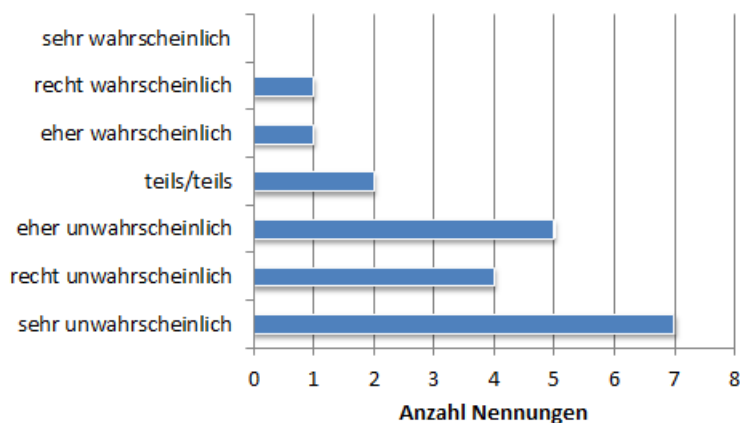


Abbildung 4-13: Verrechnungsstellen (N=20): Einschätzung der Eignung von Elektrofahrzeugen für gewerbliche Zwecke (links) und Wahrscheinlichkeit einer privaten Anschaffung (rechts)

4.2.2.3. Unterschiede zwischen den einzelnen Verrechnungsstellen

In Summe über alle drei Verrechnungsstellen hinweg zeigen sich die Nutzer in der Mehrheit zufrieden mit ihrem Elektrofahrzeug (vgl. Abbildung 4-9 rechts, in allen VST handelt es sich um einen Renault Zoe). Der Blick auf die einzelnen Verrechnungsstellen eröffnet jedoch leichte Unterschiede (Abbildung 4-14). Während in Riegel alle befragten Nutzer zufrieden (vier Nennungen) bzw. eher zufrieden mit ihrem Elektrofahrzeug sind (eine Nennung), zeigen sich in Villingen zwei Personen von sieben nicht oder nur teilweise zufrieden. Als Gründe geben sie die nicht ausreichend funktionierende Innenraumbeheizung und die unzureichende Reichweite an. In Stegen gibt es zwar niemanden, der unzufrieden ist, dafür aber zwei Personen von acht, die nur teilweise zufrieden sind und drei Personen, die die Frage gar nicht erst beantworteten. Eine Begründung für die jeweilige Einordnung der eigenen Antworten wurde in dieser Verrechnungsstelle nicht gegeben. Wirklich zufrieden sind nur ein Viertel der Befragten (zwei von acht Personen).

Wie zufrieden sind Sie im Allgemeinen mit dem Elektrofahrzeug?

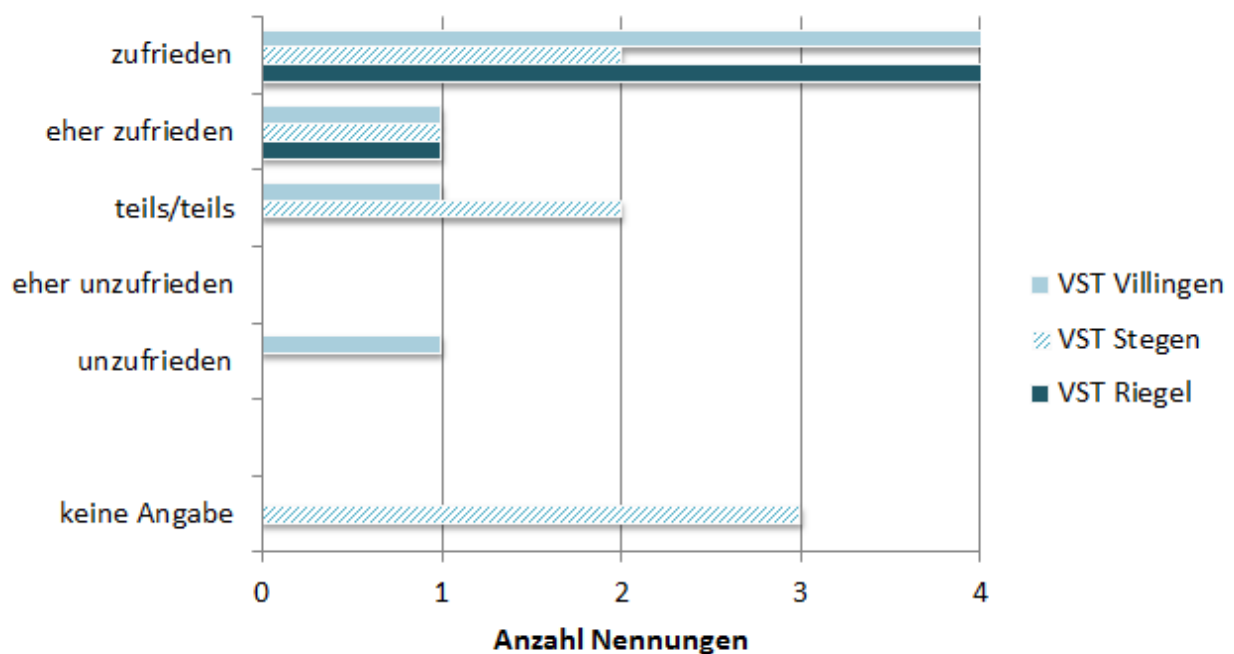


Abbildung 4-14: Verrechnungsstellen (N=20): Zufriedenheit mit den E-Fahrzeugen nach einem Nutzungsjahr im Vergleich der Verrechnungsstellen untereinander

4.2.3. Auswertung der Sozialstationen

Die kirchlichen Sozialstationen Caritas Altenhilfe in Konstanz, Caritasverband in Singen, Caritas-Sozialstationen Hochrhein in Bad Säckingen und St. Blasien, St. Elisabeth in Stockach, Katholische Sozialstation in Freiburg, St. Verena in Rielasingen und St. Wolfgang in Engen haben im Rahmen des Projekts jeweils ein bis drei Dienst-E-Fahrzeuge für Ihre Flotten angeschafft.

4.2.3.1. Zu Nutzungsbeginn

4.2.3.1.1. Vorerfahrungen und Fahrverhalten

Nur ein Fünftel aller Nutzer in den Sozialstationen konnte vor Nutzungsbeginn erste Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen sammeln (Abbildung 4-15).

Konnten Sie vor dem Erwerb des Elektrofahrzeugs bereits Praxiserfahrungen im Umgang mit Elektrofahrzeugen sammeln?

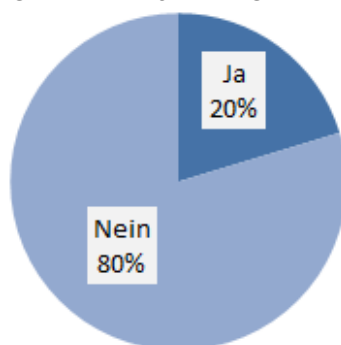
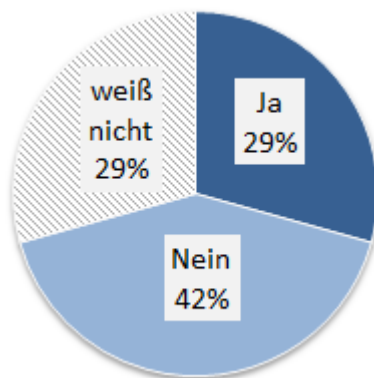


Abbildung 4-15: Sozialstationen (N=64): Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen zu Beginn der Nutzung

30% der Befragten waren zu Beginn der Nutzung überzeugt, dass sich ihr Fahrverhalten durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen ändern würde (Abbildung 4-16, links). Der Großteil von Ihnen war überzeugt, durch die Nutzung eines Elektrofahrzeugs energiesparender, vorausschauender und auch entspannter zu fahren (Abbildung 4-16, rechts).

Denken Sie, dass sich Ihr Fahrverhalten durch die Nutzung des Elektrofahrzeugs verändern wird? (N=58)



Inwiefern wird sich Ihr Fahrverhalten verändern? Werden Sie... (N=34, Mehrfachnennungen möglich)

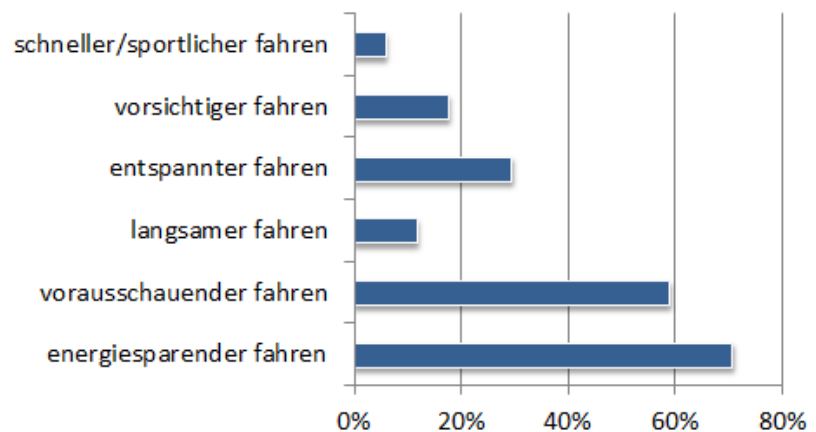


Abbildung 4-16: Sozialstationen: Erwartungen an Fahrverhaltensänderungen durch E-Fahrzeuge

4.2.3.1.2. Allgemeine Erwartungen an Elektrofahrzeuge

Auch die Nutzer in den Sozialstationen wurden gefragt, welche Erwartung Sie an die Elektrofahrzeuge bezüglich bzgl. Umweltauswirkungen, Wirtschaftlichkeit, gesellschaftlicher Wahrnehmung und Tauglichkeit im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen haben (Abbildung 4-17). Es wird deutlich, dass ihre Erwartungen zu Nutzungsbeginn bei fast allen Aspekten positiv ausfielen (Medianwerte zwischen 5 und 7, „eher besser“ bis „deutlich besser“). Dies gilt besonders für Umweltaspekte wie Klimaschutz, lokale Luftqualität und Lärmschutz, aber auch für Imageeigenschaften und technologischen Fortschritt. Auch bei den Themen Alltagstauglichkeit und Benutzerfreundlichkeit fiel die Erwartungshaltung neutral bis positiv aus (Median zwischen 3 und 4, „eher schlechter“ bis „gleich“). Bemerkenswert ist auch, dass die Minima der Antworten nie unter dem Wert 3 („eher schlechter“) liegen.

Welche Erwartung haben Sie an das geleaste Elektrofahrzeug bezüglich folgender Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug?

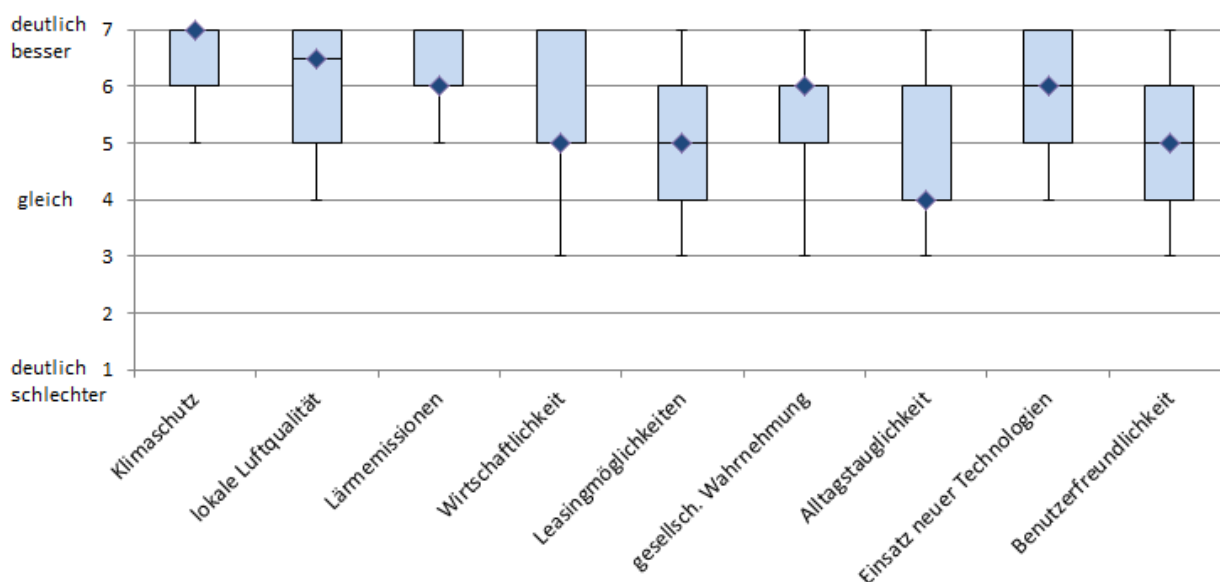


Abbildung 4-17: Sozialstationen (N=52): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. Umweltauswirkungen, Wirtschaftlichkeit, gesellschaftlicher Wahrnehmung und Tauglichkeit; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser

4.2.3.1.3. Erwartungen bezüglich der Fahrzeugeigenschaften

Weiterhin wurde gefragt, welche Erwartungen die Nutzer an Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen bezüglich technischer Fahrzeugeigenschaften hätten (Abbildung 4-18). Der Energieverbrauch von E-Fahrzeugen wurde als eher besser bis überwiegend besser als der von konventionellen Fahrzeugen eingeschätzt (Median: 5). Die Reichweite von E-Fahrzeugen wurde hingegen als eher bis deutlich schlechter angesehen (Median: 2,5). Konträr zu dem, was erwartbar wäre, schätzt der überwiegende Teil der Befragten das Fahrvergnügen und das Beschleunigungsverhalten als vergleichbar mit konventionellen Fahrzeugen ein (Median: jeweils 4). Fahrgeräusche von E-Fahrzeugen werden als eher besser eingestuft (Median: 6). Alle weiteren angefragten Fahrzeugeigenschaften (Design, Höchstgeschwindigkeit, Transportkapazität, Zuverlässigkeit, Fahrzeugsicherheit, Sommer- und Wintertauglichkeit) werden gleich gut eingeschätzt wie bei konventionellen Fahrzeugen, teilweise leicht schlechter (Medianwerte zwischen 4 und 3).

Welche Erwartung haben Sie an das geleaste Elektrofahrzeug bezüglich folgender Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug?

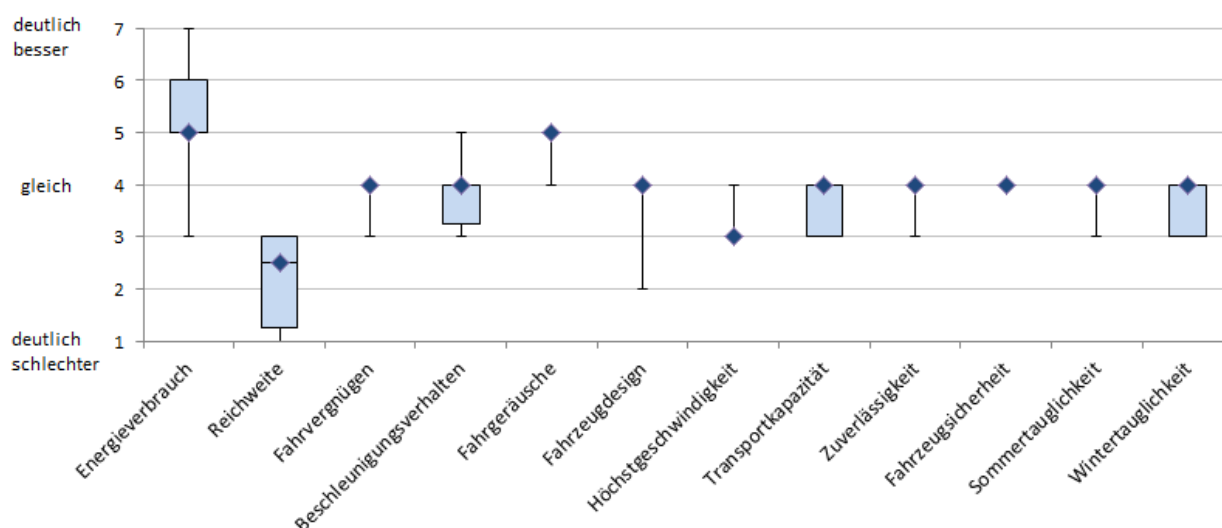


Abbildung 4-18: Sozialstationen (N=43): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. technischer Eigenschaften; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser

4.2.3.1.4. Erwartungen zu Kosten und Aufwand

Nach Ihren Erwartungen hinsichtlich Kosten und Wartungs-/Ladeaufwand von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen befragt, weisen die Antworten der Nutzer aus den Sozialstationen eine deutlich höhere Streubreite auf (Abbildung 4-19). Bei allen abgefragten Aspekten reichen die Minima bis 1 („deutlich niedriger“), bei fast allen Aspekten reichen die Maxima bis 7 („deutlich höher“). Anschaffungskosten von E-Fahrzeugen werden von 75% der Befragten als mindestens gleich bis überwiegend höher eingeschätzt (Median: 6), gleichzeitig scheint die Unsicherheit zu diesem Kostenpunkt eher hoch zu sein (=relativ große Ausdehnung der Box). Ein Grund hierfür liegt höchstwahrscheinlich darin, dass sich die Befragten mit Elektrofahrzeugen, ihren Kosten, aber auch ihren Fahrzeugeigenschaften (z.B. Beschleunigungsverhalten, s. Abbildung 4-18) noch wenig beschäftigt haben. Bei allen anderen Aspekten werden ähnlich hohe Kosten und Aufwände erwartet wie bei konventionellen Fahrzeugen (Median bei 4 bzw. 3). Energiekosten von Elektrofahrzeugen werden hierbei als eher niedriger eingeschätzt (Median und oberes Quartil: 3, unteres Quartil: 2), acht Nutzer schätzen diese allerdings auch eher höher bis deutlich höher ein (Maximalwerte bei 7).

Welche Erwartung haben Sie an das geleaste Elektrofahrzeug bezüglich folgender Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug?

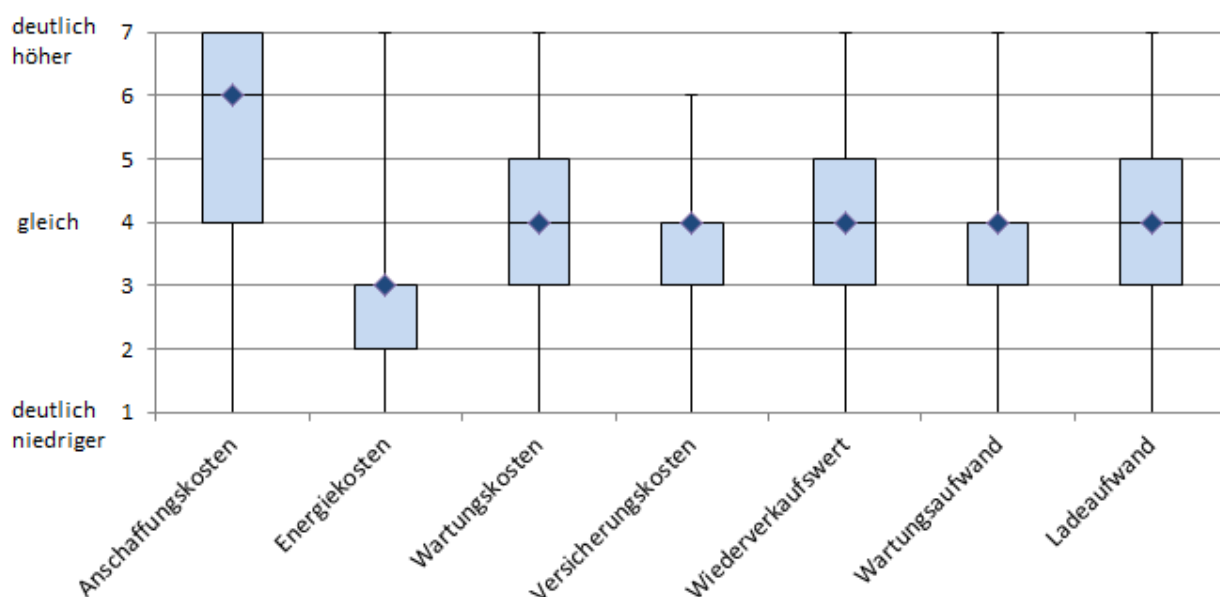


Abbildung 4-19: Sozialstationen (N= 39): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. ihrer Kosten und des Lade-/Wartungsaufwands; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich niedriger, 2: überwiegend niedriger, 3: eher niedriger, 4: gleich, 5: eher höher, 6: überwiegend höher, 7: deutlich höher

4.2.3.1.5. Auswirkungen auf das Unternehmensimage

Die meisten Befragten in den Sozialstationen erwarteten, dass Elektrofahrzeuge eine eher positive Auswirkung auf das Image Ihrer Einrichtung haben werden (Abbildung 4-20). Drei Viertel sind überzeugt, dass Elektrofahrzeuge zu einem ökologischen Unternehmensimage beitragen können (Median bei 6, „stimme überwiegend zu“, zweites und drittes Quartil zwischen 5 und 7). Vergleichbar dazu sind 50% der Befragten der Meinung, dass durch den Einsatz von E-Fahrzeugen eine Aufwertung des Images möglich sei (Median und zweites Quartil bei 5, „stimme eher zu“, drittes Quartil zwischen 5 und 6). Analog dazu lag bei der Frage, ob der Einsatz von E-Fahrzeugen keine Auswirkungen auf das Image des Unternehmens haben würde, der Median bei 3 („stimme eher nicht zu“). E-Fahrzeuge wurden allerdings eher nicht als Mittel zur Mitarbeiterbindung gesehen, 50% der Antworten lagen hier zwischen 2 („stimme überwiegend nicht zu“) und 4 („teils, teils“), mit einem Median bei 3 („stimme eher nicht zu“).

Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zu? Der Einsatz von Elektrofahrzeugen...

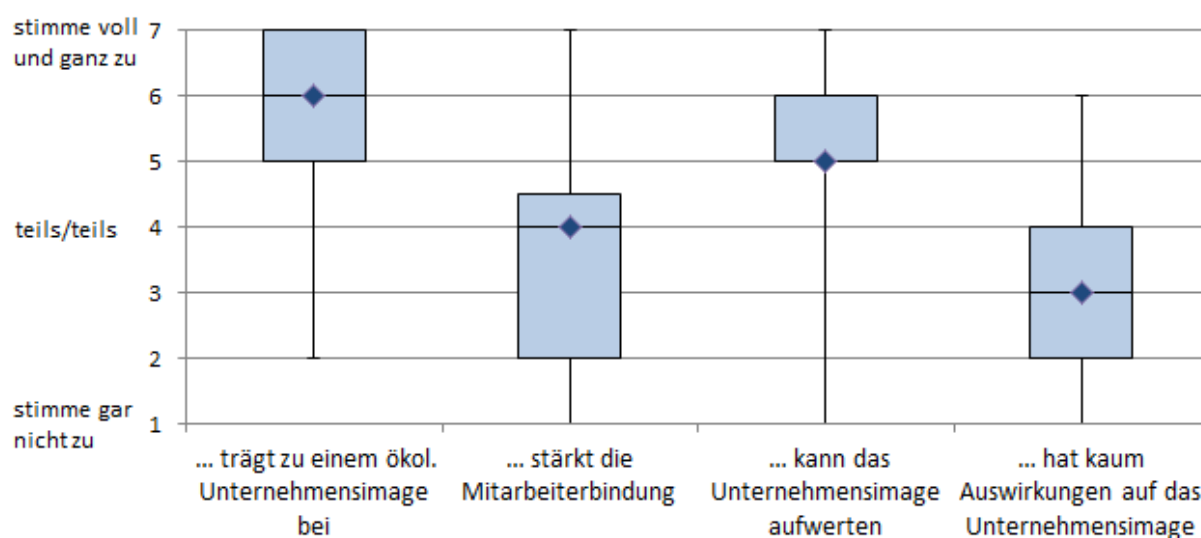


Abbildung 4-20: Sozialstationen (N=48): Erwartungen an Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf Unternehmensimage und Mitarbeiterbindung; Werte der vertikalen Achse: 1: stimme gar nicht zu, 2: stimme überwiegend nicht zu, 3: stimme eher nicht zu, 4: teils/teils, 5: stimme eher zu, 6: stimme überwiegend zu, 7: stimme voll und ganz zu

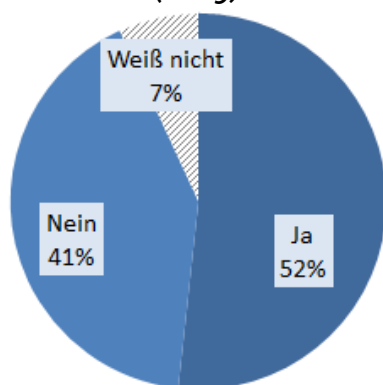
4.2.3.2. Nach einem Nutzungsjahr

4.2.3.2.1. Fahrverhalten

Die Hälfte der Nutzer in allen Sozialstationen ist nach einem Nutzungsjahr überzeugt, dass sich ihr Fahrverhalten verändert hat in Richtung einer vorausschauenden, energiesparenden und entspannten Fahrweise (Abbildung 4-21).

Denken Sie, dass sich Ihr Fahrverhalten durch die Nutzung des Elektrofahrzeugs geändert hat?

(N=29)



Inwiefern wird hat sich Ihr Fahrverhalten geändert? Fahren Sie...

(N=39, Mehrfachnennungen möglich)

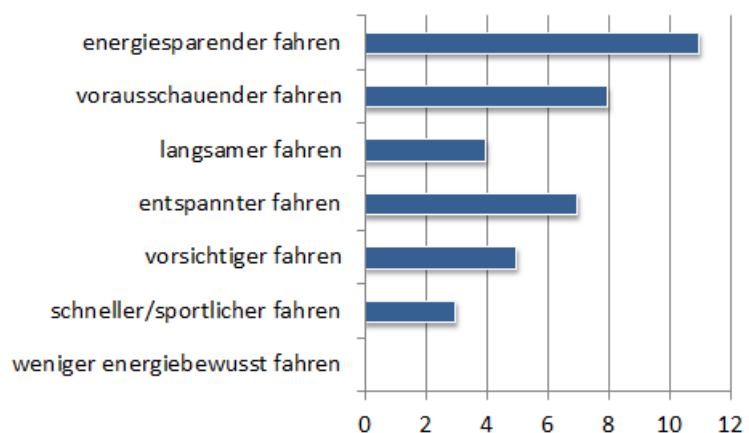
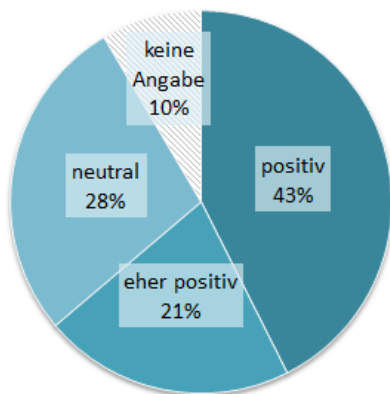


Abbildung 4-21: Sozialstationen: Nach einem Nutzungsjahr: Fahrverhaltensänderungen durch E-Fahrzeuge

4.2.3.2.2. Reaktionen des Umfelds und Zufriedenheit

Der überwiegende Teil der Nutzer über alle Sozialstationen hinweg ist zufrieden mit den E-Fahrzeugen (Abbildung 4-22), trotz Problemen mit Reichweite, Reifenverschleiß, Wintereignung, mangelnder Wahrnehmung durch andere Verkehrsteilnehmer und höheren Kosten. Als Vorteile werden geringere Lärmemissionen, Umweltfreundlichkeit und Fahrspaß (Beschleunigung, entspanntes Fahren) genannt. Die Reaktion der Kunden ist überwiegend positiv.

Wie bewerten Sie die Reaktionen Ihrer Kunden auf das Elektrofahrzeug?



Wie zufrieden sind Sie im Allgemeinen mit dem Elektrofahrzeug?

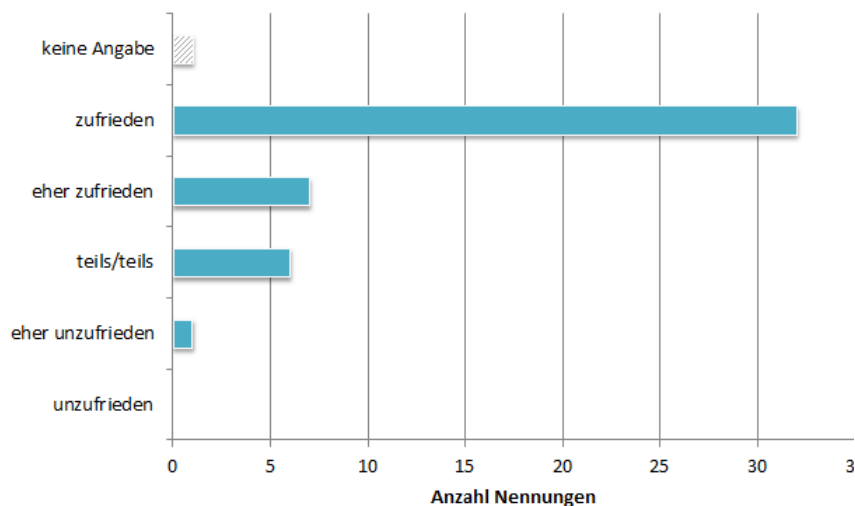


Abbildung 4-22: Sozialstationen: Zufriedenheit mit E-Fahrzeugen, Kundenreaktionen (N=47)

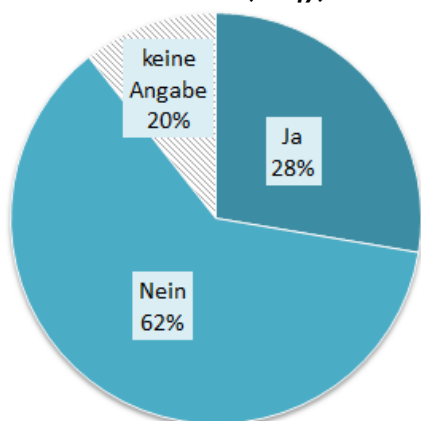
4.2.3.2.3. Ausweichen auf einen konventionellen Pkw

Im Jahr 2015 mussten in fünf von acht Sozialstationen 28% der Befragten mindestens einmal auf einen Ersatz-Pkw ausweichen (Abbildung 4-23 links). Gründe dafür waren:

- Mangelnde Reichweite (50%),
- Ladezustand nicht ausreichend (33%),
- Schlechte Haftung bei Schnee und Eis
- Technische Probleme und
- Reichweitenangst.

Abbildung 4-23 (rechte Seite) zeigt jedoch zusätzlich, dass die Anzahl der Fälle, an denen ein Ausweichen notwendig war, tendenziell gering waren (maximal 10 Ausweichfälle in 2015). 40% der Betroffenen mussten nur ein bis vier Mal in dem betrachteten Jahr auf ein konventionelles Fahrzeug ausweichen.

**Gab es Fälle, in denen Sie auf ein
herkömmliches Auto ausweichen
mussten? (N=47)**



Wie viele solcher Fälle gab es im vergangenen Jahr? (N=7)

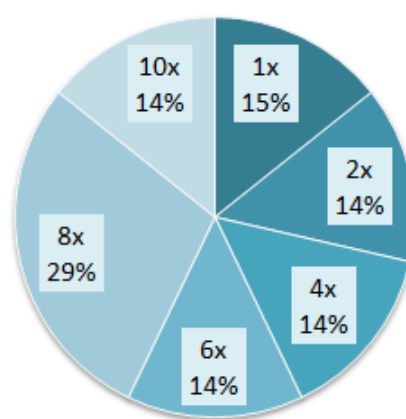


Abbildung 4-23: Sozialstationen: Ausweichnotwendigkeit (links) und Ausweichanzahl (rechts) auf konventionelle Fahrzeuge innerhalb des Nutzungsjahres

4.2.3.2.4. Erwartungen bezüglich der Fahrzeugeigenschaften

Der Vergleich der Erwartungen an Fahrzeugeigenschaften zu Beginn der Nutzung mit der Erfahrung nach einem Nutzungsjahr zeigt, dass diese über alle Sozialstationen hinweg mit Ausnahme von Wintertauglichkeit und Reichweite erfüllt bis übertroffen werden (Abbildung 4-24). Signifikant positiver als erwartet stellen sich bei den Nutzern Fahrvergnügen, Beschleunigungsverhalten und Fahrgeräusche heraus. Die Medianwerte (zu Beginn der Nutzung: graue Raute; nach einem Jahr: blaue Raute) steigen um zwei bis drei Bewertungspunkte von 4 („gleich“) bzw. 5 („eher besser“) auf 7 („deutlich besser“) bzw. 6 („überwiegend besser“). Ebenso positiver als zu Beginn erwartet erweisen sich die Parameter Energieverbrauch und Höchstgeschwindigkeit. Bei allen anderen Aspekten (Fahrzeugdesign, Transportkapazität, Zuverlässigkeit, Fahrzeugsicherheit und Sommertauglichkeit) liegen die Medianwerte nach einem Jahr bei den Werten, die sie zu Beginn der Nutzung eingenommen hatten. Die Fahrzeugeigenschaften Sommer- und Wintertauglichkeit weisen allerdings im Vergleich zur ersten Befragung nun eine höhere Bandbreite der Antworten auf, mit einer Absenkung des Medianwerts für Wintertauglichkeit von 4 („gleich“) auf 3 („eher schlechter“). Die im Zuge des Nutzungsjahres gesammelten Erfahrungen der Nutzer lassen diese nun zu individuelleren Einschätzungen auf Basis ihrer Erfahrungen kommen. Damit bestätigt sich die These, dass sich die Befragten mit Elektrofahrzeugen zu Beginn der Nutzung wenig beschäftigt hatten und deswegen für gewisse Eigenschaften keine wirkliche eigene Einschätzung vorbringen konnten (vgl. Abbildung 4-18).

Wie bewerten Sie das geleaste Elektrofahrzeug bezüglich folgender Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug?

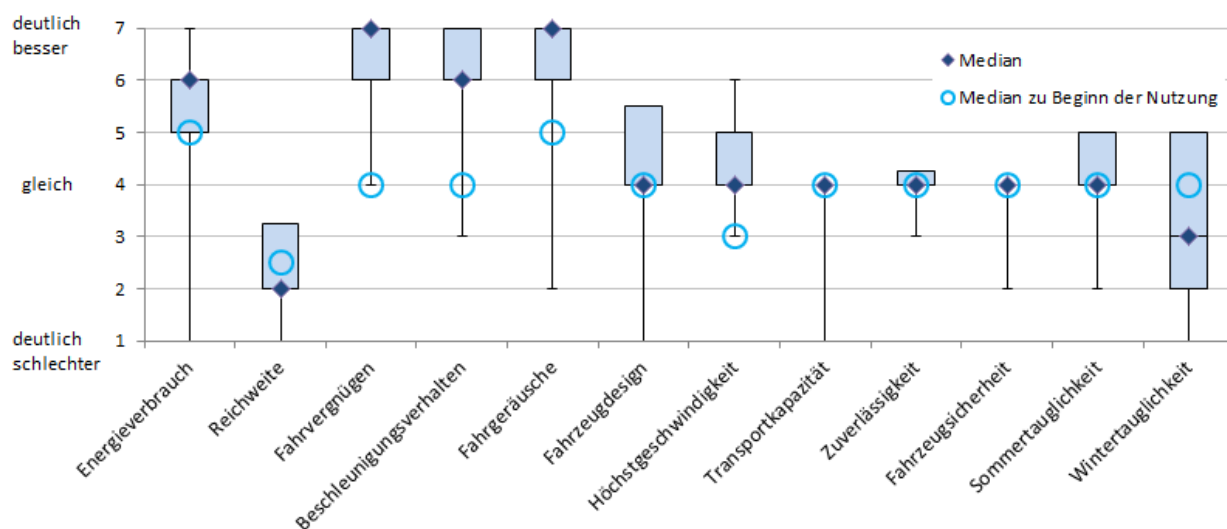


Abbildung 4-24: Sozialstationen: Erwartungen zu Beginn der Nutzung im Vergleich zu Erfahrungen nach einem Nutzungsjahr bzgl. technischer Eigenschaften (N=31) – hellblaue Kreise stellen Medianwerte der Befragung zu Beginn dar; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser

4.2.3.2.5. Auswirkungen auf das Unternehmensimage

Die E-Fahrzeuge wurden und werden in allen Stationen als „Aufwerter“ für das Image des Unternehmens gesehen (Abbildung 4-25). Die zu Beginn der Nutzung vorhandenen Erwartungen an die Auswirkung von E-Fahrzeugen auf das Unternehmensimage wurden mit Ausnahme für die Auswirkung auf die Mitarbeiterbindung für die abgefragten Aspekte erfüllt, z.T. auch etwas übererfüllt. So lag für die Aussage „Der Einsatz von Elektrofahrzeugen kann das Unternehmensimage aufwerten“ der Medianwert zu Beginn der Nutzung bei 5 („stimme eher zu“) und stieg nach einem Nutzungsjahr auf 6 an („stimme überwiegend zu“). Beim Thema Mitarbeiterbindung fiel nach einem Nutzungsjahr auf Basis der gesammelten Erfahrungen die Bandbreite der Antworten geringer aus, allerdings fiel auch der Medianwert leicht von 4 („teils, teils“) auf 3,5.

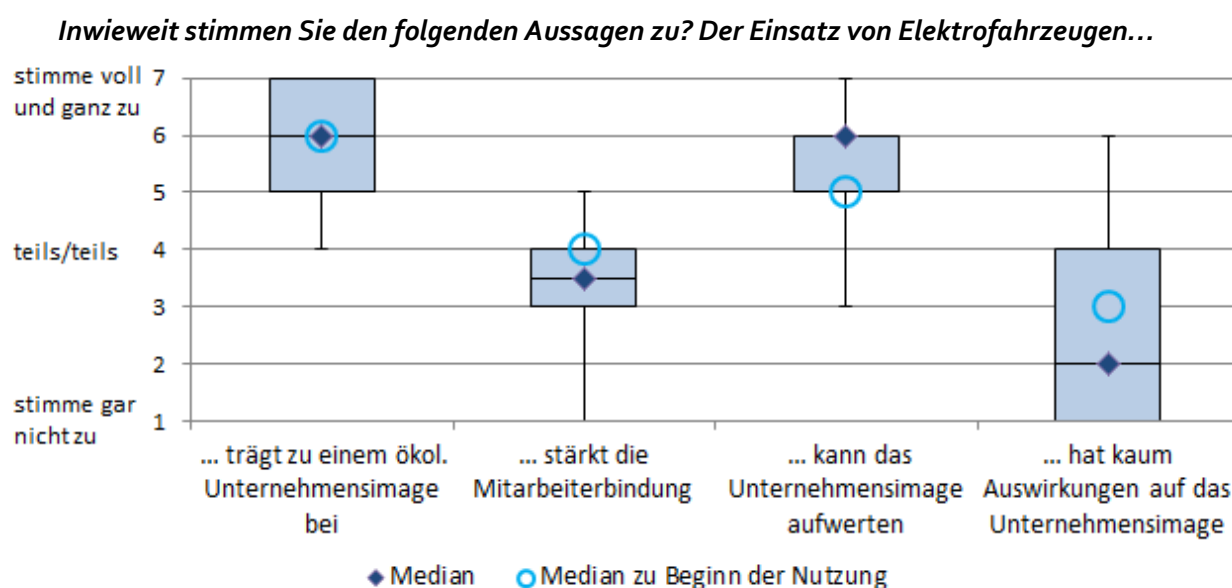
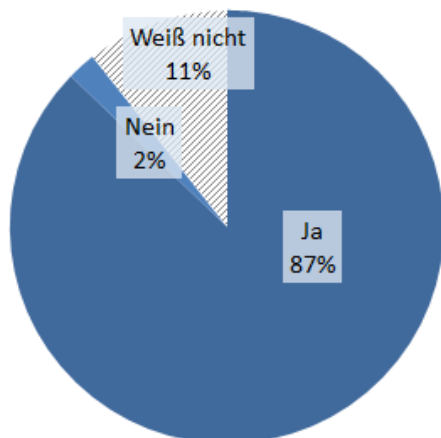


Abbildung 4-25: Sozialstationen (N=31): Erwartungen zu Beginn der Nutzung im Vergleich zu Erfahrungen nach einem Nutzungsjahr bzgl. der Auswirkungen von E-Fahrzeugen auf das Image des Unternehmens – hellblaue Kreise stellen Medianwerte der Befragung zu Beginn dar; Werte der vertikalen Achse: 1: stimme gar nicht zu, 2: stimme überwiegend nicht zu, 3: stimme eher nicht zu, 4: teils/teils, 5: stimme eher zu, 6: stimme überwiegend zu, 7: stimme voll und ganz zu

4.2.3.2.6. Empfehlung von Elektrofahrzeugen für gewerbliche und private Zwecke

Abbildung 4-26 (links) verdeutlicht, dass 87% aller befragten Teilnehmer anderen Einrichtungen Ihrer Branche die Nutzung von Elektrofahrzeugen empfehlen würden, während dies nur 2% nicht tun würden. Die Eignung von Elektrofahrzeugen für spezifisch gewerbliche Zwecke wird demnach deutlich positiv gesehen. Eher negativ wird hingegen die Eignung von Elektrofahrzeugen für private Zwecke gesehen (Abbildung 4-26, rechte Seite). Hier halten es nur 9% der Befragten für sehr bis recht wahrscheinlich, dass sie sich auch privat ein solches Fahrzeug innerhalb der nächsten drei bis fünf Jahre anschaffen werden. 68% der Befragten halten es für eher bis sehr unwahrscheinlich, sich in der nächsten Zukunft privat ein Fahrzeug mit Elektroantrieb zuzulegen.

Würden Sie den Einsatz von Elektrofahrzeugen für gewerbliche Zwecke auch anderen Unternehmen aus Ihrer Branche empfehlen?



Wie wahrscheinlich ist es, dass Sie auch privat ein Elektrofahrzeug anschaffen?

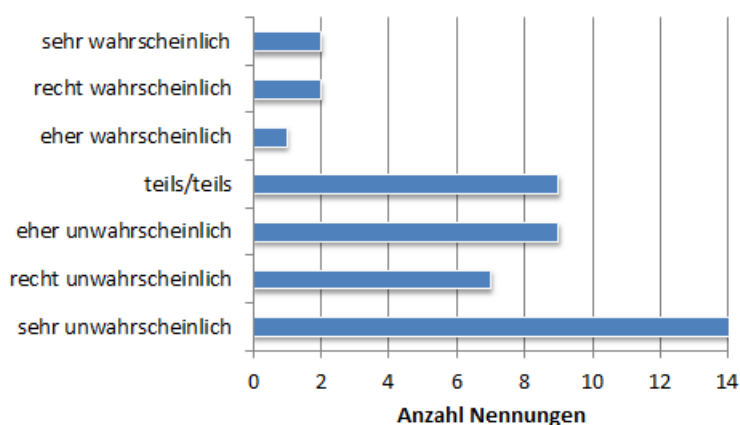


Abbildung 4-26: Sozialstationen: Einschätzung der Eignung von Elektrofahrzeugen für gewerbliche Zwecke (links, N=47) und Wahrscheinlichkeit einer privaten Anschaffung (rechts, N=44)

4.3. Ergebnisse Nutzer-Workshop und sonstige Nutzer-Erfahrungen

4.3.1. Nutzer-Workshop

Um die zwischenzeitlich gesammelten Nutzungserfahrungen mit den Elektrofahrzeugen aus Verrechnungsstellen und Sozialstationen aufzunehmen, wurde am 19. April 2016 im Pflegezentrum St. Verena in Rielasingen ein Workshop durchgeführt. Teilnehmer waren die Leiter, Leiterinnen, Geschäftsführer, Geschäftsführerinnen und andere Vertreter der jeweiligen Einrichtungen, die Ihre Nutzersicht weitergeben konnten. Zur Moderation und Protokollierung waren weiterhin das Erzbischöfliche Ordinariat Freiburg, Fachstelle für Energie und Umwelt, das DLR, Institut für Fahrzeugkonzepte, die eMotion Line GmbH und das Ingenieurbüro Gerlach anwesend.

Ein wesentlicher Bestandteil des Workshops war der Erfahrungsaustausch, der mit Hilfe eines Dreiecken-Spiels stattfand. Dazu wurden anhand verschiedener Nutzungsthemen Stimmungsbilder und Nutzergeschichten aufgenommen. Ein Überblick der abgefragten Themen mit der Anzahl der jeweiligen Nutzermeinungen ist in Tabelle 4-2 dargestellt. Zusammenfassend lässt sich feststellen:

- Es wird deutlich, dass die Reichweite der E-Fahrzeuge im Sommer fast keine Probleme verursacht, v.a. nicht in den Sozialstationen, und nur ab und zu umdisponiert werden musste. Im Winter hingegen, mit steigendem Energiebedarf der Nebenverbraucher (zB Heizung), war die Reichweite der E-Fahrzeuge nur noch für rund ein Viertel der Nutzer ausreichend. Die Hälfte der Nutzer konnte einen Teil der Fahrten nicht mit dem E-Fahrzeug durchführen und musste auf ein konventionelles Fahrzeug umsteigen.
- Das Laden stellt für die Mehrheit der Befragten kein Hindernis dar. Ein Viertel der Nutzer gab an, Probleme zu haben, in einer Einrichtung gibt es dauerhafte Probleme.
- Die E-Fahrzeuge erwiesen sich als zuverlässig und standen 80% der Nutzer verlässlich zur Verfügung. In einer Einrichtung gibt es dauerhafte Probleme mit dem E-Fahrzeug.
- Der Aufwand zur Einweisung zu Nutzungsbeginn ist vorhanden und bei mehr als der Hälfte der Befragten auch nicht zu vernachlässigen. Eine intensive, dauerhafte Betreuung ist allerdings in keiner Einrichtung notwendig.
- Die überwiegende Mehrheit der Mitarbeiter/innen in den Einrichtungen nutzen die E-Fahrzeuge gern bis sehr gern. Einzelne Mitarbeiter/innen meiden jedoch die E-Fahrzeugnutzung.
- Die Resonanz von Kunden und der Öffentlichkeit ist positiv, zum Großteil aber nicht intensiv.
- Alle Einrichtungen erwägen, bei der nächsten Beschaffung wieder ein E-Fahrzeug zu wählen.

Tabelle 4-2: Nutzerworkshop: Themen und Anzahl Nutzermeinungen

Nutzungsthema	Auswahlmöglichkeiten	SST	Andere ⁹	Summe
Reichweite: Wie wirkt sich im Sommer die Reichweite auf die Planung der Fahrten aus?	Die Reichweite ist für alle Fahrten ausreichend.	7	1	8
	Hin und wieder musste auf ein anderes Fahrzeug umgestiegen werden.	0	4	4
	Die Reichweite schränkt sehr ein, immer wieder muss auf andere Fahrzeuge ausgewichen werden.	0	1	1
Reichweite: Wie wirkt sich im Winter die Reichweite auf die Planung der Fahrten aus?	Die Reichweite ist für alle Fahrten ausreichend.	3	0	3
	Hin und wieder musste auf ein anderes Fahrzeug umgestiegen werden.	3	4	7
	Die Reichweite schränkt sehr ein, immer wieder muss auf andere Fahrzeuge ausgewichen werden.	1	2	3
Wie funktioniert das Laden?	Das Laden läuft problemlos, es hat sich vollkommen eingespielt.	6	4	10
	Hin und wieder gibt es Probleme.	1	1	2
	Das Laden stellt ein wirkliches Problem dar.	0	1	1
Wie zuverlässig sind die E-Fahrzeuge?	Die E-Fahrzeuge standen fast immer zur Verfügung, es gab kaum Ausfälle.	5	6	11
	Hin und wieder traten Störungen auf.	2	0	2
	Immer wieder stand das E-Fahrzeug nicht zur Verfügung.	0	1	1

⁹ Verrechnungsstellen, Caritasverband Singen-Hegau, Erzbischöfliches Ordinariat Freiburg, Erzbischöfliches Bauamt Heidelberg

Nutzungsthema	Auswahlmöglichkeiten	SST	Andere ⁹	Summe
Wie intensiv müssen die Nutzer eingewiesen/betreut werden?	Kurze Einweisung zu Anfang, seither problemlos.	4	2	6
	Intensive Einweisung zu Anfang, seither problemlos.	3	5	8
	Intensive Betreuung notwendig	0	0	0
Wie werden die E-Fahrzeuge von den Mitarbeiter/innen angenommen?	Mitarbeiter/innen „reißen“ sich um das E-Fahrzeug.	4	2	6
	Das E-Fahrzeug wird gern genutzt, es gibt wenige Widerstände.	3	4	7
	Das E-Fahrzeug wird eher gemieden.	0	1	1
Wie haben Kunden, Passanten, Partner oder Medien auf die E-Fahrzeuge reagiert?	Es gab viele interessierte Anfragen.	1	3	4
	Hin und wieder wurde man angesprochen.	6	4	10
	Die E-Fahrzeuge haben keine Aufmerksamkeit erregt.	0	0	0
Bei der nächsten Fahrzeugbeschaffung ...	... bleiben wir auf jeden Fall bei einem E-Fahrzeug	1	3	4
	... können es schon E-Fahrzeuge sein, es kommt auf die Bedingungen an.	6	4	10
	... werden keine E-Fahrzeuge mehr beschafft.	0	0	0

Der Vergleich zur Auswertung der Fragebögen im vorherigen Kapitel bestätigt diese Aussagen. So hatten bspw. die Nutzer in den Verrechnungsstellen und Sozialstationen nach einem Jahr angegeben, dass die Wintertauglichkeit ihres E-Fahrzeugs im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug eher schlechter sei (vgl. Abbildung 4-11 und Abbildung 4-24). Hier hatten 10 von 13 Befragten angegeben, dass sie im Winter hin und wieder, zum Teil sogar immer wieder auf ein anderes Fahrzeug umsteigen mussten, da die Reichweite im Winter ungenügend ausfiel. Weiterhin hatten die befragten Nutzer nach der Dauer eines Jahres angegeben, in der überwiegenden Mehrheit zufrieden mit ihrem Elektro-

fahrzeug zu sein (Abbildung 4-9 und Abbildung 4-22). Hier im Nutzerworkshop war nach der Zufriedenheit der Mitarbeiter gefragt worden. Es wurde angegeben, dass diese die E-Fahrzeuge gern nutzen bzw. diese den konventionellen Fahrzeugen bevorzugen. Schließlich hatten die Nutzer aus den Verrechnungsstellen und Sozialstationen in der zweiten Befragungsrunde angegeben, dass die Reaktion Ihrer Kunden mehrheitlich positiv ausfiel (Abbildung 4-9 und Abbildung 4-22). Dies deckt sich insofern mit dem hier erhaltenen Bild, dass das E-Fahrzeug auf jeden Fall Aufmerksamkeit erregte und zum Teil auch interessierte Nachfragen nach sich zog.

Als Ausblick wurden folgende Anforderungen und Bedingungen für eine Ausweitung der Elektromobilität im kirchlichen Umfeld gestellt (Tabelle 4-3). Neben einer höheren Reichweite, v.a. im Winter, und gut funktionierenden Heizungen wurde die Forderung nach einer größeren Auswahl an Fahrzeugmodellen und –varianten gestellt, sowie der Service und die Betreuung bei lokalen Autohäusern (Stichwort zuverlässige Mobilitätsgarantie). Weiterhin spielt bei einer Neubeschaffung die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge eine entscheidende Rolle; in den Leasingverträgen werden die Restwerte als hohen Unsicherheitsfaktor angesehen. Es wird die Möglichkeit erwähnt, einzelne Fahrzeuge im Carsharing (nachmittags und abends) zur Verfügung zu stellen und die Kombination mit hauseigenen PV-Anlagen zu ermöglichen.

Tabelle 4-3: Nutzerworkshop: Anforderungen/Bedingungen für eine weitere E-Fahrzeug-Nutzung

	Sozialstationen	Andere ¹⁰
Reichweite	120 km im Winter Automatische Rekuperation (muss bei VW e- up! händisch dazugeschaltet werden)	180 km im Winter
Komfort	Könnte durchaus weniger sein Sitzheizung Gut funktionierende Heizung Höherer, bequemer Einstieg	Navigationsgerät und Freisprechanlage sind Voraussetzung (Erz. Bauamt) Gut funktionierende Heizung

¹⁰ Verrechnungsstellen, Caritasverband Singen-Hegau, Erzbischöfliches Ordinariat Freiburg, Erzbischöfliches Bauamt Heidelberg

	Sozialstationen	Andere ¹⁰
Fahrzeug- beschaffung und -service	Größere Auswahl an Fahrzeugmodellen/-varianten	
	Service/Betreuung bei lokalen Autohäusern (zuverlässige Mobilitätsgarantie)	Service/Betreuung bei lokalen Autohäusern
	Beschaffung nicht unbedingt vor Ort notwendig	Beschaffung nicht unbedingt vor Ort notwendig
Kosten und Finanzierung	Wirtschaftlichkeit muss gegeben sein	
	Leasing: Restwerte sind Unsicherheitsfaktor	
Laden	Finanzierung muss in Planung mit einbezogen werden	Zugang zu Ladestationen in der Fläche
		Aufbau eines kirchlichen Ladenetzes
Sonstiges	Möglichkeit einzelne Fahrzeuge im Carsharing (nachmittags und abends) zur Verfügung zu stellen	
	Kombination mit PV ermöglichen	Kombination mit PV ermöglichen

4.3.2. Sonstige Nutzer-Erfahrungen

Für weitere, qualitativ über Reportagen aus dem Alltag der Nutzerinnen und Nutzern erhobene Erfahrungen wird verwiesen auf www.ebfr.de/elektrisch-mobil.

4.4. Zusammenfassung

Die Auswertung der Befragungen und des Nutzerworkshops zeigten, dass der überwiegende Teil der Nutzer aus Verrechnungsstellen und Sozialstationen wenige Vorerfahrungen mit Elektrofahrzeugen hatten. Bei der Nutzung im Alltag sind sie eher zufrieden mit den eingesetzten E-Fahrzeugen. Die Reaktionen des Umfelds fielen mehrheitlich positiv aus; die Elektrofahrzeuge wurden und werden als „Aufwerter“ für das Image der Einrichtung gesehen. Ein Drittel der Nutzer aus den Verrechnungsstellen und die Hälfte der Nutzer aus den Sozialstationen ist überzeugt, dass sich ihr Fahrverhalten verändert hat in Richtung einer vorausschauenden, energiesparenden und entspannten Fahrweise.

Über alle Verrechnungsstellen hinweg wurden die Nutzer-Erwartungen an die E-Fahrzeuge in Bezug auf deren technische Eigenschaften erfüllt bis übertroffen. Beschleunigungsverhalten, Fahrvergnü-

gen, Transportkapazität und Energieverbrauch stellten sich als positiver als erwartet heraus. Ähnlich verhält es sich bei den Sozialstationen. Hier führen die gesammelten Fahrerfahrungen nach einem Nutzungsjahr zu deutlich positiveren Einschätzungen hinsichtlich Fahrvergnügen, Beschleunigungsverhalten und Fahrgeräuschen. Etwas negativer als erwartet fielen aus den Nutzungserfahrungen heraus Wintertauglichkeit und Reichweite aus. Besonders in den Sozialstationen, aber auch in den Verrechnungsstellen zeigt sich, dass sich die Befragten mit Elektrofahrzeugen zu Beginn der Nutzung wenig beschäftigt hatten und deswegen für gewisse typische E-Fahrzeugeigenschaften keine wirkliche eigene Einschätzung vorbringen konnten.

Trotz aller Zufriedenheit mussten in allen drei Verrechnungsstellen 70% der Befragten in 2015 mindestens einmal auf einen konventionellen Pkw ausweichen. Als Hauptgrund hierfür wurde angegeben, die Reichweite des Elektrofahrzeugs sei für die benötigte Strecke unzureichend, bzw. eine Lademöglichkeit am Zielort sei nicht vorhanden. Auch in den Sozialstationen mussten einige Nutzer auf einen konventionellen Pkw ausweichen, allerdings nur 28% der Befragten, und auch nicht in allen Einrichtungen. Als Hauptgrund wurde auch hier die für die vorgesehene Strecke unzureichende Reichweite angegeben. Im Gegensatz zu den Nutzern aus den Verrechnungsstellen, die tätigkeitsbedingt z.T. auch längere Fahrstrecken absolvieren (s. Abbildung 5-6), sind die Fahrstrecken der Nutzer aus den Sozialstationen kürzer bzw. erlauben ein untertägliches Nachladen.

80% aller Befragten aus den Verrechnungsstellen und 87% aller Befragten aus den Sozialstationen würden anderen Einrichtungen Ihrer Branche die Nutzung von Elektrofahrzeugen empfehlen. Die Eignung von Elektrofahrzeugen für spezifisch gewerbliche Zwecke wird demnach deutlich positiv gesehen. Eher negativ wird hingegen die Eignung von Elektrofahrzeugen für private Zwecke gesehen. Hier halten es nur 10% der Befragten aus den Verrechnungsstellen und 9% der Befragten aus den Sozialstationen für eher bis recht wahrscheinlich, dass sie sich auch privat ein solches Fahrzeug innerhalb der nächsten drei bis fünf Jahre anschaffen werden. 80% der Befragten aus den Verrechnungsstellen und 68% der Befragten aus den Sozialstationen halten es für eher bis sehr unwahrscheinlich, sich in der nächsten Zukunft privat ein Fahrzeug mit Elektroantrieb zuzulegen.

Aus dem Nutzerworkshop heraus wurden im Ausblick seitens der Nutzer Anforderungen und Bedingungen für eine Ausweitung der Elektromobilität im kirchlichen Umfeld formuliert. Neben einer höheren Reichweite, v.a. im Winter, und gut funktionierenden Heizungen wurde die Forderung nach einer größeren Auswahl an Fahrzeugmodellen und -varianten gestellt, sowie der Service und die Betreuung bei lokalen Autohäusern (Stichwort zuverlässige Mobilitätsgarantie). Weiterhin spielt bei einer Neubeschaffung die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge eine entscheidende Rolle; in den Leasingverträgen werden die Restwerte als hohen Unsicherheitsfaktor angesehen.

5. Grunddaten: Laufleistung, Energiebedarf, Kosten & Preise

5.1. Datenquellen

Die Grunddaten zu gefahrenen Jahreskilometern, Energiebedarfen und Kosten der E-Fahrzeuge wurden Fahrtenbüchern, Verbrauchsabrechnungen und Buchungsauszügen entnommen und seitens des erzbischöflichen Ordinariats zur Verfügung gestellt (Abbildung 5-1). Soweit vollständig verfügbar wurde das Jahr 2015 ausgewertet, alle anderen Fälle sind entsprechend gekennzeichnet.

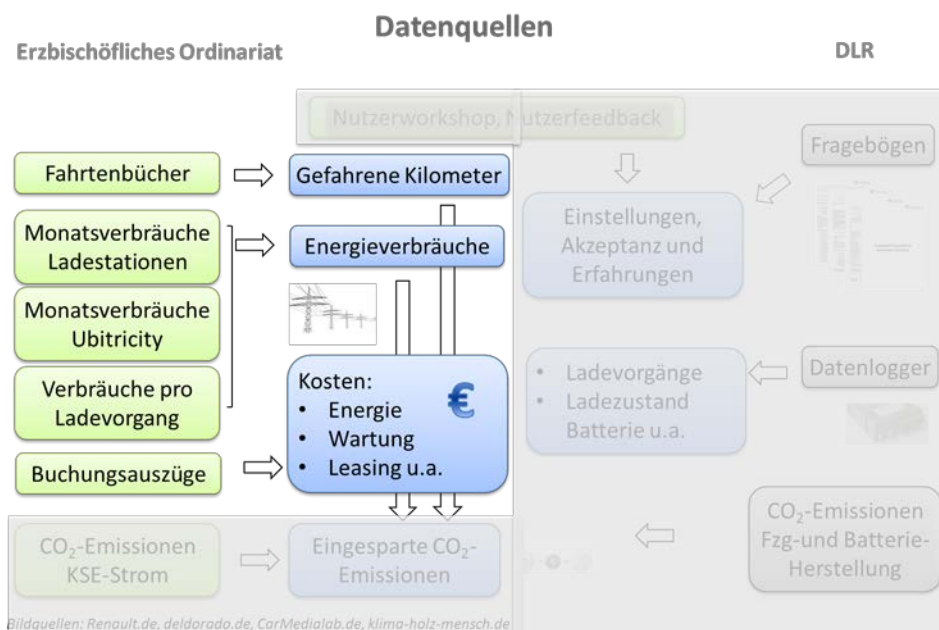


Abbildung 5-1: Verwendete Datenquellen für die Erhebung der Jahreskilometer, des Energiebedarfs und der Kosten

5.2. Verrechnungsstellen

5.2.1. Laufleistung und Tourenprofile

Die 2015-Jahresfahrleistungen der E-Fahrzeuge lagen in den Verrechnungsstellen zwischen 12.200 und 14.500 km (Abbildung 5-2). Das VW Polo Dieselfahrzeug aus Stühlingen konnte auch für längere Fahrten eingesetzt werden, so dass eine Jahresfahrleistung von 21.300 km erreicht wurde.

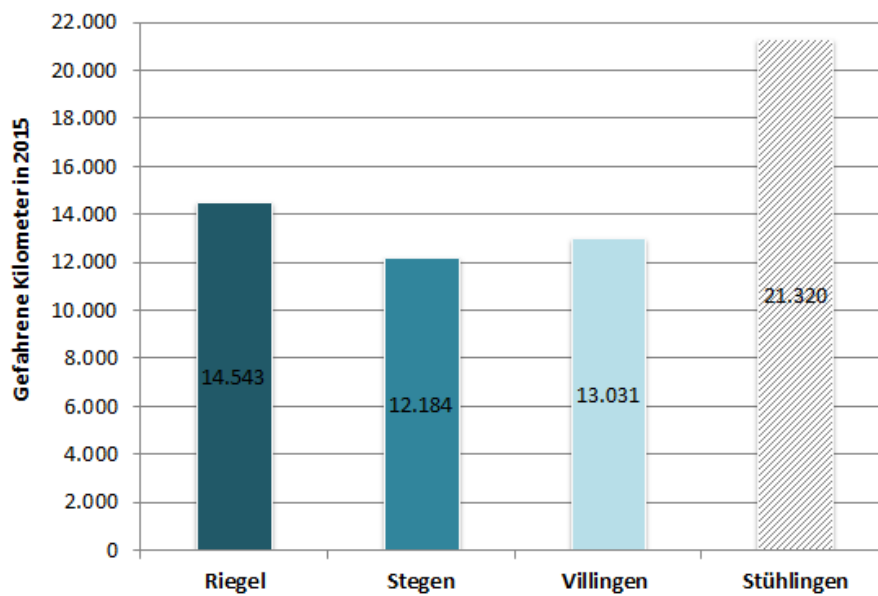


Abbildung 5-2: Verrechnungsstellen: Gefahrene Kilometer in 2015

Im Folgenden wird auf die Tourenprofile der Verrechnungsstellen im Detail eingegangen. Als eine Tour wurde dabei die Fahrstrecke von und zur Verrechnungsstelle bzw. von und zu den Heimatorten von Hauptnutzern definiert. Die spezifischen Tourenprofile ergeben sich, indem die Touren der Länge nach absteigend gereiht werden.

5.2.1.1. Verrechnungsstelle Riegel

Im Jahr 2015 waren die Mitarbeiter in der VST Riegel 61.415 km dienstlich unterwegs. 14.543 davon wurden mit dem Elektrofahrzeug zurückgelegt. Insgesamt wurden mit dem E-Fahrzeug 374 Touren durchgeführt, die längste Tour betrug 167 km, die kürzeste weniger als ein Kilometer (Abbildung 5-3). $\frac{3}{4}$ aller Fahrten waren kürzer als 54 km (3. Quartil), die Hälfte aller Touren hatte eine Länge von unter 35 km (Medianwert).

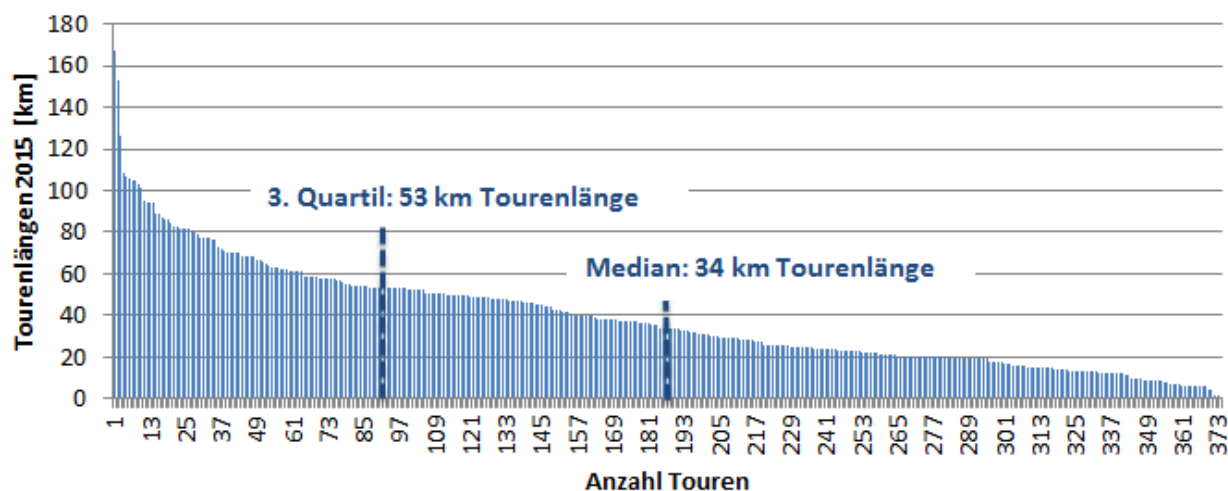


Abbildung 5-3: Verrechnungsstelle Riegel: Touren in 2015 nach Tourenkilometern und Tourenanzahl (Quelle: Auswertung Fahrtenbücher)

5.2.1.2. Verrechnungsstelle Stegen

Im Jahr 2015 waren die Mitarbeiter in der VST Stegen 50.447 km dienstlich unterwegs. 12.184 davon wurden mit dem Elektrofahrzeug zurückgelegt. Insgesamt wurden mit dem E-Fahrzeug 336 Touren durchgeführt, die längste Tour betrug dabei 127 km, die kürzeste 1 Kilometer (Abbildung 5-4). $\frac{3}{4}$ aller Fahrten waren kürzer als 48 km (3. Quartil), die Hälfte aller Touren hatte eine Länge von unter 30 km (Medianwert).

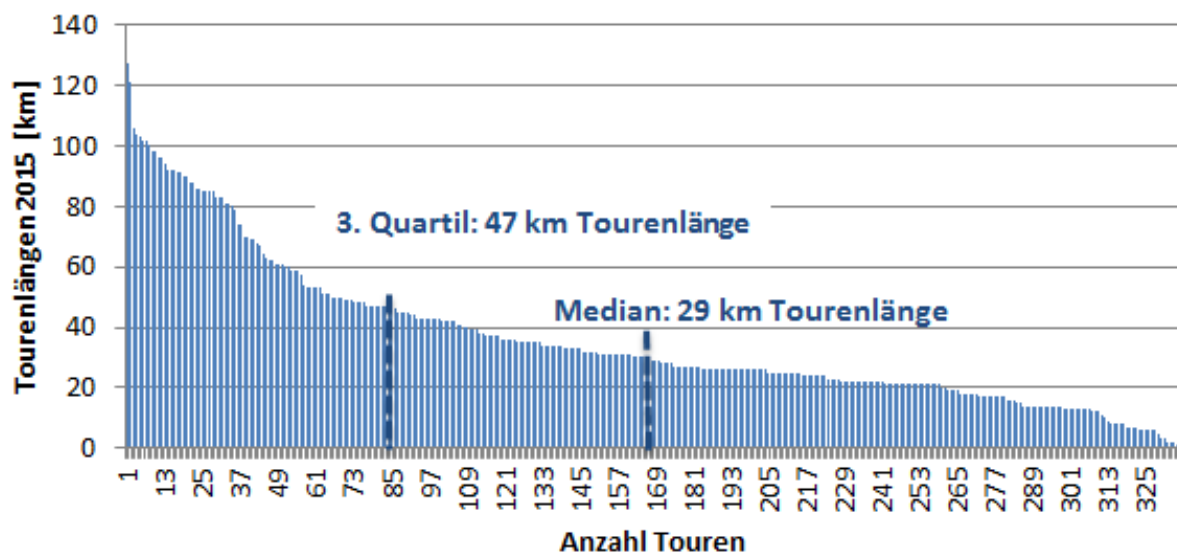


Abbildung 5-4: Verrechnungsstelle Stegen: Touren in 2015 nach Tourenkilometern und Tourenanzahl (Quelle: Auswertung Fahrtenbücher)

5.2.1.3. Verrechnungsstelle Villingen

Im Jahr 2015 waren die Mitarbeiter in der VST Villingen 44.778 km dienstlich unterwegs. 13.031 davon wurden mit dem Elektrofahrzeug zurückgelegt. Insgesamt wurden mit dem E-Fahrzeug 251 Touren durchgeführt, die längste Tour betrug 144 km, die kürzeste 5 Kilometer (Abbildung 5-5). Im Gegensatz zu den VST Riegel und Stegen wurden in der VST Villingen die Fahrzeuge aber für längere Touren genutzt, das 3. Quartil lag hier bei 70 km, d.h. 75% aller Touren waren 70 km oder kürzer. Der Median lag bei 43 km Tourenlänge.

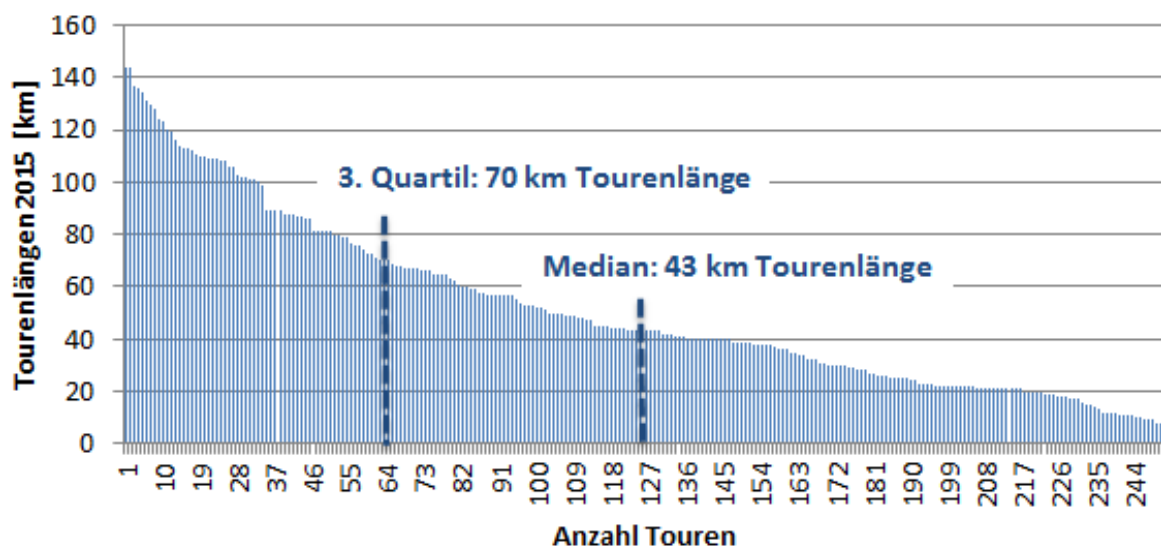


Abbildung 5-5: Verrechnungsstelle Villingen: Touren in 2015 nach Tourenkilometern und Tourenanzahl (Quelle: Auswertung Fahrtenbücher)

5.2.1.4. Verrechnungsstelle Stühlingen

Im Jahr 2015 waren die Mitarbeiter in der VST Stühlingen 57.120 km dienstlich unterwegs. 21.320 davon wurden mit dem Dienstfahrzeug, einem VW Polo Diesel zurückgelegt. Insgesamt wurden mit dem Fahrzeug 318 Touren durchgeführt, die längste Tour betrug 568 km, die kürzeste 2 Kilometer (Abbildung 5-6). Das Tourenprofil unterscheidet sich deutlich von den anderen Verrechnungsstellen. Da es beim Polo Diesel keine Reichweitenbeschränkungen wie bei den E-Fahrzeugen gibt, konnten in der VST Stühlingen auch längere Touren bewältigt werden. 56 Touren (18%) gingen über Strecken von 100 km und mehr und 28 Touren (9%) über Strecken von 150 km und mehr. Auch wenn diese längeren Touren in der Minderzahl waren, wurde mit diesen Fahrten im Vergleich zu den Elektrofahrzeugen die deutlich höhere Jahresfahrleistung eingefahren. Nichtsdestotrotz, und vergleichbar zu Villingen, betrugen 75% aller Touren 81 km oder kürzer (3. Quartil). Die Hälfte aller Touren war 48 km lang oder kürzer (Medianwert).

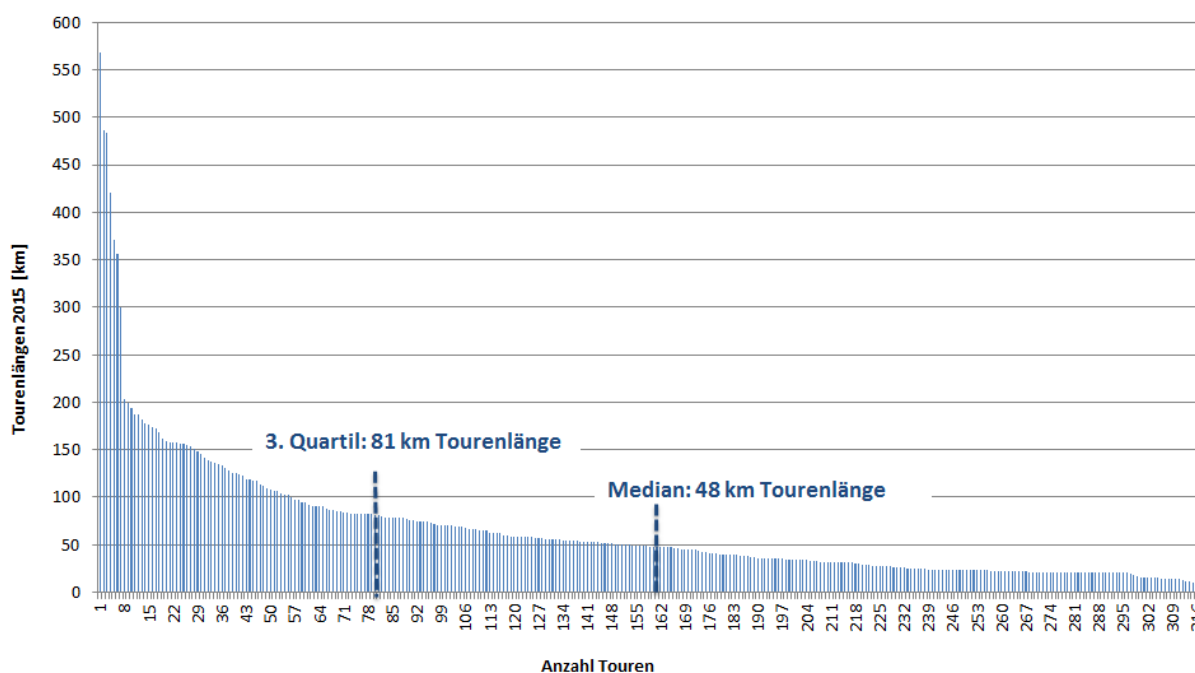


Abbildung 5-6: Verrechnungsstelle Stühlingen: Touren in 2015 nach Tourenkilometern und Tourenanzahl (Quelle: Auswertung Fahrtenbücher)

5.2.2. Energiebedarf und CO₂-Emissionsfaktoren

Absoluter Energiebedarf, Laufleistung und spezifischer Energiebedarf sowie der Dieselmotorkraftstoffverbrauch der Verrechnungsstellenfahrzeuge sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tabelle 5-1: Verrechnungsstellen: Energiebedarf und Dieselmotorkraftstoffverbrauch im Jahr 2015

		Riegel	Stegen	Villingen	Stühlingen VW Polo 1.6 TDI
Energiebedarf Ladestation	kWh	2.538	2.254	2.213	
Energiebedarf ubitricity	kWh	361	13	245	
Energiebedarf gesamt	kWh	2.899	2.267	2.458	
Dieselmotorkraftstoffverbrauch	l				1.019
Jahresfahrleistung	km	14.543	12.184	13.031	21.320
Spezifischer Energiebedarf ab Hausanschluss	kWh/100 km	19,9	18,6	18,9	46,8
	l/100 km				4,8

Aus den Jahresfahrleistungen (Abbildung 5-2) und dem Jahres-Energieverbrauch der Ladestationen lässt sich der spezifische Energieverbrauch der E-Fahrzeuge ermitteln (Abbildung 5-7). Durch den höheren Wirkungsgrad der Energieträgernutzung im E-Fahrzeug ist deren spezifischer Energiebedarf deutlich niedriger als der von konventionellen Fahrzeugen und nimmt 18,6 – 19,9 kWh/100 km im Jahresmittel ein (versus 46,8 kWh/100 km bzw. 4,8 l/100 km für das VW Polo Dieselfahrzeug).

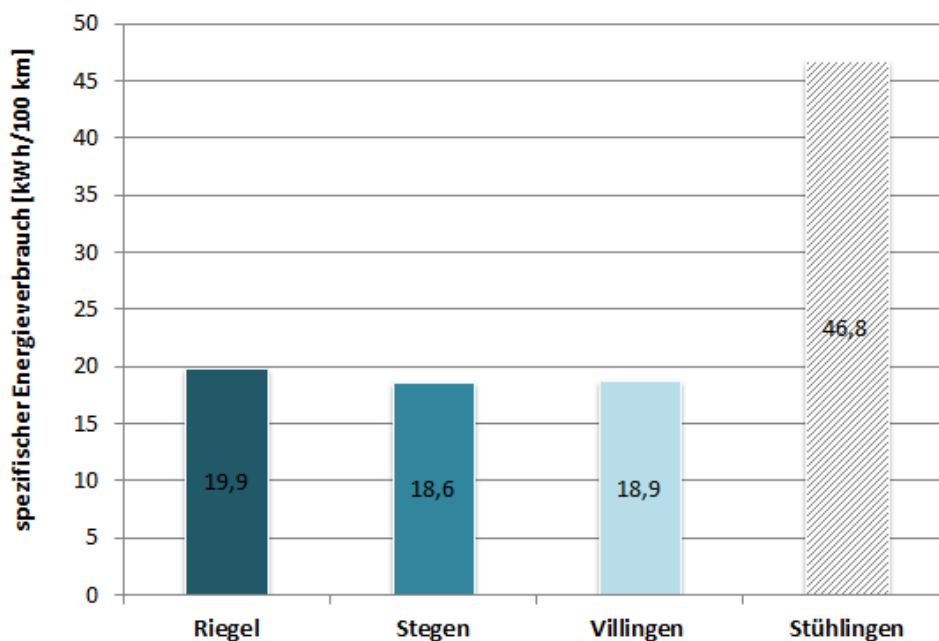


Abbildung 5-7: Verrechnungsstellen: Fahrzeugspezifischer Energieverbrauch in kWh/100 km im Jahr 2015

Für die Bilanzierung der des CO₂-Ausstoßes durch die Fahrzeugnutzung (s. a. Kap. 7) werden folgende Quellen mit einbezogen:

- Kraftstoffherstellung und Verteilung,
- elektrische Energiebereitstellung und Verteilung und
- Emissionen bei der Energiewandlung im Fahrzeug (Abgas).

Bei konventionellen Fahrzeugen sind die Quellen Kraftstoffherstellung/-verteilung und Energiewandlung im Fahrzeug (Verbrennung während der Fahrt) emissionsrelevant, bei Elektrofahrzeugen hingegen nur die Emissionsquelle elektrische Energiebereitstellung/-verteilung. Bei den Emissionen, die nicht direkt am Fahrzeug entstehen (Energiebereitstellung/-verteilung) spricht man auch von Emissionen der Vorkette bzw. „well-to-tank“-Emissionen.

Die Verrechnungsstellen nutzen einen regenerativen Strom-Mix des Energieversorgers KSE, für den 40 g CO₂/kWh veranschlagt werden (Erzbischöfliches Ordinariat, 2016). Für die Bereitstellung des Dieselmotorkraftstoffs an der Tankstelle werden 64 gCO₂/kWh veranschlagt (JRC, 2013), für die Verbrennung des Dieselmotorkraftstoffs im Fahrzeug 270 g CO₂/kWh (DEKRA, 2016). Die CO₂-Emissionsfaktoren durch die Fahrzeugnutzung sind in Tabelle 5-2 dargestellt.

Tabelle 5-2: Verrechnungsstellen: CO₂-Emissionsfaktoren durch Energiebereitstellung und Fahrzeugnutzung

		Riegel	Stegen	Villingen	Stühlingen
		Strom			Diesel
Energiebereitstellung (Vorkette)	g CO ₂ /kWh	40	40	40	64
Verbrennung (Abgas)		0	0	0	270
Summe (je kWh)		40	40	40	334
Energiebereitstellung (Vorkette)	g CO ₂ /100 km	796	744	756	2.986
Verbrennung (Abgas)		0	0	0	12.661
Summe (streckenbezogen)		796	744	756	15.647

5.2.3. Kosten und Preise

Für die Kostenanalyse der Verrechnungsstellen wurden folgende Aufwendungen herangezogen:

- Leasing Fahrzeuge und ggf. Batterie,
- Wartung für Fahrzeuge und Ladestationen,
- Reparatur,
- Versicherungen,
- Steuern,
- Energie,
- Anschaffung und Installation der Ladestationen sowie
- Zuschüsse BMUB zur Fahrzeugleasingrate (im Rahmen von „InitiativE-BW“).

Zur Kostenanalyse werden unterschiedliche Bezugsgrößen herangezogen. Zunächst werden Elektrofahrzeuge inkl. Ladeinfrastruktur konventionellen Fahrzeugen gegenübergestellt. Dazu werden alle entstandenen Kosten in einem Jahr ohne Verrechnung der Förderung seitens des BMUB herangezogen (Vollkostenbetrachtung). Dann werden die Fördermittel für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur in die Kostenanalyse mit einbezogen und verrechnet, um die den jeweiligen Einrichtungen entstandenen Kosten darzustellen (betriebswirtschaftliche Betrachtung). Die Bereitstellung der Energieinfrastruktur ist bei konventionellen Fahrzeugen externalisiert. Bei E-Fahrzeugen ist dies momentan so nicht der Fall; daher mussten in den Verrechnungsstellen jeweils Ladestationen angeschafft und errichtet werden. Die Bereitstellungskosten wurden analog der AfA-Tabelle auf 10 Jahre umgelegt (nkhr-bw, 2014).

Die Kostenelemente sind im Einzelnen in Tabelle 5-3 aufgeführt. Zusätzlich wurden hier die Energieträgerpreise für Dieselkraftstoff und Strom mit aufgenommen. Als absolute Gesamtkosten ohne Verrechnung der Förderung seitens des BMUB (Vollkostenbetrachtung) ergeben sich für die Verrech-

nungsstellen im Jahr 2015 zwischen 8.097 €/a und 8.377 €/a. Unter Einbeziehung der Förderung ergaben sich für die Verrechnungsstellen absolute Kosten von 6.697 €/a und 6.700 €/a (betriebswirtschaftliche Betrachtung). Demgegenüber standen absolute Gesamtkosten von 5.530 €/a für das Dieselfahrzeug in der Verrechnungsstelle Stühlingen.

Der Großteil der absoluten Jahreskosten entsteht durch die Leasingraten (Restwertleasing, Kilometergebunden) (siehe auch Abbildung 6-3). Hier zeigt sich, dass das Dieselfahrzeug mit 3.418 €/a deutlich im Vorteil ist und dass die E-Fahrzeuge selbst mit Hilfe der Förderung mit 4.978 €/a noch deutlich höhere Raten aufweisen (6.378 €/a ohne Förderung). Es wird weiterhin deutlich, dass der Wegfall der Kfz-Steuer für E-Fahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen des Kleinwagensegments nur sehr, sehr geringe Vorteile bietet. Darüber hinaus zeigt sich, dass die verhältnismäßig geringen Dieselmotorkraftstoffpreise verhältnismäßig hohen Strompreisen gegenüber stehen, so dass der Verbrauchsvorteil von E-Fahrzeugen kostenseitig nur in geringem Maße ausgeprägt ist. Bezüglich der Wartung lässt sich eine Tendenz zu geringeren Kosten vermuten, dies ist allerdings auf Grund des kurzen Zeitraums nicht sicher zu bestätigen.

Tabelle 5-3: Verrechnungsstellen: Absolute Jahreskosten und Energieträgerpreise im Jahr 2015

Kostenelement		Riegel	Stegen	Villingen	Stühlingen
		Renault Zoe Z.E. (Batterieelektrisch)			VW Polo 1.6 TDI (Diesel)
Energiekosten Ladestation	€	626,01	608,58	597,59	
Energiekosten ubitricity	€	253,81	123,82	192,16	
...davon Grundgebühr ubitricity	€	119,88	119,88	119,88	
Energiekosten Diesel	€				1.254,23
Energiekosten gesamt	€	879,82	732,40	789,75	1.254,23
Energieträgerpreise		0,27 €/kWh¹¹	0,27 €/kWh		1,23 €/l 0,13 €/kWh
Kauf & Installation Ladestation	€	2.653,35	2.000,41	4.416,40	
Installation ubitricity	€		568,26	410,96	
Förderung Ladeinfrastruktur	€	-	-	-	

¹¹ Ohne Einbeziehung der Eigennutzung von PV-Strom – s. Kapitel 6

Kostenelement		Riegel	Stegen	Villingen	Stühlingen
		Renault Zoe Z.E. (Batterieelektrisch)			VW Polo 1.6 TDI (Diesel)
Bereitstellung Ladeinfrastruktur	€/a ¹²	265,34	256,87	482,73	0
Fahrzeugleasing	€/a	3.945,48	3.945,48	3.945,48	3.418,20
Batterieleasing	€/a	1.032	1.032	1.032	
Förderung BMUB (Fzg.)	€	4.200	4.200	4.200	
Förderung BMUB (Fzg.)	€/a ¹³	1.400	1.400	1.400	
Fzg.-Leasingkosten gesamt inkl. Förderung	€	4.977,48	4.977,48	4.977,48	3.418,20
Fzg.-Leasingkosten gesamt exkl. Förderung	€	6.377,48	6.377,48	6.377,48	3.418,20
Versicherung (Kfz-Haftpflicht/Vollkasko)	€/a	460,60	460,60	460,60	460,60
Kfz-Steuer	€/a	0	0	0	154,00
Versicherungskosten und Steuern gesamt	€/a	460,60	460,60	460,60	614,60
Wartung Kfz	€/a	14,90	150,36	77,88	210,57
Wartung Wallbox	€/a	0	119	0	
Wartungskosten gesamt	€/a	14,90	269,36	77,88	210,57
Reparatur Kfz	€/a	101,60	0	188,01	31,95
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB (Betriebswirtschaftliche Kosten)	€/a	6.699,74	6.696,71	6.976,45	5.529,55
Gesamtkosten exkl. Förderung BMUB (Vollkosten)	€/a	8.099,74	8.096,71	8.376,45	5.529,55

¹² Bereitstellungskosten wurden analog AfA-Tabelle auf 10 Jahre umgelegt (nkhr-bw, 2014).

¹³ Umgelegt auf Leasingdauer von 3 Jahren

Werden die absoluten Jahreskosten auf die gefahrenen Kilometer bezogen, lassen sich Aussagen zu den spezifischen Kosten pro gefahrenem Kilometer bzw. zur Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge treffen (s. a. Kap. 6.2, Abbildung 6-5). Diese spezifischen Kilometerkosten nach den Hauptkostenelementen sind in Tabelle 5-4 dargestellt. Bedingt durch die absolut höheren Kosten der Elektrofahrzeuge (Leasinggebühren, Ladeinfrastruktur), die 50% höhere Fahrleistung des Dieselfahrzeugs sowie die relativ günstigen Dieselpreise bzw. relativ hohen Strompreise sind die Elektrofahrzeuge in den Verrechnungsstellen pro Kilometer fast doppelt so teuer wie das Dieselfahrzeug aus Stühlingen, selbst unter Einbeziehung der Vergünstigung durch die Förderung des BMUB.

Tabelle 5-4: Verrechnungsstellen: Kosten pro Kilometer im Jahr 2015

Kostenelement		Riegel	Stegen	Villingen	Stühlingen
		Renault Zoe Z.E. (Batterieelektrisch)			VW Polo 1.6 TDI (Diesel)
Energiekosten	€/100km	6,05	6,01	6,06	5,88
Bereitstellung Ladeinfrastruktur	€/100km	1,82	2,11	3,70	0,00
Leasing Fzg. & Batterie inkl. Förderung	€/100km	34,23	40,85	38,20	16,03
Leasing Fzg. & Batterie exkl. Förderung	€/100km	43,85	52,34	48,94	16,03
Wartungskosten	€/100km	0,10	2,21	0,60	0,99
Versicherungskosten & Steuern	€/100km	3,17	3,78	3,53	2,88
Reparaturen	€/100km	0,70	0,00	1,44	0,15
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB (Betriebswirtschaftliche Kosten)	€/100 km	46,07	54,96	53,54	25,94
Gesamtkosten exkl. Förderung BMUB (Vollkosten)	€/100 km	55,70	66,45	64,28	25,94

5.3. Sozialstationen

5.3.1. Laufleistung

Die Jahreslaufleistungen der E-Fahrzeuge lagen in den Sozialstationen 2015 und 2016 zwischen 9.100 und 20.400 km (Abbildung 5-8). Der Mittelwert lag hierbei bei 13.699 km pro Jahr (Median: 13.060 km/a).

Die Vergleichsfahrzeuge (Benziner) aus den Sozialstationen in Freiburg und Bad Säckingen (städtisch) liegen mit ihren Fahrleistungen unter denen der E-Fahrzeuge in der jeweiligen Einrichtung. In St. Blasien (sehr ländlich geprägtes Einsatzgebiet) werden mit den Benzinern allerdings fast 35.000 km an Jahreslaufleistung erreicht.

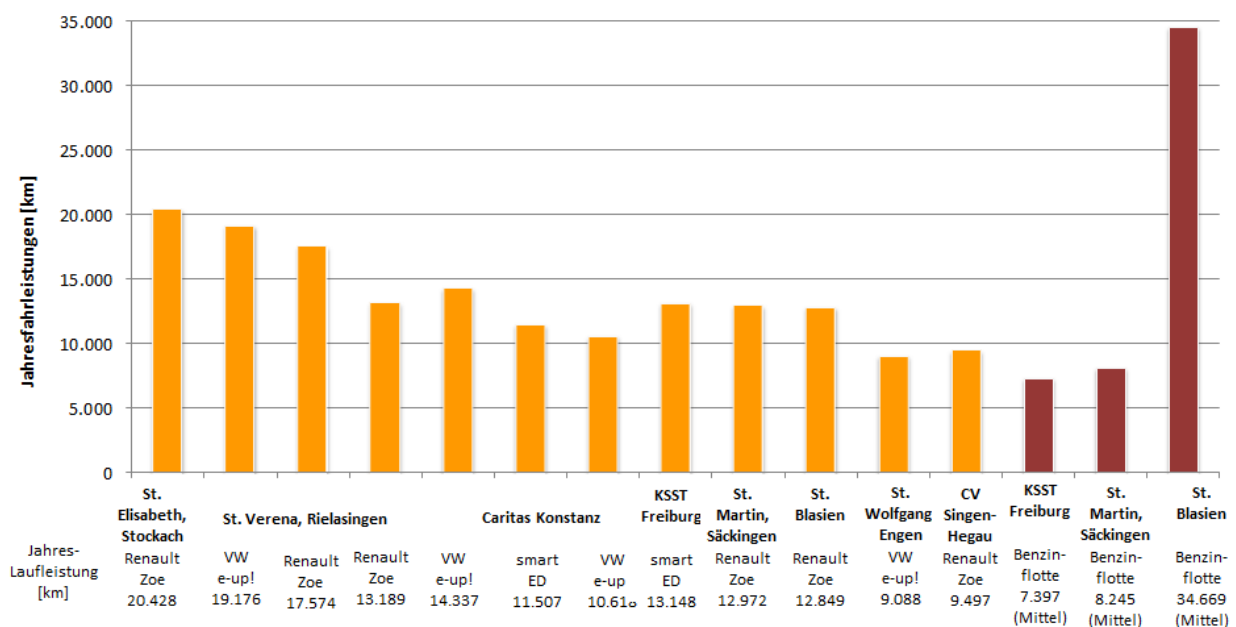


Abbildung 5-8: Sozialstationen: Jahreslaufleistungen in 2015 (CV Singen-Hegau: 2016)

Im Gegensatz zu den Verrechnungsstellen konnte in den Sozialstationen keine vergleichbare Auswertung der übers Jahr gefahrenen Strecken und Tourenprofile vorgenommen werden.

5.3.2. Energiebedarf und CO₂-Emissionsfaktoren

Absoluter Energiebedarf, Laufleistung und spezifischer Energiebedarf der Elektrofahrzeuge aus den Sozialstationen sind in Tabelle 5-5 dargestellt. Das Pflegezentrum St. Verena beschaffte für die Ladung seine Elektrofahrzeuge drei Ladestationen, die allerdings alle über einen gemeinsamen Stromzähler erfasst wurden. Der Fahrzeug-Energiebedarf im Pflegezentrum St. Verena und bei der Caritas Altenhilfe Konstanz kann daher nur als Summe über jeweils drei Elektrofahrzeuge angegeben werden.

Tabelle 5-5: Sozialstationen: Laufleistung und Energiebedarf der Elektrofahrzeuge im Jahr 2015/2016

Einrichtung	Fzg.-Modelle	Kenn- zeichen	Lauf- leistung [km]	Energie- bedarf [kWh] ¹⁴	Spez. Energiebe- darf [kWh/100 km]
SST Stockach	Renault Zoe Z.E.	KN-CV-113	20.428	n.V.	n.V.
SST Rielasingen	Renault Zoe Z.E.	KN-PZ-90	19.176	11.396	22,8
	Renault Zoe Z.E.	KN-PZ-98	17.574	(Flotten-	
	VW e-up!	KN-PZ-97	13.189	summe)	
SST Konstanz	VW e-up!	KN-SK-620	14.337	6.443	17,7
	VW e-up!	KN-SK-621	11.507	(Flotten-	
	Smart fortwo ED	KN-SK-920	10.618	summe)	
SST Engen	VW e-up!	KN-S-8300	9.088	2.059	22,7
CV Singen ¹⁵	Renault Zoe Z.E.	KN-CV-350	9.497	1.796	18,9
SST Freiburg	Smart ED	FR-CV-300	13.148	2.469	18,8
SST St. Blasien	Renault Zoe Z.E.	WT-SB-1050	12.849	2.888	22,5
SST Bad Säckin- gen	Renault Zoe Z.E.	WT-BS-1050	12.972	3.343	25,8

Aus den Jahreslaufleistungen und dem Jahres-Energieverbrauch der Ladestationen lässt sich der spezifische Energieverbrauch der E-Fahrzeuge ermitteln (Abbildung 5-9). Durch den höheren Wirkungsgrad der Energieträgernutzung im E-Fahrzeug ist deren spezifischer Energiebedarf deutlich niedriger als der von konventionellen Fahrzeugen und nimmt 17,7-25,8 kWh/100 km im Jahresmittel ein (versus 61,7-80,4 kWh/100 km bzw. 7,2-9,4 l/100 km für die Benzinfahrzeuge).

¹⁴ Energiegehalt 1 l Benzin : 8,6 kWh

¹⁵ Werte aus 2016, da das E-Fahrzeug in 2015 durch einen Schaden für längere Zeit ausfiel

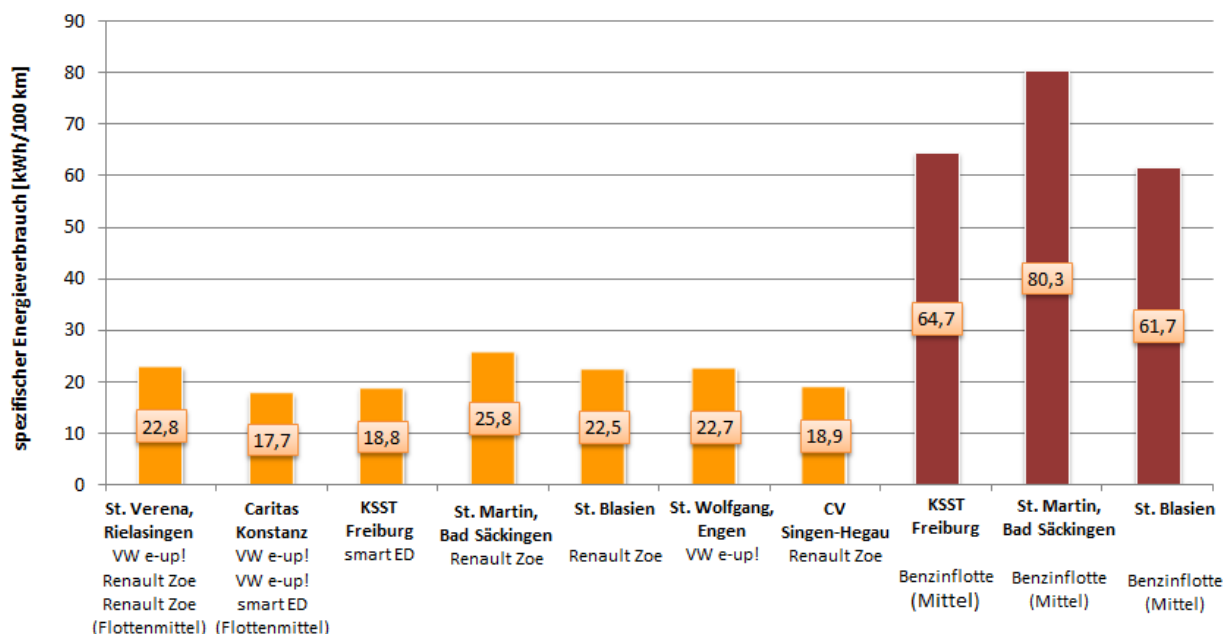


Abbildung 5-9: Sozialstationen: Fahrzeugspezifischer Energieverbrauch in kWh/100 km im Jahr 2015 (CV Singen-Hegau: 2016)

Aus den Sozialstationen Freiburg, St. Blasien und St. Martin, Bad Säckingen waren darüber hinaus noch Verbrauchs- und Fahrleistungsdaten von 10 benzinbetriebenen Fahrzeugen aus den jeweiligen Flotten verfügbar. Diese sind in Tabelle 5-6 dargestellt. Auffällig sind analog zu den Elektrofahrzeugen die hohen spezifischen Benzinverbräuche in St. Martin, Bad Säckingen (9,4 l/100 km im Mittel über drei Fahrzeuge) im Gegensatz zur katholischen Sozialstation Freiburg (7,5 l/100 km im Mittel über vier Fahrzeuge) und St. Blasien (7,2 l/100 km im Mittel über drei Fahrzeuge). Die topographischen Gegebenheiten von Bad Säckingen spielen hier offensichtlich eine nennenswerte Rolle.

Tabelle 5-6: Sozialstationen: Benzinverbrauch und Fahrleistungen im Jahr 2015

Station/ Einrichtung		Benzin- verbrauch [l]	Jahres- fahrleistung [km]	Spez. Energiebe- darf [l/100 km]	Spez. Energiebe- darf [kWh/100 km]
SST Freiburg	FR-CV 166 (smart)	759,55	9.950	7,63	65,47
	FR-CV 199 (VW Polo)	279,03	3.797	7,35	63,03
	FR-CV 221 (Opel Agila)	648,49	8.046	8,06	69,13
	FR-CV 303 (Opel Agila)	543,28	7.794	6,97	59,78

Station/ Einrichtung		Benzin- verbrauch [l]	Jahres- fahrleistung [km]	Spez. Energiebe- darf [l/100 km]	Spez. Energiebe- darf [kWh/100 km]
Sozialstation St. Blasien, Caritas- Sozialstationen Hochrhein	WT-SB 1014 (Ford Ka)	2.745	35.112	7,82	67,05
	WT-SB 1015 (Ford Ka)	2.682	38.826	6,91	59,24
	WT-SB 1016 (Ford Ka)	2.060	30.068	6,85	58,76
Sozialstation St. Martin, Bad Säckingen, Caritas- Sozialstationen Hochrhein	WT-BS 1023 (Ford Ka)	636	6.908	9,20	78,91
	WT-BS 1027 (Ford Ka)	829	8.995	9,22	79,08
	WT-BS 1022 (Ford Ka)	852	8.836	9,65	82,73

Für die Bilanzierung der des CO₂-Ausstoßes durch die Fahrzeugnutzung (s. a. Kap. 7) werden zusätzlich folgende Quellen mit einbezogen:

- Kraftstoffherstellung und Verteilung,
- elektrische Energiebereitstellung und Verteilung und
- Emissionen bei der Energiewandlung im Fahrzeug (Abgas).

Bei konventionellen Fahrzeugen sind die Quellen Kraftstoffherstellung/-verteilung und Energiewandlung im Fahrzeug (Verbrennung während der Fahrt) emissionsrelevant, bei Elektrofahrzeugen hingegen nur die Emissionsquelle elektrische Energiebereitstellung/-verteilung. Bei den Emissionen, die nicht direkt am Fahrzeug entstehen (Energiebereitstellung/-verteilung) spricht man auch von Emissionen der Vorkette bzw. „well-to-tank“-Emissionen.

Die Sozialstationen nutzen nach Maßgabe der Teilnahmebedingungen der Erzdiözese ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien, z.B. den Strom-Mix des Energieversorgers KSE, für den 40 g CO₂/kWh veranschlagt werden (Erzbischöfliches Ordinariat, 2016). Für die Bereitstellung des Benzin-kraftstoffs an der Tankstelle werden 58 gCO₂/kWh veranschlagt (JRC, 2013), für die Verbrennung des Kraftstoffs im Fahrzeug 276 g CO₂/kWh (DEKRA, 2016). Die CO₂-Emissionsfaktoren durch die Nutzung von Elektro- und Benzinfahrzeugen sind anhand des Beispiels der Sozialstation St. Blasien in Tabelle 5-8 dargestellt.

Tabelle 5-7: Sozialstationen: CO₂-Emissionsfaktoren durch Energiebereitstellung und Fahrzeugnutzung

		St. Blasien	
		Renault Zoe Z.E., Strom	Mittel über drei Benzin- fahrzeuge
Energiebereitstellung (Vorkette)	g CO ₂ /kWh	40	58
Verbrennung (Abgas)		0	276
Summe (je kWh)		40	335
Energiebereitstellung (Vorkette)	g CO ₂ / 100 km	899	3.602
Verbrennung (Abgas)		0	17.061
Summe (streckenbezogen)		899	20.663

5.3.3. Kosten und Preise

Bezüglich der Kostenanalyse wurden folgende Aufwendungen herangezogen:

- Leasing Fahrzeuge und ggf. Batterie,
- Wartung für Fahrzeuge und Ladestationen,
- Reparatur,
- Versicherungen,
- Steuern,
- Energie,
- Anschaffung und Installation der Ladestationen,
- Zuschüsse BMUB zur Fahrzeugleasingrate (im Rahmen von „Initiative-BW“) sowie zusätzlich
- Zuschüsse Erzbischöfliches Ordinariat zur Fahrzeug- und Batterieleasingrate und
- Zuschüsse der KSE und anderer Energieversorger zur Ladeinfrastruktur (beides im Rahmen von „elektrisch mobil“).

Zur Kostenanalyse werden analog zu den Verrechnungsstellen unterschiedliche Bezugsgrößen herangezogen. Zunächst werden Elektrofahrzeuge inkl. Ladeinfrastruktur konventionellen Fahrzeugen gegenübergestellt. Dazu werden alle entstandenen Kosten in einem Jahr exklusive der Förderung von BMUB und Erzdiözese herangezogen (Vollkostenbetrachtung). Dann werden die Fördermittel für Fahrzeuge, Batterieleasing und Ladeinfrastruktur in die Kostenanalyse mit einbezogen und verrechnet, um die den jeweiligen Einrichtungen entstandenen Kosten darzustellen (betriebswirtschaftliche Betrachtung). Die Bereitstellung der Energieinfrastruktur ist bei konventionellen Fahrzeugen externalisiert. Bei E-Fahrzeugen ist dies momentan so nicht der Fall; daher mussten in den Sozialstationen jeweils Ladestationen angeschafft werden. Die Bereitstellungskosten wurden analog der AfA-Tabelle auf 10 Jahre umgelegt (nkhr-bw, 2014).

Die Kostenelemente zur Ermittlung der absoluten Jahreskosten sind beispielhaft anhand der Sozialstationen Freiburg, St. Blasien und Bad Säckingen in Tabelle 5-8 aufgeführt. Die absoluten Kosten der

weiteren Einrichtungen befinden sich im Anhang in Tabelle 13-1 bis Tabelle 13-3 und graphisch dargestellt in Kapitel 6.3, Abbildung 6-7 und Abbildung 6-8. Als Vergleichswerte gegenüber den konventionellen Flottenfahrzeugen sind in Tabelle 5-9 die absoluten Kosten der Benzinfahrzeuge aus den genannten Sozialstationen als Flottenmittel aufgeführt.

Die Einrichtungen in Freiburg, Bad Säckingen und St. Blasien beschafften für die Ladung ihrer Elektrofahrzeuge jeweils eine Ladestation, deren Kauf und Installation insgesamt zwischen 1.900 € und 7.100 € kostete. Während bei den Sozialstationen St. Martin, Bad Säckingen und St. Blasien der Anschaffungspreis der Ladestation im Fahrzeugpreis ihres Renault Zoes enthalten war, betrug er bei der katholischen Sozialstation Freiburg 1.575 €. Hier kamen zusätzlich noch Installationskosten hinzu in Höhe von 5.483 €. Dieser Wert ist der höchste von allen betrachteten Einrichtungen inklusive der Verrechnungsstellen und lässt sich durch einen hohen Aufwand beim Anschluss an das existierende Stromnetz der Gebäude erklären. Minimale Installationskosten betrugen hier 846 €, der Mittelwert lag bei 2.297 €, der Median bei 1.874 € (vgl. Tabelle 3-1).

Die absoluten Energiekosten der Elektrofahrzeuge in Freiburg, Bad Säckingen und St. Blasien belaufen sich im Jahr 2015 auf 667 € bis 903 €. Im Vergleich dazu belaufen sich die Energiekosten der Benzinfahrzeuge im gleichen Zeitraum auf Werte zwischen 760 € (Freiburg mit im Mittel 7.400 km Jahresfahrleistung) und 3.500 € (St. Blasien mit im Mittel 34.700 km Jahresfahrleistung).

Als absolute Gesamtkosten ohne Verrechnung der Förderungen seitens des BMUB, der Erzdiözese und des Energieversorgers KSE (Vollkostenbetrachtung) ergeben sich für die Elektrofahrzeuge in Freiburg, Bad Säckingen und St. Blasien im Jahr 2015 Summen von 6.597 bis 7.458 €/a. Unter Einbeziehung aller Förderungen ergeben sich absolute Kosten von 4.227 bis 4.378 €/a (betriebswirtschaftliche Betrachtung). Demgegenüber stehen absolute Gesamtkosten von 3.916 – 7.734 €/a für die Benzinfahrzeuge. Der Großteil der absoluten Kosten entsteht durch die Leasingraten (Restwertleasing, kilometergebunden), die bei den Elektrofahrzeugen, betriebswirtschaftlich betrachtet, d.h. inklusive der Förderung seitens des BMUB und der Erzdiözese, bei 1.998 €/a (Smart fortwo electric drive) bis 2.735 €/a (Renault Zoe) liegen. Dank dieser Fördersummen kommen die E-Fahrzeuge hiermit in einen vergleichbaren Bereich wie die Benzinfahrzeuge (Leasingraten von 1.976 €/a bzw. 2.100 €/a als Abschreibung). Es wird weiterhin deutlich, dass der Wegfall der Kfz-Steuer für E-Fahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen des Kleinwagensegments nur sehr geringe Vorteile bietet. Darüber hinaus zeigt sich, dass die verhältnismäßig geringen Benzinkraftstoffpreise verhältnismäßig hohen Strompreisen gegenüber stehen, so dass der Verbrauchsvorteil von E-Fahrzeugen kostenseitig nur in geringem Maße ausgeprägt ist. Dafür fallen für die Vergleichs-Benzinfahrzeuge wesentliche höhere Kosten für Versicherungen an. Einsparungen an Wartungskosten ließen sich gegenüber den konventionellen Vergleichsfahrzeugen nur in Freiburg erzielen.

Tabelle 5-8: Sozialstationen: Absolute Jahreskosten und Energieträgerpreise im Jahr 2015 in Freiburg, Bad Säckingen und St. Blasien

		Freiburg Smart E.D: FR-CV-300	Bad Säckingen Renault Zoe WT-BS-1050	St. Blasien Renault Zoe WT-SB-1050
Energiekosten gesamt	€	666,63	902,61	837,38
Energieträgerpreise	€/kWh	0,27		
Kauf & Installation Ladestation	€	7.057,68	2.123,40	1.861,54
Förderung Ladeinfrastruktur	€	2.000	2.000	1.861,54
Bereitstellung Ladeinfrastruktur inkl. Förderung KSE / Energieversorger	€/a ¹⁶	505,77	12,34	0,00
Bereitstellung Ladeinfrastruktur exkl. Förderung	€/a ³⁰	705,77	212,34	186,15
Fahrzeugleasing	€/a	3.420,40	4.583,52	4.219,44
Batterieleasing	€/a	747,50	1.032,00	1.464,00
Förderung BMUB (Fzg)	€	2.100	2.700	2.700
Förderung BMUB (Fzg)	€/a ¹⁷	700,00	900,00	900,00
Förderung Erzdiözese (Fzg & Batterie)	€/a	1.470,12	1.980,48	2.009,04
Fzg.-Leasingkosten gesamt inkl. Förderung	€	1.997,78	2.735,04	2.774,40
Fzg.-Leasingkosten gesamt exkl. Förderung	€	4.167,90	5.615,52	5.683,44
Versicherung (Kfz-Haftpflicht/Vollkasko)	€/a	402,19	432,00	433,74
Kfz-Steuer	€/a	0,00	0,00	0,00
Versicherungskosten und Steuern gesamt	€/a	402,19	432,00	433,74
Wartung Kfz	€/a	0,00	295,61	233,10
Wartung Wallbox	€/a	0,00	0,00	0,00
Wartungskosten gesamt	€/a	0,00	295,61	233,10
Reparatur Kfz	€/a	654,50	0,00	0,00

¹⁶ Bereitstellungskosten wurden analog AfA-Tabelle auf 10 Jahre umgelegt (nkhr-bw, 2014).

¹⁷ Umgelegt auf Leasingdauer von 3 Jahren

		Freiburg Smart E.D: FR-CV-300	Bad Säckingen Renault Zoe WT-BS-1050	St. Blasien Renault Zoe WT-SB-1050
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB, Erzdiözese und KSE / Energieversorger (<i>Betriebswirtschaftliche Kosten</i>)	€/a	4.226,87	4.377,60	4.278,62
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB und KSE / Energieversorger (<i>Betriebswirtschaftliche Kosten</i>)	€/a	5.696,99	6.358,08	6.287,66
Gesamtkosten exkl. Förderung (<i>Vollkosten</i>)	€/a	6.596,99	7.458,08	7.373,82

In Tabelle 5-9 sind die absoluten Kosten der Benzinfahrzeuge aus den Sozialstationen Freiburg, St. Martin, Bad Säckingen und St. Blasien als Flottenmittel aufgeführt. Die spezifischen Kosten pro Fahrzeug finden sich im Anhang in Tabelle 13-4.

Tabelle 5-9: Absolute Jahreskosten Benzinfahrzeuge (Flottenmittel über 3 Fahrzeuge (4 in Freiburg))

		Kath. Sozialstation Freiburg	St. Martin, Bad Säckingen	St. Blasien
Energiekosten	€	760,19	1.191,94	3.468,87
Energieträgerpreise ¹⁸	€/l	1,36	1,54	1,39
Bereitstellung Ladeinfrastruktur	€/a	entfällt		
Fzg.-Leasingkosten	€	2.100,25 ¹⁹	1.976,12 ²⁰	1.976,12 ²⁰
Versicherung	€/a	773,50	1.249,50	714,00
Kfz-Steuer	€/a	33,50	66,00	66,00
Versicherungskosten und Steuern gesamt	€/a	807,00	1.315,50	780,00
Wartung Kfz	€/a	248,50	188,73	1.234,65
Wartung Wallbox	€/a		entfällt	
Wartungskosten gesamt	€/a	248,50	188,73	1.234,65
Reparatur Kfz	€/a	0,00	0,00	274,69
Gesamtkosten	€/a	3.915,94	4.672,29	7.734,32

Werden die absoluten Jahreskosten auf die gefahrenen Kilometer bezogen, lassen sich Aussagen zu den spezifischen Kilometerkosten bzw. zur Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge treffen (s. a. Kap. 6.3.2). Diese spezifischen Kilometerkosten nach den in Tabelle 5-8 definierten Hauptkostenelementen sind wiederum beispielhaft für die Sozialstationen Freiburg, St. Blasien und St. Martin, Bad Säckingen in Tabelle 5-10 dargestellt. Die Fahrleistungen der Elektrofahrzeuge in Freiburg, St. Blasien und Bad Säckingen betragen zwischen 12.850 km/a und 13.150 km/a und liegen damit knapp unter dem Mittelwert der Elektrofahrzeug-Fahrleistungen aus den Sozialstationen (13.699 km/a). Durch die Zuschussung seitens BMUB, Erzdiözese und Energieversorger sind ihre Kosten pro Kilometer niedriger als die der Benzinfahrzeuge mit geringen Jahresfahrleistungen (Sozialstation Freiburg und St. Martin, Bad Säckingen) und liegen zwischen 32,15 und 33,75 €/100 km. Die Benzinfahrzeuge mit hohen Jahresfahrleistungen (St. Blasien mit 34.670 km/a weisen dagegen Kilometerkosten von 22,31 €/100 km auf (Tabelle 5-11).

Im Gegensatz zu dem Vergleichs-Dieselfahrzeug aus der Verrechnungsstelle Stühlingen zeichnen sich die Benzinfahrzeuge durch z.T. hohe spezifische Verbräuche aus (s. Tabelle 5-6). Weiterhin ist die Energiesteuer auf Benzin Kraftstoff höher als auf Dieselfahrzeug, weswegen die Benzinpreise höher

¹⁸ 1,41 €/l über alle 10 Benzinfahrzeuge

¹⁹ Fahrzeuge in Freiburg sind gekauft, Wert entspricht jährlicher Abschreibung; Fahrzeuge wurden zwischen 2010 und 2014 beschafft

²⁰ Inkl. 500 €/a Rückstellungen für Leasingende (Restwertabsicherung)

ausfallen (s. Tabelle 5-3 und Tabelle 5-9). Die Energiekosten der Elektrofahrzeuge sind daher trotz des relativ hohen Strompreises im Vergleich zu den Benzinfahrzeugen niedriger (5,07 – 6,96 €/100 km versus 10,75 €/100 km).

Tabelle 5-10: Sozialstation: Jahreskosten pro Kilometer im Jahr 2015 im Pflegezentrum St. Verena, Rielasingen

		Freiburg Smart E.D: FR-CV-300	Bad Säckingen Renault Zoe WT-BS-1050	St. Blasien Renault Zoe WT-SB-1050
Energiekosten	€/100km	5,07	6,96	6,52
Bereitstellung Ladeinfrastruktur inkl. Förderung KSE / Energie- versorger	€/100km	3,85	0,10	0,00
Leasing Fzg. & Batterie inkl. Förderung BMUB und Erzdiözese	€/100km	15,19	21,08	21,59
Leasing Fzg. & Batterie exkl. Förderung	€/100km	31,70	43,29	44,23
Wartungskosten	€/100km	0,00	2,28	1,81
Versicherungskosten & Steuern	€/100km	3,06	3,33	3,38
Reparaturen	€/100km	4,98	0,00	0,00
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB, Erzdiözese und KSE (Betriebswirtschaftliche Kosten)	€/100 km	32,15	33,75	33,30
Gesamtkosten exkl. Förderung (Vollkosten)	€/100 km	71,99	50,17	57,49

Tabelle 5-11 stellt die Kilometerkosten für die Benzinfahrzeuge aus Freiburg, St. Blasien und Bad Säckingen im Flottenmittel dar.

Tabelle 5-11: Sozialstationen: Kosten pro Kilometer der Benzinfahrzeuge (Flottenmittel über 3 Fahrzeuge (4 in Freiburg))

		Kath. Sozialstation Freiburg	St. Martin, Bad Säckingen	St. Blasien
Energiekosten	€/100km	10,28	14,45	10,01
Leasing/Abschreibung Fzg.	€/100km	28,39	23,96	5,70
Wartungskosten	€/100km	3,36	2,29	3,56
Versicherungskosten & Steuern	€/100km	10,91	15,95	2,25
Reparaturen	€/100km	0,00	0,00	0,79
Gesamtkosten	€/100 km	52,94	56,66	22,31

5.4. Nutzung Photovoltaik für Batterieladung

Ziel dieser Untersuchung ist die Analyse des Anwendungsfalls in Riegel, bei dem eine am Standort der Verrechnungsstelle installierte Photovoltaik-Anlage (PV-Anlage) genutzt wird, um das Elektrofahrzeug zu laden:

- Bestimmung der CO₂-Emissionen durch E-Fzg-Laden im zeitlich aufgelösten deutschen Strom-Produktionsmix
- Ermittlung des ökologischen Einflusses der PV-Anlage zur Minderung der spez. CO₂-Emissionen (in g CO₂/km)
- Beitrag der PV-Anlage zur Reduzierung der Energiekosten

Die PV-Anlage mit einer installierten Nennleistung von 18 kW_{peak} ist mit südwestlicher Ausrichtung auf dem Dach der Verrechnungsstelle in Riegel angebracht (Abbildung 5-10). Sie wurde im Juli 2014 in Betrieb genommen, die Einspeisevergütung beträgt exkl. USt. 12,22 Ct/kWh.



Abbildung 5-10: Ausrichtung der PV-Anlage am Standort Verrechnungsstelle Riegel

Die für die Analyse verwendeten Datenquellen sind in Abbildung 5-11 dargestellt und werden im Folgenden beschrieben (BEV: Battery electric vehicle - batterieelektrisches Fahrzeug).

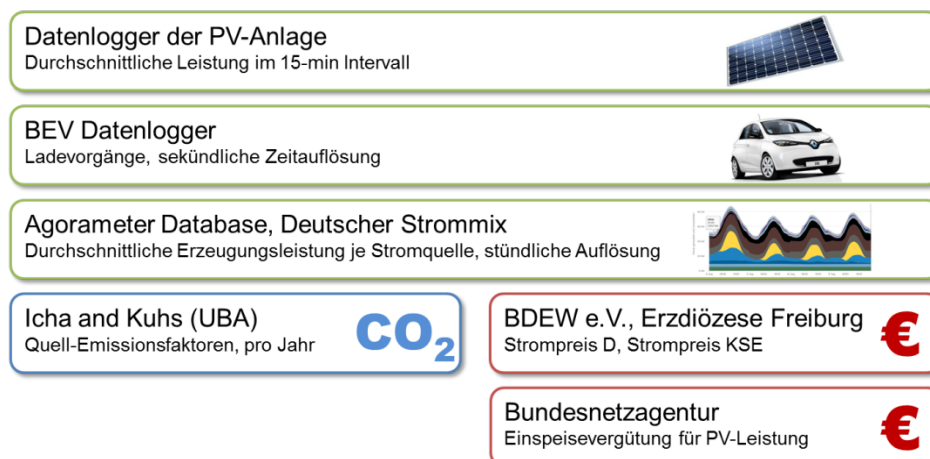


Abbildung 5-11: Datenquellen für die Analyse der Photovoltaik-Nutzung zur Fahrzeugladung

5.4.1. Datenlogger der PV-Anlage

Von der Verrechnungsstelle Riegel wurde der Zugang zum Datenlogger der PV-Anlage zur Verfügung gestellt. Diese Daten enthalten 15-Minuten-Intervalle der mittleren Leistungen von:

- Strombedarf Gebäude,
- Stromerzeugung der PV-Anlage
- Netzbezug bzw. Netzeinspeisung.

Im Strombedarf des Gebäudes ist auch die Stromversorgung der Ladestation enthalten, so dass Ladevorgänge anhand der Verläufe der Gebäudelast identifiziert werden können. Abbildung 5-12 zeigt beispielhaft einen Tagesgang. Die in grün dargestellte PV-Erzeugungsleistung steigt ab acht Uhr langsam an. Gegen elf Uhr nimmt die Sonneneinstrahlung stark zu und auch die erzeugte Leistung steigt an, aufgrund von Wolken aber nicht stetig. Nach einem starken Einbruch gegen 15 Uhr steigt die erzeugte Leistung auf ihr Tagesmaximum und nimmt ab dann kontinuierlich mit der untergehenden Sonne ohne weitere Beschattung durch Wolken ab, bis gegen 20 Uhr kein Strom mehr erzeugt wird.

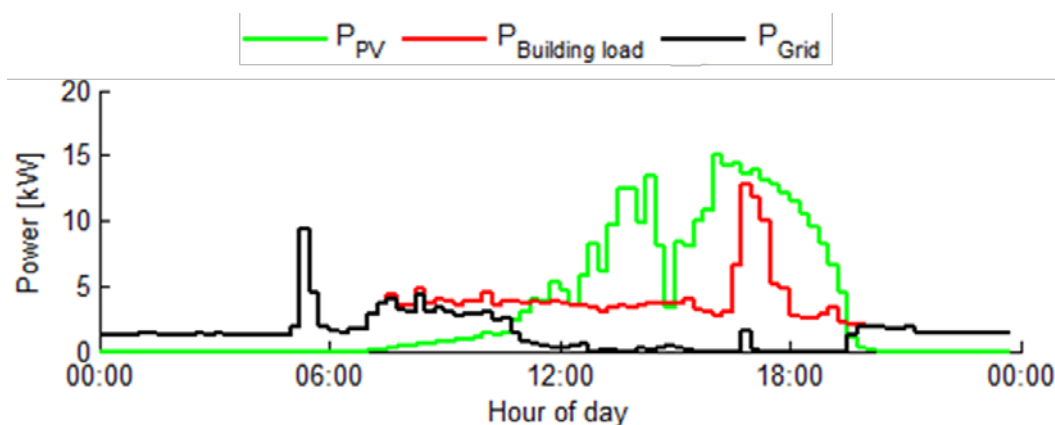


Abbildung 5-12: Tagesgang Strombedarf, Netzbezug / -einspeisung und PV-Erzeugung aus PV-Datenlogger

Die Gebäudelast ist in rot dargestellt. Während der Nachtstunden wird die gesamte Gebäudeleistung aus dem Netz gedeckt und ist daher in der Grafik von der schwarz dargestellten Netzbezugsleistung überdeckt. In der Gebäudelast sind ab 6:30 Uhr und ab ca. 16:30 Uhr zwei Ladevorgänge erkennbar, bei denen der Leistungsbedarf auf über 10 kW steigt. Der erste Ladevorgang wurde dabei komplett aus dem Netz versorgt, während der zweite Ladevorgang fast komplett über die PV-Anlage abgedeckt werden konnte.

Zur Auswertung aller Tagesgänge des PV-Tagesloggers im Jahr 2015 wurde ein Algorithmus programmiert, der die Ladevorgänge in der Bedarfsleistung des Gebäudes identifiziert und die Ladezeiträume und -energien zusammenfasst. Die Identifikation von Ladevorgängen soll dabei konservativ erfolgen, d.h. im Zweifel lieber weniger Ladevorgänge identifiziert werden. Damit ist sichergestellt, dass die Berechnungsergebnisse hinsichtlich der PV-Nutzung zum Laden den schlechtesten Fall darstellen und real tendenziell mehr Energie der PV-Anlage zum Laden genutzt wurde. Die dahinterstehende Problematik ist anhand der Analyse eines typischen Batterieladevorgangs anschaulich darstellbar (Abbildung 5-13). Enthält die Batterie weniger als 60% der möglichen Energie (Ladezustand SOC < 60%, Time < 60 min), so kann mit hoher Leistung, hier 11 kW, geladen werden. Bei mehr als 60% Ladezustand wird die blau dargestellte Ladeleistung mit zunehmender Ladedauer immer weiter reduziert. Im dargestellten Beispiel wird ab 95 % Ladezustand mit weniger als 1,8 kW geladen. Der Vergleich mit Abbildung 5-12 macht deutlich, dass diese geringen Ladeleistungen im Tagesgang des Gebäudebedarfs nicht mehr eindeutig identifizierbar sind, da sie prinzipiell auch von anderen Verbrauchern wie zum Beispiel Heizlüfter, Wasserkocher, Herd o. ä. verursacht sein können. Vom PV-Algorithmus werden daher nur Ladeleistungen größer 1,75 kW detektiert, der hierdurch auftretende Fehler liegt bei Vollladung bis 100 % Ladezustand in der Größenordnung von ca. 3 % der Ladeenergie. Bei Teilladungen mit Ladeschluss vor Erreichen von 90 % Ladezustand tritt kein Fehler auf.

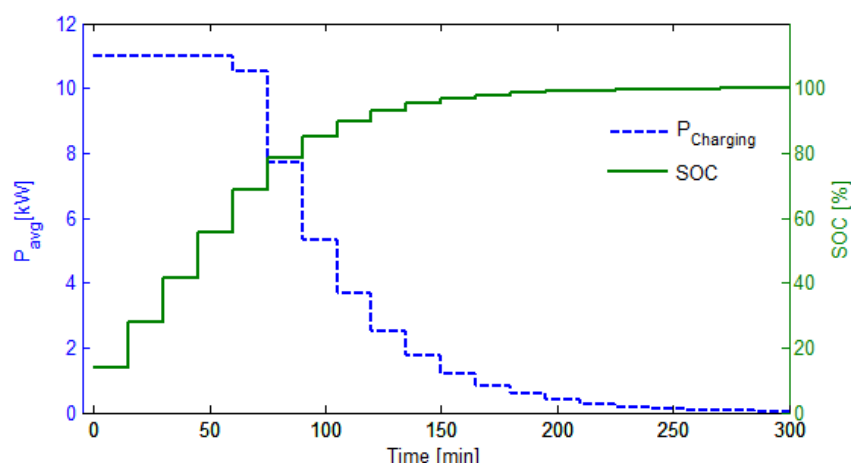


Abbildung 5-13: Prinzipielle Darstellung eines Ladevorgangs anhand Leistung und Ladezustand (SOC)

Zur Verifizierung der Energiemengen wurden die vom PV-Algorithmus monatlich ermittelten Ladeenergien den abgelesenen Zählerständen des Ladestations-Stromzählers gegenübergestellt (Abbildung 5-14). In den Monaten Januar und Februar sind die Differenzen kleiner als 5%. Im März ist

der Zähler der Ladestation teilweise und im April komplett ausgefallen, im Mai vermutlich wenige Tage. Im Juni und Juli sind große Differenzen erkennbar, die auf ein um mehrere Tage verspätetes Ablesen des Ladestationszählers zurückzuführen sind, woraus sich eine zusätzliche Energiemenge im Juni und eine Mindermenge im Juli ergibt. Beide Monate zusammengerechnet weicht der PV-Algorithmus um -9 % von der Zählererfassung ab, der Fehler ist hier und auch im August konservativ. September und Oktober stimmen ausreichend gut überein. Im November und Dezember wurde wiederum verspätet abgelesen, gemeinsame Betrachtung beider Monate ergibt eine Abweichung des PV-Algorithmus gegenüber der Zählererfassung von -2,7 %.

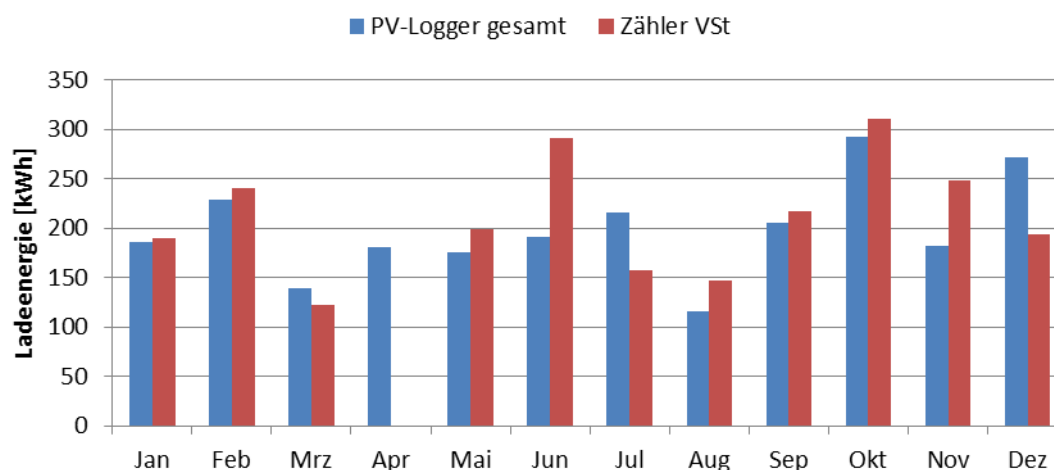


Abbildung 5-14: Vergleich monatliche Energiemenge PV-Algorithmus und Ladestationszähler

5.4.2. BEV Datenlogger

Da in den aufgezeichneten Fahrzeugdaten nicht alle Ladevorgänge zuverlässig erfasst wurden, konnten die Daten des Fahrzeugdatenloggers nur zur Verifizierung des PV-Algorithmus verwendet werden. Die kumuliert über das Jahr zugeführte Ladeenergie konnte aus den Loggerdaten nicht berechnet werden, aber einzelne Ladezyklen waren vollständig vorhanden.

Zur Verifizierung wurden vorhandene Ladezyklen des Fahrzeugs den vom PV-Algorithmus identifizierten Ladevorgängen gegenübergestellt. Die dabei festgestellte zeitliche Übereinstimmung zeigt, dass der Algorithmus die Ladevorgänge zuverlässig identifiziert.

5.4.3. Database Agorameter & Icha und Kuhs

Die Agorameter Databasis (Agora Energiewende, 2016) stellt die Zusammensetzung des deutschen Strommix auf stündlicher Basis zur Verfügung. In Verbindung mit den vom Umweltbundesamt in (Icha and Kuhs, 2016) zur Verfügung gestellten jährlichen Emissionsfaktoren je Stromquelle (Tabelle 5-12) konnte für jede Stunde des Jahres 2015 der Emissionsfaktor in g CO₂ / kWh ermittelt werden.

Tabelle 5-12: Emissionsfaktoren 2015 nach Icha und Kuhs, 2016

Stromquelle	g CO ₂ /kWh
Braunkohle	1.136
Steinkohle	888
Erdgas	370
Sonstige (Mineralöl, Müllverbrennung, nicht spezifizierte Quellen)	1.057
Biomasse, Wasser, PV, Wind, Atomkraft, Pumpspeicherkraftwerk	0

Abbildung 5-15 zeigt die sich daraus über die Tagesstunden ergebende statistische Verteilung der CO₂-Emissionen im deutschen Strommix für 2015. Die mittleren 50% der Werte liegen innerhalb der blauen Box, die rote Linie repräsentiert den Median jedes Stundendatensatzes. Die mit schwarzen Strichen dargestellte Bandbreite ohne Ausreißer (rote Kreuze) beträgt für alle Stunden ca. 380 gCO₂/kWh, lediglich in den Abendstunden zwischen 18 und 21 Uhr steigt die untere Grenze und die Bandbreite verringert sich. Dies wird als Folge des höheren Strombedarfs in den Abendstunden interpretiert, der zu verstärktem Einsatz konventioneller Kraftwerke mit hohem CO₂-Ausstoss führt.

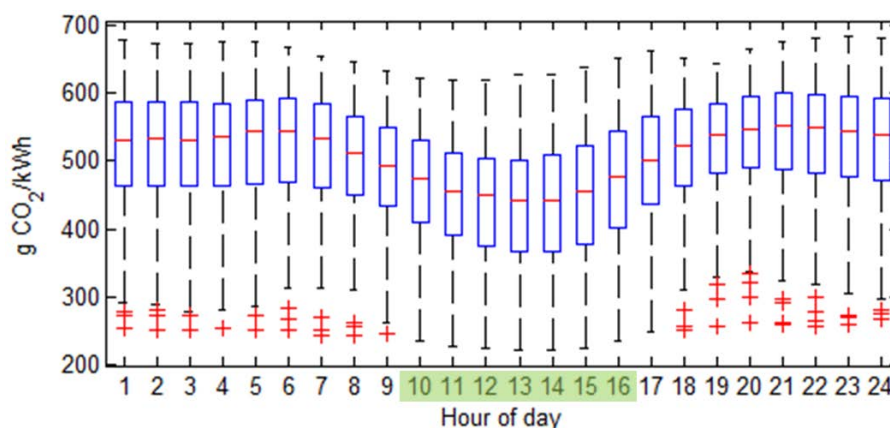


Abbildung 5-15: Statistische Verteilung der stündlichen CO₂-Emissionen in 2015

Insgesamt zeigt sich, dass die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in den Stunden zwischen 10 und 16 Uhr am geringsten sind.

5.4.4. Datenbasis Energiekosten (Deutschland & KSE), CO₂-Emissionen KSE

Für die Bestimmung der mittleren deutschen Strompreise wurden Daten des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) verwendet (BDEW, 2016). Die Strompreise für die KSE-Versorgung wurden von der Erzdiözese Freiburg zur Verfügung gestellt, ebenso der Emissionsfaktor in Höhe von 40 gCO₂ / kWh. Die Einspeisevergütung der PV-Anlage in Riegel wurde auf Basis des Inbetriebnahmedatums mit den von der Bundesnetzagentur zur Verfügung gestellten Vergütungspreisen ermittelt.

5.4.5 Anwendungsfall VSt. Riegel 2015

Die Auswertung der vorhandenen Daten zu den Ladevorgängen und der Nutzung der PV-Anlage zum Laden des E-Fahrzeugs in Riegel ist für 2015 zusammenfassend in Abbildung 5-16 dargestellt.

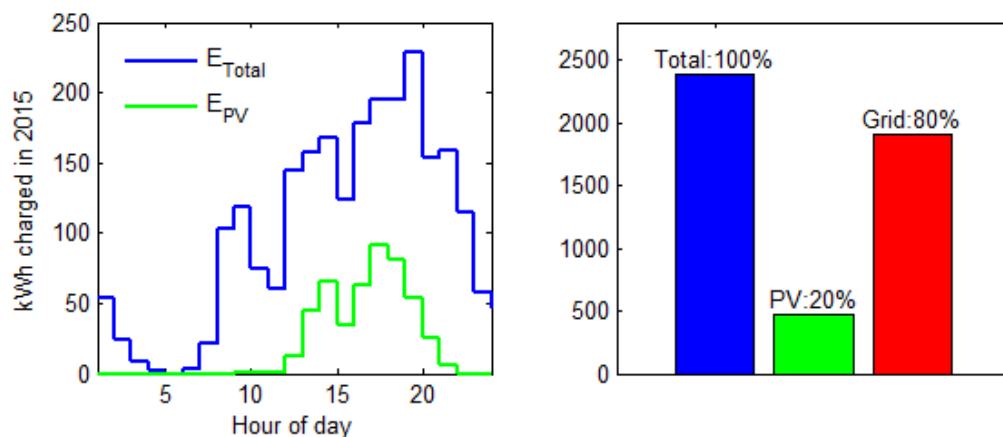


Abbildung 5-16: Links: Stündliche Verteilung der Ladeenergie (blau) und zum Laden genutzte PV-Energie (grün). Rechts: Anteil PV-Energie an der gesamten Ladeenergie am Standort Riegel

In der linken Grafik ist die gesamte Ladeenergie des Jahres 2015 über den Tagesstunden in blau dargestellt. Hieraus folgt, dass am meisten Ladeenergie am späten Nachmittag bzw. frühen Abend benötigt wurde. Insgesamt haben die Ladevorgänge überwiegend tagsüber stattgefunden, wobei auch am späten Abend zwischen 20 und 23 Uhr noch große Energiemengen für die Ladung bezogen wurden. Die von der PV-Anlage bereitgestellte Ladeenergie ist in grün dargestellt. Aufgrund der Ausrichtung nach Süd-West war PV-Energie überwiegend am Nachmittag und frühen Abend verfügbar, was sich gut mit dem Lademuster deckt. So konnten im Zeitraum zwischen 16 und 18 Uhr ca. 40% der Ladeenergie aus selbst erzeugtem Strom gedeckt werden. Die Ladevorgänge am Vormittag und in den späten Abendstunden konnten dagegen nicht durch selbst erzeugten Strom gedeckt werden. Insgesamt wurden 20% (478 kWh) der gesamten erfassten Ladeenergie (2388 kWh) des Fahrzeugs durch die PV-Anlage bereitgestellt, die restlichen 80% wurden aus dem öffentlichen Netz bzw. über die KSE bezogen.

Der Einfluss der PV-Anlage auf die CO₂-Emissionen des Elektrofahrzeugs wurde für zwei Fälle untersucht (Tabelle 5-13) und aus der stündlichen Auflösung der Ladevorgänge und Emissionen der Stromerzeugung die mittleren Emissionsfaktoren (EF) für 2015 berechnet:

1. CO₂-Emissionen nach deutschem Strommix (hypothetischer Fall)
2. CO₂-Emissionen nach KSE-Strom

Tabelle 5-13: Absolute und spezifische CO₂-Emissionen in 2015 für den Anwendungsfall VSt Riegel

			Fall 1: dt. Strommix	Fall 2: KSE
Netzladen ohne PV				
Mittlerer EF 2015		gCO ₂ /kWh	517,5	40
abs. CO ₂ -Emissionen		kg	1501	116
spezifische CO ₂ -Emissionen		g/km	103,6	8,0
Netzladen mit PV				
Mittlerer EF 2015 während Netzladen		gCO ₂ /kWh	528,8	40
Mittlerer EF 2015 während PV-Laden		gCO ₂ /kWh	472,4	40
Anteil PV Energie			20%	20%
Mittlerer EF 2015 mit PV		gCO ₂ /kWh	423	32
abs. CO ₂ -Emissionen		kg	1227	93
spezifische CO ₂ -Emissionen g/km		g/km	84,7	6,4
Resultierende Einsparung CO₂-Emissionen:			-18,3%	-20,0%

Für die streckenspezifischen Emissionen des Fahrzeugs in Riegel wurde der bereits dargestellte mittlere Jahresverbrauch von 20,02 kWh/100km und die Jahresfahrleistung von 14482 km zu Grunde gelegt. Für den ersten Fall wurde angenommen, die Ladevorgänge wären mit Strom aus dem deutschen Strommix durchgeführt worden. Bei reiner Netzladung hätten sich somit 1501 kg CO₂-Emissionen ergeben, die durch Einsatz des PV-Stroms 1227 kg CO₂ reduziert worden wären. Ohne Nutzung der PV-Anlage liegen die streckenspezifischen Emissionen bei 103,6 gCO₂/km, mit Nutzung der PV-Anlage reduzieren sich die Emissionen 84,7 gCO₂/km. Im Ergebnis ergibt sich eine Einsparung von 18,3 % der Emissionen, obwohl 20% der Energie durch die PV-Anlage bereitgestellt wurden. Die Emissionsreduzierung ist kleiner als die Energieeinsparung, weil die PV-Anlage genau dann Strom bereitstellt, wenn dieser auch im Netz mit geringeren Emissionen (vgl. Mittlerer EF 2015 während PV-Laden und Abbildung 5-15) zur Verfügung steht.

Der reale Fall mit Versorgung durch KSE-Strom ist in der rechten Spalte von Tabelle 5-13 zusammengefasst. Ohne PV-Anlage wären in 2015 mit dem KSE-Emissionsfaktor von 40 gCO₂/kWh insgesamt 116 kg CO₂ ausgestoßen worden. Das entspricht einem streckenspezifischen Ausstoß von 8 gCO₂/km. Die PV-Anlage substituiert hier 20% der Energie, aufgrund des konstanten KSE-Emissionsfaktors von 40 gCO₂/kWh ist der Zeitpunkt der Substitution nicht relevant. Unter Berücksichtigung der PV-Nutzung ergeben sich somit 93 kg CO₂ in 2015, was einem streckenspezifischen Ausstoß von 6,4 gCO₂/km entspricht.

Abschließen soll noch darauf hingewiesen werden, dass die gezeigte PV-Nutzung zum Laden spezifisch für den Einzelfall in Riegel gilt, d.h. die hier vorliegende Kombination aus PV-Anlage, Dachaus-

richtung, Ladestation und Ladeverhalten. Andere Kombinationen dieser Randbedingungen führen zu veränderten PV-Nutzungsdaten.

5.4.6. Nutzung Photovoltaik für Batterieladung

Der Einsatz der eigenen PV-Anlage zum Laden von Elektrofahrzeugen hat neben den bereits dargestellten positiven Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen auch Einfluss auf die Energiekosten, die beim Laden des Fahrzeugs anfallen. Dabei hängen diese Einsparungen davon, wie hoch die Einspeisevergütung ausfällt, wenn der Strom in das öffentliche Netz eingespeist wird. Diese Einspeisevergütung hängt wiederum vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme der PV-Anlage ab und ist tendenziell für ältere Anlagen höher als für neuere Anlagen.

Für den Anwendungsfall der Verrechnungsstelle Riegel wurde bereits berechnet, dass in 2015 20 % des Energiebedarfs des E-Fahrzeugs durch selbst erzeugten PV-Strom gedeckt wurden. Für diese Anlage beträgt die Einspeisevergütung 12,22 Ct/kWh.

Tabelle 5-14 fasst die möglichen Einsparungen durch Eigennutzung des Stroms für verschiedene Inbetriebnahmedaten zusammen, die Daten der Anlage in Riegel sind rot dargestellt. Es wurde davon ausgegangen, dass für Netzbezug Stromkosten in Höhe von 24,1 Ct/kWh netto (28,7 Ct/kWh brutto) anfallen.

Tabelle 5-14: Energie-Kosteneinsparung durch PV-Laden in 2015 bei verschiedenen Inbetriebnahmedaten

Inbetriebnahme PV Anlage:		2012-07	2013-07	2014-07	2016-07
Einspeisevergütung exkl. USt	Ct/kWh	17,95	14,30	12,22	11,97
Strompreis 2015 exkl. Ust.	Ct/kWh		24,10		
Mittlere Energiekosten mit PV-Anteil 2015	Ct/kWh	22,87	22,14	21,72	21,67
Kosteneinsparung	%	5,10	8,13	9,86	10,06

Die Auswertung zeigt, dass im Fall Riegel fast 10% Energiekosteneinsparung für das Elektrofahrzeug realisiert wurden. Allgemeine Schlussfolgerungen der Auswertung sind:

- Mit steigenden Strompreisen steigt der Nutzen der PV-Anlage
- Inbetriebnahmedatum der PV-Anlage ist dominierende Einflussgröße
- Je älter die PV-Anlage, umso geringer die Kosteneinsparung bei Eigennutzung des erzeugten PV-Stroms für das Laden des E-Fahrzeugs

6. Wirtschaftlichkeit – Kosten in 2015

6.1. Datenquellen und Methodik

Die Grunddaten zur Ermittlung der Kosten und Wirtschaftlichkeit der E-Fahrzeuge wurden Fahrtenbüchern, Verbrauchsabrechnungen und Buchungsauszügen entnommen und seitens des erzbischöflichen Ordinariats zur Verfügung gestellt (Abbildung 6-1).

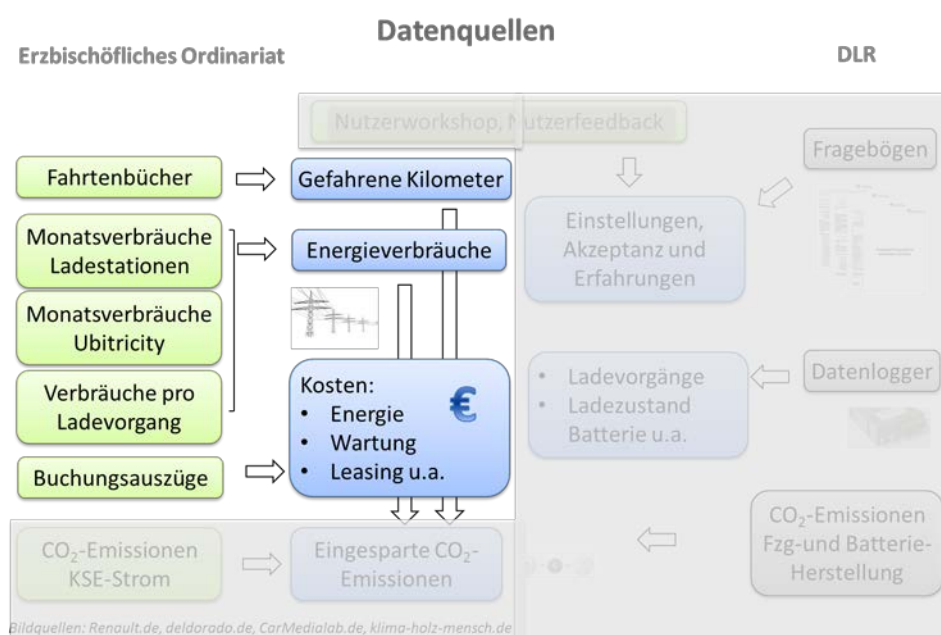


Abbildung 6-1: Verwendete Datenquellen für die Bestimmung der Kosten und der Wirtschaftlichkeit

Analog der in Kapitel 4.4 beschriebenen Vorgehensweise werden im Folgenden für E-Fahrzeuge und für konventionelle Fahrzeuge absolute Kosten für ein Jahr zusammengestellt. Dabei erfolgte die Betrachtung einmal inklusive der gewährten Zuschüsse seitens BMUB und Erzdiözese (betriebswirtschaftliche Betrachtung, d.h. die Zuschüsse werden den Einrichtungen gutgeschrieben). Des Weiteren erfolgt die Analyse exklusive der gewährten Zuschüsse (Vollkostenbetrachtung, d.h. die Zuschüsse werden mit ausgewiesen). Mit Hilfe der gefahrenen Kilometer wird dann die Wirtschaftlichkeit der E-Fahrzeuge im Vergleich zu ihren konventionellen Counterparts ermittelt. Auch hier erfolgt die Darstellung inklusive und exklusive der gewährten Zuschüsse.

6.2. Verrechnungsstellen

6.2.1. Absolute Jahreskosten

Die im Jahr 2015 absolut angefallenen betriebswirtschaftlichen Jahreskosten für die E-Fahrzeuge in den Verrechnungsstellen inklusive der Bezuschussung für die Leasingraten sind in Abbildung 6-2 dargestellt. Während die Energie- und Wartungskosten für die E-Fahrzeuge etwas niedriger bzw. ähnlich hoch waren als die des konventionellen Diesel-Fahrzeugs, waren die Leasingraten der E-Fahrzeuge deutlich höher. Die Bereitstellung der Energieinfrastruktur ist bei konventionellen Fahrzeugen externalisiert. Bei E-Fahrzeugen ist dies momentan so nicht der Fall; daher mussten in den Verrechnungsstellen jeweils Ladestationen angeschafft werden. Die Bereitstellungskosten wurden analog AfA-Tabelle auf 10 Jahre umgelegt (nkhr-bw, 2014).

Die absoluten Kosten inklusive der Zuschüsse nehmen Werte ein zwischen 6.697 € an für die Verrechnungsstelle Stegen und 6.977 € für die Verrechnungsstelle Villingen. Das Dieselfahrzeug in der Verrechnungsstelle Stühlingen wies in 2015 absolute Kosten auf von 5.530 €.

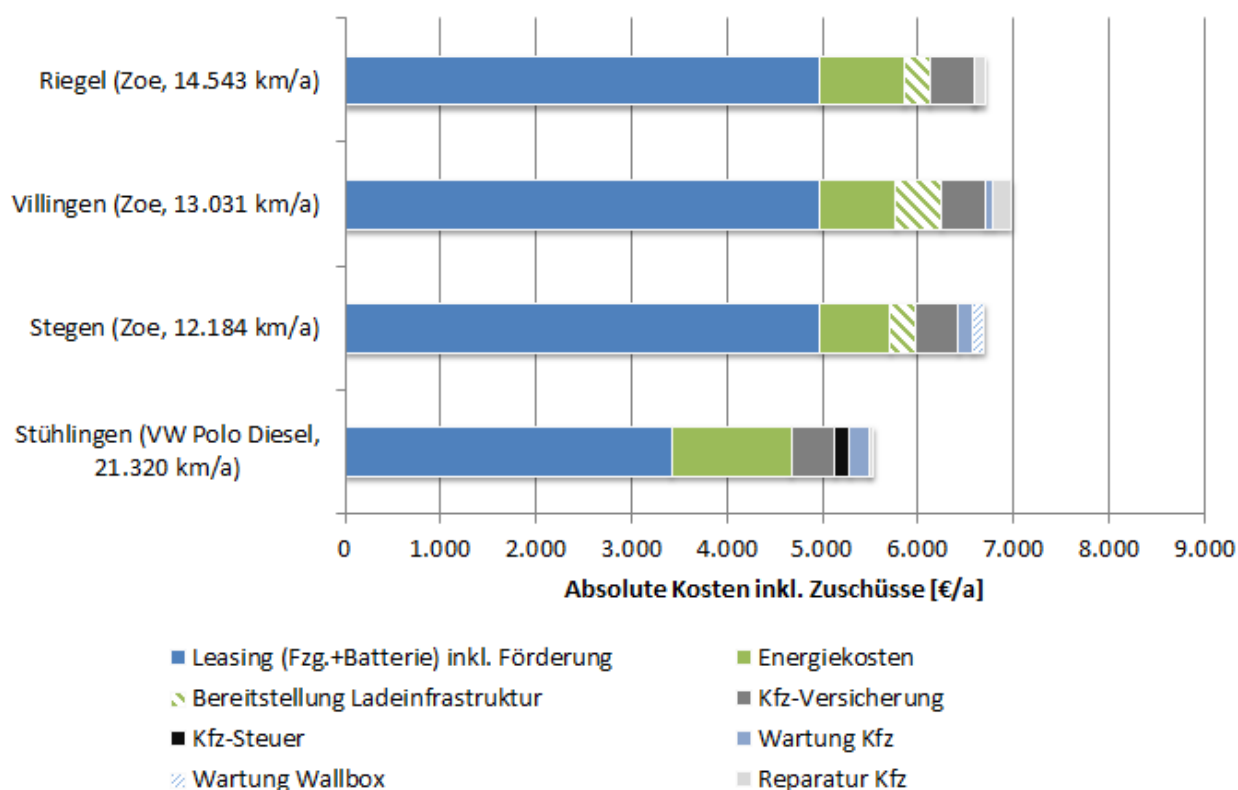


Abbildung 6-2: Verrechnungsstellen: Absolute Kosten pro Fahrzeug (betriebswirtschaftliche Betrachtung - Zuschüsse BMUB verrechnet)

Unter der Betrachtung der Vollkosten, d.h. unter Ausweisung der Zuschüsse seitens des BMUB im Rahmen von „InitiativE-BW“, ergeben sich folgende absolute Jahreskosten für die Verrechnungsstellen (Abbildung 6-3). Es wurden 40% der Beschaffungsmehrkosten von E-Fahrzeugen gefördert. Die Ermittlung der Mehrkosten erfolgte anhand des E-Fahrzeug-Listenpreises minus eventuell gewährter Rabatte plus Mehrkosten für Sonderausstattungen im Vergleich zu einem vergleichbaren konventionellen Fahrzeug. Die Fördersumme (hier 4.200 € pro E-Fahrzeug) wurde einmalig für die gesamte Leasingdauer gewährt und in der Kostenbetrachtung auf die Leasingdauer von 3 Jahren umgelegt.

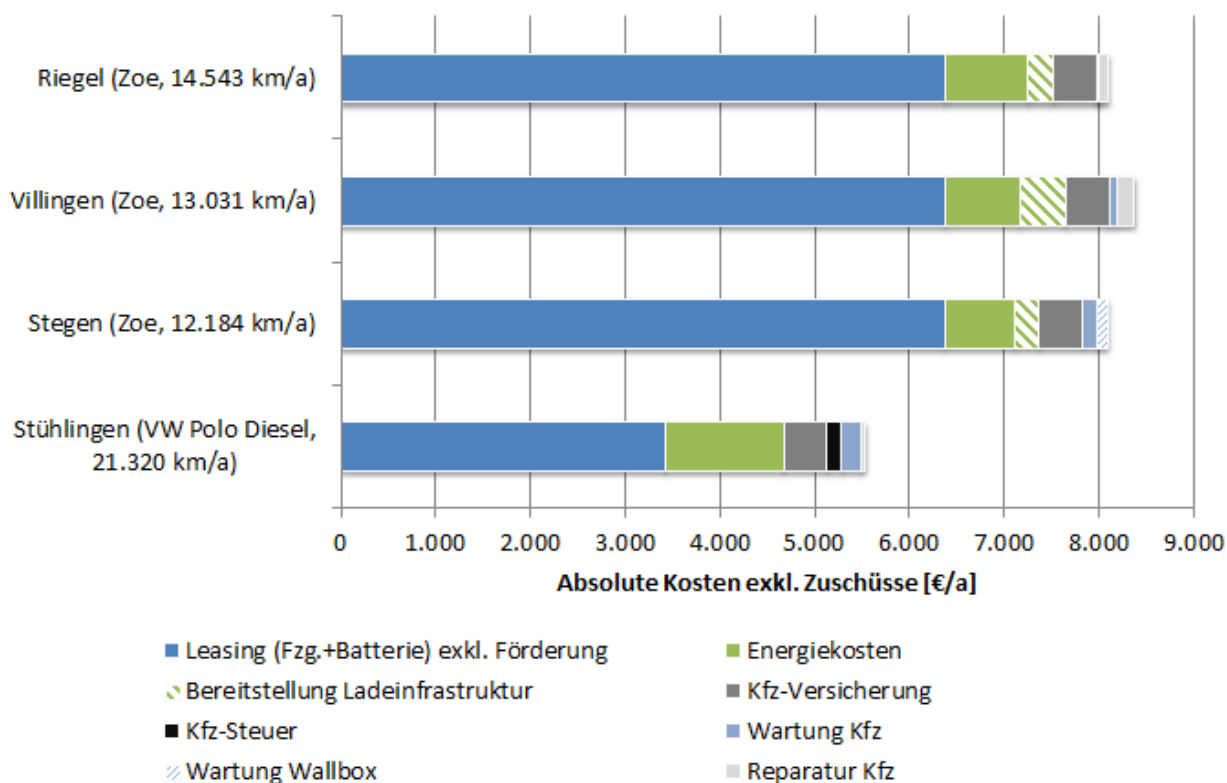


Abbildung 6-3: Verrechnungsstellen: Absolute Kosten pro Fahrzeug (Vollkostenbetrachtung - Zuschüsse BMUB nicht mit eingerechnet)

Ein Kostenfaktor ist die Abrechnung der privaten Ladungen am Wohnort der Nutzer (s. Kapitel 3.4). Die Analyse der Kosten für die Heimladungen über ubitricity zeigt, dass die zu entrichtende monatliche Grundgebühr mit 9,99 €/Monat einen relativ großen Anteil an den Gesamtkosten einnimmt (Abbildung 6-4 links). Zur Optimierung der Kosten für das Heimpladen wurde angeregt, eine Pauschale pro Ladevorgang von 2,50 - 3,00 € zu zahlen, basierend auf dem mittleren Energiebedarf pro Ladevorgang von 8,25 kWh (Abbildung 6-4 rechts).

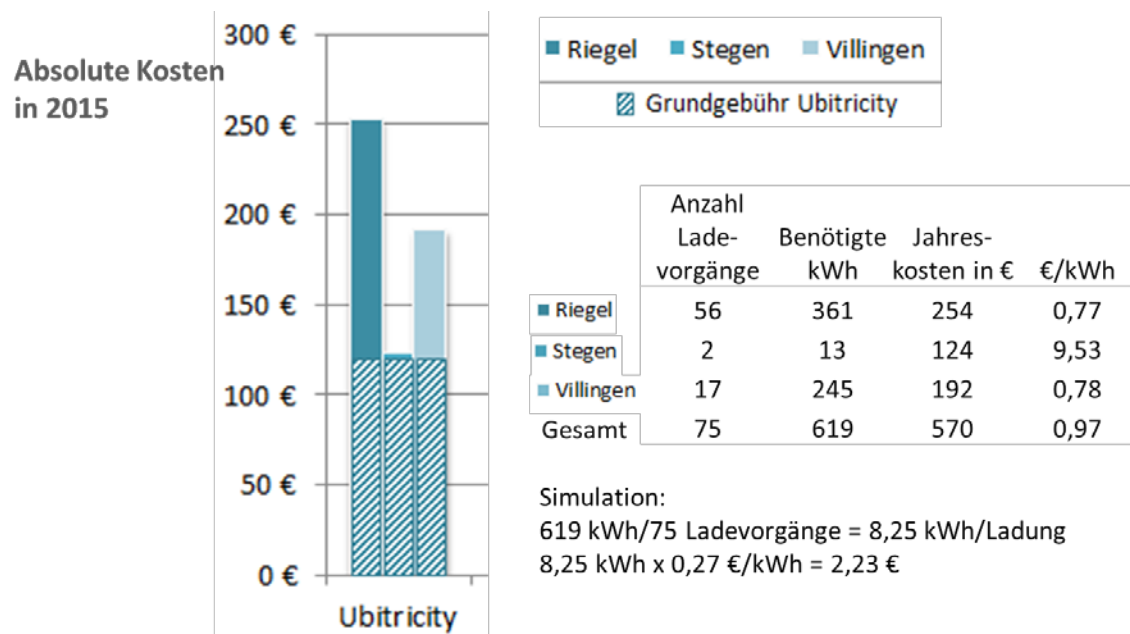


Abbildung 6-4: Verrechnungsstellen: Kosten durch Heimpladen

6.2.2. Wirtschaftlichkeit – Kosten pro Kilometer

Wie in Kapitel 5.2 tabellarisch dargestellt, führen verhältnismäßig hohe Leasingraten und niedrigere Jahresfahrleistungen zu relativ hohen E-Fahrzeug-Kosten pro Kilometer, auch unter Einbeziehung der Förderung seitens des BMUB (Abbildung 6-5). Dagegen stehen auf der anderen Seite sehr niedrige Dieselpreise. Die kilometerbezogenen Kosten der Elektrofahrzeuge liegen in allen Verrechnungsstellen über der Vergütung für dienstliche Fahrten mit dem Privat-Pkw von 35 ct/km und nehmen Werte zwischen 46,07 €/100 km in Riegel und 54,96 €/100 km in Stegen ein (Bereitstellung Ladeinfrastruktur sowie Kosten für Reparaturen sind in der Abbildung als Negativwerte dargestellt).

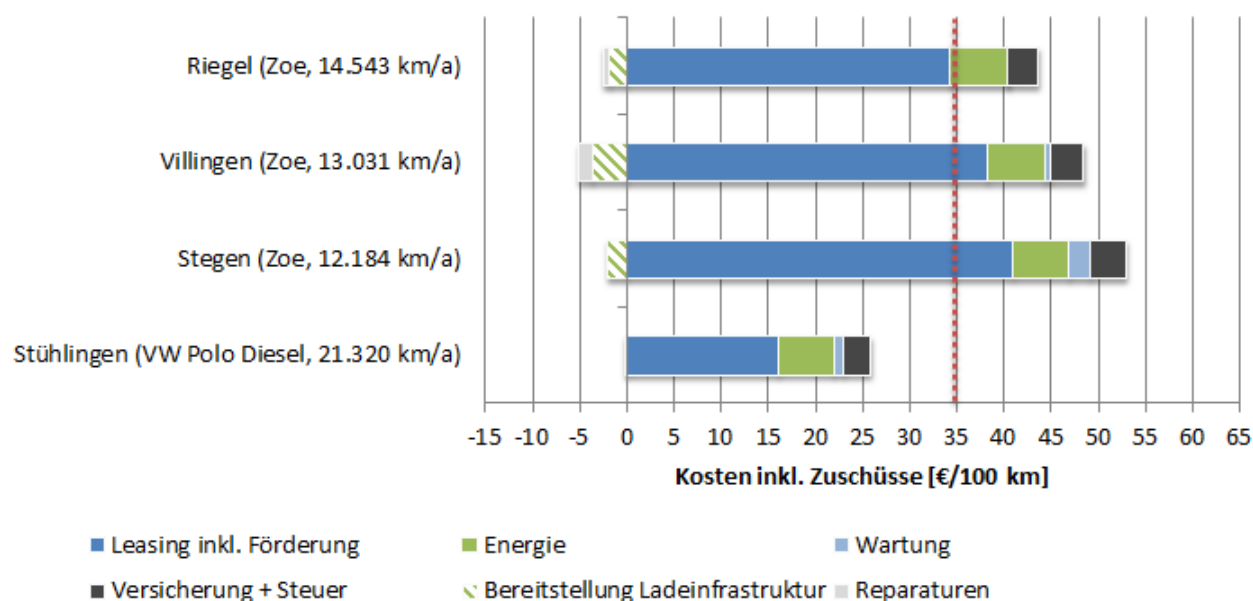


Abbildung 6-5: Verrechnungsstellen: Kosten pro Kilometer in 2015 (betriebswirtschaftliche Betrachtung - Zuschüsse BMUB verrechnet)

Analog zu den absoluten Kosten wurde ein Ausblick auf mögliche Kostensenkungen durch niedrigere Leasingraten und Einsparungen beim Heimladen („pauschal 2 €/Ladung“) vorgenommen (Abbildung 6-6). In diesem Szenario liegen die kilometerkosten der E-Fahrzeuge unter der Vergütung für dienstliche Fahrten mit dem Privat-Pkw (35 ct/km) und erweisen sich damit als konkurrenzfähig. Auch in diesem Szenario sind die E-Fahrzeuge teurer als das Vergleichs-Diesel-Fahrzeug aus Stühlingen, welches eine deutlich höhere Laufleistung aufweist (21.300 km versus 13.200 km als Mittelwert der E-Fahrzeuge in den Verrechnungsstellen).

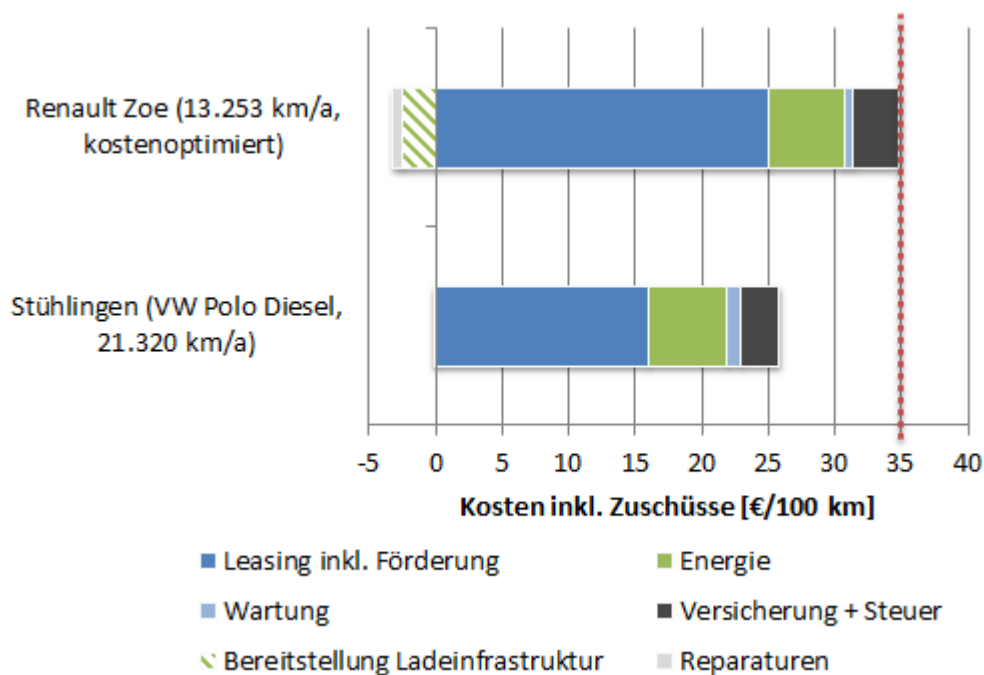


Abbildung 6-6: Verrechnungsstellen: Szenario der Kostenentwicklung durch günstigere Leasingraten und Optimierung der Ladekosten am privaten Stromanschluss der Nutzer

Über diese aufgezeigten Kostensenkungspotentiale hinaus könnte auch eine Erhöhung der Jahresfahrleistung zu einer Verbesserung der E-Fahrzeug-Wirtschaftlichkeit führen. So würde in diesem Szenario bereits eine Erhöhung der E-Fahrzeug-Jahreslaufleistung auf 18.000 km/a die kilometerbezogenen Kosten auf das Niveau des Dieselfahrzeugs aus Stühlingen senken. Werden dagegen die bisherigen Leasingraten zu Grunde gelegt, müsste eine Erhöhung der Laufleistung auf rund 24.000 km/a erfolgen. Wie auch aus Tabelle 5-3 ersichtlich, müssten bei der momentanen Laufleistung der E-Fahrzeuge die Leasingraten auf das Niveau des Dieselfahrzeugs abgesenkt werden, um aus wirtschaftlicher Sicht konkurrenzfähig gegenüber dem konventionellen Fahrzeug sein zu können.

6.3. Sozialstationen

6.3.1. Absolute Jahreskosten

Die absoluten betriebswirtschaftlichen Jahreskosten der Sozialstationen inklusive der Förderung seitens BMUB, Erzdiözese und der Energieversorger, die im Jahr 2015 für die E-Fahrzeuge anfallen, sind in Abbildung 6-7 dargestellt. In der Sozialstation St. Verena, Rielasingen und bei der Caritas Konstanz ist jeweils nur ein Zähler für die Ladestationen der drei E-Fahrzeuge vorhanden, die Verbrauchskosten wurden daher anteilig nach den Kilometerleistungen dieser Fahrzeuge verteilt.

Die absoluten Jahreskosten inklusive der Förderung nehmen Werte ein zwischen 3.687 € (Caritas Konstanz, e-up!) und 5.605 € (St. Verena, Renault Zoe) mit einem Mittelwert von 4.444 € (s. a. Tabelle 5-8 und Tabelle 13-1 bis Tabelle 13-3 im Anhang). Die Bezuschussung seitens des Ordinariats Freiburg, des BMUB und verschiedener Energieversorger (Aufbau Ladeinfrastruktur) beträgt zwischen 2.370 €/a und 4.373 €/a. Hiervon trägt die Erzdiözese zwischen 55% und 71% bei, das BMUB zwischen 22% und 43% und die Energieversorger zwischen 2% und 8%.

Wie auch schon in Kapitel 5.3.3 dargestellt, nehmen die Leasingraten bei allen Elektrofahrzeugen den höchsten Anteil an den Gesamtkosten ein (zwischen 47% und 67%). Dies ist bei den Vergleichsbenzinfahrzeugen mit niedrigen Fahrleistungen ähnlich. In der Benzinfahrzeugflotte in St. Blasien sind es allerdings die Energiekosten, die den höchsten Anteil ausmachen, da hier die Fahrleistungen das 2,5-fache der mittleren Elektrofahrzeugfahrleistungen betragen.

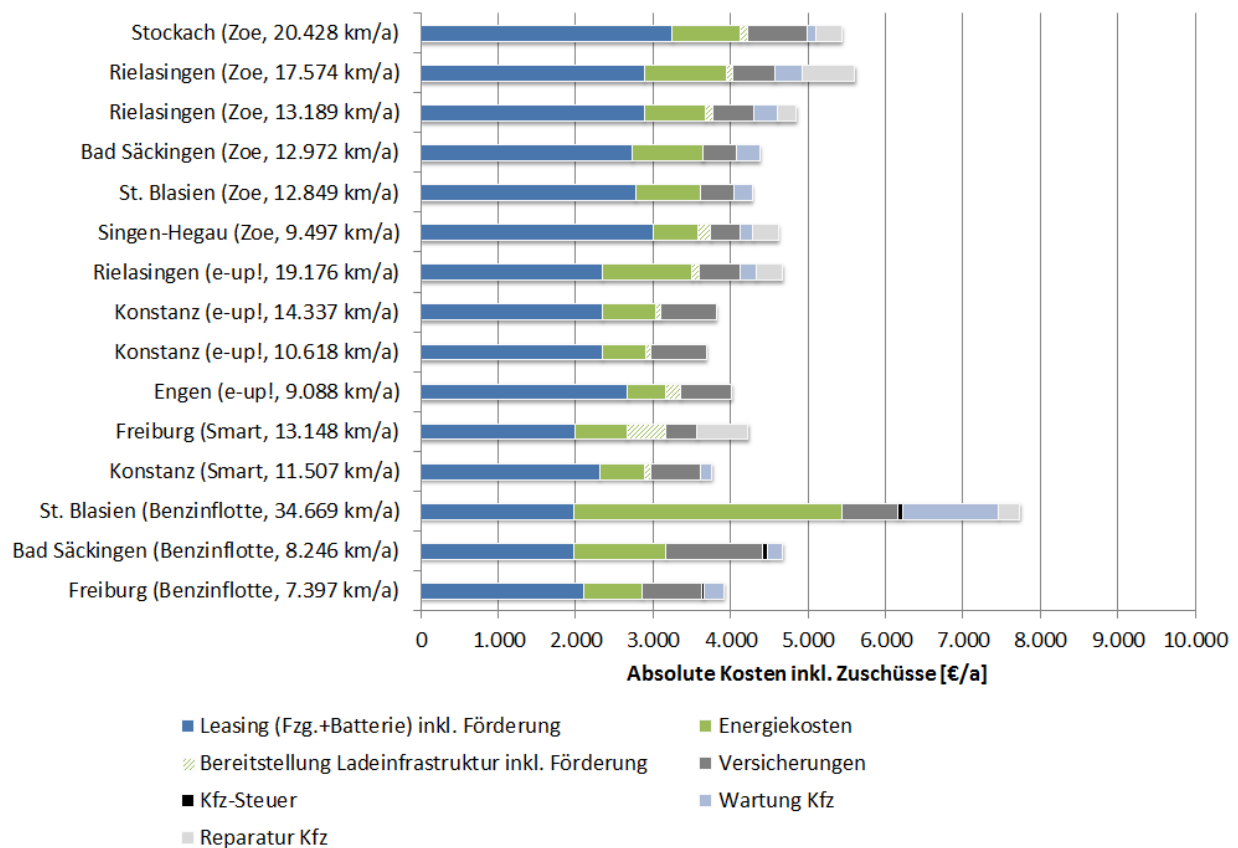


Abbildung 6-7: Sozialstationen: Absolute Jahreskosten pro Fahrzeug als betriebswirtschaftliche Kosten (inklusive Zuschüsse)

Die absoluten Jahreskosten ohne Zuschüsse (Vollkostenbetrachtung) nehmen Werte ein zwischen 6.597 € für die katholische Sozialstation Freiburg (Smart E.D.) und 9.978 € für St. Verena, Rielasingen (Renault Zoe) mit einem Mittelwert von 8.063 €. Ohne Bezuschussung machen die Leasingraten nun 63%-81% der Gesamtkosten aus. Ohne Förderung liegen die absoluten Kosten der Elektrofahrzeuge in allen Sozialstationen über denen der Benzinfahrzeuge aus den Flotten Freiburg und St. Martin, Bad Säckingen, auch über den Benzinfahrzeugen aus St. Blasien mit der 2,5-fachen Fahrleistung.

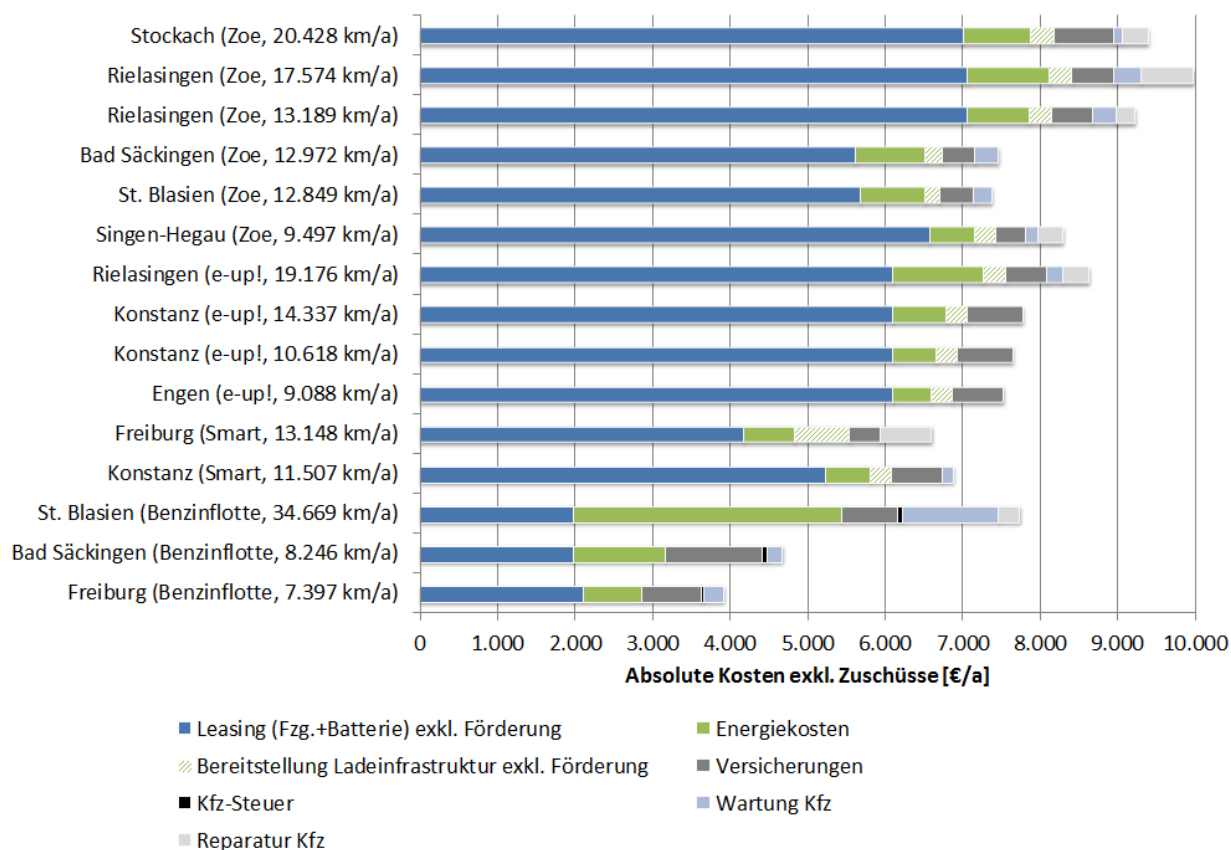


Abbildung 6-8: Sozialstationen: Absolute Jahreskosten pro Fahrzeug als Vollkosten (exklusive Zuschüsse)

6.3.2. Wirtschaftlichkeit – Kosten pro Kilometer

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der E-Fahrzeuge sind weniger die absoluten Kosten, sondern die Kosten mit Bezug zur Jahresfahrleistung entscheidend. Diese sind in Abbildung 6-9 dargestellt, wiederum in der betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise inklusive der Förderung seitens des BMUB, der Erzdiözese und der Energieversorger (Beschaffung Ladeinfrastruktur). Die Kosten für Reparaturen und die Kosten für die Bereitstellung der Ladeinfrastruktur wurden in die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit nicht mit eingerechnet, sie sind aber aus Gründen der Vollständigkeit als Negativwerte mit dargestellt.

Die Gesamtkosten pro Kilometer inklusive aller Förderbeträge betragen minimal 22,13 €/100 km in der Caritas Konstanz (VW e-up!) und maximal 43,39 €/100 km im Caritasverband Singen-Hegau (Renault Zoe Z.E.), mit einem Mittelwert von 31,37 €/100 km. Die E-Fahrzeuge in den beiden Sozialstationen unterscheiden sich zum einen durch ihre Fahrleistungen (19.176 km/a in St. Verena, 9.500 km/a im Caritasverband Singen-Hegau). Zum anderen sind die Leasingraten des VW e-up! in St. Verena etwas niedriger als die des Renault Zoes im Caritasverband Singen-Hegau.

Durch die zusätzliche Förderung seitens der Erzdiözese fallen aus betriebswirtschaftlicher Sicht für die Sozialstationen geringere Kilometer-Kosten für ihre E-Fahrzeuge an in den Verrechnungsstellen. Alle betrachteten E-Fahrzeuge erweisen sich damit als konkurrenzfähig gegenüber den Vergleichs-Benzin-Fahrzeugen mit vergleichbarer Fahrleistung, die bei 52,94 €/100 km und 56,66 €/100 km liegen. In zwei Fällen erweisen sich die Elektrofahrzeuge dank der umfangreichen Förderung und einer entsprechenden Fahrleistung sogar gegenüber den Benzin-Fahrzeugen mit einer 2,5fachen Kilometerleistung als konkurrenzfähig (22,13 €/100 km für den VW e-up! Im Pflegezentrum St. Verena und 23,32 €/100 km für den Smart ED in der Sozialstation Freiburg gegenüber 21,52 €/100 km für das Flottenmittel der Benzinfahrzeuge aus St. Blasien). Die Summe der Förderungen beträgt bei den Sozialstationen im Minimum 18,03 €/100 km und im Maximum 38,69 €/100 km, mit einem Mittelwert von 27,76 €/100 km. Hiervon trägt die Erzdiözese zwischen 55% und 71% bei, das BMUB zwischen 22% und 43% und die Energieversorger zwischen 2% und 8%.

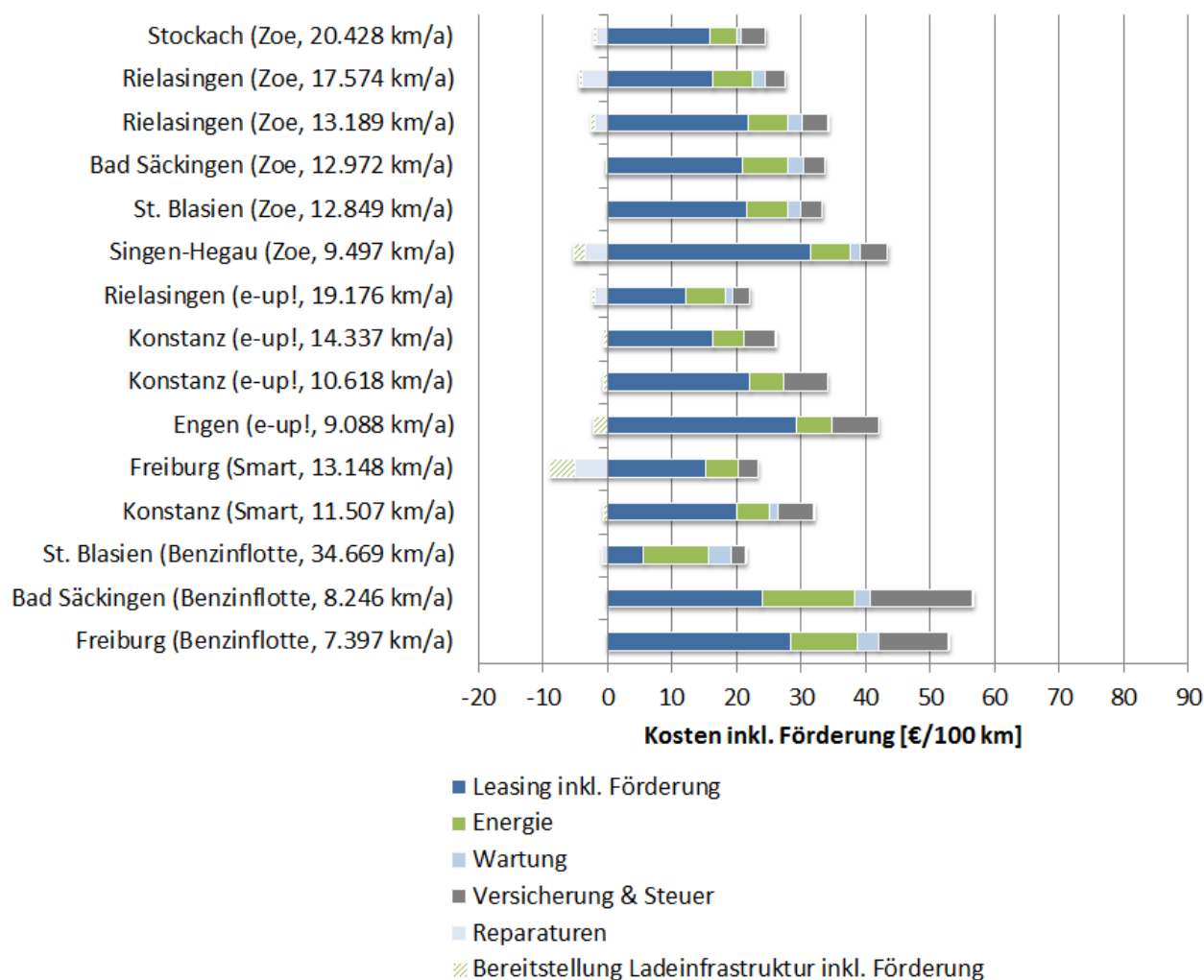


Abbildung 6-9: Sozialstationen: Betriebswirtschaftliche Kosten - spezifische Kosten pro km inklusive Zuschüsse

Unter Betrachtung der Vollkosten, d.h. ohne Einbeziehung der Förderbeträge seitens BMUB, Erzdiözese und Energieversorger, ergeben sich naturgemäß höhere Kosten pro Kilometer für die Elektrofahrzeuge in den Sozialstationen (Abbildung 6-10). Die Kilometerkosten exklusive Zuschüsse nehmen Werte ein zwischen 39,83 €/100 km in der katholischen Sozialstation Freiburg (smart fortwo electric drive) und 81,02 €/100 km im Caritasverband Singen-Hegau (Renault Zoe). Der Mittelwert liegt bei 57,79 €/100 km. Durch relativ hohe Laufleistungen erweisen sich trotzdem einige Elektrofahrzeuge als konkurrenzfähig gegenüber den Vergleichs- Benzinfahrzeugen aus den Flotten Freiburg und St. Martin, Bad Säckingen, die eher niedrige Fahrleistungen aufweisen.

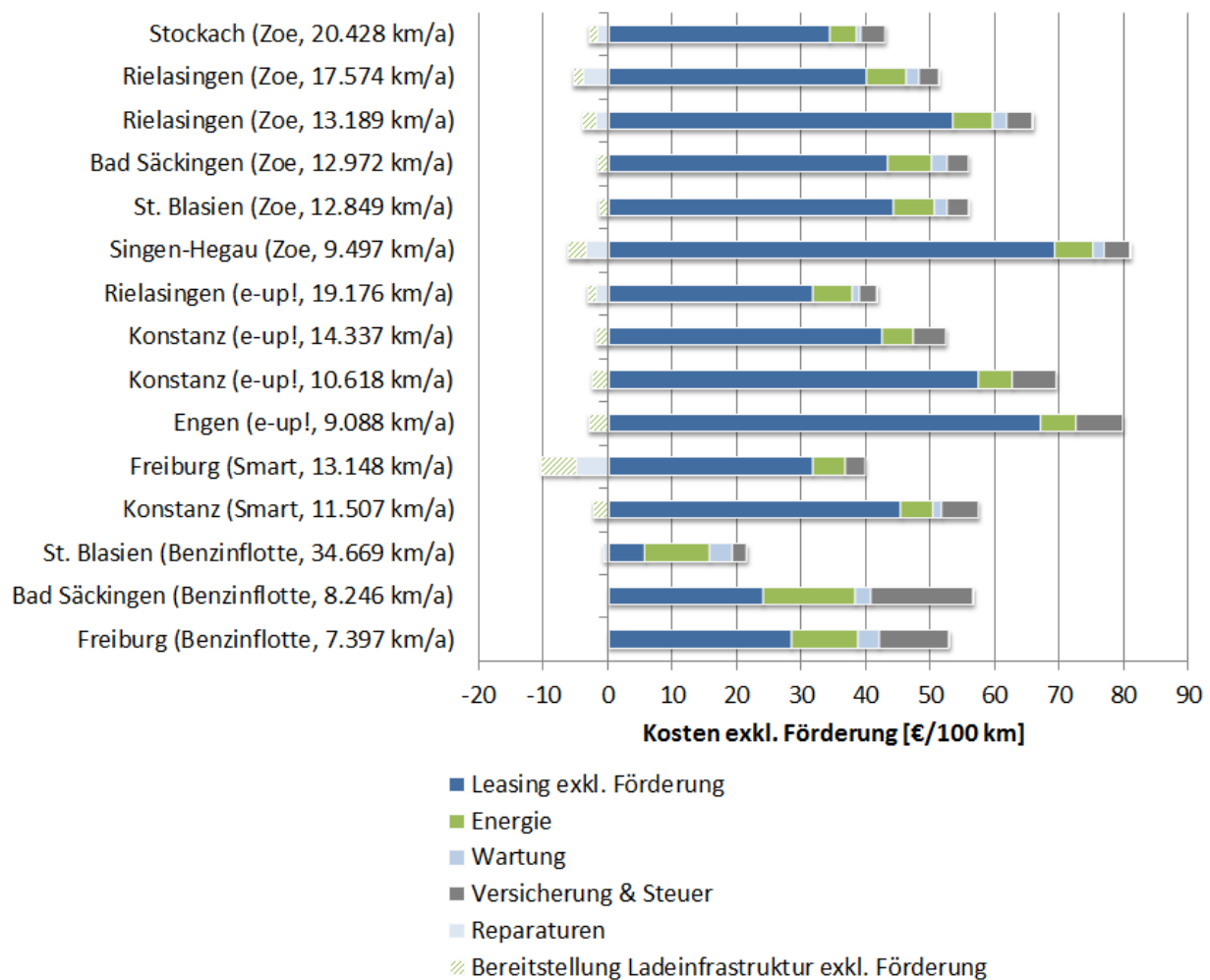


Abbildung 6-10: Sozialstationen: Vollkosten - spezifische Kosten pro km exklusive Zuschüsse

7. Bilanz der CO₂-Emissionen

7.1. Methodik und Datenquellen

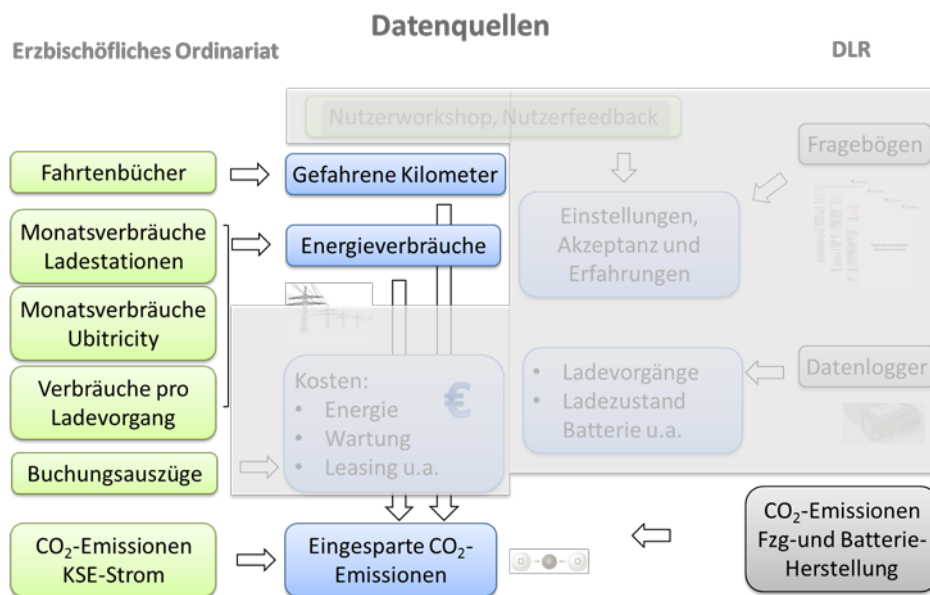
CO₂-Emissionen im Lebenszyklus von Fahrzeugen setzen sich aus folgenden Anteilen zusammen:

1. CO₂-Ausstoss bei der Fahrzeug- und Komponentenherstellung (z.B. durch Werkstoffgewinnung, Fertigung und Energiebedarf)
2. CO₂-Ausstoss während der Nutzung:
 - a. Kraftstoffherstellung und Verteilung,
 - b. elektrische Energiebereitstellung und Verteilung,
 - c. Emissionen bei der Energiewandlung im Fahrzeug (Abgas)
3. CO₂-Emissionen/Gutschriften nach der Nutzung im Fahrzeug
 - a. Weiterverwendung durch Batterie-„Second Life“-Konzepte
 - b. Recycling und/oder Abfallverwertung

Punkt 3 wurde in vorliegender CO₂-Emissionsbilanz nicht berücksichtigt, da „Second-Life“- und Recyclingkonzepte noch wenig etabliert sind und die Datenlage hierzu demzufolge noch nicht als ausreichend angesehen wird.

Jeder Fahrzeugantrieb bringt einen anderen „ökologischen Rucksack“ mit sich. Treiber bei den batterieelektrischen Fahrzeugen sind die Batterieherstellung und der Batterietausch nach ca. 70.000-90.000 km (Dallinger et al., 2011).

Die verwendeten Datenquellen zur Durchführung der CO₂-Emissionsberechnung sind schematisch in Abbildung 7-1 dargestellt.



Bildquellen: Renault.de, deldorado.de, CarMedialab.de, klima-holz-mensch.de

Abbildung 7-1: Verwendete Datenquellen für die Berechnung der CO₂-Emissionen

Abbildung 7-2 verdeutlicht die methodische Vorgehensweise inklusive der einzelnen Datenquellen im Detail.

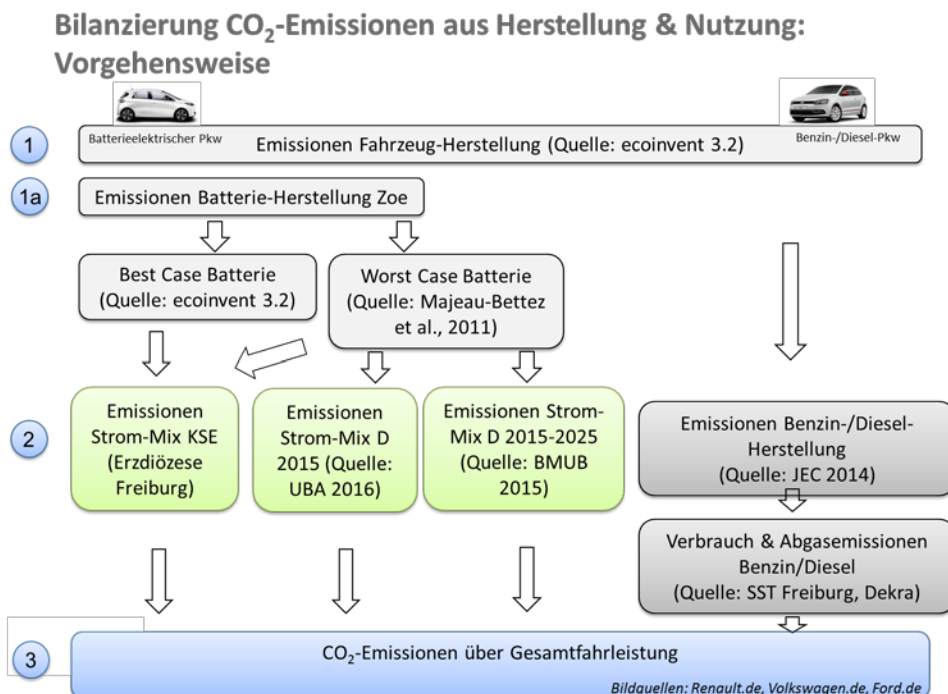


Abbildung 7-2: Methodisches Vorgehen zur Berechnung der CO₂-Emissionen

Die Datenlage zu Emissionen aus der Herstellung von Traktionsbatterien ist zum jetzigen Zeitpunkt noch ungenügend, und die Emissionsfaktoren aus der Literatur weisen eine große Bandbreite auf. Es wurden deshalb jeweils zwei Fälle der Batterieproduktion betrachtet, einmal eine emissionsseitig günstige Variante („Best case Batterieproduktion“) basierend auf (ecoinvent Center, 2016) und einmal eine ungünstige Variante („Worst case Batterieproduktion“) basierend auf (Majeau-Bettez et al., 2011).

Weiterhin hat der jeweilige Strom-Mix einen entscheidenden Einfluss auf die CO₂-Emissions-Bilanz von Elektrofahrzeugen. Aus diesem Grund wurde die Bilanzierung zum einen basierend auf dem regenerativen Strom-Mix des Energieversorgers der Verrechnungsstellen (KSE) vorgenommen und zum anderen basierend auf dem deutschen Strom-Mix. Während die Emissionen aus der Bereitstellung des KSE-Stroms mit 40 g CO₂/kWh veranschlagt werden (Erzbischöfliches Ordinariat, 2016), nehmen die CO₂-Emissionen im deutschen 2015er-Strom-Mix 587 g CO₂/kWh (UBA, 2016) und, betrachtet über den Zeitraum 2015-2025, 470 g CO₂/kWh (BMUB, 2015) ein.

Diesen Vorkettenemissionen aus der Strombereitstellung wurden Emissionen aus der Herstellung (JRC, 2013) und Nutzung (DEKRA, 2016) von Benzin- und Diesel gegenüber gestellt. Die Verbrauchswerte der betrachteten Benzin- und Dieselfahrzeuge entsprechen realen Verbräuchen aus dem Jahr 2015, die Fahrtenbüchern und Betankungskarten entnommen werden konnten. Zum Vergleich konnte ein VW Polo Diesel aus der Verrechnungsstelle Stühlingen herangezogen werden sowie zehn Benzinfahrzeuge aus drei unterschiedlichen Flotten (Sozialstation St. Blasien, Sozialstation St. Martin in Bad Säckingen und Katholische Sozialstation Freiburg, s.a. Tabelle 5-6). Acht davon gehören zum Mini- und Kleinwagensegment und sind damit gut mit den Elektrofahrzeugen aus den Sozialstationen und Verrechnungsstellen vergleichbar. Bei zwei Benzinfahrzeugen aus der Flotte der katholischen Sozialstation Freiburg handelt es sich um Fahrzeuge aus dem Segment der Mini-Vans.

7.2. CO₂-Emissionen während der Nutzung

7.2.1. Verrechnungsstellen: Elektrofahrzeuge versus Dieselfahrzeug

Der spezifische Energiebedarf der Renault Zoe Elektrofahrzeuge aus den Verrechnungsstellen und des VW Polo Dieselfahrzeugs aus der Verrechnungsstelle Stühlingen sowie die zugehörigen CO₂-Emissionsfaktoren (g CO₂/kWh) sind in Kapitel 5.2.2 dargestellt. Zur Bilanzierung wurden diese CO₂-Emissionsfaktoren mit dem mittleren spezifischen Energiebedarf der Elektrofahrzeuge aus den Verrechnungsstellen (19,1 kWh/100 km) multipliziert, um die streckenbezogenen CO₂-Jahresemissionen zu erhalten. Es erfolgte in einem weiteren Schritt eine Extrapolation der mittleren Jahresfahrleistungen von 13.250 km/a auf die Leasingdauer der Elektrofahrzeuge (39.800 km in 3 Jahren) und damit auch eine Extrapolation der im Vergleich zum Dieselfahrzeug eingesparten CO₂-Emissionen.

Durch einen niedrigeren spezifischen Energiebedarf und das Entfallen von Abgasemissionen sind die CO₂-Emissionen aus der Nutzung der betrachteten batterieelektrischen Fahrzeuge von Anfang an niedriger als bei dem konventionellen Dieselfahrzeug aus Stühlingen (schwarze Linie in Abbildung 7-3). Dies gilt besonders, da der Energiebedarf der Elektrofahrzeuge mittels eines regenerativen Strom-Mixes des Energieversorgers KSE gedeckt wird (grüne Linie). Würden die Elektrofahrzeuge mit dem deutschen Strom-Mix geladen, wäre das dadurch emittierte CO₂ entsprechend höher (grau gestrichelte Linie). Da der Anteil erneuerbarer Energieträger am deutschen Strom-Mix zukünftig steigen wird, nehmen auch dessen spezifische CO₂-Emissionen ab (grau gepunktete Linie).

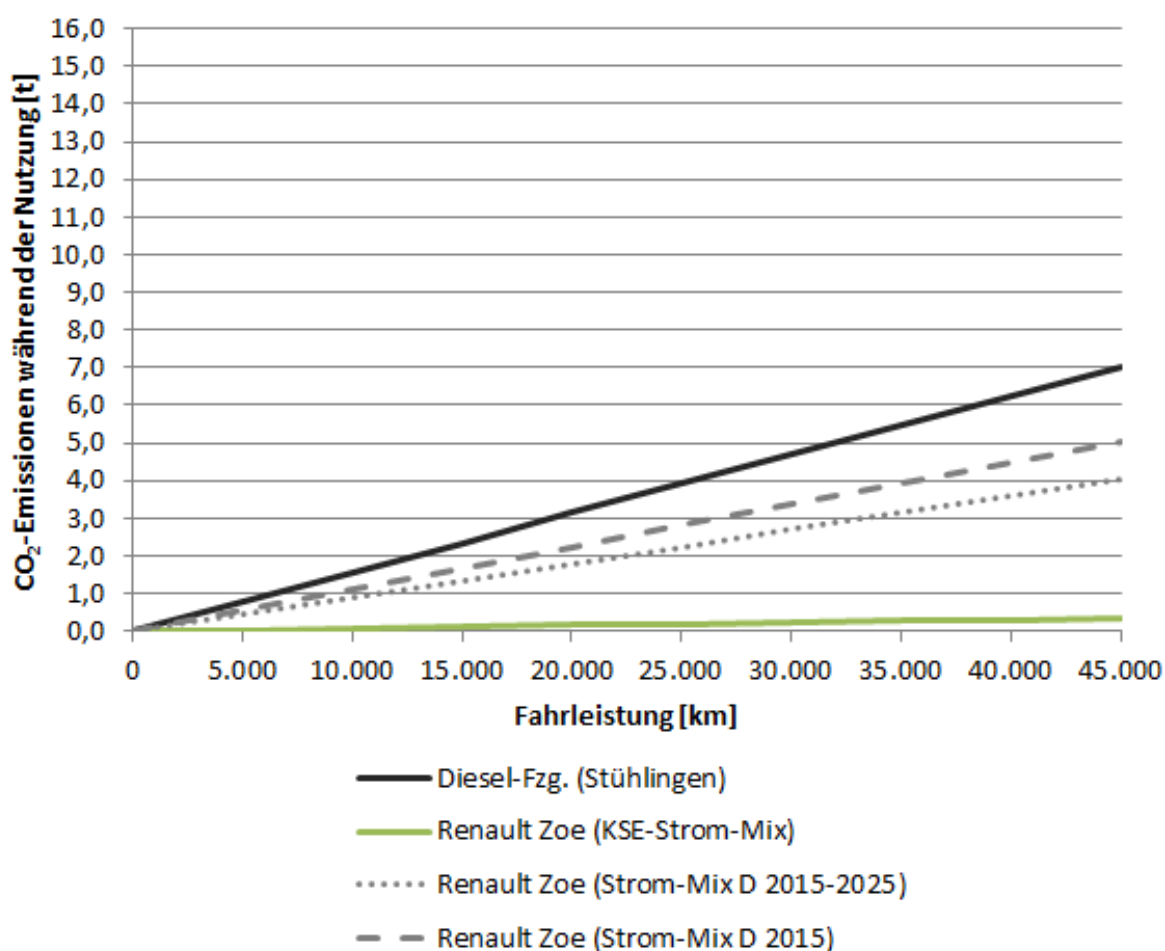


Abbildung 7-3: Verrechnungsstellen: CO₂-Emissionen während der Fahrzeugnutzung - Elektrofahrzeug (Renault Zoe, Mittelwert über drei Fahrzeuge) versus Dieselfahrzeug (VW Polo, Stühlingen)

In den Verrechnungsstellen können über die Leasingdauer von drei Jahren hinweg nach einer Laufleistung von 39.800 km gegenüber dem Vergleichs-Dieselfahrzeug aus Stühlingen 5,9 t CO₂-Emissionen eingespart werden.

7.2.2. Sozialstationen: Elektrofahrzeuge versus Benzinfahrzeuge

Das Vorgehen zur Bilanzierung der eingesparten CO₂-Emissionen durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen in den Sozialstationen erfolgte analog zu dem oben beschriebenen Vorgehen für die Verrechnungsstellen. Für die Bilanzierung der Elektrofahrzeug-CO₂-Emissionen wurden zwei Einrichtungen ausgewählt, zum einen die Sozialstation St. Martin in Bad Säckingen mit einem relativ hohen spezifischen Energiebedarf ihres E-Fahrzeugs von 25,8 kWh/100 km und zum anderen die Sozialstation der Caritas Konstanz mit einem relativ niedrigen spezifischen Energiebedarf ihrer Elektrofahrzeugflotte von 17,7 kWh/100 km (vgl. Tabelle 5-5). Als Vergleichsfahrzeuge dienen die Benzinfahrzeuge aus den Sozialstationen Freiburg, St. Martin in Bad Säckingen und St. Blasien (vgl. Tabelle 5-6 für den spezifischen Benzinverbrauch und Tabelle 5-7 für die entsprechenden CO₂-Emissionsfaktoren).

In den Sozialstationen konnten über die Leasingdauer von drei Jahren hinweg nach einer Laufleistung von rund 40.000 km 7,9 – 10,5 t CO₂-Emissionen gegenüber den Benzinfahrzeugen aus der Flotte der Sozialstationen Freiburg, St. Martin und Bad Säckingen eingespart werden (Abbildung 7-4). Der spezifische Kraftstoffverbrauch der betrachteten Benzinfahrzeuge ist höher als der des betrachteten Dieselfahrzeugs aus der Verrechnungsstelle Stühlingen. Weiterhin sind die CO₂-Emissionsfaktoren beider Kraftstoffe bezogen auf den Energiegehalt (in g CO₂/kWh, vgl. Tabelle 5-2 und Tabelle 5-7) fast identisch. Somit ist die Einsparung an CO₂-Emissionen durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu den betrachteten Benzinfahrzeugen höher als im Vergleich zu dem betrachteten Dieselfahrzeug.

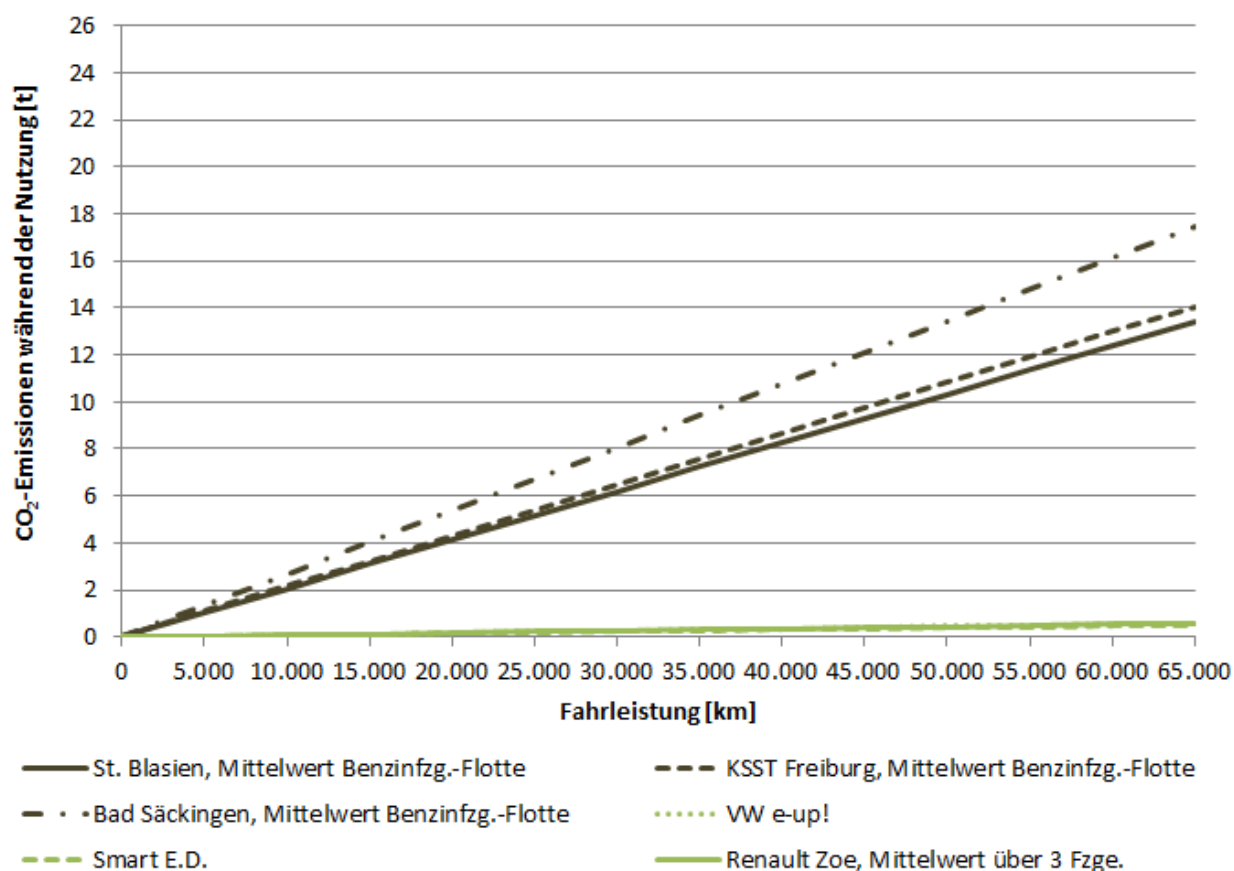


Abbildung 7-4: Sozialstationen: CO₂-Emissionen während der Fahrzeugnutzung – Elektrofahrzeuge versus Benzinfahrzeuge

7.3. CO₂-Emissionen aus Herstellung von Fahrzeug und Batterie

7.3.1. Verrechnungsstellen: Elektrofahrzeuge versus Dieselfahrzeug

Zusätzlich zu den CO₂-Emissionen aus der Nutzung entstehen durch die Herstellung des Fahrzeugs und der Komponenten ebenfalls CO₂-Emissionen. Diese wurden basierend auf der eingangs beschriebenen Methodik für sowohl die Elektrofahrzeuge als auch die konventionellen Fahrzeuge ermittelt.

Tabelle 7-1 stellt die verwendeten Faktoren, technischen Daten und das Ergebnis der Emissionsbilanz aus der Fahrzeug- und Komponentenherstellung für die Verrechnungsstellen dar. Wie eingangs beschrieben, wurden aufgrund der zurzeit noch unsicheren Datenlage zwei Fälle der Batterieproduktion betrachtet: „Best case Batterieproduktion“ und „Worst case Batterieproduktion“. Basierend darauf werden CO₂-Emissionen durch die Produktion der Traktionsbatterie von 1,8-4,8 t ermittelt. Die Schlüsselkomponenten Leistungselektronik und Elektromotor sind in der Herstellung relativ energieaufwändig und führen zu einem etwas höheren spezifischen Restfahrzeug-Emissionsfaktor. Weiterhin ist das betrachtete Elektrofahrzeug durch seine Traktionsbatterie auch etwas schwerer als

das betrachtete Dieselfahrzeug und weist damit neben den höheren CO₂-Emissionen aus der Herstellung der Traktionsbatterie auch um 1 t höhere CO₂-Emissionen aus der Produktion des Restfahrzeugs auf.

Tabelle 7-1: Verrechnungsstellen: Bilanzierung CO₂Äqu.-Emissionen aus Herstellung von Fahrzeug und Batterie (VW Polo Diesel vs. Renault Zoe)

		VW Polo Diesel	Renault Zoe Z.E.	
			Best Case Batterieproduktion	Worst Case Batterieproduktion
Gewicht Batterie	[kg]	-	290 ²¹	
Kapazität Batterie	[kWh]	-	22 ²¹	
Gewicht Restfahrzeug	[kg]	1.200 ²²	1.213 ²¹	
Emissionsfaktor Batterieherstellung ²³	[kg CO ₂ Äqu./kg Batterie]	-	6,16	-
Emissionsfaktor Batterieherstellung ²⁴	[kg CO ₂ Äqu./kWh Batterie]	-	-	220
Emissionsfaktor Fzg.-Herstellung ²³	[kg CO ₂ Äqu./kg Restfzg.]	7,00	7,735	
CO₂Äqu. - Gesamtemissionen aus der Herstellung	[kg]	8.404	11.170	14.223
<i>...davon CO₂Äqu.- Emissionen Batterie</i>	<i>[kg]</i>	-	1.786	4.840
<i>...davon CO₂Äqu. - Emissionen Restfahrzeug</i>	<i>[kg]</i>	8.404	9.383	

²¹ (Trainmobil, 2016)

²² (Volkswagen Partner, 2016a)

²³ (ecoinvent Center, 2016)

²⁴ (Majeau-Bettez et al., 2011)

7.3.2. Sozialstationen: Elektrofahrzeuge versus Benzinfahrzeuge

Die Bilanzierung der CO₂-Emissionen aus der Fahrzeug- und Komponentenherstellung erfolgte analog auch für die Sozialstationen und ist im Vergleich eines VW e-up! und einem VW up! in Tabelle 7-2 und eines Ford Ka (Benzinfahrzeugmodell der Sozialstationen St. Blasien und Bad Säckingen) sowie des Smart fortwo electric drive in Tabelle 7-3 dargestellt. Für den Vergleich des VW e-up! mit seinem konventionellen Pendant ergeben sich 1,4 t („Best Case“-Batterieproduktion) bis 4,1 t („Worst Case“-Batterieproduktion) zusätzliche CO₂-Emissionen aus der Produktion der Traktionsbatterie. Die Gesamtemissionen aus der Herstellung des Elektrofahrzeugs belaufen sich auf 9,1 – 11,8 t CO₂-Emissionen gegenüber 6,9 t CO₂-Emissionen aus der Herstellung des konventionellen Fahrzeugs.

Tabelle 7-2: Sozialstationen: Bilanzierung CO₂Äqu.-Emissionen aus Herstellung von Fahrzeug und Batterie (VW up! vs. VW e-up!)

		VW up! (Benzin)	VW e-up!	
			Best Case Batterieproduktion	Worst Case Batte- rieproduktion
Gewicht Batterie	[kg]	-	230 ²⁵	
Kapazität Batterie	[kWh]	-	18,7 ²⁵	
Gewicht Restfahrzeug	[kg]	1.002 ²⁶	994 ²⁵	
Emissionsfaktor Batterieher- stellung ²³	[kg CO ₂ Äqu./kg Batterie]	-	6,16	-
Emissionsfaktor Batterieher- stellung ²⁴	[kg CO ₂ Äqu./kWh Batterie]	-	-	220
Emissionsfaktor Fzg.-Herstellung ²³	[kg CO ₂ Äqu./kg Restfzg.]	6,93	7,735	
CO₂Äqu. - Gesamtemissionen aus der Herstellung	[kg]	6.944	9.106	11.803
...davon CO₂Äqu.- Emissionen Batterie	[kg]	-	1.417	4.114
...davon CO₂Äqu. - Emissionen Restfahrzeug	[kg]	6.944	7.689	

Der Smart fortwo electric drive weist im Vergleich zu den beiden anderen Elektrofahrzeugmodellen renault Zoe und VW e-up! mit 900 kg das niedrigste Gesamtgewicht auf, und auch die Traktionsbatte-
rie ist verhältnismäßig leicht (175 kg). Dies wirkt sich entsprechend auf die gewichtsbezogenen Emis-
sionsfaktoren aus Tabelle 7-3 auf, so dass bei der Produktion des Smart 6,7 bis 9,5 t CO₂-Emissionen
anfallen (im Gegensatz zu 7,3 t CO₂-Emissionen bei der Produktion des benzinbetriebenen Ford Ka).

²⁵ (Volkswagen Partner, 2016b)

²⁶ (Volkswagen Partner, 2016c)

Tabelle 7-3: Sozialstationen: Bilanzierung CO₂Äqu. -Emissionen aus Herstellung von Fahrzeug und Batterie (Ford Ka vs. Smart)

		Ford Ka (Benzin)	Smart fortwo electric drive	
			Best Case Batterieproduktion	Worst Case Batte- rieproduktion
Gewicht Batterie	[kg]	-	175 ²⁷	
Kapazität Batterie	[kWh]	-	17,6 ²⁷	
Gewicht Restfahrzeug	[kg]	1.055 ²⁸		
Emissionsfaktor Batterieher- stellung ²³	[kg CO ₂ Äqu./kg Batterie]	-	6,16	-
Emissionsfaktor Batterieher- stellung ²⁴	[kg CO ₂ Äqu./kWh Batterie]	-	-	220
Emissionsfaktor Fzg.-Herstellung ²³	[kg CO ₂ Äqu./kg Restfzg.]	6,93	7,735	
CO₂Äqu. - Gesamtemissionen aus der Herstellung	[kg]	7.313	6.686	9.480
...davon CO₂Äqu.- Emissionen Batterie	[kg]		1.078	3.872
...davon CO₂Äqu. - Emissionen Restfahrzeug	[kg]	7.313	5.608	

²⁷ (Auto News, 2012)

²⁸ (Ford Motor Company, 2017)

7.4. Gesamtbilanz: CO₂-Emissionen aus Herstellung und Nutzung

7.4.1. Verrechnungsstellen: Elektrofahrzeug versus Dieselfahrzeug

Aufbauend auf der eingangs beschriebenen Methodik und den in den vorherigen Kapiteln dargelegten Zahlenwerten wird nun eine Bilanz der CO₂-Emissionen aus der Herstellung und Nutzung der Elektrofahrzeuge und der konventionellen Vergleichsfahrzeuge ermittelt. Das Ergebnis ist für die Verrechnungsstellen in Abbildung 7-5 dargestellt, zum einen für den Renault Zoe (mit einem mittleren Energiebedarf von 19,1 kWh/100 km) und zum anderen für den VW Polo Diesel aus Stühlingen. Zu Beginn des Fahrzeuglebens weisen die Elektrofahrzeuge um 2,7 – 5,8 Tonnen höhere CO₂-Emissionen auf (grüne Linien) als das Dieselfahrzeug in Stühlingen (schwarze Linie). Dieser „ökologische Rucksack“ aus der Produktion der Traktionsbatterie wird jedoch durch die Verwendung eines regenerativen Strom-Mixes bereits während der Leasingdauer bei knapp 40.000 km Fahrleistung kompensiert, auch unter ungünstigen Annahmen zur Produktion der Traktionsbatterie („Worst Case Batterieproduktion“).

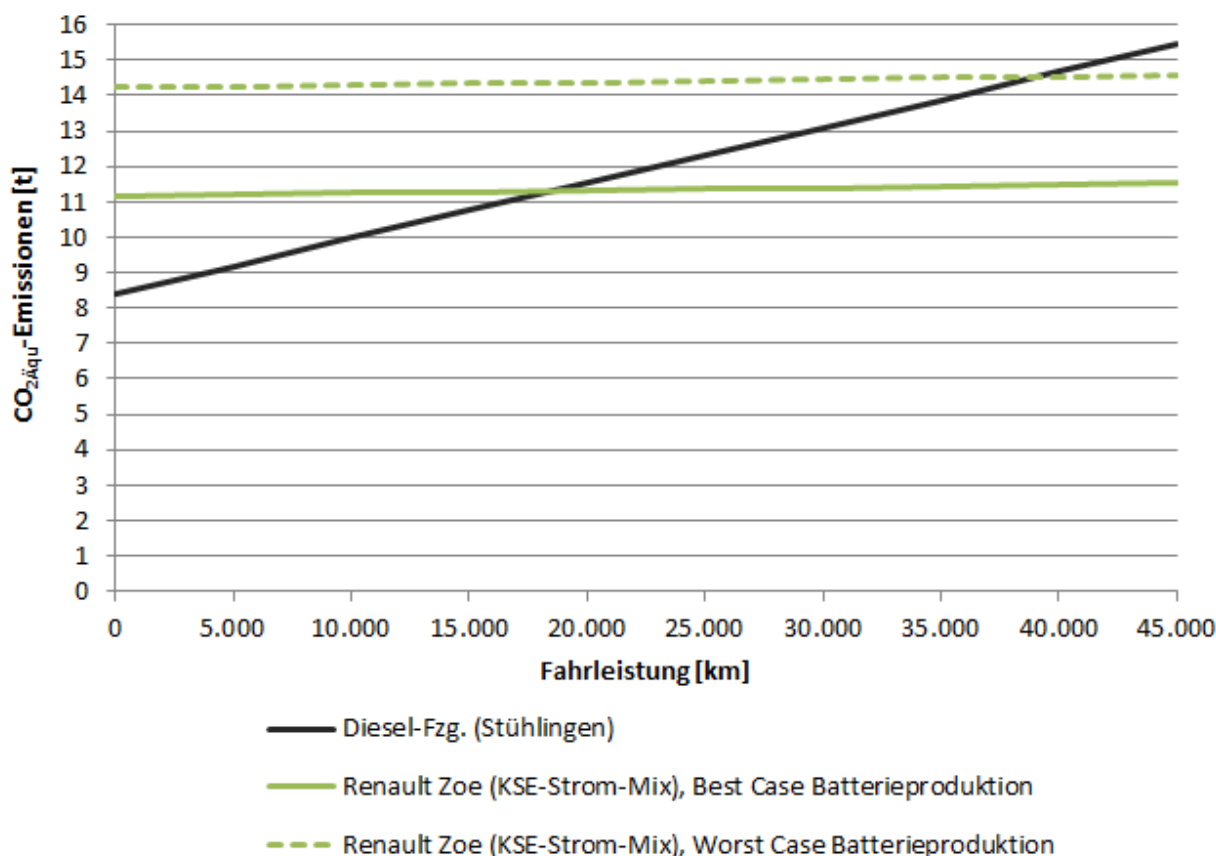


Abbildung 7-5: Verrechnungsstellen: CO₂-Emissionsbilanz über Herstellung und Nutzung eines Elektrofahrzeugs (Renault Zoe, Mittelwert des Energiebedarfs über drei Fahrzeuge unter Verwendung eines erneuerbaren Strom-Mixes) im Vergleich zu einem Dieselfahrzeug (VW Polo, Stühlingen)

Würde statt des CO₂-armen KSE-Strom der deutsche Strom-Mix angesetzt, bedarf diese Kompensation allerdings einer längeren Nutzung bzw. einer Fahrleistung von 85.000 bis 135.000 km (Abbildung 13-1 im Anhang, ohne Einbeziehung eines Batterietausches gerechnet).

7.4.2. Sozialstationen: Elektrofahrzeug versus Benzinfahrzeuge

Aufbauend auf der eingangs beschriebenen Methodik und den in den vorherigen Kapiteln dargelegten Zahlenwerten wird abschließend eine Bilanz der CO₂-Emissionen aus der Herstellung und Nutzung der Elektrofahrzeuge und der konventionellen Vergleichsfahrzeuge ermittelt. Das Ergebnis ist für die Sozialstationen in Abbildung 7-6 dargestellt. Für die Bilanzierung der Benzinfahrzeuge wurden die Ford-Ka-Flotten aus St. Blasien (Benzinverbrauch im Mittel: 7,2 l/100 km) und Bad Säckingen (Benzinverbrauch im Mittel: 9,4 l/100 km) gewählt, die jeweils den oberen und unteren Verbrauchsbereich repräsentieren (vgl. Tabelle 5-6 und Tabelle 7-3). Für die Bilanzierung der Elektrofahrzeuge wurde zum einen der Smart fortwo electric drive ausgewählt (vgl. Tabelle 7-3), da es sich aus den hier betrachteten E-Fahrzeugen um das leichteste Fahrzeug mit dem geringsten Energiebedarf handelte. Weiterhin wurde hier für Produktion der Traktionsbatterie ein Emissionsfaktor gewählt, der eher das Minimum des Energieaufwands repräsentiert (vgl. Tabelle 7-3, „Best Case Batterieproduktion“). Zum anderen wurde der Renault Zoe Z.E. mit einem mittleren Energiebedarf von 22,4 kWh/100 km ausgewählt, da es sich hier um das schwerste Fahrzeug mit der höchsten Batteriekapazität handelte. Zusätzlich wurde dieses Fahrzeug mit einem Emissionsfaktor zur Produktion der Traktionsbatterie beaufschlagt, der eher das Maximum des Energieaufwands repräsentiert (vgl. Tabelle 7-1, „Worst Case Batterieproduktion“).

Zu Beginn weist das Renault Zoe Elektrofahrzeug unter „Worst Case“-Annahmen zur Produktion der Traktionsbatterie um 6,9 Tonnen höhere CO₂-Emissionen auf (grüne gestrichelte Linie) als die Benzinfahrzeuge (dunkle Linien). Dieser „ökologische Rucksack“ wird jedoch durch die Verwendung eines regenerativen Strom-Mixes während der Nutzung nach 35.300 km kompensiert. Die betrachteten Renault Zoes wiesen Jahresfahrleistungen von 9.500 km/a bis 20.400 km/a auf (Mittelwert: 15.100 km/a) und hätten damit im Mittel bereits während ihrer Leasingdauer von drei Jahren diese CO₂-Mehremissionen durch die Batterieherstellung kompensiert.

Der Smart fortwo electric drive weist hingegen unter „Best Case“-Annahmen zur Produktion der Traktionsbatterie bereits gleich zu Beginn der Fahrzeugnutzung um 0,6 Tonnen niedrigere CO₂-Emissionen auf (grüne durchgezogene Linie) als die Benzinfahrzeuge (dunkle Linien). Der wesentliche Grund hierfür ist das im Vergleich zum Ford Ka um 155 kg niedrigere Fahrzeuggesamtgewicht des Smarts. Unter diesen Annahmen (geringes Fahrzeug-/Batteriegewicht, vergleichsweise niedrige Emissionen bei der Batterieproduktion) ist das Elektrofahrzeug von Anfang an CO₂-emissionsärmer. Unter ungünstigen Annahmen zur Batterieproduktion würden sich für den Smart fortwo electric drive 9,5 t CO₂-Emissionen ergeben (vgl. Tabelle 7-3) und damit 2,2 t mehr als bei dem konventionellen Ford Ka.

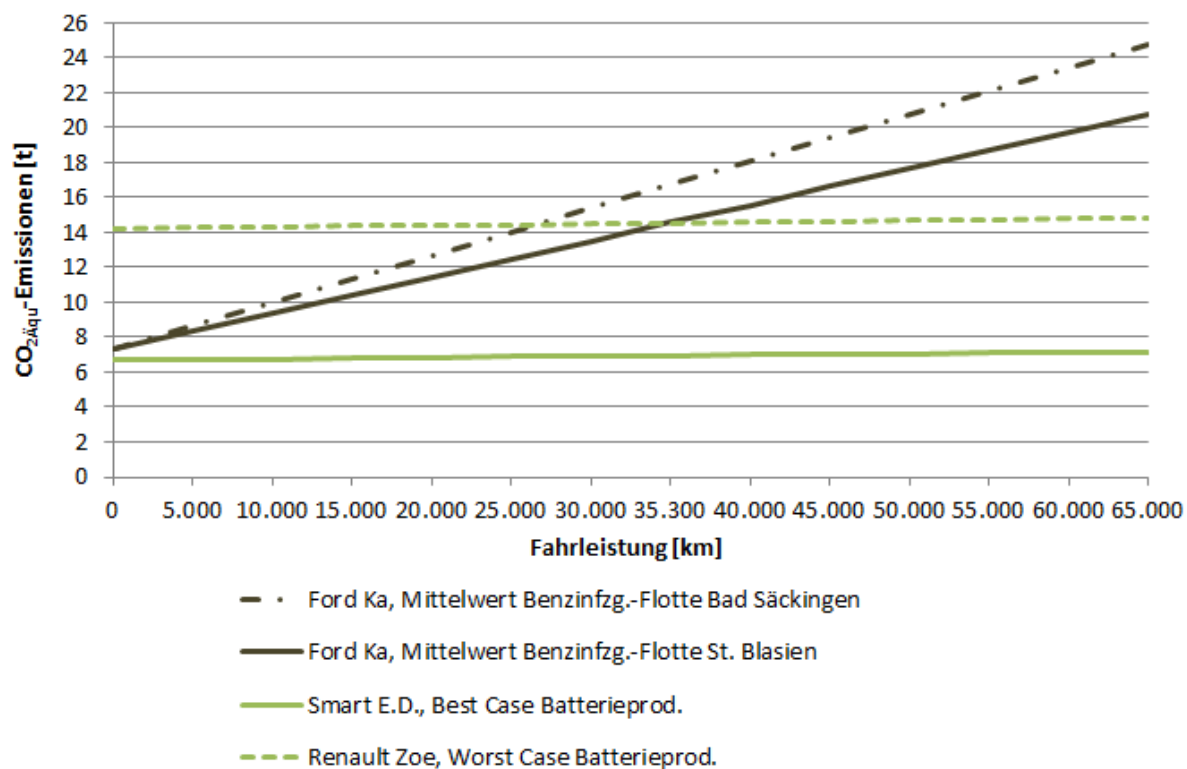


Abbildung 7-6: Sozialstationen: CO₂-Emissionsbilanz über Herstellung und Nutzung im Vergleich zu Benzin-fahrzeugen unter Verwendung des KSE-Stroms

Würde statt des CO₂-armen KSE-Strom der deutsche Strom-Mix angesetzt, bedarf die Kompensation der höheren CO₂-Emissionen durch die Produktion der Traktionsbatterie einer längeren Nutzung von bis zu 135.000 km (Abbildung 13-1 im Anhang, ohne Einbeziehung eines Batterietausches gerechnet).

8. Datenerhebung mit Fahrzeugloggern

8.1. Methodik

Alle betrachteten E-Fahrzeuge hatten On-Board-Diagnosis-(OBD)-Datenlogger der Firma CarMediaLab eingebaut, mit deren Hilfe fahrzeugspezifische Parameter wie Geschwindigkeiten, Fahrzustände, Ladezustände und Ladevorgänge aufgenommen werden sollten (Abbildung 8-1).

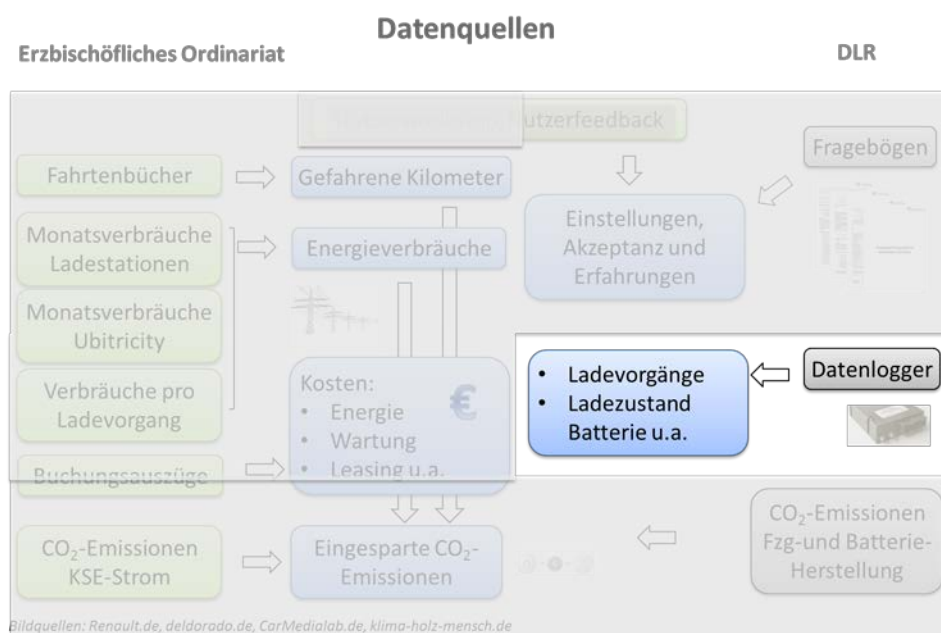


Abbildung 8-1: Verwendete Datenquellen zur Bestimmung von Ladezuständen und Ladevorgängen

8.2. Probleme und Grenzen

Mittels der eingebauten Datenlogger von CarMediaLab konnten energieseitig nur die Ladezustände der Traktionsbatterie („state of charge - SOC“) erfasst werden. Alle darüber hinaus gehenden Energiemengen wie Energiebedarfe der Nebenverbraucher oder Ladeverluste an der Ladestation konnten darüber nicht bestimmt werden. Hinsichtlich der CO₂- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind allerdings nur die Gesamtenergiemengen von Interesse, die daher in den vorherigen Kapiteln über die Stromzähler an den Ladestationen erfasst wurden.

Seitens CarMediaLab werden je nach Abkommen mit den Automobilherstellern verschiedene Datensatzerhebungsverfahren verwendet. Zum einen eine sekundliche Aufzeichnung während der Fahrt bei dem Modell Renault Zoe, zum anderen eine Aufzeichnung als zusammenfassenden Datensatz pro Fahrt bei den Modellen Renault Zoe, VW e-up! und smart fortwo electric drive (Minimaldatensatz).

Eine Fahrt sollte im Minimaldatensatz die Zeitspanne zwischen Einstecken des Zündschlüssels bzw. Aktivieren des Antriebs und Entnahme des Zündschlüssels bzw. Deaktivierung des Antriebs umfassen, was leider nicht immer zuverlässig funktioniert. Zudem sind zu Beginn der Fahrten teilweise Verzögerungen durch das Hochfahren der Loggersoftware erkennbar, die dazu führen, dass die Aufzeichnung der Daten erst einige Sekunden nach Beginn der Fahrt erfolgt. Insbesondere die erfassten GPS-Positionen und -Höhenangaben bei Fahrtbeginn waren nur mit schlechter Qualität verfügbar und unterlagen großen Schwankungen. Die Erfassung der Ladevorgänge war sehr unzuverlässig, häufig sind Ladevorgänge nicht vorhanden und nur daran erkennbar, dass der Batterie-Ladezustand zu Beginn einer Fahrt signifikant größer als am Ende der letzten Fahrt ist. Eine zeitliche Zuordnung der Ladevorgänge ist daher mit den vorhandenen Daten nicht möglich. Während der Projektlaufzeit kam es immer wieder zu Ausfällen von Messungen, bspw. durch fehlende Handynetzaabdeckungen an der Schweizer Grenze oder durch andere technische Probleme.

Die ursprüngliche Konfiguration des Minimaldatensatzes enthielt lediglich die minimalen und maximalen Ladezustände, nicht aber die Anfangs- und Endladezustände. Aus diesen Datensätzen war somit nicht eindeutig erkennbar, ob es sich um eine Fahrt mit abnehmendem Ladezustand oder einen Ladevorgang mit zunehmendem Ladezustand handelt. Auch die gelieferten Energiebedarfe waren nicht plausibel. Erst ein auf starkes Drängen des DLR ab November 2015 aufgespieltes Update versetzte die Logger in die Lage, den Anfangs- und Endladezustand der Batterie aufzuzeichnen. In diesem Update waren auch weitere Verbesserungen der Algorithmen enthalten, die zu einer nun plausiblen Berechnung der Energieentnahme und -zufuhr an der Batterie führten. Aus diesem Grund ist eine Auswertung der aufgezeichneten Datensätze für das bisher im Bericht verwendete Bezugsjahr 2015 nicht möglich. Im Folgenden erfolgt daher die Auswertung über den gesamten Zeitraum, in dem für die jeweiligen Fahrzeuge plausible Daten zur Verfügung standen. Bei den meisten Fahrzeugen erstreckt sich dieser Zeitraum von November 2015 bis Anfang Januar 2017.

8.3. Ergebnisse der Datenloggerauswertung

8.3.1. Täglicher Fahrzeugeinsatz und Batterieladezustand

Die in den vorherigen Analysen verwendete Definition der Tourlänge als Strecke zwischen zwei betriebszugehörigen Lademöglichkeiten, z.B. zwischen Verrechnungsstelle und Wohnort eines Hauptnutzers, ist auf die Datenloggerdaten nicht anwendbar. Daher wird im Folgenden eine tagesbasierte Auswertung dargestellt. Für jedes Fahrzeug und jeden Nutzungstag wurden die mit dem Fahrzeug gefahrene Strecke und der minimale Batterie-Ladezustand am Fahrtende ermittelt. Die Darstellung erfolgt mit Hilfe der in Kapitel 4.2.2.1.2 beschriebenen Boxplots.

Abbildung 8-2 zeigt die statistische Verteilung der im jeweiligen Erfassungszeitraum gefahrenen Tagesdistanzen. Deutlich erkennbar sind Unterschiede zwischen den Fahrzeugen der Verrechnungsstellen und der Sozialstationen, die sich aus der typischen Fahrzeugnutzung ergeben. Bei den links abgebildeten drei VSt-Fahrzeugen sind die mittleren Tagesdistanzen mit mehr als 50 km größer als

bei den SSt-Fahrzeugen mit Ausnahme des Fahrzeugs der SSt Stockach. Auch die Bandbreite der Tagesdistanzen und die maximalen Tagesdistanzen sind bei den VSt-Fahrzeugen größer. Die mittleren 50% der Tagesdistanzen liegen zwischen 30 und 85 km und die maximalen Tagesdistanzen sind größer als 160 km, während die maximalen Tagesdistanzen der SSt-Fahrzeuge meist kleiner 100 km sind. Der Vergleich der Tagesauswertung mit der Tourenauswertung der Verrechnungsstellen in den Kapiteln 5.2.1.1 bis 5.2.1.3 zeigt dagegen, dass die statistischen Kennwerte Median und Quartile bei der Tourenauswertung in allen drei Fällen kleiner als bei der Tagesauswertung sind. Diese Feststellung ist an einem Beispiel einfach nachvollziehbar: Ein Mitarbeiter, der von seinem Wohnort mit Lademöglichkeit morgens 40 km zur Verrechnungsstelle und abends wieder zurück fährt, erzeugt zwei Touren mit je 40 km, aber nur eine Tagesdistanz mit 80 km.

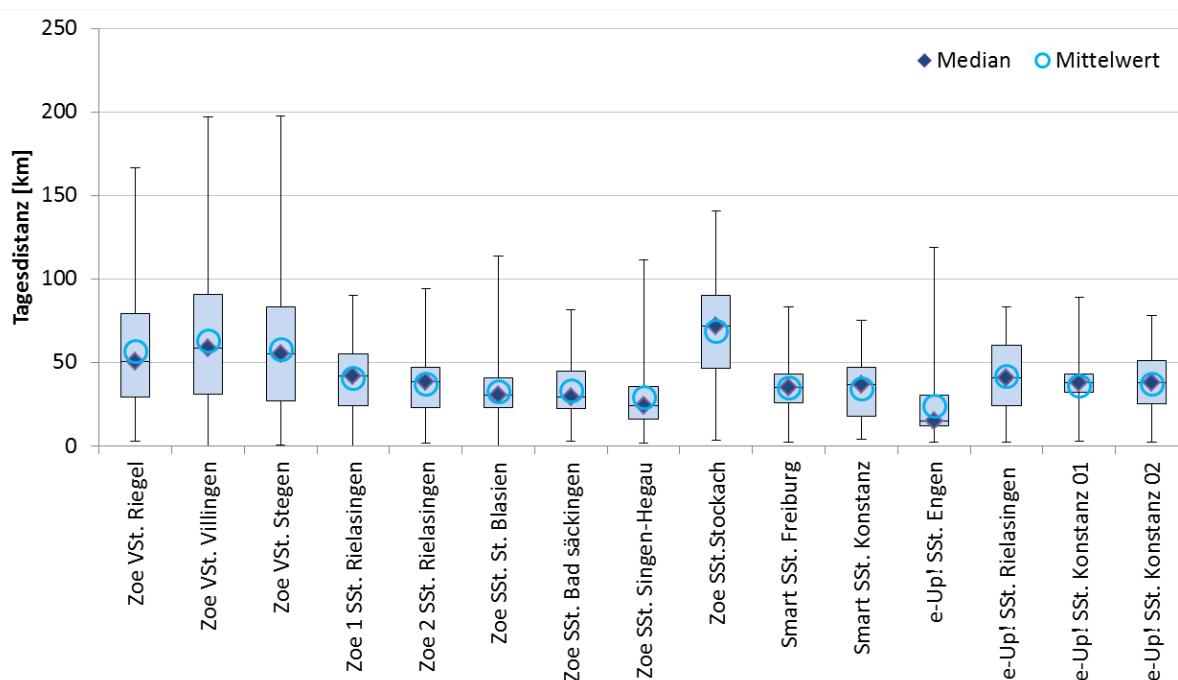


Abbildung 8-2: Vergleich der Tagesdistanzen der eingesetzten Fahrzeuge

Bei Vergleich der SSt-Fahrzeuge fällt der Renault Zoe aus Stockach auf, dessen tägliche Distanz sogar größer ist, als bei den VSt-Fahrzeugen. Diese Feststellung passt zur absoluten Fahrleistung dieses Fahrzeugs, das mit 20.428 km die größte Laufleistung im Jahr 2015 aufweist (vgl. Abbildung 5-8). Auch bei den anderen Fahrzeugen passen die statistischen Tageswerte gut zur absoluten Laufleistung im Jahr 2015. Interessant ist die bei allen SSt-Fahrzeugen sehr kleine Bandbreite der Tagesdistanzen, die sich vermutlich aus regelmäßig wiederkehrenden Fahraufgaben ergibt. Ausnahmen sind die Fahrzeuge Zoe SSt. Stockach und e-Up! SSt. Rielasingen. Ursachen für den vergleichsweise großen spezifischen Energiebedarf des Fahrzeugs der SSt. Bad Säckingen (vgl. Abbildung 5-9) lassen sich aus der Analyse der Tagesdistanzen nicht ableiten.

Die statistische Verteilung des minimalen Batterieladezustands bei Fahrtende jedes Nutzungstages ist in Abbildung 8-3 dargestellt. Der Vergleich der Fahrzeuge der Verrechnungsstellen mit den Sozial-

stationen zeigt bei den Verrechnungsstellen eine größere Bandbreite mit insgesamt meist geringeren Ladezuständen. Im Kontext der größeren Bandbreite von Tagesdistanzen und der größeren Tagesstrecken der VSt-Fahrzeuge ist nachvollziehbar, dass die Ladezustände bei Fahrtende stärker streuen und im Mittel geringer sind als bei den Sozialstationen. Ausnahmen bilden die beiden Zoes der Sozialstationen Singen-Hegau und Stockach, die mit Mittelwerten um 50% Ladezustand bei Fahrtende am häufigsten große Entladetiefen aufweisen. Da das Fahrzeug der SSt Singen-Hegau nur vergleichsweise geringe Tagesdistanzen zurücklegt, liegt die Vermutung nahe, dass hier auf tägliches Laden verzichtet wurde und erst bei Unterschreiten eines Mindestladezustands ein Ladevorgang vorgenommen wurde. Das Fahrzeug der SSt Bad Säckingen weist eine ähnliche statistische Verteilung der Tagesdistanzen auf, unterscheidet sich aber deutlich in der statistischen Verteilung der Ladezustände bei Fahrtende. Hier wurde vermutlich meist bei Rückkehr an den Standort ein Ladevorgang eingeleitet.

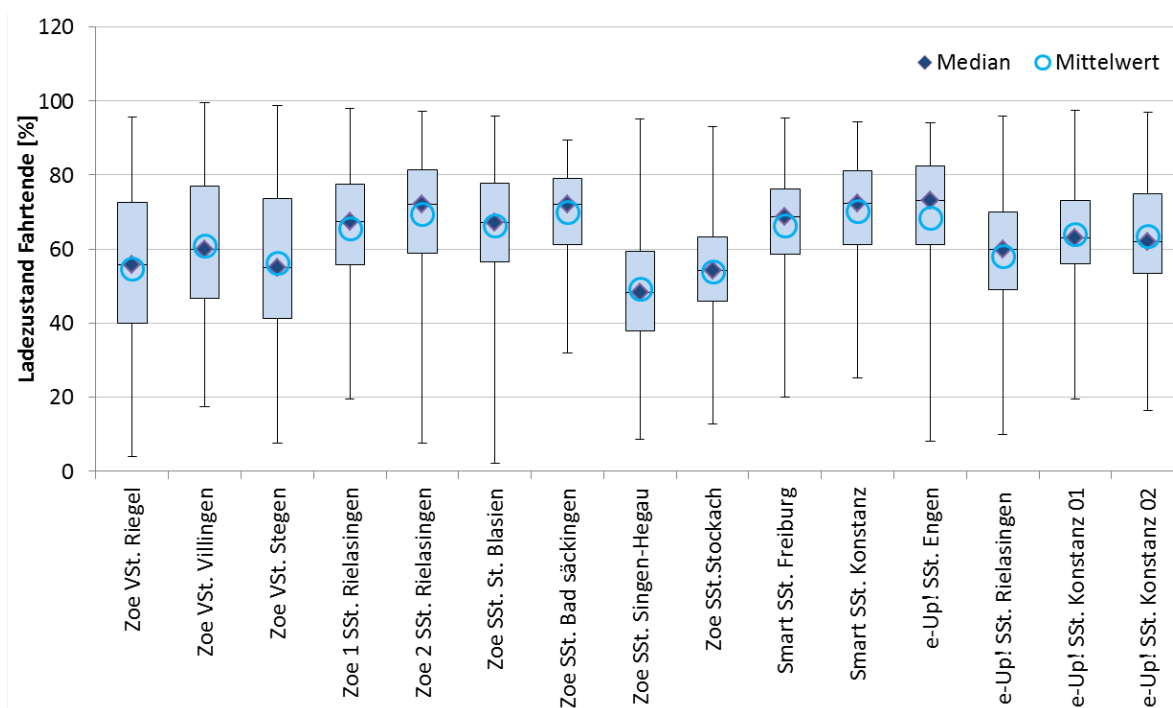


Abbildung 8-3: Vergleich des minimalen Ladezustands bei Fahrtende (Tagesminimum)

Der insgesamt kleinste dokumentierte Ladezustand wurde mit dem Fahrzeug der SSt St. Blasien mit 2,2 % erreicht, gefolgt von der VSt Riegel mit 3,9 %. Weniger als 10 % Ladezustand wurden weiterhin mit Fahrzeugen in Rielasingen (7,5%), Stegen (7,6 %), Engen (8,0 %) und Singen-Hegau (8,5 %) erreicht. Ob dies auf mutige Nutzer oder aber den Mangel an Lademöglichkeiten zurückzuführen ist, kann aus den vorhandenen Daten nicht ermittelt werden. Insgesamt lässt die Analyse den Schluss zu, dass der Wohlfühlbereich der Nutzer bei Ladezuständen kleiner etwa 40 % verlassen und folglich ein Ladevorgang eingeleitet wird.

8.3.2. Fahrzeugauswertung Energiebedarf ab Batterie und Temperatureinfluss

Im Folgenden werden für jedes Fahrzeug die Energiebedarfe ab Batterie sowie weitere Randbedingungen der Nutzung (Laufleistung bei verschiedenen Umgebungstemperaturen, mittlere Geschwindigkeiten) monatsweise dargestellt. Eine zusammenfassende Gegenüberstellung der Temperatureinflüsse auf den Energiebedarf erfolgt in Kapitel 8.3.3.

8.3.2.1. Renault Zoe Verrechnungsstelle Riegel #100845

In Abbildung 8-4 ist der spezifische Energiebedarf ab Batterie für das Fahrzeug der Verrechnungsstelle Riegel dargestellt. Ladeverluste und aktive Verbraucher während des Ladens sind nicht berücksichtigt. Die Grafik zeigt für jeden Monat die verschiedenen Anteile des spezifischen Verbrauchs, wobei die Gesamthöhe jedes Balkens die aus der Batterie entnommene Energie, der grüne Teilbalken die beim Bremsen zurückgespeiste Energie und der rote Balken den resultierenden Gesamt-Energiebedarf repräsentiert. In blau ist der Monatsmittelwert der Umgebungstemperaturen, berechnet aus der minimalen Umgebungstemperatur jeder Fahrt, dargestellt. Die schwarze Linie stellt die mittlere Geschwindigkeit, errechnet aus dem Quotienten von im jeweiligen Monat zurückgelegter Distanz und Fahrzeit. Bei diesem Fahrzeug ist die mittlere Geschwindigkeit mit 45 - 52 km/h vergleichsweise groß, was auf häufige Überland- oder Autobahnfahrten und einen geringen Anteil an innerstädtischen Fahrten schließen lässt.

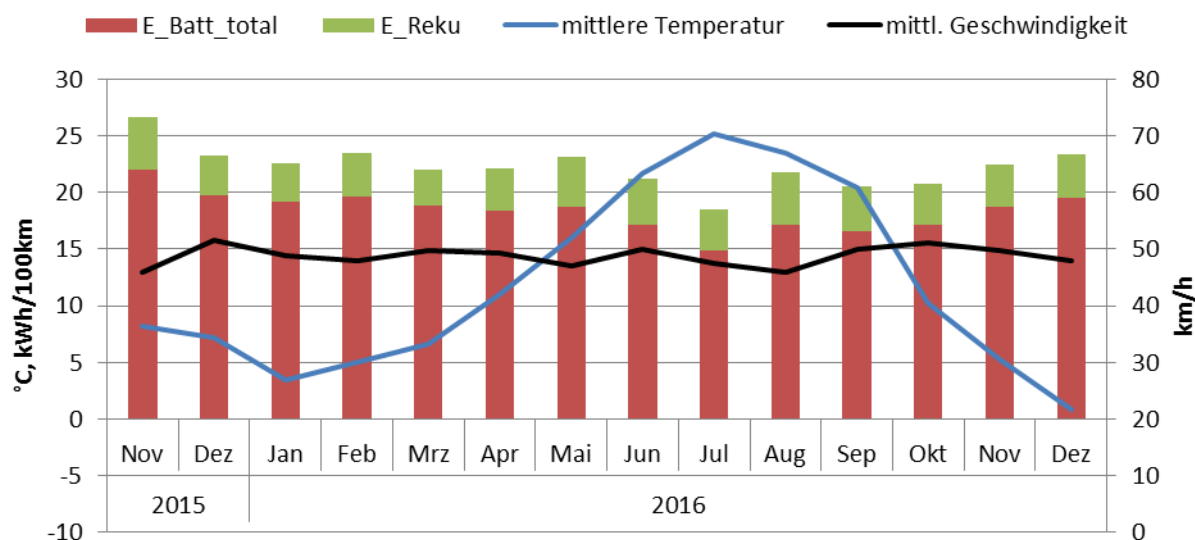


Abbildung 8-4: Zoe VSt Riegel, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

Die Grafik zeigt für dieses Fahrzeug einen deutlichen Einfluss der Temperatur auf den Energiebedarf. Insbesondere bei hohen Umgebungstemperaturen in den Monaten Juni, Juli und August 2016 sinkt der Gesamt-Energiebedarf. Außerdem ist tendenziell erkennbar, dass bei niedrigen Temperaturen anteilig weniger Energie in die Batterie zurückgespeist wird. Ursache hierfür ist, dass die beim Bremsen zurückgespeiste Energie direkt für die aktiven Verbraucher (Kabinenheizung, ggf. Batterieheizung, Beleuchtung) verwendet wird und somit an der Batterie nicht sichtbar wird. Im dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 14,9 kWh/100km, maximal 21,9

kWh/100km und im **Mittel 18,2 kWh/100 km**. Zum Vergleich: der mittlere spez. Energiebedarf ab Hausanschluss (vgl. Tabelle 5-1, ermittelt für das Jahr 2015) betrug 19,9 kWh.

Die weiterführende Analyse des Temperatureinflusses auf den spezifischen Energiebedarf ab Batterie wird mit Hilfe von Abbildung 8-5 durchgeführt. Dazu wurden die Energiebedarfe für Temperaturklassen mit einer Klassenbreite von jeweils 5° C zusammengefasst. Alle Temperaturen kleiner 0° C und größer 25°C wurden zu jeweils einer eigenen Klasse mit größerer Klassenbreite zusammengefasst, da aufgrund der geringen Häufigkeit dieser Temperaturen ansonsten Einzelereignisse dominieren würden. Wie oben stellt die Gesamthöhe jedes Balkens die aus der Batterie entnommene Energie, der grüne Teilbalken die beim Bremsen zurückgespeiste Energie und der rote Balken den resultierenden Gesamt-Energiebedarf dar. Die in den Balken oben angegebenen Werte weisen den mittleren spez. Gesamtenergiebedarf ab Batterie für die jeweilige Temperaturklasse aus. Am unteren Ende der Balken ist als zusätzliche Information die zurückgelegte Distanz in km für die Temperaturklasse angegeben, um die Qualität der ermittelten Werte einordnen zu können.

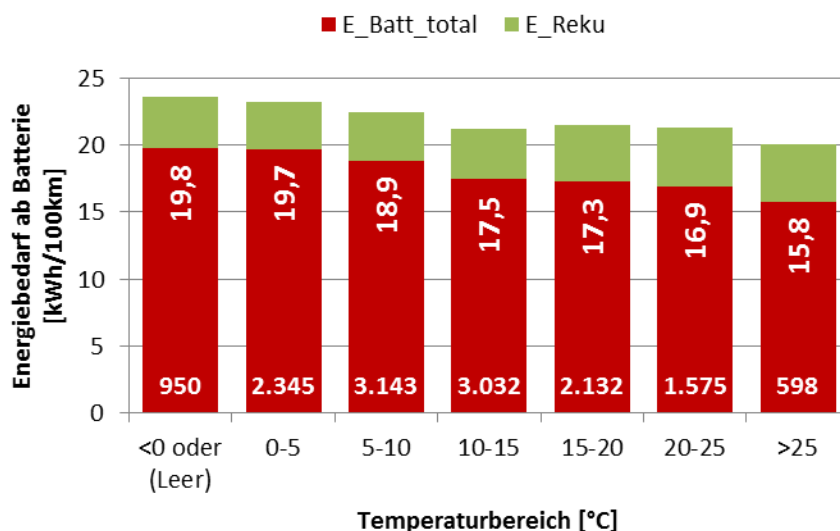


Abbildung 8-5: Zoe Vst Riegel, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

Die Analyse zeigt, dass der spezifische Energiebedarf bei diesem Fahrzeug mit zunehmender Temperatur stetig abnimmt. Bei Temperaturen größer 25° C sinkt der Energiebedarf ab Batterie um 20% gegenüber dem Temperaturbereich kleiner 0° C, wobei diese beiden Klassen eine vergleichsweise geringe Laufleistung aufweisen. Der Anteil der beim Bremsen zurückgespeisten Energie steigt mit zunehmenden Temperaturen an. Auch absolut werden mit steigenden Temperaturen größere spez. Energiemengen zurückgespeist, in der Temperaturklasse 0-5° C wurden 3,5 kWh/100km und in der Klasse 20 - 25°C wurden 4,3 kWh/100km zurückgespeist. Aus den zurückgelegten Distanzen in jeder Temperaturklasse lässt sich schließen, dass die Umgebungstemperatur selten kleiner als 0°C oder größer als 25°C war und überwiegend zwischen 5 und 15 °C lag.

8.3.2.2. Renault Zoe Verrechnungsstelle Stegen #100851

Im in Abbildung 8-6 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 12,6 kWh/100km, maximal 16,8 kWh/100km und im **Mittel 14,8 kWh/100 km**. Zum Vergleich: der mittlere spez. Energiebedarf ab Hausanschluss (vgl. Tabelle 5-1, ermittelt für das Jahr 2015) betrug 18,6 kWh. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen zwischen 41 und 50 km/h und lassen auf häufige Fahrzeugnutzung im Überlandverkehr schließen. Die Auswertung der Fahrzeuglogger stimmt qualitativ mit der Energiebedarfsmessung am Stromzähler überein - in beiden Fällen weist das Fahrzeug in Stegen den geringsten Energiebedarf der Fahrzeuge der Verrechnungsstellen auf.

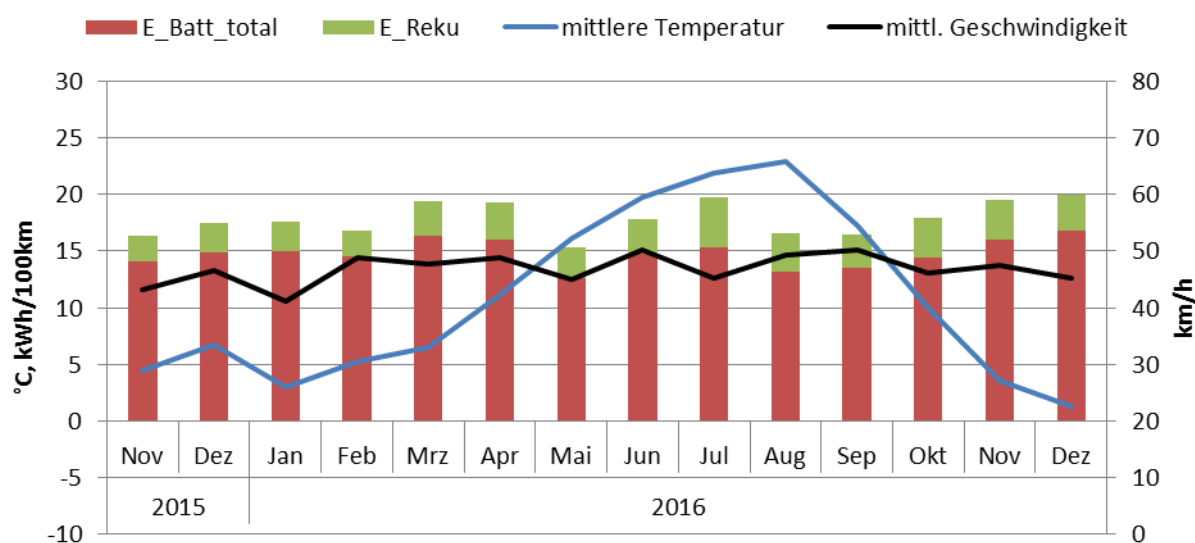


Abbildung 8-6: Zoe VSt Stegen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

Abbildung 8-7 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellte sich der geringste Gesamt-Energiebedarf zwischen 15 und 20°C ein, der größte Energiebedarf ist bei Temperaturen kleiner 0°C feststellbar. Zwischen 20 und 25°C steigt der Energiebedarf an. In der Klasse größer 25°C, die allerdings vergleichsweise wenig Laufleistung aufweist, ist der Energiebedarf wieder kleiner. Bei der zurückgespeisten Bremsenergie liegt das Maximum in der Temperaturklasse 20 - 25°C, gefolgt von der Klasse 5 - 10°C. Eine Abhängigkeit des Gesamtenergiebedarfs und der zurückgespeisten Bremsenergie von der Temperatur ist bei diesem Fahrzeug nicht eindeutig erkennbar. Die größten Laufleistungen traten bei diesem Fahrzeug in den Temperaturklassen zwischen 5 und 15 °C auf.

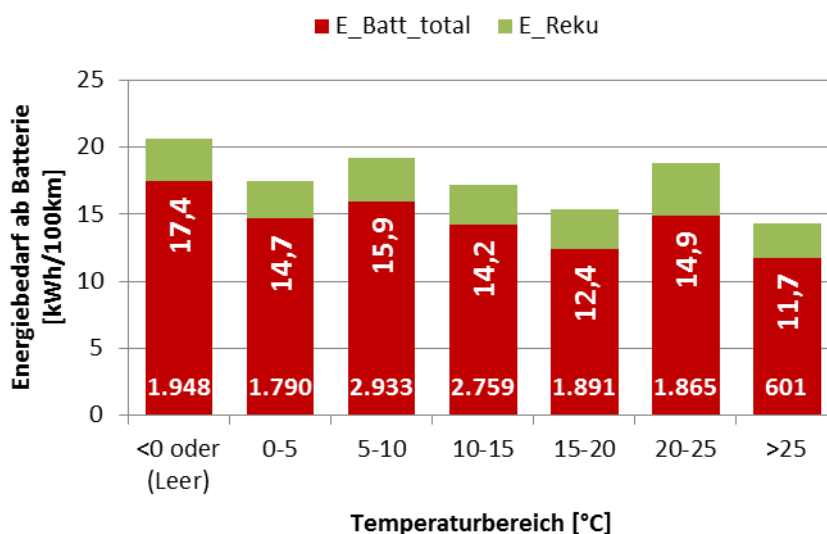


Abbildung 8-7: Zoe Vst Stegen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

8.3.2.3. Renault Zoe Verrechnungsstelle Villingen #100848

Im in Abbildung 8-8 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 13,8 kWh/100km, maximal 17,9 kWh/100km und **im Mittel 15,8 kWh/100 km**. Zum Vergleich: der mittlere spez. Energiebedarf ab Hausanschluss (vgl. Tabelle 5-1, ermittelt für das Jahr 2015) betrug 18,9 kWh. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen zwischen 44 und 52 km/h und lassen auf häufige Fahrzeugnutzung im Überlandverkehr schließen.

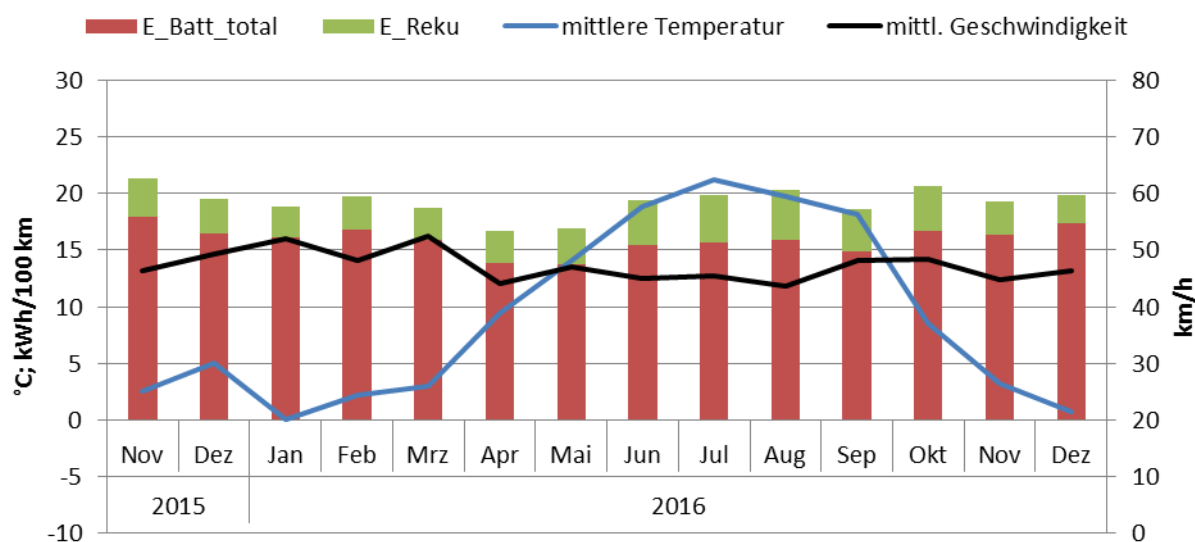


Abbildung 8-8: Zoe VSt Villingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

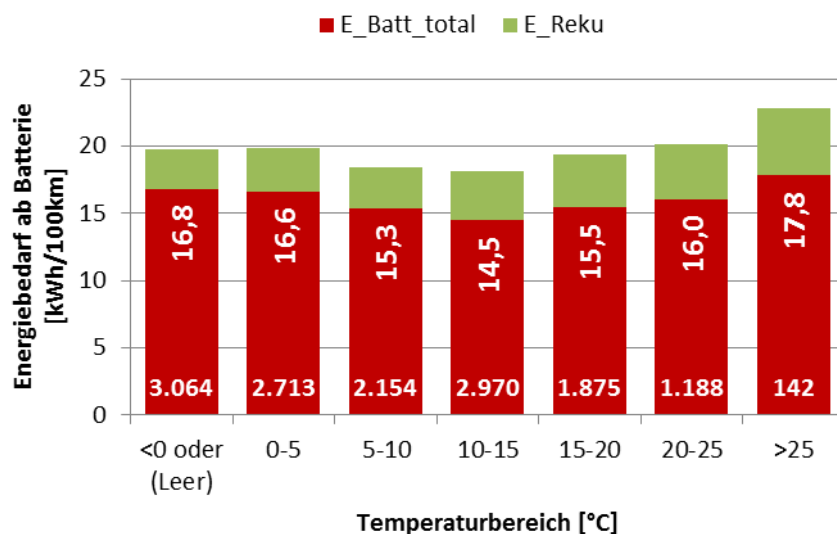


Abbildung 8-9: Zoe Vst Villingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

Abbildung 8-9 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellte sich der geringste Gesamt-Energiebedarf zwischen 10 und 15°C ein, mit steigenden Temperaturen steigt auch der Energiebedarf wieder an. Die zurückgespeiste Bremsenergie nimmt sowohl absolut als auch relativ mit zunehmender Temperatur zu. Die Zunahme des Gesamtenergiebedarfs bei Temperaturen größer 20 °C lässt auf regelmäßige Nutzung der Klimaanlage schließen. Bemerkenswert bei diesem Fahrzeug ist, dass die größte Laufleistung in der Temperaturklasse kleiner 0°C auftritt und insgesamt viele Kilometer bei Temperaturen unter 15°C zurückgelegt wurden. Dies lässt sich auf die Nutzung des Fahrzeugs in der Region um Villingen im Schwarzwald mit vergleichsweise großer Höhe über N.N. und damit einer kleinen mittleren Jahrestemperatur zurückführen.

8.3.2.4. Renault Zoe Sozialstation Rielasingen #100853 und #100911

Abbildung 8-10 und Abbildung 8-11 zeigen die spezifischen Energiebedarfe ab Batterie für die beiden in der Sozialstation Rielasingen eingesetzten Renault Zoes. Beim ersten Zoe betrug der minimale spez. Energiebedarf ab Batterie 16,7 kWh/100km, maximal 19,3 und **im Mittel 17,7 kWh/100 km**. Beim zweiten Zoe betrug der spez. Energiebedarf minimal 16,5, maximal 21,0 und **im Mittel 18,5 kWh/100km**. Die Verläufe der Temperaturen sind weitgehend gleich, die mittlere Monatsgeschwindigkeit ist beim zweiten Zoe mit 17,7 km/h etwas geringer als beim ersten Fahrzeug mit 19,0 km/h. Im Vergleich zu den Fahrzeugen der Verrechnungsstellen sind die Geschwindigkeiten viel kleiner, was auf überwiegenden Betrieb innerhalb geschlossener Ortschaften zurückzuführen ist.

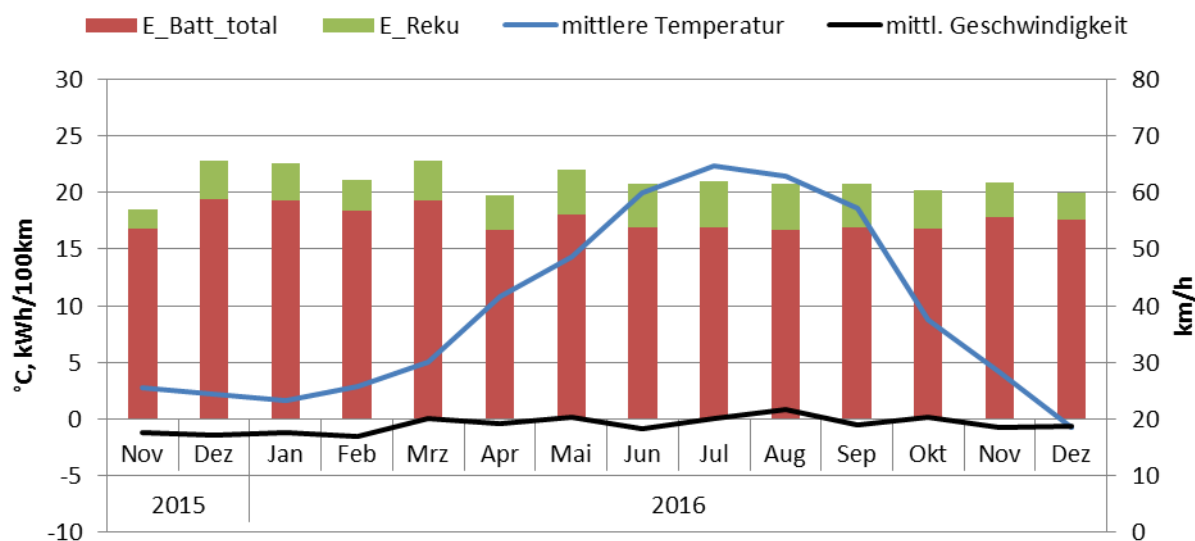


Abbildung 8-10: Zoe #100853 SSt Rielasingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

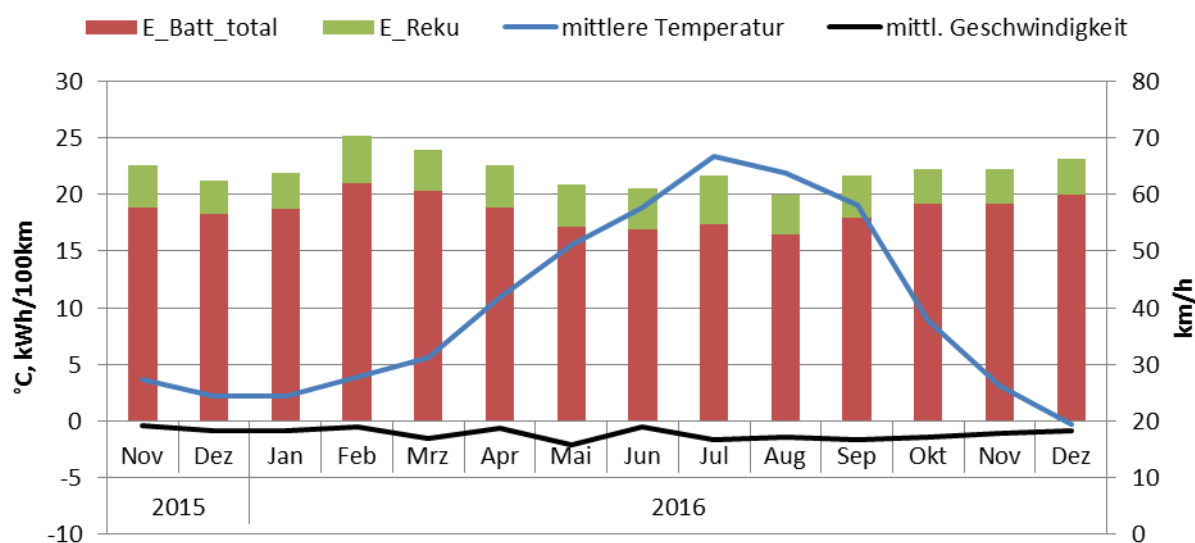


Abbildung 8-11: Zoe #100911 SSt Rielasingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

Die Temperaturabhängigkeiten der Energiebedarfe zeigen Abbildung 8-12 und Abbildung 8-13. Beim ersten Zoe ist der Energiebedarf im Temperaturbereich zwischen 0 und 10°C größer als bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts und weist ein erstes Minimum im Temperaturbereich 10 - 15°C auf. Darüber steigt der Energiebedarf zunächst an, um dann im Bereich größer 25°C ein absolutes Minimum von 15,8 kWh/100km aufzuweisen. Beim zweiten Zoe ist der maximale Energiebedarf ebenfalls nicht bei Temperaturen kleiner 0°C, sondern im Bereich 0-5°C zu finden. Darüber sinkt der Energiebedarf mit steigenden Temperaturen und beträgt bei Temperaturen größer 25°C minimal 16,5 kWh/100km. Die zurückgespeiste Bremsenergie nimmt bei beiden Fahrzeugen mit zunehmender Temperatur stetig zu. Dass der maximale Energiebedarf bei beiden Fahrzeugen nicht unterhalb 0°C zu finden ist, lässt auf regelmäßiges Vorheizen an der Ladestation schließen. Dadurch muss während der Fahrt nicht so viel Heizenergie aus der Batterie aufgewandt werden. Der vergleichsweise große Energiebedarf ab Stromzähler (vgl. Tabelle 5-5) stützt diese Vermutung.

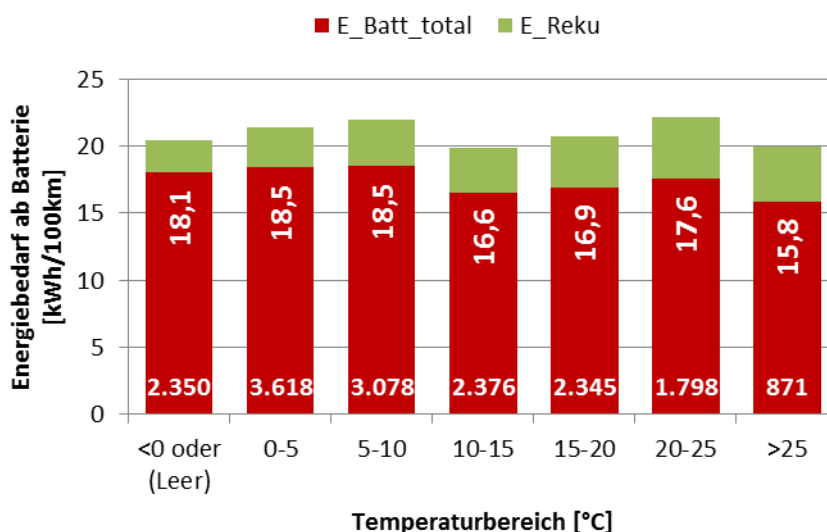


Abbildung 8-12: Zoe #100853 SSt Rielasingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

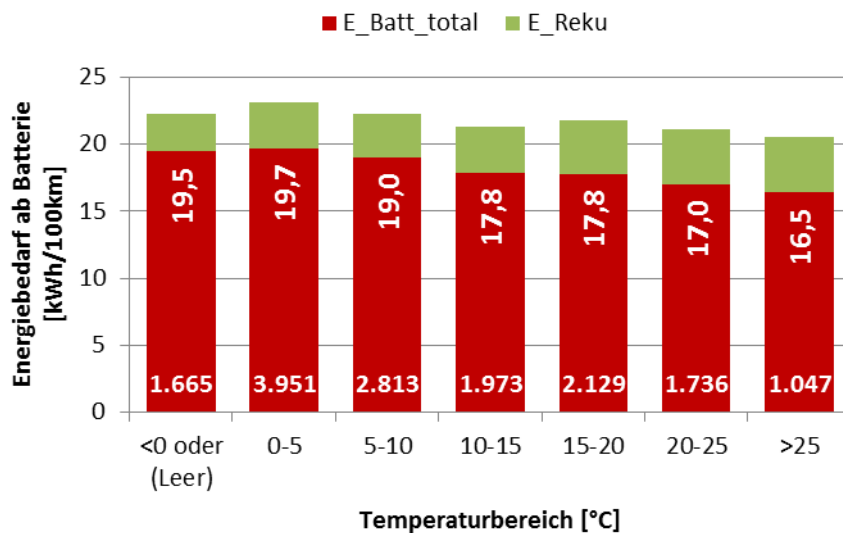


Abbildung 8-13: Zoe #100911 SSt Rielasingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

8.3.2.5. Renault Zoe Sozialstation St. Blasien #101560

Im in Abbildung 8-14 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 16,4 kWh/100km, maximal 20,7 kWh/100km und im **Mittel 18,0 kWh/100 km**. Zum Vergleich: der mittlere spez. Energiebedarf ab Hausanschluss (vgl. Tabelle 5-5, ermittelt für das Jahr 2015) betrug 22,5 kWh. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen im Bereich zwischen 20 und 30 km/h und damit höher als in der SSt Rielasingen, aber unter denen der Verrechnungsstellen.

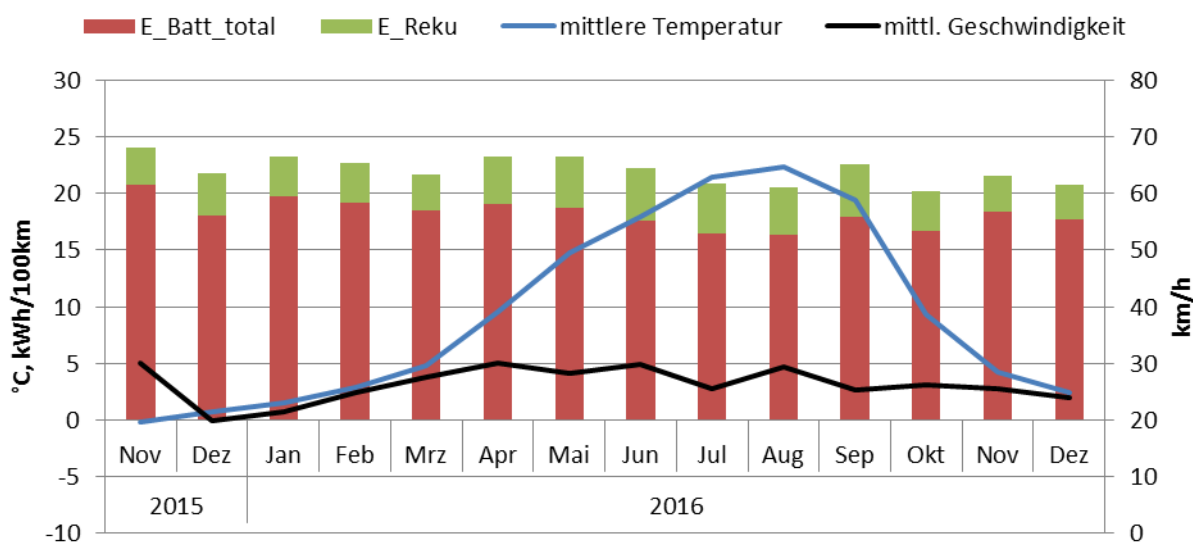


Abbildung 8-14: Zoe SSt St. Blasien, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

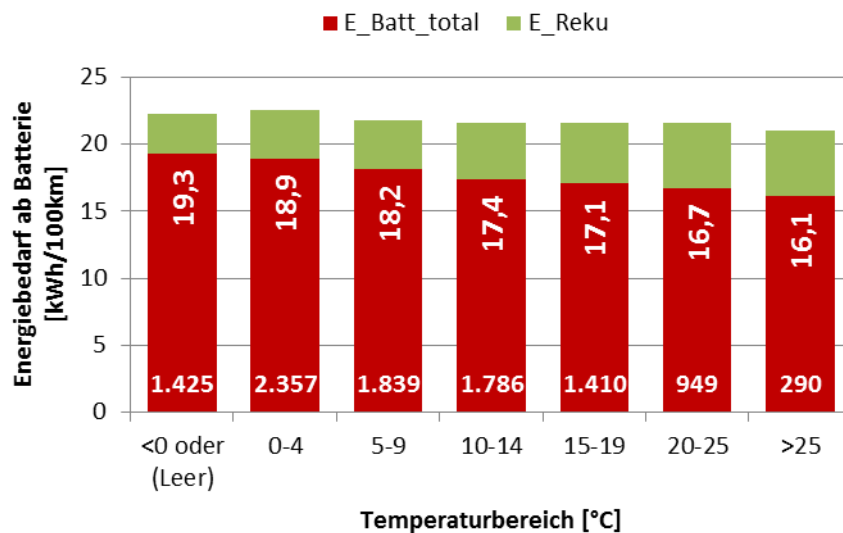


Abbildung 8-15: Zoe SSt St. Blasien, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

Abbildung 8-15 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellte sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen größer 25°C und der größte bei Temperaturen unter 0°C ein. Mit steigenden Temperaturen sinkt der Energiebedarf stetig. Die zurückgespeiste Bremsenergie nimmt sowohl absolut als auch relativ mit zunehmender Temperatur zu.

8.3.2.6. Renault Zoe Sozialstation Bad Säckingen #101566

Im in Abbildung 8-14 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 15,5 kWh/100km, maximal 18,7 kWh/100km und **im Mittel 17,4 kWh/100 km**. Zum Vergleich: der mittlere spez. Energiebedarf ab Hausanschluss (vgl. Tabelle 5-5, ermittelt für das Jahr 2015) betrug 25,8 kWh und war damit sehr groß. Dieser Unterschied lässt sich aus den Batterie-Energiebedarfen während der Fahrt nicht erklären, da hier der Verbrauch kleiner als z.B. in St. Blasien ist. Die hohen mittleren Ladezuständen des Bad Säckinger Fahrzeugs (vgl. Abbildung 8-3) lassen darauf schließen, dass das Fahrzeug häufig geladen wird und dabei auch beheizt wird, woraus sich der große Energiebedarf ab Stromzähler schlüssig erklären lässt. Die mittleren Geschwindigkeiten sind im Bereich zwischen 14 und 16 km/h und damit sehr klein.

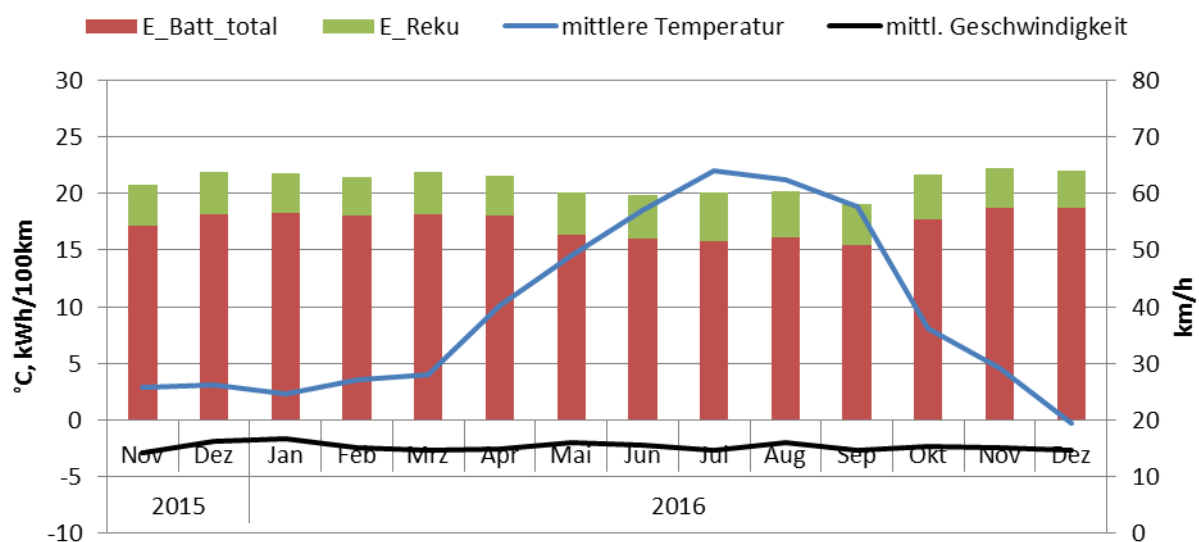


Abbildung 8-16: Zoe SSt Bad Säckingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

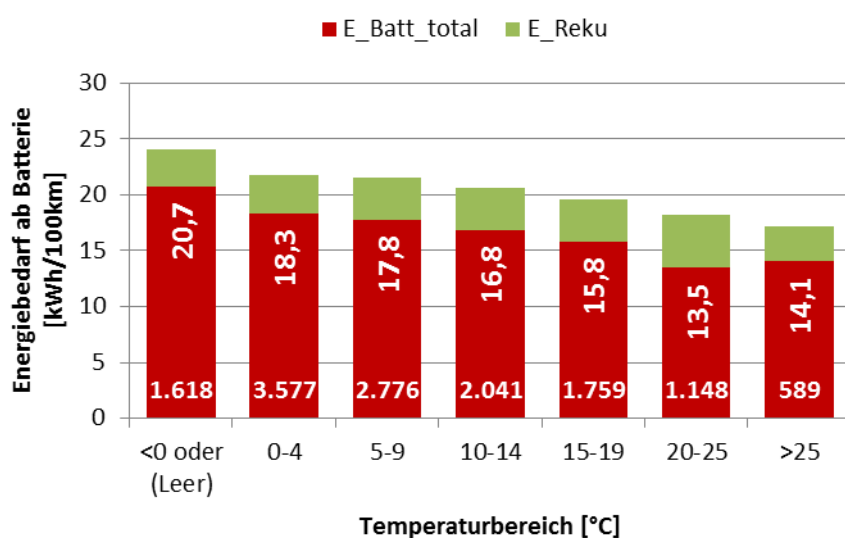


Abbildung 8-17: Zoe SSt Bad Säckingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

Abbildung 8-17 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellte sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen zwischen 20 und 25°C und der größte bei Temperaturen unter 0°C ein. Die zurückgespeiste Bremsenergie nimmt sowohl absolut als auch relativ mit zunehmender Temperatur zu, lediglich bei mehr als 25°C nimmt sie ab. Abnehmende Bremsenergie und Zunahme des Energiebedarfs bei mehr als 25°C lassen auf Nutzung der Klimaanlage schließen.

8.3.2.7. Renault Zoe Sozialstation Singen-Hegau #101980

Im in Abbildung 8-18 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 16,1 kWh/100km, maximal 18,6 kWh/100km und **im Mittel 17,2 kWh/100 km**. Zum Vergleich: der mittlere spez. Energiebedarf ab Hausanschluss (vgl. Tabelle 5-5, ermittelt für das Jahr 2016) betrug 18,9 kWh und war damit eher klein. Die mittleren Geschwindigkeiten sind im Bereich zwischen 29 und 36 km/h und damit im Vergleich zu anderen Sozialstationen groß.

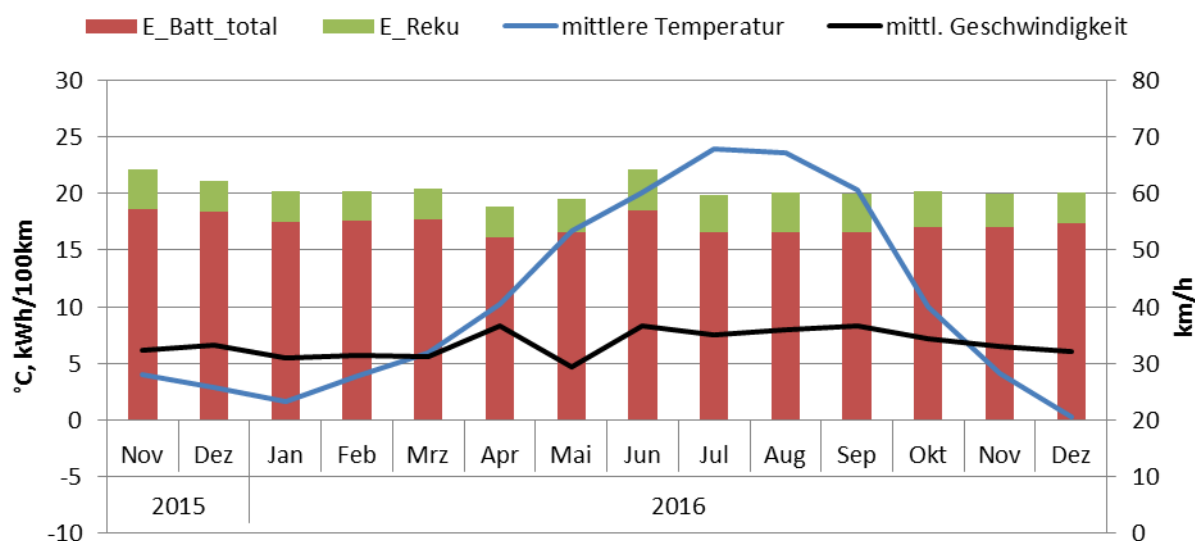


Abbildung 8-18: Zoe SSt Singen-Hegau, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

Abbildung 8-19 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellte sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen größer 25°C und der größte bei Temperaturen unter 5°C ein. Die zurückgespeiste Bremsenergie nimmt sowohl absolut als auch relativ mit zunehmender Temperatur zu.

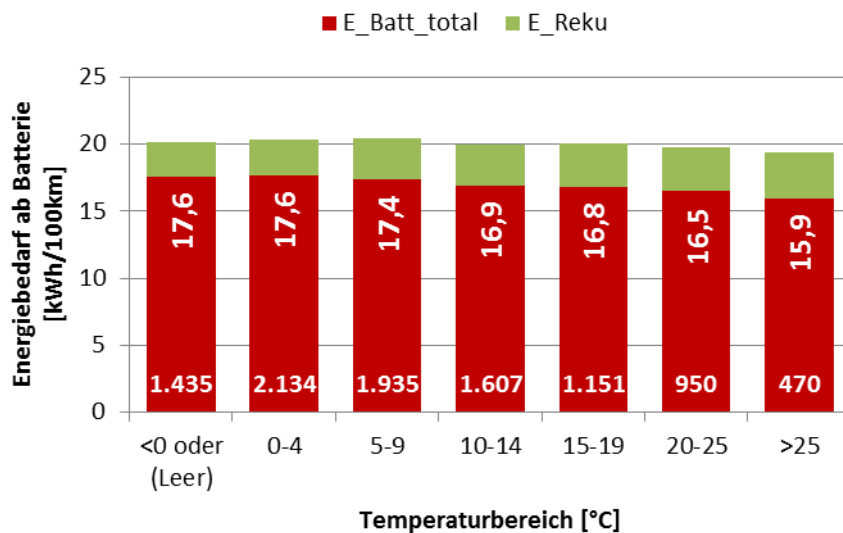


Abbildung 8-19: Zoe SSt Singen-Hegau, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

8.3.2.8. Renault Zoe Sozialstation Stockach #101981

Im in Abbildung 8-20 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 16,9 kWh/100km, maximal 19,6 kWh/100km und **im Mittel 18,4 kWh/100 km**. Der spez. Energiebedarf ab Hausanschluss wurde für dieses Fahrzeug nicht ermittelt. Die mittleren Geschwindigkeiten sind im Bereich zwischen 24 und 31 km/h und damit im oberen Bereich der Sozialstationen.

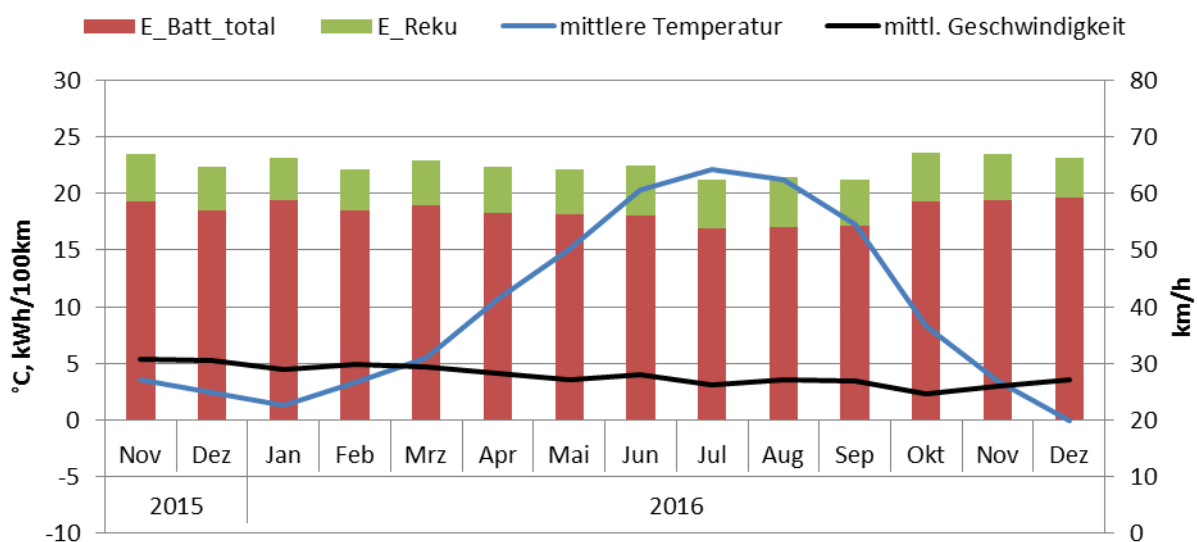


Abbildung 8-20: Zoe SSt Stockach, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

Abbildung 8-21 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellten sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen zwischen 20 und 25°C und der größte bei Temperaturen zwischen 0 und 5°C ein. Die zurückgespeiste Bremsenergie nimmt sowohl absolut als auch relativ mit zunehmender Temperatur zu, lediglich bei mehr als 25°C nimmt

sie ab. Abnehmende Bremsenergie und Zunahme des Energiebedarfs bei mehr als 25°C lassen auf Nutzung der Klimaanlage schließen.

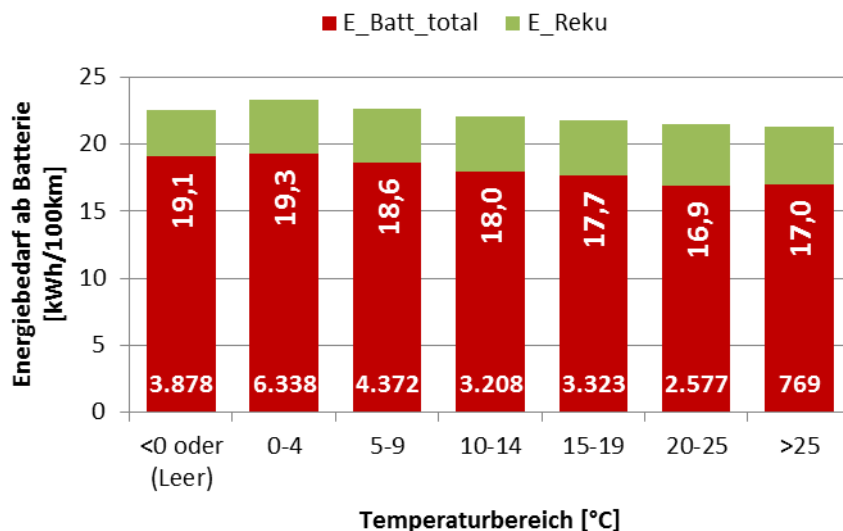


Abbildung 8-21: Zoe SSt Stockach, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

8.3.2.9. smart fortwo electric drive Sozialstation Freiburg #101996

Im in Abbildung 8-22 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 10,3 kWh/100km, maximal 21,2 kWh/100km und **im Mittel 14,4 kWh/100 km**. Der spez. Energiebedarf ab Hausanschluss in 2015 betrug 18,8 kWh/100km. Die mittleren Geschwindigkeiten sind im Bereich zwischen 18 und 22 km/h

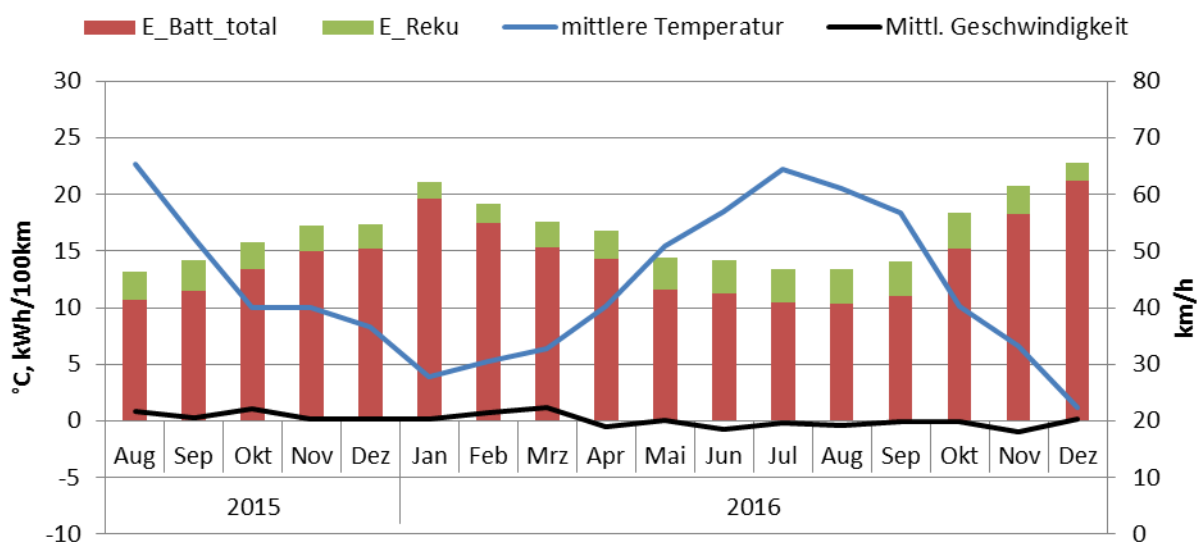


Abbildung 8-22: smart SSt Freiburg, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

Abbildung 8-23 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellten sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen zwischen 20 und 25°C und der größte bei Temperaturen kleiner 0°C ein. Die zurückgespeiste Bremsenergie ist im Temperaturbereich zwischen 15 und 20°C maximal, nimmt sowohl absolut als auch relativ mit zunehmender Temperatur leicht und mit abnehmender Temperatur stark ab. Insgesamt fällt die große Bandbreite der gemessenen Energiebedarfe auf, insbesondere mit abnehmenden Temperaturen nimmt der Energiebedarf des Fahrzeugs sehr stark zu. Ob das ausschließlich auf den Heizbedarf der Kabine zurückzuführen ist, ist zweifelhaft. Vermutlich besteht hier zusätzlicher Energiebedarf für die Konditionierung der Batterie.

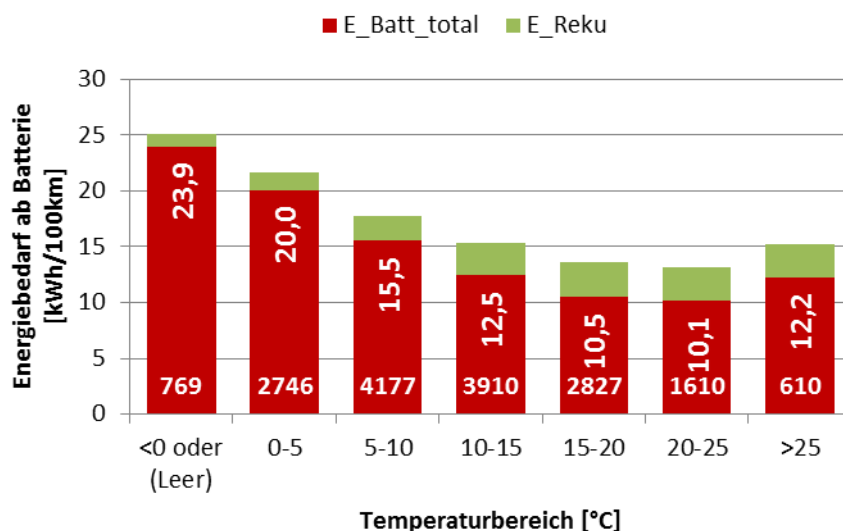


Abbildung 8-23: smart SSt Freiburg, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

8.3.2.10. smart fortwo electric drive Sozialstation Konstanz #102002

Im in Abbildung 8-24 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 11,7 kWh/100km, maximal 21,3 kWh/100km und **im Mittel 15,7 kWh/100 km**. In den Monaten September und Oktober 2016 wurden keine Daten aufgezeichnet. Der spez. Energiebedarf ab Hausanschluss in 2015 betrug 17,7 kWh/100km. Die mittleren Geschwindigkeiten sind im Bereich zwischen 23 und 25 km/h und damit größer als beim Freiburger smart.

Abbildung 8-25 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellten sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen zwischen 15 und 20°C und der größte bei Temperaturen kleiner 0°C ein. Die zurückgespeiste Bremsenergie ist im Temperaturbereich zwischen 20 und 25°C maximal, nimmt sowohl absolut als auch relativ mit zunehmender Temperatur leicht und mit abnehmender Temperatur stark ab. Insgesamt fällt auch hier die große Bandbreite der gemessenen Energiebedarfe auf, insbesondere mit abnehmenden Temperaturen nimmt der Energiebedarf des Fahrzeugs sehr stark zu. Ob das ausschließlich auf den Heizbedarf der

Kabine zurückzuführen ist, ist zweifelhaft. Vermutlich besteht auch hier zusätzlicher Energiebedarf für die Konditionierung der Batterie.

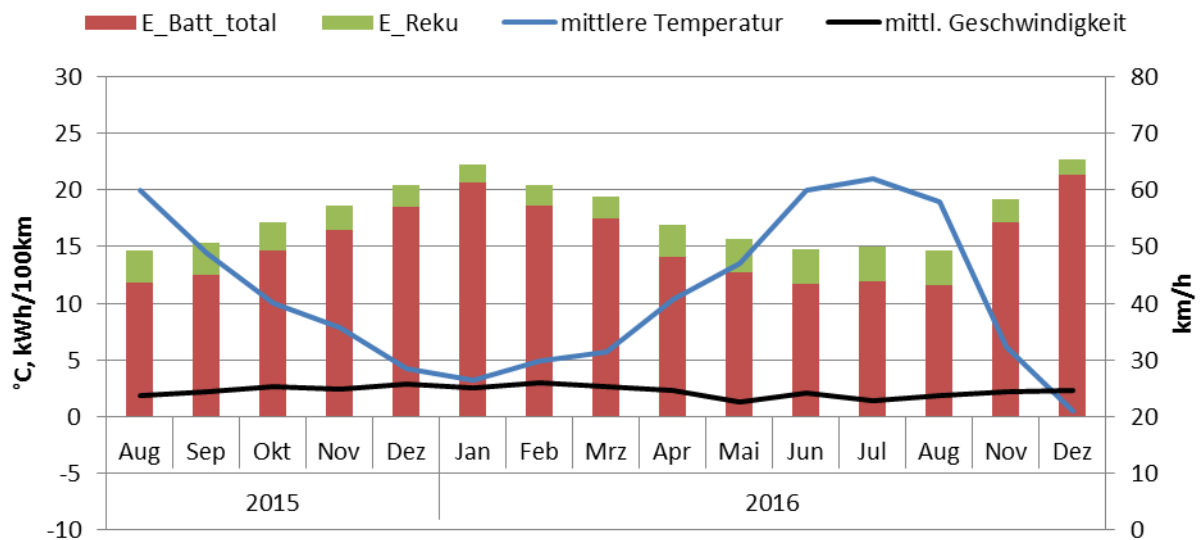


Abbildung 8-24: smart SSt Konstanz, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

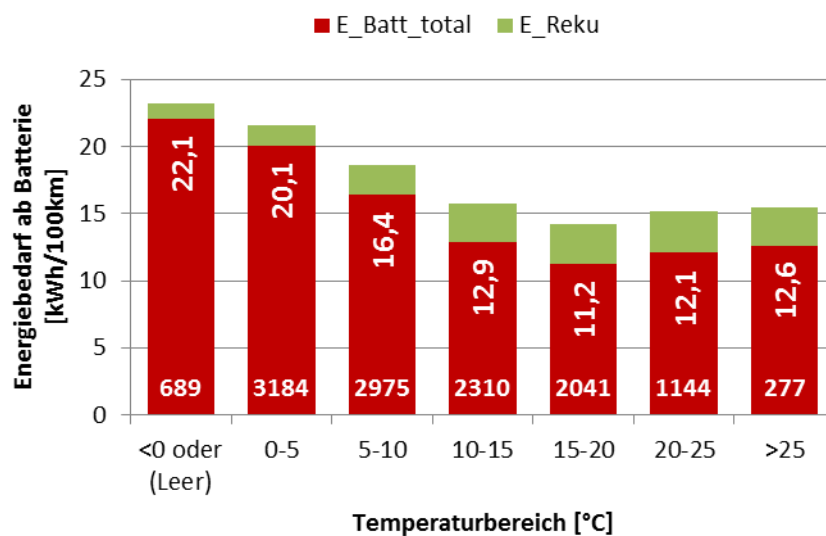


Abbildung 8-25: smart SSt Konstanz, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

8.3.2.11. VW e-Up! Sozialstation Engen #102051

Im in Abbildung 8-26 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 11,7 kWh/100km, maximal 14,7 kWh/100km und **im Mittel 13,1 kWh/100 km**. Der spez. Energiebedarf ab Hausanschluss in 2015 betrug 22,7 kWh/100km. Die mittleren Geschwindigkeiten sind im Bereich zwischen 15 und 21 km/h. Der große Unterschied zwischen Batterie- und Stromzählerenergiebedarf deutet auch hier auf einen großen Anteil an Heizen im Stillstand an der Ladestation hin.

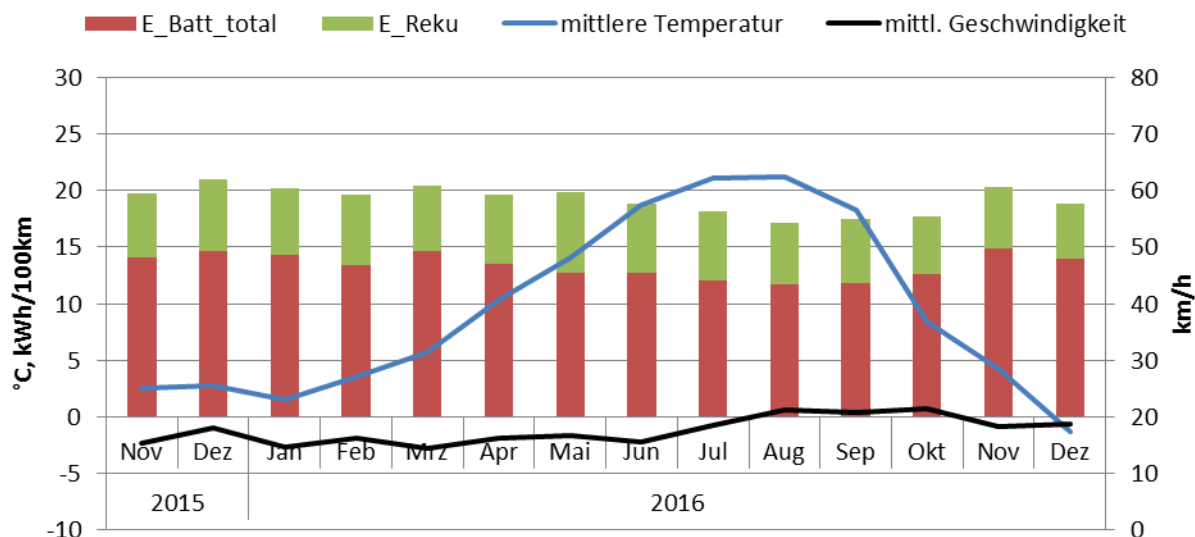


Abbildung 8-26: eUp! SSt Engen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

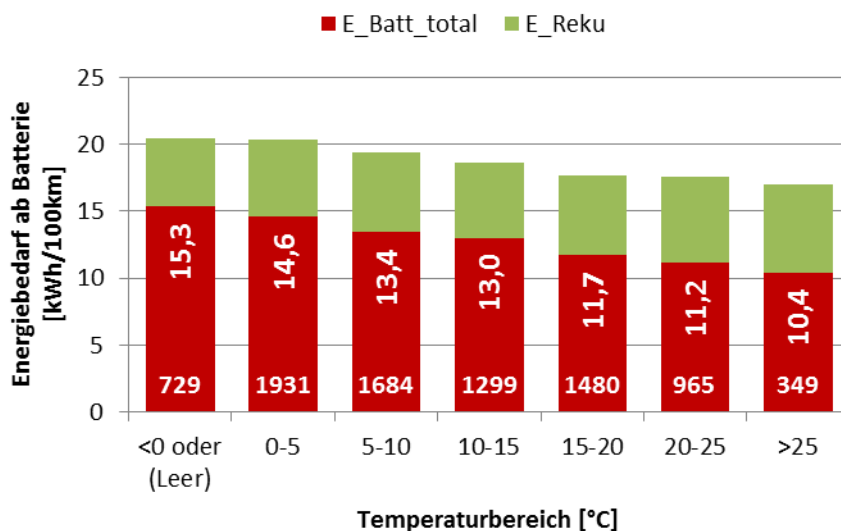


Abbildung 8-27: eUp! SSt Engen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

Abbildung 8-27 zeigt den Energiebedarf bei verschiedenen Temperaturen. Bei diesem Fahrzeug stellte sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen größer 25°C und der größte unter 0°C ein. Mit steigenden Temperaturen sinkt der Energiebedarf stetig. Die zurückgespeiste Bremsenergie nimmt sowohl absolut als auch relativ mit zunehmender Temperatur zu. Im Vergleich zu den anderen Fahrzeugtypen ist bei den eUp! die zurückgespeiste Bremsenergie laut Datenlogger sehr groß und der Energiebedarf im Vergleich zu ADAC-Werten sehr klein.

8.3.2.12. VW e-Up! Sozialstation Rielasingen #102074

Im in Abbildung 8-28 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie minimal 10,0 kWh/100km, maximal 12,8 kWh/100km und im **Mittel 11,3 kWh/100 km**. Der spez. Energiebedarf ab Hausanschluss in 2015 betrug 22,8 kWh/100km, allerdings nicht für den eUp! allein ermittelt. Die mittleren Geschwindigkeiten sind im Bereich zwischen 15 und 19 km/h.

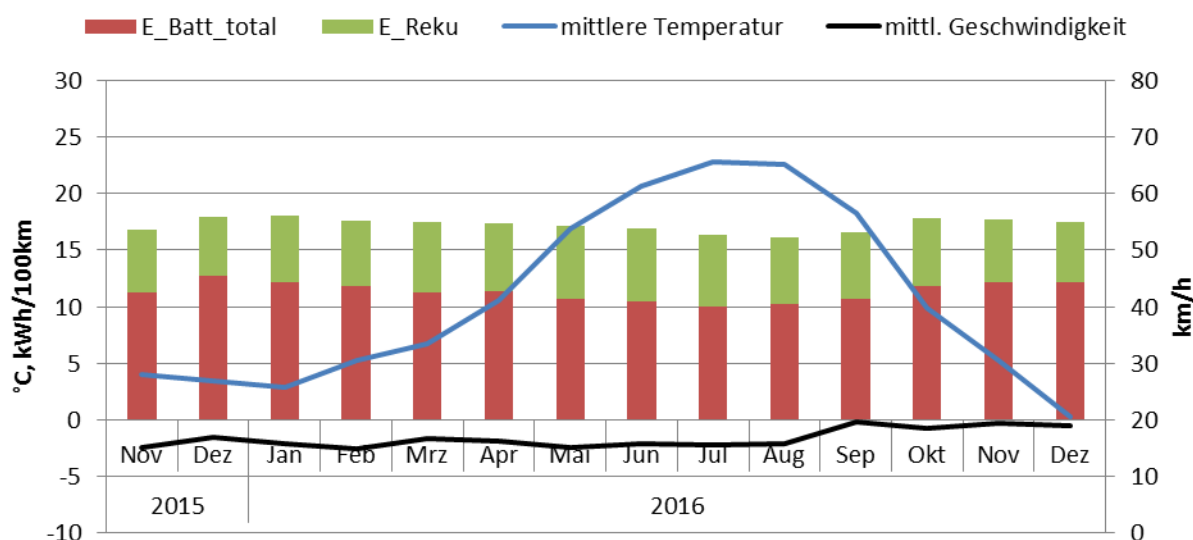


Abbildung 8-28: eUp! SSt Rielasingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

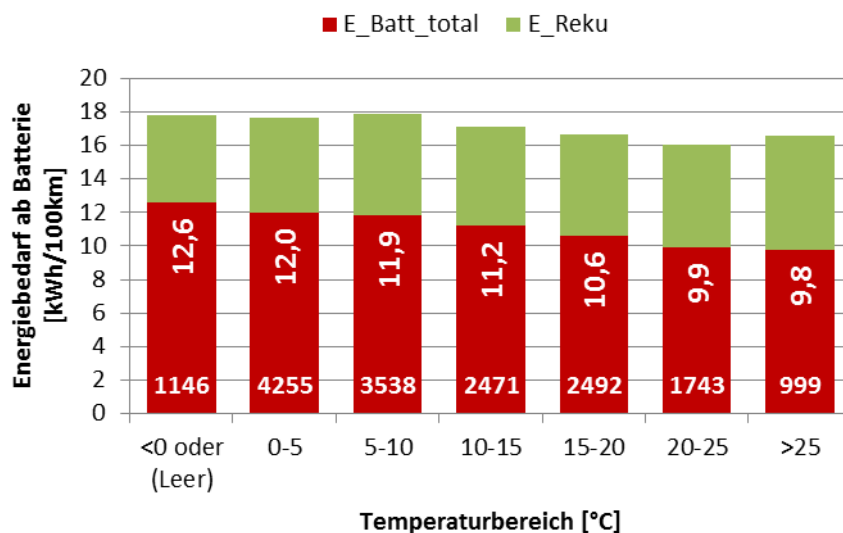


Abbildung 8-29: eUp! SSt Rielasingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

Abbildung 8-29 zeigt den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei diesem Fahrzeug stellte sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen größer 25°C und der größte bei Temperaturen unter 0°C ein. Im Vergleich zu den anderen Fahrzeugtypen ist bei den eUp! die zurückgespeiste Bremsenergie laut Datenlogger sehr groß und der Energiebedarf im Vergleich zu ADAC-Werten sehr klein.

8.3.2.13. VW e-Up! Sozialstation Konstanz #102274 und #102275

Im in Abbildung 8-30 und Abbildung 8-31 dargestellten Zeitraum betrug der spezifische Energiebedarf ab Batterie bei eUp! #102274 minimal 9,8 kWh/100km, maximal 12,2 kWh/100km und **im Mittel 10,9 kWh/100 km**, bei eUp! #102275 minimal 10,4 kWh/100km, maximal 12,8 kWh/100km und **im Mittel 11,1 kWh/100 km**. Der spez. Energiebedarf ab Hausanschluss in 2015 betrug 17,7 kWh/100km, allerdings gemeinsam für die beiden eUp! und eine smart ermittelt. Die mittleren Geschwindigkeiten sind beim ersten eUp! mit 14 bis 21 km/h geringer als beim zweiten mit 19 bis 26 km/h.

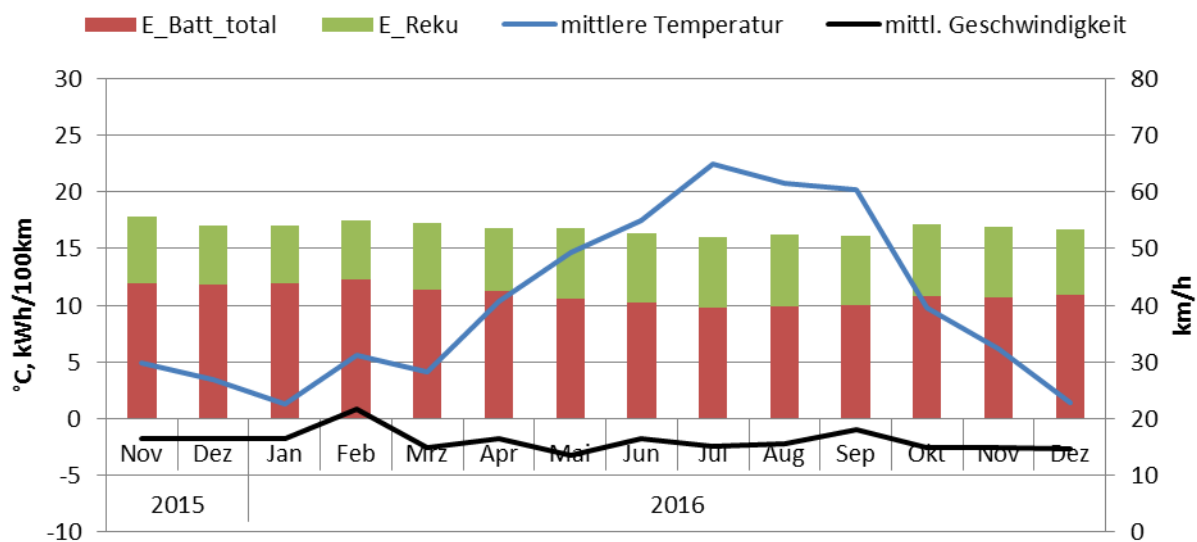


Abbildung 8-30: eUp! #102274 SSt Konstanz, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

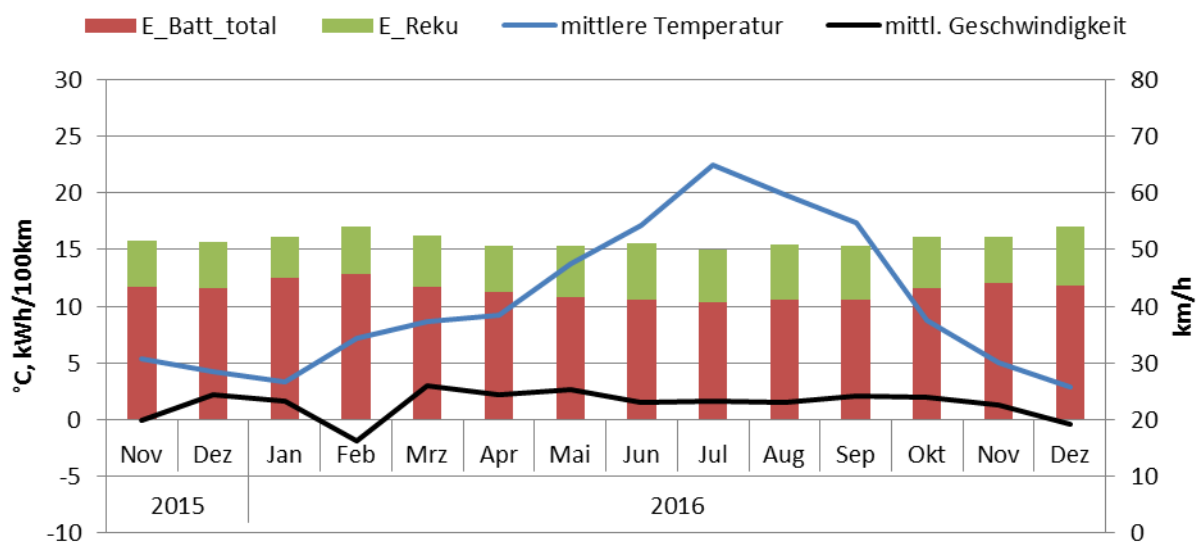


Abbildung 8-31: eUp! #102275 SSt Konstanz, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten

Abbildung 8-32 und Abbildung 8-33 zeigen den Energiebedarf in den verschiedenen Temperaturklassen. Bei beiden Fahrzeugen stellte sich der geringste Gesamt-Energiebedarf bei Temperaturen größer 25°C ein. Beim ersten eUp! ist der größte Energiebedarf bei Temperaturen zwischen 0 und 5°C, beim zweiten bei weniger als 0°C festzustellen. Im Vergleich zu den anderen Fahrzeugtypen ist auch bei diesen beiden eUp! die zurückgespeiste Bremsenergie laut Datenlogger sehr groß und der Energiebedarf im Vergleich zu ADAC-Werten sehr klein.

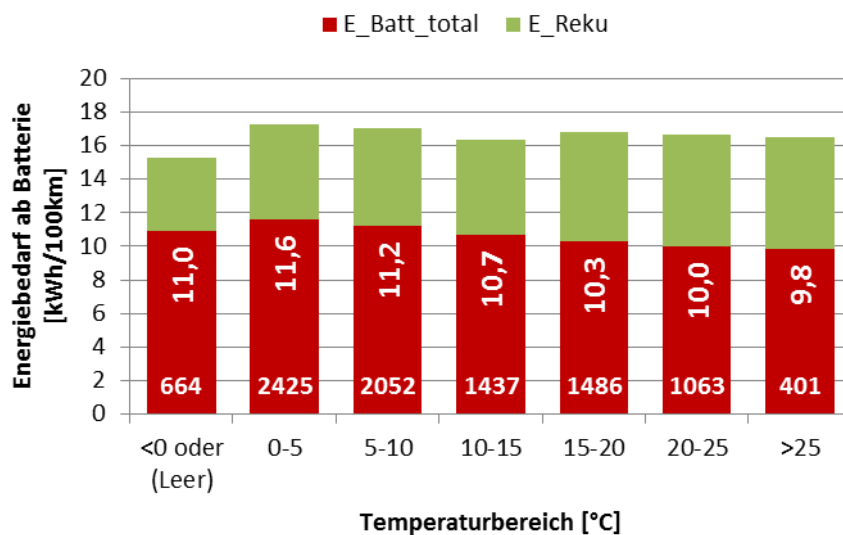


Abbildung 8-32: eUp! #102274 SSt Konstanz, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

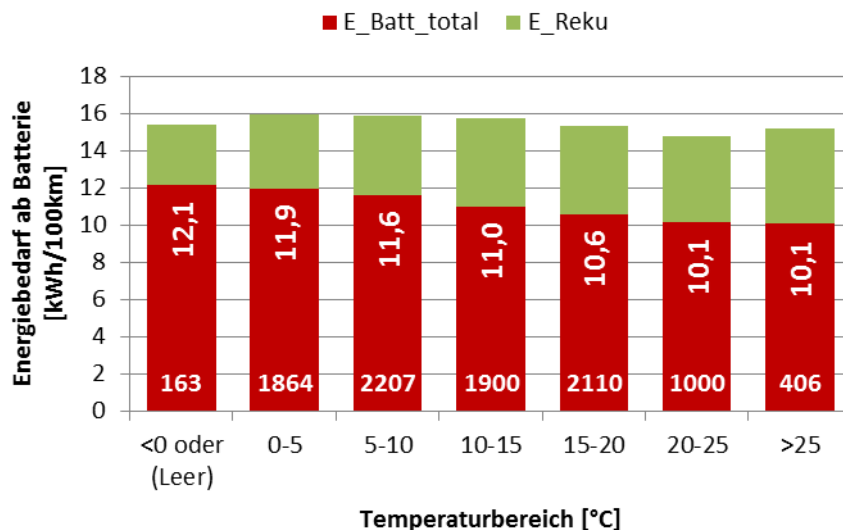


Abbildung 8-33: eUp! #102275 SSt Konstanz, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie

8.3.3. Zusammenfassung Temperaturabhängigkeit Energiebedarf

Die statistische Auswertung der temperaturabhängigen Energiebedarfe ab Batterie für alle Fahrzeuge ist in Abbildung 8-34 dargestellt. Dabei wurde für jedes Fahrzeug festgelegt, dass der Energiebedarf der Temperaturklasse 10 bis 15°C dem Referenzwert 100% entspricht. Somit stellt das Diagramm dar, wie große die Abweichungen von diesem Referenzwert sein können und im Mittel sind. Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Energiebedarf mit abnehmenden Temperaturen zunimmt, wobei die beiden smart-Fahrzeuge für die jeweiligen größten Abweichungen nach oben verantwortlich sind.

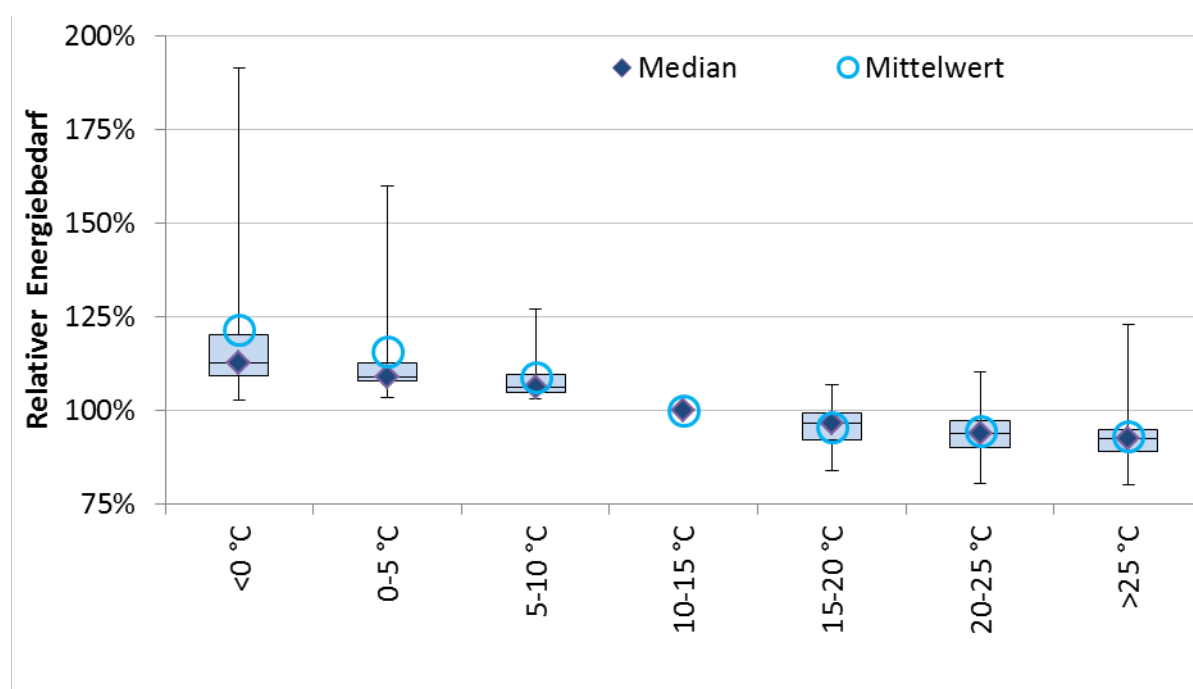


Abbildung 8-34: Änderung des Gesamt-Energiebedarfs ab Batterie gegenüber Referenzklasse 10-15°C

Bei zunehmenden Temperaturen ist das Bild nicht so einheitlich. Insgesamt scheint der Einfluss der Temperatur kleiner zu werden, gleichzeitig nimmt aber auch die Streuung zu. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei Nutzung der Klimaanlage der Energiebedarf durchaus auch wieder ansteigen kann, insbesondere dann, wenn langsam gefahren wird und somit der Anteil der Klimatisierungsenergie gegenüber dem Energieaufwand für die Bewegung des Fahrzeugs ansteigt.

Abbildung 8-35 zeigt die statistische Auswertung der Veränderung in der Bremsenergieerückspeisung, wie oben bezogen auf den Referenzwert je Fahrzeug in der Temperaturklasse 10 bis 15°C. Mit abnehmender Temperatur kommt es zur Reduzierung der zurückgespeisten Energie, typisch sind etwa 10% weniger Bremsenergie bei 10°C weniger. Für die Ausreißer nach unten sind die smart verantwortlich. Mit zunehmender Temperatur steigt die zurückgespeiste Bremsenergie meist an, typisch um etwa 15% bei Temperaturzunahme um 10°C. Allerdings ist hier die Bandbreite groß, weil es bei exzessiver Klimaanlageennutzung zu erhöhtem Energiebedarf kommen kann und die Bremsenergie

somit nicht der Batterie, sondern direkt dem Verbraucher Klimaanlage oder Batterie-Thermomanagementsystem zugeführt wird.

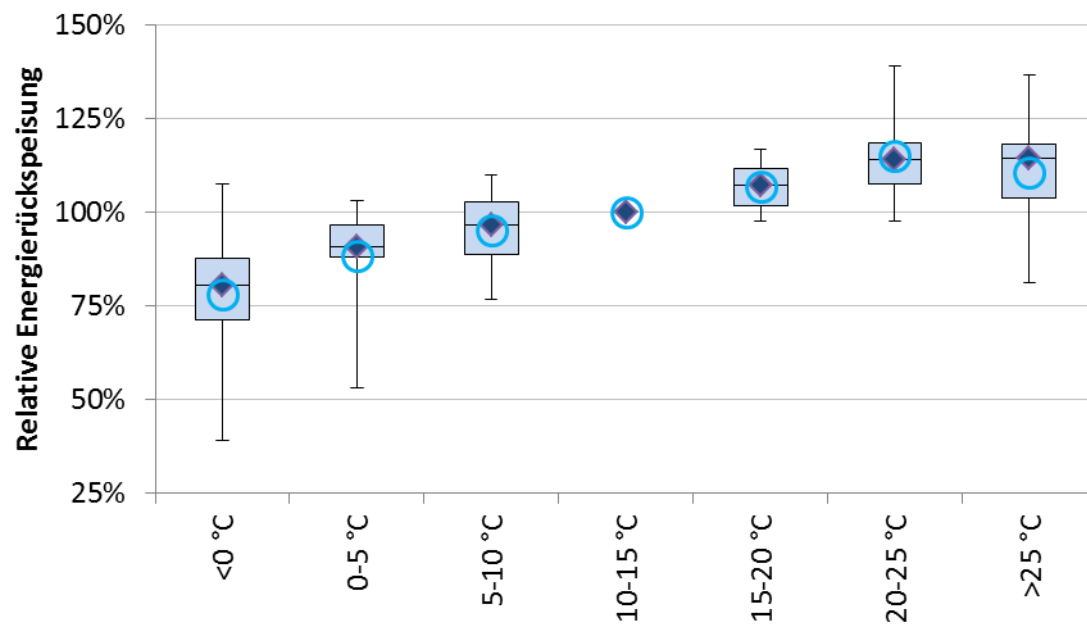


Abbildung 8-35: Änderung des Rückspeiseenergie an Batterie gegenüber Referenzklasse 10-15°C

9. Zusammenfassung

Basierend auf dem Forschungsprojekt „InitiativE-BW“ wurde in Verbindung mit dem Projekt „elektrisch mobil“ das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte beauftragt, zusätzlich zu den Inhalten des „InitiativE-BW“-Projekts die 15 E-Fahrzeuge aus den Flotten der kirchlichen Sozialstationen und Verrechnungsstellen über das Jahr hinweg detailliert zu untersuchen. Bei den Fahrzeugen handelte es sich um 9 Renault Zoe Z.E., 4 Volkswagen e-up! und 2 smart fortwo electric drive. Gegenstand der Analyse waren Nutzererfahrungen, Energiebedarf, CO₂-Emissionen und Kosten bzw. Wirtschaftlichkeit. Als Datenquellen wurden dazu vor allem Aufzeichnungen aus Fahrtenbüchern und Buchungseinträgen und Nutzerbefragungen mit Hilfe von Online-Fragebögen und Erfahrungsberichten genutzt, zu einem kleineren Teil auch die Daten aus On-Board-Diagnosis-(OBD)-Fahrzeugloggern. Die Datenbasis basiert im Wesentlichen auf Aufzeichnungen und Erhebungen aus dem Kalenderjahr 2015.

Die Auswertung der Befragungen und des Nutzerworkshops zeigten, dass die Nutzer mit ihren Elektrofahrzeugen zufrieden sind und diese gerne fahren, trotz Einschränkungen in Ihrer Reichweite und gelegentlichen technischen oder logistischen Problemen, z.B. beim Laden. Sowohl die Sozialstationen als auch die Verrechnungsstellen wollen auch in Zukunft E-Fahrzeuge für ihre Flotten nutzen. Zu Beginn des Projekts hatten nur wenige Nutzer bereits Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen sammeln können. Nach einem Jahr konnten alle Nutzer eine klarere Einschätzung der Vor- und Nachteile dieses Fahrzeugantriebs geben (z.B. Geräuscharmheit, Fahrspaß oder Wintertauglichkeit). Die Reaktionen des Umfelds, beispielsweise durch Kunden, sind überwiegend positiv. Die E-Fahrzeuge werden als Aufwerter für das Image der Einrichtungen gesehen. Die Frage nach einer Neubeschaffung von Elektrofahrzeugen für diesen sozial-kirchlichen Einsatzzweck wurde klar bestätigt, allerdings wird in der näheren Zukunft eine private Beschaffung eher nicht angestrebt.

Die notwendige Installation der Ladeinfrastruktur erwies sich technisch, organisatorisch und rechtlich als sehr aufwändig. Der Zeitaufwand war nicht unerheblich. In drei von 11 Fällen musste der Hausanschluss erneuert werden, was ungeplant hohe Kosten nach sich zog. Es zeigte sich, dass für diesen gewerblichen Einsatzzweck eine hohe Reichweite nicht unbedingt erforderlich ist, dafür aber eine hohe Ladeleistung, um untätiges, schnelles Laden zu ermöglichen. Die Nutzung des Ladepunkt-Providers ubitricity erwies sich im gegebenen Rahmen als nicht passend, da die Dienstleistung zu wenig nachgefragt wurde. Insgesamt lässt sich festhalten, dass das Thema Ladeinfrastruktur auf jeden Fall werden vor der Fahrzeugbeschaffung geklärt werden sollte. Die Analyse des Ladens über eine PV-Eigenstromversorgung zeigte, dass dieses Modell passend sein kann, wenn die entsprechenden Voraussetzungen (Ladezeitpunkte, Ertragszeiten) gegeben sind.

Die Analyse von Kosten und Wirtschaftlichkeit zeigt, dass die Leasingkosten²⁹ (d.h. Anschaffungskosten inklusive erwartetem Restwert) das Gros der Gesamtkosten ausmacht. Der Kfz-Steuvorteil für Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen ist hierbei bei diesen kleinen Fahrzeugklassen vernachlässigbar. Im Vergleich zu den konventionellen Diesel- und Benzinfahrzeugen aus den Flotten der Sozialstationen sind die Energiekosten zwar günstiger, jedoch ist der Unterschied bei den aktuellen Kraftstoffpreisen zu gering, um die hohen Anschaffungskosten auszugleichen.

Ohne Förderung seitens BMUB, der Erzdiözese Freiburg und der Energieversorger (Ladeinfrastruktur) sind die E-Fahrzeug-Kosten pro Kilometer im Vergleich zu ihren konventionellen Counterparts bei gleichen Fahrleistungen immer höher. Im Extremfall, bei niedrigen E-Fahrzeugfahrleistungen und hohen Fahrleistungen der konventionellen Fahrzeuge, können die kilometerbezogenen E-Fahrzeugkosten drei- bis viermal höher ausfallen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht, d.h. inklusive der Förderbeiträge, ist die Nutzung von Elektrofahrzeugen hingegen durchaus wirtschaftlich, da hierdurch Kostentreiber eliminiert werden konnten. Der Förderzuschuss des BMUB im Rahmen des Projekts „InitiativE-BW“ reichte hierfür allerdings allein nicht aus und musste durch eine Förderung seitens des Erzbischöflichen Ordinariats Freiburg ergänzt werden.

Durch die Verwendung eines regenerativen Strommixes während des Betriebs der Elektrofahrzeuge fiel die CO₂-Emissionsbilanz aus der Nutzung im Vergleich zu konventionellen Diesel- und Benzinfahrzeugen deutlich positiv aus. Durch die Herstellung der Elektrofahrzeuge, im Besonderen der Traktionsbatterie, entstehen Mehremissionen an CO₂, die sich allerdings innerhalb der Leasingdauer von drei Jahren amortisieren. Bei einer Weiterverwendung dieser Fahrzeuge durch einen anderen Nutzer (als Gebrauchtwagen) ist damit der „ökologische Rucksack“ der Fahrzeuge bereits verschwunden. Würde statt des regenerativen Strommixes der deutsche Strommix verwendet, fiel die Bilanz allerdings schlechter aus und die Amortisation der anfänglich höheren Emissionen aus der Herstellung würde entsprechend länger dauern.

Mittels der über das Projekt „InitiativE-BW“ verbauten Datenlogger ließen sich darüber hinaus über den Anfangs- und Endladezustand der Traktionsbatterie noch Energieentnahme und -zufuhr berechnen. Hierbei zeigt sich, dass die hier betrachteten Nutzer häufig ihren Ladevorgang bei Ladezuständen kleiner etwa 40 % einleiten. Bei allen betrachteten Fahrzeugen nahm der Energiebedarf mit abnehmenden Außentemperaturen zu (zunehmender Heizbedarf), bei zunehmenden Umgebungstemperaturen ergab sich hingegen ein weniger einheitliches Bild. Passend dazu kommt es mit abnehmenden Außentemperaturen auch zu einer Reduzierung der zurückgespeisten Energie.

In Kombination mit Ladeprotokollen, die von den Fahrzeugnutzern der Sozialstationen und Verrechnungsstellen in mehreren Messkampagnen erstellt wurden, wurden sog. Ladekennzahlen in

²⁹ Die hier gewählten Leasingverträge basieren auf einer geschätzten Laufleistung plus eines zu erwartenden Restwerts des Fahrzeugs zum Ende der Leasingdauer (sog. Restwertleasing).

Wh/%SOC definiert und ermittelt. Auf dieser Basis wurden für jede Kombination von Fahrzeugtyp und Ladestation der resultierende Zuschlag berechnet, der zur Ermittlung des Lade-Strombedarfs ab Energieversorger aus den im Fahrzeugdisplay angezeigten Energiebedarfswerten angesetzt werden kann. Hiermit sind alle Wirkungsgradverluste und die während der Erfassung der Ladevorgänge aktiven Verbraucher abgedeckt.

Zusammenfassend lässt sich aus den Projektergebnissen heraus feststellen, dass zur Verbreitung der Elektromobilität und der Gewinnung praktischer Erfahrungen gewerblichen Flotten prädestiniert sind. Hier können die momentan noch vorhandenen Einstiegshürden (z.B. Anschaffungskosten, Ladeinfrastruktur oder Reichweiteneinschränkung) besser bewältigt werden, als das im privaten Nutzungsbereich möglich wäre.

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Standorte der E-Fahrzeugflotte des erzbischöflichen Ordinariats Freiburg	8
Abbildung 2-2: Übergabe der Elektrofahrzeuge an die Sozialstationen am 25. September 2014 beim Kloster Birnau am Bodensee (Quelle: Tobias Heink / Erzbistum Freiburg)	9
Abbildung 2-3: Die Katholische Sozialstation Freiburg erhält im Mai 2015 einen Smart electric drive (Quelle: Roger Köppe / Erzbistum Freiburg)	10
Abbildung 2-4: Der Renault Zoe Z.E. der Sozialstation St. Blasien ist auch im winterlichen Schwarzwald ein treuer Begleiter (Quelle: Roger Köppe / Erzbistum Freiburg)	11
Abbildung 2-5: Die Caritas Altenhilfe in Konstanz besucht ihre Kunden im VW e-up (Quelle: Tobias Heink / Erzbistum Freiburg)	12
Abbildung 2-6: Einsatzgebiet Renault Zoe der VSt. Riegel	14
Abbildung 2-7: Einsatzgebiet Renault Zoe der VSt. Stegen	15
Abbildung 2-8: Einsatzgebiet Renault Zoe der VSt. Villingen	16
Abbildung 2-9: Einsatzgebiet Renault Zoe der Sozialstation Stockach	18
Abbildung 2-10: Einsatzgebiet VW e-up! der Sozialstation Rielasingen	19
Abbildung 2-11: Einsatzgebiet Renault Zoe 1 der Sozialstation Rielasingen	19
Abbildung 2-12: Einsatzgebiet Renault Zoe 2 der Sozialstation Rielasingen	20
Abbildung 2-13: Einsatzgebiet VW e-up! 1 der Sozialstation Konstanz	21
Abbildung 2-14: Einsatzgebiet smart fortwo electric drive der Sozialstation Konstanz	21
Abbildung 2-15: Einsatzgebiet VW e-up! 2 der Sozialstation Konstanz	22
Abbildung 2-16: Einsatzgebiet VW e-up! der Sozialstation Engen	23
Abbildung 2-17: Einsatzgebiet Renault Zoe der Sozialstation Singen-Hegau	24
Abbildung 2-18: Einsatzgebiet smart fortwo electric drive der Sozialstation Freiburg	25
Abbildung 2-19: Einsatzgebiet Renault Zoe der Sozialstation St. Blasien	26
Abbildung 2-20: Einsatzgebiet Renault Zoe der Sozialstation Bad Säckingen	27
Abbildung 3-1: Ladekennzahlen Renault Zoe für die 3 Messkampagnen	32
Abbildung 3-2: Mittlere Ladekennzahl, resultierende Energiemenge für 100%-Ladung und tatsächliche Batteriekapazität	33
Abbildung 3-3: Ladekennzahlen smart fortwo electric drive und VW e-up! für die 3 Messkampagnen	33
Abbildung 3-4: Mittlere Ladekennzahl, resultierende Energiemenge für 100%-Ladung und tatsächliche Batteriekapazität	34
Abbildung 3-5: Verrechnungsstellen: Energieverbrauch durch Heimpladen	36
Abbildung 4-1: Verwendete Datenquellen für die Nutzerbefragungen	37
Abbildung 4-2: Verrechnungsstellen (N=19): Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen zu Beginn der Nutzung	40
Abbildung 4-3: Verrechnungsstellen: Erwartungen an Fahrverhaltensänderungen durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen	41
Abbildung 4-4: Verrechnungsstellen (N=18): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. Umweltauswirkungen, Wirtschaftlichkeit, gesellschaftlicher Wahrnehmung und Tauglichkeit; Werte	

der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser.....	42
Abbildung 4-5: Verrechnungsstellen (N=18): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. technischer Eigenschaften; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser	43
Abbildung 4-6: Verrechnungsstellen (N=16): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. ihrer Kosten und des Lade-/Wartungsaufwands; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich niedriger, 2: überwiegend niedriger, 3: eher niedriger, 4: gleich, 5: eher höher, 6: überwiegend höher, 7: deutlich höher.....	44
Abbildung 4-7: Verrechnungsstellen (N=18): Erwartungen an Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf Unternehmensimage und Mitarbeiterbindung; Werte der vertikalen Achse: 1: stimme gar nicht zu, 2: stimme überwiegend nicht zu, 3: stimme eher nicht zu, 4: teils/teils, 5: stimme eher zu, 6: stimme überwiegend zu, 7: stimme voll und ganz zu.....	45
Abbildung 4-8: Verrechnungsstellen: Nach einem Nutzungsjahr - Fahrverhaltensänderungen durch E-Fahrzeuge	46
Abbildung 4-9: Verrechnungsstellen (N=20): Kundenreaktionen (links) und Zufriedenheit (rechts) nach einem Nutzungsjahr.....	47
Abbildung 4-10: Verrechnungsstellen: Ausweichnotwendigkeit (links) und Ausweichanzahl (rechts) auf konventionelle Fahrzeuge innerhalb des Nutzungsjahres.....	48
Abbildung 4-11: Verrechnungsstellen: Erwartungen zu Beginn der Nutzung im Vergleich zu Erfahrungen nach einem Nutzungsjahr bzgl. technischer Eigenschaften (N=14) - hellblauer Kreis stellt Medianwerte der Befragung zu Beginn dar; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser	49
Abbildung 4-12: Verrechnungsstellen (N=14): Erwartungen zu Beginn der Nutzung im Vergleich zu Erfahrungen nach einem Nutzungsjahr bzgl. der Auswirkungen von E-Fahrzeugen auf das Image des Unternehmens - hellblauer Kreis stellt Medianwerte der Befragung zu Beginn dar; Werte der vertikalen Achse: 1: stimme gar nicht zu, 2: stimme überwiegend nicht zu, 3: stimme eher nicht zu, 4: teils/teils, 5: stimme eher zu, 6: stimme überwiegend zu, 7: stimme voll und ganz zu	50
Abbildung 4-13: Verrechnungsstellen (N=20): Einschätzung der Eignung von Elektrofahrzeugen für gewerbliche Zwecke (links) und Wahrscheinlichkeit einer privaten Anschaffung (rechts).....	51
Abbildung 4-14: Verrechnungsstellen (N=20): Zufriedenheit mit den E-Fahrzeugen nach einem Nutzungsjahr im Vergleich der Verrechnungsstellen untereinander.....	52
Abbildung 4-15: Sozialstationen (N=64): Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen zu Beginn der Nutzung	53
Abbildung 4-16: Sozialstationen: Erwartungen an Fahrverhaltensänderungen durch E-Fahrzeuge....	54
Abbildung 4-17: Sozialstationen (N=52): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. Umweltauswirkungen, Wirtschaftlichkeit, gesellschaftlicher Wahrnehmung und Tauglichkeit; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser	55

Abbildung 4-18: Sozialstationen (N=43): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. technischer Eigenschaften; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser	56
Abbildung 4-19: Sozialstationen (N= 39): Erwartungen an E-Fahrzeuge bzgl. ihrer Kosten und des Lade-/Wartungsaufwands; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich niedriger, 2: überwiegend niedriger, 3: eher niedriger, 4: gleich, 5: eher höher, 6: überwiegend höher, 7: deutlich höher.....	57
Abbildung 4-20: Sozialstationen (N=48): Erwartungen an Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf Unternehmensimage und Mitarbeiterbindung; Werte der vertikalen Achse: 1: stimme gar nicht zu, 2: stimme überwiegend nicht zu, 3: stimme eher nicht zu, 4: teils/teils, 5: stimme eher zu, 6: stimme überwiegend zu, 7: stimme voll und ganz zu.....	58
Abbildung 4-21: Sozialstationen: Nach einem Nutzungsjahr: Fahrverhaltensänderungen durch E-Fahrzeuge	59
Abbildung 4-22: Sozialstationen: Zufriedenheit mit E-Fahrzeugen, Kundenreaktionen (N=47).....	60
Abbildung 4-23: Sozialstationen: Ausweichnotwendigkeit (links) und Ausweichanzahl (rechts) auf konventionelle Fahrzeuge innerhalb des Nutzungsjahres.....	61
Abbildung 4-24: Sozialstationen: Erwartungen zu Beginn der Nutzung im Vergleich zu Erfahrungen nach einem Nutzungsjahr bzgl. technischer Eigenschaften (N=31) – hellblaue Kreise stellen Medianwerte der Befragung zu Beginn dar; Werte der vertikalen Achse: 1: deutlich schlechter, 2: überwiegend schlechter, 3: eher schlechter, 4: gleich, 5: eher besser, 6: überwiegend besser, 7: deutlich besser	62
Abbildung 4-25: Sozialstationen (N=31): Erwartungen zu Beginn der Nutzung im Vergleich zu Erfahrungen nach einem Nutzungsjahr bzgl. der Auswirkungen von E-Fahrzeugen auf das Image des Unternehmens – hellblaue Kreise stellen Medianwerte der Befragung zu Beginn dar; Werte der vertikalen Achse: 1: stimme gar nicht zu, 2: stimme überwiegend nicht zu, 3: stimme eher nicht zu, 4: teils/teils, 5: stimme eher zu, 6: stimme überwiegend zu, 7: stimme voll und ganz zu	63
Abbildung 4-26: Sozialstationen: Einschätzung der Eignung von Elektrofahrzeugen für gewerbliche Zwecke (links, N=47) und Wahrscheinlichkeit einer privaten Anschaffung (rechts, N=44)	64
Abbildung 5-1: Verwendete Datenquellen für die Erhebung der Jahreskilometer, des Energiebedarfs und der Kosten	71
Abbildung 5-2: Verrechnungsstellen: Gefahrene Kilometer in 2015.....	72
Abbildung 5-3: Verrechnungsstelle Riegel: Touren in 2015 nach Tourenkilometern und Tourenanzahl (Quelle: Auswertung Fahrtenbücher)	73
Abbildung 5-4: Verrechnungsstelle Stegen: Touren in 2015 nach Tourenkilometern und Tourenanzahl (Quelle: Auswertung Fahrtenbücher)	74
Abbildung 5-5: Verrechnungsstelle Villingen: Touren in 2015 nach Tourenkilometern und Tourenanzahl (Quelle: Auswertung Fahrtenbücher).....	74
Abbildung 5-6: Verrechnungsstelle Stühlingen: Touren in 2015 nach Tourenkilometern und Tourenanzahl (Quelle: Auswertung Fahrtenbücher).....	75
Abbildung 5-7: Verrechnungsstellen: Fahrzeugspezifischer Energieverbrauch in kWh/100 km im Jahr 2015	77

Abbildung 5-8: Sozialstationen: Jahreslaufleistungen in 2015 (CV Singen-Hegau: 2016)	82
Abbildung 5-9: Sozialstationen: Fahrzeugspezifischer Energieverbrauch in kWh/100 km im Jahr 2015 (CV Singen-Hegau: 2016)	84
Abbildung 5-10: Ausrichtung der PV-Anlage am Standort Verrechnungsstelle Riegel	93
Abbildung 5-11: Datenquellen für die Analyse der Photovoltaik-Nutzung zur Fahrzeugladung	94
Abbildung 5-12: Tagesgang Strombedarf, Netzbezug / -einspeisung und PV-Erzeugung aus PV- Datenlogger	94
Abbildung 5-13: Prinzipielle Darstellung eines Ladevorgangs anhand Leistung und Ladezustand (SOC)	95
Abbildung 5-14: Vergleich monatliche Energiemenge PV-Algorithmus und Ladestationszähler	96
Abbildung 5-15: Statistische Verteilung der stündlichen CO ₂ -Emissionen in 2015.....	97
Abbildung 5-16: Links: Stündliche Verteilung der Ladeenergie (blau) und zum Laden genutzte PV- Energie (grün). Rechts: Anteil PV-Energie an der gesamten Ladeenergie am Standort Riegel	98
Abbildung 6-1: Verwendete Datenquellen für die Bestimmung der Kosten und der Wirtschaftlichkeit	101
Abbildung 6-2: Verrechnungsstellen: Absolute Kosten pro Fahrzeug (betriebswirtschaftliche Betrachtung - Zuschüsse BMUB verrechnet)	102
Abbildung 6-3: Verrechnungsstellen: Absolute Kosten pro Fahrzeug (Vollkostenbetrachtung - Zuschüsse BMUB nicht mit eingerechnet)	103
Abbildung 6-4: Verrechnungsstellen: Kosten durch Heimpladen.....	104
Abbildung 6-5: Verrechnungsstellen: Kosten pro Kilometer in 2015 (betriebswirtschaftliche Betrachtung - Zuschüsse BMUB verrechnet)	105
Abbildung 6-6: Verrechnungsstellen: Szenario der Kostenentwicklung durch günstigere Leasingraten und Optimierung der Ladekosten am privaten Stromanschluss der Nutzer.....	106
Abbildung 6-7: Sozialstationen: Absolute Jahreskosten pro Fahrzeug als betriebswirtschaftliche Kosten (inklusive Zuschüsse)	108
Abbildung 6-8: Sozialstationen: Absolute Jahreskosten pro Fahrzeug als Vollkosten (exklusive Zuschüsse)	109
Abbildung 6-9: Sozialstationen: Betriebswirtschaftliche Kosten - spezifische Kosten pro km inklusive Zuschüsse	111
Abbildung 6-10: Sozialstationen: Vollkosten - spezifische Kosten pro km exklusive Zuschüsse.....	112
Abbildung 7-1: Verwendete Datenquellen für die Berechnung der CO ₂ -Emissionen	114
Abbildung 7-2: Methodisches Vorgehen zur Berechnung der CO ₂ -Emissionen.....	114
Abbildung 7-3: Verrechnungsstellen: CO ₂ -Emissionen während der Fahrzeugnutzung - Elektrofahrzeug (Renault Zoe, Mittelwert über drei Fahrzeuge) versus Dieselfahrzeug (VW Polo, Stühlingen).....	116
Abbildung 7-4: Sozialstationen: CO ₂ -Emissionen während der Fahrzeugnutzung – Elektrofahrzeuge versus Benzinfahrzeuge	118
Abbildung 7-5: Verrechnungsstellen: CO ₂ -Emissionsbilanz über Herstellung und Nutzung eines Elektrofahrzeugs (Renault Zoe, Mittelwert des Energiebedarfs über drei Fahrzeuge unter	

Verwendung eines erneuerbaren Strom-Mixes) im Vergleich zu einem Dieselfahrzeug (VW Polo, Stühlingen).....	123
Abbildung 7-6: Sozialstationen: CO ₂ -Emissionsbilanz über Herstellung und Nutzung im Vergleich zu Benzinfahrzeugen unter Verwendung des KSE-Stroms.....	125
Abbildung 8-1: Verwendete Datenquellen zur Bestimmung von Ladezuständen und Ladevorgängen	126
Abbildung 8-2: Vergleich der Tagesdistanzen der eingesetzten Fahrzeuge	128
Abbildung 8-3: Vergleich des minimalen Ladezustands bei Fahrtende (Tagesminimum)	129
Abbildung 8-4: Zoe VSt Riegel, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten.....	130
Abbildung 8-5: Zoe Vst Riegel, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie.....	131
Abbildung 8-6: Zoe VSt Stegen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	132
Abbildung 8-7: Zoe Vst Stegen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	133
Abbildung 8-8: Zoe VSt Villingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten.....	133
Abbildung 8-9: Zoe Vst Villingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie ..	134
Abbildung 8-10: Zoe #100853 SSt Rielasingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	135
Abbildung 8-11: Zoe #100911 SSt Rielasingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten.....	135
Abbildung 8-12: Zoe #100853 SSt Rielasingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	136
Abbildung 8-13: Zoe #100911 SSt Rielasingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	137
Abbildung 8-14: Zoe SSt St. Blasien, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	137
Abbildung 8-15: Zoe SSt St. Blasien, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	138
Abbildung 8-16: Zoe SSt Bad Säckingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten.....	139
Abbildung 8-17: Zoe SSt Bad Säckingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	139
Abbildung 8-18: Zoe SSt Singen-Hegau, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	140
Abbildung 8-19: Zoe SSt Singen-Hegau, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	141
Abbildung 8-20: Zoe SSt Stockach, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	141
Abbildung 8-21: Zoe SSt Stockach, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie ..	142
Abbildung 8-22: smart SSt Freiburg, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	142
Abbildung 8-23: smart SSt Freiburg, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	143
Abbildung 8-24: smart SSt Konstanz, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	144
Abbildung 8-25: smart SSt Konstanz, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	144
Abbildung 8-26: eUp! SSt Engen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	145
Abbildung 8-27: eUp! SSt Engen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie ...	145
Abbildung 8-28: eUp! SSt Rielasingen, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	146

Abbildung 8-29: eUp! SSt Rielasingen, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	147
Abbildung 8-30: eUp! #102274 SSt Konstanz, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	148
Abbildung 8-31: eUp! #102275 SSt Konstanz, spez. Energiebedarf ab Batterie nach Monaten	148
Abbildung 8-32: eUp! #102274 SSt Konstanz, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	149
Abbildung 8-33: eUp! #102275 SSt Konstanz, Einfluss Außentemperatur auf spez. Energiebedarf ab Batterie	149
Abbildung 8-34: Änderung des Gesamt-Energiebedarfs ab Batterie gegenüber Referenzklasse 10-15°C	150
Abbildung 8-35: Änderung des Rückspeiseenergie an Batterie gegenüber Referenzklasse 10-15°C .	151
Abbildung 13-1: CO ₂ -Emissionsbilanz über Herstellung und Nutzung im Vergleich zu einem Dieselfahrzeug unter Verwendung des deutschen Strom-Mixes	170

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Technische Daten smart fortwo electric drive (lt. Hersteller und ADAC-Testergebnis)....	11
Tabelle 2-2: Technische Daten Renault Zoe Z.E. (lt. Hersteller und ADAC-Testergebnis).....	12
Tabelle 2-3: Technische Daten Volkswagen e-up! (lt. Hersteller und ADAC-Testergebnis)	13
Tabelle 3-1: Ladeinfrastruktur in den verschiedenen Einrichtungen	30
Tabelle 3-2: Zuschläge zum im Fahrzeug angezeigten Energiebedarf zur Ermittlung des Stromverbrauchs.....	35
Tabelle 4-1: Grunddaten der Nutzerbefragungen	39
Tabelle 4-2: Nutzerworkshop: Themen und Anzahl Nutzermeinungen	66
Tabelle 4-3: Nutzerworkshop: Anforderungen/Bedingungen für eine weitere E-Fahrzeug-Nutzung ..	68
Tabelle 5-1: Verrechnungsstellen: Energiebedarf und Dieselkraftstoffverbrauch im Jahr 2015	76
Tabelle 5-2: Verrechnungsstellen: CO ₂ -Emissionsfaktoren durch Energiebereitstellung und Fahrzeugnutzung	78
Tabelle 5-3: Verrechnungsstellen: Absolute Jahreskosten und Energieträgerpreise im Jahr 2015	79
Tabelle 5-4: Verrechnungsstellen: Kosten pro Kilometer im Jahr 2015	81
Tabelle 5-5: Sozialstationen: Laufleistung und Energiebedarf der Elektrofahrzeuge im Jahr 2015/2016	83
Tabelle 5-6: Sozialstationen: Benzinverbrauch und Fahrleistungen im Jahr 2015	84
Tabelle 5-7: Sozialstationen: CO ₂ -Emissionsfaktoren durch Energiebereitstellung und Fahrzeugnutzung	86
Tabelle 5-8: Sozialstationen: Absolute Jahreskosten und Energieträgerpreise im Jahr 2015 in Freiburg, Bad Säckingen und St. Blasien	88
Tabelle 5-9: Absolute Jahreskosten Benzinfahrzeuge (Flottenmittel über 3 Fahrzeuge (4 in Freiburg))	90
Tabelle 5-10: Sozialstation: Jahreskosten pro Kilometer im Jahr 2015 im Pflegezentrum St. Verena, Rielasingen.....	91
Tabelle 5-11: Sozialstationen: Kosten pro Kilometer der Benzinfahrzeuge (Flottenmittel über 3 Fahrzeuge (4 in Freiburg))	92
Tabelle 5-12: Emissionsfaktoren 2015 nach Icha und Kuhs, 2016	97
Tabelle 5-13: Absolute und spezifische CO ₂ -Emissionen in 2015 für den Anwendungsfall VSt Riegel	99
Tabelle 5-14: Energie-Kosteneinsparung durch PV-Laden in 2015 bei verschiedenen Inbetriebnahmedaten	100
Tabelle 7-1: Verrechnungsstellen: Bilanzierung CO ₂ Äqu. -Emissionen aus Herstellung von Fahrzeug und Batterie (VW Polo Diesel vs. Renault Zoe)	119
Tabelle 7-2: Sozialstationen: Bilanzierung CO ₂ Äqu. -Emissionen aus Herstellung von Fahrzeug und Batterie (VW up! vs. VW e-up!)	121
Tabelle 7-3: Sozialstationen: Bilanzierung CO ₂ Äqu. -Emissionen aus Herstellung von Fahrzeug und Batterie (Ford Ka vs. Smart)	122

Tabelle 13-1: Absolute Kosten der Elektrofahrzeuge in den Sozialstationen – Pflegezentrum St. Verena.....	164
Tabelle 13-2: Absolute Kosten der Elektrofahrzeuge in den Sozialstationen – Caritas Konstanz	165
Tabelle 13-3: Sozialstationen: Absolute Kosten und Energieträgerpreise im Jahr 2015 in Stockach (St. Elisabeth), im Caritasverband Singen-Hegau und in Engen (St. Wolfgang)	167
Tabelle 13-4: Absolute Kosten der Benzinfahrzeuge aus den Sozialstationen.....	168

12. Literatur

- Agora Energiewende, 2016. Agorameter.
- Auto News, 2012. Elektro-Smart im Test: Wie gut ist er? [WWW Document]. URL http://www.auto-news.de/greencars/anzeige_Elektro-Smart-im-Test-Wie-gut-ist-er_id_32459 (accessed 6.6.17).
- BDEW, 2016. BDEW-Strompreisanalyse Mai 2016, Haushalte und Industrie. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin.
- BMUB, 2015. emob_klimabilanz_2015_bf.pdf. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- Bundesregierung, 2011. Regierungsprogramm Elektromobilität. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland.
- Dallinger, D., Doll, C., Gnann, T., Held, M., Kley, F., Lerch, C., Marscheider-Weidemann, F., Mattes, K., Peters, A., Plötz, P., Schröter, M., Wietschel, M., 2011. Gesellschaftspolitische Fragestellungen der Elektromobilität. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.
- DEKRA, 2016. DEKRA - Information zum Thema CO₂ [WWW Document]. URL <http://www.dekra-online.de/co2/> (accessed 2.8.17).
- ecoinvent Center, 2016. Ecoinvent Version 3.2.
- Erzbischöfliches Ordinariat, 2016. Klima- und Energiebilanz Folge V: Der Beitrag der KSE zur CO₂-Bilanz des Erzbistums.
- Ford Motor Company, 2017. Ford Ka+.
- Icha, P., Kuhs, G., 2016. Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2015 (No. 16/2016), Climate Change. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- JRC, 2013. JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS. European Commission Directorate-General Joint Research Centre, Luxembourg.
- Majeau-Bettez, G., Hawkins, T.R., Strømman, A.H., 2011. Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles. Environ. Sci. Technol. 45, 4548–4554. doi:10.1021/es103607c
- nkhr-bw, 2014. Leitfäden und Arbeitshilfen - Abschreibungstabelle für Baden-Württemberg.
- Statistisches Bundesamt, 2017. Bevölkerung auf Grundlage des Zensus 2011.
- Trainmobil, 2016. Technische Daten Zoe.
- UBA, 2016. Energiebedingte Emissionen und Strommix. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Volkswagen Partner, 2016a. Der neue Polo. Technik und Preise.
- Volkswagen Partner, 2016b. Der neue e-up! Technische Daten und Preise.
- Volkswagen Partner, 2016c. Der neue up! Technik und Preise.

13. Anhang

13.1. Sozialstationen: Absolute Jahreskosten

Tabelle 13-1: Absolute Kosten der Elektrofahrzeuge in den Sozialstationen – Pflegezentrum St. Verena

		Pflegezentrum St. Verena			
		Summe über Flotte	Volkswagen e-up! KN-PZ-90	Renault Zoe Z.E. KN-PZ-98	Renault Zoe Z.E. KN-PZ-97
Energiekosten gesamt	€	3.018,83	1.159,20	1.062,35	797,28
Energieträgerpreise	€/kWh	0,27 (KSE)			
Kauf & Installation Ladestationen (3 Stück)	€	8.649,89			
Förderung Ladeinfrastruktur	€	6.000,00			
Bereitstellung Ladeinfrastruktur inkl. Förderung KSE / Energieversorger	€/a ³⁰	264,99	88,33	88,33	88,33
Bereitstellung Ladeinfrastruktur exkl. Förderung	€/a ³⁰	864,99	288,33	288,33	288,33
Fahrzeugleasing	€/a	17.193,52	6.105,12	5.544,20	5.544,20
Batterieleasing	€/a	3.028,00	-	1.514,00	1.514,00
<i>Förderung BMUB (Fzg)</i>	€	<i>12.900,00</i>	<i>4.500,00</i>	<i>4.200,00</i>	<i>4.200,00</i>
Förderung BMUB (Fzg)	€/a ³¹	4.300,00	1.500,00	1.400,00	1.400,00
Förderung Erzdiözese (Fzg & Batterie)	€/a	7.801,60	2.256,60	2.772,50	2.772,50
Fzg.-Leasingkosten gesamt inkl. Förderung	€	8.119,92	2.348,52	2.885,70	2.885,70
Fzg.-Leasingkosten gesamt exkl. Förderung	€	20.221,52	6.105,12	7.058,20	7.058,20
Versicherung (Kfz-Haftpflicht/Vollkasko)	€/a	1.598,49	532,83	532,83	532,83
Kfz-Steuer	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00
Versicherungskosten und Steuern gesamt	€/a	1.598,49	532,83	532,83	532,83

³⁰ Bereitstellungskosten wurden analog AfA-Tabelle auf 10 Jahre umgelegt (nchr-bw, 2014).

³¹ Umgelegt auf Leasingdauer von 3 Jahren

		Pflegezentrum St. Verena			
		Summe über Flotte	Volkswagen e-up! KN-PZ-90	Renault Zoe Z.E. KN-PZ-98	Renault Zoe Z.E. KN-PZ-97
Wartung Kfz	€/a	870,09	202,57	362,87	304,65
Wartung Wallbox	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00
Wartungskosten gesamt	€/a	870,09	202,57	362,87	304,65
Reparatur Kfz	€/a	1.250,14	338,83	673,31	238,00
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB, Erzdiözese und KSE / Energieversorger (Betriebswirtschaftliche Kosten)					
	€/a	15.122,46	4.670,28	5.605,39	4.846,79
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB und KSE / Energieversorger (Betriebswirtschaftliche Kosten)					
	€/a	22.924,06	6.926,88	8.377,89	7.619,29
Gesamtkosten exkl. Förderung (Vollkosten)	€/a	27.824,06	8.626,88	9.977,89	9.219,29

Tabelle 13-2: Absolute Kosten der Elektrofahrzeuge in den Sozialstationen – Caritas Konstanz

		Caritas Konstanz			
		Summe über Flotte	Volkswagen e-up! KN-SK-620	Smart E.D. KN-SK-621	Volkswagen e-up! KN-SK-920
Energiekosten gesamt	€	1.262,78	496,53	398,52	367,73
Energieträgerpreise	€/kWh	0,27 (KSE)			
Kauf & Installation Ladestationen (3 Stück)	€	8.040,48			
Förderung Ladeinfrastruktur	€	6.000,00			
Bereitstellung Ladeinfrastruktur inkl. Förderung KSE / Energieversorger	€/a³²	204,05	68,02	68,02	68,02

³² Bereitstellungskosten wurden analog AfA-Tabelle auf 10 Jahre umgelegt (nkhr-bw, 2014).

		Caritas Konstanz			
		Summe über Flotte	Volkswagen e-up! KN-SK-620	Smart E.D. KN-SK-621	Volkswagen e-up! KN-SK-920
Bereitstellung Ladeinfrastruktur exkl. Förderung	€/a³⁰	804,05	268,02	268,02	268,02
Fahrzeugleasing	€/a	16.657,84	6.105,12	4.447,60	6.105,12
Batterieleasing	€/a	780,00	-	780,00	-
Förderung BMUB (Fzg)	€	11.100,00	4.500,00	2.100,00	4.500,00
Förderung BMUB (Fzg)	€/a ³³	3.700,00	1.500,00	700,00	1.500,00
Förderung Erzdiözese (Fzg & Batterie)	€/a	6.731,76	2.256,60	2.218,56	2.256,60
Fzg.-Leasingkosten gesamt inkl. Förderung	€	7.006,08	2.348,52	2.309,04	2.348,52
Fzg.-Leasingkosten gesamt exkl. Förderung	€	17.437,84	6.105,12	5.227,60	6.105,12
Versicherung (Kfz-Haftpflicht/Vollkasko)	€/a	2.082,50	714,00	654,50	714,00
Kfz-Steuer	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00
Versicherungskosten und Steuern gesamt	€/a	2.082,50	714,00	654,50	714,00
Wartung Kfz	€/a	139,33	0,00	139,33	0,00
Wartung Wallbox	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00
Wartungskosten gesamt	€/a	139,33	0,00	139,33	0,00
Reparatur Kfz	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB, Erzdiözese und KSE / Energieversorger (Betriebswirtschaftliche Kosten)	€/a	11.261,74	3.816,07	3.758,41	3.687,27
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB und KSE / Energieversorger (Betriebswirtschaftliche Kosten)	€/a	17.993,50	6.072,67	5.976,97	5.943,87
Gesamtkosten exkl. Förderung (Vollkosten)	€/a	22.293,50	7.772,67	6.876,97	7.643,87

³³ Umgelegt auf Leasingdauer von 3 Jahren

Tabelle 13-3: Sozialstationen: Absolute Kosten und Energieträgerpreise im Jahr 2015 in Stockach (St. Elisabeth), im Caritasverband Singen-Hegau und in Engen (St. Wolfgang)

		Stockach Renault Zoe KN-CV-113	CV Singen-Hegau Renault Zoe KN-CV-350	Engen VW e-up! KN-S-8300
Energiekosten gesamt	€	869,28	573,69	489,95
Energieträgerpreise	€/kWh	n. V.	0,26	0,24
Kauf & Installation Ladestation	€	2.976,83	1.537,12	2.736,87
Förderung Ladeinfrastruktur	€	2.000,00	1.000,00	750,00
Bereitstellung Ladeinfrastruktur inkl. Förderung KSE / Energieversorger	€/a ³⁴	97,68	170,33	198,69
Bereitstellung Ladeinfrastruktur exkl. Förderung	€/a ³⁰	297,68	270,33	273,69
Fahrzeugleasing	€/a	5.544,20	5.544,20	6.105,12
Batterieleasing	€/a	1.464,00	1.032,00	-
Förderung BMUB (Fzg)	€	4.200,00	4.200,00	4.500,00
Förderung BMUB (Fzg)	€/a ³⁵	1.400,00	1.400,00	1.500,00
Förderung Erzdiözese (Fzg & Batterie)	€/a	2.355,48	2.174,00	1.934,16
Fzg.-Leasingkosten gesamt inkl. Förderung	€	3.252,72	3.002,20	2.670,96
Fzg.-Leasingkosten gesamt exkl. Förderung	€	7.008,20	6.576,20	6.105,12
Versicherung (Kfz-Haftpflicht/Vollkasko)	€/a	773,50	387,26	654,50
Kfz-Steuer	€/a	0,00	0,00	0,00
Versicherungskosten und Steuern gesamt	€/a	773,50	387,26	654,50
Wartung Kfz	€/a	116,88	157,64	0,00
Wartung Wallbox	€/a	0,00	0,00	0,00
Wartungskosten gesamt	€/a	116,88	157,64	0,00
Reparatur Kfz	€/a	325,00	325,00	0,00

³⁴ Bereitstellungskosten wurden analog AfA-Tabelle auf 10 Jahre umgelegt (nkh-r-bw, 2014).

³⁵ Umgelegt auf Leasingdauer von 3 Jahren

		Stockach Renault Zoe KN-CV-113	CV Singen-Hegau Renault Zoe KN-CV-350	Engen VW e-up! KN-S-8300
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB, Erzdiözese und KSE / Energieversorger (<i>Betriebswirtschaftliche Kosten</i>)	€/a	5.435,06	4.616,12	4.014,10
Gesamtkosten inkl. Förderung BMUB und KSE / Energieversorger (<i>Betriebswirtschaftliche Kosten</i>)	€/a	7.790,54	6.790,12	5.948,26
Gesamtkosten exkl. Förderung (<i>Vollkosten</i>)	€/a	9.390,54	8.290,12	7.523,26

Tabelle 13-4: Absolute Kosten der Benzinfahrzeuge aus den Sozialstationen

Katholische Sozialstation Freiburg					
		FR-CV 166 smart 05/2014	FR-CV 199 VW Polo 02/2010	FR-CV 221 Opel Agila 10/2011	FR-CV 303 Opel Agila 04/2014
Beschaffung erfolgte					
Energiekosten	€	1.003,62	384,88	905,67	746,59
Abschreibung Fzg.	€	2.100,25	2.100,25	2.100,25	2.100,25
Versicherung	€/a	773,50	773,50	773,50	773,50
Kfz-Steuer	€/a	26,00	40,00	20,00	48,00
Wartungskosten	€/a	245,04	424,31	320,53	183,44
Reparatur Kfz	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00
Gesamtkosten	€/a	4.148,41	3.722,94	4.119,95	3.851,78

St. Blasien				
		WT-SB 1014 Ford Ka	WT-SB 1015 Ford Ka	WT-SB 1016 Ford Ka
Energiekosten	€	3.814,95	3.727,67	2.863,98
Fzg.-Leasingkosten	€	1.476,12	1.476,12	1.476,12
Rückstellungen Leasingende	€	500,00	500,00	500,00

St. Blasien

		WT-SB 1014 Ford Ka	WT-SB 1015 Ford Ka	WT-SB 1016 Ford Ka
Versicherung	€/a	714,00	714,00	714,00
Kfz-Steuer	€/a	66,00	66,00	66,00
Wartungskosten	€/a	1.317,43	1.529,84	856,67
Reparatur Kfz	€/a	674,06	150,00	0,00
Gesamtkosten	€/a	8.562,56	8.163,63	6.476,77

St. Martin, Bad Säckingen

		WT-BS 1023 Ford Ka	WT-BS 1027 Ford Ka	WT-BS 1022 Ford Ka
Energiekosten	€	1.021,23	1.281,25	1.273,34
Fzg.-Leasingkosten	€	1.476,12	1.476,12	1.476,12
Rückstellungen Leasingende	€	500,00	500,00	500,00
Versicherung	€/a	1.249,50	1.249,50	1.249,50
Kfz-Steuer	€/a	66,00	66,00	66,00
Wartungskosten	€/a	44,00	239,02	283,18
Reparatur Kfz	€/a	0,00	0,00	0,00
Gesamtkosten	€/a	4.356,85 €	4.811,89 €	4.848,14 €

13.2. Bilanz der CO₂-Emissionen

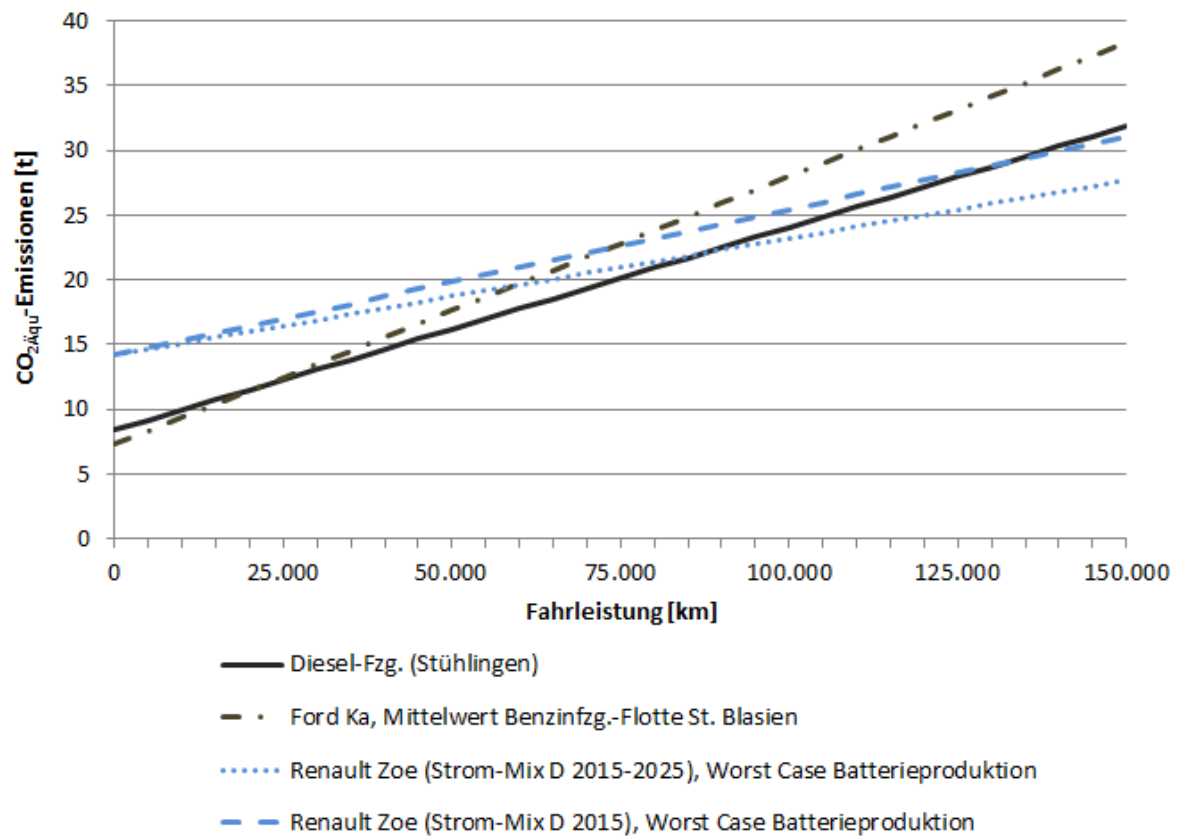


Abbildung 13-1: CO₂-Emissionsbilanz über Herstellung und Nutzung im Vergleich zu einem Dieselfahrzeug unter Verwendung des deutschen Strom-Mixes