



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Zwischenbericht vom 16.01.2023

EMKL – Elektrisches Mehrzwecktransportfahrzeug für Kommunal- und Landwirtschaft



Quelle:



Datum:

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

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

Subventionsempfänger/innen:

DDP Innovation GmbH
Guschastrasse 42, 9475 Sevelen
www.ddp-innovation.ch

Autor/in:

David Pröschel, DDP Innovation GmbH, david.proeschel@ddp-innovation.ch

BFE-Projektbegleitung:

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

BFE-Vertragsnummer: SI/502412-01

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



Zusammenfassung

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines elektrischen geländefähigen Mehrzwecktransportfahrzeuges auf Basis des bestehenden Aebi VT450 Vario. Es soll die Fahrleistung vergleichbarer, von Dieselmotoren angetriebenen Fahrzeugen erreichen oder übertreffen und gleichzeitig komplett ohne lokale Emissionen arbeiten.

Die Innovation von DDP Innovation ist die Adaption eines mechanisch-hydrostatisch leistungsverzweigten Getriebe für den elektromotorischen Antrieb. Durch das Wegfallen der hydrostatischen Einheit ermöglicht es, das Umsetzen der hohen Drehzahlen der Elektromotoren, bei hoher Effizienz.

Im Projektjahr 2022 wurde der Prototyp komplett aufgebaut und es wurden diverse Versuchsfahrten unternommen. Die nötigen Prüfungen für die Strassenzulassung wurden grösstenteils abgeschlossen und die definitive Zulassung wird im ersten Quartal 2023 erwartet.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	3
Summary	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	Erreur ! Signet non défini.
1 Einleitung	5
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	5
1.2 Motivation des Projektes	5
1.3 Projektziele	5
2 Anlagenbeschrieb	Erreur ! Signet non défini.
3 Vorgehen und Methode	6
4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	6
5 Bewertung der bisherigen Ergebnisse	11
6 Weiteres Vorgehen	12
7 Nationale und internationale Zusammenarbeit	12
8 Kommunikation	Erreur ! Signet non défini.
9 Publikationen	Erreur ! Signet non défini.
10 Literaturverzeichnis	Erreur ! Signet non défini.
11 Anhang	Erreur ! Signet non défini.



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Die Wirtschaft in Berggebieten insbesondere Landwirtschaft, Skigebiete, Kommunaldienste und Bauunternehmungen, sind auf hochspezialisierte Mehrzwecktransportfahrzeuge angewiesen. Am weitesten verbreitet sind Transporter der Typen Aebi VT/TP, Reform Muli, Lindner Unitrac, Schiltrac und Caron CTS. Das Alleinstellungsmerkmal dieser Transporter ist die maximale Geländetauglichkeit und Nutzlast von mehr als 5 Tonnen. Ausserdem können sie diverse Aufbaugeräte aufnehmen, mit denen sie unterschiedliche Arbeiten bewältigen können.

Das Arbeitsumfeld dieser Maschinen ist sehr komplex und birgt erhöhte Unfallgefahr. Deshalb liegt der Fokus auf einfacher Bedienbarkeit und automatischen Sicherheitsvorkehrungen. Die Energieeffizienz ist dabei zweitrangig.

Konkret setzen die etablierten Hersteller dazu auf stufenlose, leistungsverzweigte Getriebe mit einem Hydrostatischen und einem Mechanischen Strang. Deren Vorteil ist die enorme Zugkraft und feine Dosierbarkeit. Gleichzeitig bieten sie einen wirksamen Schutz gegen ungewolltes Wegrollen am Berg und die hervorragende Energiedissipation beim Bergabfahren mit schwerer Last. Der Nachteil ist jedoch der geringe Wirkungsgrad, welcher je nach Betriebszustand zwischen 60-80% schwankt. Hinzu kommen die Lärmemissionen welche bei Fahrzeugen mit Hydrostatischem Antrieb nochmals deutlich höher sind als bei rein mechanischen.

1.2 Motivation des Projektes

Das Ziel des Projektes EMKL ist die Kombination von Sicherheit und Leistung der bestehenden konventionellen Fahrzeuge mit der hohen Effizienz und geringen Lärmemissionen eines Elektrofahrzeugs.

Ausserdem sollen weitere Synergieeffekte des Elektrischen Antriebs genutzt werden um den Einsatzbereich und die Wertschöpfung des Fahrzeugs zu erhöhen und damit wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen.

Konkret wird ein elektrischer Transporter auf Basis eines Aebi VT450 entwickelt. Kerninnovation ist dabei der Ersatz der Hydrostatischen Einheit durch ein neuentwickeltes Getriebe, welches von zwei Elektromotoren angetrieben wird.

1.3 Projektziele

Das Projekt wird Erkenntnisse und konkrete Messwerte in den folgenden Punkten liefern:

Im technischen Bereich:

- Arbeits- und Fahrleistung im Vergleich zu einem herkömmlichen Dieselfahrzeug
- Umfang der möglichen Energierückgewinnung beim typischen Nutzungsprofil mit einem dafür ausgelegten Antriebsstrang



- Umsetzung des komplexen Zusammenspiels von zwei Elektromotoren zur Umsetzung von Leistung und Drehmoment in verschiedenen Fahrzuständen
- Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme eines neuartigen Getriebes inkl. Steuerungssoftware, zum Erreichen von geforderten Fahrleistungen am Berg mit grossen Lasten

Im wirtschaftlichen Bereich:

- Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit der entwickelten Lösung zur Umrüstung von ICE auf EV für bestehende und neue Fahrzeuge des Typs Aebi VT450, sowie andere Nutzfahrzeuge für landwirtschaftliche und kommunale Einsatzzwecke
- Erfahrungswerte zur Reduktion der Betriebskosten im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug
- Realitätsbezogene Kennwerte für den effektiven Energieverbrauch in verschiedenen Einsatzfeldern und damit verbunden die Orientierung für die optimale Batteriekapazität für die unterschiedlichen Nutzungsprofile der Kunden
- Erweiterte Nutzungsmöglichkeiten durch die Verfügbarkeit von Stromanschlüssen. Unterstützung des Einsatzes von elektrischen Arbeitsgeräten sowie Ladegeräten bei der vermehrten Nutzung von Akkugeräten z.B. Laubbläser, Trimmer, Motorsägen.
- Erschliessung neuer Einsatzgebiete u.a. im Bergbau und Tourismus

Im sozialen Bereich:

- Zusätzliche Einsatzmöglichkeiten durch dritten Sitzplatz in der Kabine sowie sicherer Transport von 3er-Teams
- Mobile Energieversorgung u.a. im Katastrophenfall in unwegsamem Gelände sowie Einsatz von Hilfsgeräten (z.B. Aufbauten Flutlicht)
- Gesundheits- und Arbeitsschutz durch Vermeidung von Lärm und Russpartikeln in der Umwelt
- Reduzierte Fahrgeräusche und Emissionsfreiheit zum Vorteil von Bevölkerung und Tierwelt

2 Vorgehen und Methode

Im Hinblick auf eine spätere Kommerzialisierung wurde entschieden einen Prototyp zu bauen, basierend auf dem existierenden Modell, welches sich technisch am besten für die Umrüstung eignet. Durch die bestehende Produktionsinfrastruktur und die zuverlässige erprobte Fahrzeugplattform soll der Markteinstieg beschleunigt werden und ein konkurrenzfähiger Verkaufspreis möglich sein.

Der Erstellte Prototyp soll anhand eines Messkonzeptes direkt mit den Dieselbetriebenen Fahrzeugen derselben Kategorie verglichen werden in Hinsicht auf Energieverbrauch und Leistungsfähigkeit. In der Testphase sollen auch Verbesserungsmöglichkeiten und optimale Einsatzgebiete für die spätere Kommerzialisierung erforscht werden.

3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

3.1 Anpassung der Kabine



Durch den Entfall des Verbrennungsmotors sowie des Kühlsystems und der Abgasanlage wurde Bauraum frei. Der komplette Mitteltunnel, wo zuvor der Verbrennungsmotor untergebracht war, wurde entfernt. Dies ermöglichte es, die Kabine mit einem dritten Sitzplatz auszustatten. Dazu wurde die Innenausstattung wie Sitzanlage und Cockpit/Armaturenbrett komplett überarbeitet. Im Zuge dieser Arbeiten wurden auch die Bedienelemente und das Monitoring an die Anforderungen des elektrischen Antriebs- und Energiemanagements angepasst. Dazu gehört das Entfernen des ursprünglich vorhandenen Kupplungspedals sowie der Einbau eines neuen Displays, welches das Überwachen der elektrischen Systeme ermöglicht.



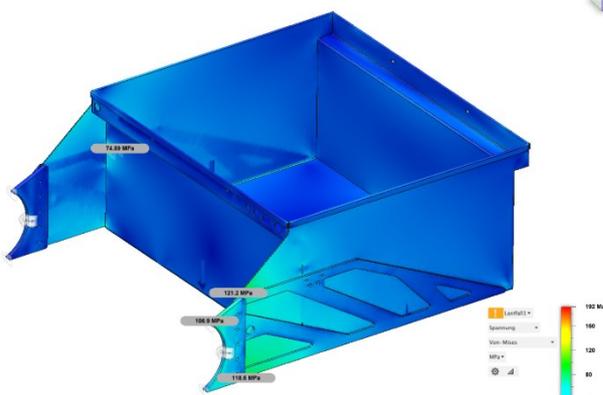
Cockpit Vorher



Cockpit Nachher

3.2 Anpassung der Fahrzeugstruktur

Die Traktionsbatterie wurde im Bereich der früheren Tankanlage, sowie der gegenüberliegenden Seite untergebracht. Der Raum für die Anbaugeräte konnte dabei vollständig erhalten bleiben. Somit bleibt die Verwendung jeglicher Standard Aufbauten ohne Umbauten möglich. Die Auslegung und Konstruktion aller Bauteile wurde von DDP Innovation umgesetzt und mit dem Strassenverkehrsamt St. Gallen auf die Verkehrssicherheit geprüft.



Batteriehalterung hinten links in der Analyse



Alle Batteriehalterungen montiert am Fahrzeug

Die Anpassungen an der Fahrzeugstruktur liessen sich einfacher umsetzen als erwartet. Die Fahrzeugplattform ist sehr massiv gebaut und lässt Veränderungen an den meisten Stellen zu ohne dass strukturelle Probleme auftreten. Die relativ offene Anordnung der ursprünglichen Komponenten liess viel Spielraum für die Montage des elektrischen Antriebssystems. Einzig die Auswahl der Traktionsbatterie war sehr eingeschränkt auf Grund der Verdrehdämpfung am Zentralrohr welche in den



geplanten Bauraum für die Batterie hineinragt. Diese Anordnung würde nochmals überarbeitet im Falle einer Kommerzialisierung.

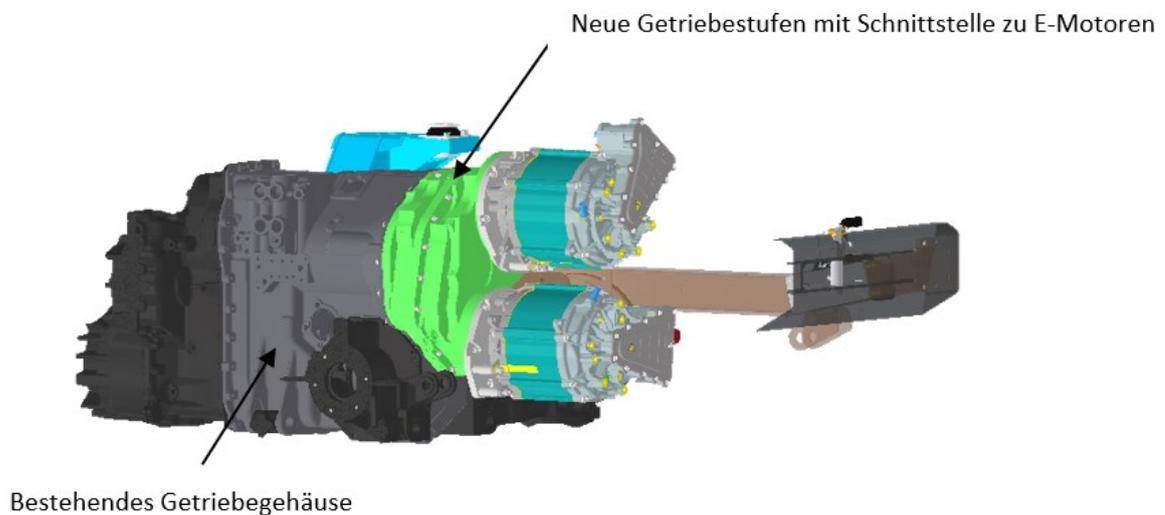
3.3 Batterie

Verbaut wurden 9 Module der Ecovolta EvoTraction Battery mit je 10 kWh Kapazität. Die Module wurden 3s3p verschalten um eine Systemspannung von 300V zu erreichen. Es wurden auch Konfigurationen mit 120-140kWh Batteriekapazität evaluiert, welche im Falle einer Serienproduktion auf Kundenwunsch umgesetzt werden können. Aus Kostengründen wurde beim Prototyp darauf verzichtet.

Als weitere Besonderheit wurde ein Batterieheizsystem verbaut, welches im Betrieb via Software gesteuert wird und im ausgeschalteten Zustand extern angesteuert werden kann. So soll sichergestellt werden, dass das Fahrzeug auch bei sehr kalten Bedingungen voll einsatzbereit ist.

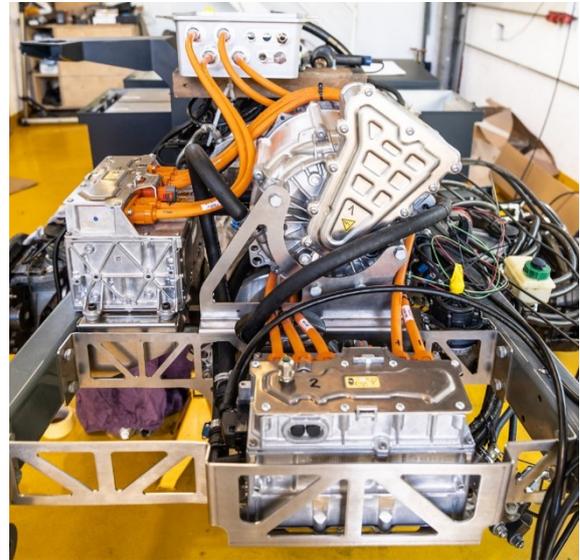
3.4 Aufbau des neuen Getriebes sowie des Antriebssystems

Um die geplanten Energieeinsparungen zu realisieren war der Bau eines neuartigen Adaptergetriebes notwendig, welches die Kerninnovation des EMKL Projekts darstellt. Das Konzept dazu wurde von DDP Innovation erstellt und von VDS Getriebe konstruiert und gefertigt. Dabei wirken zwei Elektromotoren auf die zwei Stränge eines leistungsverzweigten Getriebes, wobei die hydrostatische Einheit entfällt.





Adaptergetriebe vor Montage der Motoren



Motoren und Inverter montiert auf Getriebe

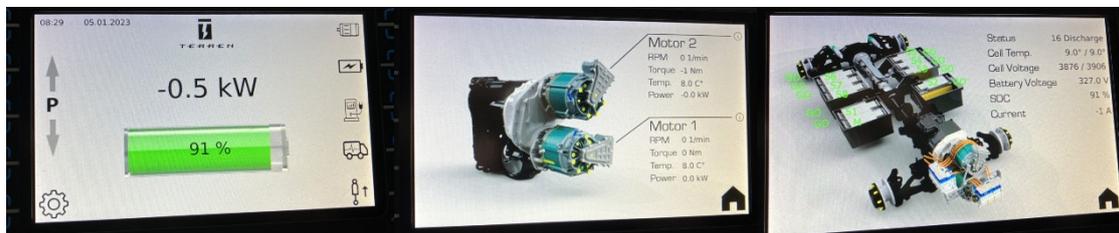
3.5 Erstellen der Antriebssoftware

Die Antriebssoftware wurde in Zusammenarbeit mit der Motics GmbH erstellt. Sie verbindet alle Komponenten des neuen Antriebsstrangs inklusive Onboard-Ladegerät, Ladebuchse, Kühlsystem, Motoren und Inverter. Sie bildet eine geschlossene Einheit, welche alle sicherheitstechnischen Anforderungen erfüllt. Sie bietet eine Schnittstelle für die Kommunikation mit den bestehenden Fahrzeug-Signalgebern wie z.B. Gaspedal, von denen sie ihre Eingaben erhält.

Als Kernstück dient eine neue Vehicle Control Unit mit integriertem Display, über welches alle wichtigen Parameter des Antriebssystems überwacht und gesteuert werden können.

Das System wurde ausserhalb des Fahrzeuges in einem "Hardware in the Loop" Aufbau auf die Funktionstüchtigkeit vor dem finalen Einbau in das Fahrzeug geprüft.

Alle Daten der für das Fahrzeug relevanten Systeme werden zentral erfasst und auf dem Fahrzeug Display im Cockpit dargestellt. Damit erhält der Fahrzeugführer alle wesentlichen Daten in der Übersicht. Das Display Layout wurde von Grund auf für dieses Fahrzeug designt.



Beispiele von verschiedenen Darstellungsvarianten

Die bestehende Getriebesoftware musste dahingehend angepasst werden, dass die Eingaben über die Pedalerie in Befehle für die Drehzahlen der Elektromotoren umgewandelt werden statt wie bisher Drehzahl des Dieselmotors und der hydrostatischen Einheit. Die Softwareanpassung wurde mit der Firma VDS Getriebe aus Wolferrn, Österreich umgesetzt.

3.6 Inbetriebnahme



Die Inbetriebnahme des fertigen Fahrzeugs gestaltete sich sehr komplex. Nach dem Wissen aller Projektbeteiligten existiert zurzeit keine Vergleichbare Antriebskonfiguration und dementsprechend auch keine Erfahrungswerte. Gleichzeitig stand eine Vielzahl von Parametern zur Verfügung welche angepasst werden konnten. Aus diesem Grund wurde entschieden, mit der originalen Getriebeeinstellung zu beginnen, also mittels der zwei Elektromotoren das Verhalten des Dieselmotors zu imitieren. Von dort wurden schrittweise Optimierungen in Bezug auf Energieverbrauch vorgenommen.

Sofort konnte festgestellt werden, dass die Drehzahl der Hydraulikpumpen zentral ist für den Gesamtenergieverbrauch. Sobald die Pumpen schneller drehen als für die Versorgung der Fahrzeugsysteme nötig, entsteht ein Widerstand im System und die überschüssige Energie geht durch das erwärmen des Öls verloren. Im Dieselfahrzeug war die Drehzahl der Pumpen an den Motor gekoppelt. Die Mindestdrehzahl des Dieselmotors lag jedoch deutlich über der nötigen Drehzahl der Pumpen. Zudem musste der Dieselmotor die Drehzahl erhöhen sobald Leistung abgerufen wurde. Das Prinzip des Elektromotors erlaubt jedoch den Betrieb bei beliebig tiefen Drehzahlen. Zudem kann zusätzliche Leistung über das Erhöhen des Drehmoments zur Verfügung gestellt werden.

Dementsprechend wurde die Getriebesteuerung in diversen Iterationen im gesamten Geschwindigkeitsbereich auf tiefe Hydraulikdrehzahlen optimiert, anschliessend wurde sie auf die Optimierung des Fahrkomforts feinjustiert.

Der Optimierungsprozess wird im Projektverlauf weiterverfolgt. Zurzeit wurde ein Stand erreicht bei den ausgiebige Testfahrten und Arbeitseinsätze nötig sind um die nötigen Anpassungen für weiter Verbesserungen zu eruieren. Insgesamt lässt sich sagen, dass sich die erhoffte Funktionalität des neuen Getriebes realisieren lässt.

3.7 Testfahrten

Bisher wurden mit dem Fahrzeug Testfahrten im Umfang von rund 400km gemacht. Im Vordergrund stand dabei die Optimierung der Getriebesteuerung, die Sicherheit und Stabilität der Antriebssoftware und das Fahrgefühl. Es wurden einige Belastungstests für Batterie und Antrieb durchgeführt, vorläufig noch ohne dabei Quantitative Resultate zu erfassen.

3.8 Externer Stromanschluss

Ursprünglich war geplant, dass das Fahrzeug die Möglichkeit besitzt, Dreiphasenwechselstrom bis 32A an Externe Verbraucher abzugeben und somit zusätzliche Aufgaben übernehmen zu können. Dies konnte im Prototyp noch nicht umgesetzt werden, da sich die Entwicklung und Auslieferung des dafür nötigen bidirektionalen Onboard Ladegerätes verzögerte. Technisch spricht aber nichts dagegen, diese Funktion in einem späteren Schritt umzusetzen.

3.9 Strassenzulassung

Der Prozess für die Strassenzulassung ist zum Zeitpunkt dieses Berichtes noch nicht abgeschlossen und dauert massiv länger als geplant und verbraucht im Vergleich zu den restlichen Arbeiten überproportional viel personelle und finanzielle Ressourcen. Dies ist hauptsächlich auf die Neuheit dieses Fahrzeugtyps zurückzuführen, die bedeutet, dass die Richtlinien für den Prüfumfang noch vom Strassenverkehrsamt und dem externen Prüfinstitut, das die erforderlichen Messungen durchführt, geklärt werden müssen.



4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

4.1 Energieeinsparung

Quantitative Daten für die Energieeinsparung werden erst erhältlich sein, wenn die Testphase im Arbeitseinsatz abgeschlossen ist. Anhand der bisherigen Erfahrungen kann jedoch die Grössenordnung eingeschätzt werden. Die Energieeinsparung gegenüber dem konventionellen Fahrzeug beruht auf folgenden Faktoren:

Ersatz Verbrennungsmotor: Aufgrund der höheren Effizienz des elektrischen Antriebs kann grundsätzlich von einer Einsparung von rund 60% ausgegangen werden.

Wegfall der Hydrostatischen Einheit: Deren Wirkungsgrad bewegte sich in der Grössenordnung von 80%. Sie wurde durch zwei Getriebestufen mit einem Wirkungsgrad von über 95% ersetzt. Daraus ergibt sich eine Weitere Einsparung von rund 15%

Optimierung der Getriebesteuerung: Die Drehzahl der Hydraulikpumpen konnte fast im ganzen Geschwindigkeitsbereich deutlich reduziert werden. Zudem werden sie jetzt beim Stillstand des Fahrzeugs automatisch ausgeschaltet. Diese Massnahme erzielt eine Einsparung von rund 10% gegenüber der originalen Variante.

Belastbare vergleiche mit dem Dieselbetriebenen Fahrzeug werden bis Mitte Jahr 2023 verfügbar sein

Trotz deutlicher Einsparungen bleibt festzuhalten, dass der Antriebsstrang des Aebi VT450 weiterhin einen schlechten gesamtwirkungsgrad von rund 80% hat. Das hängt unter anderem mit den speziellen Anforderungen an das Fahrzeug zusammen. Weitere Optimierungen wären theoretisch möglich, der Aufwand dafür wäre aber ein Vielfaches höher als bei den bisherigen Massnahmen.

4.2 Lärmreduktion

Im Rahmen der Prüfungen für die Strassenzulassung wurde eine genormte Lärmmessung durchgeführt. Diese hat ergeben, dass die maximale Lautstärke geringfügig kleiner ist. Die Exakten Resultate können präsentiert werden sobald der Prozess abgeschlossen ist und die Strassenzulassung erteilt wurde.

Wichtiger für die subjektive Wahrnehmung ist jedoch, dass sich die Geräuschkulisse in Art und Dauer stark verändert hat:

Die insgesamt höhere Frequenz führt dazu, dass der Radius indem das Fahrzeug hörbar ist deutlich kleiner wird.

Die maximale Lärmbelastung beschränkt sich auf bestimmte kurzzeitig auftretende Betriebszustände.

Im Stillstand verursacht das Fahrzeug keine Lärmemissionen sofern auch keine Hydraulikarbeiten ausgeführt werden. Dies ist besonders relevant in dieser Fahrzeugkategorie, da aufgrund des Einsatzprofils viel Leerlaufzeit anfällt.

Die Auswirkungen der Geräuschkulisse für den Fahrer werden bisher eher negativ beurteilt, da die höheren Frequenzen zwar eine geringere Reichweite haben, innerhalb der Fahrkabine jedoch eine stärkere Resonanz erzeugen. Ausserdem werden sie trotz objektiv geringerer Lautstärke als störender empfunden. Massnahmen zur Verbesserung z.B. durch eine zusätzliche Dämmung müssen spätestens bei einer allfälligen Serienproduktion geprüft werden, haben zurzeit jedoch geringe Priorität



4.3 Dreisitz Kabine

Das Prototypfahrzeug hat erfolgreich aufgezeigt, dass durch das Wegfallen des Dieselmotors genug Platz frei wird um einen dritten Sitzplatz zu montieren. Dafür wurde jedoch die Montage der Elektrischen Antriebskomponenten deutlich erschwert. Für eine Serienproduktion wäre es Sinnvoll die Zweisitz Kabine beizubehalten da sich die Elektrischen Komponenten dann schnell und effizient montieren lassen. Der Dritte Sitz könnte weiterhin auf Kundenwunsch und mit Aufpreis angeboten werden.

5 Weiteres Vorgehen

Der nächste Schritt in diesem Projekt ist die Erteilung der Strassenzulassung für das Fahrzeug. Diese zögert sich mittlerweile seit mehreren Wochen hinaus, weil keine Termine für die Durchführung der Bremsmessungen verfügbar sind.

In der Zwischenzeit stehen ausserdem noch Verbesserungen am Telemetrie System an. Die Erfassungsdichte der Datenpunkte verschiedener Betriebsdaten muss optimiert werden um ein möglichst exaktes Bild zu erfassen.

Sobald diese beiden Punkte erfüllt sind, startet ein Programm von Testfahrten bei dem Quantitative Daten erfasst werden gemäss dem eingereichten Messkonzept.

Anschliessend wird das Fahrzeug in den Praktischen Arbeitseinsatz übergeben wo es durch verschiedene Fahrer auf die Tauglichkeit und Verbesserungsmöglichkeiten geprüft wird.

Bis zum Ende des Jahres 2023 wird ein abschliessender Bericht vorliegen mit vergleichbaren Daten zum Energieverbrauch, zur Praxistauglichkeit und zum kommerziellen Potential eines Serienfahrzeuges.

6 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Der Bau des Fahrzeugs erforderte eine intensive Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern. Folgend aufgelistet sind die wichtigsten:

VDS Getriebe GmbH, Österreich: VDS hat das, von DDP Innovation geplante, Adaptergetriebe konstruiert und gebaut. Die Montage erfolgte vor Ort in Österreich. Die Getriebesoftware wurde ebenfalls von VDS geschrieben und in Zusammenarbeit mit DDP Innovation in ausgiebigen Testfahrten optimiert. VDS hat auch die Anpassungen der Fahrzeugsoftware vorgenommen um den fehlenden Dieselmotor zu imitieren und die entsprechenden Fehlermeldungen zu unterdrücken.

Motics GmbH, Brunnen SZ: Motics hat die Integration von Batterie, Ladegerät, Inverter und Motoren übernommen und die Schnittstelle zur Fahrzeugsoftware geschaffen. Dabei wurden alle Sicherheitsmassnahmen für Hochvoltsysteme umgesetzt, um die Bedingungen für die Verkehrssicherheit zu erfüllen.

Ecocoach AG, Brunnen SZ: Ecocoach ist der Hersteller der Traktionsbatteriemodule und hat ebenfalls die Programmierung des Batteriemangement Systems übernommen und damit die Schnittstelle zur Antriebssoftware bereitgestellt.

BOSCH Engineering AG, Deutschland: BOSCH Engineering lieferte Motoren und Inverter und umfangreichen technischen Support bei der Inbetriebnahme des elektrischen Antriebssystems.