



Nachhaltiges Elektromobilitätskonzept für die Stadt Annaberg-Buchholz (NEMAB)

*Konzept der Professur Unternehmensrechnung
und Controlling im Auftrag des SRCC e.V.*

Stand: März 2022

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Koordiniert durch:



Gefördert durch die Förderrichtlinie

Elektromobilität vom 05. Dezember 2017 des Bundesministeriums für Verkehr und
digitale Infrastruktur (BMVI)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
1 Arbeitspaket: Elektrifizierung der kommunalen Flotte	9
1.1 Zielstellung	9
1.2 Elektrifizierung der kommunalen Fahrzeugflotten.....	9
1.2.1 Analyse der bestehenden Fahrzeugflotten	9
1.2.2 Identifizierung der Elektrofahrzeugalternativen.....	9
1.2.3 Synergiepotenzial zwischen den Fahrzeugflotten.....	14
1.3 Ökonomische Bewertung	15
1.3.1 Methodik: Kapitalwertmethode	15
1.3.2 Kapitalwertberechnungen für die Fahrzeuge	18
1.3.3 Sensitivitätsanalysen.....	19
1.4 Ökologische Bewertung	21
1.4.1. Methodik: Life Cycle Assessment	21
1.4.2 Ökologische Nachhaltigkeitsberechnung	22
1.4.3 Sensitivitätsanalysen	24
1.5 Zwischenfazit zu Konzeptbaustein 1	26
2 Arbeitspaket: Öffentliche Ladeinfrastruktur	28
2.1 Zielstellung.....	28
2.2 Technische und rechtliche Rahmenbedingungen einer öffentlichen Ladeinfrastruktur 28	
2.3 Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur und Standortwahl	31
2.3.1 Bedarf an einer öffentlichen Ladeinfrastruktur	31
2.3.2 Standortauswahl für die benötigte Ladeinfrastruktur.....	33
2.4 Ökonomische Bewertung der öffentlichen Ladeinfrastruktur.....	39
2.5 Sensitivitätsanalysen.....	42
2.6 Zwischenfazit zu Konzeptbaustein 2	44
2.7 Überprüfung und Bewertung alternativer Konzepte der Luftreinhaltung.....	45
3 Arbeitspaket: Sharing-Angebote	48

3.1 Zielstellung.....	48
3.2 Vorzubereitende Entscheidungen	48
3.2.1 Auswahl des Fuhrparks	48
3.2.2 Auswahl der Hub-Standorte.....	50
3.2.3 Preismodell.....	52
3.2.4 Buchungs- und Abrechnungssoftware	52
3.3 Ökonomische Bewertung	53
3.3.1 Methodik: Vollständiger Finanzplan	53
3.3.2 Ermittlung und Zuordnung der Zahlungsströme.....	54
3.3.3 Vollständiger Finanzplan des Sharing-Konzeptes.....	57
3.4 Zwischenfazit zu Konzeptbaustein 3	59
4 Arbeitspaket: Integration erneuerbarer Energien	60
4.1 Zielstellung.....	60
4.2 Technische Rahmenbedingungen und verfügbare Dachflächen	60
4.3 Gegenüberstellung des Stromertrags und -bedarfs.....	67
4.4 Ökonomische Bewertung von Photovoltaikanlagen.....	69
4.5 Zwischenfazit zu Konzeptbaustein 4	71
5 Arbeitspaket: Elektrobusalternativen für Annaberg-Buchholz	73
5.1 Zielstellung.....	73
5.2 Untersuchung der betrieblichen Umsetzbarkeit	74
5.3 Auswahl der Busse	77
5.4 Ökonomische und ökologische Bewertung.....	78
6 Schlussbetrachtung und weiterer Forschungsbedarf	81
Anhangsverzeichnis	87
Anhang 1: Probleme der Datenbeschaffung	89
Anhang 2: Flottenaustauschprogramm „Sozial & Mobil“	90
Anhang 3: Berechnung der Differenzkapitalwerte.....	91
FZK1: PKW-Kleinstwagen.....	91
FZK2: PKW-Kleinwagen	93
FZK3: PKW-Mittelklasse	94

FZK4: Bus/Van	96
FZK5: Nfz-Transporter/Kasten	99
Anhang 4: ökonomische Sensitivitätsanalysen für die Elektrifizierung der Fahrzeugflotten.	104
Anhang 5: Berechnungen zur ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung der Elektrifizierung der Fahrzeugflotten	106
Anhang 6: Evaluierungsbögen der potenziellen Standorte für Ladpunkte	107
Anhang 7: Berechnung der notwendigen Anzahl an Ladepunkten je kommunaler Einheit..	125
Benötigte Ladepunkte je kommunaler Einheit	126
Anhang 8: Auszahlungswerte für Anschaffung und Nutzung von Ladeinfrastruktur	135
Anhang 9: Kapitalwertberechnung der öffentlichen Ladeinfrastruktur	136
Optimistisches Szenario	136
Kapitalwertberechnung der neuen Ladeinfrastruktur	136
Kapitalwertberechnung der gesamten Ladeinfrastruktur.....	137
Vorsichtiges Szenario	139
Kapitalwertberechnung der neuen Ladeinfrastruktur	139
Kapitalwertberechnung der gesamten Ladeinfrastruktur.....	140
Anhang 10: Sensitivitätsanalysen zur öffentlichen Ladeinfrastruktur.....	142
Förderung	142
Optimistisches Szenario	142
Einzahlungen	144
Optimistisches Szenario	144
Vorsichtiges Szenario.....	146
Sonstige Auszahlungen	148
Optimistisches Szenario	148
Vorsichtiges Szenario.....	150
Anhang 11: Korrelation von Einwohnerzahl und verfügbaren Sharing-Fahrzeuge	152
Anhang 12: Ermittlung der Zahlungsströme für das Sharing-Angebot	153
Anhang 13: Elektrobuss-Berechnungen	154

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fahrzeugkategorien	10
Abbildung 2: CO ₂ -Emissionen EVUM aCar (Pritsche) und VW T6.1 Pritschenwagen Eika ...	23
Abbildung 3: CO ₂ -Emissionen Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und Fiat Doblo	24
Abbildung 4: Akteure und deren Verflechtungen einer öffentlichen Ladeinfrastruktur	29
Abbildung 5: Standorte potenzielle Ladepunkte öffentliche Ladeinfrastruktur	36
Abbildung 6: Kumulierte Zahlungsreihe der öffentlichen Ladeinfrastruktur.....	42
Abbildung 7: Dachfläche SWA-B	61
Abbildung 8: Dachfläche SWA.....	61
Abbildung 9: Dachfläche Barbara-Uthmann-Ring 171 - 174	61
Abbildung 10: Dachfläche 1-5 WPA.....	62
Abbildung 11: Dachfläche 6 WPA.....	62
Abbildung 12: Dachfläche Rathaus ANA	63
Abbildung 13 Dachfläche Barbara-Uthmann-Ring 25-32	63
Abbildung 14: Dachfläche Straße der Jugend 2, 4, 6.....	63
Abbildung 15: Dachfläche Straße der Jugend 7, 9.....	64
Abbildung 16: Dachfläche Heimstättenweg 31, 33.....	64
Abbildung 17: Heimstättenweg 35, 37	64
Abbildung 18: Dachfläche Bildungszentrum Adam Ries	65
Abbildung 19: Dachfläche 2 Bildungszentrum Adam Ries	65
Abbildung 20: Berechnung Reihenabstand Photovoltaikmodul Flachdach.....	66
Abbildung 21: Ökologische Break-Even-Point in Kilometern - Vergleich Ausgangssituation und Photovoltaik.....	73
Abbildung 22: Stadtbuslinie A.....	75
Abbildung 23: Stadtbuslinie B.....	75
Abbildung 24: Stadtbuslinie C.....	76
Abbildung 25: Stadtbuslinie D.....	76
Abbildung 26: Stadtbuslinie E	76
Abbildung 27: Stadtbuslinie F	77
Abbildung 28: Stadtbuslinie G	77
Abbildung 29: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe VW e-up! und VW Up (WPA)	91
Abbildung 30: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe VW e-up! und VW Up (SWA)	92
Abbildung 31: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Zoe Life R110 Z.E. und VW Polo Comfortline (SWA-B)	93

Abbildung 32: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Opel Mokka-E und Skoda Kodiaq (SWA)	94
Abbildung 33: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe VW ID.3 Pure und VW Golf (SWA-B).....	95
Abbildung 34: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und Fiat Doblo (ANA)	96
Abbildung 35: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Peugeot e-Expert Kombi L2 und VW Transporter Kastenwagen (WPA)	97
Abbildung 36: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und VW Caddy (WPA).....	98
Abbildung 37: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy Cargo (ANA)	99
Abbildung 38: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und VW Transporter Kastenwagen (WPA)	100
Abbildung 39: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy (WPA)	100
Abbildung 40: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und Opel Vivaro (SWA)	101
Abbildung 41: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe EVUM aCar (Pritsche) und VW T6.1 Pritschenwagen Eika (SWA-B)	102
Abbildung 42: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy Cargo (SWA-B)	103
Abbildung 43: notwendige Ladepunkte SWA-B	126
Abbildung 44: notwendige Ladepunkte ANA.....	127
Abbildung 45: notwendige Ladepunkte SWA.....	127
Abbildung 46: notwendige Ladepunkte WPA.....	127
Abbildung 47: Korrelation Fahrzeugflotte.....	152

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Transformierte Fahrzeugflotte	13
Tabelle 2: Potenzielle Elektrofahrzeugalternativen	13
Tabelle 3: Synergiepotenziale zwischen den Fahrzeugflotten.....	14
Tabelle 4: Übersicht Differenzkapitalwerte und Dynamische Amortisationszeit	18
Tabelle 5: Ökologischer Break-Even-Punkt in Nutzungsjahren.....	25
Tabelle 6: Ausbaustufen öffentliche Ladeinfrastruktur optimistisches Szenario	32
Tabelle 7: Ausbaustufen öffentliche Ladeinfrastruktur vorsichtiges Szenario	33
Tabelle 8: vorhandene Ladeinfrastruktur Annaberg-Buchholz	33
Tabelle 9: potenzielle Standorte für Ladepunkte in Annaberg-Buchholz	35
Tabelle 10: Bewertungsbogen Parkhaus Altstadt II (Nr. 8)	37
Tabelle 11: Rangfolge der potenziellen Standorte	39
Tabelle 12: Kapitalwertberechnung Ladeinfrastruktur	40
Tabelle 13: Kapitalwerte öffentliche Ladeinfrastruktur.....	42
Tabelle 14: Hub-Standorte	51
Tabelle 15: Nahegelegene öffentliche Hub-Standorte der Geschäftskunden	51
Tabelle 16: Preismodell für Privatpersonen Carsharing	52
Tabelle 17: Szenarien Annahme Sharing-Angebot	57
Tabelle 18: Berechnung Stromertrag Photovoltaik SWA-B, SWA, ANA, WPA.....	67
Tabelle 19: Berechnung Stromertrag Photovoltaik Barbara-Uthmann-Ring, Straße der Jugend, Bildungszentrum.....	67
Tabelle 20: Berechnung Stromertrag Photovoltaik Heimstättenweg	67
Tabelle 21: Gegenüberstellung Stromertrag und Strombedarf SWA-B, SWA, WPA, ANA	68
Tabelle 22: Anschaffungskosten Photovoltaikanlage	69
Tabelle 23: Kapitalwertberechnung Photovoltaikanlage.....	71
Tabelle 24: Tagesleistung pro Stadtbuslinie	77
Tabelle 25: Kapitalwerte	80
Tabelle 26: Kapitalwertberechnung VW e-up! und VW Up (WPA)	91
Tabelle 27: Kapitalwertberechnung VW e-up! und VW Up (SWA)	92
Tabelle 28: Kapitalwertberechnung Renault Zoe Life R110 Z.E. und VW Polo Comfortline (SWA-B).....	93
Tabelle 29: Kapitalwertberechnung Opel Mokka-E und Skoda Kodiaq (SWA).....	94
Tabelle 30: Kapitalwertberechnung VW ID.3 Pure und VW Golf (SWA-B)	95
Tabelle 31: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und Fiat Doblo (ANA)	96
Tabelle 32: Kapitalwertberechnung Peugeot e-Expert Kombi L2 und VW Transporter Kastenwagen	97

Tabelle 33: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und VW Caddy (WPA)	98
Tabelle 34: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy Cargo (ANA)	99
Tabelle 35: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und VW Transporter Kastenwagen (WPA)	99
Tabelle 36: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy (WPA)	100
Tabelle 37: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und Opel Vivaro (SWA)	101
Tabelle 38: Kapitalwertberechnung EVUM aCar (Pritsche) und VW T6.1 Pritschenwagen Eika (SWA-B)	101
Tabelle 39: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy Cargo (SWA-B)	102
Tabelle 40: ökonomische Sensitivitätsanalyse Wartungskosten	104
Tabelle 41: ökonomische Sensitivitätsanalyse Anschaffungsauszahlung	104
Tabelle 42: ökonomische Sensitivitätsanalyse Liquidationserlös	105
Tabelle 43: Übersicht Break-even-Point ökologische Nachhaltigkeit	106
Tabelle 44: Berechnung der benötigten Ladehäufigkeiten	125
Tabelle 45: Auszahlung Ladeinfrastruktur	135
Tabelle 46: Kapitalwertberechnung neue, öffentliche Ladeinfrastruktur – optimistisches Szenario	136
Tabelle 47: Kapitalwertberechnung gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur – optimistisches Szenario	137
Tabelle 48: Nebenrechnungen Ein- und Auszahlung öffentl. Ladeinfrastruktur - optimistisches Szenario	138
Tabelle 49: Kapitalwertberechnung neue öffentliche Ladeinfrastruktur – vorsichtiges Szenario	139
Tabelle 50: Kapitalwertberechnung gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur – vorsichtiges Szenario	140
Tabelle 51: Nebenrechnungen Ein- und Auszahlung öffentl. Ladeinfrastruktur - vorsichtiges Szenario	141
Tabelle 52: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur Förderung – optimistisches Szenario	142
Tabelle 53: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur Förderung – optimistisches Szenario	143
Tabelle 54: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur Einzahlungen – optimistisches Szenario	144
Tabelle 55: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur Einzahlungen – optimistisches Szenario	145

Tabelle 56: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur Einzahlungen - vorsichtiges Szenario	146
Tabelle 57: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur Einzahlungen - vorsichtiges Szenario	147
Tabelle 58: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur sonstige Auszahlungen – optimistisches Szenario	148
Tabelle 59: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur sonstige Auszahlungen – optimistisches Szenario	149
Tabelle 60: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur sonstige Auszahlungen - vorsichtiges Szenario	150
Tabelle 61: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur sonstige Auszahlungen - vorsichtiges Szenario	151
Tabelle 62: Berechnung der E-Autos-Stromkosten Sharing-Angebot	153
Tabelle 63: Berechnung der E-Bike-Stromkosten Sharing-Angebot.....	153

1 Arbeitspaket: Elektrifizierung der kommunalen Flotte

1.1 Zielstellung

Ziel des ersten Arbeitspaketes ist es, ein Konzept für die Stadt Annaberg-Buchholz zu entwickeln, das eine Elektrifizierung der Fahrzeugflotten der Stadtverwaltung Annaberg-Buchholz inkl. des Bauhofs (ANA), des Gemeinnützigen Wohn- und Pflegezentrums Annaberg-Buchholz GmbH (WPA), der Städtischen Wohnungsgesellschaft Annaberg-Buchholz (SWA) und der Stadtwerke Annaberg-Buchholz (SWA-B) vorsieht.¹ Dazu soll eine ökonomische und ökologische Nachhaltigkeitsbewertung der bestehenden Flotten und der Flottenelektrifizierung erfolgen, um auf dieser Basis eine Aussage über die Vorteilhaftigkeit zu ermöglichen. Die für das Laden der Elektrofahrzeuge notwendige Ladeinfrastruktur wird im Rahmen des vorliegenden Arbeitspakets zunächst als „gegeben“ unterstellt. Eine dezidierte Analyse des Aufbaus einer öffentlichen Ladeinfrastruktur folgt in Arbeitspaket 2. Dort wird dann auch auf die notwendigen Ladekapazitäten für eine elektrifizierte Flotte eingegangen.

1.2 Elektrifizierung der kommunalen Fahrzeugflotten

1.2.1 Analyse der bestehenden Fahrzeugflotten

Zur Erfassung des aktuellen Fuhrparks der kommunalen Einrichtungen wurde ein Fragebogen konzipiert. Dieser enthielt Fragen zur Zusammensetzung der jeweiligen Fahrzeugflotte der oben genannten Akteure, zum typischen Nutzungsverhalten und zu für die Analyse relevanten quantitativen Größen der bisher genutzten Fahrzeuge. Bei der Zusammensetzung der Flotte wurden insbesondere die Fahrzeugkategorien und -typen, die Anzahl an Fahrzeugen und deren Antriebsart eruiert. Für die Einschätzung des Nutzungsverhaltens waren Informationen zur Länge und zur Frequenz typischer Einsatzstrecken sowie zum Einsatzzweck der Fahrzeuge notwendig. Die Auszahlungen für die Anschaffung und den Betrieb, der durchschnittliche Verbrauch je 100 km und der erwartete Liquidationserlös wurden als quantitative Größen für die Vorbereitung der ökonomischen und ökologischen Bewertung erfragt. Die erhaltenen Informationen wurden tabellarisch erfasst. Die dabei entstandenen Informationslücken sind im Anhang 1 dokumentiert. Diese Lücken wurden durch plausible, auf eigenen Recherchen beruhende Annahmen ausgeglichen. Der aktuell bestehende Fahrzeugbestand setzt sich aus den im folgenden Kapitel dargestellten Tabellen 1 und 2 zusammen.

1.2.2 Identifizierung der Elektrofahrzeugalternativen

Ausgehend von den Klassifizierungen der bestehenden Fahrzeuge und deren Nutzungszweck wurde nach Elektrofahrzeugalternativen recherchiert. Dabei wurden neben technischen und leistungsbezogenen Kriterien auch unternehmensspezifische Anforderungen an die Fahrzeuge in die Betrachtung einbezogen. Daraus ergaben sich folgende Kriterien:

¹ Diese werden im Verlauf des Berichts vereinfachend als „Akteure“ bezeichnet.

- die Fahrzeugkategorie,
- die Nutzungsart im Hinblick auf die Ausstattung der Fahrzeuge (z. B. Anzahl Sitzplätze, Anhängerkupplung, Allradantrieb),
- die Reichweite, abgeleitet aus den typischen Einsatzstrecken, sowie die Ladeleistung
- der Anschaffungspreis.

Für ein höheres Maß an Verallgemeinerbarkeit wurden sämtliche Fahrzeuge der bestehenden Flotten in Fahrzeugkategorien eingeordnet. Diese bildeten die Grundlage für die Suche nach elektrisch betriebenen Alternativen. Einen Überblick über die Fahrzeugkategorien gibt die nachfolgende Abbildung.

	PKW – Kleinwagen	(FZK 1)
	PKW – Kleinwagen	(FZK 2)
	PKW – Mittelklasse	(FZK 3)
	Bus / Van	(FZK 4)
	Nfz-Transporter / Kasten	(FZK 5)

Abbildung 1: Fahrzeugkategorien

Bei der Recherche wurden Präferenzen der betrachteten Akteure hinsichtlich einzelner Hersteller und/oder Modelle vernachlässigt. Damit sollte ein möglichst breites Spektrum an potenziellen Elektrofahrzeugalternativen erschlossen werden. Zusätzlich wurde bei der Auswahl der Elektrofahrzeugalternativen auf einen einheitlichen Steckertyp geachtet, damit eine zukünftig aufzubauende Ladeinfrastruktur sinnvoll genutzt werden kann. Ebenso wurden fast ausschließlich die Fahrzeuge in Betracht gezogen, die auf der „Liste der förderfähigen Elektrofahrzeuge“² des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle aufgeführt sind. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass die Elektrofahrzeuge im Rahmen des Umweltbonus förderfähig sind.

Nicht jede unternehmensspezifische Anforderung konnte von dem zum Zeitpunkt der Recherche verfügbaren Elektrofahrzeugalternativen erfüllt werden. Nachfolgend werden „Sonderfälle“ skizziert, die in den Berechnungen nicht oder nur bedingt berücksichtigt werden konnten, da entweder bestimmte fahrzeugseitige Anforderungen nicht erfüllt werden konnten oder teilweise Daten sowie Informationen für eine Bewertung fehlten. Die Fahrzeuge sind unter Angabe der

² Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Liste der förderfähigen Elektrofahrzeuge, 2020, https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/emob_liste_foerderfaehige_fahrzeuge.html [27.01.2021].

jeweils nicht erfüllten Anforderung(en) oder der fehlenden Daten (kurz einfach „Barriere“) in Tabelle 2 festgehalten:

- Von der WPA wurde für die bisher genutzten Fahrzeuge der Fahrzeugkategorie PKW-Kleinwagen die zwingende Verfügbarkeit eines Allradantriebs angegeben. Im PKW-Segment der Elektrofahrzeuge gibt es zwar bereits Allradlösungen, allerdings beziehen sich diese auf die Mittel- bis Oberklassefahrzeuge und Geländewagen (Sport Utility Vehicle, SUV)³. Diese sind für den Einsatz in der ambulanten Pflege jedoch wenig zweckmäßig, da die Anschaffungskosten mehr als doppelt so hoch sind als für die bestehenden konventionellen Fahrzeuge mit benötigtem Allradantrieb⁴. Allein dadurch wird ein Ersatz mit Fahrzeugen größerer Fahrzeugkategorien nicht als zielführend angesehen.
- Die Suche nach einer Elektrofahrzeugalternative gestaltete sich im Bereich der „Spezialfahrzeuge“ schwierig, da das Marktangebot deutlich geringer und die Verfügbarkeit von Informationen wesentlich dünner ist. Einen weiteren angebotsbegrenzenden Faktor stellen hierbei abermals die Anschaffungskosten dar. Da die Fahrzeuge dieser Kategorien häufig für die Reinigung, die Entsorgung, den Transport und den Winterdienst eingesetzt werden, sind nach Angaben der kommunalen Einheiten verschiedene Anbau- bzw. Aufbaugeräte notwendig. Dies führte dazu, dass zwar teilweise eine Fahrzeugalternative, bei welcher ebenfalls verschiedene Anbaugeräte z. B. für Winterdienste möglich sind, identifiziert wurde, jedoch kein Anschaffungspreis recherchiert werden konnte. Aus diesen Gründen sollen diese genannt werden, aber ebenfalls nicht mit in die Nachhaltigkeitsbewertung einfließen.
- Der Fuhrpark der ANA beinhaltet in der Fahrzeugkategorie „Nfz-Transporter/Kasten“ vier Dreiseitenkipper mit einer Dreipersonensitzbank. Hierfür konnten nur Elektrofahrzeuge mit entweder zwei oder vier Sitzplätzen identifiziert werden. Sie sollen als solche in die Berechnungen einfließen. Auch bei diesen Fahrzeugen wird ein Aufbau benötigt. Da für die bestehende Fahrzeugflotte keine genaueren Angaben zu einem solchen Aufbau gemacht wurden, wird dieser in den ökonomischen Berechnungen jedoch nicht berücksichtigt.
- Die SWA benötigt bei ihren Fahrzeugen der Kategorie „Nfz-Transporter/Kasten“ eine Anhängervorrichtung. Momentan gibt es nur eine kleine Anzahl an Elektrofahrzeugen mit einer Anhängervorrichtung auf dem Markt, welche ab Werk mitbestellt werden

³ Vgl. Einfache E-Auto Mobility Solutions GmbH (Hrsg.): Welche E-Autos haben Allrad? (2021), URL: <https://einfacheauto.de/blog/welche-e-autos-haben-allradantrieb> [27.01.2021]

⁴ Dabei wurde das zurzeit günstigste Elektrofahrzeug mit Allradantrieb (Ford Mustang Mach-E, ca. 47.000 Euro) mit dem Neuanschaffungspreis der bestehenden Fahrzeuge mit Allradantrieben (VW Up, ca. 14.000 Euro; Suzuki Swift, ca. 17.000 Euro) verglichen, jeweils ohne Berücksichtigung des Umweltbonus.

kann.⁵ Die meisten sind dem PKW-Bereich zuzuordnen, womit sie nicht als Fahrzeugalternative für die von der SWA bestehenden Fahrzeuge geeignet sind. Der ABT e-Transporter 6.1 von Volkswagen kann mit einer optionalen Anhängerkupplung bestellt werden. Allerdings fehlen hierzu Preisangaben, wodurch dieser in die Berechnungen nicht einfließen kann.

- Die ANA besitzt einen Lastkraftwagen (LKW) mit 15 Tonnen. Auch hier war die Identifikation einer Elektrofahrzeugalternative schwierig, da das aktuelle Marktangebot im Sektor Elektro-LKWs (noch) sehr gering ausgeprägt ist. Viele LKWs mit Elektroantrieb befinden sich erst in der Entwicklung bzw. Testphase. Des Weiteren sind die bereits am Markt befindlichen Fahrzeuge häufig für eine wesentlich kleinere oder wesentlich größere zulässige Gesamtlast ausgeschrieben. Als mögliche Alternative konnte der Renault Truck D Z.E. mit einer Nutzlast von bis zu elf Tonnen und einem zulässigen Gesamtgewicht von 16 Tonnen identifiziert werden.⁶ Allerdings konnten für dieses Fahrzeug keine Anschaffungskosten ermittelt werden und es besitzt außerdem keinen Allradantrieb wie der bisherige genutzte LKW. Eine weitere Möglichkeit wäre eine Umrüstung eines konventionellen LKWs. Dies bietet u. a. ORTEN Electric-Trucks GmbH an.⁷ Aus den genannten Gründen wird auch dieses Fahrzeug für die weiteren Nachhaltigkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt.

Die Reichweite der Elektrofahrzeuge ist bei nahezu allen Elektrofahrzeugalternativen geringer als bei den konventionellen Fahrzeugen. Aus diesem Grund wurde bei der Auswahl darauf geachtet, dass die vom Hersteller angegebene Reichweite mit den durchschnittlich an einem Tag zurückzulegenden Kilometer je Fahrzeug erreichbar ist. Dabei wurde ebenso die Ladedauer berücksichtigt, sodass das Elektrofahrzeug während der anhand der Abfrage ermittelten Standzeiten bis zu seiner nächsten Nutzung wieder aufgeladen werden kann. Dies sollte besonders bei der Konzeption der Ladeinfrastruktur bedacht werden (vgl. Arbeitspaket 2).

Bei mehreren Alternativen mit gleicher Spezifikation wurde die Elektrofahrzeugalternative mit dem geringeren Anschaffungspreis gewählt. Dies wird mit der Angabe der WPA begründet, dass Mehrkosten der Elektrifizierung nicht finanziert werden können.

Mithin konnte die alternative Elektrofahrzeugflotte aufgestellt und Anschaffungs- bzw. Betriebskosten bestimmt werden. Auf Grund der oben bereits genannten Herausforderungen wird sich bei den Berechnungen auf die Fahrzeugkategorien PKW-Kleinstwagen (FZK1), PKW-Kleinwagen (FZK2), PKW-Mittelklasse (FZK3), Bus/Van (FZK4) und Nfz-Transporter/Kasten

⁵ Vgl. Irene Wallner: Elektroautos mit Anhängerkupplung 2021: Welche Modelle gibt es und was sind die Probleme, URL: <https://www.carwow.de/ratgeber/elektroauto/elektroautos-mit-anhaengerkupplung-2020-welche-modelle-gibt-es-und-was-sind-die-probleme> [27.01.2021]

⁶ Vgl. Bruno Blin (Hrsg.): Renault Trucks D Vollelektrisch, URL: <https://www.renault-trucks.de/renault-trucks-d-ze> [27.01.2021]

⁷ Vgl. ORTEN Electric-Trucks GmbH (Hrsg.): Willkommen bei ORTEN Electric-Trucks (2021), URL: <https://www.electric-trucks.de/de/> [27.01.2021]

(FZK5) konzentriert. Die transformierte Flotte und die dazugehörigen Bestandsfahrzeuge der bestehenden Fahrzeugflotte dieser fünf Fahrzeugkategorien sind in der nachfolgenden Tabelle 1 dargestellt. Die restlichen Fahrzeuge sind ebenfalls mit ihren potenziellen, aber hier nicht weiter betrachteten Elektrofahrzeugalternativen, in Tabelle 2 aufgelistet.

Akteure	FZK	Bestandsfahrzeug	Anzahl	äquivalentes Neufahrzeug	Elektrofahrzeugalternative
SWA	1	VW Fox	1	VW Up	VW e-up!
	3	Skoda Kodiaq	1	Skoda Kodiaq	Opel Mokka-E
	5	Opel Vivaro	1	Opel Vivaro	Renault Kangoo Z.E.
SWA-B	2	VW Polo Conformline	2	VW Polo Comfortline	Renault Zoe Life R110 Z.E.
		VW Polo Trendline	8		
		VW Polo	1		
	3	VW Golf	1	VW Golf	VW ID.3 Pure
	5	VW T4 Pritsche	1	VW T6.2 Pritschenwagen Eika	EVUM aCar (Pritsche)
5	VW Caddy	1	VW Caddy Cargo	Renault Kangoo Z.E.	
ANA	4	Fiat Doblo	1	Fiat Doblo	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer
	5	VW Caddy	1	VW Caddy Cargo	Renault Kangoo Z.E.
WPA	1	VW Up	11	VW Up	VW e-up!
	4	VW Bus T5/T6	2	VW Transporter Kastenwagen	Peugeot e-Expert Kombi L2
	4	VW Caddy	1	VW Caddy	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer
	5	VW T5/T6	2	VW Transporter Kastenwagen	Renault Kangoo Z.E.
	5	VW Caddy	2	VW Caddy Cargo	Renault Kangoo Z.E.

Tabelle 1: Transformierte Fahrzeugflotte

	Bestandsfahrzeug	Anzahl	Elektrofahrzeugalternative	Barriere
SWA	VW Caddy	2	VW ABT e-Transporter 6.1	Anhängerkupplung, Informationsverfügbarkeit
	Opel Combo	2	VW ABT e-Transporter 6.1	Anhängerkupplung, Informationsverfügbarkeit
	Renault Kangoo	1	VW ABT e-Transporter 6.1	Anhängerkupplung, Informationsverfügbarkeit
	Mercedes Benz Citan	1	VW ABT e-Transporter 6.1	Anhängerkupplung, Informationsverfügbarkeit
	VW T5/T6	2	VW ABT e-Transporter 6.1	Anhängerkupplung, Informationsverfügbarkeit
	Fiat Pritsche	1	Alke ATX340 E	Anhängerkupplung, Informationsverfügbarkeit
	Traktor	1	Fendt e100 Vario	Anbaugeräte, Informationsverfügbarkeit
ANA	Multicar M26.4	7	EVUM aCar (Prische)	Anbaugeräte
	Multicar M27		EVUM aCar (Prische)	Anbaugeräte
	Fumo		EVUM aCar (Prische)	Anbaugeräte
	Multicar Tremo	1		Anbaugeräte, Informationsverfügbarkeit
	Deutz Traktoren	2	Fendt e100 Vario	Anbaugeräte, Informationsverfügbarkeit
	Kubato STV 32, 36	2	Solectrac CET	Informationsverfügbarkeit
	Iveco Eurocargo	1	Renault Trucks D.Z.E.	Allrad, Informationsverfügbarkeit
WPA	Multicar	1	Alke ATX340 E	Anbaugeräte, Informationsverfügbarkeit
	Traktor (ISEKI)	2	Fendt e100 Vario	Anbaugeräte, Informationsverfügbarkeit

Tabelle 2: Potenzielle Elektrofahrzeugalternativen

1.2.3 Synergiepotenzial zwischen den Fahrzeugflotten

Aufgrund vieler ähnlicher Fahrzeuge in den Fahrzeugklassen zwischen den vier kommunalen Fuhrparks sollte geprüft werden, ob eine gemeinsame Nutzung einiger Fahrzeuge möglich ist, um so die Kosten senken zu können. Ausschlaggebend dafür sind die angegebenen Nutzungszeiten und der Nutzungszweck.

FZK	Fahrzeug	typische Einsatzzeit	typischer Einsatzzweck	gemeinsame Nutzung		
				mögliche	genauere Prüfung	nicht möglich
WPA	1 VW e-up! (VW Up)	5:45 - 15:00 bzw. 14:00 - 22:00	Patientenversorgung			X
SWA	1 VW e-up! (VW Up)	8:00 - 16:00	Mieterbetreuung			X
SWA-B	2 Renault Twingo electric vibes	7:00 - 18:00	Vertrieb, Kundenbesuche, Mitarbeiterwagen			X
SWA	3 Opel Mokka-E (Skoda Kodiah)	-	Geschäftsführerfahrzeug		X	
SWA-B	3 VW ID.3 Pure (VW Golf)	7:00 - 18:00	Dienstreisefahrzeug		X	
ANA	4 Renault Kangoo Z.E.-Maxi 5- Sitzer Fiat Doblo	6:00 - 14:30	Kundendienstfahrten			
WPA	4 Peugeot e-Expert Kombi L2 (VW Transporter Kastenwagen)	6:30 - 17:00	Kundentransport		X	
WPA	4 Renault Kangoo Z.E.-Maxi 5- Sitzer (VW Caddy)	6:30 - 13:00	Mitarbeitertransport		X	
WPA	5 Renault Kangoo Z.E. (VW Transporter Kastenwagen)	6:30 - 17:00	Essenstransport			X
WPA	5 Renault Kangoo Z.E. (VW Caddy)	6:30 - 13:00	Essenstransport			X
SWA	5 Renault Kangoo Z.E. Opel Vivaro	9:30 - 12:30	Essenstransport			X
ANA	5 Renault Kangoo Z.E. (VW Caddy Cargo)	6:00 - 14:30	Werkstattfahrzeug zur Spielplatzbetrieung			
SWA-B	5 EVUM aCar (Pritsche) (VW T6.1 Pritschenwagen Eika)	7:00 - 18:00	Transport		X	
SWA-B	5 Renault Kangoo Z.E. (VW Caddy Cargo)	7:00 18:00	Bäderwesen, Reinigung			X

Tabelle 3: Synergiepotenziale zwischen den Fahrzeugflotten

Tabelle 3 verdeutlicht jedoch, dass ohne genauere Überprüfung keine gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen möglich ist. Eine genauere Betrachtung erfordern beispielsweise das Geschäftsführerfahrzeug der SWA sowie das Dienstreisefahrzeug der SWA-B. Beide Fahrzeuge sind der Fahrzeugklasse PKW-Mittelklasse zuzuordnen. Es ist denkbar, dass diese Fahrzeuge nicht täglich genutzt werden, wodurch sich Synergiepotenziale ergeben könnten. Dies betrifft außerdem die Fahrzeuge, welche für Dienstfahrten durch die ANA sowie die für Kunden- bzw. Mitarbeitertransport durch die WPA genutzt werden. Ebenso ist ein genauere Blick auf die Transportfahrzeug der SWA-B bzw. auf das Werkstattfahrzeug der ANA nötig. Auch hier ist es denkbar, dass durch eine nicht tägliche Nutzung Synergiepotenziale entstehen. Diese genauere Analyse konnte im Rahmen des Projekts aus Aufwandsgründen nicht durchgeführt werden. Allerdings werden die identifizierten Synergiepotenziale im Laufe des Projekts für die Prüfung des Aufbaus eines Sharing-Konzepts herangezogen.

1.3 Ökonomische Bewertung

1.3.1 Methodik: Kapitalwertmethode

Die ökonomische Bewertung soll mit Hilfe einer Kapitalwertbetrachtung erfolgen, da es sich bei der Kapitalwertmethode um ein in der Wissenschaft akzeptiertes und in der Praxis etabliertes Modell handelt. Der Kapitalwert (KW) ergibt sich durch die Diskontierung aller mit der Investition (hier der Anschaffung des Elektrofahrzeugs) verbundenen Ein- und Auszahlungen während der Nutzungsdauer auf den Entscheidungszeitpunkt. Mit dessen Hilfe kann die Vorteilhaftigkeit einer Investition bestimmt werden. Im vorliegenden Projekt wird mit dem Konstrukt der Differenzinvestition gearbeitet, bei dem die Zahlungsreihen zweier alternativer Investitionsobjekte (hier Verbrenner und Elektrofahrzeug) saldiert werden. Durch die Saldierung entstehen rechnerisch Zahlungsüberschüsse, die aus den Einspareffekten im laufenden Betrieb von Elektrofahrzeugen resultieren. Es gilt folgende Regel für die Ermittlung der relativen Vorteilhaftigkeit: Ist der ermittelte Kapitalwert der Differenzinvestition (Differenzkapitalwert) größer als Null, so ist das Fahrzeug mit der größeren Anschaffungsauszahlung relativ vorteilhaft. Folgende allgemeine Annahmen wurden getroffen:

- Ein Ersatz des bestehenden Fahrzeuges ist notwendig. Die Wahl besteht zwischen einem konventionellen Fahrzeugmodell (Diesel oder Benzin) und einem Elektrofahrzeug der selben Klasse.
- Es wird für jedes neue Fahrzeug ein Kauf angenommen.
- Die Nutzungsdauer der Fahrzeuge wird in Anlehnung an die Angaben der vier kommunalen Akteure zur durchschnittlichen Nutzungsdauer festgelegt und beträgt sowohl für die FZK 1 bis 3 sechs Jahre, für die Fahrzeugkategorie FZK 4 und für die FZK 5 zwölf Jahre.
- Der Diskontierungsfaktor (Kalkulationszinssatz) beträgt 0,5 % für alle Perioden, angelehnt an die Rendite der zehnjährigen deutschen Staatsanleihe (Haftung auf Bundesebene im Insolvenzfall der Kommune) zzgl. eines pauschalierten Aufschlages für etwaige übliche Bankgebühren (Bearbeitungsgebühren, Provisionen, etc.).^{8, 9,10}

Die nachfolgenden Zahlungskategorien sollen bei der Berechnung des Differenzkapitalwertes der Alternativen berücksichtigt werden:

Anschaffungsauszahlungen

⁸ Vgl. Finanzgruppe Deutscher Sparkassen und Giroverband: Rating für Kommunen nicht erforderlich: https://web.archive.org/web/20160304145849/http://www.dsgv.de/de/presse/pressemitteilungen/120320_PM_Kommune_35.html, abgerufen am 23.01.2019.

⁹ Vgl. Deutsche Bundesbank Eurosystem: Tägliche Rendite der börsennotierten Bundeswertpapiere: <https://www.bundesbank.de/resource/blob/822920/51cdf0e38a3d8de31e7b32d8931ddfb1/mL/2020-01-21-renditedownload.pdf>, abgerufen am 23.01.19.

¹⁰ Vgl. Bundesministerium der Finanzen, 2020, S. 3

Die Anschaffungsauszahlungen sind Bruttopreise vermindert um den Umweltbonus in der zum Zeitpunkt der Berechnungen gültigen Höhe von 6.000 Euro für Elektrofahrzeuge mit einem Nettolistenpreis unter 40.000 Euro bzw. 5.000 Euro für Elektrofahrzeuge mit einem Nettolistenpreis über 40.000 Euro.¹¹ Als Voraussetzung gilt, dass die Elektrofahrzeugalternativen nach dem 03. Juni 2020 zugelassen werden und sich auf der Liste der förderfähigen Fahrzeuge befinden. Dies ist bei allen identifizierten Elektrofahrzeugen der Fall.¹² Ein möglicher Vorsteuerabzug wird vernachlässigt.¹³ Neben dem Umweltbonus finden weitere Fördermöglichkeiten, wie z. B. das Flottenaustauschprogramm „Sozial & Mobil“ der Bundesregierung, keine Berücksichtigung.¹⁴ Dies wird mit der fehlenden Übertragbarkeit auf alle vier zu betrachtenden Akteure begründet. Genauere Ausführungen zu dieser Fördermöglichkeit sind im Anhang 2 aufgeführt.

Abgesehen von genannten Ausstattungsmerkmalen wird der Preis der Grundausstattung angesetzt, es sind keine Auszahlungen für Spezialumbauten enthalten. Der Kauf der Fahrzeugbatterie ist im angesetzten Anschaffungspreis der Elektrofahrzeugalternative enthalten. Bei den konventionellen Fahrzeugen wird die Grundausstattung bestmöglich an die Grundausstattung der Elektrofahrzeuge angepasst, um eine gute Vergleichbarkeit der Fahrzeuge zu erreichen. Neben den Anschaffungskosten der Fahrzeuge sind für die Elektroalternative ebenso die Auszahlungen für die Beschaffung einer Ladeinfrastruktur zu berücksichtigen, welche allerdings erst im nachfolgenden Arbeitspaket 2 explizit betrachtet wird.

Auszahlungen für den Betrieb

Als Auszahlungen für den laufenden Betrieb von Elektrofahrzeugen (Verbrennern) werden Strom (Kraftstoff), Versicherung, Kfz-Steuer und Wartungskosten der Fahrzeuge berücksichtigt. Dabei werden folgende Annahmen getroffen:

¹¹ Ab dem 08. Juli 2021 trat aufgrund der Covid-19-Pandemie die Innovationsprämie in Kraft, durch welche sich der Bundesanteil des Umweltbonus verdoppelt. Somit ergibt sich bis zum 31.12.2021 ein Bundesanteil von 6.000 Euro für Elektrofahrzeuge mit einem Nettolistenpreis unter 40.000 Euro und ein Bundesanteil von 5.000 Euro für Elektrofahrzeuge mit einem Nettolistenpreis über 40.000 Euro. Insgesamt beträgt der Umweltbonus somit 9.000 Euro bzw. 7.500 Euro. In dieser Arbeit findet diese Innovationsprämie keine Berücksichtigung, da der zeitliche Horizont für die Anschaffung von Elektrofahrzeugen für die kommunalen Einheiten als zu kurzfristig angesehen wird. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: FAQ Elektromobilität, 2021, URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/FAQ/Elektromobilitaet/faq-elektromobilitaet-01.html#:~:text=Der%20Umweltbonus%20wurde%20im%20Februar,40.000%20Euro%20um%2025%20Prozent.> [10.03.2021].)

¹² Vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Hrsg.): Liste der förderfähigen Elektrofahrzeuge. Stand 27.01.2021

¹³ Vgl. HGB §252 Abs. 1 Nr. 4, in der Fassung vom 26.08.2015.

¹⁴ Es erfolgen regelmäßig Förderaufrufe für Elektrofahrzeuge und deren Infrastruktur von verschiedenen Fördergebern. Bis zum 31. März 2021 fördert z. B. der Projektträger Jülich den Aufbau von Elektrofahrzeugflotten im kommunalen, regionalen und gewerblichen Umfeld. Aufgrund der zeitlichen Befristung dieser Förderung wird sie nicht weiter ausgeführt bzw. in die Betrachtungen eingebunden. (Projektträger Jülich: Elektrofahrzeuge und Infrastruktur, 2021, URL: <https://www.ptj.de/projektfoerderung/elektromobilitaet-bmvi/invest> [19.02.2021].)

- Der Strompreis beträgt, in Anlehnung an den Strompreis im Jahr 2020 für Gewerbe- kunden, 23 ct/kWh¹⁵. Für die Auszahlungen für den Kraftstoff der konventionellen Fahr- zeuge werden die Angaben von den Unternehmen übernommen.
- Zur Berechnung des Strombedarfs werden die Herstellerangaben des Verbrauchs um 10 % erhöht. Dies wird mit der Topografie und den Witterungsbedingungen in und um Annaberg-Buchholz begründet.
- Die Auszahlungen für die Versicherungen können bei der Differenzbetrachtung unbe- rücksichtigt bleiben. Hier wird eine weitestgehende Unabhängigkeit von der Antriebs- technik der Fahrzeuge angenommen.¹⁶
- Die Kfz-Steuer kann für die Elektrofahrzeuge in den ersten 10 Jahren vernachlässigt werden.¹⁷ Für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor wird eine durchschnittliche Kfz- Steuer in Höhe von 194,00 Euro angesetzt,¹⁸ wenn keine genaueren Angaben von den kommunalen Einheiten getroffen wurden.
- Aufgrund der unterschiedlichen Bauweise des Elektrofahrzeuges im Vergleich zum Konventionellen fallen die Auszahlungen für Wartungen um rund 35 % geringer aus.¹⁹
- Bei den Auszahlungen für den Betrieb der Fahrzeuge wird eine jährliche Preissteige- rung von 2 % berücksichtigt.²⁰

Liquidationserlös

Die Liquidationserlöse werden auf Basis eines durchschnittlichen Wertverlustes berechnet. So verlieren die Fahrzeuge innerhalb ihres ersten Jahres ca. 25 % des Listenpreises an Wert. Nach drei Jahren besitzt das Fahrzeug nur noch die Hälfte seines Wertes und in den darauf- folgenden Jahren erfolgt ein jährlicher, beständiger Wertverlust von etwa fünf bis sechs Pro- zent.²¹ Für die Berechnung des Liquidationserlöses wird ein Wertverlust ab dem vierten Jahr von 5,5 % angenommen, dabei wird Unfallfreiheit über den gesamten Betrachtungszeitraum unterstellt.

¹⁵ Vgl. Statista: Strompreise für Gewerbe- und Industriekunden in Deutschland in den Jahren 2009 bis 2020: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154902/umfrage/strompreise-fuer-industrie-und-gewerbe-seit-2006/> [05.02.2021]

¹⁶ Vgl. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. GDV (Hrsg.): Elektroautos versichern: Darauf müssen Autofahrer achten, 04.02.2020, URL: <https://www.dieversicherer.de/versicherer/auto---reise/news/elektroauto-versicherung-54562> [05.02.2021]

¹⁷ Vgl. §3d Abs. 1 KraftStG.

¹⁸ Vgl. Gregor Zmuda (Hrsg.): Kfz Steuer Berechnung, 2021, URL: <https://kfzversicherungen.org/kfz-steuer/#:~:text=Bei%20rund%2044%2C4%20Millionen,Jahr%20lediglich%20schlaffe%2024%20Euro.> [12.02.2021]

¹⁹ Smarter-Fahren.de (Hrsg.): Elektroautos im Unterhalt: Was kosten Wartung und Service?, URL: <https://www.smarter-fahren.de/elektroauto-wartung/> [29.01.2021]

²⁰ Vgl. Europäische Zentralbank Eurosystem: Geldpolitik: <https://www.ecb.europa.eu/ecb/tasks/monopol/html/index.de.html>, abgerufen am 19.02.2020.

²¹ Vgl. Allianz Deutschland AG: Wertverlust Auto: So schnell sinkt der Verkaufspreis Ihres Pkws, 2021, URL: <https://www.allianz.de/auto/kfz-versicherung/wertverlust-auto/> [12.03.2021].

1.3.2 Kapitalwertberechnungen für die Fahrzeuge

Mit Hilfe der im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Daten und Annahmen ergibt sich für alle Fahrzeugkategorien ein positiver Differenzkapitalwert, welcher in der nachfolgenden Tabelle 4 je Fahrzeugpaar (also Vergleich zwischen Verbrenner und Elektroalternative) abgebildet ist. Dies bedeutet, dass mit dem durch die Unternehmen vorgegebenen Nutzungsverhalten, die Elektrofahrzeuge sämtlich relativ vorteilhaft sind und sich eine Umstellung der betrachteten Flottenteile wirtschaftlich lohnt. Die genauen Berechnungen pro Fahrzeugkategorie sind dem Anhang 3 zu entnehmen. Begleitend zu diesen Kapitalwertberechnungen sollen ebenso die dynamischen Amortisationszeiten berechnet werden. Die Amortisationszeit sagt aus, ab welchem Zeitpunkt die Mehrauszahlungen für die Anschaffung des Elektrofahrzeuges gegenüber den Auszahlungen für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor durch die Ersparnisse im Betrieb wiedergewonnen werden. Die Amortisationszeit der einzelnen Fahrzeuge ist ebenfalls der Tabelle 4 zu entnehmen.

Akteure	Fahrzeugkategorie	Elektrofahrzeug	konventionelles Fahrzeug	Differenzkapitalwert	Dynamische Amortisationszeit
SWA	FZK 1 	VW e-up!	VW up	7.579,81 €	3 Jahre
	FZK 3 	Opel Mokka-E	Skoda Kodiaq	15.393,48 €	0 Jahre
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	Opel Vivaro	19.033,99 €	0 Jahre
SWA-B	FZK 2 	Renault Zoe Life R110 Z.E	VW Polo Comfortline	1.978,31 €	6 Jahre
	FZK 3 	VW ID.3 Pure	VW Golf	16.193,76 €	1 Jahre
	FZK 5 	EVUM aCar (Pritsche)	VW T6.1 Pritschenwagen Eika	23.080,17 €	0 Jahre
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	VW Caddy Cargo	2.522,60 €	12 Jahre
ANA	FZK 4 	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer	Fiat Doblo	12.162,81 €	6 Jahre
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	VW Caddy Cargo	11.796,63 €	6 Jahre
WPA	FZK 1 	VW e-up!	VW up	9.888,02 €	3 Jahre
	FZK 4 	Peugeot e-Expert Kombi L2	VW Transporter Kastenwagen	18.980,06 €	4 Jahre
	FZK 4 	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer	VW Caddy	13.694,88 €	5 Jahre
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	VW Transporter Kastenwagen	38.786,39 €	0 Jahre
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	VW Caddy Cargo	7.414,53 €	5 Jahre

Tabelle 4: Übersicht Differenzkapitalwerte und Dynamische Amortisationszeit

Aus den Werten in der Tabelle wird ein sehr großes Spektrum der Amortisationszeiten deutlich: Während sich die Anschaffung einiger Elektrofahrzeugalternativen bereits innerhalb der

ersten zwölf Monate amortisiert, dauert es bei anderen den kompletten angesetzten Betrachtungszeitraum. Die Umweltboni für die Anschaffung der Fahrzeuge wurde in den Berechnungen zur Amortisationszeit berücksichtigt. Diese begünstigen eine früheren Amortisationszeitpunkt, da sie die Anschaffungsauszahlung mindern und somit geringere Rückflüsse notwendig sind, um das um den Umweltbonus reduzierte eingesetzte Kapital wiederzugewinnen.

1.3.3 Sensitivitätsanalysen

Vor dem Hintergrund der mit jeder Investitionsentscheidung verbundenen Unsicherheit sollten Berechnungen jeweils um sogenannte Sensitivitätsanalysen erweitert werden. Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen wird die „Empfindlichkeit“ von Änderungen einzelner Eingangsgrößen auf die Vorteilhaftigkeit bestimmt, unter der Voraussetzung, dass die restlichen Eingangsgrößen konstant bleiben. Die Auswahl der kritischen Inputgrößen erfolgt nach der erwarteten Unsicherheit der getroffenen Annahmen. So sollen im vorliegenden Projekt Sensitivitätsanalysen bezüglich der Wartungskosten, dem Liquidationserlös sowie der Anschaffungsauszahlung durchgeführt werden. Ziel ist es dabei, zu ermitteln, ab welcher Ausprägung der entsprechenden Inputgröße im Vergleich zu der angenommenen Auszahlung die Vorteilhaftigkeit zwischen dem konventionellen Fahrzeug und der Elektrofahrzeugalternative wechselt.

Wartungskosten

Wie im Abschnitt 1.3.1 erläutert, werden die Wartungskosten für die Elektrofahrzeugalternativen mit 65 % der Wartungskosten des konventionellen Fahrzeuges angesetzt. Dies spiegelt die Erwartung an die Höhe von Wartungskosten von Elektrofahrzeugen wider. Da jedoch bisher vergleichsweise wenige Erfahrungswerte vorliegen, die diese Erwartung stützen, werden die Wartungskosten hinsichtlich Sensitivität untersucht. Um den Einfluss der Wartungsauszahlungen der Elektrofahrzeugalternative auf die relative Vorteilhaftigkeit der beiden Fahrzeuge zu überprüfen, wird die Höhe der jeweiligen Auszahlungen ermittelt, bei welchem der Differenzkapitalwert Null ergibt und damit die relative Vorteilhaftigkeit wechselt. Auf diese Weise ergeben sich für die betrachteten Elektrofahrzeugalternativen Wartungsauszahlungen zwischen 309,41 € und 4.925,54 €. Diese entsprechen einer Steigerung zwischen 212,99 % bis 1.055,33 % je nach Fahrzeug. Die genaue Auflistung nach Fahrzeugen ist in Anhang 4 abgebildet. Unabhängig von der sehr großen Spannweite deutet das Ergebnis hier auf ein hohes Maß an Robustheit für die Vorteilhaftigkeitsentscheidung an. Auch wenn sich die Erwartungen geringer Wartungskosten bei Elektrofahrzeugen nicht bestätigen sollten, stellen diese keinen signifikanten Treiber für die Veränderung der relativen Vorteilhaftigkeit dar.

Liquidationserlös

Der Liquidationserlös der Kapitalwertberechnungen wird auf Grundlage eines durchschnittlichen Wertverlustes von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren ausgehend von ihrem jeweiligen Anschaffungspreis berechnet. Dieser Wert unterliegt Unsicherheiten, da der Liquidationserlös nicht nur von dem Alter des Fahrzeuges, sondern u. a. ebenso von der Automarke und dem Modell, der Ausstattung des Fahrzeuges, dem Kilometerstand sowie der Fahrzeugwartung und eventuellen Unfallschäden abhängig ist. Zudem besteht besonders in Hinblick auf den Liquidationserlös des Elektrofahrzeuges Unsicherheit, da bisher kaum abgeschätzt werden kann, ob sich Elektromobilität in der Breite durchsetzt und damit ein Markt für gebrauchte Elektrofahrzeuge entsteht. Darüber sind die technologischen Sprünge bei Elektrofahrzeugentwicklungen im Moment recht groß (speziell bezogen auf die erzielbare Reichweite). Dadurch sind ältere Fahrzeuge schneller technologisch überholt, was einen stärkeren Wertverfall nach sich zieht. Zu einer ähnlichen Entwicklung führt die gegenwärtige öffentliche Förderung von Neufahrzeugen. Aus diesen Gründen soll auch der Liquidationserlös des Elektrofahrzeuges mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse näher betrachtet werden. Hierbei wird der Liquidationserlös des konventionellen Fahrzeuges als gegeben angenommen und es wird ermittelt, um wie viel Prozent sich der Liquidationserlös des Elektrofahrzeuges verringern kann, so dass sich die relative Vorteilhaftigkeit nicht verändert. Gleichzeitig wird der minimale Liquidationserlös des Elektroautos bestimmt. Die fahrzeuggenaue Auflistung ist dem Anhang 4 zu entnehmen. Das Ergebnis der Berechnungen zeigt, dass sich der Liquidationserlös je Elektrofahrzeugalternative um 16,11 % bis 384,86 % verringern kann. Dies verursacht bei neun der betrachteten Fahrzeuge einen negativen Liquidationserlös für die Elektrofahrzeugalternative. Gegenwärtig sind zu zahlende Entsorgungskosten für Elektrofahrzeuge als sehr unwahrscheinlich einzuschätzen. Es wird erwartet, dass sich ebenso wie für Verbrenner über kurz oder lang ein Gebrauchtwagenmarkt für Elektrofahrzeuge bildet oder zumindest die Traktionsbatterien einem zweiten Lebenszyklus für stationäre Anwendungen zugeführt werden können.

Anschaffungsauszahlung

Bei der Höhe der Anschaffungsauszahlung der Elektrofahrzeuge besteht hinsichtlich der Inanspruchnahme von Fördermöglichkeiten Unsicherheit. Diese können in Abhängigkeit des Anschaffungszeitpunktes der Fahrzeuge variieren. Aus diesem Grund soll für die Anschaffungsauszahlung eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Wie bei allen Sensitivitätsanalysen sind hierbei alle sonstigen Variablen mit den Werten aus dem Ausgangsszenario angesetzt. Hierdurch ergibt sich, dass die Anschaffungsauszahlungen für die Elektroautos je nach Fahrzeugtyp und Nutzungsverhalten zwischen 8,25 % und 131,01 % ansteigen können, ohne dass es Auswirkungen auf die relative Vorteilhaftigkeit hat. Dies entspricht Geldbeträgen zwischen 1.978,31 € bis 38.786,39 €. Übertragen auf den Umweltbonus lässt sich daraus schlussfol-

gern, dass sich die relative Vorteilhaftigkeit ohne diese Fördermöglichkeit nur bei zwei Fahrzeugvergleichen ändert: Der VW Polo Comfortline wird im Vergleich zum Renault Zoe Life R110 Z.E. relativ vorteilhaft und der VW Caddy Cargo im Vergleich zum Renault Kangoo Z.E.. Die genauen Werte aufgeschlüsselt nach Fahrzeug sind dem Anhang 4 zu entnehmen.

1.4 Ökologische Bewertung

1.4.1. Methodik: Life Cycle Assessment

Das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur systematischen Erfassung und Einschätzung der Auswirkungen eines Produktes bzw. einer Dienstleistung auf die Umwelt. In der Ökobilanz werden alle Lebensphasen des Produktes, von der Rohstoff- und Energieträgergewinnung, der Herstellung der Zwischen- und Endprodukte, Ge- bzw. Verbrauch in der Nutzungsphase, die Beseitigung bzw. Verwertung und die Distribution zwischen den einzelnen Lebensphasen auf ihre ökologischen Eigenschaften untersucht.²²

In den ISO-Normen 14040 und 14044 der Ökobilanz werden lediglich die Mindestanforderungen formuliert. Der Ablauf und der Detaillierungsgrad für das Untersuchungsobjekt müssen spezifisch angepasst werden.²³ Nach der ISO 14044 umfasst eine Ökobilanz-Studie vier Phasen²⁴: Die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, die Erstellung der Sachbilanz, die Wirkungsabschätzung und die Auswertung. Da die Ökobilanz den Charakter eines Analyseinstruments besitzt, können sich während der Untersuchungsdurchführung neue Erkenntnisse über das Untersuchungsobjekt ergeben. Diese können so bedeutend sein, dass eine Anpassung der vorherigen Schritte bzw. eine Überarbeitung der ursprünglichen Fragestellung notwendig ist.²⁵

Die Sachbilanz ist nach der ISO-Norm 14044 als „Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Input und Outputs eines Produktes im Verlauf seines Lebensweges umfasst“²⁶, definiert. Ziel der Sachbilanz ist es, alle Stoff- und Energieströme auf Basis einer vereinfachten Systemanalyse zu ermitteln, die aus der Umwelt in das im Untersuchungsrahmen definierte technische System eingehen und es wieder verlassen.²⁷ Die Daten aus der Sachbilanz basieren auf quantitativen und naturwissenschaftlichen Daten und sagen nicht viel über ihre Umweltauswirkungen aus. Die Aufgabe der Wirkungsabschätzung besteht darin, die in der Sachbilanz erhobenen Daten hinsichtlich ihrer schädlichen Umweltauswirkungen auszuwerten. Die potenziellen Umweltauswirkungen sollen hierbei erkannt, zusammengefasst sowie quantifiziert werden und es sollen wesentliche Informationen für die Auswertung geliefert werden.

²² Vgl. Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA)- Ein Leitfadens für Ausbildung und Beruf, S. 1-2.

²³ Vgl. Sietz, M.: Umweltschutz, Produktqualität und Unternehmenserfolg, S. 80.

²⁴ Vgl. DIN EN ISO 14044, S. 5.

²⁵ Vgl. Kaltschmitt, M.; Schebek, L.: a.a.O., S. 212 f.

²⁶ DIN EN ISO 14044, Punkt 3.3.

²⁷ Vgl. Kaltschmitt, M.; Schebek, L.: a.a.O., S. 215; Klöpffer, W.; Grahl, B.: a.a.O., S. 63.

In der Auswertung sollen anschließend die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung anhand der Zieldefinition und des Untersuchungsrahmens dargestellt werden. Dabei werden nach der Prüfung der Daten auf Vollständigkeit, die signifikanten Parameter mit Umweltwirkung identifiziert. Gleichzeitig können somit unterschiedliche Prozesse des Produktsystems, Lebensphasen des Produktes oder verschiedene Wirkungskategorien in den Vordergrund gestellt werden.²⁸ Des Weiteren sind auch Sensitivitätsanalysen in der Phase möglich.

1.4.2 Ökologische Nachhaltigkeitsberechnung

Für die ökologische Bewertung der Fahrzeugflotten der vier kommunalen Einheiten soll der CO₂-Ausstoß als wesentliches Treibhausgas betrachtet werden.

Es sollen die Lebenszyklusabschnitte der Produktion in der Vorlaufphase sowie die Nutzungsphase berücksichtigt werden. Analog zur ökonomischen Bewertung wird eine Differenzbetrachtung in Abhängigkeit von der Laufleistung erfolgen, welche anschließend in Nutzungsjahre pro Fahrzeug umgerechnet werden kann.

Herstellungsphase

Die Emissionen der Fahrzeugherstellung sind von verschiedenen Faktoren abhängig. Sie werden von der Fahrzeuggröße, der Materialzusammensetzung sowie von dem Produktionsstandort und dem dortigen Strommix beeinflusst. Für diese Arbeit soll auf die Emissionsdaten der Fahrzeugherstellung auf eine Veröffentlichung der Agora Verkehrswende aus dem Jahr 2019 zurückgegriffen werden, bei welcher ein Kompaktklassefahrzeug betrachtet wird. Dabei werden die Emissionswerte in die Emissionen für den Antrieb und den Fahrzeugrumpf aufgeschlüsselt. Bei den zu vergleichenden Fahrzeugen wird eine gleiche Fahrzeuggröße unterstellt, wodurch die Emissionen verursacht durch den Fahrzeugrumpf trotz unterschiedlicher Antriebsarten identisch sind. Da die zu vergleichenden Fahrzeug in dieser Arbeit der gleichen Fahrzeugklasse zugeordnet werden können, wird diese Annahme übernommen.

Bei Elektrofahrzeugen wird der Emissionswert für die Herstellung der Lithium-Ionen-Batterie ergänzt, welcher von der Batteriekapazität abhängig ist. Es werden etwa 145 kg CO₂-Äquivalente pro kWh Batteriekapazität verursacht.²⁹ Für die Berechnungen werden die Herstellerangaben zur Batteriekapazität genutzt.

Nutzungsphase

In der Nutzungsphase ist zu beachten, dass das Elektrofahrzeug zwar selbst keine CO₂-Emissionen erzeugt, aber ihm indirekt über den deutschen Strommix CO₂-Emissionen zuzurechnen sind. Für diesen wird vom Umweltbundesamt für das Jahr 2018 ein CO₂-Emissionswert von

²⁸ Vgl. Kaltschmitt, M.; Schebek, L.: a.a.O., S. 215; Klöpffer, W.; Grahl, B.: a.a.O., S. 63.

²⁹ Vgl. Agora Verkehrswende (Hrsg.): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial, 2019, S. 42.

0,468 kg/kWh angegeben.³⁰ Mit Hilfe der Herstellerangaben des Stromverbrauches, welche analog zu der ökonomischen Bewertung aufgrund der Topografie von Annaberg-Buchholz um 10 % erhöht werden, können die CO₂-Emissionen der Elektrofahrzeugalternativen in der Nutzungsphase bestimmt werden. Dabei wird die Länge der Nutzungsphase mit der definierten Nutzungsdauer gleichgesetzt. Der Break-Even-Point, bei dem die relative ökologische Vorteilhaftigkeit zu Gunsten des Elektrofahrzeugs wechselt, soll in zurückgelegten Kilometern angegeben und anschließend anhand der von den Unternehmen angegebenen jährlichen Laufleistungen in Jahre umgerechnet werden.

Die Berechnung der CO₂-Emissionen der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in der Nutzungsphase erfolgen mit Hilfe der Herstellerangaben.

Die ökologischen Berechnungen zeigen, dass das konventionelle Fahrzeug durch die hohen CO₂-Emissionen der Elektrofahrzeugherstellung (bedingt insbesondere durch den CO₂-Ausstoß bei der Herstellung der Traktionsbatterien) bei allen Fahrzeugen anfänglich relativ vorteilhaft ist. Das Fahrzeug mit der geringsten Break-Even-Laufleistung ist das EVUM aCar als Pritsche im Vergleich zum VW T6.1 Pritschenwagen Eika von der SWA-B mit etwa 33.018 km, die längste Break-Even-Laufleistung weist der Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer im Vergleich zum Fiat Doblo mit in der Realität nicht erreichbaren 558.032 km auf. Diese Fahrzeugvergleiche sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

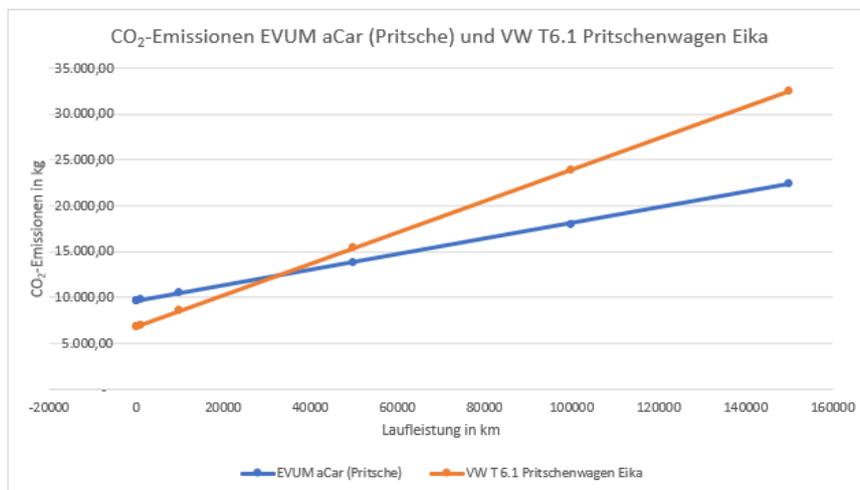


Abbildung 2: CO₂-Emissionen EVUM aCar (Pritsche) und VW T6.1 Pritschenwagen Eika

³⁰ Vgl. Umweltbundesamt (Hrsg.): Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix, 01.04.2020, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen> [08.04.2021].

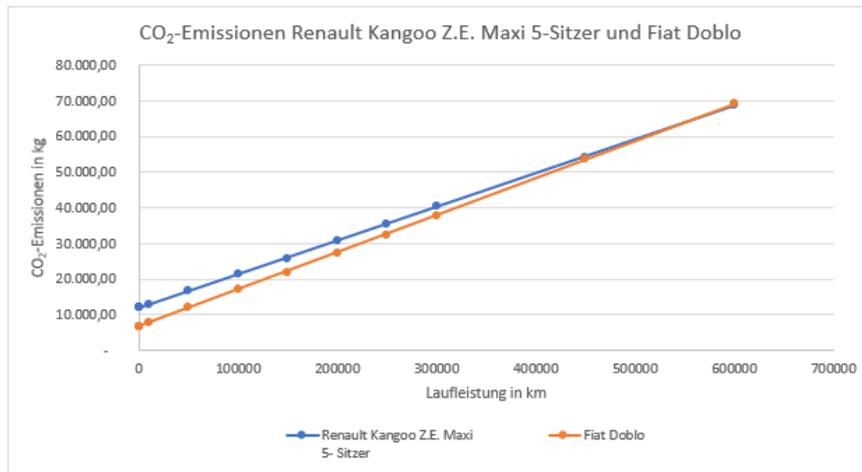


Abbildung 3: CO₂-Emissionen Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und Fiat Doblo

Die durchschnittliche Laufleistung bis zum Break-Even-Punkt über alle betrachteten Fahrzeuge hinweg beträgt ca. 250.783 km. Ab diesem Zeitpunkt ist das Elektrofahrzeug im Schnitt ökologisch vorteilhafter als das konventionell angetriebene Fahrzeug. Durch die Umrechnung der Laufleistung in Nutzungsjahre, bei Unterstellung der von den Unternehmen angegebenen Nutzungsverhalten, ergeben sich Nutzungsdauern von 4,4 Jahren bis zu illusorischen 89,3 Jahren. Die hohen Nutzungsdauern sind vor allem in der Fahrzeugklasse der Busse/Vans zu beobachten, welche nur für eine sehr geringe tägliche Fahrstrecke genutzt werden. Die spezifischen Laufleistungen finden sich in Tabelle 5 unter „Ausgangssituation“. Die dazugehörigen Nutzungsjahre pro Fahrzeug sind im Anhang 5 hinterlegt.

1.4.3 Sensitivitätsanalysen

Analog zur ökonomischen Nachhaltigkeitsbetrachtung soll auch für die ökologische Betrachtung eine Sensitivitätsanalyse bezüglich des CO₂-Emissionswertes des deutschen Strommix durchgeführt werden.

Das Ziel des deutschen Klimaschutzprogramms ist es, bis 2030 65 % des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu gewinnen. Dafür werden u. a. Anreize für den Bau von Windrädern geschaffen. Gleichzeitig ist der Ausstieg aus der Kohleverstromung vollständig bis spätestens 2038 geplant, bis 2030 sollen bereits nur noch 17 Gigawatt Strom aus Kohlekraftwerken stammen.³¹

Diese Entwicklung lässt sich auch in dem CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommix erkennen. Der im Ausgangsszenario verwendete Emissionswert von 0,486 kg CO₂/kWh soll sich bis 2030 um 16 % auf 0,408 kg CO₂/kWh verringern. Bis zu den Jahren 2040 und 2050 ist abermals eine Reduzierung von 35 % bzw. 66 % geplant.³² Dies entspricht Emissionswerten

³¹ Vgl. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.): Klimaschutzprogramm 2030, 09. Oktober 2019, URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-1673578> [09.04.2021].

³² Vgl. Prognos AG / Fraunhofer ISI / GWS / iinas (Hrsg.): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Dokumentation von Referenzszenario und Szenario mit Klimaschutzprogramm 2030, 10. März 2020, S. 45.

von 0,316 kg CO₂/kWh bzw. 0,165 kg CO₂/kWh. Diese Werte sollen für eine Sensitivitätsanalyse genutzt werden. Sie bedingen vor allem die Emissionswerte während der Nutzungsphase. Da die Fahrzeuge nicht zwingend in Deutschland gefertigt werden, können die verminderten CO₂-Emissionen nicht auf die Fahrzeugproduktion angewandt werden. Diese sollen für diese Rechnung unverändert vom Ausgangsszenario übernommen werden.

Unter diesen Bedingungen ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle abgebildeten Veränderungen der Break-Even-Punkte, ab welchem die Elektrofahrzeuge ökologisch relativ vorteilhaft werden.

Akteure	Fahrzeugkategorie	Elektrofahrzeug (konventionelles Fahrzeug)	Break-Even-Point in km			
			Ausgangssituation	2.030	2.040	2.050
SWA	FZK 1 	VW e-up! (VW Up)	170.416	125.229	95.241	68.483
	FZK 3 	Opel Mokka-E (Skoda Kodiaq)	338.003	201.659	136.346	89.207
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E. (Opel Vivaro)	126.451	92.576	70.234	50.391
SWA-B	FZK 2 	Renault Zoe Life R110 Z.E. (VW Polo Comfortline)	530.509	238.855	144.512	87.879
	FZK 3 	VW ID.3 Pure (VW Golf)	230.668	165.885	124.397	88.346
	FZK 5 	EVUM aCar (Pritsche) (VW T 6.1 Pritschenwagen Eika)	33.018	28.509	24.532	19.982
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E. (VW Caddy Cargo)	233.824	139.462	94.280	61.678
ANA	FZK 4 	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzer (Fiat Doblo)	558.032	47.774	41.037	33.361
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E. (VW Caddy Cargo)	233.824	139.462	94.280	61.678
WPA	FZK 1 	VW e-up! (VW Up)	170.416	125.229	95.241	68.483
	FZK 4 	Peugeot e-Expert Kombi L2 (VW Transporter Kastenwagen)	358.510	175.753	109.480	67.779
	FZK 4 	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzer (VW Caddy)	214.639	132.403	91.000	60.257
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E. (VW Transporter Kastenwagen)	78.824	64.184	52.586	40.612
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E. (VW Caddy)	233.824	139.462	94.280	61.678

Tabelle 5: Ökologischer Break-Even-Punkt in Nutzungsjahren

Mit Hilfe dieser Berechnungen ist zu erkennen, dass der Break-Even-Punkt mit einem zunehmend „grüner werdenden Strommix“ nach einer geringeren Laufleistung erreicht wird. Schon

bei einer Senkung der CO₂-Emissionen des deutschen Strommix um 16 % (Jahr 2030) kann im Schnitt eine Reduzierung der Break-Even-Laufleistung um 38 % erreicht werden. Die genauen Berechnungen befinden sich im Anhang 5.

Eine weitere Möglichkeit, den ökologischen Break-Even-Punkt zur Vorteilhaftigkeit des Elektrofahrzeuges zu verschieben, ist die Anschaffung von Photovoltaikanlagen durch die vier kommunalen Einheiten, welche im Abschnitt 0 näher betrachtet werden sollen. Der auf diese Weise erzeugte Strom verursacht nur etwa 0,005 kg CO₂ pro produzierter kWh.³³ Wird ausschließlich dieser Strom zum Aufladen der Elektrofahrzeuge während der Nutzungsdauer verwendet, reduziert sich die Laufleistung zum Erreichen des Break-Even-Point im Durchschnitt um 76 %. Eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der CO₂-Emissionen während der Herstellung soll nicht erfolgen, da diese nicht durch die Fahrzeugnutzer beeinflussbar sind und somit als gegebenen hingenommen werden müssen.

1.5 Zwischenfazit zu Konzeptbaustein 1

In den vorangegangenen Abschnitten wurde die Elektrifizierung der Fuhrparks der SWA-B, der SWA, der ANA und des WPA betrachtet. Als Ausgangspunkt fungierte dabei der aktuelle Fuhrpark. Aufgrund verschiedener Besonderheiten der Fahrzeuge und dem zum Zeitpunkt des Projekts noch begrenzten Marktangebot für Elektrofahrzeuge konnten nur für etwa die Hälfte der Fahrzeuge Elektrofahrzeugalternativen identifiziert werden. Für den Rest wurden potenzielle Alternativen genannt, welche allerdings noch einer genaueren Überprüfung bezüglich der Erfüllung der von den Akteuren an die Fahrzeuge gestellten Anforderungen (z. B. Anhängerkupplung oder Anbaugeräte) unterzogen werden müssen.

Für die Berechnung der ökonomischen Nachhaltigkeit mit Hilfe der Kapitalwertmethode wurde die Notwendigkeit des Ersatzes der Bestandsfahrzeuge unterstellt. Dieser kann entweder mit dem aktuellen Modell des bisherigen Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor erfolgen oder mit der zuvor identifizierten Elektrofahrzeugalternative. Die Nutzungsweise der Fahrzeuge wird als gegeben angesehen. Es zeigte sich, dass bei allen Fahrzeugen bei der unterstellten Nutzungsdauer von sechs, elf bzw. zwölf Jahren die Elektrofahrzeugalternative ökonomisch relativ vorteilhaft ist. Um den Einfluss ausgewählter Eingangsgrößen auf diese Vorteilhaftigkeit zu untersuchen, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei wurden die unsicheren Eingangsgrößen Wartungskosten, Liquidationserlös und Anschaffungsauszahlungen betrachtet.

Für die Beurteilung der ökologischen Nachhaltigkeit der Elektrifizierung des Fuhrparks diente der CO₂-Ausstoß in der Vorlauf- und Nutzungsphase der Fahrzeuge. Es zeigte sich, dass sich der in der Herstellungsphase höhere CO₂-Ausstoß der Elektrofahrzeuge im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen im Laufe der Nutzungsphase ausgleicht. So wird bei den betrachteten Fahrzeugpaaren der Break-Even-Punkt im Durchschnitt nach ca. 250.783 km erreicht,

³³ Vgl. wegatech greenery GmbH (Hrsg.): Die CO₂-Bilanz von Photovoltaik, 2021, URL: <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/grundlagen/co2-bilanz-photovoltaik/> [14.04.2021].

nach welchen das Elektrofahrzeug relativ vorteilhaft ist. Auch für die ökologische Nachhaltigkeit wurden bezüglich der CO₂-Emissionen des Strommix Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei wurde der hohe Einfluss einer „grünen“ Stromerzeugung auf die ökologische Vorteilhaftigkeit deutlich. Einen Beitrag dazu kann auch die Installation von Photovoltaikanlagen leisten. Diese werden im Abschnitt 0 näher betrachtet.

Da sich der Markt für batterieelektrische Fahrzeuge sehr dynamisch entwickelt, sollte vor einer konkreten Fuhrparkentscheidung alle Berechnungen und die ihnen zugrundeliegenden Annahmen geprüft werden. Mittlerweile finden sich im Internet sehr gute, frei verfügbare Plattformen und Tools (zum Teil mit dem Erfordernis verbunden, sich für die Plattform zu registrieren), die Entscheidungsträger bei der Vorbereitung der Fuhrparkumstellung unterstützen. Exemplarisch sei hier auf die Digitale Plattform zur Elektrifizierung von Fahrzeugflotten der Sächsischen Energieagentur (SAENA) verwiesen.

2 Arbeitspaket: Öffentliche Ladeinfrastruktur

2.1 Zielstellung

Im vorherigen Arbeitspaket wurde bereits auf die notwendige Ladeinfrastruktur für den elektrifizierten Fuhrpark der vier kommunalen Einheiten hingewiesen. Im vorliegenden Arbeitspaket sollen die Überlegungen auf eine öffentliche Ladeinfrastruktur in Annaberg-Buchholz erweitert werden, an welchen nicht nur die Fahrzeuge der betrachteten Akteure, sondern ebenso Fahrzeuge von Privatpersonen bzw. zukünftig von Sharing-Anbietern geladen werden können. Hierfür werden in den folgenden Abschnitten neben den rechtlichen Rahmenbedingungen ebenso die bestehenden und möglichen Standorte für Ladepunkte sowie die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der Ladeinfrastruktur betrachtet.

2.2 Technische und rechtliche Rahmenbedingungen einer öffentlichen Ladeinfrastruktur

Es bestehen prinzipiell drei Möglichkeiten, um Elektrofahrzeuge mit der für die Nutzung nötigen Energie zu versorgen: Einerseits kann das induktive Laden genutzt werden, andererseits ist auch ein Batteriewechsel möglich. Bei beiden Varianten mangelt es jedoch an weiterer Entwicklung und auch eine Standardisierung fehlt zumeist, sodass diese Lademöglichkeiten bei Personenkraftwagen bisher kaum Anwendung finden. Als dritte Alternative kann das konduktive Laden genutzt werden, bei dem die elektrische Energie mittels einer Kabelverbindung auf das Fahrzeug übertragen wird. Hierbei kann wiederum zwischen dem Laden mit Wechselstrom (AC) und dem Laden mit Gleichstrom (DC) unterschieden werden. Letzteres bietet die Möglichkeit des sogenannten Schnellladens.³⁴ Aufgrund der genannten Nachteile des induktiven Ladens und des Batteriewechsels, wird im Folgenden ausschließlich auf das Laden mittels Kabel näher eingegangen.

Für ein solches Laden von Elektrofahrzeugen sind die verschiedenen Ladebetriebsarten zu berücksichtigen, welche auch in der DIN-Norm 61851-1 definiert sind.³⁵ Während die Ladebetriebsart 1 das Laden an Haushalts- oder Industriesteckdosen bezeichnet, wird im Vergleich dazu bei der Ladebetriebsart 2 zusätzlich eine Steuer- und Schutzeinrichtung beim Laden an Steckdosen genutzt. Die Ladebetriebsart 3 bezeichnet das AC-Laden. Die Nutzung fest installierter Ladestationen durch Gleichstrom, die das schnellere DC-Laden ermöglichen, kennzeichnet schließlich die Ladebetriebsart 4.³⁶ Für die Ausstattung einer Flotte und das öffentliche Laden werden in der Praxis regelmäßig die Ladebetriebsarten 3 und 4 empfohlen, da diese sich durch eine hohe Leistungsfähigkeit und Sicherheit auszeichnen.³⁷

³⁴ Vgl. DKE; BDEW; ZVEI; ZVEH, 2016, S. 8.

³⁵ Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2011, S. 15.

³⁶ Vgl. Gillissen & Schramek, 2017, S. 22f.

³⁷ Vgl. Volkswagen Aktiengesellschaft, 2018, S. 7.

Auch bei den für den Ladevorgang notwendigen Steckern kann zwischen verschiedenen Typen unterschieden werden. Als europäischer Standard hat sich zum einen der Stecker Typ 2 durchgesetzt, auch „Mennekes Stecker“ genannt, welcher das AC-Laden in der Ladebetriebsart 3 unterstützt. Für das DC-Laden in der Ladebetriebsart 4 wird jedoch der CCS Stecker, auch Combo-2-Stecker, verwendet. Weiterhin existieren der CHAdeMO Stecker, bei asiatischen Fahrzeugmarken, sowie der Stecker Typ 1 und der Tesla-Stecker bei amerikanischen Fahrzeugen.³⁸ Zur Standardisierung der Stecker, als Voraussetzung für die Sicherstellung der Kompatibilität, wurde die EU-Richtlinie 2014/94/EU³⁹ mit der Ladesäulenverordnung in deutsches Recht umgesetzt.⁴⁰ Diese Rechtsgrundlage schreibt für Ladestationen, die das Laden mit Wechselstrom ermöglichen, zwingend die Kompatibilität mit Steckern des Typs 2 vor. Für das DC-Laden muss hingegen mindestens der CCS-Stecker unterstützt werden.⁴¹ Der Prozess der Bereitstellung einer öffentlichen Ladeinfrastruktur kann in die drei Phasen der Analyse, der Beschaffung und Installation der Ladepunkte sowie deren Betrieb unterteilt werden, welche in der nachfolgenden Abbildung 4 dargestellt sind.

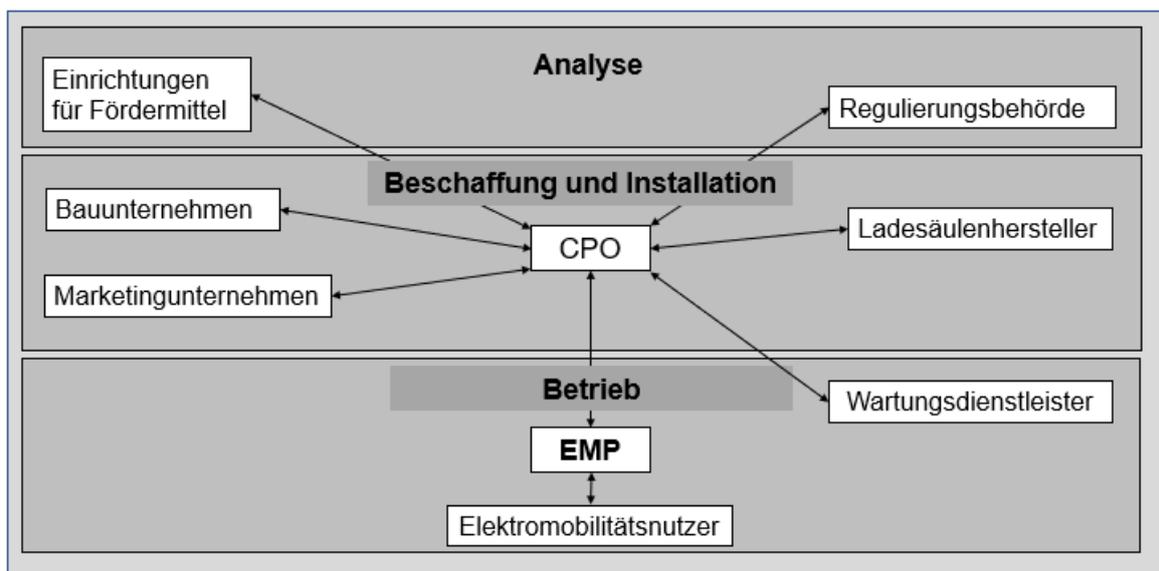


Abbildung 4: Akteure und deren Verflechtungen einer öffentlichen Ladeinfrastruktur⁴²

Die Phase der Analyse beinhaltet die Klärung wichtiger Fragen wie bspw. die Zugänglichkeit der Ladepunkte, die Standortwahl, die Ladeleistung und die Ladebetriebsart. In dieser Arbeit wird ausschließlich der Errichtung einer öffentlichen Ladeinfrastruktur diskutiert. In der Ladesäulenverordnung⁴³ (LSV), welche die Mindestanforderungen an öffentliche Ladeinfrastruktur

³⁸ Vgl. Volkswagen Aktiengesellschaft, 2018, S. 8.

³⁹ Vgl. Europäisches Parlament und Rat, 2014, S. Artikel 4 (4).

⁴⁰ Vgl. DKE; BDEW; ZVEI; ZVEH, 2016, S. 5.

⁴¹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016, S. § 3 (2f.).

⁴² Eigene Darstellung nach der schriftlichen Ausarbeitung von Verband Sächsischer Wohnungsgenossenschaften e.V.: Leitfaden Ladeinfrastruktur und Elektromobilität für die Wohnungswirtschaft, August 2019, Dresden, S. 9 f.

⁴³ Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile

regelt, gilt ein Ladepunkt im öffentlichen Straßenraum oder auf privatem Grund als öffentlich, welcher von einem unbestimmten oder nur nach allgemeinen Merkmalen bestimmbar Personenkreis tatsächlich genutzt werden kann.⁴⁴ Dabei wird der Ladepunkt als Einrichtung, an der zur gleichen Zeit nur ein Elektrofahrzeug geladen werden kann, bezeichnet.⁴⁵ Der in den Ladepunkten integrierte Stromzähler gilt laut Mess- und Eichgesetz (MessEG) als eichpflichtiges Messgerät, ebenso dessen Anzeige.⁴⁶ Deren Anforderungen mit besonderem Hinblick auf die Anzeige sowie die Übertragung der Messwerte an digitale Speicherorte sind im MessEG und der Mess- und Eichverordnung (MessEV) definiert. Bei der Wahl geeigneter Standorte sind die Regelungen des Bauplanungsrechts zu beachten.⁴⁷

Die Errichtung, Installation, Instandhaltung und die Stromversorgung von Ladepunkten übernimmt der Ladesäulenbetreiber, CPO (Charge Point Operator). Dabei ist die Verwendung von Ladesteckern des Typ 2 gemäß DIN EN 62196-2 für das Wechselstromladen und der Stecker-typ Combo 2 gemäß der DIN-Norm EN62196-3 für das Laden mit Gleichstrom vorgeschrieben.⁴⁸ Neben der Zurverfügungstellung des Ladepunktes ist er ebenso für das Meldewesen und das Ladestationsmanagement verantwortlich. Er ist verpflichtet, die Errichtung sowie die Außerbetriebnahme von Ladepunkten der Regulierungsbehörde mind. vier Wochen vor dem geplanten Aufbau bzw. sofort nach Außerbetriebnahme schriftlich oder elektronisch zu melden.⁴⁹ Handelt es sich um Schnellladepunkte, sind weitere Punkte zu berücksichtigen. Diese sollen hier aber nicht weiter erläutert werden, da sie für Annaberg-Buchholz im Moment nicht relevant sind. Der CPO sorgt zwar durch die Stromanbindung des Ladepunktes für die Lademöglichkeit von Elektrofahrzeugen, allerdings wird er dadurch nicht als Energieversorgungsunternehmen im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes eingeordnet. Somit gilt er nicht als Stromlieferant, sondern wird fiktiv mit dem Letztverbraucher gleichgestellt.⁵⁰ Dies geht aus § 2 Nr. 8 Messtellenbetriebsgesetz (MsbG) hervor.

Für das Angebot eines Ladeabonnements ist anschließend der sogenannte Mobility Service Provider (MSP) bzw. der E-Mobility Service Provider (EMSP) verantwortlich, über welchen die Abrechnung der Ladevorgänge erfolgt.⁵¹ Die Bezahlung durch den Nutzer kann auf drei verschiedenen Arten geregelt sein: Das punktuelle Laden kann durch den Betreiber kostenfrei zur Verfügung gestellt werden, die Bezahlung kann bar in unmittelbarer Nähe des Ladepunktes erfolgen oder bargeldlos. Bei letzterem ist die Authentifizierung des Nutzers notwendig. Diese

⁴⁴ Vgl. § 2 Nr. 9 LSV

⁴⁵ Vgl. § 2 Nr. 6 LSV

⁴⁶ Vgl. § 3 Nr. 13 MessEG, § 3 Nr. 24b MessEG

⁴⁷ Vgl. Verband Sächsischer Wohnungsgenossenschaften e.V.: Leitfaden Ladeinfrastruktur und Elektromobilität für die Wohnungswirtschaft, August 2019, Dresden, S. 25.

⁴⁸ Vgl. §3 (1) – (3) LSV

⁴⁹ Vgl. § 5 (1) LSV

⁵⁰ Vgl. Verband Sächsischer Wohnungsgenossenschaften e.V.: Leitfaden Ladeinfrastruktur und Elektromobilität für die Wohnungswirtschaft, August 2019, Dresden, S. 23.

⁵¹ Vgl. Allego: Abkürzungen über Abkürzungen! Was sagen Ihnen MSP, CPO und EMSP?, 15. August 2019, URL: <https://www.allego.eu/de-de/blog/2019/august/pro-charging-msp> [08.07.2021].

erfolgt zurzeit häufig über eine Funkchip-Karte. Eine bisher noch nicht weit verbreitete Möglichkeit ist „Plug and Charge“, bei welcher die Daten mit Hilfe des Ladekabels ausgetauscht werden.⁵² Es wird damit gerechnet, dass sich diese Art der Authentifizierung in Zukunft durchsetzen wird. Der MSP übernimmt die Tarifgestaltung, die Rechnungsstellung sowie die Gestaltung des Zahlungsprozesses. Laut § 3 Preisangabenverordnung (PAngV) ist der Preis je kWh inklusive Umsatzsteuer anzugeben. Es ist ebenso möglich, dass der CPO auch gleichzeitig als MSP auftritt.

2.3 Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur und Standortwahl

2.3.1 Bedarf an einer öffentlichen Ladeinfrastruktur

Um den Bedarf an einer öffentlichen Ladeinfrastruktur für Annaberg-Buchholz abzuschätzen, soll das Ziel der Bundesregierung für das Jahr 2030 von sieben bis zehn Millionen Elektrofahrzeugen in Deutschland⁵³ als Ausgangspunkt dienen. Da der Betrachtungszeitraum zwölf Jahre betragen soll, werden deutschlandweit zehn Millionen Elektrofahrzeuge im Jahr 2033 den Berechnungen zugrunde gelegt. Somit ergibt sich auf Basis der Einwohnerzahl der Stadt Annaberg-Buchholz für das Jahr 2033 rechnerisch eine Anzahl von 2.331 Elektrofahrzeugen. Diese Zahl skizziert nach heutiger Einschätzung eine Maximalverbreitung von Elektrofahrzeugen im Zieljahr und wird daher nachfolgend als optimistisches Szenario betrachtet.

Bei einer angenommenen, durchschnittlichen Akkukapazität von 37 kWh⁵⁴ und einer Ladeleistung von 22 kW, dauert ein voller Ladevorgang 1,68 Stunden. Da hierbei noch keine Ladeverluste berücksichtigt sind, wird die Dauer des Ladevorgangs auf volle zwei Stunden aufgerundet. Es ist davon auszugehen, dass nachts i. d. R. keine Elektrofahrzeuge an den öffentlichen Ladepunkten geladen werden, womit an den restlichen zwölf Stunden pro Tag sechs Fahrzeuge geladen werden können. Bisher werden nur etwa 15 % der Elektrofahrzeuge mit Hilfe der öffentlichen Ladeinfrastruktur geladen.⁵⁵ Daraus lässt sich rechnerisch für das Jahr 2033 ein Bedarf von 58 Ladepunkten in Annaberg-Buchholz ableiten. Dies entspricht, abzüglich der in Abschnitt 2.3.2 (Tabelle 8) festgehaltenen bereits vorhandenen Ladepunkte, 21 neu zu errichtenden Ladesäulen.

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur soll wie folgt geschehen: In den ersten zehn Jahren werden je zwei Ladesäulen pro Jahr aufgebaut und im elften Betrachtungsjahr eine. Hierdurch wird

⁵² Vgl. Starterset Elektromobilität. Praktische Tipps für Kommunen: Tank- und Ladeinfrastruktur, URL: <https://www.xn--starterset-elektromobilitt-4hc.de/Bausteine/Ladeinfrastruktur#strom%20laden> [07.07.2021].

⁵³ Vgl. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: Verkehr, 2021, URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/verkehr-1672896> [30.06.2021].

⁵⁴ Die im Arbeitspaket 1 identifizierten Elektrofahrzeuge besitzen eine durchschnittliche Akkukapazität von 37 kWh.

⁵⁵ Vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität: Flächendeckende Ladeinfrastruktur, Oktober 2020, Berlin, S. 13.

sich die Auslastung der einzelnen Ladepunkte anfänglich verringern, da mehr Ladepunkte vorhanden sind als nachgefragt werden, jedoch kann in zwölf Jahren, eine flächendeckende Ladeinfrastruktur bereitgestellt werden. Darüber hinaus kann ein frühzeitiges „Überangebot“ an Ladepunkten kann für die Bevölkerung sowie für Unternehmen auch als Anreiz für den Kauf von Elektrofahrzeugen dienen.

Periode	Anzahl Ladepunkte	Anzahl Ladesäulen	Neue Ladesäule 1 Standort neue Ladesäule 1	Nr.	Neue Ladesäule 2 Standort neue Ladesäule 2	Nr.
0	17	8	-	-	-	-
1	21	10	Parkhaus Altstadt II	14	Erzgebirgsklinikum	20
2	25	12	Pöhlberg	12	Kät-Platz	13
3	29	14	Parkhaus am Markt	25	Wolkensteiner Tor	8
4	33	16	Rathausplatz 1	23	Frohnauer Hammer	22
5	37	18	Sportpark Grenzenlos	19	Finanzamt	9
6	41	20	Parkhaus Altstadt	10	Schwimmhalle Atlantis	21
7	45	22	Landkreis Gymnasium St. Annen	16	Silberlandhalle	17
8	49	24	Badeanstalt am Stangenwald	24	Wohn- & Pflegezentrum	18
9	53	26	BSZ für Wirtschaft	15	Arbeits- & Landratsamt	11
10	57	28	-	-	-	-
11	59	29	-	-	-	-
12	59	29	-	-	-	-

Tabelle 6: Ausbaustufen öffentliche Ladeinfrastruktur optimistisches Szenario

Zusätzlich zu diesem optimistischen Szenario soll noch ein vorsichtiges Szenario betrachtet werden. Hierfür wird eine Steigerung an Elektrofahrzeugen um 33,33 % pro Jahr angenommen. Der aktuelle Bestand (2021) an Elektrofahrzeugen in Annaberg-Buchholz wird über den prozentualen Anteil der Elektrofahrzeuge an der Bevölkerung ermittelt. Laut dem Kraftfahrt-Bundesamt sind zum 01.01.2021 im Erzgebirgskreis 459 Elektrofahrzeuge angemeldet.⁵⁶ Dies entspricht bei einer Einwohnerzahl von 331.917 etwa 0,14 %. Somit ergeben sich für Annaberg-Buchholz mit einer Einwohnerzahl von 19.393 rechnerisch 27 Elektrofahrzeuge. Mit der angenommenen Steigerung bedeutet dies für das Jahr 2033 einen Bestand an 827 Elektrofahrzeugen und einen Gesamtbedarf an 21 Ladepunkten. Abzüglich der bereits vorhandenen 17 Ladepunkte, sollen die vier neuen Ladepunkte in Form von zwei Ladesäulen linear auf den Betrachtungszeitraum aufgeteilt werden. Dies bedeutet, dass der Ausbau der Ladeinfrastruktur jeweils am Ende des Jahres 2025 sowie 2029 erfolgen soll.

⁵⁶ Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, 1. Januar 2021 (FZ1), URL: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/umwelt_node.html [04.08.2021].

Periode	Anzahl Ladepunkte	Anzahl Ladesäulen	Neue Ladesäule 1 Standort	Nr.
0	17	8	-	-
1	17	8	-	-
2	17	8	-	-
3	17	8	-	-
4	17	8	-	-
5	19	9	Parkhaus Altstadt II	14
6	19	9	-	-
7	19	9	-	-
8	19	9	-	-
9	21	10	Erzgebirgsklinikum	20
10	21	10	-	-
11	21	10	-	-
12	21	10	-	-

Tabelle 7: Ausbaustufen öffentliche Ladeinfrastruktur vorsichtiges Szenario

2.3.2 Standortauswahl für die benötigte Ladeinfrastruktur

Die Grundlage für den Ausbau eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetz für die Stadt Annaberg-Buchholz bilden die bereits vorhandenen, öffentlich zugänglichen Lademöglichkeiten. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 8 aufgelistet. Hierbei ist anzumerken, dass die Ladesäule Nummer 7 am unteren Bahnhof bisher nur vorgesehen, aber noch nicht errichtet ist. Die Planung und die dazugehörigen Anschlüsse sind jedoch so konkret, dass der untere Bahnhof schon unter den bestehenden Ladepunkten gelistet wird.

Nr.	Adresse	Betreiber	Ladepunkte	Point of Interest (POI)
1	Louise Otto-Peters-Straße 13	SWA-B	2 x Typ 2 (22 kW)	Pfleger (Dienstfahrzeuge), Besucher
2	Markt 4 (Tiefgarage)	SWA-B	1 x Typ 2 (22 kW)	Rathaus, Weihnachtsmarkt
3	Straße der Freundschaft 5	Comfortcharge GmbH	1 x Combo Typ 2 (55kW) 2 x Typ 2 (22 kW)	Anwohner, Lehrer, Gartenbesitzer
4	Robert-Schumann-Straße 1	SWA-B	2 x Typ 2 (22 kW)	Mitarbeiter Stadtwerke, Zugang zur B95, B101
5	Barbara-Uthmann-Ring 162	SWA-B	2 x Typ 2 (22 kW)	Anwohner, Reisebüromitarbeiter & -kunden
6	Gewerbering 4	eins energie	2 x Typ 2 (22 kW) 2x Schuko (3,6 kW)	Einkaufszentrum, Dekra, Autohaus, Anwohner
7	Unterer Bahnhof		2 x Typ 2 (22 kW)	Pendler, Anwohner, Touristen

Tabelle 8: vorhandene Ladeinfrastruktur Annaberg-Buchholz

Es lassen sich drei Zielgruppen für die Ladeinfrastruktur identifizieren: die kommunalen Einrichtungen sowie deren Mitarbeiter, die Anwohner der Stadt Annaberg-Buchholz und Besucher bzw. Touristen. Für die erste Zielgruppe existieren bereits Ladesäulen auf dem Betriebsgelände der SWA-B (Nr. 4, Robert-Schumann-Straße 1) sowie der WPA (Nr. 1, Louise-Otto-

Peters-Straße 13). In der Nähe der Geschäftsstelle der SWA im Barbara-Uthmann-Ring 131 steht die Ladesäule Nr. 5, direkt auf dem Betriebsgelände existiert allerdings noch keine, ebenso wie bei ihrer zweiten Geschäftsstelle am Rathausplatz 1. Ähnlich verhält es sich bezüglich der Mitarbeitenden im Rathaus. Dort befindet sich jedoch der Ladepunkt Nr. 2 unmittelbar in der Nähe. Bei den Pflegeeinrichtungen im Wohngebiet Adam Ries, welche von der WPA betrieben werden, ist noch keine Ladeinfrastruktur vorhanden. Die zuletzt genannten Standorte ebenso wie die Innenstadt, welche besonders am Markt durch alle drei Zielgruppen hoch frequentiert ist, sollen vordergründig für weitere Ladesäulen näher betrachtet werden. Dies wird damit begründet, dass nicht nur viele Anwohner in der Innenstadt angesiedelt sind, sondern auch Berufstätige der Einkaufspassage (Buchholzer Straße) und Mitarbeiter der Verwaltungsorgane (Rathaus, Finanzamt, Standesamt etc.) Zugang zum innenstadtnahen Parken haben, wo sich der Ladepunkt Nr. 2 befindet, haben. Für Touristen ist die Innenstadt attraktiv aufgrund des Zugangs zu Hotels, Restaurants und sämtlichen Sehenswürdigkeiten, wie z. B. der Weihnachtsmarkt, die St. Annenkirche, die Filmfestspiele „Fabulix“ und viele mehr. Die potenziellen Standorte wurden aufgrund ihrer Nähe zu kommunalen Verwaltungseinrichtungen, dem Zugang zum öffentlichen Personennahverkehr, großen Wohngebieten sowie zu touristischen Hotspots ausgewählt. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 9 benannt und in der Karte (Abbildung 5) mit den orangenen Markierungen gekennzeichnet. Die grünen Markierungen kennzeichnen die bereits existierende Ladeinfrastruktur.

Nr.	Ort	Adresse	Beispiele POI
8	Wolkensteiner Tor	Wolkensteiner Str. 40	Nutzer Bahnhof, Besucher Friedhof
9	Finanzamt	Magazingasse 16	Angestellte, Besucher Polizeirevier
10	Parkhaus Altstadt	Paulus-Jenisius-Str. 4	Berufstätige, Anwohner
11	Arbeits-/Landratsamt	Paulus-Jenisius-Str. 24, 43	Angestellte, Besucher, Anwohner
12	Pöhlberg	Parkplatz am Pöhlberg	KÄT, Tierpark, Butterfässer, Altenpflegeheim "St. Anna"
13	Kät-Platz	Parkplatz am Kät-Platz	Festhalle, Kurt-Löser-Sportplatz, Pöhlberg, Schutzteich
14	Parkhaus Altstadt II	Scheibnerstraße 1	Eduard-von-Winterstein-Theater, Einkaufspassage
15	BSZ für Wirtschaft	Bärensteiner Str. 2	Schüler, Lehrer, Anwohner
16	Landkreisgymnasium St. Annen	Pestalozzistraße 9	Schüler, Lehrer, Anwohner
17	Silberlandhalle	Talstraße 8-10	Sportler, Funktionäre, Lehrer
18	Wohn- und Pflegezentrum	Wohngebiet Adam Ries	Angestellte WPA, Anwohner
19	Sportpark Grenzenlos	Barbara-Uthmann-Ring 156 b	Außenstelle SWA, Sportpark, Kirchliches Gemeindezentrum
20	Erzgebirgsklinikum	Chemnitzer Straße 15	Patienten, Angestellte, Besucher
21	Schwimmhalle Atlantis	Chemnitzer Straße 30	Besucher, Touristen, Angestellt
22	Frohnauer Hammer	Sehmatalstraße 3	Hotelgäste, Gaststätte, Wanderwege
23	Rathausplatz 1	Nähe Parkplatz "An der Mühle"	Angestellte SWA, Waldschlösschenpark
24	Badeanstalt am Stangewald	Badeweg 11	Besucher, Angestellte, Anwohner
25	Parkhaus am Markt	Markt 4	Zusätzlicher Ladepunkt wegen hoher Frequentierung

Tabelle 9: potenzielle Standorte für Ladepunkte in Annaberg-Buchholz

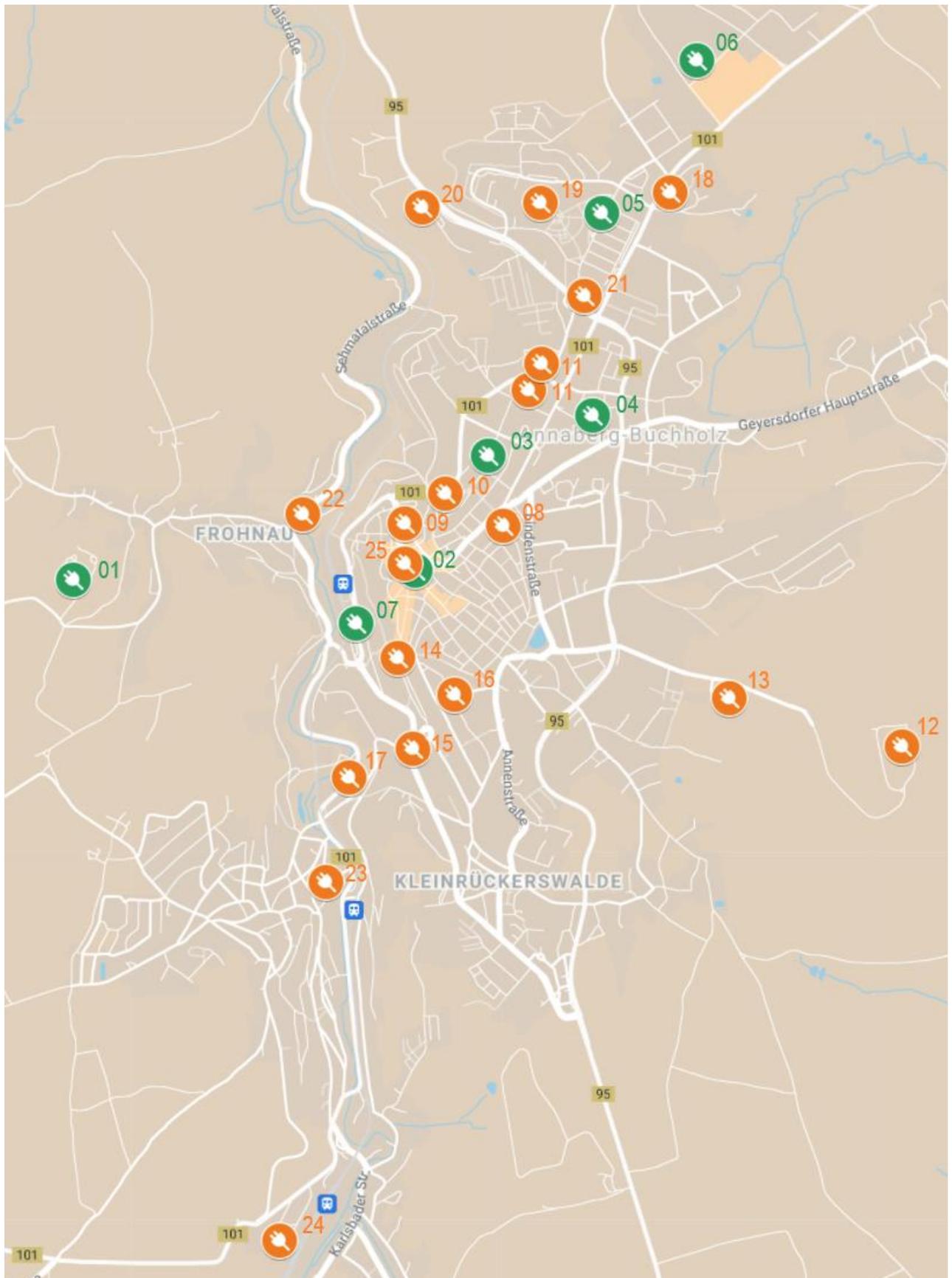


Abbildung 5: Standorte potenzielle Ladepunkte öffentliche Ladeinfrastruktur⁵⁷

Mit Hilfe eines Bewertungsbogens, welcher für jede der Destinationen ausgefüllt wurde, sollte eine Rangfolge mit absteigendem Wert für die identifizierten, potenziellen Standorte ermittelt werden. Dieser ist für das Parkhaus Altstadt II (Nr. 8) beispielhaft in nachfolgender Tabelle 10 dargestellt, die weiteren befinden sich im Anhang 6.

Standort:	Parkhaus Altstadt II	Standort-Nr.	8	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Scheibnerstraße 1			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)		Ja	Nein	
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	5	1,5
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	5	0,5
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	4	0,4
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	$\emptyset = 3,7$	1,11
C.2(i)	Einwohner	10%	3	
C.2(ii)	Touristen	10%	5	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	3	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	3	0,15
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	5	0,25
Gesamtpunktzahl				4,41

Tabelle 10: Bewertungsbogen Parkhaus Altstadt II (Nr. 8)⁵⁸

Im ersten Teil der Bewertung wird beurteilt, ob es aus baulicher oder rechtlicher Sicht Hinderungsgründe für die Errichtung einer Ladesäule an diesem Standort gibt. Da an den gewählten Destinationen bereits Parkflächen vorhanden sind oder einfach zu errichten wären, sind in allen Fällen nach angestellten Recherchen keine Hinderungsgründe bekannt. Ob der nötige

⁵⁷ Eigene Darstellung mit Hilfe von Google Maps, URL:

<https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1KNN3e7SaB0R7rAvwyNgZmDR7lj9Yq9RJ&usp=sharing>

⁵⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an Aktionsraum Wurzener Land (Hrsg.): Elektromobilität im Wurzener Land. Ein Umsetzungskonzept, Dezember 2018, S. 46

Netzzugang und die Anschlussleistung vorhanden sind, sollte einzelfallspezifisch in Absprache mit den Stadtwerken Annaberg-Buchholz geprüft werden. Für das vorliegende Projekt wurde ausreichende Anschlussleistung unterstellt. Hier ist jedoch eine Nachschärfung dringend empfohlen. Im nächsten Schritt erfolgt eine Bewertung aus der Perspektive des Anbieters (B.1 bis B.4) und der Nutzer (C.1 bis C.4), abhängig von deren Präferenzen bzgl. der Standorteignung. Für den Anbieter ist der geringe bauliche Aufwand, die Attraktivität der Lage für die Öffentlichkeit wichtig, sowie die Möglichkeit der Erweiterung um zusätzliche Ladeanschlüsse. Erforderlich bei dem Ausbau eines Ladeinfrastrukturnetzes ist die Gewährleistung der Flächendeckung im gesamten Stadtbild. D. h. dass die Entfernung zur nächsten Lademöglichkeit möglichst gering sein soll, aber dennoch eine flächendeckende Verteilung vorherrschen soll, um eine gleichmäßige Auslastung und Zielgruppenbefriedigung zu erreichen. Aus Nutzerperspektive spielt vorrangig die Erreichbarkeit der Ladestation und die Standortnähe zu den Interessengebieten der Anspruchsgruppen eine Rolle. Auch der direkte Zugang zum öffentlichen Personennahverkehr und der geringe Parkdruck (z. B. durch Begrenzung der Parkdauer) sind ausschlaggebend für die Wahl der Ladesäule. Beide Perspektiven werden mit 50 Prozent gewichtet, die wiederum auf die einzelnen Kriterien aufgeteilt werden. Zur Bewertung der Erfüllung dieser Kriterien werden Punkte von eins bis fünf vergeben, welche durch die Gewichtung einen Ergebniswert generieren. Die Summe der Werte ergibt die Gesamtpunktzahl für den Standort.⁵⁹ Die Rangfolge, die sich aus diesem Verfahren ergibt, ist der nachfolgenden Tabelle 11 zu entnehmen.

⁵⁹ Die Gewichtungen sind angelehnt an: Aktionsraum Wurzener Land (2018), S. 46; die Bewertung erfolgte subjektiv, basierend auf umfangreicher Ortskenntnis.

Rang	Wert	Standort	Nr.
1	4,41	Parkhaus Altstadt II	14
2	4,2	Erzgebirgsklinikum	20
3	4,15	Pöhlberg	12
4	4,06	Kät-Platz	13
5	3,88	Parkhaus am Markt	25
6	3,75	Wolkensteiner Tor	8
7	3,65	Rathausplatz 1	23
8	3,41	Frohnauer Hammer	22
9	3,34	Sportpark Grenzenlos	19
10	3,15	Finanzamt	9
11	3,05	Parkhaus Altstadt	10
12	2,84	Schwimmhalle Atlantis	21
13	2,55	Landkreis-Gymnasium St. Annen	16
14	2,49	Silberlandhalle	17
15	2,4	Badeanstalt am Stangewald	24
16	2,24	Wohn- und Pflegezentrum	18
17	2,2	BSZ für Wirtschaft	15
18	2,16	Arbeitsamt/Landratsamt	11

Tabelle 11: Rangfolge der potenziellen Standorte

Der Ausbau der Ladepunkte kann analog zu dieser Rangfolge erfolgen. Dazu sei an dieser Stelle auf die Tabellen 6 und 7 verwiesen, aus denen die Ausbaureihenfolge differenziert nach den beiden betrachteten Szenarien hervorgeht. Für die über die Anzahl der hier genannten potenziellen Standorte hinausgehenden benötigten Ladepunkte erfolgt keine Detailbetrachtung. Es wird vorgeschlagen, diese anhand der Auslastung der bis dahin installierten Ladepunkte zu verteilen und damit bestehende örtliche „Ladelücken“ sukzessiv zu schließen.

2.4 Ökonomische Bewertung der öffentlichen Ladeinfrastruktur

Auf Basis der Ausführungen in Abschnitt 2.2 soll für den vorliegenden Fall die Errichtung von (Normal-)Ladesäulen mit je zwei Ladepunkten und einem Stecker Typ 2 betrachtet werden. Solch eine Ladesäule ist auch bereits auf dem Betriebsgelände der WPA vorhanden. Zu Vergleichszwecken wird diese nachfolgend zunächst der Installation von Wallboxen gegenübergestellt. Diese eignen sich grundsätzlich auch für den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur, wenn sie die notwendigen Anforderungen an die rechtlichen Rahmenbedingungen erfüllen.

In der Literatur finden sich verschiedene Angaben zu den anfallenden Auszahlungen in Bezug auf die Anschaffung und Nutzung von Ladeinfrastrukturalternativen. Betrachtet werden dabei regelmäßig die folgenden drei Lebenszyklusphasen: Anschaffung, Installation und Betrieb (begleitet von Wartung/Instandhaltung). Die Anschaffungsauszahlung bezieht sich auf die Hardware. In der Phase der Installation sind die Auszahlungen für bspw. Tiefbauarbeiten, Fundamentherstellung, Netzanschluss, Markierung und Beschilderung der zugehörigen Parkplätze

sowie ein Anfahrerschutz subsummiert.⁶⁰ Auszahlungen für den Betrieb fallen bspw. für Entstörungsarbeiten sowie für Vertragsmanagement, Abrechnung und das notwendige IT-System an.⁶¹

Da keine einheitlichen Angaben zu den Auszahlungen der drei Phasen in der Literatur gefunden wurden, sollen für die weiteren Berechnungen die Durchschnittswerte aus drei Literaturangaben zugrunde gelegt werden. Die Literaturangaben sind im Anhang 7 angegeben. Die Auszahlungswerte für die Anschaffung und für den Betrieb finden sich in Anhang 8. Für die Kapitalwertberechnung soll, wie bei der ökonomischen Bewertung der Elektrofahrzeugalternativen in Abschnitt 1, ein Kalkulationszins von 0,5 % genutzt werden. Es wird sowohl für Wallboxen als auch Ladesäulen eine zwölfjährige Nutzungsdauer angenommen.⁶² Auf Basis dieser Werte ergibt sich, wie in nachfolgender Tabelle 12 dargestellt, für eine Wallbox aus heutiger Sicht ein Kapitalwert von rund -9.200 € und für eine Normalladesäule ein Kapitalwert von rund -20.500 €

	Wallbox	(Normal-)Ladesäule
Nutzungsdauer in Jahren	12	
Rentenbarwertfaktor	11,61893207	
∅ Anschaffungsauszahlung	1.050,00 €	5.166,67 €
∅ Installationsauszahlung	1.366,67 €	4.916,67 €
∅ Betriebsauszahlungen p.a.	587,50 €	900,00 €
Kapitalwert	- 9.242,79 €	- 20.540,38 €

Tabelle 12: Kapitalwertberechnung Ladeinfrastruktur

Hierbei sind jedoch mögliche Rückflüsse nicht beachtet, die durch eine öffentliche Nutzung der Ladeinfrastruktur erzielt werden können. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass eine Ladesäule über zwei Ladepunkte verfügt, während eine Wallbox mit nur einem Anschluss versehen ist. Dies verdoppelt den Bedarf bei der Errichtung von Wallboxen und wirkt sich entsprechend negativ auf den Kapitalwert aus. Davon abgesehen ist davon auszugehen, dass Wallboxen für eine Installation im öffentlichen Bereich nur bedingt die nötige bauliche und konstruktive „Robustheit“ mitbringen. In der Folge ist davon auszugehen, dass in der Praxis ein Ersatz bereits deutlich vor den betrachteten zwölf Jahren erfolgen muss, was die Kapitalwertentwicklung ebenfalls negativ beeinflusst. Vor diesem Hintergrund erfolgt die ökonomische

⁶⁰ Vgl. gevas, 2018, S. 46.

⁶¹ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität, 2015, S. 12.

⁶² Vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 5: Bedarfsgerechte und wirtschaftliche öffentliche Ladeinfrastruktur – Plädoyer für ein dynamisches NPM-Modell, April 2020, URL: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/04/NPM-AG-5-Bedarfsgerechte-und-wirtschaftliche-%C3%B6ffentliche-Ladeinfrastruktur.pdf> [10.02.2021]

Vorteilhaftigkeitsberechnung für die gesamte Ladeinfrastruktur nachfolgend ausschließlich auf Basis von Ladesäulen.

Die Auszahlungen eines jeden Jahres setzen sich aus den Anschaffungs- und Installationskosten der jeweiligen Ladestationen, den Wartungskosten der neuen und der bereits bestehenden Ladestationen sowie dem Einkaufspreis des Stromes zusammen. Dem gegenüber können im Zeitpunkt Null die Einzahlungen im Rahmen der Förderung „Ladeinfrastruktur vor Ort“⁶³ und die Einzahlungen durch die Bereitstellung des Ladestroms an Elektrofahrzeugbesitzer gestellt werden. Darüber hinaus wird mit folgenden Annahmen gearbeitet:

- Für die Anschaffungs-, Installations- und Wartungskosten pro Jahr werden die oben genannten Durchschnittswerte aus der Literatur übernommen.
- Die Netzanschlusskosten belaufen sich auf 2.000 Euro je Ladesäule.⁶⁴
- Der Bestand an Elektrofahrzeuge in Annaberg-Buchholz beträgt, hergeleitet aus der Einwohnerzahl und dem prozentualen Bestand analog dem Erzgebirgskreis⁶⁵, im Jahr 2021 etwa 27 Fahrzeuge.
- Für das Jahr 2033 werden die im Abschnitt 2.3.1 hergeleiteten 2.311 Elektrofahrzeuge für das optimistische Szenario und 827 Elektrofahrzeuge für das vorsichtige Szenario angenommen.
- Analog zu dem im Arbeitspaket 1 verwendeten Strompreis, wird ein Preis von 23 ct/kWh für den Stromeinkauf zugrunde gelegt.
- Der Tarif für die Ladepunkte entspricht dem derzeitigen Tarif der Stadtwerke Annaberg-Buchholz in Höhe von 38 ct/kWh (brutto).⁶⁶
- Der Betrachtungszeitraum beträgt zwölf Jahre. Im optimistischen Szenario wird ein linearer Anstieg des Bestandes an Elektrofahrzeugen angenommen. Die jährliche Erweiterung der Ladeinfrastruktur erfolgt wie in Abschnitt 2.3.1 erläutert.
- Der Strombedarf pro Aufladung beträgt 37 kWh. Dies entspricht dem durchschnittlichen Stromverbrauch der im Abschnitt 1.2.2 identifizierten Elektrofahrzeuge.
- Es erfolgt eine jährliche Steigerung der Stromeinkaufspreises wie in Arbeitspaket 1 um 2 %, welche proportional auf die Preise für die Strombereitstellung umgeschlagen wird.

⁶³ „Ladeinfrastruktur vor Ort“ fördert bis zum 31.12.2022 öffentliche Ladestationen mit einem maximalen Zuschuss von 80 % pro Ladepunkt (max. 4.000 Euro für einen Normal-Ladepunkt) und 80 % Zuschuss zu den Netzanschlüssen (max. 10.000/100.000 Euro bei einem Niederspannungsnetz/Mittelspannungsnetz). Zuwendungsempfänger können neben natürlichen Personen sowie kleinen und mittelständischen Unternehmen ebenso Gebietskörperschaften sein. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Bekanntmachung der Richtlinie über den Einsatz von Bundesmitteln im Rahmen des BMVI-Programms „Ladeinfrastruktur vor Ort“, 24.03.2021.)

⁶⁴ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen, 2015, Berlin, S. 12.

⁶⁵ Einwohner Erzgebirgskreis: 331.917, Anzahl Elektrofahrzeuge Erzgebirgskreis: 459 (Kraftfahrtbundesamt: Bestand an Umwelt-Merkmalen, 2021, URL: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/umwelt_node.html [02.07.2021]), Anteil Elektrofahrzeuge an Einwohnerzahl: 0,14 %

⁶⁶ Vgl. Stadtwerke Annaberg-Buchholz: Benutzerordnung E-Tankstelle, 31.03.2017.

- Der Kalkulationszinssatz beträgt weiterhin 0,5 %.

Unter diesen Annahmen ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle 13 dargestellten Kapitalwerte.

	optimistisches Szenario	vorsichtiges Szenario
Elektrofahrzeugbestand in 2033	2.331	827
neue Ladeinfrastruktur	2.920.104,15 €	130.116,33 €
<i>dynamische Amortisationszeit</i>	2	9
gesamte Ladeinfrastruktur	4.704.942,37 €	960.017,66 €
<i>dynamische Amortisationszeit</i>	1	1

Tabelle 13: Kapitalwerte öffentliche Ladeinfrastruktur⁶⁷

Es zeigt sich, dass in beiden Szenarien die Errichtung und der Betrieb einer öffentlichen Ladeinfrastruktur aus der Sicht eines Betreibers absolut vorteilhaft ist. Die kumulierten Zahlungsreihen der jeweiligen Szenarien sind in der nachfolgenden Abbildung 6 abgebildet. Die detaillierten Berechnungen finden sich im Anhang 9.

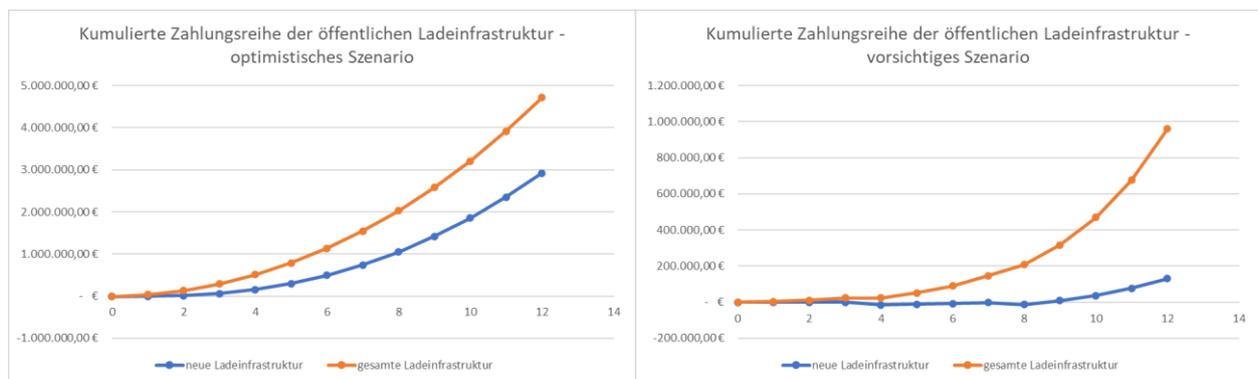


Abbildung 6: Kumulierte Zahlungsreihe der öffentlichen Ladeinfrastruktur

2.5 Sensitivitätsanalysen

Analog zu Arbeitspaket 1 sollen auch bezüglich der Ladeinfrastruktur Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden. Dabei wird die Annahme getroffen, dass die restlichen Eingangsgrößen unverändert bleiben.

Förderung

Eine Förderung der Ladesäulen über das Programm „Ladeinfrastruktur vor Ort“ ist nur im optimistischen Szenario möglich, da die Förderung bis zum 31.12.2022 begrenzt ist. Sollte sie auch in diesem Szenario aus verschiedenen Gründen nicht mehr möglich sein, verringert sich der Kapitalwert der neuen Ladeinfrastruktur auf 2.897.227,85 Euro. Die dynamische Amortisationszeit wird innerhalb des dritten Jahres erreicht. Unter Berücksichtigung der laufenden Ein- und Auszahlungen der bereits bestehenden Ladepunkte wird die Amortisation bereits im

⁶⁷ Die Investitionen in die öffentliche Ladeinfrastruktur amortisieren sich innerhalb des genannten Jahres.

ersten Jahr erreicht. Der Kapitalwert der gesamten Ladeinfrastruktur verringert sich auf 4.687.770,89 Euro. Daraus lässt sich ableiten, dass die Gewährung der Förderung für die ökonomische Vorteilhaftigkeit des Aufbaus einer öffentlichen Ladeinfrastruktur nicht von Bedeutung ist. Die Förderung hat hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit kein signifikantes Gewicht.

Einzahlungen

Die angenommenen Einzahlungen basieren in beiden Szenarien auf der prognostizierten Entwicklung der Elektrofahrzeuge sowie der angenommenen Nutzungshäufigkeit von öffentlichen Ladepunkten. Somit sollen auch bei den Einzahlungen pro Periode die kritischen Werte bestimmt werden.

Aus den Berechnungen ergibt sich, dass die erzielten Einzahlungen in dem optimistischen Szenario pro Periode um etwa 35 % sinken können, damit die Investition in die neue Ladeinfrastruktur absolut vorteilhaft bleibt. Werden die bereits bestehenden Ladepunkte in die Betrachtung miteingeschlossen, so können sich die Einzahlungen pro Periode um ca. 36 % und damit um ein nahezu identisches Niveau verringern.

Im vorsichtigen Szenario sind Einzahlungsrückgänge um 29 % zur Aufrechterhaltung der absoluten Vorteilhaftigkeit der Investition möglich. Unter Berücksichtigung der bereits bestehenden Ladepunkte 34 %. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die ökonomische Vorteilhaftigkeit gegenüber einer Minderauslastung der Ladeinfrastruktur recht robust ist. Das Risiko einer Fehlinvestition scheint vor diesem Hintergrund sehr überschaubar.

Sonstige Auszahlungen

Der Kapitalwertberechnung liegen für die Anschaffungsauszahlung der Ladepunkte sowie deren laufenden Auszahlungen für Wartung etc. die Durchschnittswerte aus der Literatur zu Grunde. Diese können in der Realität teils stark abweichen. Des Weiteren können mit der Ladeinfrastruktur noch weitere Auszahlungspositionen verbunden sein, welche bisher in der Rechnung noch nicht berücksichtigt wurden. Dies können z. B. Marketing- und Personalkosten sein. Aus diesen Gründen soll ebenfalls der kritische Wert für zusätzliche laufende Auszahlungen pro Periode ermittelt werden, bis zu welchem die Investition in die Ladeinfrastruktur absolut vorteilhaft bleibt. Der kritische Auszahlungsbetrag für die neuen Ladepunkte im optimistischen Szenario beträgt ca. 251.322,94 Euro. Unter Berücksichtigung der bereits bestehenden Ladepunkte sind zusätzliche Auszahlungen bis zu einer Höhe von etwa 405.428,58 Euro möglich. Im vorsichtigen Szenario sind zusätzliche Auszahlung über 11.198,65 Euro bzw. unter Berücksichtigung der bestehenden Lademöglichkeiten 82.625,29 Euro möglich. Auch hier zeigt sich damit, dass die errechnete Vorteilhaftigkeit gegenüber höheren bzw. zusätzlichen laufenden Auszahlungen sehr beständig ist.

Alle Berechnungen zu den Sensitivitätsanalysen befinden sich im Anhang 10.

2.6 Zwischenfazit zu Konzeptbaustein 2

In den vorangegangenen Abschnitten wurde der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur für Annaberg-Buchholz näher beleuchtet. Hierfür wurden die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen und die zugehörigen Akteure benannt. Als CPO für die neuen Ladepunkte in Annaberg-Buchholz wird die SWA-B empfohlen, da sie bereits zwei Ladesäulen im Stadtgebiet betreibt. In Hinblick auf die prognostizierte zukünftige Entwicklung sollten die neu anzuschaffenden Ladesäulen mit der „Plug and Charge“ Technologie ausgestattet werden. Dies ermöglicht das einfachere Ad hoc-Laden. Ebenfalls müssen die Ladepunkte zwingend über einen Typ 2-Stecker verfügen, um so die Anforderungen an eine öffentliche Ladestation laut LSV zu erfüllen.

Für die ökonomische Bewertung der öffentlichen Ladeinfrastruktur mit Hilfe des Kapitalwertes wurden zwei Szenarien betrachtet, welche anhand der Entwicklung des Elektrofahrzeugbestandes in Annaberg-Buchholz in ein optimistisches und in ein vorsichtiges unterschieden werden. Unabhängig von dem Szenario sowie der Berücksichtigung der bestehenden Ladeinfrastruktur ergibt sich ein positiver Kapitalwert, womit die Investition in allen betrachteten Fällen absolut vorteilhaft ist. Allerdings erfolgte bei den Berechnungen bisher noch keine Berücksichtigung eventueller Parkgebühren, wie sie z. B. in den Parkhäusern Altstadt, Altstadt II sowie im Parkhaus am Markt anfallen. Dies hat den Grund, dass die Betreiber des Parkplatzes nicht identisch mit dem Betreiber der Ladesäulen sein müssen. Allerdings besteht dann erhöhter Abstimmungsbedarf, da der Eigentümer des Parkplatzes mit der Errichtung von Ladepunkten einverstanden sein muss. Eventuell fallen hierbei auch Mietgebühren für die zu den Ladepunkten gehörenden Parkplätze für dessen Betreiber an. Zusätzlich sind Ausgaben für Marketingzwecke denkbar, welche ebenfalls noch nicht in den Berechnungen berücksichtigt wurden. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass zusätzlichen Auszahlungen von 251.322,94 Euro bzw. 405.428,58 Euro mit Berücksichtigung der bereits bestehenden Ladeinfrastruktur im optimistischen und 11.198,65 Euro bzw. 82.625,29 Euro im vorsichtigen Szenario pro Jahr möglich sind, damit die Investition absolut vorteilhaft bleibt. Auch der Wegfall der Fördermöglichkeit hat keine signifikanten Auswirkungen auf die ökonomische Vorteilhaftigkeit der Ladepunkte.

Zudem soll die öffentliche Ladeinfrastruktur ebenso von den Carsharing-Nutzern verwendet werden. Welche Auswirkungen dies auf die erfolgten Berechnungen hat, kann schwer quantifiziert werden. Es ist abzuwarten, ob das Carsharing-Angebot zu einem geringeren Anstieg an privaten Elektrofahrzeugen in Annaberg-Buchholz führt oder ob diese Entwicklungen unabhängig voneinander sind.

2.7 Überprüfung und Bewertung alternativer Konzepte der Luftreinhaltung

CUBE – Autarkes Luftfiltersystem für urbane Bereiche

- Die Idee

Die Idee basiert auf einem Katalysatorträgerkörper mit dem Ziel, Umweltschutz um eine weitere Facette zu bereichern und Luft von Verschmutzung zu befreien. Ein entsprechendes Versuchsmodell wurde entwickelt und an einem schadstoffrelevanten Kreuzungsbereich im Stadtgebiet Annaberg-Buchholz errichtet.

- Aufbau

Die Oberfläche des Würfels (Cube) wurde mit einer besonderen titandioxidhaltigen Farbe beschichtet. Dadurch wird im Tageslicht eine chemische Reaktion ausgelöst, welche Luftschadstoffe wie z. B. Stickoxide, Ozon, Schwefeldioxid und Feinstaub an der Beschichtungsfläche zersetzen. Der wetterbeständige Cube besteht aus 64 Einzelzellen (Wüfel), welche wiederum aus 15 Teilen bestehen. Durch diese komplexe geometrische Gestaltung entsteht eine im Verhältnis deutlich größere Oberfläche, die ihre photokatalytische Aktivität (chemische Reaktion ausgelöst durch Licht) entfalten kann. Die Aufnahme der Lichtenergie als auch die Zirkulation in der schadstoffbelasteten Luft wird stark begünstigt.

Durch das Baukastenprinzip ist der Cube ein variables und mobiles System, welches flexibel an einer Vielzahl von Orten aufgebaut werden kann. Ob im belebten Innenstadtbereich, in Industrie- und Gewerbegebieten oder an viel befahrenen Straßen – der Cube könnte in vielen Bereichen zur Luftverbesserung eingesetzt werden.

- Entwicklung

Der Cube wurde mit Hilfe einer 2K RIM Anlage und Werkzeugformen aus einem 2K-PU-Schaum geschäumt, dadurch wurde der Cube nicht nur extrem witterungsbeständig, sondern auch sehr leicht. Die Einzelteile wurden mit einem PU-Kleber in einer Vorrichtung zusammengesetzt und verklebt. Danach konnte der Rohbau beschichtet werden – dadurch ist es möglich, dass der Cube bis zu 60% Stickoxide (NO_x) aus der Umgebungsluft herausfiltert.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde ein erster 2x2x2-Meter Prototyp entwickelt und in Annaberg-Buchholz errichtet. Dabei wurden die 64 Zellen über Gewindestangen aufgefädelt und sind so miteinander verbunden. Dies bedeutete hohe Flexibilität. Reparatur, Demontage und Neuaufbau waren jederzeit möglich. Die Leistung des Cubes lässt mutmaßlich ab dem 6. Jahr sukzessive nach und müsste spätestens im 10. Jahr neu beschichtet werden.

- Theoretische Betrachtungen

Der Cube hat den Vorteil, dass er durch die Windströmung, ohne weiteren Energieverbrauch, die Luft aufnimmt und an seiner Oberfläche bindet. Bei Regen werden die gebundenen Stickstoff-Moleküle (NO_x) dann im umgewandelten Zustand abgespült. Übrig bleibt ein Rest von Nitrat.

- Einsatzgebiete

-belebter Innenstadtbereich

-industriell oder gewerblich genutzte Areale

-viel frequentierte Straßen, öffentlicher Verkehrsraum, urbane Bereiche im Allgemeinen

-Problemzonen mit hoher Verkehrsdichte oder industrieller Produktion

-durch das System wird stets der Klimaschutzgedanke transportiert und die Verbundenheit einer Kommune zum Umweltschutz unterstrichen

-als Lärmschutzwand in der Innenstadt, Grundstückseingrenzung oder als individuelles Kunstwerk in Zusammenarbeit mit Künstlern

-sehr effektiv wäre eine Kombination mit einem Parkhaus in der Innenstadt, wo die offenen Außenwände durch die Cube Zellen ersetzt werden

- Positionierung

Der Cube kann seine Wirkung am besten an Orten entfalten, an denen eine hohe Lichteinstrahlung gewährleistet ist. Es ist dabei unwichtig, ob es sich um natürliches Tageslicht oder künstlich erzeugtes Licht handelt. Auch diffuses Tageslicht ist ausreichend, um die Photokatalyse in Gang zu setzen. Damit ein maximaler Wirkungsgrad des photokatalytischen Effekts erreicht wird, sollte der Würfel an einem luftumfluteten Ort stehen. Damit ist sichergestellt, dass die Umgebungsluft frei um die Röhren an den Innen- und Außenseiten zirkulieren kann. Für den Außenbereich gilt, dass der Cube auch natürlichem Regen ausgesetzt sein sollte, um den Effekt der Superhydrophilie vollkommen auszuschöpfen und schließlich eine stets saubere Oberfläche zu erhalten. In Annaberg-Buchholz wurde entschieden, den Cube an der Kreuzung B101/ Talstraße aufzustellen, welche eine vielbefahrene Straße in Annaberg-Buchholz ist.



Abb. 48: Standort des Cubes in Annaberg-Buchholz⁶⁸

Die detaillierten Messergebnisse sind in Kapitel 6 dargestellt. Dabei erfolgte eine Messbetrachtung der NO_x-Schadstoffbelastung am Standort Annaberg-Buchholz über 12 Monate (12/2020 bis 11/2021). Anschließend wurden NO_x-Messergebnisse mit Messergebnissen aus Vergleichszeiträumen und vergleichbaren Messstationen vergleichen und ausgewertet.

Dabei ist anzumerken, dass der Betrachtungs- und Messzeitraum in der Coronapandemie lag. Dadurch ist die Vergleichbarkeit mit Zeiträumen vor der Pandemie leicht eingeschränkt. Dennoch konnten sinnvolle und nachvollziehbare Auswertungen durchgeführt werden.

⁶⁸ Vgl. RGenau Industries, 2021, S. 2.

3 Arbeitspaket: Sharing-Angebote

3.1 Zielstellung

Um auch Privatpersonen die Elektromobilität näher zu bringen und Annaberg-Buchholz so nachhaltiger zu gestalten, sollte als weiterer Baustein des Gesamtkonzepts ein Sharing-Angebot konzipiert und hinsichtlich wirtschaftlicher Tragfähigkeit bewertet werden.

3.2 Vorzubereitende Entscheidungen

3.2.1 Auswahl des Fuhrparks

Für Annaberg-Buchholz soll ein stationsbasiertes Sharing konzipiert werden, welches aus fünf Sharing-Hubs (äquivalent zur Anzahl der geplanten Sharing-Fahrzeuge) besteht und Elektrofahrzeuge sowie -Fahrräder anbietet. Bei der Fahrzeugflotte handelt es sich um Fahrzeuge der Kompaktklasse (Fahrzeugklasse 3 im Abschnitt 1). Die Flottengröße wurde dabei mithilfe einer Regressionsanalyse bestehend aus über 100 repräsentativen Städten, welche Carsharing-Konzepte anbieten, ermittelt (siehe Anhang 11). Sowohl die Topografie (bergiges Gelände im gesamten Stadtgebiet), die Witterungsbedingungen (häufiger Schnee in den Wintermonaten) als auch die Fahrbahnbeschaffenheit (Kopfsteinpflaster insbesondere im Bereich der Altstadt) in Annaberg-Buchholz müssen bei der Entwicklung des Sharing-Konzepts berücksichtigt werden. Aus diesen Gründen wurden u. a. E-Scooter und E-Roller vorerst nicht weiter betrachtet. Diese scheinen vor dem Hintergrund der spezifischen Infrastruktureigenschaften, aber auch aufgrund der primären Zielgruppen nicht geeignet.

Die Zielgruppe, bestehend aus Anwohnern der Stadt Annaberg-Buchholz, Touristen und Pendlern, können grundsätzlich in Geschäftskunden und Privatkunden unterschieden werden. Als Geschäftskunden kommen bspw. die vier kommunalen Einheiten (SWA-B, SWA, ANA, WPA) in Frage, die mit Rückgriff auf ein Sharing-Angebot eigene Fuhrparks reduzieren und damit einen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten können. In den Berechnungen der nachfolgenden Abschnitte wurden die Geschäftskunden zunächst außen vor gelassen, um eine Tragfähigkeit des Konzept rein auf Basis privater Nutzer zu evaluieren.

E-Fahrzeuge

Als Fahrzeug für das Sharing-Angebot wird der VW ID.3 ausgewählt. Er ist der Kompaktklasse zuzuordnen und bietet ausreichend Platz für fünf Personen und Gepäck bei einer Reichweite von 250 – 350 Kilometern. Durch die Fertigung am Standort Zwickau (Sachsen), verspricht dieses Auto, auch wegen des größeren regionalen Bezugs mehr Erfolg als ein vergleichbares Elektroauto der Konkurrenz.

E-Bikes

Für die Fahrräder soll aufgrund der Topografie von Annaberg-Buchholz auf E-Bikes zurückgegriffen werden. Um den Anforderungen und dem Fitnesslevel des Fahrers gerecht zu werden,

ist der Einsatz von E-Bikes mit verschiedenen Antriebsstufen zu empfehlen, womit eine elektrische Unterstützung von bis zu 25 km/h möglich ist. Diese E-Bikes verfügen über eine Motorleistung bis 250 Watt.⁶⁹ Dadurch entfällt für diese E-Bikes eine Kennzeichen-, Führerschein-, Helm- und Versicherungspflicht.⁷⁰ Zudem ist ein im Rahmen integrierter Akku zu bevorzugen, da er vor äußeren Einflüssen geschützt ist. Der bekannteste E-Bike-Sharing-Anbieter Deutschlands ist die Firma nextbike GmbH, welche europäischer Marktführer im Bike-Sharing und in über 300 Städten weltweit aktiv ist.⁷¹ Nextbike bezieht nach Rechercheergebnissen der am Projekt beteiligten Studierenden ihre E-Bikes von der Firma Sachsenring Bike Manufaktur GmbH (früher MIFA).⁷² Diese Firma wurde wegen ihrer Erfahrung und Standortnähe für dieses Projekt ausgewählt. Aufgrund der Beliebtheit von Citybikes⁷³ ist das „Saxonette Premium Plus 2.0“ E-Bike mit Mittelmotor und integriertem Akku⁷⁴ zu bevorzugen. Das Fahrrad besitzt sieben Gänge, eine Tretunterstützung für bis 25 km/h und eine Reichweite von bis zu 140 km. Ein Akku, welcher auch so in den präferierten E-Bikes verbaut ist, benötigt etwa eine Ladedauer von fünf Stunden.⁷⁵

Für das Verleihen von E-Bikes wird die Zusammenarbeit mit einem Kooperationspartner empfohlen, der sich um Anschaffung, Wartung und Pflege der Fahrräder kümmert. Die Buchung der Fahrräder soll jedoch über die gleiche Plattform möglich sein, die auch für die Pkw vorgesehen ist. Dies reduziert den Buchungsaufwand für die Nutzer erheblich und reduziert gleichzeitig den administrativen Aufwand für den Anbieter. Da die E-Bikes als Dritteistung in das Konzept integriert werden, ist davon auszugehen, dass sämtliche Erlöse und Kosten in diesem Zusammenhang bei entsprechendem Kooperationspartner anfallen. Daher werden die E-Bikes in den weiteren (insbesondere monetären) Überlegungen auch nicht weiter betrachtet. Es wird aber darauf hingewiesen, dass die Etablierung eines solchen Angebots als wichtiger Teil des Sharing-Konzepts gesehen wird, mit dem ein Beitrag zur innerörtlichen Feinerschließung geleistet wird.

⁶⁹ Vgl. Zweirad Union e-Mobility GmbH & Produktion Co. KG: Saxonette Premium Plus 2.0 – 7 Gang, Mittelmotor, 2021, URL: <https://www.sachsenring-bikeshop.de/e-bikes/citybikes/201/saxonette-premium-plus-2.0-7-gang-mittelmotor?c=111> [15.07.2021].

⁷⁰ Vgl. Allianz Deutschland AG: E-Bikes: Wann braucht man Helm und Kennzeichen?, 22. November 2017, URL: <https://www.allianzdeutschland.de/e-bikes-wann-braucht-man-helm-und-kennzeichen/> [15.07.2021].

⁷¹ Vgl. nextbike GmbH: Über uns, 2021, URL: <https://www.nextbike.de/de/> [15.07.2021].

⁷² Vgl. <http://www.sachsenring-bike.de/2019/01/29/grossauftrag-nextbike-gmbh/> [05.11.2021].

⁷³ Laut dem Pressebericht des Zweirad-Industrie-Verbands beträgt der Marktanteil der E-City-/Urban-Bikes im Jahr 2020 28 %. (Zweirad-Industrie-Verband: Pressemitteilung. Zahlen – Daten – Fakten zum deutschen Fahrrad- und E-Bike Markt 2020, 10. März 2021, URL: https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PM_2021_10.03._Fahrrad-_und_E-Bike_Markt_2020.pdf. [15.07.2021].)

⁷⁴ Vgl. Zweirad Union e-Mobility GmbH & Produktion Co. KG: Saxonette Premium Plus 2.0 – 7 Gang, Mittelmotor, 2021, URL: <https://www.sachsenring-bikeshop.de/e-bikes/citybikes/201/saxonette-premium-plus-2.0-7-gang-mittelmotor?c=111> [21.07.2021].

⁷⁵ Vgl. KS Bikes GmbH: AEG Sideclick 36 V 14,5Ah 522 Wh E-Bike Akku Pedelecs Prophete, Rex, u.v.m., URL: https://www.ks-bikes.de/AEG_Sideclick_36V_14,5Ah_522Wh_E-Bike_Akku_Pedelecs_Prophete_Rex_u.v.m..html [15.07.2021].

3.2.2 Auswahl der Hub-Standorte

Bei der Auswahl der Hubstandorte wird empfohlen, sich zunächst auf Liegenschaften in zentraler Lage einer Kommune zu konzentrieren, um die Erfolgswahrscheinlichkeit des Projektes zu erhöhen. Diese Empfehlung wurde aus der Evaluation von Erfahrungen bereits seit längerem am Markt etablierter Carsharing-Anbieter abgeleitet. Mehrere Gründe sprechen für diese Handhabung: Mit zunehmender Ausweitung des Zielgebietes würden Zeitaufwand und Wege für z. B. Servicefahrten für regelmäßige Reinigung und Wartung, sowie Bearbeitung technischer Fahrzeugprobleme erheblich steigen.

Als erfolgsrelevanter Faktor stellen die passenden Standorte eine Herausforderung bei der Einrichtung eines Carsharing-Angebots dar. Es gilt viele Standortcharakteristika zu berücksichtigen, darunter auch die Erreichbarkeit des Standortes für potenzielle Nutzer.

„In kleineren Gemeinden bietet es sich an, die ersten Carsharing-Fahrzeuge sehr zentral im Zentrum der Kleinstadt oder Gemeinde zu platzieren, wo ein Großteil der einheimischen Bevölkerung auf dem Weg zu den Einkaufsgelegenheiten oder zur Gemeindeverwaltung vorbeikommt. In mittleren Stadtgrößen sollten diejenigen Stadtteile als erste mit einem Angebot versorgt werden, in denen eine gewisse Dichte CarSharing-affiner Bevölkerungsgruppen zu erwarten ist. Gründerzeitbebauung, hoher Parkdruck, Nutzungsmischung im Stadtteil (sowohl Wohnbevölkerung als auch Kleingewerbe, Praxen, Kanzleien etc. sowie Einkaufsgelegenheiten des täglichen Bedarfs) sind äußerlich wahrnehmbare Hinweise auf solche Strukturen.“⁷⁶

Weiterhin sollte auf fußläufig erreichbare sowie sich nicht überschneidende Hub-Standorte geachtet werden.⁷⁷

Ein weiterer Punkt sind passende Abstellmöglichkeiten für die Sharing-Fahrzeuge. Bei der effizienten Platzierung des Hubs ist ein fester und vor allem öffentlich einsehbarer Stellplatz für die Verkehrsmittel genauso wichtig wie das Aufstellen einer Infotafel mit allen wichtigen Informationen zu Angeboten und Anbieter. Für die Nutzung der Fläche für ein stationsbasiertes Carsharing ist eine Sondernutzungserlaubnis nach § 5 Abs. 2 Carsharinggesetz (CsgG) der zuständigen Behörde, in diesem Falle von der Kommune, notwendig. Auch private Stellflächen sind für Hubs möglich, solange sie öffentlich zugänglich sind. Dabei ist lediglich ein Mietvertrag mit dem Eigentümer der Stellfläche notwendig.⁷⁸

Im Rahmen der Entwicklung des Elektromobilitätskonzeptes Annaberg-Buchholz wurden mithilfe dieser Empfehlungen folgende Kriterien bei der Wahl der Hub-Standorte berücksichtigt:

- Wohngebietsnähe,
- Umschlagspunktnähe⁷⁹,
- Parkmöglichkeit,
- Sichtbarkeit,

⁷⁶ Vgl. ebenda, S. 30.

⁷⁷ Vgl. ebenda, S. 71.

⁷⁸ Vgl. ebenda, S. 31.

⁷⁹ Die Umschlagsintensität wurde anhand der Frequentierung von Nahverkehrshaltestellen bewertet. Die Auswertungen sind im Anhang 9 abgebildet.

- Lademöglichkeit und
- Zugänglichkeit.

Dabei sollen neben den bereits existierenden die im Arbeitspaket 2 identifizierten Standorte für Lademöglichkeiten als Ausgangspunkt gelten. Es wurden die in der nachfolgenden Tabelle 14 neun aufgeführten Hub-Standorte anhand der genannten Kriterien identifiziert und mithilfe einer auf der Nutzwertanalyse basierenden Bewertung auf fünf finale Standorte reduziert.

Nr.	Hub-Name	Adresse	Beispiele POI	Fuhrpark
6	Gewerbegebiet	Gewerbering 4	Haus Adam Ries, Studio 24 die Fitnesswelt, Erzgebirgscenter, Kaufland, Edeka, Haltestelle "Einmündung B101"	1 Auto 2 E-Bikes
23	Rathausplatz 1	Nähe Parkplatz "An der Mühle"	Angestellte SWA, Waldschlösschenpark, Bahnhof Mitte	1 Auto 2 E-Bikes
8	Busbahnhof	Wolkensteiner Str. 40	Nutzer Busbahnhof, Tourismusverband Erzgebirge e. V., Haltestelle "RVE"	1 Auto 2 E-Bikes
25	Parkhaus am Markt	Markt 4	Marktplatz, St. Annenkirche, Bergkirche St. Marien, Annaberger Weihnachtsmarkt	1 Auto 2 E-Bikes
7	Unterer Bahnhof	Bahnhofplatz 1-5	Unterer Bahnhof, Technisches Museum, "Frohnauer Hammer"	1 Auto 2 E-Bikes
13	Kät-Platz	Parkplatz am Kät-Platz	Festhalle, Stadion, Annaberger KÄT, "Stoneman Miriquidi", Stadtpark, Wildtiergehege	1 Auto 2 E-Bikes
17	Silberlandhalle	Talstraße 8-10	Silberlandhalle, Volkshochschule Erzgebirgskreis, Berufliches Schulzentrum für Wirtschaft, Ernährung und Hauswirtschaft, Parkhotel "Waldschlösschen"	2 E-Bikes
5	Barbara-Uthmann-Ring 162	Barbara-Uthmann-Ring 162	EKA Erzgebirgsklinikum Annaberg gemeinnützige GmbH, neuer Friedhof, Schwimmhalle	1 Auto 2 E-Bikes
24	Badeanstalt am Stangewald	Badeweg 11	Besucher Badeanstalt, Bahnhof Süd, Haltestelle "Wendeschleife"	2 E-Bikes

Tabelle 14: Hub-Standorte

Somit ist auch ein nahegelegener Hub-Standort pro potenziellem Geschäftskunden gewährleistet.

Geschäftskunden	Nahegelegener öffentlicher Hub	
	Hub-Nr.	Hub-Name
WPA	1	Gewerbegebiet
SWA-B	3	Busbahnhof
ANA	4	Parkhaus am Markt
SWA	8	Rathausplatz 1

Tabelle 15: Nahegelegene öffentliche Hub-Standorte der Geschäftskunden

Der Hub-Standort Nr. 7 am unteren Bahnhof soll als Service-Hub eingerichtet werden. Dafür sprechen eine Vielzahl an Gründen: Einerseits ist zu Beginn eines solchen Projektes aus Kosten- wie auch aus Einfachheitsgründen aus Kundensicht eine Konzentration der Informationsmöglichkeit vorteilhaft. Andererseits sprechen auch die Lage als zentraler Knotenpunkt sowie die gute Parkplatzsituation für Hub 7. Dies wird dadurch unterstützt, dass im Rahmen des Projekts „Smart Rail Connectivity Campus“ (SRCC) bereits ein Ausbau des Standortes „unterer Bahnhof“ erfolgt.

3.2.3 Preismodell

Zur Entwicklung eines Preismodells für das Sharing-Angebot wurden die Preisstrukturen und Angebotspakete etablierter Sharing-Anbieter analysiert. Dabei wurde eine relativ große Heterogenität festgestellt. Potenzielle Preiskomponenten sind demnach:

- einmalige Anmeldegebühren,
- der Grundtarif in Abhängigkeit der Fahrzeugklasse und/oder der Nutzungshäufigkeit,
- der Zeittarif,
- der Kilometertarif sowie
- der Buchungstarif.

Die Ausprägungen und Kombinationen dieser sind anbieterindividuell. Für das Carsharing-Angebot in Annaberg-Buchholz werden zwei Grundtarife vorgeschlagen: den Privatkunden- und den Geschäftskundentarif.

Um die Nutzungshürde für Privatpersonen zu minimieren, soll für Annaberg-Buchholz keine Anmeldegebühr sowie Buchungsgebühr anfallen. Auch auf eine Differenzierung in Abhängigkeit vom Nutzungsverhalten wird vorerst verzichtet.

Die festgelegten Preise für Privatpersonen in Tabelle 16 orientieren sich am Anbieter „Flinkster“⁸⁰, sind aber im Hinblick auf die niedrigen Einkommensverhältnisse in der Region, der erwarteten Reserviertheit der Bevölkerung gegenüber dem Angebot und des vergleichsweise hohen Altersdurchschnitts angepasst. Der Nachttarif gilt in der Zeit zwischen 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr, der Willkommenstarif beinhaltet 10 % Rabatt und soll für die ersten zwölf Monate nach Start des Angebots gelten.

Anbieter		Zeittarif			Kilometertarif
		Stundenpreis Tag	Stundenpreis Nacht	Tagespreis	
Flinkster	Kompaktklasse	6,00 €	1,90 €	60,00 €	0,28 €
Annaberg-Buchholz	Standardtarif	5,00 €	2,00 €	50,00 €	0,30 €
	Willkommenstarif	4,50 €	1,80 €	45,00 €	0,27 €

Tabelle 16: Preismodell für Privatpersonen Carsharing

3.2.4 Buchungs- und Abrechnungssoftware

Eine auf das Sharing zugeschnittene Software ist ebenso wichtig, wie die Auswahl der richtigen Fahrzeuge. Es kann auf eine schon fertigentwickelte externe Software (z.B. WeGo und fleetster) zurückgegriffen oder eine passend auf das eigene Angebot bzw. auf die eigenen Anforderungen zugeschnittene Software entwickelt werden. Wichtig hierbei ist es, die Vor- und Nachteile sowie die damit verbundenen Kosten abzuwägen: Bei Nutzung einer schon existierenden Software ist der Aufwand eher gering, da keine internen Spezialisten für die regelmäßige Pflege und Weiterentwicklung notwendig sind. Jedoch ist eine Individualisierung der Software

⁸⁰ Vgl. Deutsche Bahn Connect GmbH: Mit unseren Carsharing Preisen sparen und flexibel bleiben. Immer die passende Carsharing-Fahrzeugklasse die Du brauchst. Kompaktklasse, 2021, URL: <https://anmeldung.flinkster.de/de/fahrzeuge-und-tarife> [01.09.2021].

nur in geringem Maße möglich, sodass diese beispielsweise durch Spezialsoftware für bestimmte Bereiche ergänzt werden muss. Bei den Kosten bestehen ebenfalls deutliche Unterschiede. Wird beispielsweise die Software „fleetster“ genutzt, entstehen pro Fahrzeug monatliche Kosten in Höhe von 18,50 Euro netto⁸¹. Dabei fallen jedoch geringe bis keine Anschaffungskosten an. Bei der Entwicklung einer Individualsoftware sind die Initialkosten dagegen vergleichsweise hoch, wobei aber die monatlichen Kosten eher gering ausgeprägt sind. Exakte Werte dafür konnten im Rahmen des Projekts jedoch nicht eruiert werden.

Aufgrund der Einfachheit und besseren Planbarkeit soll für das Carsharing-Angebot in Annaberg-Buchholz auf eine bereits existierende Software zurückgegriffen werden. Als Referenzsoftware wird hierfür die schon genannte Software „fleetster“ genutzt, welche für das stationsbasierte Carsharing entwickelt wurde. Diese ermöglicht die Onlinebuchung von Fahrzeugen per Web oder App. Aufgrund der älteren Bevölkerung im Erzgebirge wird empfohlen, zusätzlich eine Buchung per Telefon anzubieten. Hierbei erfolgt die Onlinebuchung durch das Servicepersonal im Service-Hub, das bspw. in das Tourismusbüro oder den Bürgerservice der Stadt integriert sein kann. „fleetster“ unterstützt die Überwachung der Reichweite der Elektrofahrzeuge, sodass kein Nutzer ein leeres Elektrofahrzeug mietet.⁸²

3.3 Ökonomische Bewertung

3.3.1 Methodik: Vollständiger Finanzplan

Zur mehrperiodischen Planung der Liquidität und zur Beurteilung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit des Projekts bietet sich die Methode der Vollständigen Finanzpläne (VoFi-Methode) an. Diese zählt zu den dynamischen Modellen der Investitionsrechnung, was eine mehrperiodische Betrachtung impliziert. Im Gegensatz zur Kapitalwertmethode und der dort getroffenen Annahme des vollständigen Kapitalmarktes, können in den vollständigen Finanzplänen verschiedene Soll- und Habenzinssätze sowie weitere Darlehensbedingungen berücksichtigt werden. Als Zielgröße wird meist der Vermögensendwert („Kapitalguthaben“ am Ende der letzten Periode) herangezogen, wodurch in diesem Fall auf die Diskontierung von Zahlungsströmen verzichtet werden kann. Darüber hinaus kann mittels der VoFi-Methode ein potenzielles Finanzierungsdefizit und damit eine potenzielle Liquiditätslücke des Sharing-Anbieters explizit und differenziert ausgewiesen werden.

Die Vorteilhaftigkeit einer Investition ergibt sich dann aus dem Vergleich ihres Endwertes mit dem der Opportunität (absolute Vorteilhaftigkeit) oder denen alternativer Investitionsobjekte (relative Vorteilhaftigkeit).

⁸¹ Summe aus Grundgebühren i.H.v. 15,00 Euro pro Monat zzgl. 3,50 Euro Datenpaket E-Auto (Vgl. Next Generation Mobility GmbH: fleetster CARSHARING KIT, 2021, URL: <https://www.fleetster.de/car-sharing-kit> [28.07.2021].)

⁸² Vgl. Next Generation Mobility GmbH: Öffentliches CarSharing & Vermiet-Software, 2021, URL: <https://www.fleetster.de/flotten-software/oeffentliches-carsharing/> [11.08.2021].

Das VoFi-Modell wird tabellarisch dargestellt: Jede Periode wird durch eine Spalte repräsentiert, während die Zeilen die Zahlungsströme aus operativer und Finanzierungstätigkeit angeben. Da das Finanzierungssaldos je Periode stets Null betragen muss, werden Zahlungsüberschüsse oder -fehlbeträge durch eine kurzfristige Geldanlage (z. B. Tagesgeldkonto) beziehungsweise einen Kontokorrentkredit (im vorliegenden Fall über den Zuschussbedarf dargestellt) ausgeglichen. Die Erfassung ihrer Bestände erfolgt wiederum am unteren Ende der VoFi-Tabelle (zusammen mit den Darlehensbeständen) periodisch kumulativ.

Dem relativ hohen Aufwand stehen hier die Möglichkeit der Darstellung realistischer Finanzierungsbedingungen sowie die Transparenz der periodischen Zahlungsreihen, Salden und Finanzierungsbedarfe gegenüber.

Vor allem letztgenanntes Argument führt zur Entscheidung der Verwendung dieser Methodik für die Finanzplanung des Projekts. Da für das Projekt die Aufnahme von nur einem Kredit zu Beginn geplant ist und durch dessen ausreichende Höhe die Nutzung der Kontokorrentlinie planmäßig ausgeschlossen ist, ist die Darstellung der Zahlungsströme aus Finanzierungstätigkeit wenig komplex. Außerdem wird durch die vorherrschende europäische Geldpolitik von einem Habenzins auf die kurzfristige Geldanlage von 0 % ausgegangen.

3.3.2 Ermittlung und Zuordnung der Zahlungsströme

Die Anschaffungsauszahlungen für die Elektroautos lassen sich dem Angebot des Herstellers entnehmen (Listenpreis), abzüglich des Umweltbonus ergibt sich eine Auszahlung von 21.925,00 € pro Fahrzeug⁸³. Etwaige Händler Rabatte werden nicht eingerechnet, da diese spekulativ erscheinen und daher nur mit großer Unsicherheit prognostiziert werden können. Weitere, die Fahrzeuge betreffende Auszahlungen werden unter fahrzeugnahen Auszahlungen zusammengefasst. Darin enthalten sind:

- die Reinigungskosten für die Fahrzeuge (40,- € pro Fahrzeug und Monat),
- die Wartungskosten (55,- € pro Fahrzeug und Monat) und
- die Haftpflicht- sowie die Vollkaskoversicherung (insgesamt 121,33 € pro Fahrzeug und Monat)⁸⁴.

Weitere Auszahlungen fallen in der Vorlaufphase, also während des Aufbaus des Angebots an. Diese betreffen die Geschäftsräume: Es fallen neben Mietzahlungen Zahlungen für die Kautions-, die Büroeinrichtung und die IT-Infrastruktur an. Es wird die Annahme getroffen, dass

⁸³ Stand Januar 2021

⁸⁴ Die Haftpflichtversicherung bzw. die Vollkaskoversicherung mit 500 Euro Selbstbeteiligung wird vom ADAC mit jährlichen 733,00 Euro bzw. 723,00 Euro angegeben, die Wartungskosten mit 55,00 Euro. (Vgl. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (ADAC): VW ID.3 Pure Performance (45 kWh), 2021, URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/vw/id3/1generation/319026/#kosten> [13.08.2021].) Die Reinigung wird einmal wöchentlich angenommen.

die Bürofläche 50 m² beträgt. Diese verursacht auf Grundlage des durchschnittlichen Mietpreises pro Quadratmeter im Jahr 2021 in Annaberg-Buchholz⁸⁵ Auszahlungen von etwa 255,50 € pro Monat sowie eine Kautionshöhe von zwei Kaltmieten⁸⁶. Hinzu kommen noch monatliche Betriebskosten von etwa 125,00 €⁸⁷.

Für die Planung der Büroeinrichtung wird mit zwei Angestellten kalkuliert. Pro Mitarbeiter*in wird ein höhenverstellbarer Schreibtisch, ein Schreibtischstuhl sowie ein Laptop und Zubehör geplant. Dies verursacht Auszahlungen von ca. 1.200 € pro Mitarbeiter*in.⁸⁸ Die Personalkosten werden ab Zeitpunkt t=0 monatlich mit durchschnittlichen 6.789,25 € brutto inklusive Arbeitgeberanteil angesetzt. Dies beinhaltet anderthalb Vollzeitstellen (ein Geschäftsführer und eine Personalstelle für die Abrechnung bzw. Buchung der Fahrzeuge)⁸⁹ sowie eine Stelle mit 15 Wochenstunden zur Wartung und Pflege der Fahrzeuge⁹⁰. Die Kosten für die letztgenannte Stelle fallen erst mit der Implementierung des Angebots an. Bis dahin sind jedoch bereits vorbereitende Tätigkeiten notwendig, für die Geschäftsführer und Assistenz vorgesehen sind. Die anfallenden Auszahlungen werden in den folgenden Berechnungen dem Zeitpunkt t=0 kumuliert zugeordnet.

Wie in Abschnitt 3.2.4 skizziert, soll für diese Betrachtung die Carsharing-Software „fleetster“ angenommen werden. Für die interne Software soll als Richtwert der Preis für Microsoft 365 Business Basic angenommen werden. Dieser beläuft sich auf 4,20 € pro Person und Monat.⁹¹ Hinzu kommen noch die Auszahlungen für Internet und Telefon, wodurch ein Pauschalbetrag von 60,00 € im Monat angesetzt wird.

Weiterhin entstehen in der Vorlaufphase Marketingauszahlungen. Sie lassen sich in zwei Bereiche aufteilen: Zum einen werden Handlungen durchgeführt, deren Auszahlungen aus Personalkosten für die eigenen Mitarbeiter resultieren und damit schon berücksichtigt sind. Dies sind die Vorstellung bei Stadtratssitzungen, der Probetag, die Pflege des Social-Media-Auftritts und die Präsenz auf dem Wochen- bzw. Weihnachtsmarkt.

⁸⁵ Der durchschnittliche Mietpreis in Annaberg-Buchholz im Jahr 2021 beträgt 5,11 Euro. (Vgl. Joscha Hasenkamp GmbH: Mietspiegel Annaberg Buchholz 2021, 2021, URL: <https://www.miete-aktuell.de/mietspiegel/Annaberg-Buchholz/Annaberg-Buchholz/> [01.09.2021].)

⁸⁶ Die angenommene Kautionshöhe beträgt 1.108,00 Euro.

⁸⁷ Es werden Nebenkosten von 2,50 Euro pro Quadratmeter angenommen. (Vgl. Joscha Hasenkamp GmbH: Mietspiegel Annaberg Buchholz 2021, 2021, URL: <https://www.miete-aktuell.de/mietspiegel/Annaberg-Buchholz/Annaberg-Buchholz/> [01.09.2021].)

⁸⁸ Für den Schreibtisch werden Anschaffungsauszahlungen von 400,00 Euro, für den Schreibtischstuhl 300,00 Euro und für den Laptop inkl. Zubehör (z. B. Maus) 500,00 Euro angesetzt.

⁸⁹ Für die beiden Vollzeitstellen wird sich an dem Jahresgehalt eines Bürokaufmannes/-frau orientiert. Somit ergeben sich inklusive Arbeitgeberanteil Kosten in Höhe von 7.576,33 Euro. (Vgl. Stepstone Deutschland GmbH: Bürokaufmann/frau Gehälter in Deutschland, 2021, URL: <https://www.stepstone.de/gehalt/Bueroaufmann-frau.html> [13.08.2021].)

⁹⁰ Hierbei wird sich an dem Mindestlohn für Gebäudereinigung orientiert. Inklusiv eines Nachtzuschlages in Höhe von 25 % und Arbeitgeberanteil ergibt sich ein Stundenlohn von 18,45 Euro. (Vgl. Deutscher Gewerkschaftsbund: Mindestlohn, 09.09.2021, URL: <https://www.dgb.de/schwerpunkt/mindestlohn/hintergrund/branchenmindestloehne> [10.09.2021].)

⁹¹ Vgl. Microsoft Corporation: Microsoft 365 für Unternehmen, 2021, URL: <https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/business?market=de#coreui-heading-hiatrep> [13.08.2021].

Zum anderen fallen Marketingmaßnahmen an, die von Dritten (spezielle Werbeanbieter) durchgeführt werden. Deren Auszahlungen basieren auf online einsehbaren Angeboten und Konditionen. Dies betrifft die Werte für den Erwerb eines Infostands⁹², des Drucks der Broschüren und deren Verteilung, der Plakatwerbung⁹³, der Werbung in Print- und Onlineauftritten regionaler Zeitungen⁹⁴ sowie der Werbespots für Radio⁹⁵ und Kino⁹⁶. Die Kosten des Engagements eines Grafikdesigners beinhalten die Gestaltung eines Firmenlogos, eines Flyers in der Größe DIN A6, eines Plakates in der Größe DIN A1 sowie ein Webdesign.⁹⁷

Ab dem „Go-live“ in $t=0$ fallen ebenso Stromkosten für die Ladung der Elektrofahrzeuge an. Hierbei wird sich an dem bisherigen Tarif für die öffentlichen Ladepunkte in Annaberg-Buchholz orientiert, welcher 38 ct/kWh beträgt.⁹⁸

Die Einzahlungen bestehen aus den Rückflüssen des Leistungsangebots. Die Tarife für die Nutzung der E-Carsharing-Fahrzeuge sind dem Abschnitt 3.2.3 zu entnehmen. Um die Unsicherheit bei der Annahme des Sharing-Angebotes von den Nutzern abzubilden, werden drei verschiedene Szenarien gebildet, welche in der nachfolgenden Tabelle 17 abgebildet sind. Sie unterscheiden sich anhand der Anzahl an durchschnittlichen Ausleihvorgängen pro Tag. Auf den Ansatz von Preissteigerungseffekten oder einer im Zeitablauf steigenden Auslastung der Fahrzeuge wurde – auch mit Verweis auf die in Abschnitt 3.3.3 dargestellten Ergebnisse – verzichtet.

⁹² Die kalkulierten Kosten für den Messestand betragen 346,29 Euro. (Vgl. KONORG Unternehmensgruppe Messe- und Eventservice: Promotionsstand Outdoor, URL: <https://www.konorg-shop.de/promotionstand-outdoor-1008?number=41236> [01.09.2021].)

⁹³ Der Tagespreis für die Plakatwerbung wird mit durchschnittlichen 15,00 Euro angenommen, es werden 10 Tage veranschlagt. (Vgl. crossvertise GmbH: Plakatwerbung jetzt günstig buchen. Annaberg-Buchholz, Deutschland, URL: <https://market.crossvertise.com/de-de/media/ooh/list?addresslist=Annaberg-Buchholz%2C+Deutschland&radius=1411¤tpage=1&resultsperpage=25&orderby=Dis-tance> [01.09.2021].)

⁹⁴ Die Veröffentlichung in der Freien Presse erfolgt in der Lokalausgabe Annaberg im Format „1/4 Eckfeld“. Der Preis beläuft sich damit auf 1.610,20 Euro. (Vgl. Freie Presse: Preisliste Nr. 35a 2021, URL: https://www.freiepresse.de/FILES/ANZEIGEN/FreiePresse_Preisliste_Nr35a_2021.pdf [13.08.2021].)

⁹⁵ Der Werbespot soll montags bis freitags im Radio Erzgebirge jeweils zwischen 6:00 und 7:00 Uhr, 15:00 und 16:00 Uhr sowie 18:00 und 19:00 Uhr abgespielt werden. Er umfasst 30 Sekunden und wird mit Hilfe eines Sprechers produziert. Somit werden Produktionskosten in Höhe von 190,00 Euro und monatliche Spielkosten von 4.500,00 Euro verursacht. (Vgl. Radio Erzgebirge: Einschaltpreise, 2021, URL: https://static.radioerzgebirge.de/content/bcs-sachsen.de/Preislisten/2021/Preise_Radio_Erzgebirge_2021.pdf [01.09.2021].)

⁹⁶ Die Kosten für einen 30 Sekunden Werbespot werden pro Woche mit 47,40 Euro kalkuliert. (Vgl. Kinowerbung.de Media GmbH: Kinospot: GLORIA 1-3, Annaberg-Buchholz, 2021, URL: <https://kinotool.kinowerbung.de/werbemediumfrontend/21/20> [01.09.2021].)

⁹⁷ Die prognostizierten Kosten belaufen sich auf 4.363,25 Euro. (Vgl. Ursula Schmitt SCHMITT-MEDIADESIGN: Preise SCHMITT-MEDIADESIGN, 2021, URL: https://www.schmitt-mediadesign.de/Preise_SMD.pdf [01.09.2021].)

⁹⁸ Vgl. Stadtwerke Annaberg-Buchholz: Benutzerordnung E-Tankstelle, 31.03.2017.

durchschnittlicher Ausleihvorgang Elektrofahrzeug	
Ausleihdauer in Stunden	2
zurückgelegte Strecke in km	35
Einzahlungen je durchschnittlicher Ausleihvorgang	20,50 €
Einzahlungen je durchschnittlicher Ausleihvorgang	18,45 €

	Pessimistisches Szenario	Realistisches Szenario	Optimistisches Szenario
durchschnittliche Ausleihvorgänge pro Tag und Fahrzeug	2	4	6
Jahreslaufleistung (in km)	25.550	51.100	76.650
Ersatz (in Jahren; Annahme: max. 160.000 km)	6	3	2

Tabelle 17: Szenarien Annahme Sharing-Angebot

Zur Ermittlung der die Finanzierung betreffenden Zahlungsströme werden die Kreditkonditionen der Volkswagen Bank GmbH herangezogen. Hierbei ist ein Sollzins von 3,92 % zu entrichten⁹⁹. Es wird von einem Ratenkredit ausgegangen, welcher die Auszahlungen für den Anschaffungszeitpunkt decken soll.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass durch die unterschiedliche Auslastung der Fahrzeuge in den drei gebildeten Szenarien unterschiedliche jährliche Laufleistungen entstehen, die zu verschiedenen Ersatzzeitpunkten führen. In den vorliegenden Berechnungen wurde ein Ersatz spätestens nach 160.000 km unterstellt. In der obigen Tabelle 17 sind die jährlichen Laufleistungen und die sich rechnerisch ergebenden Ersatzzeitpunkte dargestellt. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass in der Praxis bereits ein früherer Ersatz notwendig werden kann. Zum einen ist hinsichtlich der hier genutzten Elektrofahrzeuge bisher nicht sicher, ob diese die unterstellte Maximallaufleistung überhaupt erreichen, ohne dass vorher die Traktionsbatterie getauscht werden muss. Zum anderen ist zu bedenken, dass der Umgang mit geliehenen Fahrzeugen nicht mit dem von selbst gekauften zu vergleichen ist und hier speziell ein höherer Verschleiß erwartet werden kann. Die ausführliche Ermittlung der Zahlungsströme kann Anhang 12 entnommen werden.

3.3.3 Vollständiger Finanzplan des Sharing-Konzeptes

Mit Hilfe der im vorangegangenen Abschnitt ermittelten und zugeordneten Zahlungsströme soll nun der VoFi erstellt werden. Damit kann die Wirtschaftlichkeit und Tragfähigkeit des Sharing-Konzeptes transparent beurteilt werden. Dabei wurde – als Ausgleichsmechanismus bei fehlender Liquidität – der jährliche Zuschussbedarf gesondert dargestellt. Daraus lässt sich ableiten, dass das erarbeitete Konzept allein in allen drei Szenarien, ohne jährliche Zuschüsse

⁹⁹ Vgl. Volkswagen Bank GmbH: Der Ratenkredit: Zinsen & Konditionen, 2021, URL: <https://www.vwfs.de/kredite-finanzieren/ratenkredit.html> [01.09.2021].

(bspw. von der Stadt Annaberg-Buchholz) nicht tragfähig und damit auch nicht wirtschaftlich ist. Selbst im optimistischen Szenario besteht ein kumulierter Zuschussbedarf von 308.770 €. Dieser würde zwar sinken, wenn in den Ersatzzeitpunkten auf eine Kreditfinanzierung zurückgegriffen wird. Die damit entstehenden Finanzierungskosten führen jedoch zu einem insgesamt noch negativeren Bestandssaldo.

Auf den Erkenntnissen der Berechnungen aufbauend könnte nach alternativen Ausgestaltungsformen des Konzepts gesucht werden. So könnte untersucht werden, ob die Integration der Stadt Annaberg-Buchholz und der drei kommunalen Töchter als „Ankermieter“ eine finanzielle Grundaustattung schafft, die die Wirtschaftlichkeit des Konzepts erhöht. Darüber hinaus könnte auch die Fahrzeugbereitstellung und speziell deren Finanzierung überprüft werden. So ist es durchaus denkbar, dass statt einer Finanzierung nach einem Leasinggeber gesucht wird. Dies reduziert den Kapitalbedarf in den Investitions- und Ersatzinvestitionszeitpunkten. Die vollständigen VoFi-Tabellen aller drei Szenarien finden sich in der nachfolgenden Tabelle 18.

Carsharing pessimistisches Szenario							
Zeitpunkte	0	1	2	3	4	5	6
(-) Auszahlungen	-240.199,57 €	-119.883,60 €	-119.883,60 €	-119.883,60 €	-119.883,60 €	-119.883,60 €	-229.508,60 €
(+) Einzahlungen		61.992,00 €	68.880,00 €	68.880,00 €	68.880,00 €	68.880,00 €	68.880,00 €
Zahlungssaldo	-240.199,57 €	-57.891,60 €	-51.003,60 €	-51.003,60 €	-51.003,60 €	-51.003,60 €	-160.628,60 €
Kredit mit Ratentilgung							
(+) Aufnahme	240.000,00 €						
(-) Tilgung		-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €
(-) Sollzinsen (3,92%)		-9.408,00 €	-7.840,00 €	-6.272,00 €	-4.704,00 €	-3.136,00 €	-1.568,00 €
Zuschussbedarf							
(+) Aufnahme	199,57 €	107.299,60 €	98.843,60 €	97.275,60 €	95.707,60 €	94.139,60 €	202.196,60 €
Tagesgeld							
(+) Auflösung							
(-) Anlage							
Finanzierungssaldo	0,00 €						
Kreditstand							
Ratentilgung	-240.000,00 €	-200.000,00 €	-160.000,00 €	-120.000,00 €	-80.000,00 €	-40.000,00 €	0,00 €
kumulierte Zuschüsse		-107.299,60 €	-206.143,20 €	-303.418,80 €	-399.126,40 €	-493.266,00 €	-695.462,60 €
Bestandssaldo	-240.000,00 €	-307.299,60 €	-366.143,20 €	-423.418,80 €	-479.126,40 €	-533.266,00 €	-695.462,60 €
Carsharing realistisches Szenario							
Zeitpunkte	0	1	2	3	4	5	6
(-) Auszahlungen	-240.199,57 €	-137.120,40 €	-137.120,40 €	-246.745,40 €	-137.120,40 €	-137.120,40 €	-246.745,40 €
(+) Einzahlungen		123.984,00 €	137.760,00 €	137.760,00 €	137.760,00 €	137.760,00 €	137.760,00 €
Zahlungssaldo	-240.199,57 €	-13.136,40 €	639,60 €	-108.985,40 €	639,60 €	639,60 €	-108.985,40 €
Kredit mit Ratentilgung							
(+) Aufnahme	240.000,00 €						
(-) Tilgung		-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €
(-) Sollzinsen (3,92%)		-9.408,00 €	-7.840,00 €	-6.272,00 €	-4.704,00 €	-3.136,00 €	-1.568,00 €
Zuschussbedarf							
(+) Aufnahme	199,57 €	62.544,40 €	47.200,40 €	155.257,40 €	44.064,40 €	42.496,40 €	150.553,40 €
Tagesgeld							
(+) Auflösung							
(-) Anlage							
Finanzierungssaldo	0,00 €						
Kreditstand							
Ratentilgung	-240.000,00 €	-200.000,00 €	-160.000,00 €	-120.000,00 €	-80.000,00 €	-40.000,00 €	0,00 €
kumulierte Zuschüsse		-62.544,40 €	-109.744,80 €	-265.002,20 €	-309.066,60 €	-351.563,00 €	-502.116,40 €
Bestandssaldo	-240.000,00 €	-262.544,40 €	-269.744,80 €	-385.002,20 €	-389.066,60 €	-391.563,00 €	-502.116,40 €

Carsharing optimistisches Szenario							
Zeitpunkte	0	1	2	3	4	5	6
(-) Auszahlungen	-240.199,57 €	-154.357,20 €	-263.982,20 €	-154.357,20 €	-263.982,20 €	-154.357,20 €	-263.982,20 €
(+) Einzahlungen		185.976,00 €	206.640,00 €	206.640,00 €	206.640,00 €	206.640,00 €	206.640,00 €
Zahlungssaldo	-240.199,57 €	31.618,80 €	-57.342,20 €	52.282,80 €	-57.342,20 €	52.282,80 €	-57.342,20 €
Kredit mit Ratentilgung							
(+) Aufnahme	240.000,00 €						
(-) Tilgung		-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €	-40.000,00 €
(-) Sollzinsen (3,92%)		-9.408,00 €	-7.840,00 €	-6.272,00 €	-4.704,00 €	-3.136,00 €	-1.568,00 €
Zuschussbedarf							
(+) Aufnahme	199,57 €	17.789,20 €	105.182,20 €	-6.010,80 €	102.046,20 €	-9.146,80 €	98.910,20 €
Tagesgeld							
(+) Auflösung							
(-) Anlage							
Finanzierungssaldo	0,00 €						
Kreditstand							
Ratentilgung	-240.000,00 €	-200.000,00 €	-160.000,00 €	-120.000,00 €	-80.000,00 €	-40.000,00 €	0,00 €
kumulierte Zuschüsse		-17.789,20 €	-122.971,40 €	-116.960,60 €	-219.006,80 €	-209.860,00 €	-308.770,20 €
Bestandssaldo	-240.000,00 €	-217.789,20 €	-282.971,40 €	-236.960,60 €	-299.006,80 €	-249.860,00 €	-308.770,20 €

Tabelle 18: VoFi-Tabellen der drei Szenarien

3.4 Zwischenfazit zu Konzeptbaustein 3

In den vorangegangenen Abschnitten wurde der Aufbau eines Sharing-Konzeptes für die Stadt Annaberg Buchholz erläutert und dargestellt. Zusammenfassend sind fünf Sharing-Fahrzeuge mit fünf Sharing-Hubs vorgesehen, welche eine optimale und zentrale Erreichbarkeit im Stadtgebiet abdecken. Bei den fünf vorgesehenen Fahrzeugen handelt es sich um den ID.3 von Volkswagen. Finanziert werden die Fahrzeuge im privatem Sharing durch ein Preismodell, welches einen Zeit- und einen Kilometertarif vorsieht, die Gewerbemieten haben einen Fixpreis, welcher monatlich zu leisten ist. Die Einführung des Sharing-Konzeptes wird schrittweise erfolgen und sieht einen konkreten Marketingauftritt ca. 6 Monate vor Einführung des finalen Konzeptes vor um zeitnah Kunden zu akquirieren und auf das kommende Angebot aufmerksam zu machen. Zur Veranschaulichung und Nachvollziehbarkeit der wirtschaftlichen Tragfähigkeit wurde für das Sharing-Konzept ein VoFi erstellt, welcher die Ein- und Auszahlungsströme für drei gebildete Auslastungsszenarien darstellt um einen potenziellen Subventions- bzw. Zuschussbedarf zu ermitteln und die ökonomische Wirtschaftlichkeit des Konzeptes aufzuzeigen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass ein Sharing-Konzept nicht ohne jährliche Zuschüsse wirtschaftlich tragfähig ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Zahlengerüst auf einigen Annahmen basiert. Darüber hinaus wurden bereits im vorherigen Abschnitt Ansätze skizziert, die ein gewisses Potenzial zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit aufweisen. Diese sollten durchaus um weitere Überlegungen ergänzt und dann in das Rechenmodell integriert werden, um die rechnerischen Folgen für die Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

4 Arbeitspaket: Integration erneuerbarer Energien

4.1 Zielstellung

In diesem Arbeitspaket soll die Möglichkeit der Installation von Photovoltaikanlagen auf den Dächern von Liegenschaften der Stadt Annaberg-Buchholz selbst und/oder ihrer drei kommunalen Tochterunternehmen betrachtet werden. Dabei soll vordergründig untersucht werden, ob der Fuhrpark der einzelnen Unternehmen oder Teile davon mit Hilfe der Photovoltaikanlagen vollständig geladen werden können, um so die in Abschnitt 1 ermittelte ökologische Nachhaltigkeit der Elektrofahrzeugflotte zu verbessern.

4.2 Technische Rahmenbedingungen und verfügbare Dachflächen

Um die potenzielle Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen auf den Dächern der vier kommunalen Einheiten sowie den der Wohnungsgesellschaft zur Verfügung stehenden Flächen von Wohngebäuden zu berechnen, soll als erster Schritt die Dachfläche der betroffenen Gebäude berechnet werden. Diese werden mit Hilfe von Google Maps ermittelt, wobei bei erkennbaren Schrägdächern ein Dachwinkel von etwa 45 Grad angenommen wird. Dies entspricht dem Durchschnitt zwischen den in Deutschland typischen 60 Grad im Norden und den häufig vorkommenden 30 Grad Dachneigung im Süden¹⁰⁰. Zur Anbringung von Photovoltaikanlagen sind nur diejenigen Dachflächen relevant, die nicht Richtung Norden, Nordwesten oder Nordosten ausgerichtet sind. Daraus ergeben sich die in den nachfolgenden Abbildungen rot markierten Flächen.

¹⁰⁰ Vgl. BauNetz Wissen: Dachneigung, URL: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/d/dachneigung-48993> [19.05.2021].



Abbildung 7: Dachfläche SWA-B

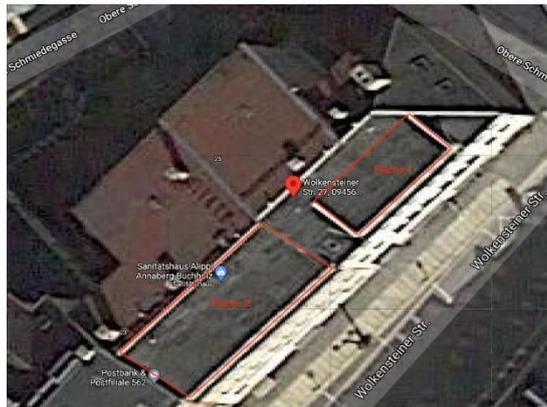


Abbildung 8: Dachfläche SWA



Abbildung 9: Dachfläche Barbara-Uthmann-Ring 171 - 174



Abbildung 10: Dachfläche 1-5 WPA



Abbildung 11: Dachfläche 6 WPA

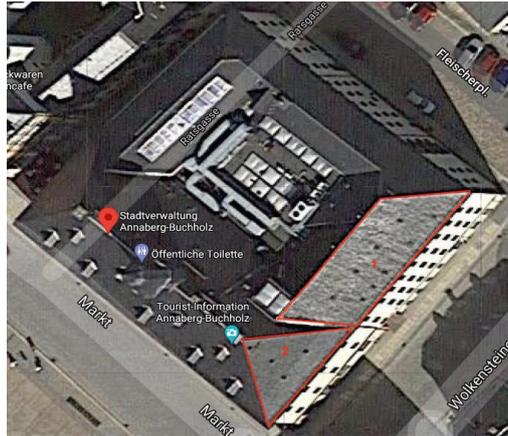


Abbildung 12: Dachfläche Rathaus ANA

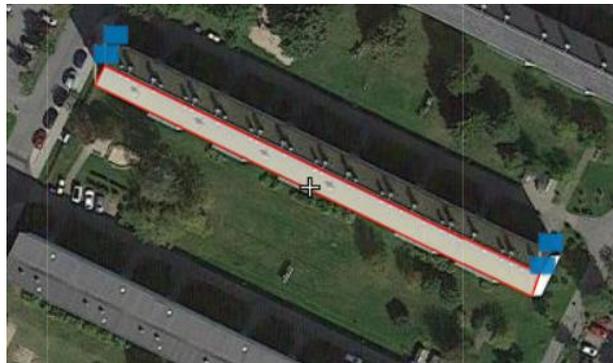


Abbildung 13 Dachfläche Barbara-Uthmann-Ring 25-32



Abbildung 14: Dachfläche Straße der Jugend 2, 4, 6



Abbildung 15: Dachfläche Straße der Jugend 7, 9

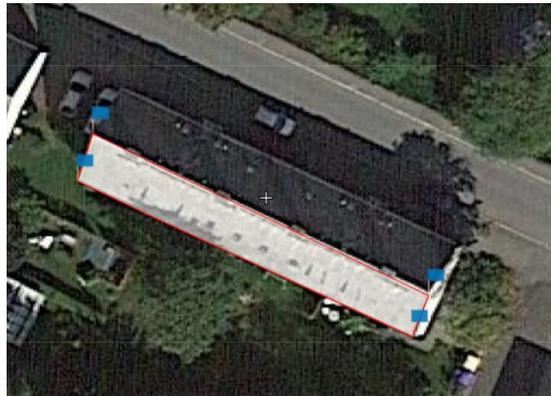


Abbildung 16: Dachfläche Heimstättenweg 31, 33



Abbildung 17: Heimstättenweg 35, 37

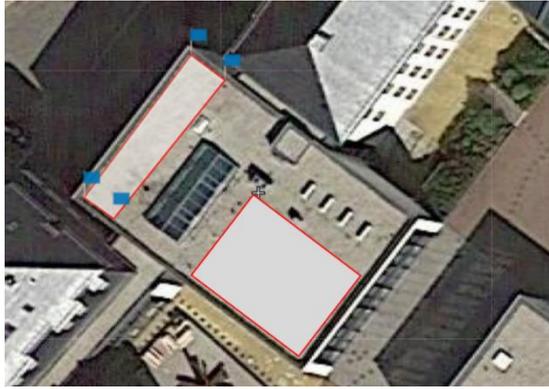


Abbildung 18: Dachfläche Bildungszentrum Adam Ries



Abbildung 19: Dachfläche 2 Bildungszentrum Adam Ries

Als Referenzprodukt soll das Photovoltaikmodul NEMO® 2.0 60 M von HECKERT SOLAR GmbH dienen, welches mit Nennleistungen von 320, 325 und 330 Watt-Peak (Wp) erhältlich ist¹⁰¹. Für die Berechnungen wird die mittlere Nennleistung von 325 Wp verwendet. Dieses Modul besitzt eine Höhe von ca. 1,70 m und eine Breite von ca. 1,10 m¹⁰². Somit kann unter Berücksichtigung der relevanten Dachflächen die Anzahl der möglichen Module pro kommunaler Einheit berechnet werden. Für Flachdächer wird zusätzlich die Annahme getroffen, dass die Solarmodule in einem Winkel von 20 Grad aufgerichtet werden. Dies entspricht dem mittleren Neigungswinkel der üblichen Gestelle¹⁰³. Hierbei ist außerdem auf einen größeren Abstand der Photovoltaikmodule zu achten, damit ihr Schatten nicht auf das dahinter angebrachte Modul fällt. Für diese Betrachtung wird auf die Faustregel zurückgegriffen, dass der Reihenabstand der dreifachen Höhe der Modulkante entsprechen soll.¹⁰⁴ Dies ist in der nachfolgenden Abbildung 20 verdeutlicht.

¹⁰¹ Vgl. HECKERT SOLAR GmbH: Datenblatt NEMO® 2.0 60 M, 2020, URL: https://www.heckertsolar.com/wp-content/uploads/2019/07/DB_NeMo_2.0_60_M_320-330_2020_04.pdf [19.05.2021].

¹⁰² Vgl. ebenda.

¹⁰³ Vgl. Burkhardt, Jens: Ist ihr Flachdach für eine PV-Anlage geeignet?, 03. April 2021, URL: <https://echtsolar.de/photovoltaik-flachdach/> [02.06.2021].

¹⁰⁴ Vgl. ebenda.

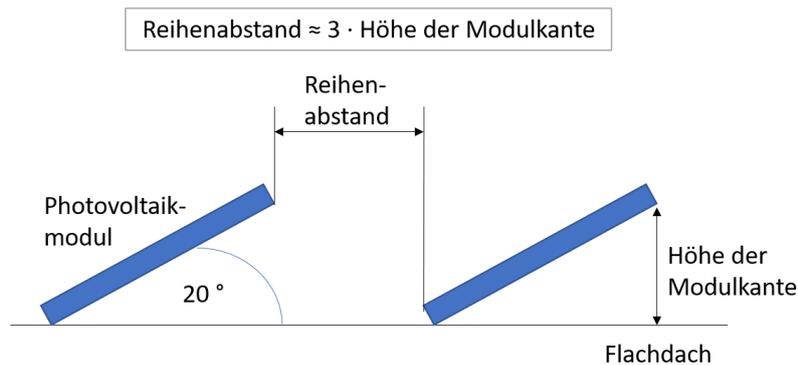


Abbildung 20: Berechnung Reihenabstand Photovoltaikmodul Flachdach

Es ergibt für die Gebäude der SWA-B eine Anzahl von 104 Modulen, für die SWA 40 Module und für die ANA 146 Module. Bei dem WPA sind 192 Module auf dem Dach der Louise-Otto-Peters-Straße 9 möglich und weitere 208 Module auf dem Dach des Wohnparks Adam Ries 19. Für letztere Adresse wird die berechnete Anzahl von Photovoltaikmodulen um 20 % auf Grund der erkennbaren Dachaufbauten bzw. Dachfenster reduziert. Die Anzahl möglicher Module für die weiteren Adressen sind der nachfolgenden Tabelle 19 sowie Tabelle 20 zu entnehmen. Auch hier wird bei erkennbaren Aufbauten bzw. Dachfenstern ein Sicherheitsabschlag bei der Anzahl der Photovoltaikmodulen vorgenommen.

Die vom Hersteller angegebene Nennleistung von 325 Wp wird unter genormten Testbedingungen (standard test conditions, STC) ermittelt. Diese bedeuten eine Einstrahlung von 1.000 W/m² mit einem Spektrum von AM 1,5¹⁰⁵ und einer Zelltemperatur von 25 °C¹⁰⁶. Da diese Werte in der Realität nicht erreicht werden, wird für die nachfolgenden Berechnungen eine um 20 % geringere Leistung angenommen. Eine weitere getroffene Annahme besagt, dass die Photovoltaikanlage pro Kilowatt-Peak Nennleistung 900 Kilowattstunden (kWh) Strom pro Jahr produziert. Dies entspricht dem Durchschnitt des zu erwartenden Stromertrages, welcher mit 850 bis 950 kWh pro Jahr angegeben wird¹⁰⁷.

In den nachfolgenden Tabellen sind die potenziell möglichen Stromerträge durch die Photovoltaikanlagen auf den verfügbaren Dächern errechnet.

¹⁰⁵ AM steht für Air Mass und gibt die Strecken, welche das Sonnenlicht in der Atmosphäre durchmessen muss. Bei senkrechtem Einfall beträgt der Wert 1 AM. (PVS Solarstrom: Air Mass (AM) – soviel Luft muss das Licht durchmessen, bevor es mit der Stromerzeugung anfangen kann, 2021, URL: <https://photovoltaiksolarstrom.com/photovoltaiklexikon/air-mass/> [20.05.2021].

¹⁰⁶ Vgl. GOSEN METRAWATT: PV Wegweiser. Photovoltaik, URL: <https://www.kometec.de/shop/pdf/pmggmphotovoltaikinfo.pdf> [20.05.2021].

¹⁰⁷ Vgl. Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V.: Photovoltaikanlage – eigenen Strom vom Dach nutzen, 2020, URL: <https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/energie/photovoltaikanlage-eigenen-strom-vom-dach-nutzen-24602> [21.05.2021].

Unternehmen	SWA-B	SWA	ANA	WPA	
				Dachfläche 1-5	Dachfläche 6
Anzahl möglicher Module	104	40	146	192	208
Leistung eines Moduls in Wp pro Jahr	325	325	325	325	325
Theoretische Leistung der Gesamtanlage in kW pro Jahr	34	13	47	62	68
-20 % wegen Abweichung Standard-Testbedingungen in	27	10	38	50	54
pro kW erzeugter Strom in kWh pro Jahr	900	900	900	900	900
Stromertrag in kWh pro Jahr	24.336	9.360	34.164	44.928	48.672

Tabelle 18: Berechnung Stromertrag Photovoltaik SWA-B, SWA, ANA, WPA

Adresse	B.-U.-R. 171 - 174	B.-U.-R. 25 - 31	Str. d. J. 2, 4, 6	Str. d. J. 7, 9	Bildungszentrum
Anzahl möglicher Module	90	399	216	116	134
Leistung eines Moduls in Wp pro Jahr	325	325	325	325	325
Theoretische Leistung der Gesamtanlage in kW pro Jahr	29	130	70	38	44
-20 % wegen Abweichung Standard-Testbedingungen in kW pro Jahr	23	104	56	30	35
pro kW erzeugter Strom in kWh pro Jahr	900	900	900	900	900
Stromertrag in kWh pro Jahr	21.060	93.366	50.544	27.144	31.356

Tabelle 19: Berechnung Stromertrag Photovoltaik Barbara-Uthmann-Ring, Straße der Jugend, Bildungszentrum

Adresse	Heimstättenweg 31,33	Heimstättenweg 37, 39
Anzahl möglicher Module	87	87
Leistung eines Moduls in Wp pro Jahr	325	325
Theoretische Leistung der Gesamtanlage in kW pro Jahr	28	28
-20 % wegen Abweichung Standard-Testbedingungen in kW pro Jahr	23	23
pro kW erzeugter Strom in kWh pro Jahr	900	900
Stromertrag in kWh pro Jahr	20.358	20.358

Tabelle 20: Berechnung Stromertrag Photovoltaik Heimstättenweg

4.3 Gegenüberstellung des Stromertrags und -bedarfs

Nach der Ermittlung des möglichen Stromertrags durch die Photovoltaikanlagen auf den zur Verfügung stehenden Dächern soll geprüft werden, ob dieser für die Aufladung der elektrifizierten Fuhrparks (siehe Arbeitspaket 1) ausreichend ist. Dafür wird in einem ersten Schritt nur der Stromertrag von den Photovoltaikanlagen auf den Dächern der Verwaltungsgebäude der vier kommunalen Einrichtungen dem jeweiligen Fuhrpark aus Abschnitt 1.2.2 gegenübergestellt. Anschließend erfolgt die Gegenüberstellung des kompletten Stromertrags mit dem

vollständigen Strombedarf durch die potenzielle Elektrifizierung der Fahrzeugflotten. Dabei soll die Betrachtung auf einen durchschnittlichen Tag¹⁰⁸ begrenzt werden.

Für den Strombedarf der Elektrofahrzeuge wird auf Herstellerangaben zurückgegriffen. Somit benötigen die ausgewählten Fahrzeuge zwischen 16,5 und 57 kWh Strom pro Aufladung.

Pro kommunaler Einheit wird der durchschnittliche, der kleinste sowie der größte Strombedarf je Aufladung der Fahrzeuge des Fuhrparks ermittelt und daraus die Anzahl möglicher Aufladungen bei dieser Batteriekapazität pro Tag errechnet. Diese sind der Tabelle 21 zu entnehmen.

Akteure	Fahrzeugkategorie	Elektrofahrzeug	Batteriekapazität	Anzahl möglicher Aufladungen	Anzahl benötigter Tage je Aufladungen
SWA	potenzielle Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen pro Tag in kWh =				25,64
	FZK 1 	VW e-up!	33	0	1,29
	FZK 3 	Opel Mokka-E	57	0	2,22
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	33	0	1,29
SWA-B	potenzielle Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen pro Tag in kWh =				66,67
	FZK 2 	Renault Zoe Life R110 Z.E	41	1	0,61
	FZK 3 	VW ID.3 Pure	45	1	0,67
	FZK 5 	EVUM aCar (Pritsche)	16,5	4	0,25
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	33	2	0,49
ANA	potenzielle Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen pro Tag in kWh =				93,60
	FZK 4 	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer	33	2	0,35
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	33	2	0,35
WPA	potenzielle Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen pro Tag in kWh =				256,44
	FZK 1 	VW e-up!	33	7	0,13
	FZK 4 	Peugeot e-Expert Kombi L2	50	5	0,19
	FZK 4 	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer	33	7	0,13
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	33	7	0,13
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	33	7	0,13

Tabelle 21: Gegenüberstellung Stromertrag und Strombedarf SWA-B, SWA, WPA, ANA

¹⁰⁸ Der durchschnittliche Tag repräsentiert alle Wetterlagen, welche innerhalb eines Jahres vorkommen können in dem entsprechenden Verhältnis.

Unter Berücksichtigung der Anzahl an Elektrofahrzeugen und den in Abschnitt 2.3.1 bestimmten Ladesäulen kann nur die ANA ihre Fahrzeuge vollständig mit Hilfe des erzeugten Solarstroms aufladen¹⁰⁹. Bei den anderen drei kommunalen Einheiten ist weiterhin der Bezug von Strom aus dem Versorgungsnetz notwendig.

4.4 Ökonomische Bewertung von Photovoltaikanlagen

Die ökonomische Bewertung für die Photovoltaikanlagen soll analog zu den Fahrzeugen und zur Ladeinfrastruktur mit Hilfe der Kapitalwertmethode erfolgen. Hierfür werden zunächst die Anschaffungskosten der gesamten Photovoltaikanlage bestimmt, welche sich zu 47,9 % aus den Modulkosten, zu je 16 % aus den Kosten für den Wechselrichter und sonstigen Anlagekomponenten sowie zu 19,9 % aus Installationskosten zusammensetzen¹¹⁰.

Der Preis des bereits im Abschnitt 0 genannten Photovoltaikmoduls NEMO® 2.0 60 M von HECKERT SOLAR mit einer Nennleistung von 325 Wp beträgt 117 €, wovon nach den Berechnungen in Abschnitt 0 1.819 Module benötigt werden. Somit ergeben sich für die gesamte Anlage Anschaffungskosten in Höhe von 443.418,28 €. Die Kostenpositionen sind in der nachfolgenden Tabelle 22 aufgeschlüsselt.

325 W Heckert Solar		
Module	47,90%	117,00 €
Wechselrichter	16,00%	39,08 €
sonstige Anlagenkomponent	16,00%	39,08 €
Installation	19,90%	48,61 €
	100%	243,77 €

	Anzahl Module	Preis
SWA-B	104	25.352,12 €
SWA	40	9.750,81 €
WPA	400	97.508,14 €
ANA	146	35.590,47 €
B.-U.-R. 171 - 174	90	21.939,33 €
B.-U.-R. 25 - 31	399	97.264,37 €
Str. d. J. 2,4,5,	216	52.654,40 €
Str. d. J. 7,9	116	28.277,36 €
Heimstättenweg 31,33	87	21.208,02 €
Heimstättenweg 35,37	87	21.208,02 €
Bildungszentrum	134	32.665,23 €
Gesamt	1.819	443.418,28 €

Tabelle 22: Anschaffungskosten Photovoltaikanlage

Eine Förderung von Photovoltaikanlagen kann auf zwei Arten erfolgen. Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bietet mit dem Förderprogramm „Erneuerbare Energien – Standard“ Kredite ab einem effektiven Jahreszins von 1,03 % für die Anschaffung bzw. Erweiterung von

¹⁰⁹ SWA-B: 14 Fahrzeuge und 5 Ladepunkte, SWA: 3 Fahrzeuge und 2 Ladepunkte, WPA: 18 Fahrzeuge und 8 Ladepunkte, ANA: 2 Fahrzeuge und 1 Ladepunkt

¹¹⁰ Vgl. EuPD Research Sustainable Management GmbH (Hrsg.): Photovoltaik-Preismonitor Deutschland. German PV ModulePricemonitor® 2016. Ergebnisse 1. Quartal, 2016, S. 27.

Photovoltaikanlagen mit einer Laufzeit von 5, 10, 15 oder 20 Jahren¹¹¹. Die maximale Kredithöhe je Vorhaben beträgt 50 Mio. €. Es bieten auch andere Banken einen Solarkredit an, beispielsweise die Targobank oder die ING, häufig im Rahmen eines Wohnkredites¹¹².

Die zweite Fördermöglichkeit des Bundes besteht in der Einspeisevergütung. Für Anlagen mit einer Nennleistung von bis 100 kW erhält der Betreiber eine feste Einspeisevergütung, zwischen 100 – 750 kW besteht die Pflicht zur Direktvermarktung und Anlagen oberhalb 750 kW sind verpflichtet, an Ausschreibungen teilzunehmen. Die Höhe der Vergütung pro kWh wird nach dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage festgelegt und bleibt für 20 Jahre bestehen. Sie variiert je nach Größe der Anlage. Für Anlagen mit Direktvermarktungsverpflichtung, welche im Juli 2021 in Betrieb gehen, beträgt die Vergütung:

- bis 10 kW: 7,47 ct/kWh
- bis 40 kW: 7,60 ct/kWh
- bis 750 kW: 6,08 ct/kWh¹¹³.

Für Anlagen mit Einspeisevergütung verringert sich die Vergütung um jeweils 0,4 ct/kWh.¹¹⁴ Die Höhe der Vergütung nimmt mit späterer Inbetriebnahme weiter ab. Für die ökonomische Betrachtung soll nur die Einspeisungsvergütung als Fördermöglichkeit berücksichtigt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass der gesamte Stromertrag von allen Photovoltaikanlagen durch ein Unternehmen eingespeist wird. Somit beträgt die Nennleistung der gesamten Anlage etwa 591 kW, wodurch die Pflicht zur Direktvermarktung greift. Weiterhin wird die auf der Literatur basierende Annahme getroffen, dass die Betriebskosten einer Photovoltaikanlage etwa 1 % der Investitionskosten betragen¹¹⁵.

Unter der Voraussetzung, dass die betrachtete Photovoltaikanlage im Juli 2021 in Betrieb genommen wird und der Betrachtungszeitraum analog zu den anderen Arbeitspaketen zwölf Jahre beträgt, ergibt sich folgende auszugsweise dargestellte Zahlungsreihe:

¹¹¹ Vgl. KfW: Erneuerbare Energien – Standard. Der Förderkredit für Strom und Wärme, 2021, URL: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-\(270\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/) [04.06.2021].

¹¹² Vgl. Finanzierungs-Photovoltaik-info: Solarkredit zur Finanzierung einer Photovoltaikanlage, 2021, URL: <https://www.finanzierung-photovoltaik.info/solarkredit.html> [04.06.2021].

¹¹³ Vgl. Bundesnetzagentur: Bestimmung der anzulegenden Werte nach EEG 2017 [04.06.2021].

¹¹⁴ §§ 48, 49 EEG 2021 i.V.m. § 53 Abs. 1 EEG 2021

¹¹⁵ Fraunhofer ISE: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, 14.05.2021, S. 8.

Zeitpunkt	0	1 - 11	12
Anschaffungsauszahlung	443.418,28 €		
jährlicher Zahlungsstrom		20.419,24	20.419,24
Einspeisevergütung		24.853,42	24.853,42
Betriebskosten		4.434,18 €	4.434,18 €
Liquidationserlös			159.738,87 €
Gesamtzahlungsreihe	-443.418,28 €	20.419,24	180.158,10
Kapitalwert	- 55.709,64 €		

Tabelle 23: Kapitalwertberechnung Photovoltaikanlage

Der Liquidationserlös in der zwölften Periode ergibt sich aus den auf diesen Zeitpunkt abgezinsten Zahlungen der Perioden 13 bis 20, welche identisch mit denen aus Perioden eins bis elf sind. Diese Perioden werden mit Hilfe des theoretischen Liquidationserlöses in Periode zwölf in die Berechnung einbezogen, da die Vergütung für die Stromeinspeisung für 20 Jahre konstant bleibt.

Bei linearer Entwicklung der Vergütung ergibt sich bei Inbetriebnahme erst im Dezember 2021 ein Kapitalwert von –88.005,62 €. Bei beiden Szenarien zeigt sich, dass die Installation einer solchen Photovoltaikanlage unter ökonomischen Gesichtspunkten im Betrachtungszeitraum nicht vorteilhaft ist. Bei Inbetriebnahme der Anlage im Juli 2021 amortisiert sich die Anlage unter den getroffenen Annahmen innerhalb des 23. Nutzungsjahres, bei Inbetriebnahme im Dezember 2021 innerhalb des 25. Nutzungsjahres, falls die Vergütung für den eingespeisten Strom nach den ersten 20 Jahren bestehen bleibt. Allerdings darf in diesem Zusammenhang auch nicht vernachlässigt werden, dass die PV-Anlagen einen Beitrag zur umweltfreundlichen Bereitstellung von Fahrstrom für die Fahrzeuge einer elektrifizierten Flotte leisten. In diesem Zusammenhang sei auf die Überlegungen zur ökologischen Vorteilhaftigkeit sowie den ange-stellten Sensitivitätsanalysen in Arbeitspaket 1 und die nachfolgenden Überlegungen im Zwischenfazit verwiesen.

4.5 Zwischenfazit zu Konzeptbaustein 4

Im vorangegangenen Abschnitt wurde der mögliche Stromertrag durch Photovoltaikanlagen dem Strombedarf des elektrifizierten Fuhrparks der vier kommunalen Unternehmen gegenübergestellt. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass rein rechnerisch (und damit im Jahres-durchschnitt) und unter den getroffenen Annahmen die Versorgung der Elektrofahrzeuge mit dem über die Photovoltaikmodule produzierten Strom sichergestellt werden kann. Allerdings sind die unterschiedlichen Wetterverhältnisse im Laufe eines Jahres und somit die schwankende Höhe der Stromerzeugung zu beachten. So ist im Sommer in der Regel mit mehr Sonneneinstrahlung zu rechnen als im Winter. Zusätzlich ist durch die Höhenlage von Annaberg-Buchholz im Winter Schnee zu erwarten, welche die Photovoltaikmodule verdeckt, sodass

trotz Sonneneinstrahlung kein Solarstrom erzeugt werden kann. Dies ist im Falle der Einspeisung in das Stromnetz nicht relevant. Sollte jedoch darüber nachgedacht werden, die Fahrzeugflotten direkt (und nicht nur rechnerisch) mit dem selbsterzeugten Strom aufzuladen, sind Stromspeicher notwendig. Von diesen existieren unterschiedliche Größen, wobei die meisten für private Zwecke ausgelegt sind. Hierfür erstrecken sich die Batteriekapazitäten auf drei bis zehn Kilowattstunden. Im Bereich Gewerbespeicher gibt es zurzeit ein wesentlich kleineres Marktangebot. Die ENergy GmbH bietet Gewerbespeicher z. B. mit einer Leistung von 36 kWh bis 216 kWh an¹¹⁶. Die Wahl von Stromspeichern anstelle der Einspeisevergütung hat Auswirkungen auf die ökonomische Betrachtung, da die Anschaffungskosten der gesamten Anlage um die Anschaffungskosten der Stromspeicher steigen und sich die jährlichen Zahlungsflüsse auf die Betriebskosten der Photovoltaikanlage reduzieren. Dabei gilt zu beachten, dass im Falle der Stromeinspeisung für die Ladung der Elektrofahrzeuge Stromkosten anfallen, welche im Falle der Nutzung des Stromspeichers nicht erforderlich sind.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Investition in Photovoltaikanlagen ökonomisch nicht vorteilhaft ist. Im Rahmen des vorliegenden Projekts sollte jedoch nicht die ökonomische Bewertung im Vordergrund stehen, sondern die Möglichkeit zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit der Elektrofahrzeuge. Diese ist in der nachfolgenden **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Kurz vor dem Projektende wurden die angestellten Berechnungen – insbesondere hinsichtlich der verfügbaren Dachflächen und der damit verbundenen Stromerträge – mit Hilfe eines online frei zugänglichen Planungstools der SWA-B verifiziert. Dabei wurde festgestellt, dass hier angestellten Berechnungen tendenziell vorsichtiger bezüglich des Stromertrags ausfallen. Insofern kann die angestellte Betrachtung hier als recht konservativ betrachtet werden. Allerdings ist auch festzuhalten, dass die oben bereits erwähnte Vernachlässigung von Belangen des Denkmalschutzes dazu führt, dass zwei Dachflächen beplant wurden, für die entsprechende Rechtsvorschriften und damit Bebauungsverbote nach jetzigem Kenntnisstand gelten. Dies betrifft die Dachfläche des Rathauses (Abb. 12, errechneter Stromertrag: 34.000 kWh/a) und des Bildungszentrums Adam Ries (Abb. 18 und 19, errechneter Stromertrag: 31.000 kWh/a) Inwiefern diese mit Hilfe der Denkmalschutzbehörde ausgeräumt werden könnten, wurde im Rahmen des vorliegenden Vorhabens nicht erörtert. Das gesamte PV-Ertragspotenzial ist damit im Zweifelsfall um die beiden Dachflächen nach unten zu korrigieren.

¹¹⁶ Vgl. ENergy GmbH: Großspeicherlösungen für Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft und öffentliche Einrichtungen, 2021, URL: <https://enenergy.de/produkte/stromspeicher/gewerbe.php> [09.06.2021].

Akteure	Fahrzeugkategorie	Elektrofahrzeug	konventionelles Fahrzeug	Ökologischer Break-Even-Point in Kilometern	
				Ausgangssituation	Photovoltaik
SWA	FZK 1 	VW e-up!	VW up	117.688	52.728
	FZK 3 	Opel Mokka-E	Skoda Kodiac	272.780	65.223
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	Opel Vivaro	87.703	38.748
SWA-B	FZK 2 	Renault Zoe Life R110 Z.E	VW Polo Comfortline	468.484	62.026
	FZK 3 	VW ID.3 Pure	VW Golf	163.137	67.531
	FZK 5 	EVUM aCar (Pritsche)	VW T6.1 Pritschenwagen Eika	16.327	16.691
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	VW Caddy Cargo	188.731	45.093
ANA	FZK 4 	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer	Fiat Doblo	530.207	27.826
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	VW Caddy Cargo	188.731	45.093
WPA	FZK 1 	VW e-up!	VW up	117.688	52.728
	FZK 4 	Peugeot e-Expert Kombi L2	VW Transporter Kastenwagen	310.273	48.238
	FZK 4 	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer	VW Caddy	170.310	44.329
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	VW Transporter Kastenwagen	46.129	32.695
	FZK 5 	Renault Kangoo Z.E.	VW Caddy Cargo	188.731	45.093

Abbildung 21: Ökologische Break-Even-Point in Kilometern - Vergleich Ausgangssituation und Photovoltaik

Durch die geringen CO₂-Emissionen von 0,005 kg CO₂ pro produzierter kWh Solarstrom kann der ökologische Break-Even-Punkt der Laufleistung um bis 76 % verringert werden, wie bereits in Abschnitt 1.4.3 dargestellt wurde. Somit wird der ökologische Break-Even-Point im Schnitt bereits nach fünf Nutzungsjahren und damit innerhalb der üblichen Nutzungs- bzw. Fahrzeughaltezyklen erreicht. Die Installation der PV-Anlagen leistet damit also ungeachtet der ökonomischen Effekte einen Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit des Elektromobilitätskonzepts.

5 Arbeitspaket: Elektrobusalternativen für Annaberg-Buchholz

5.1 Zielstellung

Neben der Elektrifizierung von Unternehmensfuhrparks und dem Aufbau eines Sharing-Angebots soll im Rahmen des vorliegenden Vorhabens ebenso die Elektrifizierung des öffentlichen Nahverkehrs innerhalb der Stadt Annaberg-Buchholz betrachtet werden. Besonders ältere Dieselsebusse in der Stadt verursachen durch das häufige Anfahren und Abbremsen hohe

Schadstoffbelastungen und Lärmbelastigungen.¹¹⁷ Die Elektrifizierung der städtischen Buslinien scheint daher ein potenzieller Ansatz, um die Luftqualität zu verbessern und den Lärmpegel zu senken. So wurden bereits in 54 Städten in Deutschland Elektrobustprojekte durchgeführt¹¹⁸. Darüber hinaus trat am 02. August 2021 die neu überarbeitete Clean-Vehicle-Richtlinie in Kraft, um die ÖPNV-Buslinien in den kommenden Jahren möglichst auf Fahrzeuge mit emissionsfreiem Antrieb umzustellen.¹¹⁹

Durch die Analyse der Busfahrpläne für die Stadtlinien in Annaberg-Buchholz soll zunächst die generelle Einsatzmöglichkeit von Elektrobussen geprüft werden. Anschließend soll analog zu den bisherigen Arbeitspaketen die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit Hilfe der Kapitalwertmethode durchgeführt werden.

5.2 Untersuchung der betrieblichen Umsetzbarkeit

Das Verkehrsunternehmen „Regionalverkehr Erzgebirge GmbH“ betreibt im Stadtlinienverkehr Annaberg-Buchholz insgesamt sieben Buslinien¹²⁰:

- Linie A: Barbara-Uthmann-Ring - Markt - Buchholz - Markt
- Linie B: Frohnau - Obere Stadt
- Linie C: Markt - Herzog-Georg-Ring – Erzgebirgs-Center - Markt
- Linie D: Citybus Markt - B95/Am Kätplatz - Markt
- Linie E: Stadtbus Buchholz (Bergfahrten)
- Linie F: Cunersdorf - Buchholz
- Linie G: Markt – Cunersdorf

Deren Fahrpläne ab 13.12.2020 sollen nun dahingehend analysiert werden, ob der Ersatz der Dieselsebusse durch Elektrobuse betriebs- und umlauftechnisch möglich ist. Dafür soll zunächst die Anzahl der benötigten Busse ermittelt werden, bevor die zurückzulegenden Entfernungen je Bus, Linie und Tag ermittelt werden.

¹¹⁷ Vgl. Handelsblatt GmbH: Ein Bus bläst so viel Stickoxid in die Luft wie 100 Diesel-Pkw, 20. November 2018, URL: <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/dreckschleudern-im-stadtverkehr-ein-bus-blaest-so-viel-stickoxid-in-die-luft-wie-100-diesel-pkw/23657994.html> [03.09.2021].

¹¹⁸ Vgl. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (Hrsg.): E-Bus-Projekte in Deutschland, 2021, URL: <https://www.vdv.de/e-bus-liste.aspx> [03.09.2021].

¹¹⁹ Vgl. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (Hrsg.): Umsetzung der Clean Vehicles Directive (CVD), 2021, URL: <https://www.vdv.de/umsetzung-cvd.aspx> [03.09.2021].

¹²⁰ Vgl. Regionalverkehr Erzgebirge GmbH: Linien im Stadtverkehr. Annaberg-Buchholz, 2021, URL: <https://www.rve.de/fahrplan/stadt/> [10.09.2021].

Linie A

Für die Buslinie A sind zwei alternierende Elektrobusse ausreichend, um die meisten Fahrten über den Tag verteilt abzudecken. Von Montag bis Freitag tätigt Bus 1 20 Fahrten pro Tag und Bus 2 15 Fahrten pro Tag. Wie in Abbildung 22 ersichtlich, können vier Fahrten in der Zeit zwischen 6:00 und 8:30 Uhr nicht durch diese zwei Busse abgedeckt werden. Es zeigt sich allerdings, dass die Fahrten 5, 8 und 11 mit Hilfe des Busses 2 von Linie C sowie die Fahrt 14 mit dem Bus 1 der Linie F abgedeckt werden können.

Linie A	Montag-Freitag außer Feiertag									
Fahrt Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
Samstag										
Fahrt Nr.:	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58		
Sonn- und Feiertag										
Fahrt Nr.:	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
	69	70	71	72	73					

 Bus 1  Bus 2

Abbildung 22: Stadtbuslinie A¹²¹

Linie B

Wie in Abbildung 23 erkenntlich, können für die Buslinie B alle Fahrten bis auf eine mit einem Bus abgedeckt werden. Fahrt 3 kann durch einen Bus der Buslinie E erfolgen.

Linie B	Montag-Freitag außer Feiertag									
Fahrt Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12								
Samstag										
Fahrt Nr.:	13	14								
Sonn- und Feiertag										
Fahrt Nr.:	15	16								

 Bus 1  Bus 2

Abbildung 23: Stadtbuslinie B

Linie C

Die Buslinie C deckt alle Fahrten ab, indem zwei Busse abwechselnd eingesetzt werden. Bus 1 startet 8:00 Uhr für alle ungeraden Fahrten und Bus 2 ab 8:30 Uhr für alle geraden Fahrten. Außerdem deckt Bus 2 die Fahrten 5, 8 und 11 der Linie A ab, welche noch vor Fahrtbeginn der Linie C stattfinden.

¹²¹ Eigene Darstellung auf Grundlagen Regionalverkehr Erzgebirge GmbH: Stadtverkehr Annaberg-Buchholz Barbara-Uthmann Ring-Markt-Buchholz, URL: https://www.rve.de/uploads/media/ANAA_queltig_ab_13.12.2020.pdf [16.09.2021].

Linie C	Montag-Freitag außer Feiertag									
Fahrt Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23							

 Bus 1  Bus 2

Abbildung 24: Stadtbuslinie C

Linie D

Die Buslinie D fährt eine kürzere Route ab und fährt nur um den Stadtteil Annaberg herum. Basierend auf den Fahrplandaten würde die Route nur einen Bus benötigen, um alle Fahrten durchzuführen.

Linie D	Montag-Freitag außer Feiertag									
Fahrt Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27			

 Bus 1

Abbildung 25: Stadtbuslinie D

Linie E

Die Buslinie E fährt nur innerhalb des Stadtteils Buchholz. Ihre ungeraden und geraden Fahrten bilden zwei verschiedene Linien. Hinsichtlich der Abfahrtszeiten wechseln sich die Fahrten auf beiden Linien ab, womit ein Bus alle Fahrten durchführen kann. Zusätzlich fährt dieser Bus auch die Fahrt 3 von Linie B, welche nur an Schultagen stattfindet. Dieser startet 7:14 Uhr und endet 7:37. Die nächste Fahrt der Linie E beginnt anschließend erst ab 8:00 Uhr.

Linie E	Montag-Freitag außer Feiertag									
Fahrt Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	23	25							
Samstag										
Fahrt Nr.:	22	24	26	27	29	31				

 Bus 1

Abbildung 26: Stadtbuslinie E

Linie F

Die Fahrten 1 bis 3 und 6 bis 10 der Buslinie F finden nur an Schultagen statt, Fahrt 5 nur an schulfreien Tagen.

Aufgrund sich überschneidender Ankunfts- und Startzeiten der Fahrten 1 und 3 sowie 7 und 8 werden zwei Busse benötigt.

Linie F	Montag-Freitag außer Feiertag									
Fahrt Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

 Bus 1  Bus 2

Abbildung 27: Stadtbuslinie F

Linie G

Bei der Buslinie G finden die Fahrten 1 und 4 nur an Schultagen sowie die Fahrten 2 und 5 nur an schulfreien Tagen statt. Somit können alle drei Fahrten an Wochentagen mit einem Bus ermöglicht werden.

Linie G	Montag-Freitag außer Feiertag									
Fahrt Nr.:	1	2	3	4	5					

 Bus 1

Abbildung 28: Stadtbuslinie G

Basierend auf diesen Informationen und Überlegungen kann die Anzahl der für jede Linie des ursprünglichen Fahrplans erforderlichen Busse (ohne Berücksichtigung von Ersatzbussen) und die maximale Tagesfahrleistung pro Bus abgeleitet werden. Letztere wurde mit Hilfe von Google Maps ermittelt.

Stadtbuslinie	Bus Nr.	Anzahl Fahrten pro Tag / Tagesleistung in Kilometern				Ergänzung zu anderen Buslinien		
		Montag-Freitag außer Feiertag		Samstag	Sonn- und Feiertage	Stadtbuslinie	Fahrleistung	
Schultagen		schulfreie Tage						Fahrt Nr.
A	1	20 / 282,3		14 / 233,0	13 / 184,0			
	2	15 / 224,6				2 / 20,0	2 / 11,6	
B	1	10 / 137,4	10 / 137,8	2 / 15,4	2 / 15,4			
C	1	12 / 125,3						
	2	11 / 118,4				A	5, 8, 11	38,4
D	1	27 / 86,4						
E	1	23 / 128,4		6 / 34,2				
F	1	5 / 38,4	1 / 7,7			B	3	5,8
	2	4 / 20,2	1 / 4,0			A	14	4
G	1	3 / 12,5						

Tabelle 24: Tagesleistung pro Stadtbuslinie

Wie in Tabelle 24 ersichtlich, werden zehn Elektrobusse benötigt, um den Stadtlinienverkehr in Annaberg-Buchholz abzudecken.

5.3 Auswahl der Busse

Basierend auf den Daten der Elektrobus-Vergleichsliste im Anhang 13 wird die zweite oder dritte Generation der Elektrobusse des niederländischen Herstellers Ebusco empfohlen. Einer der Busse der zweiten Generation ist bereits in mehreren deutschen Städten im Einsatz und verfügt über eine Basiskonfiguration mit einer Reichweite von 350 km, die durch Batterien mit einer Reichweite von 450 km ersetzt werden kann und nachts nur vier Stunden zum Aufladen benötigt. Der Bus bietet Platz für circa 90 Personen, sodass es in der touristischen Hochsaison bei hohem Fahrgastaufkommen keine Probleme gibt. Das Modell wurde bei hohen Steigungen und unter extremen Wetterbedingungen getestet und scheint daher für das Mittelgebirgsklima in Annaberg-Buchholz geeignet. Darüber hinaus weist der neue Bus der dritten Generation

eine Reichweite von bis zu 500 km auf und befindet sich gerade im Straßentest. Die Serienproduktion dieses Busmodells wird im dritten Quartal 2021 beginnen.¹²²

Für Annaberg-Buchholz sollen die Elektrobusse im Rotationsverfahren geladen werden. So können Busse mit einer hohen täglichen Laufleistung täglich geladen werden und Busse mit geringerer Tageslaufleistung nur alle zwei bis drei Tage geladen werden. Dies reduziert die Anzahl der auf dem Betriebshof erforderlichen Ladepunkte und wird durch die geringe Ladedauer von etwa vier Stunden ermöglicht.

5.4 Ökonomische und ökologische Bewertung

Wie auch schon in den Abschnitten 1, 2 und 4 soll die Kapitalwertmethode für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verwendet werden. Dabei wird als Elektrobusalternative der im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte Bus von Ebusco herangezogen. Zum Vergleich dient der Dieselsebus MAN Lion's City 12, welcher seit 2019 von der RVE eingesetzt wird. Des Weiteren stützt sich die Erhebung einiger Kennzahlen auf eine Studie eines Fraunhofer Instituts von 2017. Diese betrachtete die Möglichkeit einer Standardisierung von Elektrobusen und eignet sich daher auch für die Untersuchung eines solchen Modells für die Stadt Annaberg-Buchholz.¹²³

Der Neupreis eines Elektrobusses beträgt circa 500.000 €¹²⁴, der für den MAN Lion's City 12 250.000 €. ¹²⁵ Bei der Anschaffung von insgesamt zehn Bussen ergibt das für den Ebusco 2.2 Investitionskosten in Höhe von 5.000.000 € und für den Dieselsebus 2.500.000 €. Das Bundesministerium für Umweltschutz, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit veröffentlichte am 05. März. 2018 die „Richtlinie zur Förderung der Anschaffung von Elektrobusen im öffentlichen Personennahverkehr“. Mit dieser wird die Anschaffung von batteriebetriebenen Elektrobusen mit maximal 80 % sowie die Anschaffung von Ladeinfrastruktur mit maximal 40 % der Investitionsmehrkosten gefördert. Da die Förderung zum 31.12.2021 ausläuft¹²⁶ und noch keine Informationen über eine Verlängerung gefunden werden konnten, wird die Förderung in den Berechnungen jedoch nicht berücksichtigt.

¹²² Vgl. Ebusco Germany GmbH: Ebusco 3.0, 2021, URL: <https://www.ebusco.com/de/elektrische-busse/ebusco-3-0/> [16.09.2021].

¹²³ Vgl. Knote, T./Haufe, B./Saroch, L. (2017), E-Bus-Standard – Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse, Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI, Dresden.

¹²⁴ Vgl. Dieter Fockenbrock: Dieses E-Bus-Start-up hängt Daimler und MAN ab., in: Handelsblatt, 10.02.2020, URL: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/ebusco-dieses-e-bus-start-up-haengt-daimler-und-man-ab/25528988.html?ticket=ST-1556105-FNrnSKh9Vh4ZkOpraLib-ap1> [16.09.2021].

¹²⁵ Vgl. BUSMAGAZIN Fachzeitschrift für erfolgreiche Busunternehmer und Gruppenreiseveranstalter: „Was für ein cooler Bus“ MAN Lion's 12 C EfficientHybrid, 12 /2019 – 1/2020, URL: https://www.busmagazin.de/fileadmin/user_upload/Busmagazin/Fahrzeugtests/MAN-Lions-City-12-C-Efficient-Hybrid_2019_12.pdf, S. 14 [16.09.2021].

¹²⁶ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Richtlinien zur Förderung der Anschaffung von Elektrobusen im öffentlichen Personennahverkehr vom 05. März 2018 [17.09.2021].

Analog zu der Elektrifizierung der Fahrzeugflotten der vier kommunalen Einheiten sind folgende weitere zahlungswirksame Kosten zu berücksichtigen:

- Für den Elektrobus fallen Stromkosten an. Analog zu Arbeitspaket 1 wird der Strompreis mit 23ct/kWh angesetzt. Die Batterie des Ebusco 2.2 hat eine Kapazität von 363 kWh, womit sich bei einer vom Hersteller angegebenen Reichweite von 350 km rechnerisch ein Verbrauch von 1,04 kWh pro Kilometer bzw. 104 kWh pro 100 Kilometer ergibt. Auch der Verbrauch wird, wie in Arbeitspaket 1, aufgrund der Topografie von Annaberg-Buchholz um 10 % höher angenommen.
- Der MAN Lion's City 12 verbraucht laut Herstellerangaben 40,71 Liter pro 100 Kilometer.¹²⁷ Für den Verbrauch wird auf den durchschnittlichen Dieselpreis in Deutschland zurückgegriffen. Dieser lag am 15.09.2021 bei 1,39 Euro pro Liter.¹²⁸
- Für die Wartungskosten des Elektro- wie des Dieselbusses werden Schätzwerte pro Kilometer aus der Literatur übernommen. Somit werden für den Elektrobus 0,36 € und für den Dieselbus 0,4 € angenommen.¹²⁹ Bei den Elektrobussen werden ebenfalls nach sechs Jahren Auszahlungen für eine neue Batterie berücksichtigt.¹³⁰ Dafür lässt sich ein Preis von 137 Dollar pro kWh (umgerechnet etwa 117 € pro kWh) veranschlagen.¹³¹
- Es wird eine Nutzungsdauer von 12 Jahren unterstellt, wenngleich praktisch von einer längeren Haltedauer ausgegangen werden kann. Zur Restwertermittlung wird davon ausgegangen, dass beide Vergleichsfahrzeuge nach 3 Jahren noch 50 % der Anschaffungskosten wert sind und ab diesem Zeitpunkt jährlich 5,5 % an Wert verlieren.

Methodisch wird auch hier auf die Differenzinvestition, also einer saldierten Zahlungsreihe zwischen Elektrobus und Dieselbus, abgestellt. Im Ergebnis der Berechnungen zeigt sich, dass unter Ansatz der recherchierten Eingangsdaten und getroffenen Annahmen eine ökonomische Vorteilhaftigkeit nicht erreicht wird. Der Kapitalwert der Differenzinvestition liegt bei knapp minus 41.000 €. Vor dem Hintergrund des vergleichsweise langen Betrachtungszeitraums und

¹²⁷ Vgl. BUSMAGAZIN Fachzeitschrift für erfolgreiche Busunternehmer und Gruppenreiseveranstalter: „Was für ein cooler Bus“ MAN Lion's 12 C EfficientHybrid, 12 /2019 – 1/2020, URL: https://www.busmagazin.de/fileadmin/user_upload/Busmagazin/Fahrzeugtests/MAN-Lions-City-12-C-Efficient-Hybrid_2019_12.pdf, S. 15 [17.09.2021].

¹²⁸ Vgl. Statista GmbH: Durchschnittlicher Dieselpreis in Deutschland bis September 2021, 15.09.2021, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/224105/umfrage/durchschnittlicher-preis-fuer-diesels-kraftstoff/> [17.09.2021].

¹²⁹ Vgl. IKT für Elektromobilität: Wirtschaftlichkeit von Elektromobilität in gewerblichen Anwendungen. Betrachtung von Gesamtnutzungskosten, ökonomischen Potenzialen und möglicher CO₂-Minderung. Abschlussbericht, April 2015, URL: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Gesamtbericht-Wirtschaftlichkeit-von-Elektromobilitaet.pdf>, S. 36 [17.09.2021].

¹³⁰ Vgl. Forum für Verkehr und Logistik: Zwischenbilanz Elektrobusse im ÖPNV, 04. Februar 2020, URL: <https://www.vdv.de/200204-charts-pressegespraech-zwischenbilanz-e-busse.pdf#:~:text=Die%20Nutzungsdauer%20eines%20Euro%2D6,bei%2012%20Jahren%20ohne%20Austauschmotor.> [17.09.2021].

¹³¹ Vgl. ecomento UG: Prognose: Kosten für Batteriepacks sinken 2023 auf 101 Dollar pro kWh, 18.12.2020, URL: <https://ecomento.de/2020/12/18/kosten-fuer-batteriepacks-naehern-sich-100-dollar-pro-kwh-analyse/> [17.09.2021].

des relativ großen Unterschieds bei den Anschaffungskosten der beiden Alternativen darf dieser Betrag jedoch als „marginal“ gelten. Gerade vor dem Hintergrund einer erwartbaren, hier in den Berechnungen jedoch nicht angesetzten Förderung einer Alternative mit emissionsfreiem Antrieb, dürfte die Vorteilhaftigkeit zu Gunsten der Elektroalternative ausfallen.

Ebusco 2.2			
Periode	0	1	2-12
Anschaffungskosten	500.000,00 €		
Betriebskosten			
Kraftstoffverbrauch pro Jahr		42.061,0	
Kraftstoff-/Stromkosten		9.674,03 €	120.074,90 €
Kfz-Steuer		- €	801,75 €
Battierauszahlungen		- €	42.471,00 €
Wartungskosten		13.235,98 €	164.286,12 €
Liquidationserlös			150.254,08 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro	-500.000,00 €	- 22.910,00 €	-177.379,69 €

MAN Lion's City 12			
Periode	0	1	2-12
Anschaffungskosten	250.000,00 €		
Betriebskosten			
Kraftstoffkosten		20.805,08 €	258.234,51 €
Kfz-Steuer		651,20 €	8.082,75 €
Wartungskosten		14.706,64 €	182.540,14 €
Liquidationserlös			75.127,04 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	-250.000,00 €	- 36.162,92 €	-373.730,36 €

Differenzzahlungsreihe	-250.000,00 €	13.252,92 €	196.350,67 €
Kapitalwert	- 40.832,22 €		
Zahlungsreihe abgezinst	-250.000,00 €	13.186,98 €	195.980,79 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	-250.000,00 €	-236.813,02 €	- 40.832,22 €

Tabelle 25: Kapitalwerte

Abgesehen von der ökonomischen Vorteilhaftigkeit entfaltet die Umrüstung der Busflotte auch aus ökologischer Perspektive Wirkungen. Im Gegensatz zum Pkw-Segment existieren jedoch im Nutzfahrzeugbereich bisher keine Vorgaben für einzuhaltende Grenzwerte bei CO₂-Emissionen. Damit finden sich auch bei den Herstellern bisher nicht ohne Weiteres Angaben zu den Emissionen ihrer Modelle. Durchschnittlich emittiert ein Diesel-Bus 56 g-CO₂/Pkm. Unter Orientierung an den Daten beim oben festgehaltenen Elektrobushersteller lassen sich pro Kilometer 900 g-CO₂ einsparen. Bei ca. 7.000 wöchentlich zurückgelegten Kilometern aller im Stadtverkehr der Stadt Annaberg-Buchholz eingesetzten Fahrzeug ergibt sich daraus ein wöchentliches Einsparpotenzial von 6.300 kg-CO₂. Hochgerechnet auf das gesamte Jahr entspricht dies 327.600 kg-CO₂, die eingespart werden können. Dabei ist jedoch wie im Abschnitt

1.4 bereits skizziert der durchschnittliche Strommix zu berücksichtigen, der notwendig ist, um die elektrische Energie für eine elektrifizierte Busflotte zu erzeugen: Für die zurückgelegten 367.000 Jahreskilometer werden ca. 420.000 kWh elektrische Energie benötigt. Unter dem aktuellen Strommix ist die Erzeugung dieser Energiemenge mit CO₂-Emissionen von 204.120 kg-CO₂ verbunden. Damit verbleiben unter den gegenwärtigen durchschnittlichen Stromgestehungskapazitäten in Deutschland immer noch 123.480 kg-CO₂, die eingespart werden können. Dieses erhöht sich deutlich, wenn die Strommixziele der folgenden Dekaden angesetzt werden. Vor dem Hintergrund des in Abschnitt 4.2 ermittelten Potenzials an elektrischer Energie (in Summe ca. 425.000 kWh unter den getroffenen Annahmen und den unterstellten Idealbedingungen) lässt sich der Energiebedarf einer elektrifizierten Busflotte theoretisch komplett aus eigenen regenerativen Quellen speisen. Dies würde das komplette oben errechnete CO₂-Einsparpotenzial für die Stadt Annaberg-Buchholz erschließen.

6 Schlussbetrachtung und weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen des vorliegenden Projekts sollte für den Verwaltungssitz des Erzgebirgskreises, die große Kreisstadt Annaberg-Buchholz, ein Elektromobilitätskonzept erarbeitet werden. Als zu betrachtende Bausteine des Konzepts wurden dabei bereits im Zuge der Initiierung des Vorhabens die Elektrifizierung der Fahrzeugflotten der Kommune und ihrer Tochterunternehmen, der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur, die Etablierung eines Sharing-Angebots, die Nutzung kommunaler Liegenschaften für die Stromerzeugung mittels PV-Anlagen sowie die Untersuchung der Umsetzbarkeit einer Komplettelektrifizierung des städtischen ÖPNV identifiziert.

Im Zuge der Bearbeitung des Vorhabens wurden für alle fünf genannten Bausteine Ansatzpunkte herausgearbeitet und Erkenntnisse gewonnen, die bei der Umsetzung eines Elektromobilitätskonzepts von der Stadt Annaberg-Buchholz genutzt werden können. So wurde hinsichtlich der untersuchten Flottenelektrifizierung festgestellt, dass in allen betrachteten Fuhrparks Fahrzeugtypen bzw. -klassen zu finden sind, die aus ökonomischer und betrieblicher Sicht für die Elektrifizierung geeignet sind. Andererseits fanden sich jedoch auf Flottenteile, die zum Zeitpunkt der Untersuchung für eine Elektrifizierung noch nicht in Frage kommen, da bestimmte fahrzeugseitige Anforderungen bisher vom Markt nicht erfüllt werden können. Hier bietet sich sicher zu einem späteren Zeitpunkt eine Aktualisierung der Recherchen und Berechnungen an.

Der Aufbau eines breiten öffentlichen Ladenetzes ist nach den angestellten ökonomischen Berechnungen und vor dem Hintergrund der erwarteten Zuwachszahlen bei batterieelektrischen Fahrzeugen aus Sicht eines Betreibers vorteilhaft. An dieser Stelle ist jedoch zu berücksichtigen, dass bisher nur bedingt Erfahrungswerte darüber vorliegen, wie oft private Fahrzeuge über einen längeren Zeitraum tatsächlich im öffentlichen Raum geladen werden. Allein

durch den Aufbau einer hinreichenden Ladeinfrastruktur leistet die Stadt Annaberg-Buchholz jedoch einen Beitrag zur weiteren Verbreitung der Elektromobilität in der Bevölkerung.

Der Aufbau eines lokalen Sharing-Konzepts ist unter den im Rahmen des Vorhabens gesetzten Prämissen nicht auf Antrieb wirtschaftlich darstellbar – ein potenzieller Betreiber wäre trotz der unterstellten „Ankermieterschaft“ der Kommune und ihrer Tochterunternehmen in den ersten Jahren von (öffentlichen) Zuschüssen abhängig. Hier gilt es vor allem zu untersuchen, ob ein solches Sharing-Angebot dann die Chance auf eine größere Akzeptanz und damit Nutzung hätte, wenn es flächendeckend in der Region verfügbar und als eine Art Hybridansatz ausgestaltet wäre, bei dem auch einfache Wegstrecken (von A nach B ohne Rückweg) zurückgelegt werden können.

Die Installation und der Betrieb von PV-Anlagen auf den kommunalen Dachflächen lässt sich unter Ansatz der Einspeisevergütung nicht wirtschaftlich darstellen. Allerdings bietet die Erzeugung (und Einspeisung) von Sonnenstrom ein interessantes ökologisches Potenzial vor dem Hintergrund der Flottenelektrifizierung. So konnte anhand der angestellten Berechnungen herausgearbeitet werden, dass sich die ökologische Amortisation bereits deutlich früher einstellt als beim Laden der vorhandenen Fahrzeuge mittels des flächendeckend verfügbaren Strommixes. Zu berücksichtigen ist dabei, dass es sich lediglich um eine rechnerische Deckungsfähigkeit handelt und dabei mit jahreszeitlichen Durchschnittswerten gearbeitet wurde. Für eine tatsächliche, also physische Deckung ist die Integration von stationären Batteriespeichern notwendig. Dazu sollten weitere Untersuchungen und Berechnungen angestellt werden. Hinsichtlich einer Elektrifizierung des städtischen ÖPNV konnte aufgezeigt werden, dass bereits bestehende am Markt verfügbare Fahrzeuge für den Einsatz im Stadtgebiet von Annaberg-Buchholz tauglich sind. Ausgeklammert wurde dabei jedoch, ob am Betriebshof des RVE die anliegende elektrische Leistung für die Installation der entsprechenden Ladevorrichtungen ausreicht. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Einfluss- und Gestaltungsmöglichkeiten der Stadt Annaberg-Buchholz an dieser Stelle nur beschränkt sind: der Betreiber des ÖPNV im Erzgebirgskreis ist mit dem RVE eine Tochtergesellschaft des Landkreises und nicht der Stadt selbst. Damit dürften auch die unmittelbaren Durchgriffsrechte der Kommune limitiert sein. Weiterhin scheint gegenwärtig völlig offen, ob sich im Bereich großer Busse batterieelektrische Fahrzeuge am Markt durchsetzen werden. Daher sollte auch geprüft werden, ob Wasserstoffbusse am europäischen Markt zugelassen und damit verfügbar sind. Deren betriebliche, ökologische und ökonomische Performance sollte in jedem Fall ebenfalls in die Betrachtungen eingeschlossen werden, ehe eine Entscheidung für die Elektrifizierung des ÖPNV gefällt wird.

Weiterhin wurden speziell auf Touristen zugeschnittene Angebote eines Elektromobilitätskonzepts nicht weiter betrachtet. Die Stadt Annaberg-Buchholz bildet jedoch aus touristischer Sicht einen „Hotspot“ im Erzgebirge und das nicht nur zur Weihnachtszeit. Dahingehend bieten

sich durchaus Ansatzpunkte zur Steigerung der touristischen Attraktivität in Verbindung mit der Initiierung eines Elektromobilitätskonzepts. Erste Gedanken dazu sind nachfolgend skizziert.

Eine Möglichkeit ist die Einführung einer Wegebahn. Wegebahnen sind Zugmaschinen (meist Kraftfahrzeuge) mit Anhängern, die zur (touristischen) Personenbeförderung dienen. In Sachsen gibt es momentan fünf Wegebahnen, welche regelmäßige Fahrten anbieten: den Kohrener-Land-Express, der Festungs-Express der Festung Königsstein, den Oybiner Gebirgs-Express, die Stadtbahn Stahlmax in Riesa und die Silberstadtbahn in Freiberg. Von diesen fünf Bahnen wird jedoch keine elektrisch betrieben, womit die Stadt Annaberg-Buchholz und die Region ein Alleinstellungsmerkmal vorweisen können. Ebenfalls durch ihr auffälliges Aussehen verspricht sie zusätzliche Besucher (z. B. Familien mit Kindern, ältere Besucher, etc.). Mit Hilfe von Monitoren im Innenraum können Werbeplattformen geschaffen werden, durch welche Werbeeinnahmen generiert und ebenfalls das Sharing-Angebot beworben werden kann (Crossselling).

Im Rahmen dieses Projektes soll die Wegebahn am Standort „unterer Bahnhof“ stationiert werden. Daraus ergeben sich neben den touristischen Rundfahrten weitere Nutzungsmöglichkeiten, z. B. als Shuttle zwischen Bahnhof und Markt oder zu Veranstaltungen. Zudem wären auch Sonderfahrten für Firmen, Schulen und Privatpersonen denkbar. Folgende Touren wären vorstellbar:

- Sightseeing

Bei dieser Tour werden die wichtigsten Sehenswürdigkeiten angefahren und vom Zugführer unterhaltsam kommentiert. Die Fahrt kann freitags, samstags und sonntags jeweils zweimal stattfinden, in den sächsischen Schulferien auch unter der Woche. Eine vergleichbare öffentliche Altstadtführung (zu Fuß) in Annaberg-Buchholz kostet fünf Euro pro Person¹³², wodurch für die Sightseeing-Tour mit der Wegebahn ein Preis von neun Euro vorgeschlagen wird.

- Wochenmarkt

Diese Tour verläuft quer durch Annaberg-Buchholz und findet wöchentlich jeweils viermal dienstags und donnerstags statt. Sie ist für die einheimische Bevölkerung konzipiert, welche den Wochenmarkt besucht. Pro Fahrt wird ein Ticketpreis von zwei Euro pro Person vorgeschlagen. Ein vergleichbares Konzept bietet die Stadt Riesa mit der Stadtbahn „Stahlmax“, diese bietet ein Ticket für einen Euro pro Person an.¹³³

¹³² Vgl. Große Kreisstadt Annaberg-Buchholz: Öffentliche Stadtführungen in Annaberg-Buchholz, 2021, URL: https://www.annaberg-buchholz.de/de/oeffentliche_stadtfuehrungen.php [10.09.2021].

¹³³ Vgl. Große Kreisstadt Riesa: Stadtbahn, 02.09.2021, URL: <https://www.riesa.de/deu/tourismus/sehen/stadtbahn/stadtbahn.php> [10.09.2021].

- Pöhlberg

Diese Fahrt führt vom Bahnhof über den Markt auf den Pöhlberg und wieder zurück. Genauso wie die Sightseeing-Tour kann auch diese freitags, samstags und sonntags sowie zu sächsischen Schulferien auch wochentags zweimal täglich erfolgen. Orientiert an dem „Jagdschlossexpress“ auf der Insel Rügen¹³⁴ soll der Ticketpreis mit sechs Euro vorgeschlagen werden.

Als Wegebahn ist die Elektrobahn des Herstellers Sightseeing Trains Rügen GmbH zu empfehlen. Sie wurde 2016 präsentiert, ist bereits im Einsatz, kann Steigungen von 24 % mit zwei Anhängern und je 28 Personen problemlos meistern.¹³⁵ Zudem besitzt sie eine Reichweite von bis zu 200 km. Derzeit ist sie die einzige elektrische Wegebahn, die solche Fahrleistungen vorweisen kann und somit für einen Einsatz in Annaberg-Buchholz geeignet scheint. Die Lok ist mit einer Batteriekapazität von 72,5 kWh ausgestattet, welche innerhalb von etwa vier Stunden vollständig geladen werden kann.¹³⁶ Da die Länge der Bahn mit zwei Anhängern 16,45 m beträgt und damit die zulässige Länge von 18 Metern unterschreitet, ist die Bahn gemäß §32a Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) für den Straßenverkehr zugelassen.

Eine zweite Erweiterungsmöglichkeit des Sharing-Angebots ist die Vermietung von Golfcarts. Normalerweise sind diese nur auf Golfplätzen und in Hotelanlagen zu finden, daher würden sie der Stadt ein Alleinstellungsmerkmal verschaffen. Der deutsche Markt bietet einige Hersteller von elektrischen Golfcarts. Als Referenzmodell soll das SPRINT Cart der Hansecart GmbH & Co. KG dienen. Dieses ist mit einer Antriebsleistung von 4 W, einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h und einer Reichweite von bis zu 80 km für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen. Laut Herstellerangaben kostet das SPRINT Cart SL 9.865,10 € brutto¹³⁷. Die Mietpreise für Golfcarts variieren je nach Ausstattung und Anbieter zwischen 70 und 150 € pro Tag.¹³⁸ Daran orientiert sollen sich für Annaberg-Buchholz die Ausleihgebühren auf zehn Euro pro Stunde bzw. 70 € pro Tag belaufen.

Aus den vorgestellten Überlegungen lässt sich ein Weiterentwicklungs- bzw. Weiterbetrachtungspotenzial für die vorliegende Problemstellung ableiten.

¹³⁴ Vgl. Jagdschlossexpress und Ausflugsfahrten GmbH: Jagdschloss-Express. Fahrt mit dem Jagdschlossexpress Rundfahrt, 2021, URL: <https://ruegen-bahnen.de/jagdschloss-express> [10.09.2021].

¹³⁵ Vgl. Sightseeing Trains Rügen GmbH: Loco Electric J150, 2021, URL: <https://www.sightseeing-trains.de/bahnen/elektro-bahn/> [21.07.2021].

¹³⁶ Vgl. ebenda.

¹³⁷ Vgl. Hansecart GmbH & Co. KG: Modell: SPRINT. Das leistungsstarke Cart für den Sprint zum Golf Platz im öffentlichen Straßenverkehr. URL: <https://www.hansecart.de/de/golf-carts/modell-sprint> [21.07.2021].

¹³⁸ Vgl. Maiers Maschinenhandel GmbH: Vermietung. Bedienen Sie sich der größten Mietflotte Österreichs, 2021, URL: <https://www.golfcart.at/vermietung/> [10.09.2021]., Mössler: Vermietung von Golfcarts, URL: <https://www.golfcart-strassenzulassung.de/vermietung/> [10.09.2021]., Golf Cart Handel: Vermietung, 2019, URL: <https://golfcarthandel.de/info/vermietung-leihen-leifahrzeug-mieten-golfcart-golfcar-golfcarts-golfcars.html> [10.09.2021].

Darüber hinaus wurde in Annaberg-Buchholz ein Feldversuch mit einem Luftfiltersystem gestartet, um eine nachweislich verbesserte Luftqualität zu erreichen. Hierbei wurde ein Prototyp – der Cube – in Annaberg-Buchholz aufgestellt.

Die Versuchsaufbau und das verfolgte Ziel wurden in Kapitel 2.7 dargestellt. Im Folgenden wird sich daher auf die Auswertung ausgewählter Messergebnisse insbesondere im Vergleich zu anderen Messstationen und Messzeiträumen konzentriert. Dies dient der besseren Bewertung und Einordnung der erzielten Messwerte im Rahmen der vorliegenden Studie am Standort Annaberg-Buchholz.

- Messwerte

Die unten stehende Abbildung zeigt die Entwicklung der NO_x-Belastungen an den sächsischen Messstationen im Jahresdurchschnitt der Jahre 2019 bis 2021. Dabei ist erkennbar, dass die NO_x-Belastung an allen Messstationen von 2019 zu 2020 sank. Dies ist maßgeblich auf den coronabedingten Voll-Lockdown und den damit verbundenen Verkehrsmittel- und Bewegungseinschränkungen zurück zu führen. Deutlich ist auch die Entwicklung im Jahr 2021. Die Messwerte stiegen wieder an und näherten sich dem Niveau des Vor-Corona-Jahres 2019. Dies ist insofern plausibel, da in 2021 nur Teil-Lockdowns stattfanden und dadurch insgesamt wieder ein höheres Verkehrs- und Bewegungsaufkommen zu verzeichnen war, ohne jedoch das Vor-Corona-Niveau zu erreichen. Nur eine Messstation zeigt eine deutliche Abweichung in der Entwicklung der Messwerte von 2020 zu 2021. Die Messstation in Annaberg-Buchholz weist als einzige weiter fallende Werte und damit eine niedrigere NO_x-Belastung auf, als alle anderen vergleichbaren sächsischen Messstationen.



Tabelle 64: Messstationen in Sachsen – NOx-Vergleich Städte zu Annaberg-Buchholz¹³⁹

- Die Messstation in Annaberg-Buchholz

Unter der Annahme, dass alle Messstationen vergleichbare Messbedingungen und im Vergleichszeitraum eine vergleichbare Entwicklung der NOx-Belastung im Jahresdurchschnitt aufweisen – nur standortbedingt auf einem unterschiedlichen Messniveau liegen – ist fraglich, warum die Messstation in Annaberg-Buchholz eine positivere Entwicklung nimmt und sich somit signifikant von den anderen Messstationen abhebt (vgl. unten stehende Abbildung).

Eine naheliegende und plausible Begründung ist mutmaßlich die Installation des Cube, welche am 01.12.2020 erfolgte. Der Cube reinigt die Luft von NOx-Partikeln. Dies führte zu einer Reduzierung der NOx-Belastung in der Luft und erklärt die positiven Messwerte an der Messstation in Annaberg-Buchholz im Vergleich zu den anderen sächsischen Messstationen.

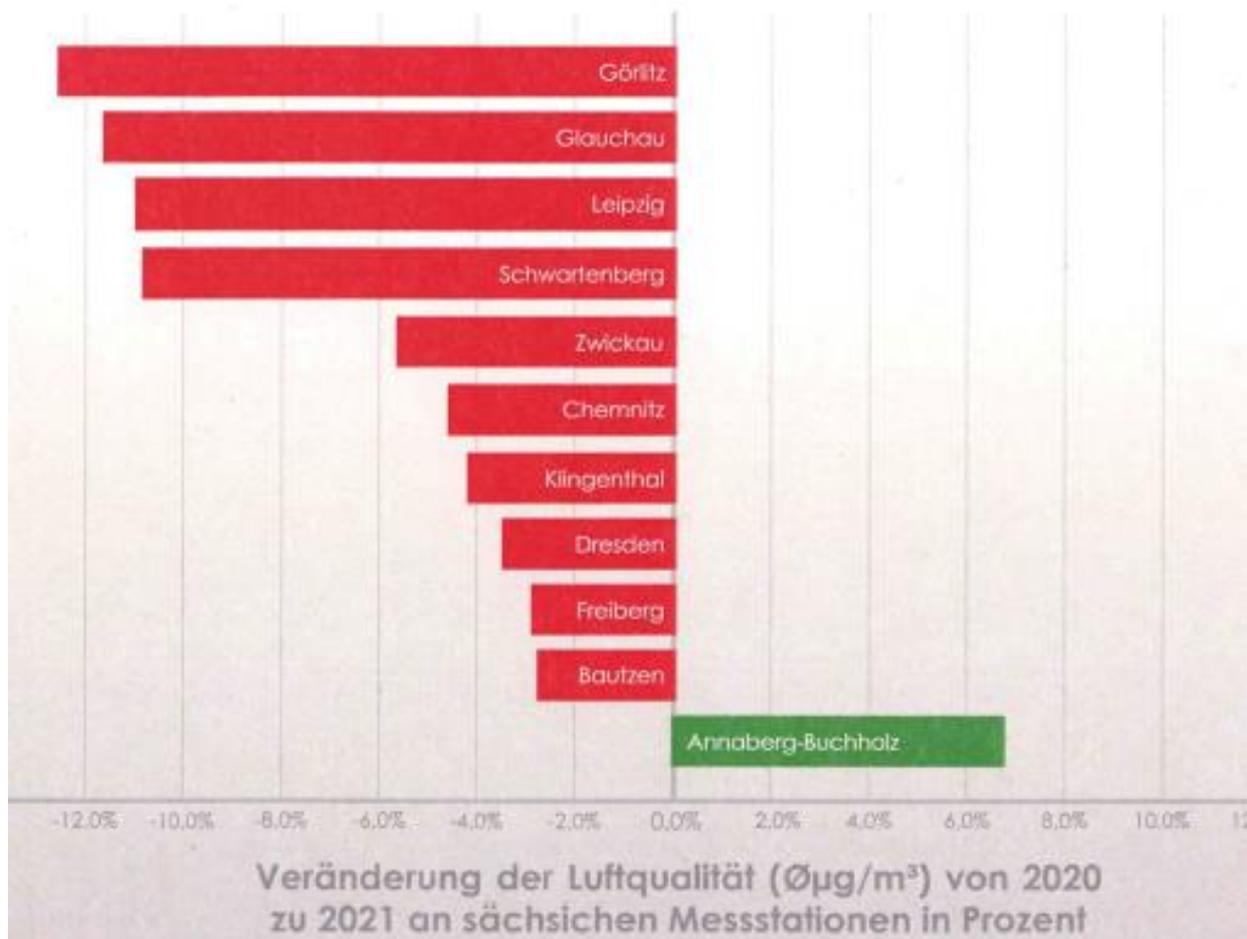


Abb. 49: Veränderung der Luftqualität von 2020 zu 2021 an sächsischen Messstationen in %¹⁴⁰

¹³⁹ Vgl. RGenau Industries, 2021, S. 6.

¹⁴⁰ Vgl. RGenau Industries, 2021, S. 7.

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Probleme der Datenbeschaffung	89
Anhang 2: Flottenaustauschprogramm „Sozial & Mobil“	90
Anhang 3: Berechnung der Differenzkapitalwerte	91
FZK1: PKW-Kleinstwagen.....	91
FZK2: PKW-Kleinwagen	93
FZK3: PKW-Mittelklasse	94
FZK4: Bus/Van	96
FZK5: Nfz-Transporter/Kasten	99
Anhang 4: ökonomische Sensitivitätsanalysen für die Elektrifizierung der Fahrzeugflotten.	104
Anhang 5: Berechnungen zur ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung der Elektrifizierung der Fahrzeugflotten	106
Anhang 6: Evaluierungsbögen der potenziellen Standorte für Ladpunkte	107
Anhang 7: Berechnung der notwendigen Anzahl an Ladepunkten je kommunaler Einheit ..	125
Benötigte Ladepunkte je kommunaler Einheit	126
Anhang 8: Auszahlungswerte für Anschaffung und Nutzung von Ladeinfrastruktur	135
Anhang 9: Kapitalwertberechnung der öffentlichen Ladeinfrastruktur	136
Optimistisches Szenario	136
Kapitalwertberechnung der neuen Ladeinfrastruktur	136
Kapitalwertberechnung der gesamten Ladeinfrastruktur.....	137
Vorsichtiges Szenario	139
Kapitalwertberechnung der neuen Ladeinfrastruktur	139
Kapitalwertberechnung der gesamten Ladeinfrastruktur.....	140
Anhang 10: Sensitivitätsanalysen zur öffentlichen Ladeinfrastruktur.....	142
Förderung	142
Optimistisches Szenario	142
Einzahlungen	144
Optimistisches Szenario	144
Vorsichtiges Szenario.....	146
Sonstige Auszahlungen	148

Optimistisches Szenario	148
Vorsichtiges Szenario.....	150
Anhang 11: Korrelation von Einwohnerzahl und verfügbaren Sharing-Fahrzeuge	152
Anhang 12: Ermittlung der Zahlungsströme für das Sharing-Angebot	153
Anhang 13: Elektrobus-Berechnungen	154

Anhang 1: Probleme der Datenbeschaffung

Es ergaben sich folgende Probleme bei der Datenbeschaffung:

- Bei drei von den vier genannten Fahrzeugkategorien des WPA wurden beim Durchschnittsalter und der durchschnittlichen Fahrzeughaltedauer der Fahrzeuge dieselben Werte angegeben. Diese sind nicht vergleichbar mit Nutzungsdauern für die entsprechenden Fahrzeuge und geben auch keine Auskunft, ob es sich bzgl. AK Angaben um Gebrauch- oder Neufahrzeuge handelt.
- Die WPA gab bei allen geleasten Fahrzeugen für die Anschaffungskosten nur eine durchschnittliche Leasingrate über alle Fahrzeuge des Fuhrparks hinweg an. Von den insgesamt fünf gekauften Fahrzeugen wurden ebenso keine Angaben bezüglich der Anschaffungskosten gemacht. Es wurde kein Hinweis gegeben, ob es sich bei der Anschaffung um Neufahrzeuge oder Gebrauchtwagen handelte. Bei Leasingfahrzeugen fehlten außerdem Angaben zu möglichen Einmalzahlungen, Zinsanteilen oder zu erwarteten Nachzahlungen bei Erfüllung der Verträge. Diese Angaben fehlten ebenfalls bei den Fahrzeugen der SWA-B.
- Bei den Betriebskosten aller Fahrzeuge des WPA und ANA konnte nicht mit Bestimmtheit angenommen werden, ob jene sich auf Kosten pro Fahrzeug oder Kosten pro Fahrzeugkategorie beziehen.
- Bei den Versicherungskosten des VW Caddys der SWA-B wurden die Versicherungskosten ungewöhnlich hoch ausgewiesen, ebenso die Wartungskosten der Fahrzeugkategorie PKW-Mittelklasse.
- Für die Nfz-Transporter/Kasten der ANA wurde keine Fahrzeugmarke für das vierte im Bestand gehaltene Fahrzeug genannt.
- Für die Nfz-Transporter/Kasten, die Spezialfahrzeuge und den Traktor der ANA, welche für Transporte, Reinigungs- und Winterdienste genutzt werden, wurden keine separaten Kostenausweise der benötigten Umrüstungen ausgewiesen.
- Für den Traktor der ANA wurde keine genauere Typbezeichnung angegeben.

Anhang 2: Flottenaustauschprogramm „Sozial & Mobil“

Das Flottenaustauschprogramm „Sozial & Mobil“ ist Bestandteil des „Konjunktur- und Zukunftspaket(es) zur Bewältigung der Folgen der Corona-Krise“¹⁴¹, welches von der Bundesregierung beschlossen wurde. Förderfähig sind dabei die Mehrkosten für die Neubeschaffung von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu einem Auto mit Verbrennungsmotor sowie der Aufbau einer Ladeinfrastruktur, allerdings nur für Akteure des Gesundheits- und Sozialwesens¹⁴². Von den betrachteten kommunalen Einheiten kommt dieses Programm somit nur für die WBA in Frage.

Die erste Förderungsmöglichkeit besteht in Form einer Festbetragsfinanzierung über die De-minimis-Beihilfe. Voraussetzung hierfür ist, dass im laufenden und den beiden vorangegangenen Kalenderjahren keine Beihilfen von mehr als 200.000 Euro in Anspruch genommen wurden. Auf diese Weise kann die Beschaffung von Elektrofahrzeugen und deren Ladeinfrastruktur mit einem Pauschalbetrag von 10.000 Euro pro Elektrofahrzeug, 1.500 Euro pro Wallbox (AC, bis 22 kW) und 2.500 Euro pro Ladesäule (AC, bis 22 kW) gefördert werden. Dabei ist pro Fahrzeug eine Wallbox bzw. Ladesäule förderfähig. Eine Kumulierung mit dem Umweltbonus ist möglich, indem der Bundesanteil des Umweltbonus von dem Pauschalbetrag abgezogen wird¹⁴³.

Wenn eine De-minimis-Förderung nicht möglich ist, kann eine Finanzierung auf Grundlage der Allgemeinen Gruppenfreistellungsverordnung erfolgen. Dies kann über eine Investitionsmehrkostenpauschale oder über individuelle Mehrkosten erfolgen. Je nach Unternehmensgröße sind so 40 – 60 % der Mehrkosten förderfähig. Zu beachten ist, dass auf diese Weise keine Ladeinfrastruktur gefördert wird, allerdings ist diesbezüglich eine Kombination mit anderen Förderprogrammen möglich. Auch die zweite Finanzierungsmöglichkeit ist mit dem Umweltbonus kombinierbar.

Der Förderzeitraum startete am 01. November 2020 und soll bis Ende 2022 laufen. Das bereitgestellte Fördervolumen beträgt 200 Millionen Euro. Der Förderantrag kann über die Webseite des Bundesumweltministerium gestellt werden. Die Stichtage für die Anträge sind der 01.03.2021 sowie der 01.03.2022¹⁴⁴.

¹⁴¹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Informationen zum Flottenaustauschprogramm Sozial & Mobil, 02.11.2020, URL: <https://www.bmu.de/download/informationen-zum-flottenaustauschprogramm-sozial-mobil/> [10.02.2021].

¹⁴² Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Sozial & Mobil. Das Flottenaustauschprogramm des Bundesumweltministeriums zur Unterstützung der sozialen Dienste, 02.11.2020, URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/sozial_mobil_bf.pdf [10.02.2021]

¹⁴³ Vgl. Flottenaustauschprogramm Sozial & Mobil. Frequently Asked Questions, URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/sozial_mobil_faq_bf.pdf [10.02.2021], S. 7 f.

¹⁴⁴ Vgl. ebenda, S. 8.

Anhang 3: Berechnung der Differenzkapitalwerte

FZK1: PKW-Kleinstwagen

WPA	PKW-Kleinstwagen VW e-up!	0	1	2	3	4	5	6
	Anschaffungskosten	15.421,00 €						
	Betriebskosten							
	Kraftstoffverbrauch pro Jahr		1.676,4					
	Kraftstoff-/Stromkosten		385,57 €	393,28 €	401,15 €	409,17 €	417,36 €	425,70 €
	Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €
	Wartungskosten		531,73 €	542,37 €	553,22 €	564,28 €	575,57 €	587,08 €
	Liquidationserlös							9.038,68 €
	Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 15.421,00 €	- 917,31 €	- 935,65 €	- 954,37 €	- 973,45 €	- 992,92 €	8.025,90 €
	VW Up							
	Anschaffungskosten	13.375,00 €						
	Betriebskosten							
	Kraftstoffkosten		1.446,50 €	1.475,43 €	1.504,94 €	1.535,04 €	1.565,74 €	1.597,05 €
	Kfz-Steuer		46,74 €	47,67 €	48,63 €	49,60 €	50,59 €	51,60 €
	Wartungskosten		818,05 €	834,41 €	851,10 €	868,12 €	885,49 €	903,20 €
	Liquidationserlös							5.643,64 €
	Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 13.375,00 €	- 2.311,29 €	- 2.357,52 €	- 2.404,67 €	- 2.452,76 €	- 2.501,81 €	3.091,79 €
	Differenzzahlungsreihe	- 2.046,00 €	1.393,98 €	1.421,86 €	1.450,30 €	1.479,31 €	1.508,89 €	4.934,11 €
	Kapitalwert	9.888,02 €						
	Zahlungsreihe abgezinst	- 2.046,00 €	1.387,05 €	1.407,75 €	1.428,76 €	1.450,09 €	1.471,73 €	4.788,65 €
	kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	- 2.046,00 €	- 658,95 €	748,80 €	2.177,56 €	3.627,65 €	5.099,38 €	9.888,02 €

Tabelle 26: Kapitalwertberechnung VW e-up! und VW Up (WPA)

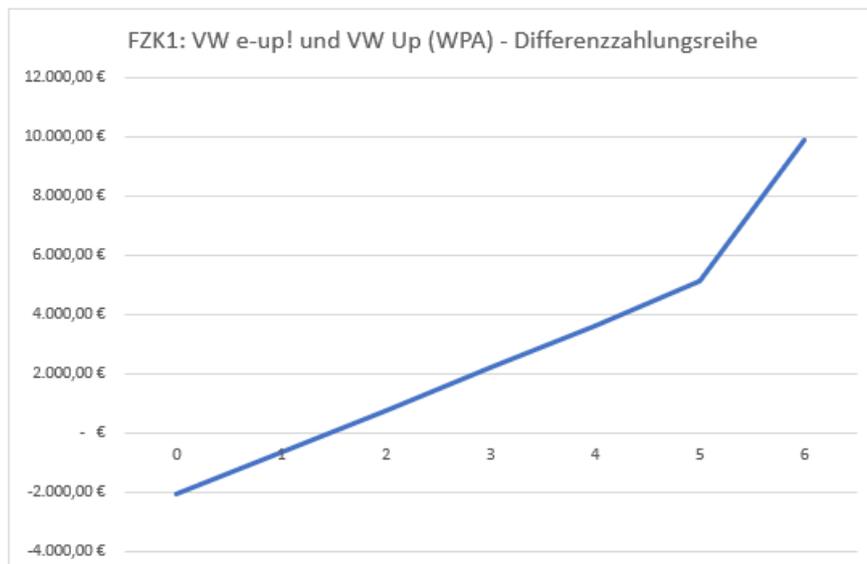


Abbildung 29: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe VW e-up! und VW Up (WPA)

SWA

	0	1	2	3	4	5	6
VW e-up!							
Anschaffungskosten	15.421,00 €						
Betriebskosten							
Kraftstoffverbrauch pro Jahr		2.095,5					
Kraftstoff-/Stromkosten		481,97 €	491,60 €	501,44 €	511,47 €	521,69 €	532,13 €
Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €
Wartungskosten		227,50 €	232,05 €	236,69 €	241,42 €	246,25 €	251,18 €
Liquidationserlös							9.038,68 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 15.421,00 €	- 709,47 €	- 723,65 €	- 738,13 €	- 752,89 €	- 767,95 €	8.255,38 €
VW Up							
Anschaffungskosten	13.375,00 €						
Betriebskosten							
Kraftstoffkosten		1.300,00 €	1.326,00 €	1.352,52 €	1.379,57 €	1.407,16 €	1.435,31 €
Kfz-Steuer		81,00 €	82,62 €	84,27 €	85,96 €	87,68 €	89,43 €
Wartungskosten		350,00 €	357,00 €	364,14 €	371,42 €	378,85 €	386,43 €
Liquidationserlös							5.643,64 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 13.375,00 €	- 1.731,00 €	- 1.765,62 €	- 1.800,93 €	- 1.836,95 €	- 1.873,69 €	3.732,48 €
Differenzzahlungsreihe	- 2.046,00 €	1.021,54 €	1.041,97 €	1.062,81 €	1.084,06 €	1.105,74 €	4.522,90 €
Kapitalwert	7.579,81 €						
Zahlungsreihe abgezinst	- 2.046,00 €	1.016,45 €	1.031,62 €	1.047,02 €	1.062,65 €	1.078,51 €	4.389,56 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	- 2.046,00 €	- 1.029,55 €	2,08 €	1.049,10 €	2.111,75 €	3.190,25 €	7.579,81 €

Tabelle 27: Kapitalwertberechnung VW e-up! und VW Up (SWA)

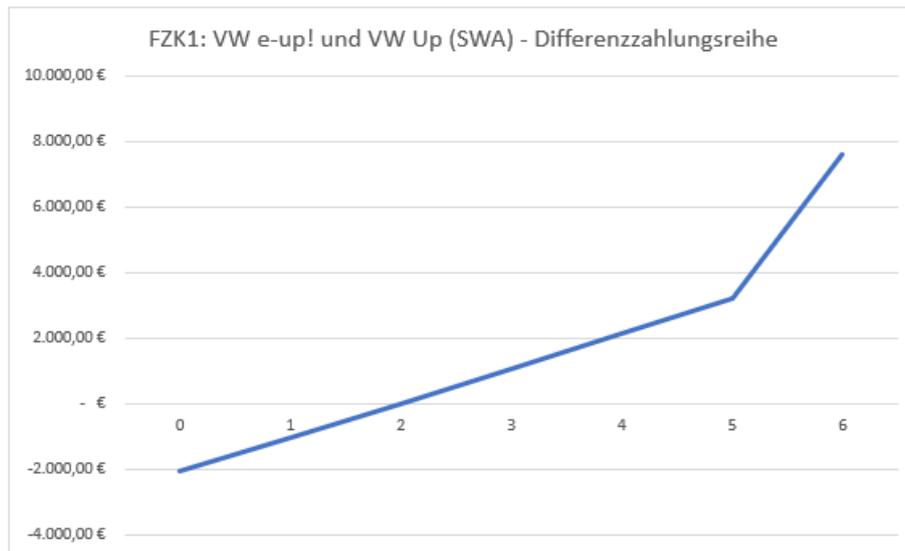


Abbildung 30: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe VW e-up! und VW Up (SWA)

FZK2: PKW-Kleinwagen

SWA-B	PKW-Kleinwagen	0	1	2	3	4	5	6
	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh)							
	Anschaffungskosten	23.990,00 €						
	Betriebskosten							
	Kraftstoffverbrauch pro Jahr		1.750,1					
	Kraftstoff-/Stromkosten		402,52 €	410,57 €	418,78 €	427,16 €	435,70 €	444,42 €
	Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €
	Wartungskosten		96,55 €	98,48 €	100,45 €	102,46 €	104,51 €	106,60 €
	Liquidationserlös							12.654,41 €
	Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 23.990,00 €	- 499,07 €	- 509,06 €	- 519,24 €	- 529,62 €	- 540,21 €	12.103,39 €
	VW Polo Comfortline							
	Anschaffungskosten	18.410,00 €						
	Betriebskosten							
	Kraftstoffkosten		610,94 €	623,16 €	635,62 €	648,33 €	661,30 €	674,53 €
	Kfz-Steuer		194,00 €	197,88 €	201,84 €	205,87 €	209,99 €	214,19 €
	Wartungskosten		148,54 €	151,51 €	154,54 €	157,63 €	160,78 €	164,00 €
	Liquidationserlös							7.768,18 €
	Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 18.410,00 €	- 953,48 €	- 972,55 €	- 992,00 €	- 1.011,84 €	- 1.032,08 €	6.715,46 €
	Differenzzahlungsreihe	- 5.580,00 €	454,41 €	463,49 €	472,76 €	482,22 €	491,86 €	5.387,93 €
	Kapitalwert	1.978,31 €						
	Zahlungsreihe abgezinst	- 5.580,00 €	452,15 €	458,89 €	465,74 €	472,69 €	479,75 €	5.229,09 €
	kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	- 5.580,00 €	- 5.127,85 €	- 4.668,96 €	- 4.203,22 €	- 3.730,52 €	- 3.250,77 €	1.978,31 €

Tabelle 28: Kapitalwertberechnung Renault Zoe Life R110 Z.E. und VW Polo Comfortline (SWA-B)

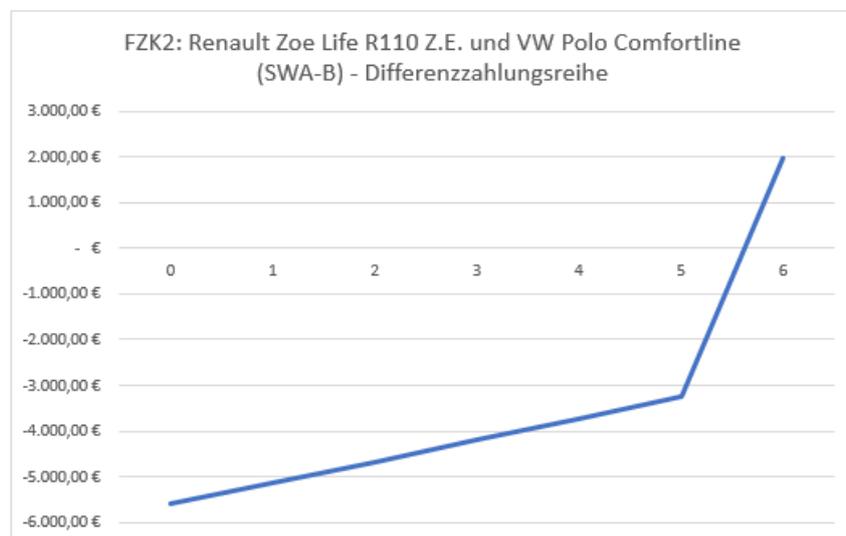


Abbildung 31: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Zoe Life R110 Z.E. und VW Polo Comfortline (SWA-B)

FZK3: PKW-Mittelklasse

SWA	PKW-Mittelklasse Opel Mokka-E (100kW Motor)						
	0	1	2	3	4	5	6
Anschaffungskosten	28.110,00 €						
Betriebskosten							
Kraftstoffverbrauch pro Jahr		4.950,0					
Kraftstoff-/Stromkosten		1.138,50 €	1.161,27 €	1.184,50 €	1.208,19 €	1.232,35 €	1.257,00 €
Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €
Wartungskosten		260,00 €	265,20 €	270,50 €	275,91 €	281,43 €	287,06 €
Liquidationserlös							14.392,86 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 28.110,00 €	- 1.398,50 €	- 1.426,47 €	- 1.455,00 €	- 1.484,10 €	- 1.513,78 €	12.848,80 €
	0	1	2	3	4	5	6
Anschaffungskosten	32.370,00 €						
Betriebskosten							
Kraftstoffkosten		2.300,00 €	2.346,00 €	2.392,92 €	2.440,78 €	2.489,59 €	2.539,39 €
Kfz-Steuer		380,00 €	387,60 €	395,35 €	403,26 €	411,32 €	419,55 €
Wartungskosten		400,00 €	408,00 €	416,16 €	424,48 €	432,97 €	441,63 €
Liquidationserlös							13.658,66 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 32.370,00 €	- 3.080,00 €	- 3.141,60 €	- 3.204,43 €	- 3.268,52 €	- 3.333,89 €	10.258,09 €
Differenzzahlungsreihe	4.260,00 €	1.681,50 €	1.715,13 €	1.749,43 €	1.784,42 €	1.820,11 €	2.590,71 €
Kapitalwert	15.393,48 €						
Zahlungsreihe abgezinst	4.260,00 €	1.673,13 €	1.698,11 €	1.723,45 €	1.749,17 €	1.775,28 €	2.514,33 €
kumulierte abgezinsten Zahlungsreihe	4.260,00 €	5.933,13 €	7.631,24 €	9.354,69 €	11.103,87 €	12.879,15 €	15.393,48 €

Tabelle 29: Kapitalwertberechnung Opel Mokka-E und Skoda Kodiaq (SWA)

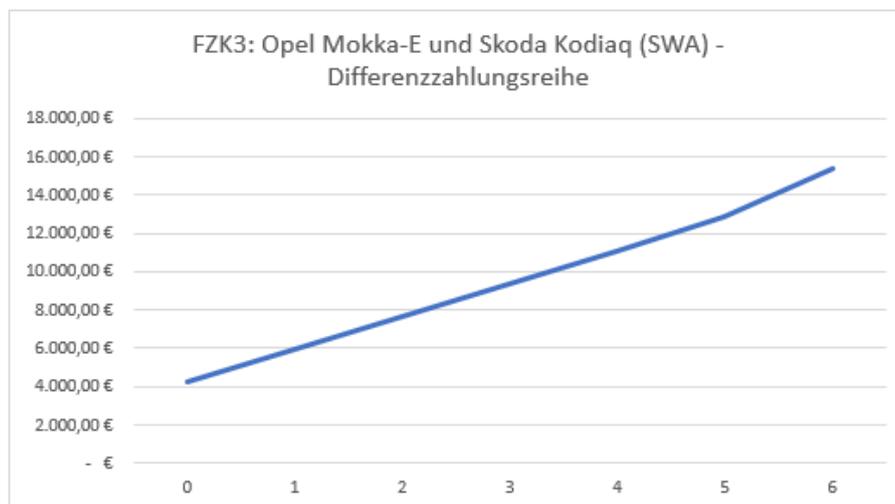


Abbildung 32: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Opel Mokka-E und Skoda Kodiaq (SWA)

SWA-B		PKW-Mittelklasse VW ID.3 Pure							
	Nutzungsperiode	0	1	2	3	4	5	6	
Anschaffungsauszahlungen		21.925,00 €							
Betriebsauszahlungen									
Kraftstoffverbrauch pro Jahr			3.225,8						
Auszahlungen für Strom			741,92 €	756,76 €	771,90 €	787,33 €	803,08 €	819,14 €	
Kfz-Steuer			- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Wartungsauszahlungen			2.312,55 €	2.358,80 €	2.405,98 €	2.454,10 €	2.503,18 €	2.553,24 €	
Liquidationserlös									11.783,07 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro		- 21.925,00 €	- 3.054,47 €	- 3.115,56 €	- 3.177,87 €	- 3.241,43 €	- 3.306,26 €	- 3.371,09 €	8.410,69 €
VW Golf									
	Nutzungsperiode	0	1	2	3	4	5	6	
Anschaffungsauszahlung		21.280,00 €							
Betriebsauszahlungen									
Auszahlungen für Kraftstoff			1.580,68 €	1.612,29 €	1.644,54 €	1.677,43 €	1.710,98 €	1.745,20 €	
Kfz-Steuer			194,00 €	197,88 €	201,84 €	205,87 €	209,99 €	214,19 €	
Wartungsauszahlungen			3.557,77 €	3.628,93 €	3.701,50 €	3.775,53 €	3.851,04 €	3.928,07 €	
Liquidationserlös									8.979,19 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner		- 21.280,00 €	- 5.332,45 €	- 5.439,10 €	- 5.547,88 €	- 5.658,84 €	- 5.772,02 €	- 5.886,59 €	3.091,73 €
Differenzzahlungsreihe		- 645,00 €	2.277,98 €	2.323,54 €	2.370,01 €	2.417,41 €	2.465,76 €	2.514,15 €	5.318,96 €
Kapitalwert		16.193,76 €							
Zahlungsreihe abgezinst		- 645,00 €	2.266,64 €	2.300,47 €	2.334,81 €	2.369,66 €	2.405,03 €	2.440,94 €	5.162,14 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe		- 645,00 €	1.621,64 €	3.922,12 €	6.256,93 €	8.626,59 €	11.031,61 €	13.472,55 €	16.193,76 €

Tabelle 30: Kapitalwertberechnung VW ID.3 Pure und VW Golf (SWA-B)

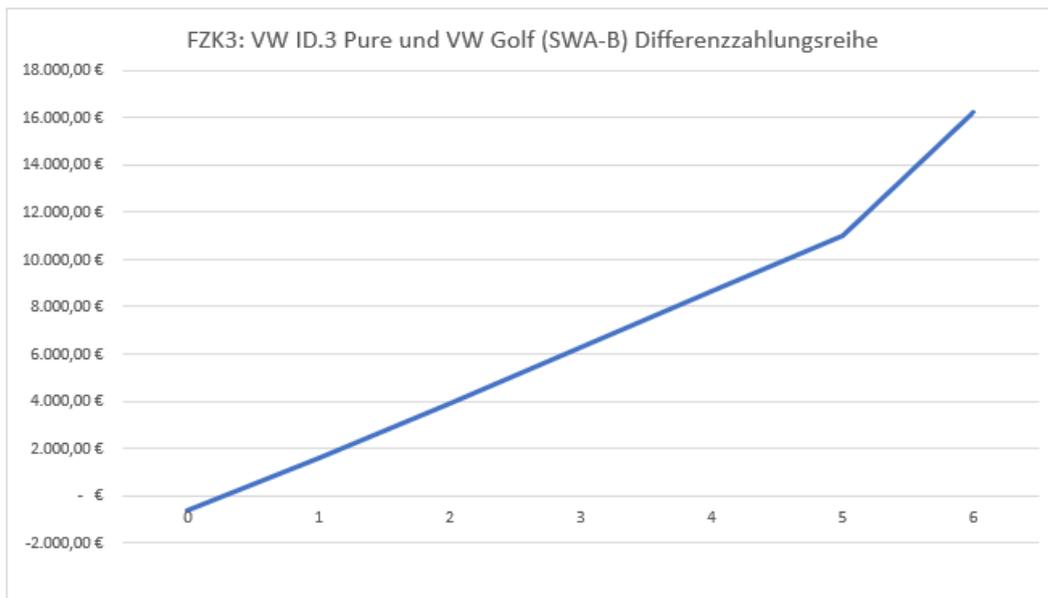


Abbildung 33: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe VW ID.3 Pure und VW Golf (SWA-B)

FZK4: Bus/Van

ANA	Bus/Van	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzler												
	Anschaffungskosten	31.984,80 €											
	Betriebskosten												
	Kraftstoffverbrauch pro Jahr		1.216,9										
	Kraftstoff-/Stromkosten		279,88 €	285,48 €	291,19 €	297,01 €	302,95 €	309,01 €	315,19 €	321,50 €	327,93 €	334,48 €	341,17 €
	Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
	Wartungskosten		396,50 €	404,43 €	412,52 €	420,77 €	429,18 €	437,77 €	446,52 €	455,45 €	464,56 €	473,85 €	483,33 €
	Liquidationserlös												12.079,09 €
	Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 31.984,80 €	- 676,38 €	- 689,91 €	- 703,71 €	- 717,78 €	- 732,14 €	- 746,78 €	- 761,72 €	- 776,95 €	- 792,49 €	- 808,34 €	11.136,35 €
	Fiat Doblo												
	Anschaffungskosten	25.590,00 €											
	Betriebskosten												
	Kraftstoffkosten		1.050,00 €	1.071,00 €	1.092,42 €	1.114,27 €	1.136,55 €	1.159,28 €	1.182,47 €	1.206,12 €	1.230,24 €	1.254,85 €	1.279,94 €
	Kfz-Steuer		194,00 €	197,88 €	201,84 €	205,87 €	209,99 €	214,19 €	218,48 €	222,85 €	227,30 €	231,85 €	236,48 €
	Wartungskosten		610,00 €	622,20 €	634,64 €	647,34 €	660,28 €	673,49 €	686,96 €	700,70 €	714,71 €	729,01 €	743,59 €
	Liquidationserlös												8.137,57 €
	Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 25.590,00 €	- 1.854,00 €	- 1.891,08 €	- 1.928,90 €	- 1.967,48 €	- 2.006,83 €	- 2.046,97 €	- 2.087,91 €	- 2.129,66 €	- 2.172,26 €	- 2.215,70 €	5.877,55 €
	Differenzzahlungsreihe	- 6.394,80 €	1.177,62 €	1.201,17 €	1.225,19 €	1.249,70 €	1.274,69 €	1.300,19 €	1.326,19 €	1.352,71 €	1.379,77 €	1.407,36 €	5.258,79 €
	Kapitalwert	11.120,01 €											
	Zahlungsreihe abgezinst	- 6.394,80 €	1.171,76 €	1.189,25 €	1.207,00 €	1.225,01 €	1.243,30 €	1.261,85 €	1.280,69 €	1.299,80 €	1.319,20 €	1.338,89 €	4.978,05 €
	kumulierte abgezinst Zahlungsreihe	- 6.394,80 €	- 5.223,04 €	- 4.033,79 €	- 2.826,79 €	- 1.601,78 €	- 358,48 €	903,37 €	2.184,06 €	3.483,86 €	4.803,07 €	6.141,96 €	11.120,01 €

Tabelle 31: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und Fiat Doblo (ANA)

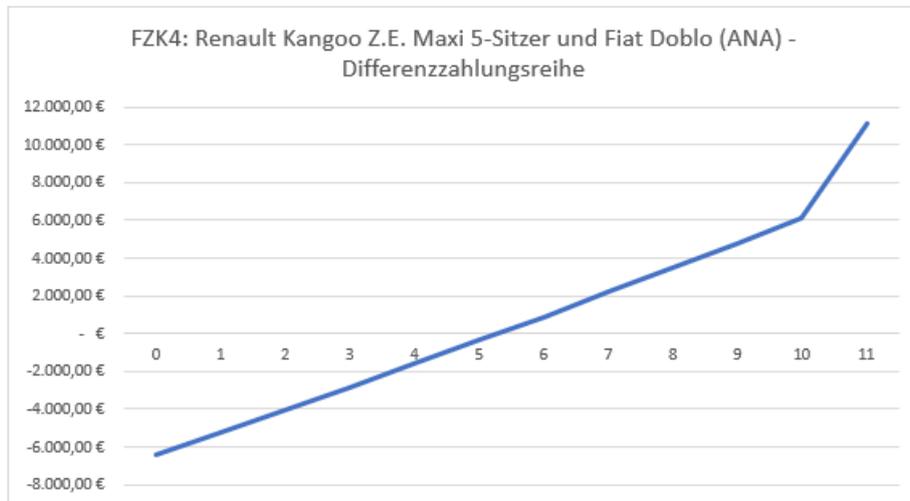


Abbildung 34: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und Fiat Doblo (ANA)

WPA		Bus/Van											
Peugeot e-Expert Kombi L2 (50 kWh Batterie)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anschaffungskosten		44.640,00 €											
Betriebskosten													
Kraftstoffverbrauch pro Jahr			7.177,5										
Kraftstoff-/Stromkosten		1.650,83 €	1.683,84 €	1.717,52 €	1.751,87 €	1.786,91 €	1.822,64 €	1.859,10 €	1.896,28 €	1.934,20 €	1.972,89 €	2.012,35 €	2.052,35 €
Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Wartungskosten		828,43 €	844,99 €	861,89 €	879,13 €	896,71 €	914,65 €	932,94 €	951,60 €	970,63 €	990,04 €	1.009,85 €	1.029,99 €
Liquidationserlös													15.785,42 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro		- 44.640,00 €	- 2.479,25 €	- 2.528,84 €	- 2.579,41 €	- 2.631,00 €	- 2.683,62 €	- 2.737,29 €	- 2.792,04 €	- 2.847,88 €	- 2.904,84 €	- 2.962,93 €	12.579,77 €
VW Transporter Kastenwagen		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anschaffungskosten		38.826,13 €											
Betriebskosten													
Kraftstoffkosten			2.606,25 €	2.658,38 €	2.711,54 €	2.765,77 €	2.821,09 €	2.877,51 €	2.935,06 €	2.993,76 €	3.053,64 €	3.114,71 €	3.177,00 €
Kfz-Steuer		301,00 €	307,02 €	313,16 €	319,42 €	325,81 €	332,33 €	338,97 €	345,75 €	352,67 €	359,72 €	366,92 €	374,27 €
Wartungskosten		1.274,50 €	1.299,99 €	1.325,99 €	1.352,51 €	1.379,56 €	1.407,15 €	1.435,29 €	1.464,00 €	1.493,28 €	1.523,15 €	1.553,61 €	1.584,75 €
Liquidationserlös													12.346,63 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner		- 38.826,13 €	- 4.181,75 €	- 4.265,39 €	- 4.350,69 €	- 4.437,71 €	- 4.526,46 €	- 4.616,99 €	- 4.709,33 €	- 4.803,52 €	- 4.899,59 €	- 4.997,58 €	7.249,10 €
Differenzzahlungsreihe		- 5.813,87 €	1.702,50 €	1.736,55 €	1.771,28 €	1.806,71 €	1.842,84 €	1.879,70 €	1.917,29 €	1.955,64 €	1.994,75 €	2.034,65 €	5.330,67 €
Kapitalwert		17.356,79 €											
Zahlungsreihe abgezinst		- 5.813,87 €	1.694,03 €	1.719,31 €	1.744,98 €	1.771,02 €	1.797,45 €	1.824,28 €	1.851,51 €	1.879,14 €	1.907,19 €	1.935,66 €	5.046,09 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe		- 5.813,87 €	- 4.119,84 €	- 2.400,53 €	- 655,55 €	1.115,47 €	2.912,92 €	4.737,20 €	6.588,71 €	8.467,85 €	10.375,04 €	12.310,70 €	17.356,79 €

Tabelle 32: Kapitalwertberechnung Peugeot e-Expert Kombi L2 und VW Transporter Kastenwagen

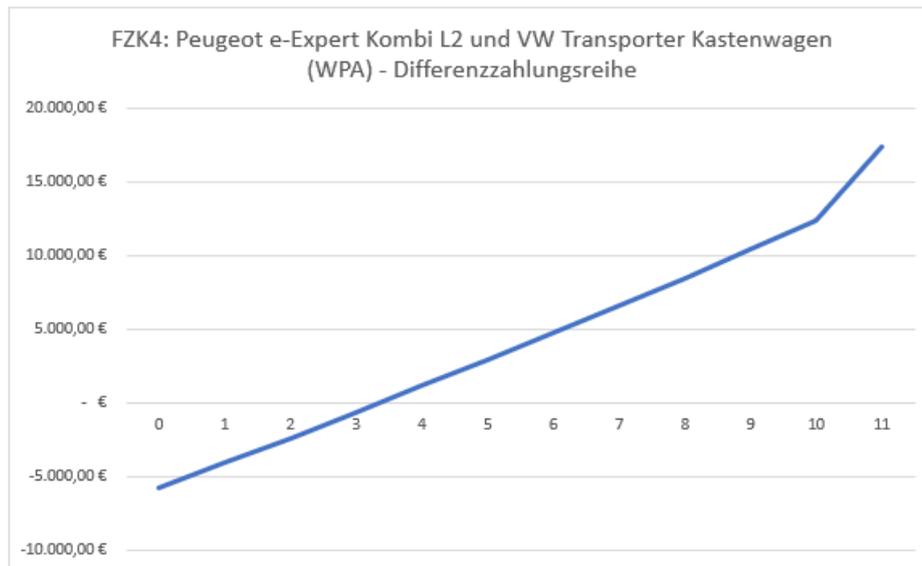


Abbildung 35: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Peugeot e-Expert Kombi L2 und VW Transporter Kastenwagen (WPA)

WPA		Bus/Van Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzer											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Anschaffungskosten	31.984,80 €												
Betriebskosten													
Kraftstoffverbrauch pro Jahr		486,8											
Kraftstoff-/Stromkosten		111,95 €	114,19 €	116,48 €	118,80 €	121,18 €	123,60 €	126,08 €	128,60 €	131,17 €	133,79 €	136,47 €	
Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Wartungskosten		193,05 €	196,91 €	200,85 €	204,87 €	208,96 €	213,14 €	217,41 €	221,75 €	226,19 €	230,71 €	235,33 €	
Liquidationserlös												12.079,09 €	
Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 31.984,80 €	- 305,00 €	- 311,10 €	- 317,32 €	- 323,67 €	- 330,14 €	- 336,75 €	- 343,48 €	- 350,35 €	- 357,36 €	- 364,51 €	- 501,42 €	
VW Caddy													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Anschaffungskosten	26.894,00 €												
Betriebskosten													
Kraftstoffkosten		1.020,67 €	1.041,08 €	1.061,90 €	1.083,14 €	1.104,80 €	1.126,90 €	1.149,44 €	1.172,43 €	1.195,87 €	1.219,79 €	1.244,19 €	
Kfz-Steuer		212,67 €	216,92 €	221,26 €	225,68 €	230,20 €	234,80 €	239,50 €	244,29 €	249,17 €	254,16 €	259,24 €	
Wartungskosten		297,00 €	302,94 €	309,00 €	315,18 €	321,48 €	327,91 €	334,47 €	341,16 €	347,98 €	354,94 €	362,04 €	
Liquidationserlös												8.552,24 €	
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 26.894,00 €	- 1.530,33 €	- 1.560,94 €	- 1.592,16 €	- 1.624,00 €	- 1.656,48 €	- 1.689,61 €	- 1.723,40 €	- 1.757,87 €	- 1.793,03 €	- 1.828,89 €	- 1.865,47 €	
Differenzzahlungsreihe	- 5.090,80 €	1.225,33 €	1.249,84 €	1.274,83 €	1.300,33 €	1.326,34 €	1.352,86 €	1.379,92 €	1.407,52 €	1.435,67 €	1.464,38 €	1.364,05 €	
Kapitalwert	9.245,13 €												
Zahlungsreihe abgezinst	- 5.090,80 €	1.219,23 €	1.237,43 €	1.255,90 €	1.274,65 €	1.293,67 €	1.312,98 €	1.332,58 €	1.352,47 €	1.372,65 €	1.393,14 €	1.291,23 €	
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	- 5.090,80 €	- 3.871,57 €	- 2.634,13 €	- 1.378,23 €	- 103,59 €	1.190,09 €	2.503,06 €	3.835,64 €	5.188,11 €	6.560,76 €	7.953,89 €	9.245,13 €	

Tabelle 33: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und VW Caddy (WPA)

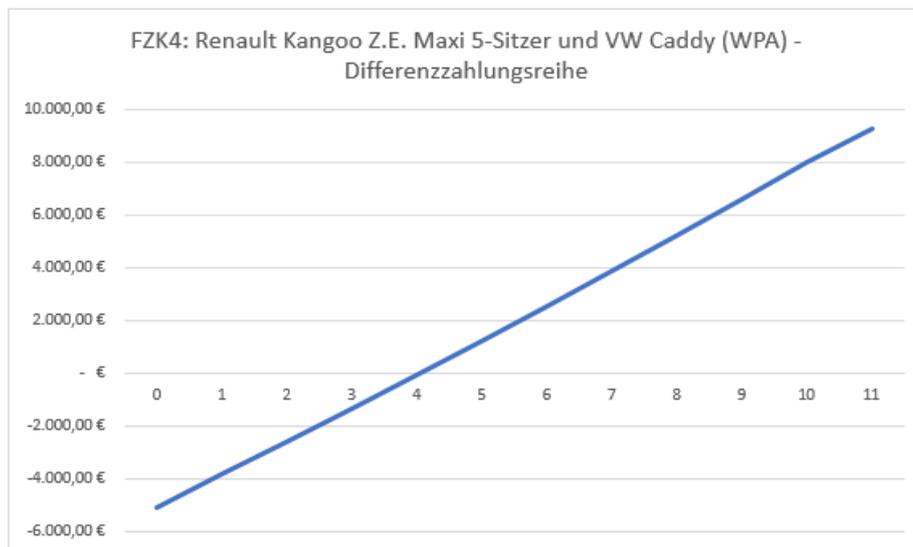


Abbildung 36: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. Maxi 5-Sitzer und VW Caddy (WPA)

FZK5: Nfz-Transporter/Kasten

ANA	Nfz-Transporter/Kasten Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anschaffungskosten	29.604,80 €												
Betriebskosten													
Kraftstoffverbrauch pro Jahr		1.216,9											
Kraftstoff-/Stromkosten		279,88 €	285,48 €	291,19 €	297,01 €	302,95 €	309,01 €	315,19 €	321,50 €	327,93 €	334,48 €	341,17 €	348,00 €
Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	118,24 €	120,61 €
Wartungskosten		396,50 €	404,43 €	412,52 €	420,77 €	429,18 €	437,77 €	446,52 €	455,45 €	464,56 €	473,85 €	483,33 €	493,00 €
Liquidationserlös													10.699,53 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 29.604,80 €	- 676,38 €	- 689,91 €	- 703,71 €	- 717,78 €	- 732,14 €	- 746,78 €	- 761,72 €	- 776,95 €	- 792,49 €	- 808,34 €	- 942,75 €	9.737,93 €
VW Caddy Cargo													
Anschaffungskosten	22.699,25 €												
Betriebskosten													
Kraftstoffkosten		1.050,00 €	1.071,00 €	1.092,42 €	1.114,27 €	1.136,55 €	1.159,28 €	1.182,47 €	1.206,12 €	1.230,24 €	1.254,85 €	1.279,94 €	1.305,54 €
Kfz-Steuer		194,00 €	197,88 €	201,84 €	205,87 €	209,99 €	214,19 €	218,48 €	222,85 €	227,30 €	231,85 €	236,48 €	241,21 €
Wartungskosten		610,00 €	622,20 €	634,64 €	647,34 €	660,28 €	673,49 €	686,96 €	700,70 €	714,71 €	729,01 €	743,59 €	758,46 €
Liquidationserlös													6.821,31 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 22.699,25 €	- 1.854,00 €	- 1.891,08 €	- 1.928,90 €	- 1.967,48 €	- 2.006,83 €	- 2.046,97 €	- 2.087,91 €	- 2.129,66 €	- 2.172,26 €	- 2.215,70 €	- 2.260,02 €	4.516,09 €
Differenzzahlungsreihe	- 6.905,55 €	1.177,62 €	1.201,17 €	1.225,19 €	1.249,70 €	1.274,69 €	1.300,19 €	1.326,19 €	1.352,71 €	1.379,77 €	1.407,36 €	1.317,27 €	5.221,84 €
Kapitalwert	11.796,63 €												
Zahlungsreihe abgezinst	- 6.905,55 €	1.171,76 €	1.189,25 €	1.207,00 €	1.225,01 €	1.243,30 €	1.261,85 €	1.280,69 €	1.299,80 €	1.319,20 €	1.338,89 €	1.246,95 €	4.918,48 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	- 6.905,55 €	- 5.733,79 €	- 4.544,54 €	- 3.337,54 €	- 2.112,53 €	- 869,23 €	392,62 €	1.673,31 €	2.973,11 €	4.292,32 €	5.631,21 €	6.878,15 €	11.796,63 €

Tabelle 34: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy Cargo (ANA)

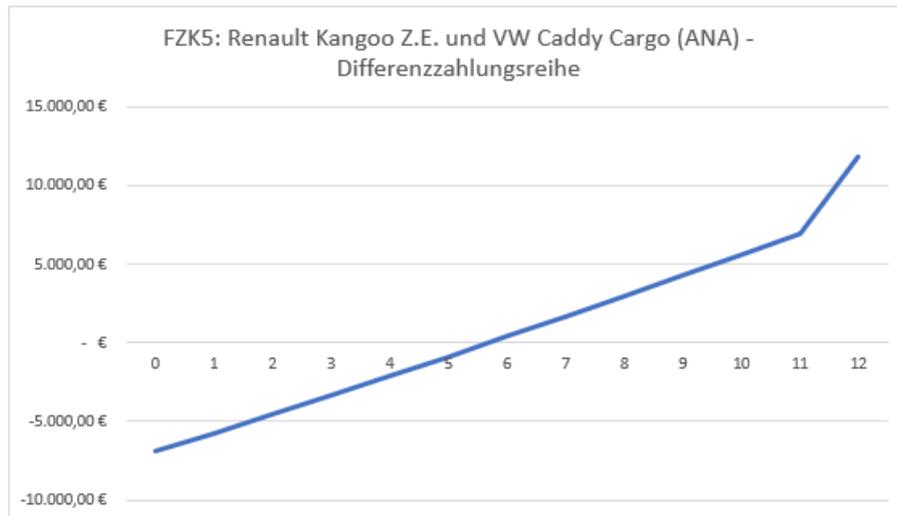


Abbildung 37: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy Cargo (ANA)

WPA	Nfz-Transporter/Kasten Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anschaffungskosten	29.604,80 €												
Betriebskosten													
Kraftstoffverbrauch pro Jahr		2.920,5											
Kraftstoff-/Stromkosten		671,72 €	685,15 €	698,85 €	712,83 €	727,09 €	741,63 €	756,46 €	771,59 €	787,02 €	802,76 €	818,82 €	835,19 €
Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	183,46 €	187,13 €
Wartungskosten		828,43 €	844,99 €	861,89 €	879,13 €	896,71 €	914,65 €	932,94 €	951,60 €	970,63 €	990,04 €	1.009,85 €	1.030,04 €
Liquidationserlös													10.699,53 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 29.604,80 €	- 1.500,14 €	- 1.530,14 €	- 1.560,75 €	- 1.591,96 €	- 1.623,80 €	- 1.656,28 €	- 1.689,40 €	- 1.723,19 €	- 1.757,65 €	- 1.792,81 €	- 2.012,12 €	8.647,17 €
VW Transporter Kastenwagen													
Anschaffungskosten	33.308,10 €												
Betriebskosten													
Kraftstoffkosten		2.606,25 €	2.658,38 €	2.711,54 €	2.765,77 €	2.821,09 €	2.877,51 €	2.935,06 €	2.993,76 €	3.053,64 €	3.114,71 €	3.177,00 €	3.240,54 €
Kfz-Steuer		301,00 €	307,02 €	313,16 €	319,42 €	325,81 €	332,33 €	338,97 €	345,75 €	352,67 €	359,72 €	366,92 €	374,26 €
Wartungskosten		1.274,50 €	1.299,99 €	1.325,99 €	1.352,51 €	1.379,56 €	1.407,15 €	1.435,29 €	1.464,00 €	1.493,28 €	1.523,15 €	1.553,61 €	1.584,68 €
Liquidationserlös													10.009,36 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 33.308,10 €	- 4.181,75 €	- 4.265,39 €	- 4.350,69 €	- 4.437,71 €	- 4.526,46 €	- 4.616,99 €	- 4.709,33 €	- 4.803,52 €	- 4.899,59 €	- 4.997,58 €	- 5.097,53 €	4.809,88 €
Differenzzahlungsreihe	3.703,30 €	2.681,61 €	2.735,24 €	2.789,95 €	2.845,75 €	2.902,66 €	2.960,71 €	3.019,93 €	3.080,33 €	3.141,93 €	3.204,77 €	3.085,41 €	3.837,29 €
Kapitalwert	38.786,39 €												
Zahlungsreihe abgezinst	3.703,30 €	2.668,27 €	2.708,09 €	2.748,51 €	2.789,54 €	2.831,17 €	2.873,43 €	2.916,31 €	2.959,84 €	3.004,02 €	3.048,85 €	2.920,69 €	3.614,37 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	3.703,30 €	6.371,57 €	9.079,66 €	11.828,18 €	14.617,71 €	17.448,88 €	20.322,31 €	23.238,62 €	26.198,46 €	29.202,48 €	32.251,33 €	35.172,03 €	38.786,39 €

Tabelle 35: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und VW Transporter Kastenwagen (WPA)

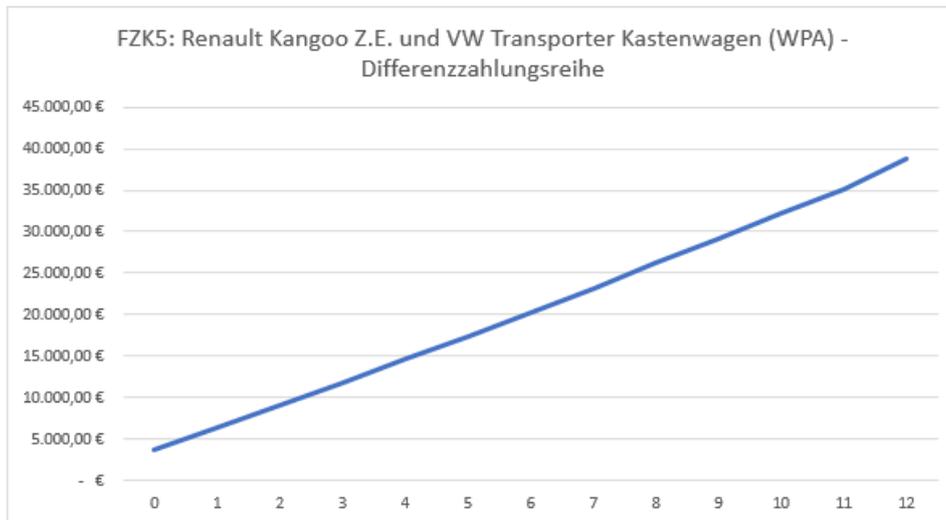


Abbildung 38: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und VW Transporter Kastenwagen (WPA)

WPA	Nfz-Transporter/Kasten Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	(FZK3) (Durchschnittswerte aus beiden)												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Anschaffungskosten	29.604,80 €												
	Betriebskosten		3.163,9											
	Kraftstoffverbrauch pro Jahr		727,69 €	742,25 €	757,09 €	772,23 €	787,68 €	803,43 €	819,50 €	835,89 €	852,61 €	869,66 €	887,05 €	904,79 €
	Kraftstoff-/Stromkosten		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
	Kfz-Steuer												129,62 €	132,21 €
	Wartungskosten		193,05 €	196,91 €	200,85 €	204,87 €	208,96 €	213,14 €	217,41 €	221,75 €	226,19 €	230,71 €	235,33 €	240,03 €
	Liquidationserlös													10.699,53 €
	Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 29.604,80 €	- 920,74 €	- 939,16 €	- 957,94 €	- 977,10 €	- 996,64 €	- 1.016,57 €	- 1.036,90 €	- 1.057,64 €	- 1.078,80 €	- 1.100,37 €	- 1.125,00 €	- 9.422,50 €
	VW Caddy													
	Anschaffungskosten	26.894,00 €												
	Betriebskosten		1.020,67 €	1.041,08 €	1.061,90 €	1.083,14 €	1.104,80 €	1.126,90 €	1.149,44 €	1.172,43 €	1.195,87 €	1.219,79 €	1.244,19 €	1.269,07 €
	Kraftstoffkosten		212,67 €	216,92 €	221,26 €	225,68 €	230,20 €	234,80 €	239,50 €	244,29 €	249,17 €	254,16 €	259,24 €	264,42 €
	Kfz-Steuer		297,00 €	302,94 €	309,00 €	315,18 €	321,48 €	327,91 €	334,47 €	341,16 €	347,98 €	354,94 €	362,04 €	369,28 €
	Wartungskosten													
	Liquidationserlös													8.081,87 €
	Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 26.894,00 €	- 1.530,33 €	- 1.560,94 €	- 1.592,16 €	- 1.624,00 €	- 1.656,48 €	- 1.689,61 €	- 1.723,40 €	- 1.757,87 €	- 1.793,03 €	- 1.828,89 €	- 1.865,47 €	- 6.179,09 €
	Differenzzahlungsreihe	- 2.710,80 €	609,59 €	621,78 €	634,22 €	646,90 €	659,84 €	673,04 €	686,50 €	700,23 €	714,23 €	728,52 €	613,47 €	3.243,41 €
	Kapitalwert	7.414,53 €												
	Zahlungsreihe abgezinst	- 2.710,80 €	606,56 €	615,61 €	624,80 €	634,13 €	643,59 €	653,20 €	662,95 €	672,84 €	682,88 €	693,08 €	580,72 €	3.054,98 €
	kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	- 2.710,80 €	- 2.104,24 €	- 1.488,63 €	- 863,83 €	- 229,70 €	413,89 €	1.067,09 €	1.730,03 €	2.402,87 €	3.085,75 €	3.778,83 €	4.359,55 €	7.414,53 €

Tabelle 36: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy (WPA)

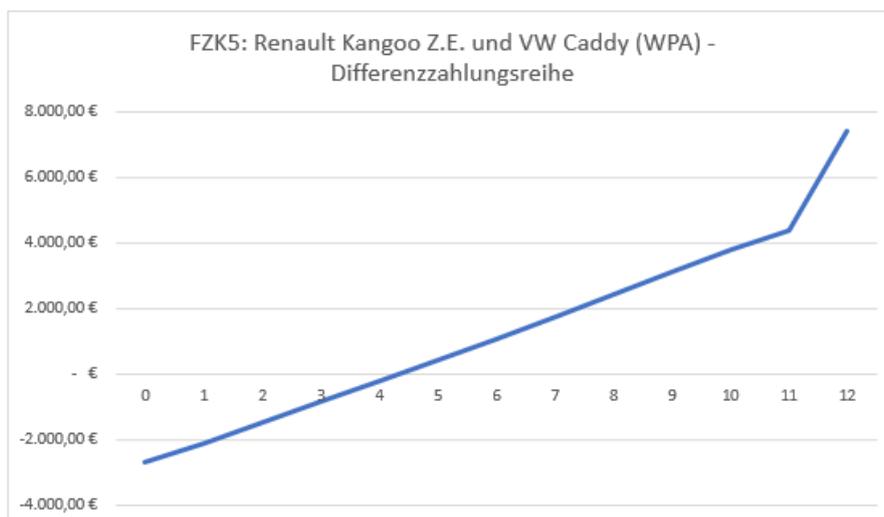


Abbildung 39: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy (WPA)

SWA													
Nfz-Transporter/Kasten Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anschaffungskosten	29.604,80 €												
Betriebskosten		1.460,3											
Kraftstoffverbrauch pro Jahr		335,86 €	342,57 €	349,43 €	356,41 €	363,54 €	370,81 €	378,23 €	385,79 €	393,51 €	401,38 €	409,41 €	417,60 €
Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Wartungskosten		260,00 €	265,20 €	270,50 €	275,91 €	281,43 €	287,06 €	292,80 €	298,66 €	304,63 €	310,72 €	316,94 €	323,28 €
Liquidationserlös													10.699,53 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 29.604,80 €	- 595,86 €	- 607,77 €	- 619,93 €	- 632,33 €	- 644,98 €	- 657,87 €	- 671,03 €	- 684,45 €	- 698,14 €	- 712,10 €	- 836,06 €	- 9.846,76 €
Opel Vivaro													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anschaffungskosten	30.844,00 €												
Betriebskosten		1.300,00 €	1.326,00 €	1.352,52 €	1.379,57 €	1.407,16 €	1.435,31 €	1.464,01 €	1.493,29 €	1.523,16 €	1.553,62 €	1.584,69 €	1.616,39 €
Kraftstoffkosten		180,00 €	183,60 €	187,27 €	191,02 €	194,84 €	198,73 €	202,71 €	206,76 €	210,90 €	215,12 €	219,42 €	223,81 €
Kfz-Steuer		400,00 €	408,00 €	416,16 €	424,48 €	432,97 €	441,63 €	450,46 €	459,47 €	468,66 €	478,04 €	487,60 €	497,35 €
Wartungskosten													
Liquidationserlös													9.268,87 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 30.844,00 €	- 1.880,00 €	- 1.917,60 €	- 1.955,95 €	- 1.995,07 €	- 2.034,97 €	- 2.075,67 €	- 2.117,19 €	- 2.159,53 €	- 2.202,72 €	- 2.246,77 €	- 2.291,71 €	- 6.931,33 €
Differenzzahlungsreihe	1.239,20 €	1.284,14 €	1.309,83 €	1.336,02 €	1.362,74 €	1.390,00 €	1.417,80 €	1.446,15 €	1.475,08 €	1.504,58 €	1.534,67 €	1.455,65 €	2.915,43 €
Kapitalwert	19.033,99 €												
Zahlungsreihe abgezinst	1.239,20 €	1.277,75 €	1.296,82 €	1.316,18 €	1.335,82 €	1.355,76 €	1.376,00 €	1.396,53 €	1.417,38 €	1.438,53 €	1.460,00 €	1.377,94 €	2.746,05 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	1.239,20 €	2.516,95 €	3.813,78 €	5.129,96 €	6.465,78 €	7.821,55 €	9.197,54 €	10.594,08 €	12.011,46 €	13.449,99 €	14.910,00 €	16.287,94 €	19.033,99 €

Tabelle 37: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und Opel Vivaro (SWA)

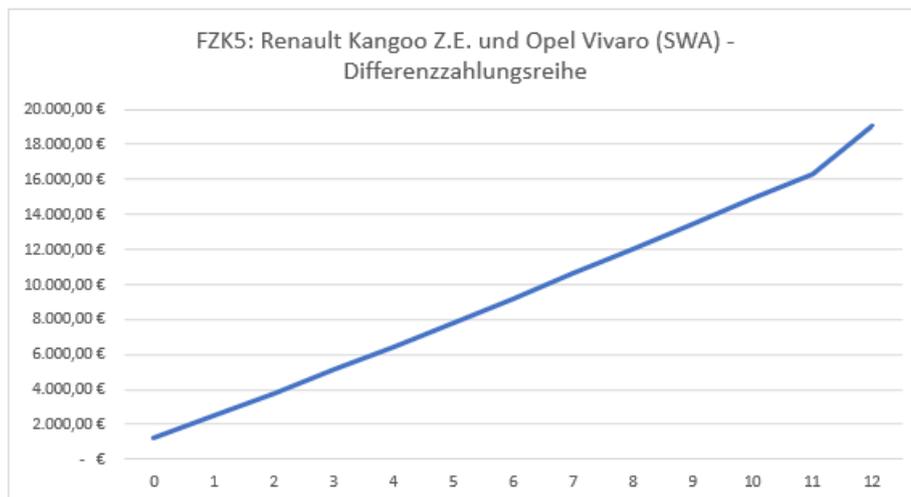


Abbildung 40: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und Opel Vivaro (SWA)

SWA-B													
Nfz-Transporter/Kasten EVUM aCar (Pritsche)													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anschaffungskosten	24.490,00 €												
Betriebskosten		1.311,8											
Kraftstoffverbrauch pro Jahr		301,70 €	307,74 €	313,89 €	320,17 €	326,57 €	333,10 €	339,77 €	346,56 €	353,49 €	360,56 €	367,77 €	375,13 €
Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Wartungskosten		805,44 €	821,55 €	837,98 €	854,74 €	871,84 €	889,27 €	907,06 €	925,20 €	943,70 €	962,58 €	981,83 €	1.001,46 €
Liquidationserlös													9.162,49 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 24.490,00 €	- 1.107,14 €	- 1.129,29 €	- 1.151,87 €	- 1.174,91 €	- 1.198,41 €	- 1.222,38 €	- 1.246,82 €	- 1.271,76 €	- 1.297,20 €	- 1.323,14 €	- 1.467,84 €	- 7.665,29 €
VW T 6.1 Pritschenwagen Eika													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anschaffungskosten	33.629,40 €												
Betriebskosten		834,67 €	851,36 €	868,39 €	885,76 €	903,47 €	921,54 €	939,97 €	958,77 €	977,95 €	997,51 €	1.017,46 €	1.037,81 €
Kraftstoffkosten		194,00 €	197,88 €	201,84 €	205,87 €	209,99 €	214,19 €	218,48 €	222,85 €	227,30 €	231,85 €	236,48 €	241,21 €
Kfz-Steuer		1.239,14 €	1.263,92 €	1.289,20 €	1.314,99 €	1.341,28 €	1.368,11 €	1.395,47 €	1.423,38 €	1.451,85 €	1.480,89 €	1.510,50 €	1.540,71 €
Wartungskosten													
Liquidationserlös													10.105,91 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 33.629,40 €	- 2.267,81 €	- 2.313,17 €	- 2.359,43 €	- 2.406,62 €	- 2.454,75 €	- 2.503,85 €	- 2.553,92 €	- 2.605,00 €	- 2.657,10 €	- 2.710,24 €	- 2.764,45 €	- 7.286,17 €
Differenzzahlungsreihe	9.139,40 €	1.160,67 €	1.183,88 €	1.207,56 €	1.231,71 €	1.256,34 €	1.281,47 €	1.307,10 €	1.333,24 €	1.359,91 €	1.387,10 €	1.296,60 €	379,12 €
Kapitalwert	23.080,17 €												
Zahlungsreihe abgezinst	9.139,40 €	1.154,89 €	1.172,13 €	1.189,62 €	1.207,38 €	1.225,40 €	1.243,69 €	1.262,25 €	1.281,09 €	1.300,21 €	1.319,62 €	1.227,38 €	357,10 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	9.139,40 €	10.294,29 €	11.466,42 €	12.656,04 €	13.863,42 €	15.088,82 €	16.332,51 €	17.594,77 €	18.875,86 €	20.176,07 €	21.495,69 €	22.723,07 €	23.080,17 €

Tabelle 38: Kapitalwertberechnung EVUM aCar (Pritsche) und VW T6.1 Pritschenwagen Eika (SWA-B)

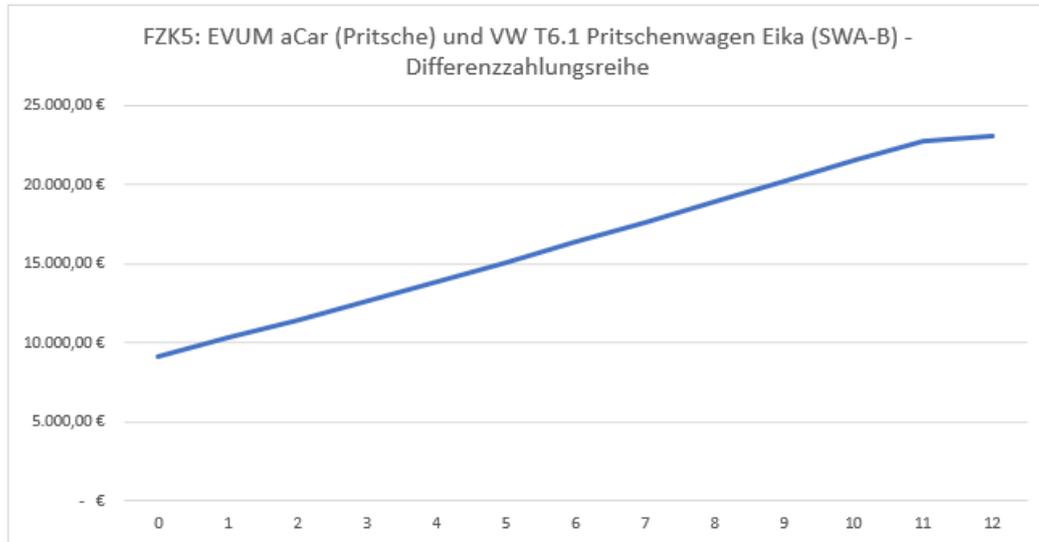


Abbildung 41: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe EVUM aCar (Pritsche) und VW T6.1 Pritschenwagen Eika (SWA-B)

SWA-B	Nfz-Transporter/Kasten Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Anschaffungskosten	29.604,80 €												
	Betriebskosten		1.216,9											
	Kraftstoffverbrauch pro Jahr													
	Kraftstoff-/Stromkosten		279,88 €	285,48 €	291,19 €	297,01 €	302,95 €	309,01 €	315,19 €	321,50 €	327,93 €	334,48 €	341,17 €	348,00 €
	Kfz-Steuer		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	118,24 €
	Wartungskosten		114,93 €	117,23 €	119,57 €	121,96 €	124,40 €	126,89 €	129,43 €	132,01 €	134,65 €	137,35 €	140,09 €	142,90 €
	Liquidationserlös													10.699,53 €
	Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 29.604,80 €	- 394,81 €	- 402,70 €	- 410,76 €	- 418,97 €	- 427,35 €	- 435,90 €	- 444,62 €	- 453,51 €	- 462,58 €	- 471,83 €	- 599,51 €	10.088,03 €
	VW Caddy Cargo													
	Anschaffungskosten	22.699,25 €												
	Betriebskosten													
	Kraftstoffkosten		486,63 €	496,36 €	506,29 €	516,42 €	526,74 €	537,28 €	548,02 €	558,98 €	570,16 €	581,57 €	593,20 €	605,06 €
	Kfz-Steuer		194,00 €	197,88 €	201,84 €	205,87 €	209,99 €	214,19 €	218,48 €	222,85 €	227,30 €	231,85 €	236,48 €	241,21 €
	Wartungskosten		176,81 €	180,35 €	183,95 €	187,63 €	191,38 €	195,21 €	199,12 €	203,10 €	207,16 €	211,30 €	215,53 €	219,84 €
	Liquidationserlös													6.821,31 €
	Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 22.699,25 €	- 857,44 €	- 874,59 €	- 892,08 €	- 909,92 €	- 928,12 €	- 946,68 €	- 965,62 €	- 984,93 €	- 1.004,63 €	- 1.024,72 €	- 1.045,21 €	5.755,19 €
	Differenzzahlungsreihe	- 6.905,55 €	462,63 €	471,88 €	481,32 €	490,95 €	500,77 €	510,78 €	521,00 €	531,42 €	542,05 €	552,89 €	445,70 €	4.332,84 €
	Kapitalwert	- 6.905,55 €	2.522,60 €											
	Zahlungsreihe abgezinst	- 6.905,55 €	460,33 €	467,20 €	474,17 €	481,25 €	488,43 €	495,72 €	503,12 €	510,63 €	518,25 €	525,99 €	421,91 €	4.081,13 €
	kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	- 6.905,55 €	- 6.445,22 €	- 5.978,02 €	- 5.503,84 €	- 5.022,59 €	- 4.534,16 €	- 4.038,43 €	- 3.535,31 €	- 3.024,68 €	- 2.506,42 €	- 1.980,43 €	- 1.558,52 €	2.522,60 €

Tabelle 39: Kapitalwertberechnung Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy Cargo (SWA-B)

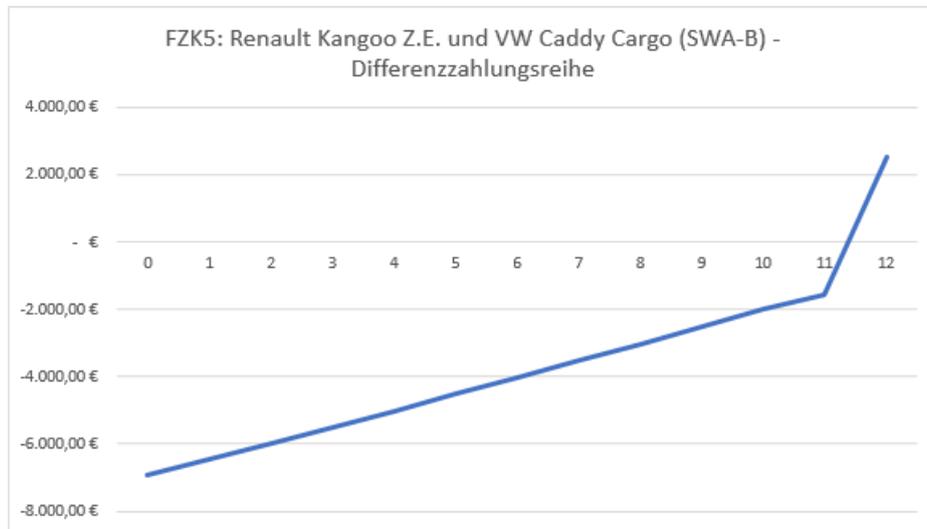


Abbildung 42: graphische Darstellung Differenzzahlungsreihe Renault Kangoo Z.E. und VW Caddy Cargo (SWA-B)

Anhang 4: ökonomische Sensitivitätsanalysen für die Elektrifizierung der Fahrzeugflotten

Fahrzeug	Wartungskosten		
	max. Wartungskosten in t1 Elektrofahrzeugalternative	max. Differenzbetrag zu den Wartungskosten in t1 der Ausgangssituation	Veränderung in Prozent
VW e-up!	2.127,25 €	1.595,51 €	300,06%
VW Up			
VW e-up!	1.450,56 €	1.223,06 €	537,61%
VW Up			
Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	415,77 €	319,22 €	330,62%
VW Polo Comfortline			
Opel Mokka-E (100kW Motor)	2.743,86 €	2.483,86 €	955,33%
Skoda Kodiaq			
VW ID.3 Pure	4.925,54 €	2.612,99 €	112,99%
VW Golf			
Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzer	1.338,89 €	942,39 €	237,68%
Fiat Doblo			
Peugeot e-Expert Kombi L2 (50 kWh Batterie)	2.299,37 €	1.470,94 €	177,56%
VW Transporter Kastenwagen			
Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzer	976,55 €	783,50 €	405,85%
VW Caddy			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	1.305,97 €	909,47 €	229,37%
VW Caddy Cargo			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	3.818,68 €	2.990,26 €	360,96%
VW Transporter Kastenwagen			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	764,68 €	571,63 €	296,10%
VW Caddy			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	1.727,44 €	1.467,44 €	564,40%
Opel Vivaro			
EVUM aCar (Pritsche)	2.584,82 €	1.779,38 €	220,92%
VW T 6.1 Pritschenwagen Eika			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	309,41 €	194,48 €	169,22%
VW Caddy Cargo			

Tabelle 40: ökonomische Sensitivitätsanalyse Wartungskosten

Fahrzeug	Anschaffungsauszahlungen		
	max. A0 Elektrofahrzeugalternative	max. Differenzbetrag zu A0 in der Ausgangssituation	Veränderung in Prozent
VW e-up!	25.309,02 €	9.888,02 €	64,12%
VW Up			
VW e-up!	23.000,81 €	7.579,81 €	49,15%
VW Up			
Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	25.968,31 €	1.978,31 €	8,25%
VW Polo Comfortline			
Opel Mokka-E (100kW Motor)	43.503,48 €	15.393,48 €	54,76%
Skoda Kodiaq			
VW ID.3 Pure	38.118,76 €	16.193,76 €	73,86%
VW Golf			
Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzer	43.104,81 €	11.120,01 €	34,77%
Fiat Doblo			
Peugeot e-Expert Kombi L2 (50 kWh Batterie)	61.996,79 €	17.356,79 €	38,88%
VW Transporter Kastenwagen			
Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzer	41.229,93 €	9.245,13 €	28,90%
VW Caddy			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	41.401,43 €	11.796,63 €	39,85%
VW Caddy Cargo			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	68.391,19 €	38.786,39 €	131,01%
VW Transporter Kastenwagen			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	37.019,33 €	7.414,53 €	25,05%
VW Caddy			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	48.638,79 €	19.033,99 €	64,29%
Opel Vivaro			
EVUM aCar (Pritsche)	47.570,17 €	23.080,17 €	94,24%
VW T 6.1 Pritschenwagen Eika			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	32.127,40 €	2.522,60 €	8,52%
VW Caddy Cargo			

Tabelle 41: ökonomische Sensitivitätsanalyse Anschaffungsauszahlung

Fahrzeug	Liquidationserlös		
	min. Liquidationserlös elektro	max. Differenzbetrag zum Liquidationserlös in der Ausgangssituation	Veränderung in Prozent
VW e-up!	- 1.149,71 €	- 10.188,40 €	-112,72%
VW Up			
VW e-up!	1.228,62 €	7.810,07 €	-86,41%
VW Up			
Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	10.616,00 €	2.038,41 €	-16,11%
VW Polo Comfortline			
Opel Mokka-E (100kW Motor)	- 1.468,24 €	- 15.861,10 €	-110,20%
Skoda Kodiaq			
VW ID.3 Pure	- 4.902,61 €	- 16.685,68 €	-141,61%
VW Golf			
Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzler	331,96 €	11.747,13 €	-97,25%
Fiat Doblo			
Peugeot e-Expert Kombi L2 (50 kWh Batterie)	- 2.550,22 €	- 18.335,64 €	-116,16%
VW Transporter Kastenwagen			
Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzler	- 1.214,27 €	- 13.293,37 €	-110,05%
VW Caddy			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	- 1.824,69 €	- 12.524,22 €	-117,05%
VW Caddy Cargo			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	- 30.479,12 €	- 41.178,65 €	-384,86%
VW Transporter Kastenwagen			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	2.827,69 €	7.871,84 €	-73,57%
VW Caddy			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	- 9.508,43 €	- 20.207,97 €	-188,87%
Opel Vivaro			
EVUM aCar (Pritsche)	- 15.341,21 €	- 24.503,70 €	-267,43%
VW T 6.1 Pritschenwagen Eika			
Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	8.021,34 €	2.678,19 €	-25,03%
VW Caddy Cargo			

Tabelle 42: ökonomische Sensitivitätsanalyse Liquidationserlös

Anhang 5: Berechnungen zur ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung der Elektrifizierung der Fahrzeugflotten

Unternehmen FZK	Fahrzeug	Ausgangssituation		Break-even-Point in km		Photovoltaik		Break-even-Point umgerechnet in Jahren				
		2030	2040	2030	2040	2050	Photovoltaik	2030	2040	2050		
WPA	VW e-up!	170.416	95.241	125.229	95.241	68.483	52.728	14,2	10,4	7,9	5,7	4,4
SWA	VW Up											
SWA	VW e-up!	170.416	95.241	125.229	95.241	68.483	52.728	11,4	8,3	6,3	4,6	3,5
SWA-B	VW Up											
SWA-B	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	530.509	144.512	238.855	144.512	87.879	62.026	35,4	15,9	9,6	5,9	4,1
SWA-B	VW Polo Comfortline											
SWA	Opel Mokka-E (100kW/Motor)	338.003	136.346	201.659	136.346	89.207	65.223	13,5	8,1	5,5	3,6	2,6
SWA-B	Skoda Kodiaq											
SWA-B	VW ID.3 Pure (45kWh)	230.668	124.397	165.885	124.397	88.346	67.531	10,9	7,8	5,9	4,2	3,2
SWA-B	VW Golf											
ANA	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitz	558.032	41.037	47.774	41.037	33.361	27.826	89,3	7,6	6,6	5,3	4,5
ANA	Fiat Doblo											
WPA	Peugeot e-Expert Kombi LZ (50 kWh Batterie)	358.510	109.480	175.753	109.480	67.779	48.238	14,3	7,0	4,4	2,7	1,9
WPA	VW Transporter Kastenwagen											
WPA	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitz	214.699	91.000	132.403	91.000	60.257	44.329	85,9	53,0	36,4	24,1	17,7
WPA	VW Caddy											
ANA	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	233.824	94.280	139.462	94.280	61.678	45.093	37,4	22,3	15,1	9,9	7,2
ANA	VW Caddy Cargo											
WPA	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	78.824	52.586	64.184	52.586	40.612	32.695	5,3	4,3	3,5	2,7	2,2
WPA	VW Transporter Kastenwagen											
WPA	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	233.824	94.280	139.462	94.280	61.678	45.093	14,4	8,6	5,8	3,8	2,8
WPA	VW Caddy											
SWA	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	126.451	70.234	92.576	70.234	50.391	38.748	16,9	12,3	9,4	6,7	5,2
SWA-B	Opel Vivaro											
SWA-B	EVUM aCar (Pritsche)	33.018	24.532	28.509	24.532	19.982	16.691	4,4	3,8	3,3	2,7	2,2
SWA-B	VW T 6.1 Pritschenwagen Eika											
SWA-B	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	233.824	94.280	139.462	94.280	61.678	45.093	37,4	22,3	15,1	9,9	7,2
SWA-B	VW Caddy Cargo											

Tabelle 43: Übersicht Break-even-Point ökologische Nachhaltigkeit

Anhang 6: Evaluierungsbögen der potenziellen Standorte für Ladpunkte

Standort:	Wolkensteiner Tor	Standort-Nr.	8	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Oberhalb Busbahnhof			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	3	0,9
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	5	0,5
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	5	0,5
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	$\varnothing = 3$	0,9
C.2(i)	Einwohner	10%	4	
C.2(ii)	Touristen	10%	4	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	5	0,25
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	4	0,2
Gesamtpunktzahl				3,75

Standort:	Finanzamt	Standort-Nr.	9	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Parkplatz am Finanzamt			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	3	0,15
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	2	0,6
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	2	0,2
B.4	Erweiterbarkeit	5%	2	0,1
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	1	0,1
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 3	0,9
C.2(i)	Einwohner	10%	2	
C.2(ii)	Touristen	10%	2	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	5	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	2	0,1
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	4	0,2
Gesamtpunktzahl				2,35

Standort:	Parkhaus Altstadt	Standort-Nr.	10	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Paul-Jenisius-Straße 4			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)		Ja	Nein	
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	2	0,6
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	4	0,4
B.4	Erweiterbarkeit	5%	4	0,2
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	4	0,4
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 3	0,9
C.2(i)	Einwohner	10%	2	
C.2(ii)	Touristen	10%	4	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	3	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	2	0,1
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	4	0,2
Gesamtpunktzahl				3,05

Standort:	Arbeitsamt/Landratsamt	Standort-Nr	11	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Paul-Jenisius-Straße 24, 43			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	1	0,3
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	2	0,2
B.4	Erweiterbarkeit	5%	3	0,15
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	2	0,2
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	$\phi = 2,7$	0,81
C.2(i)	Einwohner	10%	2	
C.2(ii)	Touristen	10%	1	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	5	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	1	0,05
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	4	0,2
Gesamtpunktzahl				2,16

Standort:	Pöhlberg	Standort-Nr	12	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Parkplatz am Fuß des Pöhlbergs			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	5	1,5
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	5	0,5
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	5	0,5
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 3	0,9
C.2(i)	Einwohner	10%	3	
C.2(ii)	Touristen	10%	5	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personenahverkehr	5%	2	0,1
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	3	0,15
Gesamtpunktzahl				4,15

Standort:	Kätplatz	Standort-Nr	13	
Lagebeschreibung (Lagetypu:	Parkplatz Kätplatz			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)		Ja	Nein	
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	4	0,2
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	4	1,2
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	4	0,4
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	5	0,5
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 3,7	1,11
C.2(i)	Einwohner	10%	5	
C.2(ii)	Touristen	10%	5	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	3	0,15
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	5	0,25
Gesamtpunktzahl				4,06

Standort:	Parkhaus Altstadt II	Standort-Nr.	14	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Scheibnerstraße 1			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	5	1,5
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	5	0,5
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	4	0,4
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	$\phi = 3,7$	1,11
C.2(i)	Einwohner	10%	3	
C.2(ii)	Touristen	10%	5	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	3	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	3	0,15
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	5	0,25
Gesamtpunktzahl				4,41

Standort:	Berufsschulzentrum	Standort-Nr	15	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Bärensteiner Str. 2			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)		Ja	Nein	
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	4	0,2
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	1	0,3
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	4	0,4
B.4	Erweiterbarkeit	5%	4	0,2
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	2	0,2
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 2	0,6
C.2(i)	Einwohner	10%	4	
C.2(ii)	Touristen	10%	1	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personenahverkehr	5%	3	0,15
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	3	0,15
Gesamtpunktzahl				2,2

Standort:	Landkreisgymnasium St. Annen	Standort-Nr.	16	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	LKG St. Annen, Pestalozzistr. 9			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)		Ja	Nein	
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	2	0,6
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	2	0,2
B.4	Erweiterbarkeit	5%	4	0,2
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	2	0,2
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der	30%	∅ = 3	0,9
C.2(i)	Einwohner	10%	5	
C.2(ii)	Touristen	10%	3	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	2	0,1
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	2	0,1
Gesamtpunktzahl				2,55

Standort:	Silberlandhalle	Standort-Nr	17	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Parkplatz Silberlandhalle			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	1	0,3
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	4	0,4
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	4	0,4
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 2,3	0,69
C.2(i)	Einwohner	10%	4	
C.2(ii)	Touristen	10%	2	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	2	0,1
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	2	0,1
Gesamtpunktzahl				2,49

Standort:	Wohn- und Pflegezentrum	Standort-Nr	18	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Wohngebiet Adam Ries			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	1	0,3
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	2	0,2
B.4	Erweiterbarkeit	5%	3	0,15
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	2	0,2
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 3,3	0,99
C.2(i)	Einwohner	10%	5	
C.2(ii)	Touristen	10%	1	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	4	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	1	0,05
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	4	0,2
Gesamtpunktzahl				2,34

Standort:	Sportpark Grenzenlos	Standort-Nr	19	
Lagebeschreibung (Lagetypus	Barbara-Uthmann-Ring			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)		Ja	Nein	
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	3	0,9
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	2	0,2
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	4	0,4
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 3,3	0,99
C.2(i)	Einwohner	10%	5	
C.2(ii)	Touristen	10%	1	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	4	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	4	0,2
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	3	0,15
Gesamtpunktzahl				3,34

Standort:	Erzgebirgsklinikum	Standort-Nr.	20	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Parkplatz am Krankenhaus			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	5	1,5
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	4	0,4
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	4	0,4
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 3	0,9
C.2(i)	Einwohner	10%	5	
C.2(ii)	Touristen	10%	1	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	3	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	5	0,25
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	5	0,25
Gesamtpunktzahl				4,2

Standort:	Schwimmhalle Atlantis	Standort-Nr.	21	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Chemnitzer Straße 30			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	3	0,9
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	1	0,1
B.4	Erweiterbarkeit	5%	4	0,2
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	3	0,3
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	$\emptyset = 2,3$	0,69
C.2(i)	Einwohner	10%	4	
C.2(ii)	Touristen	10%	2	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	3	0,15
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	5	0,25
Gesamtpunktzahl				2,84

Standort:	Frohnauer Hammer	Standort-Nr	22	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Sehmatalstraße 3			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	4	0,2
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	4	1,2
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	3	0,3
B.4	Erweiterbarkeit	5%	4	0,2
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	4	0,4
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	$\emptyset = 2,7$	0,81
C.2(i)	Einwohner	10%	3	
C.2(ii)	Touristen	10%	4	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personenahverkehr	5%	2	0,1
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	4	0,2
Gesamtpunktzahl				3,41

Standort:	Rathausplatz 1	Standort-Nr.	23	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	nähe Parkplatz "An der Mühle"			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	4	0,2
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	3	0,9
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	5	0,5
B.4	Erweiterbarkeit	5%	4	0,2
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	3	0,3
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 4	1,2
C.2(i)	Einwohner	10%	4	
C.2(ii)	Touristen	10%	4	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	4	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	3	0,15
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	4	0,2
Gesamtpunktzahl				3,65

Standort:	Badeanstalt am Stangewald	Standort-Nr.	24	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Badeweg 11			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)	Ja	Nein		
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	4	0,2
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die	30%	2	0,6
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	3	0,3
B.4	Erweiterbarkeit	5%	3	0,15
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	2	0,2
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	∅ = 2	0,6
C.2(i)	Einwohner	10%	3	
C.2(ii)	Touristen	10%	2	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	1	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	2	0,1
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	5	0,25
Gesamtpunktzahl				2,4

Standort:	Parkhaus am Markt	Standort-Nr.	25	
Lagebeschreibung (Lagetypus)	Zusätzliche Ladesäule im Parkhaus am Markt			
Grundsätzliche Standorteignung (Ausschlusskriterien)		Ja	Nein	
Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.1	die Verfügbarkeit der Fläche		x	
A.2	die bauliche und technische Eignung der Fläche (z.B. Größe, Netzzugang, erforderliche Leitungslänge, Anschlussleistung)		x	
Rechtliche Hinderungsgründe im Hinblick auf ...				
A.3	den Status der Fläche (in der Bauleitplanung)		x	
A.4	spezielle Normen (z.B. Denkmalschutz, Naturschutz, Grünflächen)		x	
Bewertung der Standorteignung				
... aus Anbieterperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
B.1	geringer baulicher Aufwand (Parkplatz bereits vorhanden)	5%	5	0,25
B.2	Attraktivität und Repräsentativität der Lage, Wahrnehmbarkeit für die Öffentlichkeit	30%	5	1,5
B.3	Gewährleistung Flächendeckung	10%	1	0,1
B.4	Erweiterbarkeit	5%	5	0,25
... aus Nutzerperspektive		50%	Bewertung (1 bis 5)	Ergebnis
C.1	Erreichbarkeit, Erkennbarkeit, Zugänglichkeit	10%	3	0,3
C.2	Attraktivität als Ladeort/Zentralität der Standortwünsche konkreter Nutzer	30%	$\varnothing = 3,6$	1,08
C.2(i)	Einwohner	10%	2	
C.2(ii)	Touristen	10%	5	
C.2(iii)	Mitarbeiter der Stadt	10%	4	
C.3	Verknüpfung zum öffentlichen Personennahverkehr	5%	4	0,2
C.4	geringer Parkdruck durch andere Nutzer	5%	4	0,2
Gesamtpunktzahl				3,88

Anhang 7: Berechnung der notwendigen Anzahl an Ladepunkten je kommunaler Einheit

Firma	Fahrzeugkategorie	lfd. Fahrzeug-Nr.	Elektrofahrzeugalternative	durchschnittliche tägliche Kilometer	Reichweite WLTP in km	Reichweite mit Puffer (50 %) in km	notwendige Ladehäufigkeit in Tagen (mathematisch gerundet)
SWA-B	PKW-Kleinwagen	1	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	30	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	2	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	30	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	3	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	33	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	4	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	33	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	5	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	33	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	6	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	33	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	7	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	33	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	8	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	33	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	9	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	33	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	10	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	33	316	158	5
SWA-B	PKW-Kleinwagen	11	Renault Zoe Life R110 Z.E. (41 kWh Batterie, 80 kW)	48	316	158	3
SWA-B	PKW-Kleinwagen	12	VW ID.3 Pure (45kWh)	85	250	125	1
SWA-B	Nfz-Tranporter/Kasten	13	EVUM aCar als Pritsche	30	200	100	3
SWA-B	Nfz-Tranporter/Kasten	14	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	25	230	115	5
SWA	PKW-Kleinwagen	1	VW e-up!	60	260	130	2
SWA	PKW-Mittelklasse	2	Opel Mokka-E (100kW Motor)	100	313	157	2
SWA	Bus/Van	3	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	30	230	115	4
WPA	PKW-Kleinwagen	1	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	2	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	3	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	4	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	5	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	6	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	7	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	8	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	9	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	10	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	PKW-Kleinwagen	11	VW e-up!	48	260	130	3
WPA	Bus/Van	12	Peugeot e-Expert Kombi L2 (50 kWh Batterie)	190	230	115	1
WPA	Bus/Van	13	Peugeot e-Expert Kombi L2 (50 kWh Batterie)	10	230	115	12
WPA	Bus/Van	14	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	70	230	115	2
WPA	Bus/Van	15	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	50	230	115	2
WPA	Nfz-Transporter/Kaste	16	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	50	230	115	2
WPA	Nfz-Transporter/Kaste	17	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	80	230	115	1
WPA	Nfz-Transporter/Kaste	18	Renault Kangoo Z.E. Maxi 5- Sitzer	10	230	115	12
ANA	Bus/Van	1	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	25	230	115	5
ANA	Bus/Van	2	Renault Kangoo Z.E. (33 kWh Batterie, 44 kW Motor)	25	230	115	5

Tabelle 44: Berechnung der benötigten Ladehäufigkeiten

Getroffene Annahme: Für den VW e-up! wurde von der WPA eine tägliche Fahrstrecke von 5 – 90 km angegeben. Aus diesem Grund wird hier mit dem gerundeten Mittelwert von 48 km gerechnet.

Quellen:

EVUM aCar: Vgl. Evum Motors GmbH (Hrsg.): aCar. Robust. Clever. Einfach. Nachhaltige Elektromobilität, 2020, URL: <https://evum-motors.com/acar/> [12.02.2021].

Opel Mokka-E: Vgl. Opel Automobile GmbH (Hrsg.): Mokka-E, 2021, URL: <https://www.opel.de/fahrzeuge/mokka-modelle/mokka-e/uebersicht.html> [12.02.2021].

Peugeot e-Expert Kombi L2: Vgl. PEUGEOT DEUTSCHLAND GmbH (Hrsg.): PEUGEOT Expert Kombi, URL: <https://www.peugeot.de/modelle/modellberater/expert-kombi.html> [12.02.2021].

Renault Kangoo Z.E. Maxi: Vgl. Renault Deutschland AG (Hrsg.): Reichweite und Aufladen Renault Kangoo Z.E., 2021, URL: <https://www.renault.de/elektromodelle/kangoo-ze/batterie-und-laden.html> [12.01.2021].

Renault Kangoo Z.E.: Vgl. Renault Deutschland AG (Hrsg.): Renault Kangoo Z.E., 2021, URL: <https://www.renault.de/elektromodelle/kangoo-ze.html> [12.01.2021].

Renault Twingo electric vibes:

VW e-up!: Vgl. Volkswagen AG (Hrsg.): Der e-up!, 2021, URL: <https://www.volkswagen.de/de/modelle-und-konfigurator/e-up.html> [12.02.2021].

VW ID.3 Pure: Vgl. Volkswagen AG (Hrsg.): Der vollelektrische ID.3, 2021, URL: https://www.volkswagen.de/de/modelle-und-konfigurator/id3.html?---=%7B%22modelle-und-konfigurator_id3_section-group_7331634_featureappsection%22%3A%22%2F%2B%2F0%22%7D [12.02.2021].

Benötigte Ladepunkte je kommunaler Einheit

SWA-B

	Ladepunkt 1	Ladepunkt 2	Ladepunkt 3	Ladepunkt 4	Ladepunkt 5
Nacht	Fahrzeugnummer	Fahrzeugnummer	Fahrzeugnummer	Fahrzeugnummer	Fahrzeugnummer
1	1	6	11	12	14
2	2	7	13	12	-
3	3	8	-	12	-
4	4	9	11	12	-
5	5	10	13	12	-
6	1	6	-	12	14
7	2	7	11	12	-
8	3	8	13	12	-
9	4	9	-	12	-
10	5	10	11	12	-
...

Abbildung 43: notwendige Ladepunkte SWA-B

ANA

Ladepunkt 1	
Nacht	Fahrzeugnummer
1	1
2	2
3	-
4	-
5	-
6	1
7	2
8	-
9	-
10	-
...	...

Abbildung 44: notwendige Ladepunkte ANA

SWA

Ladepunkt 1		Ladepunkt 2	
Nacht	Fahrzeugnummer	Fahrzeugnummer	
1	1	3	
2	2	-	
3	1	-	
4	2	-	
5	1	3	
6	2	-	
7	1	-	
8	2	-	
9	1	3	
10	2	-	
...	

Abbildung 45: notwendige Ladepunkte SWA

WPA

Ladepunkt 1	Ladepunkt 2	Ladepunkt 3	Ladepunkt 4	Ladepunkt 5	Ladepunkt 6	Ladepunkt 7	Ladepunkt 8	
Nacht	Fahrzeugnummer							
1	1	4	7	10	12	17	14	16
2	2	5	8	11	12	17	15	-
3	3	6	9	13	12	17	14	16
4	1	4	7	10	12	17	15	-
5	2	5	8	11	12	17	14	16
6	3	6	9	18	12	17	15	-
7	1	4	7	10	12	17	14	16
8	2	5	8	11	12	17	15	-
9	3	6	9	-	12	17	14	16
10	1	4	7	10	12	17	15	-
...

Abbildung 46: notwendige Ladepunkte WPA

Anhang 8: Auszahlungswerte für Anschaffung und Nutzung von Ladeinfrastruktur

	Wallbox (AC, > 3,7 kW)	Ladsäule (AC, bis 22 kW)
<i>Nationale Plattform Elektromobilität: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland - Statusbericht und Handlungsempfehlungen, 2015, S. 12</i>		
Anschaffungsauszahlung	1.200 €	5.000 €
Installationsauszahlung	1.000 € - 3.000 €	5.000 €
Wartungszahlung p.a.	1.000 €	1.500 €
<i>Gilesen, V.; Schramek, M: Einführung von Elektromobilität in Kommunen, 2017, S. 24 ff.</i>		
Anschaffungsauszahlung	600 € - 1.500 €	3.000 € - 7.000 €
Installationsauszahlung	1.000 €	5.000 € - 10.000 €
<i>Volkswagen Aktiengesellschaft: E-Laden von Flotten. Ein Kompendium für den Aufbau von E-Ladeinfrastruktur in Unternehmen, 2018, S. 12</i>		
Anschaffungsauszahlung	300 € - 1.500 €	3.000 € - 8.000 €
Installationsauszahlung	200 € - 2.000 €	1.500 € - 3.000 €
Wartungszahlung p.a.	0 € - 350 €	0 € - 600 €
Ø Anschaffungsauszahlung	1.050,00 €	5.166,67 €
Ø Installationsauszahlung	1.366,67 €	4.916,67 €
Ø Wartungszahlung p.a.	587,50 €	900,00 €

Tabelle 45: Auszahlung Ladeinfrastruktur

Anschließende Berechnung des Kapitalwertes mit folgender Formel:

$$KW = -A_0 + a_t * RBW$$

mit A_0 = Anschaffungsauszahlung und Installationsauszahlung

a_t = jährliche, konstante Wartungsauszahlung

$$RBW = \text{Rentenbarwertfaktor} = \frac{(1+i)^T - 1}{(1+i)^T * i} = \frac{(1+0,005)^8 - 1}{(1+0,005)^8 * 0,005} = 7,82296$$

Anhang 9: Kapitalwertberechnung der öffentlichen Ladeinfrastruktur

Optimistisches Szenario

Kapitalwertberechnung der neuen Ladeinfrastruktur

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen	43.300,03 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €
Anschaffungsauszahlung	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €
Installationsauszahlung	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €
Förderung	17.200,01 €						
Wartungszahlungen gesamt		4.500,00 €	9.180,00 €	14.045,40 €	19.101,74 €	24.354,72 €	29.810,18 €
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		5	10	15	20	25	30
Auszahlungen Stromeinkauf		40.814,81 €	111.613,73 €	194.867,80 €	285.876,61 €	382.902,47 €	485.197,25 €
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung		67.433,17 €	184.405,30 €	321.955,49 €	472.317,88 €	632.621,48 €	801.630,25 €
Gesamtzahlungsreihe	- 43.300,03 € -	38.381,69 €	3.111,52 €	52.542,26 €	106.839,49 €	164.864,24 €	226.122,77 €
Kapitalwert	3.187.091,56 €						
abgezinst Zahlungsreihe	- 43.300,03 € -	38.190,73 €	3.080,64 €	51.761,94 €	104.729,14 €	160.803,74 €	219.456,24 €
kummulierte Zahlungsreihe	- 43.300,03 € -	81.490,76 € -	78.410,12 € -	26.648,19 €	78.080,96 €	238.884,70 €	458.340,94 €
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €		
Anschaffungsauszahlung	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €		
Installationsauszahlung	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	35.474,12 €	41.352,68 €	47.452,20 €	53.779,17 €	60.340,22 €	67.142,21 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	35	40	45	50	55	60	
Auszahlungen Stromeinkauf	592.422,14 €	704.433,90 €	821.193,28 €	942.721,35 €	1.069.076,68 €	1.200.342,89 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	978.784,41 €	1.163.847,31 €	1.356.754,12 €	1.557.539,61 €	1.766.300,61 €	1.983.175,21 €	
Gesamtzahlungsreihe	290.388,11 €	357.560,69 €	427.608,59 €	500.539,06 €	576.383,66 €	715.690,11 €	
Kapitalwert							
abgezinst Zahlungsreihe	280.424,79 €	343.574,77 €	408.838,58 €	476.186,81 €	545.613,34 €	674.112,33 €	
kummulierte Zahlungsreihe	738.765,72 €	1.082.340,50 €	1.491.179,07 €	1.967.365,88 €	2.512.979,22 €	3.187.091,56 €	

Tabelle 46: Kapitalwertberechnung neue, öffentliche Ladeinfrastruktur – optimistisches Szenario

Kapitalwertberechnung der gesamten Ladeinfrastruktur

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen	43.300,03 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €
Anschaffungsauszahlung	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €
Installationsauszahlung	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €
Förderung	17.200,01 €						
Wartungszahlungen gesamt		10.800,00 €	15.606,00 €	20.599,92 €	25.787,35 €	31.174,05 €	36.765,89 €
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		12	17	22	27	32	37
Auszahlungen Stromeinkauf		102.037,03 €	195.324,03 €	292.301,70 €	393.080,34 €	497.773,21 €	606.496,57 €
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung		168.582,92 €	322.709,27 €	482.933,24 €	649.437,09 €	822.407,92 €	1.002.037,81 €
Gesamtzahlungsreihe	- 43.300,03 €	- 4.754,15 €	51.279,20 €	109.531,58 €	170.069,35 €	232.960,62 €	298.275,31 €
Kapitalwert	3.998.106,16 €						
abgezinst Zahlungsreihe	- 43.300,03 €	- 4.730,50 €	50.770,23 €	107.904,90 €	166.710,06 €	227.222,95 €	289.481,58 €
kummulierte Zahlungsreihe	- 43.300,03 €	- 48.030,53 €	2.739,69 €	110.644,60 €	277.354,66 €	504.577,61 €	794.059,19 €
		7	8	9	10	11	12
Errichtungsauszahlungen	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	60.500,04 €	
Anschaffungsauszahlung	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	31.000,02 €	
Installationsauszahlung	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	29.500,02 €	
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	42.568,94 €	48.589,40 €	54.833,66 €	61.308,25 €	68.019,89 €	74.975,47 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	42	47	52	57	62	67	
Auszahlungen Stromeinkauf	719.369,75 €	836.515,25 €	958.058,83 €	1.084.129,55 €	1.214.859,87 €	1.350.385,75 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	1.188.523,93 €	1.382.068,68 €	1.582.879,81 €	1.791.170,56 €	2.007.159,78 €	2.231.072,11 €	
Gesamtzahlungsreihe	366.085,20 €	436.463,98 €	509.487,28 €	585.232,72 €	663.779,99 €	805.710,89 €	
Kapitalwert							
abgezinst Zahlungsreihe	353.524,68 €	419.391,78 €	487.123,17 €	556.759,94 €	628.344,00 €	758.903,39 €	
kummulierte Zahlungsreihe	1.147.583,88 €	1.566.975,66 €	2.054.098,83 €	2.610.858,77 €	3.239.202,77 €	3.998.106,16 €	

Tabelle 47: Kapitalwertberechnung gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur – optimistisches Szenario

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bestand an Elektrofahrzeugen	27	219	411	603	795	987	1179	1371	1563	1755	1947	2139	2331
Nutzung öffentliche Ladeinfrastruktur (15%)	4,05	32,85	61,65	90,45	119,25	148,05	176,85	205,65	234,45	263,25	292,05	320,85	349,65
Anzahl Ladepunkte	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135
Anzahl Ladesäulen	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52	57	62	67
Auslastung	0,27	1,31	1,76	2,01	2,17	2,28	2,36	2,42	2,47	2,51	2,54	2,57	2,59
Preis Stromerwerb je kWh	0,23 €	0,23 €	0,23 €	0,24 €	0,24 €	0,25 €	0,25 €	0,26 €	0,26 €	0,27 €	0,27 €	0,28 €	0,29 €
Auszahlung Stromerwerb pro Tag und Ladepunkt	11,18 €	15,29 €	17,80 €	17,80 €	19,58 €	20,98 €	22,16 €	23,19 €	24,12 €	25,00 €	25,83 €	26,63 €	27,41 €
Auszahlung Stromerwerb pro Jahr und Ladepunkt	4.081,48 €	5.580,69 €	6.495,59 €	7.146,92 €	7.658,05 €	8.086,62 €	8.463,17 €	8.805,42 €	9.124,37 €	9.427,21 €	9.718,88 €	10.002,86 €	
Preis Stromverkauf	0,38 €	0,39 €	0,39 €	0,40 €	0,40 €	0,41 €	0,42 €	0,43 €	0,44 €	0,45 €	0,45 €	0,46 €	0,47 €
Einnahmen Strombereitstellung pro Tag und Ladepunkt	18,47 €	25,26 €	29,40 €	29,40 €	32,35 €	34,66 €	36,60 €	38,31 €	39,86 €	41,30 €	42,67 €	43,99 €	45,28 €
Einnahmen Strombereitstellung pro Jahr und Ladepunkt	6.743,32 €	9.220,26 €	10.731,85 €	11.807,95 €	12.652,43 €	13.360,50 €	13.982,63 €	14.548,09 €	15.075,05 €	15.575,40 €	16.057,28 €	16.526,46 €	

Tabelle 48: Nebenrechnungen Ein- und Auszahlung öffentl. Ladeinfrastruktur - optimistisches Szenario

Vorsichtiges Szenario

Kapitalwertberechnung der neuen Ladeinfrastruktur

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen					15.000,01 €		
Anschaffungsauszahlung					5.166,67 €		
Installationsauszahlung					9.833,34 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt		- €	- €	- €	- €	974,19 €	993,67 €
Warungsauszahlungen pro Ladesäule						974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen						1	1
Auszahlungen Stromeinkauf		- €	- €	- €	- €	5.965,03 €	8.092,16 €
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter						1.120,73 €	1.143,15 €
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung		- €	- €	- €	- €	9.855,27 €	13.369,66 €
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter						1.851,64 €	1.888,68 €
Gesamtzahlungsreihe	- €	- €	- €	- €	- 15.000,01 €	2.916,05 €	4.283,82 €
Kapitalwert	130.116,33 €						
abgezinste Zahlungsreihe	- €	- €	- €	- €	- 14.703,72 €	2.844,23 €	4.157,53 €
kummulierte Zahlungsreihe	- €	- €	- €	- €	- 14.703,72 €	- 11.859,49 €	- 7.701,97 €
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen		20.166,68 €					
Anschaffungsauszahlung		10.333,34 €					
Installationsauszahlung		9.833,34 €					
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	1.013,55 €	1.033,82 €	2.108,99 €	2.151,17 €	2.194,19 €	2.238,07 €	
Warungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	1	1	2	2	2	2	
Auszahlungen Stromeinkauf	10.977,83 €	14.892,52 €	36.558,16 €	49.594,80 €	67.280,30 €	91.272,45 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	18.137,28 €	24.605,03 €	60.400,43 €	81.939,23 €	111.158,75 €	150.797,97 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankern	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Gesamtzahlungsreihe	6.145,91 €	- 11.487,98 €	21.733,29 €	30.193,26 €	41.684,27 €	57.287,44 €	
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	5.935,04 €	- 11.038,63 €	20.779,30 €	28.724,30 €	39.458,95 €	53.959,35 €	
kummulierte Zahlungsreihe	- 1.766,93 €	- 12.805,56 €	7.973,74 €	36.698,04 €	76.156,98 €	130.116,33 €	

Tabelle 49: Kapitalwertberechnung neue öffentliche Ladeinfrastruktur – vorsichtiges Szenario

Kapitalwertberechnung der gesamten Ladeinfrastruktur

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen					20.166,68 €		
Anschaffungsauszahlung					10.333,34 €		
Installationsauszahlung					9.833,34 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	7.200,00 €	7.344,00 €	7.490,88 €	7.640,70 €	8.767,70 €	8.943,05 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €	
Anzahl Ladesäulen		8	8	8	8	9	9
Auszahlungen Stromeinkauf	16.731,28 €	22.697,65 €	30.791,63 €	41.771,93 €	56.667,80 €	76.875,54 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter	1.035,38 €	1.056,09 €	1.077,21 €	1.098,76 €	1.120,73 €	1.143,15 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	27.642,98 €	37.500,47 €	50.873,13 €	69.014,49 €	93.625,06 €	127.011,75 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter	1.710,63 €	1.744,85 €	1.779,74 €	1.815,34 €	1.851,64 €	1.888,68 €	
Gesamtzahlungsreihe	- €	3.711,70 €	7.458,82 €	12.590,62 €	564,82 €	28.189,56 €	41.193,16 €
Kapitalwert	960.017,66 €						
abgezinste Zahlungsreihe	- €	3.693,24 €	7.384,78 €	12.403,63 €	553,66 €	27.495,27 €	39.978,71 €
kummulierte Zahlungsreihe	- €	3.693,24 €	11.078,02 €	23.481,65 €	22.927,99 €	50.423,26 €	90.401,97 €
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen		20.166,68 €					
Anschaffungsauszahlung		10.333,34 €					
Installationsauszahlung		9.833,34 €					
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	9.121,92 €	9.304,35 €	10.544,93 €	10.755,83 €	10.970,95 €	11.190,37 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	9	9	10	10	10	10	
Auszahlungen Stromeinkauf	104.289,35 €	141.478,93 €	191.930,32 €	260.372,67 €	353.221,57 €	479.180,38 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	172.304,15 €	233.747,80 €	317.102,27 €	430.180,94 €	583.583,46 €	791.689,33 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankern	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Gesamtzahlungsreihe	58.892,88 €	62.797,84 €	114.627,01 €	159.052,43 €	219.390,94 €	301.318,58 €	
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	56.872,24 €	60.341,51 €	109.595,42 €	151.314,20 €	207.678,73 €	283.813,58 €	
kummulierte Zahlungsreihe	147.274,22 €	207.615,73 €	317.211,15 €	468.525,36 €	676.204,08 €	960.017,66 €	

Tabelle 50: Kapitalwertberechnung gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur – vorsichtiges Szenario

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Bestand an Elektrofahrzeugen	27	36	48	64	84	112	149	199	264	352	468	622	827
Nutzung öffentliche Ladeinfrastruktur (15%)	4,05	5,39	7,16	9,53	12,67	16,85	22,42	29,81	39,65	52,74	70,14	93,29	124,07
Anzahl Ladpunkte	17	17	17	17	17	19	19	19	19	21	21	21	21
Anzahl Ladesäulen	8	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10
Auslastung	0,24	0,32	0,42	0,56	0,75	0,89	1,18	1,57	2,09	2,51	3,34	4,44	5,91
Preis Stromerwerb je kWh	0,23 €	0,23 €	0,23 €	0,24 €	0,24 €	0,25 €	0,25 €	0,26 €	0,26 €	0,27 €	0,27 €	0,28 €	0,29 €
Auszahlung Stromerwerb pro Tag und Ladepunkt	2,70 €	2,70 €	3,66 €	4,96 €	6,73 €	8,17 €	11,09 €	15,04 €	20,40 €	25,04 €	33,97 €	46,08 €	62,52 €
Auszahlung Stromerwerb pro Jahr und Ladepunkt	984,19 €	1.335,16 €	1.811,27 €	2.457,17 €	2.982,52 €	4.046,08 €	5.488,91 €	7.446,26 €	9.139,54 €	12.398,70 €	16.820,07 €	22.818,11 €	
Preis Stromverkauf	0,38 €	0,39 €	0,39 €	0,40 €	0,40 €	0,41 €	0,42 €	0,43 €	0,44 €	0,45 €	0,45 €	0,46 €	0,47 €
Einnahmen Strombereitstellung pro Tag und Ladepunkt	4,45 €	6,04 €	6,04 €	8,20 €	11,12 €	13,50 €	18,31 €	24,85 €	33,71 €	41,37 €	56,12 €	76,14 €	103,29 €
Einnahmen Strombereitstellung pro Jahr und Ladepunkt	1.626,06 €	2.205,91 €	2.992,54 €	4.059,68 €	4.927,63 €	6.684,83 €	9.068,64 €	12.302,52 €	15.100,11 €	20.484,81 €	27.789,69 €	37.699,49 €	

Tabelle 51: Nebenrechnungen Ein- und Auszahlung öffentl. Ladeinfrastruktur - vorsichtiges Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €
Förderung	- €	- €					
Wartungszahlungen gesamt		9.000,00 €	11.016,00 €	13.109,04 €	15.281,40 €	17.535,40 €	19.873,45 €
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		10	12	14	16	18	20
Auszahlungen Stromeinkauf	102.037,03 €	195.324,03 €	292.301,70 €	393.080,34 €	497.773,21 €	606.496,57 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter	1.035,38 €	1.056,09 €	1.077,21 €	1.098,76 €	1.120,73 €	1.143,15 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	168.582,92 €	322.709,27 €	482.933,24 €	649.437,09 €	822.407,92 €	1.002.037,81 €	
- davon Einzahlung Verkauf Ankermieter	1.710,63 €	1.744,85 €	1.779,74 €	1.815,34 €	1.851,64 €	1.888,68 €	
Gesamtzahlungsreihe	- 20.166,68 €	37.379,21 €	96.202,56 €	157.355,82 €	220.908,67 €	286.932,62 €	355.501,11 €
Kapitalwert	4.687.770,89 €						
abgezinst Zahlungsreihe	- 20.166,68 €	37.193,24 €	95.247,70 €	155.018,89 €	216.545,18 €	279.865,67 €	345.020,25 €
kumulierte Zahlungsreihe	- 20.166,68 €	17.026,56 €	112.274,26 €	267.293,15 €	483.838,33 €	763.704,00 €	1.108.724,25 €
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	10.083,34 €		
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	5.166,67 €		
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	4.916,67 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	22.298,02 €	24.811,61 €	27.416,83 €	30.116,33 €	31.815,75 €	32.452,07 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	22	24	26	28	29	29	
Auszahlungen Stromeinkauf	719.369,75 €	836.515,25 €	958.058,83 €	1.084.129,55 €	1.214.859,87 €	1.350.385,75 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	1.188.523,93 €	1.382.068,68 €	1.582.879,81 €	1.791.170,56 €	2.007.159,78 €	2.231.072,11 €	
- davon Einzahlung Verkauf Ankermie	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Gesamtzahlungsreihe	426.689,49 €	500.575,14 €	577.237,47 €	656.758,00 €	750.400,82 €	848.234,29 €	
Kapitalwert							
abgezinst Zahlungsreihe	412.049,61 €	480.995,24 €	551.899,44 €	624.805,37 €	710.340,57 €	798.956,41 €	
kumulierte Zahlungsreihe	1.520.773,86 €	2.001.769,10 €	2.553.668,54 €	3.178.473,91 €	3.888.814,48 €	4.687.770,89 €	

Tabelle 53: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur Förderung – optimistisches Szenario

Einzahlungen

Optimistisches Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen	8.700,01 €	8.700,01 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €
Förderung	11.466,67 €	11.466,67 €					
Wartungszahlungen gesamt		1.800,00 €	3.672,00 €	5.618,16 €	7.640,70 €	9.741,89 €	11.924,07 €
Warungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		2	4	6	8	10	12
Auszahlungen Stromeinkauf	19.435,62 €	62.503,69 €	120.952,43 €	190.584,41 €	269.066,60 €	355.022,38 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter	1.035,38 €	1.056,09 €	1.077,21 €	1.098,76 €	1.120,73 €	1.143,15 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	20.808,67 €	66.919,33 €	129.497,24 €	204.048,44 €	288.075,09 €	380.103,30 €	
- davon Einzahlung Verkauf Ankermieter	1.710,63 €	1.744,85 €	1.779,74 €	1.815,34 €	1.851,64 €	1.888,68 €	
Gesamtzahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 9.126,96 €	- 19.423,04 €	- 17.240,03 €	- 14.343,35 €	- 10.900,08 €	- 7.009,83 €
Kapitalwert	0,00 €						
abgezinste Zahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 9.081,55 €	- 19.230,26 €	- 16.984,00 €	- 14.060,03 €	- 10.631,62 €	- 6.803,17 €
kummulierte Zahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 17.781,56 €	- 37.011,82 €	- 53.995,81 €	- 68.055,84 €	- 78.687,47 €	- 85.490,64 €
Niveau Einzahlungen	65%						
Reduzierung um	35%						
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	10.083,34 €		
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	5.166,67 €		
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	4.916,67 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	14.189,65 €	16.541,07 €	18.980,88 €	21.511,67 €	23.038,99 €	23.499,77 €	
Warungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	14	16	18	20	21	21	
Auszahlungen Stromeinkauf	447.607,84 €	546.295,68 €	650.756,94 €	760.792,66 €	864.815,50 €	961.291,55 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	479.229,56 €	584.889,29 €	696.730,33 €	814.539,64 €	925.911,28 €	1.029.202,98 €	
- davon Einzahlung Verkauf Ankermie	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Gesamtzahlungsreihe	- 2.734,61 €	1.885,86 €	6.825,83 €	12.068,63 €	27.973,44 €	44.411,65 €	
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	- 2.640,79 €	1.812,10 €	6.526,21 €	11.481,47 €	26.480,08 €	41.831,57 €	
kummulierte Zahlungsreihe	- 88.131,42 €	- 86.319,32 €	- 79.793,12 €	- 68.311,65 €	- 41.831,57 €	0,00 €	

Tabelle 54: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur Einzahlungen – optimistisches Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen	8.700,01 €	8.700,01 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €
Förderung	11.466,67 €	11.466,67 €					
Wartungszahlungen gesamt		9.000,00 €	11.016,00 €	13.109,04 €	15.281,40 €	17.535,40 €	19.873,45 €
Warungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		10	12	14	16	18	20
Auszahlungen Stromeinkauf		102.037,03 €	195.324,03 €	292.301,70 €	393.080,34 €	497.773,21 €	606.496,57 €
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter		1.035,38 €	1.056,09 €	1.077,21 €	1.098,76 €	1.120,73 €	1.143,15 €
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung		107.817,76 €	206.389,78 €	308.861,55 €	415.349,64 €	525.973,70 €	640.856,59 €
- davon Einzahlung Verkauf Ankermieter		1.710,63 €	1.744,85 €	1.779,74 €	1.815,34 €	1.851,64 €	1.888,68 €
Gesamtzahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 11.919,28 €	- 20.116,93 €	- 16.715,87 €	- 13.178,78 €	- 9.501,60 €	- 5.680,11 €
Kapitalwert	0,00 €						
abgezinste Zahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 11.859,98 €	- 19.917,26 €	- 16.467,62 €	- 12.918,47 €	- 9.267,58 €	- 5.512,65 €
kumulierte Zahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 20.559,98 €	- 40.477,25 €	- 56.944,86 €	- 69.863,34 €	- 79.130,91 €	- 84.643,57 €
Niveau Einzahlungen	64%						
Reduzierung um	36%						
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	10.083,34 €		
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	5.166,67 €		
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	4.916,67 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	22.298,02 €	24.811,61 €	27.416,83 €	30.116,33 €	31.815,75 €	32.452,07 €	
Warungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	22	24	26	28	29	29	
Auszahlungen Stromeinkauf	719.369,75 €	836.515,25 €	958.058,83 €	1.084.129,55 €	1.214.859,87 €	1.350.385,75 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	760.124,40 €	883.906,59 €	1.012.336,01 €	1.145.549,04 €	1.283.685,67 €	1.426.889,53 €	
- davon Einzahlung Verkauf Ankermie	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Gesamtzahlungsreihe	- 1.710,04 €	2.413,04 €	6.693,67 €	11.136,48 €	26.926,70 €	44.051,71 €	
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	- 1.651,37 €	2.318,66 €	6.399,85 €	10.594,67 €	25.489,22 €	41.492,54 €	
kumulierte Zahlungsreihe	- 86.294,93 €	- 83.976,28 €	- 77.576,43 €	- 66.981,76 €	- 41.492,54 €	0,00 €	

Tabelle 55: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur Einzahlungen – optimistisches Szenario

Vorsichtiges Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen					15.000,01 €		
Anschaffungsauszahlung					5.166,67 €		
Installationsauszahlung					9.833,34 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt		- €	- €	- €	- €	974,19 €	993,67 €
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		0	0	0	0	1	1
Auszahlungen Stromeinkauf		- €	- €	- €	- €	5.965,03 €	8.092,16 €
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter						1.120,73 €	1.143,15 €
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung		- €	- €	- €	- €	6.984,65 €	9.475,38 €
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter						1.851,64 €	1.888,68 €
Gesamtzahlungsreihe	- €	- €	- €	- €	- 15.000,01 €	45,43 €	389,55 €
Kapitalwert	- €						
abgezinste Zahlungsreihe	- €	- €	- €	- €	- 14.703,72 €	44,31 €	378,06 €
kummulierte Zahlungsreihe	- €	- €	- €	- €	- 14.703,72 €	- 14.659,41 €	- 14.281,35 €
Niveau Einzahlungen	71%						
Reduzierung um	29%						
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen		20.166,68 €					
Anschaffungsauszahlung		10.333,34 €					
Installationsauszahlung		9.833,34 €					
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	1.013,55 €	1.033,82 €	2.108,99 €	2.151,17 €	2.194,19 €	2.238,07 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	1	1	2	2	2	2	
Auszahlungen Stromeinkauf	10.977,83 €	14.892,52 €	36.558,16 €	49.594,80 €	67.280,30 €	91.272,45 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	12.854,30 €	17.438,14 €	42.807,16 €	58.072,19 €	78.780,73 €	106.873,94 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankern	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Gesamtzahlungsreihe	862,93 €	- 18.654,87 €	4.140,01 €	6.326,23 €	9.306,24 €	13.363,41 €	
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	833,32 €	- 17.925,19 €	3.958,29 €	6.018,44 €	8.809,43 €	12.587,07 €	
kummulierte Zahlungsreihe	- 13.448,03 €	- 31.373,22 €	- 27.414,93 €	- 21.396,49 €	- 12.587,07 €	- €	

Tabelle 56: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur Einzahlungen - vorsichtiges Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen					20.166,68 €		
Anschaffungsauszahlung					10.333,34 €		
Installationsauszahlung					9.833,34 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	7.200,00 €	7.344,00 €	7.490,88 €	7.640,70 €	8.767,70 €	8.943,05 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €	
Anzahl Ladesäulen	8	8	8	8	8	9	9
Auszahlungen Stromeinkauf	16.731,28 €	22.697,65 €	30.791,63 €	41.771,93 €	56.667,80 €	76.875,54 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter	1.035,38 €	1.056,09 €	1.077,21 €	1.098,76 €	1.120,73 €	1.143,15 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	18.160,29 €	24.636,25 €	33.421,53 €	45.339,65 €	61.507,77 €	83.441,44 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter	1.710,63 €	1.744,85 €	1.779,74 €	1.815,34 €	1.851,64 €	1.888,68 €	
Gesamtzahlungsreihe	- € -	5.770,99 € -	5.405,40 € -	4.860,98 € -	24.239,66 € -	3.927,73 € -	2.377,15 €
Kapitalwert	-	0,00 €					
abgezinste Zahlungsreihe	- € -	5.742,28 € -	5.351,75 € -	4.788,79 € -	23.760,86 € -	3.830,99 € -	2.307,07 €
kummulierte Zahlungsreihe	- € -	5.742,28 € -	11.094,03 € -	15.882,82 € -	39.643,68 € -	43.474,67 € -	45.781,74 €
Niveau Einzahlungen	66%						
Reduzierung um	34%						
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen		20.166,68 €					
Anschaffungsauszahlung		10.333,34 €					
Installationsauszahlung		9.833,34 €					
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	9.121,92 €	9.304,35 €	10.544,93 €	10.755,83 €	10.970,95 €	11.190,37 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	9	9	10	10	10	10	
Auszahlungen Stromeinkauf	104.289,35 €	141.478,93 €	191.930,32 €	260.372,67 €	353.221,57 €	479.180,38 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	113.196,66 €	153.562,59 €	208.323,00 €	282.610,99 €	383.390,06 €	520.106,96 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankern	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Gesamtzahlungsreihe	-	214,61 € -	17.387,38 €	5.847,75 €	11.482,48 €	19.197,54 €	29.736,21 €
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	-	207,25 € -	16.707,28 €	5.591,06 €	10.923,83 €	18.172,68 €	28.008,69 €
kummulierte Zahlungsreihe	-	45.988,99 € -	62.696,27 € -	57.105,21 € -	46.181,38 € -	28.008,69 € -	0,00 €

Tabelle 57: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur Einzahlungen - vorsichtiges Szenario

Sonstige Auszahlungen

Optimistisches Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen	8.700,01 €	8.700,01 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €
Förderung	11.466,67 €	11.466,67 €					
Wartungszahlungen gesamt		1.800,00 €	3.672,00 €	5.618,16 €	7.640,70 €	9.741,89 €	11.924,07 €
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		2	4	6	8	10	12
Auszahlungen Stromeinkauf	19.435,62 €	62.503,69 €	120.952,43 €	190.584,41 €	269.066,60 €	355.022,38 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter	1.035,38 €	1.056,09 €	1.077,21 €	1.098,76 €	1.120,73 €	1.143,15 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	32.111,03 €	103.266,97 €	199.834,44 €	314.878,59 €	444.544,82 €	586.558,72 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter	1.710,63 €	1.744,85 €	1.779,74 €	1.815,34 €	1.851,64 €	1.888,68 €	
Sonstige Auszahlungen	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €
Gesamtzahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 249.147,54 €	- 234.398,34 €	- 198.225,76 €	- 154.836,14 €	- 105.753,29 €	- 51.877,36 €
Kapitalwert	- €						
abgezinste Zahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 247.908,00 €	- 232.071,82 €	- 195.281,86 €	- 151.777,74 €	- 103.148,66 €	- 50.347,91 €
kummulierte Zahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 256.608,01 €	- 488.679,83 €	- 683.961,69 €	- 835.739,43 €	- 938.888,09 €	- 989.236,00 €
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	10.083,34 €		
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	5.166,67 €		
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	4.916,67 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	14.189,65 €	16.541,07 €	18.980,88 €	21.511,67 €	23.038,99 €	23.499,77 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	14	16	18	20	21	21	
Auszahlungen Stromeinkauf	447.607,84 €	546.295,68 €	650.756,94 €	760.792,66 €	864.815,50 €	961.291,55 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	739.526,00 €	902.575,46 €	1.075.163,64 €	1.256.961,79 €	1.428.825,61 €	1.588.220,82 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankern	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Sonstige Auszahlungen	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €	251.322,94 €	
Gesamtzahlungsreihe	6.238,89 €	68.249,10 €	133.936,20 €	203.167,84 €	279.564,84 €	352.106,56 €	
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	6.024,83 €	65.579,55 €	128.057,03 €	193.283,31 €	264.640,23 €	331.651,05 €	
kummulierte Zahlungsreihe	- 983.211,16 €	- 917.631,62 €	- 789.574,59 €	- 596.291,28 €	- 331.651,05 €	- €	

Tabelle 58: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur sonstige Auszahlungen – optimistisches Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen	8.700,01 €	8.700,01 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €
Förderung	11.466,67 €	11.466,67 €					
Wartungszahlungen gesamt		9.000,00 €	11.016,00 €	13.109,04 €	15.281,40 €	17.535,40 €	19.873,45 €
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		10	12	14	16	18	20
Auszahlungen Stromeinkauf	102.037,03 €	195.324,03 €	292.301,70 €	393.080,34 €	497.773,21 €	606.496,57 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter	1.035,38 €	1.056,09 €	1.077,21 €	1.098,76 €	1.120,73 €	1.143,15 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	168.582,92 €	322.709,27 €	482.933,24 €	649.437,09 €	822.407,92 €	1.002.037,81 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter	1.710,63 €	1.744,85 €	1.779,74 €	1.815,34 €	1.851,64 €	1.888,68 €	
Sonstige Auszahlungen	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €
Gesamtzahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 356.582,71 €	- 309.226,03 €	- 248.072,76 €	- 184.519,91 €	- 118.495,96 €	- 49.927,48 €
Kapitalwert	- 0,00 €						
abgezinst Zahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 354.808,66 €	- 306.156,81 €	- 244.388,57 €	- 180.875,19 €	- 115.577,48 €	- 48.455,52 €
kumulierte Zahlungsreihe	- 8.700,01 €	- 363.508,67 €	- 669.665,48 €	- 914.054,05 €	- 1.094.929,24 €	- 1.210.506,72 €	- 1.258.962,24 €
	7	8	9	10	11	12	
Errichtungsauszahlungen	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	20.166,68 €	10.083,34 €		
Anschaffungsauszahlung	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	10.333,34 €	5.166,67 €		
Installationsauszahlung	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	9.833,34 €	4.916,67 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	22.298,02 €	24.811,61 €	27.416,83 €	30.116,33 €	31.815,75 €	32.452,07 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen	22	24	26	28	29	29	
Auszahlungen Stromeinkauf	719.369,75 €	836.515,25 €	958.058,83 €	1.084.129,55 €	1.214.859,87 €	1.350.385,75 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf /	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	1.188.523,93 €	1.382.068,68 €	1.582.879,81 €	1.791.170,56 €	2.007.159,78 €	2.231.072,11 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankern	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Sonstige Auszahlungen	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €	405.428,58 €
Gesamtzahlungsreihe	21.260,90 €	95.146,55 €	171.808,88 €	251.329,41 €	344.972,23 €	442.805,70 €	
Kapitalwert							
abgezinst Zahlungsreihe	20.531,43 €	91.424,91 €	164.267,28 €	239.101,72 €	326.555,85 €	417.081,06 €	
kumulierte Zahlungsreihe	- 1.238.430,81 €	- 1.147.005,90 €	- 982.738,62 €	- 743.636,90 €	- 417.081,06 €	- 0,00 €	

Tabelle 59: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur sonstige Auszahlungen – optimistisches Szenario

Vorsichtiges Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen					15.000,01 €		
Anschaffungsauszahlung					5.166,67 €		
Installationsauszahlung					9.833,34 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt		- €	- €	- €	- €	974,19 €	993,67 €
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule		900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €
Anzahl Ladesäulen		0	0	0	0	1	1
Auszahlungen Stromeinkauf		- €	- €	- €	- €	5.965,03 €	8.092,16 €
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter						1.120,73 €	1.143,15 €
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung		- €	- €	- €	- €	9.855,27 €	13.369,66 €
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter						1.851,64 €	1.888,68 €
Sonstige Auszahlungen		11.198,65 €	11.198,65 €	11.198,65 €	11.198,65 €	11.198,65 €	11.198,65 €
Gesamtzahlungsreihe	- € -	11.198,65 €	- 11.198,65 €	- 11.198,65 €	- 26.198,66 €	- 8.282,60 €	- 6.914,82 €
Kapitalwert	- €						
abgezinste Zahlungsreihe	- € -	11.142,93 €	- 11.087,50 €	- 11.032,33 €	- 25.681,17 €	- 8.078,60 €	- 6.710,96 €
kummulierte Zahlungsreihe	- € -	11.142,93 €	- 22.230,43 €	- 33.262,76 €	- 58.943,93 €	- 67.022,54 €	- 73.733,50 €
		7	8	9	10	11	12
Errichtungsauszahlungen			20.166,68 €				
Anschaffungsauszahlung			10.333,34 €				
Installationsauszahlung			9.833,34 €				
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt		1.013,55 €	1.033,82 €	2.108,99 €	2.151,17 €	2.194,19 €	2.238,07 €
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule		1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €
Anzahl Ladesäulen		1	1	2	2	2	2
Auszahlungen Stromeinkauf		10.977,83 €	14.892,52 €	36.558,16 €	49.594,80 €	67.280,30 €	91.272,45 €
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter		1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung		18.137,28 €	24.605,03 €	60.400,43 €	81.939,23 €	111.158,75 €	150.797,97 €
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter		1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €
Sonstige Auszahlungen		11.198,65 €	11.198,65 €	11.198,65 €	11.198,65 €	11.198,65 €	11.198,65 €
Gesamtzahlungsreihe	-	5.052,74 €	- 22.686,63 €	10.534,64 €	18.994,62 €	30.485,62 €	46.088,79 €
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	-	4.879,38 €	- 21.799,25 €	10.072,22 €	18.070,49 €	28.858,14 €	43.411,28 €
kummulierte Zahlungsreihe	-	78.612,88 €	- 100.412,13 €	- 90.339,91 €	- 72.269,42 €	- 43.411,28 €	- €

Tabelle 60: Sensitivitätsanalyse neue öffentliche Ladeinfrastruktur sonstige Auszahlungen - vorsichtiges Szenario

	0	1	2	3	4	5	6
Errichtungsauszahlungen					20.166,68 €		
Anschaffungsauszahlung					10.333,34 €		
Installationsauszahlung					9.833,34 €		
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	7.200,00 €	7.344,00 €	7.490,88 €	7.640,70 €	8.767,70 €	8.943,05 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	900,00 €	918,00 €	936,36 €	955,09 €	974,19 €	993,67 €	
Anzahl Ladesäulen		8	8	8	8	9	9
Auszahlungen Stromeinkauf	16.731,28 €	22.697,65 €	30.791,63 €	41.771,93 €	56.667,80 €	76.875,54 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter	1.035,38 €	1.056,09 €	1.077,21 €	1.098,76 €	1.120,73 €	1.143,15 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	27.642,98 €	37.500,47 €	50.873,13 €	69.014,49 €	93.625,06 €	127.011,75 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter	1.710,63 €	1.744,85 €	1.779,74 €	1.815,34 €	1.851,64 €	1.888,68 €	
Sonstige Auszahlungen	82.625,29 €	82.625,29 €	82.625,29 €	82.625,29 €	82.625,29 €	82.625,29 €	
Gesamtzahlungsreihe	- € - 78.913,59 €	- 75.166,48 €	- 70.034,67 €	- 83.190,11 €	- 54.435,73 €	- 41.432,13 €	
Kapitalwert	- €						
abgezinste Zahlungsreihe	- € - 78.520,99 €	- 74.420,41 €	- 68.994,57 €	- 81.546,90 €	- 53.095,02 €	- 40.210,63 €	
kumulierte Zahlungsreihe	- € - 78.520,99 €	- 152.941,40 €	- 221.935,97 €	- 303.482,87 €	- 356.577,88 €	- 396.788,51 €	
		7	8	9	10	11	12
Errichtungsauszahlungen			20.166,68 €				
Anschaffungsauszahlung			10.333,34 €				
Installationsauszahlung			9.833,34 €				
Förderung							
Wartungszahlungen gesamt	9.121,92 €	9.304,35 €	10.544,93 €	10.755,83 €	10.970,95 €	11.190,37 €	
Wartungsauszahlungen pro Ladesäule	1.013,55 €	1.033,82 €	1.054,49 €	1.075,58 €	1.097,09 €	1.119,04 €	
Anzahl Ladesäulen		9	9	10	10	10	10
Auszahlungen Stromeinkauf	104.289,35 €	141.478,93 €	191.930,32 €	260.372,67 €	353.221,57 €	479.180,38 €	
- davon Auszahlungen Stromeinkauf Ankermieter	1.166,01 €	1.189,33 €	1.213,12 €	1.237,38 €	1.262,13 €	1.287,37 €	
Einzahlungen Verkauf Ladeleistung	172.304,15 €	233.747,80 €	317.102,27 €	430.180,94 €	583.583,46 €	791.689,33 €	
- davon Einzahlungen Verkauf Ankermieter	1.926,45 €	1.964,98 €	2.004,28 €	2.044,37 €	2.085,25 €	2.126,96 €	
Sonstige Auszahlungen	82.625,29 €	82.625,29 €	82.625,29 €	82.625,29 €	82.625,29 €	82.625,29 €	
Gesamtzahlungsreihe	- 23.732,41 €	- 19.827,46 €	32.001,72 €	76.427,14 €	136.765,65 €	218.693,28 €	
Kapitalwert							
abgezinste Zahlungsreihe	- 22.918,15 €	- 19.051,91 €	30.597,00 €	72.708,80 €	129.464,40 €	205.988,37 €	
kumulierte Zahlungsreihe	- 419.706,66 €	- 438.758,57 €	- 408.161,57 €	- 335.452,77 €	- 205.988,37 €	- €	

Tabelle 61: Sensitivitätsanalyse gesamte öffentliche Ladeinfrastruktur sonstige Auszahlungen - vorsichtiges Szenario

Anhang 11: Korrelation von Einwohnerzahl und verfügbaren Sharing-Fahrzeugen

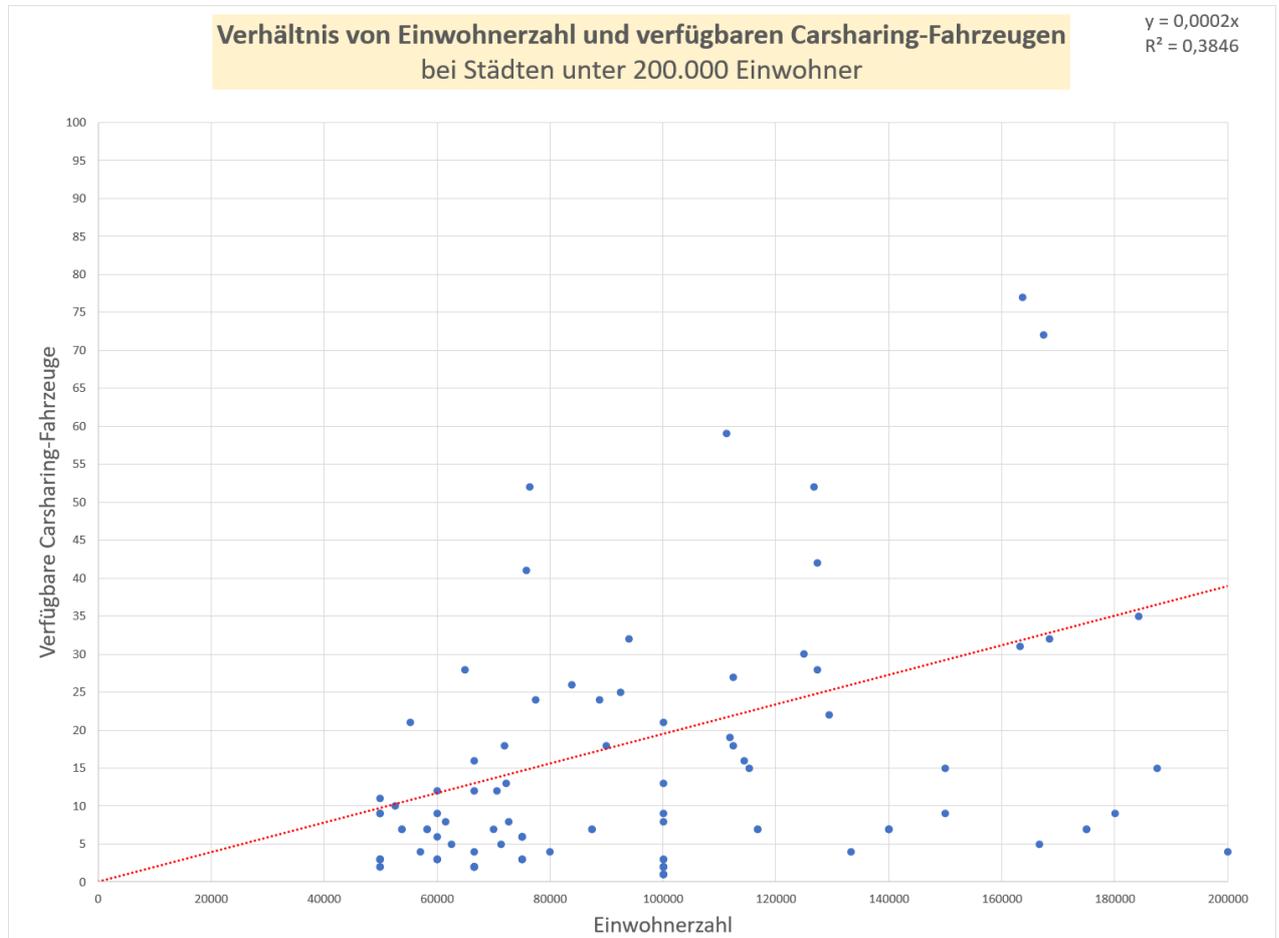


Abbildung 47: Korrelation Fahrzeugflotte

Anhang 12: Ermittlung der Zahlungsströme für das Sharing-Angebot

	Privatkunden		
	Pessimistisches Szenario	Realistisches Szenario	Optimistisches Szenario
durchschnittlich zurückgelegt Strecke in Kilometern pro Tag	70	140	210
maximale Reichweite in Kilometer ID3.Pure (Bedingungen lt. Arbeitspaket 1)	125	125	125
notwendige Ladehäufigkeit in Tagen (mathematisch gerundet)	2	1	1
Anzahl Ladehäufigkeit pro Monat	17	34	50
Akkukapazität ID3.Pure in kWh	45	45	45
Stromkosten je Aufladung in Euro (38 ct/kWh)	17,10 €	17,10 €	17,10 €
Stromkosten pro Fahrzeug je Monat	287,28 €	574,56 €	861,84 €
Stromkosten gesamt je Monat	1.436,40 €	2.872,80 €	4.309,20 €

Tabelle 62: Berechnung der E-Autos-Stromkosten Sharing-Angebot

Akku-Kapazität in Wh lt. Herstellerangaben	522
Maximal-Geschwindigkeit in km/h	25
Maximal-Entfernung pro Stunde in Kilometer	25
Maximal-Reichweite in Kilometer lt. Herstellerangaben	140
analog E-Autos 50 % Reichweite in Kilometer	70

	Pessimistisches Szenario	Realistisches Szenario	Optimistisches Szenario
durchschnittlich zurückgelegte Strecke in Kilometern pro Tag	50	100	150
Aufladung aller X Tage	1,4	0,7	0,5
	2	1	1
--> im Schnitt Aufladung aller	1,5 Tage		
Anzahl Aufladungen pro Monat	20		
Stromkosten	793,44 €	1.190,16 €	2.380,32 €

Tabelle 63: Berechnung der E-Bike-Stromkosten Sharing-Angebot

Anhang 13: Elektrobus-Berechnungen

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ebuco 2.2	500.000,00 €												
Anschaftungskosten													
Betriebskosten		42.061,0											
Kraftstoffverbrauch pro Jahr	9.674,03 €	9.857,51 €	10.064,86 €	10.266,16 €	10.471,48 €	10.680,91 €	10.894,53 €	11.112,42 €	11.334,67 €	11.561,36 €	11.792,59 €	12.028,44 €	
Kraftstoff/Stromkosten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	396,90 €	404,84 €
Kfz-Steuer	- €	- €	- €	- €	- €	42.471,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Battierauszahlungen	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Wartungskosten	13.235,98 €	13.500,70 €	13.770,71 €	14.046,12 €	14.327,05 €	14.613,59 €	14.905,86 €	15.203,98 €	15.508,06 €	15.818,22 €	16.134,58 €	16.457,27 €	
Liquidationserlös													150.254,08 €
Gesamtzahlungsreihe Elektro	- 500.000,00 €	- 22.910,00 €	- 23.368,20 €	- 23.835,57 €	- 24.312,28 €	- 24.798,52 €	- 25.800,39 €	- 26.316,39 €	- 26.842,72 €	- 27.379,58 €	- 28.324,07 €	- 28.324,07 €	- 28.324,07 €
MAN Lion's City 12	250.000,00 €												
Anschaftungskosten													
Betriebskosten		20.805,08 €	21.221,18 €	21.645,60 €	22.078,52 €	22.520,09 €	22.970,49 €	23.429,90 €	23.898,50 €	24.376,47 €	24.864,00 €	25.361,28 €	25.868,50 €
Kraftstoffkosten	651,20 €	664,22 €	677,51 €	691,06 €	704,88 €	718,98 €	733,36 €	748,02 €	762,98 €	778,24 €	793,81 €	809,69 €	825,86 €
Kfz-Steuer	14.706,64 €	15.000,77 €	15.300,79 €	15.606,80 €	15.918,94 €	16.237,32 €	16.562,07 €	16.893,31 €	17.231,17 €	17.575,80 €	17.927,31 €	18.285,86 €	18.647,41 €
Wartungskosten													
Liquidationserlös													75.127,04 €
Gesamtzahlungsreihe Verbrenner	- 250.000,00 €	- 36.162,92 €	- 36.886,18 €	- 37.623,90 €	- 38.376,38 €	- 39.143,91 €	- 39.926,78 €	- 40.725,32 €	- 41.539,83 €	- 42.370,62 €	- 43.218,04 €	- 44.082,40 €	- 44.982,00 €
Differenzzahlungsreihe	- 250.000,00 €	13.252,92 €	13.517,97 €	13.788,33 €	14.064,10 €	14.345,38 €	14.924,94 €	15.223,43 €	15.527,90 €	15.838,46 €	16.154,58 €	16.471,29 €	16.788,61 €
Kapitalwert	- 40.832,22 €												
Zahlungsreihe abgezinst	- 250.000,00 €	13.186,98 €	13.517,97 €	13.719,73 €	14.064,10 €	14.274,01 €	14.850,68 €	15.223,43 €	15.527,90 €	15.838,46 €	16.154,58 €	16.471,29 €	16.788,61 €
kumulierte abgezinste Zahlungsreihe	- 250.000,00 €	- 236.813,02 €	- 223.295,05 €	- 209.575,31 €	- 195.511,21 €	- 181.237,20 €	- 209.075,91 €	- 194.225,23 €	- 179.001,79 €	- 163.551,15 €	- 147.712,68 €	- 132.032,76 €	- 40.832,22 €

