

Feldversuchsbasierte Analyse und ökonomischer Vergleich von elektrifizierten und nicht elektrifizierten Großkehrmaschinen bei der Stadtreinigung Hamburg

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

Michael Steiner M.A.

aus Herborn

genehmigt von der

Fakultät für Energie- und Wirtschaftswissenschaften

der Technischen Universität Clausthal,

Tag der mündlichen Prüfung

07.06.2023

Dekan

Prof. Dr. mont. Leonhard Ganzer

Vorsitzender der Promotionskommission

Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

Betreuer

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck

Prof. Dr. Roland Menges

Prof. Dr.-Ing. Benedikt Schmülling

Die vorliegende Arbeit wurde mit der CC-BY Lizenz veröffentlicht.

Danksagung

Die vorliegende Dissertation ist während meiner Arbeit als Abteilungsleiter Stadtreinigung bei der Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH, als Bereichsleiter bei der Straßenreinigung Bremen GmbH und als Betriebsleiter des Eigenbetriebes Straßenreinigung Wuppertal entstanden.

Besonderer Dank gebührt meinem Doktorvater Prof. Dr. Hans Peter Beck, der durch seine engagierte und unterstützende Betreuung ein konstruktives Zusammenspiel zwischen der Technischen Universität Clausthal und der Bergischen Universität Wuppertal ermöglichte.

Herrn Professor Dr. Roland Menges danke ich vielmals für die ungeplante und kurzfristige Übernahme und für die Erstellung des Zweitgutachtens.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Benedikt Schmülling für die Ermöglichung der wissenschaftlichen Begleitung durch die Bergische Universität Wuppertal und die Übernahme der Drittbegutachtung dieser Dissertation.

Meinem sehr geschätzten Kollegen Herrn Thomas Maas danke ich für die Unterstützung bei der Organisation passender Betriebshöfe in der Stadt Hamburg, die meine Dissertation inhaltlich ergänzt und auf diese Weise dazu beigetragen hat, die notwendigen Synergieeffekte zwischen operativer Projektarbeit und Promotionsinhalten zu schaffen.

Für den kontinuierlichen Austausch, die konstruktive Zusammenarbeit und die zahlreichen fachlichen Diskussionen danke ich den anderen Promovierenden der Fakultät, mit denen ich im Bereich der Ressourcenwirtschaft stets konstruktiv zusammengearbeitet habe.

Nicht zuletzt danke ich meiner Frau Antje, die mich auf verschiedenste Weise während der Arbeit an meiner Dissertation unglaublich unterstützt hat.

Zusammenfassung

Der Klimawandel und die Verknappung der endlichen Ressource Erdöl sind tragfähige Motive und führen zu notwendigen Veränderungen. Lösungsansätze dafür sind eine Effizienzsteigerung bestehender Technologien sowie die Entwicklung neuer Antriebskonzepte. Gleichzeitig muss es das Ziel sein, einen ganzheitlichen Ansatz in der Mobilität zu verfolgen. Die Nutzung regenerativer Energien wird hierbei eine entscheidende Rolle spielen.

Im Fokus dieses Praxisprojektes steht der Einsatz von Elektromobilität in der Entsorgungswirtschaft, und zwar sowohl hinsichtlich der Fakten als auch der Wahrnehmung. Das Thema Elektromobilität ist aktueller als je zuvor. Verschiedene Marktanalysen und die Ergebnisse meiner vorangegangenen Masterthesis haben gezeigt, dass die Elektromobilität ein zentraler Motor für die ökonomische und gesellschaftliche Entwicklung moderner Industrie- und Dienstleistungsgesellschaften ist. Im Hinblick darauf und in Anbetracht der politischen und wirtschaftlichen Ziele sind die Fahrzeug-, Aufbau- und Batteriehersteller gefordert, die Fahrzeug- und Batterietechnologie sicherer, leistungsfähiger und zuverlässiger zu gestalten. Bei der Gesamtbetrachtung der Elektromobilität in der Entsorgungswirtschaft sind heute mehr Schwächen als Stärken zu registrieren, jedoch bestehen aus heutiger Sicht auch mehr Chancen als Risiken, wenn es gilt, die Ziele zu erreichen. Hohe Investitionen und ein starkes Umdenken der jeweiligen Beteiligten sind ab jetzt entscheidend.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, inwieweit sich unterschiedliche vorhandene kommunale elektrische Fahrzeuge als Baustein der Energiewende eignen und welche grundlegenden Voraussetzungen für den Aufbau der notwendigen Ladeinfrastruktur zu beachten sind. Das Praxisprojekt wird anhand eines Pilotprojektes in der Hamburger Stadtreinigung durchgeführt. Dabei liegt der Schwerpunkt der Untersuchung auf den Kriterien Energieverbrauch, Reichweite, Lärm-Emissionen, Arbeitsautonomie, Ladedauer der Fahrzeuge und Ladestrombereitstellung. Zur Beantwortung der Fragen kommen neben empirischen Methoden technische Messmethoden zum Einsatz, deren Vergleich untereinander es erlaubt, die Eignung der verschiedenen eingesetzten Technologien für die Integration von Elektrofahrzeugen zu beurteilen und Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Abstract

Climate change and the shortage of the exhaustible resource crude oil are reliable motives and lead to essential changes. An increase in the efficiency of existing technologies and the development of new drive concepts are corresponding approaches. At the same time, the aim must be to pursue a holistic approach of mobility. The use of renewable energy will play a decisive role.

The focus of this practical project is the use of electromobility in the waste management industry, both in terms of facts and perception. The subject of electromobility is more present than ever before. Different market analysis as well as my previous master's thesis have shown that electromobility is a central engine for the economic and social development of modern industrialized and service societies. With regard to this and in consideration of the political and economic aims, the vehicle, body and battery manufacturers are challenged to make vehicle and battery technology safer, more efficient and more reliable. When considering electromobility as a whole in the waste management industry, today more weaknesses than strengths are to be registered, but from today's perspective there are also more opportunities than risks to achieve the aims. From now on, high investments and a strong rethinking of those involved are crucial.

Within the scope of this thesis, the question will be investigated how far different existing municipal electric vehicles are suitable as a component of the energy transition and which basic prerequisites for the installation of the necessary charging infrastructure have to be considered. The practical project is carried out on the basis of a pilot project of the Hamburg city cleaning service. The focus of the investigation is on the criteria of energy consumption, range, noise emissions, work autonomy, charging duration of the vehicles and provision of charging current. In addition to empirical methods, technical measurement methods are used to answer the questions, and the comparison with each other allows to assess the suitability of the various technologies used for the integration of electric vehicles and to derive recommendations for action.

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einleitung</i>	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	3
1.3	Aufbau und Struktur	5
2	<i>Umweltpolitische Grundlagen</i>	6
2.1	Umweltpolitik und Treibhausgasminderungsziele	6
2.1.1	Bundesebene	7
2.1.2	Landesebene	7
2.1.3	Rolle der Kommunen	8
2.2	Richtlinie 2009/33/EG	10
2.2.1	Umweltbelastungen durch Arbeitsmaschinen	12
2.2.2	Saubere und energieeffiziente Straßenfahrzeuge	13
2.2.3	Auswirkungen auf die kommunalen Fuhrparks	14
2.2.4	Herausforderungen und Hemmnisse	15
2.3	Politik	17
2.3.1	Bestehende Fördermaßnahmen	17
2.3.2	Forschungsförderung	18
2.3.3	Monetäre- und nichtmonetäre Maßnahmen	19
2.3.4	Neue Mobilitätskonzepte	21
3	<i>Elektromobilität: Stand der Technik</i>	22
3.1	Antriebskonzepte und -technologien	22
3.1.1	Definition Elektromobilität	22
3.1.2	Hybridfahrzeuge	23
3.1.3	Vollelektrifizierte Fahrzeuge	28
3.1.4	Brennstoffzellenfahrzeuge	28
3.1.5	Elektrifizierte Kehrmaschinen	30
3.2	Batterietechnologien	30
3.2.1	Lithium-Ionen-Batterie	31
3.2.2	Brennstoffzelle	33
3.3	Ladetechnologien und Ladekonzepte	36

3.4	Internationale Forschung: Alternative Antriebe bei kommunalen Fahrzeugen	39
3.5	Ableitung der Forschungslücke	46
4	Methoden und Vorgehensweise	48
4.1	Definition Stadtreinigung	48
4.2	Kehrmaschinenmarkt in Deutschland	49
4.3	Antriebstechnologien und deren Unterscheidungsmerkmale	51
4.4	Nutzwertanalyse	54
4.4.1	Vorgehensweise bei einer Nutzwertanalyse	54
4.4.2	Problembeschreibung und Auswahl der Handlungsalternativen	55
4.4.3	Auswahl der Entscheidungskriterien	55
4.4.4	Gewichtung der Entscheidungskriterien	55
4.4.5	Bewertung der Entscheidungskriterien	56
4.4.6	Nutzwertberechnung und Sensibilitätsanalyse	58
4.4.7	Kostenwirksamkeitsanalyse	58
4.5	Berechnung Total Cost of Ownership	58
4.6	SWOT-Analyse	60
4.7	Einsatzmöglichkeiten von Elektromobilität in der Stadtreinigung	61
5	Feldversuch: Ergebnisdarstellung	63
5.1	Ausgangslage	65
5.2	Personal	67
5.3	Bestehende Ladeinfrastruktur	68
5.4	Reinigungsplanung und Tourenplanauswahl	69
5.5	Dokumentation der Messdaten	71
5.6	Analyse der Ist-Großkehrmaschine (Referenzkehrmaschine)	74
5.7	Fahrzeugspezifikationen der Testfahrzeuge	77
5.8	Kehrmaschine VS6h (Hybrid)	78
5.8.1	Technische Daten	78
5.8.2	Darstellung der Teststrecken	80
5.9	Kehrmaschine VS6e (vollelektrifiziert)	83

5.9.1	Technische Daten	83
5.9.2	Darstellung der Teststrecken	86
5.10	Berechnung und Analyse der Wirkungsgrade	86
5.10.1	Wirkungsgrade bei der Diesel-GKM	87
5.10.2	Wirkungsgrade bei der hybriden GKM	89
5.10.3	Wirkungsgrade bei der vollelektrischen GKM	91
5.10.4	Zusammenfassung	95
5.11	Einordnung der Ergebnisse aus dem Feldversuch	97
6	<i>Ergebnisse – Handhabung der Nutzwert-Kostenanalyse</i>	103
6.1	Vorstellung der Handlungsalternativen	103
6.2	Definition der Entscheidungskriterien	106
6.3	Gewichtung der Entscheidungskriterien	108
6.4	Festlegung des Bewertungsmaßstabs	109
6.5	Bewertung und Summierung	110
6.6	Kostenwirksamkeitsanalyse	111
6.7	Vergleichsanalyse	112
7	<i>Zusammenfassung</i>	114
8	<i>Schlussfolgerungen und Ausblick</i>	116
	<i>Literaturverzeichnis</i>	121
9	<i>Anhang</i>	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: CO ₂ -Emissionen in Deutschland (eigene Darstellung nach BMUB, 2016)	7
Tabelle 2: Übersicht Funktionen, Charakteristika und Beispiele der verschiedenen Hybridvarianten (eigene Darstellung nach Hofmann, 2014)	27
Tabelle 3: Stärken und Schwächen der verschiedenen Ladetechnologien (eigene Darstellung nach Kley, 2011)	38
Tabelle 4: Übersicht Literaturrecherche zum Stand der internationalen Forschung (eigene Darstellung, 2022)	45
Tabelle 5: Bestand und Neuzulassungen für Kehrmaschinen in Deutschland jeweils zum 1. Januar (Kraftfahrt-Bundesamt, 2015)	50
Tabelle 6: Zusammenfassende Gegenüberstellung der Antriebskonzepte (eigene Darstellung nach Hofmann, 2014)	53
Tabelle 7: Gewichtung von Entscheidungskriterien mit der Schulnotenskala (eigene Darstellung, 2020)	56
Tabelle 8: SWOT-Analyse vollelektrifizierte Kehrmaschine (eigene Darstellung, 2020)	60
Tabelle 9: Planungsstand der Elektrifizierung des Fuhrparks der Stadtreinigung Hamburg (eigene Darstellung nach M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	62
Tabelle 10: Parameter für die drei Szenarien Pro-Szenario, mittleres Szenario und Contra-Szenario im Jahr 2020 (eigene Darstellung, 2020)	64
Tabelle 11: Entscheidungsspezifische Parameter (Steiner, 2020)	65
Tabelle 12: Übersicht Ladeplätze und Ladetechnologie der SRH (eigene Darstellung nach M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	68
Tabelle 13: Fahrzeugspezifische Parameter (eigene Darstellung nach Brock, 2020)	75
Tabelle 14: Technische Daten der GKM VS6d (eigene Darstellung nach Brock, 2020)	76
Tabelle 15: Technische Daten der GKM VS6h 1-3 (eigene Darstellung nach Brock, 2020)	79
Tabelle 16: Technische Daten der GKM VS6e KM-1902 (eigene Darstellung nach Brock, 2020)	84
Tabelle 17: Technische Daten der elektrischen und hybriden GKM im Vergleich (eigene Darstellung nach Brock, 2020)	85
Tabelle 18: Übersicht der durchschnittlichen Fahrleistung und Energieverbrauch pro AT beziehungsweise pro km (eigene Darstellung nach Anhang A.3. und A.26., 2022)	100
Tabelle 19: Emissionseinsparungen auf der Basis der Fahrlängen (eigene Darstellung nach Anhang A.3., 2022)	101

Tabelle 20: Fahrzeugspezifische Eingangsparameter Handlungsalternative A1 (eigene Darstellung nach Brock, 2020)	104
Tabelle 21: Fahrzeugspezifische Eingangsparameter Handlungsalternative A2 (eigene Darstellung nach Brock, 2020)	105
Tabelle 22: Fahrzeugspezifische Eingangsparameter im Vergleich (eigene Darstellung nach Brock, 2020)	106
Tabelle 23: Entscheidungskriterien der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung, 2020)	107
Tabelle 24: Gewichtung der Entscheidungskriterien in der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung, 2020)	108
Tabelle 25: Erweiterte Gewichtung der Entscheidungskriterien der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung, 2020)	109
Tabelle 26: Bewertung der Entscheidungskriterien anhand 10er-Skala (eigene Darstellung, 2020)	110
Tabelle 27: Nutzwertanalyse von ausgewählten GKM (eigene Darstellung, 2020)	110
Tabelle 28: Kostenwirksamkeitsanalyse von GKM (mittleres Szenario) (eigene Darstellung, 2020)	111
Tabelle 29: Kostenwirksamkeitsanalyse von GKM (Pro-Szenario) (eigene Darstellung, 2020)	112
Tabelle 30: Kostenwirksamkeitsanalyse von GKM (Contra-Szenario) (eigene Darstellung, 2020)	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: THG-Emissionen in Deutschland seit 1990 nach Gasen (BMUB, 2016)	6
Abbildung 2: Handlungsmöglichkeiten der Bundesländer im Klimaschutz (eigene Darstellung, 2020)	8
Abbildung 3: Die Rolle des kommunalen Unternehmens in einem vernetzen, smarten Umfeld (DST & VKU, 2010)	9
Abbildung 4: Die Rolle und die Handlungsbereiche von Kommunen im Bereich Klimaschutz (Difu, 2020)	10
Abbildung 5: Übersicht über kommunal eingesetzte Fahrzeuge nach Abgasklassen (nach Steiner, 2018)	11
Abbildung 6: Emissionen von Straßenverkehr und Arbeitsmaschinen (Helms & Heidt, 2014)	12
Abbildung 7: Für Deutschland geltende verpflichtende Beschaffungsquoten (eigene Darstellung nach EU, 2019)	14
Abbildung 8: Vier-Säulen-Konzept der E-Mobilität in der Entsorgungswirtschaft (eigene Darstellung, 2020)	16
Abbildung 9: Höhe der Fördergelder für Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität in ausgewählten Ländern im Jahr 2018 in Millionen Euro (Statista, 2022)	18
Abbildung 10: Prognose des Markthochlaufs (NPE, 2018)	19
Abbildung 11: Die Rolle des Handbuchs für kommunale Mobilitätskonzepte (Zukunftsnetz Mobilität NRW, 2021)	21
Abbildung 12: Schematische Darstellung unterschiedlicher hybrider Antriebsstränge (eigene Darstellung nach Hofmann, 2014)	24
Abbildung 13: Nomenklatur für Parallel-Hybridantriebssysteme (Hofmann, 2014)	26
Abbildung 14: Aufbau eines vollelektrifizierten Fahrzeuges (eigene Darstellung nach Eckstein, 2010)	28
Abbildung 15: Schematische Darstellung eines Brennstoffzellenfahrzeuges (eigene Darstellung nach Naunin, 2007)	29
Abbildung 16: Spezifische Leistung aufgetragen über die spezifische Energie (eigene Darstellung nach Wallentowitz, 2011)	31
Abbildung 17: Funktionsprinzip von Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen (eigene Darstellung nach U.S. DOE, 2003)	34
Abbildung 18: Übersicht über verschiedene Ladetechnologien (eigene Darstellung nach Peters et al., 2012)	37

Abbildung 19: Die sieben Themenfelder von Mobility2Grid (Forschungscampus Mobility2Grid, 2021)	40
Abbildung 20: Prozentuale Verteilung der Kehrmaschinen in Deutschland (eigene Darstellung nach VKU, 2022)	51
Abbildung 21: Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung nach Kühnapfel, 2014)	54
Abbildung 22: Strahlensatz (eigene Darstellung nach Möhlmann, 2014)	57
Abbildung 23: Ladestation der Firma Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	69
Abbildung 24: Beispiel für eine Teamverteilung im Innenstadtbereich im Geoinformationssystem (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	70
Abbildung 25: Dashboard für elektrifizierte Kehrmaschinen in Hamburg (VIRICITI, 2020)	72
Abbildung 26: Übersicht Kehrmaschinen-Parameter (VIRICITI, 2020)	72
Abbildung 27: Übersicht Echtzeit Kehrmaschinendaten (VIRICITI, 2020)	73
Abbildung 28: GKM VS6 Diesel (Brock, 2020)	74
Abbildung 29: GKM VS6h Hybrid (Brock, 2020)	78
Abbildung 30: Beispiel 1 Teststrecke für die teilelektrifizierte GKM VS6h in der Innenstadt (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	80
Abbildung 31: Beispiel 2 Teststrecke für die teilelektrifizierte GKM VS6h in der Innenstadt (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	81
Abbildung 32: Beispiel 3 Teststrecke für die teilelektrifizierte GKM VS6h in der Innenstadt (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	81
Abbildung 33: Beispiel 4 Teststrecke für die teilelektrifizierte GKM VS6h in der Innenstadt (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	82
Abbildung 34: GKM VS6 Elektrisch (Brock, 2020)	83
Abbildung 35: Wirkungsgrad Schema der Diesel-GKM (D. Inia, GINAF, persönliche Kommunikation, 2022)	87
Abbildung 36: Energieflussdiagramm Antrieb Referenz-GKM VS6d (eigene Darstellung vgl. Anhang A.5., 2022)	88
Abbildung 37: Energieflussdiagramm Aufbau Referenz-GKM VS6d (eigene Darstellung vgl. Anhang A.5., 2022)	88
Abbildung 38: Wirkungsgrad Schema der hybriden GKM VS6h (D. Inia, GINAF, persönliche Kommunikation, 2022)	89

Abbildung 39: Energieflussdiagramm Antrieb Hybrid-GKM VS6h – Diesel bis Räder (eigene Darstellung vgl. Anhang A.6., 2022)	90
Abbildung 40: Energieflussdiagramm Aufbau Hybrid-GKM VS6h – Batterie bis Besen (eigene Darstellung vgl. Anhang A.6., 2022)	90
Abbildung 41: Energieflussdiagramm Aufbau Hybrid-GKM VS6h – Batterie bis Gebläse (eigene Darstellung vgl. Anhang A.6., 2022)	91
Abbildung 42: Wirkungsgrad Schema der vollelektrifizierten GKM VS6e (D. Inia, GINAF, persönliche Kommunikation, 2022)	92
Abbildung 43: Energieflussdiagramm Antrieb vollelektrische GKM VS6e (eigene Darstellung vgl. Anhang A.7., 2022)	93
Abbildung 44: Energieflussdiagramm Aufbau vollelektrische GKM VS6e (eigene Darstellung vgl. Anhang A.7., 2022)	93
Abbildung 45: Energieflussdiagramm Aufbau vollelektrische GKM VS6e (eigene Darstellung vgl. Anhang A.7., 2022)	94
Abbildung 46: Energieflussdiagramm Aufbau vollelektrische GKM VS6e (eigene Darstellung vgl. Anhang A.7., 2022)	94
Abbildung 47: Übersicht Wirkungsgrade der drei Antriebsvarianten (Diesel, Hybrid, Elektro) (eigene Darstellung nach GINAF, 2022)	95
Abbildung 48: Vergleich Wirkungsgrade der Diesel- und Elektro-GKM (eigene Darstellung nach GINAF, 2022)	96
Abbildung 49: Auswertung der Fahrlängen (eigene Darstellung vgl. Anhang A.3., 2022)	97
Abbildung 50: Fahrleistung der einzelnen Kehrmaschinentypen differenziert nach Clustern (eigene Darstellung nach VKU, 2022)	98
Abbildung 51: Auswertung der Kehrkilometer (eigene Darstellung nach M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)	99
Abbildung 52: Auswertung der Fahrlängen und Kehrkilometer (eigene Darstellung nach M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, vgl. Anhang A.3., 2022)	100
Abbildung 53: Zusammensetzung der THG-Emissionen in der Herstellung von Batterien für Elektroautos nach Bestandteilen/Fertigungsschritten in kg CO ₂ -Äquivalenten pro kWh der Batterie Stand 2019 (Statista, 2022)	117

Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom
AT	Arbeitstag
BEV	Battery Electric Vehicle
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BKF	Berufskraftfahrer
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CH ₃ OH	Methanol
CH ₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -Äq.	CO ₂ -Äquivalente
DC	Gleichstrom
Difu	Deutsches Institut für Urbanistik
DST	Deutscher Städtetag
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
EU	Europäische Union
EUREF	Europäisches Energieforum
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FuE	Forschung und Entwicklung
GIS	Geoinformationssystem
GKM	Großkehrmaschine

GNW	Gesamtnutzwert
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
H ₂	Wasserstoff
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HEV (P)	Hybrid Electric Vehicle (parallel)
HEV (S)	Hybrid Electric Vehicle (series)
HWG	Hamburgisches Wegegesetz
ICE	Internal Combustion Engine, Verbrennungsmotor
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KKM	Kleinkehrmaschine
KWI	Kostenwirksamkeitsindex
LiFePO ₄	Lithium-Eisenphosphat
Li-Ion	Lithium-Ion
LNG	Liquefied Natural Gas, Flüssigerdgas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MEA	Membran-Elektroden-Einheit
MILP	Mixed-Integer Linear Programming
NaNiCl ₂	Natrium-Nickelchlorid
NiCd	Nickel-Cadmium
NiMH	Nickel-Metallhydrid
Nm	Newtonmeter
NO _x	Stickstoffoxid
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
O ₂	Sauerstoff
OEMs	Original Equipment Manufacturers, Fahrzeughersteller
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr

Pb	Blei
PEM	Absolute elektrische Antriebsleistung
PEFC	Polymer Electrolyte Fuel Cell, Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PKW	Personenkraftwagen
PM	Particulate Matter (Feinstaub)
REEV	Range Extended Electric Vehicle
SoC	State of Charge
SRH	Stadtreinigung Hamburg
SUMP	Sustainable Urban Mobility Plan (nachhaltiger urbaner Mobilitätsplan)
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
THG	Treibhausgas
TNO	Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung
USA	United States of America, Vereinigte Staaten von Amerika
VKU	Verband kommunaler Unternehmen e.V.
VS6d	Vacuum Sweeper 6 m ³ diesel
VS6e	Vacuum Sweeper 6 m ³ electric
VS6h	Vacuum Sweeper 6 m ³ hybrid
WRV	Wegereinigungsverzeichnis
ZEV	Zero Emission Vehicle, Null-Emissionsfahrzeug
zul.	zulässig

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Elektromobilität – als elektrisch angetriebener Individualverkehr – ist nicht neu und bewegte bereits vor mehr als 100 Jahren die Gesellschaft. Bereits im Jahr 1834 entwickelte Thomas Davenport in den USA ein mit Primärbatterien betriebenes Elektrofahrzeug. In Berlin nahmen 46 Jahre später, in den 1880er-Jahren, die ersten elektrischen Straßenbahnen ihren Betrieb auf. Erst im Jahr 1886 wurde das weltweit erste Fahrzeug mit Verbrennungsmotor von Benz und Daimler in Zusammenarbeit entwickelt und vorgestellt (Naunin, 2007).

Am Ende des 19. Jahrhunderts entwickelte der Wiener Unternehmer Jacob Lohner gemeinsam mit Ferdinand Porsche das erste praxistaugliche batteriebetriebene Elektrofahrzeug, das im Jahr 1900 als erster transmissionsloser Wagen auf der Pariser Weltausstellung präsentiert wurde. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts dominierten elektrisch betriebene Fahrzeuge das Straßenbild in Amerika und Europa. Die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren hatten gegenüber den leisen und emissionsfreien Konkurrenten bis dahin keine Chance und traten somit in den Hintergrund. In New York (Amerika) verfügten damals bereits 90 % aller Taxis (Naunin, 1994) über einen Elektroantrieb. Erst mit der Einführung der Fließbandarbeit und dem gefertigten Modell T von Henry Ford im Jahr 1914 gewannen die verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeuge an Bedeutung. Die Massenproduktion begann und die Fahrzeugkosten konnten somit deutlich gesenkt werden. Der eigentliche Durchbruch von Verbrennerfahrzeugen kam mit der Erfindung des elektrischen Anlassers. Damit nahm die Popularität zu (Naunin, 1994).

Das 20. Jahrhundert wurde ausschließlich vom Verbrennungsmotor geprägt. Immer wieder gab es in den Vereinigten Staaten von Amerika, Asien und Europa vereinzelt Versuche, die Elektromobilität zu revolutionieren. Aber selbst die Ölkrisen, die beispielsweise Anfang der 1970er-Jahre auftraten, trugen nicht zum durchschlagenden Erfolg elektromobiler Antriebsformen bei. Die Elektromobilität blieb immer eine Randtechnologie (Naunin, 2004).

Seit den 1990er-Jahren werden wieder intensiver Flottenversuche mit elektrisch angetriebenen Fahrzeugen unternommen. Die aktuelle Situation hat sich im Gegensatz zum 20. Jahrhundert verändert. Das liegt vor allem daran, dass die Rahmenbedingungen grundlegend andere sind: Die Forderung nach Klimaschutz ist lauter geworden, auf dem Markt sind verbesserte Technologien verfügbar und es hat einen Wandel in den Mobilitätskonzepten gegeben. Die Industriezweige der Automobilindustrie und der Aufbauerhersteller für Komunaltechnologie stehen damit in den kommenden Jahren vor großen Herausforderungen.

Neben nationalen ökologischen Zielsetzungen des Energiekonzepts der Bundesregierung von 2010, die Treibhausgas- (THG-) Emissionen bis 2050 gegenüber 1990 um 80 % zu senken, stehen vor allem ökonomische Faktoren wie steigende Rohstoffpreise und begrenzte Rohölvorkommen sowie politisch-rechtliche Forderungen nach emissionsfreien und geräuscharmen Fahrzeugen im Vordergrund (BMUB, 2011). Um die Erderwärmung um zwei Grad zu begrenzen, ist eine langfristige Umstellung des Individualverkehrs notwendig. Studien zufolge müssen die spezifischen THG-Emissionen von Fahrzeugen auf rund 20 g/km im Jahr 2050 gesenkt werden (McKinsey, 2009). Diese Ziele sind mit benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen nicht erreichbar.

Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) gab für das Jahr 2020 das Ziel vor, eine Million zugelassene Elektrofahrzeuge in Deutschland in den Verkehr zu bringen. Deutschland sollte im Bereich der alternativen Antriebssysteme zum Leitmarkt werden (NPE, 2014). Nach einer anfänglichen Begeisterung für die Elektromobilität war diese zwischenzeitlich rückläufig. Das von der NPE benannte Ziel war ambitioniert und wird auch in Zukunft nicht ohne weitere Fördermaßnahmen realisierbar sein. Die Verbreitung von Elektromobilität bietet jedoch den Kommunen und Städten die Chance, dabei eine zentrale Position einzunehmen. Immer mehr Menschen ziehen in die Stadt und erwarten dort eine hohe Lebensqualität. Um dies gewährleisten zu können, sind die vom Straßenverkehr ausgehenden Lärm-, Umwelt- und Klimaauswirkungen zu reduzieren. Die Kommunen sind sowohl bei der Installation von Ladeinfrastruktur als auch bei der Gestaltung von Mobilitätsalternativen gefordert (DST & VKU, 2010). Außerdem können die Kommunen als Flottenbetreiber den Einsatz von Elektromobilität selbst entschieden vorantreiben. Bisher wurden durch die Modellregionen Elektromobilität die meisten Elektrofahrzeuge im Bereich der städtischen Fuhrparks eingesetzt, insbesondere in den Bereichen Personenverkehr, Tourismus (Personenkraftwagen (PKW), Pedelecs) und im Wirtschaftsverkehr für Abfall-, Reinigungs- und Lieferverkehr (Ernst, 2011).

Vor dem Hintergrund, dass die Städte und Kommunen mit finanziellen Engpässen rechnen müssen, ist die Aufgabenstellung eine große Herausforderung. Die Modellregionen Elektromobilität wurden mit großzügigen Fördermaßnahmen finanziert. Dabei wurden die städtischen Fuhrparks und die Ladeinfrastrukturen gefördert. Es ist zu erwarten, dass die finanziellen Mittel von den Kommunen aus eigener Kraft gestemmt werden müssen, wenn diese Modelle auslaufen. In der Zukunft ist mit sinkenden Fahrzeug- und Infrastrukturkosten zu rechnen. Städte und Kommunen, die frühzeitig Erfahrungen mit Fördermitteln, Ladeinfrastrukturen und Herstellern von Elektromobilität gesammelt haben, könnten einen Standortvorteil haben.

Die Elektromobilität ist ein elementarer Baustein der Energiewende und ein wesentlicher Faktor zum Aufbau einer umweltgerechten Mobilität. In Kombination mit regenerativen Energien ist es möglich, einen Strukturwandel im energieintensiven kommunalen Sektor des Verkehrs zu erreichen. Für Städte und Kommunen ergeben sich in der Zukunft vielfältige Herausforderungen, denen es sich zu stellen gilt.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Obwohl es zukünftig einen Absatzmarkt für kommunale Fahrzeuge beziehungsweise Arbeitsmaschinen geben wird, bleiben die Zahlen zugelassener kommunaler Elektrofahrzeuge und Arbeitsmaschinen hinter den Erwartungen zurück. Die Akzeptanz elektrisch betriebener Fahrzeuge seitens der Städte und Kommunen scheint gering zu sein. Mit der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, welches die wesentlichen Faktoren sind, die eine Akzeptanz von Elektromobilität hervorrufen und beeinflussen.

Ziel dieser Arbeit ist es, aus wissenschaftlicher Perspektive die Akzeptanzfaktoren von Elektromobilität in der kommunalen Entsorgungswirtschaft im Rahmen eines theoretisch entwickelten und empirisch validierten Modells praxisnah am Beispiel eines Betriebshofs zu untersuchen und zu bewerten und dabei der Frage nach der Eignung der vorhandenen elektrifizierten Fahrzeuge und der Infrastruktur für die Elektromobilität nachzugehen. Durch den Einbezug von betriebswirtschaftlichen, verhaltenswissenschaftlichen und technischen Gesichtspunkten soll ein möglichst umfassendes Bild des Akzeptanzverhaltens erschlossen werden. Bisher gibt es keine veröffentlichten Arbeiten, die sich mit der technischen Umsetzbarkeit und der Akzeptanz der Elektromobilität in der kommunalen Entsorgungswirtschaft befassen. Die wenigen Arbeiten, wie beispielsweise die Forschungen von Herrn Professor Göhlich et. al. (2021) zum Thema Mobility2Grid, die es zur Elektromobilität in der Entsorgungswirtschaft gibt, beziehen sich meist auf die technische Machbarkeit und die Funktionalität der elektrifizierten Fahrzeuge beziehungsweise Arbeitsmaschinen. Da es hier keine weiteren validierten empirischen Untersuchungen gibt, bleiben das Zusammenspiel und das Verständnis aller relevanten Einflüsse von Ladeinfrastruktur und tatsächlicher Einsatzbarkeit der Elektromobilität in der Entsorgungswirtschaft aus.

Diese wissenschaftliche Lücke soll durch die vorliegende Arbeit geschlossen und dabei ein Modellansatz, der durch einen Praxistest belegt wird, vorgestellt werden. Darüber hinaus erfolgt im Rahmen des Praxisprojektes eine Modellentwicklung und -validierung und es wird ein Vergleich zwischen konventionellen und elektrifiziert eingesetzten Fahrzeugen durchgeführt.

Auf Grundlage der dadurch gewonnenen wissenschaftlichen und praktischen Erkenntnisse der Arbeit gilt es, im Rahmen einer Nutzwertanalyse entsprechende Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Die Identifikation von Akzeptanz und Nutzerentscheidungen kann einen wichtigen Beitrag zu den Bestrebungen kommunaler Unternehmen leisten, Elektromobilität nachhaltig einzusetzen und gezielt so zu lenken, dass dadurch der Prozess des Übergangs von konventionellen eingesetzten Fahrzeugen hin zu alternativen Antriebssystemen beschleunigt wird. Da die neuen alternativen Antriebe weitreichende und erhebliche Veränderungen gegenüber den bisher eingesetzten Antriebssystemen (zum Beispiel: geringere Reichweite, Ladevorgang) implizieren, sind tiefgreifende und akzeptanzfördernde Einflussfaktoren zu berücksichtigen (Bertram, M. & Bongard, S., 2014). Am Beispiel des Praxisprojekts soll gezielt untersucht werden, inwieweit die Möglichkeit besteht, die Akzeptanz für die zur Verfügung stehende Elektromobilität zu beeinflussen. Damit können für die wissenschaftliche Arbeit und das Praxisprojekt folgende Forschungsfragen formuliert werden:

- Welche Faktoren lassen sich erkennen, die eine verstärkte Substitution der konventionellen Konzepte gegenwärtig noch behindern?
- Besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Nutzung konventionell angetriebener Großkehrmaschinen und dem Einsatz von elektrifizierten Großkehrmaschinen?
- Wie funktionieren (teil-) elektrische Antriebskonzepte und wie sind sie aufgebaut?
- Lässt sich die Elektromobilität profitabel einsetzen?
- Ist ein dauerhafter Einsatz durch eine teil- beziehungsweise vollelektrische Großkehrmaschine möglich?

1.3 Aufbau und Struktur

Kapitel 1 gibt dem Leser einen Überblick zum Thema Elektromobilität und zeigt die Kernfragestellungen auf, die im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden sollen. Hierbei wird neben den Hintergründen und der Problemstellung auch die Vorgehensweise erläutert, wie diese Fragen beantwortet werden sollen.

In **Kapitel 2** werden umweltpolitischen Grundlagen betrachtet und analysiert.

Hierbei wird auf Makroebene die Bundes- und Kommunalebene in den Blick genommen, d. h. danach gefragt, mit welchen zentralen Herausforderungen sich die kommunalen Fuhrparkbetreiber derzeit konfrontiert sehen. Dabei zeigt sich, dass es sich bei der kommunalen Elektromobilität keineswegs nur um eine rein technologische Innovation handelt, sondern vor allem gesellschaftliche Trends, umweltpolitische Vorgaben, marktbezogene Gründe und ein massiver politischer Druck wichtige Treiber für diese Veränderungen darstellen.

Der Stand der Technik sowie die Grundlagen der Elektromobilität werden in **Kapitel 3** beschrieben. Neben der Darstellung relevanter Antriebskonzepte und der Einschätzung der aktuellen Situation für den Einsatz von kommunaler Elektromobilität werden wesentliche kommunale Technologiebereiche (Straßenreinigungsfahrzeuge und Abfallsammelfahrzeuge) betrachtet. Außerdem wird auf die aktuelle Marktsituation von deutschen und weltweiten Herstellern eingegangen.

Die methodische Vorgehensweise dieser Forschungsarbeit wird in **Kapitel 4** im Rahmen der Praxisphase beschrieben. Im ersten Schritt werden die Rahmenbedingungen definiert, der Markt und der Einsatz von Kehrmaschinen in Deutschland vorgestellt und die Referenzfahrzeuge analysiert. Im weiteren Verlauf werden die Anwendung und die Auswertungsmöglichkeiten der Nutzwert- und Kostenanalyse ausführlich vorgestellt. Diese Analyseverfahren ermöglichen einen notwendigen Vergleich der Ist-Situation, der Referenzfahrzeuge und der allgemeinen Eingangsparameter.

Kapitel 5 beschreibt basierend auf der Nutzwert- und Kostenwirksamkeitsanalyse die Auswertung der Feldversuche. Anschließend werden die entsprechenden Ergebnisse in **Kapitel 6** diskutiert.

Die **Kapitel 7** und **8** fassen die wesentlichen Kernaussagen der Arbeit zusammen, formulieren Handlungsempfehlungen für eine hypothetische Entscheidungssituation und geben einen Ausblick.

2 Umweltpolitische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die für die Thematik relevanten umweltpolitischen Grundlagen sowie die Klimaziele betrachtet und zusammengefasst. Zunächst werden dabei die Bundes- und Landesziele kurz dargestellt, während anschließend die Rolle der Kommunen beschrieben wird. Es folgen ergänzende Erläuterungen zur Richtlinie 2009/33/EG. Abschließend wird eine Einschätzung zu den bestehenden Fördermaßnahmen für die kommunale Elektromobilität in Deutschland vorgenommen.

2.1 Umweltpolitik und Treibhausgasminderungsziele

Bereits im Dezember 2015 wurde auf der Weltklimakonferenz in Paris das weltweite und rechtsverbindliche Klimaschutzübereinkommen beschlossen. Um dem Klimawandel entgegenzuwirken, wurde ein globaler Aktionsplan festgelegt, der die Erderwärmung auf deutlich weniger als zwei Grad gegenüber den vorindustriellen Werten begrenzen soll. Die deutsche Bundesregierung hatte sich bereits im Jahr 2010 das Ziel gesetzt, die THG-Emissionen bis 2050 um 80 bis 95 % im Vergleich zum Jahr 1990 zu reduzieren (BMUB, 2016). Mit dem Ziel des Klimaschutzplanes 2050, der die Basis für die langfristige Klimaschutzstrategie in Deutschland (BMBU, 2016) bildet, sucht Deutschland, wie in **Abbildung 1** zu sehen, eine weitgehende Treibhausneutralität bis Mitte des Jahrhunderts zu erreichen.

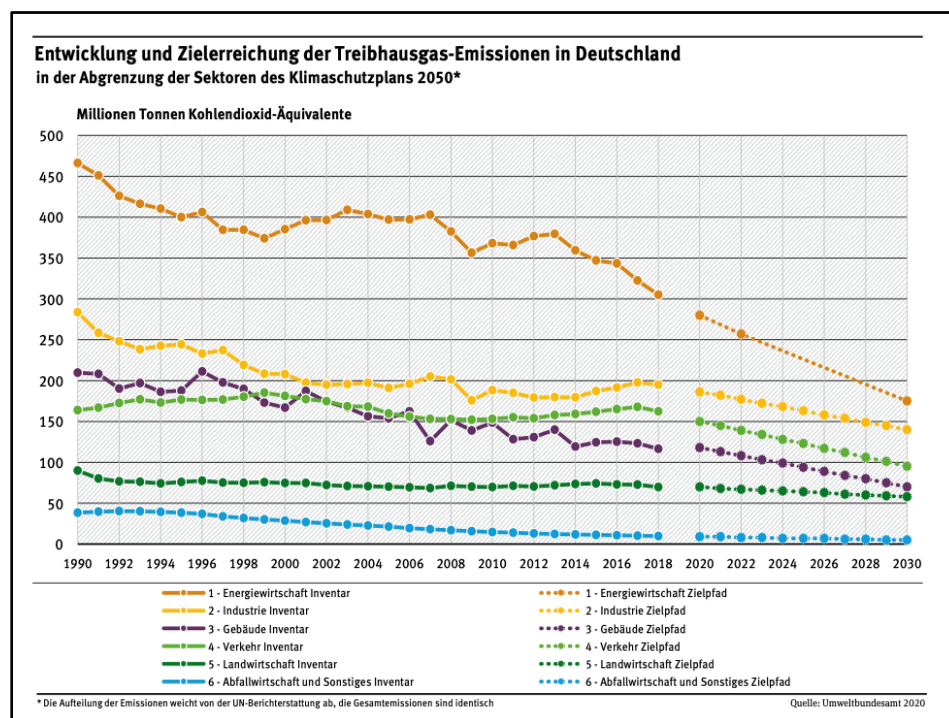


Abbildung 1: THG-Emissionen in Deutschland seit 1990 nach Gasen (BMUB, 2016)

2.1.1 Bundesebene

Die Umwelt- und Gesundheitsbelastungen der jeweils definierten Handlungsfelder (Verkehr, Energiewirtschaft, Gebäude, Industrie, Landwirtschaft und Sonstige) sollen durch gezielte Maßnahmen aus dem Klimaschutzplan der Bundesregierung verringert werden. **Tabelle 1** führt die Emissionen der genannten Handlungsfelder für die Jahre 1990 und 2014 auf sowie die angestrebten Veränderungen der Bundesregierung bis 2030.

Tabelle 1: CO₂-Emissionen in Deutschland (eigene Darstellung nach BMUB, 2016)

Handlungsfeld	1990 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2014 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)
Verkehr	163	160	95–98
Energiewirtschaft	466	358	175–183
Gebäude	209	119	70–72
Industrie	283	181	140–143
Landwirtschaft	88	72	58–61
Sonstige	39	12	5
Gesamt	1248	902	543–562

Tabelle 1 zeigt, dass eine Reduzierung der CO₂-Emissionen im Handlungsfeld Verkehr bis zum Jahr 2030 um 42,5 % im Vergleich zum Jahr 1990 avisiert wird. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden im Klimaschutzplan 2050 langfristige strategische Maßnahmen definiert. Die Elektromobilität trägt dazu bei, dass sich die CO₂-Emissionen im Handlungsfeld Verkehr verringern – damit können die Klimaschutzziele erreicht und der Klimawandel kann verlangsamt werden. Zukünftiges Fahren mit elektrischem Strom wird die Abhängigkeit von Öl und anderen fossilen Energieträgern verringern und eine zunehmende Versorgung durch erneuerbare Energien vorantreiben.

2.1.2 Landesebene

Nicht nur die Europäische Union (EU) und der Bund verfolgen Klimaschutzziele, auch die Bundesländer erstellen eigene Klimaschutzkonzepte, um für die in **Kapitel 2.1.1** genannten Handlungsfelder geeignete Maßnahmen zu definieren. **Abbildung 2** zeigt die Handlungsmöglichkeiten der jeweiligen Bundesländer im Klimaschutz. Hierbei wird zwischen gesetzgeberischen Maßnahmen und Maßnahmen der Verwaltung unterschieden (BMUB, 2011).

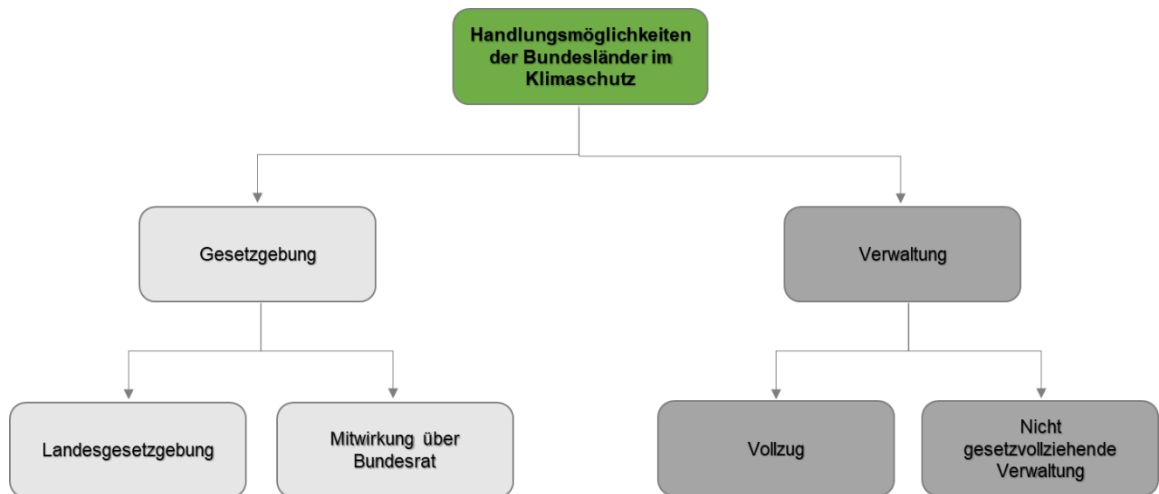


Abbildung 2: Handlungsmöglichkeiten der Bundesländer im Klimaschutz (eigene Darstellung, 2020)

Die Möglichkeiten der Bundesländer, eigene Klimaschutzgesetze zu erlassen, sind zwar eingeschränkt, dennoch gibt es Lücken in der klimapolitischen Gesetzgebung des Bundes, und die Länder können Energiesparvorschriften im Bauordnungs-, Kommunal- und Landesplanungsrecht verankern, soweit das Bundesrecht dies zulässt. Diese Ausnahmen nutzen einige Bundesländer und haben ihre eigenen Klimaschutz- beziehungsweise Energiegesetze erlassen. Hamburg legte z. B. im Jahr 2008 eine Klimaschutzverordnung vor, die höhere energetische Standards vorschreibt als der Bund.

Um die Akzeptanz für den Klimaschutz bei der Bevölkerung zu stärken und die Umsetzung der Maßnahmen wirtschaftlich zu fördern, werden die Maßnahmen zunehmend von Beteiligungsverfahren begleitet.

2.1.3 Rolle der Kommunen

Grundsätzlich bietet die Verbreitung der Elektromobilität sowohl im gewerblichen als auch im privaten Bereich den Städten und Kommunen zukünftig die Chance, die durch den Straßenverkehr verursachten Lärm-, Umwelt- und Klimaauswirkungen zu reduzieren. Mit der Technologie lassen sich neue Wege der Mobilität beschreiten und die Lebensqualität in den Städten lässt sich erheblich verbessern. Den Kommunen als Unternehmer kommt hierbei eine besondere Rolle zu, wie **Abbildung 3** deutlich macht.

ROLLE DES KOMMUNALEN UNTERNEHMENS IN EINEM VERNETZTEN, SMARTEN UMFELD

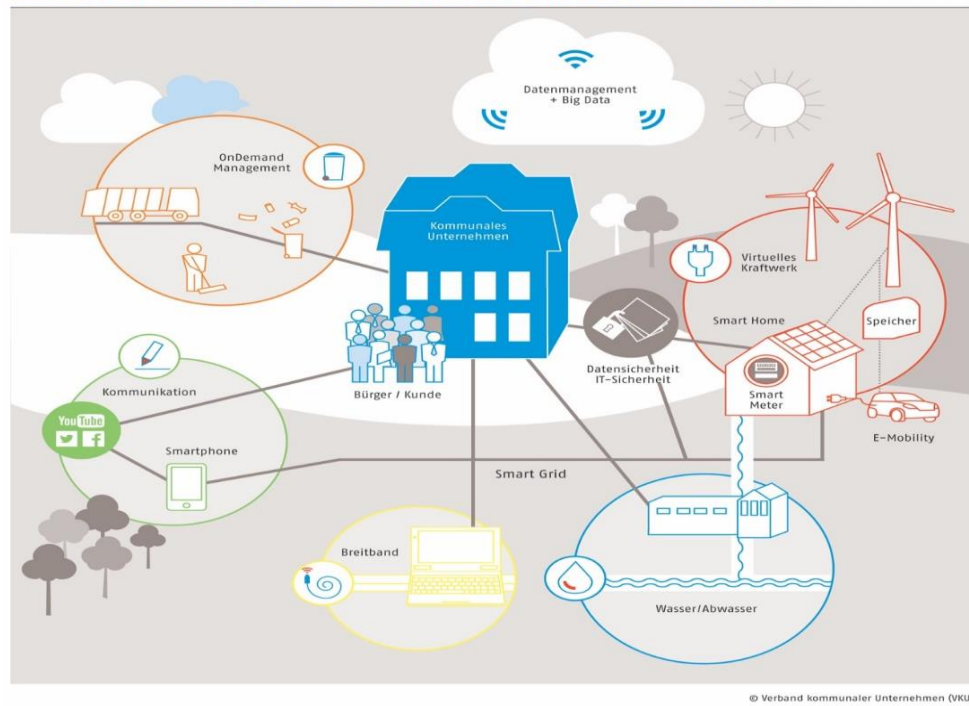


Abbildung 3: Die Rolle des kommunalen Unternehmens in einem vernetzten, smarten Umfeld (DST & VKU, 2010)

So nimmt die Kommune von der Bereitstellung der Ladeinfrastruktur bis hin zur Mobilitätsstrategie eine wesentliche Rolle ein (DST & VKU, 2010). Sie leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Gesamtklimastrategie.

In einer Pressemitteilung des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu) aus Oktober 2020 wird erläutert, welche Handlungsspielräume insbesondere auch finanzschwache Kommunen in Bezug auf die Entwicklung eigener Klimaschutzmaßnahmen haben. So können Kommunen beispielsweise kommunale Fuhrparks durch ein lokales Elektro-Carsharing massiv entlasten oder kommunale Dächer für den Einsatz von Solaranlagen verpachten (Difu, 2020).

Die nachfolgende **Abbildung 4** zeigt die vielfältigen Handlungsfelder von Kommunen in Bezug auf den Klimaschutz auf.



Abbildung 4: Die Rolle und die Handlungsbereiche von Kommunen im Bereich Klimaschutz (Difu, 2020)

2.2 Richtlinie 2009/33/EG

Am 8. November 2017 hat die EU-Kommission zur Stärkung der weltweiten Führungsposition in der Elektromobilität ein Legislativpaket mit Maßnahmen zur „sauberen Mobilität“ vorgelegt. Dies war ein wichtiger Schritt, um das vereinbarte Ziel, eine Reduktion der THG-Emissionen um mindestens 40 % bis 2030 und um 60 % bis 2050, zu erreichen. Die Novellierung der Richtlinie im Jahr 2019 war ein bedeutender Teil des Mobilitätspakets (EU, 2019). Die Richtlinie wurde im Jahr 2009 veröffentlicht und 2019 angepasst. Im Fokus der Richtlinie (EU) 2019/1161 wird angestrebt, einen Nachfrageimpuls von sauberen, d. h. emissionsarmen und emissionsfreien, Fahrzeugen zu fördern und somit die Emissionen im Verkehrsbereich zu reduzieren.

Durch den Beitrag zur Verringerung der CO₂- und Luftschadstoffemissionen werden die politischen Ziele in den Bereichen Umwelt- und Klimaschutz gestärkt. Daneben soll die Begünstigung einer breiteren Marktakzeptanz von sauberen Fahrzeugen zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und zum Wachstum im Verkehrssektor beitragen. Aus diesem Grund enthält die Richtlinie besondere Maßnahmen, die sich auf die öffentlichen Fuhrparks auswirken. Die Erweiterung des Anwendungsbereichs, der neben dem Abschluss von Kaufverträgen jetzt das Leasing und die Anmietung von Straßenfahrzeugen einbezieht. Des Weiteren wurde der Anwendungsbereich auf weitere Beschaffungsverfahren ausgeweitet. Die neuen Vorschriften gelten jetzt für ein größeres Spektrum von Dienstleistungen, einschließlich öffentlicher Straßenverkehrsdienste, Sonderpersonenverkehrsdienste, die Müllabfuhr beziehungsweise die Abfallentsorgung sowie Post- und Paketzustelldienste. Trotzdem haben sich die öffentlichen Fuhrparks nur sehr langsam entwickelt. Die nachfolgende **Abbildung 5** zeigt den Einsatz von kommunalen Fahrzeugen in den 18 größten Städten Deutschlands im Jahr 2018 nach Abgasklassen auf.

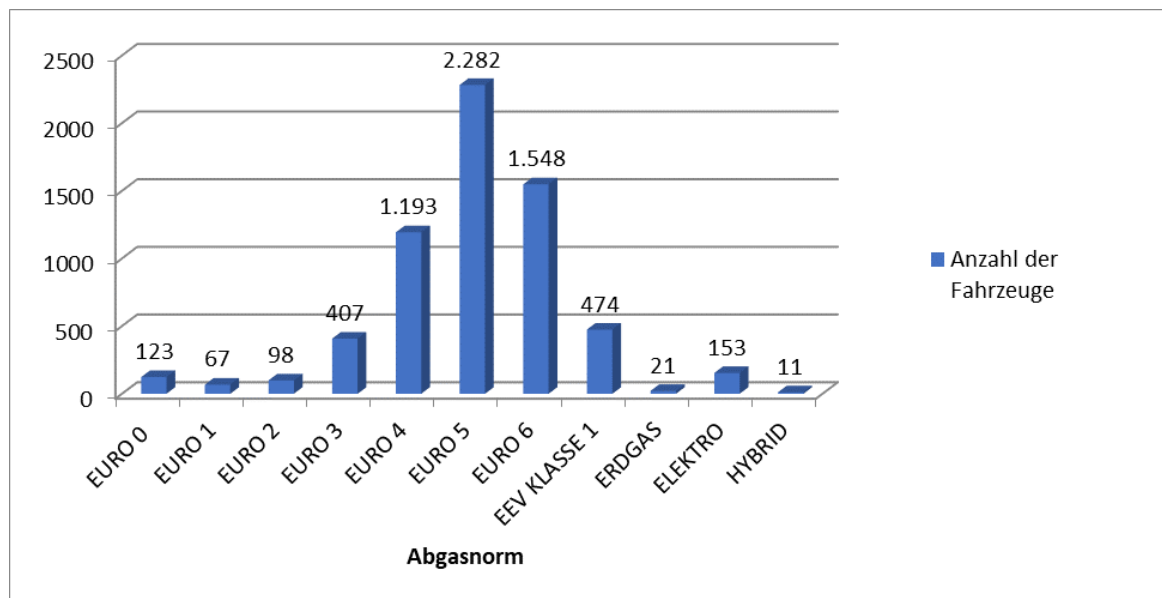


Abbildung 5: Übersicht über kommunal eingesetzte Fahrzeuge nach Abgasklassen (nach Steiner, 2018)

Die Übersicht über die kommunal eingesetzten Fahrzeuge nach Abgasklassen spiegelt die Entwicklung der kommunalen Fuhrparks der letzten Jahre wider. Um die notwendigen Informationen zu erhalten, wurde eine qualitative empirische Datenerhebung in Form eines Fragebogens durchgeführt. Da sich in Deutschland in der Regel nur die größeren Städte intensiv mit der Einführung von Elektromobilität befassen, steht die Sicht der Betroffenen und die Entwicklung von Hypothesen im Vordergrund.

Von der Grundgesamtheit ausgehend, wurden als Stichprobe die achtzehn größten Städte Deutschlands ausgewählt, um entsprechende Informationen zu erhalten. Die Grafik stellt die Verteilung der eingesetzten Fahrzeuge nach Abgasklassen dar. Darin ist zu erkennen, dass 30 % (1888 Fahrzeuge) der eingesetzten Fahrzeuge in den Abgasklassen Euro 0 bis Euro 4 enthalten sind. Hierbei handelt es sich somit um fast ein Drittel der angegebenen Fahrzeuge, wobei es sich dabei in der Regel um Winterdienstfahrzeuge handelt, die weniger eingesetzt und deshalb seltener ersetzt werden.

Mit 67 % (4304 Fahrzeuge) sind die Abgasklassen Euro 5 bis EEV1 (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle) vertreten. Folglich werden etwa zwei Drittel der dargestellten Fahrzeuge mit schadstoffarmen Klassen betrieben. Bei lediglich 3 % der Fahrzeuge handelt es sich um emissionsarme beziehungsweise emissionsfreie Antriebe. Daraus lässt sich schließen, dass die Novellierung der Richtlinie dringend erforderlich war, da der Verkehrssektor ein Schlüsselfaktor für das Pariser Klimaabkommen ist.

2.2.1 Umweltbelastungen durch Arbeitsmaschinen

Der Anteil der Straßenreinigungsfahrzeuge liegt im Vergleich zum deutschlandweiten Gesamtfahrzeugbestand gemäß Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) bei nur etwa 0,0002 % (KBA, 2015). Die Zulassungszahlen in Deutschland zeigen, dass insbesondere mobile Arbeitsmaschinen hohe Schadstoffemissionen verursachen (KBA, 2014). Wie in der Studie von Helms und Heidt (2014) belegt, weisen mobile Arbeitsmaschinen, verglichen mit dem restlichen Straßenverkehr, in etwa dieselbe Menge an Partikelemissionen auf.

Die Arbeitsmaschinen sind somit noch zu 20 % an den Stickstoffoxidemissionen beteiligt (Helms & Heidt, 2014). **Abbildung 6** veranschaulicht diesen Zusammenhang.

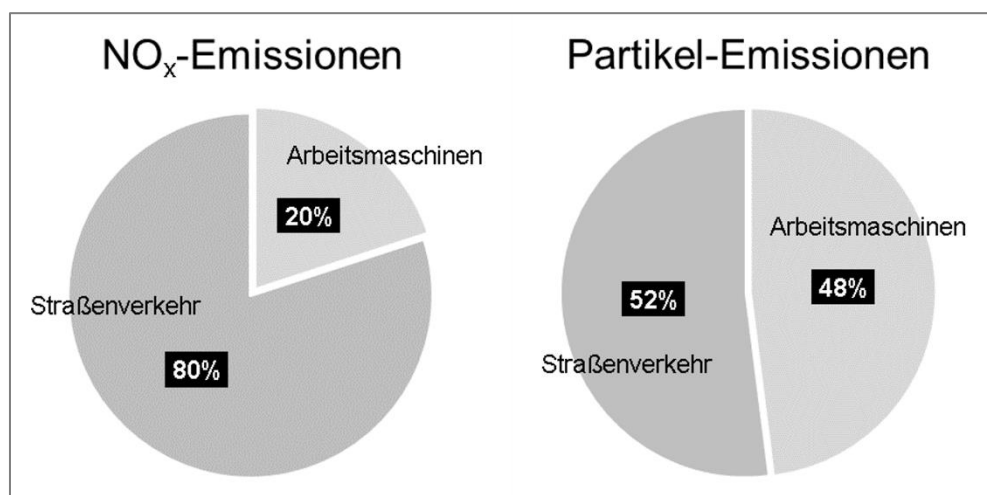


Abbildung 6: Emissionen von Straßenverkehr und Arbeitsmaschinen (Helms & Heidt, 2014)

Der überproportionale Schadstoffausstoß lässt sich dadurch erklären, dass es sich bei mobilen Arbeitsmaschinen meist um Dieselfahrzeuge älterer Baujahre handelt, die aber immer noch als Arbeitsgeräte zum Einsatz kommen, obwohl sie den heutigen Abgasnormen nicht mehr entsprechen. Dies liegt u. a. darin begründet, dass lange Zeit keine regulierende Richtlinie für die Emissionen der Arbeitsmaschinen existierte. So wurden im Jahr 1997 – und somit sechs Jahre nach Einführung der Abgasnorm EURO 1 für den restlichen Straßenverkehr – erstmals verbindliche Emissionsgrenzwerte für Arbeitsmaschinen im Straßenverkehr festgelegt (EU, 2019).

Bedingt durch kleinere Stückzahlen sind im Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen die Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen und die Entwicklungen zu alternativen Antrieben nicht so weit fortgeschritten wie beispielsweise im Bereich der PKWs und der Nutzfahrzeuge.

2.2.2 Saubere und energieeffiziente Straßenfahrzeuge

Die Definition „saubere Fahrzeuge“ richtet sich bei leichten PKWs nach den CO₂-Emissionen. Um als „sauberes Fahrzeug“ zu gelten, müssen die CO₂-Emissionen unter 50 g/km beziehungsweise für Null-Emissions-Fahrzeuge unter 1 g/km liegen. Für Busse und schwere Lastkraftwagen (LKW) basiert die Definition auf der EU-Richtlinie für alternative Kraftstoff-Infrastruktur, nach der folgende Antriebsarten als „saubere Fahrzeuge“ eingestuft werden: Elektrizität (inklusive Plug-in-Hybrid), Wasserstoff, Erdgas (Methan; Liquefied Natural Gas (LNG); Compressed Natural Gas (CNG)), biologische, synthetische und paraffinische Brennstoffe sowie Liquefied Petroleum Gas (LPG) (EU, 2019).

Für die kommunalen Fuhrparks sind insbesondere die Beschaffungsquoten für die schweren Nutzfahrzeuge wie LKWs von Bedeutung. Bereits im Beschaffungsjahr 2025 sollen 10 % der insgesamt zu beschaffenden Fahrzeuge „saubere Fahrzeuge“ sein, und für 2030 soll der Anteil bereits auf 15 % steigen. Hiervon muss jeweils die Hälfte der Fahrzeuge Null-Emissions-Fahrzeuge sein. In **Abbildung 7** sind die verpflichtenden Beschaffungsquoten für Deutschland näher beschrieben.

Beschaffungsquoten „saubere Fahrzeuge“

- ❖ **Beschaffungsziele für PKW/leichte Nutzfahrzeuge:**
 - bis 2025: 38,5 % (davon 50 % Null-Emissionsfahrzeuge)
 - bis 2030: 38,5 % (davon 100 % Null-Emissionsfahrzeuge)

- ❖ **Beschaffungsziele für Busse**
 - bis 2025: 45 %
 - bis 2030: 65 %
 - davon müssen jeweils 50 % Null-Emissionsfahrzeuge sein

- ❖ **Beschaffungsziele für LKW bzw. schwere Nutzfahrzeuge:**
 - bis 2025: 10 %
 - bis 2030: 15 %
 - davon müssen jeweils 50 % Null-Emissionsfahrzeuge sein

Abbildung 7: Für Deutschland geltende verpflichtende Beschaffungsquoten (eigene Darstellung nach EU, 2019)

Für einzelne EU-Staaten sollen in einigen Fällen unterschiedliche abweichende Vorgaben gelten. Die angestrebten Beschaffungsziele stellen für alle EU-Mitgliedsstaaten eine Herausforderung dar und haben Konsequenzen für die kommunale deutsche Wirtschaft.

2.2.3 Auswirkungen auf die kommunalen Fuhrparks

Die konkreten Beschaffungsvorgaben aus **Abbildung 7** sind gegenüber der alten Richtlinie entscheidend. Je nach Verfügbarkeit wird nicht das Rechenmodell beziehungsweise Wertungskriteriumsmodell entscheidend sein, vielmehr muss sich, selbst wenn passendere Produkte auf dem Markt vorhanden sind, die ausschreibende Stelle der Vorgabe entsprechend verhalten und direkt emissionsfreie Fahrzeuge beschaffen. Inwieweit der Markt bis zum Jahr 2025 passende Produkte für den kommunalen Einsatz entwickelt hat und ob es einen Marktwettbewerb geben wird, bleibt abzuwarten. Die EU bleibt nicht untätig und unterstützt parallel dazu in Brüssel, indem sie eine Verordnung für den Flottenverbrauch verabschiedet hat. Diese Vorgabe ist eine entsprechende Hilfestellung für den Nutzfahrzeugherstellerbereich.

Die CO₂-Emissionen aus dem Jahr 2019 werden als Basis für die zukünftig geplanten CO₂-Senkungen angesetzt. Somit sollen die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2025 um 15 % und bis zum Jahr 2030 sogar um 30 % gegenüber dem Jahr 2019 gesenkt werden. Eines ist heute schon klar: Diese Vorgaben lassen sich nicht allein durch Optimierungen der aktuellen Technologien realisieren. Sie können nur erfüllt werden, wenn ein entsprechender Anteil alternativ angetriebener Fahrzeuge eingesetzt wird. Die Frage der Kosten, die auf die Anwender beziehungsweise Kunden mit der neuen Technologie zukommen, kann aus heutiger Sicht nur bedingt beantwortet werden (BMUB, 2016).

Ungeachtet dessen lassen die gesetzlichen Verpflichtungen keine andere Möglichkeit zu, als dass beide Seiten – Hersteller und Anwender – die kommenden Vorgaben gemeinsam umsetzen. Damit gilt es also, passende Produkte unter Praxisbedingungen zu entwickeln und zu verbessern. Nur dadurch kann gewährleistet werden, dass die Anwender bereits in fünf Jahren ihren Aufgaben weiter nachkommen können, dabei möglichst wenig bis gar keine Emissionen erzeugen und den Gebührenzahler nicht zusätzlich belasten.

Aufgrund der bereits heute geführten Diskussionen über saubere Städte und eine dringend notwendige Verkehrswende sowie angesichts unserer Kenntnisse über die Vorgaben zur Beschaffung neuer Fahrzeugtechnologien ab dem Jahr 2025 sollten wir so schnell wie möglich den nächsten Schritt in eine neue Antriebstechnologie wagen und uns mit ihr eingehend vertraut machen. Dies kann nur in Praxistests gemeinsam mit Herstellern und Anwendern erfolgen.

2.2.4 Herausforderungen und Hemmnisse

Damit die in **Kapitel 2.1** dargestellten Klimaschutzziele erreicht werden können und der Wandel zur Elektromobilität gelingen kann, ist es wichtig, dass die Politik, die Energieversorger, die Anwender und die Hersteller gemeinsame Ziele verfolgen.

Das Zusammenwirken der vier Akteure bestimmt letztendlich den Erfolg der E-Mobilität in der Entsorgungswirtschaft. Die nachfolgende **Abbildung 8** zeigt dies anhand eines 4-Säulen-Konzeptes auf.

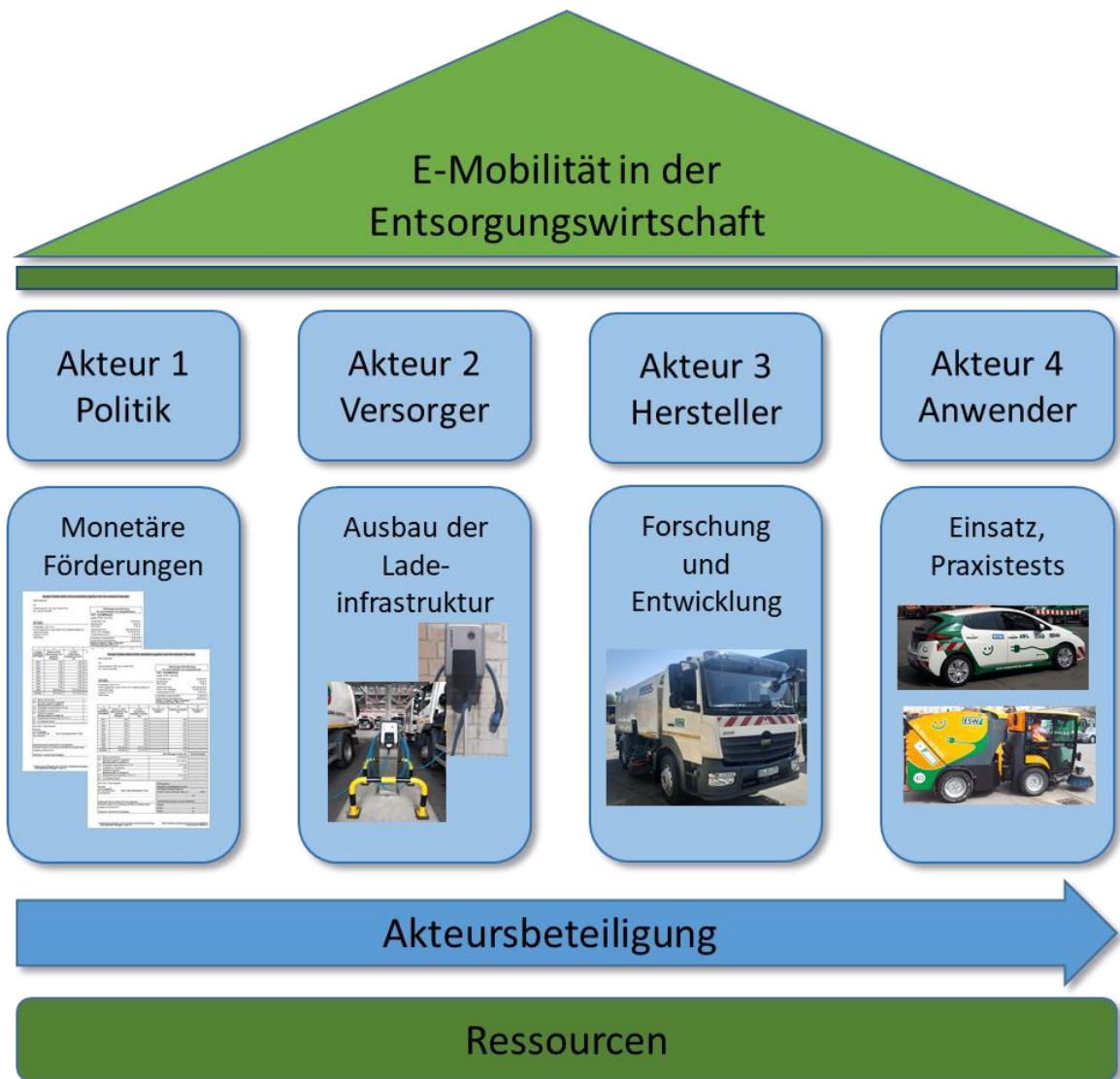


Abbildung 8: Vier-Säulen-Konzept der E-Mobilität in der Entsorgungswirtschaft (eigene Darstellung, 2020)

Angesichts der immer knapper werdenden fossilen Ressourcen wird in **Abbildung 8** herausgestellt, auf welchen vier wichtigen Säulen die Elektromobilität steht, die eine Schlüsseltechnologie für einen erfolgreichen klimapolitischen Wandel ist. Das folgt daraus, dass der Einsatz von Elektromobilität eine Vielzahl technischer, ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Herausforderungen mit sich bringt, die nur gemeinsam von Politik, Versorgern, Anwendern und Herstellern gemeistert werden können.

2.3 Politik

Die Bundesregierung versteht unter Elektromobilität alle Fahrzeuge, deren Energie überwiegend aus dem Stromnetz stammt, d. h. Fahrzeuge, die extern aufgeladen werden können. Aus Sicht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit fallen unter Elektromobilität

„[...] ausschließlich batterie-elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV), Elektrofahrzeuge mit einem kleinen Verbrennungsmotor zur Reichweitenverlängerung (Range Extender, REEV) und am Stromnetz aufladbare Hybridfahrzeuge (PHEV), in denen sowohl ein E-Motor als auch ein Verbrennungsmotor für den Antrieb sorgen.“ (BMU, 2018)

Die enge auf den Strom als ‚Treibstoff‘ bezogene Definition der Elektromobilität wurde aus gutem Grunde gewählt: Bei Betrachtung der gesamten Prozesskette, von der Energiequelle bis zum Rad, bietet die direkte Nutzung von Strom den mit Abstand höchsten Wirkungsgrad und – sofern er zunehmend aus erneuerbaren Energien stammt – eine signifikante Minderung des CO₂-Ausstoßes.

2.3.1 Bestehende Fördermaßnahmen

Ursprünglich sollten bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren – bis zum Jahr 2030 sollen es schon sechs Millionen Elektrofahrzeuge sein. Die Bundesregierung hat deshalb ein Programm zur „Elektromobilität“ und die dafür offizielle Strategie sowie die erforderlichen Instrumente formuliert. Als wichtige Grundlage dazu hat sie im Mai 2016 ein Maßnahmenpaket beschlossen. Ziel ist es, die Entwicklung auf dem Markt für Elektromobilität zu beschleunigen, um Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu machen. Hierzu wurde ein Investitionsvolumen von einer Milliarde Euro bereitgestellt. Das Maßnahmenpaket ergänzt die bestehende Unterstützung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich der Elektromobilität mit zeitlich befristeten Anreizen zur Unterstützung der schnellen Verbreitung elektrisch betriebener Fahrzeuge im Markt (Kaufprämie) sowie mit Steuervergünstigungen und umfassenden Zuschüssen zur Verbesserung der Ladeinfrastruktur (BMU, 2017).

Im direkten Vergleich mit anderen Ländern kann auf Basis der nachfolgenden **Abbildung 9** festgehalten werden, dass die Bundesrepublik Deutschland in Bezug auf die Höhe der Fördergelder für Forschung und Entwicklung (FuE) im Bereich Elektromobilität im Jahr 2018 mit Abstand für die größte Förderung verantwortlich ist.

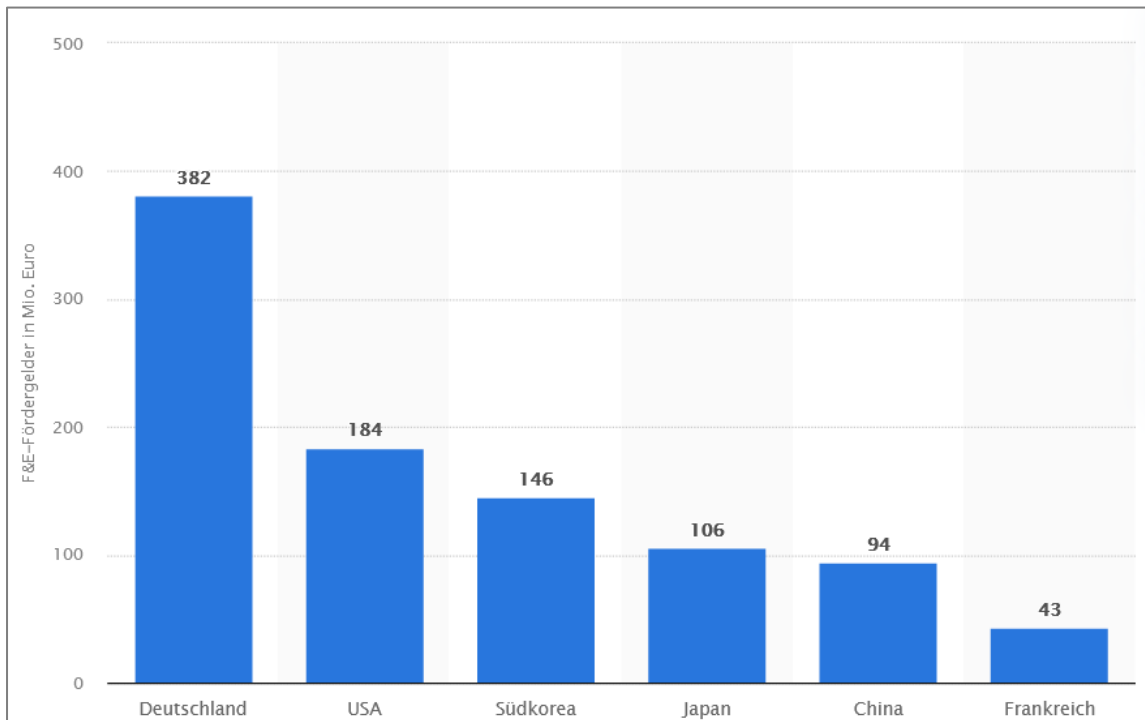


Abbildung 9: Höhe der Fördergelder für Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität in ausgewählten Ländern im Jahr 2018 in Millionen Euro (Statista, 2022)

Es wird deutlich, dass insbesondere die Forschungsförderung eine zentrale Rolle einnimmt – der nachfolgende Abschnitt geht daher explizit auf die Forschungsförderung ein.

2.3.2 Forschungsförderung

Deutschland soll laut der NPE Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität werden. Aus ökologischer Sicht ist es sinnvoll, die entsprechende FuE zügig voranzutreiben, werden durch den Einsatz von Elektromobilität doch mittel- bis langfristig Emissionen reduziert und Ressourcen geschont. Aufgrund einer von Evaluierungsberichten unabhängiger Institute gestützte Förderung konnten Projekte früher durchgeführt werden, die ansonsten erst sehr viel später realisiert worden wären. Aus ökonomischer Sicht stärkt die Förderung von Projekten zur FuE die Wettbewerbsposition deutscher Unternehmen und die damit verbundenen Arbeitsplätze.

Daher ist gemäß der NPE (2010a) in Deutschland auch gerade die Förderung von FuE bei Batterien, Leistungselektronik und Elektromotoren mittel- bis langfristig von großer Bedeutung dafür, die Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Elektromobilität auf- und auszubauen.

Die Elektromobilität wird in den nächsten beiden Jahrzehnten sowohl im privaten als auch im öffentlichen Bereich ein wichtiger Bestandteil unseres modernen Mobilitätssystems werden. In einer Studie (NPE, 2010a) wurde auf der Basis der Marktvorbereitung und des bisherigen Markthochlaufs sowie ausgehend von den aktuellen Förderprogrammen eine Prognose des Markthochlaufs bis 2025 berechnet.

Abbildung 10 veranschaulicht, dass es für Kommunalfahrzeuge unter der Maßnahme „Öffentliches Beschaffungsprogramm“ ein Maßnahmenpaket gibt. Somit ist eine deutliche Zunahme von Elektromobilität im kommunalen Sektor zu erwarten. In Deutschland wurden bis zum 1. April 2023 etwa 1 Millionen Elektroautos neu zugelassen. Bei der Betrachtung der Prognose sollte dieses Ziel bereits 2020 erreicht worden sein.

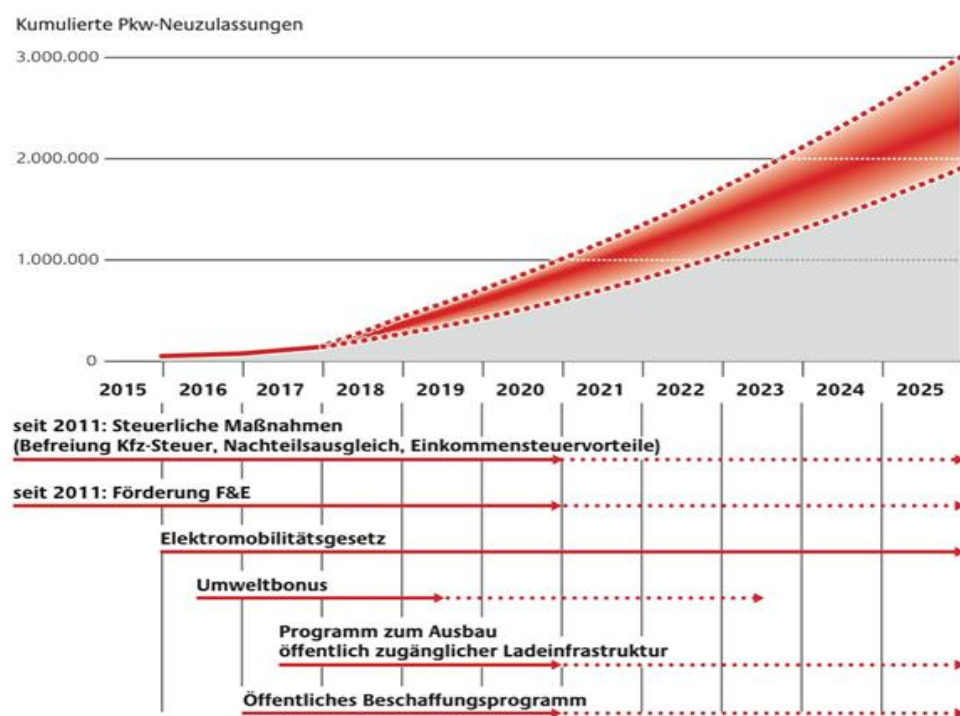


Abbildung 10: Prognose des Markthochlaufs (NPE, 2018)

2.3.3 Monetäre- und nichtmonetäre Maßnahmen

Aktuell sind auf dem Fahrzeugmarkt für PKWs über alle Fahrzeugsegmente hinweg mehr als 30 elektrische Fahrzeugmodelle deutscher Hersteller verfügbar. Die Voraussetzungen, um die in **Kapitel 2.1** genannten Ziele zu erreichen, sind demnach geschaffen. Die Arbeitsgruppe 4 der Bundesregierung ist für die „Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung“ verantwortlich und hat daher die nachhaltige Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes

Deutschland im Fokus. Seitdem sind verschiedene Grundlagen und Maßnahmen beschlossen und implementiert worden:

- „Seit 2011: Monetäre Maßnahmen wie die Befreiung von der Kfz-Steuer für batterieelektrische Fahrzeuge oder der Nachteilsausgleich.
- Seit 2011: Förderung von Forschung und Entwicklung entlang der NPE-Roadmaps.
- Seit 2015: Rechtliche Maßnahmen, vor allem das Elektromobilitätsgesetz.
- Ab Juli 2016: Umweltbonus in Höhe von 4.000 Euro für batterieelektrische Fahrzeuge und 3.000 Euro für Plug-In-Hybride. Antragsberechtigt sind: Privatpersonen, Unternehmen, Stiftungen, Körperschaften und Vereine. Bundesregierung und Automobilindustrie tragen jeweils die Hälfte des Zuschusses. Insgesamt beträgt die Fördersumme 1,2 Milliarden Euro.
- Öffentliches Beschaffungsprogramm: Ab 2017 sollen mindestens 20 Prozent der neu angeschafften Pkw im Fuhrpark des Bundes Elektrofahrzeuge sein. Dafür werden 100 Millionen Euro bereitgestellt.
- Öffentliche Investitionen in eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur in Höhe von 300 Millionen Euro bis Ende 2020.
 - Für die Zukunft empfiehlt die NPE folgende flankierende Maßnahmen:
- Weitere Förderaufrufe zum Ausbau der Ladeinfrastruktur
- Bessere rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen für Ladeinfrastrukturen in gemeinschaftlich genutztem privatem Parkraum (zum Beispiel in Mehrfamilienhäusern)
- Investitionen für Netzinfrastrukturen erhöhen, um intelligente Netze zu schaffen
- Forschungs- und Entwicklungsausgaben sind im Bereich Fahrzeugtechnologie für den Zeitraum von 2018 bis 2020 weiterhin erforderlich
- Forschung und Entwicklung in Material-, Zell- und Batterietechnologie sowie -produktion sind mit hoher Intensität fortzusetzen
- Etablierung von Fördermaßnahmen für elektrische Nutzfahrzeuge und Busse prüfen.“ (NPM, 2020)

Von diesen Maßnahmen profitieren nicht nur die PKW- und die Bussparte, sondern auch die Anwender und Hersteller in der kommunalen Wirtschaft.

2.3.4 Neue Mobilitätskonzepte

Das nationale Ziel, die THG-Emissionen im Verkehrssektor bis 2030 um 40 bis 42 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990 zu reduzieren (NPM, 2020), stellt das gesamte und bisher bewährte kommunale Mobilitätskonzept vor große Herausforderungen, bedeutet es doch auch hier eine tiefgehende Transformation. Das Ziel muss es sein, ein treibhausgasneutrales, ökonomisch tragfähiges und sozial ausgestaltetes Mobilitätssystem für private und kommunale Anwender zu schaffen. Dafür sind intensive gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Veränderungsprozesse im Bereich der Automobilwirtschaft, der Aufbauhersteller und des Mobilitätsverhaltens notwendig.

Um den Kommunen bei der Erstellung ihrer Mobilitätskonzepte Hilfestellung zu leisten, entwickeln Institutionen wie beispielsweise das Zukunftsnetz Mobilität NRW Handlungsempfehlungen. Das im Jahr 2021 herausgegebene Handbuch „Kommunale Mobilitätskonzepte“ wurde in Zusammenarbeit mit zahlreichen Experten aus der Praxis erstellt – im Vordergrund steht das Sammeln und Auswerten von ersten Praxiserfahrungen mit verschiedenen kommunalen Mobilitätskonzepten. Das Handbuch versteht sich somit als Wegweiser und kombiniert die Leitlinien der EU mit Hinweisen zur Verkehrsentwicklungsplanung, wie die untere **Abbildung 11** darstellt.



Abbildung 11: Die Rolle des Handbuchs für kommunale Mobilitätskonzepte (Zukunftsnetz Mobilität NRW, 2021)

Die Ausführungen im Rahmen des vorliegenden Kapitels konnten einen Einblick in die globalen und nationalen Bestrebungen im Bereich Klimaschutz geben. Es wurde deutlich, dass insbesondere die Bundesrepublik Deutschland als Vorreiter agiert und die Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte vorantreibt. Wie bereits einleitend angeführt, spielt die Elektromobilität in Bezug auf die Erreichung der Klimaziele eine besondere Rolle. Das nachfolgende Kapitel geht daher auf den Stand der Technik zum Thema Elektromobilität ein.

3 Elektromobilität: Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die Grundlagen sowie der Stand der Technik der allgemeinen Elektromobilität erarbeitet und zusammengefasst. Auf eine kurze Darstellung der wichtigsten Antriebskonzepte folgt eine technische Erläuterung der verschiedenen elektrischen Antriebsvarianten und eine Herausarbeitung der unterschiedlichen Merkmale.

Vor dem Hintergrund des Themas der vorliegenden Dissertation wird ein Einblick in den Stand der internationalen Forschung gegeben, wobei der Fokus der Literaturrecherche auf der Identifikation von wissenschaftlichen Publikationen zum Thema alternative Antriebe bei kommunalen Fahrzeugen liegt. Der Einblick in den Stand der internationalen Forschung zeigt auf, welche wissenschaftlichen Fragestellungen bislang schon bearbeitet wurden und welche Lücken bestehen. Auf Basis der Ergebnisse der Literaturrecherche erfolgt letztendlich die Identifikation einer Forschungslücke sowie des Mehrwertes der vorliegenden Dissertation.

3.1 Antriebskonzepte und -technologien

Alternative Antriebskonzepte gliedern sich in Hybridfahrzeuge (Hybrid Electric Vehicle – HEV), reine batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electric Vehicle – BEV) und Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV). Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die genannten Antriebskonzepte detailliert.

3.1.1 Definition Elektromobilität

Für den Begriff Elektromobilität existiert in der wissenschaftlichen Literatur zur Thematik keine einheitliche und damit allgemeingültige Definition – vielmehr lassen sich unterschiedliche Erklärungsansätze identifizieren.

Die Bundesregierung verfügt beispielsweise über eine eigene Definition und führt an, Elektromobilität umfasse

„[...] all jene Fahrzeuge, die von einem Elektromotor angetrieben werden und ihre Energie überwiegend aus dem Stromnetz beziehen, also extern aufladbar sind. Dazu gehören rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV), eine Kombination von E-Motor und kleinem Verbrennungsmotor (Range Extender, REEV) und am Stromnetz aufladbare Hybridfahrzeuge (PHEV).“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2022).

Das Gabler Wirtschaftslexikon (2022) schließt sich dieser Definition an, indem es Elektromobilität bezeichnet als

„[...] der Teil der Mobilität, für den elektrische Energie genutzt wird.“

Der Begriff Elektromobilität umfasst demnach die gesamte Bandbreite an elektrisch angetriebenen Fahrzeugen vom Pedelec und E-Bike bis hin zum elektrisch angetriebenen Bus. Ebenso werden Hybridsysteme, die gerne als Vorstufe vollelektrifizierter Fahrzeuge bezeichnet werden, unter dem Begriff Elektromobilität gefasst (BDEW, 2020). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf (teil-) elektrisch angetriebenen Kommunalfahrzeugen in der Straßenreinigung. In dieser Gruppe werden Kommunalfahrzeuge (z. B. Kehrmaschinen) erfasst, die Primärenergie entweder vollständig über einen Elektromotor beziehen oder neben dem Verbrennungsmotor über einen zusätzlichen Elektromotor verfügen. In den nachstehenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Varianten von Hybridfahrzeugen und vollelektrifizierten Fahrzeugen aufgeführt und deren Funktionsweise erläutert.

3.1.2 Hybridfahrzeuge

Der Begriff Hybrid kommt ursprünglich aus dem Griechischen und bedeutet „gemischt“ oder „von zweierlei Herkunft“. Ein Hybridfahrzeug setzt sich nach Kreyenberg (2016) aus mindestens zwei Energiespeichern und zwei Energiewandlern zusammen. Die Energiespeicher sind der Tank für den Kraftstoff (bei Nutzfahrzeugen meist Diesel) und der Akkumulator für die elektrische Energie, die Energiewandler der Verbrennungsmotor (Internal Combustion Engine – ICE) und der Elektromotor.

Gemäß Wallentowitz, Freialdenhoven und Olschewski (2010) werden Hybridkonzepte in folgende vier Klassen unterteilt: Mikrohybrid, Mildhybrid, Vollhybrid und Plug-in-Hybrid. Diese Einordnung basiert in der Hauptsache auf dem Grad der Elektrifizierung und dem Vorhandensein elektrischer Fahrzeugkomponenten. Zum einen ist die Leistung des Elektromotors ausschlaggebend, zum anderen sind die elektrisch durchführbaren Nebenfunktionen entscheidend, die vom Mikro-Konzept zum Plug-in-Konzept stetig zunehmen. Die absolute elektrische Antriebsleistung (PEM) beträgt bei einem Mikrohybrid weniger als 6 kW, bei einem Mildhybrid 6 bis 20 kW und bei einem Vollhybrid mehr als 40 kW (Stan, 2015). In den nachfolgenden Erläuterungen erfolgt die Unterteilung jedoch nach der Fahrzeugarchitektur, die, bedingt durch den Aufbau des Antriebsstranges, vorgegeben ist. Dabei wird zwischen seriellen Hybridfahrzeugen – HEV (S), Parallel-Hybridfahrzeugen – HEV (P) und Misch-Hybridfahrzeugen unterschieden (Kreyenberg, 2016).

Die nachfolgende **Abbildung 12** zeigt eine schematische Darstellung der möglichen Hybridantrieb Kombinationen von Verbrennungsmotor, E-Maschine, Generator, Batterie und Getriebe.

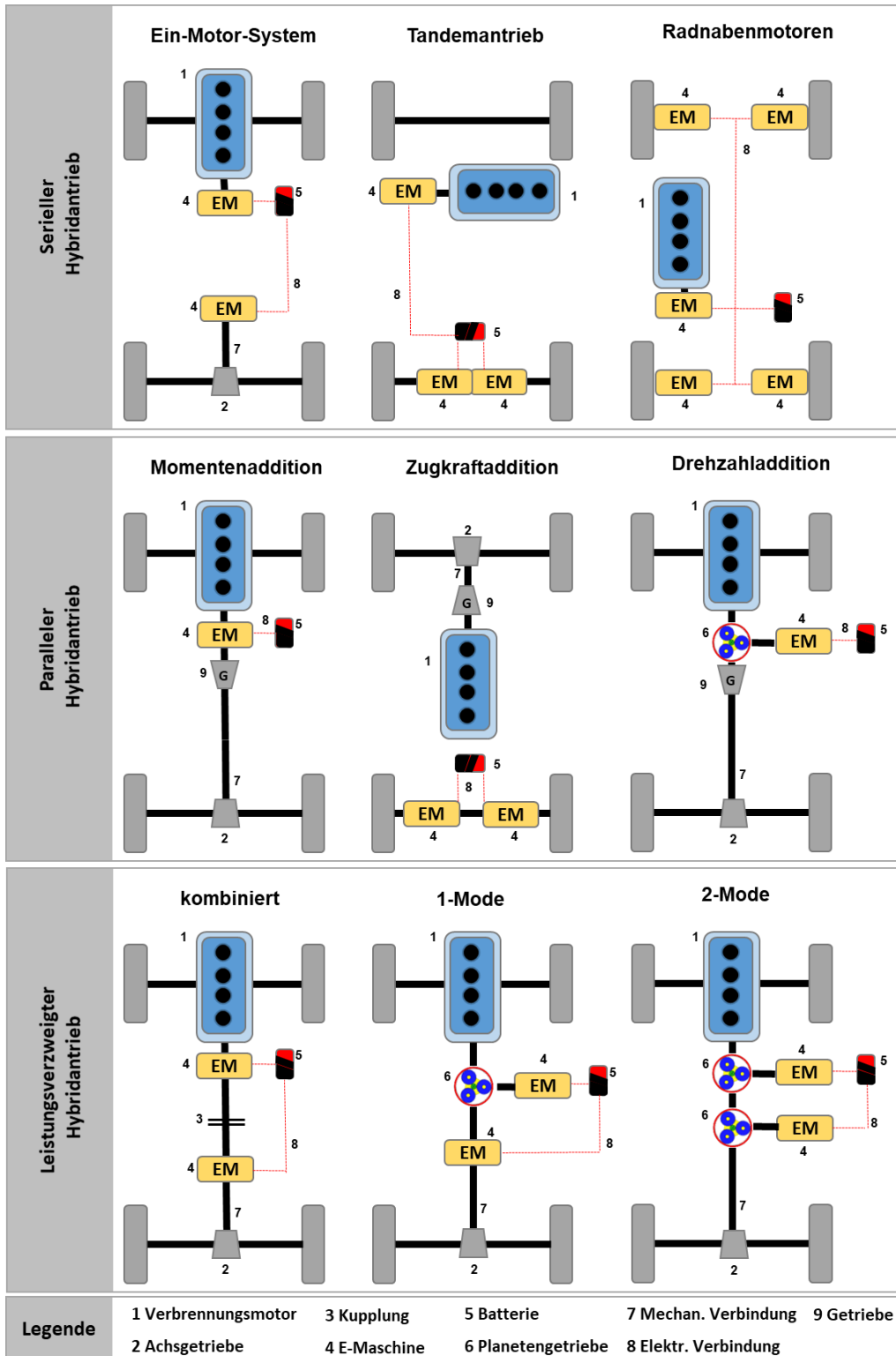


Abbildung 12: Schematische Darstellung unterschiedlicher hybrider Antriebsstränge (eigene Darstellung nach Hofmann, 2014)

Der Antriebsstrang des HEV (S) besteht aus einem Elektromotor und aus einem Verbrennungsmotor, der starr mit einem Generator gekoppelt ist. Der Fahrzeugantrieb erfolgt nur über den Elektromotor, da zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Antriebsstrang keine mechanische Verbindung besteht (Hofmann, 2010). Der Verbrennungsmotor und der Generator erzeugen die benötigte Antriebsenergie und übertragen diese zum elektrischen Antrieb. Darüber hinaus wandeln sie Energie zum Nachladen der Batterie um, und dies unabhängig vom Fahrzustand (vgl. Schema links in obiger **Abbildung 12**). Dadurch kann die Batterie auch während des Stillstandes geladen werden (Hofmann, 2010). Zur Gruppe der HEV (S) gehört nach Kreyenberg (2016) u. a. das Range Extended Electric Vehicle (REEV).

Den HEV (S) stehen die HEV (P) gegenüber, bei denen sowohl der Elektromotor als auch der Verbrennungsmotor mechanisch über das Getriebe mit dem Antriebsstrang gekoppelt sind (Kreyenberg, 2016). Sie realisieren den Antrieb je nach Konzept abhängig über reine Kraftstoffverbrennung, rein elektrisch oder mit beiden Antriebssträngen (Hofmann, 2014). Die Leistung der Energiewandler lässt sich, wie in obiger **Abbildung 12** dargestellt, durch ihre Parallelschaltung addieren. Dadurch ist es möglich, beide Antriebe individuell zu dimensionieren. Das Konzept des HEV (P) wird gemäß Hofmann (2014) je nach Anordnung des Verbrennungsmotors in die Kategorien P1 bis P4, wie in der **Abbildung 13** dargestellt, unterteilt.

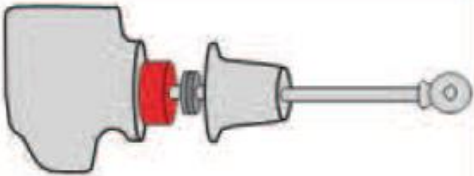
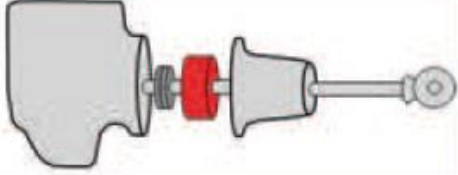
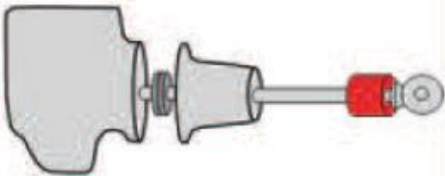
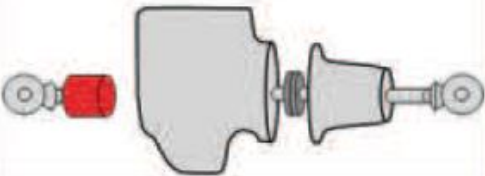
P1		E-Motor drehfest mit Verbrennungsmotor verbunden
P2		E-Motor am Getriebeeingang, durch Kupplung vom Verbrennungsmotor getrennt
P3		E-Motor hinter dem Getriebe
P4		E-Motor an separater, vom Verbrennungsmotor nicht angetriebener Achse

Abbildung 13: Nomenklatur für Parallel-Hybridantriebssysteme (Hofmann, 2014)

Neben den HEV (S) und den HEV (P) stellen die Mischhybridfahrzeuge die dritte große Gruppe dar. Der Aufbau ist mit den HEV (P) vergleichbar, jedoch zeichnen sich Mischhybridfahrzeuge im Vergleich mit anderen Hybridformen durch größere Batterien aus (Kreyenberg, 2016).

Für die Realisierung von Voll-Hybriden stellt die Batterietechnologie die größte Hürde dar. Im Vergleich zu Mikro- und Mild-Hybriden, die kein rein elektrisches Fahren ermöglichen, sind bei Voll-Hybriden wesentlich höhere Batteriekapazitäten erforderlich. Die möglichen elektrischen Reichweiten hängen von der eingesetzten Batterietechnologie ab und können durch den Fortschritt in der Batterieforschung in Zukunft deutlich erhöht werden (Kreyenberg, 2016).

Tabelle 2: Übersicht Funktionen, Charakteristika und Beispiele der verschiedenen Hybridvarianten (eigene Darstellung nach Hofmann, 2014)

Funktionen, Charakteristika und Beispiele	Autarker Hybrid			Plug-In-Hybrid		Batterie elektrisches Fahrzeug (BEV)
	Micro-Hybrid	Mild-Hybrid	Full-Hybrid	Klassische Auslegung	Batterie elektr. Fzg. mit Range Extender (REEV)	
Konstruktive Merkmale	Leistungsfähiger Anlasser und regelbarer Generator oder Riemenstarter-Generator (RSG)	Kurbelwellen-Starter-Generator (KSG)	Trennkupplung zum Verbrennungsmotor oder mehrere E-Maschinen	Wie Full-Hybrid aber mit zusätzlichem Anschluss zur Nachladung der Batterie über das externe Stromnetz	BEV mit Range Extender Einheit (z. B. Verbrennungsmotor) zur Reichweiten-Verlängerung	Batterie-elektrisches Fahrzeug
Hybridstrukturen	RSG (parallel)	KSG (parallel)	seriell, parallel, leistungsverzweigt	seriell, parallel, leistungsverzweigt	seriell, parallel, leistungsverzweigt	
Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> Start/Stop Eingeschränkt Rekuperation (über intelligentes Generator-Management) 	<ul style="list-style-type: none"> Start/Stop Rekuperation Boosten Generatorbetrieb Eingeschränkt E-Fahren bei niedrigen Geschw. 	<ul style="list-style-type: none"> Start/Stop Rekuperation Boosten Generatorbetrieb E-Fahrten für kurze Reichweiten 	<ul style="list-style-type: none"> Start/Stop Rekuperation Boosten Generatorbetrieb E-Fahrten für mittlere Reichweiten Ext. Nachladung 	<ul style="list-style-type: none"> E-Fahrten für größere Reichweiten (Hauptantrieb) Rekuperation Ext. Nachladung Range Extender Generatorbetrieb bei niedrigem Batterieladestandard 	<ul style="list-style-type: none"> E-Fahrten für größere Reichweiten Rekuperation
Leistung E-Maschine	2- 3 kW (8kW)	10- 15 kW	>> 25 kW	>> 25 kW	>> 40 kW	>> 40 kW
Spannungsniveau	12- 48 V	48- 150 V +12 V Bordnetz	> 200 V + 12 V Bordnetz	> 200 V + 12 V Bordnetz	> 200 V + 12 V Bordnetz	> 200 V + 12 V Bordnetz
Hybridisierungsgrad $P_e/(P_e+P_{Verb}) \times 100\%$	< 5 % (bei 48V bis 10 %)	5- 10 %	10- 50 %	30- 60 %	50- 80 %	100 %
Typische Batterietechnologie	Blei-Säure, Super Caps, AGM	NiMH, Li-Ion, Super Caps, +Blei-Säure	NiMH, Li-Ion, (+Blei-Säure)	NiMH, Li-Ion, (+Blei-Säure)	Li-Ion, (+Blei-Säure)	Li-Ion, (+Blei-Säure)
Batteriekapazität	<< 1 kWh	< 1 kWh	1- 5 kWh	5- 10 kWh	8- 15 kWh	> 15 kWh
Energiezufuhr	Kraftstoff (Tankstelle)					Strom aus Stromnetz
Verbrauchseinsparung (CO ₂) ^a (NEFZ basiert)	5- 10 %	10- 20 %	> 15 %	- 50 %	- 50 %	100 %
Ausgeführte Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> BMW 1er und 3er efficient Dynamics Smart mhd Mercedes A, B-Klasse 	<ul style="list-style-type: none"> Honda Insight IMA Mercedes S400h Honda CR-Z 	<ul style="list-style-type: none"> Toyota Prius Mercedes E300 BlueTEC Hybrid Audi Q5 Hybrid 	<ul style="list-style-type: none"> Toyota Prius Plug-In Volvo V60 Plug-In-Hybrid Audi Duo 1997 	<ul style="list-style-type: none"> Opel Ampera (Chevrolet Volt) Audi A1 e-tron 	<ul style="list-style-type: none"> Mitsubishi i-MiEV Nissan Leaf Smart fortwo electric drive

^a Strom aus Stromnetz wird beim Verbrauch nicht berücksichtigt bzw. als „CO₂-frei“ bewertet.

Die **Tabelle 2** veranschaulicht die Grundstrukturen der Kombinationen von Verbrennungsmotor, E-Maschine, Generator, Batterie und Getriebevarianten für Hybridantriebe. Beispiele für den jeweiligen praktischen Einsatz ergänzen die Übersicht.

Im Vergleich zur seriellen Struktur sind bei aktuellen Fahrzeugen parallele oder leistungsverzweigte Hybridstrukturen weit verbreitet.

3.1.3 Vollelektrifizierte Fahrzeuge

Beim BEV wird der bisherige Verbrennungsmotor komplett durch einen Elektromotor ersetzt. Als Energiewandler dienen Batterie und Leistungselektronik. Der Systemaufbau des Antriebsstranges wird dadurch vereinfacht (vgl. **Abbildung 14**) und besteht aus den Komponenten Energiespeicher, Elektromotor und Steuergeräte (Wallentowitz et al., 2010).

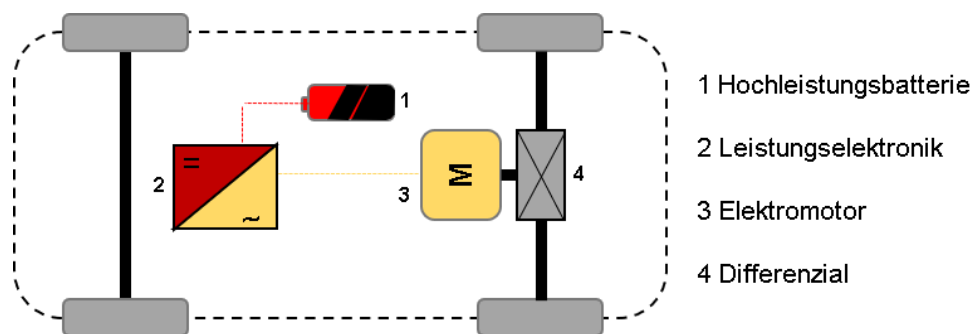


Abbildung 14: Aufbau eines vollelektrifizierten Fahrzeuges (eigene Darstellung nach Eckstein, 2010)

Der Strom wird von außen zugeführt, z. B. über eine Ladestation der Batterie. Der Energiespeicher versorgt den Antriebsstrang mit der notwendigen Energie, d. h. alle Nebenverbraucher wie Heizung, Klimaanlage, Auf- und Ausbau werden damit versorgt (Kreyenberg, 2016). Im Gegensatz zu einem vollelektrifizierten Fahrzeug kann die Beheizung bei einem konventionellen Fahrzeug ohne zusätzlichen Energieaufwand erfolgen, da der Verbrennungsmotor ausreichend Motorwärme bereitstellt.

3.1.4 Brennstoffzellenfahrzeuge

Der sogenannte Brennstoffzellenstack dient den Brennstoffzellenfahrzeugen als Antrieb. Hier wird durch einen elektrochemischen Umwandlungsprozess Energie erzeugt. Die chemische Energie wird dabei direkt in elektrische Energie umgewandelt, ohne den Umweg über Wärmeenergie oder mechanische Energie zu gehen.

Reaktanden wie Wasserstoff und Sauerstoff reagieren miteinander und elektrische Energie sowie Wasser entstehen. Die freigesetzte elektrische Energie kann anschließend in einem Energiespeicher (z. B. in einer Batterie) zwischengespeichert werden, der den Elektromotor des Fahrzeuges antreibt. Dabei sorgt die Umgebungsluft für die notwendige Bereitstellung des Sauerstoffs. Als zweiter Reaktand wird Wasserstoff vorwiegend in Wasserstofftanks im Fahrzeug mitgeführt. Dieser kann aber auch an Bord des Fahrzeuges mittels Reformer aus Erdgas oder Methanol erzeugt werden (Naunin, 2007). **Abbildung 15** zeigt den schematischen Aufbau eines Brennstoffzellenfahrzeuges.

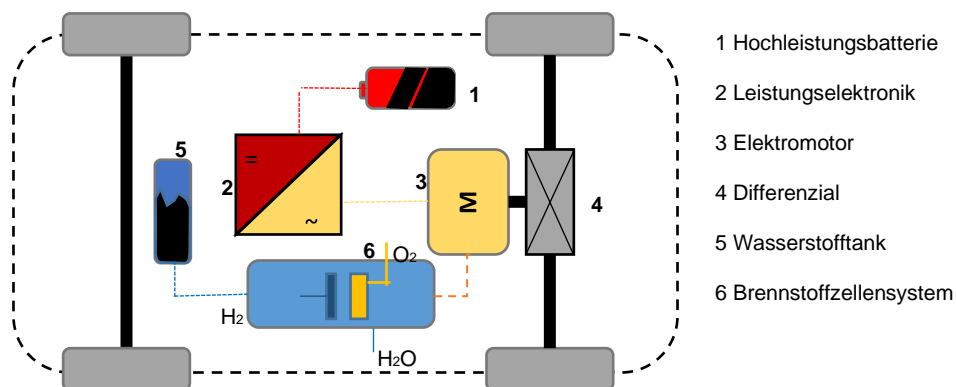


Abbildung 15: Schematische Darstellung eines Brennstoffzellenfahrzeuges (eigene Darstellung nach Naunin, 2007)

Als Ergänzung zur Hochvoltbatterie, die als Energiespeicher für den Elektromotor bereitsteht, kann die Brennstoffzelle unmittelbar elektrische Energie zum Antrieb des Fahrzeuges liefern. Der notwendige Wasserstoff wird dabei in Drucktanks mit 350 bis über 700 bar im Fahrzeug mitgeführt (Eckstein, 2010). Einen wesentlichen Vorteil gegenüber batterieelektrischen Fahrzeugen haben Brennstoffzellenfahrzeuge aufgrund ihrer höheren Reichweiten, da sie als Alternative beziehungsweise ergänzende Antriebstechnologie, ähnlich wie konventionelle Fahrzeuge, relativ schnell (mit Wasserstoff) betankt werden können. Voraussetzung für den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen ist eine flächendeckende Tankstelleninfrastruktur, die derzeit aber in Deutschland nicht vorhanden ist.

3.1.5 Elektrifizierte Kehrmaschinen

In den **Kapiteln 3.1.2 bis 3.1.4** wurden die unterschiedlichen alternativen Antriebskonzepte, die u. a. in Kehrmaschinen eingesetzt werden können, vorgestellt. Der im Fahrgestell verbaute Antriebsstrang stellt die erste der drei Hauptkomponenten einer Kehrmaschine dar. Die zweite Komponente ist der Aufbau, ein Sammelbehälter, in dem der Kehrriecht gesammelt wird. Das Volumen umfasst bei Großkehrmaschinen (GKM) in der Regel 6 m^3 (Geist & Schröder, 2010). Als dritte Komponente gibt es den Anbau, der im Wesentlichen aus einem Rotationsbesen und einem Ventilator besteht, die einen Unterdruck erzeugen, um den Kehrriecht in den Sammelbehälter zu saugen. Die Primärenergiequelle einer konventionellen Kehrmaschine ist der Dieselmotor, der mit Dieselmotorkraftstoff versorgt wird. Diese Energiequelle sorgt nicht nur für den Antrieb der Kehrmaschine, sondern versorgt auch alle Nebenverbraucher.

Eine rein elektrisch angetriebene Kehrmaschine benötigt die für einen Verbrenner typischen Nebenverbraucher (Hochdruckpumpe, Kraftstoffeinspritzung, Ölpumpe oder Kühlmittelpumpe) nicht (Hilgers, 2016). Sämtliche Nebenverbraucher einer rein elektrisch angetriebenen Kehrmaschine, wie z. B. die Rotationsbesen, die Klimaanlage oder die Heizung, werden ausschließlich über die Batterie versorgt (Kreyenberg, 2016).

3.2 Batterietechnologien

In elektrisch angetriebenen Fahrzeugen können wiederaufladbare Sekundärzellen (Akkumulatoren) Anwendung finden, wenn diese einen umkehrbaren Entlade- und Ladevorgang zulassen. Die Sekundärzellen unterscheiden sich durch die verwendeten Anoden- und Kathodenmaterialien, Elektrolyte oder Betriebstemperaturen (Peters et al., 2012). Je nach Anforderungen, die ein Elektrofahrzeug zu erfüllen hat, können unterschiedliche Batteriesysteme als Energiespeicher eingesetzt werden. Energie- und Leistungsdichten charakterisieren die elektrochemischen Energiespeicher.

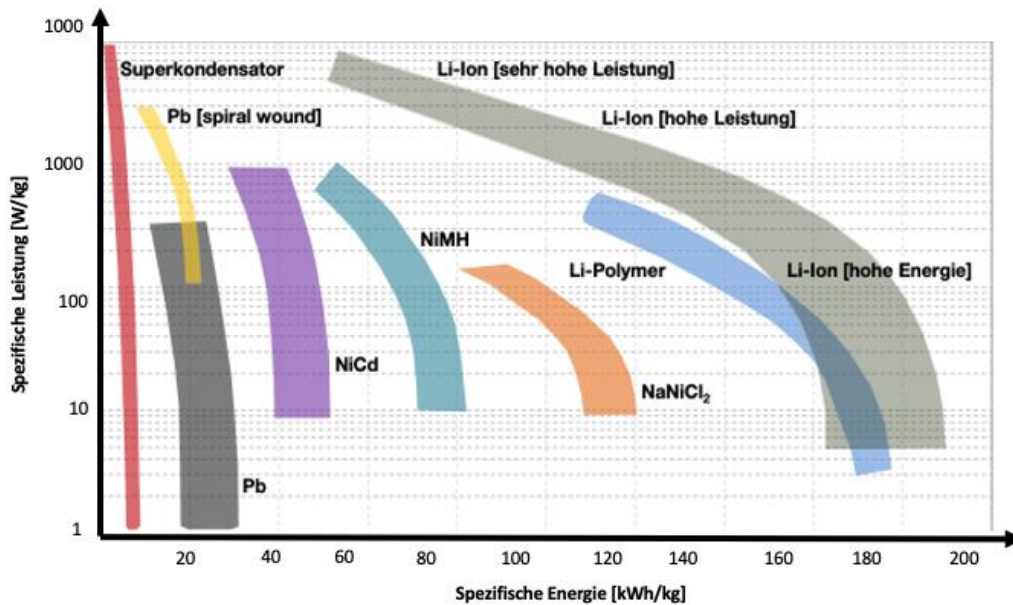


Abbildung 16: Spezifische Leistung aufgetragen über die spezifische Energie (eigene Darstellung nach Wallentowitz, 2011)

Vor allem Lithium-Ionen-Zellen (Li-Ion) und Lithium-Polymer-Zellen (Li-Polymer) können je nach Ausführung eine große Bandbreite an spezifischen Energien sowie spezifischen Leistungen, wie in obiger **Abbildung 16** zu sehen, abdecken. Somit sind sie in der Elektromobilität vielseitig einsetzbar. Basierend auf einer Blei- (Pb), Nickel-Cadmium- (NiCd), Nickel-Metallhydrid- (NiMH) oder Natrium-Nickelchlorid-Technologie (NaNiCl₂) sind weitere Batterietypen einsetzbar.

Unabhängig von der Steigerung der Energie- und Leistungsdichte sind nach Wallentowitz (2011) bei der Auswahl zukünftiger Batteriesysteme weitere Aspekte wie Sicherheit, Kosten, Lebensdauer und Zyklenbeständigkeit der Batterie im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen.

3.2.1 Lithium-Ionen-Batterie

Aufgrund der hohen Energie- und Leistungsdichte der auf Li-Ionen basierenden Batterietechnologie deckt diese nicht nur eine große Bandbreite ab, sondern ist die Batterietechnologie mit den größten Entwicklungspotenzialen. Sie steht deshalb derzeit im Hauptfokus der Batterieforschung für den elektromobilen Einsatz. In der Konsumelektronik ist diese Technologie bereits gelebte Praxis.

In den heutigen Elektrofahrzeugen werden häufig NiMH-Batterien eingesetzt. Bei einer Verwendung der Li-Ion-Technologie kann bei gleicher Energiedichte eine Volumeneinsparung von etwa 30 % sowie eine Masseneinsparung von bis zu 50 % erreicht werden (Wallentowitz, 2011). Schnellere Ladevorgänge, eine höhere Lebensdauer sowie gesteigerte Leistungsdichten sind weitere Vorteile gegenüber NiMH-Systemen (Wallentowitz, 2011).

Grundsätzlich lassen sich die Leistungs- und die Energiedichte des Batteriesystems über die Materialauswahl für Anode, Kathode und Elektrolyt beeinflussen. Kommerziell verfügbare Li-Ionen-Akkumulatoren besitzen meist eine Anode aus amorphem Kohlenstoff, dessen benötigte Menge durch den Einsatz von Graphit reduziert werden kann (Peters et al., 2012). Sehr hohe Energiedichten weisen z. B. Lithium-Nickel-Kobalt-Batterien auf. Batterien mit einer Lithium-Titanat-Anode haben im Vergleich relativ hohe spezifische Leistungen und sind schnellladefähig. Zu akzeptablen spezifischen Leistungs- und Energiedichten führt das Kathodenmaterial Lithium-Eisenphosphat (LiFePO_4), das hinsichtlich Kosten, Zyklfestigkeit, Sicherheit und Ladezeiten als sehr positiv bewertet werden kann. Vor allem Hersteller aus China setzen diesen Batterietyp als Traktionsbatterie für batterieelektrische Fahrzeuge ein (Wallentowitz, 2011).

Die Entwicklung und Verbesserung bekannter und bereits verfügbarer Li-Ionen-Akkumulatoren sind Gegenstand der aktuellen Forschung und liefern mögliche Technologien für den zukünftigen Einsatz in Elektrofahrzeugen unterschiedlichster Art (Peters et al., 2012).

Lithium-Schwefel-Akkumulatoren sind noch in einem frühen Entwicklungsstadium und werden erst nach 2020 erwartet. Die Akkumulatoren sind umweltfreundlicher und leistungsfähiger als herkömmliche Li-Ion-Systeme, weisen aber noch hohe Sicherheitsmängel auf. Außerdem haben sie nur eine geringe Lebensdauer. Die Ausführung der Anode besteht aus Schwefel oder einer Schwefelverbindung. Gegenüber herkömmlichen Li-Ionen-Systemen ist damit theoretisch eine drei- bis viermal höhere spezifische Energie möglich (Wallentowitz, 2011).

Es ist davon auszugehen, dass nach dem Jahr 2030 die Entwicklung eines Lithium-Luft-Akkumulators abgeschlossen sein wird. Die Anfertigung der Kathode erfolgt bei dieser Batterie aus Kohlenstoff, da dies eine poröse und luftdurchlässige Struktur ermöglicht. Die Anode besteht aus metallischem Lithium. Die Anodengröße bestimmt die Kapazität der Batterie, da die Luft aus der Umgebung entnommen werden kann. Im Vergleich zu herkömmlichen Li-Ionen-Akkumulatoren wird mit sieben- bis zehnmals höheren Energiedichten gerechnet (Wallentowitz, 2011). In dieser Hinsicht kann das System daher als das Optimum bei lithiumbasierten Technologien angesehen werden.

Derzeit sind die Li-Ionen-Systeme die Technologie mit dem besten Potenzial sowohl für den Einsatz in der Kommunal- als auch in der Automobilindustrie. Es werden lediglich Energiedichten zwischen 170 und 200 Wh/kg auf Zellebene sowie Leistungsdichten von 800 bis 1.000 W/kg realisiert (Wallentowitz, 2011).

Zusammenfassend sind folgende Verbesserungspotenziale so schnell wie möglich in der Batterietechnologie umzusetzen:

- deutliche Steigerung der Energiedichte
- weitere Senkung der Produktionskosten
- Verlängerung der Batterielebensdauer

Nur Länder wie China, Japan, USA, Frankreich und Deutschland, die sehr intensiv in die FuE investieren, werden sich auf Dauer auf dem Markt etablieren können.

3.2.2 Brennstoffzelle

Neben der Li-Ionen-Technologie darf die Brennstoffzellen-Technologie nicht übersehen werden. Die Brennstoffzelle, ein von Schönbein und Grove entdecktes Prinzip (Kurzweil, 2013), als Komplementärtechnologie mit einer Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle erreicht heute schon Energiedichten und Reichweiten, die mit der Li-Ionen-Technologie, unabhängig in welcher Form, wenn überhaupt, dann erst in ferner Zukunft erreicht werden könnten.

Brennstoffzellen sind modular aufgebaut und besitzen elektrochemische Zellen, mit denen die chemische Energie mit Sauerstoff (O_2) kontinuierlich in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Sie arbeiten sehr effizient und kommen hauptsächlich in molekularer Form in Wasserstoff (H_2), Methanol (CH_3OH) und bedingt auch in Methan (CH_4) bei sehr hohen Reaktionstemperaturen vor. Das direkte Einsetzen von gewöhnlichen Brennstoffen ist so nicht möglich, daher müssen diese durch eine chemische Reformierungsaktion in Wasserstoff (H_2) umgewandelt werden.

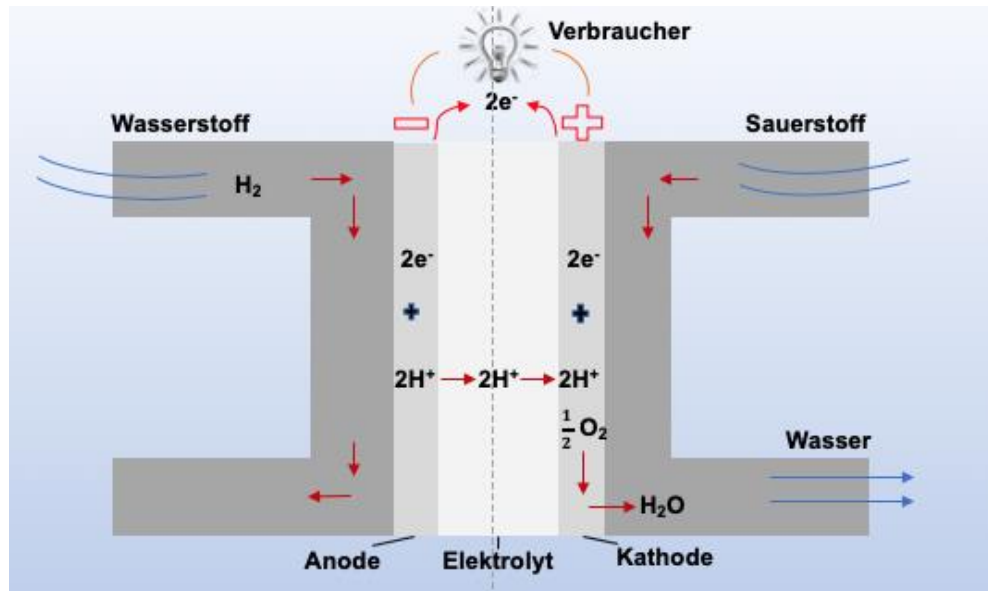


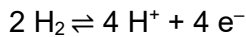
Abbildung 17: Funktionsprinzip von Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen (eigene Darstellung nach U.S. DOE, 2003)

Die Polymer Electrolyte Fuel Cell – PEFC (Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen) gilt als ausgereifte Technologie und kommt überwiegend in Brennstoffzellenfahrzeugen zum Einsatz. Die oben skizzierte Darstellung (**Abbildung 17**) einer Brennstoffzelle zeigt als zentrale Komponente die Membran-Elektroden-Einheit (MEA), bestehend aus einer Elektrolytfolie beziehungsweise einer Polymermembran mit Anode und Kathode aus Kohlenstoff.

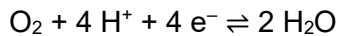
Zum Zweck effizienterer und schnellerer Reaktionsabläufe wird auf die porösen aktiven Schichten (Elektroden) ein Katalysator in Form von fein verteiltem Platin aufgebracht. Die Polymermembran trennt die beiden Reaktanden Wasserstoff und Sauerstoff räumlich voneinander. Nach den Elektroden folgen poröse Stützstrukturen (Gasdiffusionslagen), deren Aufgabe es ist, die Ausgangsstoffe Wasserstoff und Sauerstoff fein über die Elektrodenflächen zu verteilen. Schließlich werden die Zellen von beiden Seiten mit elektrisch leitenden Bipolar- oder Flussfeldplatten abgeschlossen. Über die eingearbeiteten Kanäle (Flussfeldplatten) werden die Brennstoffe zu- beziehungsweise das Reaktionsprodukt Wasser abgeführt (Wallentowitz, 2011).

Abbildung 17 beschreibt die komplexen Vorgänge innerhalb der MEA der Brennstoffzelle. Zunächst findet eine Oxidation (d. h. Elektronenabgabe) von Wasserstoff auf der Anodenseite statt. Während Wasserstoff-Ionen durch die protonenleitende Membran auf die Kathodenseite wandern, werden Elektronen über den äußeren Stromkreis verschoben.

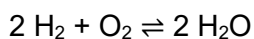
Diese Reaktion wird anhand der nachstehenden Gleichung beschrieben:



Eine Reduktion oder Elektronenaufnahme von Sauerstoff erfolgt auf der Kathodenseite. Durch das Abgas verlässt das entstehende Produktwasser die Zelle. Die Reduktion wird in der folgenden Gleichung zusammengefasst:



In der nächsten Gleichung ist eine Redoxreaktion als Zellreaktion im Gesamtsystem festzustellen:



Die maximal mögliche Zellspannung (reversibles Zellpotenzial) liegt bei Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen unter Standardbedingungen (bei 298 K, 1.013 mbar) bei:

$$E_0 = E_{\text{Kathode}} - E_{\text{Anode}} = 1,23 \text{ V}$$

Aufgrund von Verlusten wie Aktivierungs-, Widerstands- und Diffusionsüberpotenzialen erreichen PEFCs lediglich Zellspannungen von ca. 1,0 V. Darüber hinaus beschränken thermodynamische Gründe den Anteil der Reaktionswärme, die wiederum in elektrische Energie umgesetzt werden kann.

Dieser maximal mögliche Anteil wird durch die freie Enthalpie oder Gibb'sche Energie ΔG beschrieben. Könnten die elektrochemischen Reaktionen reversibel ablaufen, dann könnte die gesamte Reaktionswärme vollständig in elektrische Energie umgewandelt werden. Da dies nicht der Fall ist, liegt der maximale theoretische Wirkungsgrad des elektrochemischen Umwandlungsprozesses bei $\eta_{\text{ideal}} = 83 \%$. Auf der Zellebene beträgt der elektrische Wirkungsgrad derzeit zwischen 50 und 68 % (Kurzweil, 2013).

Meist werden mehrere Einzelzellen zu einem Brennstoffzellenstack zusammengeschaltet. Dies ermöglicht eine hohe Energiedichte der Stacks und eine kompakte Bauform, die somit für den Einsatz in Fahrzeugen geeignet ist. Das System kann nur optimal betrieben werden, wenn zusätzlich die aus Pumpen, Kompressoren, Heizung, Kühlung, Wechselrichter und elektrischem Antrieb bestehende Peripherie verbaut ist. Die Lebensdauer für die PEFC liegt derzeit zwischen 1.700 und 2.000 Betriebsstunden (Kurzweil, 2013). Dies entspricht einer Fahrleistung von rund 100.000 km. Die Zellentwicklung schreitet voran und für die Zukunft wird sogar eine Lebensdauer von 5.000 Betriebsstunden erwartet (Peters et al., 2012).

Die Lebensdauer hängt in hohem Maße von der Betriebsweise der Brennstoffzelle, insbesondere von den Ein- und Ausschaltvorgängen, ab und kann bei optimiertem Einsatz auf bis zu 12.000 Betriebsstunden gesteigert werden (Peters et al., 2012).

Damit sich die Brennstoffzellen-Technologie etablieren und in Serie gehen kann, sind noch weitere, mit hohen Investitionskosten seitens der Automobilhersteller verbundene Entwicklungsaktivitäten notwendig. Dazu zählen u. a. der Ausbau der Tankstellennetzinfrastruktur sowie die einfache, sichere und schnelle Betankung der Brennstoffzellen-Fahrzeuge. Letztlich müssen auch die Vorbehalte der Kunden im Hinblick auf die Sicherheit ausgeräumt werden.

3.3 Ladetechnologien und Ladekonzepte

Die Ladeinfrastruktur ist eine maßgebliche Voraussetzung, da sie nicht nur öffentliche, sondern auch private Einrichtungen betrifft. In beiden Bereichen ist der Ausbau der Ladeinfrastruktur bis zum Jahr 2030 unbedingt erforderlich. Damit wird nicht nur dem privaten Nutzer, sondern auch dem kommunalen Anwender Sicherheit signalisiert und Gewährleistung gegeben, dass jederzeit nachgeladen werden kann. Je nach Infrastruktur und Ladezeit kann zwischen einer Normalladung (AC) und einer Schnellladung (DC) gewählt werden. Das Laden des Elektrofahrzeuges sollte genauso flexibel, unkompliziert und sicher sein, wie die Betankung eines konventionellen Fahrzeugs. Es gibt verschiedene technologische Möglichkeiten, eine Batterie zu laden, die nachstehend kurz erläutert werden.

Das Laden von Elektrofahrzeugen erfolgt in der Regel mithilfe eines Kabels oder kabellos über eine externe Ladeeinheit. Dadurch kann die Batterie direkt im Fahrzeug geladen werden. Die passende Ladetechnologie sollte im Fahrzeug vorhanden sein. In **Abbildung 18** werden die verschiedenen Ladekonzepte übersichtlich dargestellt.

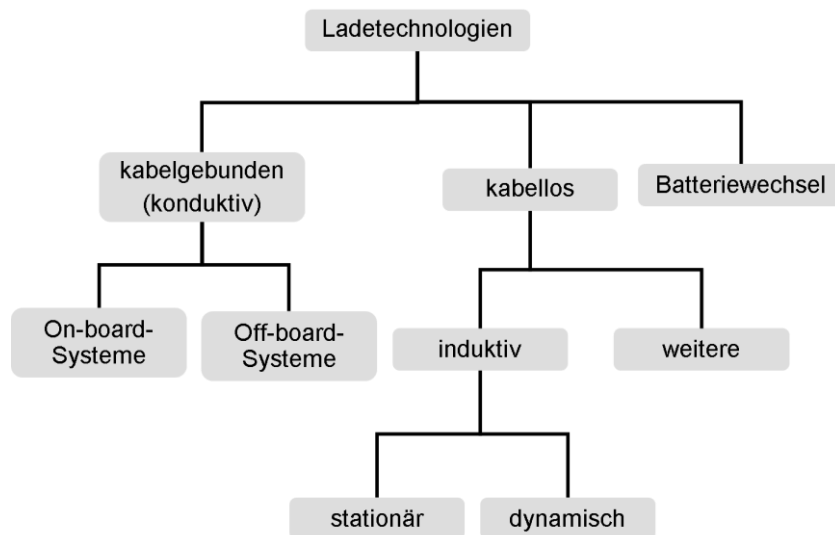


Abbildung 18: Übersicht über verschiedene Ladetechnologien (eigene Darstellung nach Peters et al., 2012)

Als konduktives Laden wird das kabelgebundene Laden bezeichnet. Beim kabellosen Laden wird die Energie ohne physisch bestehenden elektrischen Kontakt übertragen. Die theoretische Möglichkeit der kabellosen Energieübertragung ist nur als induktiver Ladevorgang praktikabel (Schraven, Kley & Wietschel, 2011). Darüber hinaus gibt es noch die Möglichkeit, eine leere Batterie aus dem Fahrzeug zu entnehmen und durch eine vollgeladene Batterie auszutauschen. Beim Batteriewechselkonzept wird die leere Batterie extern in einer Station aufgeladen und steht danach wieder zur Verfügung.

Elektrofahrzeuge wie beispielsweise batterieelektrische Fahrzeuge oder Plug-in-Hybridfahrzeuge sind auf bestimmte Ausführungen von Ladeinfrastruktur zum Laden ihrer Traktionsbatterien angewiesen. Die Ladekonzepte können dabei unterschiedliche Ausprägungen haben und bieten mehrere Möglichkeiten, damit eine Fahrzeugbatterie geladen werden kann. Welche Ladekonzepte im Einzelnen welche Stärken und Schwächen aufweisen, wird in der nachfolgenden **Tabelle 3** aufgezeigt.

Tabelle 3: Stärken und Schwächen der verschiedenen Ladetechnologien (eigene Darstellung nach Kley, 2011)

Technologie	Stärken	Schwächen
konduktiv	Einfaches System; hohe Übertragungsleistung; Standards weitestgehend entwickelt; Informationen zur Ladesteuerung per Kabel gut zu übermitteln; private Lademöglichkeiten z. T. schon vorhanden beziehungsweise leicht installierbar.	Öffentlich zugängliche Ladestationen sind Witterungseinflüssen und Vandalismus ausgesetzt.
induktiv	Wegfall des Kabels und damit kein Nutzereingriff; geringer Verschleiß; kein Vandalismus und keine Witterungseinflüsse; berührungssicher und spannungsfrei.	Niedrige Anschlussleistungen; hohe Investitionskosten in Infrastrukturausbau nötig; niedriger Übertragungswirkungsgrad; Rückspeisung nicht möglich.
Batteriewechsel	Ermöglicht kurze Stopps und eine rasche Weiterfahrt; wenn ausreichende Anzahl von Wechselstationen vorhanden, wäre ein breiter Einsatz von Batteriefahrzeugen durch Erhöhung der Reichweite möglich.	Der Batteriewechsel ist technisch sehr aufwendig; eine massive Änderung des Fahrzeugaufbaus ist notwendig, da die Batterie nur im Unterboden einsetzbar ist; verschiedene Batteriegrößen erhöhen die Kapitalbindungskosten; hohe Investitionen in die Infrastruktur sind nötig; durch die Nutzung von Fremden entsteht ein höherer Verschleiß; Beschädigungen beim Tausch möglich.

Aus rein technischer Sicht ist die konduktive Ladung besonders einfach und bietet ein breites Spektrum an Anschlussleistungen. Induktive Ladekonzepte sind aufgrund ihrer niedrigen Anschlussleistungen und der relativ geringen Übertragungswirkungsgrade nicht so breit einsetzbar. Derzeit sind stationäre induktive Ladungssysteme in einer Demonstrationsphase und könnten sich ggf. in verschiedenen Nischen durchsetzen. Eine dynamische induktive Ladung bringt die komplexe Herausforderung mit sich, das heutige Straßennetz mit Linienleitern zu versehen und die benötigten Anschlussleitungen zur Verfügung zu stellen.

Aus diesem Grund erscheint sie technisch wie auch finanziell in absehbarer Zukunft nicht breit realisierbar. Das Batteriewechselsystem könnte ähnlich wie das Tanken konventioneller Fahrzeuge kurze Standzeiten ermöglichen. Jedoch sprechen die massiven konstruktiven Änderungen des Fahrzeugaufbaus und die notwendige Standardisierung der Batterie gegen ein solches System. Zudem scheinen der zu erwartende hohe Verschleiß der Batterien und die enormen Investitionskosten für die Infrastruktur ein zu hohes Risiko zu sein.

Aus den genannten Gründen ist es aus heutiger Sicht eher unwahrscheinlich, dass ein breitgefächertes Batteriewechselsystem auf den Markt kommt. Das einfache und kostengünstige Laden mit dem Kabel ist daher wahrscheinlicher.

3.4 Internationale Forschung: Alternative Antriebe bei kommunalen Fahrzeugen

Elektromobilität beziehungsweise die Forschung im Bereich alternativer Antriebe bei Fahrzeugen ist kein nationales Phänomen. Weltweit beschäftigen sich zahlreiche Wissenschaftler, Universitäten, Institutionen und Forschungseinrichtungen mit der Thematik. Das Ziel des vorliegenden Abschnittes besteht in der Vorstellung des Standes der internationalen Forschung auf dem Gebiet der alternativen Antriebe bei kommunalen Fahrzeugen, um auf dieser Basis anschließend eine Forschungslücke ableiten zu können.

Im Rahmen der Literaturrecherche zum Stand der internationalen Forschung werden wissenschaftliche Datenbanken nach Publikationen durchsucht. Im Vordergrund steht dabei die Identifikation von Veröffentlichungen über den Einsatz alternativer Antriebe bei (Groß-)Kehrmaschinen, wobei jedoch auch der Einsatz batterieelektrischer Antriebe bei anderen Fahrzeugen mit ähnlichen Anforderungen hinsichtlich ihrer Einsatzart, ihrer Leistung und/oder ihrer Größe von Interesse ist. Dies sind beispielsweise die Fahrzeuge der Müllabfuhr, die Fahrzeuge des Winterdienstes und teilweise auch Fahrzeuge des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV).

So befasst sich der Forschungscampus „Mobility2Grid“ (Berliner EUREF-Campus (Europäisches Energieforum)) beispielsweise mit effizienten und vernetzten Systemen für eine klimaneutrale Stadt und gestaltet die Mobilitäts- und Energiewende auf der Suche nach nachhaltigen Stadtsystemen aktiv mit. Göhlich et al. (2021) betonen in diesem Kontext, dass das Zusammenspiel von elektrifizierten Mobilitätsangeboten und den neuen Anforderungen an Energiesysteme zu den wesentlichen Herausforderungen gehört. Die von Mobility2Grid entwickelten Lösungen werden in sogenannten Transferarealen auf ihren Praxiseinsatz geprüft.

Die Elektrifizierung von Flotten und Depots in vernetzten urbanen Arealen gehört dabei zu den Forschungsbereichen des Campus. Sowohl gewerbliche als auch private Straßenfahrzeuge sollen in dezentrale Energienetze integriert werden, zudem gehört die Schaffung eines Referenzquartiers zu den Forschungsschwerpunkten. Die nachfolgende **Abbildung 19** gibt einen Überblick über die sieben Themenfelder von Mobility2Grid.

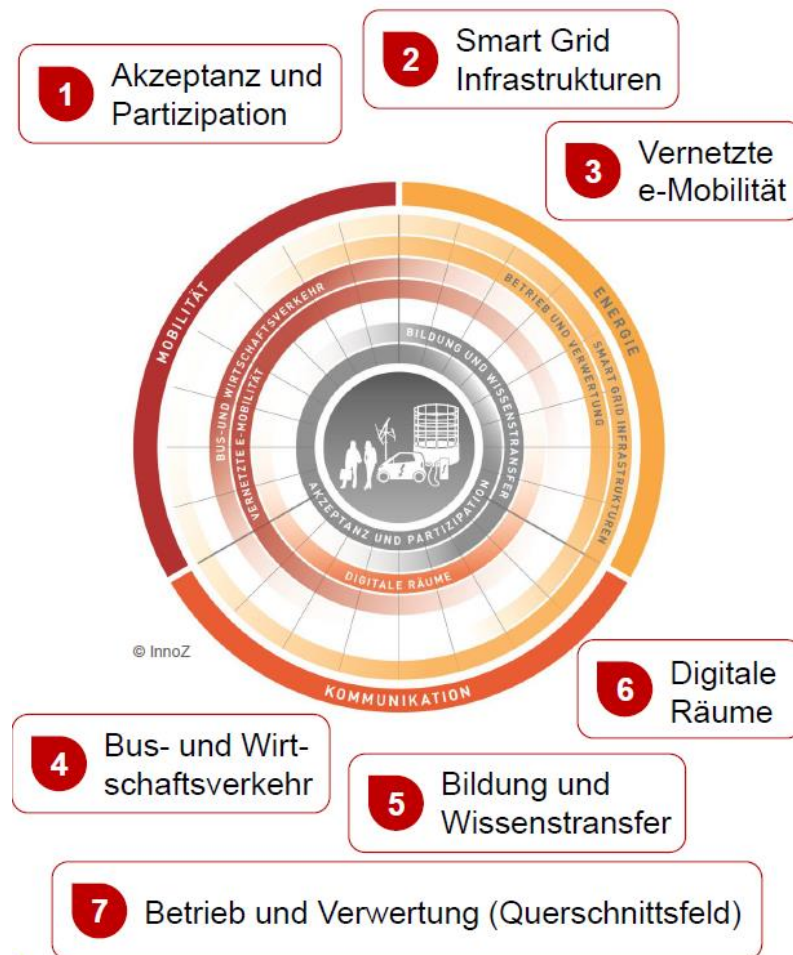


Abbildung 19: Die sieben Themenfelder von Mobility2Grid (Forschungscampus Mobility2Grid, 2021)

Es wird deutlich, dass die Erforschung sowie die Entwicklung von neuen Technologieoptionen zu den übergeordneten Zielen des Projektes gehören. Die soziale Akzeptanz sowie die politischen Rahmenbedingungen werden analysiert und bewertet und Forschungsergebnisse im Hinblick auf die ökonomische Verwertbarkeit untersucht.

Die Literaturrecherche zur Thematik zeigt zudem, dass der Einsatz von elektrifizierten Kehrmaschinen bereits seit einigen Jahren Gegenstand der Forschung ist – so untersuchten Nicht et al. (2014) beispielsweise die Geräuschemission von Kehrmaschinen.

Die Autoren stellen in diesem Zusammenhang heraus, dass konventionelle Kehrmaschinen während ihres Einsatzes in den Städten erheblichen Lärm verursachen und dieser von den Anwohnern und Fußgängern als äußerst belästigend wahrgenommen wird. Der verstärkte Einsatz von elektrifizierten Kehrmaschinen wird daher als Chance gesehen, diese Lärmbelästigungen zu reduzieren. Nicht et al. (2014) betonen in diesem Kontext aber auch, dass der alleinige Austausch des Antriebs nicht ausreichend ist. Experimente im Rahmen des EBALD-Forschungsprojektes¹ haben gezeigt, dass die funktionale Ausstattung einer Kehrmaschine beispielsweise ebenfalls zu den wesentlichen Geräusch-Emittenten gehört. Die Korrelation zwischen den Belästigungsbewertungen und den Komponenten zeigt, dass die Kehrsaugeinheit, die Frischluftansaugung und die Tellerbesen die primären Belästigungsquellen sind. Die Autoren kommen daher zu dem Schluss, dass auch diese Quellen und ihre Übertragungswege zukünftig modifiziert werden müssen, um die durch Passanten und Anwohner wahrgenommenen Lärmbelästigungen zu reduzieren und die Akzeptanz zu erhöhen.

Büdic und Hübner (2016) ergänzen, dass der Einsatz von Kehrmaschinen für saubere Städte unabdingbar ist – schließlich garantiert der Einsatz saubere Bürgersteige und saubere öffentliche Plätze. Aus modernen Metropolen sind Kehrmaschinen daher nicht wegzudenken. Dennoch haben Kehrmaschinen einen wesentlichen Einfluss auf die Umwelt, schließlich emittieren sie neben Lärm auch CO₂, NO_x und Feinstaub (PM10). Das Ersetzen konventionell angetriebener Kehrmaschinen durch elektrifizierte Kehrmaschinen kann diese Emissionen reduzieren, jedoch ist der Wechsel zur Elektromobilität mit hohen Risiken und Kosten verbunden. Um Kosten und Möglichkeiten beispielsweise im Hinblick auf das Design der Batteriegröße, die Standorte der Ladestationen und die zu fahrenden Touren abschätzen zu können, schlagen die Autoren eine vollständige Fahrzeugsimulation vor.

Basic et al. (2020) konzentrierten sich im Rahmen ihrer empirischen Studie auf das experimentelle Testen und Bewerten von Li-Ionen-Batterien für den speziellen Einsatz in elektrifizierten Kehrmaschinen. Die Autoren merken in diesem Kontext an, dass elektrifizierte Fahrzeuge neben dem typischen privaten und öffentlichen Transportsektor verstärkt auch andere Bereiche erobern – dies betrifft beispielsweise die steigende Nachfrage nach elektrifizierten Kehrmaschinen für städtische Einsätze.

¹ Die Abkürzung EBALD steht für „Elektromobilität in Bereichen der Abfallwirtschaft der Landeshauptstadt Dresden“.

Derartige Fahrzeuge sind charakterisiert durch niedrigere Stückzahlen und spezifische Limitationen, wie beispielsweise ein reduziertes Volumen für das Platzieren der Batterie und spezielle Arbeitsbedingungen. Die Identifikation der speziellen Anforderungen ist daher von hoher Relevanz, aus welchem Grund Basic et al. (2020) im Rahmen von Labortests verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl von geeigneten Batterien simulierten. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Auswahl einer Batterie nicht nur auf Basis der Herstellerdaten erfolgen sollte.

Beltrami et al. (2021) untersuchten die Elektrifizierung von kompakten Straßenmaschinen und geben mit ihrem Paper einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung sowie Trends. Die Autoren betonen, dass elektrifizierte Fahrzeuge während des vergangenen Jahrzehnts eine enorme Entwicklung durchgemacht haben – wohl auch bedingt durch das zunehmende Interesse an Umweltverträglichkeit, THG-Emissionen und Luftverschmutzung. Gesetzliche Vorgaben in Bezug auf den Ausstoß von Emissionen sind mit stärkeren Einschränkungen verbunden und Regierungen setzen sich verstärkt mit Aspekten wie grüner Mobilität auseinander. Der Einsatz von elektrifizierten Arbeitsfahrzeugen in Städten ist daher von hoher Bedeutung, wird jedoch noch nicht ausreichend berücksichtigt. In diesem Zusammenhang betonen Beltrami et al. (2021), dass sich elektrifizierte Arbeitsmaschinen häufig noch in Forschungsphasen und Feldexperimenten befinden, während nur wenige tatsächlich schon auf dem Markt erhältlich sind. Im direkten Vergleich mit elektrifizierten Fahrzeugen zur Personenbeförderung nennen Beltrami et al. (2021) dies eine signifikante Verzögerung, welche durch verschiedene Faktoren hervorgerufen wird. Einer dieser Verzögerungsfaktoren ist der Umstand, dass an Arbeitsmaschinen andere Anforderungen hinsichtlich der von ihnen ausgeführten Tätigkeiten bestehen. Zum anderen ist aber auch die Akzeptanz solcher Maschinen als wesentlicher Verzögerungsfaktor anzuführen.

Jeong et al. (2022) konzentrierten sich im Rahmen ihrer Forschungen auf den sicheren Einsatz autonomer elektrifizierter Kehrmaschinen in städtischen Bereichen. Die Forscher entwickelten einen Algorithmus für den automatisierten Einsatz derartiger Fahrzeuge, um das Einhalten vorgegebener Routen und vorgeschriebener Geschwindigkeiten sicherzustellen und Passanten vor dem Überfahren durch Kehrmaschinen zu schützen. Ähnliche Untersuchungen finden sich bei Yim und Kim (2021) – die Autoren untersuchten ebenfalls den sicheren Einsatz von elektrifizierten autonomen kommunalen Kehrmaschinen.

Im Rahmen seiner Dissertation untersuchte Budich (2019) den Einsatz von Elektrokleinkehrmaschinen als Beitrag zur Dekarbonisierung des kommunalen Verkehrs und widmete sich der Fragestellung, ob konventionelle Kleinkehrmaschinen (KKM) durch elektrische Äquivalente substituiert werden können. Im Vordergrund der Betrachtungen stand die Verbesserung von Luft- und Lebensqualität – insbesondere in Ballungszentren. Auf Basis messtechnischer Untersuchungen wie beispielsweise einer Energieverbrauchsermittlung führte Budich (2019) eine Ganzfahrzeugsimulation und eine anschließende Konzeptauswahl durch. Untersucht wurde ebenfalls, inwieweit kommunale Einrichtungen gewillt sind, elektrifizierte Fahrzeuge und hierbei explizit elektrifizierte KKM einzusetzen. Den Laborergebnissen zufolge kann der Einsatz elektrifizierter KKM in städtischen Bereichen dabei helfen, den CO₂-Ausstoß um etwa 33 % zu reduzieren Budich (2019).

Zusammenfassend muss zu den Suchbegriffen „electrified/electrical sweepers“ festgehalten werden, dass wissenschaftliche Studien zu dieser Thematik relativ selten sind, so dass der Einsatz elektrifizierter Kehrmaschinen in städtischen Bereichen daher als neues Forschungsgebiet bezeichnet werden kann.

Um weitere Erkenntnisse über den Einsatz elektrifizierter Arbeitsmaschinen in städtischen Bereichen generieren zu können, wurde der Suchstring daher abgeändert und auf sämtliche kommunale Arbeitsmaschinen ausgeweitet. Im Folgenden werden daher die Ergebnisse der Literaturrecherche zu den Suchwörtern „municipal electrical vehicles“ angeführt.

In diesem Zusammenhang untersuchten Stave und Carlson (2017) den Einsatz elektrifizierter Arbeitsmaschinen für die Berufsfeuerwehr in Schweden, wobei die Akzeptanz für das Verwenden derartiger Arbeitsmaschinen im Vordergrund stand. Die Ergebnisse zeigen, dass bei den Bediensteten der Feuerwehren bislang kaum Erfahrungen in Bezug auf den Einsatz elektrifizierter Arbeitsmaschinen bestehen. Für Kommunalbeamte sind Umweltaspekte jedoch von größerem Interesse. Die Autoren kommen zu dem Erkenntnis, dass Beamte in Bezug auf die Verwendung elektrifizierter Arbeitsmaschinen geschult werden sollten, um die Akzeptanz zu steigern.

Erdinc et al. (2019) betrachteten im Rahmen ihrer Untersuchungen die Fahrzeuge der kommunalen Müllabfuhr in Istanbul. Die Autoren betonen, dass der Prozess der Entsorgung bereits vielfach Gegenstand wissenschaftlicher Forschungen war. Mithilfe einer Gemischt-ganzzahligen Linearen Programmierung (MILP) entwickelten die Autoren optimierte Routen für elektrifizierte Müllfahrzeuge, da sich elektrifizierte Müllfahrzeuge in Bezug auf ihre Eigenschaften von konventionell angetriebenen Müllfahrzeugen unterscheiden.

Erdinc et al. nutzten dabei die Daten von Fahrzeugen im direkten Einsatz, um den Einsatz von Müllfahrzeugen umweltfreundlicher ausgestalten zu können. Zu den wesentlichen Erkenntnissen gehören:

- Der durchschnittliche Energieverbrauch der elektrifizierten Müllfahrzeuge lag bei 0,86 kWh/km.
- Der Einsatz elektrifizierter Müllfahrzeuge konnte den Energieverbrauch im städtischen Bereich um 32 % reduzieren.

Nagel et al. (2020) konzentrierten sich im Rahmen ihrer Studie ebenfalls auf die Dekarbonisierung des städtischen Verkehrs, in der sie eine der zentralen Herausforderungen der Zukunft sehen. Mithilfe von Simulationen über die Hausmüllentsorgung am Beispiel Berlin zeigen die Autoren, dass konventionelle Sammelfahrzeuge durch elektrifizierte Fahrzeuge ersetzt werden können und geben an, welche Aspekte hierbei explizit beachtet werden sollten. Den Einschätzungen der Autoren zufolge hätte der Wechsel auf elektrifizierte Entsorgungsfahrzeuge einen signifikanten Einfluss auf die Luftqualität der Stadt Berlin, denn der lokale Ausstoß von gesundheitsschädlichen Emissionen wie Ruß, Stickoxiden, unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid könnte vermieden werden.

Die nachfolgende **Tabelle 4** fasst die im Rahmen der Literaturrecherche identifizierten wissenschaftlichen Publikationen mitsamt ihren Kernaussagen übersichtlich zusammen.

Tabelle 4: Übersicht Literaturrecherche zum Stand der internationalen Forschung (eigene Darstellung, 2022)

Autor(en)	Jahr	Titel	Kernaussagen
Nicht et al.	2014	Noise Emission of Electric Street Sweepers - Transfer Path Analysis	Elektrifizierte Kehrmaschinen als Chance zur Lärmreduktion in städtischen Bereichen.
Budich & Hübner	2016	Vehicle simulation of an electric street sweeper for substitution analysis	Vollständige Fahrzeugsimulation erforderlich zur Abschätzung von Kosten und Möglichkeiten.
Basic et al.	2020	Experimental Testing and Evaluation of Lithium-Ion Battery Cells for a Special-Purpose Electric Vacuum Sweeper Vehicle	Auswahl geeigneter Lithium-Ionen-Batterien für elektrifizierte Kehrmaschinen darf nicht ausschließlich auf Basis der Herstellerangaben erfolgen.
Jeong et al.	2022	Model Predictive Control Based Path Tracking and Velocity Control with Rollover Prevention Function for Autonomous Electric Road Sweeper	Entwicklung eines Algorithmus zum sicheren Einsatz autonomer elektrifizierter Kehrmaschinen.
Beltrami et al.	2021	Electrification of Compact Off-Highway Vehicles—Overview of the Current State of the Art and Trends	Anforderungen an Arbeitsmaschinen und Akzeptanz als wesentliche Verzögerungsfaktoren.
Yim & Kim	2021	Rollover Prevention Control for Autonomous Electric Road Sweeper	Sicherer Einsatz von elektrifizierten autonomen kommunalen Kehrmaschinen in städtischen Bereichen.
Stave & Carlson	2017	A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles	Kaum Erfahrungen der Kommunalbeamten mit elektrifizierten Arbeitsmaschinen, Schulungen zur Steigerung der Akzeptanz erforderlich.
Erdinc et al.	2019	Route optimization of an electric garbage truck fleet for sustainable environmental and energy management	Signifikante Reduktion des Energieverbrauchs durch den Einsatz elektrifizierter Müllfahrzeuge im städtischen Bereich.
Budich	2019	Untersuchungen zum Einsatz von Elektrokleinkehrmaschinen als Beitrag zur Dekarbonisierung des kommunalen Verkehrs	Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes durch den Einsatz elektrifizierter Kleinkehrmaschinen in städtischen Bereichen um etwa 33 % möglich.
Nagel et al.	2020	Dekarbonisierung des urbanen Verkehrs	Wechsel auf elektrifizierte Entsorgungsfahrzeuge hätte einen signifikanten Einfluss auf die Luftqualität Berlins.
Heqing Xu et al.	2020	Development and Research Status of Road Cleaning Vehicle	Fasst den Entwicklungsstand von Straßenreinigungsfahrzeugen zusammen und analysiert die vorhandenen Probleme und betrachtet den Entwicklungstrend der Straßenreinigungsfahrzeuge.

3.5 Ableitung der Forschungslücke

In der Historie gab es immer wieder Versuche, die Elektromobilität auf dem Markt zu etablieren. Wirtschaftliche Faktoren und die Entscheidung, die Technologie der Verbrennungsmotoren weiterzuentwickeln, besiegelten jedoch zunächst das vorläufige Ende der Elektromobilität. Aktuelle Themen, wie der Klimawandel, die Notwendigkeit einer Ressourcenschonung und die gebotene Emissionsminderung, haben die Elektromobilität wieder als dringliches Thema etabliert. Da erneuerbare Energien zur Aufladung und Speicherung für Elektrofahrzeuge eingesetzt werden können, sind die Diskussionen um diese Technologie nicht nur europaweit, sondern weltweit neu entfacht. Unterschiedliche Branchen und Hersteller auf der ganzen Welt sind mit der Entwicklung von Elektrofahrzeugen, entsprechender Infrastrukturen und den dazu notwendigen Technologien befasst. Mittlerweile gibt es wie beschrieben eine Vielzahl an Elektrofahrzeugmodellen in zahlreichen Varianten und mit unterschiedlichen Antriebstechnologien. Letztere reichen von dem reinen BEV über verschiedene Hybridtechnologien bis hin zum FCEV.

Die Antriebskonzepte und -technologien haben sich weiterentwickelt. Jedoch fehlt es im Bereich der Entsorgungswirtschaft, speziell auf dem Gebiet der Arbeitsmaschinen, nach wie vor an serienmäßig elektrifizierten Fahrzeugen. In der als Nischenbereich geltenden Entsorgungswirtschaft ist es schwierig, Hersteller zu finden, die bereit sind, das Risiko und die hohen Investitionskosten für die FuE im Hinblick auf die Elektromobilität zu tragen.

Bei der Vorstellung der internationalen Forschung in Abschnitt 3.4 wurde deutlich, dass im Rahmen von Mobility2Grid ähnliche Fragestellungen unter Hinzuziehen eines Erprobungs- und Referenzquartiers für die Versorgungswirtschaft einer nachhaltigen Stadtentwicklung bearbeitet werden. Die Elektrifizierung des Bus- und Wirtschaftsverkehrs steht im Vordergrund des Mobility2Grid-Projektes, da die planbaren und kurzen Fahrstrecken einen prädestinierten Anwendungsfall für das Implementieren batteriebetriebener Antriebe darstellen. Es wird betont, dass das Interesse bei städtischen Ver- und Versorgungsunternehmen an neuen und wirtschaftlichen Konzepten zur Einführung emissionsfreier Fahrzeuge groß ist – nutzergerechte Lösungen sind zur heutigen Zeit allerdings nur bedingt verfügbar.

GKM stellen eine Spezifizierung von Fahrzeugen zur städtischen Ver- und Entsorgung dar – ihr elektrifizierter Einsatz ist im Rahmen früherer wissenschaftlicher Arbeiten noch nicht untersucht worden, obwohl das Einsparpotenzial, vor allem von Emissionen, insbesondere in Großstädten wie Hamburg hoch erscheint. Die vorliegende Arbeit befasst sich daher mit der Analyse dieser Einsparpotenziale.

Zusammenfassend und in Bezug auf die Literaturrecherche zum internationalen Stand der Forschung muss zu den Suchbegriffen „electrified sweepers“ festgehalten werden, dass wissenschaftliche Studien zu dieser Thematik relativ selten sind – der Einsatz elektrifizierter Kehrmaschinen in städtischen Bereichen kann daher als neues Forschungsgebiet bezeichnet werden. Mithilfe der Gegenüberstellung beziehungsweise des Vergleichs konventioneller, hybrider und elektrifizierter Kehrmaschinen in Hamburg kann die vorliegende Arbeit einen wertvollen Beitrag in Bezug auf die Effizienz des Einsatzes elektrifizierter Kehrmaschinen in städtischen Bereichen liefern.

Die auf diese Weise generierten Erkenntnisse können zudem bei der Ableitung von Handlungsimplikationen für Wissenschaft und Praxis dienen.

Nachfolgend wird explizit auf die Methodik und die Vorgehensweise zur Gegenüberstellung der verschiedenen Kehrmaschinen im städtischen Einsatzbereich eingegangen.

4 Methoden und Vorgehensweise

Die Beantwortung der dieser Arbeit zugrundeliegenden Forschungsfrage, ob ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Nutzung konventioneller angetriebener Fahrzeuge und des Einsatzes von elektrifizierten Arbeitsmaschinen besteht, erfordert individuell angepasste Methodiken und Herangehensweisen. Um die Akzeptanzfaktoren der Elektromobilität und deren Bedeutung besser analysieren zu können, kommen neben Nutzwert- und Kostenanalysen auch empirische Untersuchungen (Fragebögen) zum Einsatz.

4.1 Definition Stadtreinigung

Die Wichtigkeit der Stadtreinigung wird mit Betrachtung der geschichtlichen Entwicklung deutlich. Schon 320 v. Chr. war den Menschen im antiken Griechenland bewusst, dass die Reinhaltung der Straßen sichergestellt werden muss. Dennoch scheiterte die Umsetzung dieses Vorhabens, denn die Straßen waren bis ins Hochmittelalter (ca. 1300) nicht befestigt. Oftmals befand sich so viel Schlamm auf den Straßen, dass an eine Reinigung nicht zu denken war. Des Weiteren gab es weder eine Kanalisation beziehungsweise Abwasserversorgung noch eine Abfallbeseitigung. Die hygienische Situation in den Städten war größtenteils katastrophal. Obwohl zahlreiche Sauberkeitsverordnungen erlassen wurden, verbesserte sich die Situation nicht. Erst mit Einführung von städtischen Einrichtungen und Übernahme der Verantwortung für die Sauberkeit der Stadt durch die Kommunen selbst (ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts) wurden die Probleme langsam unter Kontrolle gebracht. Dies wird als die erste „Reform der Stadtreinigung“ bezeichnet (Martens, 1999). Ein Indikator dafür, dass sich die Investitionen in die Sauberkeit und Stadtpflege lohnten, war der drastische Rückgang von Seuchen: Krankheiten wie Cholera oder Typhus, die zuvor viele hunderttausend Tote gefordert hatten, wurden durch die getroffenen Maßnahmen aus europäischen Städten verdrängt.

Mit dem Übergang der Straßenreinigung auf die Gemeinden gab es zwei grundlegende Änderungen, die zum Erfolg führten: Zum einen wurde die Handarbeit zum größten Teil durch Maschinen ersetzt oder von Maschinen unterstützt, zum anderen änderte sich auch die Zusammensetzung des Personals zur Reinigung der Stadt. Anstelle von Sträflingen und Armen wurden Arbeiter angelernt und für ihre Arbeit entlohnt.

Die ersten Kehrmaschinen wurden um 1800 konstruiert. Sie wurden zunächst von Pferden gezogen, und schon 25 Jahre später gab es den ersten Entwurf einer selbstaufnehmenden Kehrmaschine.

Die Maschine von Whitworth konnte das Kehrgut eigenständig in einen Aufnahmebehälter befördern, so wie es auch bei den heutigen Maschinen zum Stand der Technik gehört. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts kamen Kehrmaschinen mit Verbrennungsmotoren auf den Markt. Mit dem technischen Fortschritt und einer wachsenden Nachfrage nach kommunalen Reinigungsfahrzeugen haben sich zahlreiche Unternehmen in diesem Marktsegment entwickelt und bieten dabei oft kundenindividuelle Lösungen an.

Heute wird in Deutschland die Straßenreinigung auf kommunaler Ebene organisiert, gesteuert und ausgeführt. Somit obliegt den Kommunen die Verantwortung für die Aufrechterhaltung der hygienischen Zustände und die Sicherheit des öffentlichen Verkehrsraumes nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) und den Straßen- und Wegegesetzen (VKU, 2016). Die Straßenreinigung dient dabei der Sauberhaltung und Gewährleistung der Befahr- beziehungsweise Begehrbarkeit des Verkehrsnetzes der Kommunen und Städte. Die von den Unternehmen angebotenen Reinigungsleistungen gehen über die Reinigung durch Straßenkehrer ohne Fahrzeug mit Kehrschaufel, Besen und rollbarer Mülltonne hinaus. Denn in vielen Städten und Gemeinden werden diese Einsätze von Arbeitsgruppen und hochtechnisierte Kehrmaschinen ausgeführt. Zusätzlich zu der Beseitigung von Kehricht und anderen Ablagerungen gehören auch die Ölspurbeseitigung, der Winterdienst und die Sinkkasten- und Papierkorbentleerung zu dem Aufgabengebiet der Stadtreinigung.

Die Reinigung von Gehwegen, Flächen- und Fahrbahnen erfolgt überwiegend automatisiert mit Kehrmaschinen, die sich über ihr zul. Gesamtgewicht und das Fassungsvermögen des Kehrichtbehälters in Klein- beziehungsweise Kompaktkehrmaschinen (KKM) und Großkehrmaschinen (GKM) unterteilen lassen. Für die Bewältigung der anderen Aufgabengebiete innerhalb der Straßenreinigung kommen beispielsweise für die Papierkorbentleerung Pritschenwagen und Kehrichtsammelfahrzeuge zum Einsatz. Sinkkästen werden entweder durch einen „Gullysaugwagen“ oder einen Pritschenwagen mit Sonderaufbau gereinigt.

4.2 Kehrmaschinenmarkt in Deutschland

Um das Potenzial von elektrifizierten Kehrmaschinen ermitteln zu können, müssen zunächst die marktgängigen Kehrmaschinen in Deutschland betrachtet werden. Das KBA erfasst in Deutschland die Entwicklung des Fahrzeugbestandes. Während Straßenreinigungsfahrzeuge bis zum Jahr 2011 separat erfasst wurden, werden sie seit dem Jahr 2012 zusammen mit den Kanalreinigern abgebildet.

In **Tabelle 5** werden der Bestand und die Anzahl an Neuzulassungen von Straßenreinigungsfahrzeugen für die Jahre 2005 bis 2011 dargestellt (KBA, 2015).

Tabelle 5: Bestand und Neuzulassungen für Kehrmaschinen in Deutschland jeweils zum 1. Januar (Kraftfahrt-Bundesamt, 2015)

Jahr	Bestand	Neuzulassungen
2005	9.188	590
2006	9.300	695
2007	9.500	710
2008	8.480	775
2009	8.672	715
2010	8.871	725
2011	9.093	705

Die Berechnung der Mittelwerte ergibt den Wert von durchschnittlich 9.014 Kehrmaschinen und 702 Neuzulassungen pro Jahr. In dieser Auflistung finden sich jedoch neben den GKM auch KKM.

Da sich die vorliegende Arbeit auf die GKM konzentriert, wurde auf Basis der letzten VKU-Umfrage – Betriebsdaten in kommunalen Unternehmen – ein alternativer Ansatz gewählt, der das passende Kehrmaschinensegment abdeckt. Dieser alternative Ansatz basiert auf den in der **Tabelle 5** zuletzt erhobenen Daten des KBA von 2011, den durchschnittlichen Neuzulassungen pro Jahr und der wie in der **Abbildung 20** dargestellten prozentualen Verteilung der Kehrmaschinen (VKU, 2022).

Verteilung der Kehrmaschinen in Prozent

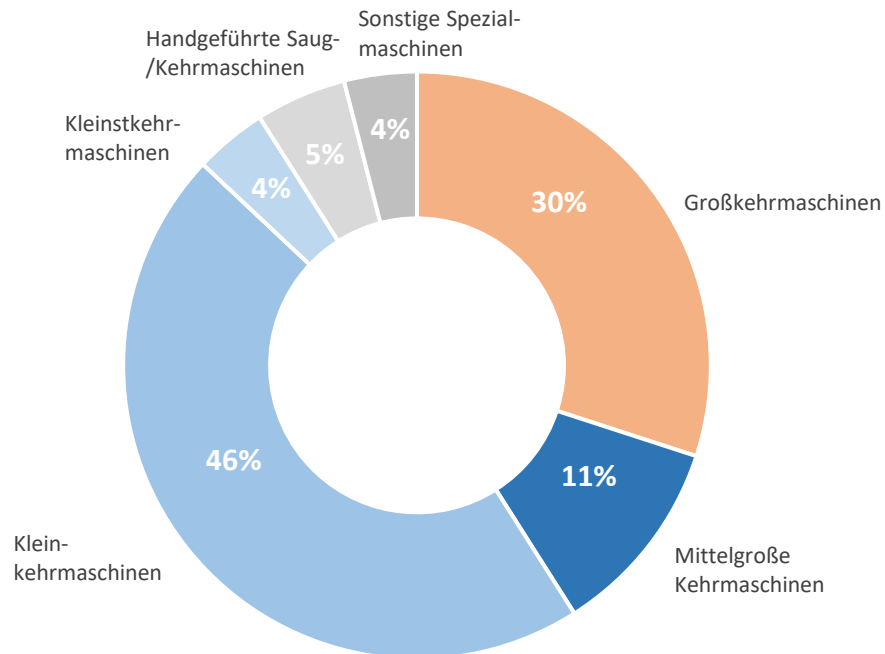


Abbildung 20: Prozentuale Verteilung der Kehrmaschinen in Deutschland (eigene Darstellung nach VKU, 2022)

Wie in der **Abbildung 20** zu sehen wurde der Fokus bei der Umfrage des VKU auf die eingesetzten Kehrmaschinen der Fuhrparks gelegt. Die Verteilung der Groß- und mittelgroßen Kehrmaschinen beläuft sich zusammen auf 40 %, Klein- beziehungsweise Kleinstekehrmaschinen stellen die Hälfte der eingesetzten Kehrmaschinen dar. Mit 30 % nehmen die GKM nach den KKM die größte Gruppe ein.

Erstmalig wurden die handgeführten Geräte und sonstige Spezialmaschinen mit abgefragt. Diese stellen mit zusammen 9 % die kleinste Gruppe dar und sind für den weiteren Verlauf der Arbeit nicht relevant.

4.3 Antriebstechnologien und deren Unterscheidungsmerkmale

Auf dem Weg vom konventionell angetriebenen zu einem rein batterieelektrisch angetriebenen kommunalen Nutzfahrzeug wird die Hybridtechnologie als wichtige Übergangstechnologie gesehen, und das nicht nur vom Anwender, sondern auch von den jeweiligen Aufbauherstellern. Die erforderlichen elektrischen Antriebskomponenten sind bei beiden Technologien (BEV und HEV) erforderlich (Hilgers, 2016).

Dabei unterscheiden sich die beiden Fahrzeugkonzepte, wie in **Kapitel 3.1** erläutert, durch den Grad der Elektrifizierung und die unterschiedlichen Komponenten des Antriebsstranges. Zur differenzierten Betrachtung lassen sich die Unterscheidungsmerkmale der verschiedenen Antriebstechnologien in die nachfolgenden vier Merkmalsgruppen unterteilen: Energie, Emissionen, Arbeitseinsatz und Gewicht. Einige der in den Gruppen enthaltenen Merkmale sind auch in **Kapitel 5** als Entscheidungskriterien K_i in der Nutzwert- und Kostenwirksamkeitsanalyse angegeben und werden als solche gekennzeichnet.

Die in der ersten Merkmalsgruppe, die als „Energie“ bezeichnet wird, zusammengefassten Unterscheidungsmerkmale umfassen die wichtigsten Aspekte der betrachteten Antriebsstränge. Dabei handelt es sich um die Merkmale Energieform, Energiewandler, Energiespeicher und Energieverbrauch. Bezogen auf die betrachteten Antriebskonzepte können die beiden Energieformen Diesel (ICE, HEV, PHEV) und Strom (HEV, BEV, PHEV) benannt werden. Die Merkmale Energiewandler und Energiespeicher unterteilen sich in Verbrennungsmotor mit Kraftstofftank und Elektromotor mit Akkumulator (Wallentowitz et al, 2010). Resultierend aus der verwendeten Energieform und dem dazugehörigen Antriebsstrang wird zwischen konventionellem und elektrischem Verbrauch differenziert. Der Energieverbrauch fließt als Entscheidungskriterium K_1 in die Nutzwertanalyse ein.

Die verwendete Energieform hat direkten Einfluss auf die zweite Merkmalsgruppe „Emissionen“, da sie zu einer reduzierten Umweltbelastung beitragen kann. In diesem Kontext der unterschiedlichen Energieformen lassen sich die Merkmale CO₂-Emissionen, Lärmemissionen und Gesamtemissionen ableiten. CO₂-Emissionen und Lärmemissionen werden während des Arbeitseinsatzes (Arbeitsfahrt und Fahrt zum Reinigungsgebiet) emittiert (Loose, 2011). Die Gesamtemissionen setzen sich, je nach Fahrzeugkonfiguration, aus den CO₂-Emissionen während des Arbeitseinsatzes sowie bei der Fahrzeugproduktion der konventionellen Kehrmaschinen zusammen. Dem stehen die CO₂-Emissionen der Kehrmaschinenproduktion und die der Batterieproduktion beim BEV gegenüber. Die Merkmale CO₂-Emissionen K_2 und Gesamtemission K_3 werden als Entscheidungskriterien verwendet.

Wie bereits in den vorherigen Merkmalsgruppen dargelegt, hat die erste Merkmalsgruppe „Energie“ maßgeblichen Einfluss auf die nachfolgenden, so auch auf die dritte, welche die Bezeichnung „Arbeitseinsatz“ trägt. Diese setzt sich aus den Merkmalen Arbeitsautonomie, Reichweite während des Arbeitseinsatzes sowie Ladedauer und Infrastruktur der Ladevorrichtungen zusammen. Die maximal mögliche Einsatzzeit (Arbeitsautonomie) und die Reichweite werden durch die zur Verfügung stehende Energiemenge der betrachteten Arbeitstechnologien (gespeicherte Energie in der Batterie bei HEV, PHEV, BEV und Diesel im Kraftstofftank beim ICE, HEV, PHEV) und den Effizienzgrad des Energiewandlers limitiert.

Neben den beiden erstgenannten Merkmalen „Energie“ und „Emissionen“ unterscheiden sich die Kehrmaschinenkonzepte hinsichtlich der Ladedauer – des Tankens von Kraftstoffen an Tankstellen und des Aufladens von Strom an Ladestationen – sowie hinsichtlich der Infrastruktur der Ladevorrichtungen. Sämtliche Merkmale der Merkmalsgruppe „Arbeitseinsatz“ wie Lärmemission **K₄**, Reichweite **K₅**, Arbeitsautonomie **K₆**, Ladedauer **K₇** und Infrastruktur der Ladevorrichtungen **K₈** sind Bestandteile der Nutzwertanalyse.

Die vierte Merkmalsgruppe „Gewicht“ setzt sich aus Leergewicht, Nutzlast und zul. Gesamtgewicht zusammen. Dabei fließt nur das Merkmal Nutzlast **K₉** als Entscheidungskriterium in die Nutzwertanalyse ein. Das Gesamtgewicht der Kehrmaschinenkonzepte wird aus der Summe des Leergewichtes und der maximalen Nutzlast gebildet. Einen wesentlichen Teil des Leergewichtes eines BEV nimmt der elektrische Antrieb ein, bedingt durch das zusätzliche Gewicht der Batterie: Er wiegt fast doppelt so viel wie ein konventioneller Antrieb (Kampker, Vallée & Schnettler, 2013).

Zusammenfassend gibt **Tabelle 6** eine Übersicht über die in **Kapitel 3.1** bis **3.2.2** thematisierten Fahrzeugkonfigurationen in Bezug auf deren Antriebskonzepte und Unterscheidungsmerkmale. Dabei wird die grundlegende Tendenz von ursprünglich einem Energiewandler und Energiespeicher des konventionellen Antriebsstranges über zwei Energiespeicher und Energiewandler beim Hybridantrieb hin zu einem Energiewandler und Energiespeicher eines rein elektrischen Antriebskonzeptes deutlich.

Tabelle 6: Zusammenfassende Gegenüberstellung der Antriebskonzepte (eigene Darstellung nach Hofmann, 2014)

	ICE	HEV (P)	HEV (S)	PHEV	BEV
Energie-speicher	Tank	Tank & Batterie	Tank & Batterie	Tank & Batterie	Batterie
Energie-wandler	Verbrennungsmotor	Verbrennungs- & Elektromotor	Elektromotor	Verbrennungs- & Elektromotor	Elektromotor
Primär-energie	Diesel	Dieselelektrisch	Dieselelektrisch	Diesel & Elektro	Elektro

4.4 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein Verfahren zur mehrdimensionalen Bewertung von Handlungsalternativen, bei der die monetäre Größe lediglich ein Bestandteil der Zielsetzung ist (Weber & Schäffer, 2016). Dabei lässt sich dieses Verfahren für zwei Arten von Entscheidungsproblemen anwenden. Bei der ersten Variante geht es darum, dass sich der Entscheidungsträger zwischen zur Auswahl stehenden Handlungsalternativen entscheiden muss („entweder oder“). Die zweite Variante zielt darauf ab, eine vorgegebene Menge an Handlungsalternativen zu sortieren und diese über ihren Nutzwert für den Entscheidungsträger zu priorisieren (Kühnapfel, 2014).

4.4.1 Vorgehensweise bei einer Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse wird nach Kühnapfel (2014) in sieben Schritte unterteilt und findet wie in der Anlage 1 beschrieben seine praktische Anwendung und Dokumentation im Projektteam. Am Anfang einer Nutzwertanalyse wird das Entscheidungsproblem benannt. Danach werden die Handlungsalternativen ausgewählt. Im dritten Schritt werden die relevanten Entscheidungskriterien benannt, um diese im vierten Schritt zu gewichten. Die Bewertung erfolgt im fünften Schritt, bevor dann die Nutzwertberechnung auf der Basis einer Nutzwertmatrix erfolgt. Zum Schluss folgt die Sensibilitätsanalyse.



Abbildung 21: Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung nach Kühnapfel, 2014)

4.4.2 Problembeschreibung und Auswahl der Handlungsalternativen

Ein Entscheidungsproblem entsteht nach Grünig und Kühn (2013) erst dann, wenn ein Mensch oder eine Menschengruppe eine bewusste Vorstellung von einem erstrebenswerten Zustand (Soll-Zustand) hat. Der momentane Zustand (Ist-Zustand) weicht von dem gewünschten Zustand ab. Dadurch entsteht für den oder die Entscheidungsträger Handlungsbedarf (Grünig & Kühn, 2013). Somit ist der erste Schritt der Nutzwertanalyse die Benennung des Entscheidungsproblems. Anschließend werden die relevanten Handlungsspielräume beziehungsweise Handlungsalternativen, deren inhaltliche Konzeption vergleichbar ist (Apelojg, 2017), erarbeitet und ausgewählt. Die in dieser Arbeit zur Auswahl stehenden Handlungsalternativen werden mit A_i bezeichnet.

4.4.3 Auswahl der Entscheidungskriterien

Im dritten Schritt werden die für das Entscheidungsproblem relevanten Entscheidungskriterien zusammengestellt. Die Kriterien werden vor dem Hintergrund der Zielsetzung des Entscheidungsproblems ausgewählt und befinden sich innerhalb des Handlungsrahmens (Kühnapfel, 2014). Die Anzahl der Kriterien ist dabei so zu wählen, dass das Problem aus allen Perspektiven beleuchtet wird. Die Anforderungen an die Kriterien werden nach Kühnapfel (2014) wie folgt aufgeführt:

- **Vollständigkeit:** Die Kriterien müssen das Problem gänzlich umfassen und dürfen keine relevanten Aspekte des Entscheidungsproblems auslassen.
- **Bewertbarkeit:** Jedes Kriterium muss für den oder die Entscheidungsträger verständlich und damit bewertbar sein.
- **Relevanz:** Die Entscheidungskriterien müssen für die Bewertung der Handlungsalternativen von Bedeutung sein.
- **Reproduzierbarkeit:** Die vierte Anforderung stellt die Reproduzierbarkeit dar, das bedeutet, dass das Kriterium zu einem anderen Zeitpunkt die gleiche Bewertung haben muss.

4.4.4 Gewichtung der Entscheidungskriterien

Im Blickpunkt des vierten Schrittes liegt die Gewichtung der einzelnen Kriterien, da nicht alle Entscheidungskriterien gleich wichtig für die Problemstellung sind. Mittels einer Verhältniszahl wird die Bedeutung des Kriteriums definiert, wobei die Summe der Verhältniszahlen aller Kriterien 100 % betragen muss (Kühnapfel, 2014).

Mit einem erweiterten Verfahren kann eine objektivere Gewichtung ermöglicht werden. Zunächst werden den Entscheidungskriterien Notennoten wie z. B. Schulnoten von 1 (sehr wichtig) bis 6 (unwichtig) zugeordnet. Im Anschluss werden die Notenwerte in Punktwerte umgewandelt, sodass eine 1 für 6 Punkte und eine 2 für 5 Punkte usw. steht. Die relative Bedeutung der Kriterien folgt zum Schluss mithilfe einer Dreisatzrechnung (Kühnapfel, 2014). Alternativ zur Gewichtung der Kriterien mittels Schulnoten kann diese mithilfe von Kriteriengruppen oder der Paarvergleichsmethode erfolgen. Die für diese Arbeit notwendige Gewichtung erfolgt mit der Schulnotenskala und wird nachfolgend erläutert.

Tabelle 7: Gewichtung von Entscheidungskriterien mit der Schulnotenskala (eigene Darstellung, 2020)

Kriterium	Note	Punktwert	Gewichtung in %
Kriterium K1	1	6	40 ($6/15 \cdot 100$)
Kriterium K2	3	4	27
Kriterium K3	2	5	33
Summe		15	100

4.4.5 Bewertung der Entscheidungskriterien

Die Nutzwertanalyse beantwortet im fünften Schritt die Fragestellung, welchen Erfüllungsgrad das Kriterium bei der zu bewertenden Handlungsalternative erreicht. Vor einer eigentlichen Bewertung der Entscheidungskriterien muss eine Skala festgelegt werden, damit kein Interpretationsspiel bezüglich der Auslegung der Bewertungsstufen und der Bewertungsrichtung entstehen kann (Kühnapfel, 2014). Die Literatur schlägt drei Skalen vor, die die Voraussetzungen erfüllen: die 10er-Skala, die Schulnotenskala und die Oberstufenskala. Für diese Forschungsarbeit kommt die 10er-Skala – eine Intervallskala – zur Anwendung. Zur Erfüllung der individuellen Erfüllungsgrade der Entscheidungskriterien wird der zweite Strahlensatz herangezogen. In der Regel werden Strahlensätze dazu genutzt, um Längen und Strecken zu ermitteln. Mithilfe eines zweiten Strahlensatzes kann das Verhältnis von zwei Teilabschnitten ermittelt werden. Die **Abbildung 22** veranschaulicht die Anwendung des zweiten Strahlensatzes.

Zweiter Strahlensatz

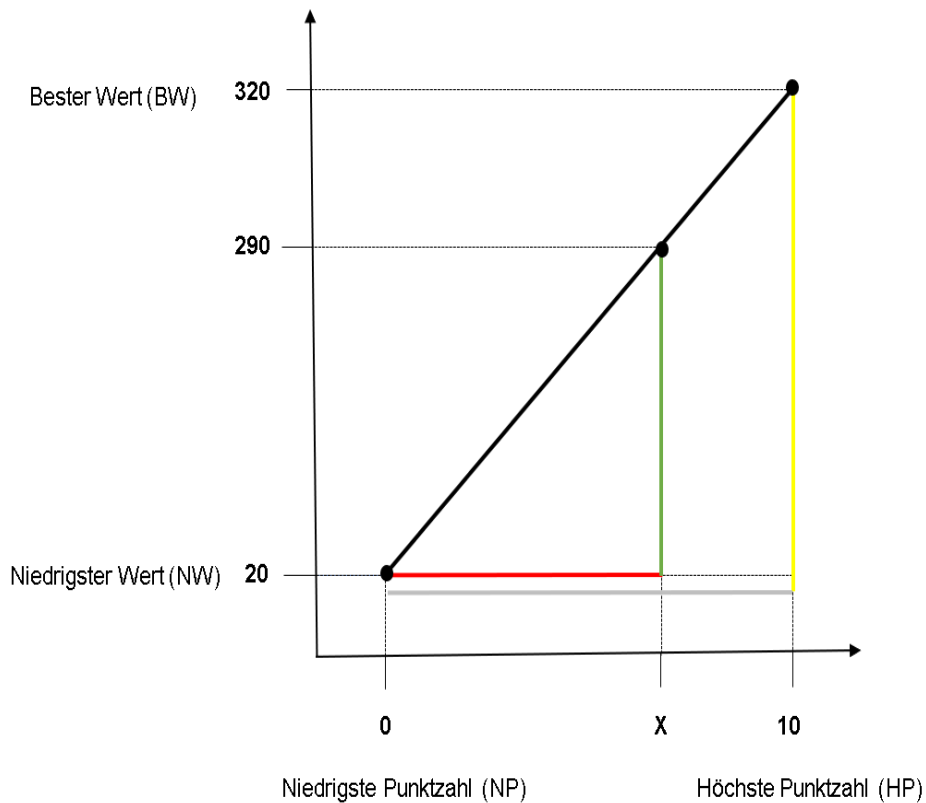


Abbildung 22: Strahlensatz (eigene Darstellung nach Möhlmann, 2014)

Aus der **Abbildung 22** ergeben sich folgende Formeln:

$$\frac{x-NP}{Y-NW} = \frac{HP-NP}{BW-NW} \quad (1)$$

Zur weiteren Berechnung wird die Formel nach x umgestellt:

$$x = (y - NW) \cdot \frac{HP-NP}{BW-NW} + NP \quad (2)$$

Unter Verwendung der Beispielzahlen kommt folgendes Ergebnis zustande:

$$x = \frac{270}{30} = 9 \quad (3)$$

Mit dem Ergebnis von 9 von 10 Punkten wurde das betrachtete Kriterium somit sehr hoch bewertet.

4.4.6 Nutzwertberechnung und Sensibilitätsanalyse

Mit dem Verfahren der Nutzwertberechnung kann gezeigt werden, welche der Alternativen den höchsten Nutzwert aufweist. Zur Ermittlung des Ergebnisses werden nach Kühnapfel (2014) zunächst die im vorherigen Schritt ermittelten Kriterien Werte mit den Kriterien Gewichte multipliziert. Hieraus resultieren die Kriterienpunktwerte, aus denen die Summe für jede Handlungsalternative gebildet werden kann. Im Anschluss werden die ermittelten Werte mittels Sensibilitätsanalyse auf ihre Stabilität hin überprüft. Dieses Verfahren wird angewandt, um zu prüfen, wieweit sich die Eingaben ändern dürfen, ohne dass die ermittelte Lösung ungültig wird. Weiterhin kann mit diesem Verfahren festgestellt werden, wie sich die ermittelte Lösung bei Veränderungen der Daten verhält (Stiller, 2018).

4.4.7 Kostenwirksamkeitsanalyse

Die Kostenwirksamkeitsanalyse ist eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsberechnung von Handlungsalternativen. Sie verbindet die monetären Aspekte der Kostenrechnung mit den nicht-monetären Aspekten der Nutzenrechnung.

Anwendung findet sie insbesondere in Entscheidungssituationen, bei denen Kosten einen großen Stellenwert einnehmen und daher getrennt betrachtet werden müssen. Auf der Basis der Nutzwertanalyse erfolgt die Berechnung des Kostenwirksamkeitsindex (KWI) oder auch der Kosten je Nutzwertpunkt. Die zuvor ermittelten Gesamtnutzwerte (GNW) der einzelnen Handlungsalternativen werden dabei durch die jeweiligen Gesamtkosten geteilt (Witte, 1989).

4.5 Berechnung Total Cost of Ownership

Das Total Cost of Ownership (TCO) - Verfahren ist in der Praxis ein gängiges Werkzeug des Kostenmanagements, mit dem die Kosten schon vor dem Kauf eines Produktes über die Anschaffung hinaus ermittelt werden können (Kreyenberg, 2016). Die Ermittlung des ökonomischen Potenzials von elektrifizierten Kehrmaschinen wird durch die TCO der beiden Antriebskonzepte Diesel und BEV bestimmt. Anhand der durchschnittlich zurückgelegten Distanz und des elektrischen Verbrauchs des Energiespeichers des BEV wird berechnet, welche maximale Distanz die rein elektrische Kehrmaschine zurücklegen kann (Haag & Ade, 2015).

Die jährlichen TCO_a werden aufbauend auf der Analyse des Fahrprofils für jedes Fahrzeug bestimmt. Sie setzen sich aus den Anschaffungskosten (a_{AK}) und den jährlichen Betriebskosten (a_{BK}) zusammen. Die jährlichen Betriebskosten beinhalten Kraftstoffkosten und die Aufwendungen für die Wartung. Nachfolgend werden die Kostenfunktionen einer konventionellen Kehrmaschine (TCO_{Diesel}^a) und der elektrischen (TCO_{Elektro}^a) dargestellt.

$$TCO_{\text{Diesel}}^a = a_{AK}^{\text{Diesel}} + a_{BK}^{\text{Diesel}} \quad (4)$$

$$a_{AK}^{\text{Diesel}} = I_{KM} \quad (5)$$

$$a_{BK}^{\text{Diesel}} = (V_{\text{konv}} \cdot F_{\text{Leistung}} \cdot K_{\text{Diesel}}) + (K_{\text{Wartung}} \cdot F_{\text{Leistung}}) \quad (6)$$

$$TCO_{\text{Elektro}}^a = a_{AK}^{\text{Elektro}} + a_{BK}^{\text{Elektro}} \quad (7)$$

$$a_{AK}^{\text{Elektro}} = I_{KM} \quad (8)$$

$$a_{BK}^{\text{Elektro}} = (V_{\text{elektr}} \cdot F_{\text{Leistung}} \cdot K_{\text{Strom}}) + (K_{\text{Wartung}} \cdot F_{\text{Leistung}}) \quad (9)$$

mit

TCO_a : jährliche Total Cost of Ownership (€)

a_{AK} : Anschaffungskosten (€)

a_{BK} : jährliche Betriebskosten (€)

I_{KM} : Investition Kehrmaschine (€)

V_{konv} : Verbrauch konventionell (l/km)

V_{elektr} : Verbrauch elektrisch (kWh/km)

K_{Diesel} : Kosten Diesel (€/l)

K_{Strom} : Kosten Strom (€/kWh)

K_{Wartung} : Kosten Wartung (€/km)

T_{KM} : Nutzungsdauer Kehrmaschine (Jahre)

F_{Leistung} : Jahresfahrleistung (km)

4.6 SWOT-Analyse

Mithilfe der SWOT-Analyse (Stärken/Strengths-Schwächen/Weaknesses-Chancen/Opportunities-Risiken/Threats-Analyse) werden die bisherigen Erkenntnisse in **Tabelle 8** zusammengefasst, um ein Gesamtbild zum Thema „Einsatz von vollelektrischen Kehrmaschinen in Deutschland“ zu erhalten. Die in der SWOT-Analyse aufgeführten Punkte sollen einen Überblick über die wichtigsten Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken ermöglichen.

Tabelle 8: SWOT-Analyse vollelektrifizierte Kehrmaschine (eigene Darstellung, 2020)

Interne Stärken (Strengths)	Interne Schwächen (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none">• Reduktion von CO₂• lokal emissionsfrei• geräuscharme Technik• Energie kann durch Müllheizkraftwerk bereitgestellt werden• geringe Wartungskosten• höherer Wirkungsgrad bei geringerem Energieverbrauch• digital verfügbare Daten• Infrastrukturkosten verhältnismäßig niedrig• Innovationsvorteil für Aufbauhersteller• sehr bedienerfreundlich für die Kraftfahrer (geräuscharm)	<ul style="list-style-type: none">• hohe Anschaffungskosten• Umbau, Abbau von vorhandenen Tankanlagen• Angst vor neuen Technologien• Reichweite• Batterielebensdauer• alternative Hybridfahrzeuge• höheres Gewicht• erhöhter Ausbildungsaufwand• mögliches geringeres Ladevolumen• fehlende Innovationsbereitschaft der Anwender• kurze Ladezyklen
Externe Chancen (Opportunities)	Externe Risiken (Threats)
<ul style="list-style-type: none">• Entwicklung Batterietechnologie, sinkende Preise• steigende Rohölpreise• Endlichkeit fossiler Brennstoffe• Unabhängigkeit vom Ölpreis• Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele• niedrige Strompreise• strengere Umweltrichtlinien	<ul style="list-style-type: none">• sinkende Rohölpreise• schleppende Batterieentwicklung• neue Technologien ohne Elektroantrieb setzen sich durch• steigende Strompreise• Förderung von Alternativkraftstoffen• Rohstofflieferanten senken Förderung von seltenen Erden

Der weitere Einsatz von vollelektrischen Kehrmaschinen in anderen kommunalen Einrichtungen dürfte u. a. vom Erfolg des Praxisprojektes abhängig sein. Vorausgesetzt, dass die Fahrzeuge wie erwartet zuverlässig, sicher und leistungsstark sind und über genügend Batteriekapazität verfügen, besteht die Möglichkeit, dass sich die Technologie bis zum Jahr 2030 aus einer kleinen Nische heraus auf ein paar hundert Fahrzeuge in Deutschland verbreiten könnte. Wenn ein Anwender den Praxisnachweis erfolgreich erbringen und zugleich die Wirtschaftlichkeit nachweisen sollte, werden andere umgehend mitziehen. Insbesondere Politik und Wirtschaft könnten diesen Prozess beschleunigen, da ICE-Kehrmaschinen eine hohe Lärm- und Umweltbelastung für Städte und Gemeinden darstellen.

Während des Praxisprojektes haben sich andere Anwender an diesem interessiert gezeigt. Gegenüber dem Einsatz von Elektromobilität in der Stadtreinigung hat sich mittlerweile eine sehr positive Grundstimmung herauskristallisiert. Nach wie vor stellen die deutlich höheren Investitionskosten sowie bereits angefallene Infrastrukturkosten Hemmnisse dar. Außerdem wurden in den letzten Jahren zahlreiche Gasfahrzeuge erworben und diese sind mit einer Laufzeit von acht bis zehn Jahren noch einige Jahre im Einsatz. Die kommunalen Fuhrparks arbeiten in der Regel zeitlich gestaffelt, d. h. die Investitionen sind für die kommenden zehn Jahre verplant. Somit erfolgt eine regelmäßige Nutzfahrzeugbeschaffung.

4.7 Einsatzmöglichkeiten von Elektromobilität in der Stadtreinigung

Im Jahr 2020 verzeichnete die Stadtreinigung Hamburg (SRH) 717 Fahrzeuge in Betrieb, von denen ca. 347 Fahrzeuge für die Reinigung eingesetzt wurden. Damit wird klar, wie vielfältig der Einsatz und die erforderlichen Techniken der Fahrzeuge sein müssen.

Tabelle 9: Planungsstand der Elektrifizierung des Fuhrparks der Stadtreinigung Hamburg (eigene Darstellung nach M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

Übersicht der eingesetzten elektrifizierten Fahrzeuge		
Großkehrmaschinen	<ul style="list-style-type: none"> • Langzeittest einer vollelektrifizierten Maschine, Elektrifizierung abhängig vom Testergebnis geplant • Langzeittest von drei Maschinen mit elektrischem Aufbau (Hybrid), Elektrifizierung abhängig vom Testergebnis geplant 	53
Müllfahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Langzeittest eines vollelektrifizierten (Batterie-) Müllfahrzeuges, Elektrifizierung abhängig vom Testergebnis geplant • Langzeittest Müllfahrzeuge mit Brennstoffzellen-Wasserstoffantrieb geplant, Umsetzung noch offen 	195
Geräte- beziehungsweise Kleinkehrmaschinen	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrifizierung geplant, Start eines breit aufgestellten Langzeittests (10 Fahrzeuge) ab Mitte 2021, weitere Planungen abhängig von den Testergebnissen 	49
Straßenreinigung-Kleinfahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrifizierung in den Bereichen der kleinen Mannschaftsstärke – maximal zwei Mitarbeiter – weitgehend abgeschlossen, 25 Stück Klein-Kipperfahrzeuge im Betrieb 	25
Straßenreinigungsfahrzeuge/ Mannschaftstransporter	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrifizierung geplant, passende Elektrofahrzeuge am Markt aktuell noch immer nicht verfügbar, permanente Marktsichtung 	220
Abrollkipper-Fahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuell noch keine Elektrifizierung geplant 	55
PKW-Poolfahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrifizierung zu zwei Dritteln abgeschlossen, nur Standorte, die aktuell noch nicht über die erforderliche Ladeinfrastruktur verfügen, sind noch ausgenommen 	120
Fuhrpark gesamt:		717

Längst gibt es nicht für alle konventionellen Fahrzeugtypen eine elektrisch angetriebene Alternative. Mit der Elektrifizierung der PKW-Poolfahrzeuge in der Stadtreinigung hat die Elektromobilität jedoch bereits erfolgreich Einzug gehalten. Durch weitere Tests und Projekte soll auch zukünftig der Fuhrpark der Stadtreinigung, vor allem im Bereich der Kehrmaschinentechnologie, erweitert werden.

Die aktuellen von der Bundesregierung angestrebten Kaufanreize helfen der Entsorgungsbranche nicht weiter, da nicht nur finanzielle Mittel fehlen, sondern auch keine ausgereifte, serienmäßige GKM-Technologie am Markt verfügbar ist. Bisher gibt es nur Musterkehrmaschinen oder Prototypen auf dem Markt.

5 Feldversuch: Ergebnisdarstellung

In den **Kapiteln 4.4** und **4.5** wurde die Methodik für das Ermitteln des Potenzials von verschiedenen Handlungsalternativen im Fahrzeugsegment der elektrifizierten Kommunalfahrzeuge und dessen Bewertung mittels Nutzwertanalyse und Kostenwirksamkeitsanalyse beschrieben. Im weiteren Verlauf werden die Grundlagen geschaffen, um die Ist-Situation mit der Soll-Situation vergleichen zu können. Das Ergebnis dieser Vergleichsanalyse im vorliegenden Kapitel kann für kommunale Unternehmen, wie z. B. die SRH, eine Entscheidungshilfe bei zukünftigen Anschaffungen für dieses Fahrzeugsegment sein. Dabei werden schrittweise die allgemeinen Eingangsparameter und die Fahrprofile definiert, der gegenwärtige Markt für Kehrmaschinen in Deutschland wird vorgestellt und das Referenzfahrzeug analysiert. Um die Bestimmung des Potenzials der elektrifizierten Kehrmaschine möglichst transparent zu machen, werden (unter Berücksichtigung des Datenschutzes) alle Daten und Berechnungen der Annahmen aufgeführt. Dabei wird nur auf öffentlich zugängliche Studien verwiesen und die Formeln zur Berechnung werden in die Dissertation eingebunden.

Zur Feststellung des zukünftigen möglichen Potenzials von elektrifizierten Kehrmaschinen werden die allgemeinen Eingangsparameter, welche die Entscheidungssituation beeinflussen, dargestellt. Dabei hängt die Entwicklung des Potenzials von einer Reihe von Faktoren ab, so etwa von der Strom- und der Rohölpreisentwicklung (Kraftstoffpreise) sowie von den CO₂-Emissionen bei der Batterieherstellung (Plötz, Gnann, Kühn & Wietschel, 2013). Die möglichen alternativen Entwicklungspfade der allgemeinen Eingangsparameter werden in drei verschiedenen Szenarien abgebildet (Dieckhoff et al., 2011):

- Annahme Pro-Elektrokehrmaschine (Pro-Szenario)
- Annahme Contra-Elektrokehrmaschine (Contra-Szenario)
- mittlere Annahme (mittleres Szenario)

Das Pro-Szenario geht von einer optimistischen Entwicklung der rein elektrischen Kehrmaschine aus. Im Contra-Szenario hingegen werden pessimistische Annahmen herangezogen und im dritten Szenario mittlere Annahmen getroffen. Die unterschiedlichen Szenarien bilden die Grundlage für die Sensibilitätsanalyse in diesem Kapitel, mit der die Stabilität der Entwicklungen sowie die Einflussgrößen der einzelnen Parameter geprüft werden. In den drei Szenarien variieren die Parameter Diesel, Strompreis und die CO₂-Emissionen.

Tabelle 10: Parameter für die drei Szenarien Pro-Szenario, mittleres Szenario und Contra-Szenario im Jahr 2020 (eigene Darstellung, 2020)

Parameter	Pro-Szenario	Mittleres Szenario	Contra-Szenario
Dieselpreis (€/l)	1,60	1,33	1,07
Strompreis (€/kWh)	0,14	0,18	0,22
CO ₂ -Emission Herstellung Fahrzeug (kg/kg)	3,11	3,89	4,67
CO ₂ -Emission Herstellung Batterie (kg/kWh)	208	260	312

Insbesondere die Preisentwicklung beim Diesel ist mit starken Unsicherheiten verbunden. Daher wird der Dieselpreis des mittleren Szenarios aus der Studie „MarkthochlaufszENARIO für Elektrofahrzeuge“ entnommen (Plötz et al., 2013). Für die beiden anderen Szenarien erfolgt in Anlehnung an Plötz et al. (2013) ein Aufschlag um 20 % (Pro-Szenario) beziehungsweise eine Minderung um 20 % (Contra-Szenario). Außer der unsicheren Entwicklung des Dieselpreises rechnen einige Studien mit einem Anstieg des Strompreises in Deutschland. Daher wird für das Contra-Szenario eine Studie der Boston Consulting Group als Basis herangezogen (BCG, 2013).

Während die allgemeinen Eingangsparameter für andere Entscheidungssituationen bei Kommunalfahrzeugen verwendbar sind, werden an dieser Stelle die entscheidungsspezifischen Fahrzeugparameter vorgestellt. Diese Daten basieren auf einer Umfrage „Elektrifizierte Fahrzeuge in der Straßenreinigung in Deutschland“ sowie den Angaben von Entscheidungsträgern; es handelt sich dabei jeweils um Mittelwerte des zur Verfügung stehenden Datenmaterials.

In der Dissertation wird angenommen, dass die Kehrmaschinen-Nutzungsdauer acht Jahre beträgt und eine GKM jährlich 15.000 Kilometer in den rund 1.400 Betriebsstunden zurücklegt. Die in der nachfolgenden **Tabelle 11** enthaltenen Parameter fließen, wie auch die Parameterwerte der drei Szenarien, in die TCO- und CO₂-Berechnung ein. Die Betriebsstunden dienen demgegenüber lediglich als Bezugsgröße, d. h., sie gehen in keine Berechnung ein.

Tabelle 11: Entscheidungsspezifische Parameter (Steiner, 2020)

Parameter	
Kehrmaschinen Nutzungsdauer in Jahren	8
Distanz (km/Jahr)	15.000
Betriebsstunden	1.400

5.1 Ausgangslage

Vierorts gibt es Forderungen aus der Politik und Gesellschaft nach einer qualitativ hochwertigen, aber auch wirtschaftlichen Stadtreinigung. Oftmals ist diese „historisch gewachsen“ und nicht den tatsächlichen Gegebenheiten der vorhandenen Reinigungssysteme angepasst. Somit sind die Zuordnungen von Kehrmaschinen zu jeweiligen Reinigungsgebieten nicht optimal. Angesichts der Feststellung teilweise unterschiedlicher Produktivitäten bei gleicher Kehrzeit und Kehrgeschwindigkeit (z. B. durch Regiezeiten) wird im Rahmen der wirtschaftlichen Zwänge häufiger über eine weitere Technisierung der Straßenreinigung nachgedacht. Empirische Langzeitdaten zu Reinigungs- und Fahrgeschwindigkeiten von GKM, ob Diesel, Hybrid oder vollelektrisch, liegen nur bedingt beziehungsweise lediglich veraltet vor. Gerade um den zukünftigen Qualitätsdiskussionen beim Einsatz von neuen Kehrmaschinentechnologien in bestimmten städtischen Strukturen entgegenzuwirken, müssen immer wieder Praxistests zur Erhebung von empirischen Daten durchgeführt werden.

Nicht nur die SRH beschäftigt sich schon seit vielen Jahren verstärkt mit dem Thema Elektromobilität und damit zusammenhängend mit dem Thema Wirtschaftlichkeit der Alternativantriebe, sondern auch viele andere Städte und Kommunen. Dabei lag der Schwerpunkt bisher auf umweltfreundlichen und emissionsarmen PKWs und Kleintransportern. Davon hat die SRH aktuell mehr als 90 elektrische Fahrzeuge bis 3,5 t im Einsatz (Tendenz steigend). Mit einem erfolgreichen Test einer neuen, rein elektrischen GKM könnte auch der Anteil bei den Großfahrzeugen zukünftig steigen. Die CO₂-Ersparnis würde verglichen mit einem baugleichen Fahrzeug mit Dieselantrieb ca. 30 t pro Jahr betragen. Darüber hinaus ist dieser Prototyp mit 57 Dezibel in etwa 20 Dezibel leiser als die herkömmlichen GKM, die sich im Einsatz befinden.

Die SRH verfolgt das Ziel, möglichst umweltfreundlich und emissionsarm auf Hamburgs Straßen unterwegs zu sein.

Damit der Feldversuch vergleichbar und die Daten belastbar sind, wurden die alternativ angetriebenen GKM auf den gleichen Touren wie die Referenz-GKM eingesetzt und ausgewertet. Im Wesentlichen wurden folgende Parameter im Praxistest untersucht und mit der Referenz-GKM verglichen:

- Energieverbrauch
- CO₂-Emissionen
- Lärm-Emissionen
- Reichweite
- Einsatzdauer
- Infrastruktur der Ladevorrichtungen
- Nutzlast
- Erfahrungen der Bedienermannschaft

Die Ergebnisse wurden im Projektteam dokumentiert, analysiert, diskutiert und verifiziert.

Das Projektteam bestand aus dem Autor, zwei technischen Mitarbeitern des Fuhrparkmanagements der SRH, einem Mitarbeiter der Herstellerfirma Brock Kehrtechnik GmbH und einem Mitarbeiter des eingesetzten Telematik Systems der Firma GINAF Trucks Nederland B.V.. Die Projektsitzungen fanden regelmäßig monatlich in Hamburg statt. Somit konnte das Projektteam zeitnah und direkt auf folgende Themen eingehen und diese erörtern:

- Kehrkilometer
- Tourenlänge
- Energieverbräuche
- Tourenplanung / Tourenabweichungen
- Tourendokumentationen
- technische Störungen
- Wiege Gewichte
- technische Änderungen

Insgesamt wurden die Teamsitzungen als sehr konstruktiv, zielorientiert und effektiv beschrieben. Gerade in der Testphase und Erprobung von neuen Technologien ist eine intensive Projektbegleitung zu empfehlen.

5.2 Personal

Die Personalplanung für die Straßenreinigung erfolgt täglich über eine Excel-Liste. Darin sind alle Mitarbeiter mit ihren An- und Abwesenheitszeiten (Urlaub und Krankheit etc.) sowie sämtliche Fahrzeuge mit ihrem jeweiligen Verfügbarkeitsstatus hinterlegt. Die eigentliche Planung erfolgt grundsätzlich am Vortag eines Einsatzes. Damit kann kurzfristig auf Ausfälle reagiert werden. Daraus resultierend müssen alle betroffenen Mitarbeiter und Personalräte vor Einführung von neuen Technologien umfangreich informiert und geschult werden.

Der Einsatz und Betrieb eines Elektrofahrzeuges ist ähnlich dem eines Dieselfahrzeuges mit Automatik-Getriebe. Die SRH hat deshalb die Versuchs-GKM auf der Basis der bisher eingesetzten konventionellen GKM aufbauen lassen. Somit wurde lediglich der komplette Antriebsstrang getauscht (elektrifiziert). In jedem Fall bedarf es einer Schulung für die Berufskraftfahrer (BKF), die zumeist jahrelang mit Verbrennungsmotoren unterwegs waren. Nachfolgend sind einige der wichtigsten Unterschiede aufgeführt:

- Fahrzeug ist relativ lautlos (Fahrgeräusche)
- aktive Benutzung von Rekuperation und Retarderbremse
- Bremsen müssen aufgrund des selteneren Einsatzes von Zeit zu Zeit freigebremst werden
- Starkstrom bringt neue Gefahren mit sich (Sicherheitsschulung)
- Erklärung Fahrzeugkomponenten
- Motor ist vibrationsfrei und durchzugstark
- Fahrer muss Stromverbrauch kennen und Werte interpretieren lernen
- Fahrerdaten können einfach aus dem Fahrzeug ausgelesen und analysiert werden
- Winterbetrieb bewirkt Mehrverbrauch
- Ladetechnologie

Die Anforderung, Neuerungen zu akzeptieren, stößt bei den meisten Menschen im ersten Moment auf Widerstand. Eine nicht repräsentative Befragung von Mitarbeitern und Fahrern der SRH, die seit kurzem mit rein elektrischen Poolfahrzeugen unterwegs waren, hat jedoch ergeben, dass die Fahrer sich sehr schnell an den Elektroantrieb gewöhnt und ihn schätzen gelernt haben. Die Umstellung bei der SRH auf Elektro-Lastenräder wurde nach anfänglicher Ablehnung ebenfalls sehr positiv aufgenommen.

Wenn sich bestätigt, dass die rein elektrisch angetriebenen Fahrzeuge zuverlässig sind, dürften die Kraftfahrer positiv auf den Betrieb der Fahrzeuge reagieren. In jedem Fall ist ein emissionsfreies Fahrzeug ein großer Gewinn für die Kraftfahrer, da sie dadurch weniger Ruß, Abgasen, Vibrationen und Lärm ausgesetzt sind.

Die Bedienerfreundlichkeit und die Handhabungsergebnisse aus dem Feldversuch werden separat in einem Fragebogen (vgl. Anhang A.2.) erfasst.

5.3 Bestehende Ladeinfrastruktur

Elektrofahrzeuge brauchen im Gegensatz zu diesel- oder benzinbetriebenen Fahrzeugen eine wesentlich längere Standzeit, um ihre Batterien vollzuladen. Die beschriebenen Ladetechnologien müssen daher vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Voraussetzungen der Betriebshöfe erörtert werden. Besonderheiten auf kleinen und mittleren Betriebshöfen und die vorhandene Gebäudetechnik beeinflussen wesentlich die Ausgestaltung der dort nutzbaren Ladeinfrastruktur. **Tabelle 12** beschreibt die Ist-Situation der eingesetzten Ladetechnologien und Ladeplätze der SRH.

Tabelle 12: Übersicht Ladeplätze und Ladetechnologie der SRH (eigene Darstellung nach M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

Betriebshöfe	Ladetechnologie	Ladeplätze
Schnackenburgallee 100	Mennekes AMTRON® Premium 3,7 C2	18
Volksdorferweg 196	Mennekes AMTRON® Professional 22 C2 und AMTRON® Professional+ 22 C2	5
Bullerdeich 19	Mennekes AMTRON® Premium 3,7 C2	27
	AMTRON® Premium 22 C2	4
	Smart-Wallboxen	6
Neuländer Kamp 6	AMTRON® Professional 22 C2	11
Rahlau 73	Ladebox der Firma Kebab	2
Liebigstraße 66	Mennekes AMTRON® Premium 3,7 C2	1
Rondenbarg 52a	Mennekes AMTRON® Professional 22 C2 und AMTRON	2
Kampweg 4	Ladebox der Firma Kebab	2
Singelmannsweg	in Planung	0
Summe:		78

Im Vergleich zum Kraftstofffahrzeug zeigt sich ein elementarer Unterschied im Verbraucherverhalten darin, dass der Fahrer sein Elektrofahrzeug täglich mindestens einmal laden muss, statt es wie bisher nur ein- bis zweimal in der Woche zu betanken.



Abbildung 23: Ladestation der Firma Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

Daher ist es für eine zukünftige Verbreitung und Erweiterung der Elektromobilität auf den Betriebshöfen von zentraler Bedeutung, die vorhandene Ladetechnologie, wie in **Abbildung 23** dargestellt, sowie die einfache Handhabung des Ladens eines Elektrofahrzeuges auszubauen und zu beschleunigen. Auf der Basis der Fuhrparkplanung für 2020 wurden bis Ende des Jahres weitere 47 Ladepunkte auf den jeweiligen Betriebshöfen installiert. Damit soll eine reibungslose, sichere und einfache Ladung der Elektrofahrzeuge gewährleistet werden.

5.4 Reinigungsplanung und Tourenplanauswahl

Das Hamburger Stadtgebiet ist in drei Regionen und fünf Planungsgebiete unterteilt. Mithilfe einer dezentralen Tourenplanung in den jeweiligen Regionen werden die Aufgaben geplant und die Ermittlung des Ressourcenbedarfs durchgeführt.

Die Basis dafür ist eine abgeschlossene Dienstvereinbarung „Straßenreinigung“, in der die Aufgaben und Arbeitsorganisationen sowie die Verteilung der Arbeitszeiten und Arbeitsleistungen berücksichtigt werden. Die zu erbringende Leistung ergibt sich aus der Summe der Reinigungsmeter pro Woche unter Berücksichtigung von Erschwernissen wie z. B. manuelle oder maschinelle Reinigung, Teamarbeit und Ortslage. Hieraus werden entsprechende Leistungsminuten errechnet.

Grundlage für die zu reinigenden Strecken sind Vorgaben des Hamburgischen Wegegesetzes (HWG) sowie der im Wegereinigungsverzeichnis (WRV) aufgeführten Straßen. Die Zuständigkeiten für die Gehwegreinigung sind im HWG geregelt (VKU, 2016). Mithilfe des Geoinformationssystems (GIS) kann die Teamverteilung der SRH im Innenstadtbereich farblich dargestellt werden (vgl. **Abbildung 24**).



Abbildung 24: Beispiel für eine Teamverteilung im Innenstadtbereich im Geoinformationssystem (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

Die Straßenreinigung wird in unterschiedliche Arbeitsorganisationen unterteilt. Von der manuellen Reinigung (Einzel- oder Teamarbeit) über die Maschinenreinigung (Kehrmaschineneinsatz) und Papierkorbsammeltouren bis zur Depotcontainerstandplatzreinigung weist sie eine große Bandbreite auf. Die manuelle Straßenreinigung ist eine Einzelarbeit für jeden Teilbereich der Straße durch Einsatzkräfte. Je nach Reinigungsgebiet können diese zusammengezogen werden und bilden somit Kolonnen.

Die Teamarbeit ist die Basis der Arbeitsorganisation Straßenreinigung und sichert das Zusammenwirken von Menschen und Maschine zur Reinigung von öffentlichen Gebieten. Ein Team besteht aus acht bis zehn Mitarbeitern und wird täglich regelmäßig von drei Fahrzeugen (Mannschaftswagen, KKM, GKM) unterstützt. Die Reinigungsleistungen setzen sich wie folgt zusammen:

- Fahrbahnreinigung
- Gehwegreinigung
- Papierkorbleerung
- Depotcontainerreinigung

Damit die täglich zu erbringenden Leistungen reibungslos erfolgen können, sind Tourenpläne als Arbeitsvorgabe erforderlich. Dabei ist das GIS-gestützte Planungstool zur Erstellung der Tourenpläne in Form von Tages- und Wochenplänen ein wichtiges Werkzeug. Im Planungstool sind alle wichtigen Parameter als Berechnungsgrundlage hinterlegt. Somit können alle durch die SRH zu reinigenden Objekte berechnet und die jeweiligen Leistungen genau zugeordnet werden. Der Praxistest basiert auf der beschriebenen Teamreinigung und der ihr zugrunde liegenden Tourenplanung. Die einzelnen Touren werden im Nachgang bei der Vorstellung der eingesetzten Technologie kurz beschrieben.

5.5 Dokumentation der Messdaten

In den Naturwissenschaften bilden Messverfahren und Messdaten die Grundlage, um quantitative Aussagen über physikalische Größen zu ermöglichen. Entsprechende Daten werden in Deutschland in mehreren Verkehrserhebungen im Bereich des Privat- und Wirtschaftsverkehrs wie „Mobilität in Deutschland 2008“ (BMVBS, 2010) oder „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010“ (WVI et al., 2010) erhoben. Jedoch deckt keine dieser Erhebungen den Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen beziehungsweise kommunalen Straßenreinigungsfahrzeuge zufriedenstellend ab.

Dabei soll der Erfahrungsprozess dem subjektiven Einfluss des beobachtenden Individuums, soweit es geht, entzogen und die Erfahrung somit objektiviert werden. Entsprechend hoch sind daher die Ansprüche, die ein Wissenschaftler an die Qualität der Messdaten stellt.

Um alle Informationen in einer Übersicht erhalten zu können, ist für das Praxisprojekt ein Dashboard für einen Echtzeit-Überblick über Status, Reichweite und Standort der eingesetzten Kehrmaschinen ausgewählt worden (VIRICITI, 2020). Ein Beispiel dafür ist in der folgenden **Abbildung 25** dargestellt.

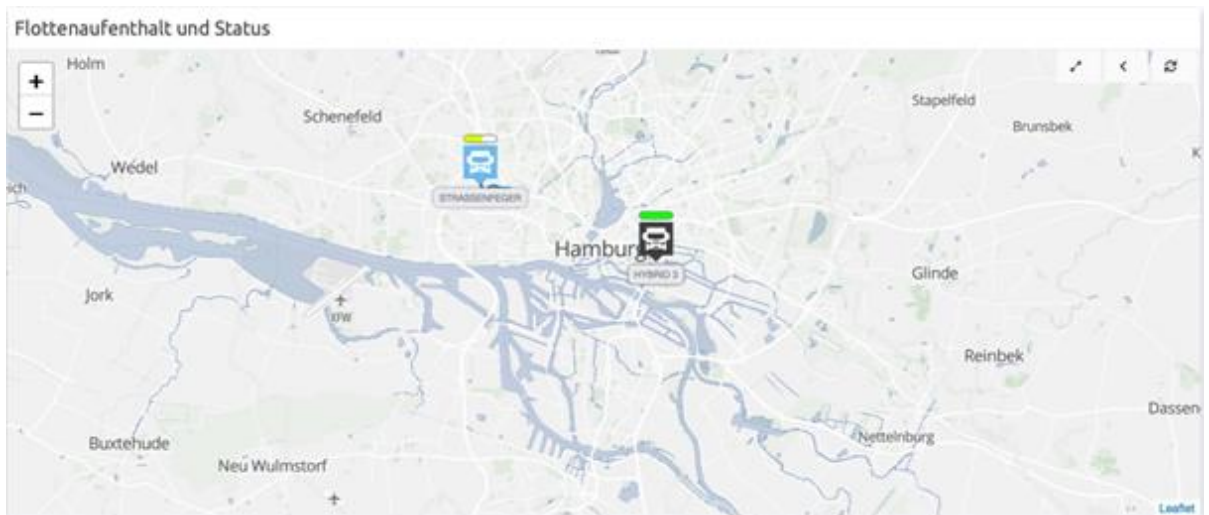


Abbildung 25: Dashboard für elektrifizierte Kehrmaschinen in Hamburg (VIRICITI, 2020)

Mit dem Dashboard kann online und in Echtzeit der Einsatz der Kehrmaschinen verfolgt werden. Damit ist ein effizienteres Fahren und eine Erhöhung der Reichweite pro Ladung um 30 % möglich (VIRICITI, 2020). **Abbildung 26** zeigt einen Auszug weiterer Parameter.

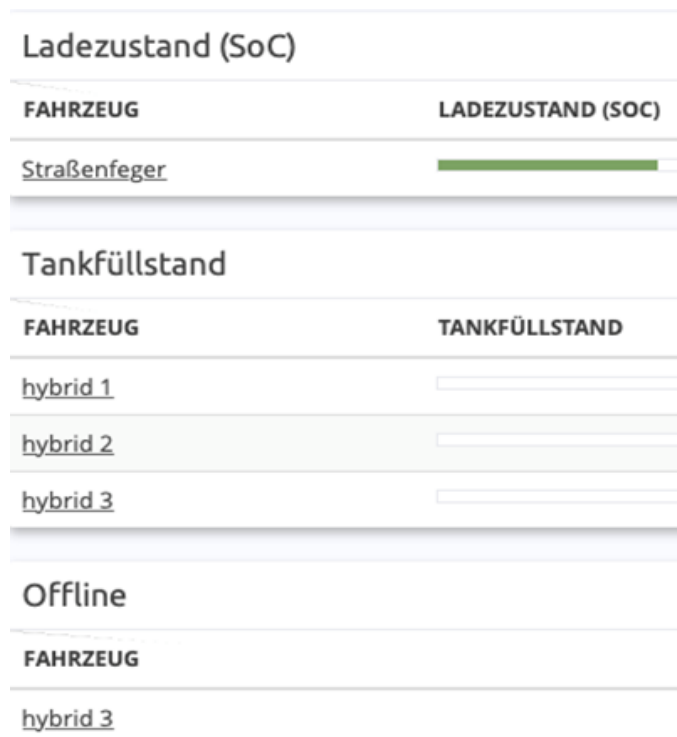


Abbildung 26: Übersicht Kehrmaschinen-Parameter (VIRICITI, 2020)

Mit der Flottenübersicht (vgl. **Abbildung 26**) können die Disponenten in Echtzeit den aktuellen Ladezustand der jeweiligen Kehrmaschine sehen. Mit der Integration der Ladestationen können Warnmeldungen und Ausfälle schnell erkannt und bearbeitet sowie Verzögerungen vermieden werden.

Die Echtzeit-Fehlerbenachrichtigungen und die Historie derkehrmaschinen können helfen, Ausfälle und Schäden zu vermeiden. Die Disponenten oder Arbeitsgruppenleiter können aus der Ferne entscheiden, welche Fahrzeuge aus dem Verkehr zu ziehen oder für die nächste Wartung einzuplanen sind (VIRICITI, 2020).

Die Fahrzeuge können, neben der allgemeinen Darstellung der Flotte, einzeln angezeigt und in Echtzeit nachgehalten werden, was für die Dokumentation der Messdaten wichtig ist. Ein Beispiel für eine solche Echtzeit-Dokumentation ist in **Abbildung 27** zu sehen.

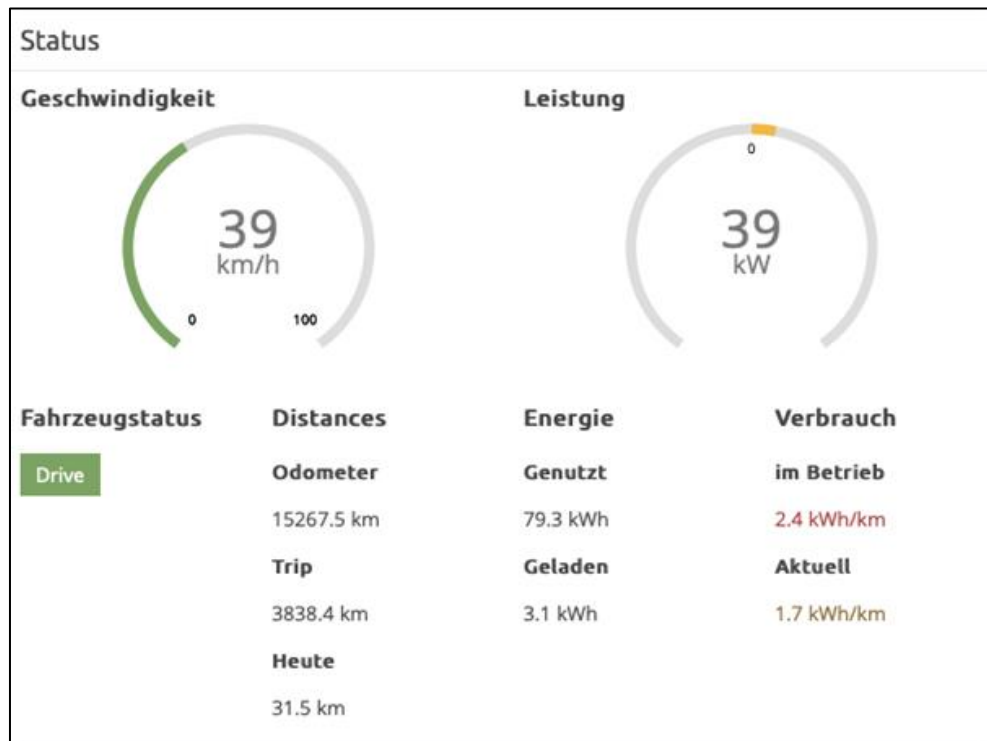


Abbildung 27: Übersicht Echtzeitkehrmaschinenendaten (VIRICITI, 2020)

Um eine valide Datengrundlage für den nachfolgenden Vergleich erstellen zu können, wurden im Rahmen des Praxisprojekts „Elektrifizierte-Kehrmaschinen-Fahrprofile“ von konventionellen Reinigungsfahrzeugen aufgezeichnet. Zur Erhebung der Datensätze kamen Global Positioning System (GPS)-Trackinggeräte in drei Erhebungsintervallen zum Einsatz. Die Datenlogger wurden in die Fahrzeuge eingebaut und mit der Zündung verbunden. Beim Start eines Fahrzeuges wird der Datenlogger ebenfalls aktiv und beginnt mit der Erfassung der Positionsdaten. Die Datenübertragung zum Nutzer, der die Daten über ein Softwareprogramm auslesen kann (vgl. **Abbildung 27**), erfolgt dazu über die integrierte mobile Verbindung. Die Datenlogger haben alle zurückgelegten Fahrten eines Fahrzeuges aufgezeichnet.

Unter anderem sind Daten zu Start- und Endzeitpunkt, geografischer Länge und Breite des Start- und des Zielorts, Geschwindigkeit sowie Daten der zurückgelegten Strecke für jede Fahrt verfügbar.

Die Datenlogger wurden an einen assoziierten Projektpartner ausgegeben, um den Einsatz auf deren konventionellen Straßenreinigungsflotten aufzuzeichnen. Der Datenerhebungszeitraum erstreckte sich insgesamt von Mai 2020 bis Ende Oktober 2021. Die erhobenen Messdaten sowie die Analyse und Zusammenfassung dieser Daten, liegen für den Zeitraum Mai 2020 bis April 2021, sowie für Mai 2021 bis Oktober 2021 in zwei gesonderten Tabellen vor (vgl. Anhang A.9. bis A.27.) Der Anhang A.4. stellt die Analyse und Auswertung der Daten des gesamten Zeitraums dar. Insgesamt wurden in dem Projekt „elektrifizierte Kehrmaschinen“ bislang über 48.700 Kilometer von fünf Fahrzeugen in Hamburg aufgezeichnet (vgl. Anhang A.9. bis A.27.).

5.6 Analyse der Ist-Großkehrmaschine (Referenzkehrmaschine)

Als konventionelles Referenzfahrzeug aus der GKM-Klasse dient eine mit Diesel betriebene Brock 6 m³ GKM, die in **Abbildung 28** dargestellt ist. Der Motor der Kehrmaschine verfügt über 180 PS (130 kW) aus 5.100 cm³ und ist mit der Umweltnorm Euro 6 c ausgezeichnet.



Abbildung 28: GKM VS6 Diesel (Brock, 2020)

Die VS6 (Vacuum Sweeper) mit ihren 6 m³ Schmutzbehältervolumen und zwei Achsen gehört zu den kleineren GKM, die eingesetzt werden können. Sie ist wie ihre größeren Kehrmaschinen-Schwester saugstark und dazu auch noch wandelbar.

Das von Brock entwickelte Baukastensystem macht es möglich, die Kehrmaschine sowohl für den Sommer- als auch für den Winterdienstinsatz auszustatten und entsprechend umzurüsten. Die VS6 hat neben dem Wechselsystem noch viele weitere Zusatzoptionen, wie z. B. eine Wasserhochdruck- oder eine Laubsaugschlaucheinrichtung, welche die Kehrmaschine zu einer idealen LKW-Kehrmaschine für Städte und Kommunen machen. Als Allrounder kann sie sowohl mit einem konventionell angetriebenen zusätzlichen Aufbaumotor gemäß Abgasnorm als auch mit einem modernen alternativen Antriebskonzept betrieben werden. Für den Aufbauhersteller steht stets der Kunde und immer eine effiziente und optimal angepasste Nutzung der Kehrmaschine in ihrem Einsatzgebiet im Fokus (Brock, 2020).

Derzeit wird die Diesel-Kehrmaschine VS6 in Deutschland für ca. 170.000 € verkauft. Daraus ergeben sich TCO in Höhe von 348.872€ (mittleres Szenario) welche aus der Summe a_{AK} und a_{BK} gebildet wurden. Weitere fahrzeugspezifische Eingangsparameter sind **Tabelle 13** zu entnehmen (vgl. Brock, 2020).

Tabelle 13: Fahrzeugspezifische Parameter (eigene Darstellung nach Brock, 2020)

Parameter	Brock VS6 (Diesel)
Kraftfahrzeugsteuer (€/Jahr)	–
Nettolistenpreis (€)	170.000
Wartungskosten (€/km)	0,40
Konventioneller Verbrauch (l/km)	0,82
CO ₂ -Emission (kg/km)	222
Lärmemission (db(A))	99
Reichweite (km)	140
Arbeitsautonomie (h)	7,8
Ladedauer/Tankdauer (h)	0,025
Nutzlast (kg)	4.500
Leergewicht (kg)	10.500

Anhand der in **Tabelle 13** angegebenen Parameter wurden die alternativen Testkehrmaschinen in enger Abstimmung zwischen Aufbauhersteller und Kunde weiterentwickelt und mit den im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Spezifikationen versehen.

Die GKM VS6d ist eine Kehrmaschine mit einem konventionell angetriebenen Fahrgestell (Diesel). Der Aufbau wird durch einen Dieselaufbaumotor, wie in **Tabelle 14** zu sehen, angetrieben.

Tabelle 14: Technische Daten der GKM VS6d (eigene Darstellung nach Brock, 2020)

Allgemeine Daten		
Hersteller		Brock Kehrtechnik GmbH
Fahrzeugtyp		Kehrmaschine
Baujahr		2018
Fahrgestell		
Fahrzeugtyp		Atego 1524
Motor-Typ		Diesel
Getriebe		Automatikgetriebe Allison WT MD 3500
Leistung	PS	177
	kW	130
Aufbau		
Antrieb		Aufbaumotor
Aufbaumotor Firma Brock	Typ	Diesel
Akku Kapazität	kWh	75
Gesamtfahrzeug		
Länge x Breite x Höhe	mm	6.752 x 2.750 x 3.100
Zul. Gesamtgewicht	kg	15.000
Nutzlast	kg	4.500
Mit Anhänger Gesamtzuggewicht	kg	k. A.
Geräuschemissionswerte		
Schalleistungspegel	dB	99

5.7 Fahrzeugspezifikationen der Testfahrzeuge

Derzeit gibt es keine belastbaren Angaben, Erfahrungswerte oder Daten der Fahrgestell- und Aufbauhersteller über den Einsatz und die Zuverlässigkeit von teil- oder vollelektrischen GKM. Aus diesem Grund sollte ein Praxistest Auskunft über die Kosten, die Einsetzbarkeit, Zuverlässigkeit und die Systemverbräuche der alternativen Antriebe in Abhängigkeit von Fahrgestell und Aufbau geben. Ziel war es, belastbare Daten über einen Langzeitversuch zu ermitteln und den Daten der Referenzkehrmaschine in der beschriebenen Nutzwert- und Kostenanalyse gegenüberzustellen. Um die Qualitätsmerkmale und die Qualitätsanforderung vergleichen zu können, wurden folgende Vorgehensweisen und Vorgaben im Vorfeld vereinbart:

- 1. Phase: Testfahrzeug mit einem Diesel-Fahrgestell kombiniert mit einem rein elektrisch betriebenen Aufbau
- 2. Phase: Testfahrzeug mit einem rein elektrisch angetriebenen Fahrgestell und einem rein elektrisch betriebenen Aufbau
- Beide Antriebe ersetzen zu 100 % die bisher eingesetzten Diesel-GKM-Touren
- Einschichtbetrieb hybrid und vollelektrisch
- Bedienung der GKM einheitlich – wie Referenzfahrzeug
- Besenwagenkinematik gleich
- Saugleistung gleichwertig oder besser
- Ausstattung gleichwertig (z. B. Klimaanlage, Heizleistung, Radio, Fahrverhalten wie bei einem Automatikgetriebe bei der vollelektrischen Maschine)
- Reduzierung der Geräuschemission (im Fahrerhaus und im Arbeitsbetrieb außen)

5.8 Kehrmaschine VS6h (Hybrid)

Weitere Testfahrzeuge sind die teilelektrischen Kehrmaschinen VS6h der Firma Brock Kehrmaschinentechnik GmbH, die technisch auf der bisher eingesetzten konventionellen Dieselkehrmaschine mit einem rein elektrischen Aufbau basiert. Der Aufbau der Hybrid-GKM wird nicht wie üblich mechanisch oder hydraulisch vom Dieselmotor angetrieben, sondern autark vollelektrisch angetrieben und per Stecker geladen (22 kW On-Board Charger). Der Antriebsstrang ist dieselgetrieben.



Abbildung 29: GKM VS6h Hybrid (Brock, 2020)

Die **Abbildung 29** zeigt eine der drei eingesetzten Hybrid-GKM (VS6h) mit einem Kehraufbauvolumen à 6 m³, einem Wassertank von 1.200 l, einer Kehrbreite von 2,5 bis 5 m, einem Walzenbesen mit 1,6 m Breite und Tellerbesen rechts und links mit zusätzlicher Laubsaugeinrichtung. Die Kehrgeschwindigkeit von 0 bis 20 km/h ist aufgrund des gleich aufgebauten Fahrgestells mit einer modernen konventionell betriebenen Kehrmaschine vergleichbar.

5.8.1 Technische Daten

Die GKM VS6h ist eine Hybrid-Kehrmaschine, d. h., die Kehrmaschine hat ein konventionell angetriebenes Fahrgestell (Diesel) und basiert, wie in **Tabelle 15** zu sehen, auf dem Fahrgestell der Referenz-GKM. Der technische Unterschied zur Referenz-GKM besteht im Aufbau, der rein elektrisch betrieben ist und einen Motor vom Typ Emrax 228 HV verbaut hat.

Der Elektromotor nimmt im Saugbetrieb 15 bis 20 kW auf und ist somit nahezu genauso leistungsstark wie die Referenzmaschine.

Tabelle 15: Technische Daten der GKM VS6h 1-3 (eigene Darstellung nach Brock, 2020)

Allgemeine Daten		
Hersteller		Brock Kehrtechnik GmbH
Fahrzeugtyp		Kehrmaschine
Baujahr		2018
Fahrgestell		
Fahrzeugtyp		Atego 1524
Motor-Typ		Diesel
Getriebe		Automatikgetriebe Allison WT MD 3500
Leistung	PS	177
	kW	130
Aufbau		
Antrieb		Hybrid elektrisch
Aufbaumotor Firma Brock	Typ	Elektromotor
Akku Kapazität	kWh	60
Gesamtfahrzeug		
Länge x Breite x Höhe	mm	7.000 x 2.750 x 3.100
Zul. Gesamtgewicht	kg	15.000
Nutzlast	kg	4.250
Mit Anhänger Gesamtzuggewicht	kg	k. A.
Geräuschemissionswerte		
Schalleistungspegel	dB	k. A.

Die Batterie liefert eine Energie von ca. 60 kWh und die Spannung beträgt dabei maximal 680 V. Begrenzt durch den Aufbau hat die Kehrmaschine eine durchschnittliche Reichweite von ca. 70 km, was für die bisher geplanten Touren in der Mannschaftreinigung völlig ausreichend war. Die dafür vorgesehenen Touren stammen aus der Tourenplanung der Referenzkehrmaschine und wurden bereits in **Kapitel 5.4** erläutert.

5.8.2 Darstellung der Teststrecken

Die Teststrecken sind, wie in **Kapitel 5.4** beschrieben, bestehende und nach den Reinigungsleistungen berechnete Touren in der Teamarbeit. Somit werden die im innerstädtischen Bereich geplanten Touren von einer GKM unterstützt und sind optimale Strecken zum Testen von Hybrid- und vollelektrischenkehrmaschinen. In den nachfolgenden **Abbildungen 30 bis 33** werden exemplarisch die Touren der eingesetzten teilelektrifizierten GKM VS6h für einen Bezirk dargestellt.

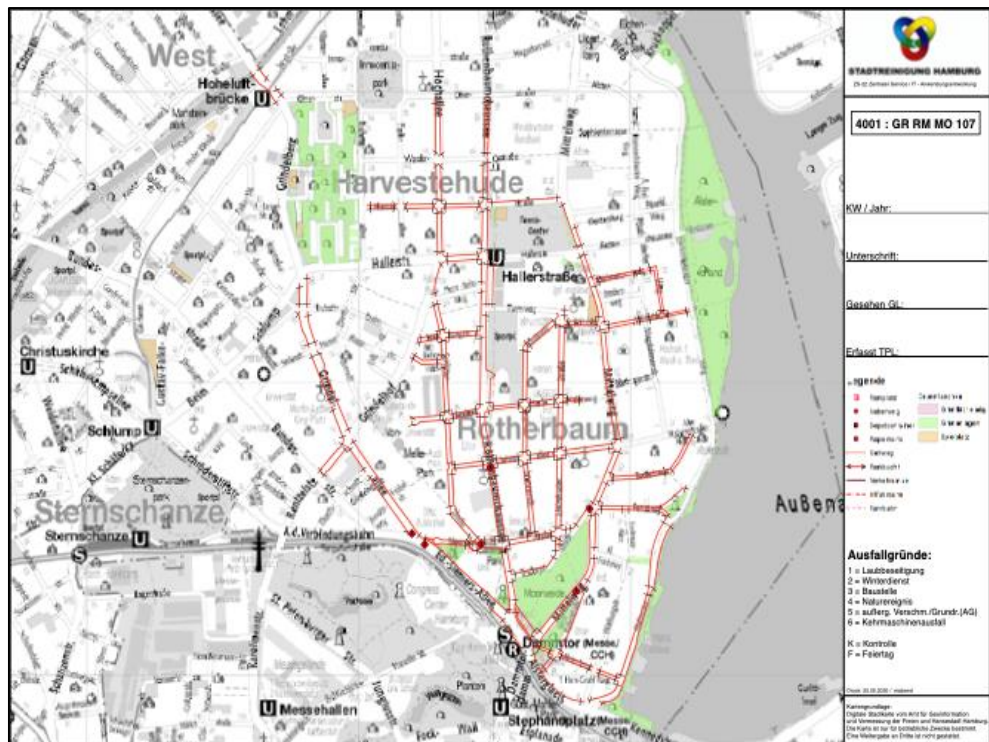


Abbildung 30: Beispiel 1 Teststrecke für die teilelektrifizierte GKM VS6h in der Innenstadt (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

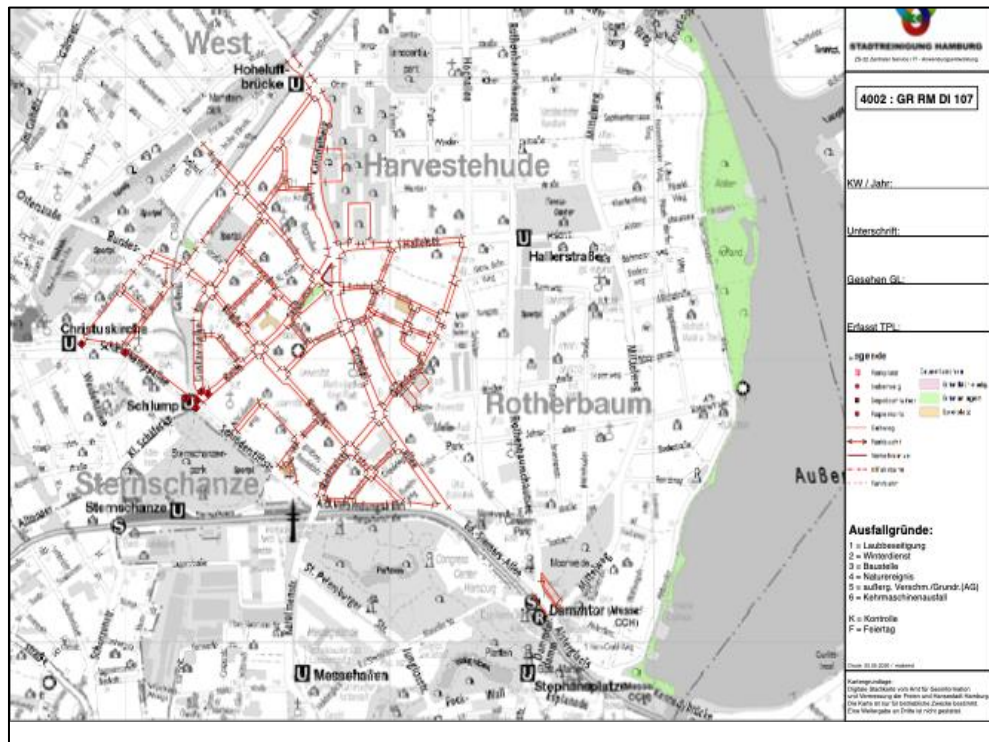


Abbildung 31: Beispiel 2 Teststrecke für die teilelektrifizierte GKM VS6h in der Innenstadt (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

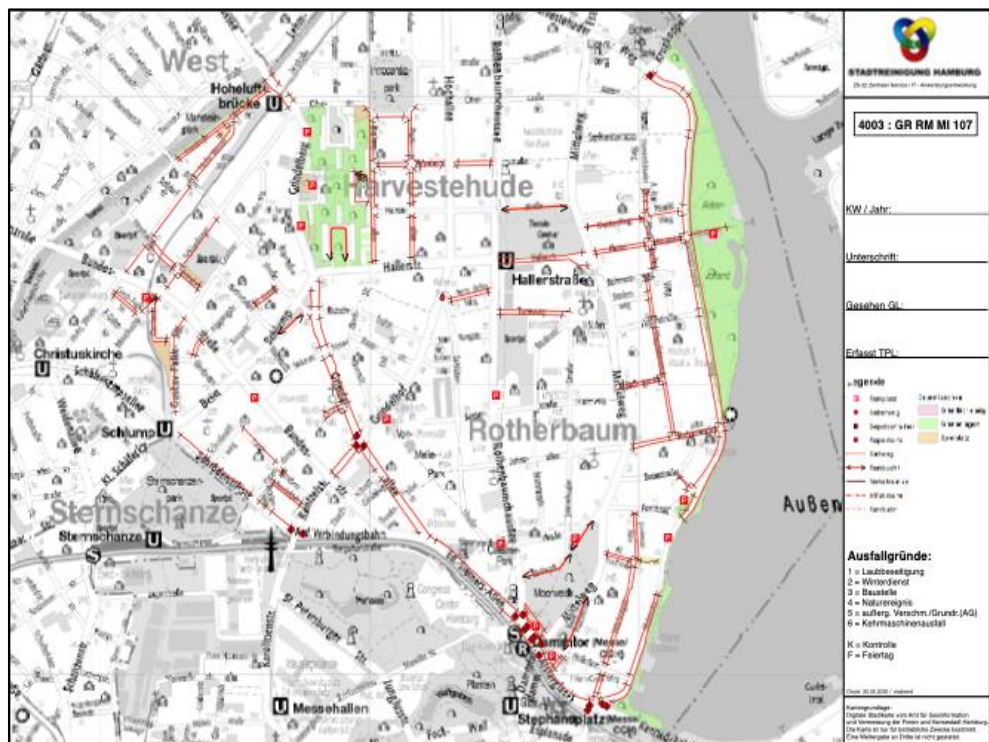


Abbildung 32: Beispiel 3 Teststrecke für die teilelektrifizierte GKM VS6h in der Innenstadt (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

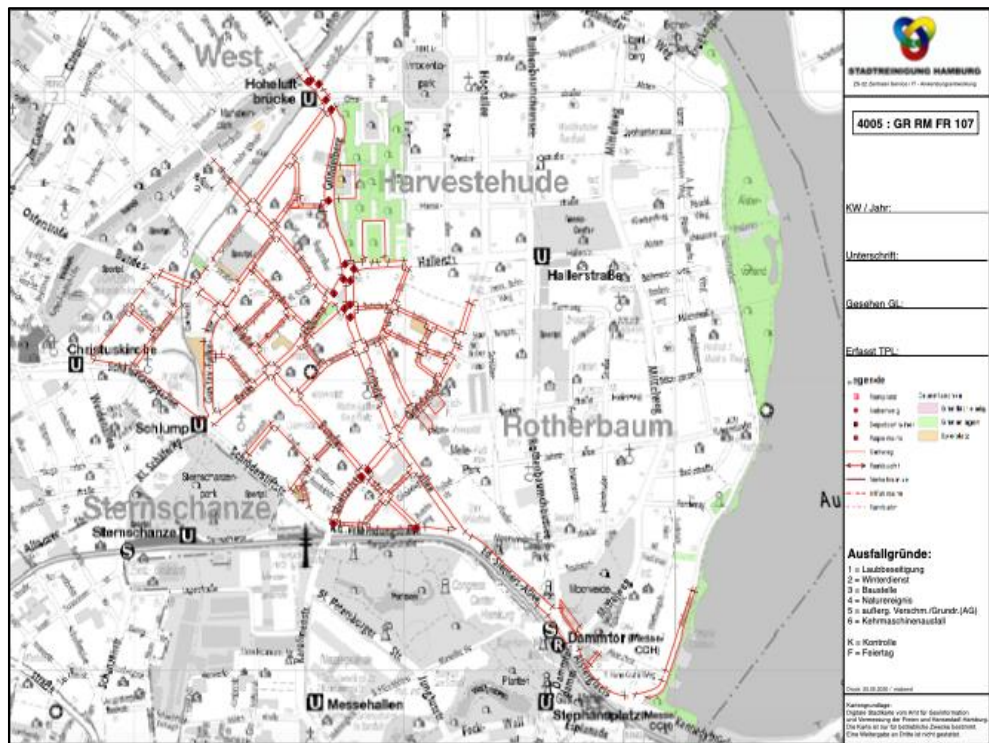


Abbildung 33: Beispiel 4 Teststrecke für die teilelektrifizierte GKM VS6h in der Innenstadt (M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

Abbildungen 30 bis 33 stellen zusammen einen innerstädtischen Reinigungsbezirk in Hamburg dar. Dieser Bezirk wird, wie in **Kapitel 5.4** beschrieben, durch ein Reinigungsteam gereinigt. Dabei kommt nicht die übliche Diesel-GKM zum Einsatz, sondern eine teilelektrische GKM VS6h von Brock Kehrtechnik GmbH.

Mit Unterstützung des GPS Route Logs können alle aus dem GIS vorgestellten Reinigungstouren zusammengefasst dargestellt werden. Die Messfrequenz der Datenaufnahme liegt bei 100 m/sec, d.h. neue Daten werden alle 100 Sekunden aufgezeichnet. Bei Auswertung dieser Daten ist zu erkennen, dass immer wieder die gleichen Reinigungstouren abgefahren wurden. Kleinere Abweichungen von den geplanten Reinigungstouren sind mit Sonder-einsätzen begründet. Die Längen der Reinigungstouren basieren, wie in den **Abbildungen 30 bis 33** dargestellt und in **Kapitel 5.4** beschrieben, aus dem GIS System, welches in den meisten Großstädten als Planungssystem eingesetzt wird. Die Fahrer der Kehrmaschinen erhalten hierzu täglich, noch in Papierform, die von ihnen zu reinigenden Bezirke mit den dazugehörigen Straßenzügen. Diese fahren die Kehrmaschinenfahrer in den vorgegebenen regelmäßigen Reinigungsintervallen ab.

5.9 Kehrmaschine VS6e (vollelektrifiziert)

Bereits Anfang Mai 2020 wurde der Prototyp VS6e der Firma Brock Kehrtechnik GmbH bei einem Pressetermin auf der Fläche des St.-Pauli-Fischmarkts der Öffentlichkeit vorgeführt. Die Kehrmaschine Brock VS6e war äußerlich nur durch ein auffälliges grünes „e“ im Typenschriftzug von herkömmlichen GKM zu unterscheiden und demonstrierte den Pressevertretern, wie die Tellerbesen das Pflaster des berühmten St.-Pauli-Fischmarkts zu 100 % mit elektrischer Energie und ohne Motoremissionen reinigten.



Abbildung 34: GKM VS6 Elektrisch (Brock, 2020)

Wie in **Abbildung 34** zu sehen, ist die GKM mit einem Kehraufbauvolumen à 6 m³, einem Wassertank von 1.200 l, einer Kehrbreite von 2,5 bis 5 m, einem Walzenbesen mit 1,6 m Breite, Tellerbesen rechts und links und zusätzlicher Laubsaugeinrichtung ausgestattet. Mit einer Kehrgeschwindigkeit von 0 bis 20 km/h ist die vollelektrische Kehrmaschine mit einer modernen konventionell betriebenen Kehrmaschine vergleichbar.

5.9.1 Technische Daten

Das Herzstück und Interessante der Kehrmaschine verbirgt sich im Inneren. Sie ist mit einem Elektromotor mit einer Nominalleistung von 195 bis maximal 250 kW ausgestattet. Das Drehmoment beträgt 2.060 bis maximal 3.400 Nm. Die Batterieleistung liegt bei 600 V und einer Ladung von 300 Ah; als Batteriepakete werden damit ca. 180 kWh bereitgestellt. Mit

einem 400-V/32-A-System kann eine optimale Ladezeit von 6,8 h erreicht werden (Brock, 2020). Somit lässt sich die Kehrmachine problemlos über Nacht laden und steht für den nächsten Arbeitstag (AT) zur Verfügung. Weitere technische Daten sind in **Tabelle 16** dargestellt.

Tabelle 16: Technische Daten der GKM VS6e KM-1902 (eigene Darstellung nach Brock, 2020)

Allgemeine Daten		
Hersteller		Brock Kehrtechnik GmbH
Fahrzeugtyp		Kehrmachine
Baujahr		2019
Fahrgestell		
Fahrzeugtyp		2-Achser MB RK 2
Motor-Typ		Elektromotor
Antrieb		Elektrisch
Leistung	PS	265 bis 340
	kW	195 bis 250
Aufbau		
Antrieb		Elektrisch
Aufbaumotor Firma Brock	Typ	Kein Aufbaumotor
	bar	Kein Aufbaumotor
Gesamtfahrzeug		
Länge x Breite x Höhe	mm	6.950 x 2.550 x 3.150
Zul. Gesamtgewicht	kg	15.000
Nutzlast	kg	4.000
Mit Anhänger Gesamtzuggewicht	kg	k. A.
Geräuschemissionswerte		
Schalleistungspegel	dB	90

Die voraussichtliche Haltbarkeit der Batteriepacks ist mit 2.500 Ladezyklen bei einer Fünftagewoche für ca. zehn Jahre kalkuliert (Brock, 2020). Dies entspricht der durchschnittlichen Einsatzdauer einer eingesetzten kommunalen konventionellen Kehrmachine in Deutschland (VKU, 2020).

In der folgenden **Tabelle 17** werden die technischen Daten der elektrischen sowie von den hybriden GKM vergleichend dargestellt. Die eingesetzten Hybridfahrzeuge 1 bis 3 weisen technisch keine Unterschiede auf.

Bei der VS6h 4 handelt es sich um einer der ersten GKM Prototypen, von welchem die Daten lediglich im Erhebungszeitraum Mai 2021 bis Oktober 2021 aufgezeichnet wurden. Die GKM VS6h 4 weist im Vergleich zu den GKM VS6h 1 bis 3 mit 66 kWh eine höhere Akku-Kapazität auf.

Tabelle 17: Technische Daten der elektrischen und hybriden GKM im Vergleich (eigene Darstellung nach Brock, 2020)

Allgemeine Daten		GKM VS6e KM-1902	GKM VS6h (1 bis 3)	GKM VS6h (4)
Hersteller		Brock Kehrtechnik GmbH	Brock Kehrtechnik GmbH	Brock Kehrtechnik GmbH
Fahrzeugtyp		Kehrmaschine	Kehrmaschine	Kehrmaschine
Baujahr		2019	2018	2018
Fahrgestell				
Fahrzeugtyp		2-Achser MB RK 2	Atego 1524	Atego 1524
Motor-Typ		Elektrisch	Diesel	Diesel
Getriebe		Elektrisch	Automatikgetriebe Allison WT MD 3500	Automatikgetriebe Allison WT MD 3500
Leistung	PS	265 bis 340	177	177
	kW	195 bis 250	130	130
Aufbau				
Antrieb		Elektrisch	Hybrid elektrisch	Hybrid elektrisch
Aufbaumotor Firma Brock	Typ	Kein Aufbaumotor	Elektromotor	Elektromotor
Akku Kapazität	kWh	180 kWh	60 kWh	66 kWh
Gesamtfahrzeug				
Länge x Breite x Höhe	mm	6.950 x 2.550 x 3.150	7.000 x 2.750 x 3.100	7.000 x 2.750 x 3.100
Zul. Gesamtgewicht	kg	15.000	15.000	15.000
Nutzlast	kg	4.000	4.250	4.250
Mit Anhänger Gesamtzuggewicht	kg	k. A.	k. A.	k. A.
Geräuschemissionswerte				
Schallleistungspegel	dB	90	k. A.	k. A.

5.9.2 Darstellung der Teststrecken

Die ausgewählten Teststrecken basieren wie bei den Hybrid-Kehrmaschinen auf Tourenplänen und Strecken, die bisher von konventionellen Diesel-Kehrmaschinen abgefahren wurden. Aufgrund der technischen Voraussetzungen und der kalkulierten Batterieleistung werden die Kehrmaschinen mit Alternativantrieben in innerstädtischen Bezirken eingesetzt. Zur besseren Rückverfolgbarkeit und Dokumentation der Daten ist bei jeder der eingesetzten Testkehrmaschinen ein Datenlogger eingebaut. Somit können während jeder Testphase die Wegstrecke und die jeweiligen Touren nachvollzogen werden.

5.10 Berechnung und Analyse der Wirkungsgrade

Der energetische *Wirkungsgrad* einer Maschine beschreibt die Effizienz einer technischen Einrichtung. Das Verhältnis der erzeugten nutzbaren Energie zur eingesetzten Energie ist der Wirkungsgrad. Beispielsweise hat ein Elektromotor einen Wirkungsgrad von 90 %, wenn er aus 1 kW elektrischer Leistung eine mechanische Antriebsleistung von 0,9 kW erzeugt. In der Regel hängt der Wirkungsgrad stark von den Betriebsbedingungen ab, beispielsweise von der Belastung, Wärme und Drehzahl eines Motors oder von den Druckverhältnissen bei einer Pumpe (Paschotta, 2022).

Sofern keine Verfälschung durch gespeicherte Energie erfolgt, kann ebenso mit der Leistung gerechnet werden als Verhältnis der Nutzleistung zur zugeführten Leistung. Der Wirkungsgrad wird mit dem griechischen Buchstaben η bezeichnet und kann üblicherweise Werte zwischen 0 und 1 annehmen.

Für die Berechnung des Gesamtwirkungsgrads ist die folgende Gleichung heranzuziehen:

$$\eta_G = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{\eta_D P_{ZuDiesel} + \eta_E P_{ZuElektro}}{P_{ZuDiesel} + P_{ZuElektro}}$$

η_G : Gesamtwirkungsgrad

P_{ab} : Nutzleistung (mechanische Leistung, die der Elektromotor an der Welle abgibt)

P_{zu} : Zugeführte Leistung (elektrische Leistung, die dem Motor zugeführt wird)

$P_{ZuDiesel}$: Zugehende Leistung des Dieselmotors

$P_{ZuElektro}$: Zugehende Leistung des Elektromotors

η_D : Wirkungsgrad des Dieselmotors

η_E : Wirkungsgrad des Elektromotors

5.10.1 Wirkungsgrade bei der Diesel-GKM

Der Gesamtwirkungsgrad eines Verbrennungsmotors schwankt je nach Einsatz sehr stark zwischen 30 und 42 %. Bei Volllast können Wirkungsgrade von 35 %, mit Direkteinspritzung und Turboaufladung auch von über 40 % erreicht werden. Bei niedriger Auslastung hingegen, wie zum Beispiel im Stadtverkehr oder Betrieb eines Aufbaus, kann der Wirkungsgrad unter 20 % fallen (Brock, 2020).

Die folgende **Abbildung 35** stellt die theoretischen Wirkungsgrade der einzelnen Aggregate bei der Referenz-GKM VS6d dar. So weist der Verbrennungsmotor einen theoretischen Wirkungsgrad von 30 % bis maximal 42 % auf, Gebläse und Besen sind mit einem Wirkungsgrad von 60 % angegeben.

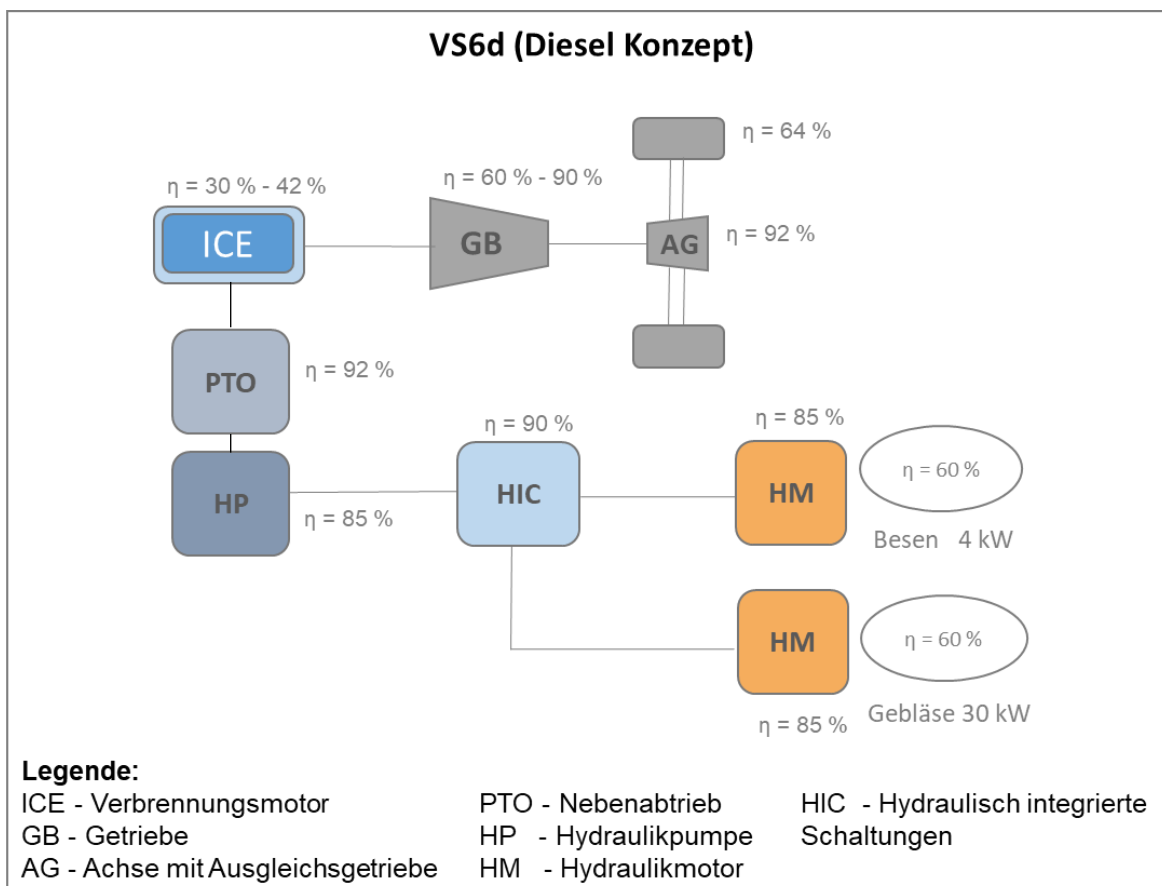


Abbildung 35: Wirkungsgrad Schema der Diesel-GKM (D. Inia, GINAF, persönliche Kommunikation, 2022)

In den nachfolgenden **Abbildungen 36 und 37** sind auf Basis der **Abbildung 35** die Energieflussdiagramme der Diesel-GKM als Top-Down dargestellt. Die Darstellungen zeigen jeweils den Energiefluss des Antriebsstrangs sowie des Aufbaus.

Der Antriebsstrang ist unterteilt in den minimalen und den maximalen Wirkungsgrad, der sich aus den Werten des Verbrennungsmotors und des Getriebes ergeben. Es ist zu erkennen, dass der Wirkungsgrad nach Besen und Gebläse noch zwischen 11 und 15 % liegt.

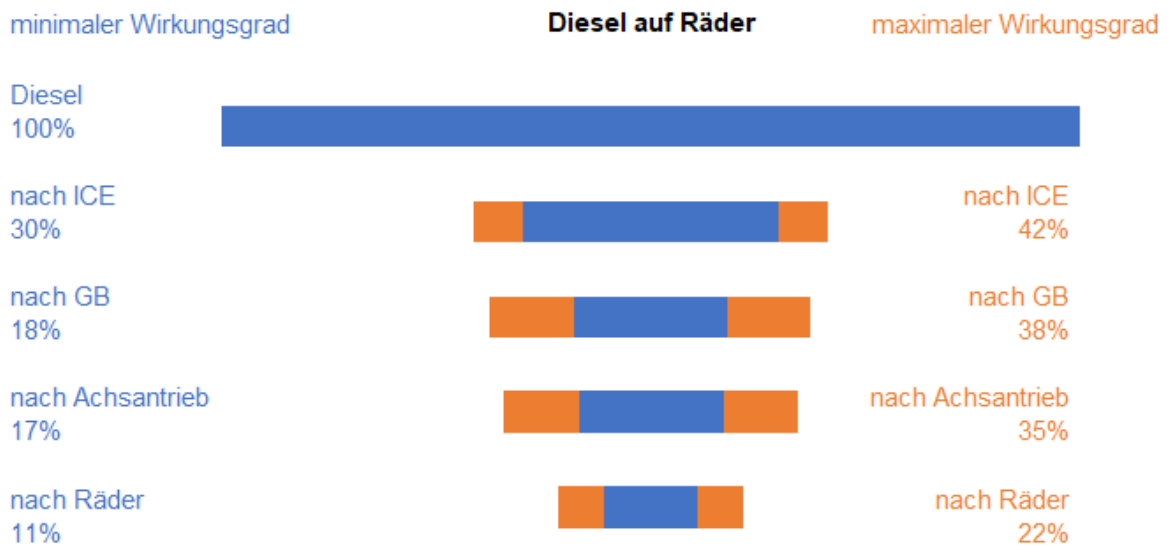


Abbildung 36: Energieflussdiagramm Antrieb Referenz-GKM VS6d (eigene Darstellung vgl. Anhang A.6., 2022)

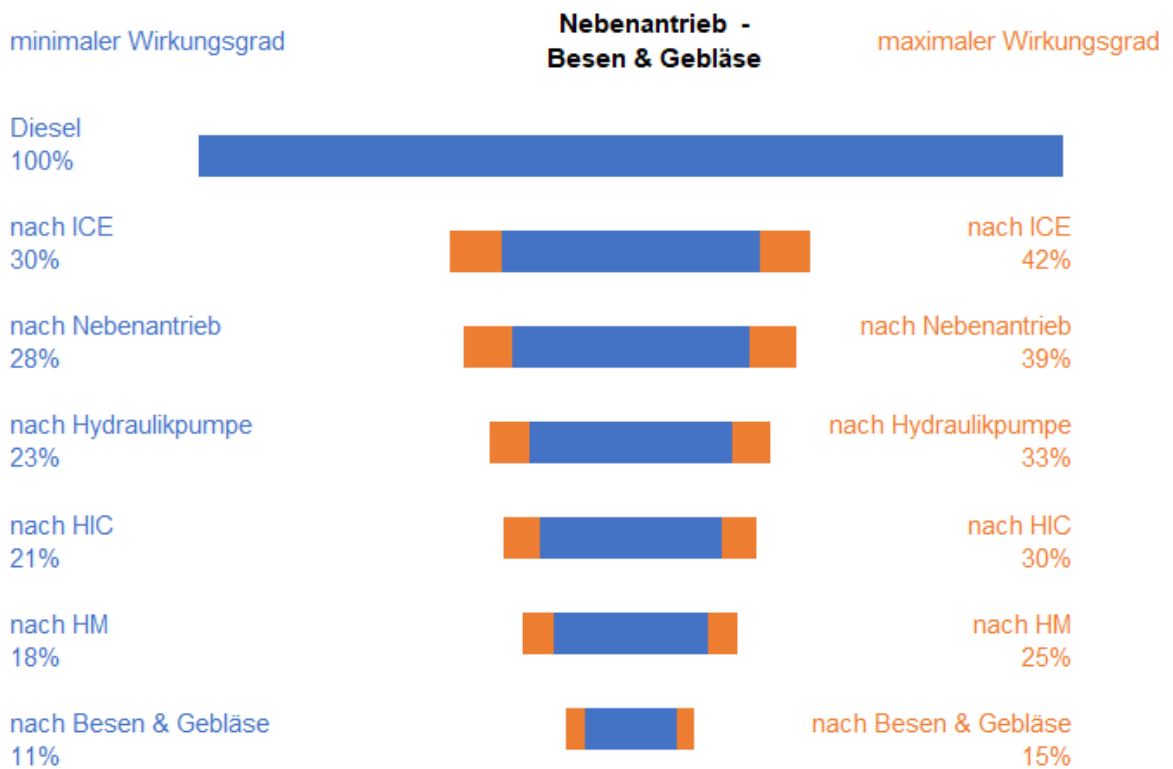


Abbildung 37: Energieflussdiagramm Aufbau Referenz-GKM VS6d (eigene Darstellung vgl. Anhang A.6., 2022)

5.10.2 Wirkungsgrade bei der hybriden GKM

Vergleichend zu der dieselbetriebenen GKM kann festgehalten werden, dass der Antriebsstrang die gleichen Wirkungsgrade abbildet. Ein deutlicher Unterschied zeigt sich bei der Betrachtung des Aufbaus. Die Abbildungen stellen die deutlich höheren Wirkungsgrade bei der hybriden GKM im Vergleich zu der dieselbetriebenen GKM dar. So beträgt der Wert nach Besen und Gebläse bei der VS6d lediglich 11 bis 15 % und bei der VS6h nach Besen noch 38 % und nach Gebläse noch 74 %.

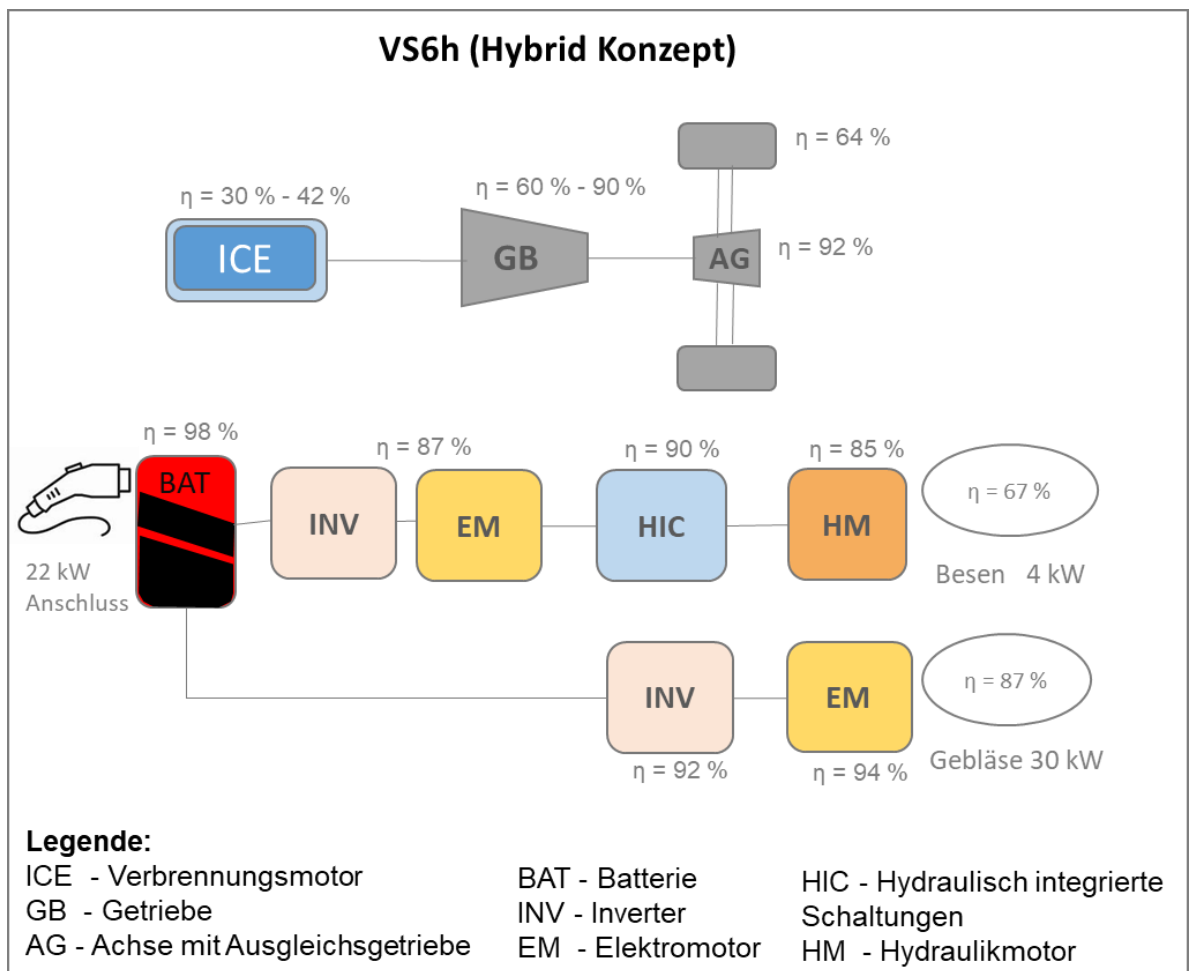


Abbildung 38: Wirkungsgrad Schema der hybriden GKM VS6h (D. Inia, GINAF, persönliche Kommunikation, 2022)

Wie in der **Abbildung 38** zu sehen, ist der Antriebsstrang (ICE, GB, AG) unabhängig beziehungsweise getrennt von dem vollelektrischen Aufbau. Der Aufbau wird rein elektrisch über einen 22 kW Anschluss geladen und eine Batterie dient als Energiequelle. Somit ist der Begriff „Hybrid“ GKM irreführend und technisch nicht mit einem hybridangetriebenen Fahrzeug zu vergleichen.

Ausgehend von der **Abbildung 38** wird der Energiefluss der theoretisch angenommen Wirkungsgrade der hybriden GKM VS6h in den folgenden **Abbildungen 39 bis 41** dargestellt.

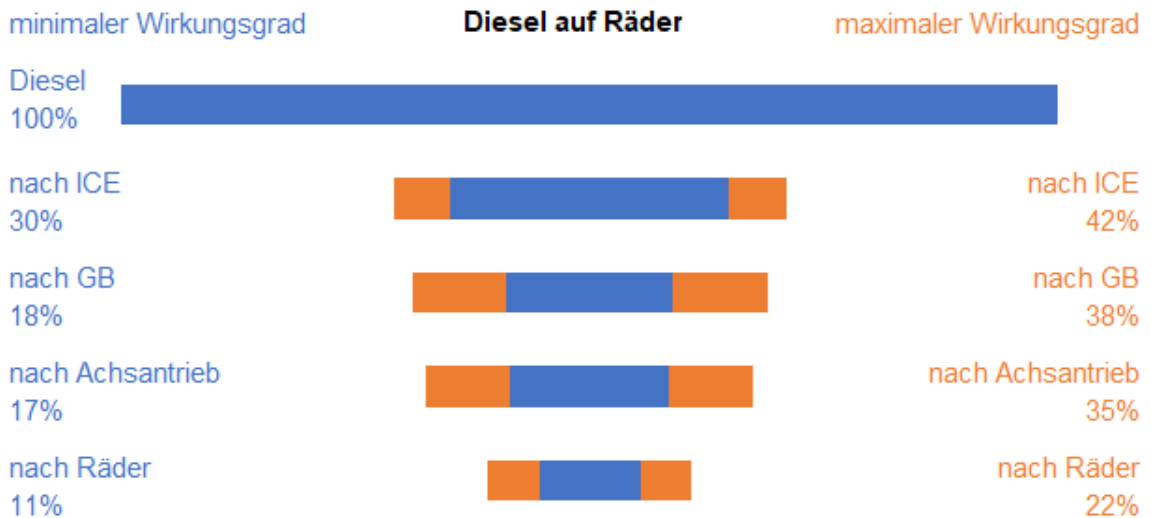


Abbildung 39: Energieflussdiagramm Antrieb Hybrid-GKM VS6h – Diesel bis Räder (eigene Darstellung vgl. Anhang A.7., 2022)

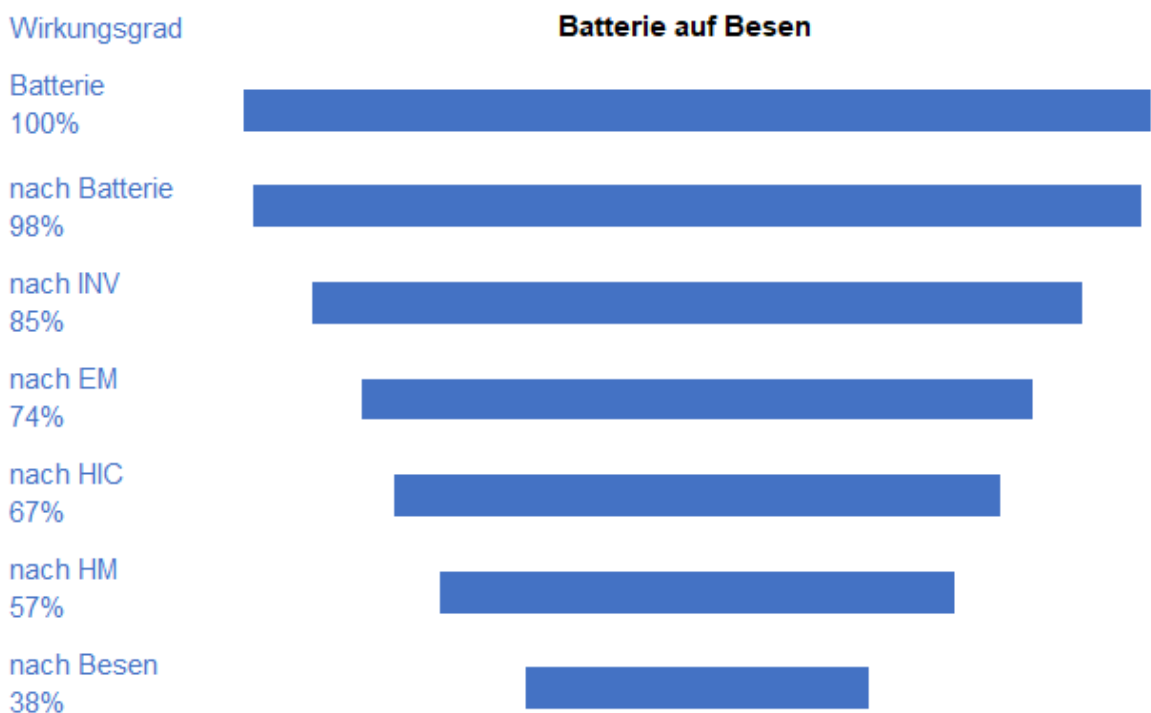


Abbildung 40: Energieflussdiagramm Aufbau Hybrid-GKM VS6h – Batterie bis Besen (eigene Darstellung vgl. Anhang A.7., 2022)

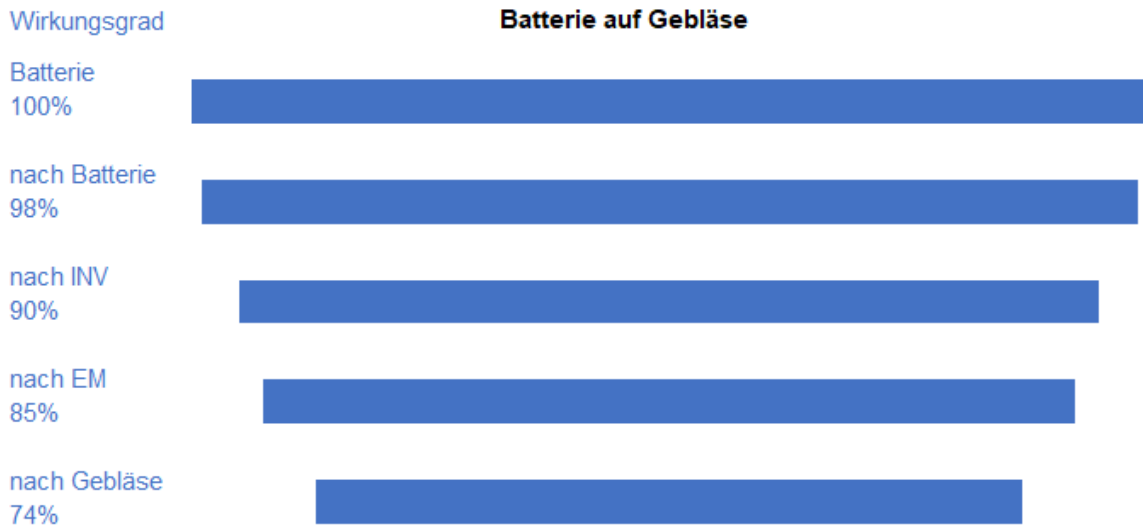


Abbildung 41: Energieflussdiagramm Aufbau Hybrid-GKM VS6h – Batterie bis Gebläse (eigene Darstellung vgl. Anhang A.7., 2022)

5.10.3 Wirkungsgrade bei der vollelektrischen GKM

Wie bei batteriebetriebenen Elektroautos wird der Strom für eine vollelektrische GKM direkt aus den Li-Ion-Akkus verwendet und muss daher nicht erst umgewandelt werden. Somit ist der Wirkungsgrad deutlich höher als bei wasserstoffbetriebenen Elektroautos. Ungefähr 8 % der Energie gehen beim Transport des Stroms verloren, bevor dieser in den Akkus des Fahrzeuges gespeichert wird. Weitere 18 % fallen bei der Umwandlung der elektrischen Energie zum Antrieb des Motors weg. Der Gesamtwirkungsgrad liegt daher zwischen 70 und 90 % (Stan, 2018).

In der nachstehenden **Abbildung 42** werden wie bei den vorangegangenen GKM VS6d und VS6h die theoretischen Wirkungsgrade der vorhandenen Komponenten dargestellt.

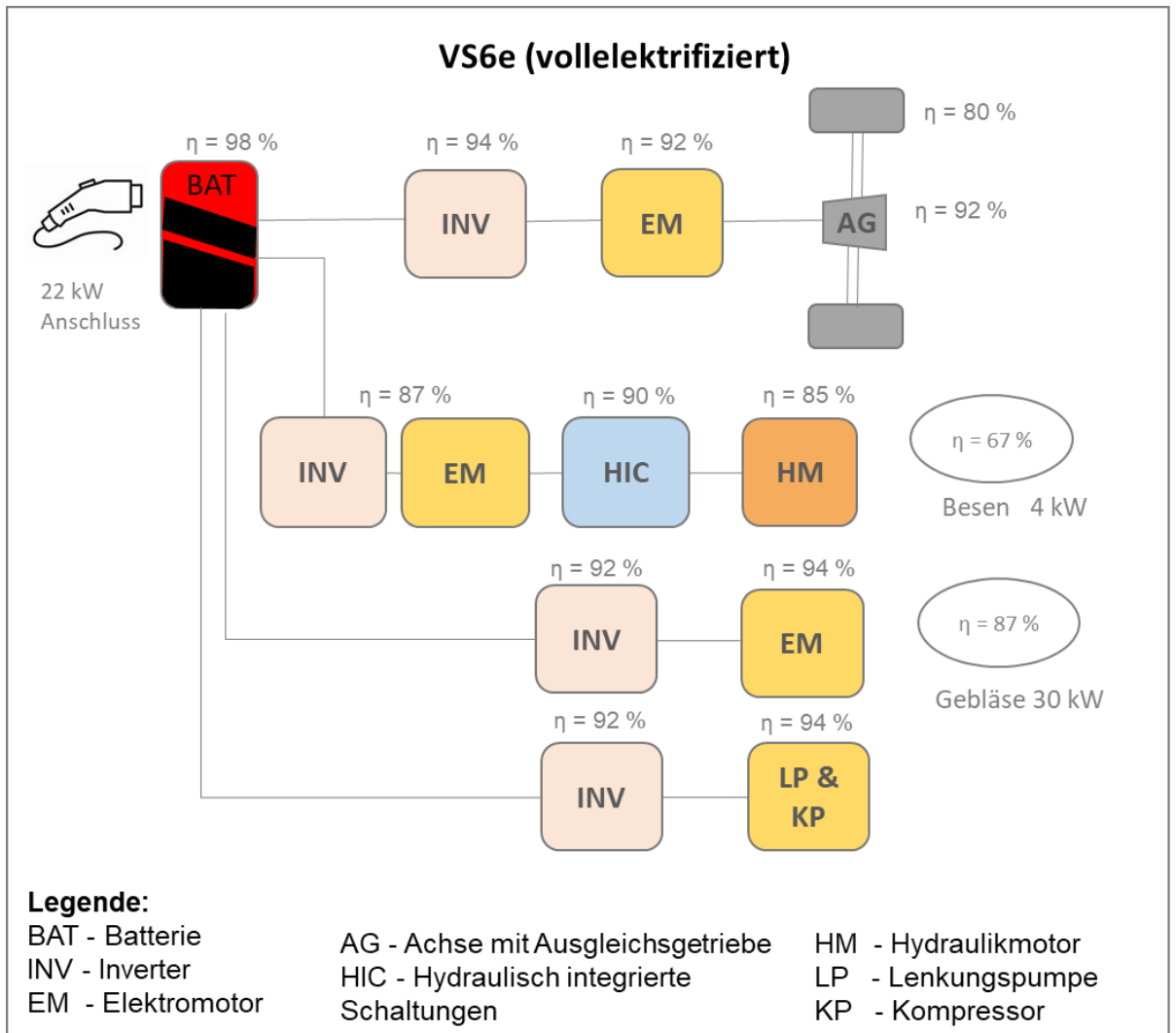


Abbildung 42: Wirkungsgrad Schema der vollelektrifizierten GKM VS6e (D. Inia, GINAF, persönliche Kommunikation, 2022)

Entsprechend der in **Abbildung 42** aufgeführten theoretischen Wirkungsgrade der voll-elektrischen GKM VS6e, stellen die folgenden **Abbildungen 43 bis 46** die Energiefluss-diagramme für den Antrieb und den Aufbau als Top-Down dar.

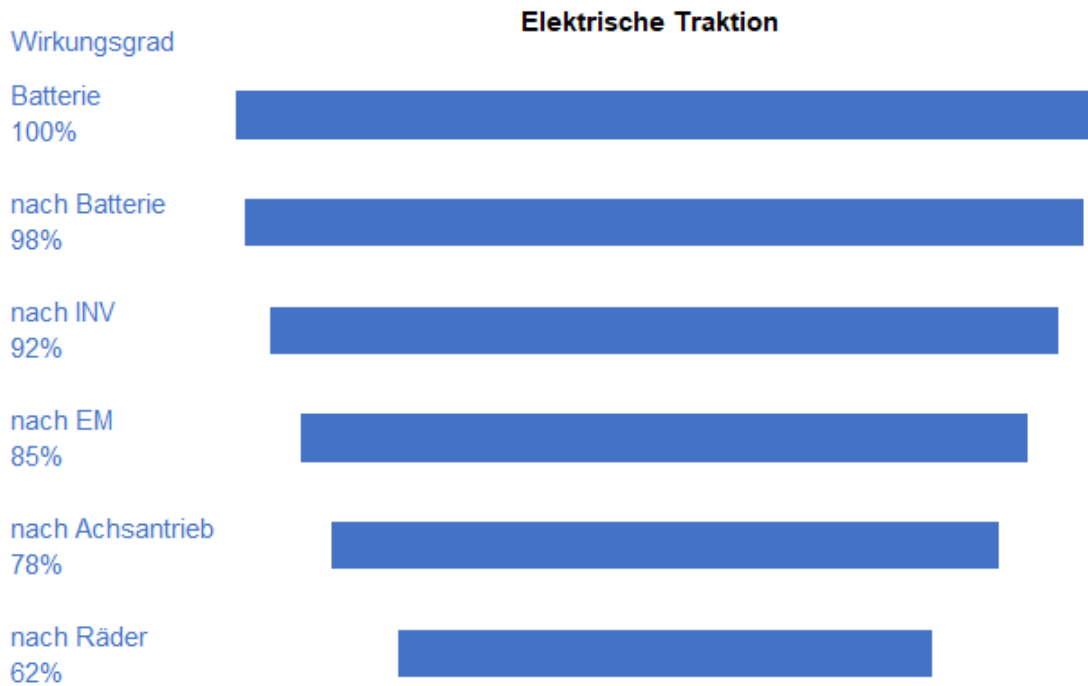


Abbildung 43: Energieflussdiagramm Antrieb vollelektrische GKM VS6e (eigene Darstellung vgl. Anhang A.8., 2022)

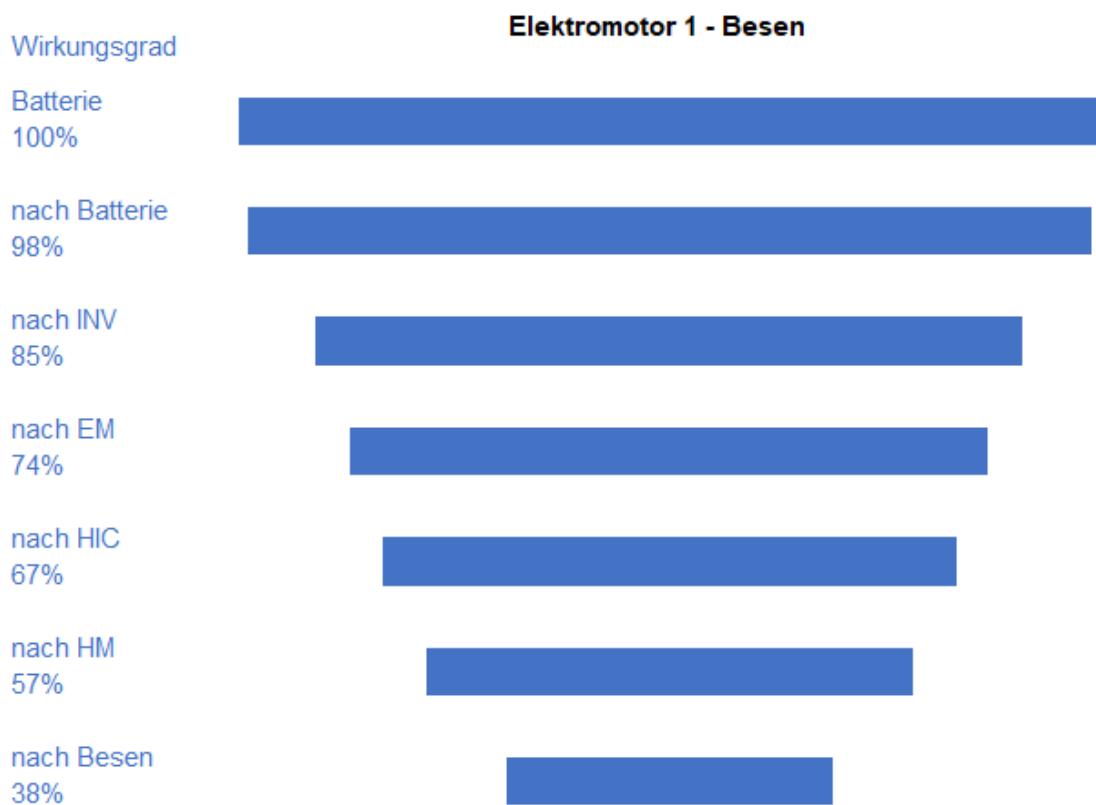


Abbildung 44: Energieflussdiagramm Aufbau vollelektrische GKM VS6e (eigene Darstellung vgl. Anhang A.8., 2022)

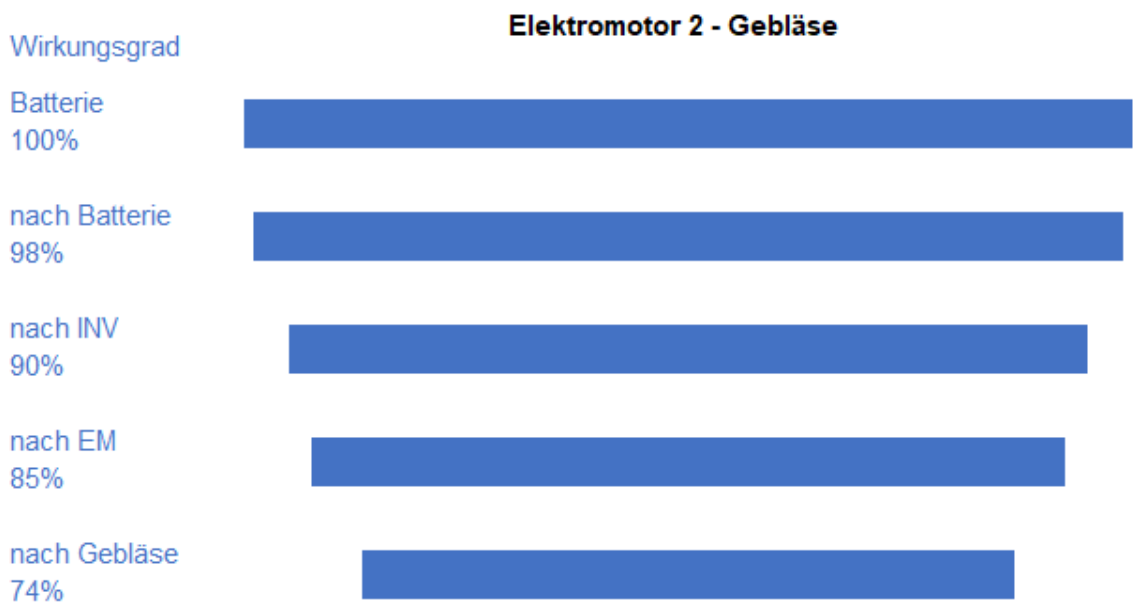


Abbildung 45: Energieflussdiagramm Aufbau vollelektrische GKM VS6e (eigene Darstellung vgl. Anhang A.8., 2022)

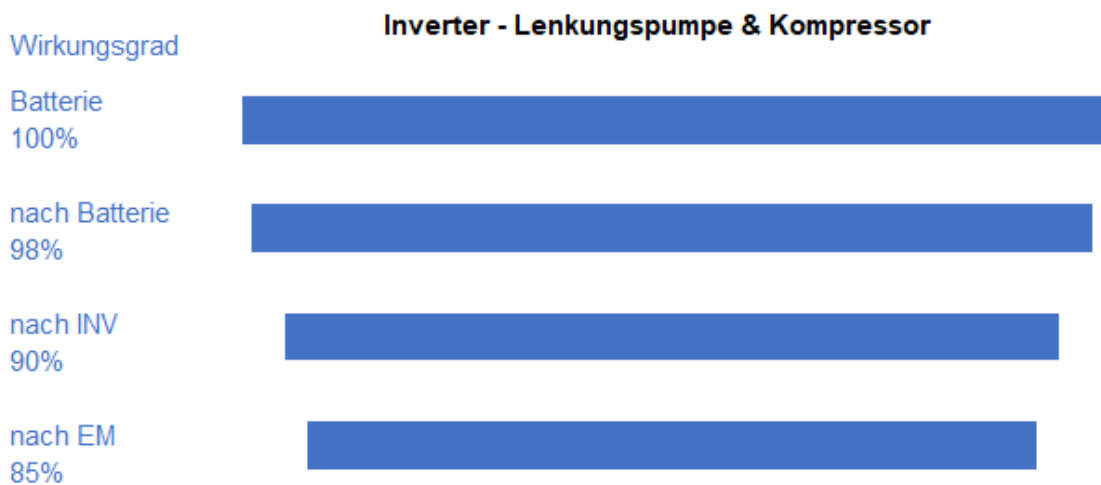


Abbildung 46: Energieflussdiagramm Aufbau vollelektrische GKM VS6e (eigene Darstellung vgl. Anhang A.8., 2022)

5.10.4 Zusammenfassung

Sprichwörtlich heißt es: „Wie man in den Wald hineinruft, so schallt es heraus“ – diese Redewendung wäre wünschenswert für Fahrzeuge und Maschinen aller Art, die Energie benötigen. Tatsächlich geht immer ein Teil der Energie verloren: Der Wirkungsgrad zeigt an, welcher Prozentsatz der zugefügten Energie tatsächlich für den Betrieb genutzt wird. Schließlich besteht etwa der Motor einer vollelektrischen GKM wie zuvor dargestellt aus verschiedenen Komponenten, bei denen ein Teil der zugeführten Energie verloren geht.

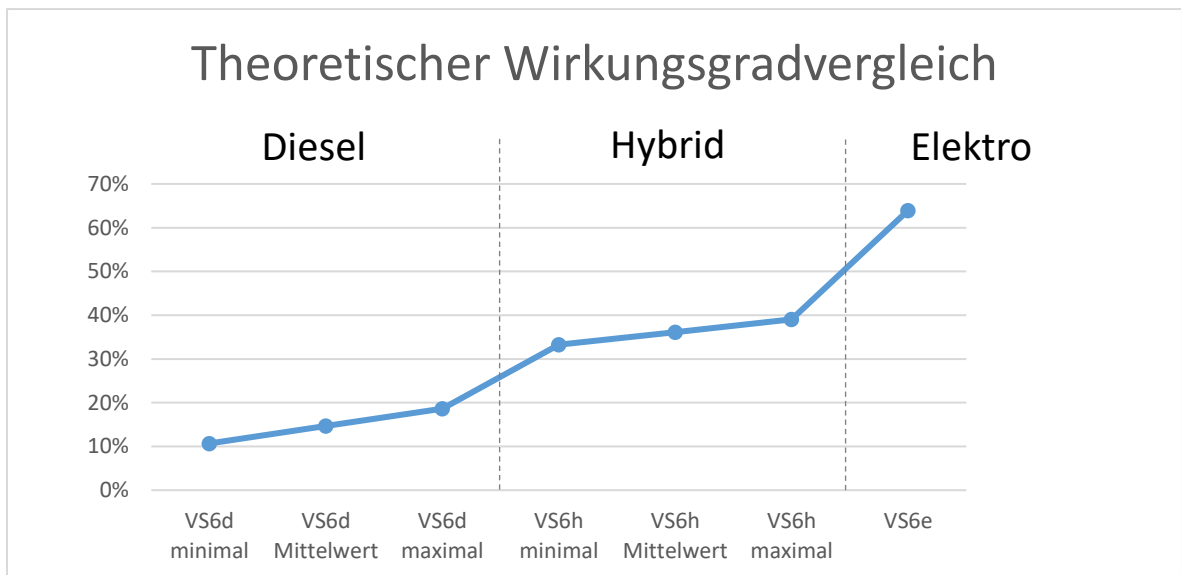


Abbildung 47: Übersicht Wirkungsgrade der drei Antriebsvarianten (Diesel, Hybrid, Elektro) (eigene Darstellung nach GINAF, 2022)

Die **Abbildung 47** zeigt die Wirkungsgrade der drei Antriebsvarianten (vgl. Anhang A.5.). Diese ergeben sich aus der gewichteten Addition der Einzelwirkungsgrade. Bei der dieselbetriebenen GKM gehen der Verbrennungsmotor sowie das Nebenaggregat Besen und Gebläse zu gleichen Teilen in die Berechnung des dargestellten Gesamtwirkungsgrads ein. Bei der hybriden Variante beträgt der Anteil des Verbrennungsmotors 50 % und der Anteil der beiden Nebenaggregate jeweils 25 %. Der Wirkungsgrad der Elektro-GKM ergibt sich zu 50% aus dem Traktionswirkungsgrad sowie zu 50% aus den Nebenaggregatswirkungsgraden, welche sich aus jeweils ein Drittel der Aggregate Besen, Gebläse und Lenkungs-pumpe zusammensetzen. Aus der **Abbildung 47** lässt sich der deutlich höhere Wirkungsgrad der Elektro-GKM im Vergleich zu der hybriden GKM erkennen. Ebenfalls wird der vergleichsweise geringere Wirkungsgrad bei der dieselbetriebenen GKM deutlich.

In der nachstehenden **Abbildung 48** ist der theoretische Wirkungsgrad der dieselbetriebenen Referenz-GKM sowie der GKM mit Elektro-Antrieb dargestellt. Der theoretisch mögliche Wertebereich des Wirkungsgrads reicht von 0 bis 1, dies bedeutet 0 bis 100 %. Da bei allen Vorgängen Energie durch Wärme oder Reibung in thermische Energie umgewandelt wird, kann der maximale Wert von 100 % praktisch nie erreicht werden.

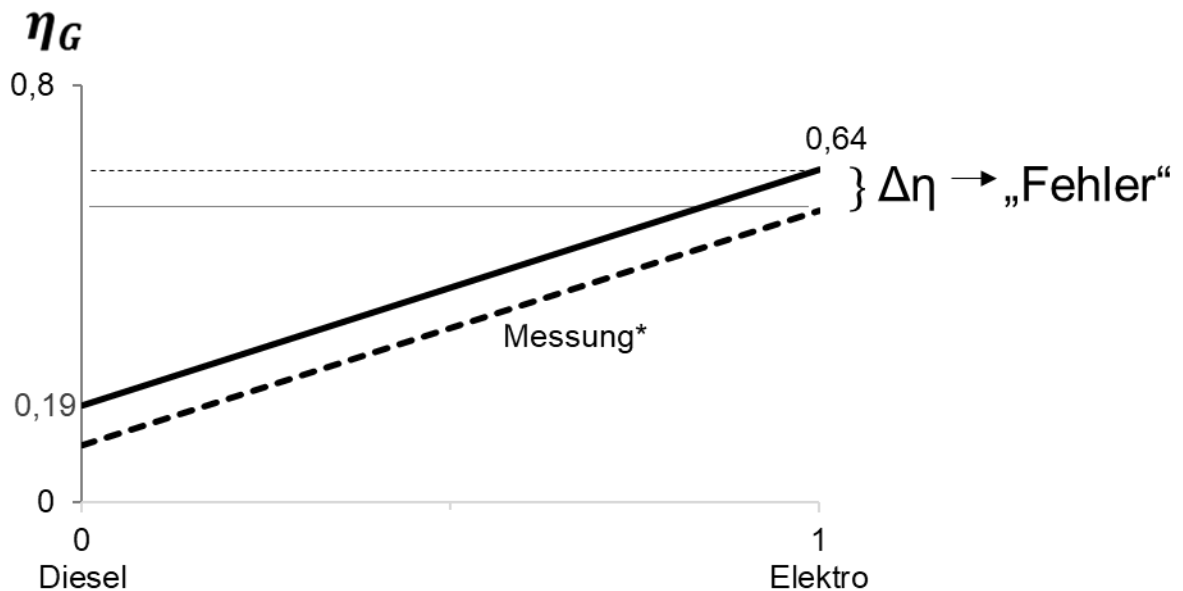


Abbildung 48: Vergleich Wirkungsgrade der Diesel- und Elektro-GKM (eigene Darstellung nach GINAF, 2022)

Der direkte Vergleich der dieselangetriebenen GKM zu der vollelektrischen GKM zeigt wie erwartet große Unterschiede auf – und diese spiegeln sich, zu erkennen im Wirkungsgrad, in der **Abbildung 48** wider. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Energieeffizienz eines Motors: Je höher der Wirkungsgrad, desto energieeffizienter ist dieser. Eine GKM mit herkömmlichem Verbrennungsmotor erreicht einen Wirkungsgrad von etwa 30 bis 40 %, während vollelektrische GKM 70 bis 90 % erreichen können. Wie in der **Abbildung 48** zu erkennen ist, liegen die berechneten Werte des Wirkungsgrads für die Diesel-GKM bei 0,19 und für die Elektro-GKM bei 0,64 (eigene Berechnung nach GINAF, 2022).

Für einen direkten Vergleich liegen aus dem Feldversuch von dem Hersteller keine Daten zur Berechnung des Wirkungsgrads für die Praxis vor. Es ist in der Praxis davon auszugehen, dass die zu messenden Wirkungsgradwerte aufgrund Wärme, Kälte, Reibung und unterschiedlichen Drehzahlen etwas schlechter sein werden. Daher ist die zweite gestrichelte Linie in der **Abbildung 48** eine Annahme. Zusammenfassend kann festgehalten und bestätigt werden, dass die Stromer, ob Hybrid oder vollelektrisch, deutlich effizienter sind als dieselbetriebene GKM.

5.11 Einordnung der Ergebnisse aus dem Feldversuch

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Einsatz konventioneller und elektrischer Kehrmaschinen im Rahmen des vorgestellten Praxisprojektes zusammengefasst und dargelegt. Zunächst erfolgt eine Auswertung der aufgezeichneten Fahrlängen, Kehrlängen und Betriebsstunden der jeweiligen Test-GKM. In einem zweiten Schritt wird der Datensatz aus dem Datenlogger der elektrifizierten Kehrmaschinen einer technologischen Analyse unterzogen, um den für den Betrieb von elektrifizierten Kehrmaschinen erforderlichen Energiebedarf zu bestimmen.

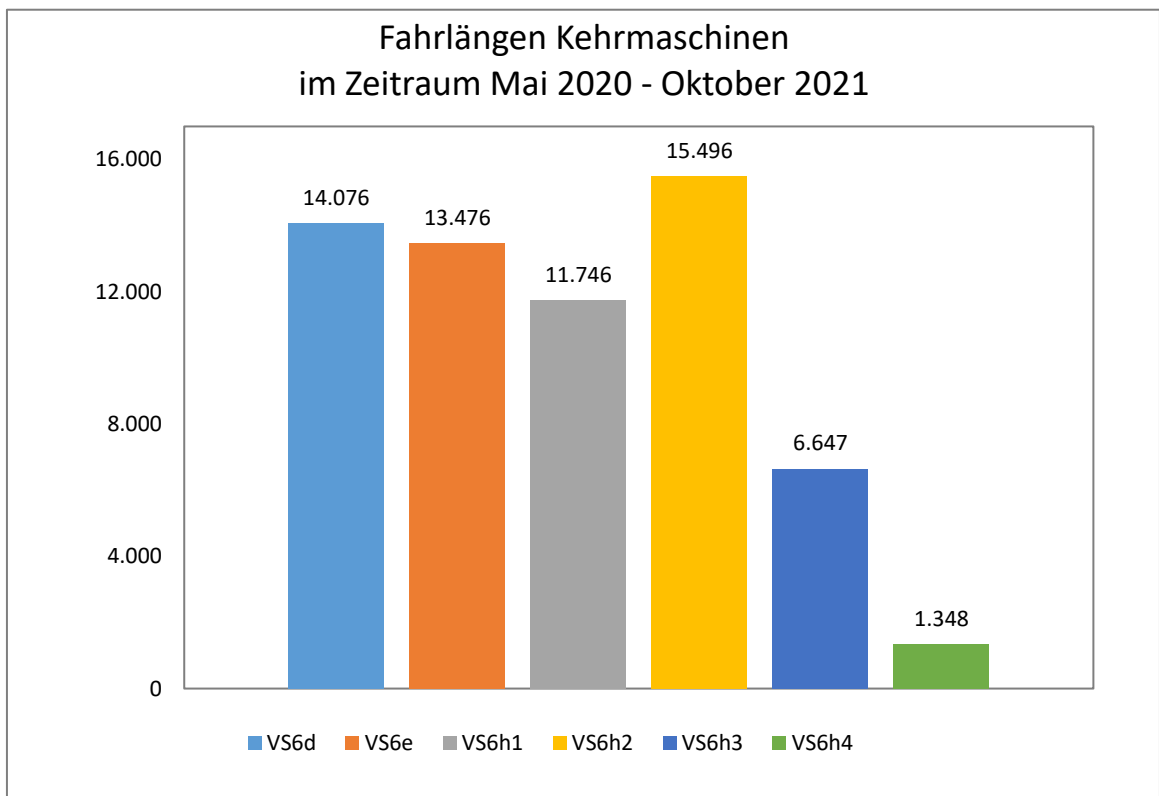


Abbildung 49: Auswertung der Fahrlängen (eigene Darstellung vgl. Anhang A.4., 2022)

In der **Abbildung 49** sind die Fahrlängen in Abhängigkeit der Schichten und der Tagesfahrleistung für die Fahrzeuge dargestellt. Die Verteilung der Fahranteile, bezogen auf die Tagesfahrleistung, unterliegt dabei einer über alle Fahrzeuge hinweg geringen Abweichung.

Solche Abweichungen resultieren im Wesentlichen aus einem weiteren Einsatz (zweite Schicht) der konventionellen und der Hybrid-Kehrmaschine. Für die vollelektrifizierte Kehrmaschine war eine zweite Schicht nicht geplant, obwohl ein Einsatz nach einer Zwischenladung bedenkenlos möglich wäre. Der Ladezustand der vollelektrifizierten Kehrmaschine beträgt nach der ersten Schicht durchschnittlich ca. 40 bis 50 % der Batteriekapazität (M.

Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020). Die aufgezeichneten Fahrleistungen der teil- beziehungsweise vollelektrifizierten GKM (**Abbildung 49**) sind mit den ausgewerteten Daten des Großstädtevergleiches, wie in der **Abbildung 50** dargestellt vergleichbar.

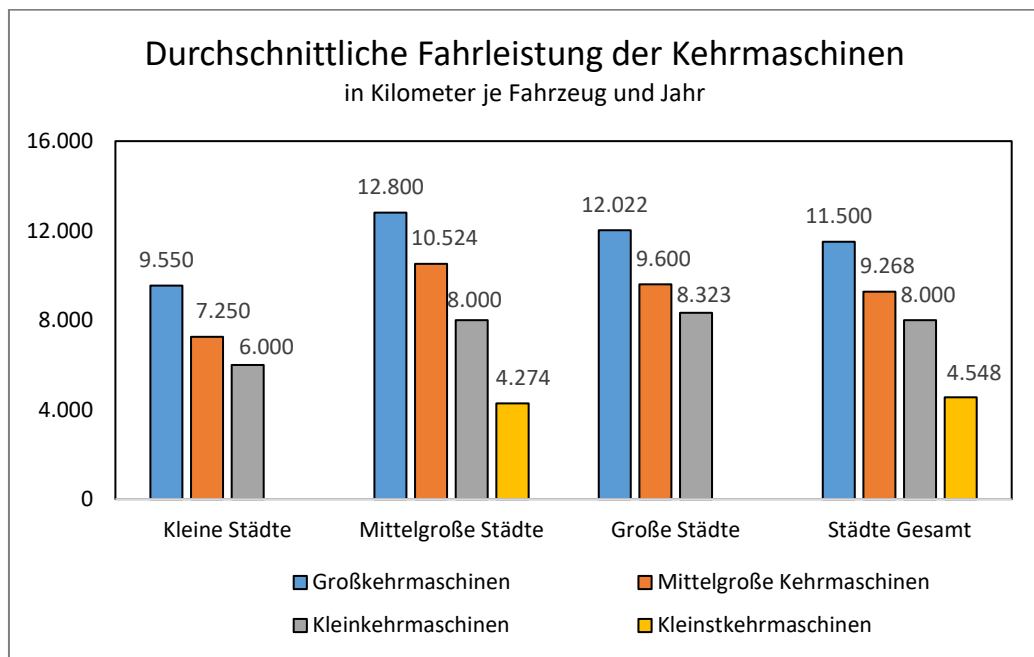


Abbildung 50: Fahrleistung der einzelnen Kehrmaschinentypen differenziert nach Clustern (eigene Darstellung nach VKU, 2022)

Die **Abbildung 50** zeigt bei den Fahrleistungen klare Unterschiede. Je größer die Kehrmaschine, desto länger ist auch ihre Fahrleistung. Aufgrund der Infrastruktur und örtlichen Gegebenheiten ist die Fahrleistung in den großen Städten im Mittel höher als in den kleineren Städten (vgl. **Abbildung 50**). Dies ist unter anderem mit erhöhten Einsatzzeiten (Samstag/Sonntag und Mehrschicht) begründet. Spitzenwerte werden hingegen eher in Städten unter 300.000 Einwohner erreicht. Dies lässt sich beispielsweise mit dem separaten Einsatz der Kehrmaschinen auf Fahrbahnen mit nur geringer Verparkung und wenigen anderen Behinderungen erklären, wohingegen in den großen Städten überwiegend in Arbeitsgruppen (Kehrmaschine mit Zuarbeit durch Kehrler in verparkten Bereichen etc.) gearbeitet wird. Wie bereits angeführt muss bei kommunalen Reinigungsfahrzeugen zwischen der Transport- und der Arbeitsfahrt unterschieden werden. In dieser Dissertation wird angenommen, dass bei Fahrten mit einer Geschwindigkeit von 10 km/h und weniger ein Arbeitseinsatz (Kehren) erfolgt und bei Fahrten mit Geschwindigkeiten von mehr als 12 km/h eine reine

Transportfahrt zum Betriebshof vorliegt. Anhand der durchschnittlichen Geschwindigkeit einer Einzelfahrt lässt sich somit analysieren, ob sich ein Fahrzeug im Kehr- oder Transporteinsatz befindet. Daraus ergeben sich die in **Abbildung 51** dargestellten Kehrkilometer.

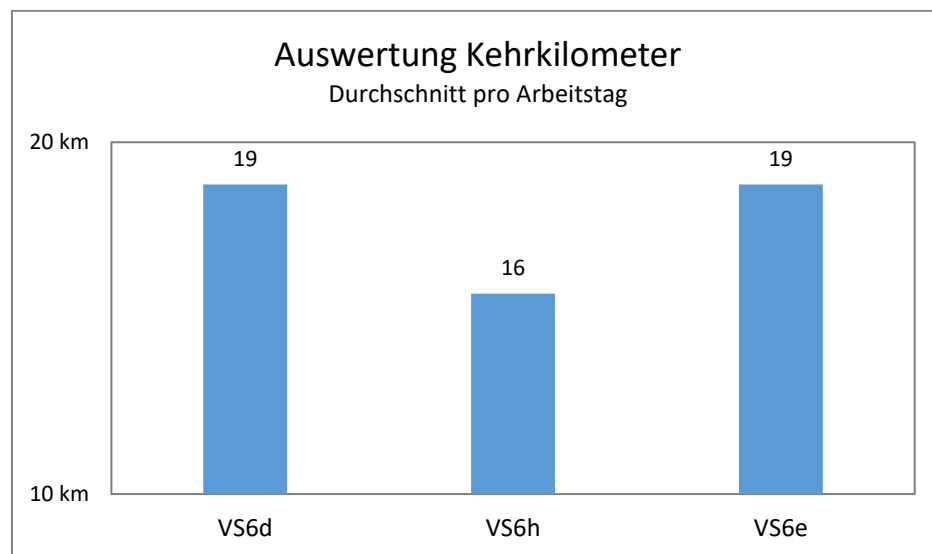


Abbildung 51: Auswertung der Kehrkilometer (eigene Darstellung nach M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, 2020)

Neben den täglichen Fahrleistungen ist insbesondere der Kehranteil, d. h. die eigentliche Reinigungsarbeit, von Bedeutung. Gemäß **Abbildung 51** weisen die untersuchten Fahrzeuge gemessen an der Gesamtfahrstrecke einen Arbeitsanteil zwischen 38 und 43 % auf. Die damit vorgegebenen Kehrkilometeranteile von 14 Kilometern in der Arbeitsgruppe und 23 Kilometern in der Fahrbahnreinigung können von den elektrifizierten Kehrmaschinen problemlos geleistet werden. **Abbildung 52** zeigt die durchschnittlich geleisteten Tageskilometer für Kehren und Fahrleistungen und betont noch einmal die fast gleichwertigen Leistungen der Testkehrmaschinen.

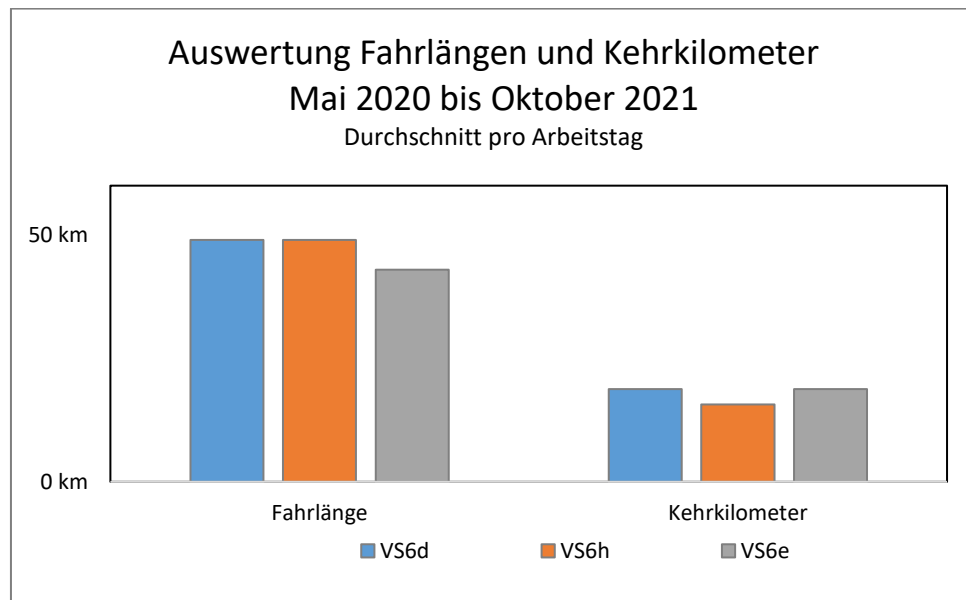


Abbildung 52: Auswertung der Fahrlängen und Kehrkilometer (eigene Darstellung nach M. Schwarz, SRH, persönliche Kommunikation, vgl. Anhang A.4., 2022)

Hier ist eine eindeutige Werteverteilung der durchschnittlichen Tagesfahrstrecken der Fahrzeuge zu erkennen. Dabei wird eine Häufung der täglichen Fahrstrecken bei Werten zwischen 40 und 50 Kilometern deutlich. Beim Vergleich der Abbildung mit Verteilungen aus dem PKW-Wirtschaftsverkehr (Gnann, Plötz, Zischler & Wietschel, 2012) zeigt sich, dass die täglichen Fahrleistungen kommunaler Kehrmaschinen deutlich unter denen von gewerblich gehaltenen PKWs liegen. Dies lässt sich durch die Fahrzeugnutzung und den gegebenen Reinigungsauftrag (bei niedrigen Kehrgeschwindigkeiten) begründen, da die Kehrmaschinen so ausschließlich auf Kurzstrecken und nicht wie PKWs auch auf Mittel- oder Langstrecken eingesetzt werden.

Tabelle 18: Übersicht der durchschnittlichen Fahrleistung und Energieverbrauch pro AT beziehungsweise pro km (eigene Darstellung nach Anhang A.4. und A.27., 2022)

	Fahrleistung	Energieverbrauch pro AT	Energieverbrauch pro km	Energieverbrauch pro 50 km
	km	kWh	kWh/km	kWh/km
VS6d	49	394	8,04	402
VS6h	54	286	5,30	265
VS6e	43	69	1,59	80

Für eine bessere Vergleichbarkeit, wurden alle drei GKM auf eine Fahrleistung von 50 km/Tag berechnet und in der **Tabelle 18** dargestellt.

Der Wirkungsgrad von 40 % wird bedingt durch den Kehrmaschineneinsatz (Kehren) kaum erreicht. Somit ist der Energiebedarf der konventionellen Kehrmaschine unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades bei annähernd gleicher Fahrleistung fünfmal so hoch wie bei der vollelektrifizierten Kehrmaschine. Wie zu erwarten war, liegen die in der **Tabelle 18** dargestellten Energiewerte der getesteten Hybrid-GKM zwischen den gemessenen Daten der vollelektrischen und der dieselangetriebenen GKM. In der **Tabelle 18** wurde die Hybrid 3 nicht berücksichtigt, weil diese aufgrund technischer Aussetzer und unregelmäßigen Aufzeichnungen des Datenloggers deutlich von den anderen Werten abweicht.

Grundsätzlich lassen sich zwei Ergebnisse ableiten. Erstens – ob teilelektrische oder voll-elektrische Kehrmaschinen eingesetzt werden, sie verbrauchen etwa die Hälfte an Energie wie eine konventionelle Kehrmaschine. Zweitens – die Energieverteilung von Chassis zu Aufbau beträgt ca. 50 : 50. Der Nutzen und Einsatz von alternativen Antrieben kann daher aus den gewonnenen Praxisdaten und nicht nur in der Theorie bestätigt werden.

Neben den Energieverbräuchen wurden weitere wissenschaftliche Daten zur Ermittlung von Emissionseinsparungen aufgezeichnet. Der Aufzeichnungszeitraum betrug über 18 Monate, wobei es sich hier nur um Daten aus dem Normalbetrieb handelte, d. h. Werkstatt- oder Regiefahrten sind in **Tabelle 19** nicht berücksichtigt.

Tabelle 19: Emissionseinsparungen auf der Basis der Fahrlängen (eigene Darstellung nach Anhang A.4., 2022)

	Aufgezeichnete Fahrlängen	CO₂ Einsparungen	NO_x Einsparungen	PM Einsparungen
	km	kg	g	g
VS6e	13.476	29.431	48.223	856
VS6h	9.530	8.920	14.615	259
VS6h	13.476	12.613	20.667	366

In der **Tabelle 19** wurden folgende Berechnungsannahmen getroffen: Zur Berechnung der CO₂-Dieseemissionen von Tank zu Rad beträgt der Faktor 2,6 kg CO₂ pro Liter (Brock, 2020). Um eine Vergleichbarkeit zwischen der elektrischen und hybriden Kehrmaschine darzustellen, wurden in der dritten Zeile (kursiv dargestellt) die aufgezeichneten Fahrlängen der hybriden auf die vollelektrische Kehrmaschine hochgerechnet.

Bei einem durchschnittlichen Wirkungsgrad eines Dieselmotors von 40 % ergibt das 4 kWh/l Diesel. Aufgrund des Einsatzes von Kehrmaschinen, die überwiegend im Kehrbetrieb unterwegs sind, wird der Wirkungsgrad von 40 % kaum erreicht. Die NO_x-Emissionen (Stickstoffoxidemission) beträgt ca. 4,26 g/l Diesel (Brock, 2020). Besonders während des Fahrens in der Stadt werden die NO_x-Emissionen erhöht. Die PM-Emission (Schwebstaub) (< 2,5 µm; Feinstaub: < 10 µm) beträgt laut der Niederländischen Organisation für Angewandte Wissenschaften (TNO) 75,6 mg/l Diesel bei einem Euro-6-Motor (Brock, 2020).

6 Ergebnisse – Handhabung der Nutzwert-Kostenanalyse

Die oben erläuterten Änderungen der Rahmenbedingungen führen bei kommunalen Unternehmen zu der Erkenntnis, dass die gegenwärtig genutzten Antriebskonzepte, d. h. der Antrieb der Kehrmaschinen mittels Verbrennungsmotor auf Dieselmotorbasis, nicht vielversprechend sind (Wallentowitz et al., 2010). Obwohl mit der Verbesserung der Abgastechnologie von Verbrennungsmotoren die zukünftigen von der EU geforderten Grenzwerte eingehalten werden können, wirkt sich der steigende Ölpreis und die unsichere Klimapolitik nachteilig auf den Einsatz konventioneller Antriebskonzepte aus (Wallentowitz et al., 2010). Nachdem in **Kapitel 5** die Testkehrmaschinen technisch im Einzelnen betrachtet und analysiert wurden, werden in diesem Kapitel die Handlungsalternativen mit deren notwendigen Parametern und die Durchführung der Nutzwert- und Kostenanalyse vorgestellt.

6.1 Vorstellung der Handlungsalternativen

Nach der Vorstellung der konventionellen Kehrmaschine VS6 der Firma Brock Kehrtechnik GmbH werden in diesem Abschnitt die getesteten Kehrmaschinenalternativen dargestellt. Die aufgeführten Nettolistenpreise stammen vom Hersteller und enthalten keine staatlichen Kaufpreissubventionen im Rahmen der Einführung von Elektromobilität für Kommunen. Die erste elektrifizierte Handlungsalternative ist die Kehrmaschine VS6h von Brock. Der konventionelle Antriebstrang dieser GKM wird aus einem konventionellen 5,1-Liter-Dieselmotor gespeist. Somit ist das Fahrgestell exakt das gleiche wie bei der Referenz-GKM. Im Gegensatz zu dieser wird der Kehrmaschinenaufbau bei der Hybridversion rein elektrisch betrieben. Der angenommene Nettolistenpreis beträgt 300.000 € und ergibt zusammen mit den Betriebskosten TCO in Höhe von 467.586 €.

Tabelle 20: Fahrzeugspezifische Eingangsparameter Handlungsalternative A1 (eigene Darstellung nach Brock, 2020)

Parameter	Brock VS6h (Hybrid)
Kraftfahrzeugsteuer (€/Jahr)	–
Nettolistenpreis (€)	300.000
Wartungskosten (€/km)	0,65
Konventioneller Verbrauch (kWh/km)	0,48
CO ₂ -Emission (kg/km)	127
Lärmemission (db(A))	k.A.
Reichweite (km)	70
Arbeitsautonomie (h)	7,8
Ladedauer/Tankdauer (h)	0,025
Nutzlast (kg)	4.250
Leergewicht (kg)	10.750

Als weitere mögliche Kehrmaschinenalternative dient die Brock VS6e, deren technische Daten bereits in **Kapitel 5.9** erläutert wurden. Die vollelektrisch betriebene GKM wird derzeit zu einem Preis von 450.000 € verkauft und kommt durch die Addition der Betriebskosten auf eine TCO-Höhe von 616.344 €. Bei der Produktion der Kehrmaschine und der Batterietechnologie werden insgesamt 32,56 t CO₂ emittiert. Weitere Parameter der Kehrmaschine VS6e sind in **Tabelle 21** aufgeführt.

Tabelle 21: Fahrzeugspezifische Eingangsparameter Handlungsalternative A2 (eigene Darstellung nach Brock, 2020)

Parameter	Brock VS6e (vollelektrisch)
Kraftfahrzeugsteuer (€/Jahr)	–
Nettolistenpreis (€)	450.000
Wartungskosten (€/km)	1,10
Elektrischer Verbrauch (kWh/km)	1,59
CO₂-Emission (kg/km)	-
Lärmemission (db(A))	90
Reichweite (km)	100
Arbeitsautonomie (h)	7,8
Ladedauer/Tankdauer (h)	6,8
Nutzlast (kg)	4.000
Leergewicht (kg)	11.000

Die nachfolgende **Tabelle 22** stellt die Informationen der drei verschiedenen Antriebsvarianten noch einmal übersichtlich gegenüber. Hier werden die Unterschiede, insbesondere im Hinblick auf die Anschaffungskosten, die CO₂-Emissionen sowie die Lade- und Tankdauer, deutlich.

Tabelle 22: Fahrzeugspezifische Eingangsparameter im Vergleich (eigene Darstellung nach Brock, 2020)

Parameter	Brock VS6d (Diesel)	Brock VS6h (Hybrid 1-3)	Brock VS6e (vollelektrisch)
Kraftfahrzeugsteuer (€/Jahr)	–	–	–
Nettolistenpreis (€)	170.000	300.000	450.000
Wartungskosten (€/km)	0,40	0,65	1,10
Elektrischer Verbrauch (kWh/km)*	8,04	5,30	1,59
CO ₂ -Emission (kg/km)	222	127	–
Lärmemission (db(A))	99	k. A.	90
Reichweite (km)	140	70	100
Arbeitsautonomie (h)	7,8	7,8	7,8
Ladedauer/Tankdauer (h)	0,025	0,025	6,8
Nutzlast (kg)	4.500	4.250	4.000
Leergewicht (kg)	10.500	10.750	11.000

*durchschnittlicher Verbrauch der Hybridmaschinen aus Tabelle 18

6.2 Definition der Entscheidungskriterien

Die Grundlage der Nutzwertanalyse für konventionelle und elektrifizierte Kehrmaschinen bilden die ausgewählten Entscheidungskriterien. Jede Handlungsalternative setzt sich dabei aus den Teilnutzen der neuen Kriterien zusammen. Die in **Kapitel 4.4.3** erarbeiteten Entscheidungskriterien werden in **Tabelle 23** aufgeführt und anschließend näher erläutert.

Tabelle 23: Entscheidungskriterien der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung, 2020)

Kriterium	Bezeichnung
K1	Energieverbrauch
K2	CO ₂ -Emission
K3	Gesamtemission
K4	Lärmemission
K5	Reichweite
K6	Einsatzdauer
K7	Ladedauer
K8	Infrastruktur der Ladevorrichtungen
K9	Nutzlast

Um die inhaltliche Interpretation einzugrenzen, wurden nur antriebs- und umweltrelevante Kriterien für die Nutzwertanalyse ausgewählt. Zu den antriebsrelevanten Kriterien zählen: Energieverbrauch, Reichweite, Einsatzdauer, Ladedauer, Infrastruktur der Ladevorrichtung und Nutzlast. Die drei umweltrelevanten Kriterien sind die CO₂-Emission, die Gesamtemission und die Lärmemission. Der Energieverbrauch bestimmt dabei maßgeblich die CO₂-Emissionen, die Reichweite und die Einsatzdauer. Dies ist darin begründet, dass sich die CO₂-Emission bei der konventionellen Kehrmaschine proportional zum Energieverbrauch verhält. Darüber hinaus reduziert ein hoher Energieverbrauch die Reichweite und entsprechend die mögliche Einsatzdauer. Ein weiteres Kriterium, das in die Nutzwertanalyse einfließt, ist die Gesamtemission, welche die CO₂-Emissionen bei der Herstellung der Kehrmaschine und der Batterie sowie die Emissionen während des Betriebes beinhaltet.

Speziell die veränderten Lärmemissionen bei Alternativkonzepten sind beim Kehrmaschineneinsatz im innerstädtischen Bereich zu berücksichtigen. Unter dem Aspekt, dass Lärm krank macht, spielen die Lärmemissionen eine immer wichtigere Rolle. Neben dem Energieverbrauch und den Emissionen sind weitere wichtige Kriterien, wie die Reichweite und die Einsatzdauer, die durch die Kapazität des Energiespeichers und den Effizienzgrad sowie den Energieverbrauch des Energiewandlers bestimmt wird, zu beachten.

6.3 Gewichtung der Entscheidungskriterien

Die eben benannten Kriterien der Nutzwertanalyse gilt es für die weitere Analyse zu gewichten. Das erfolgt anhand der in **Kapitel 4.4.4** vorgestellten Schulnotenskala und deren Umwandlung in eine relative Gewichtung mittels Dreisatzrechnung. Die Grundlage für die erweiterte Gewichtung der Entscheidungskriterien bilden Expertengespräche mit den Entscheidungsträgern der kommunalen Unternehmen und dem Aufbauhersteller in Deutschland. Dabei ergibt die Berechnung des ersten Lösungsansatzes die nachfolgende Gewichtung der neun Kriterien.

Tabelle 24: Gewichtung der Entscheidungskriterien in der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung, 2020)

Kriterium	Bezeichnung	Schulnote	Punktwert	Gewichtung in %
K1	Energieverbrauch	3	4	10
K2	CO ₂ -Emission	3	4	10
K3	Gesamtemission	3	4	10
K4	Lärmemission	3	4	10
K5	Reichweite	2	5	12
K6	Einsatzdauer	1	6	15
K7	Ladedauer	3	4	10
K8	Infrastruktur der Ladevorrichtung	3	4	10
K9	Nutzlast	2	5	12
Summe			40	100

Zur individuellen Betrachtung der einzelnen Kriterien werden die mittels Schulnotenskala aufgestellten Gewichtungen mit Entscheidungsträgern aus kommunalen Betrieben wie auch mit den Aufbauherstellern diskutiert. Unter Berücksichtigung dieser ausführlichen Gespräche ergab sich nachfolgende finale Gewichtung der neun Entscheidungskriterien, die in der **Tabelle 25** summarisch dargestellt ist.

Tabelle 25: Erweiterte Gewichtung der Entscheidungskriterien der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung, 2020)

Kriterium	Bezeichnung	Gewichtung in %
K1	Energieverbrauch	10
K2	CO ₂ -Emission	10
K3	Gesamtemission	10
K4	Lärmemission	11
K5	Reichweite	12
K6	Einsatzdauer	14
K7	Ladedauer	10
K8	Infrastruktur der Ladevorrichtung	11
K9	Nutzlast	12
Summe		100

6.4 Festlegung des Bewertungsmaßstabs

Wie schon in **Kapitel 4.4.5** erörtert, werden in der Literatur drei unterschiedliche Skalen zur Bewertung der Entscheidungskriterien vorgeschlagen. Im Rahmen dieser Dissertation wird die 10er Skala verwendet, da diese ein weiteres Spektrum als beispielsweise die Schulnotenskala bietet. Der Bewertungskorridor erstreckt sich von einem bis zu zehn Punkten. Wird die Ausprägung eines Kriteriums einer Handlungsalternative mit zehn bewertet, stellt dies den besten Wert dar. Die verbleibenden Werte, mit Ausnahme des schlechtesten Wertes, werden mithilfe des zweiten Strahlensatzes berechnet. Die Bewertungskorridore sind in der nachfolgenden **Tabelle 26** angegeben.

Tabelle 26: Bewertung der Entscheidungskriterien anhand 10er-Skala (eigene Darstellung, 2020)

Kriterium	Bedeutung
1 – 2	Kriterium unzureichend erfüllt
3 – 4	Kriterium ausreichend erfüllt
5 – 6	Kriterium befriedigend erfüllt
7 – 8	Kriterium gut erfüllt
9 – 10	Kriterium sehr gut erfüllt

6.5 Bewertung und Summierung

Aus den beschriebenen theoretischen und praktischen Grundlagen leitet sich der nächste Bewertungsschritt ab. Dabei wird zunächst jedes Kriterium für sich betrachtet, um das Gesamtproblem aufzuschlüsseln. Nachdem die Teilnutzen für die neun Kriterien ermittelt wurden, wird die Summe aus ihnen gebildet, um den GNW zu berechnen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in **Tabelle 27** aufgeführt.

Tabelle 27: Nutzwertanalyse von ausgewählten GKM (eigene Darstellung, 2020)

Nutzwertanalyse								
Nr.	Kriterium	Gewichtung	Handlungsalternativen					
			A1: Brock (VS6d)		A2: Brock (VS6h)		A3: Brock (VS6e)	
			p1	t1	p2	t2	p3	t3
1	K1: Energieverbrauch	10	1	10	10	100	10	100
2	K2: CO ₂ -Emission	10	1	10	10	100	10	100
3	K3: Gesamtemission	10	1	10	10	100	7	70
4	K4: Lärmemission	11	1	11	10	110	10	110
5	K5: Reichweite	12	10	120	1	12	3	36
6	K6: Einsatzdauer	14	1	14	1	14	10	140
7	K7: Ladedauer	10	10	100	2	20	1	10
8	K8: Infrastruktur der Ladevorrichtung	11	10	110	1	11	1	11
9	K9: Nutzlast	12	10	120	7	84	4	48
Σ	Summe	100	Σ	505	Σ	551	Σ	625

Die auf der Basis der individuellen Teilnutzwerte gebildeten GNW der Handlungsalternativen werden im Anschluss absteigend aufgelistet:

1. Brock VS6e (625 Punkte)
2. Brock VS6h (551 Punkte)
3. Brock VS6d (505 Punkte)

6.6 Kostenwirksamkeitsanalyse

Im Anschluss an die Nutzwertanalyse wird die Kostenwirksamkeitsanalyse durchgeführt, die die monetären Aspekte in die Analyse einbindet. Diese werden in der Arbeit durch die Gesamtkosten repräsentiert, welche sich aus den Anschaffungs- und den Betriebskosten zusammensetzen. **Tabelle 28** zeigt die Ergebnisse der Kostenwirksamkeitsanalyse basierend auf den Werten des mittleren Szenarios der Ist-Analyse.

Tabelle 28: Kostenwirksamkeitsanalyse von GKM (mittleres Szenario) (eigene Darstellung, 2020)

Kostenwirksamkeitsanalyse (mittleres-Szenario)			
	Handlungsalternativen		
	A1: Brock VS6d	A2: Brock VS6h	A3: Brock VS6e
Gesamtnutzwert	505	551	625
Gesamtkosten	348.872 €	467.568 €	616.344 €
KWI	691 €	849 €	986 €
Rang	1	2	3

KWI – Kostenwirksamkeitsindex

Die Kostenwirksamkeitsindizes (KWI) werden berechnet, indem die Gesamtkosten durch den GNW geteilt werden. Das Ergebnis liefert den Geldwert pro Nutzpunkt und die folgende Rangfolge der Handlungsalternativen:

1. Brock VS6d (691 €)
2. Brock VS6h (849 €)
3. Brock VS6e (986 €)

6.7 Vergleichsanalyse

Im finalen Vergleich der konventionellen und elektrischen Antriebskonzepte von Kehrmaschinen werden die situativen Unterschiede der Rahmenbedingungen aus der Ist-Analyse aufgegriffen und die Ergebnisse der drei Szenarien miteinander verglichen. Zunächst jedoch erfolgt die Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der Nutzwertanalyse. Während die monetären Aspekte einen Bestandteil der Kostenwirksamkeitsanalyse darstellen, sind in der Nutzwertanalyse nur nichtmonetäre Entscheidungskriterien enthalten. Die Ergebnisse der Nutzwertanalyse zeigen für die beiden Alternativantriebe Brock VS6h und VS6e einen um 9 % bzw. 23 % besseren GNW gegenüber der Brock VS6 Diesel. Vor dem Hintergrund ökologischer Veränderungen und der vorgegebenen Klimaschutzziele können elektrifizierte Kehrmaschinen somit eine pragmatische Lösung darstellen. Aufgrund der Komplexität des Sachverhaltes und der individuellen Gewichtung der Entscheidungskriterien ist es aber unerlässlich, die monetären Aspekte in die Entscheidungsfindung einzubinden. Eine Möglichkeit stellt das mittlere Szenario der Kostenwirksamkeitsanalyse dar, dessen Ergebnis in obiger **Tabelle 28** aufgeführt wurde.

Wie bereits konstatiert, stellt die elektrifizierte Brock VS6e die Kehrmaschine mit dem höchsten GNW (625) dar. Werden jedoch die TCO der elektrifizierten Kehrmaschine in die Argumentation einbezogen, wandert diese von dem ersten auf den letzten Platz. Ein Blick auf die anderen Handlungsalternativen zeigt, dass die Kostenwirksamkeitsindizes einen ähnlichen Wert annehmen. Anschließend werden im kommenden Schritt die Veränderungen des Pro-Szenarios gegenüber dem mittleren Szenario untersucht.

Tabelle 29: Kostenwirksamkeitsanalyse von GKM (Pro-Szenario) (eigene Darstellung, 2020)

Kostenwirksamkeitsanalyse (Pro-Szenario)			
	Handlungsalternativen		
	A1: Brock VS6d	A2: Brock VS6h	A3: Brock VS6e
Gesamtnutzwert	505	551	625
Gesamtkosten	375.440 €	480.240 €	608.712 €
KWI	743 €	871 €	973 €
Rang	1	2	3

Beim direkten Vergleich der KWI der beiden Szenarien ist kein signifikanter Unterschied festzustellen. Insgesamt sind die Veränderungen nur marginal, da lediglich der KWI der konventionellen Kehrmaschine um 52 € auf 743 € ansteigt. Grund dafür ist die Annahme

des Preisanstieges für Dieselkraftstoff in Deutschland. Abschließend wird das Contra-Szenario betrachtet, das die Annahme des Stromanstieges und eine Senkung des Dieselpreises impliziert.

Tabelle 30: Kostenwirksamkeitsanalyse von GKM (Contra-Szenario) (eigene Darstellung, 2020)

Kostenwirksamkeitsanalyse (Contra-Szenario)			
	Handlungsalternativen		
	A1: Brock VS6d	A2: Brock VS6h	A3: Brock VS6e
Gesamtnutzwert	505	551	625
Gesamtkosten	279.632 €	450.472 €	623.976 €
KWI	553 €	817 €	998 €
Rang	1	2	3

Im Contra-Szenario wird die grundlegende Tendenz der Analyse untermauert, da sich die Rangfolge der Handlungsalternativen ebenfalls nicht verändert. Die konventionelle GKM Brock VS6d steht unverändert mit einem KWI von 553 € an erster Stelle. Somit liegt für eine hypothetische Entscheidungssituation eine stabile Präferenzstruktur in diesem Fahrzeugsegment vor, die nun auch im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse überprüft worden ist. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Gesamtkosten trotz des individuellen Entscheidungsprozesses den wichtigsten Faktor darstellen. Fraglich ist, wie die Entscheidungsträger in den kommunalen Unternehmen auf subventionsinduzierte Kaufpreissenkungen reagieren und wie hoch diese ausfallen müssen, um eine Präferenzveränderung hin zu alternativen Antriebskonzepten zu bewirken. Es zeigt sich somit, dass das Referenzfahrzeug im Jahr 2020 weiterhin die zu bevorzugende Option zur vollelektrischen GKM darstellt, vor allem induziert durch den deutlich günstigeren Anschaffungspreis und das größere Produktangebot.

7 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit war es, den Einsatz elektrisch betriebener GKM auf den Straßen Hamburgs zu erproben und dabei deren Wirtschaftlichkeit sowie einen ökologisch positiven Einfluss zu untersuchen. Dazu wurden drei Hybrid-GKM und eine vollelektrische GKM als Prototypen entwickelt, aufgebaut und über mehrere Monate in einem typischen Reinigungsgebiet der Stadt Hamburg eingesetzt und getestet. Die Überwachung und Aufzeichnung der Fahrdaten erfolgte zum einen durch manuelle Aufzeichnungen durch die Kraftfahrer und zum anderen durch ein extern begleitetes Online-Monitoring System. Die durchgeführten Messungen und eingeholten Meinungen der BKF bestätigen die aufgestellten Hypothesen. Die eingesetzten GKM können die Anforderungen an die benötigte Reichweite einhalten, und die deutlich verminderte Lärm- und Schadstoffbelastung traf auf eine positive Resonanz der BKF.

Die Elektromobilität kann sowohl im privaten als auch im gewerblichen Sektor als eine Schlüsseltechnologie klimafreundlicher Antriebskonzepte angesehen werden. Der politisch gewollte Übergang hat bereits begonnen und wurde mittels Gesetzgebungen wie durch das Elektromobilitätsgesetz (EmoG) und andere Maßnahmenpakete (Klimaschutzplan 2050, Sofortprogramm Saubere Luft 2017-2020) verankert. Diese Dissertation behandelte das Entwicklungspotenzial von batterieelektrischen Kehrmaschinen gegenüber konventionell angetriebenen Kehrmaschinen auf der Basis eines Praxisprojektes in der SRH. Dabei wurden die ausgewählten Entscheidungskriterien anhand des aktuellen technischen Standes verglichen und Hemmfaktoren gegenüber den elektrifizierten Kehrmaschinen aufgedeckt. Zur Ermittlung des Potenzials von elektrifizierten Kehrmaschinen in kommunalen Betrieben wurde eine Nutzwert- und Kostenwirksamkeitsanalyse durchgeführt. Im Anschluss an die beiden Analyseverfahren wurden die zwei Antriebskonzepte unter Berücksichtigung der Ergebnisse miteinander verglichen und Handlungsempfehlungen für hypothetische Anschaffungen in diesem Fahrzeugsegment formuliert.

Im Bereich der Stadtreinigung, speziell auf dem Gebiet der Kehrmaschinen, fehlt es immer noch an serienmäßig verfügbaren elektrifizierten Fahrzeugen. Da die Entsorgungswirtschaft als Nischenbereich gilt, ist es schwierig, Aufbauhersteller zu finden, die bereit sind, das Risiko und die hohen Investitionskosten für die FuE zu tragen.

Wenn die gewonnenen Ergebnisse der VS6e aus **Kapitel 5** auf den gesamten GKM-Fuhrpark der SRH übertragen werden, könnten bezogen auf den Testzeitraum 3.654.456 kg CO₂-, 5.986.032 g NO_x- und 98.368 g PM-Emissionen eingespart werden.

Besonders in Bereichen mit einem hohen Ressourcenverbrauch, bei denen sich der Kraftstoff, wie in **Kapitel 6** beschrieben, als ein entscheidender Kostentreiber herausgestellt hat, ist es unabdingbar, die Preise für Rohöl, Benzin und Diesel genauer zu betrachten. Strom, der für den Betrieb von Elektrofahrzeugen notwendig ist, ist im Vergleich zu den anderen Treibstoffen sauber und günstiger, vor allem wenn er wie in Hamburg durch ein eigenes Kraftwerk zur Verfügung gestellt wird. Genau diese Gesichtspunkte spielen für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Einführung von Elektrofahrzeugen in der Entsorgungswirtschaft eine wichtige Rolle. Im Grunde bleibt der Kostentreiber bei der Elektromobilität weiterhin die Batterie. Auf dem Arbeitsmaschinensektor handelt es sich jedoch um einen Mehrpreis, der mindestens dem Zweieinhalbfachen des konventionellen Anschaffungspreises entspricht.

Nach Auswertung der Fragebögen der BKF und weiteren Gesprächen mit den Anwendern ist deutlich geworden, dass die eingesetzten teil- beziehungsweise vollelektrifizierten Kehrmaschinen die wahrgenommenen Lärmemissionen reduzieren können. Die lokalen CO₂-, NO_x- und PM-Emissionen konnten ebenfalls stark bis ganz eliminiert werden und tragen sowohl positiv zum Schutz der Umwelt, als auch zum Schutz der Bevölkerung und der Anwender bei.

Die aktuellen von der Bundesregierung angestrebten Kaufanreize helfen der Entsorgungsbranche nicht weiter, da nicht nur finanzielle Mittel fehlen, sondern auch keine ausgereifte, serienmäßige GKM-Technologie am Markt verfügbar ist. Bisher gibt es lediglich Musterkehrmaschinen oder Prototypen auf dem Markt.

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Folgenden werden Schlussfolgerungen gezogen, die die zu Beginn formulierten inhaltlichen und methodischen Zielsetzungen der Dissertation aufgreifen. Außerdem folgt eine kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen des Praxistests und der Nutzwert- und Kostenwirksamkeitsanalyse, die einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklung elektrifizierter Kehrmaschinen in deutschen kommunalen Unternehmen gibt.

Der Praxistest und die Nutzwert- und Kostenwirksamkeitsanalyse haben sich als geeignet erwiesen, um zusammenfassend abzuleiten, dass die Elektromobilität ein bedeutender Bestandteil für die ökonomische und gesellschaftliche Entwicklung moderner Industrie- und Dienstleistungsgesellschaften ist. Damit beinhaltet die Elektromobilität nicht nur ein großes Potenzial für die Aufbauhersteller und deren Zulieferer, sondern auch bedeutende Chancen für die Kommunen, die Entsorgungsbranche und die Energieversorger.

Die Kernfragestellung, die sich aus den Eingangsüberlegungen ergab, war die Frage nach dem gegenwärtigen Potenzial elektrifizierter Kehrmaschinen. Die Ergebnisse der Nutzwert- und Kostenwirksamkeitsanalyse haben gezeigt, dass in Hamburg und damit auch in Deutschland ein großes Potenzial für elektrifizierte Kehrmaschinen besteht. Die wichtigsten positiven Aspekte einer gesteigerten Nutzung von elektrifizierten Kehrmaschinen sind ökologische Vorteile, zu denen ein niedriger Energieverbrauch, geringe Lärmemissionen sowie keine CO₂-Emissionen während des Betriebes zählen. So könnten die zehn größten Städte Deutschlands bei einer Umstellung ihres GKM-Fuhrparks auf vollelektrifizierte Kehrmaschinen 188.101 t CO₂-, 308 t NO_x- und 5 t PM-Emissionen pro Jahr, gemessen an den durchschnittlichen Fahrleistungen, einsparen. Und somit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten (VKU, 2018).

Mit ihrer Speicherwirkung gilt die Elektromobilität außerdem als eine Schlüsseltechnologie zur Netzintegration von erneuerbaren Energien. Jedoch fallen diese ökologischen Vorteile derzeit nur marginal aus, da die Produktion von Akkumulatoren energieintensiv ist und während der Produktion rund 260 kg CO₂ pro kWh emittiert werden (Battlogg, 2009).

Um die CO₂-Emissionen während der Produktion von Akkumulatoren deutlich zu reduzieren, ist die Forschung kontinuierlich daran am Arbeiten. Im Gegensatz zu den oben angeführten 260 kg CO₂ pro kWh zeigt die untere **Abbildung 53**, dass der CO₂-Ausstoß bis zum Jahr 2019 mit einem Wert von 146 kg CO₂ pro kWh bereits signifikant reduziert werden konnte.

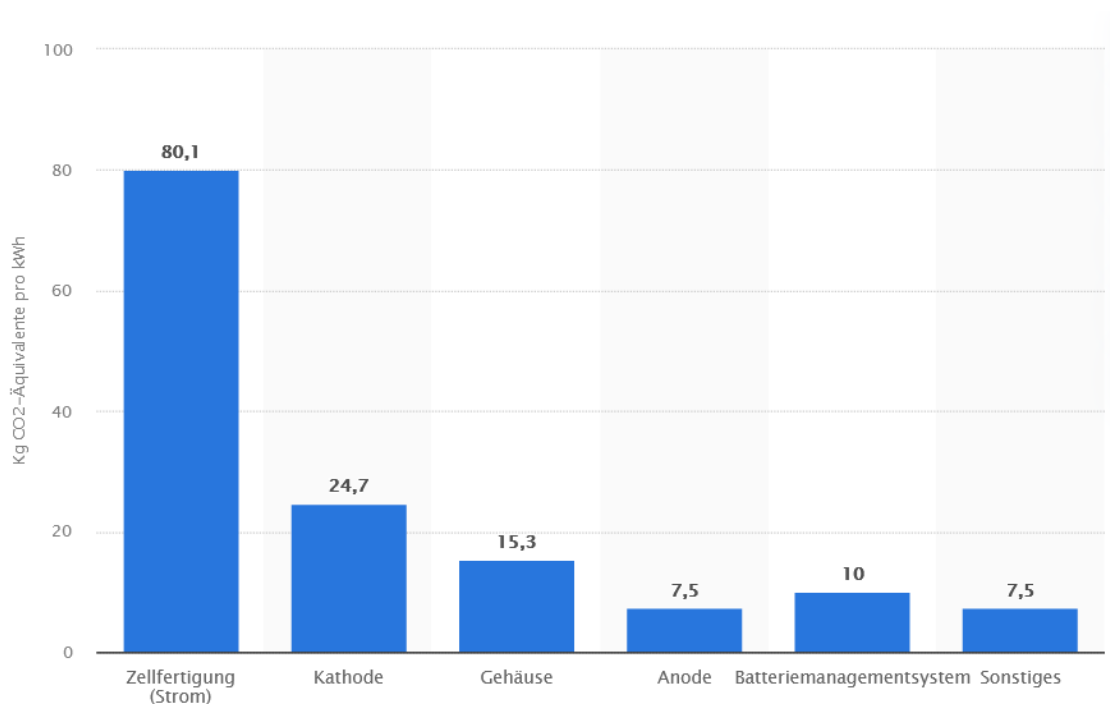


Abbildung 53: Zusammensetzung der THG-Emissionen in der Herstellung von Batterien für Elektroautos nach Bestandteilen/Fertigungsschritten in kg CO₂-Äquivalenten pro kWh der Batterie Stand 2019 (Statista, 2022)

Positive ökologische Effekte lassen sich zudem nur erreichen, wenn der nationale beziehungsweise regionale Energiemix aus regenerativen Energiequellen stammt. Erschwerend kommen die höheren Anschaffungskosten für eine elektrifizierte Kehrmaschine hinzu, so dass ohne staatliche Förderanreize in den kommenden Jahren nicht mit einer kurz- oder mittelfristigen Verbreitung von alternativen Antriebskonzepten in diesem Fahrzeugbereich zu rechnen ist. Die Elektromobilität wird sich erst mit einer Senkung der Anschaffungskosten, einer Erweiterung der Ladeinfrastruktur und niedrigeren Batteriekosten weiter in der Kommune und in der Entsorgungswirtschaft behaupten können. Aus Sicht der Nutzer müssen bis zum Jahr 2025 genau diese Voraussetzungen geschaffen werden, damit 25 % des bisher eingesetzten Fuhrparks auf Elektrofahrzeuge umgestellt werden können. Da bisher weder in einer Kommune noch in einer Stadt in dieser Form Langzeittests mit einer voll elektrifizierten GKM durchgeführt wurden, ist das positive Ergebnis dieses Praxistests besonders interessant und signalisiert die Bereitschaft zur Übernahme von Mehrkosten zur Einführung von Elektrofahrzeugen. Mit diesem Ergebnis und angesichts der politischen und wirtschaftlichen Ziele sind die Fahrzeug-, Aufbau- und Batteriehersteller gefordert, die Fahrzeug- und Batterietechnologie sicherer, leistungsfähiger und zuverlässiger zu gestalten.

Am Ende wird der Anwender entscheiden, ob sich Elektrofahrzeuge in der Entsorgungswirtschaft etablieren und möglicherweise aus einem Nischen- in den Massenmarkt aufsteigen können. Ein Produkt, das die Kernanforderungen erfüllt und uneingeschränkt einsetzbar ist, kann auf eine breite Akzeptanz stoßen. Den Aufbauherstellern muss es daher in Zusammenarbeit mit den OEMs gelingen, ein Produkt so auf den Markt zu bringen, dass die Anwender keine Einschränkungen oder Nachteile bei der Handhabung, in der Flexibilität, im Nutzwert und im Preis hinnehmen müssen.

In Bezug auf die Limitationen der vorliegenden Arbeit kann zum einen festgehalten werden, dass sich der durchgeführte Vergleich auf drei spezielle Kehrmaschinen bezieht – in diesem Kontext ist anzumerken, dass auf dem Markt weitere konventionelle, hybride und elektrifizierte Kehrmaschinen existieren. Diese Maschinen wurden jedoch nicht in die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit einbezogen, so dass sich bei einem Einbezug weiterer Kehrmaschinen möglicherweise andere Ergebnisse entwickelt hätten. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich die grundlegende Richtung der Ergebnisse durch den Einbezug weiterer Kehrmaschinen nicht geändert hätte. Zudem konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit auch nur diejenigen Kehrmaschinen untersucht werden, die von der Stadt Hamburg auch in der Praxis eingesetzt werden.

Des Weiteren ist in Bezug auf mögliche Limitationen anzumerken, dass sich die Untersuchungen lediglich auf die Stadt Hamburg konzentrierten und bei einem Einsatz der Kehrmaschinen in anderen Großstädten möglicherweise andere Ergebnisse erzielt worden wären. Dies liegt unter anderem an den Routenplanungen in den verschiedenen Städten, aber auch an deren Möglichkeiten zur Unterbringung von Ladestationen. Zudem verfügen andere Städte über andere Kehrmaschinen. Es kann im Großen und Ganzen jedoch davon ausgegangen werden, dass der Einsatz von elektrifizierten GKM auch in anderen Städten für positive Effekte sorgen würde.

Basis für die Übertragbarkeit der aus der Praxis aufgenommenen Daten sind die vorliegenden Auswertungen und Erhebungen der Betriebsdaten von kommunalen Stadtreinigungsbetrieben in Deutschland mit Bezug auf das Jahr 2020 (durchgeführt im Spätsommer 2021). Der Fachausschuss Stadtsauberkeit des VKU Sparte Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit hat maßgeblich an der Weiterentwicklung des Fragebogens mitgewirkt und diesen gegenüber dem ersten Durchgang im Jahr 2019 weiterentwickelt (VKU, 2022). Damit eine belastbare Vergleichbarkeit der Daten hergestellt werden konnte, wurden wie in der ersten Befragung ganz bewusst Cluster nach Stadtgröße gebildet.

Folgende Clusterung wurde vereinbart:

kleine Städte:	Städte bis 100.000 Einwohner
mittelgroße Städte:	Städte mit 100.000 bis 300.000 Einwohnern
große Städte:	Städte ab 300.000 Einwohnern
Städte gesamt:	alle teilnehmenden Städte

Unter den befragten Großstädten waren die zehn größten Städte Deutschlands vertreten (Statista, 2020). Aus der Vergangenheit haben sich die Cluster grundsätzlich bewährt, da somit eine Vergleichbarkeit zu der ersten Datenerhebung sichergestellt werden kann.

Die Auswertung der Daten erfolgte nicht über die absoluten Minimal- und Maximalwerte, sondern über das 10. beziehungsweise 90. Perzentil (d.h. 10 % der Werte liegen noch unter- beziehungsweise oberhalb des dargestellten Wertebereiches). Der Median stellt das Mittel dar, der den gesamten Wertebereich je zur Hälfte teilt (d.h. 50 % der Werte liegen unterhalb und 50 % oberhalb). Da es in jeder Stadt unterschiedliche Rahmenbedingungen gibt, soll mit dem Verfahren gewährleistet werden, dass mögliche Ausreißer nicht zu stark ins Gewicht fallen. Um die unterschiedlichen Reinigungssysteme wie auch Reinigungsumfänge sowie unterschiedlich eingesetzte Techniken der verschiedenen Stadtreinigungen zu berücksichtigen und vergleichend darstellen zu können, sind die zu erbringenden Reinigungsaufgaben bei der Kennzahlenbildung gewichtet beziehungsweise faktorisiert worden (VKU, 2022).

Gemessen an der Leistung einer GKM ist mit folgenden Faktoren gewichtet worden:

Großkehrmaschinen (Kehrichtbehältervolumen > 4 m ³)	1,00
mittelgroße Kehrmaschinen (Kehrichtbehältervolumen 2–4 m ³)	0,71
Klein-/Kleinstkehrmaschinen (Kehrichtbehältervolumen < 2 m ³) (inklusive handgeführter Saug-/Kehrmaschinen)	0,57

Die Reinigungslängen wurden wie bei den Ressourcen wie folgt gewichtet:

Fahrbahnen:	1,00
selbstständige Radwege:	1,50
Geh- und kombinierte Geh-/Radwege:	1,50
sonstige Flächen:	1,50
Flächen werden mit dem Faktor auf Längen umgerechnet: 3 m² ≙ 1 m	3

Da in den Datenerhebungen vom VKU keine Unterschiede zwischen den Antriebsarten gemacht wurden, die Anwendung der beschriebenen Rahmenbedingungen und Clusterung wie beschrieben für alle Teilnehmer gleich waren und die SRH selbst an der Datenerhebung teilgenommen hat, ist die Übertragbarkeit der gemessenen Daten auf andere Kommunen und Städte anwendbar.

Neben den in der Arbeit angesprochenen Herausforderungen besteht weiterer Forschungsbedarf u.a. in den Bereichen Verhalten der Arbeitsmaschine in bergischen Gebieten, Netzstabilität, Netzdienstleistungen, Infrastruktur sowie bei der Standardisierung.

Im Verlauf der Arbeit zeigte sich, dass viele Fragen, die sich bei einem sinnvollen Einsatz von vollelektrischen GKM ergeben, auf andere Herausforderungen übertragbar sind. Die Elektromobilität kann aufgrund der großen öffentlichen und politischen Aufmerksamkeit ein wesentlicher Türöffner und Treiber für neue Technologien und notwendige Anpassungen der Rahmenbedingungen für die Umstellung des Energiesystems basierend auf erneuerbaren Energieträgern sein, insofern die Bundesrepublik Deutschland die im Nationalen Entwicklungsplan für Elektromobilität definierten Ziele ernsthaft verfolgt. Neue Lösungsansätze sind wie beschrieben notwendig. In der Vergangenheit gab es immer wieder "Hypes" im Bereich der kommunalen Elektromobilität. Es bleibt spannend, wie nachhaltig sich die aktuellen Aktivitäten im kommunalen Bereich entwickeln werden. Nach Ansicht des Verfassers sprechen die breiten, länderübergreifenden Aktivitäten, die klare politische Positionierung zur Elektromobilität sowie langfristig die Herausforderungen der Ressourcenverfügbarkeit und der Klimawandel für eine nachhaltige Entwicklung bei der Umstellung der Mobilität.

Im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen und Forschungen kann festgehalten werden, dass elektrifizierte Arbeitsmaschinen in städtischen Bereichen die Anforderungen nach einer Reduktion von Emissionen erfüllen können. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Nachfrage nach Null-Emissionen-Arbeitsmaschinen zukünftig weiter ansteigen wird, schließlich verschiebt sich der Fokus vieler Regierungen immer weiter auf Umweltverträglichkeit. Dennoch bleibt ebenso festzuhalten, dass Hersteller und Forschende weiter Fortschritte in Bezug auf die Entwicklung und Erforschung von elektrifizierten Arbeitsmaschinen machen müssen, um effiziente und effektive Maschinen herstellen zu können.

Die Konzentration der Forschung auf elektrifizierte Arbeitsmaschinen kann hilfreich sein, um die Entwicklung von maßgeschneiderten individuellen Lösungen für spezielle Einsatzbereiche und deren Anforderungen voranzutreiben – die Wünsche und Anforderungen der Kunden müssen hierbei in den Entwicklungsprozess einbezogen werden. Die weitgehende Verwendung von elektrifizierten Arbeitsmaschinen hilft nicht nur beim besseren Verstehen der verfügbaren Technologien, sondern ebenfalls bei der weiteren Reduktion ihrer Kosten.

Literaturverzeichnis

Apelojg, B. (2017). Abgerufen am 03.08.2020 von Uni Potsdam: <http://www.uni-potsdam.de/en/meprooek/index/kompetenzmodell-der-oekonomischen-bildung/teilkompetenz-ii-handlungsalternativen-bewerten.html>

Arbeitsgruppe 4 (2012). Normung, Standardisierung und Zertifizierung der Nationalen Plattform Elektromobilität, NPE (2012), Die deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität – Version 2, Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung, GGEMO (Hrsg.). Berlin.

Basic, H. et al. (2020). Experimental Testing and Evaluation of Lithium-Ion Battery Cells for a Special-Purpose Electric Vacuum Sweeper Vehicle. In: IEEE Access, Vol. 8., S. 216308-216319.

Battlogg, E. (2009). Zukunft Elektroauto. Die Geschichte der Elektrofahrzeuge. Books on Demand Verlag.

BCG (2013). Trendstudie 2030+. Kompetenzinitiative Energie des BDI. Studie der Boston Consulting Group im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI). München.

BDEW (2020). Technischer Leitfaden: Ladeinfrastruktur, Elektromobilität. DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE. <https://www.vde.com/resource/blob/988408/ca81c83d2549a5e89a4f63bbd29e80c6/technischer-leitfaden-ladeinfrastruktur-elektromobilitaet---version-3-1-data.pdf>

Beltrami, D.; Iora, P.; Tribioli, L.; Uberti, S. (2021). Electrification of Compact Off-Highway Vehicles—Overview of the Current State of the Art and Trends. *Energies*, 14, 5565. <https://doi.org/10.3390/en14175565>

Bertram, M. & Bongard, S. (2014). Elektromobilität im motorisierten Individualverkehr, Grundlagen, Einflussfaktoren, Wirtschaftlichkeitsvergleich. Wiesbaden.

BMU (2017). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Abgerufen am 25.06.2020 von Elektromobilität: Maßnahmen der Bundesregierung: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/bmu-foerderprogramm/massnahmenpaket-der-bundesregierung/>

BMU (2018). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Abgerufen am 25.06.2020 von Elektromobilität: Allgemeine Informationen: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/>

- BMUB (2011). Klimaschutzziele in den deutschen Bundesländern. Abgerufen am 23.06.2020 Bundesministerium für Umwelt und Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4146.pdf>
- BMUB (2016). Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin: Bundesministerium für Umwelt und Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- BMVBS (2010). Mobilität in Deutschland 2008 – Ergebnisbericht: Struktur, Aufkommen, Emissionen, Trends. Bonn/Berlin.
- Brock (2020). Brock Kehrtechnik GmbH. Abgerufen am 29.09.2020 von Brock Kehrtechnik: <https://www.brock-kehrtechnik.de>
- Budich, R. (2019). Untersuchungen zum Einsatz von Elektrokleinkehrmaschinen als Beitrag zur Dekarbonisierung des kommunalen Verkehrs. Dissertation, Technische Universität Dresden, Dresden: o. V.
- Budich, R. & Hübner, M. (2016). Vehicle simulation of an electric street sweeper for substitution analysis. In: 16. Internationales Stuttgarter Symposium pp 673-690.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2022). Elektromobilität (Definition i.S. der Bundesregierung). Online: <https://www.erneuerbar-mobil.de/glossar/elektromobilitaet-definition-der-bundesregierung> (letzter Zugriff am 09.02.2022).
- Dieckhoff, C., Fichtner, W., Grunwald, A., Meyer, S., Nast, M., Nierling, L. & Voß, A. (2011). Energieszenarien. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie.
- Difu (Hrsg.) (2020). Klimaschutz trotz klammer Kassen: Das können Kommunen tun. Online: <https://difu.de/presse/pressemitteilungen/2020-10-22/klimaschutz-trotz-klammer-kassen-das-koennen-kommunen-tun> (letzter Zugriff am 09.02.2022).
- DST & VKU (Deutscher Städtetag & Verband kommunaler Unternehmen e. V.) (2010). Elektromobilität – kommunale Unternehmen machen nachhaltig mobil. Berlin.
- Eckstein, L. (2010). Unkonventionelle Fahrzeugantriebe. Aachen.
- Erdinc, O. et al. (2019). Route optimization of an electric garbage truck fleet for sustainable environmental and energy management. In: Journal of Cleaner Production, Volume 234, 10 October 2019, Pages 1275-1286.

- Ernst, T. (2011). Sozialwissenschaftliche Begleitung der Modellregionen Elektromobilität. Fokus: Elektromobilität und Stadt. Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart. Präsentation vom 29.9.2011, Frankfurt a. M.
- Europäische Union (2019). Richtlinie 2009/33/RG – Die Förderung sauberer und effizienter Straßenfahrzeuge. Brüssel: Das europäische Amtsblatt.
- Forschungscampus Mobility2Grid (Hrsg.) (2021). Energiewende und Elektromobilität in vernetzten urbanen Arealen. Online: <https://mobility2grid.de/ergebnisse/> (letzter Zugriff am 07.02.2022).
- Gabler Wirtschaftslexikon (Hrsg.) (2022). Elektromobilität. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/elektromobilitaet-53700> (letzter Zugriff am 09.02.2022).
- Geist, H. & Schröer, B. (2010). Maschinen und Geräte der Straßenreinigung. Berlin: Erich Schmidt.
- Gnann, T., Plötz, P., Zischler, F., und Wietschel, M. (2012). Elektromobilität im Personenwirtschaftsverkehr eine Potenzialanalyse, Karlsruhe, Fraunhofer ISI.
- Göhlich, D. et al. (2021). Verwertung, Transfer und zukünftige Herausforderungen. In: Göhlich et al. (Hrsg.), Mobility2Grid – Sektorenübergreifende Energie- und Verkehrswende, Wiesbaden: Springer Gabler, S. 257-273.
- Grünig, R. & Kühn, R. (2013). Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme. Berlin: Springer Gabler.
- Haag, M. & Ade, L. (2015). Elektromobilität in kommunalen Reinigungsflotten. Stuttgart: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Helms, H. & Heidt, C. (2014). Erarbeitung eines Konzepts zur Minderung der Umweltbelastung aus NRMM (non road mobile machinery) unter Berücksichtigung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionsverminderungsoptionen für den Bestand, Umweltbundesamt. Abgerufen am 23.10.2020 vom Umweltbundesamt. http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/texte_24_2014_erarbeitung_eines_konzepts_zurminderung_der_umweltbelastung_aus_nrmm.pdf
- Hilgers, M. (2016). Alternative Antriebe Nutzfahrzeuge. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Hofmann, P. (2010). Hybridfahrzeuge. Wien: Springer.
- Hofmann, P. (2014). Hybridfahrzeuge, DOI 10.1007/978-3-7091-1780-4_2, Springer-Verlag Wien.

- Jeong Y, Kim W, Yim S. (2022). Model Predictive Control Based Path Tracking and Velocity Control with Rollover Prevention Function for Autonomous Electric Road Sweeper. *Energies*. 2022; 15(3):984. <https://doi.org/10.3390/en15030984>
- Kampker, A., Vallée, D. & Schnettler, A. (2013). Elektromobilität – Grundlagen einer Zukunftstechnologie. Berlin: Springer Vieweg.
- Kasang, D. (2012). 2-Grad-Ziel. Abgerufen am 23.06.2020 von Bildungsserver Klimawandel: <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/2-Grad-Ziel>
- KBA (2014). Bestand an Nutzfahrzeugen, Kraftfahrzeugen insgesamt und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (FZ 25). Abgerufen am 10.11.2020 von Kraftfahrt-Bundesamt: https://www.kba.de/DE/Presse/Presseportal/FZ_Bestand/fz25_bestand_nutz_fz_a
- KBA (2015). Jahresbilanz der Neuzulassungen. Abgerufen am 10.11.2020 von Kraftfahrt-Bundesamt: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/2014_n_jahresbilanz.html;jsessionid=83A02F0427A20371C622E71AF17765C4.live1041?nn=6445
- 22.
- Kley, F. (2011). Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge. Entwicklung einer Ausbaustrategie auf Basis des Fahrverhaltens. Stuttgart.
- Kreyenberg, D. (2016). Fahrzeugantriebe für die Elektromobilität. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kühnapfel, J. (2014). Nutzwertanalyse in Marketing und Vertrieb. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Kurzweil, P. (2013). Brennstoffzellentechnik. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen. 2. Auflage. Wiesbaden.
- Loose, C. (2011). Kommunalfahrzeuge mit Hybridantrieb zur Reduktion schädlicher Immissionen. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- Martens, B. (1999). Das Abfallproblem im historischen Zusammenhang. In: Die gesellschaftliche Resonanz auf das Abfallproblem, 9–48. Abgerufen am 09.11.2020 von Deutscher Universitätsverlag, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-663-08211-8_2
- McKinsey (2009). Roads toward a low carbon future: Reducing CO₂ emissions from passengers vehicles in the global road transportation system. New York.
- Möhlmann, J. (7. Mai 2014). <https://docplayer.org/6190558-Allgemeine-betriebswirtschaftslehre.html>. Abgerufen am 01.06.2019.

- Nagel, K. et al. (2020). Dekarbonisierung des urbanen Verkehrs. Spannungsfeld Fahrzeugantriebe Gedenkschrift für Prof. Roland Baar doi 10.14279/depositonce-9822
- Naunin, D. (1994). Elektrische Straßenfahrzeuge. Technik, Entwicklungsstand und Einsatzgebiete. 2. Auflage, Renningen-Malmsheim.
- Naunin, D. (2004). Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge. 3. Auflage, Renningen: Expert-Verlag.
- Naunin, D. (2007). Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge. Technik, Strukturen und Entwicklungen. Renningen.
- Nicht, A., Altinsoy, E., & Rosenkranz, R. (2014). Noise Emission of Electric Street Sweepers – Transfer Path Analysis. In: FORUM ACUSTICUM 2014, 7–12 September, Krakow.
- NPE (2010a). Die deutsche Normungs-Roadmap. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität in der Bundesregierung. Abgerufen am 25.06.2020 von die Ziele der Nationalen Plattform Elektromobilität: <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/hintergrund/die-ziele/>
- NPE (2014). Fortschrittsbericht 2014. Bilanz der Marktvorbereitung. Abgerufen am 25. Juni 2020 von den Maßnahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität: https://www.bmbf.de/files/NPE_Fortschrittsbericht_2014_barrierefrei.pdf
- NPE (2018). Fortschrittsbericht 2018 – Markthochlaufphase. Abgerufen am 29. April 2022 von der Nationale Plattform Zukunft der Mobilität: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/12/2018_Fortschrittsbericht_2018_Markthochlaufphase.pdf
- NPM (2020). Nationale Plattform – Zukunft der Mobilität. Klimaschutz im Verkehr. Abgerufen am 25.06.2020 von der Nationalen Plattform Schwerpunkte: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/schwerpunkte/ag-1/>
- Paschotta, R. (2022). Artikel 'Wirkungsgrad' im RP-Energie-Lexikon. Aufgerufen am 07.09.2022 von Energie-Lexikon: <https://www.energie-lexikon.info/wirkungsgrad.html>
- Peters, A., Doll, K., Kley, F., Möckel, M., Plötz, P., Sauer, A., Schade, W., Thielmann, A., Wietschel, M. & Zanker, C. (2012). Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Berlin: Innovationsreport.
- Plötz, P., Gnann, T., Kühn, A. & Wietschel, M. (2013). Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

- Schraven, S., Kley, F. & Wietschel, M. (2011). Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft 35 (3), S. 209–219.
- Stan, C. (2015). Alternative Antriebe für Automobile. Berlin: Springer Vieweg.
- Stan, C. (2018). Alternative Antriebe für Automobile. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg.
- Statista (Hrsg.) (2022). Höhe der Fördergelder für Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität in ausgewählten Ländern im Jahr 2018. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/896578/umfrage/staatliche-foerderung-in-der-elektromobilitaet-nach-laendern/> (letzter Zugriff am 09.02.2022).
- Statista (Hrsg.) (2022). Zusammensetzung der Treibhausgas-Emissionen in der Herstellung von Batterien für Elektroautos nach Bestandteilen/Fertigungsschritten. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1074324/umfrage/zusammensetzung-der-co2-emissionen-bei-der-herstellung-von-e-autobatterien/> (letzter Zugriff am 08.02.2022).
- Stave, C. & Carlson, A. (2017). A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles. In: European Transport Research Review volume 9, Article number: 25.
- Steiner, M. (2018). Übersicht kommunal eingesetzter Fahrzeuge nach Abgasklassen. Abgerufen am 21.06.2018 von Ionica Energy: <https://www.ionica.energy/wordpress/wp-content/uploads/2018/10/Steiner.pdf>
- Steiner, M. (2020). Planungsstand der Elektrifizierung des Fuhrparks der Stadtreinigung Hamburg. Stadtreinigung Hamburg, M. Schwarz, persönliche Kommunikation.
- Stiller, G. (2018). Sensibilitätsanalyse. Abgerufen am 04.08.2020 von Wirtschaftslexikon: <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/sensibilitaetsanalyse/sensibilitaetsanalyse.htm>
- U.S. DOE (2003). National Institute of Standards and Technology (NIST). Abgerufen am 06.06.2020 von The Role of the U.S National Innovation System in the Development of the PEM Stationary Fuel Cell: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir7161.pdf>
- VIRICITI (2020). Elektrisches und nichtelektrisches Flottenmanagement leicht gemacht. Abgerufen am 22.10.2020 von VIRICITI: <https://viriciti.com/de/>
- VKU (2016). Kommunalhandbuch: Stadt- und Straßenreinigung. Berlin: Beckmann.
- VKU (2018). Stadtreinigung 2018: VKU-Umfrage zu Betriebsdaten in kommunalen Stadtreinigungsbetrieben. Verband Kommunaler Unternehmen. Berlin.

VKU (2022). Stadtreinigung 2020: VKU-Umfrage zu Betriebsdaten in kommunalen Stadtreinigungsbetrieben. Verband Kommunaler Unternehmen. Berlin.

Wallentowitz, H. (2011). Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Technologien, Märkte und Implikationen. 2. Auflage, Wiesbaden.

Wallentowitz, H., Freialdenhoven, A. & Olschewski, I. (2010). Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

Weber, J. & Schäffer, U. (2016). Einführung in das Controlling. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Witte, H. (1989). Die Integration monetärer und nicht monetärer Bewertungen. Berlin: Duncker & Humblot.

WVI, IVT, DLR & KBA (2010). Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD2010), WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, Braunschweig, IVT Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e. V., Heilbronn, DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Institut für Verkehrsforschung. Abgerufen am 09.11.2020 von Kraftfahrt-Bundesamt: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/kid-2010.pdf?__blob=publicationFile

Xu, H., Xiao, J., & Feng, Y. (2020). Development and research status of road cleaning vehicle. Abgerufen am 25.04.2022 von In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1626, No. 1, p. 012153). IOP Publishing.

Yim, S.; Kim, W. (2021). Rollover Prevention Control for Autonomous Electric Road Sweeper. Abgerufen am 20.04.2022: <https://doi.org/10.3390/electronics10222790>.

Zukunftsnetz Mobilität NRW (Hrsg.) (2021). Kommunale Mobilitätskonzepte. Köln: o. V.

9 Anhang

A.1. Praktische Anwendung der Nutzwertanalyse im Feldversuch

Von Mai 2020 bis Dezember 2020 fanden, wie bereits in Kapitel 5 beschrieben, monatliche Projektteamsitzungen bei der Stadtreinigung Hamburg statt. Später erfolgte die Kommunikation per Mail bzw. telefonisch. Die Projektmitglieder bestanden aus dem Autor (Projektleiter), dem Leiter des Fuhrparks, einem Disponenten Fuhrpark, einem Fahrer (GKM) und zwei Mitarbeitern seitens der Hersteller.

Nachfolgend kann anhand des Feldversuches in der Stadtreinigung Hamburg Schritt für Schritt nachvollzogen werden, wie mit Hilfe der Nutzwertanalyse eine Entscheidungsgrundlage geschaffen wurde.

Durch fehlende Serienprodukte, mangelnder alternativen Anbieter (Hersteller) und limitierter finanzieller Mittel steht die Stadtreinigung Hamburg vor der Entscheidung, eines der drei vorliegenden Handlungsalternativen zu priorisieren: Vaccum Sweeper 6e (VS6e), Vaccum Sweeper 6h (VS6h) und Vaccum Sweeper 6d (VS6d).

Aufgrund der technischen Rahmenbedingungen der Kehrmaschinen sowie der vorgegebenen Tourenplanung durch die Straßenreinigung, wurden im Projektteam die vier Zieldimensionen **Emissionen**, **Energie**, **Arbeitseinsatz** und **Gewicht** als Basis definiert.

Die Zieldimension **Emissionen** wurde unterteilt in CO₂- und Gesamtemission, da bei BEV und PHEV ein „Emissionsrucksack“ vorhanden ist. Aufgrund des eklatanten Unterschieds des Lärmpegels zwischen konventionellen und BEV, durchschnittlich 90 zu 99 dB(A) (Brock, 2020) und der hohen politischen Relevanz der innerstädtischen Lärmemissionen wurde außerdem dieses Kriterium hinzugefügt. Mit diesen drei Kriterien wurde die Zieldimension Emissionen als ausreichend bewertet angesehen.

Zieldimension **Energie** wurde als Kriterium der Energieverbrauch identifiziert. Aus dem Energieverbrauch ergeben sich gleichzeitig die folgenden Kriterien der Zieldimension **Arbeitseinsatz**. Sowohl die Reichweite als auch die Einsatzdauer korrelieren in direkter Abhängigkeit mit dem Energieverbrauch. Ebenfalls ergibt sich die Ladedauer aus dem Energieverbrauch, da sich bei einem geringen Verbrauch die Dauer des Ladevorgangs reduzieren kann. Zusätzlich ist die vorhandene Tank- bzw. Ladeinfrastruktur maßgeblich für die Zieldimension Arbeitseinsatz relevant, da effiziente Arbeitseinsätze nur durch eine ausreichende Anzahl und Verfügbarkeit der Tank- bzw. Ladeinfrastruktur gewährleistet werden kann.

Die Benutzerfreundlichkeit wurde als Kriterium in der Zieldimension Arbeitseinsatz nicht mit betrachtet, weil dies Kriterium zum Einen vom Projektteam vorausgesetzt wurde und zum Anderen vom Hersteller (die auch im Projektteam waren) zwischen den jeweiligen Maschinen als nahezu identisch bezeichnet wurde. Des Weiteren ist eine quantitative Messbarkeit bei diesem Kriterium nicht gegeben, daher wäre eine eventuelle Anwendung des Modells bei anderen Stadtreinigungen nicht reproduzierbar.

Zieldimension **Gewicht** kann unterteilt werden in Leergewicht und zulässiges Gesamtgewicht. Bei GKM ist jedoch (im Vergleich zu KKM, die auch bspw. Fußgängerzonen und entsprechende Gehwegplatten reinigen) das zulässige Gesamtgewicht nicht relevant, daher wird nur die Differenz der beiden Gewichte (die Nutzlast) als wichtig in der Praxis erachtet.

Die Gewichtung wurde durch direkte Vergleiche der Kriterien untereinander durchgeführt und basiert auf den damals vorliegenden Bedingungen in der kommunalen Entsorgungswirtschaft. Die Kriterien Energieverbrauch, CO₂-Emissionen, Gesamtemissionen und Ladedauer wurden im Projektteam als gleichwichtig erachtet. Aus speziellen umweltpolitischen Vorgaben hinsichtlich der Lärminderung im innerstädtischen Bereich der Stadt Hamburg und eines möglichen Zweitschichteinsatzes (zu früheren Uhrzeiten) wird das Kriterium Lärmemission als wichtiger erachtet. Genauso wichtig wurde das Kriterium Infrastruktur der Ladevorrichtung bewertet. Ein Kriterium, dass zukünftig bei fortschreitendem Ausbau der Ladeinfrastruktur an Relevanz verlieren wird bzw. nicht mehr als Kriterium mit betrachtet werden müsste, zum damaligen Forschungszeitpunkt jedoch eine hohe Relevanz besaß. Als nochmals wichtiger sind die drei Kriterien Reichweite, Einsatzdauer und Nutzlast bewertet worden, wobei die Kriterien Reichweite und Nutzlast vom Projektteam als gleichwichtig beurteilt wurden. Mit der Reichweite steht und fällt die mögliche Tourengröße im kommunalen Einsatz, wohingegen die Nutzlast als gleichwichtiges Kriterium die Aufnahme des Kehrichts beschränkt. Die Einsatzdauer (Arbeitsautonomie) wird als wichtigstes aller neun Kriterien erachtet, da nur so die satzungsgemäße Tourenplanung im Stadtgebiet bedient werden kann.

Die Bewertung der Handlungsalternativen erfolgte ebenfalls im Projektteam mittels der Punktwerte zwischen 10 (sehr gut) und 1 (sehr schlecht). Bei der Beurteilung der Handlungsalternativen wurde strikt darauf geachtet, dass die alternativen Beurteilungen und die Kriteriengewichtung gleichgerichtet sind. Bedeutet, dass die Zahlen immer mit derselben Metapher zugrunde gelegt werden müssen (hohe Werte sind gut, niedrige Werte sind schlecht). Beispielhaft soll hier die Bewertung der Kriterien K5 (Reichweite) und K9 (Nutzlast) erläutert werden. Die Reichweite der Diesel-GKM hat in der Praxis aufgrund der hohen

Reichweite keine Rolle gespielt, weshalb eine Bewertung von 10 vorgenommen wurde. Die Tourenplanung kann mit der Diesel-GKM jederzeit erfüllt werden. Die Hybrid-GKM hingegen kann nicht für alle Touren im Stadtgebiet eingesetzt werden, da für das Chassis und der Aufbau getrennte Energiequellen eingesetzt werden und der Energiespeicher des Aufbaus zu sehr begrenzt ist. Das Kriterium ist für die Hybrid-GKM somit unzureichend erfüllt.

Die Elektro-GKM kann ebenfalls nicht für die gesamte Tourenplanung berücksichtigt werden, jedoch können mehr Touren abgedeckt, weshalb das Kriterium mit drei Punkten als gerade noch ausreichend erfüllt angesehen wurde. Das Kriterium der Nutzlast wird bei der Diesel-GKM als unkritisch betrachtet und daher als sehr gut erfüllt mit der vollen Punktzahl versehen. Die Hybrid-GKM hat aufgrund ihrer Aufbauatterie Einbußen bei der Nutzlast, die jedoch noch immer mit sieben Punkten als gut erfüllt bewertet wird. Die Elektro-GKM hat durch ihre nochmals größere Traktionsbatterie größere Einschränkungen bei der Nutzlast, die mit vier Punkten lediglich als ausreichend bewertet wird.

Die Ermittlung der Ergebnisse erfolgt in zwei Rechenschritten:

- Multiplikation der Kriterien Gewichtung mit der jeweiligen Projektbeurteilung (Ermittlung der Teilnutzwerte),
- Addition der Multiplikationsergebnisse für jede Handlungsalternative (Ermittlung des Gesamtnutzens).

Das Kriterium Energieverbrauch mit einer Gewichtung von 10 ergibt bei der A1: VS6d und der Beurteilung in diesem Punkt von 1 beispielsweise den Wert 10 [$1 \times 10 = 10$]. Nach diesem Vorgehen werden nun alle Werte ermittelt.

Die Werte in der Spalte Gewichtung stammen aus der Kriteriengewichtung und jene der Spalten Beurteilung (p1) aus der Alternativenbeurteilung, während die Spalten "Handlungsalternativen" durch Multiplikation der Kriteriengewichtung mit der jeweiligen Alternativenbeurteilung berechnet wurden. Die Nutzwertsumme (Gesamtnutzen) ergibt sich durch die Addition der Einzelwerte. Das beste Ergebnis der Nutzwertanalyse mit 625 Punkten spricht eindeutig für die Handlungsalternative A3: VS6e. Aus Nutzer Sicht (Projektteam) die beste Handlungsalternative.

A.2. Ergänzung zum Feldversuch

Fragebogen der SRH

Technischer Service Qualitätssicherung - Fahrzeugerprobung -		 STADTREINIGUNG HAMBURG	
BROCK SL 200 elektrisch 		Stand: 07/2020 Region: RM	Seite 1 von 2
		Fahrzeugerprobung	
Erprobungszeitraum von:		Fahrer:	
1.) Arbeitsplatz			
Geräuschpegel	(1) (2) (3) (4)	Turbinengeräusch	(1) (2) (3) (4)
Vibration	(1) (2) (3) (4)	Übersicht Arbeitsbereich	(1) (2) (3) (4)
Wohlfühlfaktor	(1) (2) (3) (4)	Bedienungsanleitung	(1) (2) (3) (4)
2.) Fahrerhaus			
Bedienelemente	(1) (2) (3) (4)	Sicht auf Saugschacht	(1) (2) (3) (4)
Aufbauschalung	(1) (2) (3) (4)	Rundumsicht	(1) (2) (3) (4)
Heizleistung	(1) (2) (3) (4)	Klimaanlage	(1) (2) (3) (4)

Belüftung	(1) (2) (3) (4)		(1) (2) (3) (4)
3.) Fahrgestell			
Elektrischer Fahrtrieb	(1) (2) (3) (4)	Fahrverhalten leer	(1) (2) (3) (4)
Anfahrverhalten	(1) (2) (3) (4)	Fahrverhalten beladen	(1) (2) (3) (4)
4.) Aufbau			
Entleeren des Aufbaus (kippen)	(1) (2) (3) (4)	Standzeit der Besen	(1) (2) (3) (4)
Reinigung der Maschine	(1) (2) (3) (4)	Steuerung der Besen	(1) (2) (3) (4)
Reinigen des Kessels	(1) (2) (3) (4)	Bewässern der Besen	(1) (2) (3) (4)
Reinigen Sieb im Kessel	(1) (2) (3) (4)	Saugmund	(1) (2) (3) (4)
Reinigen der Filter	(1) (2) (3) (4)	Wassertankvolumen	(1) (2) (3) (4)
Anlaufgeschw. der Turbine	(1) (2) (3) (4)	Befüllen des Wassertanks	(1) (2) (3) (4)
		Frischwasserpumpe	(1) (2) (3) (4)
5.) Fragen zur Einsatzdurchführung			
Staubentwicklung	(1) (2) (3) (4)	Wartungsfreundlich	(1) (2) (3) (4)
Reinigung (z. B. zieht Streifen)	(1) (2) (3) (4)	Einsicht Heckbereich	(1) (2) (3) (4)
Kehrgeschwindigkeit	(1) (2) (3) (4)	Entladehäufigkeit	(1) (2) (3) (4)
Aufnahme von Kehrgut	(1) (2) (3) (4)	Anordnung der Besen	(1) (2) (3) (4)
Erkennen von Verstopfer	(1) (2) (3) (4)	Beseitigung der Verstopfer	(1) (2) (3) (4)
Zeit für Besenwagen senken	(1) (2) (3) (4)	Kehren von Parkbuchten	(1) (2) (3) (4)
Zeit für Besenwagen heben	(1) (2) (3) (4)	Arbeitsbreite	(1) (2) (3) (4)
Anlaufzeit Besen	(1) (2) (3) (4)	Reinigen bei Regen	(1) (2) (3) (4)
6.) Allgemeine Fragen			
Ausfall	... Tage	Gewicht leer	... kg
Durchschnittlicher Einsatz	... Std. Tag	Gewicht beladen	... kg
		Fz. Höhe und Breite	(1) (2) (3) (4)
7.) Einsatzbedingung			

	JA	NEIN
Einsatz im 2 Schichtbetrieb		
Wechselnde Fahrer		

Gesamtbeurteilung der o.g. Kehrmaschine (1) (2) (3) (4)	
Anmerkung zu Nr.:	
Beurteilung	
Fahrerhaus:	
Aufbau:	
Stellungnahme des Einsatzleiters zum Einsatz der o.g. Kehrmaschine:	
Unterschrift: _____	Datum: _____
Stellungnahme der Fahrertrainer der o.g. Kehrmaschine:	
Unterschrift: _____	Datum: _____
Anmerkung:	

1 = sehr gut für den Einsatz geeignet

4 = nur bedingt für den Einsatz geeignet (es wurden erhebliche Mängel festgestellt)

A.4. Ergänzung zur Datenanalyse

Analyse Energieverbrauch und Emissionen Brock Kehrmaschinen VS6e und VS6h auf Basis der Messwerte im Zeitraum Mai 2020 bis Oktober 2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

GINAF

Energy consumption and emission analysis of Brock sweeping machines

Vehicles which are used to analyse are:

eSweeper – Full EV with Electric body

Hybrid 1, 2, 3 and 4 – Diesel vehicles with electric sweeping bodies

Time window for analysis: 1st of May 2020 – 31st of October 2021

Introduction

This report is based on the measured data whereby only the data is used in which the vehicle was in normal operation. Abnormalities are removed from the data analysis

Result of analysis

Calculations for emission reduction is based on the provided diesel consumption data.

An average usage per km for a Diesel sweeping machine is 0.84 l per km.

An average usage per km for a Hybrid sweeping machine is 0.48 l per km.

The emission reduction per 100 km for both vehicles are shown in the table below

	eSweeper	Hybrid
CO ₂ reduction [kg]	218.4	93.6
NO _x emission reduction [g]	357.8	153.36
PM reduction [g]	6.35	2.72

The table below gives the cumulative values over the total analysis period.

	Days in normal use	Distance driven [km]	Energy consumption [kWh]	CO ₂ reduction [kg]	NO _x emission reduction [g]	PM reduction [g]
eSweeper	312	13476	21440	29431	48223	855.8
Hybrid 1	176	11746	6712	10995	18014	319.7
Hybrid 2	280	15496	10848	14505	23765	421.8
Hybrid 3	209	6647	10484	6221	10193	180.9
Hybrid 4	33	1348	727	1261	2067	36.7
Totals			50211	62413	102262	1815

The average values per vehicle are shown in the table below

	Distance driven [km]	Energy consumption per day [kWh]	Energy consumption per km [kWh/km]
eSweeper	43.2	68.7	1.59
Hybrid 1	66.7	38.1	0.57
Hybrid 2	55.3	38.7	0.70
Hybrid 3	31.8	50.1	1.57
Hybrid 4	40.8	37.0	0.54

GINAF

Energy consumption and emission analysis of Brock sweeping machines

Calculation assumptions

The emission of the energy production is not taken into account. The assumption is that the vehicles are charged with green energy.

CO₂

The Tank to Wheel emission of diesel is 2.6 kg CO₂ per liter.

With an average efficiency of a diesel engine of 40% you can get 4 kWh per litre Diesel. These information is used in the above tables. Based on the usage of the sweeper truck the efficiency of the 40% is hardly reached.

NO_x

NO_x emission is approx. 4.26 gr per litre. Especially during driving in the city the NO_x emissions are increased.

PM

PM (<2.5 um & < 10 um) emission is 75.6 mg per litre diesel according TNO with a Euro VI engine.

A.5. Theoretische Wirkungsgradbetrachtung der unterschiedlichen Fahrzeugtypen (VS6d, VS6h und VS6e)

Theoretische Wirkungsgradbetrachtung der unterschiedlichen Fahrzeugtypen						Aufteilung	
Fahrzeugtyp	Traktion	Nebenaggregat 1	Nebenaggregat 2	Nebenaggregat 3	Gesamt		
VS6d minimal	10,60%	10,77%			10,68%	Traktion	50,00%
VS6d Mittelwert	16,43%	12,92%			14,67%	bei einem Nebenaggregat je	50,00%
VS6d maximal	22,26%	15,08%			18,67%	bei zwei Nebenaggregaten je	25,00%
VS6h minimal	10,60%	38,02%	73,73%		33,24%	bei drei Nebenaggregaten je	16,67%
VS6h Mittelwert	16,43%	38,02%	73,73%		36,15%		
VS6h maximal	22,26%	38,02%	73,73%		39,07%		
VS6e	62,38%	38,02%	73,73%	84,75%	63,94%		

A.6. Wirkungsgrade VS6d

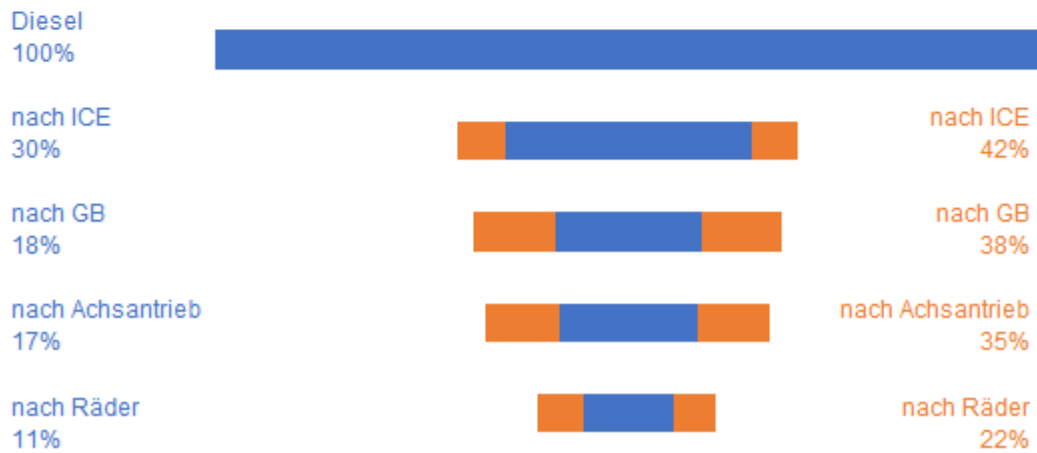
VS6d - Diesel mit Nebenantrieb Verbrennungsmotor - Traktion

	Wirkungsgrad min.	Energie in [kWh]	Wirkungsgrad max.	Energie in [kWh]
Diesel	100,00%	187,00	100,00%	187,00
ICE	30,00%	56,10	42,00%	78,54
GB	60,00%	33,66	90,00%	70,69
Achsantrieb	92,00%	30,97	92,00%	65,03
Räder	64,00%	19,82	64,00%	41,62
Gesamt	<u>10,60%</u>	<u>19,82</u>	<u>22,26%</u>	<u>41,62</u>

minimaler Wirkungsgrad

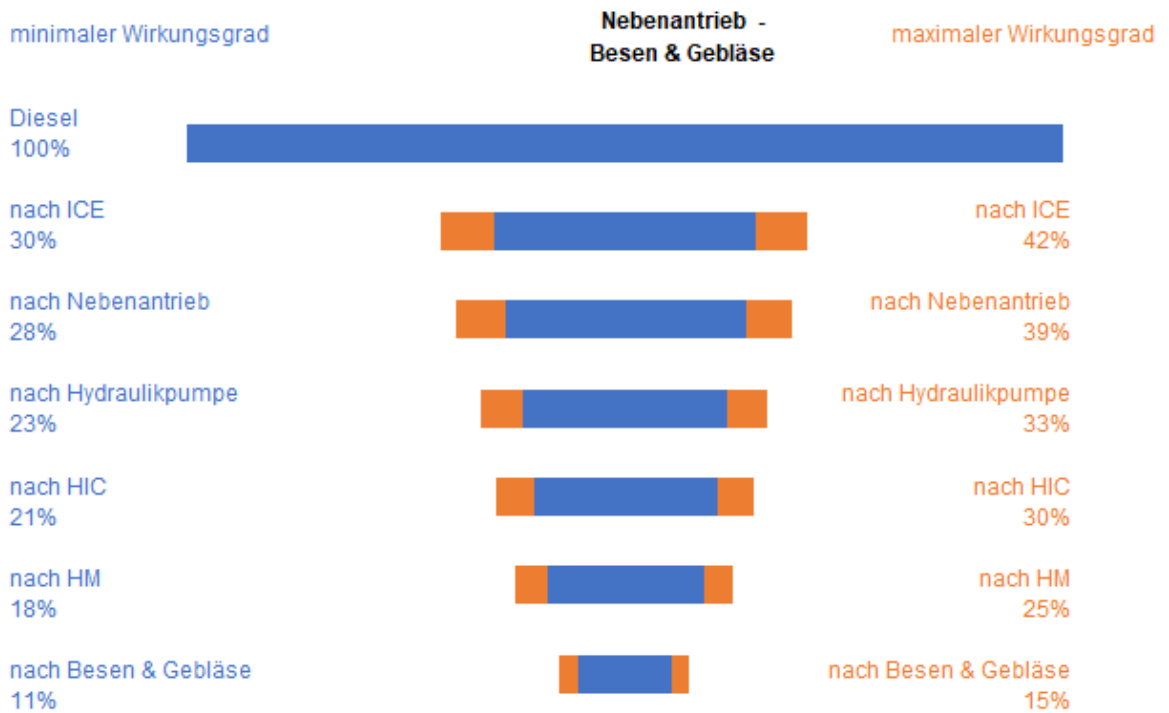
Diesel auf Räder

maximaler Wirkungsgrad



Nebenaggregat - Besen und Gebläse

	Wirkungsgrad min.	Energie in [kWh]	Wirkungsgrad max.	Energie in [kWh]
Diesel	100,00%	153,00	100,00%	153,00
ICE	30,00%	45,90	42,00%	64,26
Nebenantrieb	92,00%	42,23	92,00%	59,12
Hydraulikpumpe	85,00%	35,89	85,00%	50,25
HIC	90,00%	32,30	90,00%	45,23
HM	85,00%	27,46	85,00%	38,44
Besen und Gebläse	60,00%	16,48	60,00%	23,07
Gesamt	<u>10,77%</u>	<u>16,48</u>	<u>15,08%</u>	<u>23,07</u>

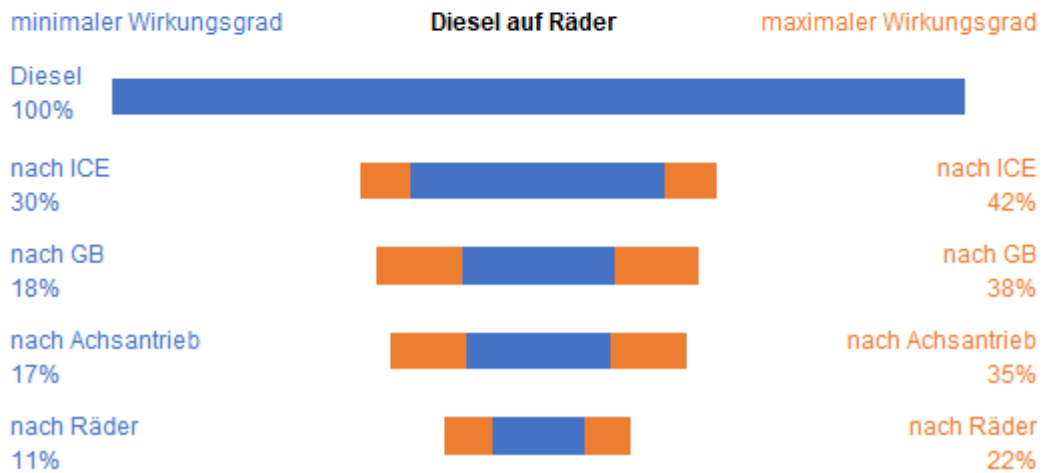


A.7. Wirkungsgrade VS6h

VS6h - Hybridkonzept

Verbrennungsmotor - Traktion

	Wirkungsgrad min.	Energie in [kWh]	Wirkungsgrad max.	Energie in [kWh]
Diesel	100,00%	340,00	100,00%	340,00
ICE	30,00%	102,00	42,00%	142,80
GB	60,00%	61,20	90,00%	128,52
Achsantrieb	92,00%	56,30	92,00%	118,24
Räder	64,00%	36,03	64,00%	75,67
Gesamt	<u>10,60%</u>	<u>36,03</u>	<u>22,26%</u>	<u>75,67</u>

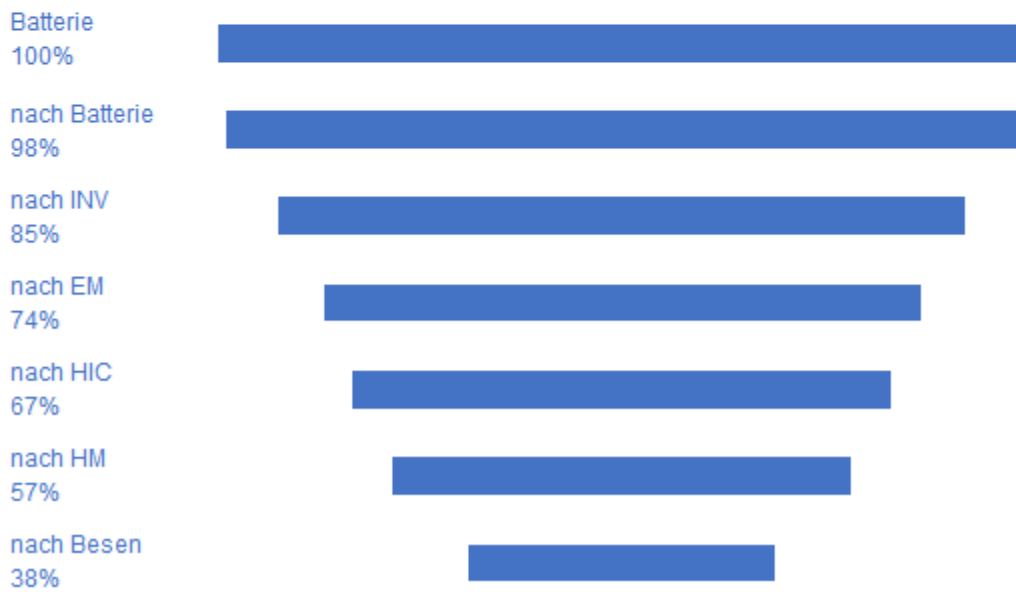


Nebenaggregat 1 - Besen

	Wirkungsgrad min.	Energie in [kWh]
Batterie	100,00%	30,00
Bat. Ausgang	98,00%	29,40
INV	87,00%	25,58
EM	87,00%	22,25
HIC	90,00%	20,03
HM	85,00%	17,02
Besen	67,00%	11,41
Gesamt	<u>38,02%</u>	<u>11,41</u>

Wirkungsgrad

Batterie auf Besen



Nebenaggregat 2 - Gebläse

	Wirkungsgrad min.	Energie in [kWh]
Batterie	100,00%	30,00
Bat. Ausgang	98,00%	29,40
INV	92,00%	27,05
EM	94,00%	25,43
Gebläse	87,00%	22,12
Gesamt	<u>73,73%</u>	<u>22,12</u>

Wirkungsgrad

Batterie auf Gebläse

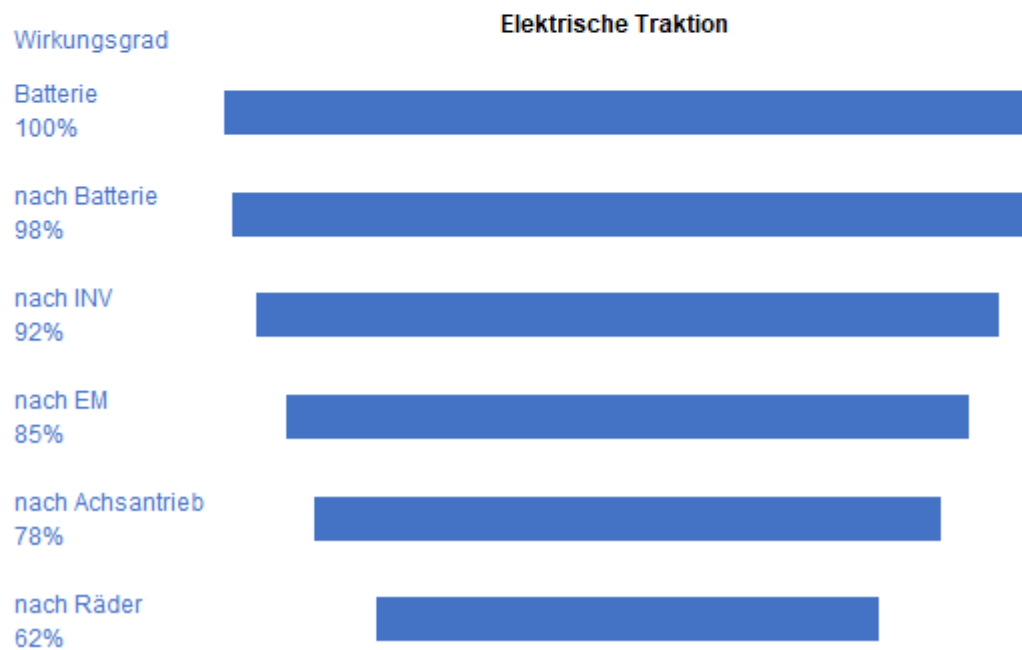


A.8. Wirkungsgrade VS6e

VS6e - vollelektrisch

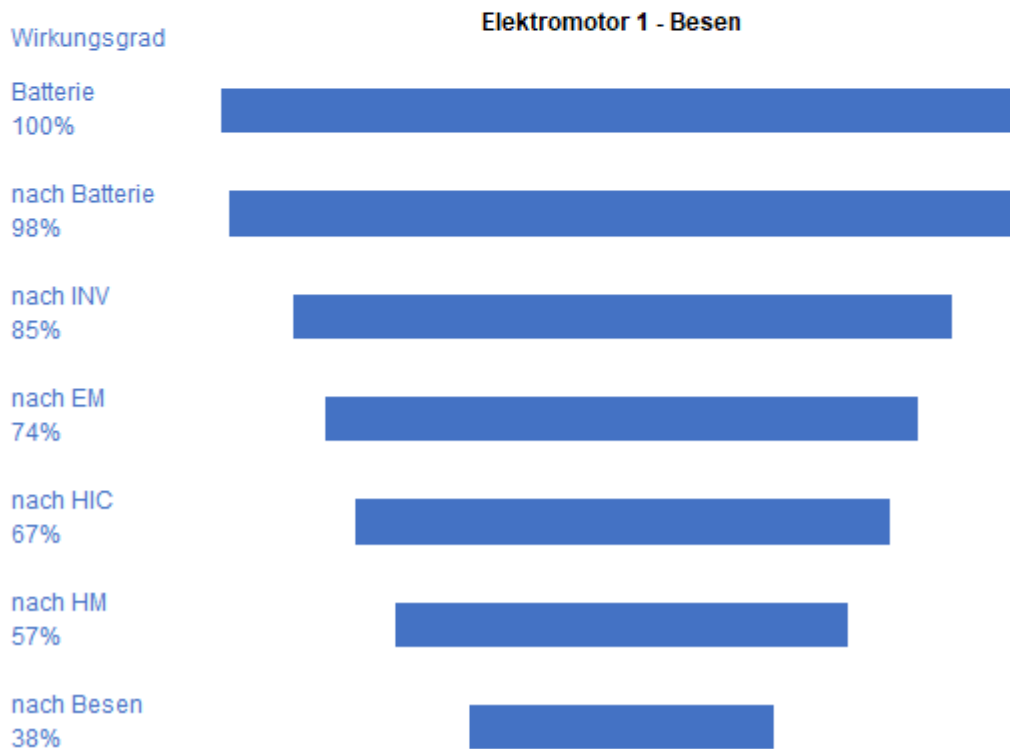
Elektrische Traktion

	Wirkungsgrad min.	Energie in [kWh]
Batterie	100,00%	84,00
Bat. Ausgang	98,00%	82,32
INV	94,00%	77,38
EM	92,00%	71,19
Achsantrieb	92,00%	65,50
Räder	80,00%	52,40
Gesamt	<u>62,38%</u>	<u>52,40</u>



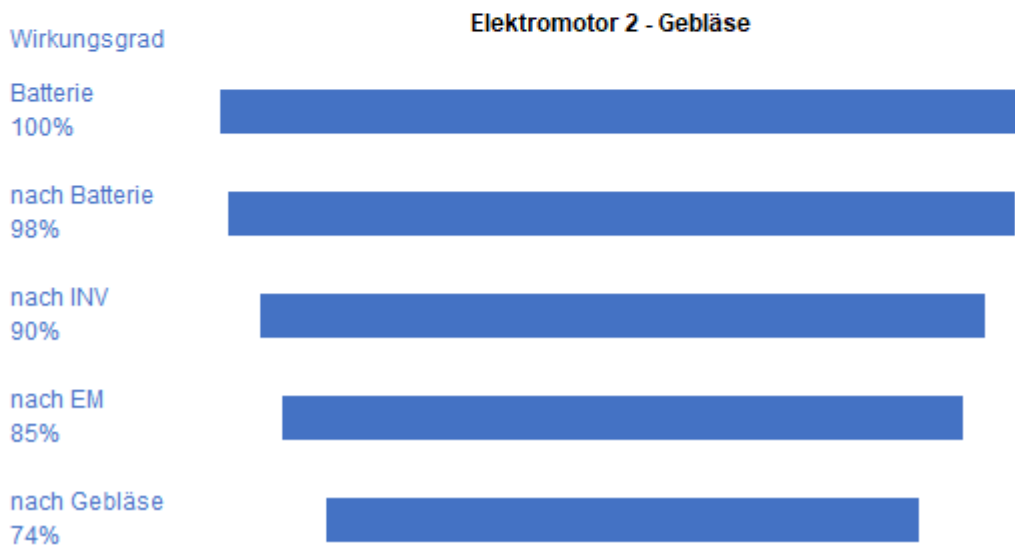
Elektromotor 1 - Besen

	Wirkungsgrad min.	Energie in [kWh]
Batterie	100,00%	20,00
Bat. Ausgang	98,00%	19,60
INV	87,00%	17,05
EM	87,00%	14,84
HIC	90,00%	13,35
HM	85,00%	11,35
Besen	67,00%	7,60
Gesamt	<u>38,02%</u>	<u>7,60</u>



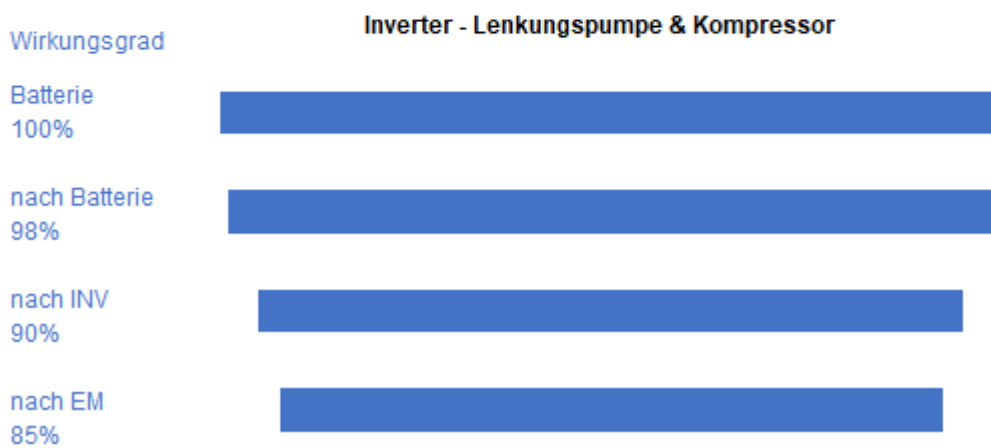
Elektromotor 2 - Gebläse

	Wirkungsgrad min.	Energie in [kWh]
Batterie	100,00%	20,00
Bat. Ausgang	98,00%	19,60
INV	92,00%	18,03
EM	94,00%	16,95
Gebläse	87,00%	14,75
Gesamt	<u>73,73%</u>	<u>14,75</u>



Inverter - Lenkumpumpe & Kompressor

	Wirkungsrad min. Energie in [kWh]	
Batterie	100,00%	20,00
Bat. Ausgang	98,00%	19,60
INV	92,00%	18,03
EM	94,00%	16,95
Gesamt	<u>84,75%</u>	<u>16,95</u>



A.9. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmaschine VS6e im Zeitraum 01.05.2020 bis 30.04.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Unix Timestamp [ms]	Nsam	eSweeper					
	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1588370400000	01.05.2020		0,00	0,00			
1588456800000	02.05.2020		0,00	0,00			
1588543200000	03.05.2020		0,00				
1588629600000	04.05.2020		58,67	38,33	58,67	38,33	1,53
1588716000000	05.05.2020		40,13	54,12	40,13	54,12	0,74
1588802400000	06.05.2020		39,09	45,80	39,09	45,80	0,85
1588888800000	07.05.2020		4,11	0,00			
1588975200000	08.05.2020		19,10	38,79	19,10	38,79	0,49
1589061600000	09.05.2020		4,43	0,00			
1589148000000	10.05.2020		0,00	0,00			
1589234400000	11.05.2020		38,71	50,80	38,71	50,80	0,76
1589320800000	12.05.2020		14,83	54,38	14,83	54,38	0,27
1589407200000	13.05.2020		29,07	47,02	29,07	47,02	0,62
1589493600000	14.05.2020		22,15	44,91	22,15	44,91	0,49
1589580000000	15.05.2020		37,70	51,91	37,70	51,91	0,73
1589666400000	16.05.2020		4,11	0,00			
1589752800000	17.05.2020		4,14	0,00			
1589839200000	18.05.2020		45,06	39,44	45,06	39,44	1,14
1589925600000	19.05.2020		54,40	46,91	54,40	46,91	1,16
1590012000000	20.05.2020		39,40	37,93	39,40	37,93	1,04
1590098400000	21.05.2020		3,54	0,00			
1590184800000	22.05.2020		3,05	0,00			
1590271200000	23.05.2020		1,08	0,00			
1590357600000	24.05.2020		0,00	0,00			
1590444000000	25.05.2020		27,61	46,37	27,61	46,37	0,60
1590530400000	26.05.2020		30,39	44,76	30,39	44,76	0,68
1590616800000	27.05.2020		90,81	48,76	90,81	48,76	1,86
1590703200000	28.05.2020		47,80	47,41	47,80	47,41	1,01
1590789600000	29.05.2020		51,87	46,44	51,87	46,44	1,12
1590876000000	30.05.2020		56,98	32,80	56,98	32,80	1,74
1590962400000	31.05.2020		4,58	0,00			
1591048800000	01.06.2020		0,00	0,00			
1591135200000	02.06.2020		76,10	45,78	76,10	45,78	1,66
1591221600000	03.06.2020		87,87	48,19	87,87	48,19	1,82
1591308000000	04.06.2020		75,79	41,89	75,79	41,89	1,81
1591394400000	05.06.2020		37,58	38,47	37,58	38,47	0,98
1591480800000	06.06.2020		45,15	41,04	45,15	41,04	1,10
1591567200000	07.06.2020		0,00	0,00			
1591653600000	08.06.2020		77,65	48,29	77,65	48,29	1,61
1591740000000	09.06.2020		55,16	38,05	55,16	38,05	1,45
1591826400000	10.06.2020		89,97	52,75	89,97	52,75	1,71
1591912800000	11.06.2020		61,39	44,05	61,39	44,05	1,39
1591999200000	12.06.2020		78,21	39,63	78,21	39,63	1,97
1592085600000	13.06.2020		4,47	0,00			
1592172000000	14.06.2020		0,00	0,00			
1592258400000	15.06.2020		6,55	0,00			
1592344800000	16.06.2020		76,75	48,17	76,75	48,17	1,59
1592431200000	17.06.2020		71,06	31,56	71,06	31,56	2,25
1592517600000	18.06.2020		70,94	44,42	70,94	44,42	1,60
1592604000000	19.06.2020		53,26	30,83	53,26	30,83	1,73
1592690400000	20.06.2020		0,00	0,00			
1592776800000	21.06.2020		0,00	0,00			
1592863200000	22.06.2020		3,54	0,00			
1592949600000	23.06.2020		101,95	50,71	101,95	50,71	2,01
1593036000000	24.06.2020		99,80	48,69	99,80	48,69	2,05
1593122400000	25.06.2020		64,71	29,12	64,71	29,12	2,22
1593208800000	26.06.2020		69,78	39,79	69,78	39,79	1,75
1593295200000	27.06.2020		7,00	0,00			
1593381600000	28.06.2020		4,93	0,00			
1593468000000	29.06.2020		81,39	34,38	81,39	34,38	2,37
1593554400000	30.06.2020		81,13	46,20	81,13	46,20	1,76
1593640800000	01.07.2020		67,07	36,76	67,07	36,76	1,82
1593727200000	02.07.2020		68,11	37,15	68,11	37,15	1,83
1593813600000	03.07.2020		59,38	30,58	59,38	30,58	1,94
1593900000000	04.07.2020		61,45	30,04	61,45	30,04	2,05
1593986400000	05.07.2020		0,00	0,00			
1594072800000	06.07.2020		68,77	33,65	68,77	33,65	2,04
1594159200000	07.07.2020		69,74	44,38	69,74	44,38	1,57
1594245600000	08.07.2020		86,68	44,37	86,68	44,37	1,95
1594332000000	09.07.2020		75,65	47,14	75,65	47,14	1,60
1594418400000	10.07.2020		40,26	32,88	40,26	32,88	1,22
1594504800000	11.07.2020		68,11	35,64	68,11	35,64	1,91
1594591200000	12.07.2020		4,48	0,00			

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1594677600000	13.07.2020	j	72,82	41,38	72,82	41,38	1,76
1594764000000	14.07.2020	j	66,17	35,67	66,17	35,67	1,86
1594850400000	15.07.2020	j	63,98	32,13	63,98	32,13	1,99
1594936800000	16.07.2020	j	70,08	41,38	70,08	41,38	1,69
1595023200000	17.07.2020	j	76,74	41,00	76,74	41,00	1,87
1595109600000	18.07.2020	j	4,97	0,00			
1595196000000	19.07.2020	j	4,93	0,00			
1595282400000	20.07.2020	j	5,01	0,00			
1595368800000	21.07.2020	j	57,37	35,30	57,37	35,30	1,63
1595455200000	22.07.2020	j	88,53	48,02	88,53	48,02	1,84
1595541600000	23.07.2020	j	70,65	37,36	70,65	37,36	1,89
1595628000000	24.07.2020	j	79,32	49,21	79,32	49,21	1,61
1595714400000	25.07.2020	j	4,21	0,00			
1595800800000	26.07.2020	j	4,19	0,00			
1595887200000	27.07.2020	j	92,25	43,47	92,25	43,47	2,12
1595973600000	28.07.2020	j	89,26	44,58	89,26	44,58	2,00
1596060000000	29.07.2020	j	87,93	46,22	87,93	46,22	1,90
1596146400000	30.07.2020	j	87,18	46,58	87,18	46,58	1,87
1596232800000	31.07.2020	j	3,78	0,00			
1596319200000	01.08.2020	j	0,00	0,00			
1596405600000	02.08.2020	j	80,92	38,57	80,92	38,57	2,10
1596492000000	03.08.2020	j	98,69	42,56	98,69	42,56	2,32
1596578400000	04.08.2020	j	19,47	20,21	19,47	20,21	0,96
1596664800000	05.08.2020	j	81,15	52,08	81,15	52,08	1,56
1596751200000	06.08.2020	j	4,51	0,00			
1596837600000	07.08.2020	j	4,40	0,00			
1596924000000	08.08.2020	j	4,68	0,00			
1597010400000	09.08.2020	j	83,39	42,58	83,39	42,58	1,96
1597096800000	10.08.2020	j	62,62	37,22	62,62	37,22	1,68
1597183200000	11.08.2020	j	91,65	42,91	91,65	42,91	2,14
1597269600000	12.08.2020	j	76,51	37,49	76,51	37,49	2,04
1597356000000	13.08.2020	j	83,84	39,57	83,84	39,57	2,12
1597442400000	14.08.2020	j	4,41	0,00			
1597528800000	15.08.2020	j	4,49	0,00			
1597615200000	16.08.2020	j	101,42	48,73	101,42	48,73	2,08
1597701600000	17.08.2020	j	6,15	0,00			
1597788000000	18.08.2020	j	5,27	0,00			
1597874400000	19.08.2020	j	5,49	0,00			
1597960800000	20.08.2020	j	5,84	0,00			
1598047200000	21.08.2020	j	1,22	0,00			
1598133600000	22.08.2020	j	2,35	0,00			
1598220000000	23.08.2020	j	73,23	36,26	73,23	36,26	2,02
1598306400000	24.08.2020	j	78,56	43,79	78,56	43,79	1,79
1598392800000	25.08.2020	j	70,96	33,58	70,96	33,58	2,11
1598479200000	26.08.2020	j	78,49	38,72	78,49	38,72	2,03
1598565600000	27.08.2020	j	84,84	38,56	84,84	38,56	2,20
1598652000000	28.08.2020	j	1,63	0,00			
1598738400000	29.08.2020	j	80,02	49,21	80,02	49,21	1,63
1598824800000	30.08.2020	j	81,66	38,15	81,66	38,15	2,14
1598911200000	31.08.2020	j	80,74	37,57	80,74	37,57	2,15
1598997600000	01.09.2020	j	73,69	35,49	73,69	35,49	2,08
1599084000000	02.09.2020	j	74,56	41,72	74,56	41,72	1,79
1599170400000	03.09.2020	j	3,16	0,00			
1599256800000	04.09.2020	j	3,06	0,00			
1599343200000	05.09.2020	j	72,67	42,75	72,67	42,75	1,70
1599429600000	06.09.2020	j	79,68	42,46	79,68	42,46	1,88
1599516000000	07.09.2020	j	69,69	30,69	69,69	30,69	2,27
1599602400000	08.09.2020	j	89,22	48,24	89,22	48,24	1,85
1599688800000	09.09.2020	j	74,94	41,10	74,94	41,10	1,82
1599775200000	10.09.2020	j	2,49	0,00			
1599861600000	11.09.2020	j	85,78	40,52	85,78	40,52	2,12
1599948000000	12.09.2020	j	95,69	44,07	95,69	44,07	2,17
1600034400000	13.09.2020	j	82,10	39,67	82,10	39,67	2,07
1600120800000	14.09.2020	j	72,07	40,46	72,07	40,46	1,78
1600207200000	15.09.2020	j	67,23	40,82	67,23	40,82	1,65
1600293600000	16.09.2020	j	3,08	0,00			
1600380000000	17.09.2020	j	3,07	0,00			
1600466400000	18.09.2020	j	79,85	48,70	79,85	48,70	1,64
1600552800000	19.09.2020	j	89,06	39,63	89,06	39,63	2,25
1600639200000	20.09.2020	j	87,37	41,11	87,37	41,11	2,13
1600725600000	21.09.2020	j	74,40	38,17	74,40	38,17	1,95
1600812000000	22.09.2020	j	3,20	0,00			
1600898400000	23.09.2020	j	3,39	0,00			
1600984800000	24.09.2020	j	3,44	0,00			
1601071200000	25.09.2020	j	77,58	40,90	77,58	40,90	1,90
1601157600000	26.09.2020	j					
1601244000000	27.09.2020	j					
1601330400000	28.09.2020	j					

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1601416800000	29.09.2020	j	82,90	44,27	82,90	44,27	1,87
1601503200000	30.09.2020	j	95,91	41,57	95,91	41,57	2,31
1601589600000	01.10.2020	j	81,03	42,97	81,03	42,97	1,89
1601676000000	02.10.2020	j	0,00	0,00			
1601762400000	03.10.2020	j	61,68	32,47	61,68	32,47	1,90
1601848800000	04.10.2020	j	2,26	0,00			
1601935200000	05.10.2020	j	85,12	40,27	85,12	40,27	2,11
1602021600000	06.10.2020	j	91,94	65,51	91,94	65,51	1,40
1602108000000	07.10.2020	j	55,93	63,88	55,93	63,88	0,88
1602194400000	08.10.2020	j	32,92	36,24	32,92	36,24	0,91
1602280800000	09.10.2020	j	35,40	49,46	35,40	49,46	0,72
1602367200000	10.10.2020	j	1,75	0,00			
1602453600000	12.10.2020	j	23,51	55,83	23,51	55,83	0,42
1602540000000	13.10.2020	j	44,43	53,36	44,43	53,36	0,83
1602626400000	14.10.2020	j	82,18	50,71	82,18	50,71	1,62
1602712800000	15.10.2020	j	39,23	54,72	39,23	54,72	0,72
1602799200000	16.10.2020	j	58,36	50,68	58,36	50,68	1,15
1602885600000	17.10.2020	j	3,02	0,00			
1602972000000	18.10.2020	j	3,00	0,00			
1603058400000	19.10.2020	j	93,77	66,11	93,77	66,11	1,42
1603144800000	20.10.2020	j	66,41	52,12	66,41	52,12	1,27
1603231200000	21.10.2020	j	90,88	47,94	90,88	47,94	1,90
1603317600000	22.10.2020	j	105,84	52,17	105,84	52,17	2,03
1603404000000	23.10.2020	j	102,07	57,47	102,07	57,47	1,78
1603490400000	24.10.2020	j	2,75	0,00			
1603576800000	25.10.2020	j	3,04	0,00			
1603663200000	26.10.2020	j	114,08	54,56	114,08	54,56	2,09
1603749600000	27.10.2020	j	121,84	69,50	121,84	69,50	1,75
1603836000000	28.10.2020	j	96,77	70,49	96,77	70,49	1,37
1603922400000	29.10.2020	j	72,71	59,14	72,71	59,14	1,23
1604008800000	30.10.2020	j	94,83	56,16	94,83	56,16	1,69
1604095200000	31.10.2020	j	75,73	43,20	75,73	43,20	1,75
1604181600000	01.11.2020	j	75,85	38,24	75,85	38,24	1,98
1604268000000	02.11.2020	j	117,42	49,74	117,42	49,74	2,36
1604354400000	03.11.2020	j	135,32	67,16	135,32	67,16	2,01
1604440800000	04.11.2020	j	55,28	70,29	55,28	70,29	0,79
1604527200000	05.11.2020	j	74,85	50,33	74,85	50,33	1,49
1604613600000	06.11.2020	j	16,88	57,32	16,88	57,32	0,29
1604700000000	07.11.2020	j	2,65	0,00			
1604786400000	08.11.2020	j	2,87	0,00			
1604872800000	09.11.2020	j	22,37	64,38	22,37	64,38	0,35
1604959200000	10.11.2020	j	5,78	64,03	5,78	64,03	0,09
1605045600000	11.11.2020	j	5,94	64,43	5,94	64,43	0,09
1605132000000	12.11.2020	j	106,83	41,45	106,83	41,45	2,58
1605218400000	13.11.2020	j	220,67	59,65	220,67	59,65	3,70
1605304800000	14.11.2020	j	2,70	0,00			
1605391200000	15.11.2020	j	2,89	0,00			
1605477600000	16.11.2020	j	152,82	61,03	152,82	61,03	2,50
1605564000000	17.11.2020	j	138,93	61,24	138,93	61,24	2,27
1605650400000	18.11.2020	j	169,79	65,92	169,79	65,92	2,58
1605736800000	19.11.2020	j	142,66	65,53	142,66	65,53	2,18
1605823200000	20.11.2020	j	3,61	0,00			
1605909600000	21.11.2020	j	3,77	0,00			
1605996000000	22.11.2020	j	3,85	0,00			
1606082400000	23.11.2020	j	4,02	0,00			
1606168800000	24.11.2020	j	152,35	55,32	152,35	55,32	2,75
1606255200000	25.11.2020	j	46,67	59,66	46,67	59,66	0,78
1606341600000	26.11.2020	j	109,57	52,48	109,57	52,48	2,09
1606428000000	27.11.2020	j	108,00	40,37	108,00	40,37	2,68
1606514400000	28.11.2020	j	2,77	0,00			
1606600800000	29.11.2020	j	2,89	0,00			
1606687200000	30.11.2020	j	187,64	48,67	187,64	48,67	3,86
1606773600000	01.12.2020	j	58,16	38,43	58,16	38,43	1,51
1606860000000	02.12.2020	j	70,29	40,43	70,29	40,43	1,74
1606946400000	03.12.2020	j	55,87	38,03	55,87	38,03	1,47
1607032800000	04.12.2020	j	0,00	0,00			
1607119200000	05.12.2020	j	0,00	0,00			
1607205600000	07.12.2020	j	104,75	43,18	104,75	43,18	2,43
1607292000000	08.12.2020	j	96,81	39,01	96,81	39,01	2,48
1607378400000	09.12.2020	j	107,68	41,62	107,68	41,62	2,59
1607464800000	10.12.2020	j	71,09	35,72	71,09	35,72	1,99
1607551200000	11.12.2020	j	71,19	45,18	71,19	45,18	1,58
1607637600000	12.12.2020	j	54,41	0,00			
1607724000000	14.12.2020	j	84,95	40,71	84,95	40,71	2,09
1607810400000	15.12.2020	j	85,06	0,00			
1607896800000	16.12.2020	j	118,08	41,31	118,08	41,31	2,86

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1608242400000	17.12.2020	j	118,25	38,94	118,25	38,94	3,04
1608328800000	18.12.2020	j	96,43	44,56	96,43	44,56	2,16
1608415200000	19.12.2020	j	15,54	0,00			
1608501600000	20.12.2020	j	3,71	0,00			
1608588000000	21.12.2020	j	12,74	46,65	12,74	46,65	0,27
1608674400000	22.12.2020	j	12,88	8,72	12,88	8,72	1,48
1608760800000	23.12.2020	j	0,00	0,00			
1609192800000	28.12.2020	j	0,00	0,00			
1609244500000	29.12.2020	j	0,00	0,00			
1609365600000	30.12.2020	j	0,00	0,00			
1609797600000	04.01.2021	j	0,00	0,00			
1609884000000	05.01.2021	j	0,00	0,00			
1609970400000	06.01.2021	j	0,00	0,00			
1610056800000	07.01.2021	j	0,00	0,00			
1610143200000	08.01.2021	j	0,00	0,00			
1610229600000	09.01.2021	j	0,00	0,00			
1610402400000	11.01.2021	j	0,00	0,00			
1610488800000	12.01.2021	j	0,00	0,00			
1610575200000	13.01.2021	j	0,00	0,00			
1610748000000	15.01.2021	j	0,00	0,00			
1611007200000	18.01.2021	j	0,00	0,00			
1611093600000	19.01.2021	j	0,00	0,00			
1611180000000	20.01.2021	j	0,00	0,00			
1611266400000	21.01.2021	j	0,00	0,00			
1611352800000	22.01.2021	j	0,00	0,00			
1611612000000	25.01.2021	j	0,00	0,00			
1611698400000	26.01.2021	j	0,00	0,00			
1611784800000	27.01.2021	j	0,00	0,00			
1611871200000	28.01.2021	j	0,00	0,00			
1611957600000	29.01.2021	j	0,00	0,00			
1612216800000	01.02.2021	j	0,00	0,00			
1612303200000	02.02.2021	j	0,00	0,00			
1612389600000	03.02.2021	j	0,00	0,00			
1612476000000	04.02.2021	j	0,00	0,00			
1612562400000	05.02.2021	j	0,00	0,00			
1612648800000	06.02.2021	j	0,00	0,00			
1612735200000	07.02.2021	j	0,00	0,00			
1612821600000	08.02.2021	j	0,00	0,00			
1612908000000	09.02.2021	j	0,00	0,00			
1612994400000	10.02.2021	j	0,00	0,00			
1613080800000	11.02.2021	j	0,00	0,00			
1613167200000	12.02.2021	j	0,00	0,00			
1613426400000	15.02.2021	j	0,00	0,00			
1613512800000	16.02.2021	j	0,00	0,00			
1613599200000	17.02.2021	j	0,00	0,00			
1613685600000	18.02.2021	j	0,00	0,00			
1613772000000	19.02.2021	j	0,00	0,00			
1614031200000	22.02.2021	j	0,00	0,00			
1614117600000	23.02.2021	j	0,00	0,00			
1614204000000	24.02.2021	j	0,00	0,00			
1614290400000	25.02.2021	j	0,00	0,00			
1614376800000	26.02.2021	j	0,00	0,00			
1614463200000	27.02.2021	j	7,11	48,39	7,11	48,39	0,15
1614549600000	28.02.2021	j	7,25	0,00			
1614636000000	01.03.2021	j	0,00	0,00			
1614722400000	02.03.2021	j	0,00	42,82			
1614808800000	03.03.2021	j	6,62	38,29	6,62	38,29	0,17
1614895200000	04.03.2021	j	7,50	37,35	7,50	37,35	0,20
1614981600000	05.03.2021	j	7,51	39,32	7,51	39,32	0,19
1615068000000	06.03.2021	j	7,32	0,00			
1615240800000	08.03.2021	j	2,16	40,68			
1615327200000	09.03.2021	j	6,31	38,88	6,31	38,88	0,16
1615413600000	10.03.2021	j	18,21	39,98	18,21	39,98	0,46
1615500000000	11.03.2021	j	7,58	38,33	7,58	38,33	0,20
1615586400000	12.03.2021	j	7,75	39,18	7,75	39,18	0,20
1615672800000	13.03.2021	j	5,56	36,46	5,56	36,46	0,15
1615759200000	14.03.2021	j	4,37	0,00			
1615845600000	15.03.2021	j	31,14	53,69	31,14	53,69	0,58
1615932000000	16.03.2021	j	6,73	36,93	6,73	36,93	0,18
1616018400000	17.03.2021	j	14,00	39,81	14,00	39,81	0,35
1616104800000	18.03.2021	j	14,15	62,26	14,15	62,26	0,23
1616191200000	19.03.2021	j	20,93	51,20	20,93	51,20	0,41
1616277600000	20.03.2021	j	20,99	0,00			
1616364000000	21.03.2021	j	2,93	0,00			
1616450400000	22.03.2021	j	3,05	0,00			
1616536800000	23.03.2021	j	18,08	48,97	18,08	48,97	0,37

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1616623200000	24.03.2021	j	0,00	0,00			
1616709600000	25.03.2021	j	12,37	36,03	12,37	36,03	0,34
1616796000000	26.03.2021	j	16,03	36,57	16,03	36,57	0,44
1616882400000	27.03.2021	j	21,09	36,24	21,09	36,24	0,58
1616968800000	28.03.2021	j	21,25	0,00			
1617055200000	29.03.2021	j	11,70	40,14	11,70	40,14	0,29
1617141600000	30.03.2021	j	23,04	34,98	23,04	34,98	0,66
1617228000000	31.03.2021	j	27,69	35,93	27,69	35,93	0,77
1617314400000	01.04.2021	j	74,80	37,01	74,80	37,01	2,02
1617400800000	02.04.2021	j	3,78	0,00			
1617487200000	03.04.2021	j	3,85	0,00			
1617573600000	04.04.2021	j	3,82	0,00			
1617660000000	05.04.2021	j	3,73	0,00			
1617746400000	06.04.2021	j	1,59	41,86			
1617832800000	07.04.2021	j	3,07	37,86			
1617919200000	08.04.2021	j	7,08	40,65	7,08	40,65	0,17
1618005600000	09.04.2021	j	2,78	0,00			
1618178400000	11.04.2021	j	0,00	0,00			
1618264800000	12.04.2021	j	37,63	62,78	37,63	62,78	0,60
1618351200000	13.04.2021	j	23,20	49,83	23,20	49,83	0,47
1618437600000	14.04.2021	j	14,78	50,07	14,78	50,07	0,30
1618524000000	15.04.2021	j	36,70	52,84	36,70	52,84	0,69
1618610400000	16.04.2021	j	34,35	51,52	34,35	51,52	0,67
1618696800000	17.04.2021	j	3,79	0,00			
1618783200000	18.04.2021	j	3,82	0,00			
1618869600000	19.04.2021	j	39,41	39,91	39,41	39,91	0,99
1618956000000	20.04.2021	j	58,02	47,45	58,02	47,45	1,22
1619042400000	21.04.2021	j	22,14	35,38	22,14	35,38	0,63
1619128800000	22.04.2021	j	11,49	36,98	11,49	36,98	0,31
1619215200000	23.04.2021	j	17,21	37,99	17,21	37,99	0,45
1619301600000	24.04.2021	j	3,79	0,00			
1619388000000	25.04.2021	j	3,79	0,00			
1619474400000	26.04.2021	j	11,10	40,97	11,10	40,97	0,27
1619560800000	27.04.2021	j	20,35	38,78	20,35	38,78	0,52
1619647200000	28.04.2021	j	15,16	39,71	15,16	39,71	0,38
1619733600000	29.04.2021	j	6,25	34,01	6,25	34,01	0,18
1619820000000	30.04.2021	j	11,44	33,83	11,44	33,83	0,34

A.10. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmaschine VS6e im Zeitraum 01.05.2020 bis 30.04.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

eSweeper							
				Average			
		Energy [kWh]	12859,15	64,16088083	12383,05	8576,72	193
		Distance [km]	8739,93	44,43896373	8576,72		
		Consumption [kWh/km]	1,46	1,443797862	1,44		
		Energy equi Diesel [l]	3214,79		3095,76		
CO2	2,6	CO2	8358,45		8048,98		
NOx	4,26	NOx	13695,00		13187,95		
PM	75,6	PM	243,04		234,04		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	7204,44		
Hybrid Diesel / km	0,48						
				Verschil	4108,68		
				Emissie winst			
				CO2	18731,56		
	100	100		NOx	30690,93		
				PM	544,66		
Verbruik indien Diesel	84	84					
Verbruik hybride	48	0					
Verschil	36	84					
Emissie winst							
CO2	93,6	218,4					
NOx	153,36	357,84					
PM	2,7216	6,3504					

A.11. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehmaschine VS6e im Zeitraum 01.05.2021 bis 31.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Unix Timestamp [ms]		valid	eSweeper					
			Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]	
1619910000000	01.05.2021	n	5757		0		0	
1619990000000	02.05.2021	n	5922		0		0	
1620010000000	03.05.2021	n	5922	0	0		0	
1620080000000	03.05.2021	j	49019	37280	49.02	37.28	1.31	
1620170000000	04.05.2021	j	74060	48630	74.06	48.63	1.52	
1620250000000	05.05.2021	j	50360	41855	50.36	41.86	1.2	
1620340000000	06.05.2021	j	29435	40855	29.44	40.86	0.72	
1620420000000	07.05.2021	j	25829	48865	25.83	48.87	0.53	
1620510000000	08.05.2021	n	3773	0	0		0	
1620600000000	09.05.2021	n	3908	0	0		0	
1620680000000	10.05.2021	j	76732	32150	76.73	32.15	2.39	
1620770000000	11.05.2021	n	0	0	0		0	
1620860000000	12.05.2021	j	43166	37260	43.17	37.26	1.16	
1620940000000	13.05.2021	n	3849	0	0		0	
1621030000000	14.05.2021	n	3915	0	0		0	
1621120000000	15.05.2021	n	3902	0	0		0	
1621200000000	16.05.2021	n	3916	0	0		0	
1621290000000	17.05.2021	j	34148	39250	34.15	39.25	0.87	
1621380000000	18.05.2021	j	44994	33285	44.99	33.29	1.35	
1621460000000	19.05.2021	j	50246	35855	50.25	35.86	1.4	
1621550000000	20.05.2021	j	25283	38580	25.28	38.58	0.66	
1621630000000	21.05.2021	n	3758	0	0		0	
1621720000000	22.05.2021	n	3783	0	0		0	
1621810000000	23.05.2021	n	3886	0	0		0	
1621890000000	24.05.2021	n	3799	0	0		0	
1621980000000	25.05.2021	j	56687	39515	56.69	39.52	1.43	
1622070000000	26.05.2021	j	17158	36290	17.16	36.29	0.47	
1622150000000	27.05.2021	j	24903	43520	24.9	43.52	0.57	
1622240000000	28.05.2021	j	25648	41190	25.65	41.19	0.62	
1622330000000	29.05.2021	j	22680	35090	22.68	35.09	0.65	
1622410000000	30.05.2021	n	3914	0	0		0	
1622500000000	31.05.2021	j	61490	40130	61.49	40.13	1.53	
1622580000000	01.06.2021	j	69228	33380	69.23	33.38	2.07	
1622670000000	02.06.2021	j	72514	41270	72.51	41.27	1.76	
1622760000000	03.06.2021	j	69511	35005	69.51	35.01	1.99	
1622840000000	04.06.2021	j	66228	37265	66.23	37.27	1.78	
1622930000000	05.06.2021	n	4161	0	0		0	
1623020000000	06.06.2021	n	1708	0	0		0	
1623100000000	07.06.2021	j	86623	41310	86.62	41.31	2.1	
1623190000000	08.06.2021	j	65993	36390	65.99	36.39	1.81	
1623280000000	09.06.2021	j	78682	40295	78.68	40.3	1.95	
1623360000000	10.06.2021	j	58293	40510	58.29	40.51	1.44	
1623450000000	11.06.2021	j	77256	40360	77.26	40.36	1.91	
1623540000000	12.06.2021	j	68572	39525	68.57	39.53	1.73	
1623620000000	13.06.2021	n	4018	0	0		0	
1623710000000	14.06.2021	j	72625	38800	72.63	38.8	1.87	
1623790000000	15.06.2021	j	71600	36345	71.6	36.35	1.97	
1623880000000	16.06.2021	j	69440	36535	69.44	36.54	1.9	
1623970000000	17.06.2021	j	58691	36210	58.69	36.21	1.62	
1624050000000	18.06.2021	j	66550	37510	66.55	37.51	1.77	
1624140000000	19.06.2021	n	4604	0	0		0	
1624230000000	20.06.2021	n	4068	0	0		0	
1624310000000	21.06.2021	j	77225	40395	77.23	40.4	1.91	
1624400000000	22.06.2021	j	65920	35625	65.92	35.63	1.85	
1624490000000	23.06.2021	j	72118	39020	72.12	39.02	1.85	
1624570000000	24.06.2021	j	73767	35575	73.77	35.58	2.07	
1624660000000	25.06.2021	j	66800	39485	66.8	39.49	1.69	
1624740000000	26.06.2021	j	70476	42515	70.48	42.52	1.66	
1624830000000	27.06.2021	n	4159	0	0		0	
1624920000000	28.06.2021	j	77985	40955	77.99	40.96	1.9	
1625000000000	29.06.2021	j	71148	36150	71.15	36.15	1.97	
1625090000000	30.06.2021	j	68493	38410	68.49	38.41	1.78	
1625180000000	01.07.2021	j	62923	35970	62.92	35.97	1.75	
1625260000000	02.07.2021	j	10986	10930	10.99	10.93	1.01	
1625350000000	03.07.2021	n	3936	0	0		0	
1625440000000	04.07.2021	n	2861	0	0		0	
1625520000000	05.07.2021	n	2247	0	0		0	
1625610000000	06.07.2021	j	64767	33600	64.77	33.6	1.93	
1625700000000	07.07.2021	j	74041	30685	74.04	30.69	2.41	
1625780000000	08.07.2021	j	91076	34820	91.08	34.82	2.62	
1625870000000	09.07.2021	j	75956	37235	75.96	37.24	2.04	
1625950000000	10.07.2021	n	4075	0	0		0	
1626040000000	11.07.2021	n	4206	0	0		0	

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1626130000000	12.07.2021	j	87294	40650	87,29	40,65	2,15
1626210000000	13.07.2021	j	89882	34040	89,88	34,04	2,64
1626300000000	14.07.2021	j	93797	46105	93,8	46,11	2,03
1626390000000	15.07.2021	j	99864	46080	99,86	46,08	2,17
1626470000000	16.07.2021	j	86094	40075	86,09	40,08	2,15
1626560000000	17.07.2021	n	4251	0	0	0	
1626650000000	18.07.2021	n	4315	0	0	0	
1626730000000	19.07.2021	j	94657	46420	94,66	46,42	2,04
1626820000000	20.07.2021	j	91673	38750	91,67	38,75	2,37
1626900000000	21.07.2021	j	119445	48185	119,45	48,19	2,48
1626990000000	22.07.2021	j	88738	37420	88,74	37,42	2,37
1627080000000	23.07.2021	j	63905	31095	63,91	31,1	2,06
1627160000000	24.07.2021	n	4106	0	0	0	
1627250000000	25.07.2021	n	4235	0	0	0	
1627340000000	26.07.2021	j	96522	47110	96,52	47,11	2,05
1627420000000	27.07.2021	j	82286	39660	82,29	39,66	2,07
1627510000000	28.07.2021	j	102566	37350	102,57	37,35	2,75
1627600000000	29.07.2021	j	107961	52230	107,96	52,23	2,07
1627680000000	30.07.2021	j	69878	30590	69,88	30,59	2,28
1627770000000	31.07.2021	n	4255	0	0	0	
1627860000000	01.08.2021	n	4192	0	0	0	
1627940000000	02.08.2021	j	136343	49945	136,34	49,95	2,73
1628030000000	03.08.2021	j	113955	47290	113,96	47,29	2,41
1628110000000	04.08.2021	j	103540	39440	103,54	39,44	2,63
1628200000000	05.08.2021	j	93900	36720	93,9	36,72	2,56
1628290000000	06.08.2021	j	85398	40020	85,4	40,02	2,13
1628370000000	07.08.2021	n	3835	0	0	0	
1628460000000	08.08.2021	n	3856	0	0	0	
1628550000000	09.08.2021	j	94462	41960	94,46	41,96	2,25
1628630000000	10.08.2021	j	90386	41290	90,39	41,29	2,19
1628720000000	11.08.2021	n	3773	41290	0	0	
1628810000000	12.08.2021	j	61952	31150	61,95	31,15	1,99
1628890000000	13.08.2021	j	75779	37420	75,78	37,42	2,03
1628980000000	14.08.2021	n	3674	0	0	0	
1629150000000	16.08.2021	j	73946	34780	73,95	34,78	2,13
1629240000000	17.08.2021	j	13895	37885	13,9	37,89	0,37
1629320000000	18.08.2021	j	96330	40745	96,33	40,75	2,36
1629410000000	19.08.2021	j	82121	37555	82,12	37,56	2,19
1629500000000	20.08.2021	j	54201	28450	54,2	28,45	1,91
1629580000000	21.08.2021	n	3995	0	0	0	
1629670000000	22.08.2021	n	4423	0	0	0	
1629760000000	23.08.2021	j	82785	36940	82,79	36,94	2,24
1629840000000	24.08.2021	j	103465	43395	103,47	43,4	2,38
1629930000000	25.08.2021	j	89643	40275	89,64	40,28	2,23
1630020000000	26.08.2021	j	111521	48040	111,52	48,04	2,32
1630100000000	27.08.2021	j	67499	32655	67,5	32,66	2,07
1630190000000	28.08.2021	n	4146	0	0	0	
1630270000000	29.08.2021	n	4236	0	0	0	
1630360000000	30.08.2021	j	114904	47675	114,9	47,68	2,41
1630450000000	31.08.2021	j	81070	38705	81,07	38,71	2,09
1630530000000	01.09.2021	j	100813	51365	100,81	51,37	1,96
1630620000000	02.09.2021	j	79882	37975	79,88	37,98	2,1
1630710000000	03.09.2021	j	99325	50670	99,33	50,67	1,96
1630790000000	04.09.2021	n	3096	0	0	0	
1630970000000	06.09.2021	j	100192	52615	100,19	52,62	1,9
1631050000000	07.09.2021	j	107562	46130	107,56	46,13	2,33
1631140000000	08.09.2021	j	107797	44175	107,8	44,18	2,44
1631220000000	09.09.2021	j	109745	43290	109,75	43,29	2,54
1631310000000	10.09.2021	j	62995	35905	63	35,91	1,75
1631400000000	11.09.2021	n	4367	0	0	0	
1631480000000	12.09.2021	n	4425	0	0	0	
1631570000000	13.09.2021	n	4519	0	0	0	
1631660000000	14.09.2021	j	98054	38665	98,05	38,67	2,54
1631740000000	15.09.2021	j	102330	45215	102,33	45,22	2,26
1631830000000	16.09.2021	j	115772	50155	115,77	50,16	2,31
1631920000000	17.09.2021	j	84909	34990	84,91	34,99	2,43
1632000000000	18.09.2021	n	2638	0	0	0	
1632180000000	20.09.2021	j	12417	11500	12,42	11,5	1,08
1632350000000	22.09.2021	j	15670	15640	15,67	15,64	1
1632430000000	23.09.2021	j	6415	6330	6,42	6,33	1,01
1632520000000	24.09.2021	j	10071	11870	10,07	11,87	0,85
1632780000000	27.09.2021	j	80631	31040	80,63	31,04	2,6
1632870000000	28.09.2021	j	76889	43690	76,99	43,69	1,76
1632950000000	29.09.2021	j	98052	65395	98,05	65,4	1,5

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1633040000000	30.09.2021	j	70526	51085	70,53	51,09	1,38
1633130000000	01.10.2021	n	2562	0	0	0	
1633210000000	02.10.2021	n	3818	0	0	0	
1633300000000	03.10.2021	n	3234	0	0	0	
1633380000000	04.10.2021	j	139062	59885	139,06	59,89	2,32
1633470000000	05.10.2021	j	101223	61225	101,22	61,23	1,65
1633560000000	06.10.2021	j	130294	63270	130,29	63,27	2,06
1633640000000	07.10.2021	j	64813	66925	64,81	66,93	0,97
1633730000000	08.10.2021	j	61093	34455	61,09	34,46	1,77
1633820000000	09.10.2021	j	40068	41075	40,07	41,08	0,98
1633900000000	10.10.2021	n	3082	41075	3,08	41,08	0,98
1633990000000	11.10.2021	n	1130	0	0	0	
1634250000000	14.10.2021	n	1936	0	0	0	
1634340000000	15.10.2021	j	21513	30865	21,51	30,87	0,7
1634590000000	18.10.2021	j	26864	43625	26,86	43,63	0,62
1634680000000	19.10.2021	j	112332	52725	112,33	52,73	2,13
1634770000000	20.10.2021	j	121520	53865	121,52	53,87	2,26
1634850000000	21.10.2021	j	80115	50520	80,12	50,52	1,59
1634940000000	22.10.2021	j	24416	43605	24,42	43,61	0,56
1635030000000	23.10.2021	n	2816	0	0	0	
1635200000000	25.10.2021	j	5492	41960	5,49	41,96	0,13
1635290000000	26.10.2021	j	109193	51530	109,19	51,53	2,12
1635370000000	27.10.2021	n	2528	51530	0	0	
1635540000000	29.10.2021	j	10520	11805	10,52	11,81	0,89

A.12. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6e im Zeitraum 01.05.2021 bis 31.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

eSweeper					
		Energy [kWh]	8580,78	72,11	119
		Distance [km]	4736,16	39,80	
		Consumption [kWh/km]	1,81		
		Energy equi Diesel [l]	2145,20	1,81	
CO2	2,6	CO2	5577,51		
NOx	4,26	NOx	9138,53		
PM	75,6	PM	162,18		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	3978,37
Hybrid Diesel / km	0,48				
				Verschil	
				Emissie winst	
				CO2	10343,77
	100			NOx	16947,87
				PM	300,77
Verbruik indien Diesel	84				
Verbruik hybride	48				
Verschil	36				
Emissie winst					
CO2	93,6				
NOx	153,36				
PM	7,08				

A.13. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmaschine VS6h 1 im Zeitraum 01.05.2020 bis 30.04.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Naam		Hybrid Sweeper 1					
Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1588370400000	01.05.2020	j	0,00	0,00			
1588456800000	02.05.2020	j	0,00	0,00			
1588543200000	03.05.2020	j	0,00	0,00			
1588629600000	04.05.2020	j	41,20	50,88	41,20	50,88	0,81
1588716000000	05.05.2020	j	44,86	55,83	44,86	55,83	0,80
1588802400000	06.05.2020	j	37,36	52,01	37,36	52,01	0,72
1588888800000	07.05.2020	j	35,02	38,76	35,02	38,76	0,90
1588975200000	08.05.2020	j	1,99	0,00			
1589061600000	09.05.2020	j	0,00	0,00			
1589148000000	10.05.2020	j	0,00	0,00			
1589234400000	11.05.2020	j	41,31	55,68	41,31	55,68	0,74
1589320800000	12.05.2020	j	39,10	53,41	39,10	53,41	0,73
1589407200000	13.05.2020	j	45,40	57,74	45,40	57,74	0,79
1589493600000	14.05.2020	j	33,91	35,30	33,91	35,30	0,96
1589580000000	15.05.2020	j	47,90	55,49	47,90	55,49	0,86
1589666400000	16.05.2020	j	0,00	26,69			
1589752800000	17.05.2020	j	0,00	24,97			
1589839200000	18.05.2020	j	38,62	75,31	38,62	75,31	0,51
1589925600000	19.05.2020	j	38,97	84,35	38,97	84,35	0,46
1590012000000	20.05.2020	j	2,59	19,51			
1590098400000	21.05.2020	j	0,00	1,97			
1590184800000	22.05.2020	j	0,00	21,84			
1590271200000	23.05.2020	j	0,00	2,49			
1590357600000	24.05.2020	j	0,00	2,19			
1590444000000	25.05.2020	j	0,00	2,63			
1590530400000	26.05.2020	j	0,00	2,81			
1590616800000	27.05.2020	j	0,00	2,71			
1590703200000	28.05.2020	j	0,00	2,81			
1590789600000	29.05.2020	j	0,00	2,45			
1590876000000	30.05.2020	j	0,00	2,67			
1590962400000	31.05.2020	j	0,00	2,10			
1591048800000	01.06.2020	j	0,00	2,13			
1591135200000	02.06.2020	j	0,00	2,17			
1591221600000	03.06.2020	j	0,00	2,11			
1591308000000	04.06.2020	j	0,00	2,29			
1591394400000	05.06.2020	j	0,00	2,09			
1591480800000	06.06.2020	j	0,00	0,00			
1591567200000	07.06.2020	j	0,00	0,00			
1591653600000	08.06.2020	j	0,00	0,00			
1591740000000	09.06.2020	j	0,00	0,00			
1591826400000	10.06.2020	j	0,00	0,00			
1591912800000	11.06.2020	j	0,00	0,00			
1591999200000	12.06.2020	j	0,00	0,00			
1592085600000	13.06.2020	j	0,00	0,00			
1592172000000	14.06.2020	j	0,00	0,00			
1592258400000	15.06.2020	j	0,00	0,00			
1592344800000	16.06.2020	j	0,00	0,00			
1592431200000	17.06.2020	j	0,00	0,00			
1592517600000	18.06.2020	j	0,00	0,00			
1592604000000	19.06.2020	j	0,00	0,00			
1592690400000	20.06.2020	j	0,00	0,00			
1592776800000	21.06.2020	j	0,00	0,00			
1592863200000	22.06.2020	j	0,00	0,00			
1592949600000	23.06.2020	j	8,76	0,00			
1593036000000	24.06.2020	j	0,00	18,41			
1593122400000	25.06.2020	j	0,00	0,00			
1593208800000	26.06.2020	j	4,90	0,00			
1593295200000	27.06.2020	j	9,14	0,00			
1593381600000	28.06.2020	j	7,74	0,00			
1593468000000	29.06.2020	j	2,49	0,00			
1593554400000	30.06.2020	j	0,00	0,00			
1593640800000	01.07.2020	j	0,00	0,00			
1593727200000	02.07.2020	j	0,00	436,23			
1593813600000	03.07.2020	j	0,00	1,02			
1593900000000	04.07.2020	j	0,00	2,04			
1593986400000	05.07.2020	j	0,00	1,88			
1594072800000	06.07.2020	j	0,00	1,44			
1594159200000	07.07.2020	j	0,00	0,00			
1594245600000	08.07.2020	j	0,00	0,00			
1594332000000	09.07.2020	j	0,00	0,00			
1594418400000	10.07.2020	j	0,00	0,00			
1594504800000	11.07.2020	j	0,00	0,00			
1594591200000	12.07.2020	j	0,00	0,00			

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1594677600000	13.07.2020	j	0,00	0,00			
1594764000000	14.07.2020	j	0,00	0,00			
1594850400000	15.07.2020	j	0,00	422,72			
1594936800000	16.07.2020	j	30,43	1,13			
1595023200000	17.07.2020	j	4,45	0,00			
1595109600000	18.07.2020	j	0,00	0,00			
1595196000000	19.07.2020	j	0,00	0,00			
1595282400000	20.07.2020	j	4,03	12,06			
1595368800000	21.07.2020	j	0,00	0,00			
1595455200000	22.07.2020	j	0,00	0,00			
1595541600000	23.07.2020	j	0,00	0,00			
1595628000000	24.07.2020	j	0,00	0,00			
1595714400000	25.07.2020	j	0,00	0,00			
1595800800000	26.07.2020	j	0,00	0,00			
1595887200000	27.07.2020	j	0,00	0,00			
1595973600000	28.07.2020	j	0,00	0,00			
1596060000000	29.07.2020	j	0,00	0,00			
1596146400000	30.07.2020	j	0,00	0,00			
1596232800000	31.07.2020	j	0,00	0,00			
1596319200000	01.08.2020	j	0,00	0,00			
1596405600000	02.08.2020	j	1,03	0,00			
1596492000000	03.08.2020	j	0,00	0,00			
1596578400000	04.08.2020	j	0,00	0,00			
1596664800000	05.08.2020	j	0,00	0,00			
1596751200000	06.08.2020	j	4,85	0,00			
1596837600000	07.08.2020	j	35,67	43,86	35,67	43,86	0,81
1596924000000	08.08.2020	j	35,64	29,56	35,64	29,56	1,21
1597010400000	09.08.2020	j	28,39	26,73	28,39	26,73	1,06
1597096800000	10.08.2020	j	38,59	48,28	38,59	48,28	0,80
1597183200000	11.08.2020	j	35,54	37,55	35,54	37,55	0,95
1597269600000	12.08.2020	j	48,31	52,13	48,31	52,13	0,93
1597356000000	13.08.2020	j	45,27	48,44	45,27	48,44	0,93
1597442400000	14.08.2020	j	43,65	36,25	43,65	36,25	1,20
1597528800000	15.08.2020	j	0,00	0,00			
1597615200000	16.08.2020	j	0,00	0,00			
1597701600000	17.08.2020	j	45,81	39,43	45,81	39,43	1,16
1597788000000	18.08.2020	j	47,50	40,47	47,50	40,47	1,17
1597874400000	19.08.2020	j	38,91	63,24	38,91	63,24	0,62
1597960800000	20.08.2020	j	44,16	48,92	44,16	48,92	0,90
1598047200000	21.08.2020	j	48,31	49,76	48,31	49,76	0,97
1598133600000	22.08.2020	j	0,00	0,00			
1598220000000	23.08.2020	j	0,00	0,00			
1598306400000	24.08.2020	j	50,10	44,12	50,10	44,12	1,14
1598392800000	25.08.2020	j	41,06	55,56	41,06	55,56	0,74
1598479200000	26.08.2020	j	27,40	46,56	27,40	46,56	0,59
1598565600000	27.08.2020	j	42,78	43,81	42,78	43,81	0,98
1598652000000	28.08.2020	j	0,00	0,00			
1598738400000	29.08.2020	j	0,00	0,00			
1598824800000	30.08.2020	j	0,00	0,00			
1598911200000	31.08.2020	j	0,00	0,00			
1598997600000	01.09.2020	j	0,00	0,00			
1599084000000	02.09.2020	j	0,00	0,00			
1599170400000	03.09.2020	j	0,00	0,00			
1599256800000	04.09.2020	j	0,00	0,00			
1599343200000	05.09.2020	j	0,00	0,00			
1599429600000	06.09.2020	j	0,00	0,00			
1599516000000	07.09.2020	j	0,00	0,00			
1599602400000	08.09.2020	j	0,00	0,00			
1599688800000	09.09.2020	j	0,00	0,00			
1599775200000	10.09.2020	j	0,00	0,00			
1599861600000	11.09.2020	j	29,59	29,16	29,59	29,16	1,01
1599948000000	12.09.2020	j	0,00	0,00			
1600034400000	13.09.2020	j	0,00	0,00			
1600120800000	14.09.2020	j	0,00	0,00			
1600207200000	15.09.2020	j	42,23	55,71	42,23	55,71	0,76
1600293600000	16.09.2020	j	45,43	65,40	45,43	65,40	0,69
1600380000000	17.09.2020	j	43,77	60,50	43,77	60,50	0,72
1600466400000	18.09.2020	j	47,64	50,74	47,64	50,74	0,94
1600552800000	19.09.2020	j	0,00	0,00			
1600639200000	20.09.2020	j	0,00	0,00			
1600725600000	21.09.2020	j	43,37	44,20	43,37	44,20	0,98
1600812000000	22.09.2020	j	37,05	48,78	37,05	48,78	0,76
1600898400000	23.09.2020	j	40,64	48,00	40,64	48,00	0,85
1600984800000	24.09.2020	j	34,13	39,44	34,13	39,44	0,87
1601071200000	25.09.2020	j	0,00	0,00			
1601157600000	26.09.2020	j	0,00	0,00			
1601244000000	27.09.2020	j	0,00	0,00			
1601330400000	28.09.2020	j	22,03	27,51	22,03	27,51	0,80

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1601416800000	29.09.2020	j	0,00	0,00			
1601503200000	30.09.2020	j	0,00	0,00			
1601589600000	01.10.2020	j	0,00	0,00			
1601676000000	02.10.2020	j	0,00	0,00			
1601762400000	03.10.2020	j	0,00	0,00			
1601848800000	04.10.2020	j	0,00	0,00			
1601935200000	05.10.2020	j	0,00	416,36			
1602021600000	06.10.2020	j	0,00	0,00			
1602108000000	07.10.2020	j	0,00	0,00			
1602194400000	08.10.2020	j	0,00	0,00			
1602280800000	09.10.2020	j	0,00	0,00			
1602367200000	10.10.2020	j	0,00	0,00			
1602453600000	11.10.2020	j	7,79	5,57	7,79	5,57	1,40
1602540000000	12.10.2020	j	2,52	14,84			
1602626400000	13.10.2020	j					
1602712800000	14.10.2020	n	52,48	1,97			
1602799200000	15.10.2020	n	54,09	5,14			
1602885600000	16.10.2020	n	0,00	65,99			
1602972000000	17.10.2020	n	3,80	57,95			
1603058400000	18.10.2020	n	2,11	100,11			
1603144800000	19.10.2020	n	0,00	43,84			
1603231200000	20.10.2020	j	0,00	0,00			
1603317600000	21.10.2020	n	11,43	6,87			
1603404000000	22.10.2020	n	23,58	0,00			
1603490400000	23.10.2020	j	0,00	0,00			
1603576800000	24.10.2020	j	0,00	0,00			
1603663200000	25.10.2020	j	0,00	0,00			
1603749600000	26.10.2020	j	0,00	0,00			
1603836000000	27.10.2020	n	0,00	416,00			
1603922400000	28.10.2020	j	36,23	36,27	36,23	36,27	1,00
1604008800000	29.10.2020	j	61,57	63,25	61,57	63,25	0,97
1604095200000	30.10.2020	j	27,02	45,47	27,02	45,47	0,59
1604181600000	31.10.2020	j	30,21	56,21	30,21	56,21	0,54
1604268000000	01.11.2020	j	0,00	0,00			
1604354400000	02.11.2020	j	1,24	0,00			
1604440800000	03.11.2020	j	0,00	0,00			
1604527200000	04.11.2020	j	0,00	0,00			
1604613600000	05.11.2020	j	0,00	0,00			
1604700000000	06.11.2020	j	0,00	0,00			
1604786400000	07.11.2020	j	0,00	0,00			
1604872800000	08.11.2020	j	0,00	0,00			
1604959200000	09.11.2020	j	0,00	0,00			
1605045600000	10.11.2020	j	0,00	0,00			
1605132000000	11.11.2020	j	0,00	0,00			
1605218400000	12.11.2020	j	0,00	0,00			
1605304800000	13.11.2020	j	0,00	0,00			
1605391200000	14.11.2020	j	0,00	0,00			
1605477600000	15.11.2020	j	0,00	0,00			
1605564000000	16.11.2020	j	0,00	0,00			
1605650400000	17.11.2020	j	0,00	0,00			
1605736800000	18.11.2020	j	0,00	0,00			
1605823200000	19.11.2020	j	0,00	0,00			
1605909600000	20.11.2020	j	0,00	0,00			
1605996000000	21.11.2020	j	0,00	0,00			
1606082400000	22.11.2020	j	0,00	0,00			
1606168800000	23.11.2020	j	2,59	0,00			
1606255200000	24.11.2020	j	0,00	0,00			
1606341600000	25.11.2020	j	0,00	0,00			
1606428000000	26.11.2020	j	0,00	0,00			
1606514400000	27.11.2020	j	0,00	0,00			
1606600800000	28.11.2020	j	0,00	0,00			
1606687200000	29.11.2020	j	0,00	0,00			
1606773600000	30.11.2020	j	0,00	0,00			
1606860000000	01.12.2020	j	1,05	0,00			
1606946400000	02.12.2020	j	0,00	0,00			
1607032800000	03.12.2020	j	1,44	0,00			
1607119200000	04.12.2020	j	1,28	0,00			
1607205600000	05.12.2020	j	0,00	0,00			
1607292000000	06.12.2020	j	0,00	0,00			
1607378400000	07.12.2020	j	0,00	0,00			
1607464800000	08.12.2020	n	40,81	7,83			
1607551200000	09.12.2020	j	17,29	2,03			
1607637600000	10.12.2020	j	36,46	42,11	36,46	42,11	0,87
1607724000000	11.12.2020	j	31,40	54,65	31,40	54,65	0,57
1607810400000	12.12.2020	j	0,00	0,00			
1607896800000	13.12.2020	j	39,95	42,92	39,95	42,92	0,93
1607983200000	14.12.2020	j	33,15	55,70	33,15	55,70	0,60
1608069600000	15.12.2020	j	33,15	55,70	33,15	55,70	0,60
1608156000000	16.12.2020	j	31,09	38,57	31,09	38,57	0,81

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1608242400000	17.12.2020	j	36,56	36,51	36,56	36,51	1,00
1608328800000	18.12.2020	j	26,94	34,49	26,94	34,49	0,84
1608415200000	19.12.2020	j	0,00	0,00			
1608501600000	20.12.2020	j	0,00	0,00			
1608588000000	21.12.2020	j	39,51	49,21	39,51	49,21	0,80
1608674400000	22.12.2020	j	11,43	44,24	11,43	44,24	0,26
1608760800000	23.12.2020	j	42,52	51,45	42,52	51,45	0,83
1609192800000	28.12.2020	j	39,15	38,57	39,15	38,57	1,02
1609244500000	29.12.2020	j	38,01	41,51	38,01	41,51	0,92
1609365600000	30.12.2020	j	42,50	39,58	42,50	39,58	1,07
1609797600000	04.01.2021	j	40,46	44,76	40,46	44,76	0,90
1609884000000	05.01.2021	j	38,44	50,03	38,44	50,03	0,77
1609970400000	06.01.2021	j	41,82	46,04	41,82	46,04	0,91
1610056800000	07.01.2021	j	30,55	35,48	30,55	35,48	0,86
1610143200000	08.01.2021	j	37,45	37,62	37,45	37,62	1,00
1610229600000	09.01.2021	j	0,00	0,00			
1610402400000	11.01.2021	j	34,78	28,55	34,78	28,55	1,22
1610488800000	12.01.2021	j	28,35	44,26	28,35	44,26	0,64
1610575200000	13.01.2021	j	0,00	0,00			
1610748000000	15.01.2021	j	0,00	0,00			
1611007200000	18.01.2021	j	0,00	0,00			
1611093600000	19.01.2021	j	25,95	36,40	25,95	36,40	0,71
1611180000000	20.01.2021	j	41,39	30,59	41,39	30,59	1,35
1611266400000	21.01.2021	j	43,95	44,44	43,95	44,44	0,99
1611352800000	22.01.2021	j	28,42	47,22	28,42	47,22	0,60
1611612000000	25.01.2021	j	41,58	31,46	41,58	31,46	1,32
1611698400000	26.01.2021	j	0,00	0,00			
1611784800000	27.01.2021	j	0,00	47,14			
1611871200000	28.01.2021	j	0,00	34,72			
1611957600000	29.01.2021	j	0,00	0,00			
1612216800000	01.02.2021	j	0,00	0,00			
1612303200000	02.02.2021	j	0,00	35,58			
1612389600000	03.02.2021	j	0,00	0,00			
1612476000000	04.02.2021	j	0,00	9,36			
1612562400000	05.02.2021	j	0,00	15,09			
1612648800000	06.02.2021	j	0,00	0,00			
1612735200000	07.02.2021	j	0,00	0,00			
1612821600000	08.02.2021	j	0,00	17,92			
1612908000000	09.02.2021	j	0,00	0,00			
1612994400000	10.02.2021	j	0,00	0,00			
1613080800000	11.02.2021	j	0,00	17,00			
1613167200000	12.02.2021	j	0,00	0,00			
1613426400000	15.02.2021	j	0,00	0,00			
1613512800000	16.02.2021	j	0,00	0,00			
1613599200000	17.02.2021	j	0,00	0,00			
1613685600000	18.02.2021	j	1,19	0,00			
1613772000000	19.02.2021	j	4,29	0,00			
1614031200000	22.02.2021	j	2,92	0,00			
1614117600000	23.02.2021	j	41,22	25,14	41,22	25,14	1,64
1614204000000	24.02.2021	j	32,08	36,94	32,08	36,94	0,87
1614290400000	25.02.2021	j	40,50	44,47	40,50	44,47	0,91
1614376800000	26.02.2021	j	0,00	19,15			
1614463200000	27.02.2021	j	0,00	0,00			
1614549600000	28.02.2021	j	0,00	0,00			
1614636000000	01.03.2021	j	7,22	0,00			
1614722400000	02.03.2021	j	0,00	0,00			
1614808800000	03.03.2021	j	0,00	0,00			
1614895200000	04.03.2021	j	2,99	0,00			
1614981600000	05.03.2021	j	0,00	0,00			
1615068000000	06.03.2021	j	0,00	0,00			
1615240800000	08.03.2021	j	0,00	0,00			
1615327200000	09.03.2021	j	0,00	0,00			
1615413600000	10.03.2021	j	1,10	0,00			
1615500000000	11.03.2021	j	0,00	0,00			
1615586400000	12.03.2021	j	0,00	0,00			
1615672800000	13.03.2021	j	0,00	0,00			
1615759200000	14.03.2021	j	0,00	0,00			
1615845600000	15.03.2021	j	0,00	0,00			
1615932000000	16.03.2021	j	0,00	0,00			
1616018400000	17.03.2021	j	0,00	0,00			
1616104800000	18.03.2021	j	0,00	436,23			
1616191200000	19.03.2021	j	1,60	0,00			
1616277600000	20.03.2021	j	0,00	0,00			
1616364000000	21.03.2021	j	0,00	0,00			
1616450400000	22.03.2021	j	0,00	0,00			
1616536800000	23.03.2021	j	0,00	0,00			

Unix Timestamp [ms]	Detum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1616623200000	24.03.2021	j	0,00	0,00			
1616709600000	25.03.2021	j	0,00	0,00			
1616796000000	26.03.2021	j	0,00	0,00			
1616882400000	27.03.2021	j	0,00	0,00			
1616968800000	28.03.2021	j	0,00	0,00			
1617055200000	29.03.2021	j	20,89	2,49			
1617141600000	30.03.2021	n	62,59	9,53			
1617228000000	31.03.2021	j	24,26	2,55			
1617314400000	01.04.2021	j	23,90	1,90			
1617400800000	02.04.2021	j	0,00	0,00			
1617487200000	03.04.2021	j	0,00	0,00			
1617573600000	04.04.2021	j	0,00	0,00			
1617660000000	05.04.2021	j	0,00	0,00			
1617746400000	06.04.2021	j	0,00	0,00			
1617832800000	07.04.2021	j	0,00	0,00			
1617919200000	08.04.2021	n	0,00	138,05			
1618005600000	09.04.2021	n	1,39	348,00			
1618178400000	11.04.2021	j	0,00	0,00			
1618264800000	12.04.2021	n	8,77	23,20			
1618351200000	13.04.2021	n	5,49	20,45			
1618437600000	14.04.2021	n	11,26	37,38			
1618524000000	15.04.2021	j	0,00	0,00			
1618610400000	16.04.2021	j	0,00	0,00			
1618696800000	17.04.2021	j	0,00	0,00			
1618783200000	18.04.2021	j	0,00	0,00			
1618869600000	19.04.2021	j	0,00	0,00			
1618956000000	20.04.2021	j	0,00	0,00			
1619042400000	21.04.2021	j	13,18	0,00			
1619128800000	22.04.2021	j	0,00	0,00			
1619215200000	23.04.2021	j	0,00	0,00			
1619301600000	24.04.2021	j	0,00	0,00			
1619388000000	25.04.2021	j	0,00	0,00			
1619474400000	26.04.2021	j	0,00	0,00			
1619560800000	27.04.2021	j	0,00	0,00			
1619647200000	28.04.2021	j	0,00	0,00			
1619733600000	29.04.2021	n	0,00	382,89			
1619820000000	30.04.2021	j	26,54	2,37			

A.14. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 1 im Zeitraum 01.05.2020 bis 30.04.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Hybrid Sweeper 1							
		Energy [kWh]	3204,50	37,84523944	2687,01	3198,49	71
		Distance [km]	6963,94	45,04921127	3198,49		
		Consumption [kWh/km]	0,88	0,840086616	0,84		
		Energy equi Diesel [l]	801,12		671,75		
CO2	2,6	CO2	2082,92		1746,56		
NOx	4,26	NOx	3412,79		2861,67		
PM	75,6	PM	60,56		50,78		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	2686,73		
Hybrid Diesel / km	0,48			Verbruik hybride	1535,28		
				Verschil	1151,46		
				Emissie winst			
				CO2	2993,79		
	100			NOx	4905,21		
				PM	87,05		
Verbruik indien Diesel	84						
Verbruik hybride	48						
Verschil	36						
Emissie winst							
CO2	93,6						
NOx	153,36						
PM	2,7216						

A.15. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehmmaschine VS6h 1 im Zeitraum 01.05.2021 bis 31.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

		Hybrid Sweeper 1					
Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1619910000000	01.05.2021	n	0	0	0	0	
1619990000000	02.05.2021	n	35486	0	0	0	
1620010000000	03.05.2021	n	-3106	0	0	0	
1620080000000	03.05.2021	j	48246	7077	48,25	7,08	6,82
1620170000000	04.05.2021	n	-1145	0	0	0	
1620250000000	05.05.2021	n	0	0	0	0	
1620340000000	06.05.2021	n	0	8308	0	0	
1620420000000	07.05.2021	nn	0	352761	0	0	
1620510000000	08.05.2021	n	0	1394	0	0	
1620600000000	09.05.2021	n	0	0	0	0	
1620680000000	10.05.2021	j	16692	43923	16,69	43,92	0,38
1620770000000	11.05.2021	j	39046	38347	39,05	38,35	1,02
1620860000000	12.05.2021	j	36205	41731	36,21	41,73	0,87
1620940000000	13.05.2021	j	33320	42160	33,32	42,16	0,79
1621030000000	14.05.2021	j	34515	39664	34,52	39,66	0,87
1621120000000	15.05.2021	j	27785	43465	27,79	43,47	0,64
1621200000000	16.05.2021	j	36635	35874	36,64	35,87	1,02
1621290000000	17.05.2021	j	28404	36541	28,4	36,54	0,78
1621380000000	18.05.2021	j	31487	39792	31,49	39,79	0,79
1621460000000	19.05.2021	n	0	52125	0	0	
1621550000000	20.05.2021	j	38142	37836	38,14	37,84	1,01
1621630000000	21.05.2021	j	27326	52376	27,33	52,38	0,52
1621720000000	22.05.2021	j	33567	46350	33,57	46,35	0,72
1621810000000	23.05.2021	j	32106	42199	32,11	42,2	0,76
1621890000000	24.05.2021	j	28257	36518	28,26	36,52	0,77
1621980000000	25.05.2021	j	41628	43144	41,63	43,14	0,96
1622070000000	26.05.2021	j	25032	49040	25,03	49,04	0,51
1622150000000	27.05.2021	j	29817	43311	29,82	43,31	0,69
1622240000000	28.05.2021	j	36321	53714	36,32	53,71	0,68
1622330000000	29.05.2021	j	27360	52175	27,36	52,18	0,52
1622410000000	30.05.2021	j	34977	39540	34,98	39,54	0,88
1622500000000	31.05.2021	j	33094	40622	33,09	40,62	0,81
1622580000000	01.06.2021	n	0	2420	0	0	
1622670000000	02.06.2021	n	0	0	0	0	
1622760000000	03.06.2021	j	32487	45733	32,49	45,73	0,71
1622840000000	04.06.2021	j	20035	43100	20,04	43,1	0,46
1622930000000	05.06.2021	j	38712	43559	38,71	43,56	0,89
1623020000000	06.06.2021	j	33740	42767	33,74	42,77	0,79
1623100000000	07.06.2021	j	32813	33161	32,81	33,16	0,99
1623190000000	08.06.2021	j	25740	40170	25,74	40,17	0,64
1623280000000	09.06.2021	j	20644	47502	20,64	47,5	0,43
1623360000000	10.06.2021	j	22509	60896	22,51	60,9	0,37
1623450000000	11.06.2021	n	0	0	0	0	
1623540000000	12.06.2021	j	25934	45153	25,93	45,15	0,57
1623620000000	13.06.2021	j	32011	33571	32,01	33,57	0,95
1623710000000	14.06.2021	j	35187	37594	35,19	37,59	0,94
1623790000000	15.06.2021	j	29547	48565	29,55	48,57	0,61
1623880000000	16.06.2021	j	25523	46958	25,52	46,96	0,54
1623970000000	17.06.2021	j	27844	44826	27,84	44,83	0,62
1624050000000	18.06.2021	j	38946	45270	38,95	45,27	0,86
1624140000000	19.06.2021	j	36995	46148	37	46,15	0,8
1624230000000	20.06.2021	j	41401	46238	41,4	46,24	0,9
1624310000000	21.06.2021	j	30193	44522	30,19	44,52	0,68
1624400000000	22.06.2021	j	36258	48219	36,26	48,22	0,75
1624490000000	23.06.2021	j	34021	42941	34,02	42,94	0,79
1624570000000	24.06.2021	j	33975	36833	33,98	36,83	0,92
1624660000000	25.06.2021	j	20221	38428	20,22	38,43	0,53
1624740000000	26.06.2021	j	30794	35557	30,79	35,56	0,87
1624830000000	27.06.2021	j	22237	34788	22,24	34,79	0,64
1624920000000	28.06.2021	j	34338	39765	34,34	39,77	0,88
1625000000000	29.06.2021	j	43963	48399	43,96	48,4	0,91
1625090000000	30.06.2021	j	35940	38793	35,94	38,79	0,93
1625180000000	01.07.2021	j	36120	38377	36,12	38,38	0,94
1625260000000	02.07.2021	j	28759	37036	28,76	37,04	0,78
1625350000000	03.07.2021	j	41964	38575	41,96	38,58	1,09
1625440000000	04.07.2021	j	32003	37783	32	37,78	0,85
1625520000000	05.07.2021	j	38925	36537	38,93	36,54	1,07
1625610000000	06.07.2021	n	0	1712	0	0	
1625700000000	07.07.2021	j	32719	51734	32,72	51,73	0,63
1625780000000	08.07.2021	j	32856	51271	32,86	51,27	0,64
1625870000000	09.07.2021	j	39074	44259	39,07	44,26	0,88
1625950000000	10.07.2021	j	33848	44721	33,85	44,72	0,76
1626040000000	11.07.2021	j	34828	43963	34,83	43,96	0,79

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1626130000000	12.07.2021	j	43581	47920	43,58	47,92	0,91
1626210000000	13.07.2021	j	24604	48715	24,6	48,72	0,51
1626300000000	14.07.2021	j	36145	44923	36,15	44,92	0,8
1626390000000	15.07.2021	n	0	44923	0	0	
1626470000000	16.07.2021	n	0	0	0	0	
1626560000000	17.07.2021	n	0	3504	0	0	
1626650000000	18.07.2021	n	0	0	0	0	
1626730000000	19.07.2021	j	36538	57632	36,54	57,63	0,63
1626820000000	20.07.2021	j	21170	43661	21,17	43,66	0,48
1626900000000	21.07.2021	j	43545	45275	43,55	45,28	0,96
1626990000000	22.07.2021	n	0	19423	0	0	
1627080000000	23.07.2021	n	0	19040	0	0	
1627160000000	24.07.2021	n	0	0	0	0	
1627250000000	25.07.2021	j	47937	57437	47,94	57,44	0,83
1627340000000	26.07.2021	j	45276	63740	45,28	63,74	0,71
1627420000000	27.07.2021	j	42128	53899	42,13	53,9	0,78
1627510000000	28.07.2021	j	37553	57157	37,55	57,16	0,66
1627600000000	29.07.2021	j	44669	53658	44,67	53,66	0,83
1627680000000	30.07.2021	j	27233	45712	27,23	45,71	0,6
1627770000000	31.07.2021	j	33693	66184	33,69	66,18	0,51
1627860000000	01.08.2021	j	33768	52255	33,77	52,26	0,65
1627940000000	02.08.2021	j	21904	54253	21,9	54,25	0,4
1628030000000	03.08.2021	j	21731	45510	21,73	45,51	0,48
1628110000000	04.08.2021	j	32691	44266	32,69	44,27	0,74
1628200000000	05.08.2021	j	25366	46301	25,37	46,3	0,55
1628290000000	06.08.2021	j	31244	58027	31,24	58,03	0,54
1628370000000	07.08.2021	j	33215	51150	33,22	51,15	0,65
1628460000000	08.08.2021	j	37153	41806	37,15	41,81	0,89
1628550000000	09.08.2021	j	48256	45300	48,26	45,3	1,07
1628630000000	10.08.2021	j	18623	53704	18,62	53,7	0,35
1628720000000	11.08.2021	j	36099	63572	36,1	63,57	0,57
1628810000000	12.08.2021	j	29490	51080	29,49	51,08	0,58
1628890000000	13.08.2021	j	33357	52299	33,36	52,3	0,64
1628980000000	14.08.2021	j	37460	34993	37,46	34,99	1,07
1629150000000	16.08.2021	j	37358	50013	37,36	50,01	0,75
1629240000000	17.08.2021	j	32552	45250	32,55	45,25	0,72
1629320000000	18.08.2021	j	29785	42901	29,79	42,9	0,69
1629410000000	19.08.2021	j	35064	41905	35,06	41,91	0,84
1629500000000	20.08.2021	j	33907	40866	33,91	40,87	0,83
1629580000000	21.08.2021	j	33960	50482	33,96	50,48	0,67
1629670000000	22.08.2021	j	39693	49918	39,69	49,92	0,8
1629760000000	23.08.2021	j	34591	43589	34,59	43,59	0,79
1629840000000	24.08.2021	j	33453	54034	33,45	54,03	0,62
1629930000000	25.08.2021	j	37015	45019	37,02	45,02	0,82
1630020000000	26.08.2021	j	42265	59061	42,27	59,06	0,72
1630100000000	27.08.2021	j	36858	51993	36,86	51,99	0,71
1630190000000	28.08.2021	j	22917	37319	22,92	37,32	0,61
1630270000000	29.08.2021	j	36272	47950	36,27	47,95	0,76
1630360000000	30.08.2021	j	40171	43113	40,17	43,11	0,93
1630450000000	31.08.2021	j	33191	46161	33,19	46,16	0,72
1630530000000	01.09.2021	j	44116	76043	44,12	76,04	0,58
1630620000000	02.09.2021	j	40935	52750	40,94	52,75	0,78
1630710000000	03.09.2021	j	25410	34430	25,41	34,43	0,74
1630790000000	04.09.2021	n			0	0	
1630870000000	06.09.2021	n			0	0	
1631050000000	07.09.2021	n			0	0	
1631140000000	08.09.2021	n			0	0	
1631220000000	09.09.2021	n			0	0	
1631310000000	10.09.2021	n			0	0	
1631400000000	11.09.2021	n			0	0	
1631480000000	12.09.2021	n			0	0	
1631570000000	13.09.2021	n			0	0	
1631660000000	14.09.2021	n			0	0	
1631740000000	15.09.2021	n			0	0	
1631830000000	16.09.2021	n			0	0	
1631920000000	17.09.2021	n			0	0	
1632000000000	18.09.2021	n			0	0	
1632180000000	20.09.2021	n			0	0	
1632350000000	22.09.2021	n			0	0	
1632430000000	23.09.2021	n			0	0	
1632520000000	24.09.2021	n			0	0	
1632780000000	27.09.2021	n			0	0	
1632870000000	28.09.2021	n			0	0	
1632950000000	29.09.2021	n			0	0	

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1633040000000	30.09.2021	n			0	0	
1633130000000	01.10.2021	n			0	0	
1633210000000	02.10.2021	n			0	0	
1633300000000	03.10.2021	n			0	0	
1633380000000	04.10.2021	n			0	0	
1633470000000	05.10.2021	n			0	0	
1633560000000	06.10.2021	n			0	0	
1633640000000	07.10.2021	n			0	0	
1633730000000	08.10.2021	n			0	0	
1633820000000	09.10.2021	n			0	0	
1633900000000	10.10.2021	n			0	0	
1633990000000	11.10.2021	n			0	0	
1634250000000	14.10.2021	n			0	0	
1634340000000	15.10.2021	n			0	0	
1634590000000	18.10.2021	n			0	0	
1634680000000	19.10.2021	n			0	0	
1634770000000	20.10.2021	n			0	0	
1634850000000	21.10.2021	n			0	0	
1634940000000	22.10.2021	n			0	0	
1635030000000	23.10.2021	n			0	0	
1635200000000	25.10.2021	n			0	0	
1635290000000	26.10.2021	n			0	0	
1635370000000	27.10.2021	n			0	0	
1635540000000	29.10.2021	n			0	0	

A.16. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 1 im Zeitraum 01.05.2021 bis 31.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Hybrid Sweeper 1					
		Energy [kWh]	3507,08	33,40	105
		Distance [km]	4782,36	45,55	
		Consumption [kWh/km]	0,73		
		Energy equi Diesel [l]	876,77	0,73	
CO2	2,6	CO2	2279,60		
NOx	4,26	NOx	3735,04		
PM	75,6	PM	66,28		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	2295,53
Hybrid Diesel / km	0,48				
				Verschil	
				Emissie winst	
				CO2	5968,39
	100			NOx	9778,97
				PM	173,54
Verbruik indien Diesel	84				
Verbruik hybride	48				
Verschil	36				
Emissie winst					
CO2	93,6				
NOx	153,36				
PM	7,08				

A.17. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 2 im Zeitraum 01.05.2020 bis 30.04.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Unix Timestamp [ms]	Naam	Hybrid Sweeper 2					
	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1588370400000	01.05.2020	j	0,00	35,49			
1588456800000	02.05.2020	j	0,00	30,54			
1588543200000	03.05.2020	j	0,00	30,57			
1588629600000	04.05.2020	j	42,97	85,90	42,97	85,90	0,50
1588716000000	05.05.2020	j	41,22	102,08	41,22	102,08	0,40
1588802400000	06.05.2020	j	36,49	76,75	36,49	76,75	0,48
1588888800000	07.05.2020	j	41,09	78,22	41,09	78,22	0,53
1588975200000	08.05.2020	j	0,00	30,85			
1589061600000	09.05.2020	j	0,00	24,85			
1589148000000	10.05.2020	j	0,00	6,88			
1589234400000	11.05.2020	j	35,17	65,07	35,17	65,07	0,54
1589320800000	12.05.2020	j	47,41	75,83	47,41	75,83	0,63
1589407200000	13.05.2020	j	41,94	73,27	41,94	73,27	0,57
1589493600000	14.05.2020	j	43,37	64,67	43,37	64,67	0,67
1589580000000	15.05.2020	j	37,39	75,47	37,39	75,47	0,50
1589666400000	16.05.2020	j	0,00	37,84			
1589752800000	17.05.2020	j	0,00	38,66			
1589839200000	18.05.2020	j	49,62	83,25	49,62	83,25	0,60
1589925600000	19.05.2020	j	39,79	80,49	39,79	80,49	0,49
1590012000000	20.05.2020	j	37,80	86,03	37,80	86,03	0,44
1590098400000	21.05.2020	j	0,00	28,75			
1590184800000	22.05.2020	j	0,00	34,99			
1590271200000	23.05.2020	j	0,00	26,15			
1590357600000	24.05.2020	j	0,00	27,16			
1590444000000	25.05.2020	j	42,64	80,75	42,64	80,75	0,53
1590530400000	26.05.2020	j	42,48	90,68	42,48	90,68	0,47
1590616800000	27.05.2020	j	38,20	77,54	38,20	77,54	0,49
1590703200000	28.05.2020	j	38,82	82,14	38,82	82,14	0,47
1590789600000	29.05.2020	j	35,99	76,72	35,99	76,72	0,47
1590876000000	30.05.2020	j	0,00	15,69			
1590962400000	31.05.2020	j	0,00	0,00			
1591048800000	01.06.2020	j	0,00	0,00			
1591135200000	02.06.2020	j	50,59	52,87	50,59	52,87	0,96
1591221600000	03.06.2020	j	37,34	72,66	37,34	72,66	0,51
1591308000000	04.06.2020	j	45,22	74,36	45,22	74,36	0,61
1591394400000	05.06.2020	j	40,69	83,38	40,69	83,38	0,49
1591480800000	06.06.2020	j	0,00	31,75			
1591567200000	07.06.2020	j	0,00	34,92			
1591653600000	08.06.2020	j	49,32	92,17	49,32	92,17	0,54
1591740000000	09.06.2020	j	29,44	100,45	29,44	100,45	0,29
1591826400000	10.06.2020	j	41,44	79,98	41,44	79,98	0,52
1591912800000	11.06.2020	j	36,16	73,89	36,16	73,89	0,49
1591999200000	12.06.2020	j	40,35	71,16	40,35	71,16	0,57
1592085600000	13.06.2020	j	0,00	0,00			
1592172000000	14.06.2020	j	0,00	0,00			
1592258400000	15.06.2020	j	32,89	70,78	32,89	70,78	0,46
1592344800000	16.06.2020	j	32,96	80,46	32,96	80,46	0,41
1592431200000	17.06.2020	j	33,99	58,83	33,99	58,83	0,58
1592517600000	18.06.2020	j	0,00	2,98			
1592604000000	19.06.2020	j	0,00	4,39			
1592690400000	20.06.2020	j	0,00	1,58			
1592776800000	21.06.2020	j	0,00	0,00			
1592863200000	22.06.2020	j	0,00	9,44			
1592949600000	23.06.2020	j	35,34	78,58	35,34	78,58	0,45
1593036000000	24.06.2020	j	29,00	78,71	29,00	78,71	0,37
1593122400000	25.06.2020	j	0,00	39,50			
1593208800000	26.06.2020	j	0,00	55,38			
1593295200000	27.06.2020	j	0,00	57,84			
1593381600000	28.06.2020	j	0,00	53,15			
1593468000000	29.06.2020	j	0,00	37,38			
1593554400000	30.06.2020	j	37,49	83,62	37,49	83,62	0,45
1593640800000	01.07.2020	j	27,60	68,88	27,60	68,88	0,40
1593727200000	02.07.2020	j	34,44	70,42	34,44	70,42	0,49
1593813600000	03.07.2020	j	35,27	69,48	35,27	69,48	0,51
1593900000000	04.07.2020	j	37,49	63,02	37,49	63,02	0,59
1593986400000	05.07.2020	j	0,00	34,46			
1594072800000	06.07.2020	j	33,61	61,12	33,61	61,12	0,55
1594159200000	07.07.2020	j	25,92	78,23	25,92	78,23	0,33
1594245600000	08.07.2020	j	19,61	63,30	19,61	63,30	0,31
1594332000000	09.07.2020	j	35,21	75,25	35,21	75,25	0,47
1594418400000	10.07.2020	j	20,10	64,68			
1594504800000	11.07.2020	j	0,00	31,64			
1594591200000	12.07.2020	j	0,00	30,60			

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1594677600000	13.07.2020	j	34,19	73,95	34,19	73,95	0,46
1594764000000	14.07.2020	j	37,92	75,07	37,92	75,07	0,51
1594850400000	15.07.2020	j	35,68	68,07	35,68	68,07	0,52
1594936800000	16.07.2020	j	38,78	69,23	38,78	69,23	0,56
1595023200000	17.07.2020	j	32,66	21,04	32,66	21,04	1,55
1595109600000	18.07.2020	j	0,00	0,00			
1595196000000	19.07.2020	j	0,00	0,00			
1595282400000	20.07.2020	j	48,31	25,22	48,31	25,22	1,92
1595368800000	21.07.2020	j	40,47	53,98	40,47	53,98	0,75
1595455200000	22.07.2020	j	36,93	48,58	36,93	48,58	0,76
1595541600000	23.07.2020	j	31,35	21,51	31,35	21,51	1,46
1595628000000	24.07.2020	j	34,87	56,20	34,87	56,20	0,62
1595714400000	25.07.2020	j	0,00	0,00			
1595800800000	26.07.2020	j	0,00	0,00			
1595887200000	27.07.2020	j	39,84	50,53	39,84	50,53	0,79
1595973600000	28.07.2020	j	39,44	38,96	39,44	38,96	1,01
1596060000000	29.07.2020	j	45,24	13,63	45,24	13,63	3,32
1596146400000	30.07.2020	j	35,37	52,00	35,37	52,00	0,68
1596232800000	31.07.2020	j	41,30	53,69	41,30	53,69	0,77
1596319200000	01.08.2020	j	0,00	0,00			
1596405600000	02.08.2020	j	34,64	39,43	34,64	39,43	0,88
1596492000000	03.08.2020	j	36,69	48,32	36,69	48,32	0,76
1596578400000	04.08.2020	j	19,49	48,32	19,49	48,32	0,40
1596664800000	05.08.2020	j	34,84	13,92	34,84	13,92	2,50
1596751200000	06.08.2020	j	17,16	20,14	17,16	20,14	0,85
1596837600000	07.08.2020	j	0,00	0,00			
1596924000000	08.08.2020	j	0,00	0,00			
1597010400000	09.08.2020	j	42,12	2,53			
1597096800000	10.08.2020	j	43,03	29,58	43,03	29,58	1,45
1597183200000	11.08.2020	j	41,72	15,90	41,72	15,90	2,62
1597269600000	12.08.2020	j	36,65	16,54	36,65	16,54	2,22
1597356000000	13.08.2020	j	37,89	0,00			
1597442400000	14.08.2020	j	39,32	0,00			
1597528800000	15.08.2020	j	0,00	0,00			
1597615200000	16.08.2020	j	0,00	0,00			
1597701600000	17.08.2020	j	41,20	46,94	41,20	46,94	0,88
1597788000000	18.08.2020	j	0,00	0,00			
1597874400000	19.08.2020	j	44,16	45,07	44,16	45,07	0,98
1597960800000	20.08.2020	j	42,65	20,15	42,65	20,15	2,12
1598047200000	21.08.2020	j	0,00	0,00			
1598133600000	22.08.2020	j	0,00	0,00			
1598220000000	23.08.2020	j	43,41	56,59	43,41	56,59	0,77
1598306400000	24.08.2020	j	32,39	38,37	32,39	38,37	0,84
1598392800000	25.08.2020	j	43,75	43,37	43,75	43,37	1,01
1598479200000	26.08.2020	j	35,81	42,79	35,81	42,79	0,84
1598565600000	27.08.2020	j	0,00	0,00			
1598652000000	28.08.2020	j	0,00	0,00			
1598738400000	29.08.2020	j	0,00	0,00			
1598824800000	30.08.2020	j	0,00	0,00			
1598911200000	31.08.2020	j	35,62	25,75	35,62	25,75	1,38
1598997600000	01.09.2020	j	44,43	26,09	44,43	26,09	1,70
1599084000000	02.09.2020	j	45,96	52,66	45,96	52,66	0,87
1599170400000	03.09.2020	j	43,20	28,20	43,20	28,20	1,53
1599256800000	04.09.2020	j	43,93	14,55	43,93	14,55	3,02
1599343200000	05.09.2020	j	0,00	0,00			
1599429600000	06.09.2020	j	0,00	0,00			
1599516000000	07.09.2020	j	41,01	57,35	41,01	57,35	0,72
1599602400000	08.09.2020	j	44,65	66,19	44,65	66,19	0,67
1599688800000	09.09.2020	j	43,51	49,65	43,51	49,65	0,88
1599775200000	10.09.2020	j	42,96	45,57	42,96	45,57	0,94
1599861600000	11.09.2020	j	37,10	0,00			
1599948000000	12.09.2020	j	0,00	0,00			
1600034400000	13.09.2020	j	0,00	0,00			
1600120800000	14.09.2020	j	0,00	0,00			
1600207200000	15.09.2020	j	47,83	64,38	47,83	64,38	0,74
1600293600000	16.09.2020	j	43,32	55,24	43,32	55,24	0,78
1600380000000	17.09.2020	j	44,37	54,78	44,37	54,78	0,81
1600466400000	18.09.2020	j	42,64	57,06	42,64	57,06	0,75
1600552800000	19.09.2020	j	0,00	0,00			
1600639200000	20.09.2020	j	0,00	0,00			
1600725600000	21.09.2020	j	46,28	57,28	46,28	57,28	0,81
1600812000000	22.09.2020	j	0,00	0,00			
1600898400000	23.09.2020	j	36,73	20,31	36,73	20,31	1,81
1600984800000	24.09.2020	j	37,88	0,00			
1601071200000	25.09.2020	j	0,00	0,00			
1601157600000	26.09.2020	j	33,58	34,32	33,58	34,32	0,98
1601244000000	27.09.2020	j	0,00	0,00			
1601330400000	28.09.2020	j	48,03	61,40	48,03	61,40	0,78

Unix Timestamp [ms]	Detum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1601416800000	29.09.2020	j	38,47	68,34	38,47	68,34	0,56
1601503200000	30.09.2020	j	56,81	55,77	56,81	55,77	1,02
1601589600000	01.10.2020	j	31,26	25,84	31,26	25,84	1,21
1601676000000	02.10.2020	j	41,74	37,51	41,74	37,51	1,11
1601762400000	03.10.2020	j	37,50	46,82	37,50	46,82	0,80
1601848800000	04.10.2020	j	0,00	0,00			
1601935200000	05.10.2020	j	55,25	75,83	55,25	75,83	0,73
1602021600000	06.10.2020	j	67,17	0,00			
1602108000000	07.10.2020	j	4,81	0,00			
1602194400000	08.10.2020	j	64,84	71,57	64,84	71,57	0,91
1602280800000	09.10.2020	j	79,25	84,34	79,25	84,34	0,94
1602367200000	10.10.2020	j	30,93	30,79	30,93	30,79	1,00
1602453600000	12.10.2020	j	55,29	69,58	55,29	69,58	0,79
1602540000000	13.10.2020	j	47,22	53,24	47,22	53,24	0,89
1602712800000	14.10.2020	j	67,37	38,48	67,37	38,48	1,75
1602799200000	15.10.2020	j	50,52	71,57	50,52	71,57	0,71
1602885600000	16.10.2020	j	23,43	47,36	23,43	47,36	0,49
1602972000000	17.10.2020	j	29,28	31,16	29,28	31,16	0,94
1603058400000	18.10.2020	j	0,00	0,00			
1603144800000	19.10.2020	j	54,57	64,69	54,57	64,69	0,84
1603231200000	20.10.2020	j	48,03	0,00			
1603317600000	21.10.2020	j	29,76	0,00			
1603404000000	22.10.2020	j	44,76	20,33	44,76	20,33	2,20
1603490400000	23.10.2020	j	35,04	51,52	35,04	51,52	0,68
1603576800000	24.10.2020	j	28,78	39,22	28,78	39,22	0,73
1603663200000	25.10.2020	j	0,00	0,00			
1603749600000	26.10.2020	j	52,69	71,66	52,69	71,66	0,74
1603836000000	27.10.2020	j	56,62	69,32	56,62	69,32	0,82
1603922400000	28.10.2020	j	53,36	69,06	53,36	69,06	0,77
1604008800000	29.10.2020	j	48,32	49,55	48,32	49,55	0,98
1604095200000	30.10.2020	j	38,61	0,00			
1604181600000	31.10.2020	j	30,69	0,00			
1604268000000	01.11.2020	j	0,00	0,00			
1604354400000	02.11.2020	j	46,82	67,18	46,82	67,18	0,70
1604440800000	03.11.2020	j	50,20	62,67	50,20	62,67	0,80
1604527200000	04.11.2020	j	44,90	66,38	44,90	66,38	0,68
1604613600000	05.11.2020	j	40,15	60,49	40,15	60,49	0,66
1604700000000	06.11.2020	j	22,16	35,38	22,16	35,38	0,63
1604786400000	07.11.2020	j	0,00	0,00			
1604872800000	08.11.2020	j	0,00	0,00			
1604959200000	09.11.2020	j	45,38	57,36	45,38	57,36	0,79
1605045600000	10.11.2020	j	50,87	63,23	50,87	63,23	0,80
1605132000000	11.11.2020	j	42,03	64,03	42,03	64,03	0,66
1605218400000	12.11.2020	j	35,30	0,00			
1605304800000	13.11.2020	j	44,19	0,00			
1605391200000	14.11.2020	j	0,00	0,00			
1605477600000	15.11.2020	j	0,00	0,00			
1605564000000	16.11.2020	j	56,93	46,53	56,93	46,53	1,22
1605650400000	17.11.2020	j	32,19	25,62	32,19	25,62	1,26
1605736800000	18.11.2020	j	37,20	0,00			
1605823200000	19.11.2020	j	32,92	0,00			
1605909600000	20.11.2020	j	38,27	0,00			
1605996000000	21.11.2020	j	0,00	0,00			
1606082400000	22.11.2020	j	0,00	0,00			
1606168800000	23.11.2020	j	41,36	31,37	41,36	31,37	1,32
1606255200000	24.11.2020	j	27,14	0,00			
1606341600000	25.11.2020	j	61,74	25,32	61,74	25,32	2,44
1606428000000	26.11.2020	j	45,90	49,29	45,90	49,29	0,93
1606514400000	27.11.2020	j	29,58	48,46	29,58	48,46	0,61
1606600800000	28.11.2020	j	45,03	44,61	45,03	44,61	1,01
1606687200000	29.11.2020	j	0,00	0,00			
1606773600000	30.11.2020	j	25,18	29,77	25,18	29,77	0,85
1606860000000	01.12.2020	j	25,34	37,24	25,34	37,24	0,68
1606946400000	02.12.2020	j	35,91	54,46	35,91	54,46	0,66
1607032800000	03.12.2020	j	17,34	41,96	17,34	41,96	0,41
1607119200000	04.12.2020	j	31,38	50,30	31,38	50,30	0,62
1607205600000	05.12.2020	j	17,59	27,93	17,59	27,93	0,63
1607292000000	06.12.2020	j	35,80	45,58	35,80	45,58	0,79
1607378400000	07.12.2020	j	34,52	52,78	34,52	52,78	0,65
1607464800000	08.12.2020	j	37,42	62,77	37,42	62,77	0,60
1607551200000	09.12.2020	j	29,96	28,69	29,96	28,69	1,04
1607637600000	10.12.2020	j	33,79	43,21	33,79	43,21	0,78
1607724000000	11.12.2020	j	12,95	0,00			
1607810400000	12.12.2020	j	34,04	51,92	34,04	51,92	0,66
1607896800000	13.12.2020	j	22,36	46,21	22,36	46,21	0,48
1607983200000	14.12.2020	j	30,21	37,74	30,21	37,74	0,80

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1608242400000	17.12.2020	j	21.14	0.00			
1608328800000	18.12.2020	j	0.00	0.00			
1608415200000	19.12.2020	j	0.00	0.00			
1608501600000	20.12.2020	j	0.00	0.00			
1608588000000	21.12.2020	j	0.00	0.00			
1608674400000	22.12.2020	j	0.00	0.00			
1608760800000	23.12.2020	j	0.00	0.00			
1609192800000	28.12.2020	j	0.00	0.00			
1609244500000	29.12.2020	j	0.00	0.00			
1609365600000	30.12.2020	j	0.00	0.00			
1609797600000	04.01.2021	j	0.00	0.00			
1609884000000	05.01.2021	j	0.00	0.00			
1609970400000	06.01.2021	j	0.00	0.00			
1610056800000	07.01.2021	j	0.00	0.00			
1610143200000	08.01.2021	j	2.13	15.49			
1610229600000	09.01.2021	j	28.40	44.80	28.40	44.80	0.63
1610402400000	11.01.2021	j	30.40	54.93	30.40	54.93	0.55
1610488800000	12.01.2021	j	6.74	28.72	6.74	28.72	0.23
1610575200000	13.01.2021	j	0.00	0.00			
1610748000000	15.01.2021	j	0.00	0.00			
1611007200000	18.01.2021	j	0.00	0.00			
1611093600000	19.01.2021	j	13.94	25.06	13.94	25.06	0.56
1611180000000	20.01.2021	j	34.66	45.22	34.66	45.22	0.77
1611266400000	21.01.2021	j	0.00	0.00			
1611352800000	22.01.2021	j	0.00	0.00			
1611612000000	25.01.2021	j	0.00	13.93			
1611698400000	26.01.2021	j	0.00	0.00			
1611784800000	27.01.2021	j	4.70	1.33			
1611871200000	28.01.2021	j	5.06	0.00			
1611957600000	29.01.2021	j	0.00	1.75			
1612216800000	01.02.2021	j	0.00	0.00			
1612303200000	02.02.2021	j	5.44	0.00			
1612389600000	03.02.2021	j	0.00	16.15			
1612476000000	04.02.2021	j	0.00	6.27			
1612562400000	05.02.2021	j	0.00	5.40			
1612648800000	06.02.2021	j	0.00	0.00			
1612735200000	07.02.2021	j	0.00	0.00			
1612821600000	08.02.2021	j	0.00	0.00			
1612908000000	09.02.2021	j	0.00	0.00			
1612994400000	10.02.2021	j	0.00	3.69			
1613080800000	11.02.2021	j	0.00	36.49			
1613167200000	12.02.2021	j	0.00	0.00			
1613426400000	15.02.2021	j	0.00	0.00			
1613512800000	16.02.2021	j	0.00	0.00			
1613599200000	17.02.2021	j	36.66	30.40	36.66	30.40	1.21
1613685600000	18.02.2021	n	8.26	21.84			
1613772000000	19.02.2021	j	37.50	32.68	37.50	32.68	1.15
1614031200000	22.02.2021	j	29.02	50.01	29.02	50.01	0.58
1614117600000	23.02.2021	j	28.56	66.42	28.56	66.42	0.43
1614204000000	24.02.2021	j	1.10	0.00			
1614290400000	25.02.2021	j	0.00	18.52			
1614376800000	26.02.2021	j	0.00	1.20			
1614463200000	27.02.2021	j	2.86	3.87			
1614549600000	28.02.2021	j	2.98	11.32			
1614636000000	01.03.2021	j	44.97	58.29	44.97	58.29	0.77
1614722400000	02.03.2021	j	44.13	59.17	44.13	59.17	0.75
1614808800000	03.03.2021	j	39.25	50.39	39.25	50.39	0.78
1614895200000	04.03.2021	j	38.99	45.55	38.99	45.55	0.86
1614981600000	05.03.2021	j	0.00	25.82			
1615068000000	06.03.2021	j	0.00	0.00			
1615240800000	08.03.2021	j	0.00	25.50			
1615327200000	09.03.2021	j	40.56	47.30	40.56	47.30	0.86
1615413600000	10.03.2021	j	42.74	45.38	42.74	45.38	0.94
1615500000000	11.03.2021	j	26.25	33.41	26.25	33.41	0.79
1615586400000	12.03.2021	j	19.09	22.71	19.09	22.71	0.84
1615672800000	13.03.2021	j	0.00	0.00			
1615759200000	14.03.2021	j	0.00	0.00			
1615845600000	15.03.2021	j	38.48	53.71	38.48	53.71	0.72
1615932000000	16.03.2021	j	41.37	36.48	41.37	36.48	1.13
1616018400000	17.03.2021	j	38.75	45.26	38.75	45.26	0.86
1616104800000	18.03.2021	j	36.93	35.99	36.93	35.99	1.03
1616191200000	19.03.2021	j	0.00	22.25			
1616277600000	20.03.2021	j	0.00	0.00			
1616364000000	21.03.2021	j	0.00	0.00			
1616450400000	22.03.2021	j	25.91	30.94	25.91	30.94	0.84
1616536800000	23.03.2021	j	29.69	34.87	29.69	34.87	0.85

Unix Timestamp [ms]	Detum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1616623200000	24.03.2021	j	35,99	46,76	35,99	46,76	0,77
1616709600000	25.03.2021	j	37,23	48,21	37,23	48,21	0,77
1616796000000	26.03.2021	j	33,03	51,83	33,03	51,83	0,64
1616882400000	27.03.2021	j	0,00	0,00			
1616968800000	28.03.2021	j	0,00	0,00			
1617055200000	29.03.2021	j	34,88	42,70	34,88	42,70	0,82
1617141600000	30.03.2021	j	34,34	44,25	34,34	44,25	0,78
1617228000000	31.03.2021	j	14,37	6,24	14,37	6,24	2,30
1617314400000	01.04.2021	j	0,00	0,00			
1617400800000	02.04.2021	j	0,00	0,00			
1617487200000	03.04.2021	j	0,00	0,00			
1617573600000	04.04.2021	j	0,00	0,00			
1617660000000	05.04.2021	j	0,00	0,00			
1617746400000	06.04.2021	n	6,11	75,11			
1617832800000	07.04.2021	j	0,00	0,00			
1617919200000	08.04.2021	j	0,00	0,00			
1618005600000	09.04.2021	j	37,74	46,20	37,74	46,20	0,82
1618178400000	11.04.2021	j	0,00	0,00			
1618264800000	12.04.2021	j	42,25	46,02	42,25	46,02	0,92
1618351200000	13.04.2021	j	41,91	46,63	41,91	46,63	0,90
1618437600000	14.04.2021	j	43,18	54,35	43,18	54,35	0,79
1618524000000	15.04.2021	j	26,66	28,90	26,66	28,90	0,92
1618610400000	16.04.2021	j	29,52	40,17	29,52	40,17	0,73
1618696800000	17.04.2021	j	0,00	0,00			
1618783200000	18.04.2021	j	0,00	0,00			
1618869600000	19.04.2021	j	38,85	57,87	38,85	57,87	0,67
1618956000000	20.04.2021	j	37,97	50,14	37,97	50,14	0,76
1619042400000	21.04.2021	j	36,75	54,37	36,75	54,37	0,68
1619128800000	22.04.2021	j	33,15	40,29	33,15	40,29	0,82
1619215200000	23.04.2021	j	32,72	40,44	32,72	40,44	0,81
1619301600000	24.04.2021	j	0,00	0,00			
1619388000000	25.04.2021	j	0,00	0,00			
1619474400000	26.04.2021	j	27,50	42,51	27,50	42,51	0,65
1619560800000	27.04.2021	j	40,28	56,51	40,28	56,51	0,71
1619647200000	28.04.2021	j	33,68	49,98	33,68	49,98	0,67
1619733600000	29.04.2021	j	29,52	41,40	29,52	41,40	0,71
1619820000000	30.04.2021	j	29,83	41,88	29,83	41,88	0,71

A.18. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 2 im Zeitraum 01.05.2020 bis 30.04.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Hybrid Sweeper 2							
		Energy [kWh]	7736,76	38,03048649	7035,64	9696,26	185
		Distance [km]	10701,55	52,41220541	9696,26		
		Consumption [kWh/km]	0,85	0,72560363	0,73		
		Energy equi Diesel [l]	1934,19		1758,91		
CO2	2,6	CO2	5028,90		4573,17		
NOx	4,26	NOx	8239,65		7492,96		
PM	75,6	PM	146,22		132,97		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	8144,86		
Hybrid Diesel / km	0,48			Verbruik hybride	4654,20		
				Verschil	3490,65		
				Emissie winst			
				CO2	9075,70		
	100			NOx	14870,18		
				PM	263,89		
Verbruik indien Diesel	84						
Verbruik hybride	48						
Verschil	36						
Emissie winst							
CO2	93,6						
NOx	153,36						
PM	2,7216						

A.19. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 2 im Zeitraum 01.05.2021 bis 30.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

		Hybrid Sweeper 2					
Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1619910000000	01.05.2021	j	0	0	0	0	
1619990000000	02.05.2021	j	33206	42086	33,21	42,09	0,79
1620010000000	03.05.2021	j	20170	33177	20,17	33,18	0,61
1620080000000	03.05.2021	j	35450	51391	35,45	51,39	0,69
1620170000000	04.05.2021	j	28359	42896	28,36	42,9	0,66
1620250000000	05.05.2021	j	28959	45737	28,96	45,74	0,63
1620340000000	06.05.2021	j	41340	54497	41,34	54,5	0,76
1620420000000	07.05.2021	j	32105	50780	32,11	50,78	0,63
1620510000000	08.05.2021	n	0	9865	0	0	
1620600000000	09.05.2021	j	22394	39897	22,39	39,9	0,56
1620680000000	10.05.2021	j	6718	56532	6,72	56,53	0,12
1620770000000	11.05.2021	j	32619	47753	32,62	47,75	0,68
1620860000000	12.05.2021	j	26789	47989	26,79	47,99	0,56
1620940000000	13.05.2021	j	36910	49682	36,91	49,68	0,74
1621030000000	14.05.2021	j	29057	50740	29,06	50,74	0,57
1621120000000	15.05.2021	j	25315	52184	25,32	52,18	0,49
1621200000000	16.05.2021	j	24107	46139	24,11	46,14	0,52
1621290000000	17.05.2021	j	40717	49055	40,72	49,06	0,83
1621380000000	18.05.2021	j	39607	51164	39,61	51,16	0,77
1621460000000	19.05.2021	j	40708	42732	40,71	42,73	0,95
1621550000000	20.05.2021	j	27214	29502	27,21	29,5	0,92
1621630000000	21.05.2021	j	35445	40076	35,45	40,08	0,88
1621720000000	22.05.2021	j	33063	44119	33,06	44,12	0,75
1621810000000	23.05.2021	j	20950	42567	20,95	42,57	0,49
1621890000000	24.05.2021	j	32227	42666	32,23	42,67	0,76
1621980000000	25.05.2021	j	26675	38119	26,68	38,12	0,7
1622070000000	26.05.2021	j	33646	50419	33,65	50,42	0,67
1622150000000	27.05.2021	j	27831	49419	27,83	49,42	0,56
1622240000000	28.05.2021	j	35653	49551	35,65	49,55	0,72
1622330000000	29.05.2021	j	30648	46814	30,65	46,81	0,65
1622410000000	30.05.2021	j	38698	49883	38,7	49,88	0,78
1622500000000	31.05.2021	j	47063	46196	47,06	46,2	1,02
1622580000000	01.06.2021	j	31655	45372	31,66	45,37	0,7
1622670000000	02.06.2021	j	39051	52249	39,05	52,25	0,75
1622760000000	03.06.2021	j	13489	46160	13,49	46,16	0,29
1622840000000	04.06.2021	j	20393	29873	20,39	29,87	0,68
1622930000000	05.06.2021	j	37872	51062	37,87	51,06	0,74
1623020000000	06.06.2021	j	33303	46183	33,3	46,18	0,72
1623100000000	07.06.2021	j	36964	52396	36,96	52,4	0,71
1623190000000	08.06.2021	j	26710	48700	26,71	48,7	0,55
1623280000000	09.06.2021	n	0	0	0	0	
1623360000000	10.06.2021	j	27313	53994	27,31	53,99	0,51
1623450000000	11.06.2021	n	3963	12347	0	0	
1623540000000	12.06.2021	n	31165	2984	0	0	
1623620000000	13.06.2021	j	19155	312468	19,16	312,47	0,06
1623710000000	14.06.2021	j	11512	117831	11,51	117,83	0,1
1623790000000	15.06.2021	j	17452	5118	17,45	5,12	3,41
1623880000000	16.06.2021	n	0	5118	0	0	
1623970000000	17.06.2021	n	-1880	1240	0	0	
1624050000000	18.06.2021	n	-1524	1488	0	0	
1624140000000	19.06.2021	n	4115	0	0	0	
1624230000000	20.06.2021	n	36135	0	0	0	
1624310000000	21.06.2021	n	0	0	0	0	
1624400000000	22.06.2021	n	0	0	0	0	
1624490000000	23.06.2021	n	0	0	0	0	
1624570000000	24.06.2021	n	0	0	0	0	
1624660000000	25.06.2021	n	0	0	0	0	
1624740000000	26.06.2021	n	-1157	5322	0	0	
1624830000000	27.06.2021	j	36456	8240	36,46	8,24	4,42
1624920000000	28.06.2021	n	0	8240	0	0	
1625000000000	29.06.2021	j	24115	5910	24,12	5,91	4,08
1625090000000	30.06.2021	n	0	0	0	0	
1625180000000	01.07.2021	n	-9123	11927	0	0	
1625260000000	02.07.2021	n	18422	3214	0	0	
1625350000000	03.07.2021	n	-2204	6369	0	0	
1625440000000	04.07.2021	n	3159	42258	0	0	
1625520000000	05.07.2021	n	2385	32020	0	0	
1625610000000	06.07.2021	j	48913	17052	48,91	17,05	2,87
1625700000000	07.07.2021	n	4500	35059	0	0	
1625780000000	08.07.2021	n	0	423628	0	0	
1625870000000	09.07.2021	n	0	1136	0	0	
1625950000000	10.07.2021	n	3816	2450	0	0	
1626040000000	11.07.2021	j	39473	55032	39,47	55,03	0,72

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1626130000000	12.07.2021	j	57425	60373	57,43	60,37	0,95
1626210000000	13.07.2021	j	50072	41690	50,07	41,69	1,2
1626300000000	14.07.2021	j	49425	40153	49,43	40,15	1,23
1626390000000	15.07.2021	j	37272	51116	37,27	51,12	0,73
1626470000000	16.07.2021	j	38202	52252	38,2	52,25	0,73
1626560000000	17.07.2021	j	34967	53790	34,97	53,79	0,65
1626650000000	18.07.2021	j	33657	43745	33,66	43,75	0,77
1626730000000	19.07.2021	j	29680	46489	29,68	46,49	0,64
1626820000000	20.07.2021	j	26391	40631	26,39	40,63	0,65
1626900000000	21.07.2021	j	30825	38653	30,83	38,65	0,8
1626990000000	22.07.2021	j	37688	46197	37,69	46,2	0,82
1627080000000	23.07.2021	j	24912	43625	24,91	43,63	0,57
1627160000000	24.07.2021	j	34027	50657	34,03	50,66	0,67
1627250000000	25.07.2021	j	27845	44498	27,85	44,5	0,63
1627340000000	26.07.2021	j	26524	24102	26,52	24,1	1,11
1627420000000	27.07.2021	j	40584	52133	40,58	52,13	0,78
1627510000000	28.07.2021	j	37211	48258	37,21	48,26	0,77
1627600000000	29.07.2021	j	22407	30544	22,41	30,54	0,73
1627680000000	30.07.2021	j	42057	51884	42,06	51,88	0,81
1627770000000	31.07.2021	j	43099	60465	43,1	60,47	0,71
1627860000000	01.08.2021	j	33404	53184	33,4	53,18	0,63
1627940000000	02.08.2021	j	42232	54110	42,23	54,11	0,78
1628030000000	03.08.2021	j	38728	45448	38,73	45,45	0,85
1628110000000	04.08.2021	j	38109	57185	38,11	57,19	0,67
1628200000000	05.08.2021	j	39358	60723	39,36	60,72	0,65
1628290000000	06.08.2021	j	38923	62943	38,92	62,94	0,62
1628370000000	07.08.2021	j	39583	59761	39,58	59,76	0,66
1628460000000	08.08.2021	j	34972	30567	34,97	30,57	1,14
1628550000000	09.08.2021	j	20756	32087	20,76	32,09	0,65
1628630000000	10.08.2021	j	8535	16705	8,54	16,71	0,51
1628720000000	11.08.2021	n	-1073	0	0	0	
1628810000000	12.08.2021	n	2709	20873	0	0	
1628890000000	13.08.2021	j	29534	50116	29,53	50,12	0,59
1628980000000	14.08.2021	j	41142	48124	41,14	48,12	0,85
1629150000000	16.08.2021	j	38024	57565	38,02	57,57	0,66
1629240000000	17.08.2021	j	31062	62370	31,06	62,37	0,5
1629320000000	18.08.2021	j	21443	56019	21,44	56,02	0,38
1629410000000	19.08.2021	j	39945	57421	39,95	57,42	0,7
1629500000000	20.08.2021	j	37306	71001	37,31	71	0,53
1629580000000	21.08.2021	j	40012	58288	40,01	58,29	0,69
1629670000000	22.08.2021	j	20551	59681	20,55	59,68	0,34
1629760000000	23.08.2021	j	20719	41484	20,72	41,48	0,5
1629840000000	24.08.2021	j	38177	57599	38,18	57,6	0,66
1629930000000	25.08.2021	j	31262	54298	31,26	54,3	0,58
1630020000000	26.08.2021	n	1139	1041	0	0	
1630100000000	27.08.2021	j	29896	50767	29,9	50,77	0,59
1630190000000	28.08.2021	j	42173	54059	42,17	54,06	0,78
1630270000000	29.08.2021	j	39341	42893	39,34	42,89	0,92
1630360000000	30.08.2021	j	36576	53684	36,58	53,68	0,68
1630450000000	31.08.2021	j	41093	69808	41,09	69,81	0,59
1630530000000	01.09.2021	j	36502	61645	36,5	61,65	0,59
1630620000000	02.09.2021	j	40461	62682	40,46	62,68	0,65
1630710000000	03.09.2021	n			0	0	
1630790000000	04.09.2021	n			0	0	
1630870000000	06.09.2021	n			0	0	
1631050000000	07.09.2021	n			0	0	
1631140000000	08.09.2021	n			0	0	
1631220000000	09.09.2021	n			0	0	
1631310000000	10.09.2021	n			0	0	
1631400000000	11.09.2021	n			0	0	
1631480000000	12.09.2021	n			0	0	
1631570000000	13.09.2021	n			0	0	
1631660000000	14.09.2021	n			0	0	
1631740000000	15.09.2021	n			0	0	
1631830000000	16.09.2021	n			0	0	
1631920000000	17.09.2021	n			0	0	
1632000000000	18.09.2021	n			0	0	
1632180000000	20.09.2021	n			0	0	
1632350000000	22.09.2021	n			0	0	
1632430000000	23.09.2021	n			0	0	
1632520000000	24.09.2021	n			0	0	
1632780000000	27.09.2021	n			0	0	
1632870000000	28.09.2021	n			0	0	
1632950000000	29.09.2021	n			0	0	

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1633040000000	30.09.2021	n			0	0	
1633130000000	01.10.2021	n			0	0	
1633210000000	02.10.2021	n			0	0	
1633300000000	03.10.2021	n			0	0	
1633380000000	04.10.2021	n			0	0	
1633470000000	05.10.2021	n			0	0	
1633560000000	06.10.2021	n			0	0	
1633640000000	07.10.2021	n			0	0	
1633730000000	08.10.2021	n			0	0	
1633820000000	09.10.2021	n			0	0	
1633900000000	10.10.2021	n			0	0	
1633990000000	11.10.2021	n			0	0	
1634250000000	14.10.2021	n			0	0	
1634340000000	15.10.2021	n			0	0	
1634590000000	18.10.2021	n			0	0	
1634680000000	19.10.2021	n			0	0	
1634770000000	20.10.2021	n			0	0	
1634850000000	21.10.2021	n			0	0	
1634940000000	22.10.2021	n			0	0	
1635030000000	23.10.2021	n			0	0	
1635200000000	25.10.2021	n			0	0	
1635290000000	26.10.2021	n			0	0	
1635370000000	27.10.2021	n			0	0	
1635540000000	29.10.2021	n			0	0	

A.20. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmaschine VS6h 2 im Zeitraum 01.05.2021 bis 30.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Hybrid Sweeper 2					
		Energy [kWh]	3111,6	32,75	95
		Distance [km]	4794,9	50,47	
		Consumption [kWh/km]	0,65		
		Energy equi Diesel [l]	777,90	0,65	
CO2	2,6	CO2	2022,54		
NOx	4,26	NOx	3313,85		
PM	75,6	PM	58,81		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	2301,55
Hybrid Diesel / km	0,48				
				Verschil	
				Emissie winst	
				CO2	5984,04
	100			NOx	9804,61
				PM	174,00
Verbruik indien Diesel	84				
Verbruik hybride	48				
Verschil	36				
Emissie winst					
CO2	93,6				
NOx	153,36				
PM	7,08				

A.21. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmaschine VS6h 3 im Zeitraum 01.05.2020 bis 30.04.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Unix Timestamp [ms]	Naam		Hybrid Sweeper 3				
	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1588370400000	01.05.2020	n	0,00	0,00			
1588456800000	02.05.2020	n	0,00	0,00			
1588543200000	03.05.2020	n	0,00	0,00			
1588629600000	04.05.2020	j	52,32	67,06	52,32	67,06	0,78
1588716000000	05.05.2020	j	35,03	43,01	35,03	43,01	0,81
1588802400000	06.05.2020	j	56,98	54,13	56,98	54,13	1,05
1588888800000	07.05.2020	j	39,49	41,47	39,49	41,47	0,95
1588975200000	08.05.2020	j	18,31	32,99	18,31	32,99	0,55
1589061600000	09.05.2020	n	0,00	0,00			
1589148000000	10.05.2020	n	0,00	0,00			
1589234400000	11.05.2020	j	32,43	40,33	32,43	40,33	0,80
1589320800000	12.05.2020	j	31,29	45,47	31,29	45,47	0,69
1589407200000	13.05.2020	j	43,02	75,16	43,02	75,16	0,57
1589493600000	14.05.2020	j	38,49	60,91	38,49	60,91	0,63
1589580000000	15.05.2020	j	33,27	55,69	33,27	55,69	0,60
1589666400000	16.05.2020	n	0,00	17,94			
1589752800000	17.05.2020	n	0,00	17,19			
1589839200000	18.05.2020	j	47,87	67,30	47,87	67,30	0,71
1589925600000	19.05.2020	j	47,75	60,16	47,75	60,16	0,79
1590012000000	20.05.2020	j	30,54	40,92	30,54	40,92	0,75
1590098400000	21.05.2020	n	0,00	0,00			
1590184800000	22.05.2020	n	0,00	2,03			
1590271200000	23.05.2020	n	0,00	0,00			
1590357600000	24.05.2020	n	0,00	0,00			
1590444000000	25.05.2020	j	45,45	38,12	45,45	38,12	1,19
1590530400000	26.05.2020	j	45,79	41,27	45,79	41,27	1,11
1590616800000	27.05.2020	j	32,32	45,08	32,32	45,08	0,72
1590703200000	28.05.2020	j	39,71	40,40	39,71	40,40	0,98
1590789600000	29.05.2020	j	48,51	59,02	48,51	59,02	0,82
1590876000000	30.05.2020	n	0,00	20,80			
1590962400000	31.05.2020	n	0,00	19,99			
1591048800000	01.06.2020	n	0,00	18,36			
1591135200000	02.06.2020	j	30,65	53,48	30,65	53,48	0,57
1591221600000	03.06.2020	j	35,00	70,37	35,00	70,37	0,50
1591308000000	04.06.2020	j	40,23	71,21	40,23	71,21	0,57
1591394400000	05.06.2020	j	34,06	59,79	34,06	59,79	0,57
1591480800000	06.06.2020	n	0,00	23,83			
1591567200000	07.06.2020	n	0,00	22,17			
1591653600000	08.06.2020	j	52,38	59,15	52,38	59,15	0,89
1591740000000	09.06.2020	j	51,03	56,60	51,03	56,60	0,90
1591826400000	10.06.2020	j	58,08	80,83	58,08	80,83	0,72
1591912800000	11.06.2020	j	0,00	51,13			
1591999200000	12.06.2020	j	31,96	42,67	31,96	42,67	0,75
1592085600000	13.06.2020	j	0,00	0,00			
1592172000000	14.06.2020	j	0,00	0,00			
1592258400000	15.06.2020	j	1,44	1,17			
1592344800000	16.06.2020	j	0,00	25,35			
1592431200000	17.06.2020	j	21,40	0,00			
1592517600000	18.06.2020	j	17,10	0,00			
1592604000000	19.06.2020	j	0,00	1,78			
1592690400000	20.06.2020	j	0,00	0,00			
1592776800000	21.06.2020	j	0,00	0,00			
1592863200000	22.06.2020	j	0,00	0,00			
1592949600000	23.06.2020	j	0,00	0,00			
1593036000000	24.06.2020	j	18,16	0,00			
1593122400000	25.06.2020	j	2,10	0,00			
1593208800000	26.06.2020	j	0,00	0,00			
1593295200000	27.06.2020	j	0,00	0,00			
1593381600000	28.06.2020	j	0,00	0,00			
1593468000000	29.06.2020	j	0,00	0,00			
1593554400000	30.06.2020	j	0,00	0,00			
1593640800000	01.07.2020	j	50,33	52,78	50,33	52,78	0,95
1593727200000	02.07.2020	j	49,31	44,02	49,31	44,02	1,12
1593813600000	03.07.2020	j	44,63	33,42	44,63	33,42	1,34
1593900000000	04.07.2020	j	0,00	0,00			
1593986400000	05.07.2020	j	0,00	0,00			
1594072800000	06.07.2020	j	34,71	42,68	34,71	42,68	0,81
1594159200000	07.07.2020	j	43,86	61,39	43,86	61,39	0,71
1594245600000	08.07.2020	j	54,00	69,08	54,00	69,08	0,78
1594332000000	09.07.2020	j	16,69	52,72	16,69	52,72	0,32
1594418400000	10.07.2020	j	0,00	43,20			
1594504800000	11.07.2020	j	0,00	22,00			
1594591200000	12.07.2020	j	0,00	20,35			

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1594677600000	13.07.2020	j	52,14	53,46	52,14	53,46	0,98
1594764000000	14.07.2020	j	41,00	59,31	41,00	59,31	0,69
1594850400000	15.07.2020	j	32,61	54,84	32,61	54,84	0,59
1594936800000	16.07.2020	j	38,28	69,67	38,28	69,67	0,55
1595023200000	17.07.2020	j	36,30	48,82	36,30	48,82	0,74
1595109600000	18.07.2020	j	0,00	0,00			
1595196000000	19.07.2020	j	0,00	0,00			
1595282400000	20.07.2020	j	44,70	53,73	44,70	53,73	0,83
1595368800000	21.07.2020	j	36,43	39,29	36,43	39,29	0,93
1595455200000	22.07.2020	j	30,75	39,60	30,75	39,60	0,78
1595541600000	23.07.2020	j	42,39	45,88	42,39	45,88	0,92
1595628000000	24.07.2020	j	32,79	41,42	32,79	41,42	0,79
1595714400000	25.07.2020	j	0,00	0,00			
1595800800000	26.07.2020	j	0,00	0,00			
1595887200000	27.07.2020	j	44,80	41,71	44,80	41,71	1,07
1595973600000	28.07.2020	j	49,91	42,67	49,91	42,67	1,17
1596060000000	29.07.2020	j	57,53	55,34	57,53	55,34	1,04
1596146400000	30.07.2020	j	39,44	40,29	39,44	40,29	0,98
1596232800000	31.07.2020	j	8,93	0,00			
1596319200000	01.08.2020	j	0,00	0,00			
1596405600000	02.08.2020	j	55,22	32,39	55,22	32,39	1,71
1596492000000	03.08.2020	j	38,78	22,66	38,78	22,66	1,71
1596578400000	04.08.2020	j	48,39	54,57	48,39	54,57	0,89
1596664800000	05.08.2020	j	33,98	37,57	33,98	37,57	0,90
1596751200000	06.08.2020	j	31,60	40,59	31,60	40,59	0,78
1596837600000	07.08.2020	j	0,00	0,00			
1596924000000	08.08.2020	j	0,00	0,00			
1597010400000	09.08.2020	j	0,00	0,00			
1597096800000	10.08.2020	j	45,89	50,46	45,89	50,46	0,91
1597183200000	11.08.2020	j	45,03	37,06	45,03	37,06	1,22
1597269600000	12.08.2020	j	42,77	57,79	42,77	57,79	0,74
1597356000000	13.08.2020	j	35,93	33,14	35,93	33,14	1,08
1597442400000	14.08.2020	j	42,01	30,59	42,01	30,59	1,37
1597528800000	15.08.2020	j	0,00	0,00			
1597615200000	16.08.2020	j	0,00	0,00			
1597701600000	17.08.2020	j	48,25	36,81	48,25	36,81	1,31
1597788000000	18.08.2020	j	0,00	0,00			
1597874400000	19.08.2020	n	41,79	9,71			
1597960800000	20.08.2020	n	49,66	15,77			
1598047200000	21.08.2020	j	41,36	4,11			
1598133600000	22.08.2020	j	0,00	0,00			
1598220000000	23.08.2020	j	44,01	2,85			
1598306400000	24.08.2020	j	0,00	0,00			
1598392800000	25.08.2020	j	0,00	0,00			
1598479200000	26.08.2020	j	0,00	0,00			
1598565600000	27.08.2020	j	3,12	0,00			
1598652000000	28.08.2020	j	54,44	1,71			
1598738400000	29.08.2020	j	0,00	0,00			
1598824800000	30.08.2020	j	0,00	0,00			
1598911200000	31.08.2020	n	59,27	6,12			
1598997600000	01.09.2020	j	38,04	19,33	38,04	19,33	1,97
1599084000000	02.09.2020	j	44,78	19,10	44,78	19,10	2,34
1599170400000	03.09.2020	j	0,00	0,00			
1599256800000	04.09.2020	n	35,72	9,57			
1599343200000	05.09.2020	j	0,00	0,00			
1599429600000	06.09.2020	j	0,00	0,00			
1599516000000	07.09.2020	j	51,07	18,01	51,07	18,01	2,84
1599602400000	08.09.2020	j	44,86	24,28	44,86	24,28	1,85
1599688800000	09.09.2020	j	40,83	26,34	40,83	26,34	1,55
1599775200000	10.09.2020	n	40,27	6,38			
1599861600000	11.09.2020	j	27,23	13,67	27,23	13,67	1,99
1599948000000	12.09.2020	j	0,00	0,00			
1600034400000	13.09.2020	j	49,41	26,49	49,41	26,49	1,87
1600120800000	14.09.2020	j	48,25	19,48	48,25	19,48	2,48
1600207200000	15.09.2020	j	23,23	28,77	23,23	28,77	0,81
1600293600000	16.09.2020	j	31,65	30,45	31,65	30,45	1,04
1600380000000	17.09.2020	j	24,84	22,12	24,84	22,12	1,12
1600466400000	18.09.2020	j	0,00	0,00			
1600552800000	19.09.2020	j	0,00	0,00			
1600639200000	20.09.2020	j	0,00	0,00			
1600725600000	21.09.2020	j	32,23	28,80	32,23	28,80	1,12
1600812000000	22.09.2020	j	31,61	15,03	31,61	15,03	2,10
1600898400000	23.09.2020	j	10,07	3,99			
1600984800000	24.09.2020	j	29,16	28,95	29,16	28,95	1,01
1601071200000	25.09.2020	j	0,00	0,00			
1601157600000	26.09.2020	j	0,00	0,00			
1601244000000	27.09.2020	j	0,00	0,00			
1601330400000	28.09.2020	n	32,14	7,13			

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1601416800000	29.09.2020	n	28,97	6,54			
1601503200000	30.09.2020	n	36,19	5,95			
1601589600000	01.10.2020	j	31,90	20,47	31,90	20,47	1,56
1601676000000	02.10.2020	j	0,00	0,00			
1601762400000	03.10.2020	j	0,00	0,00			
1601848800000	04.10.2020	j	0,00	0,00			
1601935200000	05.10.2020	j	21,33	0,00			
1602021600000	06.10.2020	n	42,18	7,76			
1602108000000	07.10.2020	j	48,69	27,66	48,69	27,66	1,76
1602194400000	08.10.2020	n	40,17	6,91			
1602280800000	09.10.2020	j	0,00	0,00			
1602367200000	10.10.2020	j	0,00	0,00			
1602453600000	11.10.2020	j	46,70	17,35	46,70	17,35	2,69
1602540000000	12.10.2020	j	44,23	16,66	44,23	16,66	2,65
1602626400000	13.10.2020	j	44,23	16,66	44,23	16,66	2,65
1602712800000	14.10.2020	n	38,30	6,00			
1602799200000	15.10.2020	j	48,91	17,77	48,91	17,77	2,75
1602885600000	16.10.2020	j	44,03	2,96			
1602972000000	17.10.2020	j	0,00	0,00			
1603058400000	18.10.2020	j	0,00	0,00			
1603144800000	19.10.2020	j	32,89	34,41	32,89	34,41	0,96
1603231200000	20.10.2020	j	38,55	41,06	38,55	41,06	0,94
1603317600000	21.10.2020	j	40,92	13,83	40,92	13,83	2,96
1603404000000	22.10.2020	j	0,00	0,00			
1603490400000	23.10.2020	j	36,53	34,96	36,53	34,96	1,04
1603576800000	24.10.2020	j	0,00	0,00			
1603663200000	25.10.2020	j	0,00	0,00			
1603749600000	26.10.2020	n	34,61	8,13			
1603836000000	27.10.2020	j	28,05	31,72	28,05	31,72	0,88
1603922400000	28.10.2020	n	44,72	5,36			
1604008800000	29.10.2020	j	50,73	39,65	50,73	39,65	1,28
1604095200000	30.10.2020	j	35,70	31,39	35,70	31,39	1,14
1604181600000	31.10.2020	j	0,00	0,00			
1604268000000	01.11.2020	j	0,00	0,00			
1604354400000	02.11.2020	j	50,57	23,71	50,57	23,71	2,13
1604440800000	03.11.2020	j	39,64	18,34	39,64	18,34	2,16
1604527200000	04.11.2020	j	43,09	25,96	43,09	25,96	1,66
1604613600000	05.11.2020	n	43,84	6,99			
1604700000000	06.11.2020	j	30,93	1,47			
1604786400000	07.11.2020	j	0,00	0,00			
1604872800000	08.11.2020	j	0,00	0,00			
1604959200000	09.11.2020	j	50,62	0,00			
1605045600000	10.11.2020	j	41,19	15,39	41,19	15,39	2,68
1605132000000	11.11.2020	j	40,78	33,92	40,78	33,92	1,20
1605218400000	12.11.2020	j	38,17	4,41			
1605304800000	13.11.2020	j	0,00	0,00			
1605391200000	14.11.2020	n	42,47	5,23			
1605477600000	15.11.2020	j	0,00	0,00			
1605564000000	16.11.2020	n	72,05	7,07			
1605650400000	17.11.2020	n	71,32	5,90			
1605736800000	18.11.2020	j	69,09	4,26			
1605823200000	19.11.2020	n	78,86	16,89			
1605909600000	20.11.2020	n	76,20	19,97			
1605996000000	21.11.2020	j	0,00	0,00			
1606082400000	22.11.2020	j	0,00	0,00			
1606168800000	23.11.2020	n	36,57	7,56			
1606255200000	24.11.2020	j	48,05	1,98			
1606341600000	25.11.2020	j	26,19	24,45	26,19	24,45	1,07
1606428000000	26.11.2020	j	34,50	4,22			
1606514400000	27.11.2020	j	35,55	0,00			
1606600800000	28.11.2020	j	0,00	0,00			
1606687200000	29.11.2020	j	0,00	0,00			
1606773600000	30.11.2020	j	39,84	0,00			
1606860000000	01.12.2020	j	36,49	3,12			
1606946400000	02.12.2020	j	39,10	19,11	39,10	19,11	2,05
1607032800000	03.12.2020	j	25,77	0,00			
1607119200000	04.12.2020	j	11,75	0,00			
1607205600000	05.12.2020	j	0,00	0,00			
1607292000000	06.12.2020	j	56,04	14,18	56,04	14,18	3,95
1607378400000	07.12.2020	n	53,71	6,73			
1607464800000	08.12.2020	n	53,21	12,69	53,21	12,69	4,19
1607551200000	09.12.2020	j	46,65	10,50	46,65	10,50	4,44
1607637600000	10.12.2020	j	43,48	18,45	43,48	18,45	2,36
1607724000000	11.12.2020	j	0,00	0,00			
1607810400000	12.12.2020	j	45,44	2,54			
1607896800000	13.12.2020	j	37,53	19,50	37,53	19,50	1,92
1607983200000	14.12.2020	j	45,38	17,28	45,38	17,28	2,63

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1608242400000	17.12.2020	j	45,43	27,53	45,43	27,53	1,65
1608328800000	18.12.2020	j	56,24	1,48			
1608415200000	19.12.2020	j	0,00	0,00			
1608501600000	20.12.2020	j	0,00	0,00			
1608588000000	21.12.2020	j	0,00	0,00			
1608674400000	22.12.2020	j	33,25	3,59			
1608760800000	23.12.2020	j	38,47	1,91			
1609192800000	28.12.2020	j	0,00	0,00			
1609244500000	29.12.2020	n	37,16	6,35			
1609365600000	30.12.2020	j	39,39	17,01	39,39	17,01	2,32
1609797600000	04.01.2021	j	44,18	0,00			
1609884000000	05.01.2021	n	49,59	7,07			
1609970400000	06.01.2021	j	16,15	6,35	16,15	6,35	2,54
1610056800000	07.01.2021	j	13,24	20,88	13,24	20,88	0,63
1610143200000	08.01.2021	j	12,36	12,57	12,36	12,57	0,98
1610229600000	09.01.2021	j	0,00	0,00			
1610402400000	11.01.2021	j	35,19	4,96			
1610488800000	12.01.2021	j	32,66	10,38	32,66	10,38	3,15
1610575200000	13.01.2021	j	7,75	5,36	7,75	5,36	1,45
1610748000000	15.01.2021	j	0,00	0,00			
1611007200000	18.01.2021	j	0,00	0,00			
1611093600000	19.01.2021	j	41,66	0,00			
1611180000000	20.01.2021	j	53,65	0,00			
1611266400000	21.01.2021	j	53,54	12,70	53,54	12,70	4,22
1611352800000	22.01.2021	j	39,35	4,25			
1611612000000	25.01.2021	j	0,00	22,83			
1611698400000	26.01.2021	j	0,00	0,00			
1611784800000	27.01.2021	j	0,00	0,00			
1611871200000	28.01.2021	j	0,00	36,89			
1611957600000	29.01.2021	j	0,00	0,00			
1612216800000	01.02.2021	j	0,00	0,00			
1612303200000	02.02.2021	j	0,00	24,97			
1612389600000	03.02.2021	j	0,00	0,00			
1612476000000	04.02.2021	j	4,89	7,83			
1612562400000	05.02.2021	j	0,00	5,09			
1612648800000	06.02.2021	j	0,00	0,00			
1612735200000	07.02.2021	j	0,00	0,00			
1612821600000	08.02.2021	j	0,00	0,00			
1612908000000	09.02.2021	j	0,00	0,00			
1612994400000	10.02.2021	j	0,00	0,00			
1613080800000	11.02.2021	j	0,00	6,73			
1613167200000	12.02.2021	j	0,00	0,00			
1613253600000	13.02.2021	j	0,00	0,00			
1613340000000	14.02.2021	j	0,00	0,00			
1613426400000	15.02.2021	j	0,00	0,00			
1613512800000	16.02.2021	j	0,00	0,00			
1613599200000	17.02.2021	j	0,00	0,00			
1613685600000	18.02.2021	j	0,00	0,00			
1613772000000	19.02.2021	j	0,00	0,00			
1614031200000	22.02.2021	j	0,00	0,00			
1614117600000	23.02.2021	j	0,00	7,90			
1614204000000	24.02.2021	j	0,00	0,00			
1614290400000	25.02.2021	j	0,00	0,00			
1614376800000	26.02.2021	j	0,00	0,00			
1614463200000	27.02.2021	j	0,00	0,00			
1614549600000	28.02.2021	j	0,00	0,00			
1614636000000	01.03.2021	j	0,00	0,00			
1614722400000	02.03.2021	j	0,00	0,00			
1614808800000	03.03.2021	j	0,00	0,00			
1614895200000	04.03.2021	j	0,00	0,00			
1614981600000	05.03.2021	j	33,66	0,00			
1615068000000	06.03.2021	j	0,00	0,00			
1615240800000	08.03.2021	j	0,00	0,00			
1615327200000	09.03.2021	j	0,00	18,44			
1615413600000	10.03.2021	n	40,68	7,87			
1615500000000	11.03.2021	n	5,41	32,76			
1615586400000	12.03.2021	j	62,00	17,27	62,00	17,27	3,59
1615672800000	13.03.2021	j	0,00	0,00			
1615759200000	14.03.2021	j	0,00	0,00			
1615845600000	15.03.2021	j	50,78	13,12	50,78	13,12	3,87
1615932000000	16.03.2021	j	50,52	17,02	50,52	17,02	2,97
1616018400000	17.03.2021	j	57,74	39,14	57,74	39,14	1,48
1616104800000	18.03.2021	j	29,78	36,40	29,78	36,40	0,82
1616191200000	19.03.2021	j	32,58	26,22	32,58	26,22	1,24
1616277600000	20.03.2021	j	27,09	17,70	27,09	17,70	1,53
1616364000000	21.03.2021	j	0,00	0,00			
1616450400000	22.03.2021	j	31,15	27,73	31,15	27,73	1,12
1616536800000	23.03.2021	j	47,57	14,63	47,57	14,63	3,25

Unix Timestamp [ms]	Datum	valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1616623200000	24.03.2021	j	33,82	33,00	33,82	33,00	1,03
1616709600000	25.03.2021	j	38,05	23,09	38,05	23,09	1,65
1616796000000	26.03.2021	j	41,03	25,48	41,03	25,48	1,61
1616882400000	27.03.2021	j	0,00	0,00			
1616968800000	28.03.2021	j	0,00	0,00			
1617055200000	29.03.2021	j	44,49	10,47	44,49	10,47	4,25
1617141600000	30.03.2021	j	34,16	12,41	34,16	12,41	2,75
1617228000000	31.03.2021	j	35,38	37,04	35,38	37,04	0,96
1617314400000	01.04.2021	j	56,54	19,95	56,54	19,95	2,83
1617400800000	02.04.2021	j	0,00	0,00			
1617487200000	03.04.2021	j	0,00	0,00			
1617573600000	04.04.2021	j	0,00	0,00			
1617660000000	05.04.2021	j	0,00	0,00			
1617746400000	06.04.2021	j	0,00	0,00			
1617832800000	07.04.2021	j	0,00	0,00			
1617919200000	08.04.2021	j	0,00	0,00			
1618005600000	09.04.2021	j	0,00	0,00			
1618178400000	11.04.2021	j	0,00	0,00			
1618264800000	12.04.2021	j	51,15	13,13	51,15	13,13	3,90
1618351200000	13.04.2021	j	34,18	46,30	34,18	46,30	0,74
1618437600000	14.04.2021	j	44,89	77,45	44,89	77,45	0,58
1618524000000	15.04.2021	j	35,69	24,98	35,69	24,98	1,43
1618610400000	16.04.2021	j	0,00	8,90			
1618696800000	17.04.2021	j	0,00	0,00			
1618783200000	18.04.2021	j	0,00	0,00			
1618869600000	19.04.2021	j	56,52	28,25	56,52	28,25	2,00
1618956000000	20.04.2021	j	41,64	3,43			
1619042400000	21.04.2021	j	45,44	30,49	45,44	30,49	1,49
1619128800000	22.04.2021	j	51,71	26,43	51,71	26,43	1,96
1619215200000	23.04.2021	j	11,24	10,37	11,24	10,37	1,08
1619301600000	24.04.2021	j	0,00	0,00			
1619388000000	25.04.2021	j	0,00	0,00			
1619474400000	26.04.2021	j	45,14	33,51	45,14	33,51	1,35
1619560800000	27.04.2021	j	47,97	21,20	47,97	21,20	2,26
1619647200000	28.04.2021	j	47,73	23,22	47,73	23,22	2,06
1619733600000	29.04.2021	j	6,10	27,65	6,10	27,65	0,22
1619820000000	30.04.2021	j	6,39	1,33			

A.22. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 3 im Zeitraum 01.05.2020 bis 30.04.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Hybrid Sweeper 3							
		Energy [kWh]	7641,16	40,05351128	5327,12	4625,95	133
		Distance [km]	5363,10	34,78160902	4625,95		
		Consumption [kWh/km]	1,49	1,151571546	1,15		
		Energy equi Diesel [l]	1910,29		1331,78		
CO2	2,6	CO2	4966,76		3462,63		
NOx	4,26	NOx	8137,84		5673,38		
PM	75,6	PM	144,42		100,68		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	3885,80		
Hybrid Diesel / km	0,48			Verbruik hybride	2220,46		
				Verschil	1665,34		
				Emissie winst			
				CO2	4329,89		
	100			NOx	7094,36		
				PM	125,90		
Verbruik indien Diesel	84						
Verbruik hybride	48						
Verschil	36						
Emissie winst							
CO2	93,6						
NOx	153,36						
PM	2,7216						

A.23. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 3 im Zeitraum 01.05.2021 bis 31.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Unix Timestamp [ms]		Hybrid Sweeper 3					
		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1619910000000	01.05.2021	j	0	0	0	0	
1619990000000	02.05.2021	j	0	0	0	0	
1620010000000	03.05.2021	j	47258	21969	47,26	21,97	2,15
1620080000000	03.05.2021	j	28788	12094	28,79	12,09	2,38
1620170000000	04.05.2021	j	50537	29687	50,54	29,69	1,7
1620250000000	05.05.2021	j	27829	21702	27,83	21,7	1,28
1620340000000	06.05.2021	j	31221	33967	31,22	33,97	0,92
1620420000000	07.05.2021	n	0	0	0	0	
1620510000000	08.05.2021	n	0	0	0	0	
1620600000000	09.05.2021	j	31277	17715	31,28	17,72	1,77
1620680000000	10.05.2021	j	53101	15598	53,1	15,6	3,4
1620770000000	11.05.2021	n	0	0	0	0	
1620860000000	12.05.2021	j	42695	14490	42,7	14,49	2,95
1620940000000	13.05.2021	j	46147	17799	46,15	17,8	2,59
1621030000000	14.05.2021	j	50665	11547	50,67	11,55	4,39
1621120000000	15.05.2021	j	29612	10886	29,61	10,89	2,72
1621200000000	16.05.2021	j	53216	14299	53,22	14,3	3,72
1621290000000	17.05.2021	j	59278	19001	59,28	19,0	2,99
1621380000000	18.05.2021	j	42618	36685	42,62	36,69	1,16
1621460000000	19.05.2021	j	43478	11023	43,48	11,02	3,94
1621550000000	20.05.2021	j	42214	18622	42,21	18,62	2,27
1621630000000	21.05.2021	j	36407	8393	36,41	8,39	4,34
1621720000000	22.05.2021	j	57770	23920	57,77	23,92	2,42
1621810000000	23.05.2021	j	48504	19744	48,5	19,74	2,46
1621890000000	24.05.2021	j	42966	12548	42,97	12,55	3,42
1621980000000	25.05.2021	j	47151	37635	47,15	37,64	1,25
1622070000000	26.05.2021	j	47528	14812	47,53	14,81	3,21
1622150000000	27.05.2021	j	34706	14577	34,71	14,58	2,38
1622240000000	28.05.2021	j	37869	29281	37,87	29,28	1,29
1622330000000	29.05.2021	j	37944	13315	37,94	13,32	2,85
1622410000000	30.05.2021	j	33433	13243	33,43	13,24	2,52
1622500000000	31.05.2021	n	0	0	0	0	
1622580000000	01.06.2021	j	45013	21800	45,01	21,8	2,06
1622670000000	02.06.2021	j	44449	19863	44,45	19,86	2,24
1622760000000	03.06.2021	j	43236	21020	43,24	21,02	2,06
1622840000000	04.06.2021	n	1467	0	0	0	
1622930000000	05.06.2021	j	13343	16391	13,34	16,39	0,81
1623020000000	06.06.2021	n	43104	0	0	0	
1623100000000	07.06.2021	j	44124	14858	44,12	14,86	2,97
1623190000000	08.06.2021	j	42398	17732	42,4	17,73	2,39
1623280000000	09.06.2021	j	39398	12715	39,4	12,72	3,1
1623360000000	10.06.2021	j	40479	18267	40,48	18,27	2,22
1623450000000	11.06.2021	j	37186	32075	37,19	32,08	1,16
1623540000000	12.06.2021	j	18978	7944	18,98	7,94	2,39
1623620000000	13.06.2021	n	42039	2132	0	0	
1623710000000	14.06.2021	n	40223	4971	0	0	
1623790000000	15.06.2021	j	42786	10285	42,79	10,29	4,16
1623880000000	16.06.2021	n	58518	0	0	0	
1623970000000	17.06.2021	j	36937	11273	36,94	11,27	3,28
1624050000000	18.06.2021	j	47770	11354	47,77	11,35	4,21
1624140000000	19.06.2021	j	48742	7038	48,74	7,04	6,93
1624230000000	20.06.2021	j	44272	10483	44,27	10,48	4,22
1624310000000	21.06.2021	j	41617	10590	41,62	10,59	3,93
1624400000000	22.06.2021	j	60852	17378	60,85	17,38	3,5
1624490000000	23.06.2021	n	0	0	0	0	
1624570000000	24.06.2021	j	36016	18849	36,02	18,85	1,91
1624660000000	25.06.2021	j	35673	7054	35,67	7,05	5,06
1624740000000	26.06.2021	j	42957	22144	42,96	22,14	1,94
1624830000000	27.06.2021	j	34993	12225	34,99	12,23	2,86
1624920000000	28.06.2021	j	35864	18528	35,86	18,53	1,94
1625000000000	29.06.2021	j	30603	11768	30,6	11,77	2,6
1625090000000	30.06.2021	j	38844	9869	38,84	9,87	3,94
1625180000000	01.07.2021	j	33970	11928	33,97	11,93	2,85
1625260000000	02.07.2021	j	31134	24990	31,13	24,99	1,25
1625350000000	03.07.2021	n	0	0	0	0	
1625440000000	04.07.2021	n	2334	0	0	0	
1625520000000	05.07.2021	n	0	0	0	0	
1625610000000	06.07.2021	n	0	0	0	0	
1625700000000	07.07.2021	j	26876	8724	26,88	8,72	3,08
1625780000000	08.07.2021	j	35309	8515	35,31	8,52	4,15
1625870000000	09.07.2021	j	27044	29684	27,04	29,68	0,91
1625950000000	10.07.2021	j	13182	7395	13,18	7,4	1,78
1626040000000	11.07.2021	j	34994	13958	34,99	13,96	2,51

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1626130000000	12.07.2021	j	36969	21316	36,97	21,32	1,73
1626210000000	13.07.2021	j	13909	7324	13,99	7,32	1,91
1626300000000	14.07.2021	j	32517	20379	32,52	20,38	1,6
1626390000000	15.07.2021	j	40131	20919	40,13	20,92	1,92
1626470000000	16.07.2021	j	39969	14075	39,97	14,08	2,84
1626560000000	17.07.2021	j	28317	7992	28,32	7,99	3,54
1626650000000	18.07.2021	j	34254	23920	34,25	23,92	1,43
1626730000000	19.07.2021	j	28006	14347	28,01	14,35	1,95
1626820000000	20.07.2021	j	36178	15046	36,18	15,05	2,4
1626900000000	21.07.2021	j	37600	16083	37,6	16,08	2,34
1626990000000	22.07.2021	j	28565	25126	28,57	25,13	1,14
1627080000000	23.07.2021	j	21315	26156	21,32	26,16	0,81
1627160000000	24.07.2021	j	34981	19990	34,98	19,99	1,75
1627250000000	25.07.2021	j	38470	12353	38,47	12,35	3,11
1627340000000	26.07.2021	j	41659	10634	41,66	10,63	3,92
1627420000000	27.07.2021	j	33847	15539	33,85	15,54	2,18
1627510000000	28.07.2021	j	10667	23748	10,67	23,75	0,45
1627600000000	29.07.2021	n	0	0	0	0	
1627680000000	30.07.2021	n	31152	0	0	0	
1627770000000	31.07.2021	n	0	0	0	0	
1627860000000	01.08.2021	n	20304	0	0	0	
1627940000000	02.08.2021	n	0	0	0	0	
1628030000000	03.08.2021	n	0	19498	0	0	
1628110000000	04.08.2021	j	23831	14521	23,83	14,52	1,64
1628200000000	05.08.2021	n	0	18553	0	0	
1628290000000	06.08.2021	j	28179	11896	28,18	11,9	2,37
1628370000000	07.08.2021	n	0	0	0	0	
1628460000000	08.08.2021	n	0	0	0	0	
1628550000000	09.08.2021	n	0	0	0	0	
1628630000000	10.08.2021	n	0	0	0	0	
1628720000000	11.08.2021	n			0	0	
1628810000000	12.08.2021	n			0	0	
1628890000000	13.08.2021	n			0	0	
1628980000000	14.08.2021	n			0	0	
1629150000000	16.08.2021	n			0	0	
1629240000000	17.08.2021	n			0	0	
1629320000000	18.08.2021	n			0	0	
1629410000000	19.08.2021	n			0	0	
1629500000000	20.08.2021	n			0	0	
1629580000000	21.08.2021	n			0	0	
1629670000000	22.08.2021	n			0	0	
1629760000000	23.08.2021	n			0	0	
1629840000000	24.08.2021	n			0	0	
1629930000000	25.08.2021	n			0	0	
1630020000000	26.08.2021	n			0	0	
1630100000000	27.08.2021	n			0	0	
1630190000000	28.08.2021	n			0	0	
1630270000000	29.08.2021	n			0	0	
1630360000000	30.08.2021	n			0	0	
1630450000000	31.08.2021	n			0	0	
1630530000000	01.09.2021	n			0	0	
1630620000000	02.09.2021	n			0	0	
1630710000000	03.09.2021	n			0	0	
1630790000000	04.09.2021	n			0	0	
1630970000000	06.09.2021	n			0	0	
1631050000000	07.09.2021	n			0	0	
1631140000000	08.09.2021	n			0	0	
1631220000000	09.09.2021	n			0	0	
1631310000000	10.09.2021	n			0	0	
1631400000000	11.09.2021	n			0	0	
1631480000000	12.09.2021	n			0	0	
1631570000000	13.09.2021	n			0	0	
1631660000000	14.09.2021	n			0	0	
1631740000000	15.09.2021	n			0	0	
1631830000000	16.09.2021	n			0	0	
1631920000000	17.09.2021	n			0	0	
1632000000000	18.09.2021	n			0	0	
1632180000000	20.09.2021	n			0	0	
1632350000000	22.09.2021	n			0	0	
1632430000000	23.09.2021	n			0	0	
1632520000000	24.09.2021	n			0	0	
1632780000000	27.09.2021	n			0	0	
1632870000000	28.09.2021	n			0	0	
1632950000000	29.09.2021	n			0	0	

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1633040000000	30.09.2021	n			0	0	
1633130000000	01.10.2021	n			0	0	
1633210000000	02.10.2021	n			0	0	
1633300000000	03.10.2021	n			0	0	
1633380000000	04.10.2021	n			0	0	
1633470000000	05.10.2021	n			0	0	
1633560000000	06.10.2021	n			0	0	
1633640000000	07.10.2021	n			0	0	
1633730000000	08.10.2021	n			0	0	
1633820000000	09.10.2021	n			0	0	
1633900000000	10.10.2021	n			0	0	
1633990000000	11.10.2021	n			0	0	
1634250000000	14.10.2021	n			0	0	
1634340000000	15.10.2021	n			0	0	
1634590000000	18.10.2021	n			0	0	
1634680000000	19.10.2021	n			0	0	
1634770000000	20.10.2021	n			0	0	
1634850000000	21.10.2021	n			0	0	
1634940000000	22.10.2021	n			0	0	
1635030000000	23.10.2021	n			0	0	
1635200000000	25.10.2021	n			0	0	
1635290000000	26.10.2021	n			0	0	
1635370000000	27.10.2021	n			0	0	
1635540000000	29.10.2021	n			0	0	

A.24. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmaschine VS6h 3 im Zeitraum 01.05.2021 bis 31.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Hybrid Sweeper 3					
		Energy [kWh]	2842,74	37,40	76
		Distance [km]	1283,46	16,89	
		Consumption [kWh/km]	2,21		
		Energy equi Diesel [l]	710,69	2,21	
CO2	2,6	CO2	1847,78		
NOx	4,26	NOx	3027,52		
PM	75,6	PM	53,73		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	616,06
Hybrid Diesel / km	0,48				
				Vershil	
				Emissie winst	
				CO2	1601,76
	100			NOx	2624,42
				PM	46,57
Verbruik indien Diesel	84				
Verbruik hybride	48				
Vershil	36				
Emissie winst					
CO2	93,6				
NOx	153,36				
PM	7,08				

A.25. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 4 (Prototyp) im Zeitraum 01.05.2021 bis 31.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

		Hybrid Sweeper 4					
Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1619910000000	01.05.2021	n		21668	0	0	
1619990000000	02.05.2021	n		16231	0	0	
1620010000000	03.05.2021	n	0	0	0	0	
1620080000000	03.05.2021	n	0	11644	0	0	
1620170000000	04.05.2021	n	0	0	0	0	
1620250000000	05.05.2021	n	-4911	96638	0	0	
1620340000000	06.05.2021	j	24389	109508	24,39	109,51	0,22
1620420000000	07.05.2021	j	24389	77998	24,39	78	0,31
1620510000000	08.05.2021	j	24389	77902	24,39	77,9	0,31
1620600000000	09.05.2021	n	0	71000	0	0	
1620680000000	10.05.2021	n	0	51186	0	0	
1620770000000	11.05.2021	n	2173	14801	0	0	
1620860000000	12.05.2021	n	2173	103017	0	0	
1620940000000	13.05.2021	n	2173	100667	0	0	
1621030000000	14.05.2021	n	2173	38290	0	0	
1621120000000	15.05.2021	n	0	39874	0	0	
1621200000000	16.05.2021	n	0	104174	0	0	
1621290000000	17.05.2021	n	0	100066	0	0	
1621380000000	18.05.2021	n	0	65592	0	0	
1621460000000	19.05.2021	n	0	71675	0	0	
1621550000000	20.05.2021	n	1045	44755	0	0	
1621630000000	21.05.2021	n	1732	156953	0	0	
1621720000000	22.05.2021	n	1732	6038	0	0	
1621810000000	23.05.2021	n	1732	4250	0	0	
1621890000000	24.05.2021	nn	1732	4633	0	0	
1621980000000	25.05.2021	j	18061	29179	18,06	29,18	0,62
1622070000000	26.05.2021	n	0	1659	0	0	
1622150000000	27.05.2021	n	-2118	5243	0	0	
1622240000000	28.05.2021	n	3487	0	0	0	
1622330000000	29.05.2021	n	0	0	0	0	
1622410000000	30.05.2021	n	0	0	0	0	
1622500000000	31.05.2021	n	0	0	0	0	
1622580000000	01.06.2021	n	0	0	0	0	
1622670000000	02.06.2021	n	2805	0	0	0	
1622760000000	03.06.2021	n	0	0	0	0	
1622840000000	04.06.2021	n	0	0	0	0	
1622930000000	05.06.2021	n	0	0	0	0	
1623020000000	06.06.2021	n	-4659	9541	0	0	
1623100000000	07.06.2021	n	0	0	0	0	
1623190000000	08.06.2021	n	0	1265	0	0	
1623280000000	09.06.2021	n	4834	1847	0	0	
1623360000000	10.06.2021	j	7936	6267	7,94	6,27	1,27
1623450000000	11.06.2021	n	9910	2042	0	0	
1623540000000	12.06.2021	n	0	1720	0	0	
1623620000000	13.06.2021	n	-1782	3668	0	0	
1623710000000	14.06.2021	n	3720	3199	0	0	
1623790000000	15.06.2021	n	0	1263	0	0	
1623880000000	16.06.2021	n	10478	4012	0	0	
1623970000000	17.06.2021	j	19428	12828	19,43	12,83	1,51
1624050000000	18.06.2021	n	2327	14597	0	0	
1624140000000	19.06.2021	n	1162	23977	0	0	
1624230000000	20.06.2021	n	0	0	0	0	
1624310000000	21.06.2021	n	-1310	19333	0	0	
1624400000000	22.06.2021	j	7218	22456	7,22	22,46	0,32
1624490000000	23.06.2021	n	0	165292	0	0	
1624570000000	24.06.2021	n	0	0	0	0	
1624660000000	25.06.2021	n	0	0	0	0	
1624740000000	26.06.2021	n	0	0	0	0	
1624830000000	27.06.2021	n	0	0	0	0	
1624920000000	28.06.2021	n	0	0	0	0	
1625000000000	29.06.2021	n	0	0	0	0	
1625090000000	30.06.2021	n	0	0	0	0	
1625180000000	01.07.2021	n	0	155664	0	0	
1625260000000	02.07.2021	n	0	3065	0	0	
1625350000000	03.07.2021	n	0	3031	0	0	
1625440000000	04.07.2021	n	0	10648	0	0	
1625520000000	05.07.2021	n	0	355615	0	0	
1625610000000	06.07.2021	n	0	1849	0	0	
1625700000000	07.07.2021	j	17882	40209	17,88	40,21	0,44
1625780000000	08.07.2021	j	32117	33915	32,12	33,92	0,95
1625870000000	09.07.2021	n	0	0	0	0	
1625950000000	10.07.2021	n	0	1140	0	0	
1626040000000	11.07.2021	n	0	16249	0	0	

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1626130000000	12.07.2021	n	1943	0	0	0	
1626210000000	13.07.2021	n	0	16696	0	0	
1626300000000	14.07.2021	n	0	3239	0	0	
1626390000000	15.07.2021	n	0	1589	0	0	
1626470000000	16.07.2021	n	0	21714	0	0	
1626560000000	17.07.2021	n	0	0	0	0	
1626650000000	18.07.2021	n	-2542	5194	0	0	
1626730000000	19.07.2021	j	10965	27055	10.97	27.06	0.41
1626820000000	20.07.2021	j	27676	36807	27.68	36.81	0.75
1626900000000	21.07.2021	j	13405	36255	13.41	36.26	0.37
1626990000000	22.07.2021	j	32192	48919	32.19	48.92	0.66
1627080000000	23.07.2021	j	17964	44219	17.96	44.22	0.41
1627160000000	24.07.2021	j	26167	44325	26.17	44.33	0.59
1627250000000	25.07.2021	j	22400	40314	22.4	40.31	0.56
1627340000000	26.07.2021	j	25156	54957	25.16	54.96	0.46
1627420000000	27.07.2021	j	23431	44952	23.43	44.95	0.52
1627510000000	28.07.2021	j	28154	36819	28.15	36.82	0.76
1627600000000	29.07.2021	j	22976	25974	22.98	25.97	0.88
1627680000000	30.07.2021	j	15354	51720	15.35	51.72	0.3
1627770000000	31.07.2021	j	35305	44213	35.31	44.21	0.8
1627860000000	01.08.2021	j	30902	38679	30.9	38.68	0.8
1627940000000	02.08.2021	j	23975	42149	23.98	42.15	0.57
1628030000000	03.08.2021	j	40633	37544	40.63	37.54	1.08
1628110000000	04.08.2021	j	17963	30641	17.96	30.64	0.59
1628200000000	05.08.2021	j	19879	39011	19.88	39.01	0.51
1628290000000	06.08.2021	j	16696	36622	16.7	36.62	0.46
1628370000000	07.08.2021	j	7326	17024	7.33	17.02	0.43
1628460000000	08.08.2021	n	16700	2306	0	0	
1628550000000	09.08.2021	n	-13851	21613	0	0	
1628630000000	10.08.2021	j	17932	39731	17.93	39.73	0.45
1628720000000	11.08.2021	j	20501	44243	20.5	44.24	0.46
1628810000000	12.08.2021	j	22266	38486	22.27	38.49	0.58
1628890000000	13.08.2021	j	31780	36655	31.78	36.66	0.87
1628980000000	14.08.2021	n	1164	26310	0	0	
1629150000000	16.08.2021	n	0	0	0	0	
1629240000000	17.08.2021	n	0	0	0	0	
1629320000000	18.08.2021	n	1198	0	0	0	
1629410000000	19.08.2021	n	0	0	0	0	
1629500000000	20.08.2021	n	-1259	19148	0	0	
1629580000000	21.08.2021	n	0	0	0	0	
1629670000000	22.08.2021	n	0	0	0	0	
1629760000000	23.08.2021	n	0	0	0	0	
1629840000000	24.08.2021	n	0	0	0	0	
1629930000000	25.08.2021	n	0	0	0	0	
1630020000000	26.08.2021	n	0	0	0	0	
1630100000000	27.08.2021	n	0	0	0	0	
1630190000000	28.08.2021	n	0	0	0	0	
1630270000000	29.08.2021	n	0	0	0	0	
1630360000000	30.08.2021	n	0	0	0	0	
1630450000000	31.08.2021	n	0	0	0	0	
1630530000000	01.09.2021	n	0	0	0	0	
1630620000000	02.09.2021	n	0	0	0	0	
1630710000000	03.09.2021	n	0	0	0	0	
1630790000000	04.09.2021	n	0	0	0	0	
1630870000000	06.09.2021	n	0	0	0	0	
1631050000000	07.09.2021	n	0	0	0	0	
1631140000000	08.09.2021	n	0	0	0	0	
1631220000000	09.09.2021	n	0	0	0	0	
1631310000000	10.09.2021	n	0	0	0	0	
1631400000000	11.09.2021	n	0	0	0	0	
1631480000000	12.09.2021	n	0	0	0	0	
1631570000000	13.09.2021	n	0	0	0	0	
1631660000000	14.09.2021	n	0	0	0	0	
1631740000000	15.09.2021	n	0	0	0	0	
1631830000000	16.09.2021	n	0	0	0	0	
1631920000000	17.09.2021	n	0	0	0	0	
1632000000000	18.09.2021	n	0	0	0	0	
1632180000000	20.09.2021	n	0	0	0	0	
1632350000000	22.09.2021	n	0	0	0	0	
1632430000000	23.09.2021	n	0	0	0	0	
1632520000000	24.09.2021	n	0	0	0	0	
1632780000000	27.09.2021	n	0	0	0	0	
1632870000000	28.09.2021	n	0	0	0	0	
1632950000000	29.09.2021	n	0	0	0	0	

Unix Timestamp [ms]		valid	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Energy used per day [kWh]	Distance driven per day [km]	Consumption [kWh/km]
1633040000000	30.09.2021	n			0	0	
1633130000000	01.10.2021	n			0	0	
1633210000000	02.10.2021	n			0	0	
1633300000000	03.10.2021	n			0	0	
1633380000000	04.10.2021	n			0	0	
1633470000000	05.10.2021	n			0	0	
1633560000000	06.10.2021	n			0	0	
1633640000000	07.10.2021	n			0	0	
1633730000000	08.10.2021	n			0	0	
1633820000000	09.10.2021	n			0	0	
1633900000000	10.10.2021	n			0	0	
1633990000000	11.10.2021	n			0	0	
1634250000000	14.10.2021	n			0	0	
1634340000000	15.10.2021	n			0	0	
1634590000000	18.10.2021	n			0	0	
1634680000000	19.10.2021	n			0	0	
1634770000000	20.10.2021	n			0	0	
1634850000000	21.10.2021	n			0	0	
1634940000000	22.10.2021	n			0	0	
1635030000000	23.10.2021	n			0	0	
1635200000000	25.10.2021	n			0	0	
1635290000000	26.10.2021	n			0	0	
1635370000000	27.10.2021	n			0	0	
1635540000000	29.10.2021	n			0	0	

A.26. Ergänzung zur Datenanalyse

Zusammenfassung und Analyse der Messwerte des Testfahrzeugs Brock Kehrmachine VS6h 4 (Prototyp) im Zeitraum 01.05.2021 bis 31.10.2021 (GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Hybrid Sweeper 4					
		Energy [kWh]	726,84	22,03	33
		Distance [km]	1347,6	40,84	
		Consumption [kWh/km]	0,54		
		Energy equi Diesel [l]	181,71	0,54	
CO2	2,6	CO2	472,45		
NOx	4,26	NOx	774,08		
PM	75,6	PM	13,74		
Diesel / km	0,84			Verbruik indien Diesel	646,85
Hybrid Diesel / km	0,48				
				Verschil	
				Emissie winst	
				CO2	1681,80
	100			NOx	2755,57
				PM	48,90
Verbruik indien Diesel	84				
Verbruik hybride	48				
Verschil	36				
Emissie winst					
CO2	93,6				
NOx	153,36				
PM	7,08				

A.27. Ergänzung zur Datenanalyse

Messwerte Brock Kehrmaschinen VS6 Diesel im Zeitraum Januar bis Dezember 2020
(GINAF, nicht veröffentlicht, 2022)

Equipment	Kfz_Klasse	Kostenstelle	Kraftstoff	EURO	Leistung	Standort	km	Kg	l	Leistung	Durch	MON	ID
K1119	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RM	1167	1205,3		RMStraßenreinigung	103,28	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1901	1686,86		BSStraßenreinigung	88,74	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1257	1036,71		BSStraßenreinigung	82,47	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	874	750,82		BSStraßenreinigung	85,91	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	843	720,43		BSStraßenreinigung	85,46	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	860	866,25		BSStraßenreinigung	100,73	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1379	1232,96		BSStraßenreinigung	89,41	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	677	677,73		RMStraßenreinigung	100,11	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1515	1230,38		RWStraßenreinigung	81,21	Januar	RWStraßenreinigungJanuar
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1791	1836,14		RWStraßenreinigung	102,52	Januar	RWStraßenreinigungJanuar
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1477	1176,15		RSStraßenreinigung	79,63	Januar	RSStraßenreinigungJanuar
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2589	2260,21		RSStraßenreinigung	87,30	Januar	RSStraßenreinigungJanuar
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1529	1149,85		BSStraßenreinigung	75,20	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	2891	2258,44		BSStraßenreinigung	78,12	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1537	1247,67		BSStraßenreinigung	81,18	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	764	830,43		BSStraßenreinigung	108,70	Januar	BSStraßenreinigungJanuar
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1990	1502,37		RMStraßenreinigung	75,50	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1580	1140,27		RMStraßenreinigung	72,17	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1135	858,66		RSStraßenreinigung	75,65	Januar	RSStraßenreinigungJanuar
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1139	1144,62		RMStraßenreinigung	96,27	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1328	1109,64		RMStraßenreinigung	83,56	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1650	1677,47		ROStraßenreinigung	101,66	Januar	ROStraßenreinigungJanuar
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1974	1765,77		ROStraßenreinigung	89,45	Januar	ROStraßenreinigungJanuar
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1976	2150,63		ROStraßenreinigung	108,84	Januar	ROStraßenreinigungJanuar
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1582	1935,11		ROStraßenreinigung	122,32	Januar	ROStraßenreinigungJanuar
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	1395	1345,17		RWStraßenreinigung	96,43	Januar	RWStraßenreinigungJanuar
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1298	1003,06		RMStraßenreinigung	77,28	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1470	1514,9		RMStraßenreinigung	103,05	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1791	1878,94		RWStraßenreinigung	104,91	Januar	RWStraßenreinigungJanuar
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1427	1068,59		RMStraßenreinigung	74,88	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2344	2356,27		RSStraßenreinigung	100,52	Januar	RSStraßenreinigungJanuar
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1891	2217,38		RMStraßenreinigung	117,26	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	125	123,25		RMStraßenreinigung	98,60	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1208	1076,55		RMStraßenreinigung	89,12	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1330	977,91		RMStraßenreinigung	73,53	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2033	2468,64		RWStraßenreinigung	121,43	Januar	RWStraßenreinigungJanuar
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1737	1834,57		RWStraßenreinigung	105,62	Januar	RWStraßenreinigungJanuar
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2525	2114,74		RWStraßenreinigung	83,75	Januar	RWStraßenreinigungJanuar
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1679	1878,92		ROStraßenreinigung	111,91	Januar	ROStraßenreinigungJanuar
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2228	2079,2		ROStraßenreinigung	93,32	Januar	ROStraßenreinigungJanuar
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	788	726,3		RMStraßenreinigung	92,17	Januar	RMStraßenreinigungJanuar
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1770	1550,97		RSStraßenreinigung	87,63	Januar	RSStraßenreinigungJanuar
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1624	1330,57		RSStraßenreinigung	81,93	Januar	RSStraßenreinigungJanuar
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1867	1652,42		RSStraßenreinigung	88,51	Januar	RSStraßenreinigungJanuar
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1610	1248,04		RSStraßenreinigung	77,52	Januar	RSStraßenreinigungJanuar
K1119	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RM	953,00	969,51		RMStraßenreinigung	101,73	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.695,00	1.590,37		BSStraßenreinigung	93,83	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	907,00	779,43		BSStraßenreinigung	85,93	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.321,00	1.049,79		BSStraßenreinigung	79,47	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.385,00	1.212,19		BSStraßenreinigung	87,52	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.030,00	862,02		BSStraßenreinigung	83,69	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	162,00	193,43		BSStraßenreinigung	119,40	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	659,00	599,36		RMStraßenreinigung	90,95	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.847,00	1.618,54		RWStraßenreinigung	87,63	Februar	RWStraßenreinigungFebruar
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	387,00	376,03		RWStraßenreinigung	97,17	Februar	RWStraßenreinigungFebruar
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.778,00	1.452,53		RSStraßenreinigung	81,69	Februar	RSStraßenreinigungFebruar
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.439,00	1.201,16		RSStraßenreinigung	83,47	Februar	RSStraßenreinigungFebruar
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.118,00	971,09		BSStraßenreinigung	86,86	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.524,00	1.276,65		BSStraßenreinigung	83,77	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	846,00	938,72		BSStraßenreinigung	110,96	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1.332,00	1.217,69		BSStraßenreinigung	91,42	Februar	BSStraßenreinigungFebruar
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.780,00	1.239,10		RMStraßenreinigung	69,61	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.260,00	881,68		RMStraßenreinigung	69,97	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	980,00	760,12		RSStraßenreinigung	77,56	Februar	RSStraßenreinigungFebruar
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.861,00	1.736,46		RMStraßenreinigung	93,31	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.310,00	1.276,64		RMStraßenreinigung	97,45	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.160,00	1.314,60		ROStraßenreinigung	113,33	Februar	ROStraßenreinigungFebruar
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2.020,00	2.122,05		ROStraßenreinigung	105,05	Februar	ROStraßenreinigungFebruar
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.590,00	1.773,86		ROStraßenreinigung	111,56	Februar	ROStraßenreinigungFebruar
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.363,00	1.753,59		ROStraßenreinigung	128,66	Februar	ROStraßenreinigungFebruar
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	1.370,00	1.283,67		RWStraßenreinigung	93,70	Februar	RWStraßenreinigungFebruar
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	991,00	820,49		RMStraßenreinigung	82,79	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.450,00	1.325,66		RMStraßenreinigung	91,42	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.461,00	1.378,39		RWStraßenreinigung	94,35	Februar	RWStraßenreinigungFebruar
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.241,00	966,66		RMStraßenreinigung	77,89	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.447,00	1.462,13		RSStraßenreinigung	101,05	Februar	RSStraßenreinigungFebruar
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.515,00	1.790,22		RMStraßenreinigung	118,17	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.021,00	851,45		RMStraßenreinigung	83,39	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	740,00	614,10		RMStraßenreinigung	82,99	Februar	RMStraßenreinigungFebruar
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.675,00	1.932,11		RWStraßenreinigung	115,35	Februar	RWStraßenreinigungFebruar
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.667,00	1.836,58		RWStraßenreinigung	110,17	Februar	RWStraßenreinigungFebruar

Equipment	Kfz Klasse	Kostenstelle	Kraftstoff	EURO	Leistung	Standort	km	Kg	l	Leistung	Durch	MON	ID
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.785,00	1.543,71	RWStraßenreinigung	86,48	Februar	RWStraßenreinigungFebruar	
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.323,00	1.485,00	ROStraßenreinigung	112,24	Februar	ROStraßenreinigungFebruar	
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.706,00	1.855,53	ROStraßenreinigung	108,76	Februar	ROStraßenreinigungFebruar	
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.077,00	1.005,07	RMStraßenreinigung	93,32	Februar	RMStraßenreinigungFebruar	
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	975,00	976,14	RSStraßenreinigung	100,12	Februar	RSStraßenreinigungFebruar	
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.482,00	1.144,41	RSStraßenreinigung	77,22	Februar	RSStraßenreinigungFebruar	
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.439,00	1.406,01	RSStraßenreinigung	97,71	Februar	RSStraßenreinigungFebruar	
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.871,00	1.485,92	RSStraßenreinigung	79,42	Februar	RSStraßenreinigungFebruar	
K1119	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RM	1.095,00	1.031,65	RMStraßenreinigung	94,21	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.056,00	963,34	BSStraßenreinigung	91,23	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.020,00	876,33	BSStraßenreinigung	85,91	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	2.053,00	1.331,26	BSStraßenreinigung	64,84	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.474,00	1.007,84	BSStraßenreinigung	68,37	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.463,00	1.570,00	BSStraßenreinigung	107,31	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1.125,00	1.152,72	BSStraßenreinigung	102,46	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.398,00	1.267,60	RMStraßenreinigung	90,67	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2.199,00	1.757,02	RWStraßenreinigung	79,90	März	RWStraßenreinigungMärz	
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2.108,00	1.748,51	RWStraßenreinigung	82,95	März	RWStraßenreinigungMärz	
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	713,00	514,78	RSStraßenreinigung	72,20	März	RSStraßenreinigungMärz	
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	285,00	280,08	RSStraßenreinigung	98,27	März	RSStraßenreinigungMärz	
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.141,00	870,95	BSStraßenreinigung	76,33	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.769,00	1.710,32	BSStraßenreinigung	96,68	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1.354,00	1.120,29	BSStraßenreinigung	82,74	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1.013,00	962,46	BSStraßenreinigung	95,01	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.490,00	1.063,32	RMStraßenreinigung	71,36	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.575,00	1.078,15	RMStraßenreinigung	68,45	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.280,00	919,98	RSStraßenreinigung	71,87	März	RSStraßenreinigungMärz	
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.839,00	1.692,90	RMStraßenreinigung	92,06	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	805,00	772,95	RMStraßenreinigung	96,02	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	736,00	727,81	ROStraßenreinigung	98,89	März	ROStraßenreinigungMärz	
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.820,00	1.727,38	ROStraßenreinigung	94,91	März	ROStraßenreinigungMärz	
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.193,00	1.228,50	ROStraßenreinigung	102,98	März	ROStraßenreinigungMärz	
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.080,00	1.282,28	ROStraßenreinigung	118,73	März	ROStraßenreinigungMärz	
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	1.233,00	1.033,85	RWStraßenreinigung	83,85	März	RWStraßenreinigungMärz	
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	832,00	702,41	RMStraßenreinigung	84,42	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	300,00	292,80	RMStraßenreinigung	97,60	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.588,00	1.382,18	RWStraßenreinigung	87,04	März	RWStraßenreinigungMärz	
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.085,00	812,92	RMStraßenreinigung	74,92	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2.595,00	2.237,81	RSStraßenreinigung	86,24	März	RSStraßenreinigungMärz	
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.500,00	1.690,82	RMStraßenreinigung	112,72	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.122,00	600,18	RMStraßenreinigung	53,49	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.808,00	1.641,68	RMStraßenreinigung	90,80	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.080,00	822,35	RMStraßenreinigung	76,14	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.443,00	1.595,60	RWStraßenreinigung	110,58	März	RWStraßenreinigungMärz	
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2.254,00	2.333,26	RWStraßenreinigung	103,52	März	RWStraßenreinigungMärz	
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2.737,00	2.059,93	RWStraßenreinigung	75,26	März	RWStraßenreinigungMärz	
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.115,00	1.346,25	ROStraßenreinigung	120,74	März	ROStraßenreinigungMärz	
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2.027,00	2.032,96	ROStraßenreinigung	100,29	März	ROStraßenreinigungMärz	
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.184,00	971,84	RMStraßenreinigung	82,08	März	RMStraßenreinigungMärz	
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2.120,00	1.905,03	RSStraßenreinigung	89,86	März	RSStraßenreinigungMärz	
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.798,00	1.128,55	RSStraßenreinigung	62,77	März	RSStraßenreinigungMärz	
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2.620,00	2.014,52	RSStraßenreinigung	76,89	März	RSStraßenreinigungMärz	
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2.115,00	1.654,79	RSStraßenreinigung	78,24	März	RSStraßenreinigungMärz	
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	2.782,00	219,32	BSStraßenreinigung	7,88	März	BSStraßenreinigungMärz	
K1119	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RM	1.155	998,08	RMStraßenreinigung	86,41	April	RMStraßenreinigungApril	
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1929	1302,95	BSStraßenreinigung	67,55	April	BSStraßenreinigungApril	
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1210	770,05	BSStraßenreinigung	63,64	April	BSStraßenreinigungApril	
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1018	747,46	BSStraßenreinigung	73,42	April	BSStraßenreinigungApril	
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	2709	1643,81	BSStraßenreinigung	60,68	April	BSStraßenreinigungApril	
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1493	1344,82	BSStraßenreinigung	90,08	April	BSStraßenreinigungApril	
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1043	841,74	BSStraßenreinigung	80,70	April	BSStraßenreinigungApril	
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	706	556,61	RMStraßenreinigung	78,84	April	RMStraßenreinigungApril	
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2470	1811,29	RWStraßenreinigung	73,33	April	RWStraßenreinigungApril	
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2336	1832,9	RWStraßenreinigung	78,46	April	RWStraßenreinigungApril	
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	493	330,38	RSStraßenreinigung	67,01	April	RSStraßenreinigungApril	
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	13	24,4	RSStraßenreinigung	187,69	April	RSStraßenreinigungApril	
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	899	760,26	BSStraßenreinigung	84,57	April	BSStraßenreinigungApril	
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	691	532,14	BSStraßenreinigung	77,01	April	BSStraßenreinigungApril	
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	2609	1419,55	BSStraßenreinigung	54,41	April	BSStraßenreinigungApril	
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1070	890,36	BSStraßenreinigung	83,21	April	BSStraßenreinigungApril	
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	815	608,82	RMStraßenreinigung	74,70	April	RMStraßenreinigungApril	
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1860	1315,46	RMStraßenreinigung	70,72	April	RMStraßenreinigungApril	
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1815	1217,73	RSStraßenreinigung	67,09	April	RSStraßenreinigungApril	
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1775	1683,66	RMStraßenreinigung	94,85	April	RMStraßenreinigungApril	
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1165	960,87	RMStraßenreinigung	82,48	April	RMStraßenreinigungApril	
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1582	1492,4	ROStraßenreinigung	94,34	April	ROStraßenreinigungApril	
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1900	1521,2	ROStraßenreinigung	80,06	April	ROStraßenreinigungApril	
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	235	227	ROStraßenreinigung	96,60	April	ROStraßenreinigungApril	
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1106	1235,08	ROStraßenreinigung	111,67	April	ROStraßenreinigungApril	
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	1447	1096,87	RWStraßenreinigung	75,80	April	RWStraßenreinigungApril	
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	720	558,62	RMStraßenreinigung	77,59	April	RMStraßenreinigungApril	

Equipment	Kfz Klasse	Kostenstelle	Kraftstoff	EURO	Leistung	Standort	km	Kg l	Leistung	Durch	MON	ID
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	544	124,98	RMStraßenreinigung	22,97	April	
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	728	666,31	RWStraßenreinigung	91,53	April	RWStraßenreinigungApril
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	832	576,32	RMStraßenreinigung	69,27	April	RMStraßenreinigungApril
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2444	1988,26	RSStraßenreinigung	81,35	April	RSStraßenreinigungApril
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1400	1524,15	RMStraßenreinigung	108,87	April	RMStraßenreinigungApril
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1133	956,83	RMStraßenreinigung	84,45	April	RMStraßenreinigungApril
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1173	965,3	RMStraßenreinigung	82,29	April	RMStraßenreinigungApril
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1373	952,07	RMStraßenreinigung	69,34	April	RMStraßenreinigungApril
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2226	2323,4	RWStraßenreinigung	104,38	April	RWStraßenreinigungApril
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1683	1664,86	RWStraßenreinigung	98,92	April	RWStraßenreinigungApril
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1258	1018,58	RWStraßenreinigung	80,97	April	RWStraßenreinigungApril
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1481	1786,21	ROStraßenreinigung	120,61	April	ROStraßenreinigungApril
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1964	1770,69	ROStraßenreinigung	90,16	April	ROStraßenreinigungApril
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	946	650,55	RMStraßenreinigung	68,77	April	RMStraßenreinigungApril
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1840	1429,55	RSStraßenreinigung	77,69	April	RSStraßenreinigungApril
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1731	1123,97	RSStraßenreinigung	64,93	April	RSStraßenreinigungApril
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2216	1414,95	RSStraßenreinigung	63,85	April	RSStraßenreinigungApril
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1414	1004,04	RSStraßenreinigung	71,01	April	RSStraßenreinigungApril
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	748	579,33	BSStraßenreinigung	77,45	April	BSStraßenreinigungApril
K1119	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RM	790	597,31	RMStraßenreinigung	75,61	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	2369	1763,55	BSStraßenreinigung	74,44	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	754	678,8	BSStraßenreinigung	90,03	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1743	1231,96	BSStraßenreinigung	70,68	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	352	281,08	BSStraßenreinigung	79,85	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1228	1440,61	BSStraßenreinigung	117,31	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1371	1276,22	BSStraßenreinigung	93,09	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1125	882,27	RMStraßenreinigung	78,42	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1718	1305,47	RWStraßenreinigung	75,99	Mai	RWStraßenreinigungMai
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2212	1881,01	RWStraßenreinigung	85,04	Mai	RWStraßenreinigungMai
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1789	1127,43	RSStraßenreinigung	63,02	Mai	RSStraßenreinigungMai
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2015	1002,71	RSStraßenreinigung	49,76	Mai	RSStraßenreinigungMai
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	775	724,74	BSStraßenreinigung	93,51	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1239	851	BSStraßenreinigung	68,68	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	785	674,96	BSStraßenreinigung	85,98	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	590	537,07	BSStraßenreinigung	91,03	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	680	526,87	RMStraßenreinigung	77,48	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	977	715,79	RMStraßenreinigung	73,26	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2064	1109,89	RSStraßenreinigung	53,77	Mai	RSStraßenreinigungMai
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1370	1190,64	RMStraßenreinigung	86,91	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	914	802,47	ROStraßenreinigung	87,80	Mai	ROStraßenreinigungMai
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1296	1050,17	ROStraßenreinigung	81,03	Mai	ROStraßenreinigungMai
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1706	1857,01	ROStraßenreinigung	108,85	Mai	ROStraßenreinigungMai
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1797	1909,48	ROStraßenreinigung	106,26	Mai	ROStraßenreinigungMai
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	798	651,92	RWStraßenreinigung	81,69	Mai	RWStraßenreinigungMai
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1176	810,82	RMStraßenreinigung	68,95	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	481	524,1	RMStraßenreinigung	108,96	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2239	1683,26	RWStraßenreinigung	75,18	Mai	RWStraßenreinigungMai
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	2125	1602,29	RMStraßenreinigung	75,40	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1449	1441,02	RSStraßenreinigung	99,45	Mai	RSStraßenreinigungMai
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1520	1784,96	RMStraßenreinigung	117,43	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1343	1101,11	RMStraßenreinigung	81,99	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1110	959,03	RMStraßenreinigung	86,40	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1113	795,83	RMStraßenreinigung	71,50	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2010	2362,33	RWStraßenreinigung	117,53	Mai	RWStraßenreinigungMai
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1284	1332,49	RWStraßenreinigung	103,78	Mai	RWStraßenreinigungMai
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2327	1846,31	RWStraßenreinigung	79,34	Mai	RWStraßenreinigungMai
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1036	1109,32	ROStraßenreinigung	107,08	Mai	ROStraßenreinigungMai
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2361	2097,3	ROStraßenreinigung	88,83	Mai	ROStraßenreinigungMai
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	845	581,82	RMStraßenreinigung	68,85	Mai	RMStraßenreinigungMai
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1555	1238,43	RSStraßenreinigung	79,64	Mai	RSStraßenreinigungMai
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1486	1453,19	RSStraßenreinigung	97,79	Mai	RSStraßenreinigungMai
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1780	1586,2	RSStraßenreinigung	89,11	Mai	RSStraßenreinigungMai
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2090	1530,67	RSStraßenreinigung	73,24	Mai	RSStraßenreinigungMai
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	90	189,89	BSStraßenreinigung	210,99	Mai	BSStraßenreinigungMai
K1119	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RM	80,00	75,64	RMStraßenreinigung	94,55	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.564,00	1.432,15	BSStraßenreinigung	91,57	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	939,00	815,20	BSStraßenreinigung	86,82	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	967,00	851,72	BSStraßenreinigung	88,08	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.045,00	857,90	BSStraßenreinigung	82,10	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.376,00	1.468,55	BSStraßenreinigung	106,73	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1.059,00	1.070,54	BSStraßenreinigung	101,09	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.641,00	1.349,81	RMStraßenreinigung	82,26	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.930,00	1.363,92	RWStraßenreinigung	70,67	Juni	RWStraßenreinigungJuni
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2.382,00	1.957,07	RWStraßenreinigung	82,16	Juni	RWStraßenreinigungJuni
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	3.041,00	2.074,99	RSStraßenreinigung	68,23	Juni	RSStraßenreinigungJuni
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2.407,00	1.581,63	RSStraßenreinigung	65,71	Juni	RSStraßenreinigungJuni
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	929,00	880,99	BSStraßenreinigung	94,83	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1.463,00	1.263,14	BSStraßenreinigung	86,34	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1.285,00	955,84	BSStraßenreinigung	74,38	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	840,00	628,61	BSStraßenreinigung	74,83	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	330,00	337,16	RMStraßenreinigung	102,17	Juni	RMStraßenreinigungJuni

Equipment	Kfz Klasse	Kostenstelle	Kraftstoff	EURO	Leistung	Standort	km	Kg	l	Leistung	Durch	MON	ID
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.178,00	792,85		RMStraßenreinigung	67,30	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	411,00	819,12		RSStraßenreinigung	199,30	Juni	RSStraßenreinigungJuni
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.487,00	909,53		RMStraßenreinigung	61,17	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.314,00	1.031,71		RMStraßenreinigung	78,52	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.728,00	1.557,56		ROStraßenreinigung	90,14	Juni	ROStraßenreinigungJuni
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.945,00	1.492,44		ROStraßenreinigung	76,73	Juni	ROStraßenreinigungJuni
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.912,00	2.071,82		ROStraßenreinigung	108,36	Juni	ROStraßenreinigungJuni
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.881,00	1.918,15		ROStraßenreinigung	101,98	Juni	ROStraßenreinigungJuni
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	240,00	224,61		RWStraßenreinigung	93,59	Juni	RWStraßenreinigungJuni
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.244,00	932,21		RMStraßenreinigung	74,94	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.075,00	1.047,88		RMStraßenreinigung	97,48	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.207,00	1.012,35		RWStraßenreinigung	83,87	Juni	RWStraßenreinigungJuni
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	572,00	451,70		RMStraßenreinigung	78,97	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.358,00	1.210,26		RSStraßenreinigung	89,12	Juni	RSStraßenreinigungJuni
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.420,00	1.681,12		RMStraßenreinigung	118,39	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.297,00	1.065,42		RMStraßenreinigung	82,14	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.139,00	1.007,61		RMStraßenreinigung	88,46	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.284,00	923,88		RMStraßenreinigung	71,95	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.545,00	1.816,29		RWStraßenreinigung	117,56	Juni	RWStraßenreinigungJuni
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1.698,00	1.718,82		RWStraßenreinigung	101,23	Juni	RWStraßenreinigungJuni
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2.160,00	1.161,35		RWStraßenreinigung	84,89	Juni	RWStraßenreinigungJuni
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1.048,00	976,16		ROStraßenreinigung	93,15	Juni	ROStraßenreinigungJuni
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2.193,00	1.971,56		ROStraßenreinigung	89,90	Juni	ROStraßenreinigungJuni
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1.500,00	1.125,42		RMStraßenreinigung	75,03	Juni	RMStraßenreinigungJuni
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.975,00	1.531,74		RSStraßenreinigung	77,56	Juni	RSStraßenreinigungJuni
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.477,00	1.237,38		RSStraßenreinigung	83,78	Juni	RSStraßenreinigungJuni
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2.160,00	1.666,82		RSStraßenreinigung	77,17	Juni	RSStraßenreinigungJuni
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1.960,00	1.492,67		RSStraßenreinigung	76,16	Juni	RSStraßenreinigungJuni
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	430,00	913,29		BSStraßenreinigung	72,86	Juni	BSStraßenreinigungJuni
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	838	582,63		BSStraßenreinigung	69,53	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	961	821,42		BSStraßenreinigung	85,48	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1596	1404,32		BSStraßenreinigung	87,99	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1005	783,24		BSStraßenreinigung	77,93	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	580	548,09		BSStraßenreinigung	94,50	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1219	1093,62		BSStraßenreinigung	89,71	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1124	843,18		RMStraßenreinigung	75,02	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2111	1516,91		RWStraßenreinigung	71,86	Juli	RWStraßenreinigungJuli
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2219	1888,99		RWStraßenreinigung	85,13	Juli	RWStraßenreinigungJuli
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	3229	2182,07		RSStraßenreinigung	67,58	Juli	RSStraßenreinigungJuli
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2178	1667,45		RSStraßenreinigung	76,56	Juli	RSStraßenreinigungJuli
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	567	475		BSStraßenreinigung	83,77	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1315	1185,08		BSStraßenreinigung	90,12	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	553	443,74		BSStraßenreinigung	80,24	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	893	928,68		BSStraßenreinigung	104,00	Juli	BSStraßenreinigungJuli
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1685	1327,57		RMStraßenreinigung	78,79	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1720	1065,77		RMStraßenreinigung	61,96	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2200	1461,98		RSStraßenreinigung	66,45	Juli	RSStraßenreinigungJuli
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1713	1467,51		RMStraßenreinigung	85,67	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	416	289,24		RMStraßenreinigung	69,53	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1620	1376,09		ROStraßenreinigung	84,94	Juli	ROStraßenreinigungJuli
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2248	1678,31		ROStraßenreinigung	74,66	Juli	ROStraßenreinigungJuli
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1916	2145,82		ROStraßenreinigung	111,99	Juli	ROStraßenreinigungJuli
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2156	2440,27		ROStraßenreinigung	113,19	Juli	ROStraßenreinigungJuli
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	927	705,49		RWStraßenreinigung	76,10	Juli	RWStraßenreinigungJuli
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1237	912,47		RMStraßenreinigung	73,76	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	975	1058,3		RMStraßenreinigung	108,54	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1246	1130,39		RWStraßenreinigung	90,72	Juli	RWStraßenreinigungJuli
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1524	1043,58		RMStraßenreinigung	68,48	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1740	2016,64		RMStraßenreinigung	115,90	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1380	1168,92		RMStraßenreinigung	84,70	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1255	1160,8		RMStraßenreinigung	92,49	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	615	446,9		RMStraßenreinigung	72,67	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2134	2312,32		RWStraßenreinigung	108,36	Juli	RWStraßenreinigungJuli
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1152	1167,81		RWStraßenreinigung	101,37	Juli	RWStraßenreinigungJuli
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2885	2280,77		RWStraßenreinigung	79,06	Juli	RWStraßenreinigungJuli
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1433	1564,82		ROStraßenreinigung	109,20	Juli	ROStraßenreinigungJuli
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2251	2057,63		ROStraßenreinigung	91,41	Juli	ROStraßenreinigungJuli
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1400	1169,41		RMStraßenreinigung	83,53	Juli	RMStraßenreinigungJuli
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2460	2095,84		RSStraßenreinigung	85,20	Juli	RSStraßenreinigungJuli
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1653	1586,57		RSStraßenreinigung	95,98	Juli	RSStraßenreinigungJuli
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1740	1554,13		RSStraßenreinigung	89,32	Juli	RSStraßenreinigungJuli
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1860	1332,89		RSStraßenreinigung	71,66	Juli	RSStraßenreinigungJuli
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	751	586,93		BSStraßenreinigung	78,15	August	BSStraßenreinigungAugust
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	772	647,4		BSStraßenreinigung	83,86	August	BSStraßenreinigungAugust
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	832	608,83		BSStraßenreinigung	73,18	August	BSStraßenreinigungAugust
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1704	1380,03		BSStraßenreinigung	80,99	August	BSStraßenreinigungAugust
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1090	906,47		BSStraßenreinigung	83,16	August	BSStraßenreinigungAugust
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	307	328,34		BSStraßenreinigung	106,95	August	BSStraßenreinigungAugust
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1325	1077,36		RMStraßenreinigung	81,31	August	RMStraßenreinigungAugust
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2215	1760,04		RWStraßenreinigung	79,46	August	RWStraßenreinigungAugust
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1274	917,43		RWStraßenreinigung	72,01	August	RWStraßenreinigungAugust

Equipment	Kfz Klasse	Kostenstelle	Kraftstoff	EURO	Leistung	Standort	km	Kg	l	Leistung	Durch	MON	ID
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2980	1935,82	RSStraßenreinigung	64,96	August	RSStraßenreinigungAugust	
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1500	1231,67	RSStraßenreinigung	82,11	August	RSStraßenreinigungAugust	
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1146	982,99	BSStraßenreinigung	85,77	August	BSStraßenreinigungAugust	
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1197	1003,24	BSStraßenreinigung	83,81	August	BSStraßenreinigungAugust	
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	945	822,11	BSStraßenreinigung	87,00	August	BSStraßenreinigungAugust	
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	527	434,65	BSStraßenreinigung	82,48	August	BSStraßenreinigungAugust	
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1068	817,27	RMStraßenreinigung	76,52	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1111	800,17	RMStraßenreinigung	72,02	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1660	1233,54	RSStraßenreinigung	74,31	August	RSStraßenreinigungAugust	
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1426	1246,38	RMStraßenreinigung	87,40	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	414	98,3	RMStraßenreinigung	23,74	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1597	1307,64	ROStraßenreinigung	81,88	August	ROStraßenreinigungAugust	
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1861	1629,93	ROStraßenreinigung	87,58	August	ROStraßenreinigungAugust	
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1609	1774,34	ROStraßenreinigung	110,28	August	ROStraßenreinigungAugust	
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2073	2048,25	ROStraßenreinigung	98,81	August	ROStraßenreinigungAugust	
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	570	487,39	RWStraßenreinigung	85,51	August	RWStraßenreinigungAugust	
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1034	691,91	RMStraßenreinigung	66,92	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	736	667,78	RMStraßenreinigung	90,73	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1474	1405,78	RWStraßenreinigung	95,37	August	RWStraßenreinigungAugust	
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1002	796,8	RMStraßenreinigung	79,52	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	418	427,06	RSStraßenreinigung	102,17	August	RSStraßenreinigungAugust	
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1750	2031,33	RMStraßenreinigung	116,08	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	922	795,96	RMStraßenreinigung	86,33	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1416	1239,95	RMStraßenreinigung	87,57	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1195	791,32	RMStraßenreinigung	66,22	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1937	1922,01	RWStraßenreinigung	99,23	August	RWStraßenreinigungAugust	
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1551	1575,21	RWStraßenreinigung	101,56	August	RWStraßenreinigungAugust	
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2520	1975,8	RWStraßenreinigung	78,40	August	RWStraßenreinigungAugust	
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1789	1912,51	ROStraßenreinigung	106,90	August	ROStraßenreinigungAugust	
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1804	1683,86	ROStraßenreinigung	93,34	August	ROStraßenreinigungAugust	
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1253	1030,01	RMStraßenreinigung	82,20	August	RMStraßenreinigungAugust	
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1790	1455,28	RSStraßenreinigung	81,30	August	RSStraßenreinigungAugust	
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1780	1383,12	RSStraßenreinigung	77,70	August	RSStraßenreinigungAugust	
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1965	1640,54	RSStraßenreinigung	83,49	August	RSStraßenreinigungAugust	
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1620	1211,45	RSStraßenreinigung	74,78	August	RSStraßenreinigungAugust	
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	394	306,82	BSStraßenreinigung	77,87	August	BSStraßenreinigungAugust	
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1857	1400,45	BSStraßenreinigung	75,41	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	766	674,65	BSStraßenreinigung	88,07	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	845	621,31	BSStraßenreinigung	73,53	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1167	1029,89	BSStraßenreinigung	88,25	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	841	647,63	BSStraßenreinigung	77,01	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1395	1128,68	RMStraßenreinigung	80,91	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2257	1733,06	RWStraßenreinigung	76,79	September	RWStraßenreinigungSeptember	
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2552	2158,25	RWStraßenreinigung	84,57	September	RWStraßenreinigungSeptember	
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2427	1599,55	RSStraßenreinigung	65,91	September	RSStraßenreinigungSeptember	
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1399	955,86	RSStraßenreinigung	68,32	September	RSStraßenreinigungSeptember	
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1406	1396,35	BSStraßenreinigung	99,31	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	720	548,57	BSStraßenreinigung	76,19	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	968	1006,39	BSStraßenreinigung	103,97	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	949	905,94	BSStraßenreinigung	95,46	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1308	997,65	RMStraßenreinigung	76,27	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1212	812,26	RSStraßenreinigung	67,02	September	RSStraßenreinigungSeptember	
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1762	1599,97	RMStraßenreinigung	90,80	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	768	668,69	RMStraßenreinigung	87,07	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1867	1699,93	ROStraßenreinigung	91,05	September	ROStraßenreinigungSeptember	
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1698	1481,17	ROStraßenreinigung	87,23	September	ROStraßenreinigungSeptember	
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1885	1696,8	ROStraßenreinigung	90,02	September	ROStraßenreinigungSeptember	
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1653	1776,04	ROStraßenreinigung	107,44	September	ROStraßenreinigungSeptember	
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	1205	1025,52	RWStraßenreinigung	85,11	September	RWStraßenreinigungSeptember	
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	965	1086,09	RMStraßenreinigung	112,55	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1745	1670,17	RWStraßenreinigung	95,71	September	RWStraßenreinigungSeptember	
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1484	1055,18	RMStraßenreinigung	71,10	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2072	1921,18	RSStraßenreinigung	92,72	September	RSStraßenreinigungSeptember	
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1965	2420,76	RMStraßenreinigung	123,19	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1473	1207,19	RMStraßenreinigung	81,95	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1405	1256,25	RMStraßenreinigung	89,41	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1310	842,63	RMStraßenreinigung	64,32	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2189	2310,65	RWStraßenreinigung	105,56	September	RWStraßenreinigungSeptember	
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2490	1879,67	RWStraßenreinigung	75,49	September	RWStraßenreinigungSeptember	
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1686	1830,29	ROStraßenreinigung	108,56	September	ROStraßenreinigungSeptember	
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2638	2430,53	ROStraßenreinigung	92,14	September	ROStraßenreinigungSeptember	
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	937	779,5	RMStraßenreinigung	83,19	September	RMStraßenreinigungSeptember	
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1960	1669	RSStraßenreinigung	85,15	September	RSStraßenreinigungSeptember	
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1552	1497,68	RSStraßenreinigung	96,50	September	RSStraßenreinigungSeptember	
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2240	1702,38	RSStraßenreinigung	76,00	September	RSStraßenreinigungSeptember	
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2450	1786,43	RSStraßenreinigung	72,92	September	RSStraßenreinigungSeptember	
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	196	157,62	BSStraßenreinigung	80,42	September	BSStraßenreinigungSeptember	
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1279	991	BSStraßenreinigung	77,48	Oktober	BSStraßenreinigungOktober	
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1615	1329,43	BSStraßenreinigung	82,32	Oktober	BSStraßenreinigungOktober	
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	940	833,25	BSStraßenreinigung	88,64	Oktober	BSStraßenreinigungOktober	
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1539	1194,03	BSStraßenreinigung	77,58	Oktober	BSStraßenreinigungOktober	

Equipment	Kfz Klasse	Kostenstelle	Kraftstoff	EURO	Leistung	Standort	km	Kg	l	Leistung	Durch	MON	ID
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1006	968,98		BSStraßenreinigung	96,32	Oktober	BSStraßenreinigungOktober
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	440	380,45		BSStraßenreinigung	86,47	Oktober	BSStraßenreinigungOktober
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1303	1096,8		RMStraßenreinigung	84,17	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2243	1888,29		RWStraßenreinigung	84,19	Oktober	RWStraßenreinigungOktober
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1953	1594,8		RWStraßenreinigung	81,66	Oktober	RWStraßenreinigungOktober
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2171	1695,75		RSStraßenreinigung	78,11	Oktober	RSStraßenreinigungOktober
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1880	1447,9		RSStraßenreinigung	77,02	Oktober	RSStraßenreinigungOktober
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1421	1346,41		BSStraßenreinigung	94,75	Oktober	BSStraßenreinigungOktober
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1763	1814,29		BSStraßenreinigung	102,91	Oktober	BSStraßenreinigungOktober
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1102	1010,25		BSStraßenreinigung	91,67	Oktober	BSStraßenreinigungOktober
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1226	1140,96		BSStraßenreinigung	93,06	Oktober	BSStraßenreinigungOktober
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1642	1380,79		RMStraßenreinigung	84,09	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1586	1246,68		RMStraßenreinigung	78,61	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1478	1130,6		RSStraßenreinigung	76,50	Oktober	RSStraßenreinigungOktober
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1695	1512,92		RMStraßenreinigung	89,26	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	543	497,02		RMStraßenreinigung	91,53	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2586	2509,6		ROStraßenreinigung	97,05	Oktober	ROStraßenreinigungOktober
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2057	2073,16		ROStraßenreinigung	100,79	Oktober	ROStraßenreinigungOktober
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	788	798,31		ROStraßenreinigung	101,31	Oktober	ROStraßenreinigungOktober
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1756	1901,92		ROStraßenreinigung	108,31	Oktober	ROStraßenreinigungOktober
K1109	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	RW	1384	1125,71		RWStraßenreinigung	81,34	Oktober	RWStraßenreinigungOktober
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	866	429,23		RMStraßenreinigung	49,56	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1190	1269,74		RMStraßenreinigung	106,70	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1989	1842,89		RWStraßenreinigung	92,65	Oktober	RWStraßenreinigungOktober
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1605	1276,63		RMStraßenreinigung	79,54	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2196	2023,94		RSStraßenreinigung	92,16	Oktober	RSStraßenreinigungOktober
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1760	1943,52		RMStraßenreinigung	110,43	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1713	1530,59		RMStraßenreinigung	89,35	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	132	117,52		RMStraßenreinigung	89,03	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1380	998,81		RMStraßenreinigung	72,38	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2034	1927,5		RWStraßenreinigung	94,76	Oktober	RWStraßenreinigungOktober
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	3250	2399,59		RWStraßenreinigung	71,99	Oktober	RWStraßenreinigungOktober
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1360	1402,49		ROStraßenreinigung	103,12	Oktober	ROStraßenreinigungOktober
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2024	2032,09		ROStraßenreinigung	100,40	Oktober	ROStraßenreinigungOktober
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	610	518,85		RMStraßenreinigung	85,06	Oktober	RMStraßenreinigungOktober
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1479	1321,7		RSStraßenreinigung	89,36	Oktober	RSStraßenreinigungOktober
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1045	817,99		RSStraßenreinigung	78,28	Oktober	RSStraßenreinigungOktober
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1898	1590,98		RSStraßenreinigung	83,82	Oktober	RSStraßenreinigungOktober
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2070	1604,34		RSStraßenreinigung	77,50	Oktober	RSStraßenreinigungOktober
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	486	330,38		BSStraßenreinigung	67,98	Oktober	BSStraßenreinigungOktober
K2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	938	156,23		RWStraßenreinigung	16,66	Oktober	
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	2050	1524,72		BSStraßenreinigung	74,38	November	BSStraßenreinigungNovember
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	813	794,25		BSStraßenreinigung	97,69	November	BSStraßenreinigungNovember
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	2012	1873,52		BSStraßenreinigung	93,12	November	BSStraßenreinigungNovember
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1147	1113,76		BSStraßenreinigung	97,10	November	BSStraßenreinigungNovember
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1765	1891,78		BSStraßenreinigung	107,18	November	BSStraßenreinigungNovember
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1379	1027,35		BSStraßenreinigung	74,50	November	BSStraßenreinigungNovember
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1279	1062,47		RMStraßenreinigung	83,07	November	RMStraßenreinigungNovember
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2260	1768,43		RWStraßenreinigung	78,25	November	RWStraßenreinigungNovember
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	774	757,5		RWStraßenreinigung	97,87	November	RWStraßenreinigungNovember
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	3179	2518,15		RSStraßenreinigung	79,21	November	RSStraßenreinigungNovember
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2556	2043,67		RSStraßenreinigung	79,96	November	RSStraßenreinigungNovember
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1633	1233,46		BSStraßenreinigung	75,53	November	BSStraßenreinigungNovember
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1098	905,6		BSStraßenreinigung	82,48	November	BSStraßenreinigungNovember
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1888	1504,77		BSStraßenreinigung	79,70	November	BSStraßenreinigungNovember
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1405	1315,77		BSStraßenreinigung	93,65	November	BSStraßenreinigungNovember
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	2010	1450,89		RMStraßenreinigung	72,18	November	RMStraßenreinigungNovember
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1935	1319,66		RMStraßenreinigung	68,20	November	RMStraßenreinigungNovember
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2300	1783,3		RSStraßenreinigung	77,53	November	RSStraßenreinigungNovember
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	645	632,09		RMStraßenreinigung	98,00	November	RMStraßenreinigungNovember
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	875	813,86		RMStraßenreinigung	93,01	November	RMStraßenreinigungNovember
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2705	2032,65		ROStraßenreinigung	75,14	November	ROStraßenreinigungNovember
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1905	1835,64		ROStraßenreinigung	96,36	November	ROStraßenreinigungNovember
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1129	1269,93		ROStraßenreinigung	112,48	November	ROStraßenreinigungNovember
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	2425	2492,04		ROStraßenreinigung	102,76	November	ROStraßenreinigungNovember
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1543	1250,95		RMStraßenreinigung	81,07	November	RMStraßenreinigungNovember
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1480	1473,27		RMStraßenreinigung	99,55	November	RMStraßenreinigungNovember
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2261	2139,51		RWStraßenreinigung	94,63	November	RWStraßenreinigungNovember
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1598	1367,95		RMStraßenreinigung	85,60	November	RMStraßenreinigungNovember
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1852	1875,19		RSStraßenreinigung	101,25	November	RSStraßenreinigungNovember
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	2207	2187,07		RMStraßenreinigung	99,10	November	RMStraßenreinigungNovember
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1839	1680,86		RMStraßenreinigung	91,40	November	RMStraßenreinigungNovember
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1410	1054,42		RMStraßenreinigung	74,78	November	RMStraßenreinigungNovember
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1549	1341,17		RWStraßenreinigung	86,58	November	RWStraßenreinigungNovember
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2191	1891,54		RWStraßenreinigung	86,33	November	RWStraßenreinigungNovember
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	3115	2070,97		RWStraßenreinigung	66,48	November	RWStraßenreinigungNovember
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1606	1436,04		ROStraßenreinigung	89,42	November	ROStraßenreinigungNovember
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1821	1560,36		ROStraßenreinigung	85,69	November	ROStraßenreinigungNovember
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1020	923,03		RMStraßenreinigung	90,49	November	RMStraßenreinigungNovember
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2350	2350,28		RSStraßenreinigung	100,01	November	RSStraßenreinigungNovember
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1777	1487,38		RSStraßenreinigung	83,70	November	RSStraßenreinigungNovember

Equipment	Kfz Klasse	Kostenstelle	Kraftstoff	EURO	Leistung	Standort	km	Kg	l	Leistung	Durch	MON	ID
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2252	1996,52	RSStraßenreinigung	88,66	November	RSStraßenreinigungNovember	
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	700	1514,08	BSStraßenreinigung	216,30	November	RSStraßenreinigungNovember	
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	327	302,27	BSStraßenreinigung	92,44	November	BSStraßenreinigungNovember	
K2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	660	602,52	RWStraßenreinigung	91,29	November	RWStraßenreinigungNovember	
K1201	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	503	454,87	BSStraßenreinigung	90,43	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1202	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1975	1612,09	BSStraßenreinigung	81,62	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1204	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1382	1608,91	BSStraßenreinigung	116,42	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1206	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	751	561,23	BSStraßenreinigung	74,73	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1208	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1344	1398,01	BSStraßenreinigung	104,02	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1402	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1105	864,44	BSStraßenreinigung	78,23	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1602	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	860	832,52	RMStraßenreinigung	96,80	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1603	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1984	1698,14	RWStraßenreinigung	85,59	Dezember	RWStraßenreinigungDezember	
K1604	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1350	1116,57	RWStraßenreinigung	82,71	Dezember	RWStraßenreinigungDezember	
K1605	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1831	1451,42	RSStraßenreinigung	79,27	Dezember	RSStraßenreinigungDezember	
K1606	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	2023	1618,87	RSStraßenreinigung	80,02	Dezember	RSStraßenreinigungDezember	
K1209	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1112	854,46	BSStraßenreinigung	76,84	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1205	K-GROSS	26030100	DIESEL	5	Straßenreinigung	BS	1085	955,94	BSStraßenreinigung	88,11	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1401	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	1443	1224,07	BSStraßenreinigung	84,83	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1403	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	628	417,71	BSStraßenreinigung	66,51	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K1501	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1670	1120,88	RMStraßenreinigung	67,12	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1502	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1615	1043,23	RMStraßenreinigung	64,60	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1503	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1575	1155,58	RSStraßenreinigung	73,37	Dezember	RSStraßenreinigungDezember	
K1803	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	2106	1973,11	RMStraßenreinigung	93,69	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1814	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	920	837,57	RMStraßenreinigung	91,04	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1801	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1466	1525,48	ROStraßenreinigung	104,06	Dezember	ROStraßenreinigungDezember	
K1804	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1585	1691,37	ROStraßenreinigung	106,71	Dezember	ROStraßenreinigungDezember	
K1805	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1603	1665,82	ROStraßenreinigung	103,92	Dezember	ROStraßenreinigungDezember	
K1802	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1930	2209,58	ROStraßenreinigung	114,49	Dezember	ROStraßenreinigungDezember	
K1807	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	493	478,92	RMStraßenreinigung	97,14	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1806	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	800	951,69	RMStraßenreinigung	118,96	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1808	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1169	1033,83	RWStraßenreinigung	88,44	Dezember	RWStraßenreinigungDezember	
K1810	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1780	1359,44	RMStraßenreinigung	76,37	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1809	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1445	1582,38	RSStraßenreinigung	109,51	Dezember	RSStraßenreinigungDezember	
K1811	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	51	63,66	RMStraßenreinigung	124,82	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1813	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1423	1001,35	RMStraßenreinigung	70,37	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1601	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1090	794,73	RMStraßenreinigung	72,91	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1901	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1668	1883,43	RWStraßenreinigung	112,92	Dezember	RWStraßenreinigungDezember	
K1902	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	2196	2276,87	RWStraßenreinigung	103,68	Dezember	RWStraßenreinigungDezember	
K1903	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	1804	1405,85	RWStraßenreinigung	77,93	Dezember	RWStraßenreinigungDezember	
K1904	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	582	536,29	ROStraßenreinigung	92,15	Dezember	ROStraßenreinigungDezember	
K1906	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RO	1643	1533,17	ROStraßenreinigung	93,32	Dezember	ROStraßenreinigungDezember	
K1905	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	774	629,96	RMStraßenreinigung	81,39	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	
K1907	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1936	1702,68	RSStraßenreinigung	87,95	Dezember	RSStraßenreinigungDezember	
K1908	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1636	1075,18	RSStraßenreinigung	65,72	Dezember	RSStraßenreinigungDezember	
K1910	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1732	1551,05	RSStraßenreinigung	89,55	Dezember	RSStraßenreinigungDezember	
K1909	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RS	1500	1275,59	RSStraßenreinigung	85,04	Dezember	RSStraßenreinigungDezember	
KM2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	BS	87	64,97	BSStraßenreinigung	74,68	Dezember	BSStraßenreinigungDezember	
K2001	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RW	588	516,31	RWStraßenreinigung	87,81	Dezember	RWStraßenreinigungDezember	
K1812	K-GROSS	26030100	DIESEL	6	Straßenreinigung	RM	1058	609,74	RMStraßenreinigung	57,63	Dezember	RMStraßenreinigungDezember	