



Schlussbericht vom 24. Februar 2025

Markterprobung von innovativen elektrischen Fahrzeugen und Maschinen

"MEKG – Neuentwicklung eines vollelektrisch betriebenen Kommunalfahrzeuges/ Geräteträgers in der 8t Klasse"



Quelle: Viktor Meili AG



Datum: 13.07.2023

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

SUNCAR HK AG
Hinterwiden, 9245 Oberbüren
www.suncar-hk.com

Viktor Meili AG
Brestengurgstrasse 6, 8862 Schübelbach
www.meiliswiss.com

Autor/in:

Stefan Schneider, SUNCAR HK AG, stefan.schneider@suncar-hk.com
Jürg Horisberger, SUNCAR HK AG, juerg.horisberger@suncar-hk.com
Rik Bättig, SUNCAR HK AG, rik.baettig@suncar-hk.com

BFE-Projektbegleitung:

Karin Söderström, karin.soederstroem@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502399-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Die technische Machbarkeit und Durchführbarkeit einer Teilelektrifizierung von leichten Kommunalfahrzeugen wurde bereits durch vorhergehende Pilotprojekte und Kleinserien unter Beweis gestellt. Basierend auf den dort gesammelten Erfahrungen und dank dem laufenden technischen Fortschritt im Bereich der Energiespeicher und Antriebstechnik, wurde klar, dass die nächstgrössere Gewichtsklasse in Angriff genommen werden kann. Basierend auf dem VM 7000 von Meili hat das Multifunktionale Elektro-Kompakt-Grundfahrzeug (MEKG) den Anspruch eine neue firmeninterne Plattform für vollelektrisch betriebene Kommunalfahrzeuges/Geräteträger in der 8t-Klasse zu etablieren. Im Fokus stand dabei die allgemeine Effizienzsteigerung zur Maximierung der Betriebszeit, um einen uneingeschränkten Betrieb sicherzustellen. Die Herausforderungen lagen dabei vorwiegend in den Bereichen der Software-Integration und Weiterentwicklung. Im Fokus stand dabei eine saubere Schnittstelle zwischen bestehender Fahrzeug-Software, der Ansteuerung des Fahrmotors in allen Betriebszuständen, sowie elektrischen Schnittstellengestaltung für die neu entwickelten elektrischen Anbaugeräte.

Der ehemals hydrostatische Fahrtrieb wurde durch einen elektrischen Direktantrieb ersetzt. Dafür wurde eigens ein neues Spezialgetriebe entwickelt, gefertigt und montiert. Zusätzlich wurden die ehemals hydraulisch angetriebenen Anbaugeräte nun direkt-elektrisch betrieben, was die Entwicklung geeigneter Fahrzeugschnittstellen und den Einsatz der neu entwickelten Anbaugeräten bedingt.

Das Fahrzeug in Standardausführung wurde nach erfolgreicher Testphasen des Demofahrzeugs inzwischen mehrfach aufgebaut und hat sich im täglichen Einsatz bewiesen. Ein lückenloser Winterdienst mit Schneefräse stellt wegen seines immensen Energieverbrauchs aber weiterhin eine Herausforderung dar, wobei gezielte Ladepausen mit hoher Leistung abhilfe schaffen. Alle übrigen betrachteten Arbeiten (Pflügen/Salzen, Schwemmbalken/Böschungsmähen und Betriebsfahrten) können mühelos über längere Zeit sichergestellt werden.

Nebst dem Aufbau für den Kommunaleinsatz, wurde für die Erprobung ein Ersteinsatzfahrzeug (EEF) für die Feuerwehr aufgebaut. Mit einer auf 60 km/h erhöhten Maximalgeschwindigkeit, einem 1500 l Löschtank und einer Sechsmann-Kabine wurde es Mitte 2023 von der Gebäudeversicherung Kanton Zürich (GVZ) in Andelfingen zur Erprobung in den Einsatz genommen. Das EEF eignet sich dabei aufgrund seiner verringerten Geräuschemissionen im Betrieb speziell auch für Trainings- und Schulungszwecke.

Weitere Spezialaufbauten, wie beispielsweise für die Kehrrichtentsorgung, werden aktuell umgesetzt.

Résumé

La faisabilité technique et la viabilité d'une électrification partielle des véhicules communaux légers ont déjà été démontrées par des projets pilotes et des petites séries antérieurs. Sur la base de ces expériences et grâce aux progrès techniques en cours dans le domaine du stockage de l'énergie et de la technique d'entraînement, il est devenu évident que la catégorie de poids suivante pouvait être abordée. Basé sur le VM 7000 de Meili, le véhicule de base électrique compact multifonctionnel (MEKG) a pour ambition d'établir une nouvelle plateforme interne à l'entreprise pour les véhicules communaux/porte-outils entièrement électriques dans la catégorie des 8 tonnes. L'accent a été mis sur l'augmentation générale de l'efficacité afin de maximiser le temps de fonctionnement et d'assurer une exploitation sans restriction. Les défis se situaient principalement dans les domaines de l'intégration et du développement du logiciel. L'accent a été mis sur une interface propre entre le logiciel existant du véhicule, la commande du moteur de traction dans tous les états de



fonctionnement et la conception d'interfaces électriques pour les nouveaux outils électriques développés.

L'ancien entraînement hydrostatique a été remplacé par un entraînement électrique direct. Un nouveau réducteur spécial a été développé, fabriqué et monté à cet effet. De plus, les accessoires à entraînement hydraulique ont été remplacés par des accessoires à entraînement électrique direct, ce qui a nécessité le développement d'interfaces véhicules appropriées et l'utilisation d'un système d'entraînement électrique.

Après des phases de test réussies du véhicule de démonstration, le véhicule en version standard a entre-temps été monté à plusieurs reprises et a fait ses preuves dans l'utilisation quotidienne. Un service hivernal sans faille avec une fraise à neige reste toutefois un défi en raison de son immense consommation d'énergie, des pauses de chargement ciblées avec une puissance élevée permettant d'y remédier. Tous les autres travaux considérés (labourage/saumurage, débroussaillage/fauchage de talus et trajets de service) peuvent être assurés sans problème sur une longue période.

Outre la structure destinée à l'utilisation communale, un véhicule de première intervention (VPI) pour les pompiers a été construit pour les essais. Doté d'une vitesse maximale de 60 km/h, d'un réservoir d'extinction de 1500 l et d'une cabine pour six personnes, il a été mis à l'essai par l'assurance immobilière du canton de Zurich (GVZ) à Andelfingen au milieu de l'année 2023. En raison de ses émissions sonores réduites en service, l'EEF est particulièrement adapté à l'entraînement et à la formation.

D'autres constructions spéciales, par exemple pour l'élimination des ordures, sont actuellement en cours de réalisation.

Summary

The technical feasibility and practicability of partial electrification of light municipal vehicles has already been proven by previous pilot projects and small series. Based on the experience gained there and thanks to the ongoing technical progress in the field of energy storage and drive technology, it became clear that the next larger weight class could be tackled. Based on the VM 7000 from Meili, the Multifunctional Electric Compact Ground Vehicle (MEKG) aims to establish a new in-house platform for all-electric municipal vehicles/tool carriers in the 8-tonne class. The focus was on a general increase in efficiency to maximise operating time in order to ensure unrestricted operation. The challenges were primarily in the areas of software integration and further development. The focus was on a clean interface between the existing vehicle software, the control of the drive motor in all operating states and the electrical interface design for the newly developed electrical attachments.

The former hydrostatic drive was replaced by an electric direct drive. A new special gearbox was developed, manufactured and installed for this purpose. In addition, the previously hydraulically driven attachments were now operated directly electrically, which facilitated the development of suitable vehicle interfaces and the use of electric motors.

Following successful test phases of the demo vehicle, the standard version of the vehicle has now been set up several times and has proven itself in daily use. However, uninterrupted winter service with a snow blower is still a challenge due to its immense energy consumption, although targeted loading breaks with high power can help. All the other tasks considered (ploughing/salting, alluvial bar/embankment mowing and service runs) can be carried out effortlessly over long periods of time.

In addition to the body for municipal use, a first-response vehicle (EEF) for the fire brigade was built for testing. With a maximum speed increased to 60 km/h, a 1500-litre extinguishing tank and a six-man cabin, it was taken into service for testing by the Canton of Zurich Building Insurance (GVZ) in



Andelfingen in mid-2023. Thanks to its reduced noise emissions during operation, the EEF is also particularly suitable for training purposes.

Other special superstructures, such as for waste disposal, are currently being implemented.

Take-home messages

- Gerechnet mit dem Schweizer Strommix lässt sich durch den Ersatz eines Dieselfahrzeugs mit einem elektrischen Pendant eine Reduktion von bis zu 87% an CO₂eq erreichen. Dies beinhaltet anfallenden Emissionen für die Herstellung der Batterie, aber auch für die Förderung und Bereitstellung von Dieselmotorkraftstoff.
- Der Winterdienst mit Pflug kann unter Voraussetzung einer Mittags-Ladepause auch unter schwersten Bedingungen mühelos über einen Tag sichergestellt. Der Einsatz der Schneefräse stellt weiterhin eine Herausforderung dar, da die Leistungsaufnahme der Fräse mit der gegebenen Batteriekapazität nur mit zwei Ladepausen (total 1.5h) für einen 9 stündigen Einsatz reicht.
- Die Elektrifizierung des Fahrtriebsstrangs zahlt sich nebst der massgeblich gesteigerten Effizienz vor allem bei Strassenfahrten mit Höhenprofil aus, wo bis zu 25% der Energie wieder rekuperiert werden kann. Weitere wertvolle Energie kann durch direktelektrifizierte Anbaugeräte gespart werden, um die Laufzeit weiter zu erhöhen. Insgesamt ist ein Effizienzsteigerung von mehr als Faktor 8 erreichbar gemessen an der benötigten Primärenergie.
- Der Erhöhte Fahrkomfort durch geringere Vibrations- und Lärmbelastung konnte messbar festgestellt werden und wird von Testpersonen und Betreibern als positive Veränderung äusserst geschätzt.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	3
Summary	4
Take-home messages	5
Inhaltsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	9
1.2 Motivation des Projektes	9
1.3 Projektziele	10
2 Anlagenbeschrieb	12
2.1 Fahrzeugaufbauten	13
2.1.1 Systemarchitektur des dieselbetriebenen Urs (Abbildung 7)	13
2.1.2 Systemarchitektur des elektrischen MEKG	15
2.2 Thermomanagement auf dem elektrischen Fahrzeug	18
3 Methodik und durchgeführte Arbeiten	19
3.1 Vorgehen	19
3.1.1 Elektrische Schnittstelle für Anbaugeräte.....	20
3.1.2 Maximierung des Antriebswirkungsgrades.....	20
3.1.3 Montage & Inbetriebnahme	21
3.1.4 Zulassung & Dokumentation	21
3.2 Entwicklung.....	22
3.2.1 Auswahl Antriebsmotor und Auslegung Getriebe.....	22
3.2.2 Konstruktion.....	23
3.2.3 Elektroschema	23
3.2.4 Software.....	24
3.3 Montage & Inbetriebnahme	26
3.4 Messkonzept.....	28
3.4.1 Ziele	28
3.4.2 Messobjekte.....	28
3.4.3 Methodik	28
4 Ergebnisse und Diskussion	34
4.1 Messresultate und Berechnungen.....	34
4.1.1 Effizienzgrad und Energiebedarf	34
4.1.2 Ökologie und Emissionen	39



4.1.3	Ökonomie	41
4.1.4	Lärmmessungen	44
4.1.5	Vibrationsmessungen	47
4.1.6	Thermomanagement System	52
4.2	Diskussion	53
4.2.1	Energieverbrauch im Arbeitsalltag	54
4.2.2	Nachhaltigkeit	58
4.2.3	Wirtschaftlichkeit.....	59
4.2.4	Lärmemissionen	60
4.2.5	Vibrationen.....	61
5	Schlussfolgerungen und Fazit	62
5.1	Erreichen der gesteckten Ziele.....	62
6	Ausblick und zukünftige Umsetzung	64
7	Nationale und internationale Zusammenarbeit	65
7.1	Nationale Zusammenarbeit	65
7.2	Internationale Zusammenarbeit.....	66
8	Kommunikation & Publikationen	67



Abkürzungsverzeichnis

MEKG	Multifunktionales Elektro-Kompakt-Grundfahrzeug. Plattform für 8t Fahrzeuge inkl. elektrischer Schnittstelle für Anbaugeräte
EEF	Ersteinsatzfahrzeug
API	Application programming interface <i>Anwendungsprogrammierschnittstelle</i>
CAD	Computer-aided design <i>Rechnerunterstütztes Konstruieren</i>
CAE	Computer-aided engineering <i>Rechnerunterstützte Entwicklung</i>
CEE	Commission on the Rules for the Approval of the Electrical Equipment <i>Internationale Kommission für die Regelung der Zulassung elektrischer Ausrüstungen</i>
GPS	Global Positioning System <i>Globales Positionsbestimmungssystem</i>
HVDU	High-Voltage Distribution Unit <i>Hochvoltverteilsystem</i>
LVDU	Low-Voltage Distribution Unit <i>Niedervoltverteilsystem</i>
SoC	State of Charge <i>Batterieladestand</i>
TCO	Total Cost of Ownership <i>Gesamtbetriebskosten (Summe der Kosten über den Produktlebenszyklus)</i>
VCU	Vehicle Control Unit <i>Fahrzeugkontrolleinheit</i>
CO ₂ -eq/CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalenz



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Das Fahrzeug, welches es zu ersetzen gilt, entspricht dem Kommunalfahrzeugtyp URS (früher VM 7000) von Meili (Abbildung 1 & Abbildung 2), welches mit Produkten von Reform, Lindner, Ladog etc. konkurriert. Folglich geht es um die 8 Tonnen Kommunalfahrzeugklasse mit einer Fahrzeugbreite von knapp 1.8 m. Technische sowie kommerzielle Herausforderungen gehen aus den hohen Leistungsanforderungen, wie beispielsweise die geforderte Steigfähigkeit, sowie auch eine angemessene Laufzeit hervor. Insbesondere soll auch den Anforderungen eines intensiven Winterdiensts Rechnung getragen werden, damit das elektrische Fahrzeug dem konventionellen in keinen Aspekten nachsteht.



Abbildung 1: URS und zukünftig URS.e, auf Basis des multifunktionalen Elektro-Kompakt-Grundfahrzeugs (MEKG)

MOTOR	VM Turbo-Diesel 6 Zylinder mit 155 PS, 500 Nm, Mittelmotor	
ABGASWERTE	EURO 6 mit Partikelfilter und SCR-Cat mit Ad-Blue-Technik ab Werk und On Bord Diagnostik (OBD)	
GEWICHT	Gesamtgewicht	7500 kg
	Nutzlast	4000 kg
MASSE	Breite	1780 mm
	Höhe	2200 mm
	Länge	4550 mm
	Achsabstand	2600 mm
	Brückenhöhe	1020 mm
KABINE	3 Plätze, kippbar getönte Panorama-Frontheizscheibe mit Defroster Kabinen-Lager mit speziellen Dämpfern und bequemem, luftgefedertem Fahrersitz Geräusch in der Kabine: 72 dB	
GESCHWINDIGKEITEN	Strasse: bis 45 km/h, Gelände: bis 12 km/h	

Abbildung 2: Technische Angaben des vergleichbaren Dieselfahrzeugs URS

Bisher waren nur elektrische Kommunalfahrzeuge in leichteren Gewichtsklassen erhältlich. Von Meili sind das der UELI.e, BEAT.e und RETO.e oder alternativ die konkurrierenden Fahrzeuge von anderen Herstellern, bspw. dem Pony 3.0 von Boschung oder Prototypen wie der MK-Reform Boki-E80. In der hier angegangenen Gewichtsklasse gibt es aber noch keine entsprechenden Entwicklungsprojekte und auch keine dazugehörigen direkt-elektrischen Anbaugeräte.

Weitere Marktbegleiter des Elektrokommunalfahrzeug-Segments, wie Alkè, ELION, Goupil, EVUM führen keine technisch ebenbürtigen Produkte. Diese fahren zwar elektrisch, können aber nur für die leichten Aufgaben eingesetzt werden und sind in diesem Sinne keine klassischen Kommunalfahrzeuge für den harten Arbeitseinsatz mit schweren Geräten, welche im Sommer wie im Winter für alle anfallenden Arbeiten geeignet sind. Auch Landwirtschaftstransporter von weiteren Herstellern werden trotz ihrer grössere Fahrzeugbreite für einen Vergleich herbeigezogen, da sie teilweise vergleichbaren Belastungen ausgesetzt werden.

Folglich wird mit diesem Projekt die Elektrifizierung eines vielseitig einsetzbaren Kommunalfahrzeugs /Geräteträgers angegangen, wovon man bisher abgesehen hat – nicht zuletzt wegen der diversen hydraulischen Schnittstellen, welche eine grosse Herausforderung darstellen.

1.2 Motivation des Projektes

Die erfolgreiche Einführung und Erprobung der erwähnten kleineren Fahrzeuge der Viktor Meili AG, zusammen mit dem stetigen technischen Fortschritt der Elektromobilitätsbranche legen den Schritt zu



schwereren Fahrzeugklassen nahe. Aus technischer Sicht ist die Elektrifizierung bezüglich der hohen technischen Anforderungen spannend, wobei diese Hand in Hand mit menschlichen Einflussfaktoren geht. Aus der Erprobung des multifunktionalen Elektro-Kompakt-Grundfahrzeug (MEKG) werden deshalb Erkenntnisse in den Bereichen der **technischen Machbarkeit**, des **wirtschaftlichen Betriebs** und der **Akzeptanz** von Nutzer / Öffentlichkeit erwartet.

Eine datenbasierte Auslegeordnung soll zeigen, ob das elektrische Fahrzeug dieser Gewichtsklasse in den Arbeitsalltag verschiedener Anwender integrieren lässt und wie der Winterdienst, bei starken Schneefällen, sichergestellt werden kann. Dazu bedarf es eine 8-10 Stunden Einsatzdauer, ohne zusätzliche Arbeitsunterbrüche, zu gewährleisten, um die Kundenzufriedenheit sicherzustellen. Dies definiert allem voran die **Batteriekapazität**, stellt aber auch Bedingungen an den **Wirkungsgrad** der elektrischen Komponenten und garantiert schlussendlich den wirtschaftlichen Betrieb des umgerüsteten Fahrzeugs. Analog zu den Anforderungen im Kommunalbereich ist auch für die Ausführung als Erst-Einsatz-Fahrzeug (EEF) eine einsatzbezogene Kapazitätsauslegung notwendig. In diesem Fall sind die Minimalbedingungen durch realitätsnahe Einsatzfälle gegeben, welche für den erfolgreichen Abschluss eines Einsatzes erfüllt werden müssen.

Neben der Erhöhung der Batteriekapazität spielt auch die geplante **DC-Schnelladeschnittstelle** eine integrale Rolle im Fahrzeugkonzept, um die Einsatzbereitschaft des Fahrzeugs durchgehend zu gewährleisten und Standzeiten im Depot optimal zu nutzen. Inwiefern diese Funktion den gewünschten Mehrwert im Betrieb oder für die Ladestrategie (unterwegs und im Depot) bringt, soll deshalb Teil der Untersuchung sein.

Die Kundenakzeptanz und weitere soziale Aspekte der Einführung eines neuen Fahrzeugs bedarf ebenfalls einer genauen Betrachtung. Ob sich die Fahrer und Betreiber (vor allem die öffentliche Hand) in den Werkhöfen davon überzeugen lassen, ihre Arbeit auf grösseren Kommunalfahrzeugen in Zukunft ebenfalls elektrisch auszuführen, wird sich zeigen. Um das Thema speziell zu beleuchten, soll die Thematik über einen längeren Zeitraum für beide Fahrzeugausführungen beobachtet und erfasst werden. Zumindest im Kommunalbereich stehen die Zeichen gut, da der Mehrwert des elektrischen Fahrens bereits im Marktsegment kleinerer Fahrzeugklassen Anklang gefunden hat. Auch die minimale Umweltverschmutzung durch reduzierte Geräuschmissionen und dem Ausschluss lokaler Schadstoffemissionen wird durch die Bevölkerung und Politik hoffentlich willkommen geheissen.

1.3 Projektziele

Eine Elektrifizierung und Neuentwicklung des MEKG soll nicht nur die technische Machbarkeit unter Beweis stellen, sondern auch Mehrwert durch Innovation für Fahrer, Betreiber, Inhaber, Fahrzeugtechniker und insbesondere auch die Bevölkerung generieren. Das neue Kommunal- und Erst-Einsatz-Fahrzeug soll somit neue Standards punkto Effizienz, Lärmemissionen und Einsatzspektrum elektrischer betriebener Kommunal- und Spezialfahrzeuge setzen. Die folgenden Grundsätze werden deshalb definiert, woraus die Projektziele direkt abgeleitet werden können.

- **Maximale Einsatzzeit:** Einerseits soll ein direktelektrischer Antriebsstrang die Rekuperation von Fahrenergie erlauben, und andererseits werden elektrische Schnittstellen für Anbaugeräte für optimierte Energienutzung während leistungsintensiven Arbeiten sorgen. Im Kommunalbetrieb soll dies einen ununterbrochenen Einsatz sicherstellen, wobei das EEF genügende Durchhaltefähigkeit bis zum Eintreffen weiterer Einsatzfahrzeuge gewährleisten muss. Eine Effizienzsteigerung von um einen Faktor grösser fünf wird angestrebt vom Diesel zum Elektrofahrzeug, gemessen an der verbrauchten Primärenergie für dieselbe Arbeit. Das Schnellladen über den Mittag (1h) soll dem Fahrzeug nach anspruchsvollen Morgenarbeiten eine rasche Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft ermöglichen.



- **Reduzierte Umweltbelastung und Komfort:** Die Berechnungen zum eingesparten CO₂-Ausstoss über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus sollen deutlich eine Minderbelastung der Umwelt aufzeigen. Weiter sollen die Lärmimmissionen auf Fahrer und Umgebung nachweislich reduziert werden, um einen Mehrwert für Betreiber und Kommunen zu schaffen.
- **Bereitschaft und Serientauglichkeit:** Elektrische Komponenten haben allgemein eine lange Lebensdauer aufgrund einer reduzierten Anzahl bewegender Teile. Zusätzlich soll mittels Überprüfung der Vibrationsbelastung die Gerätelebensdauer sichergestellt werden. Das Feedback von Pilotkunden soll genutzt werden, um Diskrepanzen in Erwartung und Realität festzustellen und für künftige Verbesserungen herbeizuführen.
- **Wirtschaftlichkeit:** Die reduzierte Komplexität, welche zu weniger aufwändigen Wartungs- und Reparaturarbeiten führt, soll bei einer Kostenrechnung über die gesamte Lebensdauer (TCO) dazu führen, dass die Kosten des MEKG nahe seinem Dieselpendant zu liegen kommen.



2 Anlagenbeschrieb

Dank der in der Vergangenheit durchgeführten Elektrifizierungsprojekte von SUNCAR und Meili ist ein beidseitiges vertieftes Verständnis der Materie (Fahrzeugarchitektur, Einsatzkriterien, Elektrifizierungsstrategien/-anforderungen etc.) vorhanden. Das interne Know-how bezüglich elektrischer Fahrzeugsysteme ist seitens Meili stetig gewachsen, wobei SUNCAR in den letzten sechs Jahren das Anforderungsprofil und die Fahrzeugarchitektur von kommunalen Arbeitsfahrzeugen immer genauer verstehen konnte.

Eine kurze Zusammenfassung der vergangenen Jahre:

- 2018 1x Prototyp "RETO.e" (Abbildung 3)
- 2019 1x Prototyp "BEAT.e"
- 2020 Verkaufsstart E-Kommunalfahrzeuge (Marktunsicherheit durch COVID19)
- 2021 **Auslieferung erster Kundenfahrzeuge**



Elektromotor mit 120 kW Spitzenleistung



Li-Ionen-Batterie mit 120 kWh Kapazität



>200 km Reichweite

Abbildung 3: Erstes batterie-elektrisches Fahrzeug von Meili RETO.e mit Basis-Spezifikationen

Trotz der engen Zusammenarbeit und dem Erfahrungsschatz, stehen mit dem nächstgrösseren Fahrzeugtyp weitere technische Herausforderungen an. Während bei der Herstellung weiterhin Wert auf höchste Qualität gelegt wird, um optimale Voraussetzungen für einen Übergang in Serienfertigung zu schaffen, muss für die Elektrifizierung vor allem auf die harschen Bedingungen des Winterdienst bei tiefen Temperaturen und hohen Leistungsanforderungen geachtet werden. Um das Leistungsprofil der Originalmaschine lückenfrei auf die elektrische Version abzubilden, wird zweiseitig zur Validierung mit den entsprechenden Anbaugeräten getestet, überwacht und ihre Daten aufgezeichnet; Alle dafür benötigten elektrischen Komponenten und eine Batterie mit angemessener Kapazität im kompakten Fahrzeug unterzubringen ist umso anspruchsvoller, da dieses genau definierten Aussenabmessung von 1780 mm Breite einhalten muss.

Das MEKG wird in der hier dokumentierten Entwicklungs- und Demonstrationsphase in zwei Ausführungen erhältlich sein, wobei möglichst viele baugleiche Teile verwendet werden sollen. Einmal in Standardausführung mit Ladebrücke, praktisch für den flexiblen Einsatz in den Kommunen, und einmal als Sonderausführung mit Feuerwehraufbau als sogenanntes "Erst-Einsatz-Fahrzeug" (EEF):

- Die **Standardausführung** des MEKG, der URS.e (Abbildung 4), kommt mit nomineller Kapazität von 120 kWh. Erweitert wird sie durch eine oder optional zwei elektrische Schnittstellen für die Verwendung von diversen elektrischen Anbaugeräten (Wassertank mit Pumpe, Schwemmanlage / Giessarm, Böschungsmäher, Schneepflug, Kran oder Schneefräse). Eine CCS-Schnelladeschnittstelle auf dem Fahrzeug ermöglicht eine maximale



Betriebsbereitschaft dank der Möglichkeit an einer stationären Ladestation mit DC-Strom zu laden (fast-charging).



Abbildung 4: Basisvariante des MEKG genannt URS.e ohne Anbaugeräte

- Als **EEF-Feuerwehrfahrzeug** (Abbildung 5 und Abbildung 6), ausgerüstet mit einem speziellen Fahrtriebsstrang und einsatzoptimierten Getriebe, kann das Fahrzeug Spitzengeschwindigkeiten von 60 km/h erreichen, um möglichst schnell am Einsatzort einzutreffen. Eine 6-Mann Kabine, zwei elektrische Löschpumpen, ein Wassertank, eine Dachleiter und diverses weiteres Material komplettieren den Aufbau.



Abbildung 5: Heckansicht der Sondervariante des MEKG als EEF (Quelle: Fachmesse Suisse Public, Juni 2023)



Abbildung 6: Frontansicht der Sondervariante des MEKG als EEF (Quelle: Fachmesse Suisse Public, Juni 2023)

2.1 Fahrzeugaufbauten

2.1.1 Systemarchitektur des dieselbetriebenen Urs (Abbildung 7)

An dem vom Dieselmotor abgehenden Verteilergetriebe wird unter anderem der **hydrostatische Fahrtriebsstrang** verbunden. Durch ein veränderbares Schluckvolumen (Fördervolumen) je



Umdrehung an den Pumpen oder Motoren wird ein stufenloses Übersetzungsverhältnis zwischen Dieselantrieb und dem zentralen Fahr-Hydraulikmotor realisiert; Dieser profitiert von hohen Momenten bei hohem Schluckvolumen (bspw. während dem Anfahren) und von tiefen Momenten aber hoher Drehzahl (nach Erreichen der Zielgeschwindigkeit). Über das Getriebe werden auch Nebenkreise für Linearaktuatoren und Anbaugeräte versorgt.

Die rotatorische Antriebe der **Anbaugeräte**, wie sie beispielsweise für eine Schneefräse oder Wasserpumpen benötigt werden, werden ebenfalls durch einen Hydraulikmotor angetrieben. Linearbewegungen, beispielsweise, um die Stellung des Böschungsmähers zu justieren, werden durch Hydraulikzylinder realisiert.

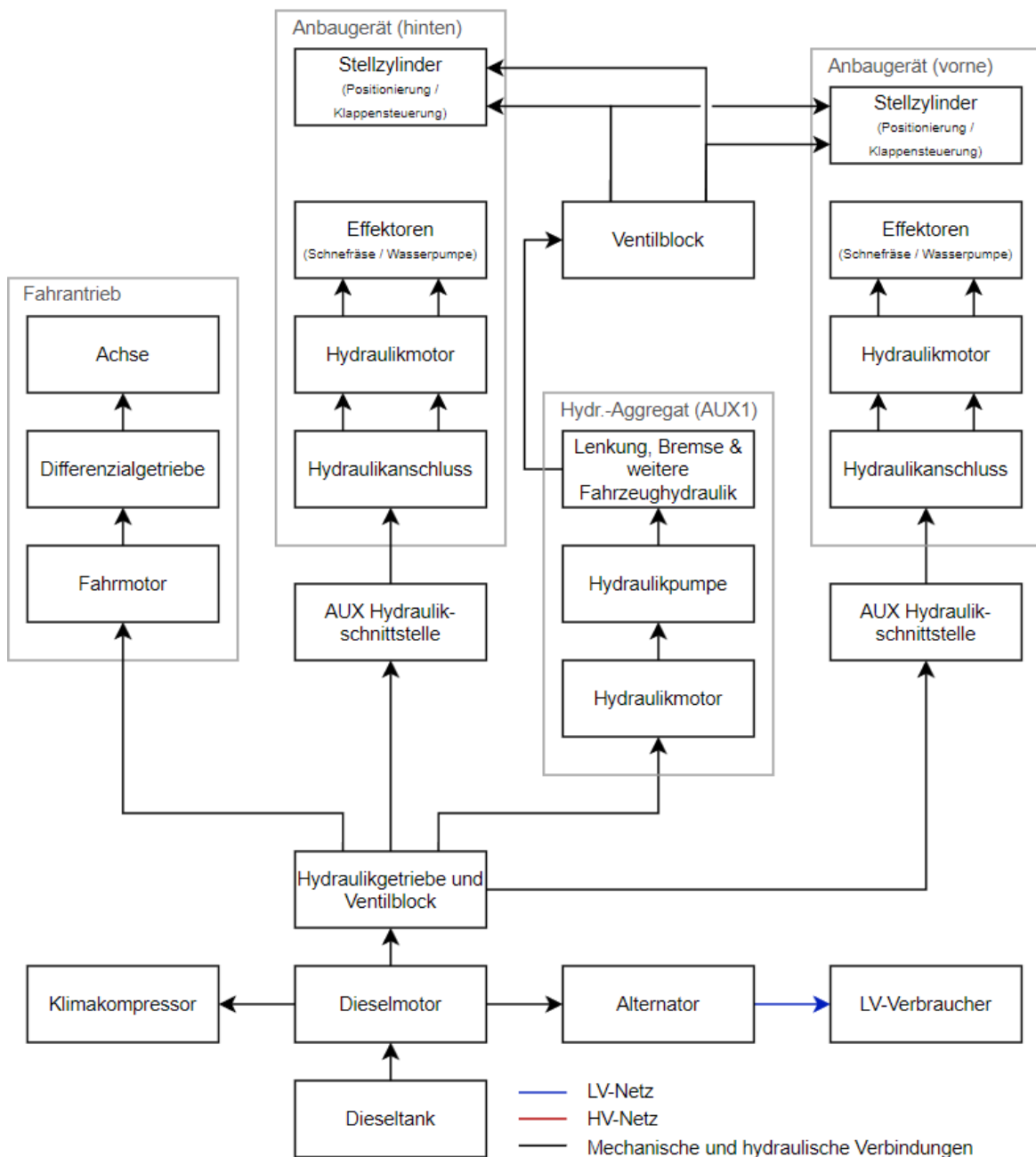


Abbildung 7: Systemdiagramm des dieselbetriebenen VM700 URS



2.1.2 Systemarchitektur des elektrischen MEKG

Im Gegensatz zum konventionellen Fahrzeug wird auf dem MEKG nicht mehr überwiegend die Hydraulik als Energievektor verwendet, sondern elektrischer Strom (vgl. Abbildung 10). Während sich die Mechanik und Hydraulik auf dem MEKG vereinfacht, wird der elektrische Aufbau bedeutend komplexer. Es wurde wo möglich auf die Produkte von SUNCAR und im Rahmen vorhergehender Meili Fahrzeuge (BEAT.e und RETO.e) erprobter Hauptkomponenten zurückgegriffen.

Im Folgenden wird auf die zentralen Komponenten des Systems kurz eingegangen:

- Bei der Auswahl der **Hochvolt-Batterie** muss auf die geforderte Entlade- und Ladeleistungen, sowie die Energiekapazität geachtet werden.
Der *Entladestrom* hängt massgeblich von der Fahr- und Arbeitsleistung ab. Hier sollen keine Abstriche im Vergleich zum dieselbetriebenen Fahrzeug gemacht werden, weshalb diese über den maximalen Lastfall der Hauptkomponenten definiert wurde: Die wichtigsten zu betrachtenden Verbraucher sind der Fahrtrieb, die Anbaugeräte und das Klimasystem. Die maximalen *Ladeströme* hängen massgeblich vom DC-Laden ab, da die Ladeleistung einer abgesetzten Säule die der On-Board Ladegeräten in der Regel übersteigt. Weiter spielt die Batteriekapazität implizit eine Rolle, da sich dadurch die C-Rate respektive der Strom pro Modul erst ergibt.
Die *Kapazität* ist vor allem abhängig von den Einsatzszenarien, welche eine Abschätzung der geforderten Arbeitsleistung und die Möglichkeiten auf kurze Ladestopps erlaubt. Daraus kann geschlussfolgert werden, wie viel Energie während den Arbeitspausen geladen werden können muss, um einen ungestörten Betrieb sicherzustellen.
Im Allgemeinen müssen stets variable Stromlimitierungen aufgrund SOC, Temperatur und Alterung berücksichtigt werden. Zudem sollte die Batterie für mobile Applikationen entwickelt worden sein, da stationäre Batterien nicht denselben Stössen und Vibrationen ausgesetzt sind.
- Die **High-Voltage Distribution Unit (HVDU)**, hier eine FUSION800M (Abbildung 8), kann einerseits Energie aus den Batterien an die verschiedenen Verbraucher weiterleiten, umgekehrt aber auch rekuperierte Energie des Fahrmotors oder Ladestrom zurück in die Batterie speisen. Weiter sorgt sie dafür, dass alle Verbraucher und Kabel mit einer einzeln ausgelegten Sicherung geschützt werden, und letztendlich überwacht sie auch kontinuierlich den Isolationswert zwischen dem Pluspol zur Fahrzeugmasse gleichermassen vom Minuspol zur Masse. Für den Fall, dass dieser den spezifizierten Grenzwert unterschreitet, wird die Batterie vom System über die Batterieschütze getrennt und somit die potenzielle Stromschlaggefahr mitigiert.



Abbildung 8: Hochvoltverteilung FUSION800M



Abbildung 9: DC-Schnellladeschnittstelle INTERFLOW500



- Die Auslegung der **Ladegeräte** gestaltet sich etwas einfacher. Nebst den üblichen Kriterien IP-Schutz und elektrischer Sicherheit kann ein Ladegerät auch bidirektional eingesetzt werden, dies ist hier aber nicht erforderlich. Die Leistung pro Gerät orientiert sich bei mobilen drei-phasen "on-board charger" in diskreten Schritten an den Netzanschlüssen CEE16, CEE32 usw. Hier wurde ein Ladegerät mit 22 kW Leistung für den Anschluss an einen CEE32 Stecker ausgewählt.
Die Anzahl der Ladegeräte ist vom Arbeitszyklus, dem Einsatzgebiet, der Infrastruktur und nicht zuletzt von der Batteriekapazität abhängig. Umso grösser die Batterie und je mehr parallele Module, desto weniger Strom fliesst pro Modul und umso weniger oft muss das Fahrzeug schnell Zwischengeladen werden, um weiterarbeiten zu können.
- Für kurze "Druckbetankungen" wird die **DC-Schnelladeschnittstelle** INTERFLOW500 (Abbildung 9) on SUNCAR eingesetzt. Diese übernimmt die Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und der externen Ladesäule, um die Parameter abzugleichen, die Bereitschaft beider Seiten sicherzustellen und schlussendlich den Stromfluss freizugeben.
- Ohne eine **Wärmepumpe** könnte die Temperierung der Batterie nicht bei allen Umgebungsbedingungen sichergestellt werden. Im Gegensatz zur Leistungselektronik bevorzugt diese nämlich Temperaturen zwischen 20 und 30 °C, weshalb eine Wärmeabgabe an die Umgebung bei sommerlichen Aussenbedingungen nicht ohne zwischengeschalteten Kältekreis sichergestellt werden kann. Auf dem MEKG kommt eine bidirektionale Wärmepumpe zum Einsatz, welche nebst dem Kühlen auch eine Umnutzung der Wärme aus der Leistungselektronik begünstigt.
- Das **hydraulische Aggregat** beschränkt sich auf dem elektrischen Fahrzeug auf die Basisfunktionen, wie Lenkung, Bremse, sowie Linearaktuatoren. Die Brücke wird beispielsweise weiterhin hydraulisch betrieben, da sich ein elektrischer Antrieb hier wegen kurzen Zyklen und geringem Energieverbrauch nicht rechnen würde. Alle rotatorischen leistungsstarken Hydraulikmotoren wurden direkt auf den Anbaugeräten durch elektrische Antriebe ersetzt, wodurch Leitungs-, Drossel- und Antriebsverluste stark verringert werden.

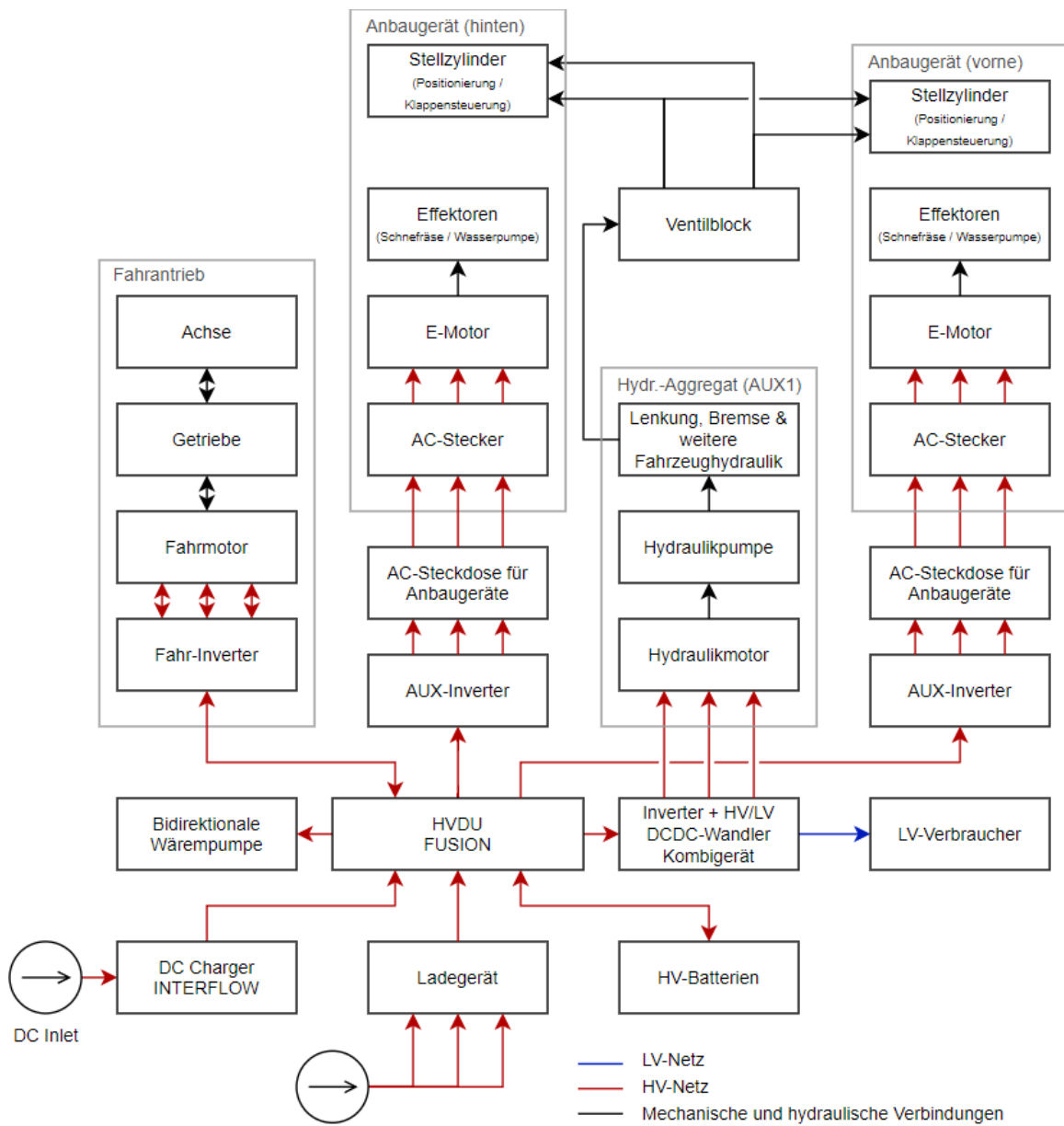


Abbildung 10: Systemdiagramm des elektrischen MEKG (Grundkonfiguration und EEF-Fahrzeug vergleichbar)



2.2 Thermomanagement auf dem elektrischen Fahrzeug

Elektrische Fahrzeuge unterscheiden sich im Aufbau des Kühlkreises von konventionellen Architekturen; Die Anzahl Komponenten, welche gekühlt werden müssen, das allgemeine Temperaturniveau ist tiefer angesetzt und es müssen mehrere Wasserkreise bei unterschiedlichen Temperaturen benötigt. Im Fall des MEKG kommt hinzu, dass für die immersionsgekühlten HV-Batterien eine Spezialflüssigkeit verwendet werden muss, da für die direkte Zellkühlung ein elektrisch nicht-leitendes (dielektrisches) Fluid auf Öl-Basis benötigt wird. Der Batterie- und Kabinenkreis ist deshalb nochmals um einen weiteren Teilkreis mit zusätzlichem Wärmetauscher ergänzt.

Im Gegensatz zum konventionellen Fahrzeug wird die Kabine nicht über einen Kältemittelkreis mit Kabinenverdampfer gekühlt, sondern ebenfalls durch das Kühlmittel. Dies reduziert die Komplexität, schliesst aber den Betriebsmodus "Entfeuchten" aus, da nach dem Abkühlen und Kondensieren der Luftfeuchtigkeit keine Wiedererwärmung, und somit Trocknung, der Luft stattfinden kann.

Die Wärmepumpe nimmt im Kühlmodus die Wärme des Batterie- und Kabinenkreises auf niedrigem Temperaturniveau auf und hebt es im Kältekreis an, damit die Wärme im Elektronikreis auf höherem Niveau abgegeben und zum Kühler geleitet und abgeführt werden kann. Im umgekehrten Betrieb wird die Wärme aus dem Elektronikreis verwendet, um die Kabine und die Batterie aufzuwärmen (Kaltstart im Winter). Für den Fall, dass nicht genügend Wärme vorhanden ist, wurde auf Wunsch des Kunden die Dieselstandheizung aus dem Originalfahrzeug übernommen, damit immer eine zufriedenstellende Temperatur erreicht werden kann. Diese ist auch als eine Art "Range Extender" zu verstehen, da bei extrem kalten Bedingungen dadurch wertvolle elektrische Energie eingespart werden kann, welche sonst in die Wärmepumpe und einen Hochvolt-Heizer verbraucht würde.

Aufgrund der ausgewählten Leistungskomponenten und den Fahr- und Arbeitsszenarien wurden die zu erwartenden Verlustleistungen bestimmt, welche über das Kühlsystem abgeführt werden müssen. Zusammen mit den im Betrieb realistischerweise herrschenden Umweltbedingungen, wurde eine entsprechende Kombination aus Kühlmittelpumpen und Kühlmittelkühler-Lüfter ausgelegt, die auch unter extremer Belastung die erforderliche Kühlleistung erbringen kann.

Die elektrischen Anbaugeräte müssen ebenfalls ausreichend gekühlt werden können. Dafür sind nebst den elektrischen Steckern auch Kühlanschlüsse mit Handabsperrhahn vorgesehen.



3 Methodik und durchgeführte Arbeiten

3.1 Vorgehen

Das Projekt kann in die Arbeitsschritte Entwicklung, Montage & Inbetriebnahme, Dokumentation & Zulassung, Erprobung Monitoring & Datenanalyse gegliedert werden.

Weiter wurden für die Entwicklung der Fahrzeuge die folgende Arbeitspakete identifiziert und abgearbeitet, um die Verantwortlichkeiten klar aufzuzeigen und einen möglichst effektiven Aufbauprozess zu ermöglichen:

- Systemauslegung (Verantwortlich: SUNCAR)
 - o Bestimmung der übergeordneten Systemarchitektur
 - Elektrischer Schnittstelle für Anbaugeräte
 - Maximierung des Antriebswirkungsgrades
 - o Auslegung des Thermomanagement-Konzepts
 - Temperierung der Batterie für Lebensdauer-Optimierung
 - Kühlung der Leistungselektronik und
 - Kabinenklimatisierung inklusive optionalem Bioethanol-Heizer für besonders kalte Wintertage
 - o Recherche und Definition der Hauptkomponenten (Batterie, Inverter, Motor, Schnellladeschnittstelle, etc.)
- Elektro (Verantwortlich: SUNCAR)
 - o Definition des Elektro-Schemas
 - o Projektierung und Erstellung Unterlagen aller Kabelbäume (HV, LV, Masse)
- Thermo (Verantwortlich: SUNCAR)
 - o Auslegung Kreisläufe und Definition Thermo-Schema unter Berücksichtigung maximaler Effizienz (Synergien zwischen Kreisläufen)
 - o Planung und Steuerung der Thermoeinheit
- Software (Verantwortlich: SUNCAR)
 - o Programmierung der gesamter Fahrzeugsteuerung
 - o Integration aller Benutzerschnittstelle
 - o Schnittstelle zum Remote System INSIGHT
- Konstruktion und Montage (Verantwortlich: Meili)
- Positionierung aller Komponenten (Packaging)
 - o Konstruktion Befestigungselemente, sowie von neuen Baugruppen (Batterien, Leistungselektronik, Thermomanagementsystem, etc.)
- Projektmanagement (Verantwortlich: SUNCAR)
 - o Materialbeschaffung (SUNCAR Systeme)
 - o Zeitplanung und Ressourcenmanagement
 - o Technische Projektleitung



Die für den Systemverbund benötigten Komponenten werden anhand der geforderten Anforderungsprofilen selektiert und in der Systemauslegung zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem zusammengeführt. Anhand dieser Systemauslegung werden die einzelnen Teilbereiche (Konstruktion, Elektro, Thermo und Software) ausgearbeitet. Viele dieser Arbeitspakete müssen sequenziell abgearbeitet werden, da Abhängigkeiten vom jeweiligen Fortschritt bestehen.

3.1.1 Elektrische Schnittstelle für Anbaugeräte

Die Systemauslegung umfasst die Entwicklung einer elektrischen Schnittstelle (Abbildung 11) für Anbaugeräte wie sie bspw. in Abbildung 12 und Abbildung 13 zu sehen sind. Geeignete Anbaugeräte, vor allem solche mit rotatorischem Antrieb, wie beispielsweise eine Wasserpumpe, Mäher sowie Fräsen können so in Zukunft auch direkt elektrisch angetrieben werden. Die Integration dieser neuartigen Anbaugeräte ermöglicht eine zusätzliche Minderung des Energieverbrauchs durch erhöhte Effizienz. Die Anbaugeräte selbst können zusätzlich anwendungsspezifisch optimal betrieben werden, da sich der drehmomentstarke Drehzahlbereich des Elektromotors nicht nur auf einen kleinen Bereich seines Geschwindigkeitsspektrums beschränkt, wies dies beim Dieselmotor der Fall ist. Des Weiteren ermöglichen die Benutzer- und IoT-Schnittstellen dem Betreiber seine Geräte auf dem MEKG optimal einzusetzen und zu warten.

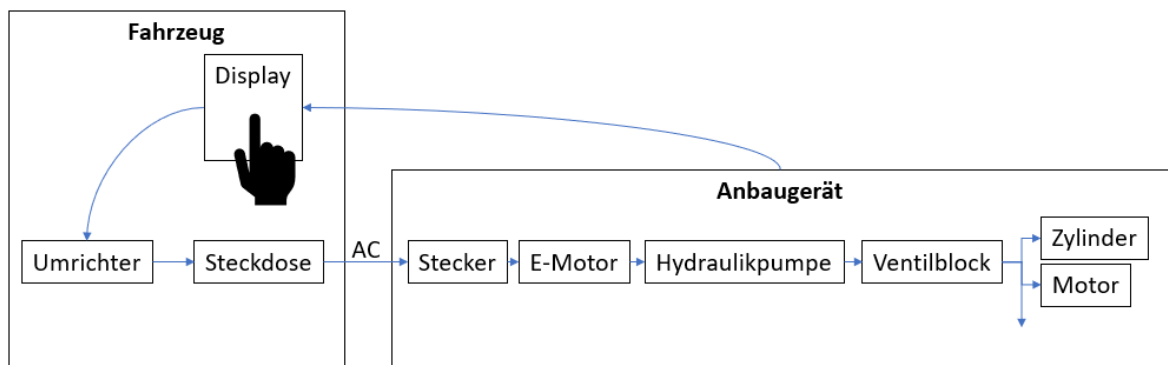


Abbildung 11: Konzeptbeispiel AC-Schnittstelle für Anbaugeräte mit grösserer hydraulischer Leistungsaufnahme



Abbildung 12: Anbaugeräte zum MEKG



Abbildung 13: Mit Salzstreuer und Pflug für den Winterdienst

3.1.2 Maximierung des Antriebswirkungsgrades

Die Steigerung des Gesamtwirkungsgrades ist entscheidend für den wirtschaftlichen Fahrzeugbetrieb. Dabei wird im Gegensatz zu simpleren Elektrifizierungsansätzen nicht nur der Verbrennungsmotor



durch einen Elektrischen ersetzt, sondern eine ganzheitlich Überarbeitung angestrebt. Diese erlaubt es vorteilhafte Synergien zu schaffen und die Bauteile optimal miteinander zu verketten. Eine besondere Innovation diesbezüglich ist der eigens für dieses Fahrzeug ausgelegte direkt-elektrischen Antriebsstrang, welcher im Hause Meili gefertigt wird. Das Resultat: ein effizientes Leichtlaufgetriebe mit eigenen Achsen (Abbildung 14 & Abbildung 15), für minimale Verluste und mehr Leistung für Arbeitsgeräte, um den Arbeitstag ohne zusätzliche Ladepausen durchzustehen.



Abbildung 14: Beispiel eigengefertigter Standard- Antriebsachsen und -systeme mit Kardanwelle, Planetengetriebe und Tellerrad

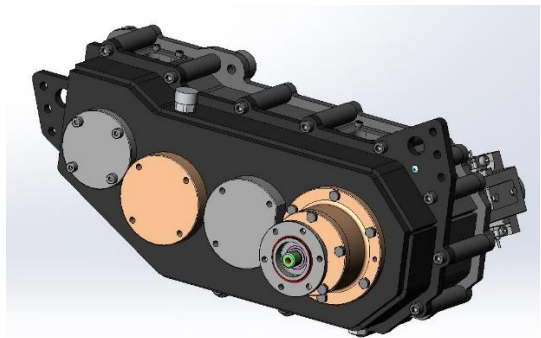


Abbildung 15: Technisches Schaubild eines Stirnrad-Getriebe (4-stufig) für elektrischen Fahrentrieb

3.1.3 Montage & Inbetriebnahme

Um möglichst zeitnahe Validierung der Auslegung zu ermöglichen, wurden die zwei mit unterschiedlichen Aufbauten ausgestatteten Prototypenfahrzeuge direkt nacheinander vorbereitet und aufgebaut. Die Aufbereitung aller relevanten Unterlagen (Technische Zeichnungen, Elektroschema, Schema Thermomanagement, etc.) wurden vorderhand in den Entwicklungsteams erstellt. In einem nächsten Schritt folgte die Inbetriebnahme. Die entsprechende Expertise im Umgang mit Hochvoltssystemen bringen SUNCAR und inzwischen auch Meili selbst mit. Bevor es für erste Tests auf die Strasse geht, werden diverse Software- und Kommunikationstests in der Werkstatt und im Testgelände durchgeführt.

3.1.4 Zulassung & Dokumentation

Meili ist Fahrzeug- und Maschinenhersteller und hat jahrelange Erfahrung und Expertise in fahrzeugspezifischer Dokumentation und den notwendigen Zulassungen für die relevanten Märkte (vor allem Schweiz). Darauf aufbauend wird sowohl während der Entwicklung wie auch bei der Montage gezielt auf eine erfolgreiche Zulassung des Fahrzeugs gearbeitet. Die Grundlage dazu bietet die Umsetzung der vorgeschriebenen Einbauerklärungen, die Einhaltung aller Massnahmen, welche aus Risikoanalyse resultieren, EMV-Messungen, Garantie einer angemessenen funktionalen Sicherheit (FuSi), sowie die Beurteilung der elektrischen Sicherheit eines batterie-elektrischen Fahrzeugs.

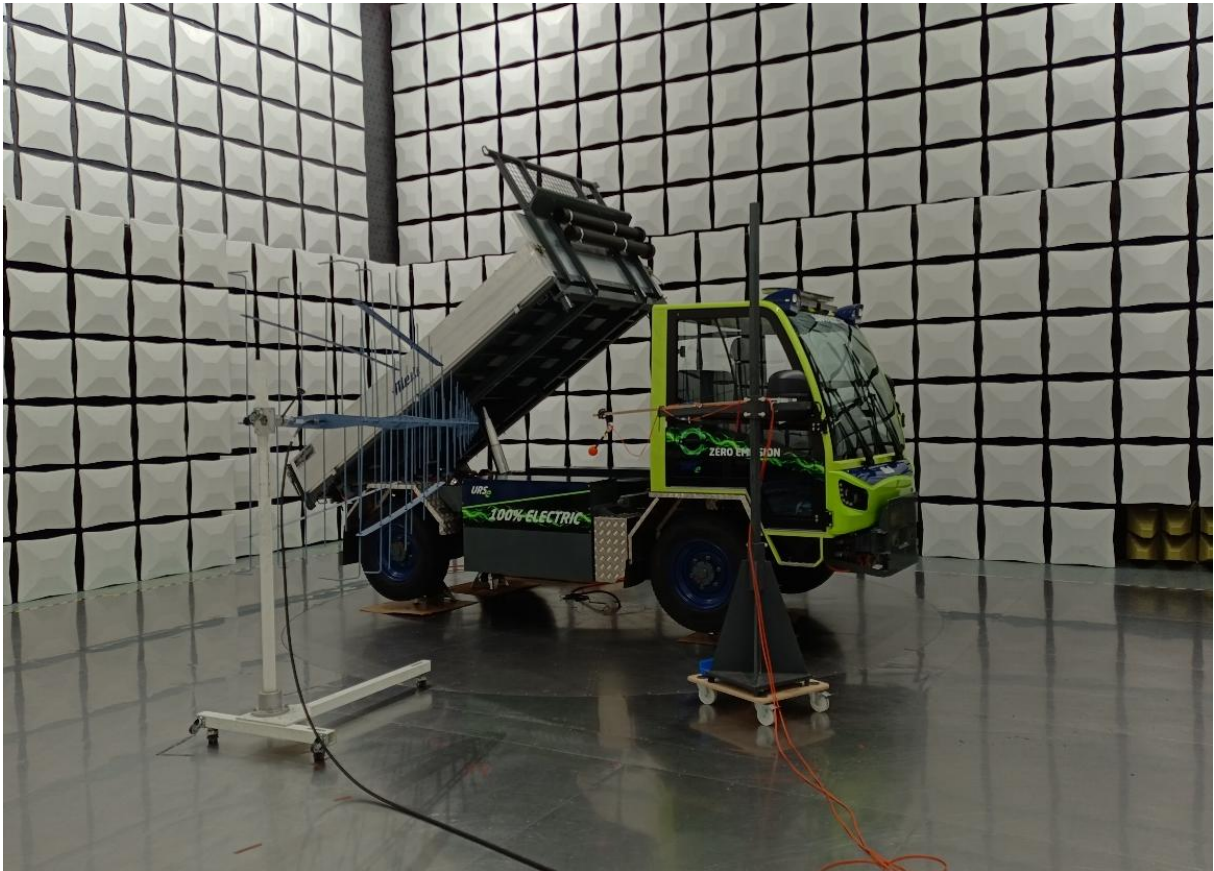


Abbildung 16: EMV-Messungen am ersten Prototyp (URS.e) im Prüflabor

3.2 Entwicklung

In diesem Abschnitt werden einige Aspekte des Entwicklungsprozesses hervorgehoben, um Einblicke in die wichtigsten Themen zu geben.

3.2.1 Auswahl Antriebsmotor und Auslegung Getriebe

Anhand des Anforderungsprofils (Steigfähigkeit, Maximalgeschwindigkeit, Beschleunigung, etc.), sowie gesammelter Erfahrungen aus vorhergehenden Elektrifizierungsprojekten, wurden Motoren verschiedener Hersteller recherchiert, angefragt und nach festgelegten Kriterien bewertet. Die selektierten Antriebe wurde im Anschluss mit einer geeigneten Getriebeübersetzung kombiniert, um das resultierende Drehmoment, respektive die Abtriebs-Drehzahl zu beurteilen.

Die resultierenden Daten wurden in einem Zugkraft-Leistungs-Diagramm zusammengefasst und mit den vorhandenen Daten des Dieselantriebes verglichen, um sicherzustellen, dass der neue Antrieb alle relevanten Betriebspunkte vollständig abdecken kann. Schlussendlich wurde entschieden, einen Antriebsstrang eines internationalen Herstellers zu wählen, und in die neuen Fahrzeuge zu integrieren, da seine Spezifikationen den definierten Anforderungen entspricht und kommerziell attraktiv ist.

Die Antriebsachsen wurde für das schwerere elektrisch angetriebene Grundfahrzeug nochmals neu überarbeitet (Abbildung 17). Auch das Übersetzungsverhältnis musste aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an die Geschwindigkeit in zwei Ausführungen gebaut werden (Abbildung 18). Die



Abbildung 17: Eigengefertigte, neue Antriebsachsen und -systeme mit optimierten Getriebestufen für elektrische Motoren



Abbildung 18: Einblick in das Gehäuse bzw. die Montage des Stirnrad-Getriebe für den elektrischen Fahrtrieb

hochdrehenden Elektromotoren, sind für die Getriebeauslegung eine zusätzliche Herausforderung, hinsichtlich der Lebensdauer, Geräusentwicklung und Kühlung.

3.2.2 Konstruktion

Die Erfahrung aus vorhergehenden kleineren Elektrofahrzeugen ermöglichte eine optimierte Platzierung der ausgewählten HV- und Thermokomponenten bezüglich des Platzbedarfs und der Zugänglichkeit. So können bereits die Prototypen seriennahe aufgebaut werden, was die Wartung und Nutzung der beiden Prototypen-Fahrzeuge während ihrer Lebensdauer vereinfacht.

Je grösser und schwerer die Kommunalfahrzeuge sind, desto kleiner sind die Anforderungen an Vibrationen und Stössen. Deshalb werden keine neuen Herausforderungen auf der MEKG Plattform auf Basis der Erkenntnisse vom kleinsten Fahrzeug BEAT.e erwartet.

3.2.3 Elektroschema

Die elektrische Verschaltung der ausgewählten Komponenten für den batterie-elektrischen Fahrtrieb wurde gemäss den Herstellervorgaben zuerst in ein Elektroschema zusammengefasst und danach zu einem Kabelbaum inklusive Fertigungsunterlagen verarbeitet (Abbildung 19). Dazu werden Niedervolt- sowie Hochvoltkabel dimensioniert, verlegt und konfektioniert. Im Hochvoltbereich werden bei Steckverbindungen auf spezialisierte Lieferanten mit entsprechenden Prüfeinrichtungen zurückgegriffen.

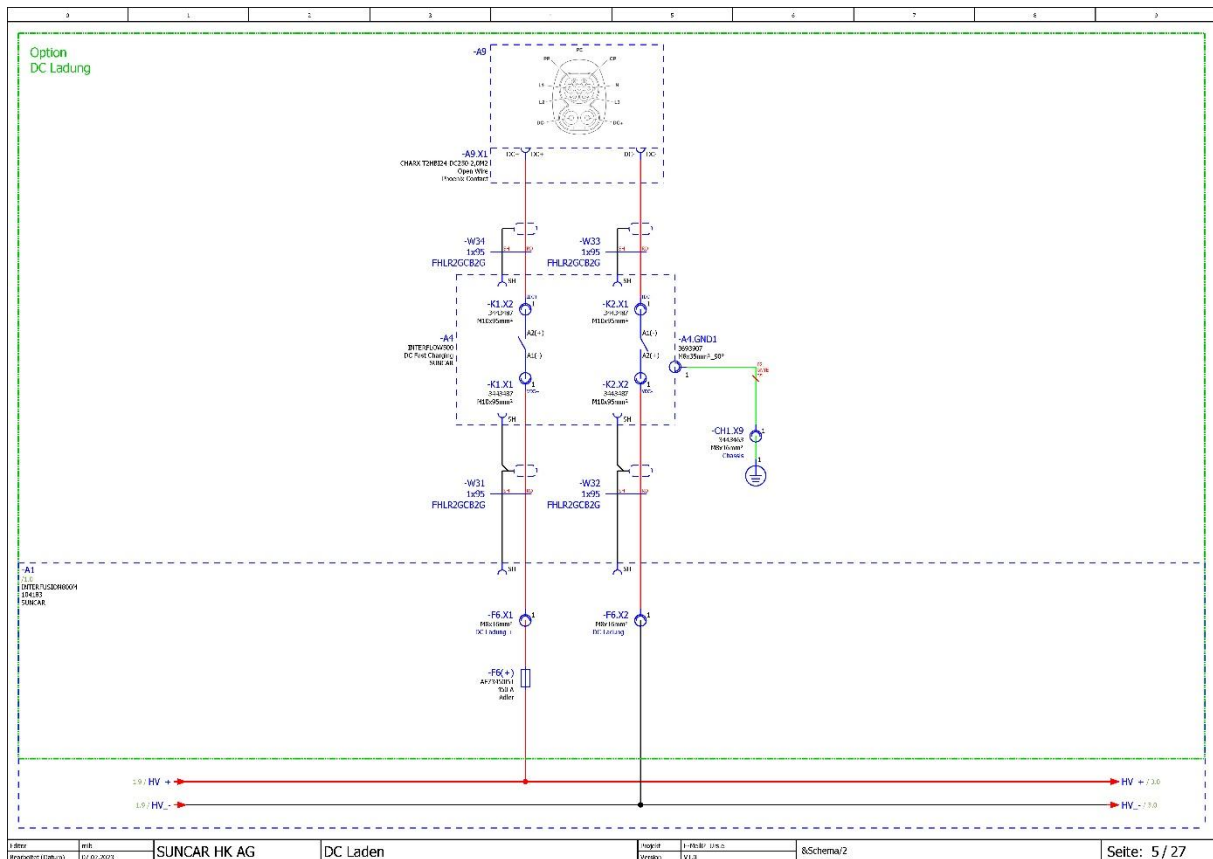


Abbildung 19: Auszug aus dem Elektroschema

3.2.4 Software

Die Softwareplattform von den bestehenden elektrischen Fahrzeugen kann als Grundlage für den MEKG genommen werden. Die bereits erfolgreich genutzte Softwarearchitektur, bzw. Trennung der Steuerungsaufgaben in zwei Steuergeräte und ein Display wurde auch für den MEKG beibehalten.

Dies lässt sich in folgende Substeuersysteme unterteilen:

- Eine modifizierte Version der Standardsteuerung, die auch in den Dieselfahrzeugen zum Einsatz kommt, übernimmt alle Fahrzeugfunktionen (z.B. Licht, Scheibenwischer, Hydraulik- und Fahrwerksansteuerung).
- Eine zusätzliche Steuerung, von SUNCAR programmiert, steuert und regelt alle Komponenten für den elektrischen Antriebsstrang. Dabei ersetzt es die klassischen Funktionen, die früher vom Motorensteuergerät übernommen wurden und ergänzt diese mit den zusätzlichen Funktionalitäten die spezifisch für den elektrischen Antriebsstrang nötig sind.
- Eine angepasste Software der Standardausführung des Fahrzeugdisplay übernimmt die Schnittstelle zum Fahrer bzw. Bediener. Hier werden vor allem neue Informationen zu den wichtigsten Hauptkomponenten wie Batterie, Antrieb und Ladegerät dargestellt. Sowie bietet das Display in Kombination mit weiteren Bedienfelder auch Steuerungsmöglichkeiten wie die Einstellung des Ladestroms, Auswahl des Anbaugeräts etc. einen ersten schnellen Einblick in das Error-Handling.

Dies hat den Vorteil das für den Fahrer praktisch kaum ein Unterschied in der Bedienung des Fahrzeugs mit einem Diesel bzw. elektrischer Antriebslösung bemerkbar ist, und nicht die komplette vorhandene und über Jahre geprüfte und optimierte Software ersetzt werden muss.



Im Rahmen dieses Projekts wurden wesentliche Fortschritte erzielt, die aufzeigen, wie komplexe Softwarelösungen zur Optimierung von Lade- und Antriebssystemen beitragen können. Dabei standen nicht nur Funktionalität und Effizienz im Fokus, sondern auch die Lösung spezifischer technischer Herausforderungen, die sich aus den besonderen Anforderungen im Betriebsalltag ergeben.

Optimierung der Ladestrategien

Ein zentraler Bestandteil des Projekts ist die Weiterentwicklung der Ladestrategien und der damit verbundenen Bedienungsstrategien:

- Bedienungsstrategie für OBC/DC-Ladung:
 - o Entwicklung eines Mechanismus zur Verriegelung und Entriegelung des Ladeanschlusses, um den Ladeprozess gegen Vandalismus und Sabotage zu schützen
 - o Definition klarer Bedingungen für den Ladebeginn, die ein robustes und anwenderfreundliches Verhalten sicherstellen
- Integration neuer Komponenten:
 - o Einbindung des neuen on-board AC-Ladegeräts sowie der neuen DC-Ladesteuerung in die bestehende Architektur
- Kompatibilitätstests mit DC-Ladesäulen:
 - o Durchführung umfassender Tests mit verschiedenen Ladesäulen, um die Funktionsfähigkeit und Interoperabilität der Ladehardware sicherzustellen

Weiterentwicklung des Antriebssystems

Ein weiterer Fokus liegt auf der Verbesserung des Antriebssystems, insbesondere der Integration des neuen Fahrtrieb-Inverters:

- Schwingungsdämpfung der Drehzahl:
 - o Intensive Tests haben gezeigt, dass im System Motor/Getriebe/Fahrzeug Schwingungsphänomene auftreten, die zu einem Aufschaukeln der Regelung führen. Ziel ist es, diese Schwingungen durch optimierte Regelstrategien zu eliminieren
- Thermische Herausforderungen bei niedrigen Drehzahlen:
 - o Bei sehr niedrigen Drehzahlen (z. B. unter 30 U/min) kam es zu Überhitzungsproblemen des Inverters, insbesondere beim Anfahren oder Halten am Hang. Dazu mussten Lösungsmassnahmen zusammen mit dem Hersteller erarbeitet werden
 - Anpassung der Steuerung, um eine gleichmässige Belastung der Inverter-Halbbrücken sicherzustellen
 - Reduktion der Schaltfrequenz bei niedrigen Drehzahlen zur Minimierung der Schaltverluste

Anpassungen für Nebenantriebe und Betrieb während des Ladens

Zusätzliche Anpassungen zielen darauf ab, die Nebenantriebe (z. B. Pumpensteuerung) effizient in die Fahrzeugarchitektur zu integrieren:

- Externe Ansteuerung von Nebenantrieben:
 - o Entwicklung und Integration einer CAN-Schnittstelle zur Steuerung externer Aggregate, etwa für die Pumpensteuerung.
- Steuerungsstrategie für Nebenantriebe im Stillstand:



- Sicherstellung, dass Nebenantriebe auch während des Ladevorgangs und im Standbetrieb verfügbar sind, um eine optimale Einsatzbereitschaft zu gewährleisten.

Die genannten Massnahmen bilden die Grundlage für die Entwicklung eines modernen und robusten Systems, das die Herausforderungen der Elektrifizierung im Kommunalfahrzeug adressiert. Durch gezielte Tests und die Integration innovativer Technologien wird das Fahrzeug nicht nur technisch leistungsfähiger, sondern auch zukunftsfähig in Bezug auf Nachhaltigkeit und Effizienz.

3.3 Montage & Inbetriebnahme

Die beiden Fahrzeuge wurden schrittweise bei Meili montiert und in Betrieb genommen. Das Chassis konstruktiv überarbeitet und in neuem Stahlbau (Abbildung 20). Danach folgt die Montage aller Komponenten, der Karosserie und Kabine. Während der Montage war das EEF für den Sonderaufbau mehrere Male bei dem Karosseriebau von Firma Rusterholz, um den geplanten Aufbau der Wasserpumpen, der Doppelkabine und des Aufbaus für das Material zu prüfen, und etwaige Unstimmigkeiten frühzeitig zu beheben.

Parallel dazu wurden von Meili die Kabelbäume und die gesamte Elektrik im Standard-Prozess, wie auch bei den anderen E-Fahrzeugen bzw. den Dieselfahrzeugen gefertigt und verbaut (Abbildung 21). Da dies bereits sehr eingespielt ist, ist es hier zu keinen grösseren Überraschungen gekommen.

Die Inbetriebnahme des Fahrzeuges erfolgte durch SUNCAR. Vor dem ersten Zuschalten des Batteriesystems werden Isolations- und Massemessungen durchgeführt. Die Anpassungen in der Software, die sich aus der veränderten Komponentenauswahl und den Weiterentwicklungen ergeben hat (z.B. DC-Schnellladen) wurden direkt am Fahrzeug, ohne separaten Systemprüfstand, validiert. Die einzelnen Softwarebausteine (aus der SUNCAR Bibliothek) werden vorgängig auf eigenen Prüfständen entwickelt und vorvalidiert.

Die DC-Schnelladeschnittstelle wurde mit einem mobilen Ladestation mit begrenzter Leistung getestet, um sicherzustellen, dass die Kommunikationsschnittstelle ordnungsgemäss funktioniert.

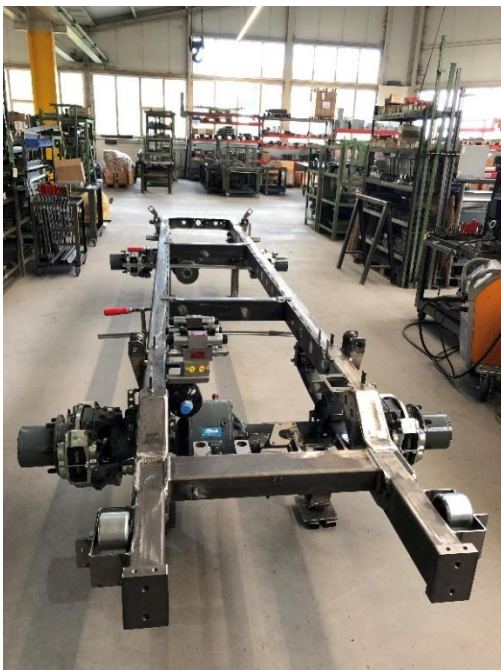


Abbildung 20: Chassis des MEKG im Stahlbau

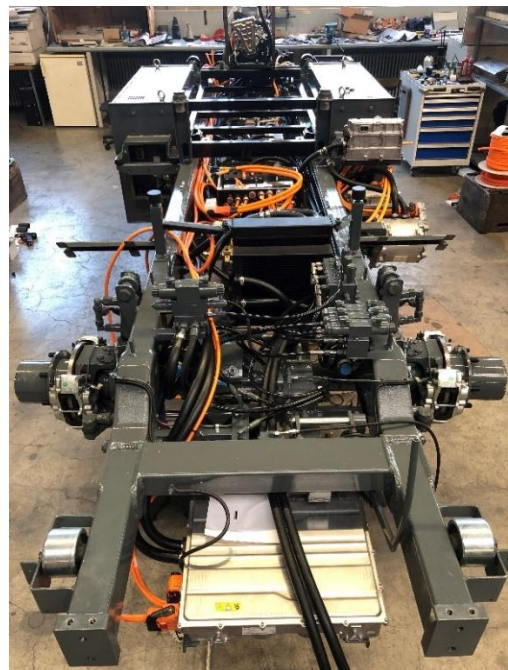


Abbildung 21: Montagestart des Chassis vom MEKG



Die Zusatzgeräte wie die Hochleistungs-Wasserpumpen der Sondervariante EEF wurden bei einer separaten Inbetriebnahme zusammen mit dem Softwareentwickler von Rusterholz getestet. Rusterholz verbaut für die Steuerung der Funktionen auf dem Aufbau (Pumpen, Wasserventile etc.) ein eigenes Steuergerät. Hier waren grössere Anpassungen an der Software auf beiden Seiten nötig, um einen sicheren Betrieb der Pumpen von dieser externen Signalquelle zu ermöglichen.

Nach Abschluss der Inbetriebnahmen wurde beide Fahrzeuge durch Meili und nachfolgend der Zulassungsstelle den erforderlichen Prüfungen unterzogen und erhielten daraufhin ihre Strassenzulassung vom zuständigen Strassenverkehrsamt.



3.4 Messkonzept

3.4.1 Ziele

Anhand von Messungen und Berechnungen in der Erprobungsphase werden die folgenden Ziele überprüft, welche im Grunde genommen die Projektziele widerspiegeln. Die in Abschnitt 3.4.3 beschriebene Messmethodik betreffend (A) Verbrauchsmessungen und Effizienzberechnungen, (B) Wirtschaftlichkeits- und Emissionsberechnungen, (C) Lärmmessungen und (D) Vibrationsmessungen wird zur Überprüfung der Ziele verwendet.

1. Vom konventionellen zum elektrischen Fahrzeug (MEKG) soll eine **Effizienzsteigerung** um einen **Faktor grösser fünf** nach Messmethodik (A) erreicht werden.
2. Die Verringerung der **Lärm-** und **Vibrationseinwirkung** auf Fahrer und die Umgebung soll anhand der Messungen (C) und (D) während verschiedener Betriebszustände messbar verringert werden.
3. Während der Erprobungsphase soll mit Pilotkunden die technische **Serientauglichkeit** beurteilt und anhand der Resultate aus (C) und (D) die **Konformität** mit geltenden **gesetzlichen** und **komponentenseitigen Anforderungen** überprüft.
4. Basierend auf den Messungen (A) und (B) soll der **TCO** eines seriengefertigten MEKG nahe dem des Dieseläquivalents zu liegen kommen, wobei auch CO₂-Zertifikate miteinbezogen und externalisierte Kosten diskutiert werden sollen.

3.4.2 Messobjekte

Die Messungen werden an folgenden Fahrzeugen durchgeführt

- Dieselfahrzeug URS (Basisvariante)
- Elektrischer Prototyp: URS.e basierend auf dem MEKG
- Elektrischer Prototyp: EEF basierend auf dem MEKG

3.4.3 Methodik

A) Verbrauchsmessungen und Effizienzberechnung

Messmethodik

Das Erfassen der Messdaten über die gesamte Betriebszeit erfolgt durch das firmeneigene Remote System "INSIGHT". Zu den aufgezeichneten Werten gehören elektrische Leistungsdaten, Einsatzzeiten, thermische Daten, sowie bei entsprechender Anbindung hydraulische Daten.

Die Effizienz der Fahrzeuge wird anhand der über die Fahrzeug-Systemgrenze eingebrachten chemischen (E_{chem}) oder elektrischen Energie ($E_{charged}$) und der für beide Fahrzeuge gleichbleibenden geleisteten Arbeit (W) berechnet.

$$E_{charged} = \frac{\int P_{B,out} dt - \int P_{B,in} dt}{\eta_B} \cdot \frac{1}{\eta_{charger}} = \frac{E_{B,out} - E_{B,in}}{\eta_B \cdot \eta_{charger}} \quad (1)$$

$$\eta_{tot,el} = \frac{W}{E_{charged}} \quad (2)$$

$$\eta_{tot,diesel} = \frac{W}{E_{chem}} = \frac{W}{m_D \cdot H_{l,D}} \quad (3)$$



$$\rightarrow \eta_{steigerung} = \frac{\eta_{tot,el}}{\eta_{tot,diesel}} = \frac{m_D \cdot H_{l,D}}{\frac{E_{B,out} - E_{B,in}}{\eta_B \cdot \eta_{charger}}} \quad (4)$$

Bei der herkömmlichen Maschine wird die zugeführte Energie direkt über den verbrauchten Treibstoff (m_D), welcher über das Motorsteuergerät ausgelesen werden kann, und den unteren Heizwert von Diesel ($H_{l,D} = 10 \text{ kWh/l}$) ermittelt. Für die beiden elektrischen Fahrzeuge werden die Daten über die Remoteschnittstelle INSIGHT ausgelesen. Die von der Batterie abgegebene elektrische Leistung ($P_{B,out}$) sowie die beim Bremsen rekuperierte Leistung ($P_{B,in}$) wird dabei noch mit einer Batterie "round-trip efficiency" (η_B) sowie der Effizienz des Ladegeräts ($\eta_{charger}$) multipliziert, um den Batterieverlusten und Ladeverlusten Rechnung zu tragen.

Einsatzprofile und Einflussgrößen

Abbildung 22 zeigt anhand vier Säulen die vordefinierten anwendungsnahen Szenarien, welche aus verschiedenen Arbeitsschritten zusammengesetzt sind. Basierend auf den Verbrauchsmessungen und Effizienzrechnung sollen daraus generische Lastfälle und deren stündlicher Energieverbrauch ermittelt werden. Dies kann im Anschluss dazu verwendet werden, um Tagespläne nach Belieben zusammenzustellen, die vielseitigen Einsatzfähigkeiten unter Beweis zu stellen und Ladepausen clever einzuplanen.

Die Tagesszenarien sollen zudem als Vergleichsbasis für die verschiedenen Fahrzeugtypen dienen. Anzumerken ist, dass für den Lösch- und Strassenreinigungseinsatz eine laufende Klimaanlage vorgesehen ist, wobei während den beiden Winterszenarien geheizt werden soll.

Die Laufzeit des elektrischen Kommunalfahrzeugs allgemein stärker von diversen Umwelteinflüssen abhängig. Beispielsweise verursachen aussergewöhnlich hohe oder tiefe Umgebungstemperaturen einen Mehrverbrauch, da die Heizung oder Klimaanlage für ein aktives Thermomanagement genutzt wird. Dies stellt den mit Abstand grössten Nebenverbrauch dar. Weiter sind auch angeschaltete Scheinwerfer bei Dunkelheit und das lautstarke Radiohören über längere Zeit nicht zu vernachlässigen.

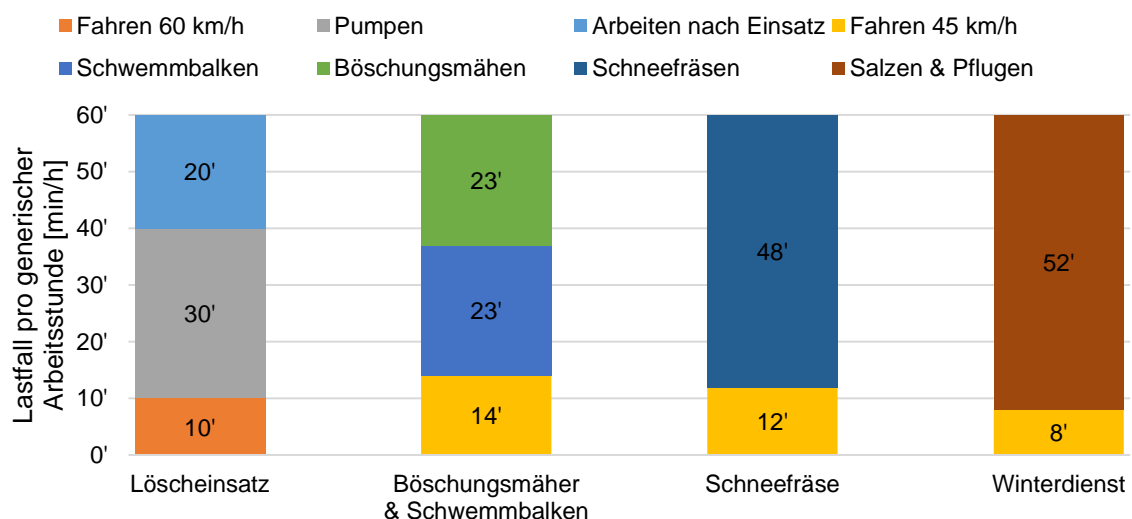


Abbildung 22: Betriebszeiten der einzelnen Tätigkeiten innerhalb der generischen Stunde für die vier definierten Lastfälle

Messparameter und Frequenz

- Elektrische Leistung ab Batterie / Dieserverbrauch, max. 1 Hz



- Drehmoment & Drehzahl (=Leistung), max. 1 Hz
- Temperatur, max. 0.02 Hz
- Relevante Komponenten
 - o Batterie
 - o Antriebe (Motoren, Inverter, Getriebe)
 - o Ladegerät
 - o Nebenverbraucher (DCDC-Wandler, Klima, Heizung)

Erfolgsfaktoren

In der Entwicklung wurden mehrere Massnahmen ergriffen, um die Effizienz weiter zu optimieren; Ein batterie-elektrischer Antrieb ist ein Garant für die Erhöhung des Wirkungsgrades. Mittels den Tagesszenarien kann die Maschine nebst praktischer Tests auch theoretisch auf ihre Einsatzfähigkeit bezüglich Energiekapazität überprüft werden, wobei sich allfällige Ladezeiten zwischen den Arbeiten nicht negativ auf den Arbeitsfluss auswirken dürfen. Die Erfassung der Ladeleistung unter realistischen Einsatzbedingungen (bspw. 0.5 h Vormittag, 1 h über Mittag und Vollladung über die Nacht oder Schnellladung über Mittag) soll zusammen mit den aufgezeichneten Beispieltagen die Einsatzfähigkeit ohne Leistungsabstriche unter Beweis stellen.

B) Wirtschaftlichkeits- und Emissionsberechnungen

Berechnungsstrategie

Die Kosten- und Emissionsberechnungen werden in zwei Abschnitte unterteilt:

- Herstellung und Förderung von Batterie und elektrischer Energie
- Betrieb der Maschine während einer Maschinentypischen Lebensdauer

Messdaten und Berechnungsgrundlagen

Als Dateninput werden die Treibstoff- respektive Energieverbrauchsmessungen, gemäss Messkonzept (A), benützt, um die Betriebskosten und den CO₂-Ausstoss für die drei verschiedenen Fahrzeugausführungen während vordefinierten Arbeitstagen zu bestimmen.

Der direkte CO₂-Ausstoss bei der Dieselmachine wird von der Norm EN 16258 übernommen, welche eine well-to-wheel Emission von 3.24 kg_{CO2}/l_{Diesel}¹ veranschlagt.

Die Emissionen der verbauten Batteriekapazität wird in der Herstellung der Elektrofahrzeuge mit 100 kg_{CO2-eq}/kWh_{Li-Ion-Kapazität}² berechnet. Der in die Batterie gespiesene Strom muss abhängig vom Strommix betrachtet werden: Für den durchschnittlichen Verbraucher-Mix in der Schweiz wird mit 0.128 kg_{CO2-eq}/kWh_{el}³ gerechnet, für jenen aus rein erneuerbaren Quellen 0.013 kg_{CO2-eq}/kWh_{el}⁴ und für ein Szenario, in welchem der Strom aus lokaler PV-Produktion stammt (chinesische Panel-Produktion) wird ein Wert von 0.043 kg_{CO2-eq}/kWh_{el} benützt. Die Klimabelastung der elektrischen Fahrzeuge gegenüber dem Original sollen mittels zusätzlich benützten Materials und Komponenten approximiert werden.

¹ <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-16258/152888035>

² ivl (Erik Emilsson, Lisbeth Dahllöf): Lithium-Ion Vehicle Battery Production - Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling <https://www.ivl.se/english/ivl/publications/publications/lithium-ion-vehicle-battery-production----status-2019-on-energy-use-co2-emissions-use-of-metals-products-environmental-footprint-and-recycling.html>

³ https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/726-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2018-v2.01.pdf, (16.10.2024)

⁴ https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/589-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2014-v3.0.pdf, (16.10.2024)



Einflussgrößen

Abhängig vom gewählten und bezogenen Strommix, welcher für das Laden des elektrischen Fahrzeugs verwendet wird, variieren die über die Lebensdauer verursachten CO_{2-eq} Emissionen. Weiter beeinflusst das Einsatzspektrum die über die Lebensdauer anfallenden Energiekosten und CO_{2-eq} Emissionen massgeblich.

Durch die grosse Menge an elektrischer- und chemischer Energie, welche die Fahrzeuge über ihre Lebensdauer verbrauchen, haben die Strom- und Treibstoffpreise einen grossen Einfluss auf ihre Wirtschaftlichkeit. Die jüngsten Entwicklungen zeigten zudem wieder die Volatilität der Energiepreise abhängig vom Weltgeschehen auf. Für die Gegenüberstellung der beiden Fahrzeugtypen werden deshalb unterschiedliche Treibstoff- und Stromkostenszenarios betrachtet.

Die Materialkosten (bspw. Batterie, diverse Antriebe, Thermosystem) für die Umrüstung der Dieselmotors für den elektrischen Betrieb werden nach Abschluss des Einkaufs erfasst und analysiert, da unter anderem die Li-Ionen Akku Preise stark in Bewegung sind. Eine weitere Kostensenkung des elektrischen Fahrzeugs ist durch den Verkauf von CO₂-Zertifikaten möglich.

Erfolgsfaktoren

Die Batterieelektrischen Fahrzeuge sollen über ihre Lebensdauer keine Mehrkosten im Vergleich zu einer herkömmlichen Dieselmotors verursachen – Vergleich der TCOs. Dasselbe gilt für den Ausstoss von CO₂-Äquivalent von der Produktion über die Betriebsdauer der Maschine.

C) Lärmmessungen

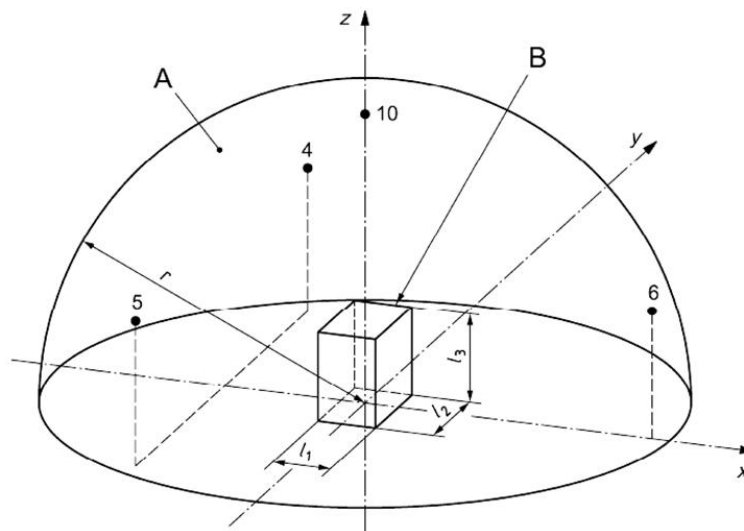
Messmethodik

- Messung des A-bewerteten Schallpegels an 3 Messpunkten nach ISO 3746
- Berechnung des Schalleistungspegel nach ISO 6395, welche laut der Richtlinie 2000/14/EG zur Anwendung kommt

Messgerät, Messeinrichtungen, Messwerk

Die Messpunkte befinden sich auf einer Halbkugel-Hüllfläche mit einem Radius von 10 m. Schalldruckpegel an weiteren Radien und der Schalleistungspegel können rechnerisch ermittelt werden.

- 3 Mikrofone (Positionen 4, 5 & 6) in selbem Radius auf Halbkugeloberfläche um Messobjekt (Positionen definiert nach ISO 3746)
- Messklasse 2 (s.4.3 Industrieakustik Skript) nach IEC 61672-1:2002 (Anforderung Mikrophone: Standardabweichung kleiner 1.5dBA),
- Windgeschwindigkeit < 6m/s
- 3dB über Fremdgeräuschpegel, Diff < 10dB → Korrekturwert nötig
- Messung des Umgebungsgeräusches



Legende

- Hauptmikrofonpositionen (4, 5, 6, 10)
- A Messfläche
- B Bezugsquader
- l_1 Länge des Bezugsquaders
- l_2 Breite des Bezugsquaders
- l_3 Höhe des Bezugsquaders
- r Radius der Messfläche

Abbildung 23: Positionen der Mikrofone für stationäre Lärmessungen nach ISO 3746

Einsatzprofil und Einflussgrößen

Die Messungen werden im Freien durchgeführt. Dabei wird ein passender Standort mit einem Minimum an Umgebungsgeräuschen durch z.B. Wind oder Tiergeräuschen gewählt. Die Messungen des sich in Bewegung befindlichen Fahrzeugs werden massgeblich von der Beschaffenheit und dem Zustand (z.B. Unebenheiten, Alterungserscheinungen oder Feuchtigkeit) des Untergrunds beeinflusst.

Messparametern, Dauer und Frequenz

Der Schallleistungspegel gibt den Schall des Gerätes direkt an der Quelle an (Ohr am Gerät). Der Schalldruckpegel gibt den Schall in einer bestimmten Entfernung vom Gerät an. Bei diesem Wert muss eine Entfernung zum Gerät zwingend angegeben werden.

Die Messungen werden an einem definierten Messtag gemacht, da das Equipment nicht fix auf dem Fahrzeug verbaut werden kann. Es wird der Leerlauf, ein Fahrtrundkurs, ein Löscheinsatz und die Klimaanlage gemessen. Die Messdauer soll ein Teil oder Vielfaches einer Betriebsperiode oder eines Betriebszyklus der zu untersuchenden Geräuschquelle sein, um einen gemittelten Schalldruckpegel zu bestimmen.

Erfolgsfaktoren

Bereits in der Entwicklung muss auf eine solide Schalldämmung geachtet werden. Geräuschentwicklungen sollen möglichst innerhalb des Motorraums gehalten werden und weder an die Umgebung noch an die Fahrerkabine abgegeben werden. Ein batterieelektrischer Antrieb ist ein Garant für die Minderung von Lärmemissionen.

D) Vibrationsmessung



Messmethodik

Vibrationsmessungen an relevanten Stellen im und am Fahrzeug, während vordefinierten Szenarien und unter vergleichbaren Umweltbedingungen, werden für einen Vergleich zwischen den verschiedenen Technologieträgern genutzt. Dank einheitlichen Bedingungen und Arbeiten kann der Effekt der verschiedenen Fahrzeugausführungen auf die Vibrationsentwicklung untersucht werden.

Messgerät, Messeinrichtungen, Messwerk

Für die Messungen werden piezoelektrische Beschleunigungssensoren verwendet, welche Vibrationen in alle drei Raumrichtungen erfassen. Die Messpunkte befinden sich an verschiedenen Stellen, wobei speziell Befestigungs- und Montagepunkte von Interesse sind, welche Aufschluss über I auf Bauteile einwirkende mechanische Belastung geben. Hohe Schwingungsleistungen erhöhen das Risiko Komponentenschäden durch Ermüdung, Rissbildung oder Lockern von Verbindungen. Ein Mass, um die Grössenordnung von Vibrationen einzuschätzen, ist die spektrale Leistungsdichte (PSD). Diese kann Komponentenlieferanten gegebenenfalls für eine Applikationsabnahme zur Verfügung gestellt werden.

Die Übertragung von Vibrationen auf das Kabineninnere erlauben des Weiteren Vermutungen über verbesserten, respektive verschlechterten, Fahrerkomfort anzustellen. Dafür wird ein Sensor an der Lenksäule angebracht. Der Fahrersitz ist pneumatisch gefedert, weshalb eine Messung an dessen Sockel voraussichtlich keine weiteren Erkenntnisse bringen wird

Einsatzprofil und Einflussgrössen

Das Einsatzprofil entspricht dem noch zu definierenden repräsentativen Arbeitsprofil, wodurch nebst der Leistungsdichte auch die zu erwartete Einwirkungsdauer abgeschätzt werden kann. Nebst anderen Messgrössen spielt auch die Einwirkung von externen Einflüssen auf das Fahrzeug eine grosse Rolle.

Messparametern, Dauer und Frequenz

Die Beschleunigungsmessungen werden in eine spektrale Leistungsdichte umgerechnet welche in der Masseinheit W/Hz (Leistung x Zeit) dargestellt wird.

Die Messungen werden an einem definierten Messtag gemacht, da das Equipment nicht fix auf dem Fahrzeug verbaut werden kann. Es wird der Leerlauf, ein Fahrrundkurs, ein Löscheinsatz und die Klimaanlage gemessen. Dabei werden die Sensoren an verschiedenen Stellen der Fahrzeuge platziert. Die Messdauer soll ein Teil oder Vielfaches einer Betriebsperiode oder eines Betriebszyklus der zu untersuchenden Vibrationsquelle sein, um den PSD zu bestimmen.

Erfolgsfaktoren

Zusammenfassend sollen diese Untersuchungen die technische Serientauglichkeit, Robustheit und Zuverlässigkeit von den einzelnen Antrieben respektive Anbaugeräten validieren, wobei der Vergleich zur herkömmlichen Maschine gemacht werden kann, um ein erstes Referenzprofil abzubilden.

Die Vibrationsintensität soll die der Originalmaschine nicht überschreiten. Auffällige Resultate können als Anreiz zur zusätzlichen Komponentendämpfung verstanden werden.



4 Ergebnisse und Diskussion

In einem ersten Schritt werden in diesem Abschnitt die Resultate präsentiert und eingeordnet. Im Anschluss werden sie in perspektive gesetzt und diskutiert

4.1 Messresultate und Berechnungen

4.1.1 Effizienzgrad und Energiebedarf

Anhand der Messreihen wurden für die unterschiedlichen Einsatzfälle die Gesamtleistungsaufnahme sowie die Leistungsaufnahme der einzelnen Nebenverbräuchen und Anbaugeräten untersucht.

Die Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen die gemäss dem Messkonzept 3.4.3 A) ermittelten realen Durchschnittsleistungen des konventionellen und elektrischen Fahrzeugs im **Leerlauf**, respektive auf einer repräsentativen 20-minütigen **Strassenrundfahrt**. Die Effizienzsteigerung versteht sich von Dieselbetrieb nach Elektro.

Die Durchschnittsleistung im Leerlauf wurde anhand mehrerer Messungen mit dem Motor auf Betriebstemperatur ermittelt. Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen die abgefahrte Strecke sowie das Höhenprofil der Vergleichsfahrt, anhand welcher die Durchschnittsleistungen im Fahrbetrieb für die beiden Fahrzeuge mit ein-/ausgeschalteter Klimaanlage ermittelt wurde. Für die rund 9.4 km lange Strecke benötigten die Fahrzeuge rund 22 Minuten, was einer Durchschnittlichen Geschwindigkeit von 25.7 km/h entspricht.

Der Verbrauch des elektrischen Fahrzeugs im Leerlauf (vgl. Tabelle 1) ist auf die AUX1 Hydraulikpumpe zurückzuführen, welche die Bremse, die Lenkung und die übrige Fahrzeughydraulik auch im Stillstand konstant versorgt und bei Bedarf sofort Öl zum Verbraucher liefert.

Tabelle 1: Durchschnittsleistung [kWh/h] im Leerlauf ab Energieträger (Batterie oder Dieselmotorkraftstoff)

Leerlauf	URS [kWh/h]	URS.e [kWh/h]	Effizienzsteigerung [-]
Klimatisierung aus	12.0	1.37	8.8
Kühlung an	14.50	2.48	5.8
Heizung an	12.0	2.87	4.2

Tabelle 2: Durchschnittsleistung [kWh/h] im Fahrbetrieb ab Energieträger (Batterie oder Dieselmotorkraftstoff)

Fahren	URS [kWh/h]	URS.e [kWh/h]	Effizienzsteigerung [-]
Klima aus	80.90	9.82	8.2
Kühlung an	87.0	10.92	8.0

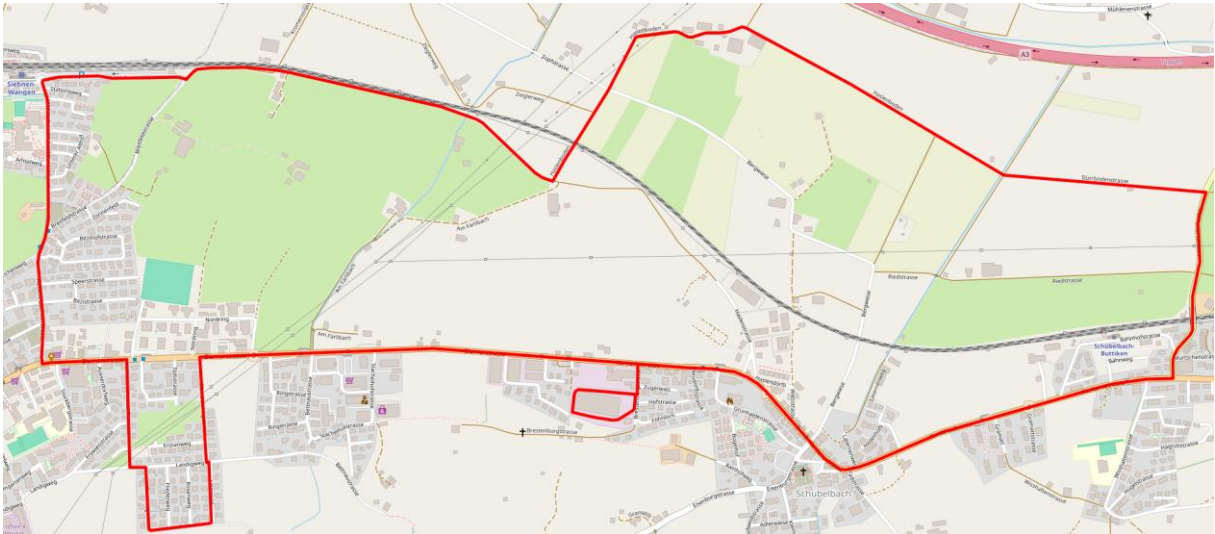


Abbildung 24: Karte der abgefahrenen Strecke für die Vergleichsfahrt

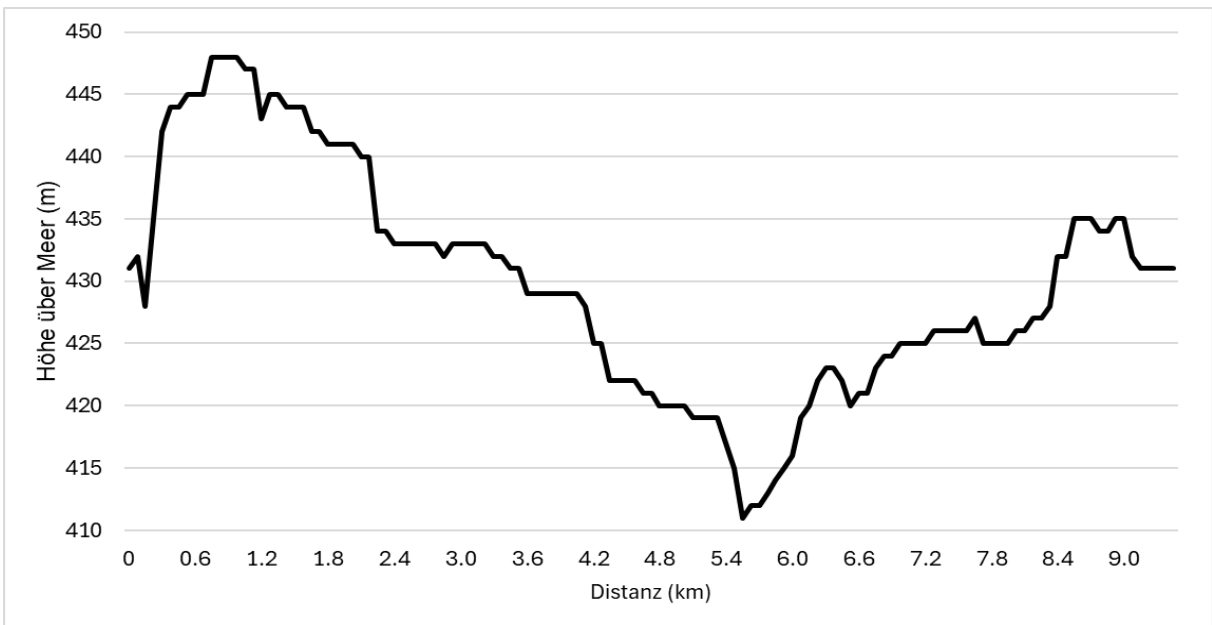


Abbildung 25: Höhenprofil der abgefahrenen Strecke für die Vergleichsfahrt

Der in Abbildung 26 gezeigte Graph zeigt eine durchschnittliche Leistungsabgabe von 13.75 kW bei konstanter Fahrt in ebenem Gelände bei Höchstgeschwindigkeit (45 km/h).
Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen exemplarisch die Fahrgeschwindigkeit und die Leistungsabgabe, resp. -aufnahme einer Beschleunigung, respektive Verzögerung zwischen 0 und 45 km/h. Der Messausschnitt zeigt, dass die elektrische Rekuperation rund 40% der beim Beschleunigen geleisteten Energie wieder zurückgewinnen kann. Auf eine 20-minütigen Fahrt in einer ebenen Kommune ergibt sich eine Rekuperationsquote von 22 – 25%. Das reduzierte Verhältnis ist darauf zurückzuführen, dass auf längeren Fahrstrecken mit konstanter Geschwindigkeit die Verluste auf Grund von Luftwiderstand und Rollreibung stärker ins Gewicht fallen als während eines "stop and go". Allgemein ist das Rekuperationsvermögen des Fahrzeugs stark vom Streckenprofil, dem Fahrstil sowie der Einstellung der Fahrzeugklimatisierung abhängig.

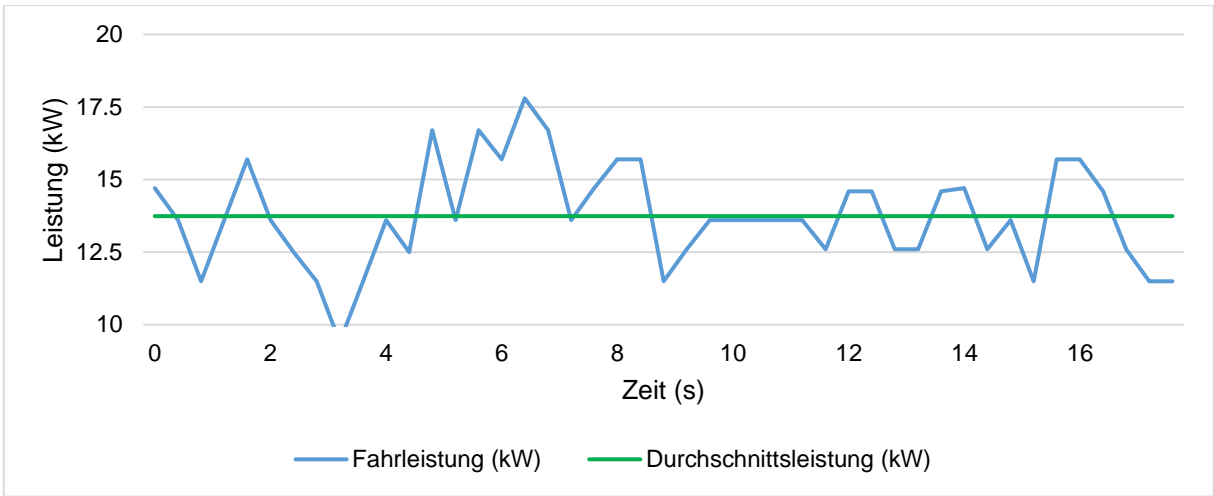


Abbildung 26: Fahrleistung und Durchschnittsleistung bei 45 km/h

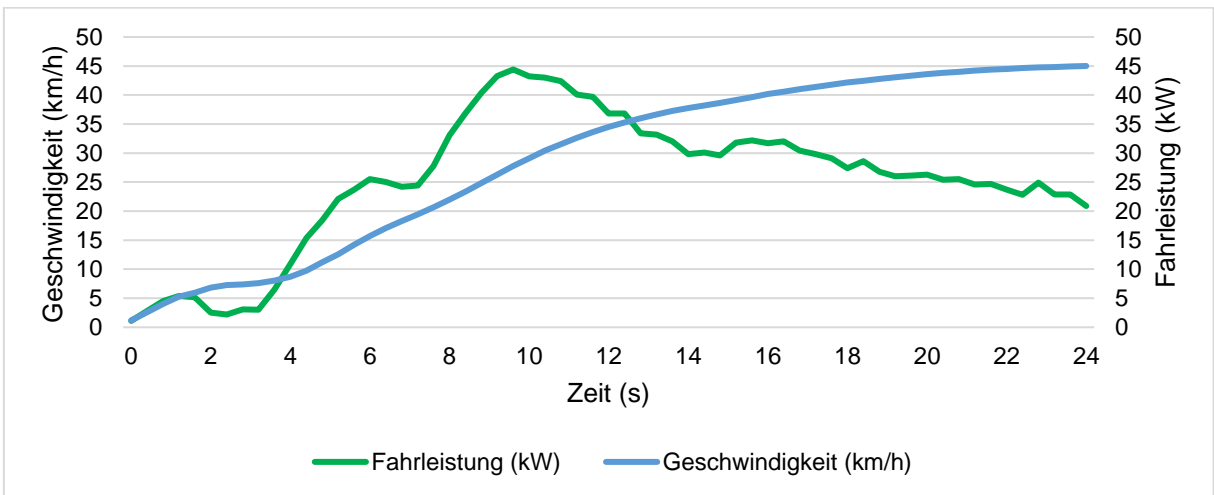


Abbildung 27: Fahrleistung und Geschwindigkeit für eine Beschleunigung von 0 auf 45 km/h

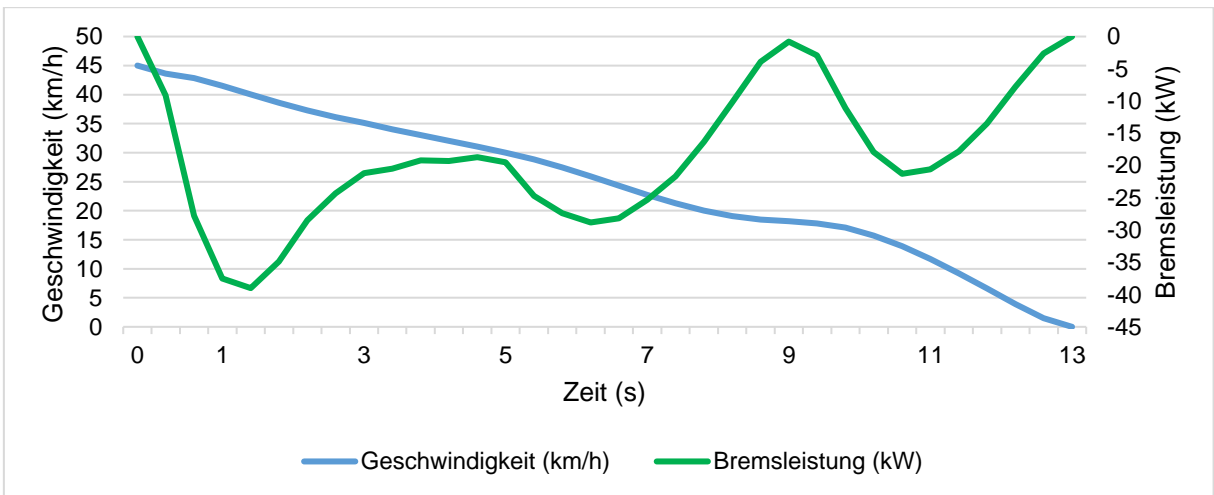


Abbildung 28: Bremsleistung (Rekuperation) und Geschwindigkeit beim Bremsen von 45 auf 0 km/h



Nach dem Fahrtrieb stellen die Anbaugeräte die nächstgrössere Verbrauchergruppe auf dem Fahrzeug dar. In der Tabelle 3 werden die durchschnittlichen elektrischen Leistungsaufnahmen der verschiedenen Anbaugeräten aufgezeigt, welche entweder im Rahmen einer Messkampagne ermittelt oder von den Geräteeigenschaften abgeleitet werden können.

Die erhobenen elektrischen Verbräuche konnten anschliessend mit den im Messkonzept definierten generischen Arbeitsstunden (vgl. Abbildung 22) verwendet werden, um den durchschnittlichen Energieverbrauch zu approximieren (siehe Abbildung 29).

Der Energieverbrauch während dem Winterdienst (Pflügen und Salzen) ist nicht in der Tabelle aufgelistet, da die Leistung weniger vom Anbaugerät abhängt als vom erhöhten Fahrwiderstand durch das Verdrängen des Schnees. Während einer Testphase in Le Chenit und Chur wurden der Winterdienst verteilt über drei Tage hinweg (total 19.5h) getestet. Anhand der ausgewerteten Daten konnte eine starke Abhängigkeit zwischen der Schneemenge und der Fahrleistung beobachtet werden. So bewegte sich die durchschnittliche Arbeitslast zwischen 7 und 13 kWh/h. Für die weitergehenden Betrachtungen in diesem Bericht wird konservativ mit einem Wert von 15 kWh/h gerechnet, um einem sehr intensiven Räumungstag gerecht zu werden.

Tabelle 3: Durchschnittliche elektrische Leistungsaufnahme [kW] der AUX-Inverter (URS.e und EEF) für unterschiedliche Anbaugeräte

Anbaugerät	Leistungsaufnahme [kW]	Bemerkung
Salzen	1.0	Nominale Motorleistung des Salzstreuers
Böschungsmäher	5.0	Einsatz entlang der Autobahn A3 nahe Reichenburg; Gemittelt über 50 Minuten
Schwemmbalken	12.0	Nominale Pumpenleistung
Pumpe	24.0	Nominale Pumpenleistung
Schneefräse	27.0	Einsatz in Elm über total 3.85 h; Gemittelt über 3.85h (verteilt über zwei Testtage)

Für die Dieselmachine waren äquivalente Verbrauchsmessungen in den entsprechenden Tätigkeitsfeldern nicht verfügbar. Jedoch erlaubt der gemessene Effizienzgewinn für den Fahrbetrieb mit 45 km/h (siehe Tabelle 2) Rückschlüsse auf den Betrieb der Anbaugeräte, da der Energievektor dieselben "Verlustposten" durchläuft (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 10). Für die Verbrauchsaufstellung wurde deshalb, wo nötig, ein Faktor von 8 verwendet, oder auf Erfahrungswerte des Fahrzeugherstellers zurückgegriffen, um die Verbräuche des Dieselfahrzeug zu beziffern.

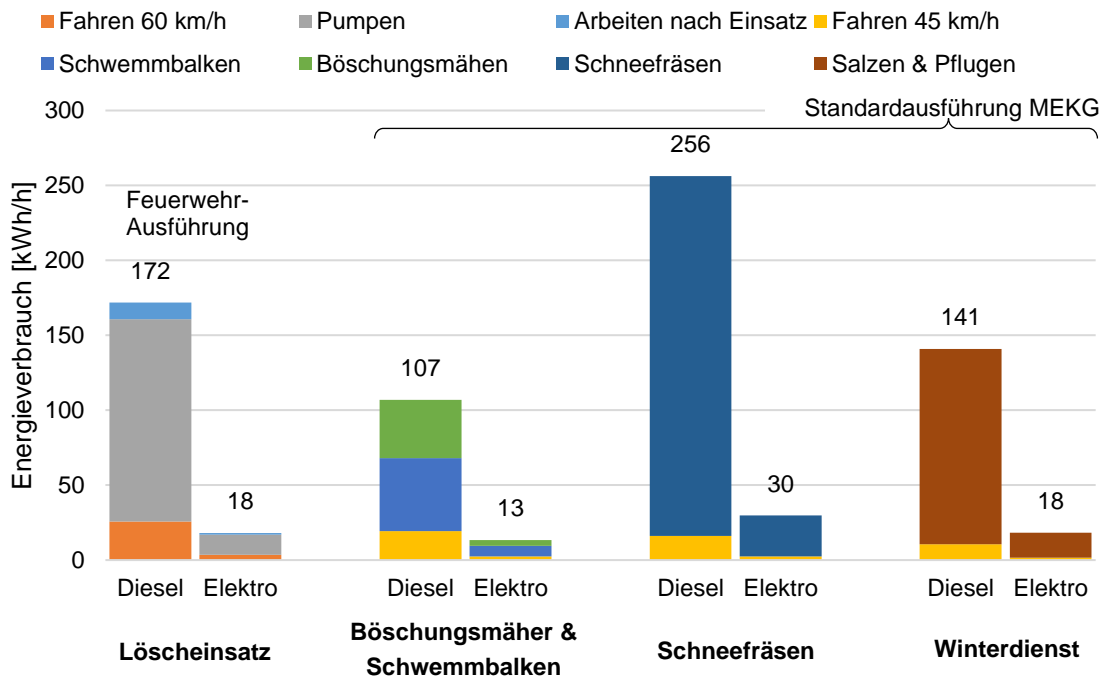


Abbildung 29: Stündlicher Durchschnittsverbrauch der generischen Lastfälle

Mit Hilfe der in Abbildung 29 gezeigten Energieverbräuche und der über ein Jahr anfallenden Betriebsstunden pro generischem Lastfall, können für die Nutzung der beiden Fahrzeugausführungen ein durchschnittlicher Energieverbrauch in kWh/h ermittelt werden. Da für das MEKG in Ersteinsatzfahrzeug (EEF) Ausführung nur ein relevanter Lastfall betrachtet wurde – bestehend aus zügiger Fahrt zum Einsatzort, Löschbetrieb und anschliessendem reduziertem Betrieb plus Rückkehr ins Depot – kann für das EEF ein repräsentativer Durchschnittsverbrauch von 18 kWh/h angenommen werden.

Für die Standardausführung des MEKG wurde beispielhaft für die Gemeinden Winterthur und Elm jährliche Betriebsstunden pro Lastfall angenommen (siehe Tabelle 4). Anhand von Wetterdaten^{5,6} der letzten fünf Jahre wurde für die beiden Gemeinden die durchschnittliche Anzahl Tage mit Neuschnee ermittelt. Pro Tag mit mehr als 2cm Neuschnee wurde eine Räumungsdauer von jeweils 10h angenommen. Für Elm wurden zusätzlich vier Tage mit Schneefräsen à 10h angenommen.

Tabelle 4: Verteilung der jährlichen Betriebsstunden für Winterthur und Elm

	Betriebsstunden pro Jahr	
	Winterthur	Elm
Schneefräsen	0	40
Winterdienst	60	210
Betriebsfahrten	200	150
Böschungsmähen/ Schwemmbalken	340	200

⁵ http://www.wetter-bassersdorf.ch/details_schnee.php

⁶ <https://www.skiinfo.de/ostschweiz/elm/schneestatistik>



Dadurch ergibt sich für das MEKG in Winterthur einen durchschnittlichen Energieverbrauch von 12.8 kWh_{el}/h respektive 10.4 l_{Diesel}/h. Für Elm, entsprechend der anspruchsvollen Schneefrästage, ein leicht erhöhter Wert mit 15.4 kWh_{el}/h und 12.4 l_{Diesel}/h. Dies ergibt eine Effizienzsteigerung von Faktor 8.10 für Winterthur und Faktor 8.06 im Nutzungsprofil von Elm. Da das Nutzungsprofil für Elm Betriebsstunden in allen vier betrachteten Lastfällen aufweist, werden alle nachfolgenden Berechnungen zur Ökologie und Emissionswerten anhand dieser durchschnittlichen Strom- und Dieserverbräuche berechnet.

4.1.2 Ökologie und Emissionen

Für beide Fahrzeuge (Diesel und Elektro) wurde für die **Produktion des Fahrzeugs** vereinfacht CO₂ Emissionen in der Höhe von 15.3 tCO_{2e} angenommen. Für das elektrische Fahrzeug wurden zusätzlich 10 tCO_{2e} Emissionen (83.5 kgCO_{2e}/kWh) für die Produktion der Batterie angenommen⁷. Somit schlagen für das Dieselfahrzeug vor dem Betrieb Emissionen von ca. 15 tCO_{2e} und für das batterieelektrische Fahrzeug etwa 25 tCO_{2e} zu Buche.

Betrachtet man die **well-to-tank** Emissionen, CO_{2e} Ausstoss für die Bereitstellung von Diesel (0.057 kgCO₂/kWh_{chem})⁸ respektive elektrischen Stroms (0.013 bis 0.128 kgCO₂/kWh_{el}), so schneidet das batterieelektrische Modell je nach gewähltem Strommix vorerst ebenfalls schlechter ab.

Bei den **tank-to-wheel** Emissionen, CO_{2e} Ausstoss bei der Verbrennung von Diesel (0.267 kgCO₂/kWh_{chem}) respektive Verbrauch von elektrischem Strom (0.0 kgCO₂/kWh_{el}), hat Elektro offensichtlich die Nase vorn.

Spannend wird es aber erst bei der Betrachtung des gesamten Zyklus (**well-to-wheel**). Vorerst werden die well-to-tank und tank-to-wheel Anteile zusammengerechnet: Die Bereitstellung und Verbrennung von Diesel stösst 0.324 kgCO₂ pro kWh_{chem} aus. Das elektrische Fahrzeug emittiert je nach gewähltem Strommix zwischen 0.013 bis 0.128 kgCO₂/kWh_{el}, wobei hier vorerst die elektrische Energie ab dem Stromnetz gemeint ist. Bis hierhin ist die elektrische Energie die um den Faktor 2.5 – 25 sauberere Energiequelle pro kWh Primärenergie.

Was aber berücksichtigt werden muss, ist dass der Dieselantrieb mehr Primärenergie (hier chemische gebundene Energie) verbraucht, um dieselbe Arbeit zu verrichten: Anhand des Beispiels in Elm bedeutet das, dass der URS durchschnittlich ca. 40.1 kgCO₂ pro Arbeitsstunde h ausstösst. Das MEKG stösst dabei je nach betrachtetem Mix 0.20 oder 1.97 kgCO₂ pro Arbeitsstunde aus. Der Faktor zwischen den beiden Fahrzeugen bezüglich Betriebsemissionen liegt also bei 200 resp. 20 je nach Strommix.

⁷ <https://www.ivl.se/english/ivl/publications/publications/lithium-ion-vehicle-battery-production----status-2019-on-energy-use-co2-emissions-use-of-metals-products-environmental-footprint-and-recycling.html>

⁸ <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-16258/152888035>

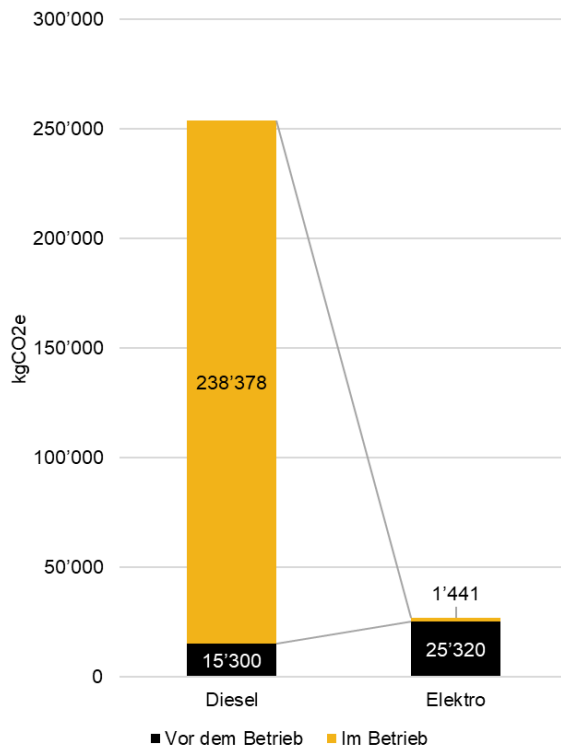


Abbildung 30: Vergleich CO₂e-Emissionen [kgCO₂e] des URS und des URS.e bei Betrieb mit Schweizer Strom aus erneuerbaren Energien über die gesamte Lebensdauer

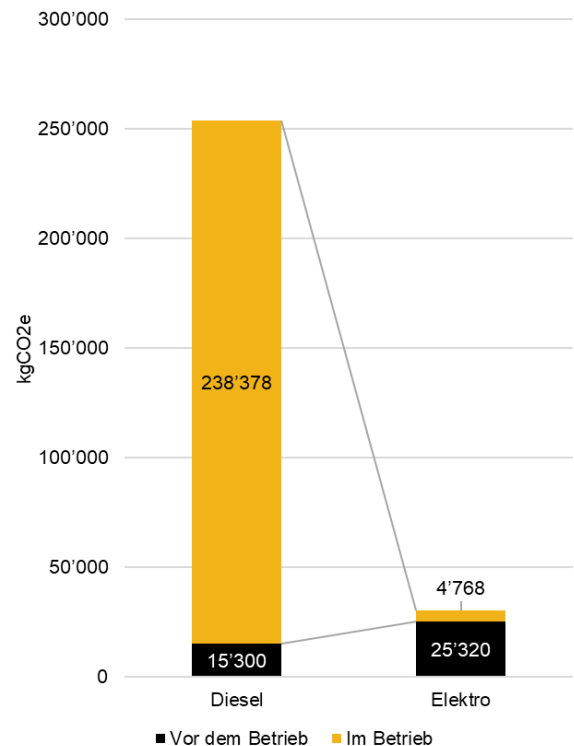


Abbildung 31: Vergleich CO₂e-Emissionen [kgCO₂e] des URS und des URS.e bei Betrieb mit Strom aus lokaler PV-Produktion über die gesamte Lebensdauer

Würde das batterieelektrische Kommunalfahrzeug konsequent mit **Schweizer Strom aus erneuerbaren Energien** mit 0.013 kgCO₂e/kWh_{el}⁹ betrieben, ergibt sich auf eine Lebensdauer von 7'200 Betriebsstunden, einen um 91% geringeren Ausstoss von CO₂e und spart so 277.8 tCO₂e ein (Abbildung 30).

Wird als Kalkulationsvorlage stattdessen mit Strom aus **lokaler Photovoltaik (PV)** Produktion mit 47 gCO₂e/kWh_{el}¹⁰ gerechnet, ist die Menge an eingespartem CO₂e noch immer 90% und 274.5 tCO₂e (Abbildung 31), da der energieeffiziente Betrieb nur ein Bruchteil der Lebensmissionen ausmacht. Die CO₂e Emissionen pro kWh der PV-Anlage sind im Vergleich zum Schweizer Strommix aus erneuerbaren höher, da Strom aus Wind- und Wasserkraft geringere CO₂e Emissionen aufweisen.

Realistischerweise sollte für eine möglichst allgemeingültige Berechnung der Schweizer **Verbraucher-Mix** mit 128 g CO₂e/kWh_{el} verwendet werden. Dadurch reduziert sich die Menge an eingesparten CO₂e Emissionen auf 87% beziehungsweise -265.1 tCO₂e (Abbildung 32).

⁹ http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/589-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2014-v3.0.pdf, (27.06.2018)

¹⁰ https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/pdf/20210705_E_Kurzstudie_Strommix_2020.pdf, (17.07.2024)

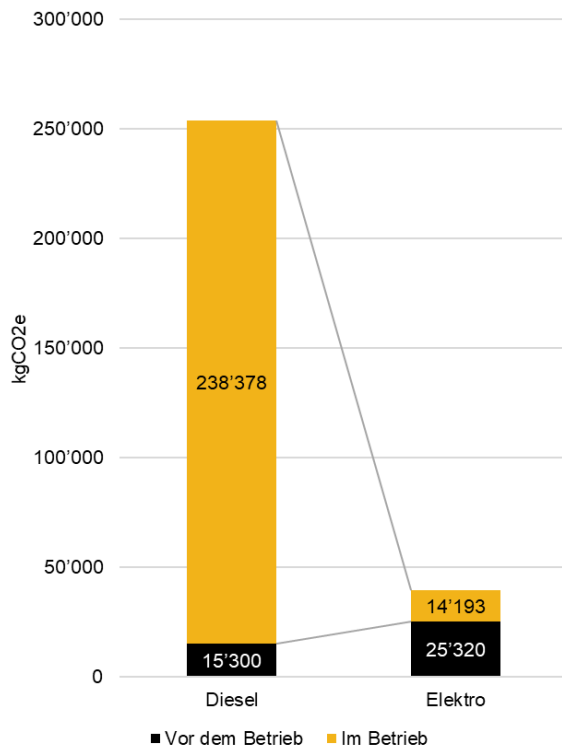


Abbildung 32: Vergleich CO₂e-Emissionen des URS und des URS.e bei Betrieb mit Schweizer Verbraucher-Strommix über die gesamte Lebensdauer

4.1.3 Ökonomie

Im Vergleich zum Diesel betriebenen Fahrzeug weist das batterieelektrische Fahrzeug deutliche Mehrkosten bei der Anschaffung auf. Dies ist primär den hohen Batteriekosten geschuldet. Im Betrieb ist das elektrische Antriebssystem jedoch wartungsärmer, wodurch über die gesamte Lebensdauer rund 35% geringere Wartungskosten anfallen¹¹.

Zusätzlich kann durch die Teilnahme am "Transportprogramm" der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) der Verkauf von CO₂-Zertifikaten die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Fahrzeugs weiter gesteigert werden. Ab dem Datum der Erstinverkehrbringung kann für sieben Jahre am Förderprogramm teilgenommen werden, wobei pro eingesparter Tonne CO₂ ein Beitrag von 130 CHF ausbezahlt wird¹². Über diesen Zeitraum lassen sich so, je nach verwendetem Strommix, zwischen 17'082 bis 18'049 CHF einsparen. In allen nachfolgenden Kostenrechnungen wurden die Einnahmen durch den Verkauf von CO₂-Zertifikaten direkt von den Betriebskosten des Fahrzeugs abgezogen, da sie jährlich vergütet werden. Es gilt jedoch zu beachten, dass selbst ohne der Teilnahme am Förderprogramm und unabhängig vom verwendeten Strommix, das elektrisch betriebenen Fahrzeuge im Vergleich zum Diesel einen geringeren TCO aufweist.

Aufgrund der häufig volatilen Energiekosten und den grossen Energiemengen, welche die Kommunalfahrzeuge in Form von elektrischem Strom oder Diesel über ihre Lebenszeit verbrauchen, werden für die ökonomische Analyse ein mittlerer Energiepreis sowie ein Tief- und Hochpreisszenario betrachtet. Für Diesel sind dies 1.48 CHF/l (5-Jahres tief), 2.37 CHF/l (5-Jahres hoch) sowie 1.92

¹¹ Deutsche Presse-Agentur. Elektroautos punkten in der Werkstatt. <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/studie-zu-wartungskosten-elektroautos-punkten-in-der-werkstatt-6146082.html>, (07.2014)

¹² <https://enaw.ch/angebot/transportprogramm>, (20.02.2025)



CHF/l (Sept. 2024) ¹³. Für elektrischen Strom sind dies 0.205 CHF/kWh_{el} (Niedertarif), 0.319 CHF/kWh_{el} (Hochtarif) sowie 0.262 CHF/kWh_{el} (Mittelwert aus Nieder- und Hochtarif) ¹⁴. Es ist anzumerken, dass im Gegensatz zu den Kraftstoffpreisschwankungen, welche über Monate hinweg zu betrachten sind, die Stromtarife, nebst langfristigen Trends, abhängig von der Tageszeit sind. Dies erlaubt zumindest theoretisch ein gezieltes Laden zum Niedertarif.

Wird nun über die gesamte Lebensdauer der Kommunalfahrzeuge der **aktuelle Dieselpreis** von 1.92 CHF/l und **aktuelle mittlere Strompreis** von 0.262 CHF/kWh_{el} betrachtet, so erweist sich das batterieelektrische Fahrzeug mit einer Kosteneinsparung von 33'756 CHF als die günstigere Variante (Abbildung 33).

Bei einem **günstigen Energieszenario** von 1.80 CHF/l und einem Strompreis von 0.205 CHF/kWh_{el} spart die batterieelektrische Variante über die gesamte Lebensdauer 30'256 CHF ein (Abbildung 34).

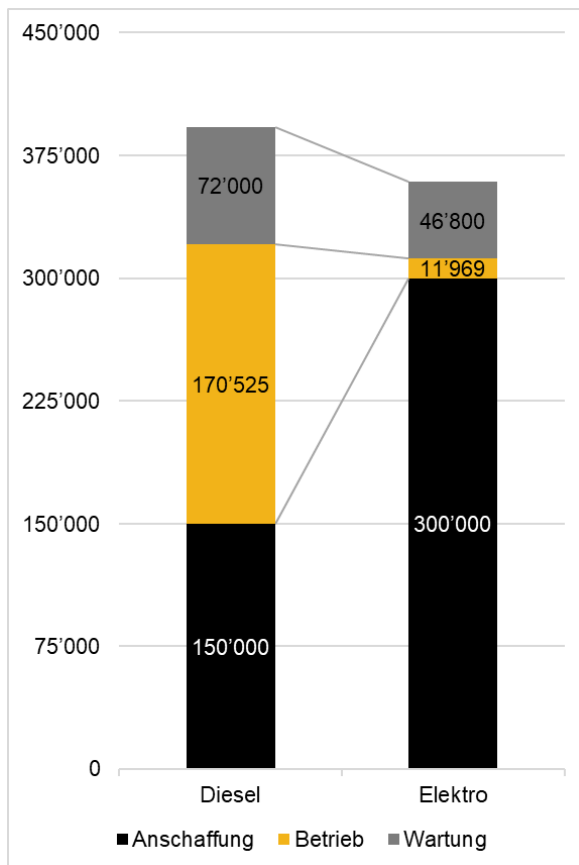


Abbildung 33: Vergleich TCO des URS und des URS.e im Szenario mit aktuellen Diesel- und Strompreisen über die gesamte Lebensdauer

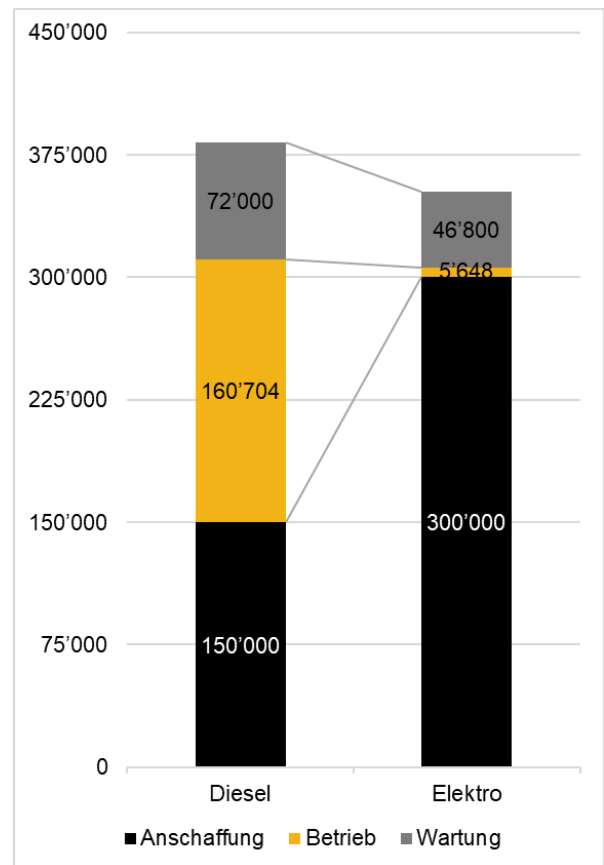


Abbildung 34: Vergleich TCO des URS und des URS.e im Szenario mit tiefen Diesel- und Strompreisen über die gesamte Lebensdauer

Bei einem **Energieszenario mit hohen Preisen** von 2.20 CHF/l Diesel und 0.319 CHF/kWh_{el} Strom, spart die batterieelektrische Variante über die gesamte Lebensdauer 53'327 CHF ein (Abbildung 35).

¹³ <https://www.avenergy.ch/de/preise-statistiken/preise/diesel-monatsmittel-und-jahresmittel>, (18.07.2024)

¹⁴ <https://www.ewz.ch/de/private/strom/tarife/tarifuebersicht.html>, (24.06.2024)

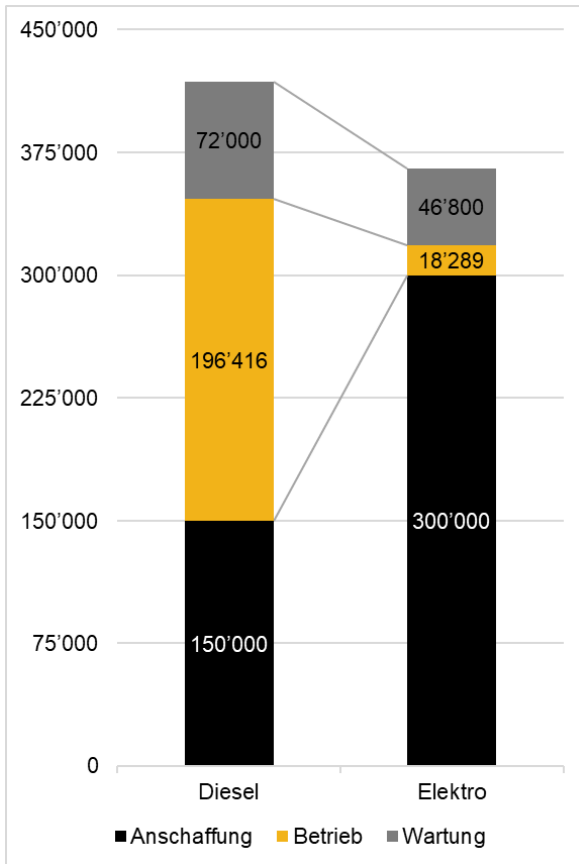


Abbildung 35: Vergleich TCO des URS und des URS.e im Szenario mit hohen Diesel- und Strompreisen über die gesamte Lebensdauer

Auch die Möglichkeit einer Speisung aus **eigener PV-Anlage** wird erneut beleuchtet. Es wird angenommen, dass der Strom für das Fahrzeug über den Tag von einer PV-Anlage produziert und in einer **stationären Batterie zwischengespeichert** wird. Nach einem Arbeitstag wird das Fahrzeug daraus wieder aufgeladen. Um den jährlichen Strombedarf des Fahrzeugs von rund 9'240 kWh_{el} zu decken, wird eine PV-Anlage mit den Spezifikationen gemäss Tabelle 5 benötigt. Wird eine Lebenserwartung der Anlage von 30 Jahren angenommen, ergibt sich ein Strompreis von 0.239 CHF/kWh_{el}. Im Vergleich zu den Kosten für Netzstrom lohnt sich die Installation dieser PV-Anlage mit stationärem Speicher deshalb nur, wenn die Fahrzeuge in ersterem Fall aus betriebstechnischen Gründen in 30% oder mehr der Fälle zu Hochtarif geladen werden müssen. Im Falle der ewz gelten Hochtarif von Mo-Sa zwischen 6 und 22 Uhr. Muss das Fahrzeug also unter dem Tag geladen werden, müsste dies immer zu Hochtarif geschehen.

Tabelle 5: Durchschnittlicher Strombedarf des URS.e und Kennzahlen der benötigten PV-Anlage mit stationärem Speicher

Durchschnittlicher täglicher Strombedarf / Grösse des stationären Speichers	31.93 kWh _{el}
Jährlicher Energieertrag pro m ²	166 kWh/m ² /a
Grösse der PV-Anlage	56.8 m ² / 10.48 kW _p
Anschaffungspreis PV-Anlage	28'243.81 CHF ¹⁵

¹⁵ <https://solar-ratgeber.ch/photovoltaik/rendite-ertrag>, (18.07.2024)



Anschaffungspreis stationärer Speicher	43'625 CHF ¹⁶
Einmalvergütung PV-Anlage	4'190 CHF
Lebenserwartung	30 Jahre
Resultierender Strompreis	0.239 CHF/kWh _{el}

4.1.4 Lärmmessungen

Im Zuge der Strassenzulassung des URS und URS.e wurden im Lärmmessungen beim Dynamic Test Center (DTC) durchgeführt. Tabelle 6 zeigt die Werte einer Standmessung aus 7.0 m Entfernung. Am Elektrofahrzeug wurde keine Messung durchgeführt, da die Lärmimmissionen vom Institut und Meili als zu gering eingeschätzt wurden. Auf der linken Fahrzeugseite des URS wurde eine rund 4.0 dB(A) höhere Lärmimmission als auf der rechten Fahrzeugseite gemessen. Dies liegt womöglich an der asymmetrischen Einbausituation des Antriebsstrangs.

Tabelle 6: Lärmmessung Leerlauf aus 7.0 m Entfernung (DTC)

Fahrzeug	rpm [1/min]	Serie [dB(A)]		Serie [dB(A)]		Höchstwert [dB(A)]
		links	rechts	links	rechts	
URS	1800	74.0	70.0	74.0	70.0	74.0

Sobald zur Sicherstellung der Hydraulikgrundversorgung die Hydraulikpumpe des URS.e anläuft verursacht auch das elektrische Fahrzeug geringfügige Lärmemissionen im Stillstand. Tabelle 7 zeigt die von SUNCAR erhobenen Werte des URS im Leerlauf (vgl. Abbildung 36) und URS.e mit laufender Hydraulikpumpe. Zusätzlich wurden die Immissionen in der Kabine (vgl. Abbildung 37) ermittelt. Im Vergleich zu den DTC-Messungen fallen die SUNCAR-Werte aufgrund der grösseren Messdistanz allgemein geringer aus. In der Kabine ist eine deutliche Reduktion der Immissionen festzustellen.

Tabelle 7: Lärmmessung Leerlauf auf Halbsphäre (SUNCAR)

Fahrzeug	Umgebungsgeräusche [dB(A)]				Hydraulikpumpe aktiv [dB(A)]				Höchstwerte [dB(A)]	
	Messpunkt (gem. Konzept)				Messpunkt				Messpunkt	
	Kabine	4	5	6	Kabine	4	5	6	Kabine	-
URS	32.8	46.9	47.3	48.1	64.2	61.8	60.8	60.4	64.2	61.8
URS.e					52.4	49.4	46.6	49.8	52.4	49.4

¹⁶ <https://www.energieheld.ch/solaranlagen/stromspeicher>, (18.07.2024)



Abbildung 36: Messung der Lärmimmission im auf Halbsphäre.



Abbildung 37: Messung der Lärmimmission in der Kabine.

Des Weiteren zeigt Tabelle 8 die vom DTC gemessenen Geräuschmesswerte für eine Vorbeifahrt bei 45 km/h. Beim URS.e werden rund 5.5 dB(A) geringere Lärmimmissionen als beim URS bemessen. Aufgrund der logarithmischen dB Skala erzeugt der URS.e somit eine um den Faktor 3.5 geringere Schallleistung als der URS mit Dieselantrieb.

Tabelle 8: Lärmmessung einer Vorbeifahrt bei einer Geschwindigkeit von 45 km/h aus 7.0 m Entfernung (DTC)

Fahrzeug	Geschwindigkeit [km/h]	rpm [1/min]	1. Serie [dB(A)]		2. Serie [dB(A)]		Höchstwerte [dB(A)]
			links	rechts	links	rechts	
URS	45	1500	75.0	75.0	75.0	74.5	75.0
URS.e	45	-	69.5	68.5	69.5	69.5	69.5

Tabelle 9 zeigt die von SUNCAR gemessenen Lärmimmissionen aus 10 m Entfernung für Vorbeifahrten. Die Werte zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Messreihen, wobei der URS.e rund 6 – 8 dB(A) geringere Lärmimmissionen bei der Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h auf. Dies entspricht einer Reduktion um den Faktor 4.0 – 6.3.

Tabelle 9: Lärmmessung einer Vorbeifahrt bei einer Geschwindigkeit von 45 km/h aus 10 m Entfernung (SUNCAR)

Fahrzeug	Geschwindigkeit [km/h]	rpm [1/min]	1. Serie [dB(A)]	2. Serie [dB(A)]	Höchstwerte [dB(A)]
			rechts	rechts	
URS	45 km/h	1500	74.8	76.3	76.3
URS.e	45 km/h	-	68.6	68.3	68.6

Zusätzlich zu den Vorbeifahrt- und Standmessungen, welche im Rahmen der Strassenzulassung durchgeführt wurden, hat SUNCAR die auf die Insassen wirkende Lärmbelastung bestimmt. In Tabelle 10 werden die gemittelten Messwerte einer 15-minütigen Fahrt auf Haupt-, Quartier- und Nebenstrassen gezeigt. Der URS.e ist im Vergleich zum URS auch in der Kabine um rund 7 dB(A) (Faktor 5) leiser.



Tabelle 10: Lärmmessung der gemittelten Immissionen auf Insassen in der Kabine während Rundfahrt (SUNCAR)

Fahrzeug	Umgebungsgeräusche [dB(A)]	Fahren [dB(A)]
URS	32.8	70.1
URS.e		63.6

Für die EEF-Variante des URS.e wurden zudem die Lärmemissionen der Löschwasserpumpe gemessen. Tabelle 11 zeigt die Lärmemissionen der Löschwasserpumpe in der Kabine und auf der Halbkugel im Vergleich zu den Umgebungsgeräuschen. Es zeigt sich, dass am Messpunkt 5 die grössten Lärmimmission gemessen wurde. Dies hängt möglicherweise damit zusammen, dass dieser Messpunkt am nächsten zum Austrittspunkt des Löschwassers aus dem Schlauch war.

Tabelle 11: Lärmmessung der der Löschpumpe im Einsatz (SUNCAR)

Fahrzeug	Umgebungsgeräusche [dB(A)]				Löschpumpe aktiv [dB(A)]				Höchstwerte [dB(A)]	
	Messpunkt				Messpunkt				Messpunkt	
	Kabine	4	5	6	Kabine	4	5	6	Kabine	5
URS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
URS.e	32.8	46.9	47.3	48.1	62.0	67.5	70.1	67.2	62.0	70.1

Da die EFF-Variante nur für den URS.e verfügbar ist, ist ein direkter Vergleich zu einer Dieselvariante nicht möglich. Die gemessenen Lärmemissionen auf der Hüllfläche der Löschwasserpumpe lassen sich jedoch in der Intensität mit jenen in der Kabine beim Fahren des URS und den Lärmemissionen bei einer Vorbeifahrt des URS.e bei 45 km/h vergleichen. Die Lärmemissionen in der Kabine mit jenen des URS.e in der Kabine beim Fahren.

Aufgrund des identischen Grundaufbaus des EEF wurde auf eine Wiederholung der Lärmmessungen im Leerlauf und Fahren wie beim URS.e verzichtet.



Abbildung 38: Einsatzbereites EEF auf Basis des MEKG



Abbildung 39: Nachtanken des EEF am Hydrant nach absolvierten Lärmmessungen der Löschpumpe



4.1.5 Vibrationsmessungen

Für das Erfassen der Vibrationsprofile hat die Hochschule Ost im Projekt mitgewirkt. Auf die wichtigsten Erkenntnisse wird im Folgenden eingegangen.

Messinstrumente und Aufbau

Für die Beschleunigungsmessungen (PCB 356A45) wurden triaxiale Sensoren eingesetzt. Die X-Richtung entspricht der Fahrtrichtung, Y-Richtung der Querrichtung und Z-Richtung der Höhenachse des Fahrzeugs.

Am elektrischen Fahrzeug wurden die Beschleunigungen an Batterie, Wärmepumpe (Wpump), Fahrmotor (Motor), Lenksäule (Kabine) und Chassis aufgenommen.

Beim Verbrenner wurden die Sensoren an Chassis, Lenksäule (Kabine) und Motorgestell (Motor) angebracht.

Leerlauf

Abbildung 40 zeigt die gemessenen Vibrationen im Leerlauf an den verschiedenen Messpunkten für den URS.e. Die Messung von 0 bis 14 Sekunden ist das Drehen des Schlüssels und das Anfahren der Hydraulikpumpe. Dies wurde abgeschnitten, um im FFT-Bereich (Frequenzbereich) nur die laufende Hydraulikpumpe sehen zu können. Die Vibrationen der Hydraulikpumpe werden dabei hauptsächlich auf die Kabine und das Chassis übertragen. Der höchste Frequenzausschlag liegt bei 120 Hz (Oberwelle von 20 Hz, der Frequenz der Hydraulikpumpe). Irgendwas auf dem Fahrzeug scheint bei 120 Hz eine Resonanz zu haben oder zu erzeugen. Da kein Sensor direkt auf der Hydraulikpumpe angebracht wurde, kann hier nicht festgestellt werden, ob die 120 Hz von der Pumpe selbst stammt oder irgendwo als Resonanz auftritt.

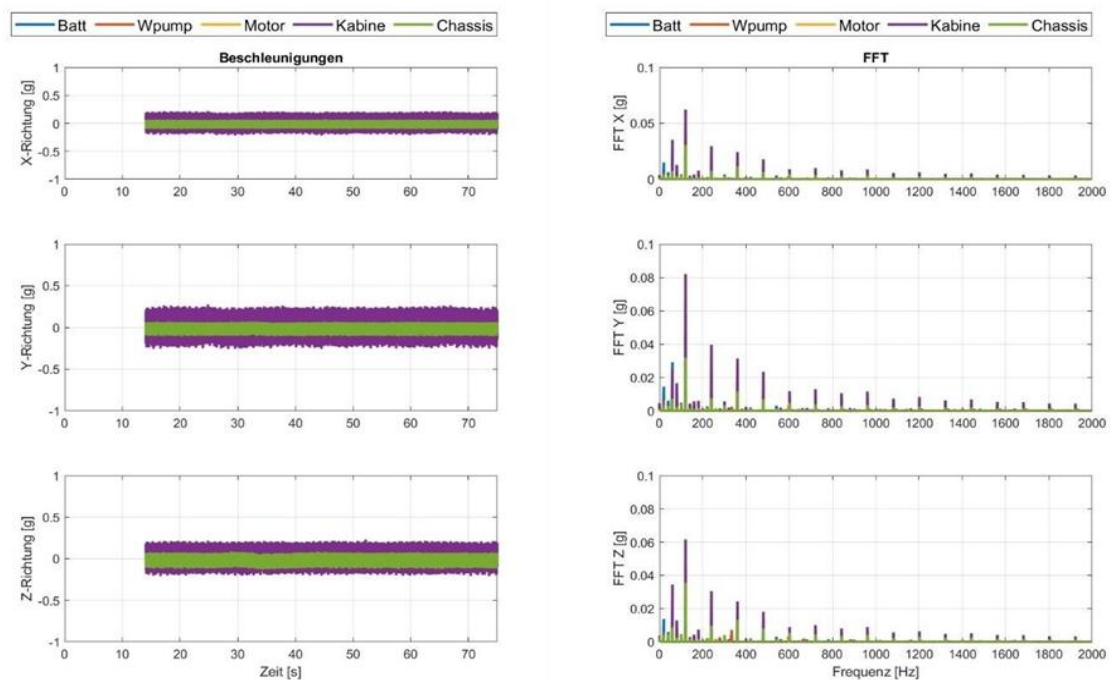


Abbildung 40: Vibrationsmessung URS.e im Leerlauf (Hydraulikpumpe aktiv)

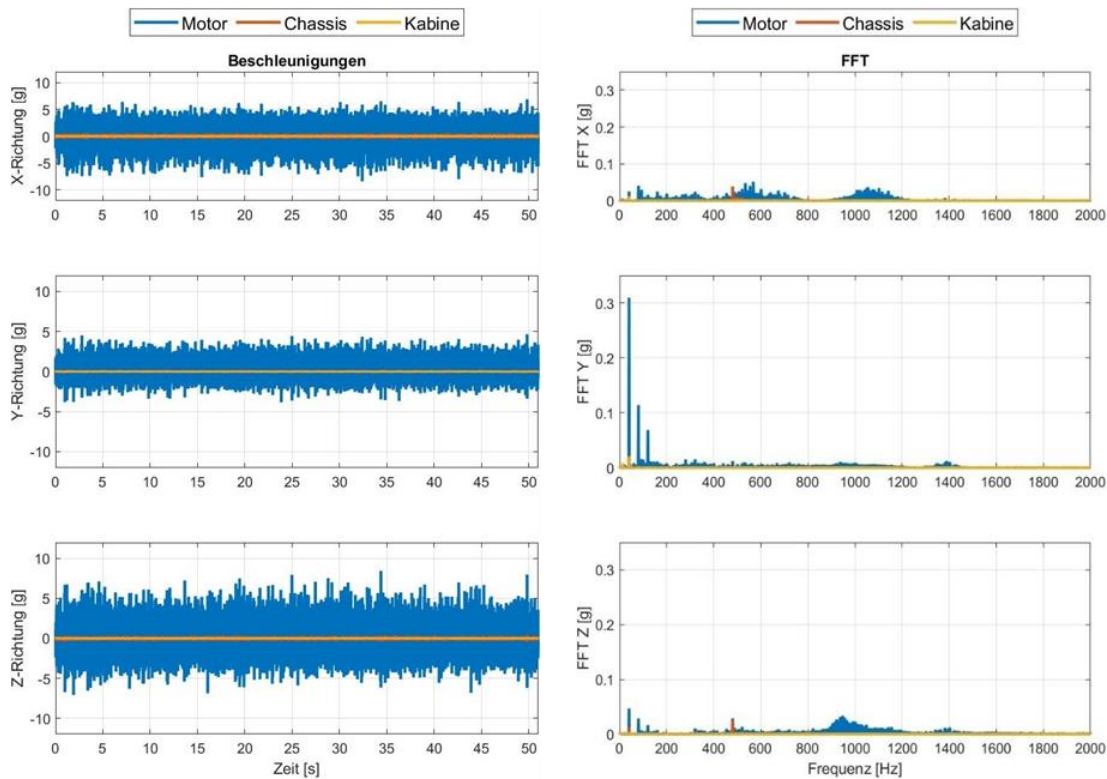


Abbildung 41: Vibrationsmessung URS im Leerlauf

Abbildung 41 zeigt die gemessenen Vibrationen im Leerlauf an den verschiedenen Messpunkten für den URS. Die Hauptanregung ist am Motor in Y Richtung bei 40 Hz, was beim 6 Zylindermotor der Leerlaufdrehzahl von 800 U/min entspricht. Die weiteren Peaks liegen bei 80 und 120 Hz und bilden Oberschwingungen vom Motor. Im Vergleich zum URS.e sind die gemessenen Vibrationen im Leerlauf beim URS grösser.

Abbildung 42 bis Abbildung 44 zeigen den direkten Vergleich der Beschleunigungen am Lenkrad. Bei beiden Fahrzeugen ist zudem die Klimaanlage eingeschaltet. Die Beschleunigungen, die die Hydraulik auf die Lenkung ausübt, ist beim URS.e mit 0.3 g dreimal höher als beim URS. Auch im Frequenzbereich zeigen sich deutliche Unterschiede. Beim URS.e ist die erste Frequenz bei 20 Hz (Frequenz der Hydraulikpumpe, danach kommen die Oberwellen der Frequenzen bei 60 Hz und 120 Hz (siehe Abbildung 43). Die erste Resonanz beim URS liegt bei 13.35 Hz. Die Zweite liegt bei 40 Hz und ist ca. 10-mal ausgeprägter als beim Elektrofahrzeug (siehe Abbildung 44).

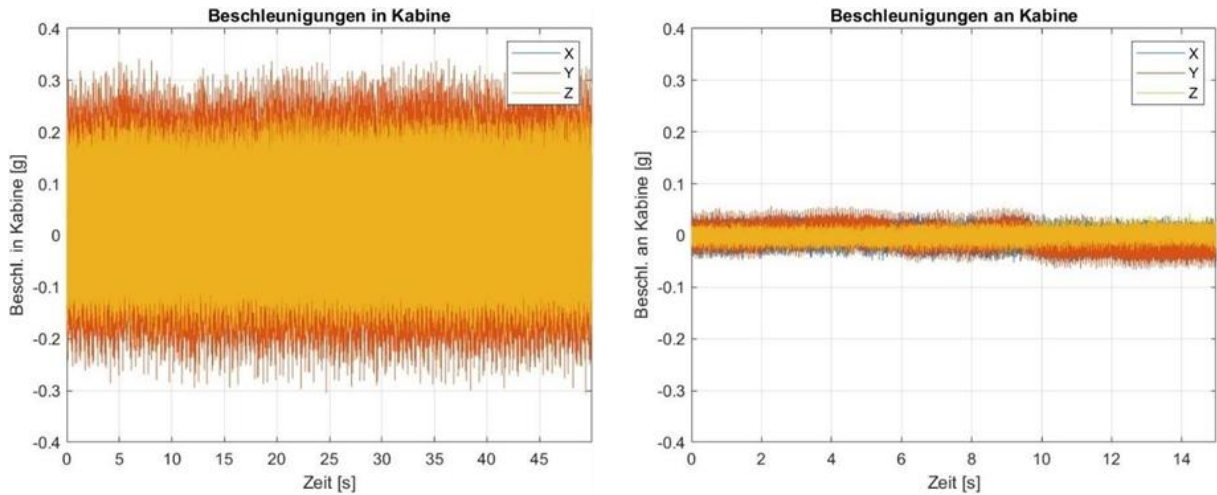


Abbildung 42: Vergleich der Beschleunigungen am Lenkrad: Links URS.e, rechts URS

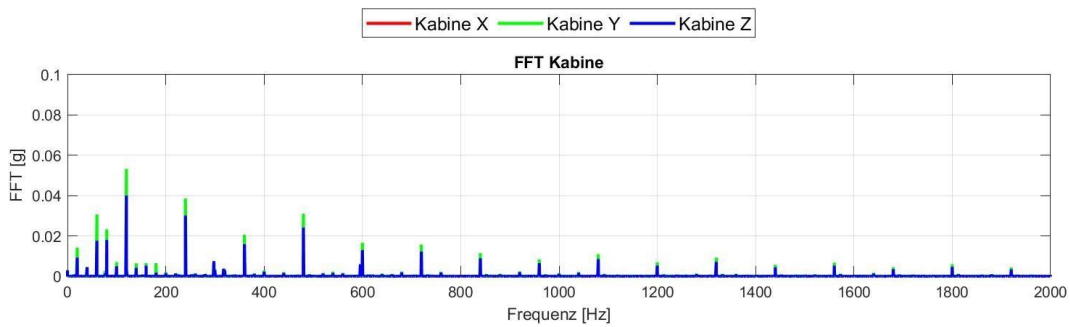


Abbildung 43: Detailansicht des FFT am Lenkrad im URS.e

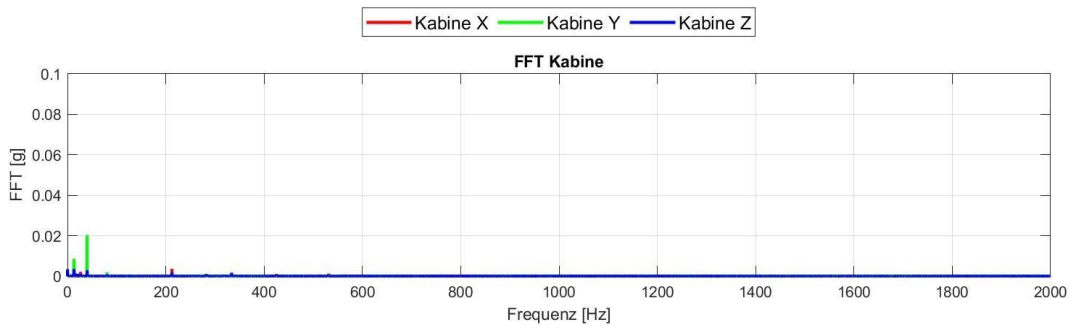


Abbildung 44: Detailansicht des FFT am Lenkrad im URS

Fahren

Im direkten Fahrvergleich des URS.e und URS mit ausgeschalteter Klimaanlage zeigt sich, dass für beide Fahrzeuge der Hauptmotor die grössten Vibrationen erzeugt (siehe Abbildung 45). Diese werden jedoch gegenüber den Chassis gut gedämpft.

Im Frequenzbereich (siehe Abbildung 46) bestätigt sich obige Aussage. Einzig die Hydraulikanlage des URS.e erzeugt mehr Vibrationen auf das Fahrzeug (Chassis, Kabine und Batterie) als beim URS.

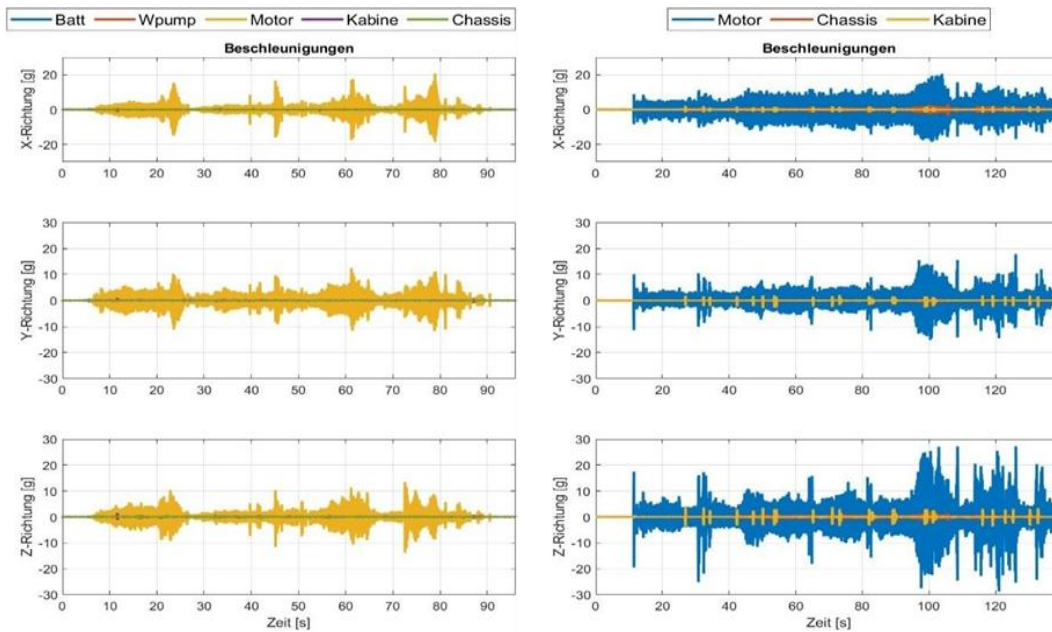


Abbildung 45: Beschleunigungen beim Fahren: links URS.e, rechts URS

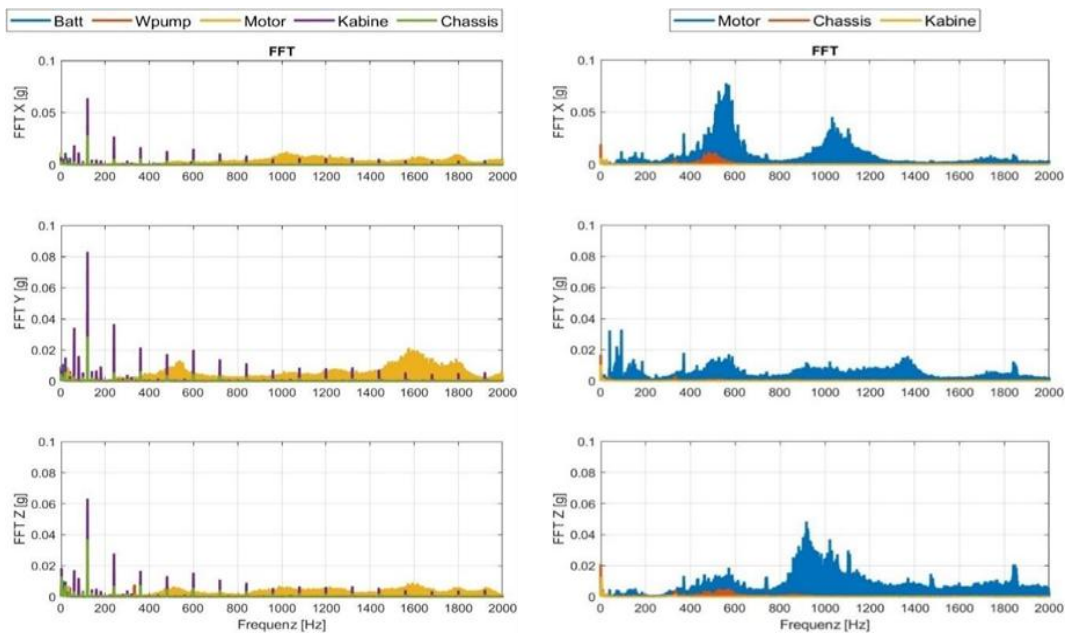


Abbildung 46: FFT: Beschleunigungen beim Fahren: links URS.e, rechts URS

Wärmepumpe

Zusätzlich zu den Vibrationen im Leerlauf durch die Hydraulikpumpe wurden auch die Vibrationen der Wärmepumpe im Leerlauf bestimmt (Klimaanlage ein und mit voller Leistung kühlen). Die Vibrationen der Wärmepumpe (rot) sind in Abbildung 47 deutlich zu sehen. An der Grundplatte der Wärmepumpe wurden Beschleunigungen in Z-Richtung von bis zu 3g erreicht. Die Überprüfung der Vibrationen der Wärmepumpe mit den Zulässigen Beschleunigungen ergaben punktuelle deutliche Überschreitungen freigegebenen Beschleunigungen für ein Erreichen der Lebensdauer von 10'000h.

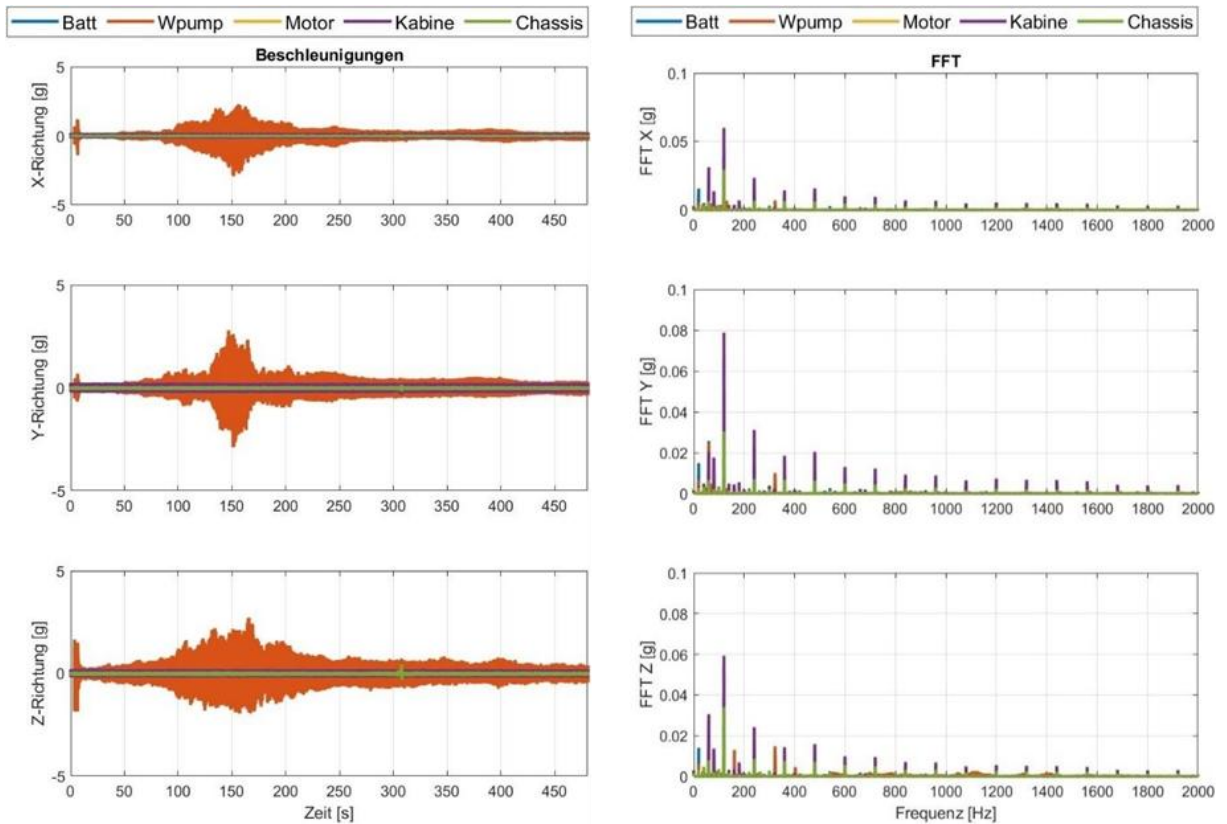


Abbildung 47: Links die Übersicht der Beschleunigungen im Leerlauf mit eingeschalteter Wärmepumpe: Rechts die Übersicht im FFT-Bereich

Batterie

Die Batterie ist vom Hersteller nach UN-Regelung Nr. 100 (ECE r100) freigegeben und wurde gemäss Anhang 9A auf Vibration geprüft. Um einen direkten Vergleich zu vorliegenden Messungen durchführen zu können wurden die Messdaten an der Batterie eine Power-Frequenz-Spektrum-Analyse (PSD) in Z-Richtung durchgeführt (siehe Abbildung 48). Die PSD zeigt welche Beschleunigungsenergie pro Hz an jeder Frequenz vorliegt. Die Beschleunigungsenergie kann anschliessend durch Integration um die Peak-Werte (± 2 Hz) zurück zu einer effektiven Amplitude zurückgerechnet werden. Dies ermöglicht der Vergleich mit den Beschleunigungswerten aus der UN-Regelung ECE r100.

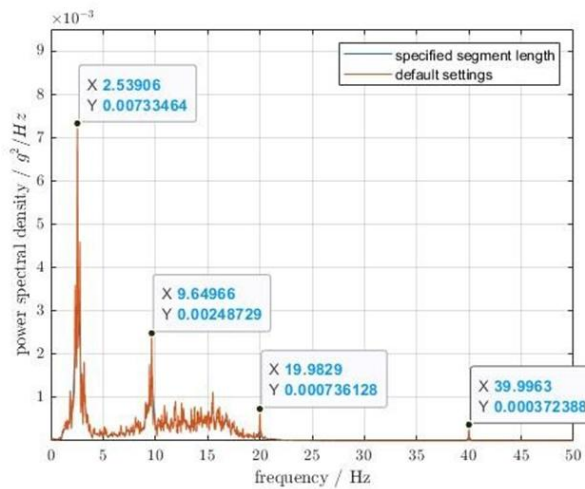


Abbildung 48: Power-Frequenz-Spektrum an der Batterie in Z-Richtung

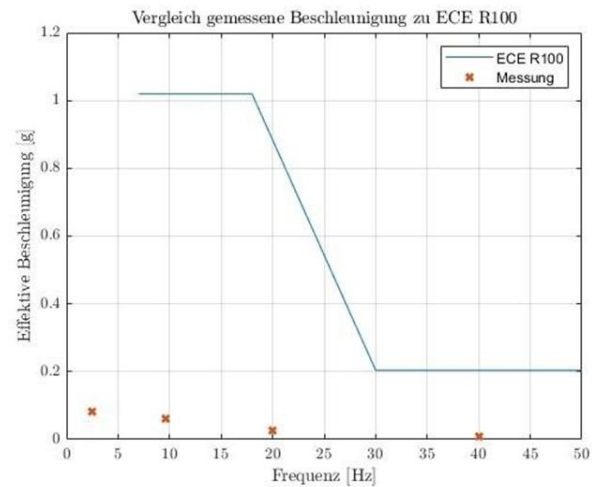


Abbildung 49: Vergleich der gemessenen Beschleunigung an der Batterie gegenüber der zulässigen Beschleunigung nach ECE R100

In Abbildung 49 ist der Vergleich zwischen Messdaten und Beschleunigungen gemäss ECE R100 graphisch dargestellt. Die gemessenen Beschleunigungen liegen um den Faktor 10 unter den zugelassenen Beschleunigungen.

4.1.6 Thermomanagement System

Um das Thermomanagement des Fahrzeugs zu validieren, wurden gezielt Testfahrten und Arbeitseinsätze im Sommer ausgewertet. Im äussersten Fall muss dabei gleichzeitig die Batterie, Kabine und Leistungselektronik gekühlt werden. Über die INSIGHT Schnittstelle wurde gefiltert nach Tagen, welche eine Aussentemperatur von mehr als 30 °C erreichten und die Maschine für mindestens 1 Stunde in Betrieb war. Nach dieser Zeit sollten sich die Temperaturen eingependelt haben und eine Überbeanspruchung würde sich in einer unkontrollierten Temperaturentwicklung der Kühlmittelflüssigkeit zeigen.

Nebst der datenbasierten Validierung muss beachtet werden, dass das MEKG trotz höherer Gewichts- und Leistungsbeanspruchung gleichzeitig durch die Effizienzsteigerungen inhärenter weniger Abwärme abführen muss.

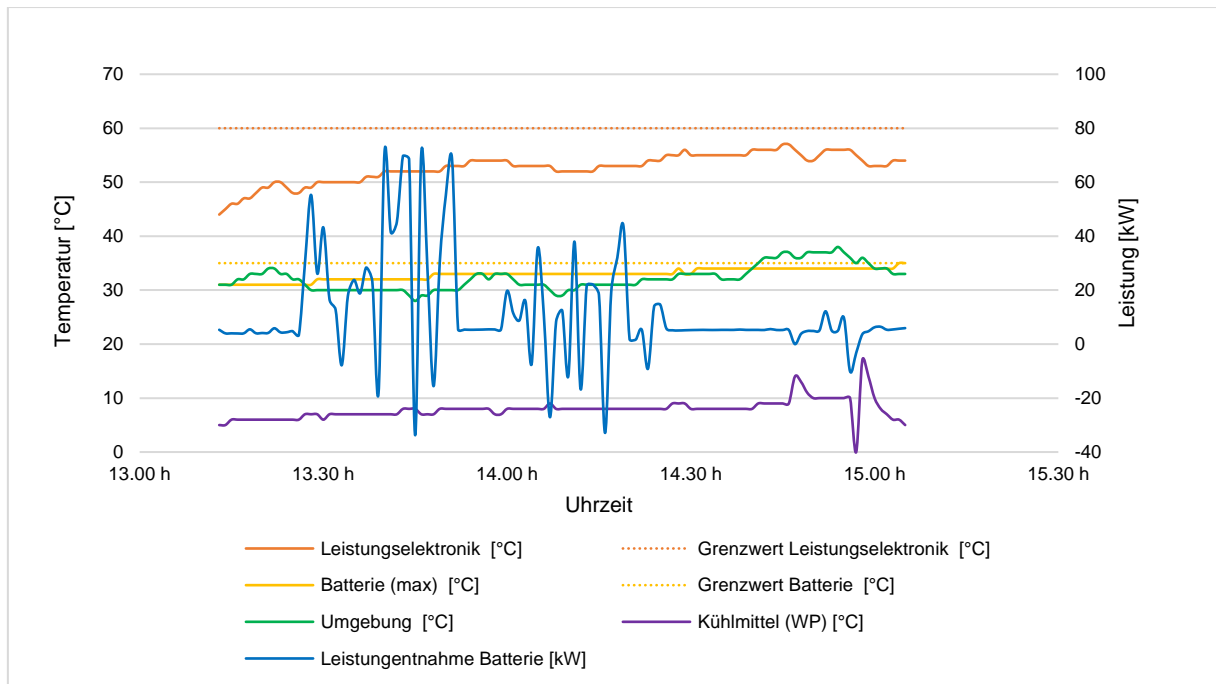


Abbildung 50: Kühlmitteltemperaturen bei Umgebungstemperaturen bis zu 35°C. Gemessen am 13.8.2024 in Olten.

Abbildung 50 zeigt beispielhaft einen Auszug, welcher die oben genannten Bedingungen erfüllt. Von Interesse sind die gemessenen Temperaturen im Kühlmittel der beiden Teilkreise (Leistungselektronik und Batterie) und die Umgebungstemperaturen, welche hier bis 35 °C ansteigt. Das Fahrzeug bewegt sich in den ersten 20 Minuten im Stadtgebiet von Olten, danach bis 14:20 Uhr auf Überlandstrassen. Die letzte halbe Stunde befindet sich das Fahrzeug wieder im Stadtgebiet. Das Mischventil indiziert gleichzeitigen Kühlbedarf der Batterie und der Kabine.

Die Wärmepumpe kann die Kühlmitteltemperatur im Schnitt unter 10°C halten, was für eine ausreichende Klimatisierung der Fahrerkabine sorgt. Die Batterietemperatur bewegt sich ebenfalls im erlaubten Temperaturfenster, gleichermassen wird Leistungselektronik ausreichend gekühlt.

Es liegen Messungen von 3 weiteren Tagen vor, an denen die Temperatur und Betriebszeit die definierten Kriterien erfüllt. Auch dort zeigt sich, dass die maximale Temperatur der Batterie sowie der Leistungselektronik ebenfalls innerhalb der zulässigen Grenzen gehalten werden konnte.

4.2 Diskussion

Nebst der Datenanalyse der gesammelten Traces über das INSIGHT und deren Auswertung, wurde auch das Gespräch mit der Kundschaft gesucht, um eine praxisnahe Einschätzung des Produkts zu kriegen.

Mit der **Grundkonfiguration** als Kommunalfahrzeug konnte schon einige Erfahrung gesammelt werden und die Rückmeldung war durchs Band positiv. Die Leistung, Laufzeit und die Lärmreduktion werden geschätzt. Teilweise herrschen bei den Arbeitern noch gewisse Vorwände, welche es mit Daten und Aufklärung zu beseitigen gibt. Eine Angewöhnung wird weiterhin Zeit benötigen und eine Offenheit der Arbeitskräfte voraussetzen. Der Nutzen aus Elektrofahrzeugen ist jedoch allgemein anerkannt und wird doch auch geschätzt.

Für die Beurteilung des **EEF** wurde mit dem Spezialisten der Fahrzeugbeschaffung bei der Gebäudeversicherung Zürich das Gespräch gesucht. Die Beschaffung dessen gestaltet sich etwas aufwändiger als bei einem Kommunalfahrzeug, da sich ein neues Feuerwehr-Fahrzeug im Kanton



Zürich den geforderten Einsatzkonzepten und Pflichtenhefte der Gebäudeversicherung Kanton Zürich eingliedern muss. Es wird eine Lebensdauer von 25 Jahre gefordert, was eine grosse Herausforderung von solchen Fahrzeugen darstellt.

Das Fahrzeug wird in Einsatz-Trainings eingesetzt und im Jahr 2025 ist es für eine grosse Einsatzübung in Deutschland eingeplant, um Erfahrungen in Langzeiteinsätzen mit dem Fahrzeug zu sammeln.

Als positiv wurde wiederum die verringerte Lärmbelastung genannt, was in der Ausbildung nützlich ist. Insbesondere für den Einsatz im städtischen Gebiet wird dem Fahrzeug Potenzial zugeschrieben, da immer enger gebaut wird und die errichteten Verkehrshindernisse zu Schwierigkeiten für grosse Blaulichtfahrzeuge führen. Die auf 60 km/h gedeckelte Maximalgeschwindigkeit wird als weniger kritisch beurteilt, da Einsatzfahrten typischerweise keine grossen Strecken sind und daher keine hohen Geschwindigkeiten erreicht werden müssen. Zudem wurde noch angemerkt, dass die Hinterachslenkung zu kleinen Lackschäden geführt hat (unerwartete Lenkung) und bei einem Fahrzeug dieser Grösse ist der Nutzen eher gering verglichen mit den Ausbildungsaufwendungen.

Details aus den Gesprächen zu den Bereichen *Energieverbrauch*, *Nachhaltigkeit*, *Wirtschaftlichkeit* und *Lärm* werden in den fortfolgenden gleichnamigen Abschnitten diskutiert.

4.2.1 Energieverbrauch im Arbeitsalltag

Datenanalyse

Sowohl im Leerlauf als auch im Fahrbetrieb zeigt das batterieelektrische Fahrzeug eine deutliche Steigerung des Gesamtwirkungsgrades um einen Faktor 8.8 im Leerlauf und Faktor 8.2 im Fahrbetrieb. Für den Fall mit eingeschalteter Kühlung sinkt die Effizienzsteigerung im Leerlauf auf Faktor 5.8 und im Fahrbetrieb auf Faktor 8.0, da die Leistungsaufnahme der Wärmepumpe beim Elektroantrieb einen grösseren prozentualen Anteil an der Last ausmacht.

Wird die Fahrerkabine im Leerlauf geheizt, sinkt die Effizienz weiter auf Faktor 4.2, da sich hier der Vorteil des Diesellaggregates zeigt, welches die Motorabwärme zum Heizen nutzen kann, während beim Elektrofahrzeug die Heizleistung durch die Wärmepumpe bereitgestellt werden muss.

Abbildung 10 zeigt das Systemschaubild des Elektrofahrzeugs mit dem direktelektrischen Antriebskonzept und den teilelektrifizierten Anbaugeräten. Die grosse Effizienzsteigerung gegenüber dem Dieselfahrzeug wird durch den Wegfall des Dieselmotors und des hydraulischen Getriebes, sowie der weiteren Reduktion an hydraulisch betriebenen Komponenten durch die Teilelektrifizierung der Anbaugeräten erzielt. In den Bremsphasen kann zudem, wie in 4.1.1 gezeigt, potenziell rund 40% der beim Beschleunigen oder Bergauffahren aufgewendeten Energie wieder zurückgewonnen werden, wodurch sich die Effizienz des Systems weiter erhöht.

Für die generisch aufgestellten Lastfälle (gem. Abbildung 29) zeigt sich eine starke Abhängigkeit von den im Betrieb stehenden Anbaugeräte, da der Fahrtrieb und die Klimatisierung vergleichsmässig einen kleinen Teil der Last ausmachen. In Tabelle 12 wird pro Szenario die jeweils maximale

Tabelle 12: Maximale Betriebszeit, sowie minimale AC- und DC-Ladedauer und Mindestanzahl an Ladepausen für einen 8 h Einsatz des URS.e Kommunalfahrzeugs für unterschiedliche generische Lastfälle

Lastfall	Max. Betrieb [h]	Min. AC-Ladedauer [h]	Min. DC-Ladedauer [h]	Min. Anzahl Ladepausen [-]
Böschungsmähen/ Schwemmbalken	8.29	-	-	-
Schneefräsen	3.83	5.22	1.74	2
Winterdienst	6.10	1.50	0.50	1



Betriebszeit ohne zwischenzeitliches Nachladen bestimmt, wobei von einer 90% Entladung der Nettokapazität ausgegangen wird. Daraus wird ermittelt, wie lange und wie oft das Fahrzeug für einen achtstündigen Arbeitstags mindestens an der Ladebuchse verbringen muss. Für das AC-Laden wird von einer Dauerladeleistung von 22 kW ausgegangen, für das Laden mit DC-Strom von 73 kW.

Es zeigt sich, dass für den Lastfall "Böschungsmähen/Schwemmbalken" problemlos mehr als acht Stunden am Stück ohne Ladepause gearbeitet werden kann, wobei für den Lastfall "Winterdienst" und "Schneefräsen" mindestens eine Ladepause nötig ist. Während sich eine einstündige Ladepause über Mittag anbietet, muss zumindest für einen vollen Tag im Fräsbetrieb eine leichte Einschränkung durch eine weitere halbe Stunde in Kauf genommen werden. Weiter ist zu beachten, dass sich die Dauer der Ladepausen erhöhen, falls nicht mit den erwähnten Ladeleistungen geladen werden kann. Durch die Alterung der Batterie wird zudem die maximal speicherbare Energie, welche durch die Batterie bereitgestellt werden kann, bis zum Lebensende (7200 Betriebsstunden) auf 80% abnehmen. Dadurch sinkt die maximale Betriebszeit, während sich die Dauer und Anzahl der Ladepausen zwangsläufig etwas erhöht.

Um einen besseren Eindruck der Leistungs- und Energieintensität der verschiedenen Lastfälle zu erhalten, zeigen die Abbildungen Abbildung 51 – Abbildung 54 die Ausgangsleistungen und SOC der im Messkonzept erarbeiteten Tagesszenarien:

Abbildung 51 zeigt die Leistungsabgabe und den Energieverbrauch eines 6 h Feuerwehreinsatzes, wobei der Einsatz auf total 1 h Hin- und Rückfahrt, 3 h Löscheinsatz bei voller Pumpenleistung sowie 2 h Nebenarbeiten aufgeteilt ist. Durch einen kürzeren Anfahrtsweg und nach Möglichkeit reduzierter Pumpenleistung wären auch längere Einsätze möglich.

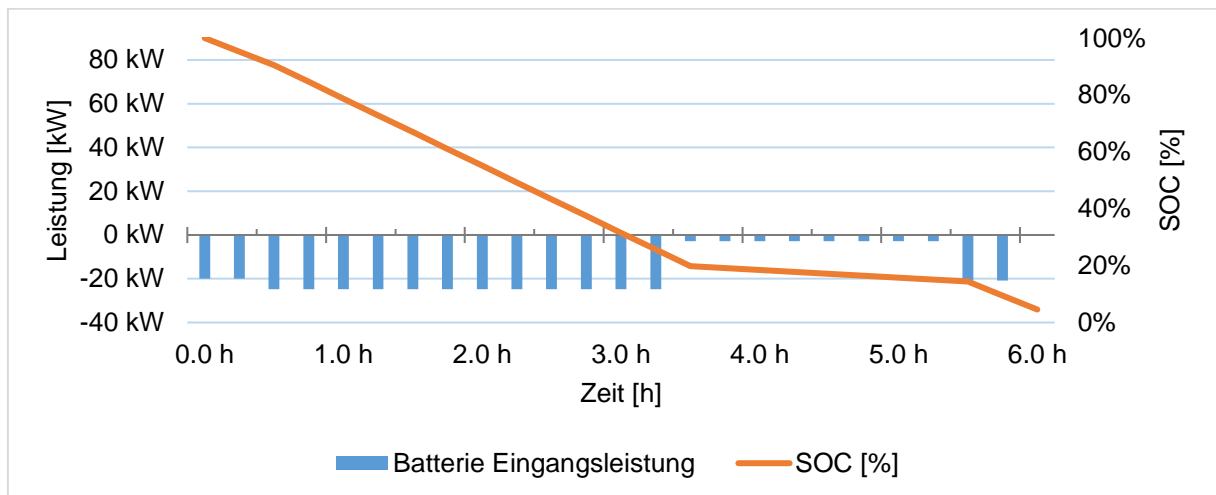


Abbildung 51: Leistungs- und SOC Verlauf für einen 6h Feuerwehreinsatz ohne Nachladen

Abbildung 52 zeigt die Leistungsabgabe und den Energieverbrauch für Strassenunterhalts- und Reinigungsarbeiten (Schwemmbalken und Böschungsmähen) an einem 9 h Arbeitstag mit 1 h DC-Laden in der Mittagspause. Anhand des SOC vor dem Ladestopp in der Mittagspause und nach 10 h ist ersichtlich, dass auch längere Betriebszeiten ohne zusätzlicher Ladepause möglich wären. Dies aufgrund der relativ niedrigen Leistungsaufnahme der Anbaugeräten und der tiefen Fahrgeschwindigkeit.

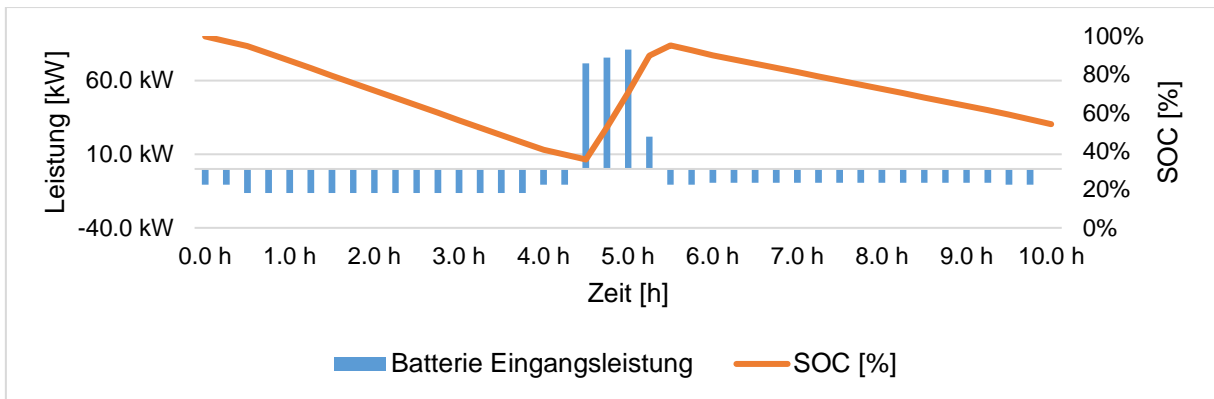


Abbildung 52: Leistungs- und SOC Verlauf für 10 h Strassenarbeit mit 1h DC-Laden über Mittag

Für das in Abbildung 53 gezeigte Tagesszenario des SchneefräSENS mit einer totalen Arbeitszeit von total 9h muss aufgrund der hohen Leistungsaufnahme der FräSE eine zusätzliche Ladepause eingelegt werden. Die Dauer der FräSEinsätze vor einer Ladepause dauern jeweils 2.5 bis 3 Stunden. Die Dauer der Ladepausen betragen zwischen 30 Minuten und 1 Stunde.

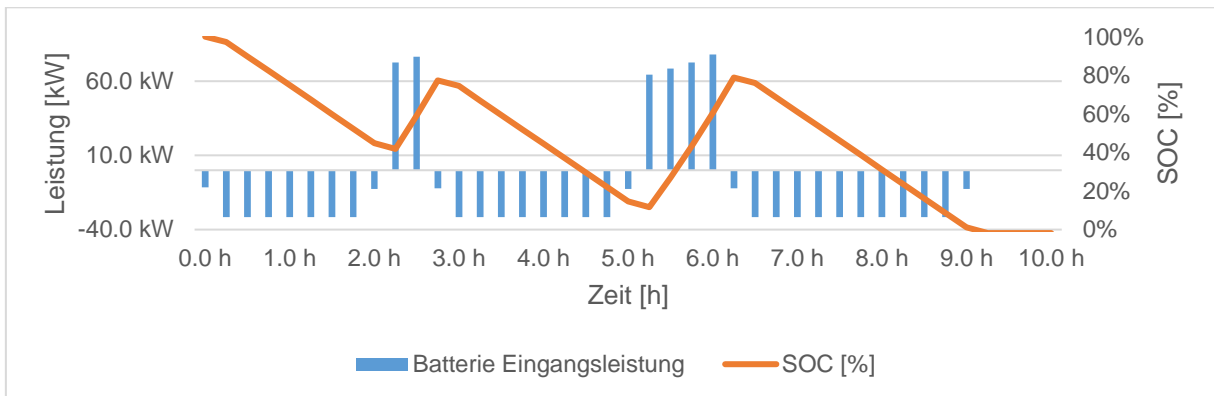


Abbildung 53: Leistungs- und SOC Verlauf für 9 h SchneefräSENS mit 45 min DC-Laden am Vormittag und 1 h DC-Laden in der Mittagspause

Wie im gezeigten Tagesszenario "Strassenarbeit" in Abbildung 52, reicht auch im in Abbildung 54 gezeigten Szenario "Winterdienst" die 1 h DC-Ladepause über die Mittagspause aus, um einen Betrieb von 10 h und darüber hinaus sicherzustellen.

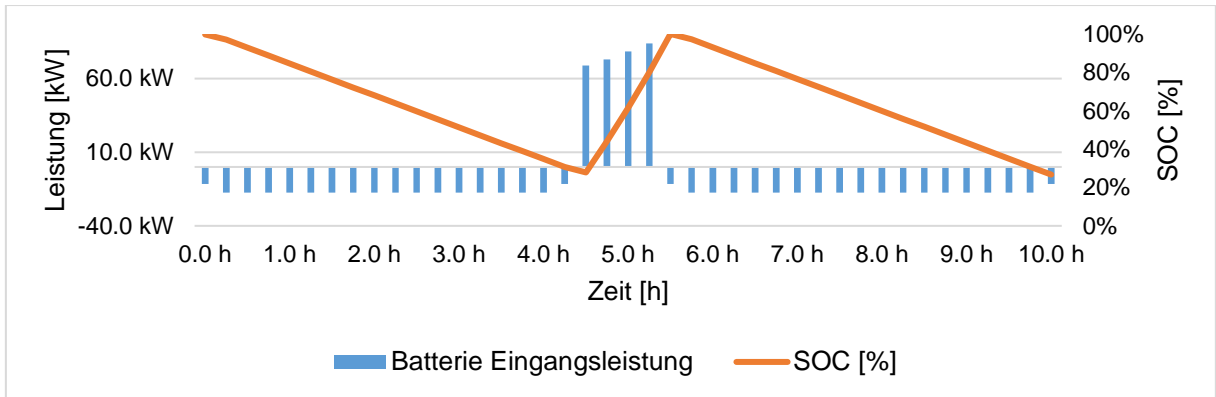


Abbildung 54: Leistungs- und SOC Verlauf für 10 h Winterdienst mit 1 h DC-Laden in der Mittagspause

Abbildung 55 – Abbildung 56 zeigen generische Ladevorgänge an DC- und AC-Ladesäulen von 0 – 100%. Das DC-Laden dauert rund 1h 39min, während das AC-Laden 4h 45min dauert. Das vollladen mit DC nimmt somit rund 3h weniger Zeit in Anspruch. Dies zeigt, dass für schwere Arbeiten wie "Winterdienst" oder "Schneefräsen" eine DC-Ladesäule zum Aufladen des Fahrzeugs essenziell ist, sofern die Arbeiten über den gesamten Arbeitstag mit minimalen Ladepausen ausgeübt werden sollen. An einer solchen DC-Ladesäule sollte mit bis zu 84 kW geladen werden können, um das volle Ladepotential auszuschöpfen.

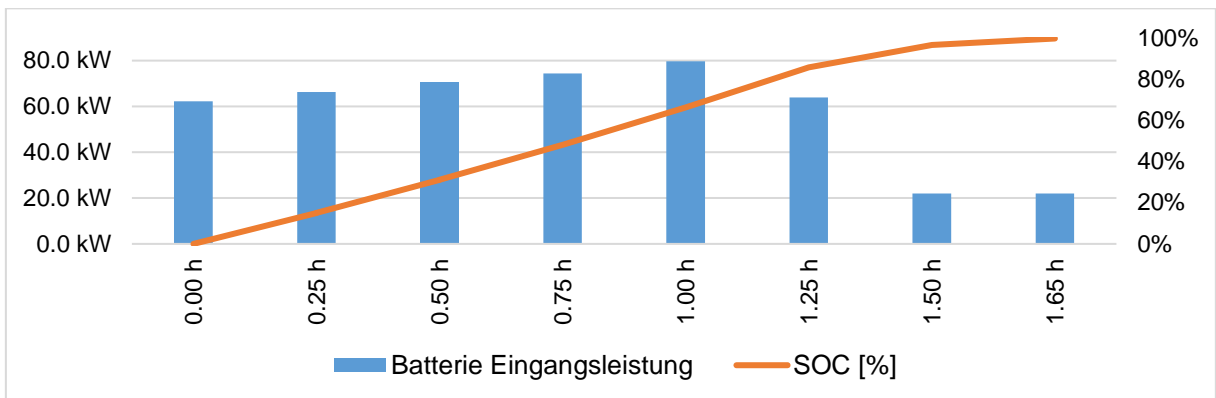


Abbildung 55: Laden an DC-Ladesäule mit maximaler Ladeleistung von 0 - 100%

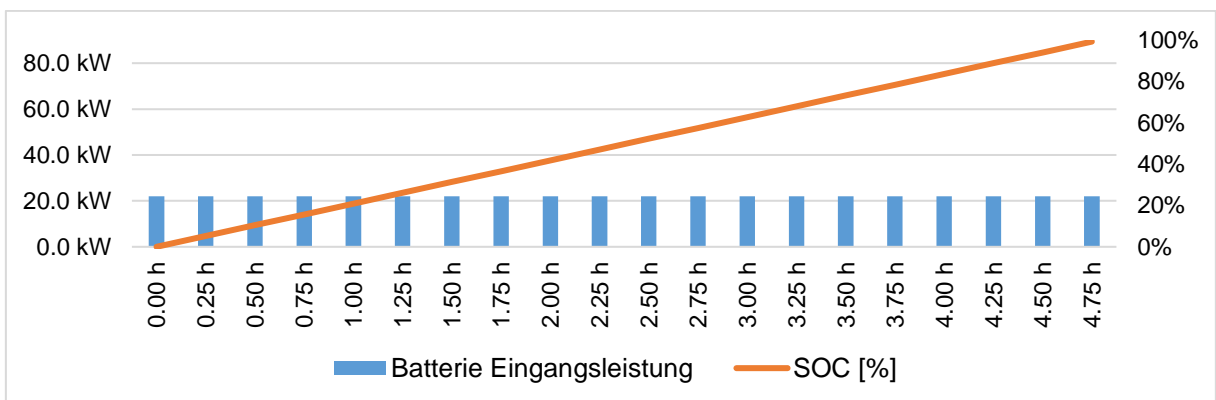


Abbildung 56: Laden an AC-Ladesäule mit maximaler Ladeleistung von 0 - 100%



Erfahrungsberichte

Die elektrischen Fahrzeuge von Meili konnten bereits mehrfach in Gemeinden und Städten betrieben werden und lösen dort durchwegs positive Reaktionen aus. Mit dem Fahrzeug kann im Sommer, als auch im Winter, problemlos über mehrere Tage ohne elektrische Aufladung im Kommunalbetrieb gearbeitet werden (Material- und Personentransport). Speziell wird die Flexibilität des Fahrzeugs geschätzt, welches mit den verschiedenen Anbaugeräten diverse Arbeiten erledigen kann. Dabei wurde das Fahrzeug teilweise auch mit einem 2000 Liter Tank ausgestattet, für Gärtner, beziehungsweise Bewässerungsaufgaben.

Im Fall, dass mit dem Fahrzeug gepfadet wird je nach Schneehöhe von Laufzeiten bis 9h berichtet. Sollte es mal viel Schnee zu räumen geben muss nach 4 Stunden nachgeladen werden, wobei dann sowieso eine Pause fällig wird und dies deshalb nicht negativ ins Gewicht fällt. Für die Wintertage wird die verfügbare Dieselheizung sehr geschätzt, da sie ausreichend Wärme liefert, ohne wertvolle elektrische Energie zu verbrauchen.

Für das Schneefräsen werden beispielsweise in der Stadt Rapperswil bisher herkömmliche Kompakttraktoren benützt, welche über eine ähnliche Fahrzeugbreite verfügen. Es herrscht hier ähnlich wie im elektrischen PKW-Sektor eine gewisse Reichweitenangst. Gerade bei systemrelevanten Aufgaben tasten sich die Gemeinden und Städte nur langsam an die neuen Fahrzeuge heran.

Den Verantwortlichen auf dem Werkhof fällt es schwer einen typischen Tag aufzuzeichnen, jedoch scheinen die Fahrzeuge nur in seltenen Fällen an ihre Grenzen zu kommen. Das Aufstellen der generischen Tage kann trotzdem helfen, um mit Kunden gemeinsam ein Tagesszenario aufzuzeichnen und so die Limiten der Fahrzeuge besser zu verstehen. Schlussendlich ist die Kundschaft aber oft praktisch orientiert, und muss durch Fahr- und Arbeitsgefühl überzeugt werden. Dieses scheint den Aussagen verschiedener Kunden nach auch der Fall zu sein.

Bei einigen Gemeinden wird darüber nachgedacht die Werkhöfe mit Solarpanelen auszustatten, um genügend eigene Energie für die Fahrzeuge zu produzieren und Spitzen abfangen zu können. Es stellt jedoch dieselbe Herausforderung, wie bei den elektrischen PKWs. Diese befinden sich nicht in ihrer Heimgarage, wenn die Sonne scheint. Deshalb müsste ein Pufferspeicher eingesetzt werden, was aber teuer sein kann und Platz benötigt. Aktuell reiche der Hausanschluss aber noch aus, um die Fahrzeuge laden zu können. Schnellladungen könnten aber zum Problem werden. In Winterthur wurde aber gezeigt, dass mit einer Schnellladung in 30 Minuten die Kapazität von 10 auf 50% geladen werden konnte – dies sei sehr wichtig, um in kurzen Pausen zu "boosten".

Mit den elektrischen Front-Anbaugeräten von Meili sind die Benutzer zufrieden. Anscheinend sei aber beispielsweise noch kein zufriedenstellender elektrischer Heck-Salzstreuer auf dem Markt, welcher für den Winterdienst ein integrales Bauteil ist. Dieses Thema muss in Zukunft noch angegangen werden.

4.2.2 Nachhaltigkeit

Datenanalyse

Die Vergleiche mit verschiedenen Stromprodukten zeigen, dass die Wahl des Strommixes, und die damit verbundenen CO_{2e} Emissionen, für die Ökobilanz von grosser Bedeutung ist. Die Vergleiche zeigen jedoch auch, dass selbst beim Betrieb mit dem Schweizer Verbraucher-Strommix, die batterieelektrische Variante über die gesamte Lebensdauer betrachte umwelttechnisch gesehen noch immer deutlich besser abschneidet als mit konventionellem Dieselantrieb. Der Break-Even wird selbst beim Betrieb mit dem Schweizer Verbraucher-Strommix bereits nach 252 Betriebsstunden erreicht. Jede zusätzliche Betriebsstunde wirkt sich weiter positiv auf die ökologische Bilanz aus. Durch die Nutzung eines Elektromotors und der damit verbundenen Effizienzsteigerung, wird ausserdem deutlich weniger Primärenergie benötigt. Der Wegfall an Abwärme durch die gesteigerte Effizienz muss hingegen für das Heizen der Kabine mithilfe elektrischer Energie aus der Batterie kompensiert werden.



Durch den gänzlichen Wegfall an direkten Emissionen erweitert sich das Einsatzgebiet des batterieelektrischen Kommunalfahrzeuges auf Gebiete, wo aufgrund strenger Umweltvorschriften der Einsatz von nicht elektrifizierten Kommunalfahrzeugen untersagt ist; beispielsweise in touristisch geprägten Berggemeinden. Dadurch trägt das Fahrzeug zu einer massgeblichen Reduktion von Abgasen, insbesondere CO₂, aber auch Feinstaub und giftigen Stickoxiden (NO_x), über die gesamte Lebensdauer im Einsatzgebiet bei.

Im Gegensatz zum Fahrzeug mit Dieselantrieb werden für die Produktion eines Elektrofahrzeugs, insbesondere der Batterie und des Elektromotors, andere, teils kritische Rohstoffe verwendet. Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan und Grafit werden für die Produktion der Batterie benötigt, während für den Elektromotor hauptsächlich Kupfer und Seltene Erden wie Neodym, Praseodym und Dysprosium in den Permanentmagneten, verwendet werden. Die Gewinnung dieser Materialien hat in den Abbaugebieten teils negative Auswirkungen auf das Ökosystem sowie das Leben der dortigen Bevölkerung¹⁷. Aktuelle Forschungen befassen sich mit der Reduktion der zu verbauende Menge an kritischen Rohstoffen oder zielen auf eine vermehrte Recyclingquote ab. Durch die prognostizierte Zunahme an Batterieelektrischen Fahrzeugen in den kommenden Jahren, wird jedoch der Abbau dieser Materialien weiterhin die Hauptquelle für die Produktion sein.

4.2.3 Wirtschaftlichkeit

Datenanalyse

Obwohl der Anschaffungspreis eines Elektrokommunalfahrzeuges über demjenigen des vergleichbaren Dieselfahrzeuges liegt, zeigt die Gesamtkostenrechnung, dass die tieferen Kosten im Betrieb und die 35% geringeren Kosten bei der Wartung des Elektrofahrzeugs, die anfängliche Mehrinvestition zu kompensieren vermögen. Durch die geringeren Energiekosten im Betrieb, wirkt sich zudem jede weitere Betriebsstunde positiv auf die Kostendifferenz aus.

Die Vergleiche der unterschiedlichen Energieszenarien in Tabelle 13 zeigen, dass die Preise für Diesel sowie elektrische Energie einen erheblichen Einfluss auf die Energiekosten der beiden Produkte haben. Da die Preise für Diesel und Strom eng miteinander korrelieren, und deshalb ein Szenario mit tiefen Diesel- und hohen Stromkosten oder umgekehrt nicht realistisch ist, kann unabhängig vom zukünftigen Energiekostenszenario mit einer Energiekostenreduktion von rund 80% gerechnet werden¹⁸.

Über die gesamte Lebensdauer der Fahrzeuge ergibt sich dadurch, wie in Tabelle 14 gezeigt, über alle Energiekostenszenarien hinweg eine konstante Reduktion der TCO von rund 16 – 18%. Somit stellt das Batterieelektrische Fahrzeug unabhängig vom zukünftigen Energiekostenszenario auch über die gesamten Lebensdauerkosten die preislich günstigere Variante dar.

Tabelle 13: Vergleich der absoluten Energiekosten für verschiedene Energiekostenszenarios über die gesamte Lebensdauer

Szenario Energiekosten	Kosten Diesel [CHF]	Kosten Elektro [CHF]	Kostenreduktion [CHF]	Kostenreduktion [-]
Niedrig	137'974	22'730	137'974	84%
Aktuell	170'525	29'051	141'474	83%
Hoch	196'416	35'371	161'045	82%
Aktuell + PV	170'525	26'530	143'995	84%

¹⁷ <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/sustainable-and-responsible-development-of-minerals>, Mai 2021

¹⁸ <https://www.avenir-suisse.ch/kraftwerke-wie-der-tiefe-oelpreis-und-der-starke-franken-die-energiestrategie-belasten/>, Februar 2015



Tabelle 14: Vergleich Total Cost of Ownership (TCO) für verschiedene Energiekostenszenarios über die gesamte Lebensdauer

Szenario Energiekosten	TCO Diesel [CHF]	TCO Elektro [CHF]	Kostenreduktion [CHF]	Kostenreduktion [-]
Niedrig	382'704	352'448	30'256	8%
Aktuell	392'525	358'769	33'756	9%
Hoch	418'416	365'089	53'327	13%
Aktuell + PV	392'525	356'248	36'277	9%

Im Gegensatz zum gesicherten kostengünstigeren Betrieb des Elektrofahrzeugs zeigt sich bei dessen Produktion jedoch ein deutlich erhöhtes ökonomisches Risiko gegenüber der Produktion des Dieselfahrzeugs. Denn nebst den sozialen und ökologischen Herausforderungen birgt der Rohstoffabbau für die Produktion der Batterie und des Antriebstrangs auch ökonomische Risiken. Der Abbau der einzelnen Rohstoffe ist jeweils auf einige wenige Hauptförderländer begrenzt, was ein erhöhtes Risiko für Preisschwankungen und Versorgungsengpässen mit sich führt. Des Weiteren fördert und verarbeitet China rund 87% der weltweit vorkommenden Seltenen Erden, sowie 65% des Kobalts, 40% des Kupfers, 58% des Lithiums und 35% des Nickels.¹⁹ Dies führt zu hohen ökonomischen Risiken sowie politischen Abhängigkeiten in der Rohstoffversorgung. Diesem Risiko wird jedoch mit verschiedensten politischen Massnahmen wie dem "Critical Raw Materials Act" der Europäischen Union begegnet, um den Abbau und die Verarbeitung der Rohstoffe zu diversifizieren.²⁰

Erfahrungsberichte

Von mehreren Werkhöfen wurden die Meili Fahrzeuge im oberen Preissegment verortet, jedoch wurde im selben Atemzug auch immer auf die hervorragende Qualität und Zuverlässigkeit hingewiesen; Vergleichbare elektrische Fahrzeuge anderer Hersteller seien anfälliger auf Probleme bei Neueinführung.

Zu den spezifischen Mehrkosten des elektrischen Fahrzeugs gegenüber dem konventionellen wurde gesagt, dass sich aktuell der Betrieb mit Strom als viel günstiger herausstellt als mit Diesel. Auch wenn die elektrischen Fahrzeuge noch keinen Lebenszyklus in den Werkhöfen durchlaufen haben, wird die Wartungsintensität von den Betreibern bisher als tiefer eingeschätzt, was die Betriebskosten weiter senkt. Gewisse Schäden entstehen aber auch durch den Betrieb selbst (Kratzer, Dellen etc.), welche gleichermassen bei Diesel- und Elektrofahrzeugen zu behandeln sind und einen nicht vernachlässigbaren Anteil der Werkstattarbeit ausmachen.

4.2.4 Lärmemissionen

Datenanalyse

In allen gemessenen Lastfällen, emittierte der elektrifizierte URS.e substanziell weniger Lärm, was besonders für den Einsatz in dicht überbautem Gebiet wichtig ist.

Auch als EEF erzeugt das MEKG selbst bei eingeschalteter Löschwasserpumpe unter Vollast geringere Lärmemissionen als der URS im Leerlauf. Selbst im Löscheinsatz, bei dem als erstes nicht an geringe Lärmemissionen gedacht wird, erweisen sich geringere Lärmemissionen als Vorteil. Denn dadurch ist eine bessere Verständigung unter dem Feuerwehrpersonal möglich.

Besonders als Schulungsfahrzeug, wofür das EEF zurzeit hauptsächlich im Einsatz steht, erweisen sich die geringeren Lärmemissionen als grossen Vorteil, da neben dem laufenden Fahrzeug weiterhin ungestört verbal an der Maschine vermittelt werden kann.

¹⁹ <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>, Mai 2021 (S. 14)

²⁰ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1661, (05.07.2024)



Erfahrungsbericht

Die starke Lärmreduktion wird von den Betreibern durchs Band als positiv wahrgenommen. Durch die reduzierte Geräuschkulisse sind neue Dinge hörbar, wie Pneu-Abrollgeräusche bei grober Bereifung oder das Summen der Hydraulikpumpe. Auf Nachfrage wird dies aber keinesfalls als negativ bewertet.

Bei dem ein oder anderen Fahrer schwingt aber anscheinend noch etwas Nostalgie mit, da so mancher gern noch das Brummen des Dieselmotors hört.

4.2.5 Vibrationen

Datenanalyse

Da die Beschleunigungs-Messungen auf dem Meili Gelände in Schübelbach an den Basisvarianten des URS und URS.e durchgeführt wurden, lassen sich die beiden Fahrzeuge direkt miteinander vergleichen.

Bei beiden Fahrzeugen sind die Vibrationen auf dem jeweiligen Antriebsmotor am Ausgeprägtesten. Bei beiden Fahrzeugen werden diese Vibrationen jedoch gut gedämpft und nur unwesentlich auf das Chassis übertragen.

Beim Elektrofahrzeug erzeugt die Hydraulikpumpe die stärksten Vibrationen auf das Chassis. Beim Verbrenner Fahrzeug ist die Hydraulik hingegen gar nicht erkennbar. Beim Elektrofahrzeug werden die Vibrationen der Hydraulik zudem auch auf das Lenkrad übertragen (evtl. über die Servolenkung). Ob dies den Fahrkomfort beeinträchtigt ist anzuzweifeln. Die Überprüfung der Vibrationen gemäss Richtlinie 2002/44/EG (Fahrkomfort) hat bei beiden Fahrzeugen gute Ergebnisse ergeben.

Bei den Vergleichen zu den Normen wurde geprüft ob die Vibrationen an der Batterie innerhalb der Spezifikationen der ECE R100 Norm liegen. Die Vibrationen an der Batterie sind bis zu 10-mal kleiner als in der Norm begrenzt.

Der Vergleich der Wärmepumpe (Klimaanlage) zu den akzeptablen Beschleunigungen für 10'000 h Betrieb zeigt, dass die Klimaanlage mechanisch überlastet ist. Sofern die Angaben der akzeptablen Beschleunigungen sich mit der maximal zulässigen Vibration decken würden, wird die Klimaanlage die Lebensdauer von 10'000 h nicht erreichen.

Erfahrungsbericht

Von keinem der befragten Betreiber, wurden Auffälligkeiten im Bezug auf Vibrationen festgestellt. Weder konnte ein Testfahrer von Meili etwas Auffälliges wahrnehmen.



5 Schlussfolgerungen und Fazit

Meili bietet mittlerweile den Grossteil seiner Fahrzeugflotte auch in elektrischen Ausführungen an und hat dabei wiederholt die technische Machbarkeit einer Elektrifizierung eindrucksvoll bewiesen. Das Bestreben, immer grössere und vielfältigere Fahrzeugklassen zu erschliessen, entspricht den klar erkennbaren Marktbedürfnissen. Elektrische Fahrzeuge bieten nicht nur erhebliche Vorteile für die Fahrer, sondern setzen auch ein starkes Signal zur Unterstützung ambitionierter Klimaziele – insbesondere durch die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand. Das Interesse an batterieelektrischen Kommunalfahrzeugen zahlreicher Kommunen bestätigt diesen Ansatz.

Der Vermarktungsstart des MEKG im Jahr 2024 ist erfolgreich erfolgt, und erste Aufträge sowie Ausschreibungen werden bereits bearbeitet. Die starke Marktnachfrage des Fahrzeugsegments unterstreicht die Wichtigkeit einer ausführlichen Validierung und Erprobung des Fahrzeugs, um mit einem ausgereiften Produkt auf den Markt zu treten. Denn je grösser und kostenintensiver die Fahrzeugklassen werden, desto höher sind die Anforderungen des Kunden.



Abbildung 57: Frontansicht des URS.e Kommunalfahrzeugs mit Ladefläche



Abbildung 58: Heckansicht des URS.e mit angestellter Ladefläche

Aktuell gibt es keine vergleichbaren Konkurrenzprodukte auf dem Markt, was einen entscheidenden Vorteil darstellt. Diese Marktführerschaft bietet die Möglichkeit, frühzeitig Standards zu setzen und die Position zu stärken, bevor ein grösserer Wettbewerb entsteht. Die Vorlaufzeit bis zum Markteintritt potenzieller Mitbewerber ermöglicht es, das Produktportfolio weiterzuentwickeln und bestehende Prozesse zu optimieren.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Produktionsstrategie. Der kundenspezifische Fahrzeugbau von Viktor Meili erlaubt es, jeden Geräteträger individuell zu fertigen und somit optimal auf Kundenbedürfnisse einzugehen. Diese Flexibilität ist ein klarer Wettbewerbsvorteil, da grössere Hersteller aufgrund ihres Fokus auf Massenproduktion erst bei höheren Stückzahlen in dieses Marktsegment einsteigen werden. Damit bleibt ausreichend Zeit, sich als führender Anbieter zu etablieren und langfristige Wettbewerbsvorteile zu sichern.

5.1 Erreichen der gesteckten Ziele

Das Projekt zur Elektrifizierung und Neuentwicklung des MEKG hat alle Zielsetzungen entweder erfüllt oder massgeblich dazu beigetragen den Anforderungen ein gutes Stück näher zu kommen. Das MEKG stellt einen weiteren Meilenstein in der Weiterentwicklung elektrischer Kommunal- und Spezialfahrzeuge dar, wodurch ein erheblicher Mehrwert für verschiedene Interessengruppen – von Fahrern und Technikern bis hin zur breiten Bevölkerung – geschaffen wird.



- Hinsichtlich der angestrebten **Effizienzsteigerung** von einem Faktor grösser fünf, ist man mit den je nach Einsatz gesteigerten Effizienz um einen Faktor 8 deutlich über dem angestrebten Wert. Wo auf dem Dieselfahrzeug die Effizienz eine untergeordnete Rolle spielte, ist sie auf dem MEKG essenziell, um die Laufzeit zu optimieren.
Trotz der beachtlichen Energieoptimierung bleibt der durchgehende Betrieb mit der Schneefräse eine Herausforderung. Eine Durchhaltefähigkeit von knapp vier Stunden dürfte hier noch nicht alle Gemeinden überzeugen. Es werden deshalb weitere Massnahmen ausgearbeitet (vgl. Abschnitt 6). Alle anderen untersuchten Arbeitsszenarien (vgl. Tabelle 12) können mit maximal einer Zwischenladung gewährleistet werden.
Das **Schnellladen** ist fahrzeugseitig möglich aber die Rückmeldungen der Werkhöfe hat gezeigt, dass vorwiegend über das Fahrzeugladegerät mit 22 kW ab Netzsteckdose geladen wird. Es wird klar erkannt, dass für intensive Einsätze eine DC-Ladestation beschafft werden muss. Der Bedarf ist aber bisher nicht vorhanden, weshalb eine solche Anschaffung bisher nicht legitimiert werden kann.
- Die drastische Reduktion von **Schadstoff-** und **Lärmimmissionen**, sowohl innerhalb der Fahrerkabine als auch in der Umgebung, tragen signifikant zur Lebensqualität in urbanen und ländlichen Gebieten bei. Das direkte Nutzen innovativer Technologien für die Gesellschaft unterstreicht den Beitrag des öffentlichen Sektors zu einer nachhaltigeren Zukunft.
- Das Einhalten von regulatorischen Vorgaben zur gedämpften Lagerung der Batterie konnte festgestellt werden, womit ein ausreichender Schutz vor **Vibrationen** sichergestellt ist. Das Überschreiten der vom Wärmepumpen-Hersteller angegebenen Hüllkurve kann möglicherweise zu einer reduzierten Lebensdauer der Komponente führen. Die Auswirkung muss aber zuerst noch genauer mit dem Hersteller erörtert werden. Trotz der nachgewiesenen leichten Erhöhung der Vibrationsbelastung an der Lenksäule, konnte diese haptisch nicht nachvollzogen werden, weder von Meili noch von befragten Pilotkunden.
- Abgerundet wird das Konzept durch höchste Zuverlässigkeit der eingesetzten elektrischen Komponenten, die eine lange Lebensdauer, reduzierte Wartungskosten und eine verbesserte Gesamtwirtschaftlichkeit (TCO) über alle zukünftigen Energiekostenszenarien bieten. Das Fahrzeug erfüllt somit nicht nur die aktuellen Anforderungen, sondern setzt einen zukunftsweisenden Standard für den Bereich elektrischer Kommunal- und Einsatzfahrzeuge.



6 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Die Erprobungsperioden des Fahrzeugs und Demonstrationstage bei verschiedensten Gemeinden in der Schweiz (siehe Abschnitt 8) wurden erfolgreich abgeschlossen respektive sind auf Interesse gestossen. Das zeigt sich auch in ersten Verkaufserfolgen.

Einzig das Ziel uneingeschränkt durch die anspruchsvollsten Winterdiensttage zu kommen, wurde nicht vollständig erreicht; Knapp vier Stunden kann mit der Fräse bei voller Leistung gearbeitet werden bevor eine etwas längere Ladepause eingelegt werden muss. Das Problem wurde erfasst und mehrere Lösungsansätze stehen zur Diskussion. Da die Infrastruktur das Nadelöhr für höhere Ladeleistungen darstellt, sind in diesem Bereich eine fahrzeugseitige Erweiterung nicht zielführend. Eine erweiterte Batteriekapazität wäre eine Option, jedoch auch nur sinnvoll, wenn über Mittag die ganze Kapazität nachgeladen werden kann. Zudem erfordern alle anderen Arbeitsszenarien eigentlich keine erweiterte Kapazität, weshalb die Mehrkosten für Gemeinden mit geringer Schneelast nur schwierig zu legitimieren wären.

Es wird deshalb eher in die Richtung von sogenannten "Range Extendern" gehen. Auch "serieller Hybrid" genannt, versorgt dabei ein auf dem Fahrzeug verbautes Aggregat das Fahrzeug bei Bedarf mit zusätzlicher elektrischer Energie. Für den Winterdienst könnte dieses temporär auf der Brücke installiert werden und für einen uneingeschränkten Einsatz sorgen. Verschiedene Ansätze sind denkbar:

5. **Zusatzbatterie**

Eine zusätzliche Batterie könnte die Einsatzdauer deutlich erhöhen, allerdings stellt die Zulassung eine Herausforderung dar. Da Batterien potenziell als Gefahrgut eingestuft werden, müssten Auflagen hinsichtlich Transport und Handhabung erfüllt werden. Dies könnte sowohl die Kosten als auch die Flexibilität einschränken.

6. **Verbrennungsmotor-Generator**

Ein kompakter Verbrennungsmotor-Generator könnte zuverlässig zusätzliche Energie bereitstellen und die Unabhängigkeit vom Ladenetz erhöhen. Allerdings widerspricht dieser Ansatz den Zero-Emission-Zielen und könnte in städtischen Gebieten problematisch sein. Die einfache Integration und die bewährte Technologie sprechen jedoch für diesen Ansatz als Übergangslösung.

7. **Brennstoffzelle**

Die Verwendung einer Brennstoffzelle wäre erneut eine umweltfreundliche Option, da sie im Betrieb nur Wasserdampf emittiert. Allerdings ist das System komplexer und könnte für den Bediener eine zusätzliche Herausforderung darstellen, etwa durch die Betankung mit Wasserstoff und die Integration in bestehende Prozesse. Der Einsatz dieser Technologie erfordert zudem eine ausreichende Wasserstoff-Infrastruktur, die in vielen Regionen noch nicht flächendeckend verfügbar ist.

Die endgültige Wahl des Systems hängt von einer sorgfältigen Abwägung der Kosten, der operativen Anforderungen und der ökologischen Zielsetzungen ab.

Abgesehen von der Fahrzeugbasis wird sich das Portfolio von Anbaugeräten weiterhin diversifizieren, jetzt, wo die Umsetzbarkeit für einige Geräte gezeigt werden konnte. Auch dem Fahrzeugaufbau sind keine Grenzen gesetzt. Die Plattform des MEKG bietet eine solide Basis, um jegliche mechanischen und elektrischen Aufbauten umzusetzen.



7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit mit nationalen Unternehmen ermöglicht eine einfache Absprache, persönliche Besuche und schnelle Lieferzeiten. Diese Vorteile sind während der ganzen Entwicklung und des Zusammenbaus enorm hilfreich. Der Standort Schweiz ist dank der Gewährleistung von hoher Qualität und Sicherheit für den Einkauf von Komponenten für Kommunalfahrzeuge sehr interessant.

Wichtig zu erwähnen, ist die enorme Fertigungstiefe, welche die Firma Viktor Meili AG als Projektpartner selbst zur Verfügung stellen kann. Von der Metallverarbeitung (Fräse-, und Drehmaschine, sowie Blechbearbeitung), über den Stahlbau (Schlosserei und Lackiererei), bis zur Konfektion von Kabelbäumen, werden die Arbeiten In-house durchgeführt.

7.1 Nationale Zusammenarbeit

Mit folgenden nationalen Lieferanten oder Partnern besteht eine weiterführende Zusammenarbeit:

- Carrosserie Rusterholz AG, Herr Karl Rusterholz, 8805 Richterswil

Das Familienunternehmen Carrosserie Rusterholz hat den Fahrzeugaufbau für das EEF gefertigt. Der Betrieb zählt heute zu den modernsten und innovativsten Carrosseriebetrieben der Schweiz.

- BRUSA HyPower AG, Herr Matthias Gossweiler, 9470 Buchs
BRUSA Elektronik AG, Herr Philipp Lüchinger, 9470 Buchs

Als schweizerisch, führendes Entwicklungsunternehmen im Bereich der Elektromobilität bietet BRUSA als Lieferant seit Jahren Produkte im Bereich der Leistungselektronik-, Lade- und Antriebstechnik.

- Bucher Hydraulics, Herr Andreas Schnurrenberger, 6345 Neuheim

Mit der Übernahme von Lenze Schmidhauser im 2021 hat Bucher Hydraulics zu einem wichtigen Baustein im Bereich der effizienten, hydraulischen Antriebslösungen hinzugefügt.



7.2 Internationale Zusammenarbeit

Wertvolle internationale Geschäftsbeziehungen bestehen mit den aufgeführten Unternehmen:

- Kreisel Electric GmbH & Co KG, Herr Markus Kreisel, 4261 Rainbach im Mühlkreis, Österreich
Mit der Firma Kreisel Electric konnte eine Batterie für die geforderten Einsatzzwecke entwickelt werden, welche modular für zukünftige Projekte eingesetzt werden kann. Die Firma beweist im Moment eine grosse Innovationskraft und wächst sehr stark.
- Bosch Engineering GmbH, Herr Markus Gassmann, 74003 Heilbronn, Deutschland
Die Bosch Engineering Off-Highway Antriebssysteme entwickelt und produziert vom Mutterhaus, aus automotiven Anwendungen sind für Traktionsantriebe ausgelegt. Die Adaption erlaubt es die Produkte auch in anderen Märkten zu verwenden.
- Rheinmetall Invent GmbH, Herr Gleb Zaikin, 74172 Neckarsulm, Deutschland
Aus dem Hause Kolbenschmidt entwickelt und produziert bei Pierburg hat sich in der Zwischenzeit ein eigenes Unternehmen aus dem Rheinmetall-Konzern ausgegründet, um Lösungen für Thermosysteme für mobile Arbeitsmaschinen und ähnliche Anwendungen zu schaffen.
- in-Tec Bensheim GmbH, Herr Stefan Krug, 64625 Bensheim, Deutschland
Die Kabelkonfektion im Bereich der Hochvolttechnik ist ihr Spezialgebiet. Als KMU bietet in-Tec Bensheim die Möglichkeit unkompliziert, fast jede Kundenanforderung zu erfüllen.



8 Kommunikation & Publikationen

Die batterie-elektrischen Kommunalfahrzeuge erwecken immer stärker das Interesse der Medien. Die Meili e.Allrounder werden öffentlich ausgestellt an diversen Messen und verschiedenen Veranstaltungen. Weiter erscheinen in Medien (gedruckt und digital) Medienmitteilungen, Artikel und Interviews zu den Einsatz von batterie-elektrischen Kommunalfahrzeugen. (genauere Angaben auf Anfrage)

Eine kurze Zusammenfassung von den wichtigsten medienwirksamen Auftritten und Publikationen.

- SUISSE PUBLIC, schweizerische Leitmesse des öffentlichen Sektors, in Bern, Juni 2023
- Aussteller Carrosserie Rusterholz AG, Exponat EEF
<https://suissepublic.ch/de/exhibitors/700>
 - o Aussteller Viktor Meili AG, Exponat Geräteträger URS.e
<https://suissepublic.ch/de/exhibitors/875>
- Artikel in EnergieiaPlus, Juni 2022
<https://energieiaplus.com/2022/07/12/schnee-pfluegen-oder-strasse-wischen-e-fahrzeuge-sind-immer-gefragter/>
- Artikel in Bauhof-Online, Mai 2023
<https://www.bauhof-online.de/d/viktor-meili-ag-gemeinden-fahren-voraus-mit-100-prozent-elektrischen-kommunalfahrzeugen-aus-der-schweiz/>
- Artikel in Bauernzeitung, Juni 2023
<https://www.bauernzeitung.ch/artikel/landtechnik/vom-feuerwehr-schiltrac-bis-zum-elektrischen-teleskoplader-an-der-suisse-public-gibt-es-viel-zu-sehen-477016>
- Viktor Meili "E-Kommunalfahrzeuge", neu mit URS.e im Produktportfolio, ab Juni 2023
<https://www.meiliswiss.com/e-kommunalfahrzeuge/>
- Posts auf sozialen Medien (LinkedIn & Facebook) von SUNCAR und Meiliswiss

Zudem wurde im Rahmen unserer Aktivitäten zur Förderung nachhaltiger Mobilität das neue batterie-elektrische Kommunalfahrzeug URS.e erfolgreich in verschiedenen Kommunen präsentiert. Die Veranstaltungen zielten darauf ab, die Leistungsfähigkeit, Umweltvorteile und langfristigen Einsparpotenziale des Fahrzeugs vorzustellen sowie den Dialog mit lokalen Entscheidungsträgern und Interessengruppen zu fördern.

- Basel: URS.e am 15.02.2024
- Olten: URS.e am 04.07.2023
- Buchs: URS.e am 01.10.2024
- Vaduz: URS.e am 27.11.2024

Jede Präsentation wurde durch gezielte Aufklärungsarbeiten begleitet, um eine breite öffentliche Wahrnehmung zu erzielen und die Vorteile emissionsfreier Kommunalfahrzeuge in den Mittelpunkt zu rücken.