



► Nr. VO/2023/12191  
öffentlich

Lübeck, 26.04.2023

**Vorlage**  
**-öffentlich-**

Verantwortliche Bereiche:  
3.700 - Entsorgungsbetriebe Lübeck

Bearbeitung: Manfred Rehberg (E-Mail: manfred.rehberg@ebhl.de Telefon: 70760-200)

**Grundsätze für die Beschaffung von klimafreundlichen Fahrzeugen für den Fuhrpark der Entsorgungsbetriebe Lübeck**

**Beratungsfolge:**

Datum	Gremium	Status	Zuständigkeit
26.06.2023	Senat	Nichtöffentlich	zur Senatsberatung
13.07.2023	Werkausschuss EBL	Öffentlich	zur Vorberatung
29.08.2023	Hauptausschuss	Öffentlich	zur Vorberatung
31.08.2023	Bürgerschaft der Hansestadt Lübeck	Öffentlich	zur Entscheidung

**Beschlussvorschlag:**

Für den Fuhrpark der Entsorgungsbetriebe Lübeck (EBL) gelten folgende Grundsätze:

1. Bei jeder zukünftigen Fahrzeugbeschaffung bei den EBL muss geprüft werden, ob klimafreundliche Alternativen erhältlich sind.
2. Die Entscheidung hat unter Berücksichtigung von Klimaauswirkungen im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu erfolgen. Klimafolgekosten sind dabei angemessen zu berücksichtigen.
3. Im Zweifel ist der klimafreundlichen Alternative der Vorzug zu gewähren.
4. Ziel ist, die Umstellung des Fuhrparks auf klimaneutrale Antriebe bis spätestens 2040 möglichst abzuschließen.

**Beschlusstext zur Bekanntgabe im öffentlichen Teil:  
(nur bei nichtöffentlichen Vorlagen)**

**Verfahren:**

Bereiche/Projektgruppen	Ergebnis
1.201 Haushalt und Steuerung	Anmerkungen eingearbeitet
3.390 UNV	zur Kenntnis genommen

Beteiligung von Kindern und Jugendlichen gem. § 47 f GO ist erfolgt:

<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>

Ja

Nein- Begründung:

Weil deren Belange nicht betroffen sind (Fahrzeugbeschaffung).

Die Maßnahme ist:

<input checked="" type="checkbox"/>	neu
<input checked="" type="checkbox"/>	freiwillig
<input checked="" type="checkbox"/>	vorgeschrieben durch:
Teilweise vorgeschrieben durch das „Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz“	

Finanzielle Auswirkungen:

<input type="checkbox"/>	Ja (Anlage 1)
<input checked="" type="checkbox"/>	Nein

Auswirkung auf den Klimaschutz:

<input type="checkbox"/>	Nein
<input checked="" type="checkbox"/>	Ja – Begründung:
Mit der Umstellung des Fuhrparks können jährliche CO <sub>2</sub> -Emissionen von ca. 2.000 Mg vermieden werden.	

Begründung der Nichtöffentlichkeit  
gem. § 35 GO:

--

### **Begründung:**

Der Klimawandel zählt zu den zentralen Herausforderungen in der heutigen Zeit. Der Umgang mit der Klimakrise erfordert daher eine schnelle Umsetzung von Maßnahmen, um eine drastische Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen. Mit der Ausrufung des Klimanotstandes am 23.05.2019 hat die Lübecker Bürgerschaft ein klares Bekenntnis der kommunalen Verantwortung abgegeben. Zur Intensivierung der Aktivitäten wurde aufbauend auf den zwei Maßnahmenpaketen (VO/2019/07727-01 und VO/2019/08920) der Masterplan Klimaschutz VO/2023/11957 vorgelegt, der noch in diesem Jahr beschlossen werden soll. Er enthält unter den mittelfristigen Aktivitäten (MO\_EMA\_2) die Maßnahme „Kommunale Fahrzeugflotte treibhausgasneutral betreiben“. Die EBL haben Ende 2022 gemeinsam mit der Infa GmbH eine umfangreiche „Machbarkeitsstudie zu Einsatzmöglichkeiten von Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben sowie der erforderlichen Tank- und Ladeinfrastruktur“ abgeschlossen. Die Studie stellt eine geeignete und in Branchenkreisen anerkannte Grundlage für eine sukzessive und erfolgreiche Transformation der Fahrzeugflotte der EBL dar. Die im MAKS geführte Maßnahme kann auf Grundlage der Machbarkeitsstudie für den städtischen Teilbereich EBL daher unmittelbar in die Umsetzung gehen. Die EBL gelten hier als Pilotbereich für die gesamte Verwaltung, um hieraus Erkenntnisse zu gewinnen für die weitere treibhausgasneutrale Umsetzung der Fahrzeugflotte im Konzern Stadt unter Beachtung der besonderen Rahmenbedingungen der EBL.

Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, ob eine vollständige Umstellung des Fuhrparks der EBL auf klimaneutrale Antriebe bis 2040 möglich ist. Dazu wurde zunächst eine Bestandsaufnahme durchgeführt, die auch das jeweilige zukünftige Anforderungsprofil der verschiedenen Fahrzeugtypen und Einsatzgebiete berücksichtigt. In einem zweiten Schritt wurde geprüft, ob es dafür bereits Angebote mit alternativen Antrieben am Markt gibt. Anschließend wurde untersucht, ob die jeweiligen Standorte für den notwendigen Ausbau der Ladeinfrastruktur geeignet sind. Der mögliche Einsatz von E-Fuels wurde zwar untersucht, aber im weiteren Verlauf nicht weiterverfolgt. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass bis auf wenige Fahrzeuge für den Winterdienst die vollständige Umstellung des Fuhrparks auf klimaneutrale Antriebe bereits heute möglich ist. Überwiegend sollen dafür Elektrofahrzeuge zum Einsatz kommen. Der rechnerischen Einsparung von ca. 2.000 Mg CO<sub>2</sub> pro Jahr stehen erhebliche

che Mehrkosten von maximal 45 Mio. € entgegen. Bei maximaler Förderquote würden sich diese Zusatzkosten auf ca. 15 Mio. € reduzieren.

Dabei wurde unterstellt, dass die Fahrzeuge nach derselben Nutzungsdauer wie bislang ausgetauscht werden und die Anschaffungskosten dem heutigen Niveau entsprechen. Davon ist aber nicht auszugehen, es ist vielmehr zu erwarten, dass die Anschaffungspreise für alternative Antriebe nach Markthochlauf zukünftig deutlich sinken werden, auch wenn sie tendenziell teurer als Verbrenner bleiben werden. Hinzu kommt, dass die zu erwartenden Einsparungen aus laufenden Betriebskosten noch nicht berücksichtigt wurden. Der vollständige Bericht vom 21. Dezember 2022 ist als Anlage 1 beigelegt. Die Erstellung der Studie wurde vom Bundesamt für den Güterverkehr gefördert.

Mit einer systematischen Überführung der Ergebnisse aus der Machbarkeitsstudie in konkrete Maßnahmen, insbesondere mit der Beschaffung von Großfahrzeugen mit alternativen Antriebstechniken gegenüber Diesel-Kraftstoff, sollte unmittelbar begonnen werden. Als ein über Gebühren finanziertes Unternehmen benötigen die EBL politische Beschlüsse, die die aktuell noch gegebenen erheblichen Mehraufwendungen bei der Anschaffung alternativer Fahrzeuge absichern. Punkt 2 des Beschlusses enthält den Hinweis auf eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, in der Klimafolgekosten angemessen zu berücksichtigen sind. In Vorbereitung auf die zu fassenden Beschlüsse haben die EBL eine solche Wirtschaftlichkeitsberechnung vorbereitet, die sich in der Endabstimmung befindet. Im Kern werden hierbei nicht mehr reine Anschaffungskosten der Fahrzeuge betrachtet, sondern die Lebenszykluskosten einschließlich der Kosten für Kraftstoffe/Strom/H<sub>2</sub> sowie der Klimafolgekosten in Form von CO<sub>2</sub>-Preisen und Emissionspreisen für Fahrzeug-typische Schadstoffe. Erste Vergleichsrechnungen belegen, dass bereits mit den heute noch hohen Anschaffungskosten beispielsweise für Batterie-elektrische Großfahrzeuge auch ohne oder mit nur geringer Förderung eine gute Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Diesel-Fahrzeugen realistisch ist.

Die Ausgangslage bei den EBL ist besonders günstig, da der zusätzlich benötigte Strom für den Fuhrpark vollständig aus erneuerbaren Energien zur Verfügung gestellt werden kann. Mehr noch, dieser erneuerbare Strom wird sogar in eigenen Anlagen produziert. Aus Abwasser, Abfall und Sonnenenergie werden die Fahrzeuge betrieben, die zur Abwasser- und Abfallentsorgung sowie zur Stadtreinigung benötigt werden. Ein perfekter Kreislauf.

#### **Anlagen:**

Ergebnisbericht Machbarkeitsstudie vom 21.12.2022

Senator Ludger Hinsen

---

---

# Machbarkeitsstudie zu Einsatzmöglichkeiten von Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben sowie der erforderlichen Tank- und Ladeinfrastruktur

für

LÜBECK   
Entsorgungsbetriebe



## Ansprechpartner

Dipl.-Ing Markus Gieske, M.Sc.  
Dr. Ing. Niklas Heller  
Dr.-Ing. Thomas Böning

**Ahlen,**

21. Dezember 2022

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung der Machbarkeitsstudie.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangslage .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Vorgehensweise / Untersuchungsmethoden.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Ist-Analyse .....</b>	<b>3</b>
4.1	Marktverfügbarkeiten von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben.....	3
4.1.1	Elektrofahrzeuge (BEV) .....	4
4.1.2	Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) .....	6
4.1.3	Biomethanbetriebene Erdgasfahrzeuge (CNG).....	7
4.2	Analyse der Standorte und der Infrastruktur .....	8
4.2.1	Standorte.....	8
4.2.2	Ladestellen- und Tankstelleninfrastruktur .....	11
4.2.3	Energieinfrastruktur .....	12
4.2.4	Analyse des bestehenden Fuhrparks.....	15
<b>5</b>	<b>Durchführung einer Bedarfsanalyse / Machbarkeitsuntersuchung .....</b>	<b>18</b>
5.1	Analyse der zukünftigen Anforderungen an Fuhrpark und Infrastruktur .....	18
5.1.1	Bedarfsanalyse für einen zukünftigen Fuhrpark .....	18
5.1.2	Bedarfsanalyse Ladestelleninfrastruktur .....	22
5.1.3	Erneuerbare-Energien-Anlagen .....	24
5.1.3.1	Standort Malmöstraße (PV-Anlage) .....	25
5.1.3.2	Standort MBA, Deponie, BMW (PV-Anlagen) .....	27
5.1.3.3	Standort Ratekauer Weg (PV-Anlage) .....	30
5.1.3.4	Standort MBA (Elektrolyseur zur Wasserstoffherzeugung) .....	32
5.2	Szenarioanalyse, Wirtschaftlichkeits- und Emissionsbetrachtungen .....	34
5.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung Fuhrparkkonzept.....	40
<b>6</b>	<b>Entwicklung eines konkreten Maßnahmenkataloges.....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Nachweis zu den thematisch passenden Referenzen (Beratungsleistungen).....</b>	<b>46</b>

**A Anhang..... 50**

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Vorgehen bei der Erstellung eines Fuhrparkkonzeptes zum Aufbau einer klimaneutralen Fahrzeugflotte ..... 3

Abbildung 2: Wesentliche Standorte der EBL ..... 9

Abbildung 3: Hauptstandort Abfallentsorgung und der Straßenreinigung (Malmöstraße) ..... 9

Abbildung 4: Zentralklärwerk..... 10

Abbildung 5: Standort der Kanalreinigung (Ratekauer Weg) ..... 10

Abbildung 6: Ladestelleninfrastruktur Hansestadt Lübeck ..... 11

Abbildung 7: Ladestelleninfrastruktur Travemünde ..... 12

Abbildung 8: Energiebilanz der EBL..... 13

Abbildung 9: Fahrzeugflotte der Entsorgungsbetriebe Lübeck ..... 16

Abbildung 10: Fahrzeugkategorien ..... 16

Abbildung 11: Anzahl der zu ersetzenden Fahrzeuge ..... 18

Abbildung 12: Wirkungsgrade Fahrzeugtechnik (Quelle: Zachary Shahan, 2021)..... 19

Abbildung 13: Vergleich Alternative Antriebstechnik ..... 20

Abbildung 14: Wirtschaftlichkeit PV-Anlage Malmöstraße ..... 26

Abbildung 15: Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (Malmöstraße) ..... 27

Abbildung 15: Wirtschaftlichkeit PV-Anlage MBA, Deponie, BMW (Ausbauvariante 1)..... 28

Abbildung 16: Wirtschaftlichkeit PV-Anlage MBA, Deponie, BMW (Ausbauvariante 2)..... 29

Abbildung 18: Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (MBA, Deponie, BMW)..... 30

Abbildung 19: Wirtschaftlichkeit PV-Anlage Ratekauer Weg ..... 31

Abbildung 20: Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (Ratekauer Weg)..... 32

Abbildung 21: Beispielanlage H-TEC Series-ME: ME 100/350 (Quelle: h-tec.com, 2021).....	32
Abbildung 22: Wirtschaftlichkeit Elektrolyseur Standort MBA .....	33
Abbildung 23: Mögliche zukünftige Energiebilanz der EBL .....	34
Abbildung 24: Entwicklung Fahrzeugbestand (Szenario 1) .....	35
Abbildung 25: Entwicklung Fahrzeugbestand (Szenario 2) .....	36
Abbildung 26: Stromverbrauch der zukünftigen Fahrzeugflotte je Standort .....	37
Abbildung 27: Entwicklung der Batteriekapazität am Standort Malmöstraße 22 .....	38
Abbildung 28: Entwicklung der Batteriekapazität am Standort Malmöstraße 22 .....	39
Abbildung 29: Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen der Entsorgungsbetriebe Lübeck ....	40
Abbildung 30: Investitionskosten (ohne Fördermaßnahmen) .....	42
Abbildung 31: Investitionskosten (inkl. Fördermaßnahmen) .....	43
Abbildung 32: Investitionsmehrkosten.....	44

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hersteller im LKW-Schwerlastbereich (Quelle: NOW, 2020).....	8
Tabelle 2: Energiebilanz der EBL-Standorte .....	14
Tabelle 3: Mittelspannungsinfrastruktur (Übersicht) .....	14
Tabelle 4: Nutzungsdauern in den Fahrzeugkategorien .....	17
Tabelle 5: Fahrzeugersatzbeschaffung (Szenario 1) aufgeteilt nach Sparten.....	22
Tabelle 6: Ladedauer Abfallsammelfahrzeug in Abhängigkeit der Ladeleistung.....	23
Tabelle 7: Kostenvergleich Abfallsammelfahrzeuge .....	41

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AC	Wechselstrom
AFID	Richtlinie 2014/94 über Aufbau Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
ASF	Abfallsammelfahrzeug
BEV	Battery Electric Vehicle
BEV-REX	Battery Electric Vehicle mit Range Extender
BHKW	Blockheizkraftwerke
Bio	Bioabfall
BMW	Biomassewerk
BSR	Berliner Stadtreinigung
BZ	Brennstoffzelle
CNG	Compressed Natural Gas
CVD	Clean Vehicles Directive
DC	Gleichstrom
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
EBL	Entsorgungsbetriebe Lübeck
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle
E-Fuels	electrofuel, synthetische Kraftstoffe
E-PTO	elektrischer Nebenabtrieb
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
Fzg.	Fahrzeug
GKM	Großkehrmaschine
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
INFA	Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management
KKM	Kleinkehrmaschine
kVA	elektrische Scheinleistung (Kilo-Volt-Ampere)
kW	Kilo-Watt
LKW	Lastkraftwagen
LNG	Liquefied Natural Gas
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage
MGB	Müllgroßbehälter
MKM	mittelgroße Kehrmaschine
MW	Mega-Watt
N1	bis zu 3,5 Tonnen
N2	3,5 Tonnen bis zu 12 Tonnen
N3	größer 12 Tonnen
NGT	Natural Gas Technology
PKW	Personenkraftwagen
PPK	Papier, Pappe, Kartonage
PV	Photovoltaik
RDE	Real Driving Emissions
RM	Restabfall
WiDi	Winterdienst
ZKW	Zentralkläwerk
zGM	zulässige Gesamtmasse

## **1 Zusammenfassung der Machbarkeitsstudie**

Betriebe aus dem Bereich der Entsorgungslogistik befassen sich vermehrt mit zukunftsgewandten Mobilitäts- und Fuhrparkkonzepten und denken über einen Einsatz von Fahrzeugen mit klimaschonenden, alternativen Antrieben nach bzw. setzen diese bereits in unterschiedlichsten Segmenten ein. Entsprechende Konzepte beinhalten dabei neben dem schrittweisen Austausch der Fahrzeugtechnik (z. B. Elektrofahrzeuge oder Brennstoffzellenfahrzeuge) auch die für den Betrieb erforderliche Infrastruktur.

Im Rahmen von Machbarkeitsstudien zum Aufbau von klimaneutralen Fahrzeugflotten kann auf Basis von wirtschaftlichen, aber auch nicht monetären Betrachtungen bedarfsorientiert geprüft werden, welche Technik für den jeweiligen Betrieb favorisiert werden sollte. Dies hilft den Entsorgungsbetrieben künftige Fehlinvestitionen zu vermeiden. Das für die Entsorgungsbetriebe Lübeck durch die INFA GmbH aufgestellte Fuhrparkkonzept zeigt einen konkreten Weg auf, mit welchen Maßnahmen eine Klimaneutralität des EBL-Fuhrparks bis zum Jahr 2040 umsetzbar sein wird und welche Rahmenbedingungen hierfür sowohl überbetrieblich in Bezug auf Versorgungs- und Tankstellennetze als auch betrieblich in Bezug auf eine Ladestellen- und Tankstelleninfrastruktur geschaffen werden müssen.

Die entstehenden Mehrkosten können aktuell durch bestehende Förderprogramme zumindest in Teilen aufgefangen werden. Zukünftige Preisentwicklungen im Bereich der unterschiedlichen Antriebsarten und der Treibstoffe werden die Marktentwicklung aber ebenso beeinflussen wie politische und gesetzgeberische Rahmenbedingungen.

## 2 Ausgangslage

Das Thema „Elektromobilität“ bzw. „Alternative Antriebe“ wird in den nächsten Jahren auch bei Abfallwirtschaftsbetrieben eine immer weiter zunehmende Rolle spielen. Bereits zum jetzigen Zeitpunkt steht der Einsatz von Fahrzeugen mit klimaschonenden, alternativen Antrieben in vielen Kreisen, Städten und Gemeinden sehr weit oben auf der politischen Agenda. Die europa- und bundesweit festgelegten Klimaschutzziele, gesetzliche Anforderungen an die Beschaffung sauberer Fahrzeuge sowie die stark steigenden Kraftstoffkosten treiben die Anstrengungen in diesem Bereich stark voran. Auch in der Fahrzeugtechnik, insbesondere in der Batterie- und Brennstoffzellentechnik, finden aktuell große Entwicklungsschritte statt und werden für die Zukunft weiterhin erwartet.

In Verbindung mit dem bundespolitischen Willen, den Verkehrssektor zu reformieren, entstehen in diesem Bereich viele nationale und landesweite Fördermöglichkeiten, die Kommunen darin bestärken, die Fahrzeugflotte auf alternative Antriebe umzustellen und die jeweils erforderliche Infrastruktur in Form von Ladestationen und/oder Wasserstoff- bzw. Biomethan-Tankstellen aufzubauen.

Bei der Entscheidungsfindung, welche Antriebstechniken für die unterschiedlichen Aufgaben der Abfallwirtschaftsbetriebe geeignet sind, müssen betriebsspezifische Voraussetzungen und Anforderungen berücksichtigt werden. Für kommunale Logistikbetriebe mit vergleichsweise kurzen Sammeltouren kann z. B. der Einsatz von Elektrofahrzeugen (sog. BEV „Battery Electric Vehicles“) sinnvoll sein, während ein Betrieb mit angegliederter mechanisch-biologischer Abfallaufbereitung oder Bioabfallvergärung und entsprechendem Biogasanfall auch den Einsatz von biomethanbetriebenen Erdgasfahrzeugen (sog. CNG „Compressed Natural Gas Vehicles“) favorisieren kann. Kann durch den Betrieb eine Wasserstoff-Infrastruktur geschaffen und wirtschaftlich betrieben werden (Elektrolyseur inkl. Tankstelle) bzw. ist diese im Einzugsgebiet öffentlich zugänglich vorhanden, kann auch der Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen (sog. FCEV „Fuel Cell Electric Vehicles“) von Vorteil sein. Natürlich sind für viele Betriebe auch Mischformen sinnvoll.

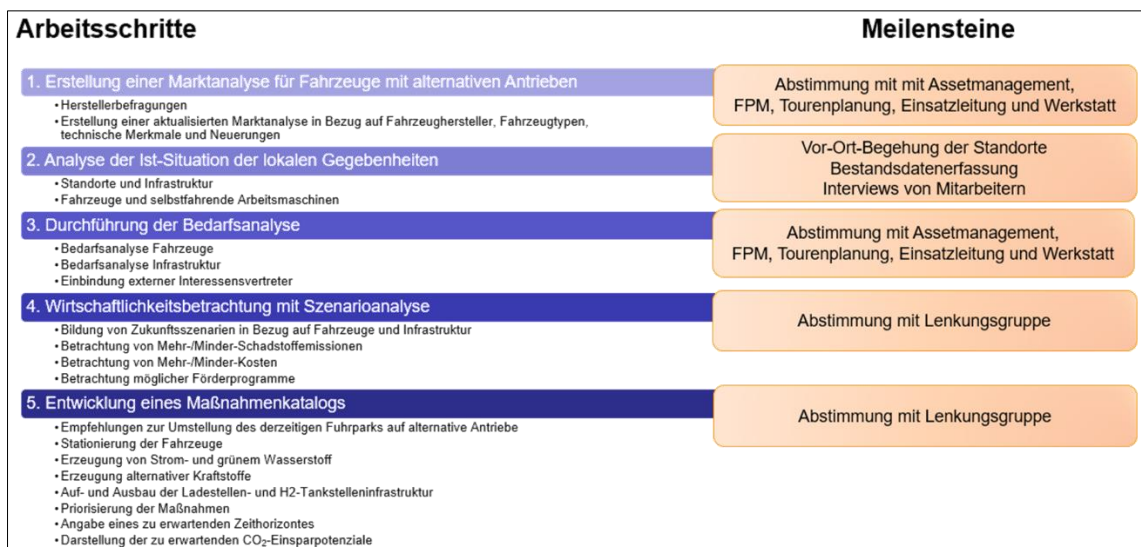
Aus diesem Grund sollten im Vorfeld einer sukzessiven Fuhrparkumstellung strategische Überlegungen zur Machbarkeit angestellt werden, wie ein betriebsspezifisches Fuhrparkentwicklungskonzept unter der Prämisse „einer zukünftigen kommunalen Klimaneutralität“ aussehen kann.

Die Entsorgungsbetriebe Lübeck (EBL) nutzen die Ressource Energie schon heute sorgsam und nachhaltig. Um Möglichkeiten bei der Nutzung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben aufzuzeigen, wurden im Rahmen einer Machbarkeitsstudie mögliche Szenarien

für eine sukzessive Umstellung des Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechniken erarbeitet.

### 3 Vorgehensweise / Untersuchungsmethoden

Die INFA GmbH begleitete die EBL bei der Erstellung und Umsetzung der Fuhrparkstrategie und folgte dabei strukturiert der in Abbildung 1 aufgezeigten Vorgehensweise.



**Abbildung 1: Vorgehen bei der Erstellung eines Fuhrparkkonzeptes zum Aufbau einer klimaneutralen Fahrzeugflotte**

Die einzelnen Arbeitspakete wurden in einer Lenkungsgruppe, die aus Projektleitung, Betriebsleitung, Spartenleitung, Fuhrparkmanagement und der Einsatzleitung Abfalllogistik und Straßenreinigung bestand, schrittweise abgestimmt.

### 4 Ist-Analyse

#### 4.1 Marktverfügbarkeiten von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben

Der Fahrzeugmarkt, insbesondere der von Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen, ist seit einigen Jahren aufgrund des Markthochlaufes sehr stark in Bewegung. Die Verfügbarkeit von Fahrzeugen unterscheidet sich zwischen den unterschiedlichen Fahrzeugklassen z. T. erheblich. Im Rahmen der Marktanalyse wurde in einem ersten Schritt zur Konzepterstellung ein Überblick der derzeit auf dem Markt angebotenen bzw. sich in der

Entwicklungsphase befindenden Fahrzeuge geschaffen. Folgende wesentliche Fahrzeugkategorien wurden betrachtet:

- Elektrofahrzeuge (BEV)
- Brennstoffzellenfahrzeuge (BEV-REX oder FCEV)
- Verbrennerfahrzeuge, E-Fuels
- Verbrennerfahrzeuge, Biomethan

Für aktuell nicht marktverfügbare Fahrzeuge erfolgte eine Verfügbarkeitsprognose. Die gesammelten Ergebnisse der Marktanalyse können dem Anhang entnommen werden.

Für BEV, FCEV und E-Fuels gilt, dass bei Herstellung des jeweiligen Kraftstoffes mit Ökostrom die Fahrzeugvarianten im Betrieb als klimaneutral angesehen werden können. Für Gas-Verbrennerfahrzeuge (CNG-Fahrzeuge) gilt dies im betrachteten Fall nur dann, wenn Biomethan als Kraftstoff eingesetzt werden kann.

#### **4.1.1 Elektrofahrzeuge (BEV)**

Die Marktverfügbarkeit von elektrifizierten schweren Nutzfahrzeugen im Bereich der Abfallwirtschaft ist geringer als von Dieselfahrzeugen. Im Segment der Abfallsammelfahrzeuge sind jedoch erste Hersteller am Markt. Es werden komplette Neukonstruktionen angeboten, die aus elektrifizierten Fahrgestellen (auch Niederflurfahrzeuge), elektrifizierten Aufbauten sowie Schüttungen mit entsprechenden Nebenantrieben bestehen. Teilweise wird für den Betrieb der Fahrzeuge auf die Batterie des Fahrgestells zurückgegriffen, teilweise wird der Nebenantrieb des Aufbaus fahrgestellunabhängig angetrieben. Neben den Neukonstruktionen bieten viele Hersteller auch den Umbau von Fahrzeugen an. Dazu wird im Wesentlichen der dieselbetriebene Antriebsstrang durch einen elektrischen Antriebsstrang ausgetauscht.

Die Fahrzeuge werden aktuell je nach Fahrzeugtyp mit einer Batteriekapazität von bis zu ca. 400 kWh ausgeliefert. Hiermit lassen sich bei Sammeltouren realistische Reichweiten von ca. 120 km ganzjährig realisieren.

Elektrofahrzeuge werden i. d. R. mit Lithium-Ionen-Batterien betrieben, da diese im Vergleich zu anderen Batteriesystemen sehr hohe Energiedichten erreichen können. Nachteilig zu sehen ist das vergleichsweise hohe spezifische Gewicht. Durch das hohe Eigengewicht der Batterien kann ein Nutzlastverlust entstehen, der erfahrungsgemäß derzeit bei etwa 1 Mg liegt.

Die Lebensdauer einer Lithium-Ionen-Batterie ist abhängig von den erforderlichen Ladezyklen. Aktuell geht man im Nutzfahrzeugbereich von > 1.000 Ladezyklen pro System aus. Setzt man ca. 200 Einsatztage der Fahrzeuge bei 50 % Batterienutzung voraus, ist ein Akkutausch damit nach ca. 8 bis 10 Jahren erforderlich. Die Hersteller garantieren oftmals eine entsprechende Batteriebensdauer in diesem Bereich.

Im Folgenden werden exemplarisch einige Fahrzeugbeispiele aus dem Bereich BEV mit ihren wesentlichen Merkmalen dargestellt:

### ● Abfallsammelfahrzeuge

#### ➤ *Collect 6x2R* von *Designwerk* (BEV) (1/2)

- Fahrgestell: Volvo bzw. Mercedes-Benz Eonic (als Low Entry)
- Achszahl: 3
- Nutzlast: bis zu 10,5 t
- zzG: 27 t
- Batteriekapazität: 338,2 kWh (nutzbar: 287,5 kWh)  
bzw. 434,8 kWh (nutzbar: 369,6 kWh)
- Reichweite: bis zu 130 km  
bzw. bis zu 170 km
- Preis: ca. 720.000 €\*  
  
\* Brutto-Preise



Quelle: IFAT 2022

### ● Abfallsammelfahrzeuge

#### ➤ *QHB 27-200* bzw. *-280* von *QUANTRON* (BEV)

- Fahrgestell: Mercedes-Benz Eonic  
(oder Umrüstung)
- Achszahl: 3
- Nutzlast: 11,1 t  
bzw. 9,9 t
- zzG: bis zu 27 t
- Batteriekapazität: 200 kWh  
bzw. 280 kWh
- Reichweite: ca. 120 km bei 1.000 Behälterleerungen  
bzw. ca. 130 km bei 1.000 Behälterleerungen
- Preis: ca. 720.000 €\*  
\* Brutto-Preise
- weiteres:
  - » Aufbau: Hecklader *Olympus* von *Terberg HS*
  - » alle Euro VI-Fahrzeuge umrüstbar (Austausch des Antriebstranges)



Quelle: Quantron 2021

\* Brutto-Preise

● **Abfallsammelfahrzeuge**

➤ **eSpeedline von Terberg HS (Batterie-Aufbau) (1/2)**

- Fahrgestell: Mercedes-Benz eActros (4,6 m Radstand)  
+ Mercedes-Benz eEconic (4,0 m Radstand)  
bereits umgesetzt  
Volvo und Renault liegt technische Machbarkeit vor
- Achszahl: 3
- Nutzlast: ca. 9,7 t mit eActros  
ca. 9,9 t mit eEconic
- zzG: 27 t
- Batteriekapazität: 336 kWh (nutzbar: 291 kWh) (+ ca. 50 kWh für autarken Aufbau)
- Reichweite: ca. 130 km bis 150 km\*
- Preis: ca. 840.000 € (eEconic + eSpeedline)\*\*



Quelle: IFAT 2022

\* Herstelleraussage für reale Reichweite    \*\* Brutto-Preise

**4.1.2 Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)**

Brennstoffzellenfahrzeuge, oftmals auch als Wasserstofffahrzeuge bezeichnet, zählen zu den batterieelektrischen Fahrzeugen und werden, wie auch BEV, mit einem Elektromotor angetrieben. Der für den Betrieb des Motors erforderliche Strom wird aus in Druckbehältern gespeichertem Wasserstoff in einer im Fahrgestell integrierten Brennstoffzelle erzeugt. Bei einigen Fahrzeugtypen ist ein Parallelbetrieb von Batterie und Brennstoffzelle möglich, um z. B. bei Berganfahrten mit hoher Nutzlast eine kurzfristige Leistungssteigerung erzielen zu können.

Ein Beispiel für Brennstoffzellen-Abfallsammelfahrzeuge ist die Bluepower-Reihe von Zoeller und Faun:

● **Abfallsammelfahrzeuge**

➤ **BLUEPOWER von ZOELLER / FAUN (BEV-REX)**

- Fahrgestell: Mercedes-Benz eEconic
- Achszahl: 3
- Nutzlast: bis zu 11 t
- zzG: 27 t
- Batteriekapazität: 85 kWh
- H<sub>2</sub>-Tankgröße: 16,1 kg (größte Ausbaustufe)
- Brennstoffzelle: 30 kW bis 90 kW (Modulbauweise)
- Reichweite: 300 km bis 400 km\*
- Preis: ca. 1,1 Mio. € \*\*
- weiteres:
  - » Hecklader
  - » Druckspeicher: 700 bar, alternativ 350 bar
  - » Tankzeit: bis zu 15 min.
  - » parallel zuschaltbare BZ (höhere Leistung kurzfristig)



Quelle: IFAT 2022

\* Herstelleraussage für reale Reichweite, eigene Berechnung ergeben 180 km – 220 km    \*\* Brutto-Preise

Ein entsprechende Brennstoffzellen Fahrzeug der Firma Zoeller-Kipper wurde bereits im Jahr 2022 durch die EBL beschafft.

Aktuelle Fahrzeuge können in Bezug auf die Anzahl der Brennstoffzellen und der mitgeführten Druckgastanks konfiguriert werden. Aufgrund der im Vergleich zu reinen Elektrofahrzeugen höheren Energiedichte an Bord und des aus einer kleineren Batterie resultierenden geringeren Gewichtes, lassen sich mit Brennstoffzellenfahrzeugen höhere Reichweiten von, je nach Sammelgebiet, bis zu 250 km erzielen.

#### 4.1.3 Biomethanbetriebene Erdgasfahrzeuge (CNG)

Erdgasfahrzeuge können sowohl als CNG-Fahrzeuge (Compressed Natural Gas) als auch als LNG-Fahrzeuge (Liquified Natural Gas) betrieben werden. Aufgrund eines hohen Produktions- und Speicheraufwandes von LNG werden bei schweren kommunalen Nutzfahrzeugen in aller Regel CNG-Fahrzeuge eingesetzt.

##### ● Abfallsammelfahrzeuge

###### ➤ *Econic 2628 NGT*

- Fahrgestell: Mercedes-Benz Econic
- Achszahl: 6x2
- Nutzlast: 9,95 t
- zzG: 26 t (ohne Auflast)
- Antrieb: Erdgas
- Tankgröße: 96 kg (bei 200 bar)
- Reichweite: ca. 170 km\*
- Preis: ca. 360 T€
- weiteres:
  - » Hecklader
  - » Druckspeicher 200 bar
  - » Produktion NGT wurde 2021 eingestellt



Quelle: Heix, W., 2004 [www.lkw-infos.net](http://www.lkw-infos.net)

\* reale Reichweite Erfahrungen BSR

Vor allem bei Einsatz von Biogas in aufbereiteter Form haben Erdgasfahrzeuge in punkto Klimagasemissionen deutliche Vorteile gegenüber Dieselfahrzeugen und können daher für Abfallwirtschaftsbetriebe mindestens als Brückentechnologie angesehen werden. Steht Biogas aus einer MBA, Bioabfallvergärung, Deponie oder einer Kläranlage zur Verfügung, kann bei Aufbereitung dieses Biogases zu Biomethan und Einspeisung des Gases in das Erdgasnetz der Fuhrpark zumindest bilanziell klimaneutral betrieben werden, selbst wenn das Gas nicht direkt getankt wird.

Die Reichweite von CNG-Fahrzeugen erreicht dabei nicht ganz die Reichweite von Dieselfahrzeugen, da die Dichte des Erdgases niedriger ist als die des Diesels und größere Tankvolumen verbaut werden müssen.

Insgesamt geht der Trend bei den Fahrgestellherstellern derzeit in Richtung BEV oder FCEV, weshalb nicht alle namenhaften Hersteller Fahrzeuge im Segment CNG anbieten bzw. sich aus dem Markt zurückziehen.

	BEV	H2-BZ	CNG
DAF	x		
Daimler	x	x	
Iveco	x	x	x
MAN	x	x	
Renault	x		
Scania	x	x	x
Volvo	x	x	

**Tabelle 1: Hersteller im LKW-Schwerlastbereich (Quelle: NOW, 2020)**

Die höchste Herstellervielfalt bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben im Schwerlastbereich besteht bei BEV und FCEV.

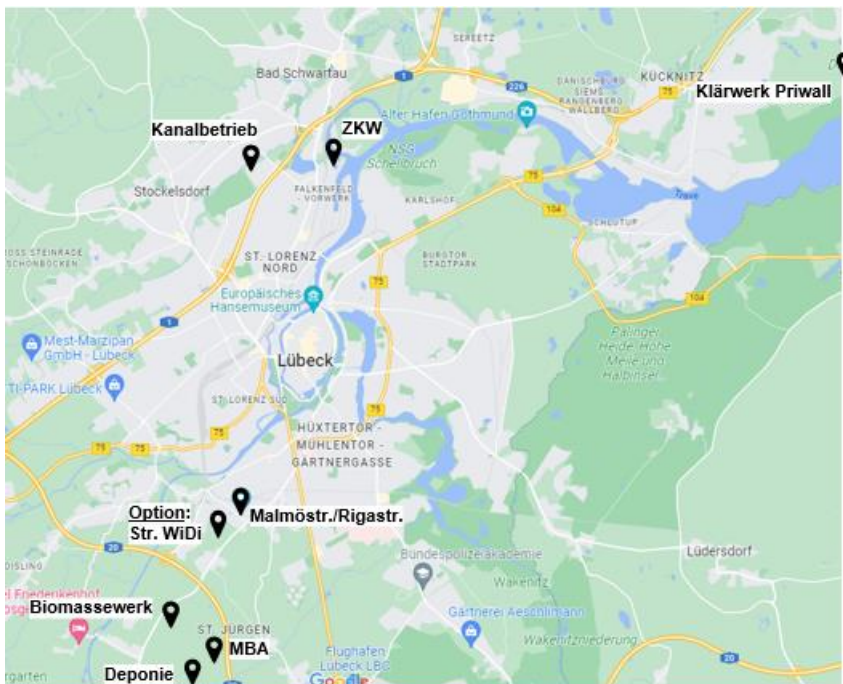
## 4.2 Analyse der Standorte und der Infrastruktur

### 4.2.1 Standorte

Die Fahrzeuge der EBL sind im Wesentlichen an folgenden vier Standorten stationiert, die über das gesamte Stadtgebiet verteilt sind:

- Malmöstraße (Verwaltung, Abfallentsorgung, Straßenreinigung, Werkstatt)
- Ratekauer Weg (Kanalbetrieb)
- Zentralklärwerk (ZKW)
- Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA), Deponie

Die folgende Grafik zeigt die geografische Lage aller Standorte:



**Abbildung 2: Wesentliche Standorte der EBL**

Im Bereich der Abfallsammlung werden durch die EBL jährlich ca. 43.400 Mg Restabfall, ca. 15.900 Mg Bioabfall und ca. 12.400 Mg Altpapier entsorgt. Die 25 Abfallsammelfahrzeuge, die täglich im Einsatz sind, leeren ca. 2,8 Mio. Behälter pro Jahr.

In der Straßenreinigung werden durch 20 Kehrmaschinen ca. 37.000 km Straßen gereinigt, wobei 5.400 Mg Straßenkehrriecht, 1.200 Mg Laub und ca. 1.000 Mg wilde Ablagerungen aufgenommen werden.



**Abbildung 3: Hauptstandort Abfallentsorgung und der Straßenreinigung (Malmöstraße)**

Die Abwasserreinigung erfolgt in zwei Kläranlagen, dem Zentralklärwerk mit 430.000 Einwohnerwerten und der Kläranlage Priwall in Travemünde mit 31.000 Einwohnerwerten. Insgesamt werden jährlich ca. 20 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser gereinigt. Die Ableitung erfolgt durch ein Kanalnetz mit einer Gesamtlänge von fast 1.000 km.

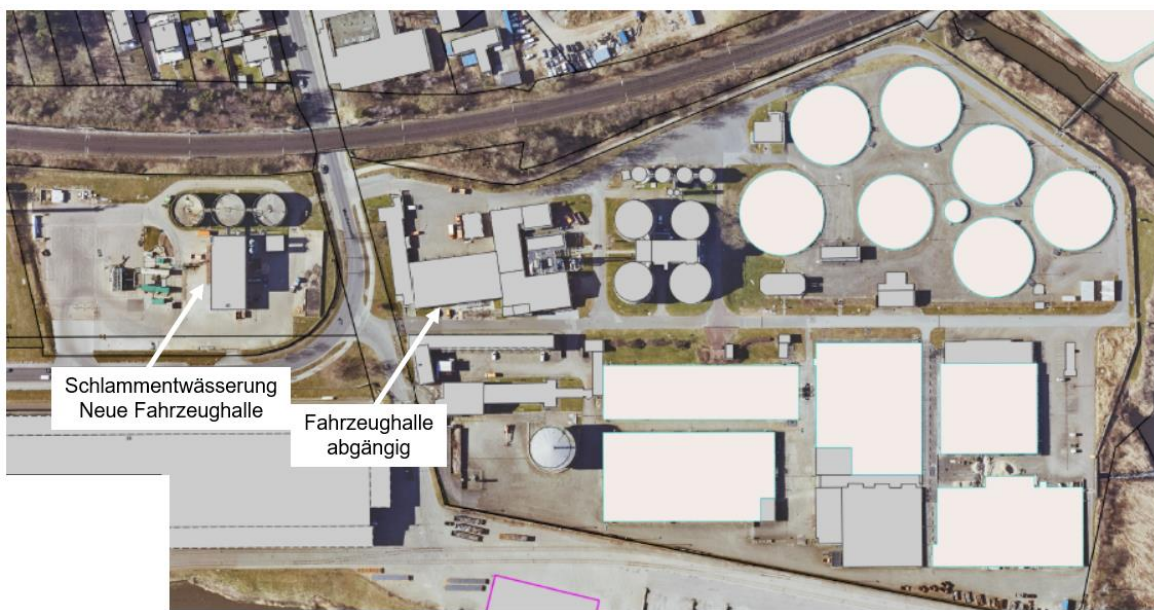
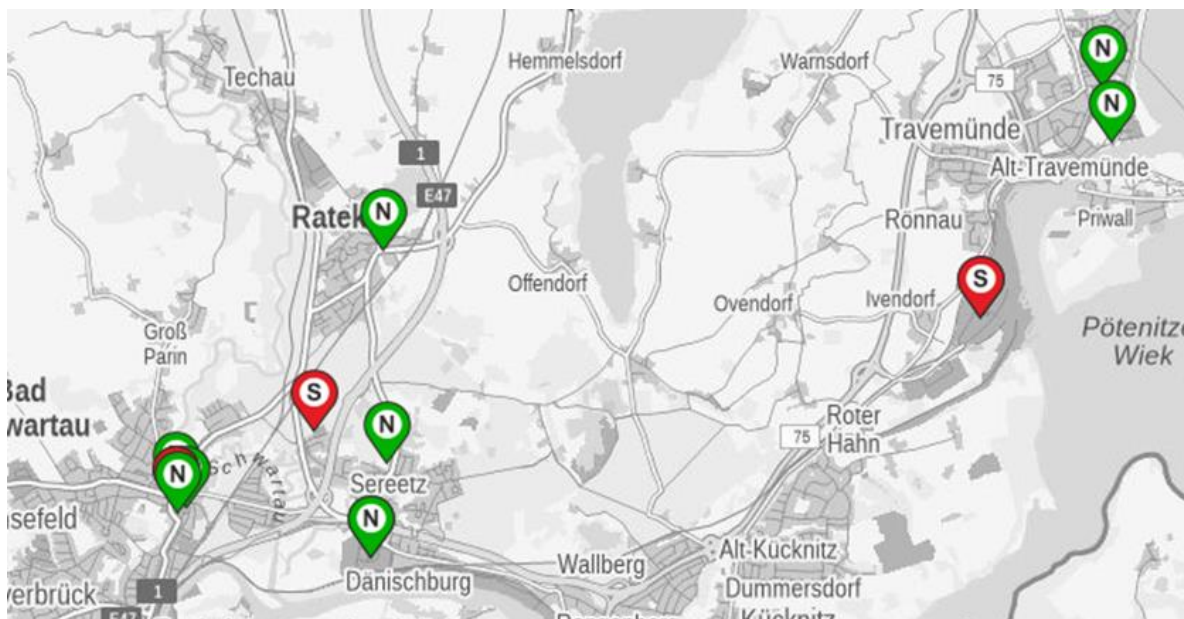


Abbildung 4: Zentralklärwerk



Abbildung 5: Standort der Kanalreinigung (Ratekauer Weg)





**Abbildung 7: Ladestelleninfrastruktur Travemünde**

In Travemünde bestehen sehr wenig Möglichkeiten Fahrzeuge zu laden (3 Ladestellen). Grundsätzlich ist mit einem starken Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur zu rechnen. Aufgrund der Entfernung zum Fahrzeugstandort, kommt der sofortigen Nutzbarkeit der Ladestellen eine höhere Bedeutung zu.

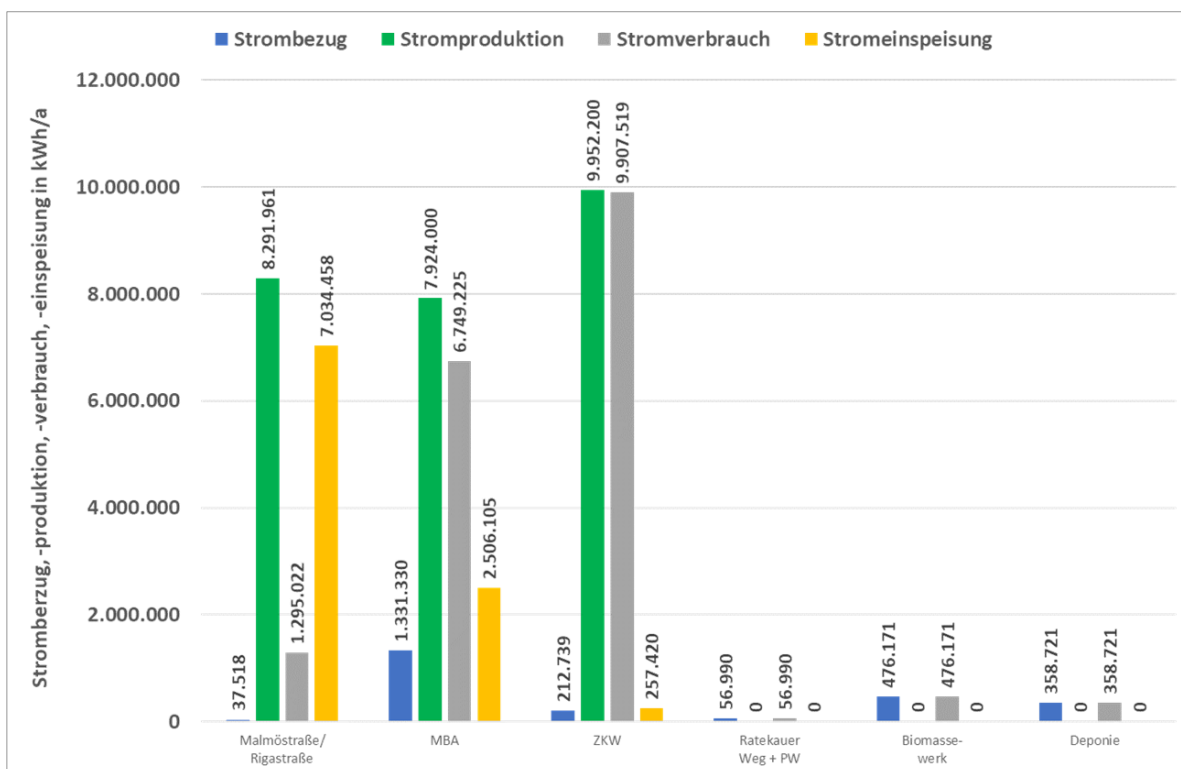
Eine öffentliche Wasserstoffinfrastruktur in Form von Tankstellen besteht in Lübeck derzeit noch nicht. Die nächstgelegene H<sub>2</sub>-Tankstelle ist mit dem Standort Hamburg für die Fahrzeuge der EBL nicht sinnvoll in die Touren einzubinden.

Aktuell wird im Rahmen eines F+E-Projektes der EBL mit der ERC GmbH und der TU Hamburg am Standort Wertstoffhof Niemarkt ein Elektrolyseur, Nominalleistung 220 kW, mit einer Wasserstofftankstelle für 8 bis 10 Nutzfahrzeuge aufgebaut.

#### **4.2.3 Energieinfrastruktur**

Anschließend wurden die Energieversorgung der Standorte (verfügbare Anschlussleistung, vorhandene EE-Anlagen) aufgenommen und eine Energiebilanz aufgestellt, in der Stromquellen und -senken (u. a. der Gesamtstromverbrauch, der Strombezug, die Stromeigenerzeugung sowie die Stromeinspeisung) berücksichtigt wurden.

Dabei war es zielführend, alle relevanten Akteure (z. B. Netzbetreiber, Planungsabteilung, Planungsbüros) einzubinden.



**Abbildung 8: Energiebilanz der EBL**

Insgesamt ist die Energiebilanz der EBL positiv. Es wurden im Jahr 2021 ca. 2.500 MWh Strom vom Energieversorger bezogen und ca. 26.200 MWh durch die energetische Nutzung des anfallenden Bio-, Deponie und Klärgases selbst produziert. Verbraucht wurden hingegen ca. 18.800 MWh. Etwa 9.800 MWh wurden wieder in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Die Arbeitspreise des Energieversorgers steigen von 2022 auf 2023 stark an. Im Jahr 2022 lag der Preis pro kWh bei 27,1 Cent, im Jahr 2023 steigt dieser auf 40,8 Cent<sup>1</sup>. Der Leistungspreis lag im Jahr 2022 bei 86,37 €/kW.

Am Standort Rigastraße werden insgesamt vier BHKWs mit elektrischen Nennleistungen von 2 x 800 kWel, 1 x 738 kWel und 1 x 600 kWel betrieben. Die Stromproduktion an diesem Standort betrug im Jahr 2021 ca. 8.300 MWh/a, bei einer Stromeinspeisung von ca. 7.000 MWh/a und einer elektrischen Leistung von 720 kW im Median.

Am Standort MBA werden insgesamt zwei BHKWs mit einer elektrischen Nennleistung von jeweils 943 kWel betrieben. An diesem Standort betrug die Stromproduktion im Jahr 2021 ca. 7.900 MWh/a und die Stromeinspeisung ca. 2.500 MWh/a.

<sup>1</sup> Bruttopreise, Beschaffung noch nicht abgeschlossen

Die Vergütungssätze bei Stromeinspeisung sind u. a. abhängig von den Masseverhältnissen der einzelnen Stoffströme und dem jeweiligen Deponiegasanteil und lagen im Jahr 2021 für die MBA bei 13,746 ct/kWh und für die Rigastraße (Malmöstraße) bei 12 ct/kWh zzgl. 2,03 ct/kWh für die Wärmenutzung. Für das Zentralklärwerk erfolgt eine Direktvermarktung seit Mai 2022.

Energiedaten 2021		Malmöstraße/ Rigastraße	MBA	Biomasse- werk	Deponie	ZKW	Ratekauer Weg + PW	Summe
Strombezug	kWh/a	37.518	1.331.330	476.171	358.721	212.739	56.990	2.473.469
Stromproduktion	kWh/a	8.291.961	7.924.000	0	0	9.952.200	0	26.168.161
<b>Summe Bezug + Produktion</b>	<b>kWh/a</b>	<b>8.329.479</b>	<b>9.255.330</b>	<b>476.171</b>	<b>358.721</b>	<b>10.164.939</b>	<b>56.990</b>	<b>28.641.630</b>
<b>Stromverbrauch</b>	<b>kWh/a</b>	<b>1.295.022</b>	<b>6.749.225</b>	<b>476.171</b>	<b>358.721</b>	<b>9.907.519</b>	<b>56.990</b>	<b>18.843.648</b>
Min	kW	65	10			0		
25 % Quantil	kW	80	455			15		
Median	kW	95	495			55		
Mittelwert	kW	115	522			138		
75 % Quantil	kW	155	540			200		
Max	kW	260	1.465			0		
<b>Strom einspeisung = 0</b>								
<b>Strombezug = 0</b>								
<b>Strom einspeisung</b>	<b>kWh/a</b>	<b>7.034.458</b>	<b>2.506.105</b>			<b>257.420</b>		<b>9.797.983</b>
Min	kW	0	0			0		
25 % Quantil	kW	721	0			5		
Median	kW	723	145			15		
Mittelwert	kW	945	286			29		
75 % Quantil	kW	1.260	410			20		
Max	kW	2.722	1.535			890		

Ringschlusskonzept

**Tabelle 2: Energiebilanz der EBL-Standorte**

Für die Zukunft ist für die Standorte MBA, Biomassewerk und Deponie ein Ringschluss vorgesehen, was die energieautarke Betriebsweise der Standorte weiter fördern wird. Weiterhin wurde Ende des Jahres 2022 eine PV-Anlage mit 750 kWp am Standort der MBA in Betrieb genommen. Es wird von einer Stromproduktion von 690 MWh/a ausgegangen. Für die Einzelstandorte wurden des Weiteren die Anbindung an das Mittelspannungsnetz (Transformatorstationen, Übergabestationen) aufgenommen und mit der Planungsabteilung und dem Netzbetreiber abgestimmt. In der folgenden Tabelle ist die Nennleistung der Stationen, die aus dem Lastgang des Jahres 2021 ermittelte maximal abgenommene Leistung und die aus der Differenz gebildete zusätzlich mögliche Leistung gegenübergestellt.

Standort	Leistung Verbrauch	Leistung Einspeisung	max. abgenommene Leistung (Lastgang)	max. eingespeiste Leistung (Lastgang)	zus. mögliche Leistung	Auslastung Verbrauch
ZKW	6.715 kVA	4.380 kVA	1.255 kW	890 kW	5.460 kW	19%
MBA, Deponie, BMW	6.200 kW		1.465 kW	1.535 kW	3.200 kW	48%
Rigastr. 10/ Malmöstr. 22	1.430 kVA	2.500 kVA	260 kW	2.590 kW	1.170 kW	18%
Ratekauer Weg	n.b.		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Tabelle 3: Mittelspannungsinfrastruktur (Übersicht)**

Es zeigt sich eine geringe Auslastung der Transformatoren ZKW und Rigastraße/ Malmöstraße und eine mittlere Auslastung der Zentralen Übergabestation MBA, Deponie, BMW. Für den Standort Ratekauer Weg, ausgeführt als Niederspannungsanbindung, waren keine Werte verfügbar. Gemäß Aussage des Netzbetreibers ist aber grundsätzlich eine 10-kV-Anbindung mit bis zu 1.250 kVA und bei Erfordernis eine Direktanbindung (mit Station) möglich.

Grundsätzlich sind Auslastungen der Transformatorstationen > 90 % mit entsprechender Kühlung möglich, dies kann sich aber zu Lasten der Lebensdauer auswirken.

#### **4.2.4 Analyse des bestehenden Fuhrparks**

In einem weiteren Schritt wurden für alle Fahrzeuge die technischen Daten erfasst. Dies waren u. a.:

- Fahrzeugklassen
- Baujahr der Fahrzeuge
- zul. Gesamtgewichte
- tägliche Fahrleistungen/ zu fahrende Sammeltouren

Die Entsorgungsbetriebe Lübeck sind für die Entsorgung des in der Hansestadt anfallenden Abfalls sowie für die Ableitung und Reinigung des kommunalen Abwassers zuständig. Des Weiteren zählt die Stadtreinigung zu den wesentlichen Aufgabenbereichen der Entsorgungsbetriebe. Insgesamt setzen die EBL 271 Fahrzeuge (inkl. Reservefahrzeuge) ein, die im Wesentlichen an den dargestellten Standorten stationiert sind.

Wie beschrieben, ist der Zentralstandort für Großfahrzeuge der Abfallsammlung und der Stadtreinigung die Malmöstraße. Eine Großkehrmaschine (GKM) wird aufgrund der Entfernung direkt vom Standort Travemünde aus eingesetzt. Der Standort der Saug- und Spülfahrzeuge ist der Ratekauer Weg, gegenüber einem Stadtwerke-Standort (ÖPNV-Betrieb der Busse). Transporter, selbstfahrende Arbeitsmaschinen und Geräte sind z. T. auch an den Standorten ZKW, MBA, BMW und Deponie stationiert.

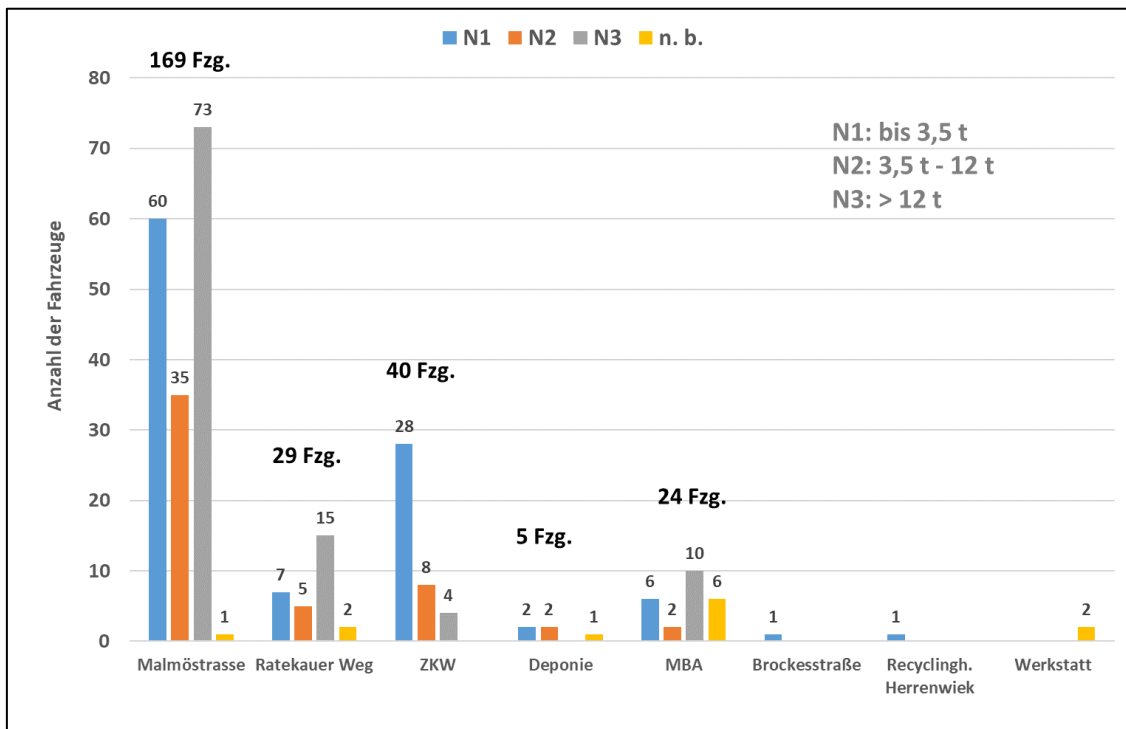


Abbildung 9: Fahrzeugflotte der Entsorgungsbetriebe Lübeck

Der Fahrzeugbestand teilt sich in folgende Fahrzeugkategorien auf:

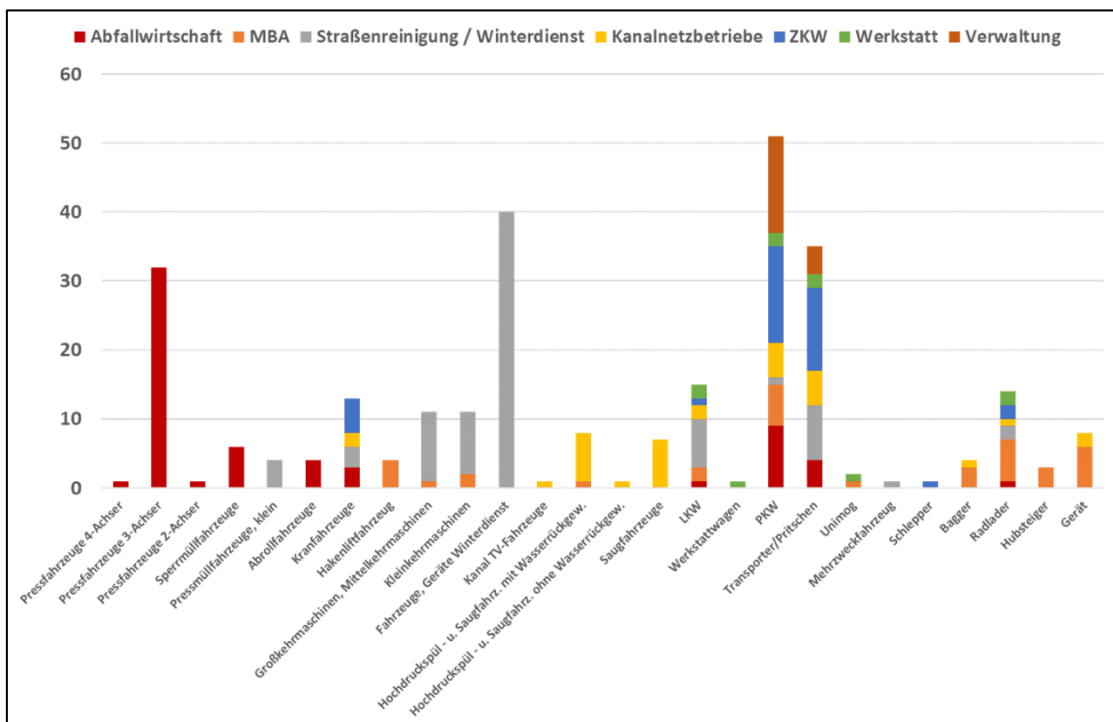


Abbildung 10: Fahrzeugkategorien der Entsorgungsbetriebe Lübeck

Neben den schweren Abfallsammelfahrzeugen, die als Pressfahrzeuge in unterschiedlichen Größenklassen und Achsanzahlen ausgeführt sind, und den Kehrmaschinenfuhrpark, dominieren PKW und Transporter bzw. Pritschenfahrzeuge den EBL-Fuhrpark.

Der Dieserverbrauch der Fahrzeugflotte beträgt derzeit in der Summe jährlich ca. 865.000 Liter. Insgesamt 12 Fahrzeuge werden mit GTL-Kraftstoff betrieben (fossiler Kraftstoff auf Erdgasbasis). Der Verbrauch summiert sich auf ca. jährlich ca. 84.000 Liter. Ein Teil der eingesetzten Fahrzeuge, insbesondere PKWs werden bereits elektrisch betrieben. Diese 28 Fahrzeuge haben hochgerechnet einen Stromverbrauch von derzeit ca. 60.000 kWh/a. Die Nutzungsdauern der Fahrzeuge liegen in einem Bereich von 7 bis 15 Jahren, wobei Abfallsammelfahrzeuge nach 8 Jahren in der Reservehaltung geführt werden.

Nutzungsdauer	Fahrzeugtyp
12 Jahre	Abfallsammelfahrzeuge
8 Jahre	Pressmüllfahrzeuge, klein
12 Jahre	Sperrmüllfahrzeuge
12 Jahre	Groß- & Mittelkehrmaschinen
7 Jahre	Kleinkehrmaschinen
12 Jahre	Abrollkipper
12 Jahre	Hakenlifffahrzeug
12 Jahre	Kranfahrzeuge
12 Jahre	LKW
18 Jahre	Unimog
8 Jahre	Schlepper
7 Jahre	Mehrzweckfahrzeug
10 Jahre	Transporter/Pritschen
18 Jahre	Fahrzeuge, Geräte Winterdienst

**Tabelle 4: Nutzungsdauern in den Fahrzeugkategorien**

Aus den aktuellen Nutzungsdauern ergeben sich in Verbindung mit der Erstzulassung der Fahrzeuge die Ersatzbeschaffungszeitpunkte. Diese werden im Einzelfall mit der Disposition und der Werkstatt fahrzeuggenau festgelegt. Es kann daher sein, dass ein Fahrzeug länger als in der ermittelten Ersatzbeschaffung betrieben wird. Außerdem kann ein Fahrzeug auch früher, z. B. nach einem Unfallschaden, aussortiert werden.

Die folgende Darstellung zeigt die Anzahl der zu beschaffenden Fahrzeuge an den Ersatzbeschaffungszeitpunkten:

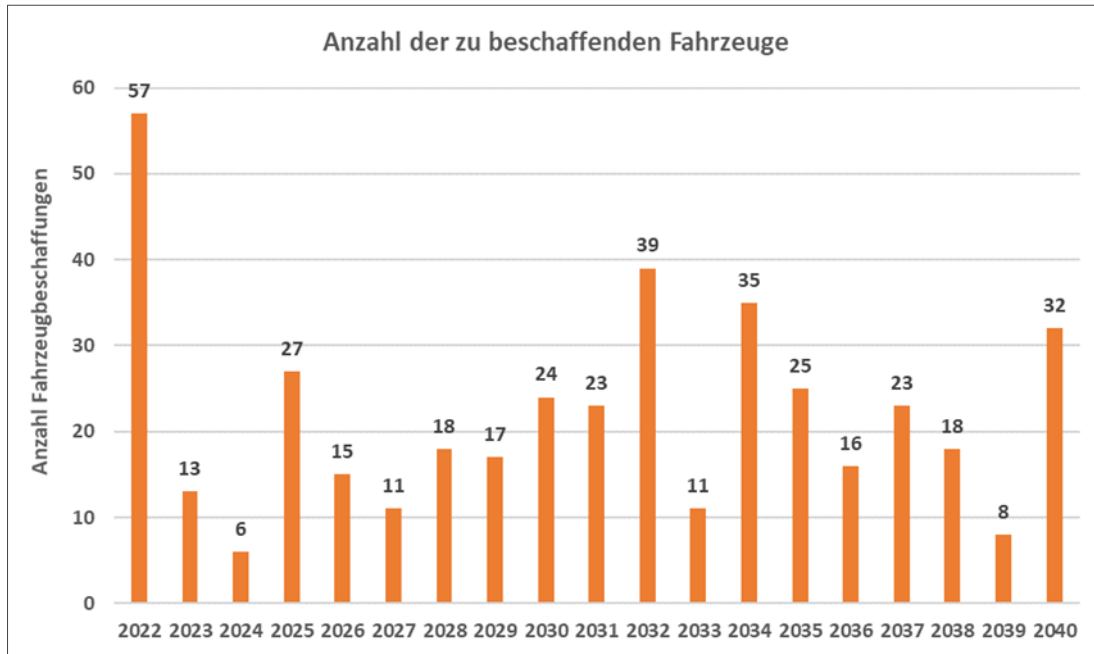


Abbildung 11: Anzahl der zu ersetzenden Fahrzeuge

Die Fuhrparkbedarfsanalyse für die EBL hat ergeben, dass der Anteil der elektrifizierten bzw. mit Brennstoffzellen betriebenen Flotte sukzessive weiter ausbaubar ist.

## 5 Durchführung einer Bedarfsanalyse / Machbarkeitsuntersuchung

### 5.1 Analyse der zukünftigen Anforderungen an Fuhrpark und Infrastruktur

#### 5.1.1 Bedarfsanalyse für einen zukünftigen Fuhrpark

Im Rahmen der Aufstellung von betriebsspezifischen Anforderungsprofilen für einzusetzende Fahrzeuge mit alternativen Antrieben wurden Kriterien für die Elektrifizierung der Flotte benannt. Diese waren z. B.:

- Reichweiten der Fahrzeuge
- Batteriekapazitäten und Ladegeschwindigkeiten
- Mögliche Standzeiten

Es wurde insbesondere beachtet, ob Fahrzeuge kurzfristig im Bereitschaftsdienst oder im Winterdienst verfügbar sein müssen. Für diesen Fall wurde sichergestellt, dass entweder geladene Fahrzeuge jederzeit einsatzbereit zur Verfügung stehen oder einzelne Fahrzeuge weiterhin mit fossilen Kraftstoffen betrieben oder alternativ als Brennstoffzellenfahrzeuge ausgeführt werden.

Nach Abstimmung der betrieblichen Fahrzeuganforderungen wurde jeweils die Fahrzeugvariante ausgewählt, die für den Einsatzzweck die energieärmste Alternative darstellte. Die Auswahl wurde im Wesentlichen vom „well to wheel“ Wirkungsgrad beeinflusst:

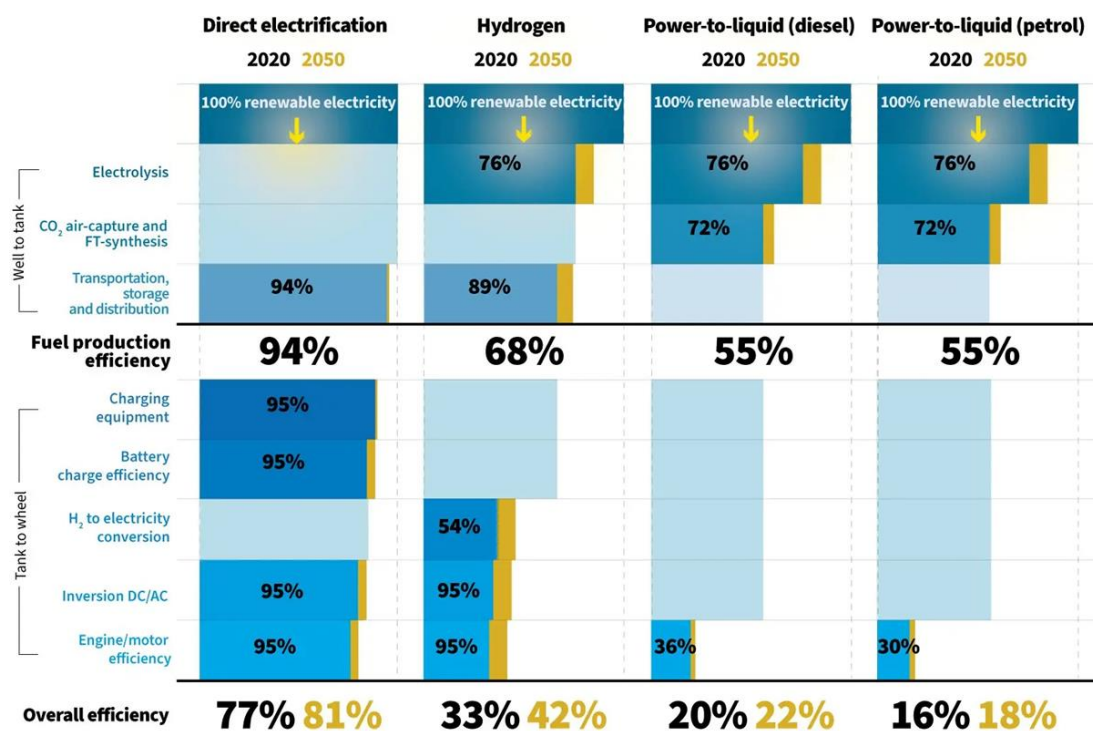
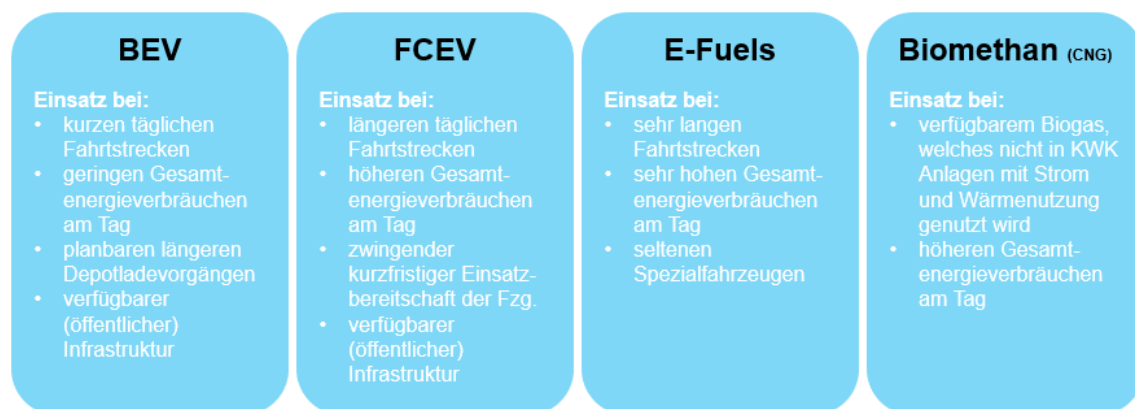


Abbildung 12: Wirkungsgrade Fahrzeugtechnik (Quelle: Zachary Shahan, 2021)

Der Wirkungsgrad ist bei BEV-Fahrzeugen mit ca. 90 % am höchsten. FCEV-Fahrzeuge haben einen Gesamtwirkungsgrad von 30 bis 40 %, das bedeutet, dass trotz Klimaneutralität 2 bis 2,5 mal mehr Strom aus erneuerbaren Energien für den Betrieb der Fahrzeuge eingesetzt werden muss. Dies liegt an der zusätzlichen Energieumwandlung im Elektrolyseur (Strom zu H<sub>2</sub>) und anschließend in der Brennstoffzelle des Fahrzeugs (H<sub>2</sub> zu Strom).

Synthetische Kraftstoffe liegen aufgrund der energieintensiven Kraftstoffproduktion hier nur bei 10 bis 20 %.

Die Nutzung von Biomethan in Verbrennungsmotoren ist für Abfallwirtschaftsbetriebe mit eigener Vergärungsstufe ebenfalls sinnvoll. Das im Rahmen der Bioabfallbehandlung anfallende Biogas kann in entsprechenden Gasaufbereitungsanlagen (z. B. Druckumkehradsorption) zu Erdgasqualität aufbereitet werden und in das Erdgasnetz eingespeist werden. Es ist daher möglich, CNG-Fahrzeugen bilanziell klimaneutral an herkömmlichen Gastankstellen zu betanken. Insgesamt ergeben sich im Vergleich der alternativen Antriebstechniken folgende Einsatzzwecke:



**Abbildung 13: Vergleich Alternative Antriebstechnik**

Auf Basis der dargestellten Einsatzkriterien wurden zwei unterschiedliche Szenarien gebildet:

- **Szenario 1:** Beschaffung von BEV und FCEV
- **Szenario 2:** Beschaffung von BEV, FCEV und CNG-Fahrzeugen

**Szenario 1**

Im Rahmen dieses Szenarios wird eine Beschaffung von PKW ab 2022 als BEV vorgesehen. Die Beschaffung von LKW (N2, N3) als BEV werden erst ab dem Jahr 2025 eingeplant, da ein vorheriger Aufbau der Ladeinfrastruktur erforderlich ist. FCEV werden ebenfalls erst ab dem Jahr 2025 beschafft, da hierfür erst die Wasserstoffinfrastruktur am Wertstoffhof aufgebaut werden muss bzw. eine mobile Wasserstofftankstelle zur Verfügung stehen muss. Bis zum Jahr 2025 werden daher weiterhin überwiegend LKW mit Verbrennungsmotor beschafft. Eine Umstellung auf alternative Antriebe erfolgt im direkten Anschluss.

Insgesamt wird geplant, die eigene Wasserstoffinfrastruktur mit acht schweren Nutzfahrzeugen auszulasten.

### Szenario 2

Szenario 2 baut im Wesentlichen auf Szenario 1 auf. Ergänzend erfolgt eine Beschaffung von mit Biomethan betriebenen CNG-Fahrzeugen anstelle von Dieselfahrzeugen. Die Ersatzbeschaffung der Fahrzeuge kann ohne Zeitverzögerung erfolgen, da bis zur Fertigstellung einer erforderlichen Infrastruktur (Gasaufbereitung z. B. als Druckwechseladsorption) die Fahrzeuge mit Erdgas betrieben werden können. Nach Aufbau der Infrastruktur kann die Biomethanproduktion bilanziell verrechnet werden, wodurch die Fahrzeuge bilanziell klimaneutral betrieben werden.

Die folgenden Tabellen stellen die Fahrzeugersatzbeschaffungen für Szenario 1 (ohne CNG-Fahrzeuge) bis zum Jahr 2040 dar.

Beschaffung	2022	2022	2022	2023	2023	2023	2024	2024	2024	2025	2025	2025
Antrieb	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser			1									
Pressmüllfahrzeuge, klein	2			1			1					
Spermüllfahrzeuge	2											
Groß- & Mittelkehmaschinen												1
Kleinkehmaschinen	3			3				1			3	
Abrollfahrzeuge	2											
Hakenliftfahrzeug	2										1	
Kranfahrzeuge	4						1				1	
LKW	3			1								
Unimog	1										1	
Schlepper												
Mehrzweckfahrzeug		1										
Transporter/Pritschen	11			1								6
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst	4						2			2		
Kanal TV-Fahrzeuge												
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.	3			1							1	
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.	1											
Saugfahrzeuge	3										1	
Hubsteiger	1	1										
PKW		4			2							8
Werkstattwagen	1											
Radlader	2			3			1					
Bagger	1											1
Gerät	4			1							1	
	50	6	1	11	2	0	5	1	0	3	23	1
		57			13			6			27	

Beschaffung	2026	2026	2026	2027	2027	2027	2028	2028	2028	2029	2029	2029	2030	2030	2030
Antrieb	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser		3	1		1			2	1		2	1			3
Pressmüllfahrzeuge, klein															2
Spermüllfahrzeuge					2						1				
Groß- & Mittelkehmaschinen	2							1							1
Kleinkehmaschinen								1		3					3
Abrollfahrzeuge											1				
Hakenliftfahrzeug															
Kranfahrzeuge		3		1				1			1				
LKW	1						1	1				1	1		
Unimog															
Schlepper				1											
Mehrzweckfahrzeug											1				
Transporter/Pritschen	1	2					1	1							6
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst				2			2			2					
Kanal TV-Fahrzeuge															
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.						1									1
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.															
Saugfahrzeuge								1			1				
Hubsteiger															
PKW		2			1						1				1
Werkstattwagen															
Radlader					1			2			1				2
Bagger								1							1
Gerät					1			1							4
	2	12	1	4	7	0	4	13	1	2	13	2	0	24	0
		15			11			18			17			24	

Beschaffung	2031	2031	2031	2032	2032	2032	2033	2033	2033	2034	2034	2034	2035	2035	2035
Antrieb	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser		6				1									
Pressmüllfahrzeuge, klein		1			1										
Spernmüllfahrzeuge					1						2				
Groß- & Mittelkehmaschinen		2			2	1		1							
Kleinkehmaschinen		1			3									1	
Abrollfahrzeuge					1						2				
Hakenliftfahrzeug											2				
Kranfahrzeuge								1			4				
LKW			1		2			2			4			1	
Unimog															
Schlepper														1	
Mehrweckfahrzeug															
Transporter/Pritschen		3			14			1						6	
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst		3			3			1			5			4	
Kanal TV-Fahrzeuge															
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.					1						3			1	
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.											1				
Saugfahrzeuge		1									3				
Hubsteiger															
PKW		2			6			1			7			9	
Werkstattwagen															
Radlader		2			2			3			1				
Bagger					1										1
Gerät		1						1							1
	0	22	1	0	37	2	0	11	0	0	35	0	0	25	0
		23			39			11			35			25	

Beschaffung	2036	2036	2036	2037	2037	2037	2038	2038	2038	2039	2039	2039	2040	2040	2040
Antrieb	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser		3	1		1			2	1		2	1		3	
Pressmüllfahrzeuge, klein															
Spernmüllfahrzeuge											2				
Groß- & Mittelkehmaschinen						1		2						1	1
Kleinkehmaschinen															
Abrollfahrzeuge															
Hakenliftfahrzeug					1									1	
Kranfahrzeuge		1			1			3			1			1	
LKW								1						2	
Unimog														1	
Schlepper															
Mehrweckfahrzeug															
Transporter/Pritschen		3						2						6	
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst		1			7			2						4	
Kanal TV-Fahrzeuge															
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.						1					1				
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.															
Saugfahrzeuge						1								1	
Hubsteiger						3									
PKW		6			5			2						8	
Werkstattwagen						1									
Radlader					1			2			1			2	
Bagger								1						1	
Gerät		1													1
	0	15	1	0	22	1	0	17	1	0	7	1	0	31	1
		16			23			18			8			32	

**Tabelle 5: Fahrzeugersatzbeschaffung (Szenario 1) aufgeteilt nach Sparten**

Bis zum Jahr 2040 muss die Klimaneutralität des EBL-Fuhrparks umgesetzt sein. Aus diesem Grund erfolgt spätestens ab dem Jahr 2030 keine Ersatzbeschaffung in Form von Dieselfahrzeugen.

### 5.1.2 Bedarfsanalyse Ladestelleninfrastruktur

Für die Erstellung des Fuhrparkkonzeptes wurde neben der Beschaffung geeigneter Fahrzeuge auch die Vorhaltung der erforderlichen Infrastruktur für Elektro-, Brennstoffzellen- und Gasfahrzeugen berücksichtigt. Verbraucher mit hoher Leistungsaufnahme, wie z. B. ein Fuhrpark mit einer relevanten Anzahl an Ladepunkten, werden in aller Regel über standortzugewiesene Netzstationen an die Mittelspannung angeschlossen.

Die Auslastung von Transformatorstationen beträgt idealerweise ca. ¾ der Gesamtnennleistung. Die Differenz zur Belastungsgrenze dient dem Netzbetreiber als Leistungsreserve. Diese kann kurzzeitig bei Lastspitzen, aber nicht dauerhaft zum Laden von Elektrofahrzeugen genutzt werden. Bei der Konzeptionierung der Ladeinfrastruktur wurde in

Zusammenarbeit mit dem örtlichen Netzbetreiber geprüft, ob die zur Verfügung gestellten Versorgungskapazitäten ausreichend bemessen sind und ab welchem Jahr ein Ausbau des Verteilernetzes für die Errichtung der Ladeinfrastruktur ggf. erforderlich wird.

Die aufzubauende Ladeinfrastruktur kann je Ladepunkt mit unterschiedlichen, maximalen Ladeleistungen betrieben werden. Wechselstromladestationen (AC) sind derzeit bis 44 kW, Gleichstromladestationen (DC) von 50 kW bis 350 kW Ladeleistung erhältlich. Höhere Ladeleistungen sind fahrzeugseitig mit geringeren Ladedauern, jedoch versorgungsseitig mit höheren Vorhalteleistungen verbunden.

Die Unterschiede in der Ladedauer stellen sich am Beispiel eines Abfallsammelfahrzeugs in Abhängigkeit der eingesetzten Batteriekapazität des Fahrzeugs wie folgt dar:

Batterie- kapazität	Ladeleistung			
	22 kW	44 kW	150 kW	350 kW
250 kWh	ca. 11,5 h	ca. 6,0 h	ca. 2,0 h	-
340 kWh	ca. 15,5 h	ca. 8,0 h	ca. 2,5 h	-
450 kWh	ca. 20,5 h	ca. 10,5 h	ca. 3,0 h	ca. 1,5 h

**Tabelle 6: Ladedauer Abfallsammelfahrzeug in Abhängigkeit der Ladeleistung**

Ladesäulen bis 22 kW sind in den Anschaffungskosten oftmals niedriger als DC-Schnellladesäulen, allerdings nicht in diesem Maße zukunftsicher. Kostentreiber sind ggf. erforderliche Netzausbaukosten für einen ausreichenden Netzanschluss, die z. B. durch die Herstellung von Transformatorstationen entstehen und auf den Betreiber umgelegt werden können.

Um Überspannungen oder zu hohe Leistungsaufnahmen vermeiden zu können, werden sog. Lademanagement-Systeme eingesetzt. Diese können sowohl dynamische als auch statische Komponenten besitzen. Die dynamischen Komponenten beruhen auf der aktuellen, vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) abgenommenen Leistung, sowie dem ggf. selbst erzeugtem Strom. Das Lademanagement-System passt die Stromaufnahme der Ladeinfrastruktur so an, dass eine festgelegte EVU-Gesamtleistungsabnahme nicht überschritten wird.

Die statischen Komponenten beruhen auf betriebsspezifischen Fahrzeugeinsatz- und Schichtplänen, fahrzeugspezifischen Anforderungen und dem stetigen Energiebedarf der Standorte z. B. für die technische Gebäudeausrüstung der Betriebsgebäude. Auf Basis der festgelegten dynamischen und statischen Komponenten wird eine optimale Ladeleistung

für die einzelnen Ladepunkte berechnet. Durch den Nutzer können hierbei fahrzeugspezifische Prioritäten gesetzt werden.

Insgesamt kann durch den Einsatz eines Lademanagement-Systems die aus dem Stromnetz abgenommene Leistung und damit die Hardwareanforderungen an die Trafostationen reduziert werden.

Für die EBL gilt es, einen einsatzspezifischen Kompromiss zwischen Ladedauer und Vorhalteleistung sowie den durch die Ladeinfrastruktur entstehenden Kosten zu finden. Fahrzeuge, die über Nacht auf dem Betriebshof stehen, können mit einer geringeren Ladeleistung geladen werden. Wohingegen Bereitschaftsfahrzeuge, die kurzfristig zur Verfügung stehen müssen oder Fahrzeuge, die zwischengeladen werden müssen, mit einer höheren Ladeleistung geladen werden sollten.

Die Ladeinfrastruktur ist neben den zu beschaffenden Fahrzeugen, den täglich zurückgelegten Strecken und des Aufbaubetriebs abhängig von den jeweiligen Arbeitszeitmodellen. Hiervon sind u. a. die maximal mögliche Ladezeit und die Ladezeitpunkte für die Fahrzeuge abhängig. Folgende Arbeitszeitmodelle gelten für die Mitarbeitenden der EBL:

- Wochenarbeitszeit pro Mitarbeiter: 39,0 h/VZÄ
- Regelbetrieb: 6:00 bis 14:30 Uhr  
-> Teilweise Abweichungen von +/- 1 Std.
- Großkehrmaschinen (+ 2 Kleinkehrmaschinen + Seitenkipper): 4:00 bis 12:30 Uhr
- Reinigung Innenstadt Nachmittagsdienst: 11:30 bis 20:00 Uhr (keine Fahrzeugnutzung)

Für die Fahrzeuge liegt das resultierende Zeitfenster für die Ladevorgänge von ca. 16:00 Uhr bis 04:30 Uhr und damit bei ca. 12,5 Stunden pro Tag. Für die GKM ergibt sich ein Ladezeitfenster von 13.30 Uhr bis 03.30 Uhr und damit von ca. 14 Stunden. Zwischenladungen können, wenn notwendig, in der Pausenzeit von 30 min erfolgen.

### **5.1.3 Erneuerbare-Energien-Anlagen**

Um zukünftig unabhängiger von der Energieversorgung sein zu können, soll an drei Standorten die Eigenstromversorgung gesteigert werden. In diesem Zusammenhang wurde geprüft, ob die Energiebereitstellung für die Infrastruktur und damit für die Fahrzeugflotte über Erneuerbare-Energien-Anlagen (z. B. Photovoltaik-Anlagen), über eine Wasserstoffherzeugung (Elektrolyse) oder über eine Biogasaufbereitung zu Biomethan in Erdgasqualität

erfolgen kann. Ebenfalls erfolgte die Prüfung der vorhandenen Flächenverfügbarkeit und einer möglichen Netzintegration.

Es ist vorgesehen, zusätzliche Photovoltaikanlagen (Leistung in Summe bis zu ca. 5.000 kWp) zur Erzeugung von Ökostrom sowie einen Elektrolyseur (Nominalleistung 220 kW), der mit Strom aus den Photovoltaik- und BHKW-Anlagen versorgt wird, zur Erzeugung von Wasserstoff zu betreiben.

### Photovoltaikanlagen

An folgenden drei Standorten sollen PV-Anlagen vorgesehen werden:

- Standort Malmöstraße
- Standort MBA, Deponie, BMW
- Standort Ratekauer Weg

Im Folgenden werden die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Anlagentechnik und die sich aus dem Bau ergebenden Energiebilanzen standortspezifisch dargestellt.

#### 5.1.3.1 Standort Malmöstraße (PV-Anlage)

Am Standort Malmöstraße ist es vorgesehen, die Fahrzeughallen, das Teilelager und die Werkstätten mit PV-Anlagen zu belegen. Einige Flächen des Werkstattzentralgebäudes können aufgrund der dort vorhandenen Oberlichter nicht belegt werden. Insgesamt stehen folgende Flächen zur Verfügung:

- Fahrzeughallen: 2x 2.000 m<sup>2</sup>
- Lager: 1.000 m<sup>2</sup>
- Lager, Werkstätten: 1.800 m<sup>2</sup>
- Summe: ca. 6.800 m<sup>2</sup>

Da es sich um Flachdächer handelt, werden die Solarmodule mit einem Winkel von 30° aufgeständert. Geht man in einem konservativen Ansatz<sup>2</sup> von einer Belegung von ca. 20 m<sup>2</sup>/kWp und einem Flächennutzungsgrad von 40 % aus, ergibt sich eine mögliche Leistung der PV-Anlage Malmöstraße von ca. 340 kWp. Bei einem spezifischen Ertrag von 790 kWh/kWp ergibt sich ein zu erwartender Jahresgesamtertrag von ca. 268.000 kWh/a. Der erzeugte PV-Strom wird voraussichtlich aufgrund des derzeitigen, hohen

---

<sup>2</sup> Zu klärende Rahmenbedingungen sind u. a. Statik, Randdachflächenausnutzung, Wartungsmöglichkeiten etc.

Stromüberschusses am Standort in das Versorgungsnetz vollständig eingespeist werden müssen. Ein denkbare Zukunftsszenario ist der Aufbau eines EBL-weiten Bilanzrahmens im Bereich der Stromversorgung. Hierzu sind zunächst vertragliche Rahmenbedingungen mit dem Netzbetreiber und dem Energieversorger abzustimmen. Für diesen Fall könnte die eingespeiste Strommenge zu Bezugspreisen vergütet werden, was die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage deutlich erhöhen würde.

Die folgende Tabelle stellt die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage am Standort Malmöstraße dar.

Energiebilanz PV-Anlage Malmöstr.		PV-Anlage	
Stromeinkauf		38 MWh/a	
Stromeigennutzung		1.295 MWh/a	
Stromproduktion BHKW		8.292 MWh/a	
Stromeinspeisung BHKW		7.034 MWh/a	
Stromproduktion PV		268 MWh/a	
Stromeinspeisung PV		268 MWh/a	
<b>Investitionskosten</b>			
	PV Anlage 340 kWp	600.000 €	
	Stromspeicher 0 kWh	- €	
<b>Investitionskosten</b>		<b>600.000 €</b>	
Nutzungsdauer (Jahre)		15	
		dynamische Abschreibung bei 1% Zinssatz	
<b>Kapitalkosten</b>		<b>43.274 €</b>	
Vergütung und Betriebskosten		PV-Anlage	
<b>PV-Anlage</b>		Szenario 1	Szenario 2
		Vergütung EEG	Vergütung Bilanzkreis
	Stromeinspeisung PV	268 MWh/a	268 MWh/a
	Strompreis PV Vergütung	12,0 cent/kWh	41,0 cent/kWh
	Vergütung Einspeisung	- 32.160 €	- 109.880 €
	Einsparung Eigennutzung	- €	- €
	Instandhaltungskosten PV (0,5 % v. Invest.)	3.000 €	3.000 €
<b>Einsparungen, Vergütungen</b>		- 32.160 €	- 109.880 €
<b>Betriebskosten</b>		3.000 €	3.000 €
<b>Kapitalkosten</b>		43.274 €	43.274 €
<b>Jahreskosten</b>		14.114 €	63.606 €
		<b>break even point</b>	<b>17,5 cent/kWh</b>

Abbildung 14: Wirtschaftlichkeit PV-Anlage Malmöstraße

Die Wirtschaftlichkeit der betrachteten PV-Anlage kann unabhängig vom künftigen Fuhrpark bewertet werden, da am Standort bereits jetzt schon ausreichend Strom zur Eigenversorgung erzeugt werden kann.

Bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren und einer angesetzten Verzinsung von 1 % rechnet sich der Bau einer PV-Anlage ab einer Vergütung von ca. 17,5 Cent/kWh. Insbesondere für den Fall der Eigennutzung, z. B. nach Bildung eines Bilanzkreises, ist die Installation einer entsprechenden Anlage sinnvoll.

Durch den Einsatz der PV-Anlage ergibt sich folgende Energiebilanz für den Standort Malmöstraße:

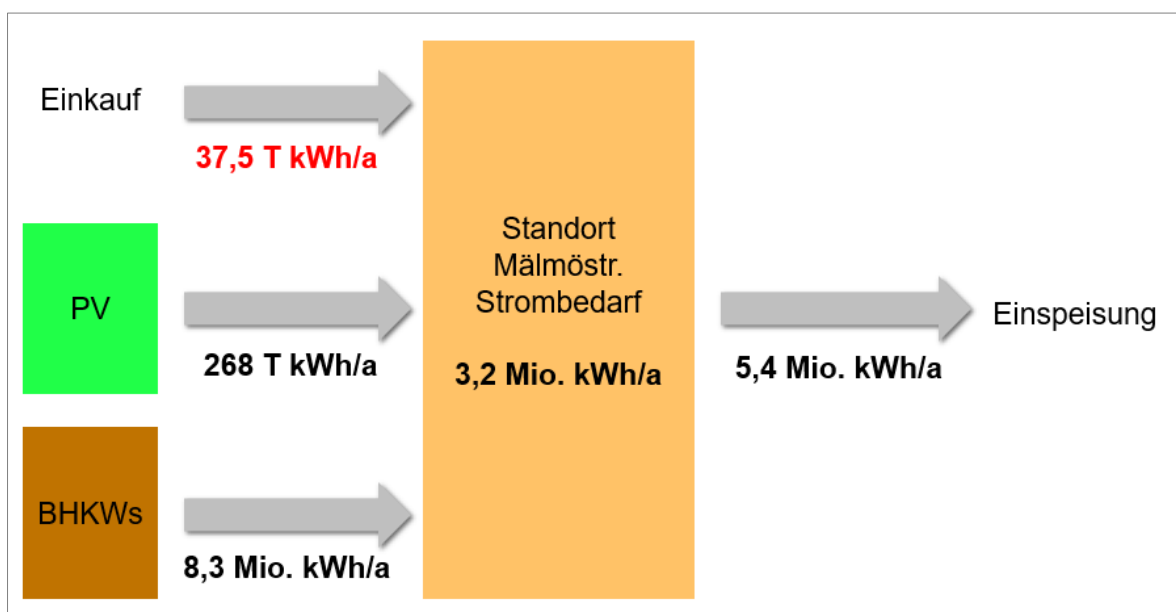


Abbildung 15: Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (Malmöstraße)

### 5.1.3.2 Standort MBA, Deponie, BMW (PV-Anlagen)

Für den Standort MBA, Deponie, BMW wurden zwei Ausbauvarianten der Belegung mit PV-Modulen betrachtet. Hierfür liegen bereits konkrete Planungen vor, die im Rahmen der Studie übernommen wurden.

- PV-Anlage 1 (bis Ende 2022)
  - Leistung: 750 kWp
  - Stromproduktion: 690 MWh/a

- PV-Anlage (Ausbauvariante 1)
  - Leistung: 750 kWp
  - Stromproduktion: 690 MWh/a
- PV-Anlage (Ausbauvariante 2)
  - Leistung: 4.000 kWp
  - Stromproduktion: 3.700 MWh/a

Auch hier wird der erzeugte PV-Strom voraussichtlich aufgrund des derzeitigen Stromüberschusses eingespeist werden müssen. Es ergeben sich folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

**Ausbauvariante 1 (750 kWp + 750 kWp)**

Energiebilanz PV-Anlage MBA Ringschluss	PV-Anlage
Stromeinkauf	2.166 MWh/a
Stromeigennutzung	7.584 MWh/a
Stromproduktion BHKW	7.924 MWh/a
Stromeinspeisung BHKW	2.506 MWh/a
Stromproduktion PV	690 MWh/a
Stromeinspeisung PV	690 MWh/a
<b>Investitionskosten</b>	
PV Anlage 750 kWp	1.200.000 €
Stromspeicher 900 kWh	- €
<b>Investitionskosten</b>	
<b>1.200.000 €</b>	
Nutzungsdauer (Jahre)	15
	dynamische Abschreibung bei 1% Zinssatz
<b>Kapitalkosten</b>	
<b>86.549 €</b>	

Vergütung und Betriebskosten	PV-Anlage	
PV-Anlage	Szenario 1 Vergütung EEG	Szenario 2 Vergütung Bilanzkreis
Stromeinspeisung PV	690 MWh/a	690 MWh/a
Strompreis PV Vergütung	13,7 cent/kWh	41,0 cent/kWh
Vergütung Einspeisung	94.847 €	282.900 €
Einsparung Eigennutzung	- €	- €
Instandhaltungskosten PV (0,5 % v. Invest.)	6.000 €	6.000 €
<b>Einsparungen, Vergütungen</b>	<b>94.847 €</b>	<b>282.900 €</b>
<b>Betriebskosten</b>	<b>6.000 €</b>	<b>6.000 €</b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>86.549 €</b>	<b>86.549 €</b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>2.299 €</b>	<b>190.351 €</b>

<b>break even point</b>	<b>14 cent/kWh</b>
-------------------------	--------------------

Abbildung 16: Wirtschaftlichkeit PV-Anlage MBA, Deponie, BMW (Ausbauvariante 1)

Ab einer Vergütung von ca. 14 Cent/kWh rechnet sich der Bau der zusätzlichen 750 kWp PV-Anlage.

**Ausbauvariante 2 (750 kWp + 4.000 kWp)**

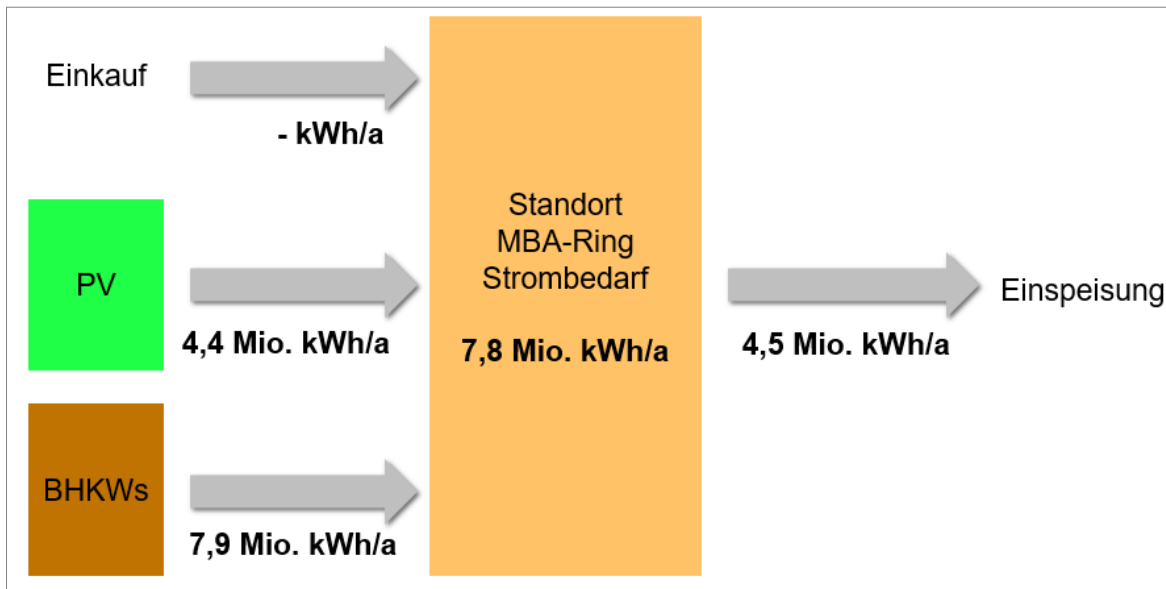
Energiebilanz PV-Anlage MBA Ringschluss		PV-Anlage
Stromeinkauf		2.166 MWh/a
Stromeigennutzung		7.584 MWh/a
Stromproduktion BHKW		7.924 MWh/a
Stromeinspeisung BHKW		2.506 MWh/a
Stromproduktion PV		3.700 MWh/a
Stromeinspeisung PV		3.700 MWh/a
<b>Investitionskosten</b>		
	PV Anlage 4.000 kWp	5.700.000 €
	Stromspeicher 900 kWh	- €
<b>Investitionskosten</b>		<b>5.700.000 €</b>
Nutzungsdauer (Jahre)		15
		dynamische Abschreibung bei 1% Zinssatz
<b>Kapitalkosten</b>		<b>411.106 €</b>

Vergütung und Betriebskosten		PV-Anlage	
PV-Anlage		Szenario 1 Vergütung EEG	Szenario 2 Vergütung Bilanzkreis
Stromeinspeisung PV		3.700 MWh/a	3.700 MWh/a
Strompreis PV Vergütung		13,7 cent/kWh	41,0 cent/kWh
Vergütung Einspeisung	-	508.602 €	- 1.517.000 €
Einsparung Eigennutzung		- €	- €
Instandhaltungskosten PV (0,5 % v. Invest.)		28.500 €	28.500 €
<b>Einsparungen, Vergütungen</b>	-	<b>508.602 €</b>	- <b>1.517.000 €</b>
<b>Betriebskosten</b>		<b>28.500 €</b>	<b>28.500 €</b>
<b>Kapitalkosten</b>		<b>411.106 €</b>	<b>411.106 €</b>
<b>Jahreskosten</b>	-	<b>68.996 €</b>	- <b>1.077.394 €</b>

**Abbildung 17: Wirtschaftlichkeit PV-Anlage MBA, Deponie, BMW (Ausbauvariante 2)**

Für die zweite Ausbauvariante bleibt festzuhalten, dass sich der Bau der 4 MWp PV-Anlage ab einer Vergütung von ca. 12 Cent/kWh rechnet.

Durch die Steigerung der Stromproduktion (PV-Anlage 1 und Ausbauvariante 2) ergibt sich folgende Energiebilanz für den Standort MBA, Deponie, BMW:



**Abbildung 18: Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (MBA, Deponie, BMW)**

### 5.1.3.3 Standort Ratekauer Weg (PV-Anlage)

Am Standort Ratekauer Weg ist es vorgesehen, die Fahrzeughallen und das Verwaltungsgebäude mit einer PV-Anlage auszustatten. Insgesamt werden im Rahmen der Betrachtung folgende Flächen vorgesehen:

- Fahrzeughallen: 2 x 1.000 m<sup>2</sup>
- Verwaltung: 900 m<sup>2</sup>
- Summe: ca. 2.900 m<sup>2</sup>

Es ergeben sich unter den oben genannten Rahmenbedingungen eine mögliche Leistung PV-Anlage von ca. 145 kWp und ein möglicher Jahresgesamtertrag von ca. 115.000 kWh/a. Sollte der am Standort stationierte Fuhrpark (i. W. schwere Nutzfahrzeuge) elektrifiziert werden, ergibt sich ein Strombedarf pro Jahr von ca. 575.000 kWh/a. Daher kann der erzeugte PV-Strom von 115.000 kWh/a voraussichtlich komplett selbst genutzt werden. Hieraus ergibt sich folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Energiebilanz PV-Anlage Ratekauer Weg		PV-Anlage	
Stromeinkauf		4 MWh/a	
Stromeigennutzung		115 MWh/a	
Stromproduktion PV		115 MWh/a	
Stromeinspeisung PV		0 MWh/a	
<b>Investitionskosten</b>			
	PV Anlage 145 kWp	240.000 €	
	Stromspeicher 150 kWh	150.000 €	
<b>Investitionskosten</b>		<b>390.000 €</b>	
Nutzungsdauer (Jahre)		15	
		dynamische Abschreibung bei 1% Zinssatz	
<b>Kapitalkosten</b>		<b>28.128 €</b>	
Vergütung und Betriebskosten		PV-Anlage	
PV-Anlage		Szenario 1	Szenario 2
		Eigennutzung	Vergütung Bilanzkreis
	Stromeinspeisung PV	0 MWh/a	0 MWh/a
	Strompreis PV Vergütung	40,8 cent/kWh	41,0 cent/kWh
	Vergütung Einspeisung	- €	- €
	Strompreis EVU	41 cent/kWh	41 cent/kWh
	Einsparung Eigennutzung	- 46.920 €	- 46.920 €
	Instandhaltungskosten PV (0,5 % v. Invest.)	1.950 €	1.950 €
<b>Einsparungen, Vergütungen</b>		<b>- 46.920 €</b>	<b>- 46.920 €</b>
<b>Betriebskosten</b>		<b>1.950 €</b>	<b>1.950 €</b>
<b>Kapitalkosten</b>		<b>28.128 €</b>	<b>28.128 €</b>
<b>Jahreskosten</b>		<b>- 16.842 €</b>	<b>- 16.842 €</b>
		<b>break even point</b>	<b>26,5 cent/kWh</b>
			<b>Strompreis</b>

Abbildung 19: Wirtschaftlichkeit PV-Anlage Ratekauer Weg

Für die zweite Ausbauvariante bleibt festzuhalten, dass sich der Bau einer 145 kWp PV-Anlage ab einer Vergütung von ca. 26,5 Cent/kWh rechnet.

Durch die Steigerung der Stromproduktion stellt sich die Energiebilanz für den Standort Ratekauer Weg folgendermaßen dar:

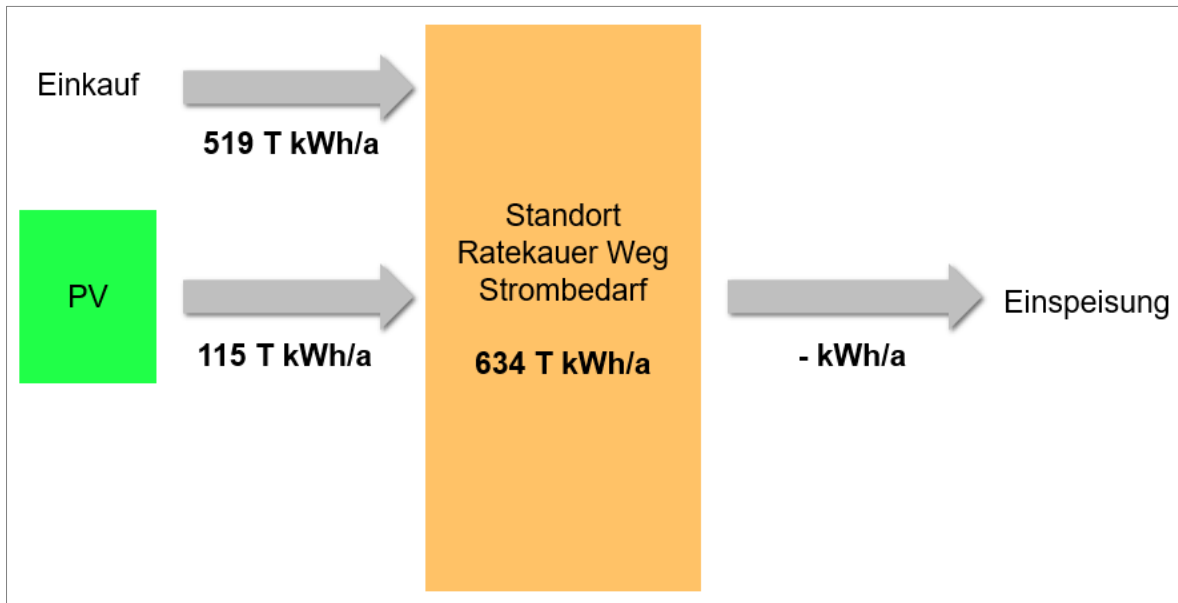


Abbildung 20: Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (Ratekauer Weg)

### 5.1.3.4 Standort MBA (Elektrolyseur zur Wasserstofferzeugung)

Am Standort MBA wird des Weiteren ein Elektrolyseur zur Wasserstofferzeugung mit einer Nominalleistung von 220 kW vorgesehen. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird eine Beispielanlage der Fa. H-TEC zugrunde gelegt:



Parameter	ME 100/350	
H <sub>2</sub> Produktion nominal	100 kg d <sup>-1</sup>	47 Nm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub> Produktionsbereich	13 - 66 Nm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	
H <sub>2</sub> Reinheit	3.0, mit Adsorptionstrocknung 5.0	
Energieverbrauch nominal	4.9 kWh Nm <sup>-3</sup>	
Elektrische Leistung nominal	225 kW	
Elektrolyseleistung	40-330 kW	
Systemwirkungsgrad nominal	74 %	
Lastwechsel	Teillast bis Nominallast = 30 s	
Wärmeauskopplung	max. 65 °C Vorlauf und 55 °C Rücklauf	
Betriebsdruck H <sub>2</sub>	drucklos - 30 bar	
Betriebsdruck O <sub>2</sub>	drucklos	
Frischwasserqualität	Trinkwasser, nominal 85 kg h <sup>-1</sup>	
Netzanschluss	Netzspannung: 3 x 400 V/50 Hz + N + PE nach IEC 60038 Anschlusleistung: 500 kVA	
Abmessungen L x B x H	20' Container, ca. 6 m x 3 m x 3,5 m	
Gewicht	ca. 12 t	
Umgebungstemperatur	-15 °C bis +35 °C	

Abbildung 21: Beispielanlage H-TEC Series-ME: ME 100/350 (Quelle: h-tec.com, 2021)

Durch einen entsprechenden Elektrolyseur, i. W. versorgt durch Strom der BHKW-Anlage, können pro Jahr ca. 30 Mg an Wasserstoff erzeugt werden. Der Wasserstoff soll über eine Tankstellenanlage für den Fuhrpark der EBL nutzbar gemacht werden. Wie bereits

beschrieben, können dadurch ca. 8 bis 10 schwere Brennstoffzellenfahrzeuge betrieben werden.

<b>MBA</b>	
<b>Wasserstoffproduktion</b>	30,0 Mg/a
<b>Investitionskosten</b>	
Elektrolyseur (inkl. Wasseraufbereitung)	0,7 Mio. €
Tankstelle (inkl. Verdichter + Speicher)	2,0 Mio. €
<b>Investitionskosten</b>	<b>2,7 Mio. €</b>
Nutzungsdauer	10 Jahre
<b>Kapitalkosten</b>	<b>285 T€/a</b>
<b>Betriebskosten</b>	
Stromeinsatz	750 MWh/a
spez. Strompreis	12,0 cent/kWh
Stromkosten	90,0 T€/a
Wasser (9l/kg H <sub>2</sub> )	270 m <sup>3</sup>
Wasserkosten (1,5 €/m <sup>3</sup> )	0,4 T€/a
Instandhaltungskosten (3 % v. Invest.)	81 T€/a
<b>Betriebskosten</b>	<b>171 T€/a</b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>456 T€/a</b>

**Abbildung 22: Wirtschaftlichkeit Elektrolyseur Standort MBA**

Auf Basis der berechneten Jahreskosten ergeben sich Wasserstofferzeugungskosten von ca. 15,2 €/kg H<sub>2</sub> oder 46 Cent/kWh. Die Kosten liegen leicht oberhalb derzeit gängiger Marktpreise. Da davon auszugehen ist, dass die Marktpreise langfristig auch künftig steigen werden, kann die Installation einer entsprechenden Anlage dennoch sinnvoll sein. Hierdurch wird zudem die energetische Abhängigkeit von öffentlichen Infrastrukturen reduziert und die Dezentralität des Stromnetzes gefördert.

Auf Basis aller oben betrachteten Maßnahmen ergibt sich für die Zukunft folgende Energiebilanz (inkl. der Umstellung des Fuhrparks und der Installation der PV-Anlagen und des Elektrolyseurs mit Tankstelle):

Energiedaten Perspektive	Malmöstraße/ Rigastraße	MBA	Biomasse- werk	Deponie	ZKW	Ratekauer Weg + PW	Summe
Strombezug	kWh/a 37.518	0	0	0	212.739	516.924	767.181
Stromproduktion BHKW	kWh/a 8.291.961	7.924.000	0	0	9.952.200	0	26.168.161
Stromproduktion EEA	kWh/a 268.000	4.390.000	0	0	0	115.000	4.773.000
<b>Summe Bezug + Produktion</b>	<b>kWh/a 8.597.479</b>	<b>12.314.000</b>			<b>10.164.939</b>	<b>631.924</b>	<b>31.708.342</b>
Stromverbrauch Infrastruktur	kWh/a 1.295.022	6.749.225	476.171	358.721	9.907.519	56.990	18.843.648
Stromverbrauch Fahrzeuge	kWh/a 1.976.126	170.514	0	0	133.732	574.934	2.855.305
<b>Summe Verbrauch</b>	<b>kWh/a 3.271.148</b>	<b>6.919.739</b>	<b>476.171</b>	<b>358.721</b>	<b>10.041.251</b>	<b>631.924</b>	<b>21.698.953</b>
Stromeinspeisung	kWh/a 5.326.332		4.559.369		123.688	0	10.009.389

**Abbildung 23: Mögliche zukünftige Energiebilanz der EBL**

Auch nach Umstellung des Fuhrparks erwirtschaftet die EBL unter Berücksichtigung der Erneuerbare-Energien- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen einen Stromüberschuss von ca. 10.000 MWh pro Jahr.

Ein Teil der derzeit mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Fahrzeuge kann bei Wiederbeschaffung alternativ durch Biomethanfahrzeuge ersetzt werden. Da die Erzeugung des Biomethans aus dem in den betriebseigenen Vergärungsanlagen entstehenden Biogas sowie aus Deponiegas und Klärgas erfolgen kann, können die dargestellten CNG-Fahrzeuge bilanziell als klimaneutral angesehen werden. Eine entsprechende Gasaufbereitung (z. B. eine Druckwechseladsorption) muss für diesen Fall vorgesehen werden. Das aus dem Biogas erzeugte Biomethan kann üblicherweise zu einem festgelegten Anteil in das Erdgasnetz des Versorgers eingespeist werden, die Betankung der CNG-Fahrzeuge kann in der Folge an öffentlich zugänglichen Erdgastankstellen erfolgen. Durch den Einsatz der CNG-Fahrzeuge können die CO<sub>2</sub>-Emissionen der EBL-Fahrzeugflotte bereits kurzfristig reduziert werden. Es entstehen jedoch zusätzliche Investitionskosten für die Biogasaufbereitungsanlage.

## 5.2 Szenarioanalyse, Wirtschaftlichkeits- und Emissionsbetrachtungen

In der sich anschließenden Szenarioanalyse wurden für die gebildeten Szenarien wirtschaftliche Auswirkungen und Umweltauswirkungen aufgezeigt und sofern erforderlich gegeneinander abgewogen. Es galt einerseits, einen möglichst kurzfristigen Weg hin zu einem klimaneutralen Fuhrpark und zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen aufzuzeigen und andererseits die entstehenden Investitionsmehrkosten, die u. a. auch von den jeweiligen Förderbedingungen abhängen, abzuschätzen.

Grundsätzlich muss sichergestellt werden, dass die Entsorgungssicherheit der Stadt Lübeck erhalten bleibt und der Gebührenbedarf für Abfallentsorgung, Straßenreinigung und Abwasserbeseitigung durch die entstehenden Mehrkosten für Fuhrpark und Infrastruktur

nicht unverhältnismäßig stark ansteigt. Daher wurde eine sukzessive Umstellung des aufzubauenden emissionsarmen Fuhrparks als wirtschaftlichste und zielführende Lösung gewählt.

Das gesteckte Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2040 lässt sich für den EBL-eigenen Fuhrpark umsetzen. Aus den Fahrzeuersatzbeschaffungen (vgl. Tabelle 5) resultieren Änderungen im Bestand der EBL-Fahrzeuge, die in den folgenden beiden Abbildung für die Szenarien 1 und 2 dargestellt sind.

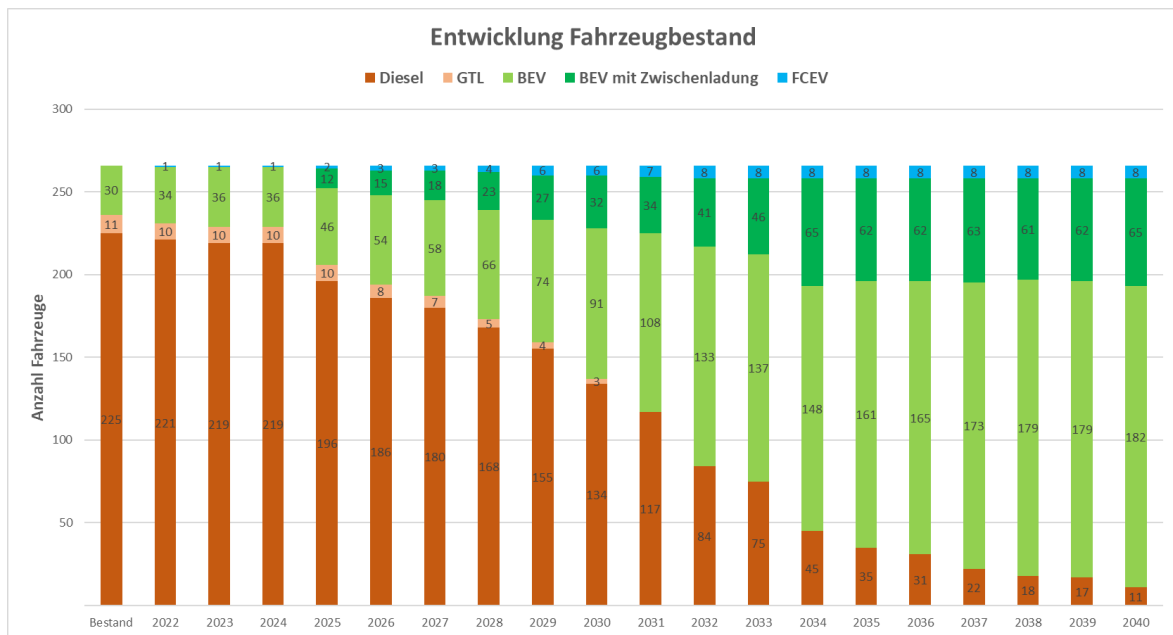
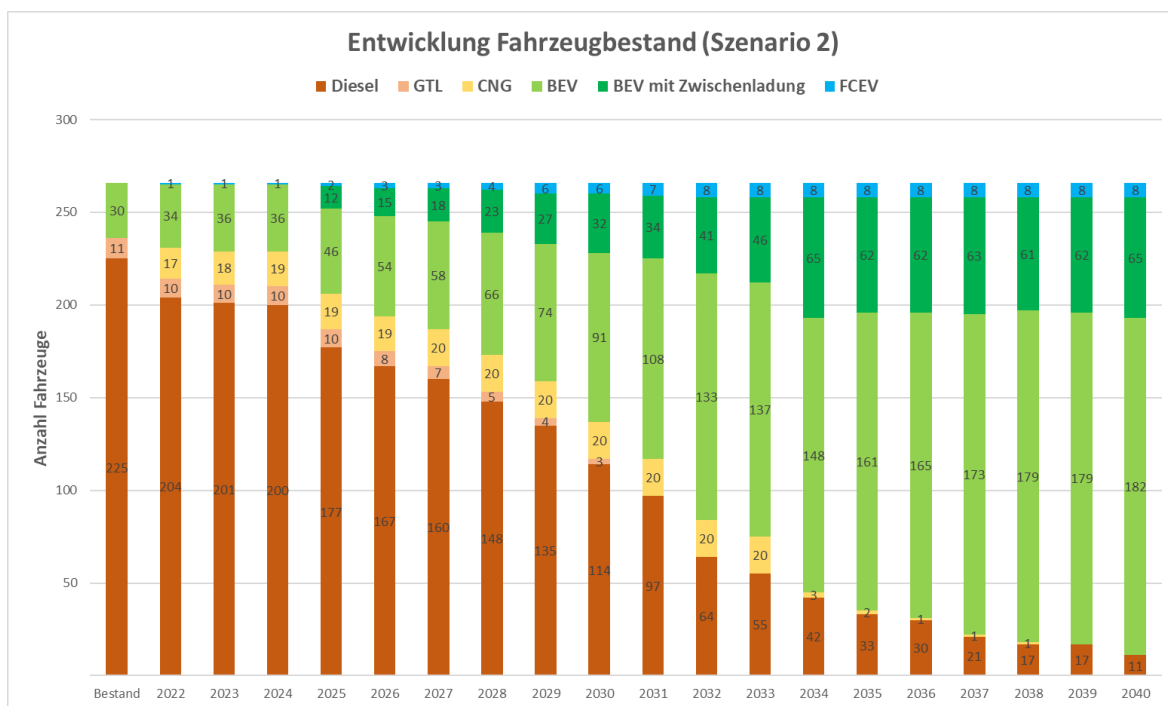


Abbildung 24: Entwicklung Fahrzeugbestand (Szenario 1)



**Abbildung 25: Entwicklung Fahrzeugbestand (Szenario 2)**

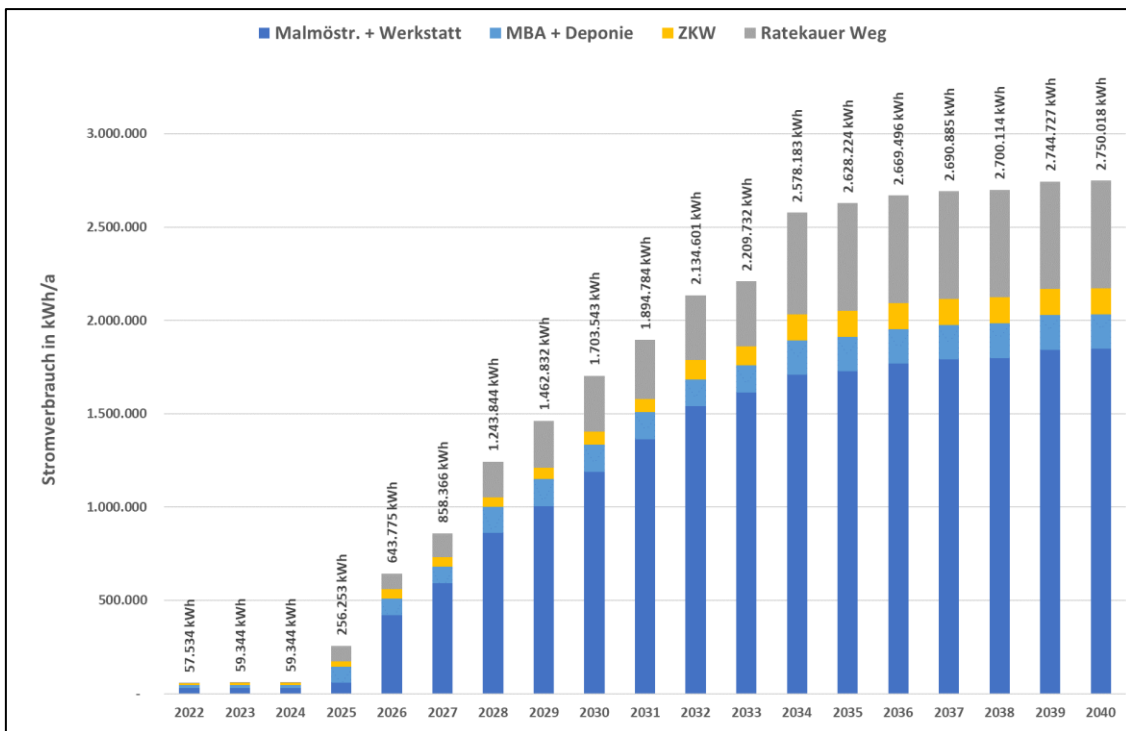
Für einen Fahrzeuganteil von fast 70 % ist langfristig der Einsatz von BEV möglich. Etwa 25 % der Fahrzeuge können zusätzlich ebenfalls batterieelektrisch, dann allerdings mit Zwischenladung während der Tour, oder alternativ mit Wasserstoff betrieben werden. In dem dargestellten Szenario wird weiterhin davon ausgegangen, dass mindestens acht Fahrzeuge als FCEV eingesetzt werden. Der hierfür benötigte grüne Wasserstoff kann durch einen, sich in Planung befindlichen, Elektrolyseur am Standort der MBA bereitgestellt werden. Fahrzeuge, die aufgrund der Reichwertenanforderungen noch nicht durch BEV ersetzt werden können, sollen als Übergangslösung durch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren unter Einsatz von Biomethan ersetzt werden.

Lediglich 11 Fahrzeuge werden im Jahr 2040 noch mit Verbrennungsmotor betrieben. Dies liegt an der Tatsache, dass bei der Ersatzbeschaffung von Winterdienstfahrzeugen bis zum Jahr 2030 weiterhin Fahrzeuge mit Dieselantrieb vorgesehen werden und die Nutzungsdauer aufgrund der geringen Einsatzfälle dieser Fahrzeuge vergleichsweise lang ist. Eine vollständige Klimaneutralität kann ab dem Jahr 2040 erreicht werden, indem diese Fahrzeuge mit synthetischen Kraftstoffen, Biomethan oder auch mit Wasserstoff betrieben werden.

Durch beide Ersatzbeschaffungsstrategien (Szenario 1 und 2) lassen sich die festgelegten Beschaffungsquoten des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz einhalten. Da CNG-Fahrzeuge unter den schweren Nutzfahrzeugen ebenfalls die Beschaffungskriterien für

saubere Fahrzeuge erfüllen, lassen sich die Quoten durch Einsatz dieser Technik (Szenario 2) anstelle von Dieselfahrzeuge noch steigern.

Der Zuwachs an batterieelektrischen Fahrzeugen hat Auswirkungen auf den Energiebedarf der Standorte und die jeweilige Infrastruktur. Bei Umstellung des Fuhrparks werden die erforderlichen Anschlussleistungen der Standorte sowie die Stromverbräuche ansteigen. Die folgende Abbildung gibt einen Eindruck, in welchen Umfang der Stromverbrauch<sup>3</sup> voraussichtlich zukünftig ansteigen wird.

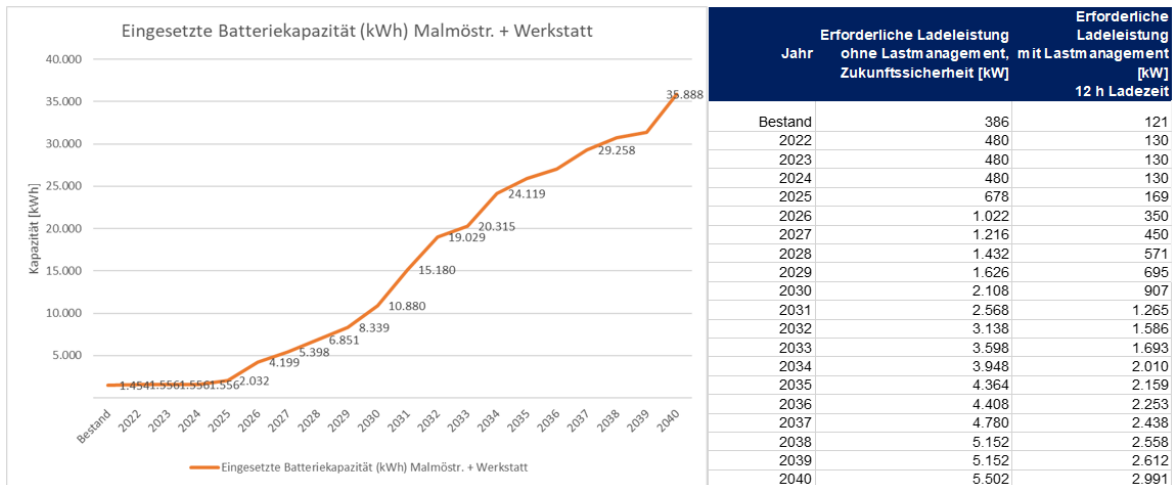


**Abbildung 26: Stromverbrauch der zukünftigen Fahrzeugflotte je Standort**

Insgesamt wird der zusätzliche Stromverbrauch der Fahrzeugflotte der Entsorgungsbetriebe für das Jahr 2040 auf ca. 2.750 MWh pro Jahr geschätzt. Bei einer unternehmensweiten Eigenstromproduktion von ca. 26.150 MWh/a und einem derzeitigen Stromverbrauch von 18.850 MWh/a fällt die Bilanzierung für Strom auch nach Umstellung des Fuhrparks auf alternative Antriebe weiterhin positiv aus.

Betrachtet man die Einzelstandorte muss ausschließlich am Standort der Kanalspülfahrzeuge (Ratekauer Weg) zusätzlich Strom bezogen werden. Exemplarisch wird an dieser Stelle die Entwicklung der insgesamt in den Fahrzeugen verbauten Batteriekapazität am Standort Malmöstraße 22, dem Hauptfahrzeugstandort, dargestellt.

<sup>3</sup> Hier dargestellt für das Szenario ohne CNG-Fahrzeugeinsatz



**Abbildung 27: Entwicklung der Batteriekapazität am Standort Malmöstraße 22**

Die berechnete erforderliche Ladeleistung ermittelt sich auf Basis folgender Annahmen:

1. Ladestellenbetrieb ohne Lastmanagement (worst case)
2. Ladestellenbetrieb mit Lademanagement bezogen auf eine durchschnittliche Ladezeit von 12 Stunden (wahrscheinlicher Fall)

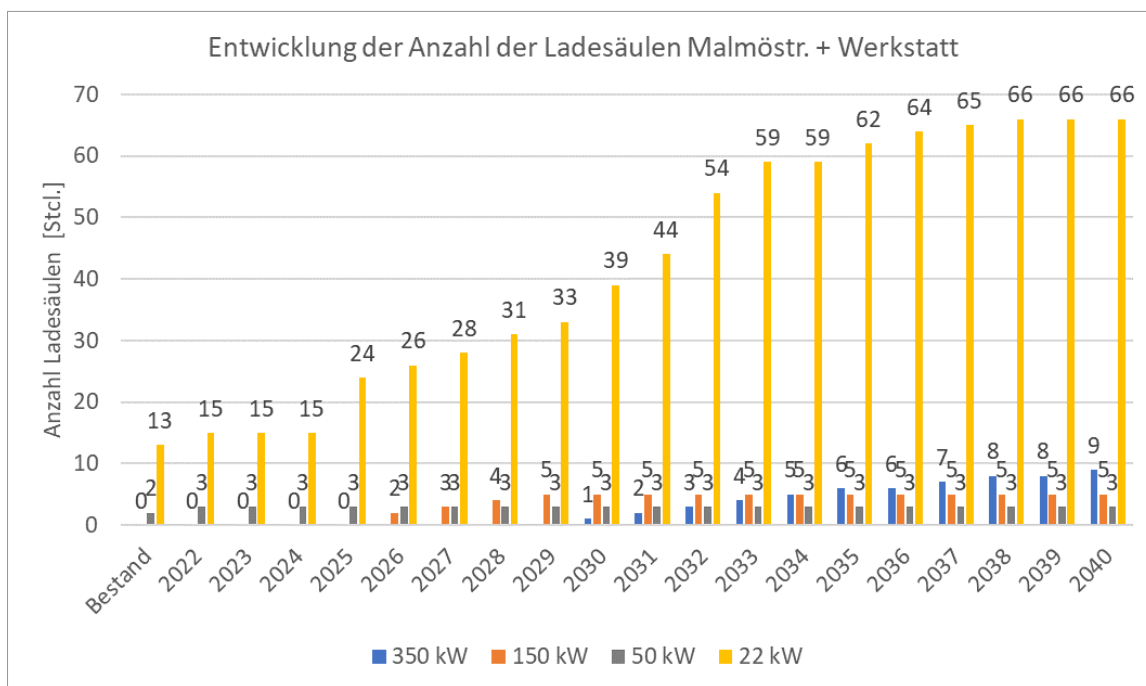
Der Ladestellenbetrieb ohne Lastmanagement (worst case) geht davon aus, dass jedes Fahrzeug eine Ladestelle zugewiesen bekommt und jedes Fahrzeug unter Nennleistung geladen werden kann.

Der Betrieb mit Lademanagement bezieht sich auf eine durchschnittliche Ladezeit und berechnet sich unter der Voraussetzung, dass jedes Fahrzeug in einer Ladezeit von 12 Stunden, und nicht mit voller Leistung, vollständig geladen wird.

Aus der Fahrzeuersatzbeschaffung ergibt sich die erforderliche Anzahl an Ladestellen mit der jeweiligen erforderlichen Ladeleistung. Die Ermittlung der benötigten Ladesäulen folgt folgenden Prämissen:

1. Aufbau der erforderlichen Infrastruktur, inkl. Fahrzeugstellplatzkonzept, Hallenbau, Mittelspannungsausbaubis Ende 2024
2. Einsatz von 150 kW DC-Ladesäulen ab 2025
3. Einsatz von 350 kW DC-Ladesäulen ab dem Jahr 2030

Bei Einsatz der Schnellladeinfrastruktur wird davon ausgegangen, dass während des Depotladevorgangs eine Splittung der Leistung auf mehrere Ladestellen erfolgt. Eine Schnellladung ist während Pausenzeiten am Standort möglich.



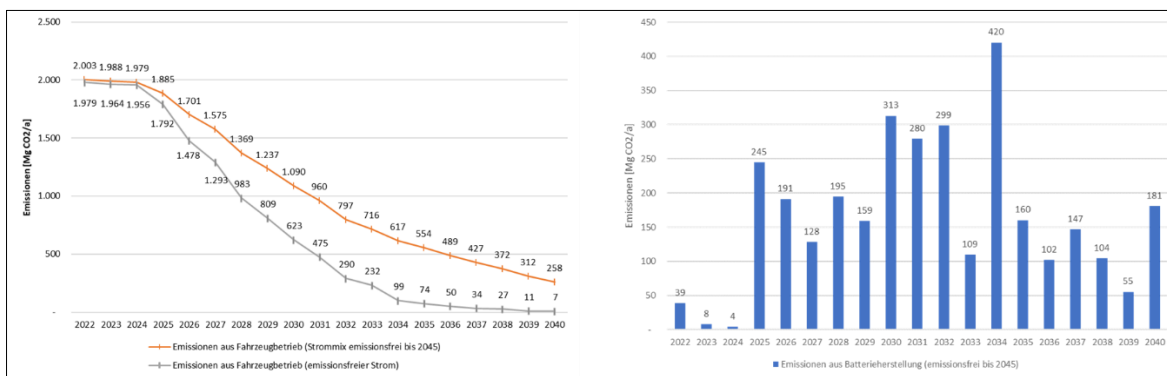
**Abbildung 28: Entwicklung der Batteriekapazität am Standort Malmöstraße 22**

Insgesamt sollte eine Mischform aus AC- und DC-Ladestationen (ggf. künftig MCS-System) vorgesehen werden. Schnellladestationen (DC) bieten einen Vorteil in Bezug auf die erforderliche Ladezeit und sind zukunftssicherer. AC-Ladestationen sind i. d. R. kostengünstiger in der Beschaffung. Weiterhin wird der Einsatz eines Lastmanagementsystems empfohlen, um einen Ausbau der Mittelspannungsinfrastruktur zu begrenzen, ebenfalls sollte der Ausbau möglichst modular erfolgen.

Insbesondere für die 22 kW Ladesäulen, die im Wesentlichen für PKWs und Transporter vorgesehen werden, sollte überlegt werden, ob jedes Fahrzeug täglich geladen werden muss oder ob durch ein geschicktes Stellplatzmanagement die Anzahl der AC-Ladesäulen begrenzt werden kann.

Die Szenarien für die weiteren Einzelstandorte können dem Anhang entnommen werden.

In Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Fuhrparks wurden der Betrieb der Fahrzeuge und die zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Batterieproduktion berücksichtigt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Energiebereitstellung und -verteilung sowie für die Fahrzeugproduktion wurden nicht betrachtet.



**Abbildung 29: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Entsorgungsbetriebe Lübeck**

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die CO<sub>2</sub>-Emission für den Betrieb des Fuhrparks von derzeit ca. 2.000 Mg CO<sub>2</sub> pro Jahr bis zum Jahr 2040 auf unter 10 Mg CO<sub>2</sub> pro Jahr reduziert werden können. Bei der Batterieproduktion wird in Abbildung 29 der aktuelle deutsche Strommix angesetzt. Geht man davon aus, dass bis zum Jahr 2040 weitgehend Ökostrom eingesetzt wird, so werden auch hier keine relevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen mehr entstehen.

### 5.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung Fuhrparkkonzept

Durch die Beschaffung der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben entstehen gegenüber der Beschaffung von Verbrennerfahrzeugen Mehrkosten. Als exemplarisches Beispiel dient der in Tabelle 7 dargestellte Kostenvergleich von Abfallsammelfahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 26 Mg.

Die Berechnung der Gesamtkosten geht von folgenden Annahmen aus: Abschreibungszeitraum 8 Jahre, Zinssatz 2,5%, Jahreslaufleistung 20.000 km und 225 Einsatztage pro Jahr. Weiterhin werden die Stromkosten gemäß der erzielbaren Einspeisevergütungssätze von derzeit 12 Cent/kWh angesetzt.

Kostenvergleich Sammelfahrzeuge ohne Förderung	Dim.	Hecklader Dieselantrieb	Hecklader BEV	Hecklader FCEV
Investitionskosten "Brutto" mit Förderung	€	<b>300.000</b>	<b>650.000</b>	<b>1.000.000</b>
Kapitalkosten dynamisch	€/a	41.840	90.654	139.467
Treibstoffverbrauch (Diesel)	l / 100 km	<b>55</b>	-	-
Treibstoffverbrauch (Strom)	kWh / 100 km	-	<b>202</b>	-
Treibstoffverbrauch (Wasserstoff)	kg / 100 km	-	-	<b>11</b>
Treibstoffkosten	€ / a	19.800	4.851	28.337
Reparatur-/Materialkosten	€ / a	15.000	6.000	9.000
Gesamtkosten	€ / a	76.640	101.505	176.804
Fahrzeugkosten pro 100 km	€ / 100 km	<b>383</b>	<b>508</b>	<b>884</b>
Fahrzeugstundensatz	€ / h	<b>52</b>	<b>69</b>	<b>121</b>

**Tabelle 7: Kostenvergleich Abfallsammelfahrzeuge**

Die Berechnung zeigt, dass die durch die höheren Anschaffungskosten entstehenden Mehrkosten für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben bei aktuellen Treibstoffpreisen von 1,80 €/Liter Diesel und 12,85 € pro kg Wasserstoff durch die z. T. niedrigeren Betriebskosten nicht aufgefangen werden können. Die Mehrkosten können allerdings zum Teil durch unterschiedliche Förderprogramme reduziert werden.

Im Rahmen des Markthochlaufes der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben ist davon auszugehen, dass sich u. a. aufgrund höherer Produktionsstückzahlen die Kosten weiter annähern werden.

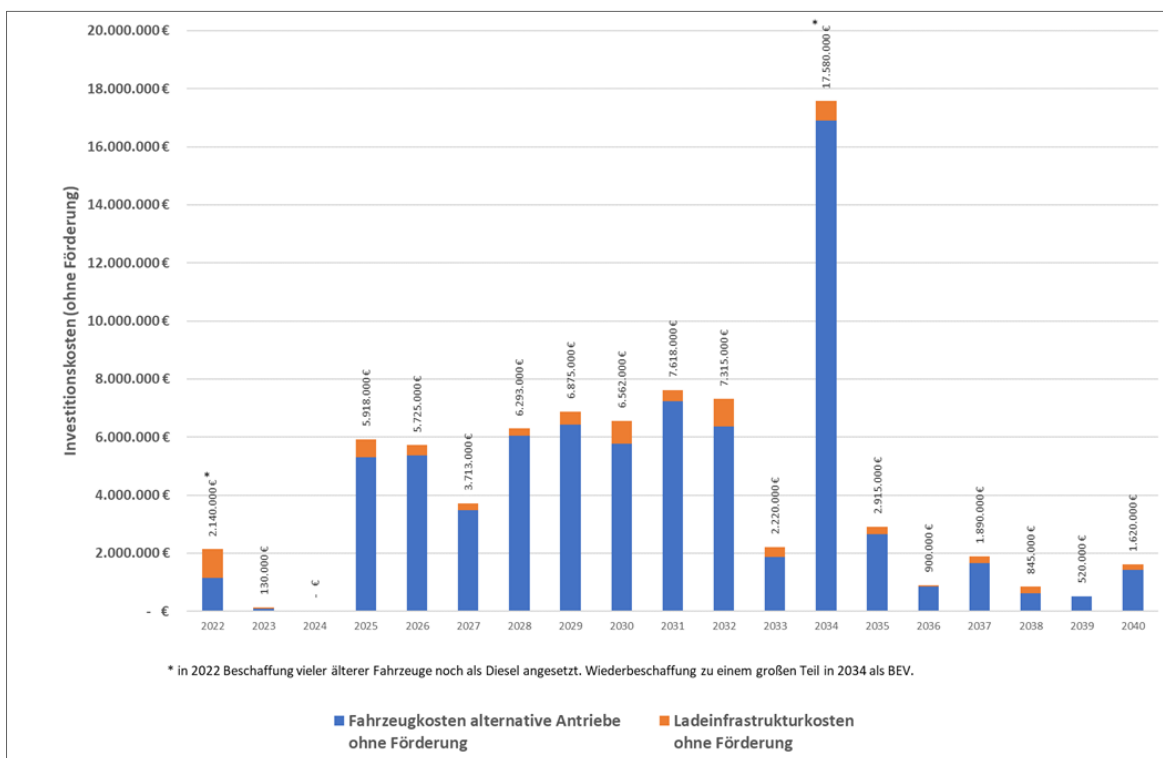
Für die gesamten Ersatzbeschaffungen im Fuhrpark ergeben sich bis zum Jahr 2040 die in Abbildung 30 dargestellten Investitionskosten. In den Kosten sind folgende Positionen enthalten:

- Fahrzeuginvestitionskosten
- Ladestationsinvestitionskosten
- Kosten für die Erweiterung des Netzanschlusses

Nicht berücksichtigt wurden folgende Kosten:

- Kosten für einen 1:1 Austausch von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben
- Inflationsbedingte Steigerungen der Fahrzeugkosten
- Produktions- und stückzahlbedingte Senkungen der Fahrzeugkosten

Es wurde davon ausgegangen, dass sich die inflationsbedingten Steigerungen der Fahrzeugkosten und die Reduktion der Fahrzeugproduktionskosten aufgrund stark steigender Stückzahlen in etwa aufheben werden.

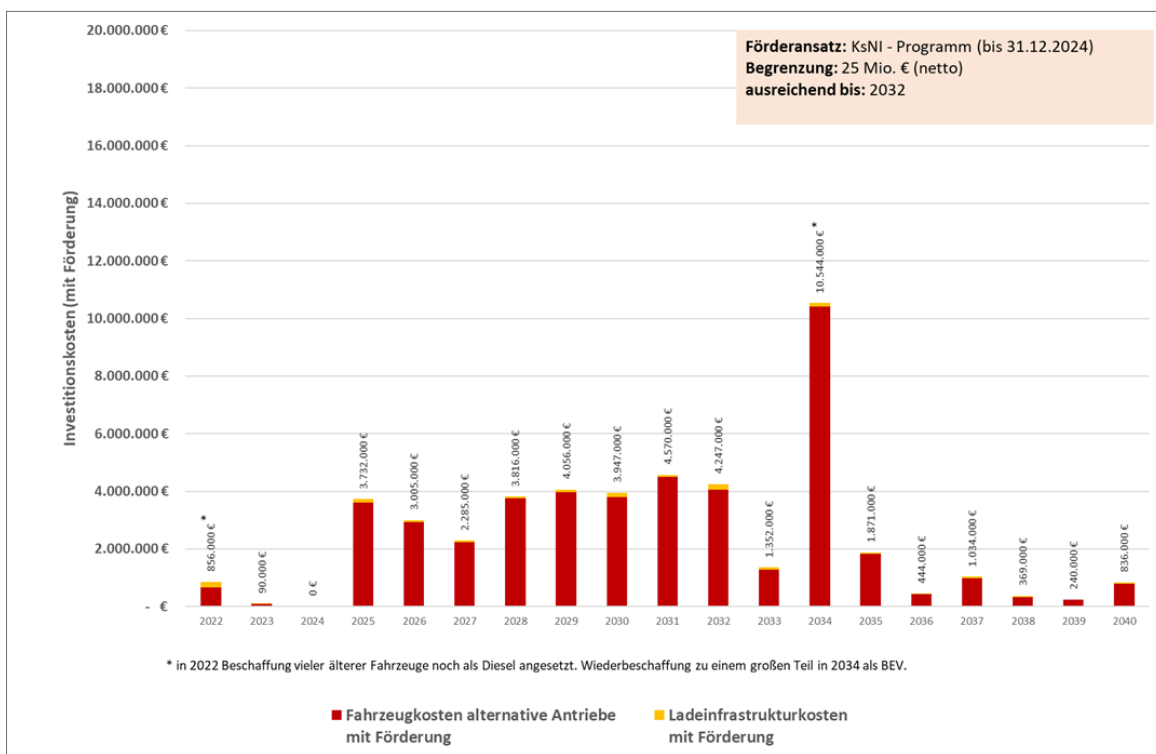


**Abbildung 30: Investitionskosten (ohne Fördermaßnahmen)**

Insgesamt entstehen bis einschließlich 2040 Investitionskosten von ca. 80 Mio. €. Die mittleren jährlichen Investitionskosten liegen bei ca. 4,25 Mio. €.

Durch Förderprogramme in Bezug auf die Fahrzeuginvestitionen und Infrastrukturinvestitionen können die Kosten für die EBL bei Mittelbewilligung reduziert werden. Setzt man das derzeitige KsNI-Förderprogramm<sup>4</sup> des Bundesverkehrsministeriums an, entwickeln sich die Investitionskosten wie folgt:

<sup>4</sup> Gefördert werden bei Fahrzeugen 80 % der technologiebedingten Mehrausgaben bzw. bei Lade- und Tankstelleninfrastruktur 80 % der zuwendungsfähigen projektbezogenen Gesamtausgaben. Genaue Angaben vgl. Richtlinie über die Förderung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank- und Ladeinfrastruktur für elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge.



**Abbildung 31: Investitionskosten (inkl. Fördermaßnahmen)**

Berücksichtigt werden muss, dass die genannte Förderrichtlinie bis Dezember 2026 besteht und die Gesamtförderausgaben auf 25 Mio. € pro Antragsteller begrenzt sind. Die Betrachtung geht jedoch davon aus, dass ähnlich gelagerte Förderprogramme künftig fortbestehen werden.

Insgesamt entstehen unter Berücksichtigung der Fördermaßnahme Investitionskosten von ca. 50 Mio. €. Die mittleren jährlichen Investitionen liegen somit bei ca. 2,5 Mio. €.

Für die EBL von hoher Bedeutung sind die entstehenden Mehrkosten gegenüber herkömmlichen Antrieben, da diese eine Steigerung der Abfall-, Abwasser- und Straßenreinigungsgebühren bedingen. Die sich ergebenden Mehrkosten können der Abbildung 32 entnommen werden.

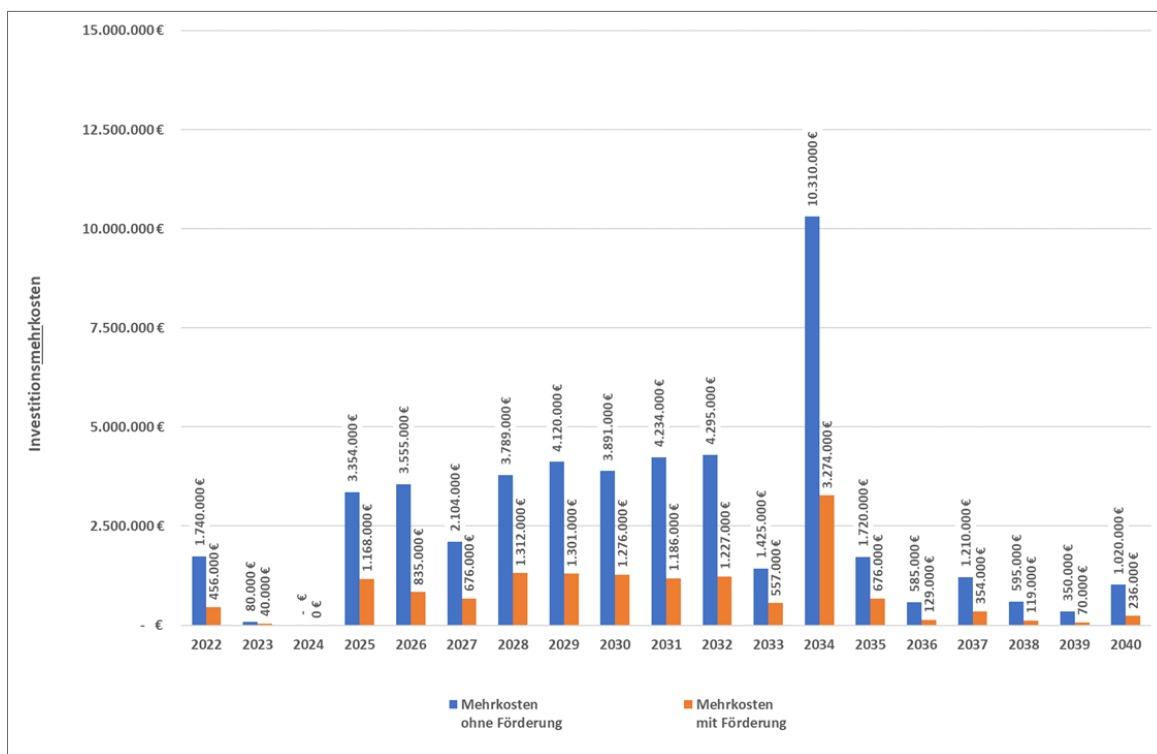


Abbildung 32: Investitionsmehrkosten

## 6 Entwicklung eines konkreten Maßnahmenkataloges

Abschließend wurde das entwickelte Fuhrparkkonzept in einen EBL-spezifischen Maßnahmenkatalog für eine sukzessive Umstellung des gesamten Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben überführt. Hierbei wurden Fahrzeugersatzbeschaffungen und weitere konkrete Maßnahmen, wie z. B. der Ausbau von Mittelspannungsanbindungen, die Installation von Erneuerbare-Energien-Anlagen, zeitlich aufeinander abgestimmt, um schließlich das Ziel eines klimaneutralen Fuhrparks im Jahr 2040 erreichen zu können.

Folgende Umsetzungsschritte werden dabei empfohlen:

1. Installation der zum Laden erforderlichen Infrastruktur gemäß der dargestellten Ersatzbeschaffung an allen Standorten
  - Klärung der Nutzbarkeit der möglichen Fahrzeughallen
  - Abstimmung der Vorgaben der Bauaufsichtsbehörde in Bezug auf Brandschutz etc.
2. Schrittweise Substitution der Fahrzeuge gegen Fahrzeuge mit alternativen Antrieben

3. Umstellung der Fahrzeugzuweisung zu den verschiedenen Sammeltouren sofern erforderlich
  - Soweit möglich Zuweisung von kürzeren Touren zu den neu beschafften Fahrzeugen gem. Fahrzeuersatzbeschaffungsliste
  - Berücksichtigung von möglichen Nutzlasteinbußen
4. Erweiterung der Anschlussleistung am Standort Malmöstraße (spätestens im Jahr 2030)
5. Errichtung der PV-Anlagen an den Standorten Malmöstraße, MBA/Deponie und Ratekauer Weg
  - Vorhergehende Detailplanung
  - Prüfung der Statik bei Aufdachanlagen
6. Errichtung des Elektrolyseurs am Standort MBA
  - Vorhergehende Detailplanung
  - Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit
7. Errichtung einer Gasaufbereitungsanlage mit Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz
  - Vorhergehende Detailplanung
  - Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit

Wichtig erscheint eine Evaluation der durchgeführten Maßnahmen z. B. in einem 5-Jahresturnus, da derzeit viel Bewegung sowohl im Fahrzeugmarkt als auch in den politischen und gesetzgeberischen Rahmenbedingungen ist. Für die nahe Zukunft kann weiterhin mit neuen Innovationen und Technologiesprüngen gerechnet werden, was eine Neubewertung der Fuhrparkstrategie erforderlich machen kann.

## 7 Nachweis zu den thematisch passenden Referenzen (Beratungsleistungen)

### BERATERPROFIL

Dipl.-Ing. Markus Gieske M. Sc.  
Bereichsleiter „Energie“



#### KURZPROFIL

Herr Markus Gieske ist Bereichsleiter im Themengebiet „Energie“ und seit 2001 bei der INFA - Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH tätig.

Herr Gieske blickt auf über 20 Jahre Berufserfahrung in der Projektleitung zurück. Er befasst sich im Wesentlichen mit Machbarkeitsstudien und Umsetzungskonzepten im Bereich der Energietechnik.

#### QUALIFIKATION

- > 2009-2014:  
M. Sc. Internationales Infrastruktur- und Facility Management  
Fachhochschule Münster, Studiengang: Internationales Facility Management (nebenberuflich)
- > 1994-1999:  
Dipl.-Ing. der Ver- und Entsorgungstechnik  
Fachhochschule Münster, Studiengang: Ver- und Entsorgungstechnik, Fachrichtung: Kommunal- und Umwelttechnik

#### zusätzliche Qualifikationen:

- > Energieauditor nach DIN 16247-1 (BAFA registriert)
- > Eingetragener Energieeffizienz-Experte
- > Master of Facility Management (GEFMA)

#### BERUFLICHER WERDEGANG

- > seit 2022:  
Bereichsleiter „Energie“ bei der INFA GmbH, Ahlen
- > seit 2010:  
Leitender Projektingenieur in der INFA GmbH, Ahlen
- > seit 2001:  
Projektingenieur bei der INFA GmbH, Ahlen

## BERATERPROFIL

Dr.-Ing. Niklas Heller  
Berater



### KURZPROFIL

Niklas Heller ist seit 2020 Berater in der INFA GmbH. Er befasst sich mit unterschiedlichen Themen der Kreislaufwirtschaft, u. a. auf Basis von Datenanalysen, Modellierungen und Prognosen. Weitere Themenschwerpunkte sind die Erarbeitung und Fortschreibung von Abfallwirtschaftskonzepten sowie die Erarbeitung und Optimierung von Abfallgebührenmodellen.

### QUALIFIKATION

- > 2015-2022:  
Promotion an der RWTH Aachen
- > 2012-2015:  
Studium an der Fachhochschule Münster  
Studiengang: Bauingenieurwesen (Master) / Studienschwerpunkt: Umwelt und Infrastruktur
- > 2007-2012:  
Studium an der Fachhochschule Münster  
Studiengang: Bauingenieurwesen (Bachelor) / Studienschwerpunkt: Wasser- und Abfallwirtschaft

### BERUFLICHER WERDEGANG

- > Seit 2020:  
Berater in der INFA GmbH
- > 2012-2020:  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWARU - Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt an der FH Münster
- > 2010-2012:  
Wissenschaftliche Hilfskraft am IWARU - Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt an der FH Münster

## BERATERPROFIL

Dr.-Ing. Thomas Böning  
Bereichsleiter



### KURZPROFIL

Herr Dr. Böning blickt auf mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Durchführung und Leitung von Projekten zurück und befasst sich im Wesentlichen mit Themen der Abwasser- und Abfallbehandlung sowie der Energietechnik. Projektschwerpunkte sind u. a. die energetische Prozessoptimierung, die anaerobe Abfall- und Abwasserbehandlung, die dezentrale Abwasserbeseitigung sowie die energetische Optimierung von Gebäuden und Betrieben. In seiner Promotion befasste sich Herr Dr. Böning mit dem Thema „Prozesswasser von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) mit Vergärungsstufen“.

### QUALIFIKATION

- > 2006:  
Promotion, Universität Hannover, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (Prof. Dr.-Ing. K.-H. Rosenwinkel)
- > 2001:  
Weiterbildung Energieberatung, Fernuniversität Hagen
- > 1982 – 1988:  
Studiengang Maschinenbau, Schwerpunkt: Verfahrens- und Energietechnik, Technische Universität Darmstadt, Abschluss: Diplom-Ingenieur

### BERUFLICHER WERDEGANG

- > seit 2008:  
Lehrbeauftragter an der Fachhochschule Münster (Abwasser- und Energietechnik)
- > seit 2002:  
Prokurist in der INFA – Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH, Ahlen
- > seit 1994:  
Bereichsleiter in der INFA – Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH, Ahlen
- > 1988 – 1994:  
Projektingenieur bei der Kraftanlagen Energie- und Industrieanlagen GmbH, Heidelberg

Auftraggeber	Projekttitel	Projektleiter	Projektmitarbeiter	Zeitraum
AWIGO Abfallwirtschaft Landkreis Osnabrück GmbH	Erstellung eines Elektromobilitätskonzeptes für die AWIGO Abfallwirtschaft Landkreis Osnabrück GmbH	Dipl.-Ing. Markus Gieske M.Sc.	Dr.-Ing. Thomas Böning	07.2022 - 2023
Entsorgungs- und Wirtschaftsbetrieb Landau	Erstellung eines Elektromobilitätskonzeptes für den Fuhrpark des Entsorgungs- und Wirtschafts-betriebs	Dipl.-Ing. Markus Gieske M.Sc.	Dr.-Ing. Thomas Böning	06.2022 - 2023
Abfallwirtschafts- und Beschäftigungsbetriebe Landkreis Peine	Machbarkeitsstudie zu Einsatzmöglichkeiten von Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben sowie der erforderlichen Lade- und Tankinfrastruktur inkl. erweiterter Standortbetrachtung	Dipl.-Ing. Markus Gieske M.Sc.	Dr.-Ing. Thomas Böning	04.2022 - 12.2022
Entsorgungsbetriebe Lübeck	Machbarkeitsstudie zu Einsatzmöglichkeiten von Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben sowie der erforderlichen Tank- und Ladeinfrastruktur	Dipl.-Ing. Markus Gieske M.Sc.	Dr.-Ing. Thomas Böning	03.2022 - 12.2022
Abfallwirtschaft Heidekreis	Machbarkeitsstudie zu Einsatzmöglichkeiten von Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben sowie zu der erforderlichen Lade- und Tankinfrastruktur	Dr.-Ing. Thomas Böning	Dipl.-Ing. Markus Gieske M.Sc.	05.2022 - 08.2022
Abfallentsorgungs- & Stadtreinigungsbetrieb Paderborn	Potenzialcheck für Nutzfahrzeuge mit alternativen Antrieben	Dr.-Ing. Thomas Böning	Dipl.-Ing. Markus Gieske M.Sc.	04.2021 - 11.2021
Abfallwirtschaftsgesellschaft Bassum mbH	Potenzialstudie zur Wasserstoffherzeugung und -nutzung der AWG Bassum	Dr.-Ing. Thomas Böning	Dipl.-Ing. Markus Gieske M.Sc.	12.2020 - 03.2021

# A Anhang



## LÜBECK Entsorgungsbetriebe

Machbarkeitsstudie

### Klimaschonende, alternative Antriebe für Nutzfahrzeuge der Entsorgungsbetriebe Lübeck - Abschlussdokumentation -

Dipl.-Ing. Markus Gieske, M.Sc.

Dr.-Ing. Niklas Heller

Dr.-Ing. Thomas Böning

Lübeck, 06.12.2022

INFA - Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH, Ahlen

## Abkürzungsverzeichnis



Abkürzung	Bedeutung
AC	Wechselstrom
AFID	Richtlinie 2014/94 über Aufbau Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
ASF	Abfallsammelfahrzeug
BEV	Battery Electric Vehicle
BEV-REX	Battery Electric Vehicle mit Range Extender
BHKW	Blockheizkraftwerke
Bio	Bioabfall
BMW	Biomassewerk
BSR	Berliner Stadtreinigung
BZ	Brennstoffzelle
CNG	Compressed Natural Gas
CVD	Clean Vehicles Directive
DC	Gleichstrom
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
EBL	Entsorgungsbetriebe Lübeck
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle
E-Fuels	electrofuel, synthetische Kraftstoffe
E-PTO	elektrischer Nebenantrieb
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
Fzg.	Fahrzeug
GKM	Großkehrmaschine
H2	Wasserstoff



## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
INFA	Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management
KKM	Kleinkehrmaschine
KVA	elektrische Scheinleistung (Kilo-Volt-Ampere)
kW	Kilo-Watt
LKW	Lastkraftwagen
LNG	Liquefied Natural Gas
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage
MGB	Müllgroßbehälter
MKM	mittelgroße Kehrmaschine
MW	Mega-Watt
N1	bis zu 3,5 Tonnen
N2	3,5 Tonnen bis zu 12 Tonnen
N3	größer 12 Tonnen
NGT	Natural Gas Technology
PKW	Personenkraftwagen
PPK	Papier, Pappe, Kartonage
PV	Photovoltaik
RDE	Real Driving Emissions
RM	Restabfall
WiDi	Winterdienst
ZKW	Zentralkläwerk
zGM	zulässige Gesamtmasse



## Gliederung

1	<b>Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise</b>
2	Darstellung Stand der Technik
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	Emissionsbetrachtung
8	Kostenbetrachtung
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit



**1. Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise**  
**Ausgangslage**



- **Die EBL als Eigenbetrieb der Hansestadt sind für die Entsorgung des in der Hansestadt Lübeck anfallenden Abfalls sowie für die Beseitigung des Abwassers zuständig**
- **Derzeit werden hierfür 279 Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen eingesetzt**
  - Dieserverbrauch pro Jahr beträgt ca. 830.000 l
  - Entspricht jährlich ca. 2.200 t CO<sub>2</sub>
- **Bürgerschaft der Hansestadt Lübeck hat am 23.05.2019 den Klimanotstand festgestellt**
  - Als strategische Maßnahme zur Erreichung der Klimaschutzziele müssen in Lübeck pro Jahr mindestens 5 % CO<sub>2</sub> eingespart werden
  - Bis zum Jahr 2040 soll die Hansestadt klimaneutral sein
- **Die Europäische Union hat mit der CVD spezifische Quoten für die Beschaffung von „sauberen Straßenfahrzeugen“ vorgegeben, die Umsetzung erfolgt durch das Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge („SaubFahrzeugBeschG“)**



**1. Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise**  
**Ausgangslage**



- **CVD - Clean Vehicles Directive - Quoten**
  - Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (SaubereFahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz - SaubFahrzeugBeschG)

Fahrzeug-klasse	Definition „sauberes Fahrzeug“	Beschaffungsquoten 1. Phase, 02.08.2021 bis 31.12.2025 (DEU)	Beschaffungsquoten 2. Phase, ab 01.01.2026 (DEU)
Pkw	50 g CO <sub>2</sub> / km, 80% Luftschadstoffe (RDE als Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte)	ab 2026: 0 g CO <sub>2</sub> / km, k.A. zu Luftschadstoff-emissionen	38,5 %
leichte Nfz (< 3,5 t)	50 g CO <sub>2</sub> / km, 80% Luftschadstoffe (RDE als Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte)		38,5 %
Lkw (> 3,5 t)	Nutzung alternativer Kraftstoffe (lt. Art. 2 AFID bspw. Strom, Wasserstoff, Erdgas, synthetische Kraftstoffe**, Biokraftstoffe**)	10 %	15 %
Busse (> 5 t)		45 % *	65 % *

\* Die Hälfte der beschafften Busse muss emissionsfrei sein, d.h. weniger als 1 g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen, z.B. Elektro- bzw. Brennstoffzellenfahrzeuge. Nur mit Strom betriebene Oberleitungsbusse gelten als emissionsfrei.



**1. Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise**  
**Zielsetzung der Untersuchung**



- Die EBL streben schrittweise Umstellung des Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben und somit die Klimaneutralität in diesem Bereich an
  
- Die zu erstellende Machbarkeitsstudie soll strukturiert erforderliche Maßnahmen für eine sukzessive Umstellung des Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben darstellen
  
- Die Machbarkeitsstudie soll folgende Rahmenbedingungen berücksichtigen:
  - Ersatz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor
    - Fahrzeugverfügbarkeiten und -entwicklungen
    - CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen
  - Anforderungen an die Infrastruktur
    - Stromerzeugung mit PV-Anlagen, BHKW's
    - Mittelspannungs- und Ladeinfrastruktur
    - H<sub>2</sub>-Infrastruktur (Elektrolyseur, Tankstelle)
  - Wirtschaftlichkeit der angestrebten Maßnahmen



**1. Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise**  
**Vorgehensweise**



**Arbeitsschritte**

**Meilensteine**

<b>1. Erstellung einer Marktanalyse für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellerbefragungen</li> <li>• Erstellung einer aktualisierten Marktanalyse in Bezug auf Fahrzeughersteller, Fahrzeugtypen, technische Merkmale und Neuerungen</li> </ul>	Abstimmung mit mit Assetmanagement, FPM, Tourenplanung, Einsatzleitung und Werkstatt
<b>2. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standorte und Infrastruktur</li> <li>• Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen</li> </ul>	Vor-Ort-Begehung der Standorte Bestandsdatenerfassung Interviews von Mitarbeitern
<b>3. Durchführung der Bedarfsanalyse</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedarfsanalyse Fahrzeuge</li> <li>• Bedarfsanalyse Infrastruktur</li> <li>• Einbindung externer Interessensvertreter</li> </ul>	Abstimmung mit Assetmanagement, FPM, Tourenplanung, Einsatzleitung und Werkstatt
<b>4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Szenarioanalyse</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bildung von Zukunftsszenarien in Bezug auf Fahrzeuge und Infrastruktur</li> <li>• Betrachtung von Mehr-/Minder-Schadstoffemissionen</li> <li>• Betrachtung von Mehr-/Minder-Kosten</li> <li>• Betrachtung möglicher Förderprogramme</li> </ul>	Abstimmung mit Lenkungsgruppe
<b>5. Entwicklung eines Maßnahmenkatalogs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Empfehlungen zur Umstellung des derzeitigen Fuhrparks auf alternative Antriebe</li> <li>• Stationierung der Fahrzeuge</li> <li>• Erzeugung von Strom- und grünem Wasserstoff</li> <li>• Erzeugung alternativer Kraftstoffe</li> <li>• Auf- und Ausbau der Ladestellen- und H<sub>2</sub>-Tankstelleninfrastruktur</li> <li>• Priorisierung der Maßnahmen</li> <li>• Angabe eines zu erwartenden Zeithorizontes</li> <li>• Darstellung der zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale</li> </ul>	Abstimmung mit Lenkungsgruppe



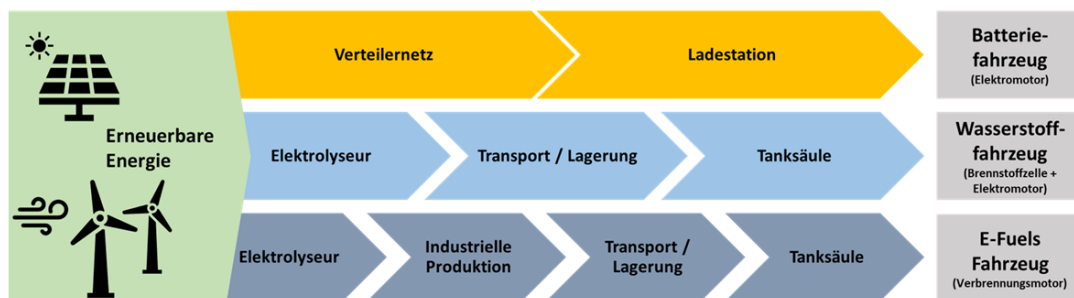
**Gliederung**

1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	<b>Darstellung Stand der Technik</b>
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	Emissionsbetrachtung
8	Kostenbetrachtung
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit



**2. Darstellung Stand der Technik  
Fahrzeugtechnik**

• **Energienutzung im Verkehrssektor**



## 2. Darstellung Stand der Technik Fahrzeugtechnik



### • Elektrofahrzeuge (BEV)

#### ➤ Vorteile

- Klimaneutral bei Nutzung von Ökostrom
- Lokale CO<sub>2</sub>-Emissionen entfallen
- Spezialfahrzeuge (z. B. ASF, Abrollkipper usw. verfügbar)
- Umrüstbarkeit von Fahrzeugen mit Spezialaufbau
- Angebot an Fahrzeugen wächst
- Anhänger mit elektrischen Achsen in Entwicklung
- Batterien werden leistungsfähiger und leichter
- Hoher Gesamtwirkungsgrad

#### ➤ Nachteile

- Hohe Anschaffungskosten
  - » Langfristiges Ziel der Fahrzeughersteller: Mehrkosten gegenüber Diesel senken
- Standzeiten durch Ladezeiten
  - » MW-Charger in Entwicklung
- Geringe Reichweiten
- Mittelspannungsnetz muss ausreichend dimensioniert werden
- Speicherung von Strom nur begrenzt umsetzbar / teuer

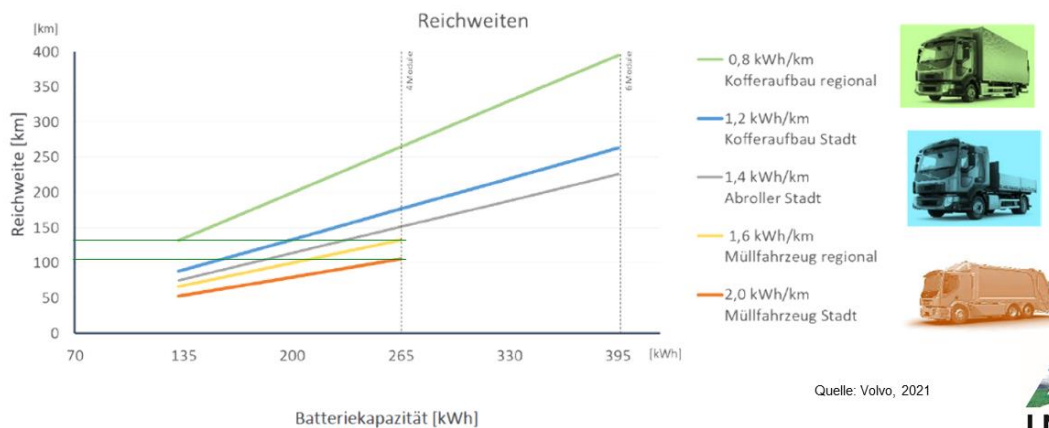


## 2. Darstellung Stand der Technik Fahrzeugtechnik



### • Elektrofahrzeuge (BEV)

#### ➤ Reichweiten und Verbräuche



Quelle: Volvo, 2021



**2. Darstellung Stand der Technik  
Fahrzeugtechnik**



**Brennstoffzellenfahrzeuge (BEV-REX oder FCEV)**

➤ Vorteile

- Klimaneutral bei Nutzung von grünem Wasserstoff, lokale CO<sub>2</sub>-Emissionen entfallen
- Spezialfahrzeuge (z. B. ASF, Abrollkipper usw. verfügbar)
- Höhere Reichweite
- H<sub>2</sub> problemlos speicherbar
- Verteilung über Erdgasnetze in Zukunft möglich
- Einspeisung in Erdgasnetze i. d. R. bis zu 10 % möglich
- Sektorenkopplung
- Kurze Betankungsdauer

➤ Nachteile

- Öffentliche Infrastruktur nur begrenzt verfügbar (kein einheitlicher Standard)
- Hoher Platzbedarf bei eigener Infrastruktur
  - » Elektrolyseur
  - » Tankstelle etc.
- Geringerer Gesamtwirkungsgrad gegenüber BEV
- Sehr hohe Anschaffungskosten

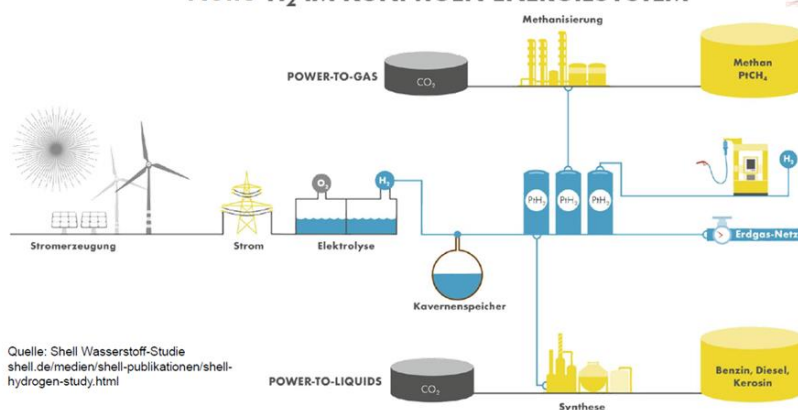


**2. Darstellung Stand der Technik  
Fahrzeugtechnik**



**Sektorenkopplung**

**Rolle H<sub>2</sub> IM KÜNFTIGEN ENERGIESYSTEM**



## 2. Darstellung Stand der Technik Fahrzeugtechnik



### • Verbrennerfahrzeuge, E-Fuels

#### ➤ Vorteile

- Klimaneutral bei Herstellung der E-Fuels mit Ökostrom
- Hohe Reichweiten
- Geringe Betankungsdauer
- Fahrzeuge und Kraftstoffinfrastruktur weiter nutzbar
- Einsatz bei nicht ausreichender Reichweite von Elektro-Antrieben vergleichsweise einfach (z. B. bei Schiffen oder Flugzeugen)

#### ➤ Nachteile

- Hohe Herstellungskosten
- Hoher Energieeinsatz erforderlich
- Vergleichsweise schlechter Gesamtwirkungsgrad



## 2. Darstellung Stand der Technik Fahrzeugtechnik



### • Verbrennerfahrzeuge, Biomethan

#### ➤ Vorteile

- Fahrzeuge erzeugen über eingesammelten Bioabfall quasi ihren eigenen Treibstoff
- Klimaneutral bei Herstellung des Biomethans mit Ökostrom
- Gute Erfahrungswerte in BSR-Flotte
  - » über 160 Erdgas ASF
  - » u. a. Einsatz von Econic NGT (Natural Gas Technology)
- Fahrzeuge genügen derzeit der CVD-Richtlinie
- Geringere Emissionen (Lärm, Abgase)

#### ➤ Nachteile

- Geringfügig höhere Fahrzeuganschaffungs- und Unterhaltskosten im Dieselvegleich
- Geringere Reichweite pro Tankfüllung im Dieselvegleich
- Geringere Herstelleranzahl

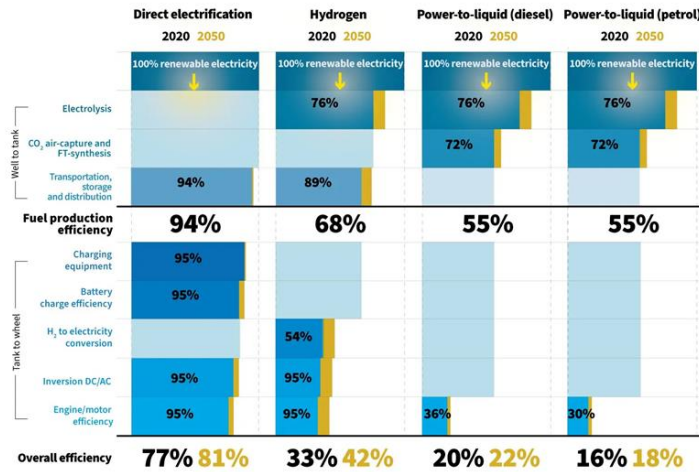


## 2. Darstellung Stand der Technik Fahrzeugtechnik



### • Wirkungsgrade Fahrzeugtechnik

Quelle: Zachary Shahan, 2021



## 2. Darstellung Stand der Technik Fahrzeugtechnik



### • Vergleich Alternative Antriebstechnik

BEV	FCEV	E-Fuels	Biomethan (CNG)
<b>Einsatz bei:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kurzen täglichen Fahrtstrecken</li> <li>• geringen Gesamtenergieverbräuchen am Tag</li> <li>• planbaren längeren Depotladevorgängen</li> <li>• verfügbarer (öffentlicher) Infrastruktur</li> </ul>	<b>Einsatz bei:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• längeren täglichen Fahrtstrecken</li> <li>• höheren Gesamtenergieverbräuchen am Tag</li> <li>• zwingender kurzfristiger Einsatzbereitschaft der Fzg.</li> <li>• verfügbarer (öffentlicher) Infrastruktur</li> </ul>	<b>Einsatz bei:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr langen Fahrtstrecken</li> <li>• sehr hohen Gesamtenergieverbräuchen am Tag</li> <li>• seltenen Spezialfahrzeugen</li> </ul>	<b>Einsatz bei:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verfügbarem Biogas, welches nicht in KWK Anlagen mit Strom und Wärmenutzung genutzt wird</li> <li>• höheren Gesamtenergieverbräuchen am Tag</li> </ul>

- Grundsätzlich sind alle betrachteten Antriebstechniken im Rahmen der Systemgrenzen klimaneutral
- Welcher der betrachteten Antriebe favorisiert wird, ist eine technisch-strategische Entscheidung und abhängig von den gegebenen betrieblichen Rahmenparametern



## 2. Darstellung Stand der Technik Fahrzeugtechnik



### • Hersteller im LKW-Schwerlastbereich

	BEV	H2-BZ	CNG
DAF	x		
Daimler	x	x	
Iveco	x	x	x
MAN	x	x	
Renault	x		
Scania	x	x	x
Volvo	x	x	

Darstellung NOW 2020 auf Basis von Presseberichten. Tabelle zeigt Auswahl und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

- Höchste Herstellervielfalt im Bereich BEV und FCEV
- CNG Hersteller ziehen sich vermehrt aus dem Markt zurück (Investitionsrisiko bei Aufbau einer CNG-Flotte besteht)



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik



### • Abfallsammelfahrzeuge (1/10)

- *Collect 6x2R* von *Designwerk* (BEV) (1/2)
  - Fahrgestell: Volvo bzw. Mercedes-Benz Econic (als Low Entry)
  - Achsanzahl: 3
  - Nutzlast: bis zu 10,5 t
  - zzG: 27 t
  - Batteriekapazität: 338,2 kWh (nutzbar: 287,5 kWh)  
bzw. 434,8 kWh (nutzbar: 369,6 kWh)
  - Reichweite: bis zu 130 km  
bzw. bis zu 170 km
  - Preis: ca. 720.000 €\*



Quelle: IFAT 2022



\* Brutto-Preise

## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik



### • Abfallsammelfahrzeuge (2/10)

- *Collect 6x2R* von *Designwerk* (BEV) (2/2)
  - weiteres:
    - » derzeit nur Hecklader als BEV verfügbar
    - » Seitenladerfahrzeuge derzeit nicht in Entwicklung (als Prototyp laut Designwerk aber denkbar)
    - » Designwerk stellt Entwicklungskapazitäten für Sonderfahrzeuge zur Verfügung
    - » in mehreren Kommunen bereits erfolgreich im Einsatz
    - » Testbetrieb möglich
    - » Lieferzeit: ca. 1 Jahr
    - » unterschiedliche Batteriekapazitäten bedingen unterschiedliches Fahrzeuggewicht und daher unterschiedliche Nutzlast  
→ Differenz liegt bei etwa 390 kg



Quelle: Designwerk 2022



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik



### • Abfallsammelfahrzeuge (3/10)

- *QHB 27-200* bzw. *-280* von *QUANTRON* (BEV)
  - Fahrgestell: Mercedes-Benz Econic (oder Umrüstung)
  - Achsanzahl: 3
  - Nutzlast: 11,1 t bzw. 9,9 t
  - zzG: bis zu 27 t
  - Batteriekapazität: 200 kWh bzw. 280 kWh
  - Reichweite: ca. 120 km bei 1.000 Behälterleerungen bzw. ca. 130 km bei 1.000 Behälterleerungen
  - Preis: ca. 720.000 €\*
  - weiteres:
    - » Aufbau: Hecklader *Olympus* von *Terberg HS*
    - » alle Euro VI-Fahrzeuge umrüstbar (Austausch des Antriebstranges)



Quelle: Quantron 2021



**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Marktanalyse Fahrzeugtechnik**



**Abfallsammelfahrzeuge (4/10)**

- *eSpeedline* von *Terberg HS* (Batterie-Aufbau) (1/2)
  - Fahrgestell: Mercedes-Benz eActros (4,6 m Radstand) + Mercedes-Benz eEconic (4,0 m Radstand) bereits umgesetzt  
Volvo und Renault liegt technische Machbarkeit vor
  - Achszahl: 3
  - Nutzlast: ca. 9,7 t mit eActros  
ca. 9,9 t mit eEconic
  - zzG: 27 t
  - Batteriekapazität: 336 kWh (nutzbar: 291 kWh) (+ ca. 50 kWh für autarken Aufbau)
  - Reichweite: ca. 130 km bis 150 km\*
  - Preis: ca. 840.000€ (eEconic + eSpeedline)\*\*



Quelle: IFAT 2022

\* Herstelleraussage für reale Reichweite  
 \*\* Brutto-Preise

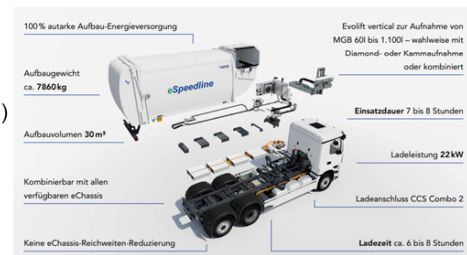


**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Marktanalyse Fahrzeugtechnik**



**Abfallsammelfahrzeuge (5/10)**

- *eSpeedline* von *Terberg HS* (Batterie-Aufbau) (2/2)
  - weiteres:
    - » Seitenlader
    - » Batterie für Aufbau im Aufbaurahmen verbaut (ca. 50 kWh)
    - » eigene Ladestation erforderlich (bis zu 22 kW möglich)
    - » ca. 1.000 Behälterleerungen
    - » Aufnahme von MGB 60 l bis 1.100 l
    - » Hubkraft von 500 kg
    - » Lieferzeit 1 – 1,5 Jahre (bestellbar ab 2023)



Quelle: HS Fahrzeugbau 2022



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik



### ● Abfallsammelfahrzeuge (6/10)

#### ➤ Zero-Emission von VDL Translift (BEV)

- Fahrgestell: DAF CF FAN 6x2, jedoch gibt es auch weitere passende Fahrgestelle
- Achsanzahl: 3
- Nutzlast: 8 t
- zzG: 27 t
- Batteriekapazität: 350 kWh
- Reichweite: 200 km\*
- Preis: 720.000 € \*\*
- weiteres:
  - » Seitenlader
  - » verschiedene Beladmodule wählbar (bis zu 750 kg Hubkraft)
  - » Ladeleistung: bis 300 kW
  - » Motorleistung: 210 kW



Quelle: IFAT 2022

\* Herstellerangabe  
\*\* Brutto-Preise



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik



### ● Abfallsammelfahrzeuge (7/10)

#### ➤ BLUEPOWER von FAUN (BEV-REX)

- Fahrgestell: Mercedes-Benz eEconic
- Achsanzahl: 3
- Nutzlast: bis zu 11 t
- zzG: 27 t
- Batteriekapazität: 85 kWh
- H<sub>2</sub>-Tankgröße: 16,1 kg (größte Ausbaustufe)
- Brennstoffzelle: 30 kW bis 90 kW (Modulbauweise)
- Reichweite: 300 km bis 400 km\*
- Preis: ca. 1,1 Mio. € \*\*
- weiteres:
  - » Hecklader
  - » Druckspeicher: 700 bar, alternativ 350 bar
  - » Tankzeit: bis zu 15 min.
  - » parallel zuschaltbare BZ (höhere Leistung kurzfristig)



Quelle: IFAT 2022

\* Herstellerangabe für reale Reichweite, eigene Berechnung ergeben 180 km – 220 km \*\* Brutto-Preise



**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Marktanalyse Fahrzeugtechnik**



**Abfallsammelfahrzeuge (8/10)**

➤ *Econic 2628 NGT*

- Fahrgestell: Mercedes-Benz Econic
- Achsanzahl: 6x2
- Nutzlast: 9,95 t
- zzG: 26 t (ohne Auflast)
- Antrieb: Erdgas
- Tankgröße: 96 kg (bei 200 bar)
- Reichweite: ca. 170 km\*
- Preis: ca. 360 T€ \*\*
- weiteres:
  - » Hecklader
  - » Druckspeicher 200 bar
  - » Produktion NGT wurde 2021 eingestellt



Quelle: fahrzeugbilder.de

\* reale Reichweite Erfahrungen BSR  
 \*\* Brutto-Preise



\* Brutto-Preise

**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Marktanalyse Fahrzeugtechnik**



**Abfallsammelfahrzeuge (9/10)**

➤ *Iveco Stralia 330*

- Fahrgestell: Mercedes-Benz Econic
- Achsanzahl: 6x2
- Nutzlast: 12 t
- zzG: 26 t (ohne Auflast)
- Antrieb: Erdgas
- Tankgröße: 96 kg (bei 200 bar)
- Reichweite: ca. 150 km\*



Quelle: fahrzeugbilder.de

\* reale Reichweite Erfahrungen Remondis



\* Brutto-Preise

## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Abfallsammelfahrzeuge (10/10)

#### ➤ e-Nanos 7 von Schmidt Kommunalfahrzeuge (BEV)

- Fahrgestell: ISUZU P75 full electric
- Achszahl: 2
- Nutzlast: 2,31 t
- zzG: 7,49 t
- Batteriekapazität: 62,2 kWh
- Reichweite: 100 bis 115 km \*
- Preis: ca. 270.000€ \*\*
- weiteres:
  - » Hecklader für Abfallbehälter 120 l bis 360 l
  - » Volumen: 7 m<sup>3</sup>
  - » Hubkraft: 500 kg
  - » Motor: 105 kW



Quelle: IFAT 2022

\* Herstellerangabe, eigene Berechnung ergeben ca. 80 km

\*\* Brutto-Preise



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Saug- und Spülwagen

#### ➤ Designwerk mit Mercedes Fahrgestell und Kaiser Aufbau

- Erster vollwertig vollelektrischer Ersatz für herkömmliche Kanalreinigungsfahrzeuge
- Wasserrückgewinner
- Fahrgestell: Designwerk Mid Cab
- Achszahl: 6x2
- Nutzlast: 6,5 t
- zzG: 28 t (1 t Auflast)
- Batteriekapazität: 508 kWh
- Preis: ca. 1,3 Mio. € brutto \*
- 2 E-PTOs, in Summe
  - » 104 kW Dauerleistung
  - » 125 kW Spitzenleistung
  - » max. 200 bar / 800 l/min
  - » 3.100 m<sup>3</sup>/h Saugleistung
- Markteinführung 1. Quartal 2023



Quelle: IFAT 2022



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Abrollkipper

- *Volvo FE Electric* (BEV) mit *RL 18* Abrollkipper von *MEILLER*
  - Fahrgestell: Volvo 6x2
  - Achsanzahl: 3
  - Nutzlast: abhängig vom Fahrgestell
  - zzG: 26 t zzgl. Auflast für Batterie
  - Batteriekapazität: 200 kWh bis 265 kWh
  - Reichweite: bis zu 200 km \*
  - Preis: ca. 220 km abzgl. 1 – 1,5 km pro Ladevorgang  
Fahrgestell ca. 420.000 € \*\*  
Elektrifizierung des Aufbaus ca. 100.000 € \*\*



Quelle: IFAT 2022



Quelle: Volvo 2021

\* Herstelleraussage, eigene Berechnung ergeben ca. 120 km  
\*\* Brutto-Preise



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Sattelzugmaschine (1/2)

- *QHM BEV 27-400 4x2* von *QUANTRON* (BEV)
  - Fahrgestell: MAN TG3
  - Achsanzahl: 2
  - zGM: 40.000 kg (Sattelzug mit > 4 Achsen)
  - Batteriekapazität: 392 kWh
  - Reichweite: 300 - 350 km \*
  - Preis: ca. 475.000 € \*\*
  - weiteres:
    - » Motorleistung: 375 kW

Quelle: quantron.net



\* Herstelleraussage für Realbetrieb, 50 % Beladung  
\*\* Brutto-Preise



**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Marktanalyse Fahrzeugtechnik**



• **Sattelzugmaschine (2/2)**

- *Scania BEV* von *Scania* (BEV)
  - Fahrgestell: Scania 4x2
  - Achsanzahl: 2
  - Nutzlast: -
  - zzG: 40.000 kg  
Sattelzug mit > 4 Achsen
  - Batteriekapazität: 624 kWh (nutzbar: 468 kWh)
  - Reichweite: 350 km bei 40 t zzG
  - Preis: keine Herstellerankunft
  - weiteres:
    - » Ladeleistung: bis zu 375 kW
    - » Motorleistung: 410 kW



Quelle: scania.com

\* Brutto-Preise

**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Marktanalyse Fahrzeugtechnik**



• **LKW mit Kofferaufbau (1/2)**

- *QARGO 4 EV* von *QUANTRON* (BEV)
  - Achsanzahl: 2
  - Nutzlast: 1.600 kg
  - zzG: 4.500 kg
  - Batteriekapazität: 81 kWh
  - Reichweite: bis 230 km
  - Preis: ca. 110.000 €\*



Quelle: quantron.net

- *E 75 AT* von *ORTEN* (BEV)
  - Achsanzahl: 2
  - Nutzlast: 2.000 kg
  - zzG: 7.490 kg
  - Batteriekapazität: 116 kWh
  - Reichweite: ca. 150 km
  - Preis: ca. 160.000 €\*
  - weiteres:
    - » auch mit kleinerer Batterie und höherer Nutzlast erhältlich



Quelle: electric-trucks.de

\* Brutto-Preise

## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik



### • LKW mit Kofferaufbau (2/2)

- *E 120 LF* von *ORTEN* (BEV)
  - Achszahl: 2
  - Nutzlast: 4.200 kg
  - zzG: 11.990 kg
  - Batteriekapazität: 217 kWh
  - Reichweite: ca. 200 km
  - Preis: ca. 180.000 €\*
  - weiteres:
    - » auch mit kleinerer Batterie (145 kWh) und höherer Nutzlast (4.800 kg) bei kürzerer Reichweite (ca. 120 km) erhältlich



Quelle: electric-trucks.de

- *eActros 400 6x2* von *Mercedes-Benz* (BEV)
  - Achszahl: 3
  - Nutzlast: ca. 16,6 t ohne Aufbau
  - zzG: 27 t
  - Batteriekapazität: 448 kWh installiert (nutzbar: 388 kWh)
  - Reichweite: bis zu 400 km
  - Preis: ca. 300.000 €\*



Quelle: daimler.com



\* Brutto-Preise

## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik



### • Kleintransporter

- *eTGE* von *MAN* (BEV)
  - Nutzlast: 950 kg bis 1.750 kg (je nach Ausführung)
  - zzG: 5.500 kg
  - Batteriekapazität: 36 kWh
  - Reichweite: 115 km
  - Preis: ca. 60.000 €\*



Quelle: man.eu

- *ë-Jumper* von *Citroën* (BEV)
  - Nutzlast: bis 1.890 kg
  - zzG: 4.000 kg
  - Batteriekapazität: 70 kWh
  - Reichweite: 247 km nach NEFZ-Zyklus
  - Preis: ca. 80.000 € \*



Quelle: ecomento.de



\* Brutto-Preise

**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Marktanalyse Fahrzeugtechnik**



● **GKM**

- Bucher MaxPowa V65e
  - Batteriekapazität 200 kWh
  - Betriebszeit lt. Bucher 8 Std.
  - 6,5 m<sup>3</sup> Volumen
  - zGM 16 t
  - Nutzlast 6,0 t
  - Reichweite bis zu 200 km
  
- Faun eViajet Bluepower
  - Designwerk-Fahrgestell
  - Wasserstoffbetriebenes Fahrgestell
  - E-PTO, vollelektrischer Aufbau
  - Betriebszeit bis zu 10 Std.
  - 6,0 m<sup>3</sup> Volumen
  - Tankgröße 16,1 kg (größte Ausbaustufe)



IFAT 2022



**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Marktanalyse Fahrzeugtechnik**



● **MKM**

- Bucher CityCat VR 50e
  - Batteriekapazität 137 kWh
  - Betriebszeit lt. Bucher 10 Std.
  - 4,5 m<sup>3</sup> Volumen
  - zGM 10,5 t
  - Nutzlast 4,7 t
  
- Ravo 5 eSeries
  - Batteriekapazität 100 kWh
  - Betriebszeit lt. Ravo vollständiger Arbeitstag
  - 5 m<sup>3</sup> Volumen
  - zGM 11,4 t
  - Nutzlast 4,9 t



IFAT 2022



Quelle: Ravo B.V., 2021



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Kehmaschinen

➤ *eSwingo 200+* von *Schmidt* (BEV)

- zGM: 5 t
- Batteriekapazität: 75 kWh
- Betriebszeit: 10 h
- Preis: ca. 330.000 € \*



Quelle: aebi-schmidt.com

➤ *CityCat VS20e* von *Bucher* (BEV)

- zGM: 3,5 t
- Batteriekapazität: 45 kWh
- Betriebszeit: 6 h
- Preis: ca. 250.000 € \*



Quelle: buchemunicipal.com

➤ *Citymaster 1650 ZE* von *Hako* (BEV)

- zGM: 3,5 t
- Batteriekapazität: 60,5 kWh
- Betriebszeit: 9 h
- Preis: ca. 250.000 € \*



Quelle: hako.com



\* Brutto-Preise

Seite 38

## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Radlader

➤ *KL 25.5e* von *Kramer* (BEV)

- Betriebsgewicht: 4.150 kg
- Nutzlast: 1.750 kg
- Schaufelinhalt: 0,65 m<sup>3</sup> (Standardschaufel)
- Batteriekapazität: 33 kWh
- Betriebszeit: 4 h bei normaler Tätigkeit



Quelle: kramer-online.de

➤ *L25 Electric* von *Volvo* (BEV)

- Betriebsgewicht: 4.900 kg bis 5.270 kg
- Nutzlast: 2.000 kg
- Schaufelinhalt: 0,9 m<sup>3</sup>
- Batteriekapazität: 40 kWh
- Preis: 180.000 € \*
- Betriebszeit: bis zu 8 h (je nach Tätigkeit)



Quelle: volvoce.com

\* Brutto-Preise



Seite 39

## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Raupen

- *T7X Compact Track Loader* von *Bobcat* (BEV)
  - Betriebsgewicht: 5.528 kg
  - Batteriekapazität: 55 kWh
- *SD17-e-X* von *Shantui* (BEV)
  - Betriebsgewicht: 18.750 kg
  - Batteriekapazität: 240 kWh
  - weiteres:
    - » bisher nur in China
- *CAT D6 XE* von *Caterpillar* (Diesel + Elektroantrieb)
  - Betriebsgewicht: 23.285 kg
  - weiteres:
    - » lediglich der Antrieb ist elektrisch
    - » dadurch bis zu 23% geringerer Kraftstoffverbrauch



Quelle: bobcat.com



Quelle: aebl-schmidt.com



Quelle: cat.com



## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Umschlagmaschine

- *817e Electro Battery* von *Sennebogen* (BEV + Netzbetrieb)
  - Betriebsgewicht: bis zu 18,3 t
  - Auslegerreichweite: 9 m
  - Batteriekapazität: 252 kWh
  - Preis: ca. 600.000 € \* (je nach Ausstattung)
  - weiteres:
    - » Arbeiten im Akkubetrieb und im Netz-/ bzw. Ladebetrieb möglich
    - » Laden durch 63 A CEE Stecker, dadurch keine Ladesäule nötig



Quelle: sennebogen.com



\* Brutto-Preise

## 2. Darstellung Stand der Technik Marktanalyse Fahrzeugtechnik

EBL 

### • Traktor

- *e100 Vario* von *Fendt* (BEV)
  - Motorleistung: 50 kW + kurzzeitiger Boost bis zu 150 kW
  - Batteriekapazität: 100 kWh
  - weiteres:
    - » Prototyp im Projektstatus



Quelle: fendt.com

### • Dumper (Beispiel)

- *HX04* von *Volvo* (FCEV)
  - Achszahl: 3
  - Betriebsgewicht: unbekannt
  - H<sub>2</sub>-Tankvolumen: 12 kg
  - weiteres:
    - » Prototyp im Projektstatus
    - » etwa 4 Stunden Betriebszeit



Quelle: h2-mobility.de/news/2425/



## 2. Darstellung Stand der Technik Ladestelleninfrastruktur

EBL 

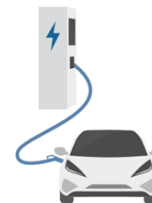
### • Wallboxen

- Spannungen bis 400 Volt
- Integrierte Fehlerstrom-Schutzeinrichtung
- Kommunikation zwischen Fahrzeug und Wallbox über Ladeleitung
- Digitale Steuerungsapplikationen
- i.d.R. 3,7 kW bis zu 44 kW AC



### • Ladesäulen

- Wetterfest auf offenen Plätzen
- Verschiedene Steckmöglichkeiten
- Ladegerät in der Ladestation integriert
- i. d. R. 10 kW bis 450 kW DC



## 2. Darstellung Stand der Technik Ladestelleninfrastruktur



### • Ladestellen

	AC-Laden	DC-Laden	Induktives Laden	Ladetechnologie	Ladeleistung (kW)	Ladestrom (A)	Netzanschluss der Ladeinfrastruktur
Normalladen	3,7 kW 7,4 kW 11 kW 22 kW	10 kW 20 kW	3,7 kW 7,4 kW 11 kW 22 kW	AC 1-phasig	bis 3,7	bis 16	AC, 1-phasig 230 V, 16 A
Schnellladen	44 kW	50 kW		AC 3-phasig	bis 22	bis 32	AC, 3-phasig 400 V 3 x 32 A
Hochleistungsladen		150 kW 350 kW 450 kW		DC	bis 150	bis 200	AC, 3-phasig 400 V 3 x 125 A
	TYP 2 Combo 2 	Combo 2 	Spule 	HPC	bis 350	bis 500	AC, 3-phasig 400 V 3 x 125 A

© VDE FNN bzw. Mindeststandard nach Ladesäulenverordnung

AC = Wechselstrom

DC = Gleichstrom

HPC = High-Power-Charging (mit Gleichstrom)

Quelle: DKE, 2021



## 2. Darstellung Stand der Technik Ladestelleninfrastruktur



### • Ladesäulen mit Dispenser

- Erweiterbare zentrale Ladestation
- Nutzung bei begrenzter Aufstellfläche
- System bestehend aus:
  - Leistungseinheit/-schrank (dezentral)
  - Dispenser bzw. Ladesäulen
- Unterschiedliche DC-Leistungen einsetzbar, z. B.:
  - Ladeleistung zentrale Station 150 kW (80.000 € brutto)
  - Dispenser modular nachrüstbar (2.500 € brutto)



**ValueScreen**  
Der 36-Zoll-Touchscreen macht das Laden zum Erlebnis und ermöglicht die einfache Integration kundenspezifischer Inhalte.



**PowerUp**  
Bei SICHARGE D Ladesäulen kann die Ladeleistung auch nachträglich einfach erhöht werden, um mit dem zunehmenden Leistungsbedarf Schritt zu halten.



**ConnectPlus**  
Die kosteneffiziente, platzsparende SICHARGE D lässt sich leicht um zwei DC Ladeanschlüsse erweitern, sodass bis zu fünf Fahrzeuge parallel geladen werden können\*.



**FullDPA**  
Die dynamische Leistungsverteilung (Full Dynamic Power Allocation) berücksichtigt auf intelligente Weise den individuellen Leistungsbedarf der einzelnen Elektrofahrzeuge und sorgt so für eine optimierte Ladezeit.

\*falls verfügbar

Quelle: Siemens 2022



**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Ladestelleninfrastruktur**



- **Entwicklungen Megawatt Charging System (MCS) (1/2)**
  - Lösungsentwicklung, um auch schwere elektrifizierte Nutzfahrzeuge mit deutlich höheren Ladeleistungen in kurzer Zeit nachzuladen
  - Neue Fahrzeugschnittstellen erforderlich
  - MCS-Ladestationen mit max. 1.250 V und 3.000 A -> max. 4 MW (bisher 500 kW)
  - Ziel des neuen Systems:
    - Ruhepause LKW-Fahrer von 45 Minuten nach 4,5 Std. Fahrtzeit
    - Komplette Nachladung des LKW innerhalb der Pause
  - Designwerk bietet 1 MW-Station am Markt an 2,1 MW-Station derzeit in Entwicklung
  - Roadmap\*:
    - bis 2025 Infrastruktur mit Fahrzeugen
    - bis 2030 NFZ im Alltagsbild

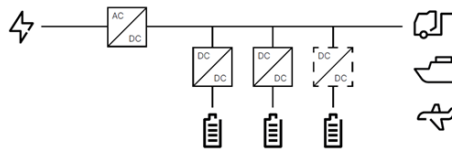
\* Hormmeyer, Fachreferent für Standardisierung VDE Group 11/2021



**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Ladestelleninfrastruktur**



● **Entwicklungen Megawatt Charging System (MCS) (2/2)**



	A	B	C	D
1. DC Leistung	CCS* 350kW	CCS/CHAOJI* 700 kW	MCS 1400kW	MCS 2100kW
2. Batteriepuffer	450kWh	900kWh	1800kWh	
3. AC Leistung	88kW 400VAC	200kW 400VAC	400kW 400VAC	
4. Zusätze	Externe Steuerung des Energieflusses vom Netz zum System (Anschluss an EMS)	Gesteuerte bidirektionale Netzanbindung des Puffers	Monitoring	Offgridfähigkeit

Spannung  
500-900 V

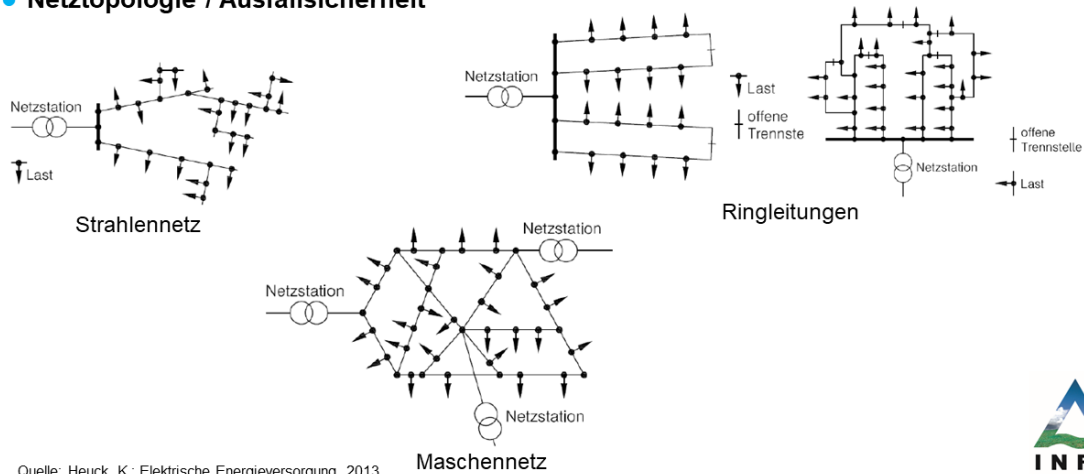
Gewicht  
18-25 t



**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Ladestelleninfrastruktur - Mittelspannung**



• **Netztopologie / Ausfallsicherheit**



**2. Darstellung Stand der Technik**  
**Ladestelleninfrastruktur - Mittelspannung**



• **Netz (Transformator) - Stationen**

- Umspannstationen von i.d.R. 20/10 kV Mittelspannung auf 400 V Niederspannung
- Spitzenleistungsfähigkeit der Transformatoren
  - 250 kVA
  - 400 kVA
  - 630 kVA
  - 800 kVA
  - 1.000 kVA / 2x 1.000 kVA



Quelle: ABB, 2016

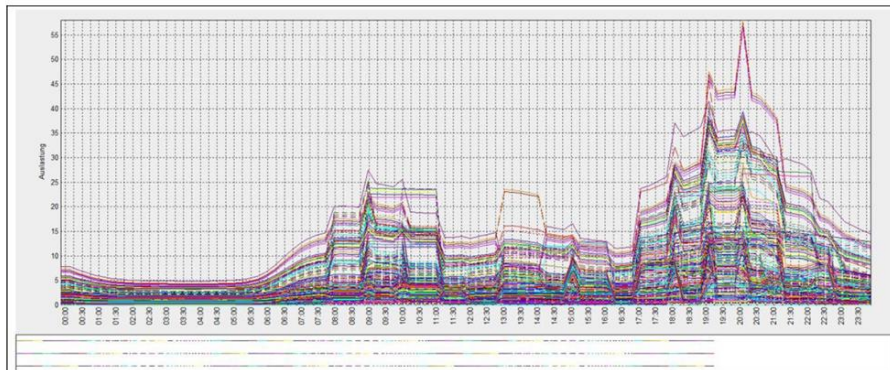
Eigenschaft	Wert
Maximale Leistung	630 kVA (800 und 1000 kVA ebenfalls möglich)
Nennspannung	12, 17,5 oder 24 kV
Maximaler Kurzschlussstrom	20 kA/1s
Gehäuseklasse	K10/K15/K20 (abhängig von den Trafo-Verlusten)
Höhe	ca 1880 mm
Gewicht (nur Trafostation)	7,8 t (inkl. 2,3 t Dachgewicht)
Transformatorabteil H x L x B	2000 x 1800 x 1000 mm
Mittelspannung	bis zu 4 Felder (5 Felder auf Anfrage)
Niederspannung	bis zu 13 Abgänge



**2. Darstellung Stand der Technik  
Ladestelleninfrastruktur**



● **Netzspitzen / Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge**



- Simulation der Ladevorgänge erforderlich
- Lastmanagement erforderlich, um Hardwareanforderungen an Trafostation(en) zu begrenzen

BMVI, 2019



**2. Darstellung Stand der Technik  
Ladestelleninfrastruktur**



● **Lastmanagementsysteme**

- Statisches Lastmanagement
  - Fix definierter Lastwert in kVA, kW oder %
  - Einhaltung der Trafoleistung durch reduzierte Ladeleistung
- Dynamisches Lastmanagement
  - Kontinuierliche Ladeleistungsanpassung gemäß Bedarfparameter der Fahrzeuge z. B. Vorrang für bestimmte Fahrzeuge, Vollladezustand etc.
- Vernetztes Lastmanagement
  - Möglichkeit der Steuerung von Ladestationen je nach:
    - » Auslastung des Netzes
    - » Aktuellem Strompreis
    - » Bidirektionale Ladung von Fahrzeugen (Rückspeisung ins Stromnetz möglich)
  - Intelligentes Stromnetz (Smart Grid) erforderlich



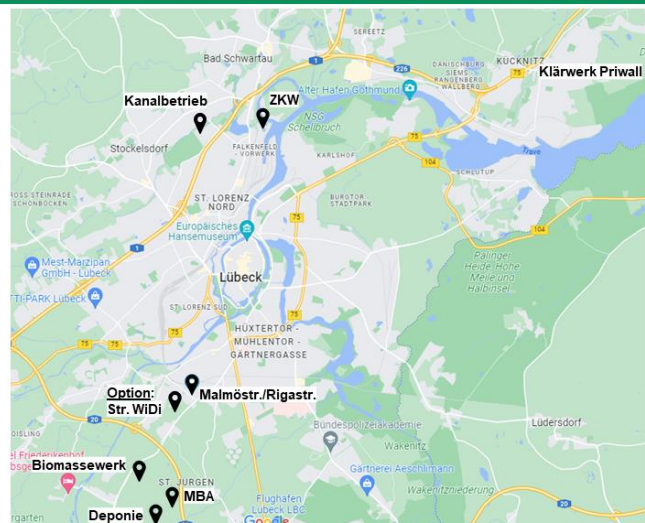
**Gliederung**

1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	Darstellung Stand der Technik
3	<b>Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten</b>
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	Emissionsbetrachtung
8	Kostenbetrachtung
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit

**3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten  
Standorte und Infrastruktur**

• **Übersichtslageplan der EBL-Standorte**

- Standorte über das gesamte Stadtgebiet verteilt
- Wesentliche Fahrzeugstandorte
  - Malmöstraße
  - ZKW
  - Ratekauer Weg (Kanalbetrieb)
  - ggf. Stockholmrings (WiDi)



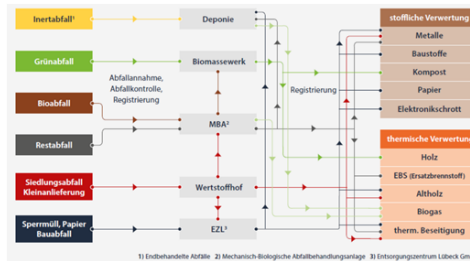
### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



#### • Eckdaten Abfallsammlung

- 25 Abfallsammelfahrzeuge täglich im Einsatz
- Abfallmengen
  - 43.400 t/a Restabfall
  - 15.900 t/a Bioabfall
  - 12.400 t/a Altpapier
  - 2,8 Mio. Behälterleerungen pro Jahr

#### • Eckdaten Abfallverwertung



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



#### • Eckdaten Straßenreinigung / Winterdienst

- Straßenreinigung
  - 20 Kehrmaschinen im täglichen Einsatz
  - 37.000 km Straßen
  - 5.400 t/a Straßenkehrriecht
  - 1.200 t/a Laub
  - 996 t wilde Ablagerungen
- Winterdienst
  - 1.200 t Streusalz und Streusalzlauge
  - 350 km geräumte Straßen
  - 165 km geräumte Radwege
  - 620 geräumte Bushaltestellen



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur

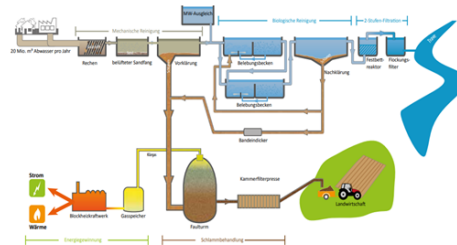


#### • Eckdaten Abwasserentsorgung

- Kläranlage
  - Zentralkläwerk mit 430.000 Einwohnerwerten
  - Kläranlage Priwall in Travemünde mit 31.000 Einwohnerwerten
  - ca. 20 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser

#### ➤ Kanalnetz

- 395 km Schmutzwasserkanäle
- 384 km Regenwasserkanäle
- 135 km Mischwasserkanäle
- 82 km Druckrohrleitungen
- Hausanschlussleitungen



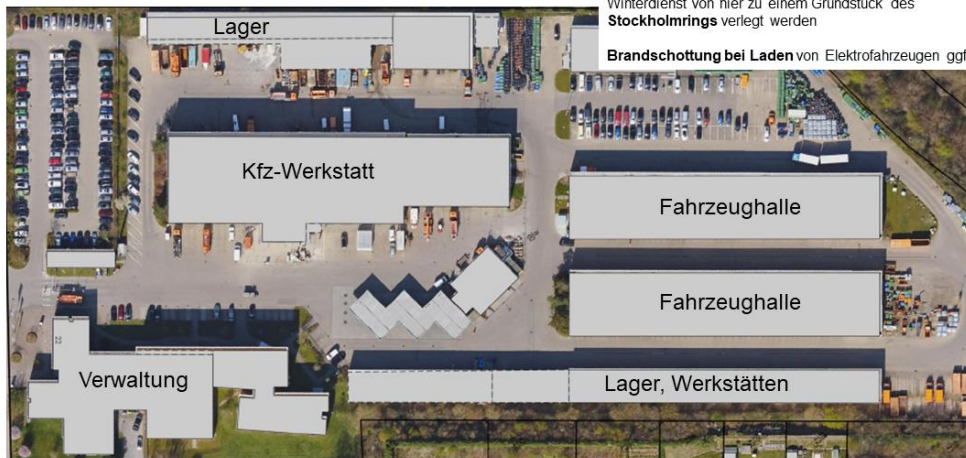
Quelle: EBL Lübeck 2020



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



#### • Lagepläne der Einzelstandorte (Malmöstraße)



Derzeit Prüfung, ob die Fahrzeuge der Straßenreinigung/  
Winterdienst von hier zu einem Grundstück des  
**Stockholmrings** verlegt werden

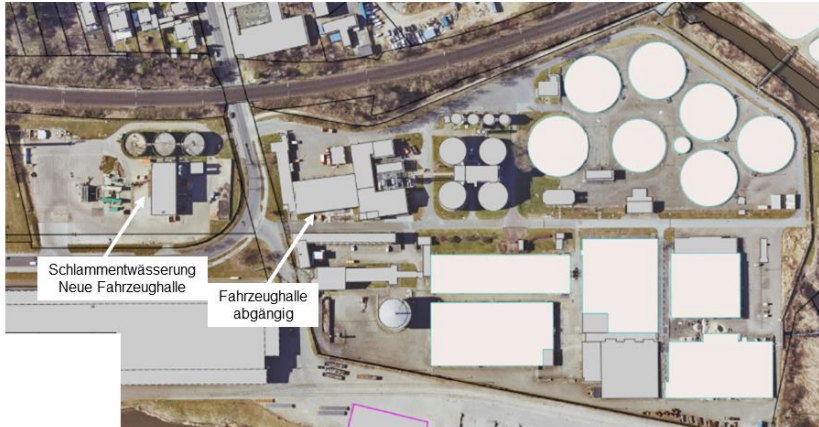
**Brandschottung bei Laden** von Elektrofahrzeugen ggf. erforderlich



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



- Lagepläne der Einzelstandorte (ZKW)



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



- Lagepläne der Einzelstandorte (Ratekauer Weg)



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



- Lagepläne der Einzelstandorte (MBA)



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



- Lagepläne der Einzelstandorte (Biomassewerk)



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



- Lagepläne der Einzelstandorte (Deponie)



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



- Mittelspannungsanbindung der Standorte

Standort	Netzübergabestation Unterstation (EBL Anlage)	Leistung Verbrauch	Leistung Einspeisung	Ausbau möglich? (ja/nein/kVA)	Bemerkung
ZKW	Summe	6.715 kVA	4.380 kVA		
mit öffentl. Netz verbunden	VOR 302				
	Trafo EVZ 1	2.000 kVA			
	Trafo EVZ 2	2.000 kVA			
	Trafo EVZ 3	2.000 kVA			
	Trafo EVZ 4	Reserve			
	Trafo EVZ 5		1.250 kVA		Einspeisung BHKW's
	Trafo EVZ 6		1.250 kVA		Einspeisung BHKW's
	Trafo EVZ 7		1.250 kVA		Einspeisung BHKW's
	Trafo EVZ 8		Reserve		
	WVS Trafo 3	800 kVA (Reserve)			
	VOR 321				
	AGO Trafo 4	800 kVA (Reserve)			
	AGO Trafo 5	800 kVA			
	AGO Trafo 6	800 kVA			
	AGO Trafo 7	800 kVA (Reserve)			Einspeisung BHKW's andere Straßenseite (ggf. künftig Fahrzeughallen)
	SEA	315 kVA			
MBA, Deponie, BMW	zentrale Übergabestation	6.200 kW		1.250 kVA	in Planung Ringschluss
	GES 310	0 kVA	0 kVA		nur Schaltstelle MBA
	GES 311	6.250 kVA	2.500 kVA		MBA
	GES 309	630 kVA			Müllschütte
	GES 308	400 kVA			Entsorgungszentrum Lübeck, Verwaltung, Kleingeräte
	GES 307	630 kVA			Biokompostierung, soll ersetzt werden durch 800 kVA
	GES 320		800 kVA		PV Niemark 1, 750 kWp
	PV 2		800 kVA		in Planung, weitere 750 kWp
	Elektrolyseur	800 kVA			in Planung, noch nicht in Summe enthalten
Rigastr. 10/ Malmöstr. 22	Summe	1.430 kVA	2.500 kVA		
	GES 313				
	Trafo 1	800 kVA			Kompaktstation
	Trafo 2	630 kVA			Trafo Fuhrpark
	Trafo 3		1,25 MW		BHKW
	Trafo 4		1,25 MW		BHKW
Ratekau er Weg	Summe	n.b.			
	NS 347	Niedersp. 400 V max. 200 A		1.000 kVA	10 kV Leitung liegt, 1.000 kVA umsetzbar



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



- **Stromlieferverträge**

- Leistungspreise
  - Umspannung Mittel-/ Niederspannung: 86,37 €/(kW\*a) (2022)
- Arbeitspreise
  - 27,1 Cent/kWh (2022)
  - 40,8 Cent/kWh (2023\*) \* Beschaffung noch nicht abgeschlossen, brutto
- Stromeinspeisung
  - MBA
    - » Neben der "Vergärung von Bioabfällen" wird "Biomasse" (Restabfall) zu Stromerzeugung genutzt
    - » Einspeisevergütung hängt von den Massenverhältnis der beiden Linien ab und lag Jahr 2021 bei 13,746 ct/KWh
  - Rigastraße
    - » Einspeisevergütung gem. MBA zzgl. KWK Zuschlag
    - » Direktvermarktung von Deponiegas
    - » Erlöse aus der Abwärmenutzung
    - » Einspeisevergütung hängt von den Massenverhältnis der beiden Linien sowie dem Deponiegasanteil ab und lag Jahr 2021 bei 12 ct/kWh zzgl. 2,03 ct/kWh Wärme
  - ZKW
    - » Klärgas wird ab dem 01.05.2022 über Direktvermarktung veräußert, aktuelle Zahlen fehlen noch



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



- **Energiebilanz der Standorte im Jahr 2021**

Energiedaten 2021		Malmöstraße/ Rigastraße	MBA	Biomasse- werk	Deponie	ZKW	Ratekauer Weg + PW	Summe
Strombezug	kWh/a	37.518	1.331.330	476.171	358.721	212.739	56.990	2.473.469
Stromproduktion	kWh/a	8.291.961	7.924.000	0	0	9.952.200	0	26.168.161
<b>Summe Bezug + Produktion</b>	<b>kWh/a</b>	<b>8.329.479</b>	<b>9.255.330</b>	<b>476.171</b>	<b>358.721</b>	<b>10.164.939</b>	<b>56.990</b>	<b>28.641.630</b>
<b>Stromverbrauch</b>	<b>kWh/a</b>	<b>1.295.022</b>	<b>6.749.225</b>	<b>476.171</b>	<b>358.721</b>	<b>9.907.519</b>	<b>56.990</b>	<b>18.843.648</b>
Min	kW	65	10			0		
25 % Quantil	kW	80	455			15		
Median	kW	95	495			55		
Mittelwert	kW	115	522			138		
75 % Quantil	kW	155	540			200		
Max	kW	260	1.465			0		
<b>Stromeinspeisung</b>	<b>kWh/a</b>	<b>7.034.458</b>	<b>2.506.105</b>			<b>257.420</b>		<b>9.797.983</b>
Min	kW	0	0			0		
25 % Quantil	kW	721	0			5		
Median	kW	723	145			15		
Mittelwert	kW	945	286			29		
75 % Quantil	kW	1.260	410			20		
Max	kW	2.722	1.535			890		

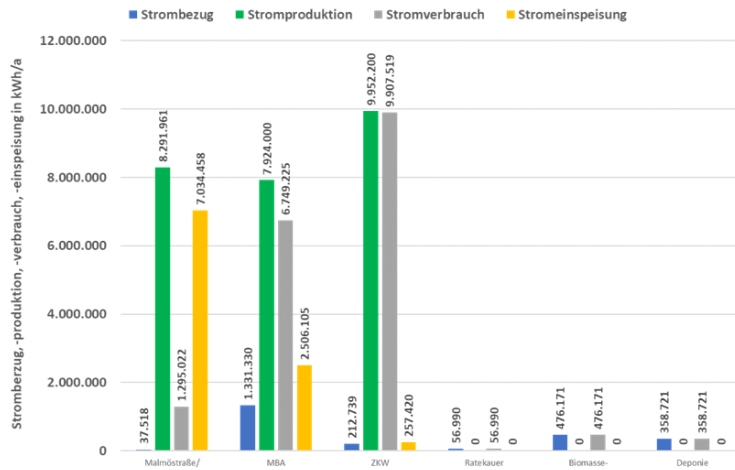
Ringschlusskonzept



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



#### • Energiebilanz der Standorte im Jahr 2021

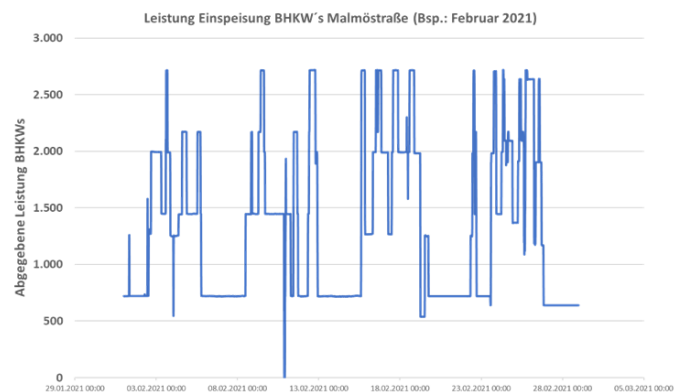


### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



#### • Lastgang Einspeisung Malmöstraße im Jahr 2021

- Einspeiseleistung  
**Median 2021: 723 kW**  
**Mittel 2021: 945 kW**
- Zeitanteile ohne Einspeisung  
im Jahr 2021: 2,81 %
- Eigennutzung des produzierten Stroms ist im Normalfall der Einspeisung vorzuziehen
  - » Betankung der Fahrzeuge bzw. zur Wasserstoffproduktion ist zu prüfen



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



#### • Max. Leistungsaufnahme der Standorte

➤ Basis Lastgänge im Jahr 2021 (15 min-Mittelwerte)

Standort	Leistung Verbrauch	Leistung Einspeisung	max. abgenommene Leistung (Lastgang)	max. eingespeiste Leistung (Lastgang)	zus. mögliche Leistung	Auslastung Verbrauch
ZKW	6.715 kVA	4.380 kVA	1.255 kW	890 kW	5.460 kW	19%
MBA, Deponie, BMW	6.200 kW		1.465 kW	1.535 kW	3.200 kW	48%
Rigastr. 10/ Malmöstr. 22	1.430 kVA	2.500 kVA	260 kW	2.590 kW	1.170 kW	18%
Ratekauer Weg	n.b.		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

- Auslastungen der Transformatoren (Verbrauchsseite):
  - » Geringe Auslastung der Transformatoren **ZKW** und **Rigastr./ Malmöstr.**
  - » Mittlere Auslastung der Zentralen Übergabestation **MBA, Deponie, BMW**
  - » Standort **Ratekauer Weg** Niederspannungsanbindung
    - » Keine Werte verfügbar
    - » 10 kV Anbindung mit bis zu 1.250 kVA aber möglich
- Grundsätzliche Auslastungen > 90 % mit Kühlung möglich, aber zu Lasten der Lebensdauer



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Standorte und Infrastruktur



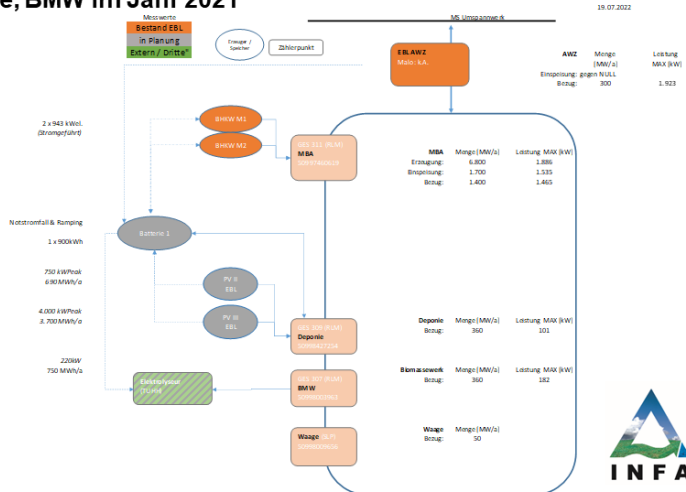
#### • Ringschlusskonzept MBA, Deponie, BMW im Jahr 2021

➤ Bestandsanlagentechnik

- BHKW-Anlage 2 x 943 kWel.  
7.924 MWh/a

➤ Geplante Anlagentechnik

- 2 PV-Anlagen
  - » 750 kWp (Stadtwerke)  
690 MWh/a
  - » 4.000 kWp (perspektivisch EBL)  
3.700 MWh/a
- Notstrompufferbatterie  
900 kWh
- Elektrolyseanlage zur H<sub>2</sub>-Erzeugung mit 220 kW Leistung

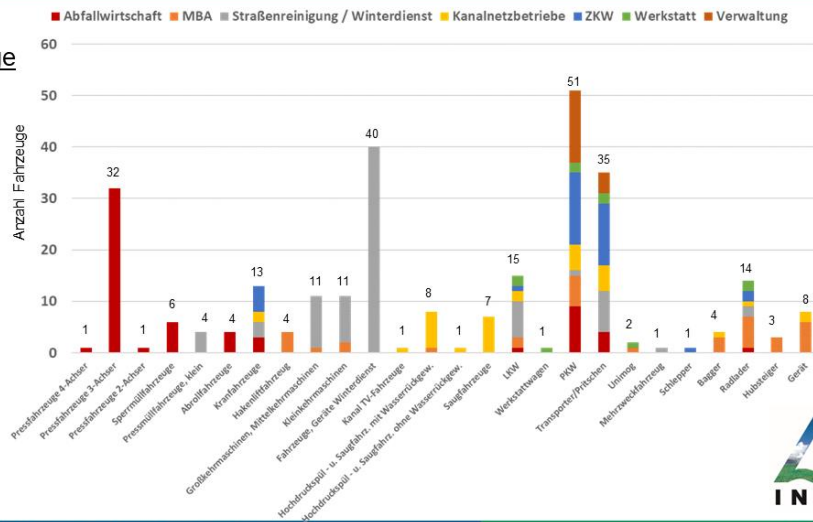


### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



#### • Fahrzeuge

- insg. 271 Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen (inkl. Reserve, ohne Geräte)



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



#### • Fuhrpark

- Zentralstandort für Großfahrzeuge der Abfallsammlung und der Stadtreinigung ist die Malmöstraße\*
- Standort der Saug- und Spülfahrzeuge ist der Ratekauer Weg (gegenüber Stadtwerke-Standort, ÖPNV-Betrieb der Busse)
- Transporter, selbstfahrende Arbeitsmaschinen und Geräte sind z. T. auch an den Standorten ZKW, MBA, BMW und Deponie stationiert

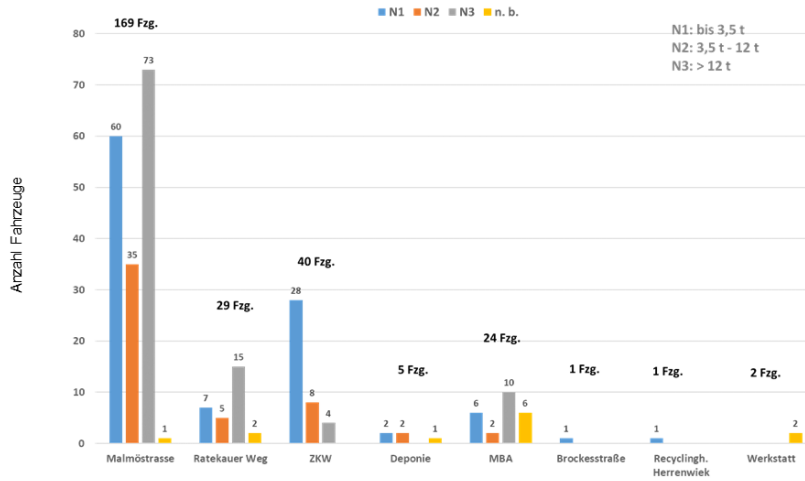
\* 1 GKM wird aufgrund der Entfernung direkt vom Standort Travemünde aus eingesetzt



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



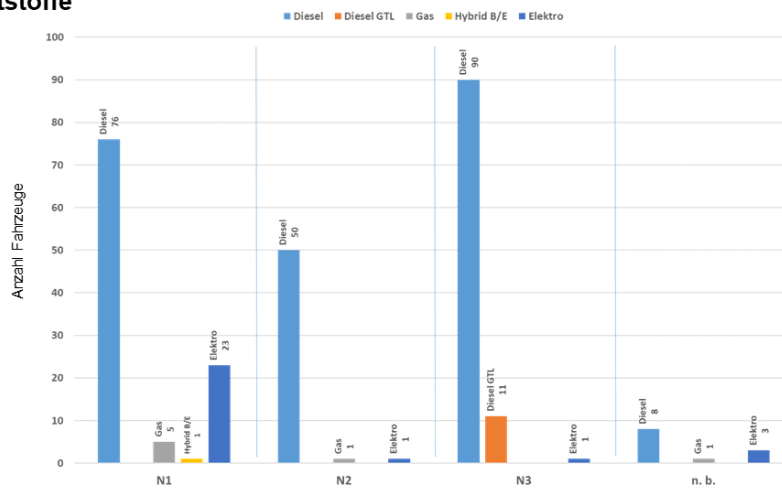
#### • Fahrzeugstandorte



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



#### • Kraftstoffe

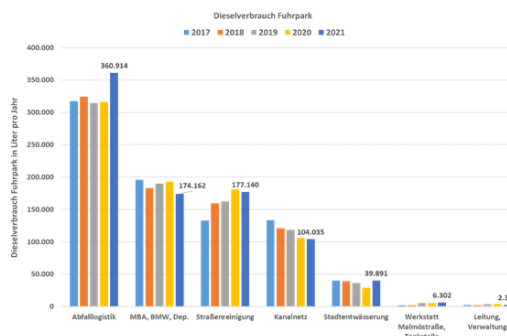


### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



#### • Fuhrpark

- 4 wesentliche Fahrzeugstandorte
  - 231 Dieselfahrzeuge
    - » Dieselverbrauch ca. 865.000 Liter/a
  - 12 Verbrennerfahrzeuge mit GTL
    - » GTL Verbrauch ca. 84.000 Liter/a
  - 28 BEV / FCEV Fahrzeuge
    - » Stromverbrauch ca. 60.000 kWh/a



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



#### • Fahrzeuersatzbeschaffung

- Nutzungsdauern für Fahrzeuge wurden in Abhängigkeit des Fahrzeugzustandes festgelegt

Nutzungsdauer	Fahrzeugtyp	Nutzungsdauer	Fahrzeugtyp
12 Jahre	Abfallsammelfahrzeuge	15 Jahre	Kanal TV-Fahrzeuge
8 Jahre	Pressmüllfahrzeuge, klein	12 Jahre	Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.
12 Jahre	Spermüllfahrzeuge	12 Jahre	Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.
12 Jahre	Groß- & Mittelkehrmaschinen	12 Jahre	Saugfahrzeuge
7 Jahre	Kleinkehrmaschinen	15 Jahre	Hubsteiger
12 Jahre	Abrollkipper	15 Jahre	PKW
12 Jahre	Hakenlifffahrzeug	15 Jahre	Werkstattwagen
12 Jahre	Kranfahrzeuge	10 Jahre	Radlader
12 Jahre	LKW	10 Jahre	Bagger
18 Jahre	Unimog	8 Jahre	Geräte
8 Jahre	Schlepper		
7 Jahre	Mehrweckfahrzeug		
10 Jahre	Transporter/Pritschen		
18 Jahre	Fahrzeuge, Geräte Winterdienst		

- Abfallsammelfahrzeuge wandern nach 8 Jahren in die Reserve
- Neu beschaffte Fahrzeuge übernehmen die Stammtouren
- Bei übrigen Fahrzeugen keine Reservehaltung



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen

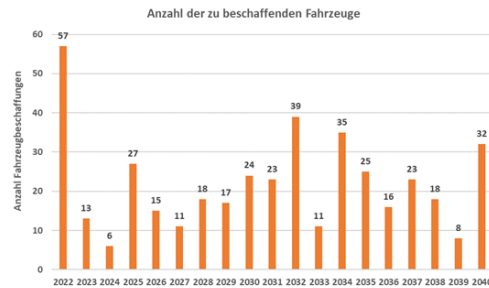


- **Fahrzeuersatzbeschaffung**

- Resultierende Ersatzbeschaffungsliste (fossile und alternative Kraftstoffe)

Jahr	Anzahl der Fahrzeuge	Jahr	Anzahl der Fahrzeuge
2022	57	2032	39
2023	13	2033	11
2024	6	2034	35
2025	27	2035	25
2026	15	2036	16
2027	11	2037	23
2028	18	2038	18
2029	17	2039	8
2030	24	2040	32
2031	23		

Mittelwert  
22 Fahrzeuge pro Jahr



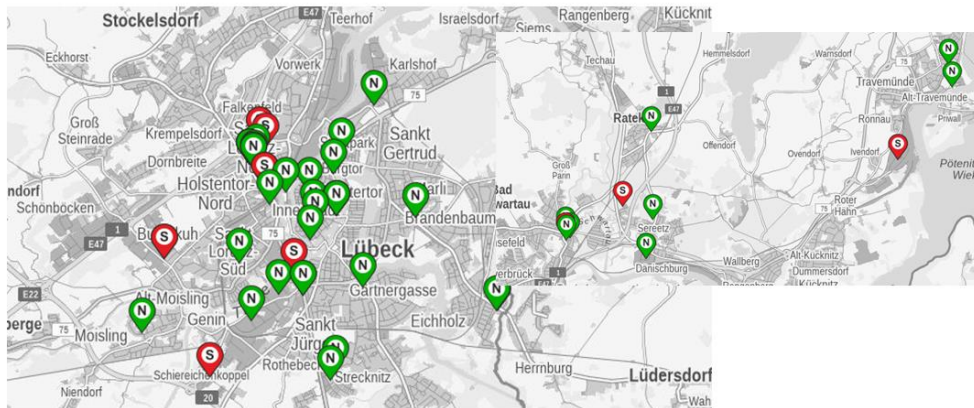
- Aufteilung der Fahrzeugbeschaffungen in unterschiedliche Antriebstechnologien erfolgt in der Szenarioanalyse



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Externe Ladeinfrastruktur



- **Ladeinfrastruktur Lübeck**



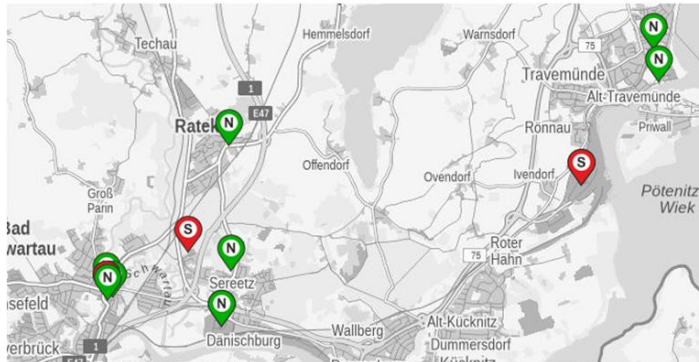
- ca. 50 Ladestellen in Lübeck Zentrum (nicht generell für LKW nutzbar)



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Externe Ladeinfrastruktur



#### • Ladeinfrastruktur Travemünde



➤ 3 Ladestellen in Travemünde (nicht generell für LKW nutzbar)



### 3. Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten Externe Tankinfrastruktur



#### • Wasserstoffinfrastruktur Lübeck

- Derzeit keine Wasserstoffinfrastruktur in Lübeck
  - Nächstgelegene H<sub>2</sub>-Tankstelle in Hamburg
- Projekt der EBL mit der ERC GmbH und der TU Hamburg zum Aufbau einer Wasserstofftankstelle
  - Standort Wertstoffhof Niemarkt
  - Entfernung: ca. 4 km von Malmöstraße
  - Fahrtzeit : ca. 5 bis 10 min
  - Elektrolyseur: Leistung 220 kW
    - » Stromerzeugung Blockheizkraftwerke der MBA, die mit Biogas und Deponiegas betrieben werden
    - » Verwendung des Sauerstoffs aus dem Elektrolyseprozess für die Versorgung der Rotteboxen des BMW
  - Tankstelle für 8 bis 10 schwere Nutzfahrzeuge



**Gliederung**

1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	Darstellung Stand der Technik
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	<b>Szenario- und Bedarfsanalyse</b>
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	Emissionsbetrachtung
8	Kostenbetrachtung
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit



**4. Szenario- und Bedarfsanalyse  
Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen**

• **Reichweitenbetrachtung am Beispiel Abfallsammelfahrzeuge (1/2)**

- Die Reichweite der ASF hängt von unterschiedlichen Faktoren ab:
  - Topografie, Bebauungsgrad
  - Jahreszeit/ Temperatur
  - Verbrauch Fahrzeug + Aufbau/ Schüttung
  - Fahrzeuggewicht
  - Verbaute Batteriepakete, mögliche Konfigurationen sind:

verwendete Batterien	Kapazität	Kapazität	Verfügbarkeit	Verfügbarkeit	Gewicht	spez. Gewicht	spez. Gewicht	CO <sub>2</sub> eq Batterie- herstellung** t
	kWh (Jahr 2025)	kWh (Jahr 2030)	SoC 80 % (Jahr 2025)	SoC 80 % (Jahr 2030)	kg	kg/kWh (Jahr 2025)	kg/kWh (Jahr 2030)*	
	435	512	348	409	2.734	6,3	5,3	35
	387	455	309	364	2.532	6,6	5,6	31
	217	256	174	205	1.367	6,3	5,3	17
	169	199	135	159	1.165	6,9	5,9	14
	85	100	68	80	610	7,2	6,1	7
	42	50	34	40	310	7,3	6,2	3
	37	44	30	35	252	6,8	5,7	3

\* Annahme: Steigerung der Energiedichte der Batterie bis 2030 um 15 %  
 \*\* Destatis, 2019 -> 80,1 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh

Für die Reichweitenbetrachtung wird eine Batteriekapazität mit 435 kWh gewählt.



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



- **Reichweitenbetrachtung am Beispiel Abfallsammelfahrzeuge (2/2)**
  - Die Betrachtung stellt Berechnungen für die Jahre 2022 und 2025 dar
  - Es wird von einer geringfügig steigenden Energiedichte der verwendeten Batterien ausgegangen

Dim.	ASF 26t (Jahr 2022)		ASF 26t (2025)		
	innerorts	außerorts	innerorts	außerorts	
Verbrauch ohne Batterie (flache Topografie)	kWh/100 km	116	92	113	90
spez. Zusatzverbrauch für Mehrmasse	kWh/(t*100 km)	4,6	4,6	4,6	4,6
Zusatzverbrauch (2,7 t Batterie + 7,9 t Aufbau)	kWh/100 km	49	49	49,1	49,1
Verbrauch ASF BEV (ohne Verbrauch d. Aufbau)	kWh/100 km	165	141	162	139
Verbrauch Aufbau	kWh/d	40	30	39	29
Reichweite (Optimal Bedingungen)	km	187	225	228	273
Reichweite (Wintereinsatz 70%)	km	131	158	160	191
Reichweite (zus. Sicherheit 20%)	km	104	126	128	153
<b>Mittelwert Reichweite</b>		<b>115</b>		<b>140</b>	
<b>Reichweite angesetzt</b>		<b>120</b>		<b>140</b>	

Für BEV-ASF wird für EBL von einer erzielbaren Reichweite von **100 - 120 km** (Jahr 2022) bei voll geladenen Batteriepack ausgegangen



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



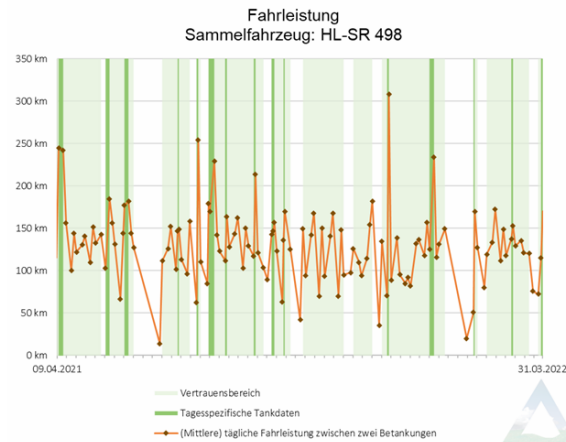
- **Statistische Auswertung der erforderlichen Reichweiten**
  - Tankdaten für einige Fahrzeuge stehen zur Verfügung
    - u. a.: Kennzeichen, Datum, Kilometerstand
    - Durch die verstrichene Zeit und die gefahrenen Kilometer zwischen den Tankvorgängen sind überschlägig die täglichen Fahrleistungen für jedes Fahrzeug berechenbar
  - Problematik bei Vorgehensweise
    - Wenn Fahrzeug nicht täglich tankt (Regelfall) handelt es sich bei den berechneten Fahrleistungen um Mittelwerte, sodass die maximale Fahrleistung unterschätzt wird
    - Wenn das Fahrzeug nicht täglich unterwegs ist, wird die maximale Fahrleistung erheblich unterschätzt
  - Folgend: Beispielhafte Auswertung des Fahrzeugs (HL-SR 498)



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen

##### • Beispielauswertung Abfallsammelfahrzeug (HL-SR 498)

- Tagesspezifische Tankdaten ( hinterlegt)
  - Betankung an 2 aufeinanderfolgenden Werktagen (Mo – Fr)
  - Hohe Aussagekraft
  - Findet nur an wenigen Tagen statt, daher nicht zur Auswertung geeignet
- „Vertrauensbereich“ ( hinterlegt)
  - Mittlere Fahrleistung über mehrere Werktage (bis in Höhe des Medians (max. 5 Werktage\*) aller Zeiträume zwischen 2 Tankstopps)
  - Ausreichende Aussagekraft
  - Hier: Großer Anteil an der Gesamtzeit
- Sonstige Bereiche
  - Zeitabschnitte mit seltenen / unregelmäßigen Betankungen
  - Keine Aussagekraft

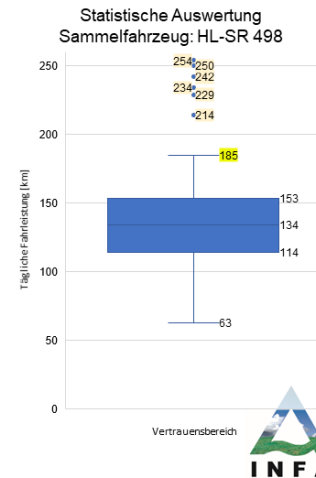


\*keine Begrenzung bei Stammfahrzeugen, da Annahme: täglich im Einsatz

#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen

##### • Beispielauswertung Abfallsammelfahrzeug (HL-SR 498)

- Betrachtung aller Tankdaten (1 Jahr) aus dem „Vertrauensbereich“
    - Ausreichend große Datenbasis
    - Ausreichende Aussagekraft
  - Definition der Anforderungen an die Reichweite anhand statistischer Auswertung durch Boxplot mit Angabe von
    - Ausreißern → Sonderfahrten, z. B. zur Vertragswerkstatt
    - **Maximum → Im Alltag zu erwartende maximale Fahrleistung**
    - 3. Quartil, Median, 1. Quartil, Minimum
  - Aussagen über tägliche Fahrleistung von HL-SR 498 möglich
    - Maximale alltägliche Fahrleistung: ~ 185 km
- Statistisch belastbare Tankdatenauswertung von allen Fahrzeugen nicht immer möglich, da diese z. T. nur selten betankt werden



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



##### • Tourenübersicht Abfallsammelfahrzeuge

- Teaminterne Fahrzeuge können untereinander Fraktion tauschen
- Differenzen bei zwei Touren -> hier wird die längere Tour angesetzt

Tour	Tourenlänge gemäß Tankdatenauswertung [km]	bisher zugeordnetes Fahrzeug	
RM/Bio	Team 1	185	HL-SR 498
	Team 1	190	HL-SR 491
	Team 2	unb.	HL-SR 484
	Team 2	84	HL-SR 442
	Team 3	169	HL-SR 404
	Team 3	91	HL-SR 441
	Team 4	59	HL-SR 499
	Team 4	105	HL-SR 400
	Team 5	93	HL-SR 440
	Team 5	78	HL-SR 439
Team 6	111	HL-SR 434	
Team 6	93	HL-SR 492	
PPK	PPK 1	160	HL-SR 416
	PPK 2	90	HL-SR 408
	PPK 3	112	HL-SR 474
Großbehälter	Wg 10	113	HL-SR 436
	Wg 11	103	HL-SR 405
	Wg 12	105	HL-SR 414
Sonst.	Kranfahrz.	108	HL-SR 427
	Container	193	HL-SR 403

##### ➢ Möglicher Einsatz von BEV (unterhalb 120 km)

- RM/Bio Team 2, 4, 5, 6
- PPK 2, 3
- Großbehälter 10/11/12
- Kranfahrzeug

##### ➢ FCEV

- RM/Bio Team 1, 3 (Team 1 bereits in Beschaffung)
- PPK 1
- Container



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



##### • Detail-Nutzungsanalyse Fahrzeuge

- Beispiel Abfallentsorgung (Pressfahrzeuge, Stammfahrzeuge)

**Legende**

ⓘ Strecke > 120 km, Einsatz von E-Fahrzeugen im Einzelfall zu überprüfen

Standort	Kennzeichen	Typ	Fahrzeugbeschreibung	zGG	Fraktion	EZ	Austauschjahr	Max Distanz
Malmöstrasse	HL-SR 499	Mercedes Econic 2635	3-Achser	26	Stamm, RM/Bio, Team 4	2016	2026	59 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 405	Mercedes Econic 2630	3-Achser	27	Stamm, Großbehälter, Wg 11	2016	2026	103 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 400	Mercedes Econic 2630	3-Achser	26	Stamm, RM/Bio, Team 4	2016	2026	105 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 404	Mercedes Econic 2630L/ENA	3-Achser	26	Stamm, RM/Bio, Team 3	2016	2026	169 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 436	Mercedes Econic 2630	3-Achser	26	Stamm, Großbehälter, Wg 10	2017	2027	113 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 434	Mercedes Econic 2630	3-Achser	26	Stamm, RM/Bio, Team 6	2018	2028	111 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 439	Mercedes Antos 2535 L	3-Achser	26	Stamm, RM/Bio, Team 5 a	2018	2028	78 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 403	MAN TGS 26360	3-Achser	26	Stamm, Container, Container	2018	2028	193 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 414	Mercedes Econic 2630	3-Achser	26	Stamm, Großbehälter, Wg 12	2019	2029	105 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 416	Mercedes Econic 2630	3-Achser	26	Stamm, PPK, PPK 1	2019	2029	160 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 498	Mercedes Econic 2630	3-Achser	27	Stamm, RM/Bio, Team 1	2019	2029	185 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 484	Renault Access Eagle	3-Achser	27	Stamm, RM/Bio, Team 2	2019	2029	Keine Tankdaten
Malmöstrasse	HL-SR 427	Mercedes Econic 2635 L	3-Achser	27	Stamm, Kranfahrz.	2020	2030	108 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 474	Mercedes Econic 2630	3-Achser	27	Stamm, PPK, PPK 3	2020	2030	112 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 442	Mercedes Econic 2630L/ENA	3-Achser	27	Stamm, RM/Bio, Team 2	2021	2031	84 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 408	Mercedes Econic 2630L/ENA	3-Achser	27	Stamm, PPK, PPK 2	2021	2031	90 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 441	Mercedes Econic 2630L/ENA	3-Achser	27	Stamm, RM/Bio, Team 3	2021	2031	91 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 440	Mercedes Econic 2630L/ENA	3-Achser	27	Stamm, RM/Bio, Team 5	2021	2031	93 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 492	Mercedes Econic 2630L/ENA	3-Achser	27	Stamm, RM/Bio, Team 6	2021	2031	93 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 491	Mercedes Econic 2630L/ENA	3-Achser	27	Stamm, RM/Bio, Team 1	2021	2031	190 km/d
Malmöstrasse	HL-SR 433	Mercedes Econic 2630	3-Achser	26	Sonder, Biokontrolle	2020	2030	170 km/d

- Alle weiteren Fahrzeuglisten zur Detail-Nutzungsanalyse sind im Anhang enthalten



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeugverfügbarkeiten



- **Annahmen Fahrzeugverfügbarkeiten auf Basis von Marktbeobachtungen**

- Bildung von 3 Clustern:
  - Sofort verfügbar (ab 2022)
  - Mittelfristig verfügbar (ab 2025)
  - Langfristig verfügbar (ab 2028)

Fahrzeugtyp	BEV	FCEV
ASF (Hecklader)	ab 2022	ab 2022
Spermüllfahrzeuge	ab 2022	ab 2025
Pressmüllfzg 7,5 t	ab 2022	ab 2025
Hakenliftfahrzeug	ab 2022	ab 2025
Kranfahrzeug	ab 2022	ab 2025
Abrollfahrzeuge	ab 2022	ab 2025
Schlepper	ab 2025	ab 2028
Wasserrückgewinner	ab 2025	ab 2028
Saug- u. Spül-Fzg.	ab 2025	ab 2028
Saug-Fzg.	ab 2022	ab 2025
Kanal TV-Fahrzeuge	ab 2022	ab 2022

Fahrzeugtyp	BEV	FCEV
GKM/MKM	ab 2022	ab 2022
KKM	ab 2022	
Hubsteiger	ab 2022	
LKW	ab 2022	ab 2028
Unimog	ab 2028	ab 2028
Transporter/Pritschen	ab 2022	ab 2022
Werkstatwagen	ab 2022	ab 2022
PKW	ab 2022	ab 2022
Radlader	ab 2022	
Bagger	ab 2022	
Mehrweckfahrzeug	ab 2022	
WIDJ	ab 2028	ab 2028



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



- **Betrachtung möglicher Szenarien (1/5)**

- **Biomethan zur Betankung der Fahrzeuge**
  - Einsatz von CNG-Fahrzeugen bei überschüssigem Biogas klimabilanziell ggf. sinnvoll
    - » Verbrennung Biomethan erfolgt klimaneutral
    - » Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fahrzeugflotte im Vergleich zu Diesel möglich
  - CVD Quote durch Biomethanfahrzeuge erreichbar
  - Hersteller nehmen z. T. CNG-Fahrzeuge aus dem Programm
    - » Biomethan Aufbereitung stromintensiv und Gesamtpotenzial für Verkehrswende nicht ausreichend \*
    - » Fossiles Erdgas zur Betankung der Fahrzeuge nicht klimaneutral
  - Biogasaufbereitung und Tankinfrastruktur notwendig
- **Technologie kann Übergangslösung darstellen**

\* Fraunhofer ISI, 2019



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Entwicklung Fahrzeugbestand



- **Betrachtung möglicher Szenarien (2/5)**
  - **Biomethan zur Betankung der Fahrzeuge**
    - Mögliche Biomethanmenge
      - » Eingespeister Strom am Standort Malmöstraße: 5,4 Mio. kWh/a (entspricht ca. 60 % der gesamten Stromerzeugung am Standort Malmöstraße)
      - » Die hierzu genutzte Biogasmenge kann zur Aufbereitung zu Biomethan genutzt werden
      - » Dies entspricht ca. 1,5 Mio. m<sup>3</sup> Biomethan/a
    - **Mit der erzeugten Biomethanmenge können maximal ca. 40 schwere Nutzfahrzeuge (26 t) betrieben werden**



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



- **Betrachtung möglicher Szenarien (3/5)**
  - **Gas To Liquid (GTL)**
    - Fossiler Kraftstoff emittiert lokal weniger NO<sub>x</sub>, S<sub>x</sub>O<sub>y</sub> und Feinstaub im Vergleich zu Diesel
    - Bestehende Tankinfrastruktur kann verwendet werden
    - Keine relevante Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen
    - **Technologie kann nur übergangsweise lokal Schadstoffemissionen verringern**
  - **Strom zur Betankung der Fahrzeuge (BEV)**
    - Nutzung des verstromten Biogases, Wärmeabnehmer bleiben erhalten, PV-Stromeinsatz möglich
    - Hoher Gesamtwirkungsgrad der Fahrzeuge
    - **Klimaneutrale Technologie sinnvoll für kürzere bis mittlere Reichweiten**
  - **H<sub>2</sub> zur Betankung der Fahrzeuge (FCEV)**
    - Schlechterer Wirkungsgrad durch zusätzliche Energieumwandlung (Elektrolyseur + Brennstoffzelle)
    - Für den Teil der Flotte sinnvoll, der aufgrund der erforderlichen Reichweite nicht als BEV betrieben werden kann
    - **Klimaneutrale Technologie sinnvoll für längere Reichweiten**



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



##### • Betrachtung möglicher Szenarien (4/5)

###### ➤ Szenario 1: Beschaffung von BEV und FCEV

- Beschaffung von PKW ab 2022 als BEV
- Beschaffung von LKW (N2, N3) als BEV ab dem Jahr 2025
  - » Vorheriger Aufbau der Ladeinfrastruktur erforderlich
  - » Betrieb von FCEV setzt mobile oder stationäre Betankungslösung voraus
    - Langfristig Betankung am Standort MBA (geplanter Elektrolyseur 220 kW Leistung) für einen Teil der Fahrzeuge möglich
    - Mit dem geplanten Elektrolyseur (Nominalleistung 220 kW) können voraussichtlich ca. 30 Mg Wasserstoff pro Jahr erzeugt werden
    - Entspricht ca. 1.800 Tankfüllungen bei ca. 16 kg/Fahrzeug und entsprechend ca. 8-10 schwere Nutzfahrzeuge bei 230 Einsatztagen pro Jahr
  - » Bis zum Jahr 2025 erfolgt die Beschaffung von LKW als Verbrenner
- Ersatzbeschaffung bei bereits bestehenden alternativen Antrieben durch gleichartige Antriebstechnik auch vor dem Jahr 2025, u. a. 1 Mehrzweckfahrzeug als BEV



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



##### • Betrachtung möglicher Szenarien (5/5)

###### ➤ Szenario 2: Beschaffung von BEV, FCEV und CNG-Fahrzeugen

- Wie Szenario 1, ergänzt um die Beschaffung von mit Biomethan betriebenen CNG-Fahrzeugen
- Im Vorfeld einer Fahrzeugbeschaffung sollte die entsprechende Ladestellen-Infrastruktur bzw. Wasserstoffinfrastruktur sichergestellt werden
  - Installation Ladestellen (inkl. Förderantrag etc.)
  - Brandschutz Malmöstraße, abgängige Hallen ZKW berücksichtigen
  - Installation Elektrolyseur mit Tankstelle bzw. mobile Betankungslösung
- Bei der Betrachtung der erforderlichen Ladestelleninfrastruktur wird von folgenden Annahmen ausgegangen:
  - Ladestellenbetrieb mit Lastmanagement (wahrscheinlicher Fall)
  - Ladestellenbetrieb ohne Lastmanagement (worst case),  
d. h. alle Fahrzeuge gleichzeitig unter Vollast am Netz



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



##### Fahrzeuersatzbeschaffung (Szenario 1) aufgeteilt nach Sparten (bis 2025)

Beschaffung	2022			2023			2024			2025		
	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser			1									
Pressmüllfahrzeuge, klein	2			1			1					
Sperrmüllfahrzeuge	2											
Groß- & Mittelkehrmaschinen												1
Kleinkehrmaschinen	3			3				1			3	
Abrollfahrzeuge	2											
Hakenliftfahrzeug	2											1
Kranfahrzeuge	4						1					1
LKW	3			1								
Unimog	1										1	
Schlepper												
Mehrzweckfahrzeug		1										
Transporter/Pritschen	11			1								6
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst	4							2			2	
Kanal TV-Fahrzeuge												
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.	3			1								1
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.	1											
Saugfahrzeuge	3											1
Hubsteiger	1	1										
PKW		4				2						8
Werkstattwagen	1											
Radlader	2			3				1				
Bagger	1											1
Gerät	4			1								1
	50	6	1	11	2	0	5	1	0	3	23	1
				57			13			6		27



#### 4. Szenario- und Bedarfsanalyse Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen



##### Fahrzeuersatzbeschaffung (Szenario 1) aufgeteilt nach Sparten (2026 bis 2030)

Beschaffung	2026			2027			2028			2029			2030		
	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser		3	1		1			2	1		2	1		3	
Pressmüllfahrzeuge, klein															2
Sperrmüllfahrzeuge					2						1				
Groß- & Mittelkehrmaschinen		2							1						1
Kleinkehrmaschinen									1						3
Abrollfahrzeuge															1
Hakenliftfahrzeug															1
Kranfahrzeuge		3		1				1							1
LKW	1						1	1					1	1	
Unimog															
Schlepper				1											
Mehrzweckfahrzeug															1
Transporter/Pritschen	1	2						1	1						6
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst						2			2			2			
Kanal TV-Fahrzeuge															
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.						1									1
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.															
Saugfahrzeuge									1						1
Hubsteiger															
PKW		2			1										1
Werkstattwagen															
Radlader					1										2
Bagger															1
Gerät					1										4
	2	12	1	4	7	0	4	13	1	2	13	2	0	24	0
				15			11			18		17		24	



**4. Szenario- und Bedarfsanalyse**  
**Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen**



● **Fahrzeuersatzbeschaffung (Szenario 1) aufgeteilt nach Sparten (2031 bis 2035)**

Beschaffung	2031	2031	2031	2032	2032	2032	2033	2033	2033	2034	2034	2034	2035	2035	2035
Antrieb	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser		6				1		1							
Pressmüllfahrzeuge, klein		1				1									
Spernmüllfahrzeuge						1						2			
Groß- & Mittelkehrmaschinen			2		2		1		1						
Kleinkehrmaschinen		1				3									1
Abrollfahrzeuge					1							2			
Hakenliftfahrzeug												2			
Kranfahrzeuge								1				4			
LKW			1		2			2				4			1
Unimog												4			
Schlepper															1
Mehrweckfahrzeug															
Transporter/Pritschen		3			14			1							6
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst		3			3			1				5			4
Kanal TV-Fahrzeuge												1			
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.						1						3			1
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.						1						1			
Saugfahrzeuge		1										3			
Hübsteger															
PKW		2			6			1				7			9
Werkstatwagen															
Radlader		2			2			3				1			
Bagger		1			1										1
Gerät								1							1
	0	22	1	0	37	2	0	11	0	0	35	0	0	25	0
		23			39			11			35			25	



**4. Szenario- und Bedarfsanalyse**  
**Fahrzeuge und selbstfahrende Arbeitsmaschinen**



● **Fahrzeuersatzbeschaffung (Szenario 1) aufgeteilt nach Sparten (2036 bis 2040)**

Beschaffung	2036	2036	2036	2037	2037	2037	2038	2038	2038	2039	2039	2039	2040	2040	2040
Antrieb	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser		3	1		1			2	1		2	1			3
Pressmüllfahrzeuge, klein															
Spernmüllfahrzeuge											2				
Groß- & Mittelkehrmaschinen							1		2						1
Kleinkehrmaschinen															1
Abrollfahrzeuge															
Hakenliftfahrzeug					1										1
Kranfahrzeuge		1			1			3				1			1
LKW								1							2
Unimog															1
Schlepper															
Mehrweckfahrzeug															
Transporter/Pritschen		3						2							6
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst		1			7			2							4
Kanal TV-Fahrzeuge															
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.						1						1			
Hochdruckspül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.															
Saugfahrzeuge						1									1
Hübsteger						3									
PKW		6			5			2							8
Werkstatwagen					1										
Radlader					1			2				1			2
Bagger		1						1							1
Gerät									1						1
	0	15	1	0	22	1	0	17	1	0	7	1	0	31	1
		16			23			18			8			32	

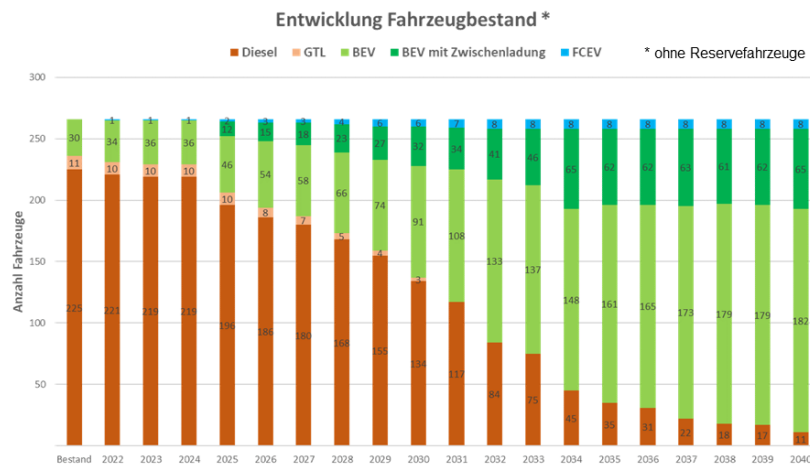


**Gliederung**

1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	Darstellung Stand der Technik
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	<b>Auswirkungen auf den Fahrzeugpark</b>
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	Emissionsbetrachtung
8	Kostenbetrachtung
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit

**5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark  
Entwicklung Fahrzeugbestand**

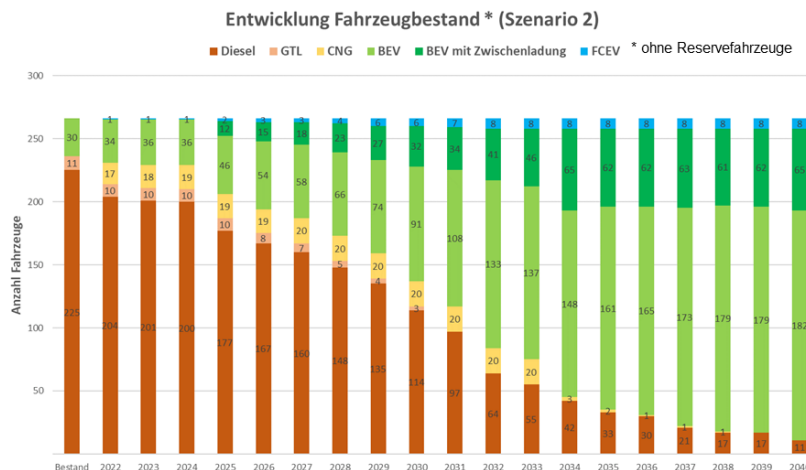
• **Szenario 1: Entwicklung Fahrzeugbestand unterschiedlicher Antriebstypen (1/2)**



## 5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark Entwicklung Fahrzeugbestand



### • Szenario 2: Entwicklung Fahrzeugbestand unterschiedlicher Antriebstypen (2/2)



## 5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark Entwicklung Fahrzeugbestand



### • CVD-Quote im Beschaffungswesen

- Durch die festgelegten Beschaffungskriterien ergeben sich für Szenario 1 folgende CVD-Quoten:

CVD-Quoten	1. Phase		2. Phase	
	02.08.2021 bis 31.12.2025		01.01.2026 bis 31.12.2030	
Anforderung > 3,5 t	≥ 10 %		≥ 15 %	
EBL Lübeck	14,3%		92%	
Anforderung ≤ 3,5 t	> 38,5%			
EBL Lübeck	65,5%		80%	

ohne: Kehrmaschinen, Winterdienstfahrzeuge, Mehrzweckfahrzeuge, Kanal-TV, Saug- und Spülfahrzeuge, sonstige selbstfahrende Arbeitsmaschinen

- Die europäischen und nationalen Beschaffungsrichtlinien in Bezug auf saubere Fahrzeuge werden eingehalten

- Vergabeschwellenwerte wurden in der Betrachtung nicht berücksichtigt, da dies u. a. von der Vergabe von z. B. Rahmenverträgen abhängt.
- Die EBL-Quoten können durch den Einsatz von CNG Fahrzeugen oder die Nutzung von GTL-Treibstoffen gesteigert werden



## 5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark Entwicklung Fahrzeugbestand



- **Hinweise zum Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben (1/2)**
  - **Reichweitenanforderungen**  
Durch unterschiedliche Antriebsysteme werden unterschiedliche Reichweiten erzielt
  - **Nutzlastveränderungen**  
Durch den Einsatz von Batterie- und Brennstoffzellentechnik kann sich die Nutzlast der Abfallsammelfahrzeuge um z. T. bis zu 10 % verringern. Hierdurch kann ggf. eine Anpassung der Touren oder der Einsatz zusätzlicher Fahrzeuge erforderlich werden
  - **Anhängelast**  
Durch Nutzung von Anhängern verringert sich die Reichweite der Fahrzeuge
  - **Winterdienst, Bereitschaftsdiensteinsätze**  
Gesteigerte Anforderungen an die alternative Antriebstechnik in Bezug auf Drehmoment und Ladedauer
  - **Entwicklungsfortschritte**  
Dadurch, dass sich Fahrzeuge mit alternativen Antrieben derzeit in der Markthochlaufphase befinden, sind kurzfristige Technologiesprünge nicht auszuschließen



## 5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark Entwicklung Fahrzeugbestand



- **Hinweise zum Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben (2/2)**
  - **Normung Infrastruktur**  
Sowohl bei der Ladesäuleninfrastruktur (z. B. die Steckverbindung) als auch bei der Wasserstoffbetankung (z. B. Druckstufen) kann es Änderungen in den Standards geben
  - **Kostenentwicklungen**  
Es ist davon auszugehen, dass bei höheren Fahrzeugstückzahlen und höherer Markt-Konkurrenz die Kosten für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben z. T. drastisch im Preis sinken werden
  - **Reservequote**  
Grundsätzlich ist bei Elektroantrieben von geringeren Wartungsaufwänden auszugehen. Es kann insbesondere während der Einführungsphase aber zu höheren Fahrzeugausfällen kommen



## Gliederung

1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	Darstellung Stand der Technik
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	<b>Auswirkungen auf die Infrastruktur</b>
7	Emissionsbetrachtung
8	Kostenbetrachtung
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit

## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten

### • Auswirkungen der Arbeitszeiten auf Ladestelleninfrastruktur

- Die Ladeinfrastruktur ist neben den zu beschaffenden Fahrzeugen, den täglich zurückgelegten Strecken und des Aufbaubetriebs abhängig von den jeweiligen Arbeitszeitmodellen
- Hiervon sind u. a. die max. mögliche Ladezeit und die Ladezeitpunkte für die Fahrzeuge abhängig
- Arbeitszeitmodelle
  - Wochenarbeitszeit pro Mitarbeiter: 39,0 h/(VZÄ\*w)
  - Großkehrmaschinen (+ 2 Kleinkehrmaschinen + Seitenkipper): 4:00 bis 12:30 Uhr
  - Regelbetrieb: 6:00 bis 14:30 Uhr der restlichen Maschinen -> Teilweise Abweichungen von +/- 1 Std.
  - Reinigung Innenstadt Nachmittagsdienst: 11:30 bis 20:00 Uhr (keine Fahrzeugnutzung)
- Für die Fahrzeuge liegt das resultierende Zeitfenster für die Ladevorgänge von ca. 16:00 Uhr bis 4:30 Uhr (ca. 12,5 Std.)
- Für die GKM ergibt sich ein Ladezeitfenster von 13.30 Uhr bis 3.30 Uhr (14 Std.)
- Zwischenladungen können, wenn notwendig, in der Pausenzeit erfolgen (30 min)

## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Ansatz Batteriekapazität und Brennstoffzellen-Leistung je Fahrzeugtyp

- Für die unterschiedlichen Fahrzeugtypen werden in Abhängigkeit der zGM und der benötigten Aufbauleistung unterschiedliche Batteriekapazitäten angenommen
- Bei einigen Fahrzeugen ist bereits jetzt ein BZ-Fahrzeug verfügbar bzw. es ist davon auszugehen, dass künftig ein entsprechendes Fahrzeug verfügbar sein wird

Fahrzeugtyp	Ansatz Batteriekapazität / BZ-Kapazität			Leistung je Ladesäule kW
	BEV kWh	BEV SoC 80 + 15 % (Entwickl.)	FCEV kW	
ASF	430	396	90	44/50
Spernmüllfahrzeuge	430	396	90	44/50
Pressmüllfzg 7,5 t	300	276		44/50
Hakenliftfahrzeug	430	396	90	44/50
Kranfahrzeug	430	396	90	44/50
Abrollfahrzeuge	320	294	70	44/50
Schlepper	320	294	70	44/50
Wassermückgewinner	500	460	120	44/50
Saug- u. Spül-Fzg.	500	460	120	44/50
Saug-Fzg	430	396	90	44/50
Kanal TV-Fahrzeuge	150	138	50	22
GKM/MMK	200	184	50	22
KKM	70	64		22
Hubsteiger	200	184	50	22
LKW	430	396	90	44/50
Unimog	500	460	120	44/50
Transporter/Pritschen	150	138	50	22
Werkstattwagen	100	92	50	22
PKW	60	55		22
Radlader	60	55		22
Bagger	250	230		22
Mehrzweckfahrzeug	130	120		22
WlDi	300	276	50	44/50
<b>Summe</b>				

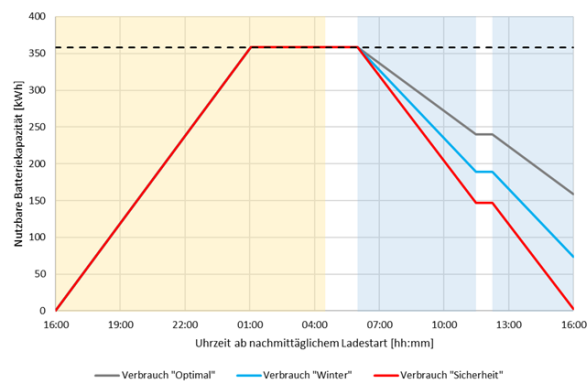


## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Bestimmung der erforderlichen Ladeleistungen

- Beispiel:  
Batteriekapazität  
Abfallsammelfahrzeug bei einer Tourenlänge von **120 km** ohne Zwischenladung
  - Batteriekapazität: 448 kWh
  - SOC: 80 %
  - Ladeleistung Depot: 44 kW
  - ohne Zwischenladung



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten

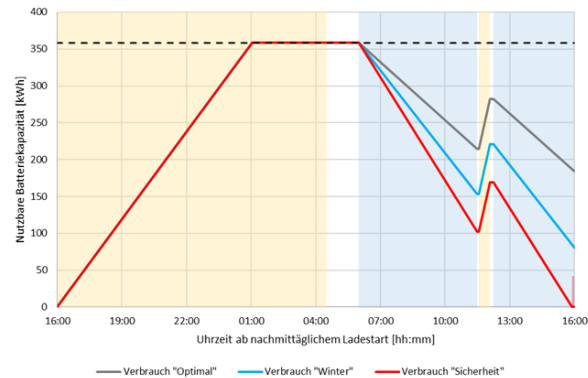


### • Bestimmung der erforderlichen Ladeleistungen

➤ Beispiel:

Batteriekapazität  
Abfallsammelfahrzeug bei  
einer Tourenlänge von **150 km**  
mit halbstündiger Zwischenladung

- Batteriekapazität: 448 kWh
- SOC: 80 %
- Ladeleistung Depot: 44 kW
- Zwischenladeleistung: 150 kW



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Bestimmung der erforderlichen Ladeleistungen (1/2)

➤ Einsetzbare Techniken

- AC-Laden 22 kW, AC-Laden 44 kW
- DC-Laden 50 kW (150 kW mit Dispenser)
- DC-Schnellladen 150 kW und 350 kW
- Alternative: Bau einer Unterverteilung für E-Mobilität

➤ Strategie

- Schnellladen/ DC-Laden -> Zeitvorteil, zukunftssicherer
- AC-Laden -> i.d.R. Preisvorteil
- Es sollte eine Mischform aus AC- und DC-Ladestationen (ggf. künftig MCS-System) vorgesehen werden
- Der Einsatz eines Lastmanagementsystems wird empfohlen
- Empfohlen wird ein möglichst modularer Ausbau der Infrastruktur



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Bestimmung der erforderlichen Ladeleistungen (2/2)

- Ladesäuleninstallation
  - Einsatz von 150 kW DC-Ladesäulen ab 2025
  - Einsatz von 350 kW DC-Ladesäulen ab dem Jahr 2030
  - Splittung der Leistung auf mehrere Ladestellen bei Depotladung
  - Schnellladung während Pausenzeiten möglich
- Für die Planungen der erforderlichen Ladeleistung werden folgende Fälle dargestellt:
  1. Ladestellenbetrieb ohne Lastmanagement (worst case)
  2. Ladestellenbetrieb mit Lademanagement bezogen auf eine durchschnittliche Ladezeit von 12 Stunden (wahrscheinlicher Fall)\*

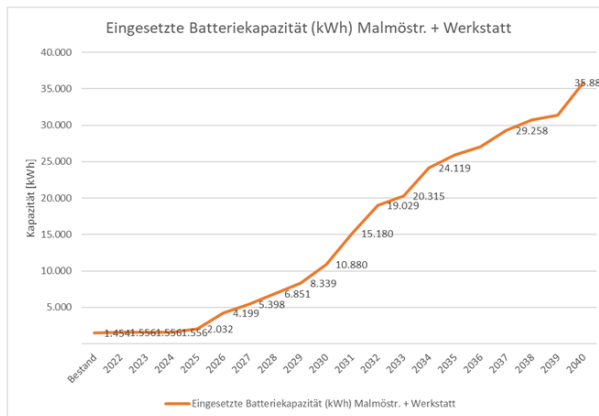
\* berechnet über Batteriekapazität / 12 Stunden, d.h. jedes Fahrzeug wird vollständig geladen



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Entwicklung Batteriekapazität Standort Malmöstraße 22



Jahr	Erforderliche Ladeleistung ohne Lastmanagement, Zukunftssicherheit [kW]	Erforderliche Ladeleistung mit Lastmanagement [kW]
Bestand	386	121
2022	480	130
2023	480	130
2024	480	130
2025	678	169
2026	1.022	350
2027	1.216	450
2028	1.432	571
2029	1.626	695
2030	2.108	907
2031	2.568	1.265
2032	3.138	1.586
2033	3.598	1.693
2034	3.948	2.010
2035	4.364	2.159
2036	4.408	2.253
2037	4.780	2.438
2038	5.152	2.558
2039	5.152	2.612
2040	5.502	2.991

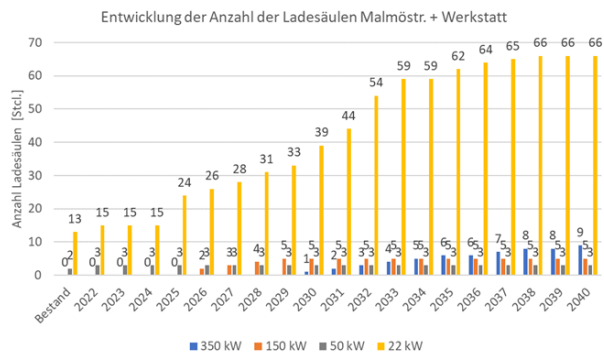


## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Entwicklung der Ladestellenanzahl am Standort Malmöstraße 22

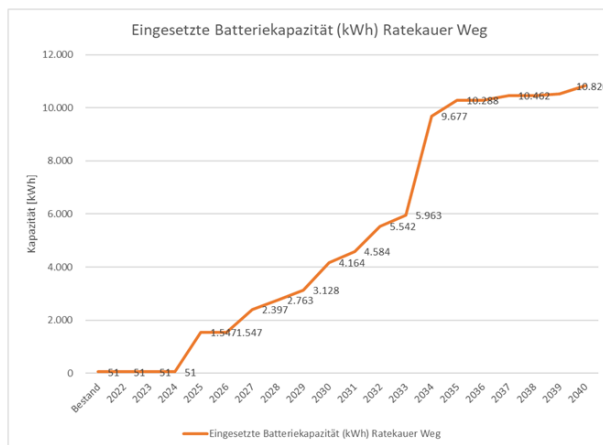
- Erforderliche Ladestellen-Infrastruktur
  - ca. 1,1 MW zus. Ladeleistung bei aktueller Mittelspannungsinfrastruktur möglich
  - Ladeleistung (mit Lademanagement) ausreichend voraussichtlich bis zum Jahr 2030
  - Für den Endausbau weiterer Ausbau der Mittelspannungsanbindung voraussichtlich um ca. 2 MVA erforderlich (inkl. Lademanagement)



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Entwicklung Batteriekapazität Standort Ratekauer Weg



Jahr	Erforderliche Ladeleistung	
	ohne Lastmanagement, Zukunftssicherheit [kW]	mit Lastmanagement [kW]
Bestand	22	4
2022	22	4
2023	22	4
2024	22	4
2025	216	129
2026	216	129
2027	388	200
2028	388	230
2029	388	261
2030	782	347
2031	782	382
2032	892	462
2033	892	497
2034	1.264	806
2035	1.264	857
2036	1.264	857
2037	1.264	872
2038	1.264	872
2039	1.264	877
2040	1.264	902

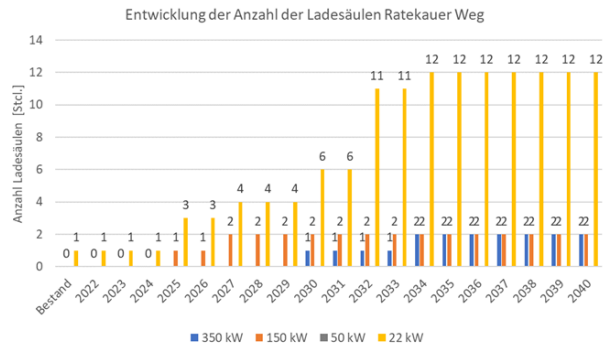


## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Entwicklung der Ladestellenanzahl am Standort Ratekauer Weg

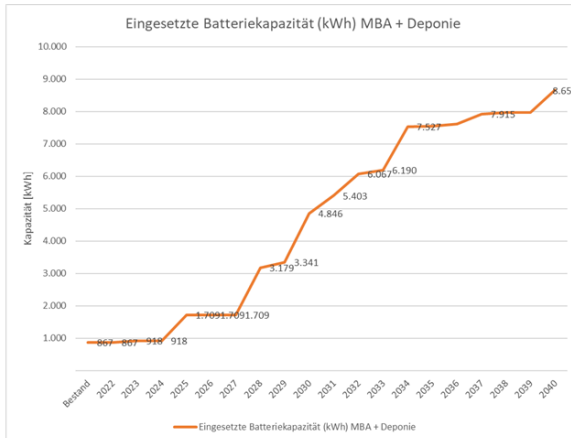
- Erforderliche Ladestellen-Infrastruktur
  - aktuelle Infrastruktur auf ca. 1.000 kVA aufrüstbar (Aussage Netzbetreiber)
  - Bis zum Jahr 2040 ggf. gerade ausreichend
  - Endausbau muss geprüft werden



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Entwicklung Batteriekapazität Standort MBA, Deponie, BMW



Jahr	Erforderliche Ladeleistung	
	ohne Lastmanagement Zukunftssicherheit [kW]	mit Lastmanagement [kW] 12 h Ladezeit
Bestand	198	72
2022	198	72
2023	220	77
2024	220	77
2025	392	142
2026	392	142
2027	392	142
2028	480	265
2029	546	278
2030	612	404
2031	656	450
2032	1.028	506
2033	1.050	516
2034	1.050	627
2035	1.050	629
2036	1.050	634
2037	1.072	660
2038	1.072	664
2039	1.072	665
2040	1.072	722

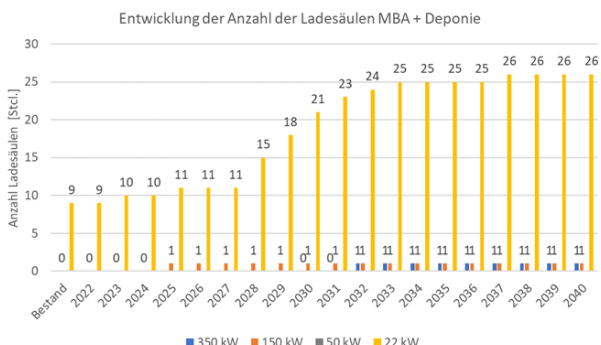


### 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



#### • Entwicklung der Ladestellenanzahl am Standort MBA, Deponie, BMW

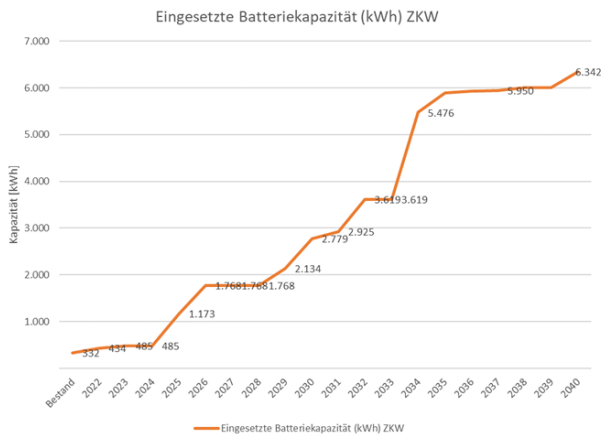
- Derzeit Planungen zum Ringschlussausbau
- Für den Endausbau ist aktuelle Infrastruktur voraussichtlich ausreichend



### 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



#### • Entwicklung Batteriekapazität Standort ZKW



Jahr	Erforderliche Ladeleistung ohne Lastmanagement, mit Zukunftssicherheit [kW]	Erforderliche Ladeleistung mit Lastmanagement 12 h Ladezeit [kW]
Bestand	110	28
2022	154	36
2023	176	40
2024	176	40
2025	308	98
2026	524	147
2027	524	147
2028	524	147
2029	524	178
2030	634	232
2031	656	244
2032	810	302
2033	810	302
2034	1.226	456
2035	1.226	492
2036	1.226	494
2037	1.226	496
2038	1.226	501
2039	1.226	501
2040	1.226	529

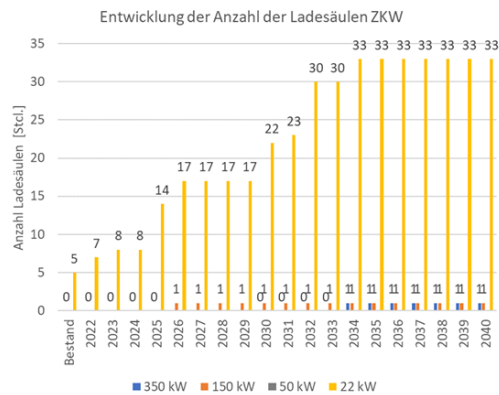


## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Ladekapazitäten



### • Entwicklung der Ladestellenanzahl am Standort ZKW

- ca. 5 MW zusätzliche Ladeleistung bei aktueller Infrastruktur möglich
- Ladeleistung reicht voraussichtlich aus



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Brandschutz



### • Sicherheitsanforderungen Brandschutz

- **VdS 3885 : 2020-12 (01): Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen – Sicherheitshinweise für die Wohnungswirtschaft**
  - Betrachtung von Normalladestationen mit einer Leistung von bis zu 22 kW
    - » Baulicher Brandschutz (u. a. Trennwände, Decken, Tragwerk, Brand- und Rauchabschnitte)
    - » Anlagentechnischer Brandschutz (u. a. Brandmeldeanlagen, Automatische Feuerlöschanlagen, Wandhydranten, Rauchabführung)
    - » (Betrieblicher) Organisatorischer Brandschutz (u. a. Rauchen, Feuer und offenes Licht untersagen, Verringerung der Brandlasten )
    - » Abwehrender Brandschutz (u. a. Zugänglichkeit zum Grundstück)
  - Schnellladestationen ab 22 kW werden bisher üblicherweise im Außenbereich installiert bzw. sind zur gewerblichen Nutzung vorgesehen.
  - Bei Installation von Schnellladestationen in Fahrzeughallen sind aus Sicht der Schadensverhütung weitergehende Brandschutzmaßnahmen vorzusehen (z. B. geeignete Feuerlöschanlage, bauliche Abtrennung).



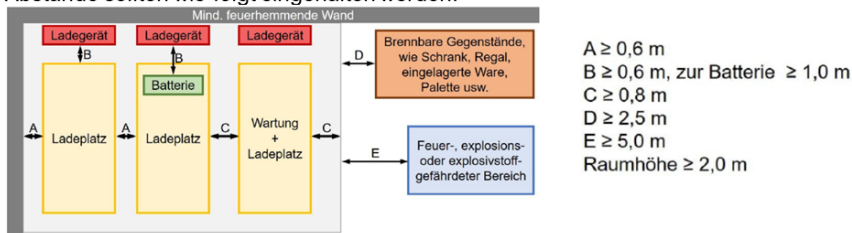
## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Brandschutz



### • Sicherheitsanforderungen Brandschutz

#### ➤ DGUV FBRCI-013: Explosionsschutz an Batterieladestationen

- Bereich frei von Erschütterungen, trocken, frostfrei und kühl
- Mindestens feuerhemmende Trennung von anderen Betriebsbereichen, wie z. B. Produktionsstätten oder Läger (Feuer-Widerstandsklasse F 30)
- Zu feuer-, explosions- oder explosivstoffgefährdeten Bereichen muss ein Abstand von mindestens 5,0 m eingehalten werden
- Raumtemperatur sollte vorzugsweise zwischen +10 °C und maximal +25 °C liegen
- Abstände sollten wie folgt eingehalten werden:



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Berechnung des Strombedarfs



### • Entwicklung des Strombedarfs der gesamten Fahrzeugflotte:

#### ➤ Basis:

- Dieselverbrauch der gesamten Fahrzeugflotte aus dem Jahr 2020
- Einige Verbraucher aus dem Jahr 2020 sind nicht mehr im Bestand des Jahres 2022; diese Fahrzeuge wurden pauschal mit einem Faktor (Gesamtverbrauch 2020/ Verbrauch der im Bestand gelisteten Fahrzeuge) berücksichtigt
- Externe Fahrzeuge und z. B. BMW-Leasing wurden mit berücksichtigt

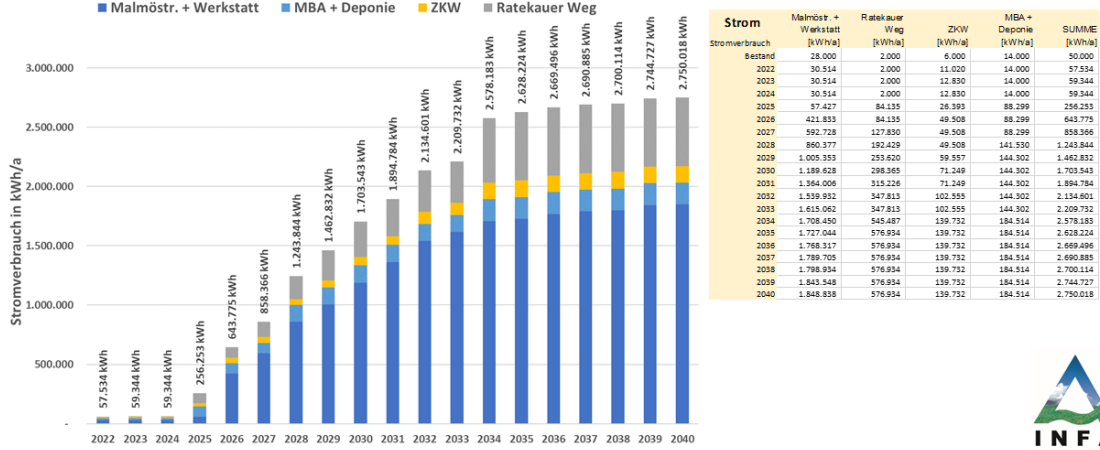
#### ➤ Annahmen:

- Der Stromverbrauch für die Elektromobilität liegt bei ca. 35 % des Energiebedarfs der Dieselantriebe
  - » Wirkungsgrade
    - Verbrennungsmotor ca. 30 %
    - Elektro-Antrieb ca. 85 %
- Fahrzeuge werden gem. der erstellten Ersatzbeschaffungsliste ausgetauscht



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Berechnung des Strombedarfs

### Entwicklung des Strombedarfs der gesamten Fahrzeugflotte (Schätzung)



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (BHKW + PV)

### Standort Malmöstraße 22

- BHKW (Bestand 2021)
  - 4 BHKW (2 x 800 kW, 1 x 738 kW, 1 x 600 kWel.)
  - Durchgängige Einspeisung: Median 720 kW
  - Stromproduktion: ca. 8,3 Mio. kWh/a
  - Stromeinspeisung: ca. 7,0 Mio. kWh/a
- PV-Anlage (möglicher Ausbau)
  - Fahrzeughallen: 2x 2.000 m<sup>2</sup>
  - Lager: 1.000 m<sup>2</sup>
  - Lager, Werkstätten: 1.800 m<sup>2</sup>
  - **Summe \*:** ca. **6.800 m<sup>2</sup>**
  - Belegung Flachdach: ca. 20 m<sup>2</sup>/kWp
  - Mögliche Leistung PV-Anlage: ca. 340 kWp
  - Spezifischer Ertrag: 790 kWh / kWp
  - **Jahresgesamtertrag:** ca. **268.000 kWh/a**



\* Verwaltungsgebäude: viel Verschattung, Werkstatt: viele Oberlichter

## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (BHKW + PV)



### • Standort Malmöstraße 22

- Stromeinspeisung pro Tag (2021)
  - BHKW's (gleichmäßige Last): ca. 7 Mio. kWh/a / 365 d/a = ca. 19.000 kWh/d
  - PV-Anlage: ca. 735 kWh/d (im ganzjährigen Durchschnitt, witterungsabhängig)
- Abnehmer Fahrzeugflotte Malmöstraße (2040)
  - Batteriekapazität: 35.900 kWh
  - Strombedarf pro Jahr\*: 1.850.000 kWh/a
  - Strombedarf pro Tag\*\*: 12.300 kWh/d
- Der erzeugte PV-Strom wird voraussichtlich bei Errichtung einer PV-Anlage aufgrund des derzeitigen Stromüberschusses eingespeist werden
- Denkbare Zukunftsszenario:
  - Aufbau eines EBL-weiten Bilanzrahmens
  - Einspeisung des erzeugten Stroms zu Bezugspreisen (im Jahr 2023 ca. 41 Cent brutto)
    - berechnet über Dieselverbrauch der Fahrzeuge; Basis 2020
    - \*\* Annahme durchschnittlich 150 Arbeitstage pro Jahr und Fahrzeug



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (BHKW + PV)



### • Standort Malmöstraße 22

- Wirtschaftlichkeit 340 kWp PV-Anlage (möglicher Ausbau)

Energiebilanz PV-Anlage Malmöstr.	PV-Anlage
Stromerwerb	38 MWh/a
Stromeigennutzung	1.295 MWh/a
Stromproduktion BHKW	8.292 MWh/a
Stromeinspeisung BHKW	7.034 MWh/a
Stromproduktion PV	268 MWh/a
Stromeinspeisung PV	268 MWh/a
<b>Investitionskosten</b>	
PV Anlage 340 kWp	600.000 €
Stromspeicher 0 kWh	- €
<b>Investitionskosten 600.000 €</b>	
Nutzungsdauer (Jahre)	15
	dynamische Abschreibung bei 1% Zinssatz
<b>Kapitalkosten</b>	<b>43.274 €</b>



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (BHKW + PV)



### • Standort Malmöstraße 22

#### ➤ Wirtschaftlichkeit 340 kWp PV-Anlage (möglicher Ausbau)

Vergütung und Betriebskosten	PV-Anlage	
	Szenario 1	Szenario 2
PV-Anlage	Vergütung EEG	Vergütung Bilanzkreis
Stromeinspeisung PV	268 MWh/a	268 MWh/a
Strompreis PV Vergütung	12,0 cent/kWh	41,0 cent/kWh
Vergütung Einspeisung	32.160 €	109.880 €
Einsparung Eigennutzung	- €	- €
Instandhaltungskosten PV (0,5 % v. Invest.)	3.000 €	3.000 €
<b>Einsparungen, Vergütungen</b>	<b>32.160 €</b>	<b>109.880 €</b>
<b>Betriebskosten</b>	<b>3.000 €</b>	<b>3.000 €</b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>43.274 €</b>	<b>43.274 €</b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>14.114 €</b>	<b>63.606 €</b>
	<b>break even point</b>	<b>17,5 cent/kWh</b>

- Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage kann unabhängig vom künftigen Fuhrpark bewertet werden, da am Standort bereits jetzt schon ausreichend Strom zur Eigenversorgung erzeugt werden kann
- Ab einer Vergütung von ca. 17,5 Cent/kWh rechnet sich der Bau einer PV-Anlage bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren und einer angesetzten Verzinsung von 1 %



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (BHKW + PV)



### • Standort MBA, Deponie, BMW (Ringschluss)

#### ➤ BHKW (Bestand 2021)

- 2 BHKW à 943 kWel.
- Stromproduktion: ca. 7,9 Mio. kWh/a
- Stromeinspeisung: ca. 2,5 Mio. kWh/a

#### ➤ PV-Anlagen

- PV-Anlage 1 (bis Ende 2022)
  - » Leistung: 750 kWp
  - » Stromproduktion: 690 MWh/a
- PV-Anlage (Ausbauvariante 1)
  - » Leistung: 750 kWp
  - » Stromproduktion: 690 MWh/a
- PV-Anlage (Ausbauvariante 2)
  - » Leistung: 4.000 kWp
  - » Stromproduktion: 3.700 MWh/a
- Batteriespeicher (Ausbauvariante 1 und 2) zum Ausgleich der Lastspitzen und als Notstromaggregat
  - » Kapazität: 900 kWh



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Erneuerbare Energien (BHKW + PV)**



**• Standort MBA, Deponie, BMW (Ringschluss)**

- Stromeinspeisung pro Tag (2021)
  - BHKW's (gleichmäßige Last): ca. 2.500 MWh/a / 365 d/a = ca. 6.850 kWh/d
  - PV-Anlage 750 kWp: ca. 1.900 kWh/d (im ganzjährigen Durchschnitt, witterungsabhängig)
  - PV-Anlage 4.000 kWp: ca. 10.100 kWh/d (im ganzjährigen Durchschnitt, witterungsabhängig)
- Einsatz Elektrolyseur (in Planung)
  - Nominalleistung: 220 kW
  - Stromverbrauch: 750 MWh/a
- Abnehmer Fahrzeugflotte MBA (2040)
  - Batteriekapazität: 8.700 kWh
  - Strombedarf pro Jahr\*: 185 MWh/a
  - Strombedarf pro Tag\*\*: 1.230 kWh/d

\* berechnet über Dieselvebrauch der Fahrzeuge; Basis 2020  
 \*\* Annahme durchschnittlich 150 Arbeitstage pro Jahr und Fahrzeug

➤ Der erzeugte PV-Strom wird voraussichtlich bei Errichtung einer PV-Anlage aufgrund des derzeitigen Stromüberschusses eingespeist werden



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Erneuerbare Energien (BHKW + PV)**



**• Standort MBA, Deponie, BMW (Ringschluss)**

➤ Wirtschaftlichkeit 750 kWp PV-Anlage (möglicher Ausbau)

Energiebilanz PV-Anlage MBA Ringschluss	PV-Anlage
Stromeinkauf	2.166 MWh/a
Stromeigennutzung	7.584 MWh/a
Stromproduktion BHKW	7.924 MWh/a
Stromeinspeisung BHKW	2.506 MWh/a
Stromproduktion PV	690 MWh/a
Stromeinspeisung PV	690 MWh/a
<b>Investitionskosten</b>	
PV Anlage 750 kWp	1.200.000 €
Stromspeicher 900 kWh	- €
<b>Investitionskosten</b>	<b>1.200.000 €</b>
Nutzungsdauer (Jahre)	15
	dynamische Abschreibung bei 1% Zinssatz
<b>Kapitalkosten</b>	<b>86.549 €</b>



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (BHKW + PV)



### • Standort MBA, Deponie, BMW (Ringschluss)

➤ Wirtschaftlichkeit 750 kWp PV-Anlage (möglicher Ausbau)

Vergütung und Betriebskosten	PV-Anlage	
	Szenario 1	Szenario 2
PV-Anlage	Vergütung EEG	Vergütung Bilanzkreis
	690 MWh/a	690 MWh/a
Stromeinspeisung PV	13,7 cent/kWh	41,0 cent/kWh
Strompreis PV Vergütung		
Vergütung Einspeisung	94.847 €	282.900 €
Einsparung Eigennutzung	- €	- €
Instandhaltungskosten PV (0,5 % v. Invest.)	6.000 €	6.000 €
<b>Einsparungen, Vergütungen</b>	<b>94.847 €</b>	<b>282.900 €</b>
<b>Betriebskosten</b>	<b>6.000 €</b>	<b>6.000 €</b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>86.549 €</b>	<b>86.549 €</b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>2.299 €</b>	<b>190.351 €</b>

**break even point      14 cent/kWh**

- Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage kann unabhängig vom künftigen Fuhrpark bewertet werden, da am Standort bereits jetzt schon ausreichend Strom zur Eigenversorgung erzeugt werden kann
- Ab einer Vergütung von ca. 14 Cent/kWh rechnet sich der Bau einer PV-Anlage bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren und einer angesetzten Verzinsung von 1 %



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (BHKW + PV)



### • Standort MBA, Deponie, BMW (Ringschluss)

➤ Wirtschaftlichkeit 4 MWp PV-Anlage (möglicher Ausbau)

Energiebilanz PV-Anlage MBA Ringschluss	PV-Anlage
Stromverkauf	2.166 MWh/a
Stromeigennutzung	7.584 MWh/a
Stromproduktion BHKW	7.924 MWh/a
Stromeinspeisung BHKW	2.506 MWh/a
Stromproduktion PV	3.700 MWh/a
Stromeinspeisung PV	3.700 MWh/a
<b>Investitionskosten</b>	
PV Anlage 4.000 kWp	5.700.000 €
Stromspeicher 900 kWh	- €
<b>Investitionskosten</b>	<b>5.700.000 €</b>
Nutzungsdauer (Jahre)	15
	dynamische Abschreibung bei 1% Zinssatz
<b>Kapitalkosten</b>	<b>411.106 €</b>



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (BHKW + PV)



### • Standort MBA, Deponie, BMW (Ringschluss)

#### ➤ Wirtschaftlichkeit 4 MWp PV-Anlage (möglicher Ausbau)

Vergütung und Betriebskosten	PV-Anlage	
	Szenario 1	Szenario 2
<b>PV-Anlage</b>	Vergütung EEG	Vergütung Bilanzkreis
Stromeinspeisung PV	3.700 MWh/a	3.700 MWh/a
Strompreis PV Vergütung	13,7 cent/kWh	41,0 cent/kWh
Vergütung Einspeisung	- 508.602 €	- 1.517.000 €
Einsparung Eigennutzung	- €	- €
Instandhaltungskosten PV (0,5 % v. Invest.)	28.500 €	28.500 €
<b>Einsparungen, Vergütungen</b>	- 508.602 €	- 1.517.000 €
<b>Betriebskosten</b>	28.500 €	28.500 €
<b>Kapitalkosten</b>	411.106 €	411.106 €
<b>Jahreskosten</b>	- 68.996 €	- 1.077.394 €

- Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage kann unabhängig vom künftigen Fuhrpark bewertet werden, da am Standort bereits jetzt schon ausreichend Strom zur Eigenversorgung erzeugt werden kann
- Ab einer Vergütung von ca. 12 Cent/kWh rechnet sich der Bau einer PV-Anlage bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren und einer angesetzten Verzinsung von 1 %



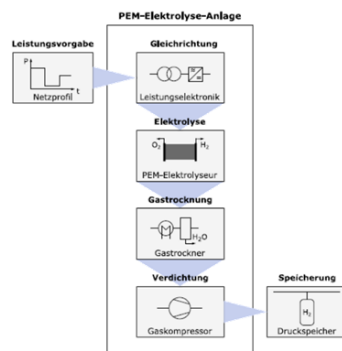
## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (Elektrolyseur + Tankstelle)



### • Standort MBA, Deponie, BMW

#### ➤ Nutzung des durch Erneuerbare Energien Anlagen erzeugten Stroms in einem Elektrolyseur zur Wasserstoffherzeugung

- Prozessschritte und Systemkomponenten



- energetische Betrachtung der Gesamtanlage:
  - » Energiebedarf der Gesamtanlage: 175 bis 230 MJ / kg H<sub>2</sub>
  - » Wirkungsgrad der Gesamtanlage bezogen auf Heizwert H<sub>2</sub> von 120 MJ / kg H<sub>2</sub>: 52 bis 68 %
- Quelle: Tjarks in Schriften des Forschungszentrums Jülich (2017)
- » Im Rahmen der Modellrechnungen wird ein Energiebedarf von 58 kWh/kg H<sub>2</sub> angesetzt, nicht enthalten sind Speicherverluste.



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Erneuerbare Energien (Elektrolyseur + Tankstelle)**



**• Standort MBA, Deponie, BMW**

- Nutzung des durch Erneuerbare Energien Anlagen erzeugten Stroms in einem Elektrolyseur zur Wasserstoffherzeugung
  - Beispielanlage H-TEC Series-ME: ME 100/350 [330 kW]



Parameter	ME 100/350	
H <sub>2</sub> Produktion nominal	100 kg d <sup>-1</sup>	47 Nm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub> Produktionsbereich	13 - 66 Nm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	
H <sub>2</sub> Reinheit	3.0, mit Adsorptionstrocknung: 5.0	
Energieverbrauch nominal	4.9 kWh Nm <sup>-3</sup>	
Elektrische Leistung nominal	225 kW	
Elektrolyseleistung	40-330 kW	
Systemwirkungsgrad nominal	74 %	
Lastwechsel	Teillast bis Nominallast = 30 s	
Wärmeauskopplung	max. 65 °C Vorlauf und 95 °C Rücklauf	
Betriebsdruck H <sub>2</sub>	drucklos - 30 bar	
Betriebsdruck O <sub>2</sub>	drucklos	
Frischwasserqualität	Trinkwasser, nominal 65 kg h <sup>-1</sup>	
Netzanschluss	Netzspannung: 3 x 400 V/50 Hz + N + PE nach IEC: 60038 Anschlussleistung: 500 kVA	
Abmessungen L x B x H	20' Container, ca. 6 m x 3 m x 3,5 m	
Gewicht	ca. 12 t	
Umgebungstemperatur	-15 °C bis +35 °C	

Quelle: www.h-tec.com (2021)



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Erneuerbare Energien (Elektrolyseur + Tankstelle)**



**• Standort MBA, Deponie, BMW**

- Tankstellentypen
  - Druckstufe PKW: 700 bar
  - Druckstufe NFZ und Bus 350 bar (vereinzelt auch 700 bar)
  - Kompatibilität nicht gegeben !
  - NFZ mit 700 bar-Technologie
    - » ebenfalls nicht an allen Stationen betankbar
    - » Kompressorauslegung und Zuwegungen ausschlaggebend
  - Tankstellenpreise derzeit: ca. 12,85 €/kg



Quelle: h2.live (2021)

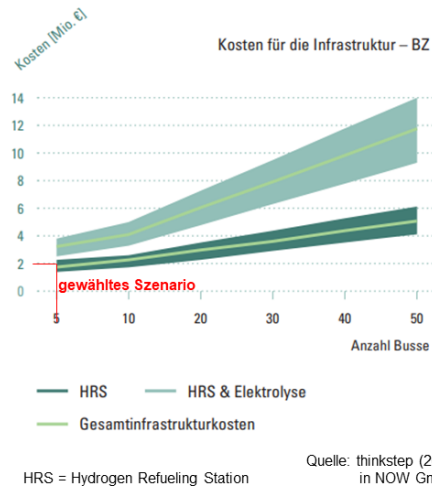


**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Erneuerbare Energien (Elektrolyseur + Tankstelle)**



**• Standort MBA, Deponie, BMW**

- Mit zunehmender Anzahl der Fahrzeuge sinken die spezifischen Kosten pro Fahrzeug
- Ein Elektrolyseur mit angegliederter Tankstelle ist üblicherweise erst bei größeren Flotten bzw. entsprechend hohem Wasserstoffbedarf wirtschaftlich



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Erneuerbare Energien (Elektrolyseur + Tankstelle)**



**• Standort MBA, Deponie, BMW (Ringschluss)**

- Wirtschaftlichkeit 220 kW Elektrolyseur (möglicher Ausbau)

MBA	
Wasserstoffproduktion	30,0 Mg/a
<b>Investitionskosten</b>	
Elektrolyseur (inkl. Wasseraufbereitung)	0,7 Mio. €
Tankstelle (inkl. Verdichter + Speicher)	2,0 Mio. €
<b>Investitionskosten</b>	<b>2,7 Mio. €</b>
Nutzungsdauer	10 Jahre
<b>Kapitalkosten</b>	<b>285 T€/a</b>
<b>Betriebskosten</b>	
Stromeinsatz	750 MWh/a
spez. Strompreis	12,0 cent/kWh
Stromkosten	90,0 T€/a
Wasser (9l/kg H2)	270 m3
Wasserkosten (1,5 €/m³)	0,4 T€/a
Instandhaltungskosten (3 % v. Invest.)	81 T€/a
<b>Betriebskosten</b>	<b>171 T€/a</b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>456 T€/a</b>

Wasserstoff- erzeugungskosten	15,2 €/kg
	46 cent/kWh



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Erneuerbare Energien (PV)**



• **Standort Ratekauer Weg**

➤ PV-Anlage (möglicher Ausbau)

▪ Fahrzeughallen:	2 x 1.000 m <sup>2</sup>
▪ <u>Verwaltung:</u>	900 m <sup>2</sup> *
▪ <b>Summe</b> *:	<b>ca. 2.900 m<sup>2</sup></b>

▪ Belegung Flachdach:	ca. 20 m <sup>2</sup> /kWp (Flächennutzungsgrad 40 %)
▪ Mögliche Leistung PV-Anlage:	ca. 145 kWp
▪ Spezifischer Ertrag:	790 kWh / kWp (inkl. Verluste Eigenverschattung von 7%)
▪ <b>Jahresgesamtertrag:</b>	<b>ca. 115.000 kWh/a</b>

\* Niedriger Teil des Verwaltungsgebäudes aufgrund Verschattungsproblematik nicht belegt



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Erneuerbare Energien (PV)**



• **Standort Ratekauer Weg**

➤ Stromeinspeisung pro Tag (2021)

▪ PV-Anlage 145 kWp:	ca. 315 kWh/d (im ganzjährigen Durchschnitt, witterungsabhängig)
----------------------	--

➤ Abnehmer Fahrzeugflotte Ratekauer Weg (2040)

▪ Batteriekapazität:	10.800 kWh
▪ Strombedarf pro Jahr*:	575.000 kWh/a
▪ Strombedarf pro Tag**:	3.830 kWh/d

➤ Der erzeugte PV-Strom von 115.000 kWh/a kann voraussichtlich bei Errichtung einer PV-Anlage mit Stromspeicher komplett selbst genutzt werden

\* berechnet über Dieselerverbrauch der Fahrzeuge; Basis 2020  
\*\* Annahme durchschnittlich 150 Arbeitstage pro Jahr und Fahrzeug



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (PV)



### • Standort Ratekauer Weg

- Wirtschaftlichkeit 145 kWp PV-Anlage (möglicher Ausbau)

Energiebilanz PV-Anlage Ratekauer Weg	PV-Anlage
Stromerwerb	4 MWh/a
Stromeigennutzung	115 MWh/a
Stromproduktion PV	115 MWh/a
Stromeinspeisung PV	0 MWh/a
<b>Investitionskosten</b>	
PV Anlage 145 kWp	240.000 €
Stromspeicher 150 kWh	150.000 €
<b>Investitionskosten</b>	
<b>390.000 €</b>	
Nutzungsdauer (Jahre)	15
	dynamische Abschreibung bei 1% Zinssatz
<b>Kapitalkosten</b>	<b>28.128 €</b>



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Erneuerbare Energien (PV)



### • Standort Ratekauer Weg

- Wirtschaftlichkeit 145 kWp PV-Anlage (möglicher Ausbau)

Vergütung und Betriebskosten	PV-Anlage	
	Szenario 1	Szenario 2
PV-Anlage	Eigennutzung	Vergütung Bilanzkreis
Stromeinspeisung PV	0 MWh/a	0 MWh/a
Strompreis PV Vergütung	40,8 cent/kWh	41,0 cent/kWh
Vergütung Einspeisung	- €	- €
Strompreis EVU	41 cent/kWh	41 cent/kWh
Einsparung Eigennutzung	46.920 €	46.920 €
Instandhaltungskosten PV (0,5 % v. Invest.)	1.950 €	1.950 €
<b>Einsparungen, Vergütungen</b>	<b>- 46.920 €</b>	<b>- 46.920 €</b>
<b>Betriebskosten</b>	<b>1.950 €</b>	<b>1.950 €</b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>28.128 €</b>	<b>28.128 €</b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>- 16.842 €</b>	<b>- 16.842 €</b>
	<b>break even point</b>	<b>26,5 cent/kWh</b>
		<b>Strompreis</b>

- Die PV-Anlage ist ab einem Strompreis des EVU von 26,5 Cent/kWh wirtschaftlich (Szenario 1).



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Energiebilanz**



**Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark**

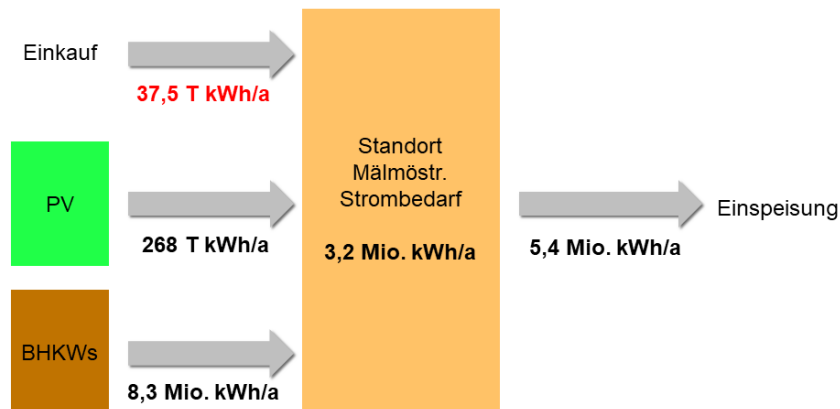
Energiedaten Perspektive	Malmöstraße/ Rigastraße	MBA	Biomasse- werk	Deponie	ZKW	Ratekauer Weg + PW	Summe
Strombezug	kWh/a 37.518	0	0	0	212.739	516.924	767.181
Stromproduktion BHKW	kWh/a 8.291.961	7.924.000	0	0	9.952.200	0	26.168.161
Stromproduktion EEA	kWh/a 268.000	4.390.000	0	0	0	115.000	4.773.000
<b>Summe Bezug + Produktion</b>	<b>kWh/a 8.597.479</b>	<b>12.314.000</b>			<b>10.164.939</b>	<b>631.924</b>	<b>31.708.342</b>
Stromverbrauch Infrastruktur	kWh/a 1.295.022	6.749.225	476.171	358.721	9.907.519	56.990	18.843.648
Stromverbrauch Fahrzeuge	kWh/a 1.976.126	170.514	0	0	133.732	574.934	2.855.305
<b>Summe Verbrauch</b>	<b>kWh/a 3.271.148</b>	<b>6.919.739</b>	<b>476.171</b>	<b>358.721</b>	<b>10.041.251</b>	<b>631.924</b>	<b>21.698.953</b>
Stromeinspeisung	kWh/a 5.326.332		4.559.369		123.688	0	10.009.389



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Energiebilanz**



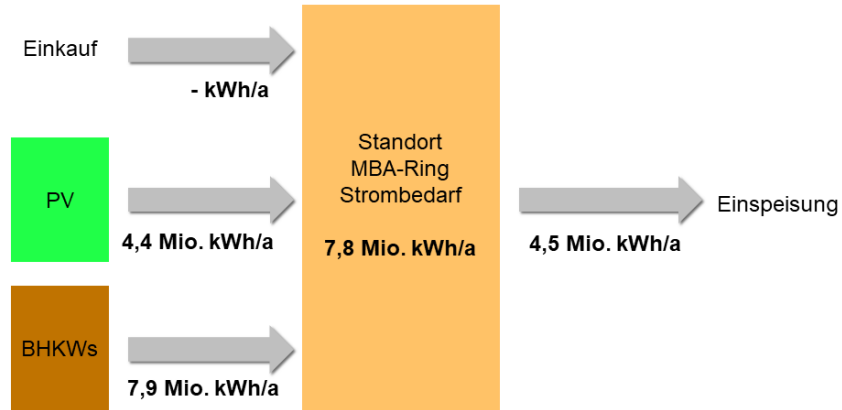
**Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (Malmöstraße)**



### 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Energiebilanz



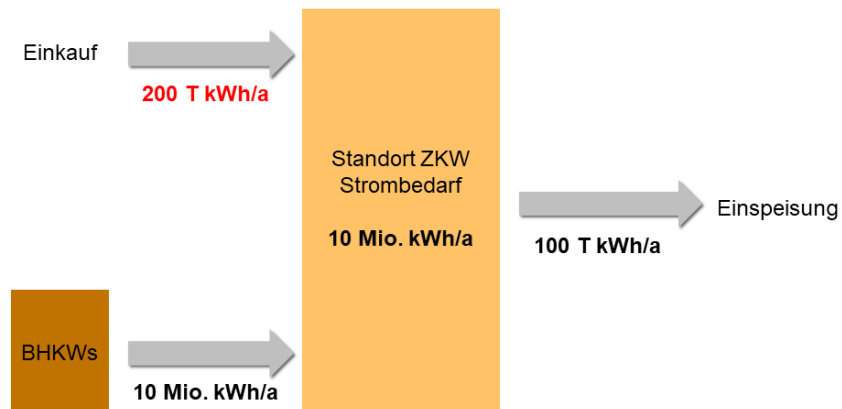
- Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (MBA-Ring)



### 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Energiebilanz



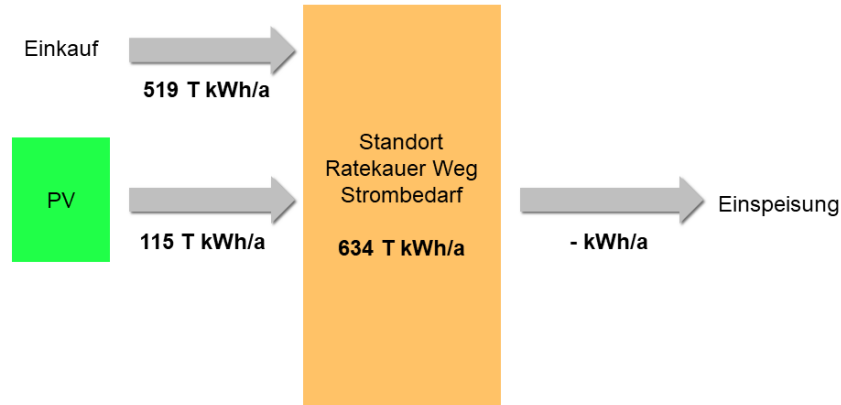
- Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (ZKW)



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur**  
**Energiebilanz**



• **Energiebilanz nach Umsetzung EE-Anlagen und Umstellung Fuhrpark (Ratekauer Weg)**



**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur**  
**Kfz-Werkstatt**



• **Auswirkungen auf Werkstatt-Infrastruktur**

- Zentralwerkstatt ist eine eigene Abteilung in der Sparte Stadtreinigung
- Standort der Werkstatt/ Tankstelle ist die Verwaltung Malmöstraße
- Kfz-Werkstatt, Ersatzteillager, Waschhalle, Lackiererei
- Ca. 4.000 Aufträge pro Jahr
- Mitarbeiteranzahl:
  - 1 Abteilungsleiter
  - 4 Sachbearbeiter
  - 24 Mitarbeiter / Monteure
- Zentralwerkstatt betreut alle Fahrzeuge der Stadt inkl. Feuerwehr



## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Kfz-Werkstatt



### • Auswirkungen auf Werkstatt-Infrastruktur

- Neue Anforderungen
  - Infrastruktur der Werkstatt ändert sich
    - » bauliche Voraussetzungen der Kfz-Werkstatt
    - » Zertifizierung (Fachbetrieb für Hybrid- und Elektrofahrzeuge)

### Infrastruktur der Kfz-Werkstatt

Position	Investitionskosten	Bemerkungen
<b>Investitionen</b>		
Inventar	750,00€	Ein Arbeitsplatz und eine einfache Ladestation + Einrichtung für Brennstoffzellen-Wartung und -reparatur an Arbeitsplatz
Warnzeichen	300,00€	
Schutzausrüstung	400,00€	
Werkzeuge	3.100,00€	
Ladestation	1.100,00€	
<b>Summe</b>	<b>5.650,00€</b>	
<b>Kosten der Qualifizierungsmaßnahmen</b>		
Fachkurs E-Mobilität	750,00€	Schulung eines Mitarbeiters
Elektrofachkraft HV	1.500,00€	
Lehrgang GAP	1.200,00€	
<b>Summe</b>	<b>3.450,00€</b>	
<b>Kosten</b>		
Prüfung/ Qualifizierung	1.000,00€	
<b>Summe gesamt</b>	<b>10.100,00€</b>	

Quelle: Schaufenster Elektromobilität: E-Mobilität in der Kfz-W ElektroMobilitätNRW g

## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Kfz-Werkstatt



### • Auswirkungen auf Werkstatt-Infrastruktur

- Neue Anforderungen
  - Wartungs- und Reparaturumfänge ändern sich
    - » Elektrofahrzeuge haben weniger bewegliche Teile im Vergleich zum Verbrennungsmotor

### Wartungs- und Reparaturumfänge

	Verbrenner-	Plug-In-Hybrid	Batterie-elektrisches
Öl- und Ölfilterwechsel	✓	✓	✗
Austausch Kühlmittel	✓	✓	✗
Zündkerzenwechsel	✓	✓	✗
Luftfilterwechsel	✓	✓	✗
Zahnriemenwechsel	✓	✓	✗
Kraftstofffilterwechsel	✓	✓	✗
Bremsschüssigkeitwechsel	✓	✓	✓
Kontrolle der Leistungselektronik	✗	✓	✓
Austausch der Trocknerpatrone	✗	✗	✓*
Austausch zusätzlicher Kühlmittel	✗	✓*	✓*
Bremsbeläge und -scheiben	✓	reduziert	reduziert
Reparatur Abgasanlage	reduziert	reduziert	✗
Reparatur Kupplung	✓*	✗	✗

\*Je nach Hersteller und Konzeptioneller Methode

Quelle: e-mobilität BW: Entwicklung der Beschäftigung im After Sales, ElektroMobilitätNRW

**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Kfz-Werkstatt**



**• Auswirkungen auf Werkstatt-Infrastruktur**

- Neue Anforderungen  
Fachkunde Tätigkeiten an Hochvoltanlagen
  - DGUV 2005-005 **Stand Aug. 2021**
  - Neue Stufenregelung durch DGUV eingeführt

**Neue Bezeichnung:  
„Fachkundige Person Hochvolt“**

3S	Fachkundige Person für Arbeiten an unter Spannung stehenden HV-Komponenten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlersuche</li> <li>• Bauteile unter Spannung tauschen</li> </ul>
2S	Fachkundige Person (FHV) für Arbeiten an HV-Systemen im spannungsfreien Zustand
1S	Fachkundig unterwiesene Person (FuP) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeine Arbeiten</li> </ul>
S	Sensibilisierte Person <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedienen von Fahrzeugen</li> </ul>

DGUV 2021

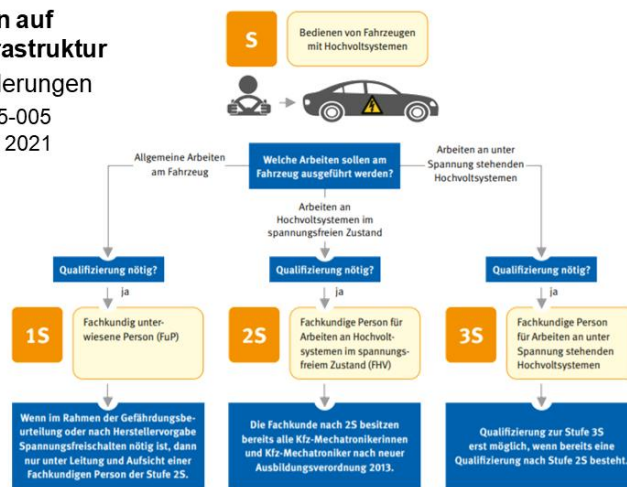


**6. Auswirkungen auf die Infrastruktur  
Kfz-Werkstatt**



**• Auswirkungen auf Werkstatt-Infrastruktur**

- Neue Anforderungen
  - DGUV 2005-005  
Stand Aug. 2021



DGUV 2021



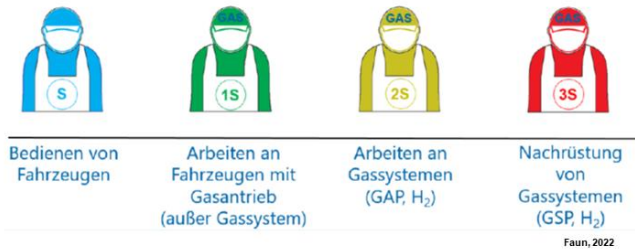
## 6. Auswirkungen auf die Infrastruktur Kfz-Werkstatt



### • Auswirkungen auf Werkstatt-Infrastruktur

- Analoge Anforderungen in Bereich Gasanlagen
  - DGUV 200-072 **Stand März 2021**
  - FBHM-099, **Stand 2018**

#### Für Arbeiten an Gasanlagen erforderliche Qualifikationsstufen



## Gliederung

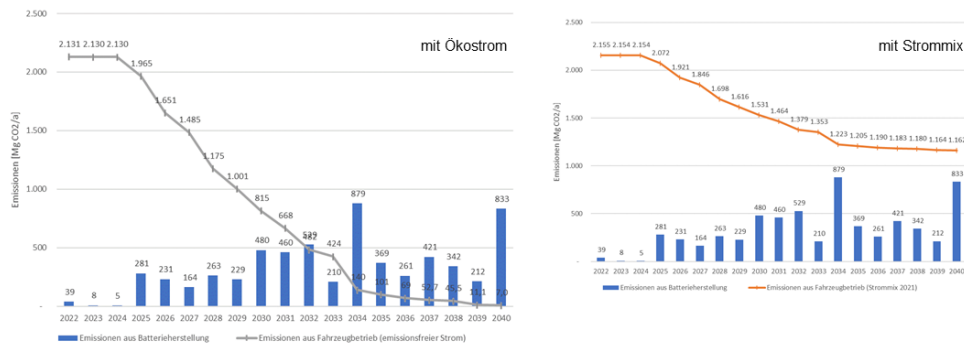


1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	Darstellung Stand der Technik
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	<b>Emissionsbetrachtung</b>
8	Kostenbetrachtung
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit



### 7. Emissionsbetrachtung

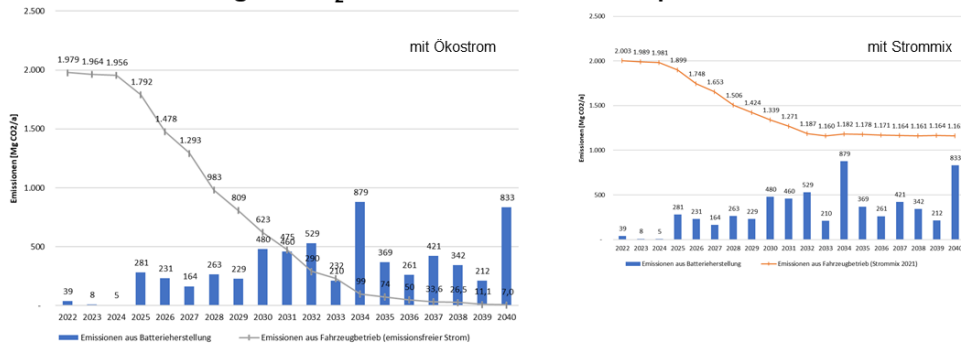
#### • Szenario 1: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des EBL-Fuhrparks



- Bei derzeitigen Ersatzbeschaffungszyklen ist es möglich, den Fuhrpark bis 2040 klimaneutral zu gestalten
- Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Batterieherstellung der Jahre 2022 bis 2024 resultieren aus der Beschaffung von PKW und aus einem 1 zu 1 Austausch vorhandener BEV

### 7. Emissionsbetrachtung

#### • Szenario 2: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des EBL-Fuhrparks



- Durch Einsatz der CNG-Fahrzeuge in Szenario 2 und Ansatz von Biomethan als Treibstoff können die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu Szenario 1 mittelfristig schneller gesenkt werden

**Gliederung**

1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	Darstellung Stand der Technik
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	Emissionsbetrachtung
8	<b>Kostenbetrachtung</b>
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit



**8. Kostenbetrachtung**  
**Investitionskosten Fuhrparkumrüstung**

• **Kostenansätze**

➤ **wesentliche Fahrzeuge\***

Fahrzeug	Diesel	BEV
Seitenlader 26 t	330.000 €	840.000 €
Hecklader 26 t	300.000 €	650.000 €
Hecklader 8,5 t	90.000 €	270.000 €
Saug- und Spülwagen 26 t	600.000 €	1.300.000 €
Kanal-TV	390.000 €	490.000 €
LKW/Koffenwagen 12 t	70.000 €	180.000 €
LKW/Koffenwagen 7,5 t	60.000 €	160.000 €
LKW/Koffenwagen 5 t	50.000 €	110.000 €
Hakenliftfahrzeug	170.000 €	520.000 €
GKM	280.000 €	
MKM	180.000 €	330.000 €
KKM	130.000 €	250.000 €

➤ **Ladestationen\***

Ladestation	Gesamtkosten €/Stck.
11 kW AC	15.000 €
22 kW AC	25.000 €
44 kW AC	40.000 €
50 kW DC	60.000 €
150 kW DC	80.000 €
350 kW DC	190.000 €
Trafostation inkl. TB	250.000 €



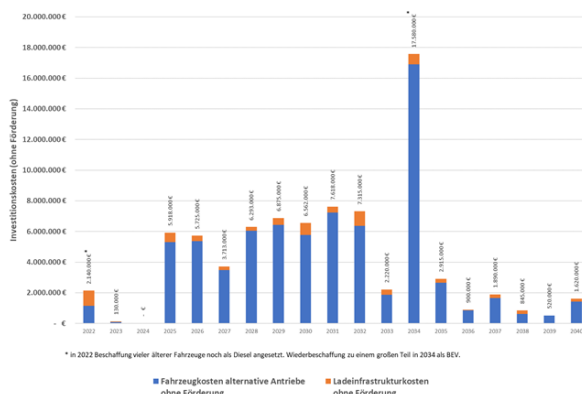
\* Bruttopreise

### 8. Kostenbetrachtung Investitionskosten Fuhrparkumrüstung



#### Investitionskosten (ohne Fördermaßnahmen)

- enthalten sind:
  - Fahrzeuginvestitionskosten
  - 1/1 Ersatzbeschaffungen nicht berücksichtigt
  - Ladestationinvestitionskosten
  - Kosten Erweiterung Netzanschluss
- Insgesamt ca. 80 Mio. € bis einschließlich 2040
- Mittlere jährliche Investitionen von ca. 4,25 Mio. €/a

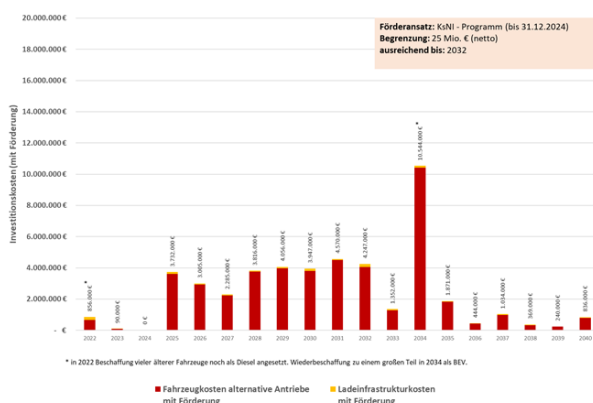


### 8. Kostenbetrachtung Investitionskosten Fuhrparkumrüstung



#### Investitionskosten (mit Fördermaßnahmen)

- enthalten sind:
  - Fahrzeuginvestitionskosten
  - 1/1 Ersatzbeschaffungen nicht berücksichtigt
  - Ladestationinvestitionskosten
  - Kosten Erweiterung Netzanschluss
- Insgesamt ca. 50 Mio. € bis einschließlich 2040
- Mittlere jährliche Investitionen von ca. 2,5 Mio. €/a

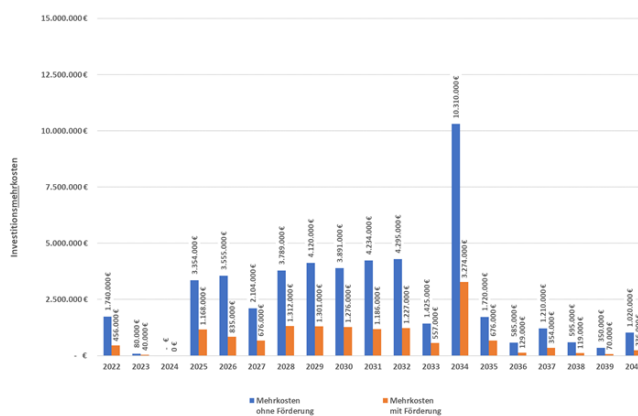


## 8. Kostenbetrachtung Investitionskosten Fuhrparkumrüstung



### • Investitionsmehrkosten

- Insgesamt ca. 50 Mio. € Mehrkosten bis einschließlich 2040 entspricht im Mittel ca. 2,5 Mio. € pro Jahr (ohne Förderung)
- Insgesamt ca. 15 Mio. € Mehrkosten bis einschließlich 2040 entspricht im Mittel ca. 785 T€ pro Jahr (mit Förderung)\*



\* Ansatz KsNI Förderrichtlinie Geltungsdauer bis 31.12.2024 bis zum Jahr 2040



## Gliederung



1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	Darstellung Stand der Technik
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	Emissionsbetrachtung
8	Kostenbetrachtung
9	<b>Maßnahmenkatalog</b>
10	Zusammenfassung und Fazit



## 9. Maßnahmenkatalog (1)



### Es wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

1. Installation der zum Laden erforderlichen Infrastruktur gemäß der dargestellten Ersatzbeschaffung an allen Standorten
  - Klärung der Nutzbarkeit der möglichen Fahrzeughallen
  - Abstimmung der Vorgaben der Bauaufsichtsbehörde in Bezug auf Brandschutz etc.
2. Schrittweise Substitution der Fahrzeuge gegen Fahrzeuge mit alternativen Antrieben
3. Umstellung der Fahrzeugzuweisung zu den verschiedenen Sammeltouren sofern erforderlich
  - Soweit möglich Zuweisung von kürzeren Touren zu den neu beschafften Fahrzeugen gem. Fahrzeugersatzbeschaffungsliste
  - Berücksichtigung von möglichen Nutzlasteinbußen
4. Erweiterung der Anschlussleistung am Standort Malmöstraße (spätestens im Jahr 2030)



## 9. Maßnahmenkatalog (2)



### Es wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

5. Errichtung der PV-Anlagen an den Standorten Malmöstraße, MBA/Deponie und Ratekauer Weg
  - Vorhergehende Detailplanung
  - Prüfung der Statik bei Aufdachanlagen
6. Errichtung des Elektrolyseurs am Standort MBA
  - Vorhergehende Detailplanung
  - Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit
7. Errichtung einer Gasaufbereitungsanlage mit Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz
  - Vorhergehende Detailplanung
  - Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit
8. Evaluation der durchgeführten Maßnahmen



## Gliederung



1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise
2	Darstellung Stand der Technik
3	Analyse der Ist-Situation der lokalen Gegebenheiten
4	Szenario- und Bedarfsanalyse
5	Auswirkungen auf den Fahrzeugpark
6	Auswirkungen auf die Infrastruktur
7	Emissionsbetrachtung
8	Kostenbetrachtung
9	Maßnahmenkatalog
10	Zusammenfassung und Fazit



## 10. Zusammenfassung und Fazit (1)



- Die EBL streben eine schrittweise Umstellung des Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben an
- Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde dazu ein Konzept erarbeitet
- Es wurde eine Marktanalyse zu bereits heute sowie in Zukunft verfügbaren Fahrzeugen mit alternativen Antrieben inkl. der Investitionskosten erstellt
- Für den Fahrzeugpark der EBL erfolgte eine Bestandsaufnahme. Dabei wurden neben dem Alter der Fahrzeuge und dem damit verbundenen Zeitrahmen eines Austausches die erforderlichen täglichen Fahrtstrecken erfasst. Es wurden die betriebsspezifischen Anforderungen an die Fahrzeuge definiert
- Auf Grundlage dieser betriebsspezifischen Anforderungen und den Ergebnissen der Marktanalyse wurde ein „Fahrplan“ für eine schrittweise Umstellung des Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben erarbeitet



## 10. Zusammenfassung und Fazit (2)



- Abgestimmt auf die Entwicklung des Fahrzeugparks erfolgte die Erstellung eines Konzeptes für die Ladestellen- und Wasserstoffinfrastruktur
- Es wurden die EBL-Standorte vorhandenen elektrischen Anschlussleistungen erfasst und den erforderlichen Anschlussleistungen gegenübergestellt. Daraus wurden die erforderlichen Maßnahmen und Empfehlungen in Bezug auf die elektrische Anbindung der Standorte abgeleitet
- Für den Fahrzeugpark wurden Möglichkeiten (Szenarioanalyse) für die Umstellung auf alternative Antriebe und die daraus resultierenden, erforderlichen Maßnahmen aufgezeigt
- Es erfolgte weiterhin eine Zusammenstellung der Investitionskosten. Ebenfalls wurden die Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen dargestellt
- Zusätzlich wurden Möglichkeiten zur Versorgung der Ladeinfrastruktur mit selbst erzeugtem Strom aus erneuerbaren Energien betrachtet



## 10. Zusammenfassung und Fazit (3)



- Abschließend kann festgehalten werden, dass eine schrittweise Umstellung des Fuhrparks auf alternative Antriebe bis zum Jahr 2040 möglich ist. Bei einem geringen Anteil der Fahrzeuge wird eine Substitution aufgrund einer noch nicht vorhandenen Marktverfügbarkeit erst nach dem Jahr 2040 erfolgen können.
- Für die bis zum Jahr 2040 erforderlichen Maßnahmen werden unter der Berücksichtigung von Fördermaßnahmen Investitionskosten in Höhe von ca. 80 Mio. Euro anfallen. Dies entspricht gegenüber herkömmlichen Verbrennungsantrieben Mehrkosten von insgesamt ca. 15 Mio. €



Herzlichen Dank!  
offene Fragen ?



**Ansprechpartner bei INFA:**

Projektleiter: Dipl.-Ing. Markus Gieske M.Sc.  
Stv. Projektleiter: Dr.-Ing. Thomas Böning

02382 964 505  
02382 964 511

[gieske@infa.de](mailto:gieske@infa.de)  
[boening@infa.de](mailto:boening@infa.de)

Seite 168



# Anhang



### 5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark Entwicklung Fahrzeugbestand

• Entwicklung Fahrzeugbestand unterschiedlicher Antriebstypen (bis 2025)

Bestand	Bestand			2022			2023			2024			2025		
	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser	21			20		1	20		1	20		1	20		1
Pressmüllfahrzeuge, klein	4			4			4			4			4		
Sperrmüllfahrzeuge	6			6			6			6			6		
Groß- & Mittelkehrmaschinen	11			11			11			11			10		1
Kleinkehrmaschinen	9	2		9	2		9	2		9	2		7	4	
Abrollfahrzeuge	4			4			4			4			4		
Hakenliftfahrzeug	4			4			4			4			3	1	
Kranfahrzeuge	13			13			13			13			12	1	
LKW	14	1		14	1		14	1		14	1		14	1	
Unimog	2			2			2			2			2		
Schlepper	1			1			1			1			1		
Mehrweckfahrzeug	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1	
Transporter/Pritschen	30	5		30	5		30	5		30	5		24	11	
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst	40			40			40			40			40		
Kanal-TV-Fahrzeuge	1			1			1			1			1		
Hochdruckpül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.	8			8			8			8			7	1	
Hochdruckpül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.	1			1			1			1			1		
Saugfahrzeuge	7			7			7			7			6	1	
Hubsteiger	1	2		1	2		1	2		1	2		1	2	
PKW	34	17		30	21		28	23		28	23		20	31	
Werkstattwagen	1			1			1			1			1		
Radlader	13	1		13	1		13	1		13	1		13	1	
Bagger	3	1		3	1		3	1		3	1		2	2	
Gerät	8			8			8			8			7	1	
	236	30	0	231	34	1	229	36	1	229	36	1	206	58	2
	266			266			266			266			266		



### 5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark Entwicklung Fahrzeugbestand

• Entwicklung Fahrzeugbestand unterschiedlicher Antriebstypen (2026 bis 2030)

Bestand	2026			2027			2028			2029			2030		
	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser	16	3	2	15	4	2	12	6	3	9	8	4	6	11	4
Pressmüllfahrzeuge, klein	4			4			4			4			2	2	
Sperrmüllfahrzeuge	6			4	2		4	2		3	3		3	3	
Groß- & Mittelkehrmaschinen	8	2	1	8	2	1	7	3	1	7	3	1	6	4	1
Kleinkehrmaschinen	7	4		7	4		6	5		3	8		11		
Abrollfahrzeuge	4			4			4			3	1		3	1	
Hakenliftfahrzeug	3	1		3	1		2	2		2	2		2	2	
Kranfahrzeuge	9	4		9	4		8	5		7	6		7	6	
LKW	14	1		14	1		13	2		11	3	1	11	3	1
Unimog	2			2			2			2			2		
Schlepper	1			1			1			1			1		
Mehrweckfahrzeug	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1	
Transporter/Pritschen	23	12		23	12		22	13		22	13		16	19	
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst	40			40			40			40			40		
Kanal-TV-Fahrzeuge	1			1			1			1			1		
Hochdruckpül - u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.	7	1		6	2		6	2		6	2		5	3	
Hochdruckpül - u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.	1			1			1			1			1		
Saugfahrzeuge	6	1		6	1		5	2		4	3		4	3	
Hubsteiger	1	2		1	2		1	2		1	2		1	2	
PKW	18	33		17	34		17	34		16	35		15	36	
Werkstattwagen	1			1			1			1			1		
Radlader	13	1		12	2		10	4		9	5		8	6	
Bagger	2	2		2	2		1	3		1	3		1	3	
Gerät	7	1		6	2		5	3		5	3		1	7	
	194	69	3	187	76	3	173	89	4	159	101	6	137	123	6
	266			266			266			266			266		



### 5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark Entwicklung Fahrzeugbestand



• Entwicklung Fahrzeugbestand unterschiedlicher Antriebstypen (2031 bis 2035)

Bestand	2031			2032			2033			2034			2035		
	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser		17	4		17	4		17	4		17	4		17	4
Pressmüllfahrzeuge, klein	1	3			4			4			4			4	
Sperrmüllfahrzeuge	3	3		2	4		2	4			6			6	
Groß- & Mittelkehrmaschinen	4	6	1	1	8	2		9	2		9	2		9	2
Kleinkehrmaschinen		11			11			11			11			11	
Abrollfahrzeuge	3	1		2	2		2	2			4			4	
Hakenliftfahrzeug	2	2		2	2		2	2			4			4	
Kranfahrzeuge	7	6		7	6		6	7		2	11		2	11	
LKW	10	3	2	8	5	2	7	6	2	3	10	2	2	11	2
Unimog	2			2			2			2			2		
Schlepper	1			1			1			1			1		
Mehrzweckfahrzeug		1			1			1			1			1	
Transporter/Pritschen	15	20		3	32		2	33		2	33		2	33	
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst	37	3		34	6		33	7		28	12		24	16	
Kanal TV-Fahrzeuge	1			1			1			1			1		
Hochdruckpül- u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.	5	3		4	4		4	4		1	7			8	
Hochdruckpül- u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.	1			1			1			1			1		
Saugfahrzeuge	3	4		3	4		3	4			7			7	
Hubsteiger	1	2		1	2		1	2		1	2		1	2	
PKW	13	38		7	44		6	45		4	47			50	
Werkstattwagen	1			1			1			1			1		
Radlader	6	8		4	10		1	13			14			14	
Bagger	1	3			4			4			4			4	
Gerät		8			8			8			8			8	
	117	142	7	84	174	8	75	183	8	45	213	8	35	223	8
		266			266			266			266			266	



### 5. Auswirkungen auf den Fahrzeugpark Entwicklung Fahrzeugbestand



• Entwicklung Fahrzeugbestand unterschiedlicher Antriebstypen (2036 bis 2040)

Bestand	2036			2037			2038			2039			2040		
	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV	Diesel	BEV	FCEV
3-Achser		17	4		17	4		17	4		17	4		17	4
Pressmüllfahrzeuge, klein		4			4			4			4			4	
Sperrmüllfahrzeuge		6			6			6			6			6	
Groß- & Mittelkehrmaschinen		9	2		9	2		9	2		9	2		9	2
Kleinkehrmaschinen		11			11			11			11			11	
Abrollfahrzeuge		4			4			4			4			4	
Hakenliftfahrzeug		4			4			4			4			4	
Kranfahrzeuge	1	12		1	12		1	12			13			13	
LKW	2	11	2	2	11	2	1	12	2	1	12	2		13	2
Unimog	2			2			2			2			1	1	
Schlepper		1			1			1			1			1	
Mehrzweckfahrzeug		1			1			1			1			1	
Transporter/Pritschen	1	34		1	34			35			35			35	
Fahrzeuge, Geräte Winterdienst	23	17		16	24		14	26		14	26		10	30	
Kanal TV-Fahrzeuge		1			1			1			1			1	
Hochdruckpül- u. Saugfahrz. mit Wasserrückgew.		8			8			8			8			8	
Hochdruckpül- u. Saugfahrz. ohne Wasserrückgew.		1			1			1			1			1	
Saugfahrzeuge		7			7			7			7			7	
Hubsteiger	1	2			3			3			3			3	
PKW		51			51			51			51			51	
Werkstattwagen	1				1			1			1			1	
Radlader		14			14			14			14			14	
Bagger		4			4			4			4			4	
Gerät		8			8			8			8			8	
	31	227	8	22	236	8	18	240	8	17	241	8	11	247	8
		266			266			266			266			266	

