

## Endbericht

### Lahr

## Fuhrparkanalyse

#### Auftraggeber:

Stadtverwaltung Lahr

Stadtplanungsamt

Schillerstraße 23

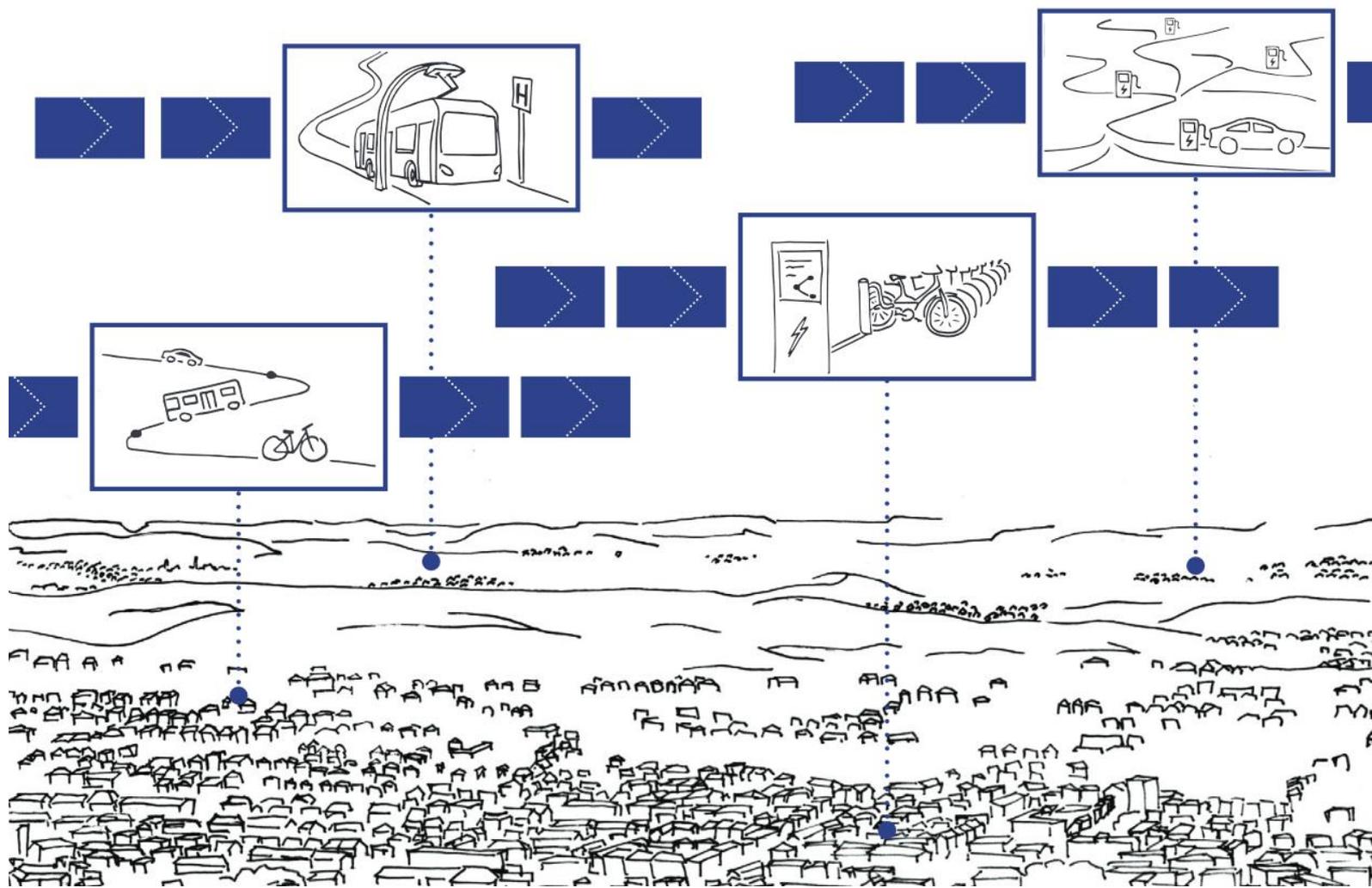
77933 Lahr

#### Auftragnehmer:

Institut Stadt | Mobilität | Energie GmbH

Rotenwaldstraße 18

70197 Stuttgart



IMPRESSUM



Auftragnehmer

Institut Stadt | Mobilität | Energie GmbH

**Standort Stuttgart**

Rotenwaldstraße 18

70197 Stuttgart

**Standort Erfurt**

Nordstraße 51

99089 Erfurt

Telefon: +49 (0)711 65 69 90 14

Mail: [info@i-sme.de](mailto:info@i-sme.de)

Autoren:

Haag, Yannick

Schmid, Manfred

Hager, Karsten

Mai 2020

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen.

# I Inhaltsverzeichnis

I Inhaltsverzeichnis .....	II
II Abbildungsverzeichnis .....	IV
III Tabellenverzeichnis .....	VI
IV Abkürzungsverzeichnis .....	VII
V Executive Summary .....	VIII
Einleitung .....	9
Modellbildung .....	10
Hintergrund .....	10
Fahrzeugdaten .....	12
Kostenermittlung .....	14
Vorgehensweise .....	15
Fahrzeugliste BEV .....	16
Ist-Analyse .....	18
1:1-Substitution .....	23
Kostenermittlung .....	23
CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	26
Fuhrparkverkleinerung und -diversifizierung .....	27
Heat-Map des bestehenden Fuhrparks .....	27
Szenario 1: Verkleinerung um ein Fahrzeug .....	28
Kosten Szenario 1 .....	29
Szenario 2: Verkleinerung um zwei Fahrzeuge .....	30
Kosten Szenario 2 .....	32
Szenario 3: Progressive Verkleinerung um vier Fahrzeuge .....	34
Kosten Szenario 3 .....	36
Kostenvergleich .....	38

Ladeinfrastruktur / Lastprofil .....	39
Fuhrparksoftware .....	41
Fazit .....	43
Literaturverzeichnis .....	47

## II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielhafte Nutzungsintensität (keine Ergebnisse). Quelle [eigene Darstellung] .....	10
Abbildung 2: Beispielhafte Heat-Map (keine Ergebnisse). Quelle [eigene Darstellung] .....	11
Abbildung 3: Anzahl an km/d in Häufigkeitsszenarien. Quelle [eigene Darstellung]..	20
Abbildung 4: Auslastung und Laufleistung je Fahrzeug. Quelle [eigene Darstellung]	22
Abbildung 5: Kostenentwicklung bei Kauf (Anschaffung). Quelle [eigene Darstellung] .....	24
Abbildung 6: Kostenentwicklung bei Leasing. Quelle [eigene Darstellung].....	24
Abbildung 7: Treibhausgasemissionen Fuhrpark. Quelle [eigene Darstellung] .....	26
Abbildung 8: Heat-Map - 1 zu 1 Substitution. Quelle [eigene Darstellung].....	27
Abbildung 9: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 1 nach Verkleinerung. Quelle [eigene Darstellung] .....	28
Abbildung 10: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 1 entferntes Fahrzeug. Quelle [eigene Darstellung] .....	28
Abbildung 11: Szenario 1 Kostenentwicklung bei Kauf. Quelle [eigene Darstellung].	29
Abbildung 12: Szenario 1 Kostenentwicklung bei Leasing. Quelle [eigene Darstellung] .....	29
Abbildung 13: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 2 nach Verkleinerung. Quelle [eigene Darstellung] .....	31
Abbildung 14: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 2 entfernte Fahrzeuge. Quelle [eigene Darstellung] .....	31
Abbildung 15: Szenario 2 Kostenentwicklung bei Kauf. Quelle [eigene Darstellung].	32
Abbildung 16: Szenario 2 Kostenentwicklung bei Leasing. Quelle [eigene Darstellung] .....	32
Abbildung 17: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 3 nach Verkleinerung. Quelle [eigene Darstellung] .....	34

Abbildung 18: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 3 entfernte Fahrzeug. Quelle [eigene Darstellung] .....	35
Abbildung 19: Szenario 3 Kostenentwicklung bei Kauf). Quelle [eigene Darstellung]	36
Abbildung 20: Szenario 3 Kostenentwicklung bei Leasing. Quelle [eigene Darstellung] .....	36
Abbildung 21: Theoretische maximale Last für Szenario 2 und 3 bei 11 kW. Quelle [eigene Darstellung] .....	40
Abbildung 22: Theoretische maximale Last für Szenario 2 und 3 bei 3,7 kW. Quelle [eigene Darstellung] .....	40

### III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Elektrofahrzeugen. Quelle [eigene Darstellung] ....	9
Tabelle 2: Übersicht der verkehrsträgerspezifischen Parameter. Quelle [eigene Darstellung] .....	12
Tabelle 3: Vorgehensweise Fuhrparkanalyse. Quelle [eigene Darstellung] .....	15
Tabelle 4: Fahrzeugliste Tool. Quelle [Anlage1_Ermittlung_Investitionsmehrausgaben_2018_06] .....	16
Tabelle 5: Status Quo - Fahrzeugübersicht. Quelle [eigene Darstellung] .....	18
Tabelle 6: 1:1-Substitution + verringerungsfähiges Fahrzeug. Quelle [eigene Darstellung] .....	21
Tabelle 7: 1:1-Substitution / keine Verringerung. Quelle [eigene Darstellung] .....	21
Tabelle 8: Ergebnisse Gesamtkosten auf 6- und 12 Jahre Kauf. Quelle [eigene Darstellung] .....	25
Tabelle 9: Ergebnisse Gesamtkosten auf 6- und 12 Jahre Leasing. Quelle [eigene Darstellung] .....	25
Tabelle 10: Kosten Szenario 1. Quelle [eigene Darstellung] .....	30
Tabelle 11: Kosten Szenario 2. Quelle [eigene Darstellung] .....	33
Tabelle 12: Entfernte Fahrzeuge. Quelle [eigene Darstellung] .....	34
Tabelle 13: Kosten Szenario 3. Quelle [eigene Darstellung] .....	37
Tabelle 14: Übersicht Kostenaufschlüsselung. Quelle [eigene Darstellung] .....	38
Tabelle 15: Kurzinformation Fuhrparksoftware. Quelle [eigene Darstellung] .....	41
Tabelle 16: 1:1-Substitution. Quelle [eigene Darstellung] .....	44
Tabelle 17: Szenario 1. Quelle [eigene Darstellung] .....	45
Tabelle 18: Szenario 2. Quelle [eigene Darstellung] .....	45
Tabelle 19: Szenario 3. Quelle [eigene Darstellung] .....	45

## IV Abkürzungsverzeichnis

BEV	Battery Electric Vehicle – Batterieelektrisches Fahrzeug
BHKW	Blockheizkraftwerk
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
ICE	Internal Combustion Engine – Verbrenner Fahrzeug
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LIS	Ladeinfrastruktur
LP	Ladepunkt(e)
PV-Anlage	Photovoltaikanlage
TCO	Total Cost of Ownership

## V Executive Summary

Das ISME wurde mit der Erstellung von Elektromobilitätskonzepten für die Städte Offenburg, Kehl und **Lahr** beauftragt. Im Rahmen der zu erbringenden Leistungen für die Stadt Lahr wurde die vorliegende **Fuhrparkanalyse** durchgeführt. Bei der Untersuchung des Fuhrparks werden die **Schwerpunkte Ist-Analyse, 1:1-Substitution im Fuhrpark, Diversifizierung des Fuhrparks und anschließende Einbettung und Finalisierung** analysiert. Es werden **drei Szenarien** simuliert, welche sich hinsichtlich der Fuhrparkverkleinerung unterscheiden. Dabei wird jeweils mit gleicher Methodik vorgegangen.

In Szenario 1, das die Verkleinerung des Fuhrparks um ein Fahrzeug vorsieht, entstehen ökonomische Einsparungen von ca. 2-4%.

In Szenario 2, das die Verkleinerung des Fuhrparks um zwei Fahrzeuge vorsieht, entstehen ökonomische Einsparungen von ca. 5-6%.

In Szenario 3, dem progressivsten Szenario mit einer Verkleinerung des Fuhrparks um insgesamt vier Fahrzeuge, entstehen ökonomische Einsparungen von ca. 5-7%.

Die Anzahl der betrachteten Fahrzeuge beläuft sich auf **11**. Da zwei Fahrzeuge aus den zugelieferten Daten bereits elektrifiziert sind, werden diese im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt. Im Anschluss an die Analyse folgt ein **Fazit und damit einhergehend eine Empfehlung des ISME** für die Stadt Lahr. Die vorliegenden Ergebnisse dienen als Vorschlag und Orientierung bei der Entscheidungsfindung. Darüber hinaus werden zwei Vorschläge zur Fuhrparksoftware erstellt.

## Einleitung

**Technische Weiterentwicklungen** und **gesteigertes umweltinteresse** stellen den **Verkehrsbereich** vor große Herausforderungen. Der Verkehrssektor stellt dabei den **zweitgrößten Energieverbraucher** in Deutschland dar. Bereits jetzt ist davon auszugehen, dass unter Berücksichtigung des aktuellen deutschen Strommix die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Elektrofahrzeugen um bis zu **16-27 Prozent geringer ausfallen** werden als mit vergleichbaren Verbrennerfahrzeugen. [1] Einen großen Beitrag hierzu können Elektrofahrzeuge in Flotten leisten. In diesem Bericht wird für den kommunalen Fuhrpark der Stadt Lahr der Frage nachgegangen, welche Rolle Elektrofahrzeuge im Fuhrpark einnehmen können. Hierzu werden die vorhandenen Fahrzeuge anhand ihrer Fahrprofile analysiert und anschließend bewertet. Die Kriterien für die Fahrzeugwahl sind **Reichweite, Fahrzeugkenndaten sowie wirtschaftliche Faktoren**. Mithilfe der **Analyse** ist das Ziel herauszufinden, ob bestimmte Fahrzeuge aus der Flotte entnommen und deren Fahrten gegebenenfalls durch **andere Fahrzeuge der Fuhrparkflotte** oder **Carsharing, Taxi, etc.** ersetzt werden können. Es ist davon auszugehen, dass die Nutzung von Elektrofahrzeugen einen positiven Einfluss auf **die Wertschöpfung innerhalb kommunaler** und privater Liegenschaften nimmt. [2]. In der nachfolgenden Tabelle 1 werden einige **Vor- und Nachteile** von Elektrofahrzeugen aufgeführt.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Elektrofahrzeugen. Quelle [eigene Darstellung]

Vorteile	Nachteile
<b>Geringe Betriebs- und Wartungskosten</b> <b>Steuerbefreiung</b> <b>NO<sub>x</sub>- &amp; Feinstaubminderung</b> im Stadtgebiet <b>CO<sub>2</sub>-Minderung</b> , v.a. bei selbst erzeugtem Strom & Ökostrom-Tarif <b>Optimierungspotenzial</b> (Kosten und CO <sub>2</sub> ) durch Sektorenkopplung <b>Positive öffentliche Wahrnehmung</b> in Lahr und Umgebung	Mehrkosten bei <b>Anschaffung/Leasing</b> (TCO ausschlaggebend)  Unflexibler bei <b>sehr hohen Laufleistungen</b> (wird bei Analyse geprüft)  <b>Nutzungshemmnisse</b> (Aktivierungsmaßnahmen empfohlen)  <b>Akzeptanzhemmnisse</b> (Maßnahmen bzgl. Akzeptanz sinnvoll)

## Modellbildung

Das Hauptelement der bisherigen Fuhrparkanalyse ist eine **effizienz- und kostenorientierte Vorgehensweise**. Als zweites Element werden **CO<sub>2</sub>-Emissionen** untersucht. Die Fahrzeugwahl der Substitution basiert auf manuell gewählten Entscheidungskriterien. Jedem hinterlegten Verbrenner-Fahrzeug des Fuhrparks wird ein Referenz-Elektrofahrzeug zugeteilt – diese Zuteilung dient als Grundlage für das Modell.

## Hintergrund

Die Fuhrparkanalyse basiert einerseits auf **Fahrtenbüchern**, welche **je Fahrt Eintragungen zu Datum, Uhrzeit und gefahrenen Kilometern** beinhalten müssen, und andererseits auf fahrzeug- und organisationsspezifischen Informationen (Fahrzeugmodell, Nutzergruppe, Zuordnung, Verantwortlichkeiten etc.) Schlecht geführte Fahrtenbücher erlauben keine ausreichende analysetiefe, weshalb dann lediglich eine **1:1-Substitution** (im Sinne eines direkten Ersatzes eines Verbrenner-Fahrzeuges durch ein Elektrofahrzeug) infrage kommt. Die Fahrtenbücher werden in das Modell eingepflegt und können anschließend mit einem vom **ISME erstellten Fuhrparktool** analysiert werden. Erster Anhaltspunkt für die Verkleinerung des Fuhrparks stellt die **Nutzungsintensität** dar, welche im Modell in folgender Darstellung abgebildet wird (s. Abbildung 1).

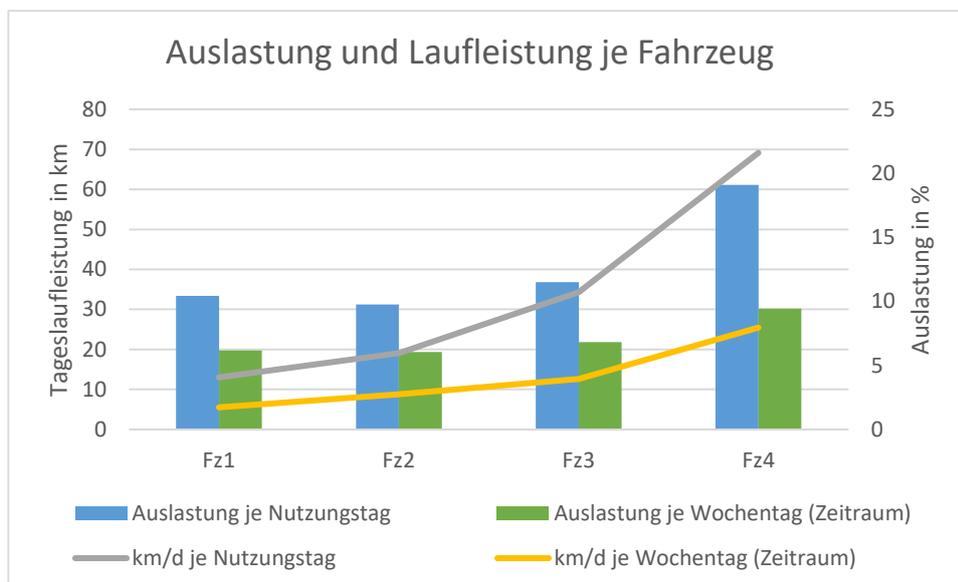


Abbildung 1: Beispielhafte Nutzungsintensität (keine Ergebnisse). Quelle [eigene Darstellung]

Die durchschnittlichen Kilometer je **Nutzungs- und Wochentag** und die **Auslastung der Nutzungs- und Wochentage** basieren auf den Betrachtungszeiträumen der

Fahrtenbücher. Dabei handelt es sich um die Auslastung in %/Tag, 100 % entsprechen 24 h. Anhand der Nutzungsintensität kann abgeschätzt werden, ob eine 1:1-Substitution durchführbar ist. Um den Fuhrpark ganzheitlich zu optimieren, wird die **zeitliche Überlagerung** der einzelnen Fahrzeuge untersucht und als **Heat-Map** aufbereitet (s. Abbildung 2) .

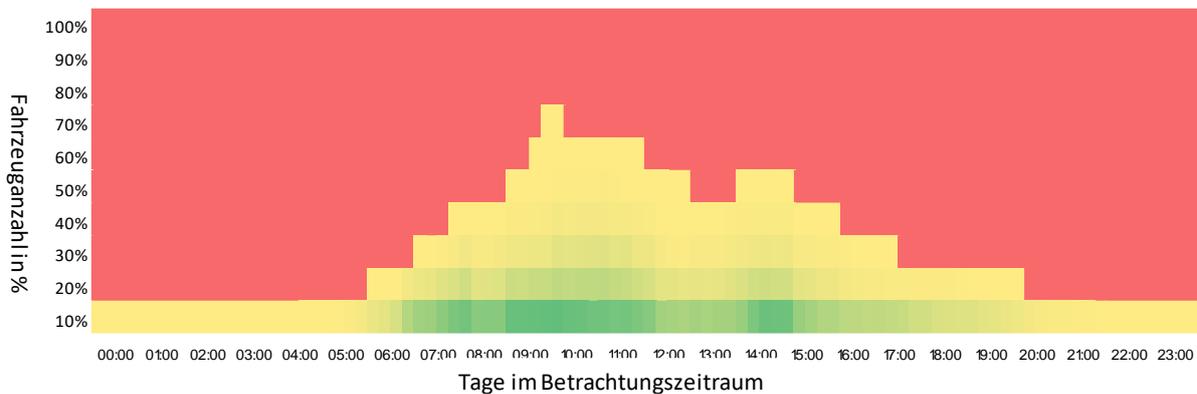


Abbildung 2: Beispielhafte Heat-Map (keine Ergebnisse). Quelle [eigene Darstellung]

Die X-Achse zeigt die Uhrzeit von 0-23 Uhr. Die Y-Achse beschreibt die Auslastung des Fuhrparks anhand der Fahrzeuge, welche zum jeweiligen Zeitpunkt verwendet werden. Die **Farbskala stellt die Häufigkeitsdichte** dar. Je stärker die Farbe vom gelben ins Grüne reicht, desto höher ist die Anzahl an Tagen, an denen die jeweilige Auslastung erreicht wird. In den roten Bereichen findet **zu keinem Zeitpunkt eine Auslastung** statt. Die Entscheidung darüber, **welche Fahrzeuge aus dem Fuhrpark entnommen werden**, kann zusätzlich zu den Kriterien der **Nutzungsintensität** auch durch den **Fuhrparkbetreiber** mitbeeinflusst bzw. entschieden werden.

Das Fahrzeug mit der **geringsten Überlagerung** wird aus dem Fuhrpark entnommen, dabei werden die Fahrten teilweise auf den **verkleinerten Fuhrpark sowie auf Carsharing, ÖPNV und Taxi verlagert**. Hierbei werden Aspekte wie Kosteneffizienz stets berücksichtigt. Der Grund für diese Vorgehensweise ist, dass bei einer geringen zeitlichen Überlagerung (d.h. Nutzung) davon auszugehen ist, dass häufig andere Fahrzeuge als Puffer bereitstehen. Mithilfe dieser Informationen kann eine nach ökologischen oder ökonomischen Zielgrößen optimierte Verkleinerung des Fuhrparks vorgeschlagen werden, woraus eine **Kostensenkung** resultiert.

**Ziel ist es dabei, den Einklang aus Fahrzeugverfügbarkeit zur Erfüllung der Mobilitätsbedarfe der Verwaltung sowie wirtschaftlicher und ökologischer Effizienz zu erzielen.**

Wird der Fuhrpark verkleinert, ersetzt das Tool die Fahrten der eingesparten Fahrzeuge derzeit noch vollständig durch entweder 100 % Carsharing oder 100 % Taxi. Da sich im realen Betrieb ein **Großteil der Fahrten** auf die verbleibenden Fuhrparkfahrzeuge verteilen wird, werden also stets die maximal aus der Fuhrparkanpassung resultierenden Kosten abgeleitet. Bestimmte Fahrten können theoretisch auch zu Fuß, mit dem Fahrrad oder dem ÖPNV zurückgelegt werden. Diese Aspekte werden im aktuellen Modell nicht betrachtet, bergen aber das Potenzial für weitere **ökonomische und ökologische Verbesserungen**.

## Fahrzeugdaten

Um auf **ökonomische, ökologische und technische Faktoren** Bezug nehmen zu können, werden Fahrzeugparameter benötigt (s. Tabelle 2). Anhand dieser Parameter erfolgt anschließend die Berechnung im Simulationsmodell.

Tabelle 2: Übersicht der verkehrsträgerspezifischen Parameter. Quelle [eigene Darstellung]

Parameter	BEV	ICE	Carsharing	Taxi
<b>Verbrauch Elektrofahrzeug in kWh/km</b>	fahrzeug-spezifisch	/	fahrzeug-spezifisch	/
<b>Konventioneller Verbrauch in l/km</b>	/	fahrzeug-spezifisch	fahrzeug-spezifisch	/
<b>Anschaffungskosten</b>	fahrzeug-spezifisch	fahrzeug-spezifisch	/	
<b>Leasingkosten</b>	fahrzeug-spezifisch	fahrzeug-spezifisch	/	
<b>Fahrzeugsteuern in €/a</b>	/	122	/	/
<b>Wartungskosten in €/km</b>	0,071	0,214	/	/
<b>Kosten LIS €/a (12 a)</b>	83,3	/	/	/
<b>Strombezugs-kosten in €/kWh</b>	0,3	/	0,3	/
<b>Kraftstoffbezugskosten in €/l</b>	/	1,37	1,37	/
<b>Zeitgebundene Kosten €/min</b>	/	/	0,35	1

<b>Streckengebundene Kosten €/km</b>	/	/	0,45	1,5
--------------------------------------	---	---	------	-----

## Kostenermittlung

Die Kosten werden über einen **Zeitraum von 12 Jahren ermittelt** und entsprechend **mittlere jährliche Kosten** abgeleitet. Der Zeitraum von **12 Jahren** wurde gewählt, da hier der Restwert der gekauften Fahrzeuge **vernachlässigbar gering** ist und daher ein nur geringer Fehler im Vergleich zu Leasing resultiert. Dieses Verfahren wird sowohl bei der Betrachtung von Leasingfahrzeugen als auch gekauften Fahrzeugen durchgeführt. Dabei unterscheiden sich diese zwei Berechnungsmethoden in Ihrer Kostenaufstellung. Beim Vergleich der Kosten des Ist-Fuhrparks mit dem elektrifizierten/optimierten Fuhrpark werden keinerlei **Förderungen (Umweltbonus)** berücksichtigt. Derzeit besteht eine Bundesförderung für kommunale Fahrzeuge, welche die Mehrkosten bezuschusst – insofern können die tatsächlichen Kosten also geringer ausfallen als analysiert.

**Der Kostenbetrachtung liegen Referenzfahrzeuge zugrunde, nicht die realen Kosten des bestehenden Fuhrparks, (s. Kapitel Fahrzeugliste BEV0)** .Die Ergebnisse sind aufgrund **lokaler Preisunterschiede** gerade im Bereich Leasing nur als Annäherungswerte zu verstehen. Sie bieten aber dennoch eine gute Orientierung für weitere Bewertungsmaßnahmen.

## Vorgehensweise

Folgende Leistungen werden durch das ISME durchgeführt (s. Tabelle 3). Je nachdem wie umfangreich der zu betrachtende Fuhrpark ist, erfolgt eine Anpassung der Punkte.

Tabelle 3: Vorgehensweise Fuhrparkanalyse. Quelle [eigene Darstellung]

Methodisches Vorgehen	
Schritt 1: <b>Ist-Analyse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfrage Fahrzeuge und Fahrtenbücher</li> <li>• Digitalisierung, Plausibilitätsprüfung und Konsolidierung der Fahrtenbücher</li> <li>• Gliederung der Standorte und Einteilung von Fahrzeugen ins Pooling ja/nein</li> <li>• Implementierung der Fahrtenbücher ins ISME-Tool Fuhrpark</li> </ul>
Schritt 2: <b>1:1-Substitution im Fuhrpark</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelabgleich entsprechend Tageslaufleistung</li> </ul>
Schritt 3: <b>Diversifizierung des Fuhrparks</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrzeugeinsparung vor dem Hintergrund der Ist-Analyse und Pooling-Einsatz</li> <li>• (Verstärkte) Einbindung externer Anbieter: ÖPNV, Carsharing, Zweiräder, Taxi</li> <li>• <b>Rücksprache mit dem Fuhrparkverantwortlichen (erfolgte am 08.06.2020)</b></li> </ul>
Schritt 4: <b>Einbettung und Finalisierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benötigte Ladeinfrastruktur (Hard/Software) + Abgleich Heizungen/EE</li> <li>• Resultierende Lastgänge</li> <li>• Fuhrparksoftware</li> </ul>

## Fahrzeugliste BEV

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die **BEV-Fahrzeuge aufgeführt**, welche im Fuhrparktool zur Auswahl stehen. Jedem Elektrofahrzeug ist ein Referenzfahrzeug (Verbrenner-Fahrzeug) zugeordnet, welches als Vergleichsbasis im Fuhrparktool verwendet wird. Die förderfähigen Ausgaben beziehen sich auf der Differenz zwischen Elektrofahrzeug und Typ Referenzfahrzeug.

Tabelle 4: Fahrzeugliste Tool. Quelle [Anlage1\_Ermittlung\_Investitionsmehrausgaben\_2018\_06]

Fahrzeug Bezeichnung	Förderfähigen Ausgaben	Leasing/a	Verbrauch kWh/100km	Anschaffungskosten	Batteriekapazität in kWh
<b>Citroën C-Zero</b>	11.200,00 €	200,00 €	17	21.800,00 €	14,5
<b>Ego-Life 40</b>	7.410,00 €	125,00 €	15,5	17.400,00 €	17,5
<b>Ego-Life 60</b>	9.910,00 €	150,00 €	16,2	19.900,00 €	23,5
<b>Mercedes Benz smart forfour electric drive</b>	9.675,00 €	145,00 €	12,9	22.600,00 €	17,6
<b>Peugeot iOn</b>	10.050,00 €	300,00 €	17	21.800,00 €	40
<b>Renault Zoe Life (41 kWh)</b>	18.610,00 €	140,00 €	20	34.100,00 €	41
<b>Renault Twizy Life - Intens, Cargo (18PS)</b>	4.000,00 €	200,00 €	6	7.650,00 €	8
<b>Volkswagen e-up</b>	15.000,00 €	159,00 €	11,7	26.900,00 €	18,7
<b>Audi A3 e-tron</b>	9.400,00 €	236,00 €	24	37.900,00 €	95
<b>BMW i3 ('94Ah)</b>	8.150,00 €	500,00 €	14,6	37.550,00 €	42,2
<b>Citroen E-Mehari</b>	10.080,00 €	360,00 €	20	25.270,00 €	30
<b>Kia Soul EV</b>	12.250,00 €	250,00 €	14,3	29.490,00 €	30
<b>Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)</b>	13.460,00 €	260,00 €	20	31.950,00 €	40

<b>Peugeot Partner electrique (L1)</b>	7.961,00 €	250,00 €	17,7	25.335,10 €	22,5
<b>Peugeot Partner electrique (L2)</b>	8.199,00 €	250,00 €	17,7	26.584,60 €	22,5
<b>Renault Kangoo Z.E. 33 2-Sitzer</b>	15.887,00 €	212,00 €	15,2	35.604,80 €	33
<b>Renault Kangoo Maxi Z.E. 33 2-Sitzer</b>	15.470,00 €	209,00 €	15,2	37.032,80 €	33
<b>Renault Kangoo Maxi Z.E. 33 5-Sitzer</b>	15.232,00 €	230,00 €	15,2	37.984,80 €	33
<b>Jaguar i-Pace</b>	21.100,00 €	870,00 €	21,2	77.850,00 €	90
<b>Mercedes Benz eVito (alle Varianten)</b>	25.585,00 €	300,00 €	22,5	47.588,10 €	41
<b>Nissan e-NV200 Kasten</b>	16.077,00 €	300,00 €	26	34.105,40 €	40
<b>Nissan e-NV200 Evalia 7-Sitzer</b>	17.685,00 €	350,00 €	26	41.850,30 €	40
<b>Opel Ampera-E-Plus</b>	18.320,00 €	600,00 €	16,5	42.990,00 €	60
<b>Streetscooter Work 20 (alle Versionen)</b>	24.752,00 €	150,00 €	20,6	42.780,50 €	20
<b>Streetscooter Work 40 (alle Versionen)</b>	30.702,00 €	200,00 €	20,6	48.730,50 €	40
<b>Streetscooter Work L 30 (alle Versionen)</b>	23.752,00 €	200,00 €	20,6	51.110,50 €	40
<b>Tesla Model S 75D</b>	9.699,00 €	750,00 €	23,5	71.999,00 €	75

## Ist-Analyse

In diesem Kapitel wird der aktuelle Fuhrpark untersucht (s. Tabelle 5).

Tabelle 5. Status Quo - Fahrzeugübersicht. Quelle [eigene Darstellung]

Fahrzeug/Tool	Fz1	Fz2	Fz3	Fz4	Fz5	Fz6	Fz7	Fz8	Fz9	Fz10	Fz11
<b>Kennzeichen</b>	LR-LR 6	LR-LR 7	LR-LR 11	LR-LR 12	LR-LR 100	LR-LR 1	LR-LR 2	LR-LR 5	LR-LR 102	LR-LR 603	LR-LR 604
<b>Modell</b>	Ford Fiesta	VW Golf Variant	Suzuki Swift	VW Golf	VW Golf IV	VW Caddy	VW UP	Ford Fiesta	Renault Kangoo Transporter	Renault Zoe	Renault Zoe
<b>Jahreslaufleistung (Laut Fahrtenbuch) in km</b>	2866	3832	5178	10444	3149	11024	5995	2041	9272		
<b>Kraftstoff</b>	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Elektro	Elektro
<b>Nutzung</b>		Vom Tiefbau genutzt (Materialtransport) Sonderrechte auf Grund von Forderung				Amtsboten	Stadtkasse	Bauordnung zugeteilt / Im Notfall Zugang nötig	Ausschließlich vom Hausmeister genutzt		

<b>Kommentar</b>	alt / geringer Restwert				alt / geringer Restwert			alt / geringer Restwert		Bereits E-Fahrzeug	Bereits E-Fahrzeug
<b>Fahrtenbücher</b>	Vollständig	Vollständig	Vollständig	Vollständig	Vollständig	Vollständig	Keine Uhrzeiten	Keine Uhrzeiten	Vollständig		
<b>Leasing</b>	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
<b>1:1-Substitution</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
<b>Szenario 1 (Verringerung)</b>	Entfernt								Nein		
<b>Szenario 2 (Verringerung)</b>	Entfernt				Entfernt				Nein		
<b>Szenario 3 (Verringerung)</b>	Entfernt		Entfernt	Entfernt	Entfernt				Nein		

Zu Beginn der bewertenden Maßnahmen bezüglich der Fuhrparkanalyse werden die Fahrtenbücher geprüft und anschließend ins Modell eingepflegt. Hierbei handelt es sich um Fahrtenbücher des Jahres 2019. Es folgt die Bewertung der einzelnen Fahrzeuge und eine Zuordnung in die **passende Kategorie (lediglich 1:1-Substitution oder Pooling-fähig)**. Die Kriterien für die Fahrzeugwahl basieren auf Referenzfahrzeugen, Informationen des Auftraggebers sowie der Expertise des ISME.

In Abbildung 3 wurden die verschiedenen Fahrtenbücher hinsichtlich der Häufigkeit an **Tageslaufleistungen >100 km/d, >200 km/d und >300 km/d** ausgewertet. Anhand dieser Informationen lassen sich weitere Entscheidungskriterien festlegen. Die zur Verfügung gestellten Fahrtenbücher umfassten Zeiträume eines ganzen Jahres.

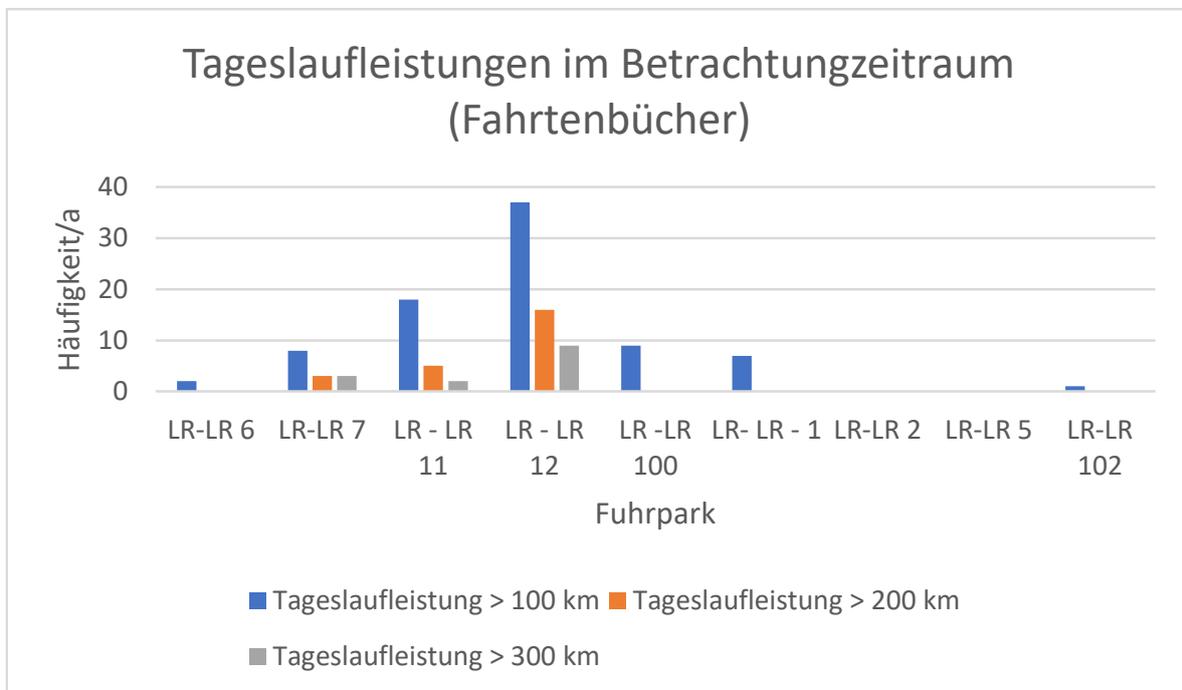


Abbildung 3: Anzahl an km/d in Häufigkeitsszenarien. Quelle [eigene Darstellung]

In Tabelle 6 sind die Fahrzeuge aufgeführt, welche sowohl für eine **1:1-Substitution** als auch zu einer **Verkleinerung** und **Effizienzsteigerung** des Fuhrparks beitragen können. Die Auswahl basiert auf Informationen des Auftraggebers sowie tagesabhängigen Auslastungen. Die Tageslaufleistungen der **(Fz3 / LR-LR 11)** und **(Fz4 / LR-LR 12)** sind ausreichend hoch, um im Falle einer Elektrifizierung ggf. nicht *allein* durch nächtliches Laden versorgt werden zu können – was Nachladungen zwischen Fahrten oder sogar während einzelner Fahrten bedingen könnte. Diese beiden Fahrzeuge könnten **ggf. besser durch Plug-In-Hybride ersetzt** werden. Andererseits sorgt die aktuelle

Entwicklung der Reichweiten und der Ausbau an Ladeinfrastruktur dafür, dass sich dies in Zukunft als weniger problematisch darstellen dürfte. Der Auftraggeber hat sich zudem für eine **Elektrifizierungsquote von 100%** ausgesprochen.

Tabelle 6: 1:1-Substitution + verringerungsfähiges Fahrzeug. Quelle [eigene Darstellung]

Bezeichnung	ICE	BEV	Beschreibung
Fz1 / LR-LR 6	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)	Fahrzeug lässt sich entfernen (Pooling fähig)
Fz3 / LR-LR 11	Suzuki Swift	Renault Zoe Life (41 kWh)	Fahrzeug lässt sich entfernen (Pooling fähig)
Fz4 / LR-LR 12	VW Golf	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)	Fahrzeug lässt sich entfernen (Pooling fähig)
Fz5 / LR-LR 100	VW Golf IV	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)	Fahrzeug lässt sich entfernen (Pooling fähig)

In Tabelle 7 sind die Fahrzeuge aufgeführt, welche ausschließlich **bei der 1:1-Substitution (Elektrifizierung)** betrachtet werden. Folgende Fahrzeuge können nicht aus dem bestehenden Fuhrpark genommen werden, es findet also keine Verkleinerung statt.

Tabelle 7: 1:1-Substitution / keine Verringerung. Quelle [eigene Darstellung]

Bezeichnung	ICE	BEV	Beschreibung
Fz2 / LR-LR 7	VW Golf Variant	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)	Hauptsächlich vom Tiefbau genutzt, nicht zu entfernen
Fz6 / LR-LR 1	VW Caddy	Renault Kangoo ZE	Im Pooling nutzbar, nicht zu entfernen
Fz7 / LR-LR 2	VW UP	Volkswagen move Up! 55 kW	Im Pooling nutzbar, nicht zu entfernen
Fz8 / LR-LR 5	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)	Keine Informationen bzgl. Abfahrt/Ankunft, Pooling (möglich, aber nicht simulierbar)

Fz9 / LR-LR 102	Kangoo	Renault Kangoo ZE	Im Pooling nutzbar, nicht zu entfernen
-----------------	--------	-------------------	--

In Abbildung 4 sind Auslastung und Laufleistung je Fahrzeug dargestellt. Dabei lässt sich die Auslastung für **(Fz7 / LR-LR 2)** und **(Fz8 / LR-LR 5)** nicht ermitteln, da hier keine Zeiträume in den Fahrtenbüchern vorhanden sind. Die Ergebnisse zeigen, dass die Tageslaufleistungen im Durchschnitt relativ gering ausfallen. Die **Auslastung je Nutzungstag und Wochentag unterscheiden** sich darin, dass beim Nutzungstag nur die Tage berücksichtigt werden an denen das Fahrzeug bewegt wurde, beim Wochentag werden diese jedoch auf den gesamten Betrachtungszeitraum bezogen.

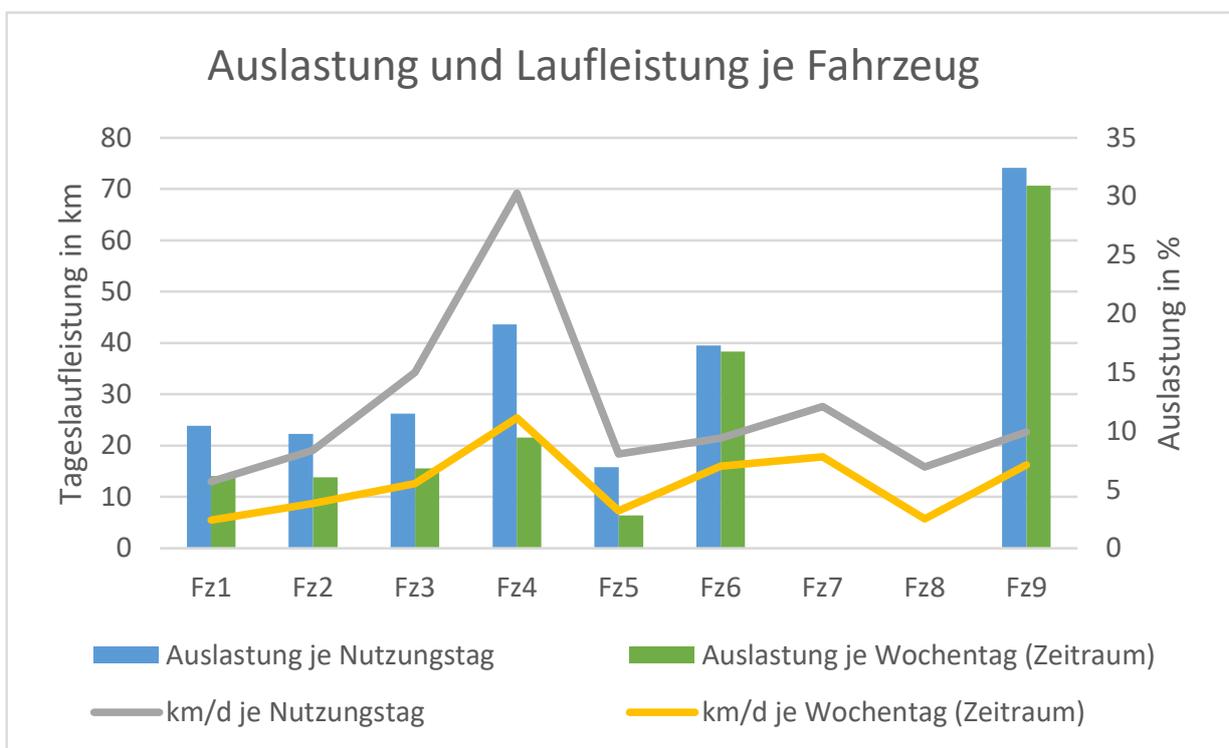


Abbildung 4: Auslastung und Laufleistung je Fahrzeug. Quelle [eigene Darstellung]

## 1:1-Substitution

Bei der 1:1-Substitution werden **neun** Fahrzeuge des Fuhrparks elektrifiziert. Anhand der vorher einbezogenen Daten findet die Betrachtung der Ergebnisse statt. Die 1:1-Substitution kann **als „Minimalziel“ angesetzt** werden, bei dem eine **vollständige Elektrifizierung erfolgt**.

### Kostenermittlung

Die Kostenermittlung basiert auf der Elektrifizierung der neun Fahrzeuge des **Fuhrparks**. Die Kostenentwicklung wird auf den **Betrachtungszeitraum von 12 Jahren** angesetzt. Zur besseren Vergleichbarkeit wird auch bei einer **ICE-Neanschaffung** von **einem 12-jährigen Zeitraum ausgegangen**. In Abbildung 5 und Abbildung 6 werden die Kosten für den Fuhrpark dargestellt. Dabei findet eine **separate Betrachtung für Kauf und Leasing** statt. Die Kostenkalkulation erfolgt anhand statischer Berechnungsmethoden.

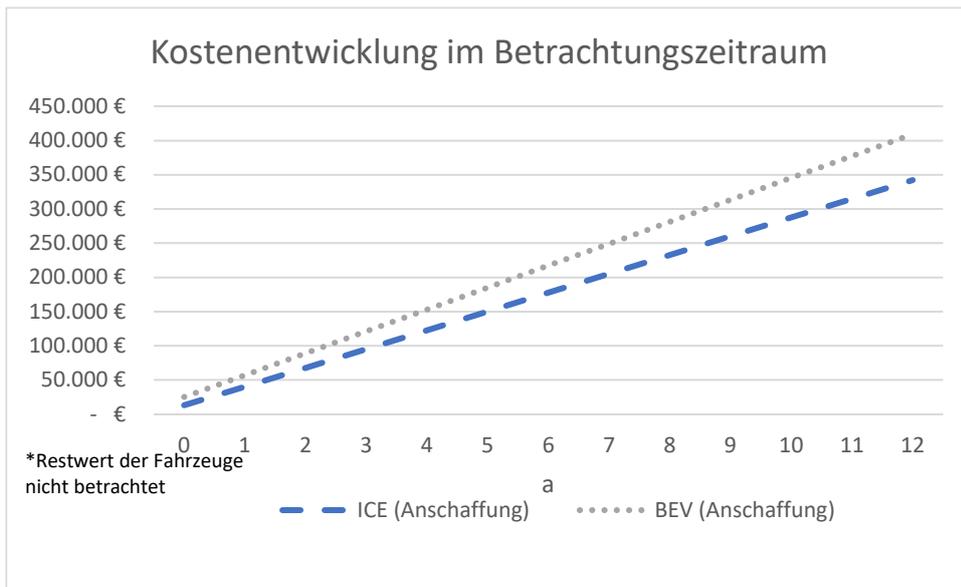


Abbildung 5: Kostenentwicklung bei Kauf (Anschaffung). Quelle [eigene Darstellung]

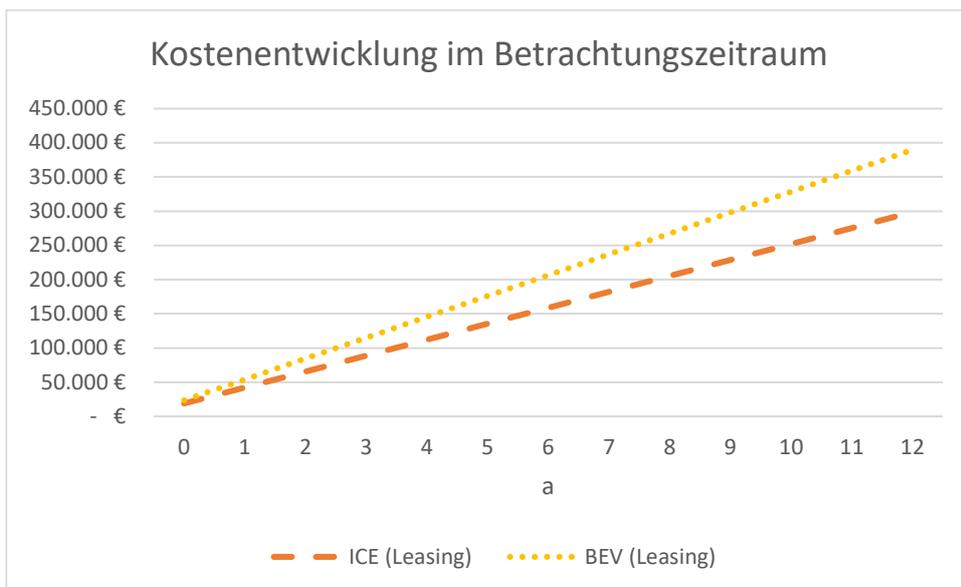


Abbildung 6: Kostenentwicklung bei Leasing. Quelle [eigene Darstellung]

Die Ergebnisse aus Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen, dass die Preise anhand der zugrunde liegenden Kenndaten und gewählten Fahrzeuge **höher für das Elektrofahrzeug ausfallen**. Dies trifft bei Leasing stärker zu als bei Kauf, da (hier einen Halbsatz entsprechend Kommentar bei Tabelle 8). In die **Betrachtung fließen keine Restwerte der Fahrzeuge** und **Förderungen ein**. Die Ergebnisse können deshalb in der Realität von den Modellergebnissen abweichen - sie bieten aber eine gute Orientierung. Wird der Strom selbst erzeugt, **können die Gesamtkosten weiter sinken**.

Tabelle 8: Ergebnisse Gesamtkosten auf 6- und 12 Jahre Kauf. Quelle [eigene Darstellung]

Ergebnisse	Kauf		Differenz	
	ICE	BEV	Absolut	Relativ
Jahr 6	177.641 €	217.180 €	39.539 €	22%
Jahr 12	342.356 €	409.328 €	66.972 €	20%

Tabelle 9: Ergebnisse Gesamtkosten auf 6- und 12 Jahre Leasing. Quelle [eigene Darstellung]

Ergebnisse	Leasing		Differenz	
	ICE	BEV	Absolut	Relativ
Jahr 6	158.666 €	206.579 €	47.913 €	30%
Jahr 12	298.496 €	389.640 €	91.144 €	31%

## CO<sub>2</sub>-Emissionen

In Abbildung 7 sind die **CO<sub>2</sub>-Emissionen** abgebildet. Bekanntermaßen sind die produktionsspezifischen Emissionen von Elektrofahrzeugen aufgrund der Batterieherstellung höher als bei Verbrennerfahrzeugen. Die verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen resultieren bei Elektrofahrzeugen aus dem handelsüblichen **CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des aktuellen deutschen Strommix**'. Hier wird deutlich, dass die Mehremissionen aus der Herstellung erst nach über 11 Jahren durch die Minderemissionen aus der Nutzung kompensiert werden. Dies liegt in erster Linie an den geringen Jahreslaufleistungen (s. Tabelle 5). Je weiter der **Ausbau regenerativer Energien in Deutschland voranschreitet**, desto früher wird der Schnittpunkt erreicht. Bei einem klimaneutralen Strombezug liegt der Schnittpunkt bereits bei etwas über 5 Jahren. Höhere Jahreslaufleistungen, wie sie mit einer Fuhrparkverkleinerung angestrebt werden, können diese Ergebnisse weiter verbessern.

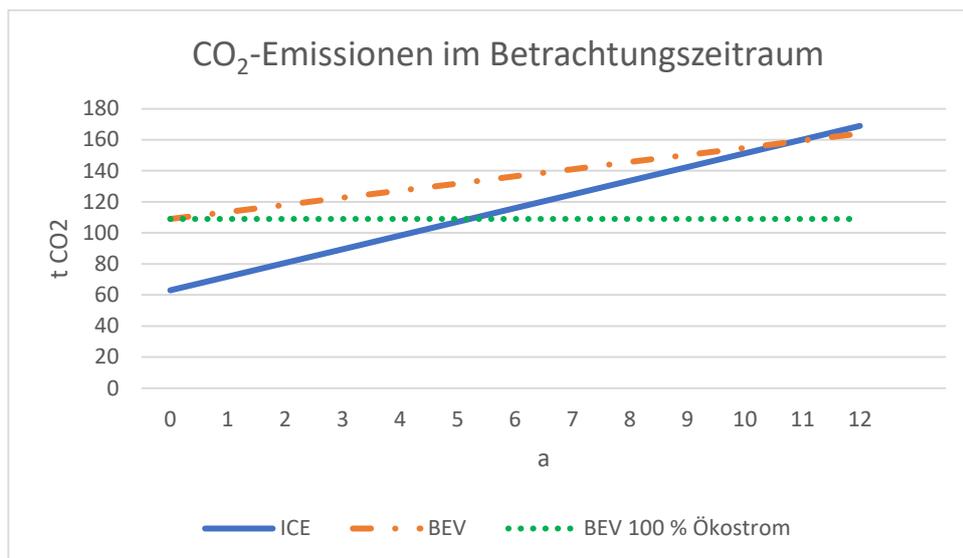


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen Fuhrpark. Quelle [eigene Darstellung]

## Fuhrparkverkleinerung und -diversifizierung

Bei der **Fuhrparkverkleinerung und -diversifizierung** werden Fahrzeuge aus dem Fuhrpark entfernt und damit einhergehende **Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen** ermittelt.

### Heat-Map des bestehenden Fuhrparks

Die in Abbildung 8 dargestellte Heat-Map basiert auf den Daten der Fahrtenbücher. Die auf der y-Achse aufgetragene Fuhrparkauslastung (als Fahrzeuganzahl in %) verteilt sich auf die neun Fahrzeuge. Die Auslastung dürfte tatsächlich höher ausfallen; da zwei Fahrzeuge keine zeitliche Auslastung in den Fahrtenbüchern aufweisen, lassen sie sich allerdings nicht in der Heat-Map integrieren. Dennoch zeigt die Abbildung, dass **der Fuhrpark zu keinem Zeitpunkt ausgelastet** ist. Da die Heat-Map einen spitzen Verlauf aufzeigt und nur selten dunkelgrün eingefärbt ist, lässt sich ein hohes Potenzial für die Verringerung von Fahrzeugen ableiten. Basierend auf der Darstellung werden in der anschließenden Verkleinerung des Fuhrparks **drei Szenarien** simuliert.

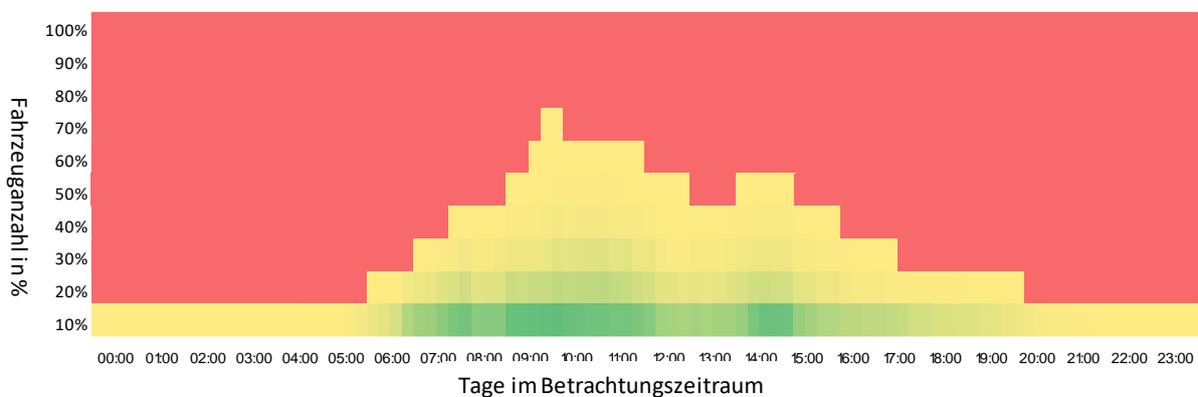


Abbildung 8: Heat-Map - 1 zu 1 Substitution. Quelle [eigene Darstellung]

## Szenario 1: Verkleinerung um ein Fahrzeug

Am Rathausplatz in Lahr ist bereits **ein Carsharing-Fahrzeug stationiert**, welches einen großen Anteil an Fahrten abdeckt und daher als positives Beispiel (Information des Auftraggebers) gesehen werden kann.

Im **Szenario 1** wird der Fuhrpark um ein Fahrzeug verringert. Dabei wird mit **(Fz1 / LR-LR 6)** das am geringsten ausgelastete Fahrzeug aus dem Fuhrpark entfernt. In den nachfolgenden Heat-Maps wird oben die Auslastung des verbleibenden Fuhrparks und unten die Auslastung des entfernten Fahrzeugs dargestellt. Das entfernte Fahrzeug wird im Modell zu **100 % durch ein Ersatzkonzept gedeckt** und nicht auf die anderen Fahrzeuge verteilt. Im realen Fall würde ein Großteil dieser Fahrten über die anderen Fahrzeuge gedeckt werden.

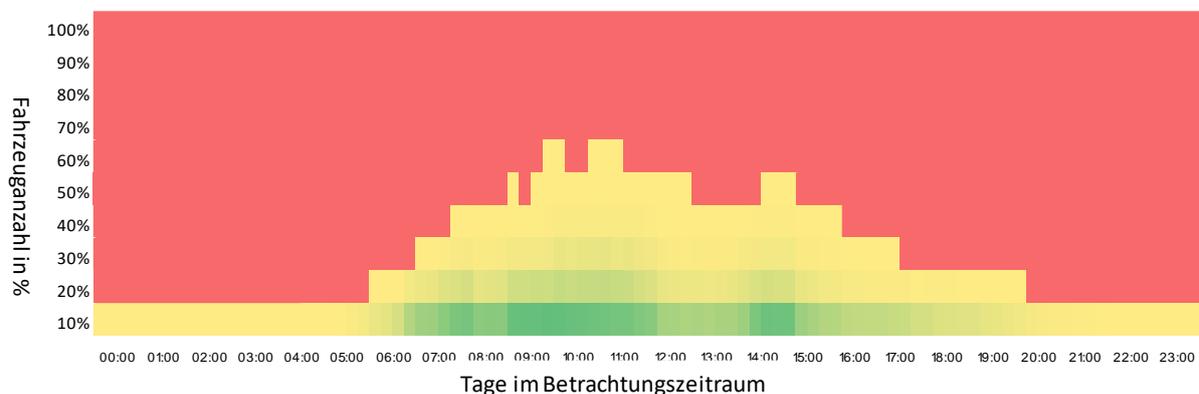


Abbildung 9: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 1 nach Verkleinerung. Quelle [eigene Darstellung]

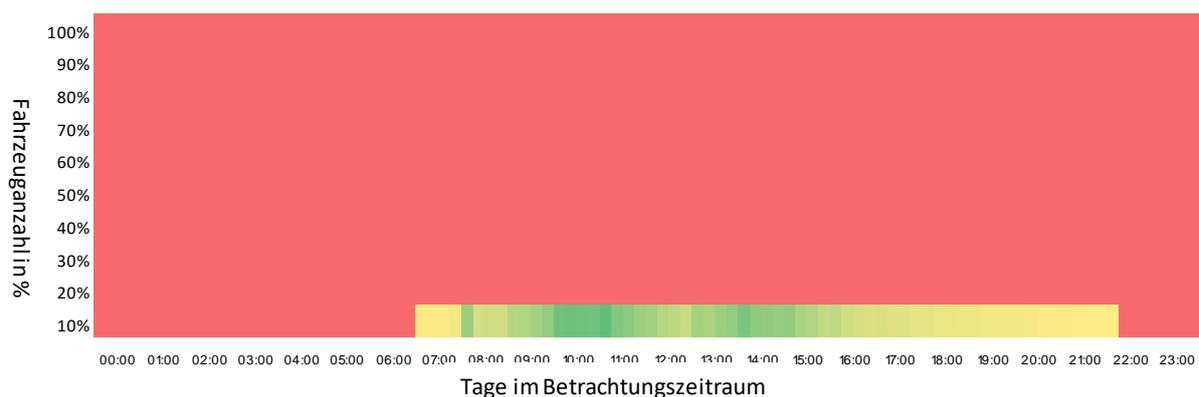


Abbildung 10: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 1 entferntes Fahrzeug. Quelle [eigene Darstellung]

Durch die Fuhrparkverkleinerung zeigt sich in Abbildung 9 eine leicht flachere Darstellung, was einer höheren Auslastung entspricht.

## Kosten Szenario 1

In Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigt sich eine leichte Abnahme der Kosten, die durch Verringerung um das **(Fz1 / LR-LR 6)** erzielt wird. Zusätzlich ist mit geringerer CO<sub>2</sub>-Emission zu rechnen, da diese aufgrund geringerer Produktionsemissionen zurückgeht. Das Carsharing oder Taxi-Fahrzeug fließt nicht mit in die Berechnung ein. Basierend auf der Annahme, dass im realen Gebrauch ein Großteil der Fahrleistung verlagert wird, kommt es zu weiteren Kosteneinsparungen.

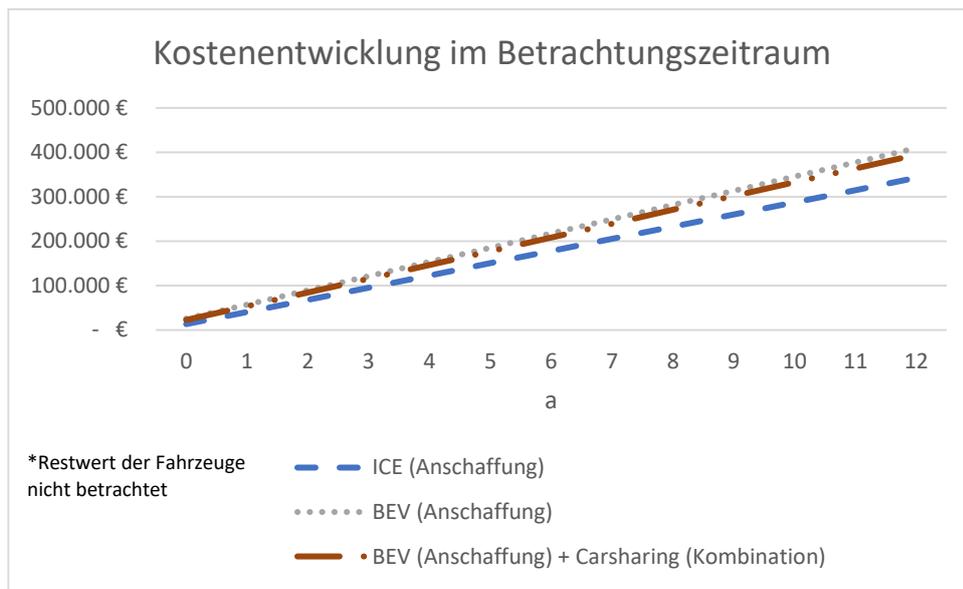


Abbildung 11: Szenario 1 Kostenentwicklung bei Kauf. Quelle [eigene Darstellung]

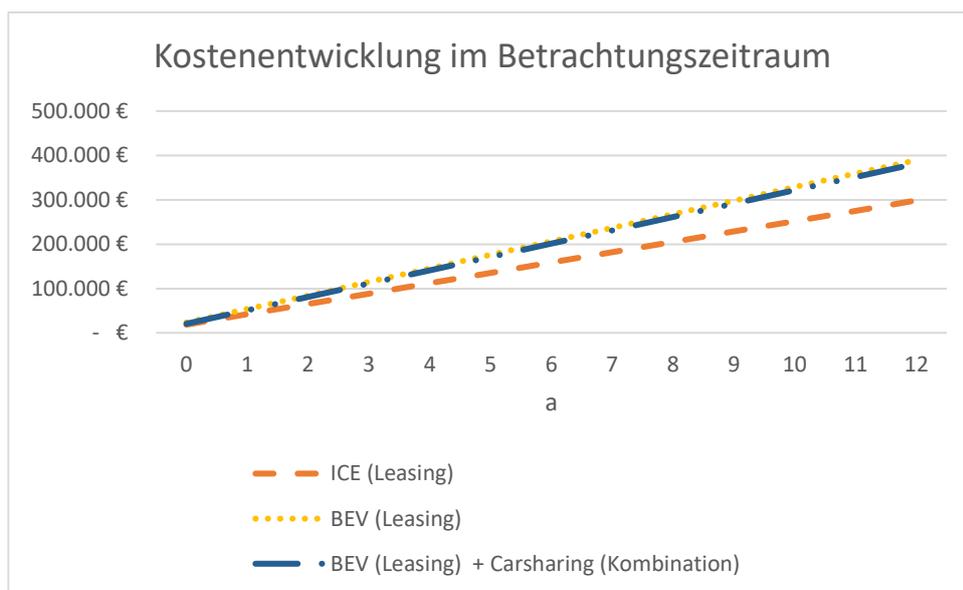


Abbildung 12: Szenario 1 Kostenentwicklung bei Leasing. Quelle [eigene Darstellung]

Im Vergleich zur 1:1-Substitution in Tabelle 8 sind in Tabelle 10 die Ergebnisse von Szenario 1 aufgeführt. Dabei werden die Fahrten des Fahrzeugs, welches aus dem Fuhrpark entfernt wurde, durch Carsharing ersetzt. Dabei fallen bei **BEV (Kauf) + Carsharing (Kombination)** geringere Kosten an. Bei **BEV (Leasing) + Carsharing (Kombination)** ist die Verringerung etwas geringer.

Tabelle 10: Kosten Szenario 1. Quelle [eigene Darstellung]

Ergebnisse	Kauf		Differenz	
	BEV	BEV + Carsharing	absolut	relativ
<b>Szenario 1</b>				
Jahr 6	217.180 €	208.274 €	-8.906 €	-4%
Jahr 12	409.328 €	394.432 €	-14.896 €	-4%
	Leasing		Differenz	
Jahr 6	206.579 €	201.289 €	-5.290 €	-3%
Jahr 12	389.640 €	381.461 €	-8.179 €	-2%

## Szenario 2: Verkleinerung um zwei Fahrzeuge

Im Szenario 2 wird der Fuhrpark um zwei Fahrzeuge verringert. Dabei werden mit **(Fz1 / LR-LR 6)** und **(Fz5 / LR-LR 100)** die beiden geringst ausgelasteten Fahrzeuge aus dem Fuhrpark entfernt. In den nachfolgenden Heat-Maps wird oben die Auslastung des verbleibenden Fuhrparks und unten die Auslastung der entfernten Fahrzeuge dargestellt. Die Fahrten der entfernten Fahrzeuge werden im Modell zu **100 % durch ein Ersatzkonzept gedeckt** und nicht auf die anderen Fahrzeuge verteilt. Im realen Fall würde ein Großteil dieser Fahrten über die anderen Fahrzeuge gedeckt werden.

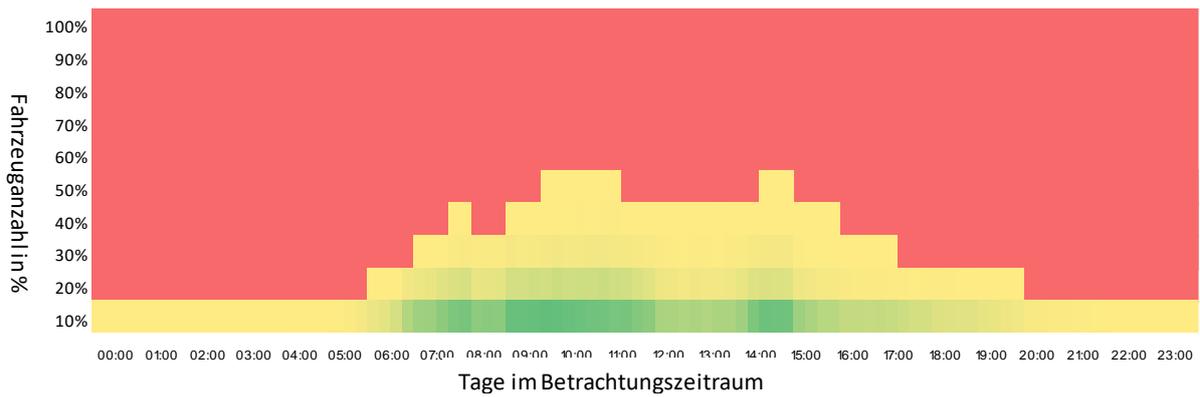


Abbildung 13: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 2 nach Verkleinerung. Quelle [eigene Darstellung]

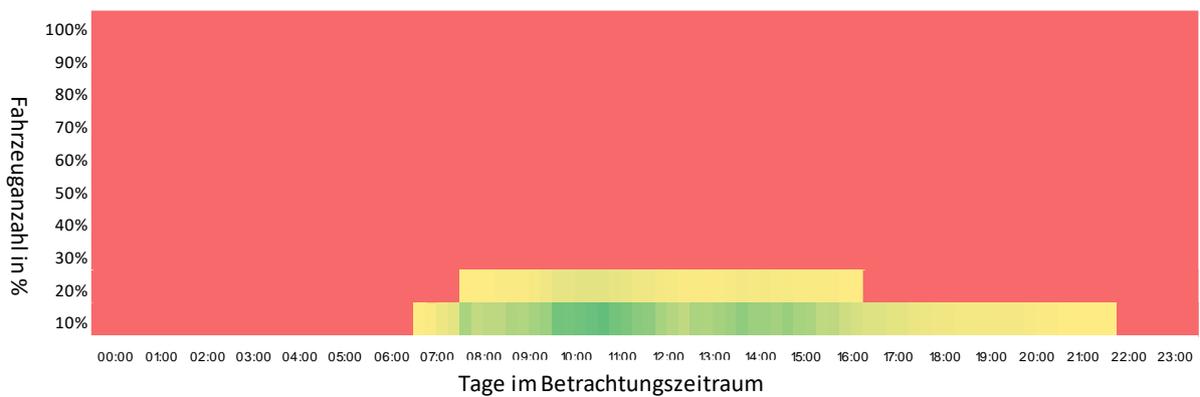


Abbildung 14: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 2 entfernte Fahrzeuge. Quelle [eigene Darstellung]

Durch die Fuhrparkverkleinerung zeigt sich in Abbildung 13 eine flachere Darstellung, was für eine höhere Auslastung spricht.

## Kosten Szenario 2

Im **Szenario 2** werden die Kosten anhand einer Fuhrparkverkleinerung um zwei Fahrzeuge ermittelt. In Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigt sich eine weitere leichte Absenkung der Kosten im Verhältnis zu Szenario 1. Zudem ist davon auszugehen, dass bei realer Nutzung eine weitere Kostensenkung aufgrund der Verlagerung von Laufleistungen entsteht.

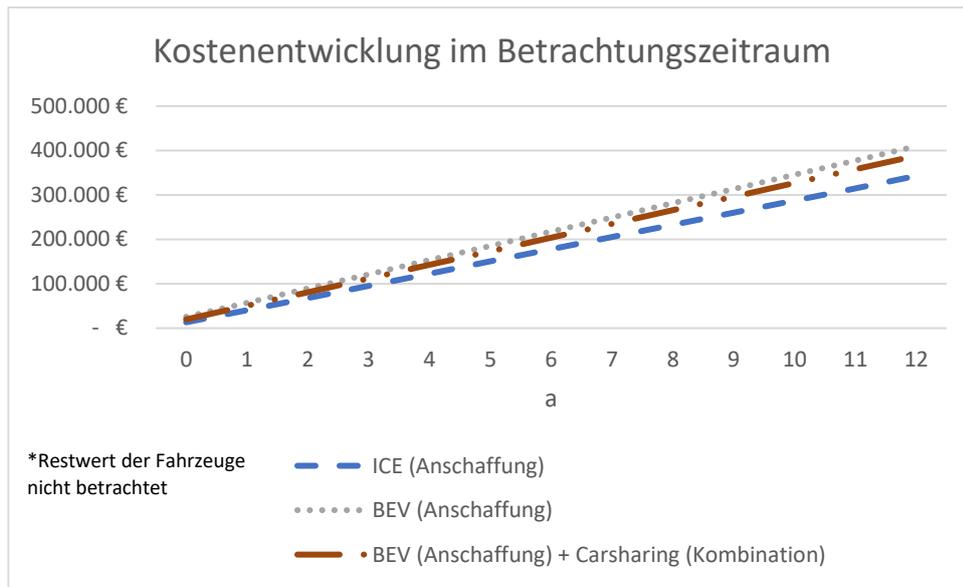


Abbildung 15: Szenario 2 Kostenentwicklung bei Kauf. Quelle [eigene Darstellung]

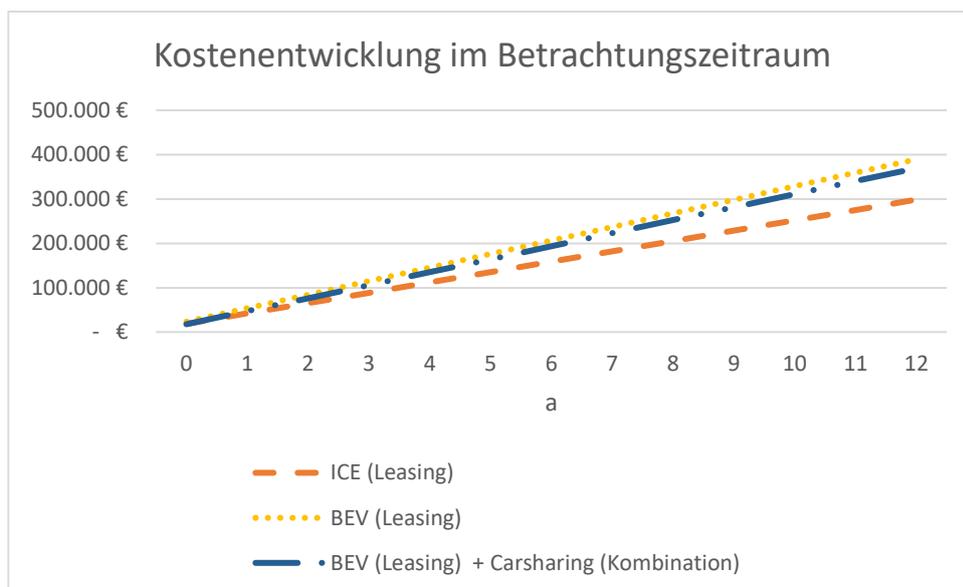


Abbildung 16: Szenario 2 Kostenentwicklung bei Leasing. Quelle [eigene Darstellung]

Im Vergleich zur Tabelle 8 sind in Tabelle 11 die Ergebnisse von Szenario 2 aufgeführt. Dabei werden die beiden Fahrzeuge, welche aus dem Fuhrpark entfernt wurden durch Carsharing ersetzt. Dabei fallen bei **BEV (Kauf) + Carsharing (Kombination)** geringere Kosten an. Bei **BEV (Leasing) + Carsharing (Kombination)** fallen die Kosten ebenso signifikant ab.

Tabelle 11: Kosten Szenario 2. Quelle [eigene Darstellung]

Ergebnisse Szenario 2	Kauf		Differenz	
	BEV	BEV + Carsharing	absolut	relativ
Jahr 6	217.180 €	203.870 €	-13.310 €	-6%
Jahr 12	409.328 €	388.287 €	-21.041 €	-5%
	Leasing		Differenz	
Jahr 6	206.579 €	193.683 €	-12.896 €	-6%
Jahr 12	389.640 €	369.369 €	-20.271 €	-5%

### Szenario 3: Progressive Verkleinerung um vier Fahrzeuge

In Szenario 3 wird der Fuhrpark um zwei weitere Fahrzeuge verringert. Durch eine progressive Vorgehensweise soll eine möglichst hohe Effizienzsteigerung im Fuhrpark erzielt werden. In Tabelle 12 sind die Fahrzeuge aufgeführt, welche zusätzlich aus dem Fuhrpark entfernt werden und durch Carsharing ersetzt werden. Die **(Fz7 / LR-LR 2)** und **(Fz8 / LR-LR 5)** wurden nicht entfernt, da hier **keine Informationen für die zeitliche Auslastung vorhanden** sind und sich daher die täglichen Nutzungsbedingungen nicht ermitteln lassen.

Tabelle 12: Entfernte Fahrzeuge. Quelle [eigene Darstellung]

Fahrzeugbezeichnung	Kennzeichen
Fahrzeug 1	LR-LR 6
Fahrzeug 3	LR-LR 11
Fahrzeug 4	LR-LR 12
Fahrzeug 5	LR-LR 100

In den nachfolgenden Heat-Maps wird oben die Auslastung des verbleibenden Fuhrparks und unten die Auslastung der entfernten Fahrzeuge dargestellt. Die ersetzten Fahrzeuge werden im Modell zu **100 % durch ein Ersatzkonzept gedeckt** und nicht auf die anderen Fahrzeuge verteilt. Im realen Fall würde ein kleiner Anteil dieser Fahrten über die Fahrzeuge aus dem Fuhrpark abgedeckt werden.

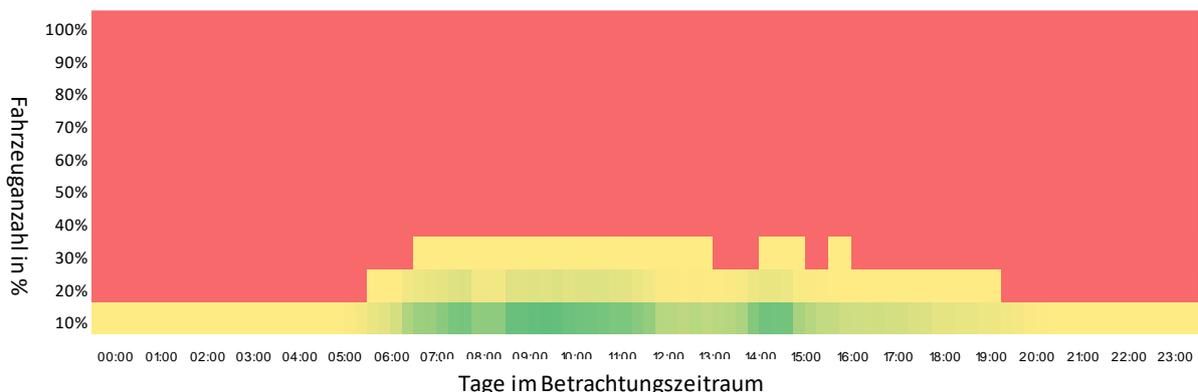


Abbildung 17: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 3 nach Verkleinerung. Quelle [eigene Darstellung]

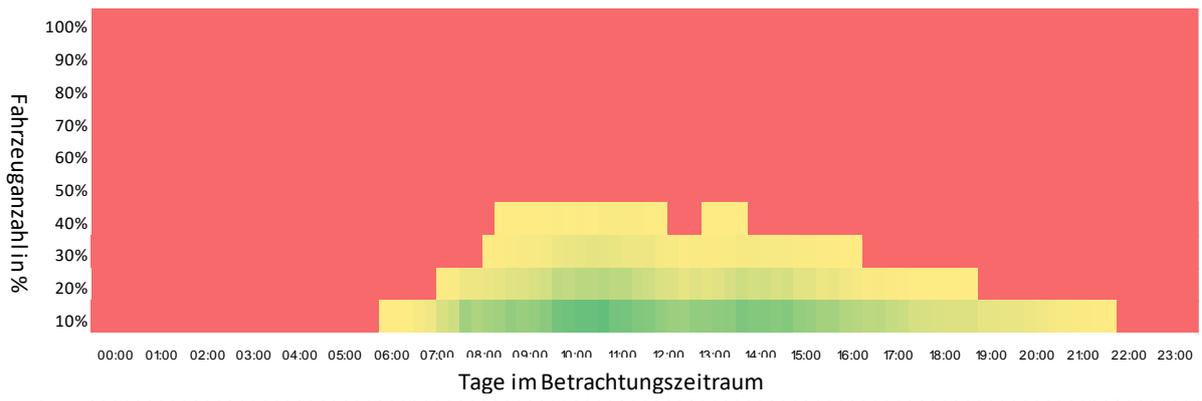


Abbildung 18: Fuhrpark Heat-Map im Szenario 3 entfernte Fahrzeug. Quelle [eigene Darstellung]

### Kosten Szenario 3

Im **Szenario 3** werden die Kosten anhand einer Fuhrparkverkleinerung um vier Fahrzeuge dargestellt. In Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigt sich eine weitere leichte **Absenkung der Kosten im Verhältnis zu Szenario 1 und 2**. Zudem ist davon auszugehen, dass bei realer Nutzung eine weitere Kostensenkung aufgrund der Verlagerung von Laufleistungen entsteht.

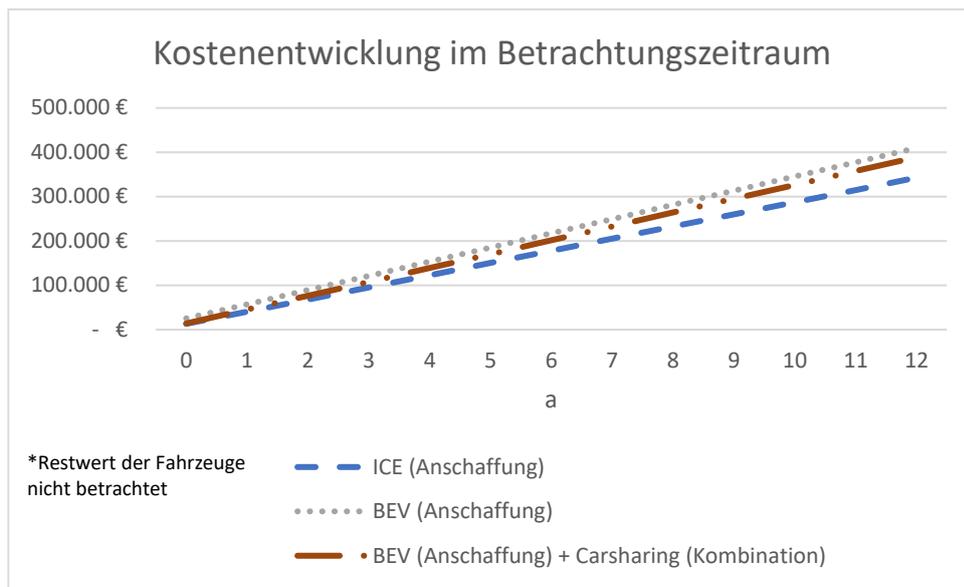


Abbildung 19: Szenario 3 Kostenentwicklung bei Kauf. Quelle [eigene Darstellung]

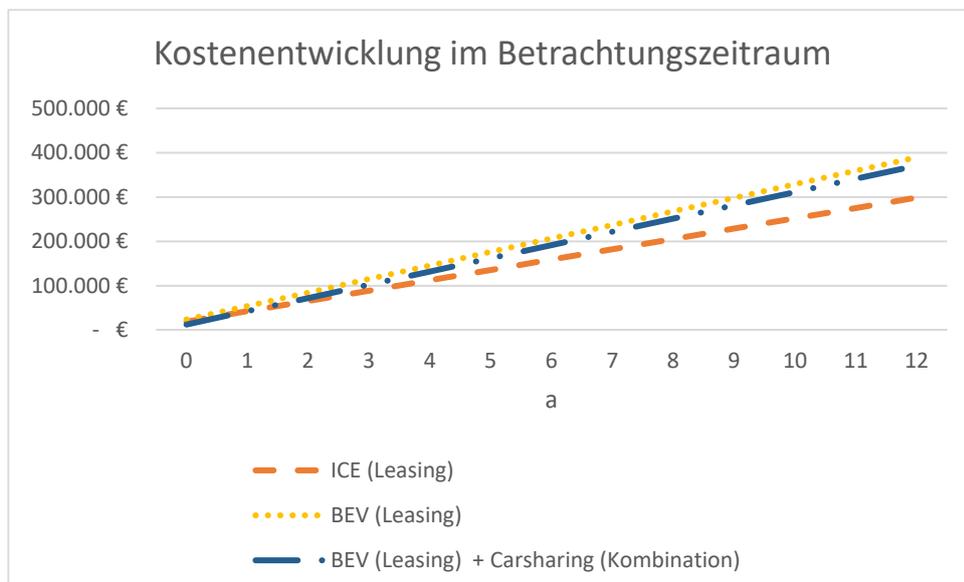


Abbildung 20: Szenario 3 Kostenentwicklung bei Leasing. Quelle [eigene Darstellung]

Im Vergleich zur Tabelle 8 sind in Tabelle 13 die Ergebnisse von Szenario 3 aufgeführt. Dabei werden die Kosten basierend auf dem Ersatz der vier entfernten Fahrzeuge

erstellt. Dabei fallen bei **BEV (Kauf) + Carsharing (Kombination)** geringere Kosten an. Bei **BEV (Leasing) + Carsharing (Kombination)** fallen die Kosten ebenso signifikant ab.

Tabelle 13: Kosten Szenario 3. Quelle [eigene Darstellung]

Ergebnisse	Kauf		Differenz	
	BEV	BEV + Carsharing	absolut	relativ
<b>Szenario 3</b>				
Jahr 6	217.180 €	201.364 €	-15.816 €	-7%
Jahr 12	409.328 €	388.853 €	-20.475 €	-5%
	Leasing		Differenz	
Jahr 6	206.579 €	191.591 €	-14.988 €	-7%
Jahr 12	389.640 €	370.703 €	-18.937 €	-5%

Die Ergebnisse aus **Szenario 3** zeigen, dass die Kosten bei gleichbleibender Bedingung etwas sinken. Es ist davon auszugehen, dass ein weiterer Anteil an Fahrten auf die bestehenden Fahrzeuge verlagert wird. Allerdings ist aufgrund der progressiven Fuhrparkverkleinerung mit einer sehr hohen Fahrzeugauslastung zu rechnen, wodurch der Bedarf für Carsharing am Standort deutlich ansteigt. Weitere Ausweichoptionen wie **ÖPNV, Taxi** können **bei Engpässen für punktuelle Kostensteigerungen** sorgen.

## Kostenvergleich

In diesem Kapitel werden die Kosten der 1:1-Substitution und **der Szenarien 1,2 und 3** aufgeführt und gegenübergestellt (s. Tabelle 14 ). Aufgrund von Verlagerungen von Fahrten ist mit weiteren Kostenreduktion zu rechnen.

Tabelle 14: Übersicht Kostenaufschlüsselung. Quelle [eigene Darstellung]

Szenario	Ergebnisse	ICE (Kauf)	ICE (Leasing)	BEV (Kauf)	BEV (Leasing)	BEV (Kauf) + Carsharing (Kombination)	BEV (Leasing) + Carsharing (Kombination)
<b>1:1- Substitu- tion</b>	Jahr 6	177.641 €	158.666 €	217.180 €	206.579 €	/	/
	Jahr 12	342.356 €	298.496 €	409.328 €	389.640 €	/	/
<b>Szenario 1</b>	Jahr 6	<b>Wie 1:1-Substitution</b>				208.274 €	201.289 €
	Jahr 12					<b>394.432 €</b>	<b>381.461 €</b>
<b>Szenario 2</b>	Jahr 6					203.870 €	193.683 €
	Jahr 12					<b>388.287 €</b>	<b>369.369 €</b>
<b>Szenario 3</b>	Jahr 6					201.364 €	191.591 €
	Jahr 12					<b>388.853 €</b>	<b>370.703 €</b>

## Ladeinfrastruktur / Lastprofil

Im Zuge der **Elektrifizierung von Fahrzeugen** wird auch Ladeinfrastruktur benötigt. Bisher stehen im Rathausinnenhof **vier Wallboxen**, von denen **zwei** nicht mehr zur Nutzung zur Verfügung stehen. Bei den zwei weiteren Wallboxen ist noch unklar, ob ein vollumfassendes Nutzungsrecht gewährleistet werden kann. Die Prüfung der **dezentralen Versorgungsanlagen** am Standort ergab, dass diese auf Basis **einer Gastherme und einem Pelletkessel erfolgt**. Aufgrund des guten Zustands und dem vergleichsweise jungen Alter der Anlagen ist nicht davon auszugehen, dass diese in **naher Zukunft ausgetauscht** werden. Somit lässt sich eine Versorgung der Wallboxen durch ein **BHKW nicht gewährleisten**. Eine weitere Möglichkeit stellt die **Nutzung von PV-Anlagen** dar. Dabei wurde vom Auftraggeber mitgeteilt, dass sich bereits **PV-Anlagen auf den Dachflächen befinden**, aktuell sind diese aber nicht im Eigentum der Stadt Lahr. Das **ISME schlägt vor**, nach Ablauf der Pachtverträge, die PV-Anlagen für die **Eigenversorgung** der Wallboxen zu nutzen. Hierbei können sowohl **ökologische wie ökonomische Vorteile erzielt** werden. Aktuell beziehen die Wallboxen aus dem Innenhof des Rathaus 2 ihren Strom vom E-Werk-Mittelbaden Lahr.

Zwischen den bestehenden Wallboxen existiert keine Kommunikationsschnittstelle. Durch den Aufbau eines **Ladeinfrastruktursystems mit einem übergeordneten Gateway** kann die Kommunikation zwischen den Wallboxen und damit gezieltes Lastmanagement realisiert werden.

Aufgrund der täglichen Nutzung der Fahrzeuge ist schwerpunktmäßig von nächtlichen Ladevorgängen auszugehen. Würde es dabei zu Lastspitzen kommen, können diese auf die gesamte Nacht verteilt werden. Der **Aufbau von Ladeinfrastruktur** wird mit **maximal 11 kW (AC)** vorgeschlagen, da dies für das **Laden vor Ort** ausreicht. In Abbildung 21 und Abbildung 22 wird unterschieden in 11 kW und 3,7 kW. Im **Szenario 2 werden sieben Ladepunkte (Wallboxen) benötigt**, im **Szenario 3 fünf Ladepunkte**. Sollten die beiden noch aktuell vorhandenen Wallboxen nutzbar sein, ist der jeweilige Bedarf an Ladepunkten um zwei zu reduzieren. Dies ist auf den Restbestand an Fahrzeugen zurückzuführen. In dieser Betrachtung wird die Möglichkeit des Mitarbeiterladers nicht berücksichtigt.

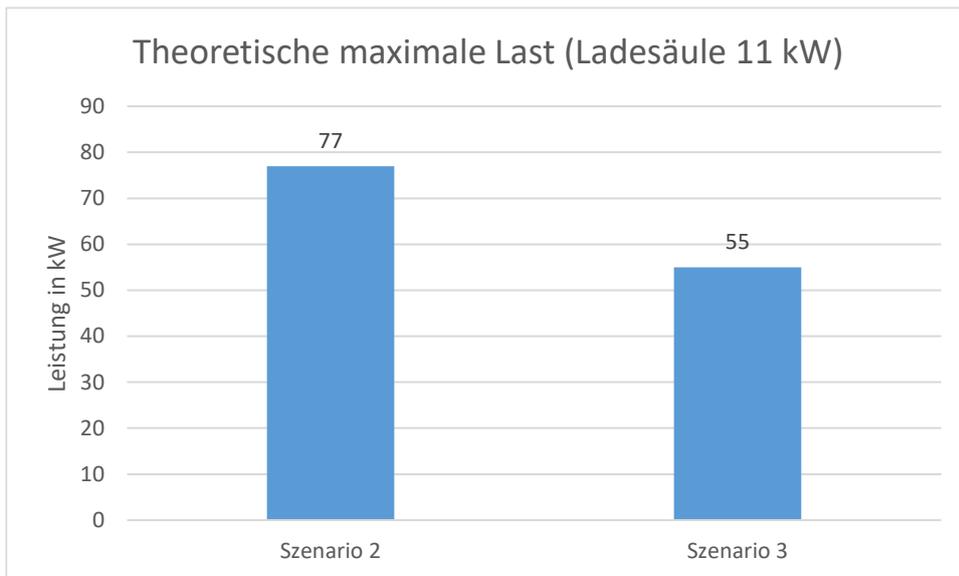


Abbildung 21: Theoretische maximale Last für Szenario 2 und 3 bei 11 kW. Quelle [eigene Darstellung]

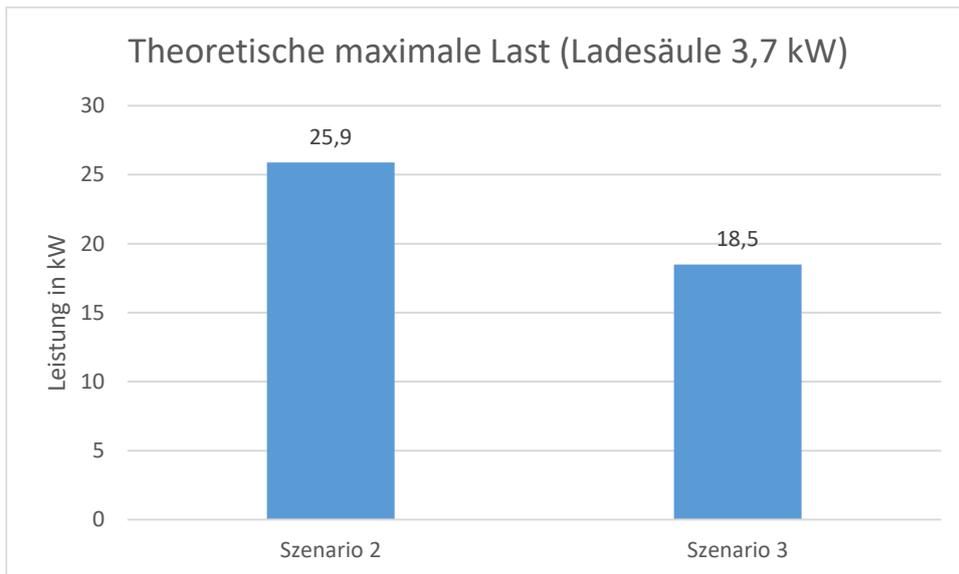


Abbildung 22: Theoretische maximale Last für Szenario 2 und 3 bei 3,7 kW. Quelle [eigene Darstellung]

Wichtig beim Aufbau der Ladeinfrastruktur ist es, die der Elektromobilität **verfügbare Netzanschlussleistung mit dem Netzbetreiber vor Ort abzuklären bzw. über mehrtägige Testmessungen durch einen für Elektromobilität zertifizierten Elektroinstallationsbetrieb zu eruieren**. Heutige Ladesysteme bieten häufig schon **integriertes Lastmanagementsysteme**, mit dem sich die Spitzenlast limitieren und die Lastverteilung der einzelnen Ladepunkte steuern lässt.

## Fuhrparksoftware

Um die **Verfügbarkeit** und **Buchung** der Fahrzeuge im Fuhrpark zu optimieren und eine **strukturierte Datenerfassung** zu ermöglichen, werden vom ISME zwei unterschiedliche Fuhrparksoftwaresysteme vorgeschlagen.

Bisher gibt es bei der **Buchung der Fahrzeuge** kein abgestimmtes koordiniertes Vorgehen. Daher kann die Nutzung eines **Online-Buchungssystems die Verwaltung der Fahrzeuge erleichtern und verbessern**. Aufgrund der Elektrifizierung der Fahrzeuge ist es wichtig, die **Ladezustände der Fahrzeuge online einsehen zu können**. Zusätzlich sind auch Informationen wie Baujahr, Führerscheine, Mitarbeiter, Kilometerlaufleistung, Kosten, Fahrtenaufzeichnung, Kategorisierung von Fahrten etc. nützlich. Ziel ist es, eine **effizientere** und **nutzerfreundlichere** Nutzung des Fuhrparks zu ermöglichen.

Folgende Fuhrparksoftware wird vom ISME vorgeschlagen (s. Tabelle 15):

Tabelle 15: Kurzinformation Fuhrparksoftware. Quelle [eigene Darstellung]

Fuhrparksoftware	
Vimcar <sup>1</sup> (FLEET)	<b>Nutzung:</b> Internetbasiert <b>Verwaltungsfunktionen:</b> Stammdatenverwaltung/Führerscheinkontrolle, digitale Fahrzeugakte, digitales Fahrtenbuch <b>Clients:</b> Webbrowser, App <b>Herausgeber:</b> Vimcar GmbH mit Sitz in Berlin <b>Sprachen:</b> Deutsch <b>Kostenlose Testphase:</b> 30 Tage <b>Preis:</b> Allgemein 2,90 €/Monat Einstiegs Version / zusätzliche (15,90 €/Monat pro Fahrzeug inkl. Hardware für Fahrzeug – automatische Aufzeichnung von Fahrten) <b>Sonstiges:</b> Übersichtliche Statistiken, Alle Fahrzeugkosten auf einen Blick, Schutz der Privatsphäre
Carano (Fleet+)	<b>Nutzung:</b> On-Premises, Cloud basiert <b>Verwaltungsfunktionen:</b> Policies, Beschaffung für Leasing- oder Kauf, Buchungskalender, Reichweitenmanagement, Automatische Umbuchung bei Verspätung, Fahrerunterweisung, Führerscheinkontrolle

<sup>1</sup> <https://www.softwareabc24.de/fuhrparkmanagement-software/>  
<https://vimcar.de/>

Com-  
pact)<sup>2</sup>

**Clients:** Webbrowser, Desktopanwendung

**Herausgeber:** Carano Software Solutions GmbH

**Sprachen:** Deutsch

**Kostenlose Testphase:** 30 Tage

**Preis:** Allgemein 1,90 €/Monat zusätzlich pro Fahrzeug

**Sonstiges:** Forschungsprojekt zum Thema Elektromobilität, Fleet+ Compact für kleinere Flotten

---

<sup>2</sup> <https://www.softwareabc24.de/fuhrparkmanagement-software/>  
<https://www.carano.de/>

## Fazit

Basierend auf der **guten Datengrundlage** konnte eine gezielte Untersuchung des Fuhrparks durchgeführt werden.

Generell lässt sich sagen, dass die gesamte Fahrzeugpalette im Fuhrpark aufgrund der Tageslaufleistungen und der Fahrzeugtypen durchaus **ohne Komfortverluste** elektrifiziert werden kann. Aus diesem Grund findet in der Analyse eine **vollständige Substitution** der Verbrennerfahrzeuge durch Elektrofahrzeuge statt. Auch die Ergebnisse der Kostenbetrachtungen haben gezeigt, dass es **Preisunterschiede gibt, diese durch Steigerung der Jahreslaufleistung und optional** durch die Nutzung eigens erzeugtem Strom weiter gesenkt werden können.

Beim **Szenario 3** werden vier Fahrzeuge aus dem Fuhrpark entfernt. Die restlichen Fahrzeuge werden durch **eine 1:1-Substitution elektrifiziert**. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass das **Szenario 3** den größten **ökonomischen Vorteil** erzielt. Zudem kommt es aufgrund der geringeren Fahrzeuganzahl zu höheren Auslastungen im Fuhrpark. Allerdings kann es durch die Verkleinerung des Fuhrparks zu häufigeren Überlagerungen kommen, welche dann durch Carsharing und optional ÖPNV, Taxi etc. abgedeckt werden müssen. Mit Hilfe einer Fuhrparksoftware lassen sich Kriterien wie Auslastung besser managen.

Beim **Szenario 2** werden lediglich zwei Fahrzeuge aus dem Fuhrpark entfernt. Die restlichen Fahrzeuge werden durch eine **1:1-Substitution elektrifiziert**. Da im Szenario 2 lediglich zwei Fahrzeuge aus dem Fuhrpark entnommen werden, sind die **positiven Auswirkungen der Fuhrparkverkleinerung etwas geringer**. Andererseits bietet dieses Szenario einen **größeren Pool an Fahrzeugen und damit auch einen Puffer bei hoher Auslastung**.

Die folgenden drei Punkte lassen ökonomische Einsparungen für eine Elektrifizierung des Fuhrparks erahnen, können aber aufgrund der restriktiven Einstellungen des Modells nicht über längere Zeiträume konstant prognostiziert werden.

- 1) Bei der Verkleinerung des Fuhrparks kann ein Großteil der Fahrten auf andere Fahrzeuge im Fuhrpark verlagert werden, wodurch ein Teil der Kosten für die Verlagerung von Fahrten auf Carsharing entfällt.

- 2) Bei den Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen werden keine aktuellen Fördermöglichkeiten des Bundes und des Landes berücksichtigt.
- 3) Die Nutzung von Strom aus Eigenerzeugung bietet weitere Kostensenkungspotenziale.

Um die nötigen Rahmenbedingungen zu schaffen ist eine standortbezogene Ladeinfrastruktur nötig. Dabei sollte jedem Fahrzeug ein eigener Ladepunkt zur Verfügung gestellt werden. Beim Laden über Nacht reicht eine **Anschlussleistung von 3,7-11 kW** aus, um den Bedarf der Fahrzeuge zu decken. Insgesamt kann durch die **Elektrifizierung und Verkleinerung des Fuhrparks eine Wertschöpfung und Effizienzsteigerung erzielt werden**. Wie bereits in Kapitel 0 erwähnt, wäre die Nutzung der PV-Anlage für die Versorgung der LIS anzustreben.

Beim Aufbau von Ladeinfrastruktur sollte die Gebäudetechnik der anliegenden Gebäudestruktur in die Betrachtung einbezogen werden. Durch einen Strombezug auf Basis erneuerbarer Energien und/oder Kraftwärmekopplung lassen sich ökologische und ökonomische Synergieeffekte erzielen.

Die folgenden Tabellen erhalten eine Zusammenfassung der Fahrzeugübersichten der 1:1-Substitution sowie der Szenarien 1,2 und 3:

Tabelle 16: 1:1-Substitution. Quelle [eigene Darstellung]

Bezeichnung	ICE	BEV
Fz1 / LR-LR 6	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz3 / LR-LR 11	Suzuki Swift	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz4 / LR-LR 12	VW Golf	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz5 / LR-LR 100	VW Golf IV	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz2 / LR-LR 7	VW Golf Variant	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz6 / LR-LR 1	VW Caddy	Renault Kangoo ZE
Fz7 / LR-LR 2	VW UP	Volkswagen move Up! 55 kW
Fz8 / LR-LR 5	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz9 / LR-LR 102	Kangoo	Renault Kangoo ZE

Tabelle 17: Szenario 1. Quelle [eigene Darstellung]

Bezeichnung	ICE	BEV
Fz1 / LR-LR 6	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz3 / LR-LR 11	Suzuki Swift	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz4 / LR-LR 12	VW Golf	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz5 / LR-LR 100	VW Golf IV	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz2 / LR-LR 7	VW Golf Variant	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz6 / LR-LR 1	VW Caddy	Renault Kangoo ZE
Fz7 / LR-LR 2	VW UP	Volkswagen move Up! 55 kW
Fz8 / LR-LR 5	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz9 / LR-LR 102	Kangoo	Renault Kangoo ZE

Tabelle 18: Szenario 2. Quelle [eigene Darstellung]

Bezeichnung	ICE	BEV
Fz1 / LR-LR 6	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz3 / LR-LR 11	Suzuki Swift	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz4 / LR-LR 12	VW Golf	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz5 / LR-LR 100	VW Golf IV	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz2 / LR-LR 7	VW Golf Variant	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz6 / LR-LR 1	VW Caddy	Renault Kangoo ZE
Fz7 / LR-LR 2	VW UP	Volkswagen move Up! 55 kW
Fz8 / LR-LR 5	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz9 / LR-LR 102	Kangoo	Renault Kangoo ZE

Tabelle 19: Szenario 3. Quelle [eigene Darstellung]

Bezeichnung	ICE	BEV
Fz1 / LR-LR 6	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz3 / LR-LR 11	Suzuki Swift	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz4 / LR-LR 12	VW Golf	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz5 / LR-LR 100	VW Golf IV	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)
Fz2 / LR-LR 7	VW Golf Variant	Nissan Leaf ZE1 (40 kWh)

Fz6 / LR-LR 1	VW Caddy	Renault Kangoo ZE
Fz7 / LR-LR 2	VW UP	Volkswagen move Up! 55 kW
Fz8 / LR-LR 5	Ford Fiesta	Renault Zoe Life (41 kWh)
Fz9 / LR-LR 102	Kangoo	Renault Kangoo ZE

## Literaturverzeichnis

- [1] NPE, „Fortschrittsbereich 2018 Elektromobilität,“ Nationale Plattform Elektromobilität, 2018.
- [2] M. H. T. G. P. Plötz, „Fuhrparkoptimierung für Elektrofahrzeuge,“ Fraunhofer ISI, Karlsruhe, 2015.