

Reg. Nr. 11.05.01

CMI: 4422

Nr. 22-26.057.01

Ausgabenbewilligung für die Beschaffung von zwei Elektrosammel- fahrzeugen und einem Kleinsammelfahrzeug sowie Ladestationen

Kurzfassung:

Der Ersatz von zwei bestehenden Abfallsammelfahrzeugen drängt sich aufgrund der erreichten Lebensdauer, (seit 2008 im Einsatz) sowie den laufenden und den noch zu erwartenden Reparaturkosten dringlich auf. Eine Analyse der verschiedenen Antriebsarten zeigt auf, dass inklusive der erforderlichen Ladestationen, die Anschaffung von Elektrosammelfahrzeugen die nachhaltigste Lösung darstellt. Da heutige Elektrosammelfahrzeuge eine vorgegebene Fahrzeugbreite von 2.50 m (bestehende Fahrzeuge 2,30 m) aufweisen, ist die Befahrbarkeit nicht mehr in allen Strassen in Riehen und Bettingen gewährleistet. Deshalb soll zusätzlich ein elektrisch betriebenes Kleinsammelfahrzeug in den schmalen Strassen zur Anwendung kommen. Das Kleinsammelfahrzeug wird neben dem Einsatz für die Abfallsammlung auch für andere Arbeitsleistungen eingesetzt und mit der Anschaffung der Elektrosammelfahrzeuge das bereits bestehende Fahrzeug Piaggio Porter ersetzen.

Gestützt auf den Bericht der Finanzkommission (FiKo) vom 1. Juli 2024, in welchem die Ausgaben für die Beschaffung von zwei Elektrosammelfahrzeugen und einem Kleinsammelfahrzeug als nicht gebundene Ausgaben eingestuft wurden, beantragt der Gemeinderat beim Einwohnerrat eine Ausgabenbewilligung von insgesamt CHF 1'850'000 inkl. MwSt.

Die jeweiligen Beschaffungskosten setzen sich wie folgt zusammen:

1) Zwei Elektrosammelfahrzeuge	Total CHF 1'400'000
2) Vier Ladestationen Elektrosammelfahrzeuge	Total CHF 200'000
3) Ein Kleinsammelfahrzeug	Total CHF 250'000

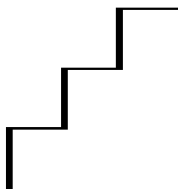
Ressort: Werkdienste

Auskünfte erteilen: Felix Wehrli, Gemeinderat
Tel. 079 666 17 81

Rainer Helm, Abteilungsleiter Werkdienste
Tel. 061 645 60 70

Hans-Jörg Graf, Betriebsleiter Strassenunterhalt und Entsorgung
Tel. 061 645 60 83

Oktober 2024



1. Einleitung

In dieser Einwohnerratsvorlage geht es um die Ersatzbeschaffung von Abfallsammelfahrzeugen. Der Gemeinderat beantragt mit dieser Vorlage beim Einwohnerrat die entsprechende Ausgabebewilligung¹. Angekündigt wurde das Geschäft im Rahmen des durch den Einwohnerrat im Dezember 2023 bewilligten [AFP 2024-2027](#) (auf Seite 81 und in der [Investitionsrechnung 4 Jahre und Investitionsprogramm 10 Jahre](#): Zeilen 110 und 111).

Es ist Aufgabe der Werkdienste der Gemeinde Riehen die Sammlung von Hauskehricht, Altpapier und Grüngut in der Gemeinde Riehen und Bettingen durchzuführen und dafür die entsprechenden Mittel bereitzustellen und einzusetzen. Bei den zu ersetzenden Abfallsammelfahrzeugen handelt es sich um dreiachsige dieselbetriebene Lastwagen mit einem Gesamtgewicht von 26 Tonnen, welche den EURO 5 Standard erfüllen. Ein drittes Abfallsammelfahrzeug, inklusive Fahrer und einem, falls betrieblich notwendig, Lader, wird punktuell eingemietet, wenn grössere Mengen an Materialien, wie das u. a. beim Grüngut im Frühling und Herbst der Fall ist, eingesammelt werden müssen. Dieses Konzept hat sich sowohl in personeller und qualitativer Hinsicht wie auch im Zusammenhang mit der Fahrzeugauslastung bewährt.

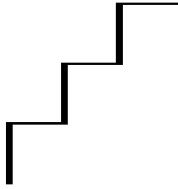
Die technisch bedingten Ausfälle der 16-jährigen Abfallsammelfahrzeuge haben in der letzten Zeit derart zugenommen, dass ein effizienter, zuverlässiger und wirtschaftlicher Betrieb immer schwieriger wird. Es ist deshalb unumgänglich, neue Abfallsammelfahrzeuge zu beschaffen. Die Planungen dazu wurden bereits vor einiger Zeit aufgenommen. Die Beschaffung von neuen Abfallsammelfahrzeugen und der Ersatz durch Elektrosammelfahrzeuge geht zurück auf die Vorgabe im [Leistungsauftrag für den Politikbereich «Mobilität und Versorgung für die Jahre 2022 und 2023](#), darin Seite 14, zum Produkt Energie das Leistungsziel 2.3:

«Bei Ersatzbeschaffungen von gemeindeeigenen Fahrzeugen werden bei geeignetem Kosten-Nutzen-Verhältnis elektrisch oder mit Wasserstoff betriebene Fahrzeuge angeschafft.»

Auf dieser, durch den Einwohnerrat im Jahr 2021 beschlossenen Grundlage wurden die Vorbereitungen und Planungen für dieses Geschäft in den Jahren 2022 und 2023 vorangetrieben (vgl. dazu die Beilagen 1-4). Der Einwohnerrat hat im Jahr 2021 mit einem Richtungsentscheid die Grundlage für die Ablösung von gemeindeeigenen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren durch Fahrzeuge mit CO²-neutralen Antriebstechniken z. B. mit Elektromotoren, geschaffen und das bei sämtlichen Ersatzbeschaffungen². Dies entspricht dem heutigen «state of the art», d. h. alle vergleichbaren Schweizer Städte und Gemeinde in einem urbanen, topographisch ähnlichen Umfeld, beschaffen heute ausschliesslich Abfallsammelfahrzeuge mit Elektroantrieb und stellen ihre Fahrzeugflotten entsprechend um.

¹ Gemäss § 36 [Gemeindeordnung](#) und § 14 [Finanzhaushaltsordnung](#).

² Hinweis: Diese Vorgabe wurde in den Sachstrategien der Werkdienste in allen Betrieben eingebunden.



Zur Antriebsart: Aktuell stehen also Elektrosammelfahrzeuge im Vordergrund, da diese am weitesten ausgereift sind und im Gegensatz zu wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen die «Be-tankung» sichergestellt ist. Gegenüber den herkömmlichen mit Diesel betriebenen Fahrzeugen verschmutzen sie die Luft deutlich weniger und erzeugen zudem wesentlich weniger Lärmemissionen. Auf der anderen Seite sind sie kostspieliger, sowohl in der Anschaffung als auch in den ersten Einsatzjahren. Nach den ersten acht Einsatzjahren bewegen sich die Kosten hingegen deutlich unter den Unterhaltskosten eines herkömmlichen mit Diesel betriebenen Fahrzeugs, was die teurere Anschaffung langfristig wirtschaftlicher macht.

2. Analyse der Antriebsart (Diesel, Elektro, Gas, Wasserstoff)

Aktuell hat die Gemeinde Riehen zwei MAN TGS 26.320 mit einem Aufbau von Ochsner AG im Einsatz. Das einzelne Abfallsammelfahrzeug hat ein Gesamtgewicht von 26 Tonnen und eine Nutzlast von 11,7 Tonnen. Angetrieben werden die Fahrzeuge durch einen 235 Kilowatt (kW) starken Dieselmotor.

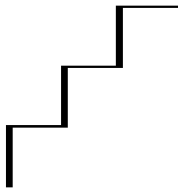
2.1 Fachanalyse durch Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)

Die Sammelrouten der Gemeinde Riehen (zusammen mit der Gemeinde Bettingen) stellen u. a. Herausforderungen bei der Strassenbreite und dem zum Teil hügeligen Gelände an die Fahrzeugauswahl, sowohl was die Effizienz der Antriebssysteme wie auch die Befahrbarkeit der teils engen Strassenabschnitten anbelangt. Um einen optimalen Vergleich von ökologischen und ökonomischen Kriterien der verschiedenen Antriebssysteme vornehmen zu können, hat die Gemeinde Riehen im September 2022 eine Analyse spezifisch für den Standort Riehen und Bettingen in Auftrag gegeben. Die Analyse wurde durch die FHNW im letzten Quartal des Jahres 2022 durchgeführt. Diese Analyse ist auch heute noch relevant. Da in diesem Bereich ständig technische Weiterentwicklungen stattfinden, die sich jedoch auf den Wirkungsgrad von Batterien und Antrieben beziehen, kann diese Studie weiterhin als Referenz herangezogen werden.

Dabei wurden verschiedene Kriterien bei der Bewertung der Antriebssysteme gegenübergestellt:

- Treibstoff / Energiebedarf pro tkm (Tonnenkilometer)
- Ausmass der Schadstoff- und Lärmemissionen
- Ausmass der Treibhausgasemissionen
- Fahrdistanz vor Nachtankung / Nachladung
- Zeitbedarf für Nachtankung / Nachladung
- Aktuelle und zukünftige Entwicklungen bei der Infrastruktur zum Nachladen
- Kehrrichtladekapazitäten
- Zukünftige technische Entwicklungen betreffend Antriebstechnologien und Ladeinfrastruktur (Strom und Wasserstoff).

Aufgrund der Analyse kommt die FHNW zum Schluss, dass elektrobetriebene Abfallsammelfahrzeuge die beste Wahl darstellen. Diese Empfehlung basiert in erster Linie auf den tieferen CO²-Emissionen und der tieferen Lärmbelastung. Die Lärmemissionen sind bei der Pressung

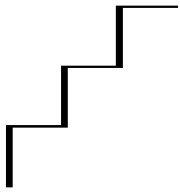


deutlich tiefer, da der Elektromotor im Nebenantrieb seine Drehzahl nicht erhöhen muss. Die tieferen CO²-Emissionen sind auf den hohen Wirkungsgrad des Elektromotors zurückzuführen. Aufgrund der Topografie und der Sammelrouten kommt die FHNW zudem zum Schluss, dass anzuschaffende elektrobetriebene Abfallsammelfahrzeuge einen Energiespeicher von rund 160 Kilowattstunde (kWh) aufweisen müssen. Ein direkter Vergleich der Kosten wurde zwar auch vorgenommen, jedoch mussten aufgrund der geringen Datenlage handelsübliche Lastkraftfahrzeuge miteinander verglichen werden. Diese sind in der Anschaffung deutlich günstiger, da sie keine speziellen Aufbauten haben. Der Kostenvergleich zeigt aber trotzdem, dass je länger das Fahrzeug im Einsatz ist und je mehr Kilometer mit dem Fahrzeug zurückgelegt werden, desto schneller wird die Differenz der Anschaffungskosten aufgehoben und nach acht Jahren gar unterschritten.

2.2 Luftverschmutzung

Ein durchschnittliches Abfallsammelfahrzeug legt pro Jahr 12'000 Kilometer (km) zurück. Bei einem Abfallsammelfahrzeug der neusten Generation (EURO 6) ist für das Fahren, Schütten und Pressen mit einem Dieselverbrauch von 60 bis 70 Liter (l) pro 100 km zu rechnen. Die CO²-Emissionen eines solchen Fahrzeugs betragen pro Jahr 20'000 Kilogramm (kg). Bei einer Lebensdauer eines Abfallsammelfahrzeugs von zehn Jahren sind dies rund 200 Tonnen CO². Bei einem Elektrosammelfahrzeug verbrauchen die Batterieherstellung und die Herstellung des benötigten Stroms CO². In Riehen entfällt der zweite Aspekt, da die IWB ihren Strom aus 100 % erneuerbaren Energien herstellt. Die Batterieherstellung schlägt mit 6 Kilogramm CO² pro kg zu Buche. Bei einem Batteriegewicht von 1,6 Tonnen resultieren daraus knapp 10 Tonnen CO². Unter dem Strich werden somit rund 190 Tonnen CO² während der Lebensdauer eines Elektrosammelfahrzeugs eingespart, respektive im Durchschnitt rund 19 Tonnen pro Jahr. Zum Vergleich: Die CO²-Emissionen eines durchschnittlichen Personenfahrzeugs betragen rund 1,5 Tonnen im Jahr (Grundlage: 10'400 km jährliche Fahrleistung, 170 g/km CO²-Emission).

Im Zusammenhang mit der Luftverschmutzung wären Wasserstofffahrzeuge eine Option, insbesondere auf längeren Strecken. Auf kurzen Strecken ist die Effizienz hingegen fragwürdig, weil Wasserstoff mit Strom hergestellt wird und bei dieser Umwandlung Verluste entstehen. Nicht zu unterschätzen ist auch der unter Punkt 2.3 dargelegte, relativ schlechte Wirkungsgrad. Im Raum Basel fehlen zudem Wasserstofftankstellen. Selbst wenn diese vorhanden wären, müsste beachtet werden, dass bis zu zwei Ladevorgänge täglich von 20 bis 40 Minuten anfallen. Bei bedarfsgerecht konzipierten Elektrosammelfahrzeugen reicht im Normalfall eine sogenannte «Langsam-Ladung» ausserhalb der üblichen Betriebszeiten.



2.3 Wirkungsgrad

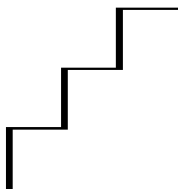
Der Wirkungsgrad berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen der genutzten Energie und der zugeführten Energie. Diesel hat im städtischen Betrieb einen Wirkungsgrad von etwa 25 %. Der Grund für diesen tiefen Wert ist, dass der Motor grösstenteils nur im Teillastbereich arbeitet und so nicht den üblichen Wirkungsgrad von gegen 40 % erreichen kann. Bei handelsüblichen Wasserstoff- wie auch Gasfahrzeugen geht man von einem Wirkungsgrad von rund 30 % aus. Elektrofahrzeuge haben mit rund 90 % den höchsten Wirkungsgrad.

2.4 Lärmemission

Die Lärmemissionen eines Diesel-Kehrrichtfahrzeugs gegenüber einem Elektro-Kehrrichtfahrzeug sind beträchtlich. Die maximale Lärmemission eines Dieselsammelfahrzeugs beträgt 65 Dezibel (dB), diejenige eines Elektrosammelfahrzeugs 45 dB. Bei der Vorbeifahrt des Dieselsammelfahrzeugs müssen Passanten ihr Gespräch unterbrechen, da sie sich aufgrund der Lautstärke nicht mehr verstehen. Bei der Vorbeifahrt des Elektrosammelfahrzeugs können sich die Passanten in normaler Lautstärke weiterunterhalten. Auch ist die Vorbeifahrt eines Elektrosammelfahrzeugs in einer direkt an die Strasse grenzenden Wohnung – auch bei geöffnetem Fenster – kaum wahrnehmbar. Durch die tiefere Lärmbelastung ist zusätzlich eine deutliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Belader gewährleistet.

2.5 Förderprogramme

Im Hinblick auf die Finanzierung der Anschaffung der Elektrosammelfahrzeuge wurde geprüft, ob eine finanzielle Förderung aus dem Energie-Förderfonds gemäss kantonalem Energiegesetz möglich wäre. Eine generelle finanzielle Förderung beim Kauf eines Elektrosammelfahrzeugs ist im Moment (Stand Oktober 2024) nicht vorgesehen. Da sich die Kantone dazu verpflichtet haben, ihre Aufgaben zur Erreichung der CO²-Emissionsziele im Gebäudebereich zu erfüllen, sind die Mittel aus der Förderabgabe und aus den Globalbeiträgen des Bundes an den Kanton in erster Linie im Gebäudebereich einzusetzen. Zudem dürfte sich eine Förderung nicht auf Fahrzeuge der Gemeinde, des Kantons oder der staatsnahen Betriebe (BVB und IWB) beschränken, da der Förderfonds von allen Stromkonsumentinnen und -konsumenten gespiesen wird. Aus diesem Grund ist eine Bevorzugung nicht möglich. Auch andere Fördermittel wurden geprüft. Momentan steht kein entsprechendes Angebot zur Verfügung. Sollte sich an dieser Ausgangslage etwas ändern, so würde eine allfällige Subvention von der Nominalausgabe in Abzug gebracht.

**2.6 Kostenvergleich³ bei Anschaffung von zwei Abfallsammelfahrzeugen**

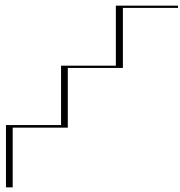
	Diesel	Elektro
LKW ohne Aufbau / Ladestationen	CHF 400'000.00	CHF 800'000.00
Ladestationen		CHF 200'000.00
Aufbau	CHF 600'000.00	CHF 600'000.00
Anschaffungspreis	CHF 1'000'000.00	CHF 1'600'000.00
Abschreibungskosten pro Jahr	CHF 100'000.00	CHF 160'000.00
Kapitalkosten	CHF 30'000.00	CHF 42'000.00
Versicherung	CHF 5'000.00	CHF 5'000.00
Infrastrukturkosten	CHF 1'000.00	CHF 1'000.00
Fixe Kosten / Jahr	CHF 136'000.00	CHF 208'000.00
Brennstoff	CHF 18'000.00	
Elektrizität		CHF 12'000.00
LSVA Kat 3 (EURO 6)	CHF 27'000.00	
AdBlue	CHF 2'000.00	CHF 0.00
Wartungs- und Reparaturkosten LKW	CHF 30'000.00	CHF 10'000.00
Wartungs- und Reparaturkosten Aufbau	CHF 30'000.00	CHF 30'000.00
Variable Kosten / Jahr	CHF 107'000.00	CHF 52'000.00
Fahrzeug / Jahr	CHF 243'000.00	CHF 240'000.00
pro Kilometer	CHF 20.25	CHF 20.00
Fahrzeugkosten über 10 Jahre	CHF 2'430'000.00	CHF 2'400'000.00
Fahrzeugkosten über 15 Jahre	CHF 2'965'000.00	CHF 2'660'000.00

-1.23 %

2.7 Fahrversuche mit Elektrosammelfahrzeug

In der Zeit vom 20. Juni bis 1. Juli 2022 konnte die Abteilung Werkdienste ein elektrisch betriebenes Kehrlichfahrzeug testen und damit alle Touren unter verschiedenen Bedingungen abfahren. Es handelte sich dabei um ein ab Werk produziertes Serienfahrzeug von der Volvo Group Schweiz AG, welches mit allen für Riehen nötigen Konfigurationen und Ausstattungen bestückt war. In der Testphase wurden beide üblichen Kehrlichfahrten befahren und bedient.

³ Der Kostenvergleich basiert auf Erfahrungswerten vom Stand Dezember 2023.



Das eingesetzte Elektrosammelfahrzeug kam dabei bei beiden Testchauffeuren sehr gut an, im Speziellen wurde das feine und präzise Fahrverhalten gelobt. Das überzeugende Handling kann die Breite von 2,50 m (bestehende LKW haben eine Breite von 2,30 m) des Fahrzeugs nicht ganz kompensieren, so dass nicht alle Strassen wie gewohnt befahren werden konnten.

2.8 Fazit

Elektrofahrzeuge haben einen grösseren Ressourcenverbrauch bei der Herstellung. Im Betrieb wird dieser Nachteil aber kompensiert. Die höheren Treibhausgasemissionen aus der Produktion können durch die geringeren Emissionen im Fahrbetrieb bereits nach einigen Jahren kompensiert werden. In der Summe steht das Elektrofahrzeug, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, deutlich besser da als der Verbrenner. Dennoch sind die Herstellung und der Betrieb von Elektrofahrzeugen mit Umweltbelastungen verbunden. Die Elektromobilität ist daher nicht die Lösung für alle Umweltprobleme im Mobilitätsbereich, aber ein wichtiger erster Schritt, weniger Emissionen zu verursachen. Darüber hinaus erzeugen sie deutlich weniger Lärmemissionen und sind auf Kurzstrecken bei «stop and go» die viel bessere Variante. Auf der anderen Seite sind sie kostspieliger in der Anschaffung. Innerhalb des Lebenszyklus bewegen sich die Kosten unter den Unterhaltskosten eines herkömmlichen mit Diesel betriebenen Fahrzeugs.

Diese Vorlage verwirklicht auf diese Weise auch die allgemein gefasste Vorgabe N4 in der [Nachhaltigkeitsstrategie](#) der Gemeinde Riehen: «Die Gemeinde Riehen beschafft Güter und Dienstleistungen und realisiert Bauwerke, die wirtschaftlich, umweltschonend und gesundheitsverträglich sind und die sozial verantwortungsvoll produziert werden.»

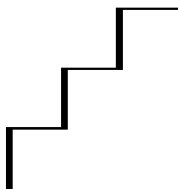
Gemäss der [Nachhaltigkeitsstrategie](#) N6 nimmt die Gemeinde «ihre Vorbildfunktion hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung wahr. Sie nutzt nachhaltige Materialien, fördert Innovationen und neuartige Technologien und gibt eigene Erfahrungen weiter.»

Die Beschaffung von Elektrosammelfahrzeugen ist langfristig betrachtet aus wirtschaftlicher und umweltökologischer Sicht nachhaltig und zugleich vorbildlich. Zu beachten ist auch die [kantonale Klimaschutzstrategie](#) mit dem Netto-Null-Ziel bis 2037. Die kantonal vorgegebenen Ziele können nicht erreicht werden, wenn die Gemeinde gerade bei den Ersatzbeschaffungen von Fahrzeugen nicht auf klimafreundliche Antriebe setzt.

3. Befahrbarkeit der Strassen (siehe Plan im Anhang)

3.1 Problematik der Befahrbarkeit

Die bisherigen dieselbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge der Gemeinde Riehen haben eine Breite von 2,30 m. Ausführliche Untersuchungen in Riehen und Bettingen haben gezeigt, dass mehr als 28 Strassen nur unter grossen Anstrengungen oder gar nicht mit 2,50 m breiten Fahrzeugen befahren werden können. Bisher konnte trotz intensiver Suche keine Firma gefunden werden, welche Elektrosammelfahrzeuge mit einer Breite von nur 2,30 m herstellt.



3.2 Lösungsmöglichkeiten (Sammelplatz, Parkplatzaufhebung, Kleinsammelfahrzeug)

Eine Möglichkeit besteht darin, Sammelplätze vor den engen Strassen einzurichten. Für die meisten Bewohnerinnen und Bewohner dürfte die Bereitstellung von Säcken und Kleincontainern kein Problem darstellen. In sieben Strassen mit engen Platzverhältnissen befinden sich Mehrfamilienhäuser mit Grosscontainern, welche nicht über eine längere Strecke transportiert werden können. Will man eine Sammlung mit der Effizienz und Qualität, wie sie heute vorgenommen wird, in sämtlichen Strassen weiterführen, ist man zwingend auf ein Kleinsammelfahrzeug angewiesen. Die Stadt Basel hat die gleiche Problematik. Sie befährt die Strassen seit rund 2 Jahren mit Elektrosammelfahrzeugen. Der Versuch Sammelplätze vor den engen Strassen einzurichten, hat sich als schlechte und nicht praktikable Alternative erwiesen. Die engen Strassen müssen durch das Tiefbauamt der Stadt Basel deshalb mit einem Restbestand von alten 2,30 m breiten Abfallsammelfahrzeugen befahren werden. Später wird auch die Stadt Basel Kleinsammelfahrzeuge anschaffen müssen, um den ökologischen Zielvorgaben nachzukommen.

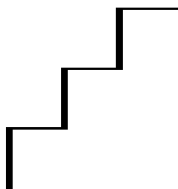
3.3 Kleinsammelfahrzeug für nicht oder eingeschränkt befahrbare Strassen

Mit einem Kleinsammelfahrzeug können die nicht durch ein 2,5 m breites Elektrosammelfahrzeug befahrbaren Strassen bewirtschaftet werden, so dass die Bevölkerung weiterhin mit den gewohnten Dienstleistungen rechnen kann. Das Kleinsammelfahrzeug ist so aufgebaut, dass auch Container angedockt und geleert werden können. Der Einsatz des Kleinsammelfahrzeuges begrenzt sich dabei nicht nur auf die Sammlung von Abfällen in den engen Strassen, sondern wird auch in der Ortsreinigung eingebunden, um Kübeli- und Littering-Touren noch effektiver vornehmen zu können. Die Anschaffungskosten des elektrobetriebenen Kleinsammelfahrzeugs belaufen sich auf CHF 250'000. Mit der Beschaffung der Elektrosammelfahrzeuge soll gleichzeitig das Kleinsammelfahrzeug mitangeschafft und das bestehende Fahrzeug Piaggio Porter (Int. Bezeichnung Pia – 4) ersetzt werden, umso die Abfuhr und Ortsreinigung ohne Aufstockung des Fuhrparks zu optimieren.

4. Gesamtkosten und Finanzierung

Zur Ermittlung der Ausgabenhöhe dienten Listenpreise und Erfahrungswerte von diversen Fahrzeuganbietern und weiteren Dienstleistern. Bei den nachfolgend aufgeführten Beträgen handelt es sich um die Mittelwerte der zu erwartenden Kosten:

Kostenposition +/- 10 %, inkl. 8,1 % Mehrwertsteuer	Betrag CHF
Zwei Elektrosammelfahrzeuge inkl. Ladegeräte	1'400'000
Vier Ladestationen Elektrosammelfahrzeuge	200'000
Ein Kleinsammelfahrzeug	250'000
Total inkl. MwSt.	1'850'000



Integrierender Bestandteil der Ausschreibung ist auch der Verkauf der drei alten Fahrzeuge, welche keinen Buchwert mehr haben. Sofern ein Verkauf der alten, zu ersetzenden Abfallsammelfahrzeuge inklusive dem Kleinlieferwagen (Piaggio Porter) möglich ist, wird der Verkaufsbetrag ins Finanzvermögen überführt und die Gewinne aus Anlageabgängen den Vorgaben von HRM2 entsprechend der Erfolgsrechnung den Fahrzeugkostenstellen gutgeschrieben. Sollte kein Verkauf möglich sein, erfolgt die Verbuchung des Anlageabgangs im Verwaltungsvermögen.

Die Anschaffungskosten der beiden grossen Elektrosammelfahrzeuge in der Höhe von insgesamt CHF 1'400'000 und der Ladestationen in der Höhe von CHF 200'000 werden aktiviert und mit einer Nutzungsdauer von 10 Jahren abgeschrieben, die jährlichen Abschreibungen von CHF 160'000 werden der Fahrzeugkostenstelle belastet.

Die Anschaffungskosten des Kleinsammelfahrzeugs in der Höhe von CHF 250'000 werden ebenfalls über 10 Jahre abgeschrieben, die jährlichen Abschreibungen von CHF 25'000 werden der Fahrzeugkostenstelle belastet.

Sämtliche Investitionen und Folgekosten sind im Budget 2025 bzw. im Finanzplan 2025-2028 enthalten (Abteilung Werkdienste, Betriebsbereich «Interne Dienste»).

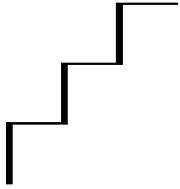
Zusammenfassung Abschreibungen

Bezeichnung	Kategorie	ND	Investition		Abschreibung p.a.	
Abfallsammelfahrzeug 1	Fahrzeuge	10	CHF	700'000	CHF	70'000
Abfallsammelfahrzeug 2	Fahrzeuge	10	CHF	700'000	CHF	70'000
Ladestationen	Einrichtungen	10	CHF	200'000	CHF	20'000
Kleinsammelfahrzeug	Fahrzeuge	10	CHF	250'000	CHF	25'000
Total			CHF 1'850'000		CHF 185'000	

Die Möglichkeit eines gemeinsamen Einkaufs der Fahrzeuge mit dem Kanton Basel-Stadt oder mit einer umliegenden Gemeinde wurde geprüft, wird jedoch - aufgrund der eingeschränkten Möglichkeit eine optimale Auswahl bei Fahrzeug und Ausstattung zu wählen - verworfen.

5. Ausschreibung und Termine

Für die Beschaffung der beiden neuen Elektrosammelfahrzeuge muss gemäss Beschaffungsrecht eine öffentliche Ausschreibung durchgeführt werden. Die Beschaffung des Kleinsammelfahrzeugs erfolgt im Einladungsverfahren. Beide Ausschreibungen sollen, wenn möglich, im ersten Halbjahr 2025 vorgenommen werden. Die aktuelle Weltmarktlage für Fahrzeuge insgesamt und für Elektrofahrzeuge im Speziellen führt dazu, dass die Sammelfahrzeuge vo-



Seite 10

raussichtlich nicht mehr im Jahr 2025 geliefert werden können. Ziel ist, dass die Sammelfahrzeuge im Jahr 2026 geliefert und in Betrieb genommen werden. Bis dahin werden die alten Fahrzeuge weiterbetrieben.

6. Antrag

Gestützt auf vorstehende Ausführungen beantragt der Gemeinderat beim Einwohnerrat für die Anschaffung von zwei Elektrosammelfahrzeugen inklusive vier Ladestationen sowie einem Kleinsammelfahrzeug die Bewilligung von Ausgaben in der Höhe von CHF 1'850'000 (+/- 10 %).

Riehen, 29. Oktober 2024

Gemeinderat Riehen
Die Präsidentin:

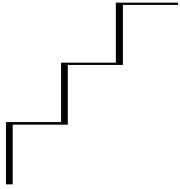
Christine Kaufmann

Der Generalsekretär:

Patrick Breitenstein

Beigefügt: Beschlussentwurf

- Beilagen:
1. Schlusspräsentation Antriebsvergleich FHNW
 2. Bericht Antriebsvergleich FHNW
 3. Plan Befahrbarkeit von Strassen in Riehen und Bettingen
 4. Einschätzung Brandschutz Autoeinstellhalle (AEH) 2. UG



Beschluss des Einwohnerrats betreffend Ausgabenbewilligung für die Beschaffung von zwei Elektrosammelfahrzeugen und einem Kleinsammelfahrzeug sowie Ladestationen

«Der Einwohnerrat bewilligt auf Antrag des Gemeinderats und der zuständigen Sachkommission Versorgung, Mobilität und Energie (SVME) für die Anschaffung von zwei Elektrosammelfahrzeugen inklusive vier Ladestationen und einem Kleinsammelfahrzeug Ausgaben in der Höhe von CHF 1'850'000.

Dieser Beschluss wird publiziert; er unterliegt dem Referendum.“

Riehen, Datum

Im Namen des Einwohnerrats

Der Präsident:

Der Ratssekretär:

Christian Heim

David Studer Matter

(Ablauf Referendumsfrist)

Vergleich von Abfallsammelfahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebsarten



Projektteam: Joël Borioli
Lukas Meier
Florian Hochstrasser
Coach: Prof. Maurice Jutz
Auftraggeber: Roger Wenger

Ausgangslage

- Ausschreibung 2023
- Zwei Fahrzeuge im Gebrauch
- 2.30m Breite
- Rechtsgelenkt
- Dieselantrieb
- Sammlung aller Art von Abfall
- Jeden Arbeitstag im Einsatz





Abteilung Bau, Mobilität und Umwelt

Gemeindeverwaltung
Wettsteinstrasse 1
CH-4125 Riehen

Telefon: 061 646 81 11
Fax: 061 646 81 24
Homepage: www.fahab.ch

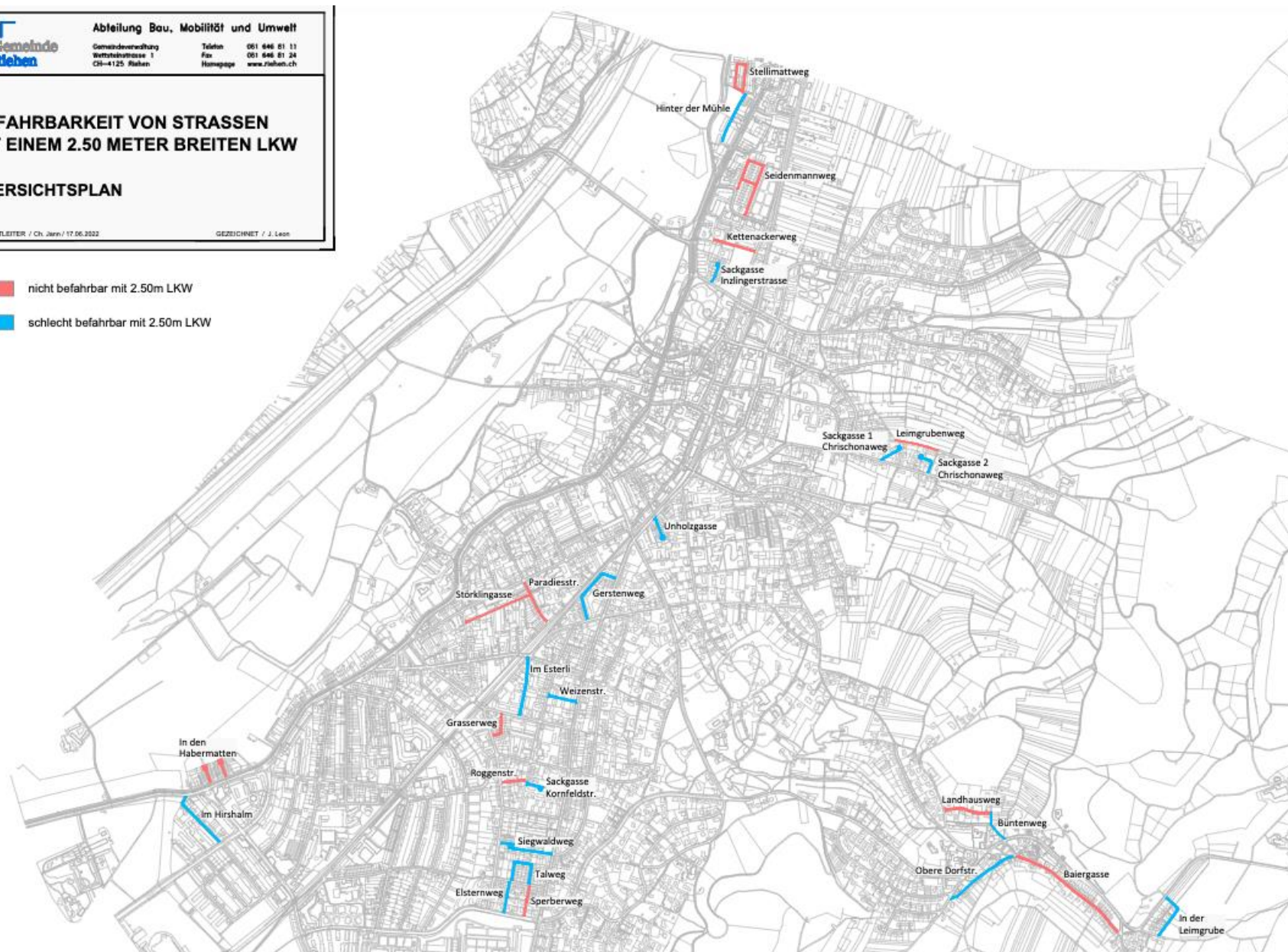
**BEFAHRBARKEIT VON STRASSEN
MIT EINEM 2.50 METER BREITEN LKW**

ÜBERSICHTSPLAN

PROJEKTLISTE / Ch. Jern / 17.06.2022

GEZEICHNET / J. Leon

- nicht befahrbar mit 2.50m LKW
- schlecht befahrbar mit 2.50m LKW



Ziele

- Vergleich verschiedener Antriebssysteme
 - Elektro
 - Hybrid
 - Gas
 - Diesel
 - Wasserstoff
- Aktueller Stand der Technik
- Möglichst umweltfreundlich
- Auf lokale Gegebenheiten angepasst



Routenanalyse

- Vergleich von 3 GPS-Apps



- Fahrtenheft

Fahrzeug:	Datum:	Datum:	Datum:	Datum:	Datum:	Datum:	Datum:
Route (1, 2)							
GPS- App, Aufnahme starten							
Kilometerstand Start							
Kippvorgänge							
Pressvorgänge							
Anz. Entladungen & Gewicht der Ladungen							
Tanken							
Kilometerstand Ende							
GPS- App, Aufnahme Speichern							
Verantwortliche Person (Kürzel)							

Routenanalyse

LW 4	Datum	19.10.2022	20.10.2022	21.10.2022	27.10.2022	28.10.2022
Tag		Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Donnerstag	Freitag
Datentyp	Einheiten					
(Tour) . (Abfallzone)	-	2.1	2.4	2.1	2.4	2.4
Müllart	-	Grüngut	Grüngut	Müll	Grüngut	Müll
Km Start	km	242033	242101	242161	242476	242565
Km Ende	km	242101	242161	242266	242565	242638
Km Zurückgelegt	km	68	60	105	89	73
Dieselvebrauch	l	59	50	59	56	59
Kippvorgänge	Stk.	460	400	130	380	130
Pressvorgänge	Stk.	270	300	135	290	155
1. Entladung	kg	11780	12000	8220	11640	2660
2. Entladung	kg	0	5580	3360	5580	8440
Gesamtgewicht Ladung	kg	11780	17580	11580	17220	11100
Verbrauch	l/100km	86.8	83.3	56.2	62.9	80.8
Durchschnittsladung	kg/km	173.2	293.0	110.3	193.5	152.1
Verbrauch	l/100kg	0.501	0.284	0.509	0.325	0.532

Bestimmung energieaufwändigster Route

Route 2.4 (28.10.22)		
Heizwert Diesel	kWh/l	9.8
Dieserverbrauch	l/100km	80.8
Benötigte Energie/100km	kWh/100km	792
Benötigte Energie bei 2.4	kWh	578
Wirkungsgrad		25%
Genutzte Energie	kWh	145
Netto Energie pro 100km	kWh/100km	198

Tabelle 3-6, Daten der Route 2.4 vom 28.10.22

Route 1.3 (24.10.22)		
Heizwert Diesel	kWh/l	9.8
Dieserverbrauch	l/100km	98.2
Benötigte Energie/100km	kWh/100km	962
Benötigte Energie bei 1.3	kWh	529
Wirkungsgrad		25%
Genutzte Energie	kWh	132
Netto Energie pro 100km	kWh/100km	241

Tabelle 3-45, Daten der Route 1.3 vom 24.10.22

Route 2.1 (19.10.22)		
Heizwert Diesel	kWh/l	9.8
Dieserverbrauch	l/100km	86.8
Benötigte Energie/100km	kWh/100km	850
Benötigte Energie bei 2.1	kWh	578
Wirkungsgrad		25%
Genutzte Energie	kWh	145
Netto Energie pro 100km	kWh/100km	213

Tabelle 3-54, Daten der Route 2.1 vom 19.10.22

Route 1.2 (26.10.22)		
Heizwert Diesel	kWh/l	9.8
Dieserverbrauch	l/100km	85.2
Benötigte Energie/100km	kWh/100km	835
Benötigte Energie bei 1.2	kWh	510
Wirkungsgrad		25%
Genutzte Energie	kWh	127
Netto Energie pro 100km	kWh/100km	209

Tabelle 3-63, Daten der Route 1.2 vom 26.10.22

Kriterienkatalog

- Versand an Hersteller & Aufbauer
- Erstellt durch Absprache mit Auftraggeberschaft
- Vergleich der Antriebsarten untereinander
- Fahrzeugauswahl erfolgt aufgrund der Datenqualität
- Routenbewältigung möglich



Elektrofahrzeuge

Datentyp	Einheiten	Fahrzeuge				
Hersteller		Volvo	Volvo	Renault	Mercedes	Desingwerk
Modell		FE	FM	e-tech D wide 26t	eActros	Futuricum Medium Cab Collect 26E
Anzahl Achsen	Stk.	3	3	3	3	3
Aussenmasse	mm	2518	2544	2518	2500	2544
Rechtsgelenkt		ja	ja	ja	ja	ja
Energieverbrauch	kWh/t*km	k.A.	k.A.	0.082	k.A.	k.A.
Energieverbrauch	kWh/km	k.A.	k.A.	2.21	0.9	1.9
Leergewicht	t	10	10	9.668	9.3	8.5
Gesamtgewicht	t	28	28	27	27	27
Nutzlast	t	18	18	17.332	17.7	18.5
Batterieoptionen	kWh	375	360	264 & 376	336	270 kWh 289 kWh 383 kWh
Reichweite	km	270-290	200-230	109 & 149	300	~100km ~150 km ~200 km
Rekuperation		möglich	möglich	31 kWh	max. 400kW	möglich
Radstand	mm	3900	3900	3900	4000 / 4600	3900
Lärmemissionen	Dezibel	k.A.	k.A.	k.A.	60dB bei 20km/h	k.A.
Ladezeit	h	k.A.	k.A.	22kW = 12.3h 150kW = 1.8h	20%-80% 1,25h	1h - 20h

Wasserstofffahrzeuge

Datentyp	Einheiten	Fahrzeuge		
Hersteller		Volvo	Mercedes	Faun
Modell		erst ab 2027	Nicht erhältlich	Bluepower
Anzahl Achsen	Stk.			3
Aussenmasse	mm			k.A.
Rechtsgelenkt				k.A.
Energieverbrauch	kWh/t*km			k.A.
Energieverbrauch	kWh/km			k.A.
Leergewicht	t			k.A.
Gesamtgewicht	t			27
Nutzlast	t			k.A.
Reichweite	km			250
Fassungsvermögen Tank	kg			16.4
Radstand	mm			k.A.
CO ₂ -Emissionen	g/km			k.A.

Entscheidungsmatrix

	LW 4	Diesel	Elektro	Gas	Wasserstoff		Hybrid
							
					Öko-Strom	Schweizer Strom-Mix	
Gewicht Fahrzeug [t]							
Zulässiges Gesamtgewicht	26	26	27	26	k.A.		k.A.
Nutzlast (ohne Aufbau)	k.A.	18.2	17.3	18.1	k.A.		k.A.
Nutzlast (mit Aufbau)	11.7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
CO ₂ -Emissionen [g/km]							
Fahrzeugherstellung	437	437	437	437	437		437
Batterie (Antrieb)	0	0	103	0	33	33	k.A.
Betrieb	2300	2240	0	2681	0		k.A.
Bereitstellung Treibstoff	459	459	220	482	0	659	k.A.
Total [g/km]	3196	3136	760	3600	470	1129	k.A.
Verbrauch [l/100km]							
Gemessener Verbrauch	86.8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
Dieseläquivalent	86.8	85.6	24.1	≈ Diesel	43.5		k.A.
Lärmemission [dB]							
Umgebungsschallpegel	46.6	46.6	46.8	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Stand	68.7	68.7	57.2	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Normales Anfahren 0-30km/h	83.8	83.8	81.3	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
max. Beschleunigung 0-30km/h	84.3	84.3	84.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (30 km/h)	79	79	74.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (50 km/h)	84.7	84.7	80.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Pressvorgang	84.2	84.2	73.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.

Gewicht der Fahrzeuge

	LW 4	Diesel	Elektro	Gas	Wasserstoff		Hybrid
							
					Öko-Strom	Schweizer Strom-Mix	
Gewicht Fahrzeug [t]							
Zulässiges Gesamtgewicht	26	26	27	26	k.A.		k.A.
Nutzlast (ohne Aufbau)	k.A.	18.2	17.3	18.1	k.A.		k.A.
Nutzlast (mit Aufbau)	11.7	k.A	k.A	k.A	k.A.		k.A.
CO ₂ -Emissionen [g/km]							
Fahrzeugherstellung	437	437	437	437	437		437
Batterie (Antrieb)	0	0	103	0	33	33	k.A.
Betrieb	2300	2240	0	2681	0		k.A.
Bereitstellung Treibstoff	459	459	220	482	0	659	k.A.
Total [g/km]	3196	3136	760	3600	470	1129	k.A.
Verbrauch [l/100km]							
Gemessener Verbrauch	86.8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
Dieseläquivalent	86.8	85.6	24.1	≈ Diesel	43.5		k.A.
Lärmemission [dB]							
Umgebungsschallpegel	46.6	46.6	46.8	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Stand	68.7	68.7	57.2	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Normales Anfahren 0-30km/h	83.8	83.8	81.3	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
max. Beschleunigung 0-30km/h	84.3	84.3	84.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (30 km/h)	79	79	74.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (50 km/h)	84.7	84.7	80.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Pressvorgang	84.2	84.2	73.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.

CO₂-Emissionen

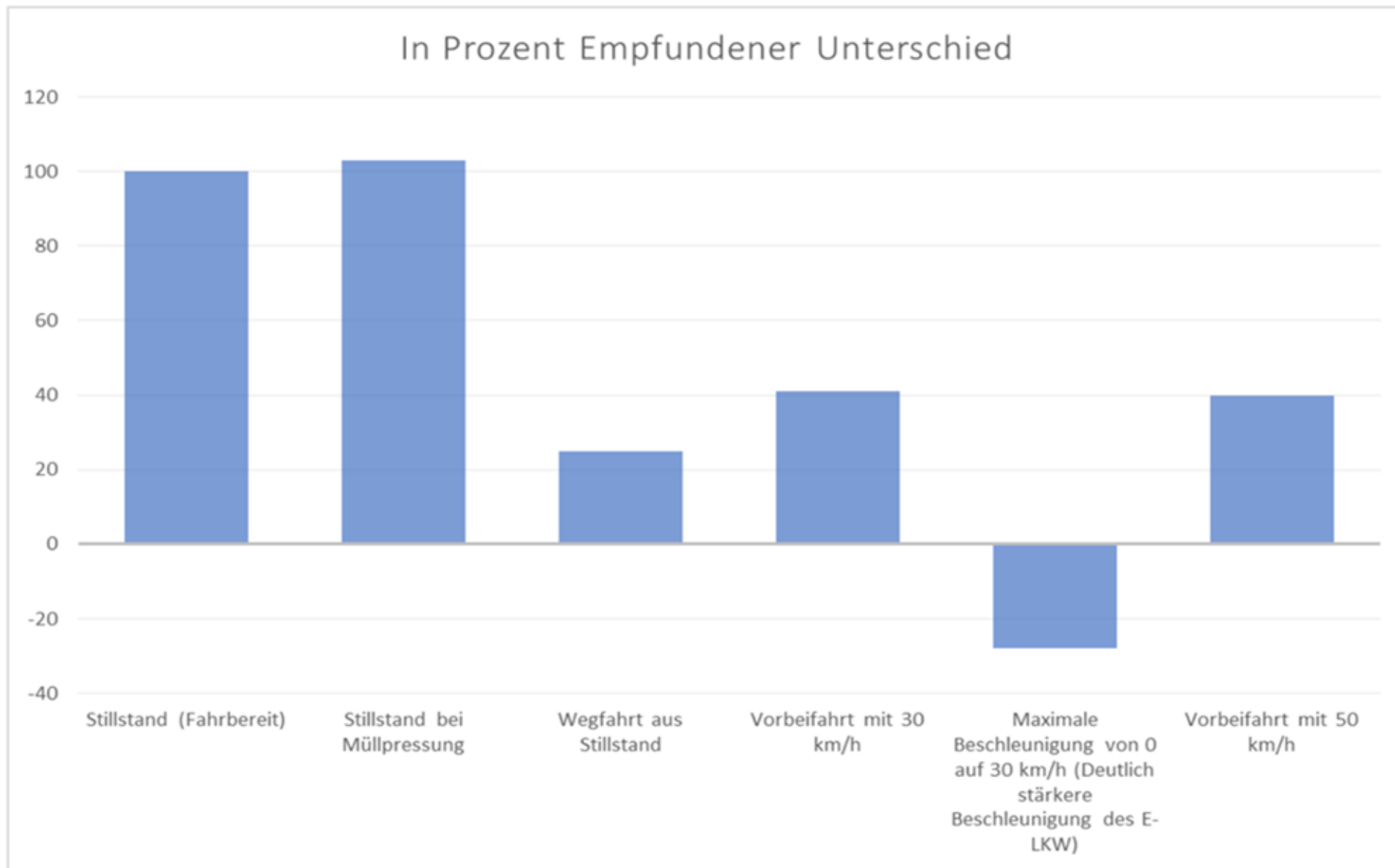
	LW 4	Diesel	Elektro	Gas	Wasserstoff		Hybrid
							
					Öko-Strom	Schweizer Strom-Mix	
Gewicht Fahrzeug [t]							
Zulässiges Gesamtgewicht	26	26	27	26	k.A.		k.A.
Nutzlast (ohne Aufbau)	k.A.	18.2	17.3	18.1	k.A.		k.A.
Nutzlast (mit Aufbau)	11.7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
CO ₂ -Emissionen [g/km]							
Fahrzeugherstellung	437	437	437	437	437		437
Batterie (Antrieb)	0	0	103	0	33	33	k.A.
Betrieb	2300	2240	0	2681	0		k.A.
Bereitstellung Treibstoff	459	459	220	482	0	659	k.A.
Total [g/km]	3196	3136	760	3600	470	1129	k.A.
Verbrauch [l/100km]							
Gemessener Verbrauch	86.8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
Dieseläquivalent	86.8	85.6	24.1	≈ Diesel	43.5		k.A.
Lärmemission [dB]							
Umgebungsschallpegel	46.6	46.6	46.8	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Stand	68.7	68.7	57.2	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Normales Anfahren 0-30km/h	83.8	83.8	81.3	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
max. Beschleunigung 0-30km/h	84.3	84.3	84.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (30 km/h)	79	79	74.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (50 km/h)	84.7	84.7	80.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Pressvorgang	84.2	84.2	73.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.

Verbrauch

	LW 4	Diesel	Elektro	Gas	Wasserstoff		Hybrid
							
					Öko-Strom	Schweizer Strom-Mix	
Gewicht Fahrzeug [t]							
Zulässiges Gesamtgewicht	26	26	27	26	k.A.		k.A.
Nutzlast (ohne Aufbau)	k.A.	18.2	17.3	18.1	k.A.		k.A.
Nutzlast (mit Aufbau)	11.7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
CO ₂ -Emissionen [g/km]							
Fahrzeugherstellung	437	437	437	437	437		437
Batterie (Antrieb)	0	0	103	0	33	33	k.A.
Betrieb	2300	2240	0	2681	0		k.A.
Bereitstellung Treibstoff	459	459	220	482	0	659	k.A.
Total [g/km]	3196	3136	760	3600	470	1129	k.A.
Verbrauch [l/100km]							
Gemessener Verbrauch	86.8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
Dieseläquivalent	86.8	85.6	24.1	≈ Diesel	43.5		k.A.
Lärmemission [dB]							
Umgebungsschallpegel	46.6	46.6	46.8	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Stand	68.7	68.7	57.2	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Normales Anfahren 0-30km/h	83.8	83.8	81.3	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
max. Beschleunigung 0-30km/h	84.3	84.3	84.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (30 km/h)	79	79	74.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (50 km/h)	84.7	84.7	80.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Pressvorgang	84.2	84.2	73.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.

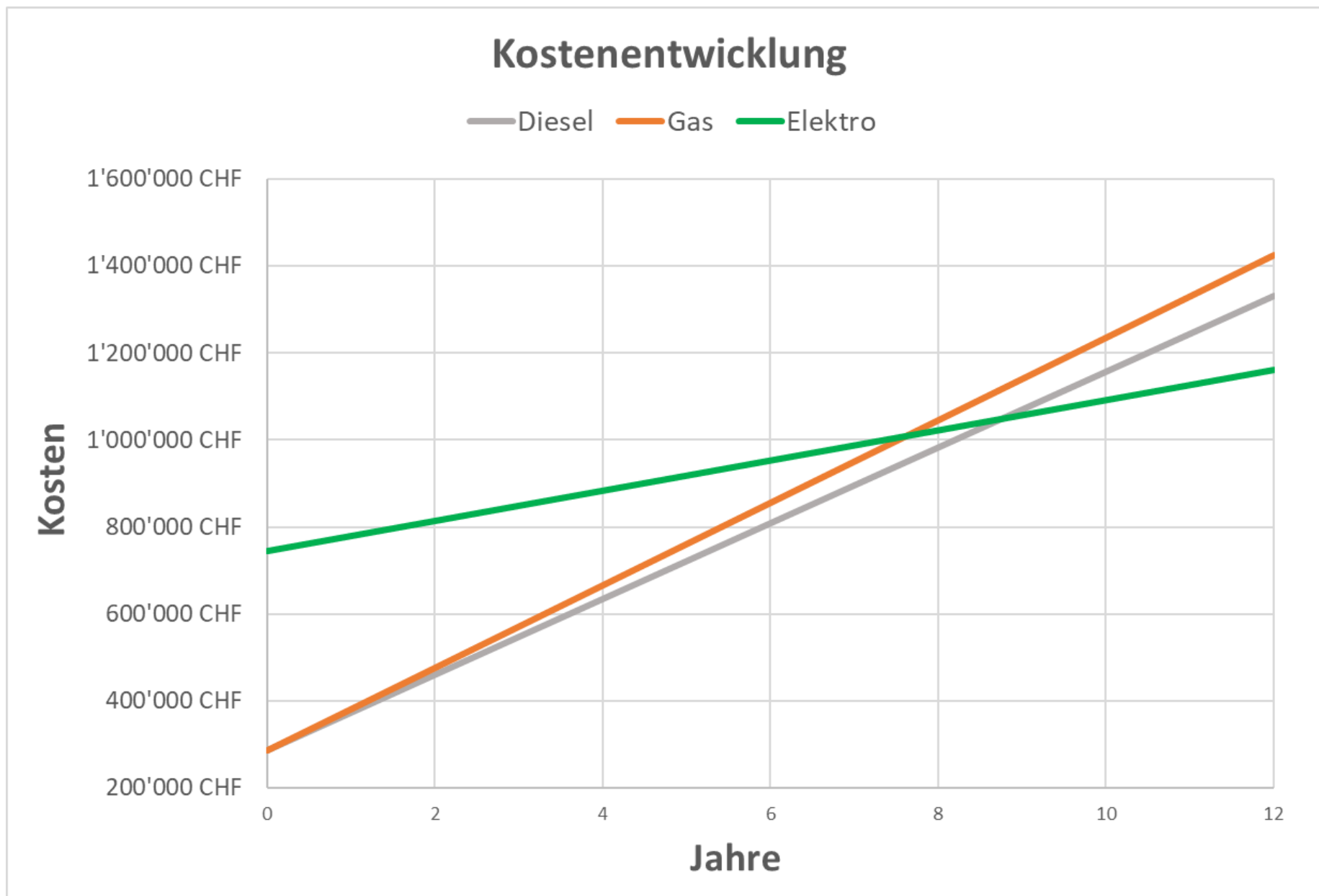
Lärmemissionen

	LW 4	Diesel	Elektro	Gas	Wasserstoff		Hybrid
							
					Öko-Strom	Schweizer Strom-Mix	
Gewicht Fahrzeug [t]							
Zulässiges Gesamtgewicht	26	26	27	26	k.A.		k.A.
Nutzlast (ohne Aufbau)	k.A.	18.2	17.3	18.1	k.A.		k.A.
Nutzlast (mit Aufbau)	11.7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
CO ₂ -Emissionen [g/km]							
Fahrzeugherstellung	437	437	437	437	437		437
Batterie (Antrieb)	0	0	103	0	33	33	k.A.
Betrieb	2300	2240	0	2681	0		k.A.
Bereitstellung Treibstoff	459	459	220	482	0	659	k.A.
Total [g/km]	3196	3136	760	3600	470	1129	k.A.
Verbrauch [l/100km]							
Gemessener Verbrauch	86.8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
Dieselläquivalent	86.8	85.6	24.1	≈ Diesel	43.5		k.A.
Lärmemission [dB]							
Umgebungsschallpegel	46.6	46.6	46.8	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Stand	68.7	68.7	57.2	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Normales Anfahren 0-30km/h	83.8	83.8	81.3	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
max. Beschleunigung 0-30km/h	84.3	84.3	84.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (30 km/h)	79	79	74.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (50 km/h)	84.7	84.7	80.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Pressvorgang	84.2	84.2	73.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.



Kostenvergleich

Fahrzeuge		Diesel	Gas	Elektro
Anschaffungskosten	CHF	286'000	286'000	745'000
Treibstoffkosten	CHF/a	49'159	56'935	18'498
LSVA	CHF/a	16'005	16'005	0
Wartungs- und Reparaturkosten	CHF/a	22'000	22'000	16'200
Gesamtkosten pro Jahr	CHF/a	87'164	94'940	34'698
Kosten nach 8.8 Jahren	CHF	1'053'042	1'121'471	1'050'340
Kosten nach 12 Jahren	CHF	1'331'967	1'425'279	1'161'372

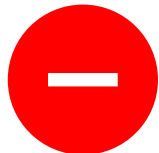


Schlussfolgerung

Wir empfehlen das Abfallsammelfahrzeug mit elektrischem Antrieb.



- + Die Machbarkeit der Touren ist gegeben
- + Die geringen CO2-Emissionen
- + Keine Stickoxide während der Nutzung
- + Die geringeren Lärmemissionen
- + Erwarteter Kostenvorteil ab 8.8 Jahren



- Nur 2.5 m breite Fahrzeuge

Vergleich von Abfallsammelfahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebsarten

Projekt 3



Studenten	<i>Joël Borioli Lukas Meier Florian Hochstrasser</i>
Projektcoach	<i>Maurice Jutz</i>
Modulverantwortliche	<i>Yvonne Zickermann</i>
Auftraggeber	<i>Gemeinde Riehen Roger Wenger</i>
Kommunikationcoaches	<i>Marie-Thérèse Rudolf von Rohr Karen Schrader</i>
Projektnummer	EUT-P3-22HS-05

Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Technik

Windisch, Dezember 2022

Management Summary

Ausgangslage

Die Gemeinde Riehen plant für das Jahr 2023 eine Ausschreibung, um die bisherigen Abfallsammelfahrzeuge zu ersetzen. Aktuell wird die Abfallsammlung in den Gemeinden Riehen und Bettingen mit dieselbetriebenen Fahrzeugen durchgeführt. Das Projektteam der Fachhochschule Nordwestschweiz wurde im Vorfeld dieser Ausschreibung beauftragt, einen Vergleich der Antriebssysteme auf dem Markt zu erstellen. In diesem Vergleich sollen Elektro-, Gas-, Diesel-, Hybrid- und Wasserstofffahrzeuge behandelt werden.

Methodik

Um zu einem späteren Zeitpunkt die Machbarkeit der Routen bewerten zu können, wurden am Anfang die Sammelrouten in den Gemeinden Riehen und Bettingen mit der Applikation «Topo-GPS» erfasst. Anschliessend an die Routenerfassung wurden Fragebögen an diverse Hersteller gesendet, um die nötigen Daten für den Vergleich zu erhalten. Nebst der Herstellerbefragung wurden noch Internetrecherchen durchgeführt. Diese dienen dazu, Informationslücken zu schliessen und die Angaben der Hersteller auf Plausibilität zu prüfen. Sobald die nötigen Daten erhalten wurden, wurde pro Antriebsart das Fahrzeug mit der besten Datenqualität ausgewählt. Anschliessend werden die gewählten Fahrzeuge in einer Matrix miteinander verglichen, die Vergleichskriterien wurden im Vorfeld durch den Auftraggeber und das Projektteam bestimmt.

Ergebnisse

Das Hauptergebnis dieser Arbeit ist die unten abgebildete Matrix. Diese soll dem Betrachter möglichst rasch einen Vergleich der verschiedenen Antriebssysteme bieten. Deutlich zu erkennen ist, dass die CO₂-Emissionen des Elektrofahrzeuges rund viermal kleiner sind als jene der aktuellen Fahrzeuge.

	LW 4	Diesel	Elektro	Gas	Wasserstoff		Hybrid
							
					Öko-Strom	Schweizer Strom-Mix	
Gewicht Fahrzeug [t]							
Zulässiges Gesamtgewicht	26	26	27	26	k.A.		k.A.
Nutzlast (ohne Aufbau)	k.A.	18.2	17.3	18.1	k.A.		k.A.
Nutzlast (mit Aufbau)	11.7	k.A	k.A	k.A	k.A.		k.A.
CO ₂ -Emissionen [g/km]							
Fahrzeugherstellung	437	437	437	437	437		437
Batterie (Antrieb)	0	0	103	0	33	33	k.A.
Betrieb	2300	2240	0	2681	0		k.A.
Bereitstellung Treibstoff	459	459	220	482	0	659	k.A.
Total [g/km]	3196	3136	760	3600	470	1129	k.A.
Verbrauch [l/100km]							
Gemessener Verbrauch	86.8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
Dieseläquivalent	86.8	85.6	24.1	≈ Diesel	43.5		k.A.
Lärmemission [dB]							
Umgebungsschallpegel	46.6	46.6	46.8	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Stand	68.7	68.7	57.2	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Normales Anfahren 0-30km/h	83.8	83.8	81.3	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
max. Beschleunigung 0-30km/h	84.3	84.3	84.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (30 km/h)	79	79	74.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (50 km/h)	84.7	84.7	80.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Pressvorgang	84.2	84.2	73.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.

Fazit

Aufgrund der Ergebnisse aus dem Vergleich würde das Projektteam der Gemeinde Riehen ein Elektrofahrzeug für die Abfallsammlung empfehlen. Diese Empfehlung basiert auf den tieferen CO₂-Emissionen und der tieferen Lärmbelastung. Die Lärmemissionen sind bei der Pressung deutlich tiefer, da der Elektromotor im Nebenantrieb seine Drehzahl nicht erhöhen muss. Die tieferen CO₂-Emissionen sind auf den hohen Wirkungsgrad des Elektromotors zurückzuführen.

Vorwort

Diese Projektarbeit entstand im Rahmen des Moduls Projekt 3 im Studiengang Energie- und Umwelttechnik.

Wir bedanken uns herzlich bei Maurice Jutz, Yvonne Zickermann, Marie-Thérèse Rudolf von Rohr sowie Karen Schrader für die Betreuung während dieser Projektarbeit. Des Weiteren bedanken wir uns bei der Gemeinde Riehen, insbesondere bei Roger Wenger, für das Vertrauen in uns und den Auftrag für diese Arbeit. Zudem bedanken wir uns bei allen, die uns bei dieser Arbeit unterstützen.

Windisch, im Dezember 2022

Joël Borioli, Lukas Meier und Florian Hochstrasser

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	viii
Tabellenverzeichnis.....	ix
1 Einleitung / Ausgangslage	10
2 Methodik	11
3 Routenanalyse.....	12
3.1 Wahl der App.....	12
3.2 Fahrtenheft	13
3.3 Auswertung.....	15
3.4 Fazit Routenanalyse	17
4 Aufbauten	18
4.1 Schlussbemerkung	20
5 Auswahl der Fahrzeuge	20
5.1 Aktuelle Fahrzeuge der Gemeinde Riehen.....	21
5.2 Elektrisch betriebene Fahrzeuge	23
5.3 Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge.....	25
5.4 Dieselfetriebene Sammelfahrzeuge.....	26
5.5 Gasbetriebene Sammelfahrzeuge	28
5.6 Hybridbetriebene Sammelfahrzeuge	29
6 Analyse der elektrisch betriebenen Abfallsammelfahrzeuge	30
6.1 Batteriewahl.....	30
6.2 Wirkungsgrad.....	31
6.3 Stickoxidbelastung.....	31
6.4 Rekuperation	31
6.5 Machbarkeit der Routen	31
6.6 Ladesituation	31
6.7 Ausblick Batterien	32
6.8 Schlussfolgerung	33
7 Analyse der wasserstoffbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge.....	34
7.1 Machbarkeit der Routen	34

7.2	<i>Stickoxidbelastung</i>	35
7.3	<i>Tanksituation</i>	35
7.4	<i>Schlussfolgerung</i>	37
8	Analyse der dieselbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge	37
8.1	<i>Machbarkeit der Routen</i>	37
8.2	<i>Stickoxidbelastung</i>	37
8.3	<i>Tanksituation</i>	38
8.4	<i>Schlussfolgerung</i>	38
9	Analyse der gasbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge	38
9.1	<i>Machbarkeit der Routen</i>	38
9.2	<i>Stickoxide</i>	38
9.3	<i>Tanksituation</i>	38
9.4	<i>Schlussfolgerung</i>	39
10	Analyse der Abfallsammelfahrzeuge mit Hybridantrieb	39
11	Förderprogramme	40
11.1	<i>Wasserstoff</i>	40
11.2	<i>Elektrofahrzeuge</i>	40
11.3	<i>Andere fossilfreie Antriebe</i>	41
12	Entscheidungsmatrix	42
12.1	<i>Gewicht Fahrzeuge</i>	43
12.2	<i>CO₂-Emissionen</i>	43
12.3	<i>Feinstaubemissionen</i>	46
12.4	<i>Lärmemissionen</i>	46
13	Kostenvergleich	48
14	Formeln	50
15	Zusammenfassung	51
16	Fazit	52
17	Quellenverzeichnis	54
18	Ehrlichkeitserklärung	58

19	Anhang.....	59
19.1	<i>A_Projektauftrag_Original.....</i>	<i>59</i>
19.2	<i>B_Bedienungsanleitung_Topo-GPS.....</i>	<i>59</i>
19.3	<i>C_Kriterienkatalog_Aufbau.....</i>	<i>59</i>
19.4	<i>D_Kriterienkatalog_Fahrzeuge</i>	<i>59</i>
19.5	<i>E_Mailverkehr_Aufbauer</i>	<i>59</i>
19.6	<i>F_Mailverkehr_Fahrzeughersteller</i>	<i>59</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1, Vergleich der genutzten Energie auf den verschiedenen Routen	16
Abbildung 2, Höhenprofil der Route 2.1	16
Abbildung 3, Die Route 2.1 auf einer Karte eingezeichnet	17
Abbildung 4, Aufteilung des Energieverbrauchs am Abfallsammelfahrzeug im realen Einsatz	19
Abbildung 5 Befahrbarkeit von Strassen mit einem 2.50 Meter breiten LKW	22
Abbildung 6, Wasserstofftankstellen in Europa (H2.LIVE, o. J.)	35
Abbildung 7, Strecke Riehen Werkhof - geplante Tankstelle Pratteln - Riehen Werkhof	36
Abbildung 8, Strecke Riehen Werkhof - Tankstelle Frenkendorf - Riehen Werkhof	36
Abbildung 9, Empfundene Lärmunterschiede in Prozent	47
Abbildung 10, Kostenentwicklung über die Einsatzdauer unter den getroffenen Annahmen	49
Abbildung 11, Balkendiagramm CO ₂ -Emissionen der Antriebsarten	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1, Erfasste Daten des LW 3 von verschiedenen Routen und Tagen	14
Tabelle 3-2, Erfasste Daten des LW 4 von verschiedenen Routen und Tagen	14
Tabelle 3-6, Daten der Route 1.2 vom 26.10.22	15
Tabelle 3-5, Daten der Route 2.1 vom 19.10.22	15
Tabelle 3-4, Daten der Route 1.3 vom 24.10.22	15
Tabelle 3-3, Daten der Route 2.4 vom 28.10.22	15
Tabelle 4-1, Daten zu den Aufbauten	19
Tabelle 5-1, Vergleich der elektrisch betriebenen Fahrzeuge	24
Tabelle 5-2, Vergleich der mit Wasserstoff betriebenen Fahrzeuge	25
Tabelle 5-3, Vergleich der mit Diesel betriebenen Fahrzeuge	27
Tabelle 5-4, Vergleich der mit Gas betriebenen Fahrzeuge	28
Tabelle 5-5, Vergleich der Fahrzeuge mit einem Hybridantrieb	29
Tabelle 12-1, Entscheidungsmatrix	42
Tabelle 13-1, Kostenannahmen für die Antriebsarten	48
Tabelle 14-1, Tabelle mit div. Formeln und der dazugehörigen Legende	50

1 Einleitung / Ausgangslage

Die Gemeinde Riehen im Kanton Basel-Stadt plant, neue Abfallsammelfahrzeuge anzuschaffen. Dafür ist im Jahr 2023 eine Ausschreibung geplant. Die Fahrzeuge im Betrieb werden aktuell mit Diesel betrieben und werden für die Sammlung von Abfällen aller Art in den Gemeinden Riehen und Bettingen eingesetzt. Es handelt sich um dreiachsige Lastwagen mit einem Spezialaufbau für die Abfallsammlung. Die Abfallsammelfahrzeuge werden mit LW 3 und LW 4 bezeichnet.

Müssen diese Fahrzeuge ersetzt werden, macht es Sinn, verschiedene Optionen zu prüfen. In der Schweiz muss nämlich der Verkehr deutlich sauberer werden. Hierzulande ist der Verkehr noch ein bedeutender Verursacher von Treibhausgasen (Bundesamt für Statistik, o.J.). Auch für LKW gibt es mittlerweile Alternativen zum Dieselmotor. Diese werden im Anschluss kurz aufgeführt.

Das Hauptziel dieser Projektarbeit besteht darin, der Gemeinde Riehen einen Vergleich der unten erwähnten Antriebssysteme für Abfallsammelfahrzeuge zu liefern. Die neuen Fahrzeuge sollen möglichst umweltfreundlich sein und auf die Gegebenheiten der Gemeinden passen. Dafür werden Fahrzeuge mithilfe aktueller Daten auf ihre Eignung zur Abfallsammlung in den Gemeinden Riehen und Bettingen geprüft. Es werden die benötigten Energiemengen, CO₂-Emissionen, Stickoxidemissionen, und Lärmemissionen untersucht. Die Ergebnisse werden in einer übersichtlichen Darstellung abgebildet. Dies ermöglicht einen schnellen Vergleich der verschiedenen Antriebsarten untereinander.

Erd-/Biogasmotor

Erd- und Biogas sind fossile Brennstoffe, Biogas kann jedoch aus erneuerbaren Quellen stammen. Die Technik ist bewährt, günstig und Gas lässt sich gut lagern bzw. transportieren. Es gibt aber Einschätzungen, welche dem Gasmotor im LKW nur ein minimales CO₂-Minderungspotential zuschreiben. Auch bei anderen Schadstoffen sei er modernen Dieselmotoren kaum überlegen (*Alternative Antriebe für Lkw*, 2019).

Elektromotor

Spätestens seit Tesla die Studie seiner E-Trucks «Semi» vorgestellt hat, ist die Idee des Elektromotors im LKW in der Öffentlichkeit bekannt geworden. Auch sind bereits elektrisch betriebene LKW auf den Strassen anzutreffen. Im Bereich der Mobilität wird stark an der Elektrifizierung geforscht, daher können hier weitere Fortschritte erwartet werden.

Wasserstoffantrieb

Im Gegensatz zu den rein elektrisch betriebenen LKW würde beim Wasserstoffantrieb keine grosse Batterie vonnöten sein. Die Brennstoffzellen produzieren den Strom aus dem mitgeführten Wasserstoff und dem Sauerstoff aus der Luft. Aus dem Auspuff wird nur Wasser und Wasserdampf in die Umgebung abgegeben. Die Brennstoffzelle kämpft, ähnlich wie der Elektromotor, mit der noch eingeschränkt vorhandenen Infrastruktur.

Hybridantrieb

Eine Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor in einem Fahrzeug ist nicht neu. Zudem wurde diese Technik bereits in Lastkraftwagen eingesetzt. Jedoch scheint diese Anwendung nicht sehr verbreitet zu sein, sind doch kaum Angaben und Erfahrungsberichte zu finden.

2 Methodik

Die notwendigen Anforderungen an die Antriebssysteme wurden in Gesprächen mit der Auftraggeberschaft abgeklärt. Aus diesen Gesprächen ergab sich, dass es in beiden Gemeinden enge Strassen gibt. Deswegen soll die Breite der Fahrzeuge, sofern möglich, weniger als 2.50 Meter betragen. Durch die in der Ausgangslage definierten Kriterien soll ein Vergleich der Antriebssysteme bezüglich Treibhausgas- und Schadstoffemissionen, Energieverbrauch, Lärm und Ladekapazität gemacht werden. Wenn möglich werden Einschätzungen zu zukünftigen Entwicklungen in den Bereichen Technologie und Infrastruktur gemacht.

Damit für die Gemeinde Riehen ein Vergleich der Antriebe von den Abfallsammelfahrzeugen erstellt werden kann, müssen zunächst die realen Anforderungen an die Antriebssysteme ermittelt werden. Die topografischen Gegebenheiten der Gemeinden Riehen und Bettingen sind vielfältig: Während Riehen eher flach und eben ist, weist Bettingen eine hügeligere Topografie auf. Riehen besitzt einen eher städtischen Charakter, Bettingen einen eher ländlichen. Die Antriebssysteme werden deshalb anhand der Sammelroute bewertet, welche am meisten Energie verbraucht und durch beide Gemeinden verläuft. Die Bestimmung der energieintensivsten Sammelroute geschieht mittels eines präzisen Monitorings. Dieses setzt sich zusammen aus einem Fahrtenheft, welches die Fahrer der Fahrzeuge jeweils ausfüllen sollen, und der App «Topo-GPS», mit welcher die topografischen Gegebenheiten der Routen erfasst werden. Genaueres dazu wird in Kapitel 3 erläutert.

Zusätzlich zu der Erfassung der Sammelrouten werden durch Befragung von Herstellern und durch Literaturrecherchen aktuelle Daten zu Fahrzeugen und ihren verschiedenen Antriebsarten gesammelt, genaue Angaben dazu sind in Kapitel 5 ersichtlich. Anhand dieser wird pro Antriebssystem ein Fahrzeugmodell ausgewählt, welches in der Matrix als Vertreter für das jeweilige Antriebssystem dient. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass diese Auswahl nicht wertend ist. Es wird das Fahrzeug des Herstellers gewählt, bei welchem die Datenqualität am höchsten ist.

Die recherchierten Daten werden rechnerisch auf die realen Bedingungen angeglichen. Die energieintensivste Route wird als Grundlage für die realen Bedingungen gewählt. Daraus wird eine Matrix erstellt, welche die einzelnen Antriebssysteme einander gegenüberstellt. Als Referenz dazu dient das aktuelle Abfallsammelfahrzeug LW 4 der Gemeinde Riehen. Durch das Erstellen der Matrix können die Vor- und Nachteile der Antriebssysteme schnell erkannt und einfach verglichen werden.

3 Routenanalyse

In Riehen gibt es zwei Sammelrouten mit vier Zonen. Es wird jeweils Haushaltsmüll, Papier, Grüngut oder Altmetall gesammelt. Für die Abfallsammlung stehen zwei identische Fahrzeuge zur Verfügung, welche fünf Tage die Woche im Einsatz stehen. Die verschiedenen Routen der Abfallsammlung wurden während zwei Wochen im Projekt erfasst. Aus den Aufzeichnungen konnten die Anforderungen für den genutzten Antrieb eruiert werden. Zukünftige Neuanschaffungen müssen ebenfalls in der Lage sein, mindestens diese Anforderungen zu erfüllen. Für eine zuverlässige Erfassung der Sammelrouten wurde die App «Topo-GPS» verwendet, welche Routenlänge, den Routenverlauf, die Topografie und weitere Daten aufzeichnete. Zudem wurde ein Fahrtenheft erstellt, das durch die Fahrer der Abfallsammelfahrzeuge ausgefüllt wurde.

3.1 Wahl der App

Für die Erfassung der Sammelrouten via GPS-App wurden zunächst drei verschiedene Apps jeweils eine Woche lang durch das Projektteam getestet. Folgende Anforderungen wurden gestellt:

- App muss auf Android und IOS verfügbar sein
- Verlässliche Aufzeichnung während der Nutzung
- Aufzeichnen der Routenlänge
- Aufzeichnen der Höhendifferenzen
- Aufzeichnen der Geschwindigkeiten

Für das Projekt wurde die App «Topo-GPS» ausgewählt. Die verlässliche Aufzeichnung während der Nutzung war ausschlaggebend für diese Wahl. Im Vergleich mit den anderen beiden Apps konnte nur die Topo-GPS-App mit genügend bewertet werden.

Für die gewählte App wurde eine Anleitung erstellt, welche im Anhang ersichtlich ist. Dies sollte eine einfache und sichere Handhabung sicherstellen. Die Messungen wurden im Anschluss durch das Personal der Gemeinde Riehen selbstständig durchgeführt.

3.2 Fahrtenheft

Mittels eines Fahrtenheftes wurden die Daten in der Tabelle 3-1 und der Tabelle 3-2 gesammelt bzw. errechnet. Das Fahrtenheft wurde von den Fahrzeuglenkern zwei Wochen mitgeführt. Während und nach dem Einsatz wurden dabei alle benötigten Daten gesammelt. Diese Daten bilden die Grundlage für die Bestimmung der verbrauchten Energie.

Die Tabelle 3-1 beinhaltet Daten, welche mit dem LW 3 gesammelt wurden, die Tabelle entsprechend gesammelte Daten des LW 4. Diese sind immer pro Tag und Route erfasst (Route = Tour-Abfallzone-Kombination). Die rot eingefärbten Routen wurden für den Vergleich in Kapitel 3.3 ausgewählt, da diese die grössten Dieserverbräuche des jeweiligen Routentyps aufwiesen. Die grün eingefärbten Felder kennzeichnen jeweils den Spitzenwert in einer Zeile.

Routenanalyse

LW 3	Datum	17.10.2022	18.10.2022	24.10.2022	25.10.2022	26.10.2022
Tag		Montag	Dienstag	Montag	Dienstag	Mittwoch
Datentyp	Einheiten					
(Tour) . (Abfallzone)	-	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2
Müllart	-	Karton/Papier	Müll	Karton/Papier	Müll	Grüngut
Km Start	km	230182	230251	230522	230577	230665
Km Ende	km	230251	230317	230577	230665	230726
Km Zurückgelegt	km	69	66	55	88	61
Dieselvebrauch	l	50	50	54	50	52
Kippvorgänge	Stk.	268	148	367	163	508
Pressvorgänge	Stk.	261	225	287	206	348
1. Entladung	kg	8360	9600	8100	9110	10060
2. Entladung	kg	4920	4660	7800	4860	0
Gesamtgewicht Ladung	kg	13280	14260	15900	13970	10060
Verbrauch	l/100km	72.5	75.8	98.2	56.8	85.2
Durchschnittsladung	kg/km	192.5	216.1	289.1	158.8	164.9
Verbrauch	l/100kg	0.377	0.351	0.340	0.358	0.517

Tabelle 3-1, Erfasste Daten des LW 3 von verschiedenen Routen und Tagen

LW 4	Datum	19.10.2022	20.10.2022	21.10.2022	27.10.2022	28.10.2022
Tag		Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Donnerstag	Freitag
Datentyp	Einheiten					
(Tour) . (Abfallzone)	-	2.1	2.4	2.1	2.4	2.4
Müllart	-	Grüngut	Grüngut	Müll	Grüngut	Müll
Km Start	km	242033	242101	242161	242476	242565
Km Ende	km	242101	242161	242266	242565	242638
Km Zurückgelegt	km	68	60	105	89	73
Dieselvebrauch	l	59	50	59	56	59
Kippvorgänge	Stk.	460	400	130	380	130
Pressvorgänge	Stk.	270	300	135	290	155
1. Entladung	kg	11780	12000	8220	11640	2660
2. Entladung	kg	0	5580	3360	5580	8440
Gesamtgewicht Ladung	kg	11780	17580	11580	17220	11100
Verbrauch	l/100km	86.8	83.3	56.2	62.9	80.8
Durchschnittsladung	kg/km	173.2	293.0	110.3	193.5	152.1
Verbrauch	l/100kg	0.501	0.284	0.509	0.325	0.532

Tabelle 3-2, Erfasste Daten des LW 4 von verschiedenen Routen und Tagen

3.3 Auswertung

Aus der Tabelle 3-1 und der Tabelle sind die erfassten Daten der verschiedenen Routen zu entnehmen. Mit Hilfe der Formel **(1)** kann die Energie des verbrauchten Diesels berechnet werden:

$$E_D = V_R \cdot H_{i,D} \quad (1)$$

Weiter kann mit der Formel **(2)** die effektiv genutzte Energiemenge bestimmt werden:

$$E_{eff} = E_D \cdot \eta_D \quad (2)$$

Der Grund für den tiefen Wirkungsgrad von 25% ist die Erwartung, dass der Motor grösstenteils nur im Teillastbereich arbeitet. Während der Sammelroute wird das Fahrzeug stets aus dem Stillstand beschleunigt und anschliessend wieder abgebremst. Daher wird der übliche Wirkungsgrad von etwa 40% nicht erreicht (Skarics, 2018). Nachfolgend sind die vier verschiedenen Routen ausgewertet.

Route 2.4 (28.10.22)		
Heizwert Diesel	kWh/l	9.8
Dieserverbrauch	l/100km	80.8
Benötigte Energie/100km	kWh/100km	792
Benötigte Energie bei 2.4	kWh	578
Wirkungsgrad		25%
Genutzte Energie	kWh	145
Netto Energie pro 100km	kWh/100km	198

Tabelle 3-6, Daten der Route 2.4 vom 28.10.22

Route 1.3 (24.10.22)		
Heizwert Diesel	kWh/l	9.8
Dieserverbrauch	l/100km	98.2
Benötigte Energie/100km	kWh/100km	962
Benötigte Energie bei 1.3	kWh	529
Wirkungsgrad		25%
Genutzte Energie	kWh	132
Netto Energie pro 100km	kWh/100km	241

Tabelle 3-45, Daten der Route 1.3 vom 24.10.22

Route 2.1 (19.10.22)		
Heizwert Diesel	kWh/l	9.8
Dieserverbrauch	l/100km	86.8
Benötigte Energie/100km	kWh/100km	850
Benötigte Energie bei 2.1	kWh	578
Wirkungsgrad		25%
Genutzte Energie	kWh	145
Netto Energie pro 100km	kWh/100km	213

Tabelle 3-54, Daten der Route 2.1 vom 19.10.22

Route 1.2 (26.10.22)		
Heizwert Diesel	kWh/l	9.8
Dieserverbrauch	l/100km	85.2
Benötigte Energie/100km	kWh/100km	835
Benötigte Energie bei 1.2	kWh	510
Wirkungsgrad		25%
Genutzte Energie	kWh	127
Netto Energie pro 100km	kWh/100km	209

Tabelle 3-63, Daten der Route 1.2 vom 26.10.22

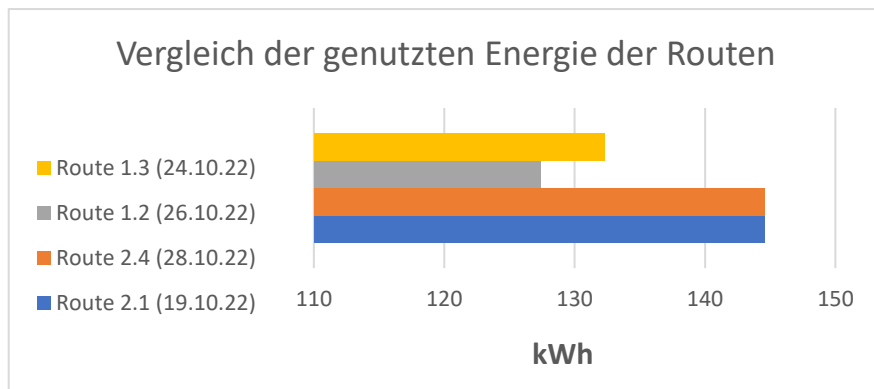


Abbildung 1, Vergleich der genutzten Energie auf den verschiedenen Routen

Mit 145 kWh effektiv genutzter Energie sind die Routen 2.1 und 2.4 die energieintensivsten aller aufgezeichneten Sammelrouten. Zukünftig angeschaffte Fahrzeuge müssen in der Lage sein, mindestens diese Menge an Energie aufzubringen.

Die Auswertung der aufgezeichneten Route 2.1 zeigt in Abbildung 3, dass diese die Ortschaft Bettingen mit einbezieht. Das Höhenprofil der Abbildung 2 zeigt ebenfalls die Route 2.1 und visualisiert die Änderungen der Höhenlage. So ändert sich die Höhe zwischen Kilometer null und 45 nur um ca. 100 Höhenmeter. Der Rest ist eher auf einer konstanten Höhe, das heisst, für die Arbeit mussten nur geringe Steigungen überwunden werden. Das Höhenprofil der Abbildung 2 weist zwischen Kilometer 45 und 55 eine deutliche Steigung auf. Auf der Karte der Abbildung 3 ist zu erkennen, dass das Sammelfahrzeug zwischen Kilometer 45 und 60 in der Ortschaft Bettingen im Einsatz war.

Höhenprofil



Abbildung 2, Höhenprofil der Route 2.1

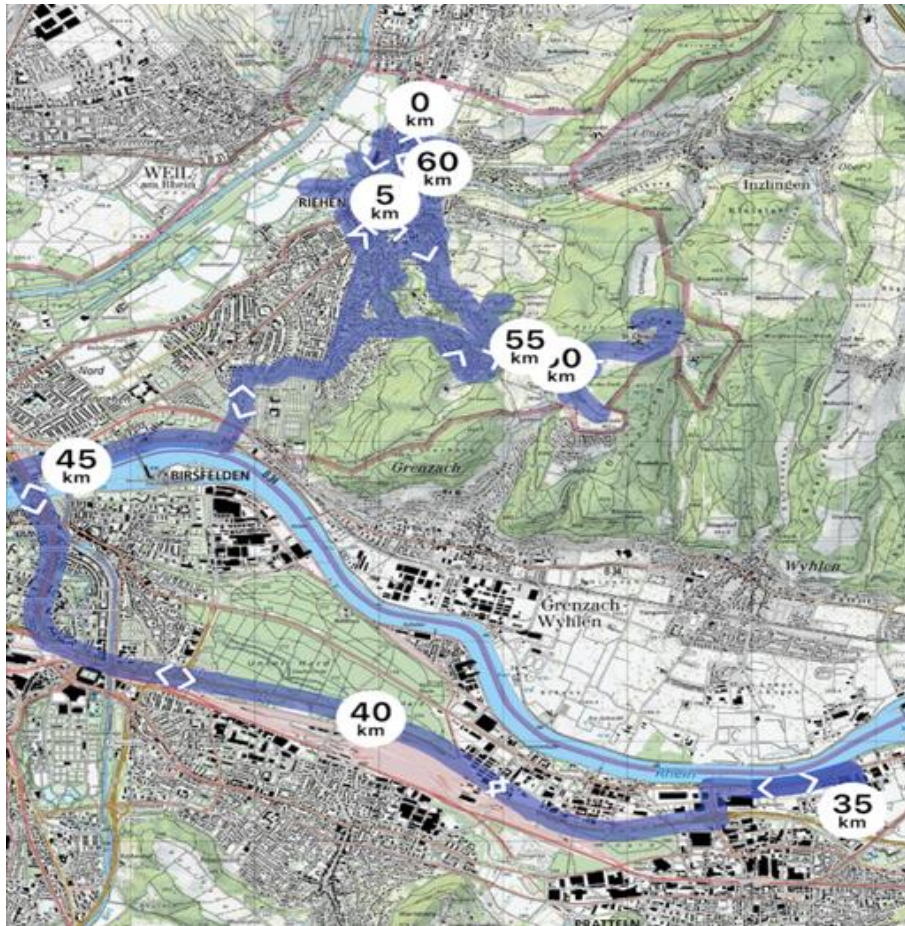


Abbildung 3, Die Route 2.1 auf einer Karte eingezeichnet

Aus den Aufzeichnungen der Tabelle ist zu entnehmen, dass die Route 2.1 eine Strecke von 68 km umfasst. Mit der Annahme, dass die Route 6.5 h $\pm$ 1 h in Anspruch nahm (Arbeitszeit abzüglich Pausen und eine Entleerung), ist die Durchschnittsgeschwindigkeit 10.5 km/h $\pm$ 1.5 km/h. Diese Zahl erfüllt die Erwartungen und ist mit der nötigen Stop-and-Go-Fahrweise erklärbar. Dies stützt ebenfalls die Annahme eines schlechten Wirkungsgrades beim betrachteten Fahrzeug.

3.4 Fazit Routenanalyse

Es wurde ersichtlich, dass die Route 2.1 zusammen mit der Route 2.4 mit 145 kWh am meisten Energie verbrauchten. Jedoch führt nur die Route 2.1 durch Bettingen und ist daher als Referenz zu bevorzugen. Bei der Route 2.1 ist im Vergleich zu anderen Tagen eine kleinere Lademenge vorhanden, dies gilt es zu beachten. Diese Energiemenge muss von

den Fahrzeugen mindestens abrufbar sein, um für die Gemeinde Riehen infrage zu kommen. Allerdings wird ein höherer Wert empfohlen, da das Ladegewicht und die damit verbundenen Kipp- und Pressvorgänge deutlich variieren können.

4 Aufbauten

Im Rahmen dieses Projektes wurden nicht nur Daten zu Fahrzeugen und Antriebsarten eingeholt, sondern auch Daten zu den Aufbauten für Abfallsammelfahrzeuge. Es liegt auf der Hand, dass die typischen Aufbauten der Abfallsammelfahrzeuge Auswirkungen auf den Energiehaushalt der Fahrzeuge haben. Bei der Datenbeschaffung lag der Schwerpunkt darauf, Datenblätter zu den Aufbauten zu erhalten. Bei Telefonaten mit den Aufbauern, aber auch mit den Herstellern, hat sich ergeben, dass die Fahrzeuge auf drei Varianten beschafft werden können. Zum einen kann alles beim Fahrzeughersteller bestellt werden, dann gibt der Kunde seine Wünsche an und der Hersteller passt das Fahrzeug darauf an. Die zweite Variante ist, dass alles bei der Firma des Aufbaus bestellt wird, dann kümmert sich der Aufbauer um die Beschaffung des Chassis und der anderen Komponenten. Die letzte Variante ist, dass der Kunde ein Chassis kauft und dieses dann zum Aufbauer bringt. Dieser montiert dann den Aufbau auf das Chassis. In der Tabelle 4-1 sind alle erhaltenen Angaben übersichtlich dargestellt. Die Anforderungen an die Aufbauten waren, dass sie auf einem dreiachsigen Chassis montiert werden können. Da es bei den dreiachsigen Fahrzeugen Differenzen bezüglich der Aussenmasse gibt, sind die Abweichungen beim Fassungsvermögen dementsprechend deutlich zu erkennen. Ebenfalls sind deutliche Unterschiede beim Gewicht des Aufbaus erkennbar. Diese sind ebenfalls darauf zurückzuführen, dass die Vorgabe lediglich ein dreiachsiges Fahrzeug war. Gut erkennbar ist, dass die Aufbauten von DRM und Contena Ochsner sehr ähnliche Energieverbräuche bei den Pressungen und Kippungen haben.

Aufbauten

Aufbauten					
Datentyp	Einheiten	Aufbauten			
Hersteller		Terberg	Terberg	DRM	Contena Ochsner
Modell		OL-11N	OL-13W	k.A.	k.A.
Radabstand	mm	3400-3500	3400-3500	k.A.	div.
Fassungsvermögen	m ³	11.3	13	16 -14	19.5 - 22.5
Energieverbrauch pro Kippvorgang	kWh	k.A.	k.A.	0.03	0.025
Energieverbrauch pro Pressvorgang	kWh	k.A.	k.A.	0.069	0.08
Aufbaugewicht	kg	4971	5207	16m ³ = 5300 23m ³ = 7150	8000
Gewicht Trittbrett	kg	70	70	k.A.	k.A.
Gewicht Hilfsrahmen	kg	136	136	k.A.	k.A.
Gewicht Schütttür UPC	kg	660	675	k.A.	k.A.
Gewicht Schütttür EN1501	kg	216	216	k.A.	k.A.
Aussenbreite	mm	2230	2530	2300 - 2500	2.3 - 2.55
Länge, Heckklappe geschlossen	mm	4975	4975	5880 - 7320	div.

Tabelle 4-1, Daten zu den Aufbauten

Bisher wurde der Energieverbrauch am Fahrzeug im Bericht immer als Ganzes betrachtet. Der Energieverbrauch teilt sich jedoch in unterschiedliche Bereiche auf, wie die Abbildung 4 zeigt.

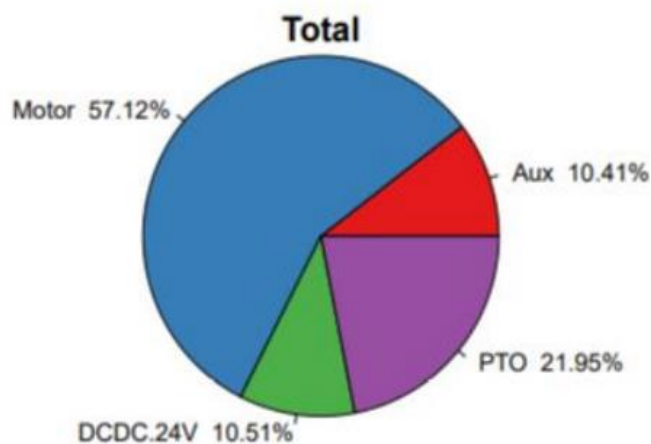


Abbildung 4, Aufteilung des Energieverbrauchs am Abfallsammelfahrzeug im realen Einsatz

- **Motor:** Die für die Bewegung notwendige Energie
- **Aux:** (Auxiliary): Komponenten, die Energie benötigen, wie z.B. Lenkenergie, Luftaufbereitung etc.
- **PTO:** (Power take-off): Die Energie für die Nebenaggregate (Presssystem)
- **DCDC.24V:** Energie für die Versorgung der 24V-Komponenten

Auswahl der Fahrzeuge

Diese Aufteilung stammt aus dem Leuchtturmprojekt «Futuricum» und zeigt den Energieverbrauch während der realen Nutzung. Die Messung fand im Raum Lausanne an einem elektrisch betriebenen Fahrzeug statt (Hoti et al., 2019). Unter den vier Einsatzgebieten, welche in der Studie untersucht wurden, gleicht dieses am ehesten demjenigen von Riehen und Bettingen, weshalb diese Messung verwendet wird. Auch der vorliegende Verbrauch (23.38 l pro 100 km Dieseläquivalent) während der Messung in Lausanne ist dem der Route 2.1 sehr ähnlich, was auf eine ähnliche Belastung hinweist.

Es ist deutlich, dass die meiste Energie für die Bewegung eingesetzt werden muss. Der PTO-Bereich ist der zweitgrösste Verbraucher. Die Presssysteme sind im typischen Aufbau von Abfallsammelfahrzeugen vorhanden. Die Gemeinde Riehen arbeitet aktuell mit einem Aufbau der Firma Contena Ochsner, daher werden für die folgenden Berechnungen die Daten dieses Aufbaus verwendet.

Aus den Aufzeichnungen im Fahrtenheft vom 19.10.2022 in der Tabelle ist ersichtlich, dass bei dieser Route 460 Kippvorgänge und 270 Pressvorgänge stattgefunden haben. Der Aufbau von Contena Ochsner benötigt 0.025 kWh pro Kippung und 0.08 kWh pro Pressung. Am 19.10.2022 wurden somit 33.1 kWh Energie für die Press- und Kippvorgänge aufgewendet. Dies entspricht 22.8 % der effektiv genutzten Energie (145 kWh).

4.1 Schlussbemerkung

Der Einfluss vom Presssystem im Aufbau des Abfallsammelfahrzeuges ist beachtlich. So fliesst beim betrachteten Beispiel rund 1/5 der genutzten Energie in den Aufbau. Der Energieverbrauch des Fahrzeuges wird darum massgeblich davon beeinflusst, wie viele Kipp- und Pressvorgänge ausgeübt werden müssen. Diese Anzahl variiert aber von Tag zu Tag stark und kann von den Gemeindearbeitern nicht beeinflusst werden. Um dieser Unsicherheit entgegenzuwirken, empfiehlt es sich auch hier, eine Energiereserve einzuplanen. Diese Reserve wird bei der Batteriewahl des Fahrzeuges berücksichtigt.

5 Auswahl der Fahrzeuge

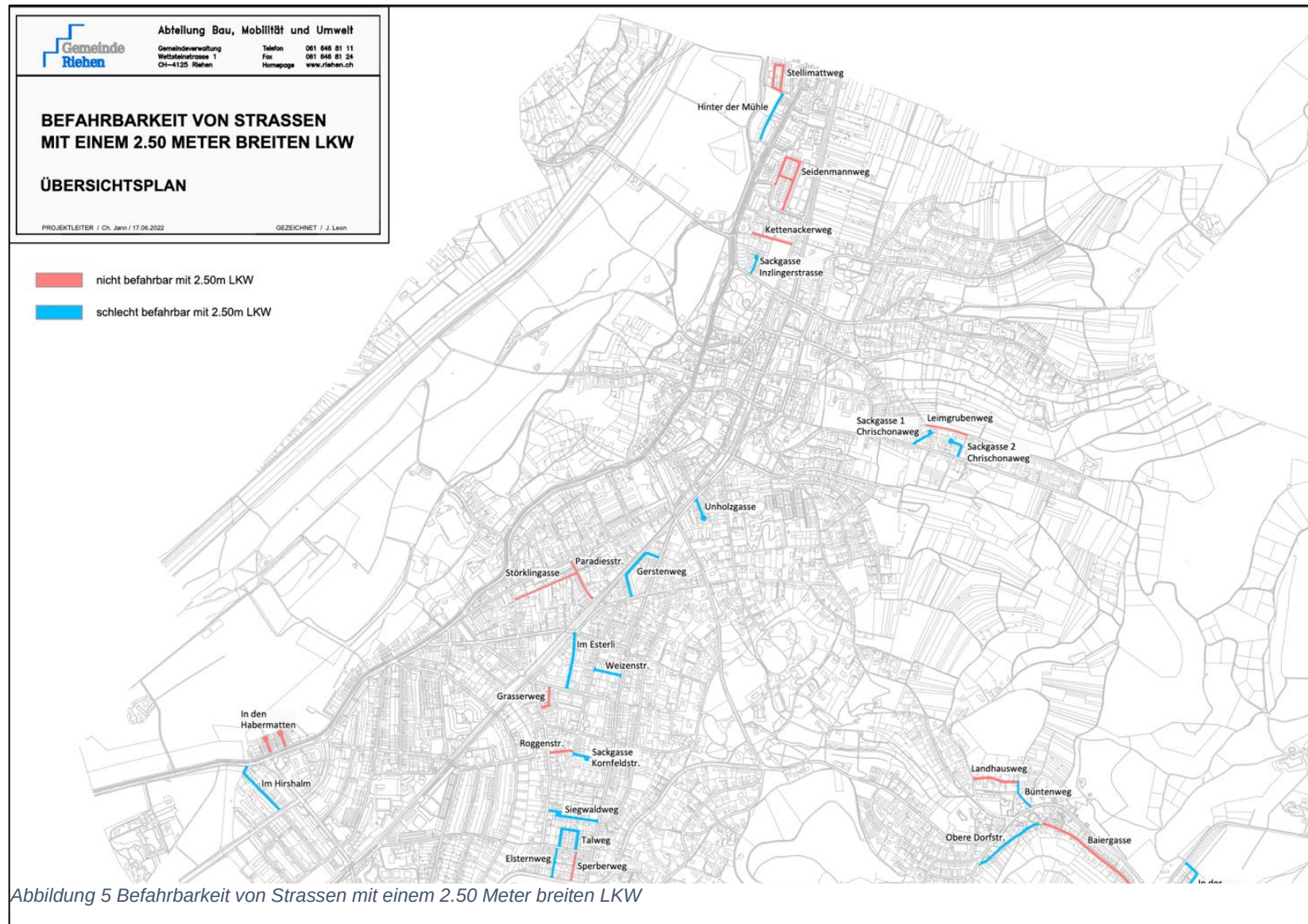
In diesem Abschnitt wird gezeigt, welche dreiachsige Fahrzeuge in diesem Bericht genauer betrachtet werden. Es wird, wenn vorhanden, pro Antriebsart ein Fahrzeug zur genaueren Betrachtung ausgewählt. Diese Auswahl ist nicht wertend gegenüber den Marken, es wird das Fahrzeug des Herstellers gewählt, bei welchem die Datenqualität am höchsten ist. Die

Daten in dieser Arbeit stammen zum einen direkt von den Herstellern. Ihnen wurde ein Kriterienkatalog zugestellt, welchen sie ausfüllen konnten. Erfolgte keine Rückmeldung auf den Kriterienkatalog, wurde telefonisch nachgefragt. Zum anderen stammen die Daten aus Recherchearbeiten des Projektteams. Ebenfalls wurden die Fahrzeugdaten durch das Projektteam auf Plausibilität geprüft, das heisst, sollte ein Wert besonders auffallend sein, wird abgeklärt, ob dieser Wert plausibel ist oder nicht. Alle erhaltenen und recherchierten Daten wurden durch das Projektteam in einer Tabelle dargestellt, welche das Auslesen der jeweiligen Werte erleichtern soll. In den Tabellen werden alle Werte, beispielsweise der Verbrauch, auf die gleiche Einheit gebracht. Dadurch ist ein Vergleich der Werte möglich. Ebenfalls erwähnenswert ist, dass ein Hersteller bereits vor dieser Arbeit eine genaue Erfassung der Routen durchgeführt hat, dadurch ist es ihnen möglich, genaue Angaben zum Verbrauch anzugeben.

5.1 Aktuelle Fahrzeuge der Gemeinde Riehen

Aktuell hat die Gemeinde Riehen zwei MAN TGS 26.320 im Einsatz. Das Abfallsammelfahrzeug hat ein Gesamtgewicht von 26 Tonnen und eine Nutzlast von 11.7 Tonnen. Angetrieben wird das Fahrzeug durch einen 235 kW starken Dieselmotor. Diesel hat im städtischen Betrieb einen Wirkungsgrad von etwa 25 %. Der Grund für diesen tiefen Wert ist, dass der Motor grösstenteils nur im Teillastbereich arbeitet und so nicht den üblichen Wirkungsgrad von etwa 40 % erreichen kann (Skarics, 2018). Hervorzuheben ist, dass das aktuelle Fahrzeug nur 2.30 Meter breit ist. Dies ermöglicht es, auf den teilweise engen Strassen der Gemeinden gut zu agieren. Diese engen Strassen sind auf der Karte der Abbildung 5 ersichtlich. Ebenfalls sind beide Fahrzeuge rechtsgelenkt. Dadurch können die Fahrer der Fahrzeuge den Bordstein besser sehen und es hilft beim Durchfahren von Engstellen. Der wichtigste Grund, weshalb ein rechtsgelenktes Fahrzeug eingesetzt wird, ist die Sicherheit des Fahrers. So muss der Fahrer nicht in Richtung des Gegenverkehrs aussteigen, sondern kann am Fahrbahnrand aussteigen.

Auswahl der Fahrzeuge



5.2 Elektrisch betriebene Fahrzeuge

Für den Vergleich von den Elektrofahrzeugen wurden Daten der Hersteller Volvo, Renault, Mercedes-Benz und Designwerk erhalten bzw. recherchiert. Die Daten sind in der untenstehenden Tabelle 5-1 aufgeführt.

Die Aussenmasse sind zwischen 2.50 m und 2.55 m. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Maximalbreite der Fahrzeuge in der Schweiz 2.55 m beträgt. (Bundesamt für Strassen, o. J.) Von den Herstellern wurden keine Daten zu Fahrzeugen mit einer Breite von 2.30 m geliefert. Ebenfalls sind alle Fahrzeuge rechtsgelenkt erhältlich.

In der Tabelle 5-1 ist zu erkennen, dass die Energieverbräuche der LKW von Renault und Designwerk mehr als doppelt so hoch sind wie jene des LKW von Mercedes-Benz. Dies liegt daran, dass bei Mercedes-Benz lediglich Fahrzeugdaten ohne Aufbau erhalten wurden. Zu den Modellen von Volvo konnten keine Angaben zu den Energieverbräuchen gefunden werden.

Beim Gesamtgewicht gibt es einen wichtigen Unterschied zum Dieselfahrzeug. Da Elektrofahrzeuge meist ein höheres Leergewicht haben, weil der Elektroantrieb inklusive Batterie schwerer ist als der Dieselantrieb, hätten diese eine geringere Nutzlast. Aus diesem Grund gab es am 01.04.2022 eine Anpassung des Gesetzes. Neu dürfen Elektrolastwagen ein Gesamtgewicht von maximal 28 Tonnen haben. Durch diese Erhöhung werden die Verluste bei der Nutzlast kleiner und die Fahrzeuge für den Kunden attraktiver. Erwähnenswert ist, dass es sich bei den zwei Tonnen nicht um einen Pauschalaufschlag handelt, sondern es muss ausgewiesen werden, wie hoch das Gewicht der Antriebseinheit ist (Koll, 2021). Bei den verglichenen Fahrzeugen liegt das Gesamtgewicht zwischen 27 Tonnen und 28 Tonnen.

Die energieaufwändigste Route (2.1) der Gemeinde Riehen benötigt nach einer Bereinigung des Wirkungsgrades eine Batterie von knapp 161 kWh. Bei allen Fahrzeugen ist eine Batterie mit genügend Kapazität erhältlich, dadurch kann der Betrieb ohne Nachladung sichergestellt werden. Die Reichweiten sind sehr routenspezifisch, ebenfalls kommt es darauf an, was für ein Aufbau auf dem Fahrzeug montiert ist und wie viel Ladung im Fahrzeug geladen ist.

Auswahl der Fahrzeuge

Bei der Rekuperation geht es darum, beim Bremsvorgang kinetische Energie zurück in elektrische Energie umzuwandeln und wieder in der Batterie zu speichern. Es können rund 70 % der kinetischen Energie zurückgewonnen werden, die restlichen 30 % gehen als Abwärme verloren (Welling, 2022).

Bei der Ladezeit kommt es darauf an, wie hoch der maximale Ladestrom ist. Dieser ist wiederum abhängig davon, wie viel Leistung das Netz bzw. der Anschluss zulässt und wie viel Leistung das Fahrzeug aufnehmen kann.

Aufgrund der vielen Daten, welche vom Renault-Truck zur Verfügung stehen, hat sich das Projektteam dazu entschieden, in den kommenden Abschnitten den E-Tech D von Renault als Referenz für E-Fahrzeuge zu verwenden.

Elektrofahrzeuge						
Datentyp	Einheiten	Fahrzeuge				
Hersteller		Volvo	Volvo	Renault	Mercedes	Desingwerk
Modell		FE	FM	e-tech D wide 26t	eActros	Futuricum Medium Cab Collect 26E
Anzahl Achsen	Stk.	3	3	3	3	3
Aussenmasse	mm	2518	2544	2518	2500	2544
Rechtsgelenkt		ja	ja	ja	ja	ja
Energieverbrauch	kWh/t*km	k.A.	k.A.	0.082	k.A.	k.A.
Energieverbrauch	kWh/km	k.A.	k.A.	2.21	0.9	1.9
Leergewicht	t	10	10	9.668	9.3	8.5
Gesamtgewicht	t	28	28	27	27	27
Nutzlast	t	18	18	17.332	17.7	18.5
Batterieoptionen	kWh	375	360	264 & 376	336	270 kWh 289 kWh 383 kWh
Reichweite	km	270-290	200-230	109 & 149	300	~100km ~150 km ~200 km
Rekuperation		möglich	möglich	31 kWh	max. 400kW	möglich
Radstand	mm	3900	3900	3900	4000 / 4600	3900
Lärmemissionen	Dezibel	k.A.	k.A.	k.A.	60dB bei 20km/h	k.A.
Ladezeit	h	k.A.	k.A.	22kW = 12.3h 150kW = 1.8h	20%-80% 1,25h	1h - 20h

Tabelle 5-1, Vergleich der elektrisch betriebenen Fahrzeuge

5.3 Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge

Für wasserstoffbetriebene Abfallsammelfahrzeuge konnten nicht viele Daten gefunden werden, wie der Tabelle 5-2 zu entnehmen ist. Es ist davon auszugehen, dass dieses Antriebssystem zurzeit wenig für LKW genutzt wird. Die angefragten Hersteller haben dem Projektteam keine Daten bezüglich wasserstoffbetriebener Fahrzeuge offen gelegt. Zudem konnten nur wenige Daten mittels Recherche gefunden werden.

Nichtsdestotrotz gibt es wasserstoffbetriebene LKW, wie zum Beispiel den «Bluepower» von FAUN. Vom Hersteller wurden keine Daten zur Verfügung gestellt, deshalb musste für die Angaben auf das Datenblatt zurückgegriffen werden. In diesem sind nur wenige Angaben zu finden (Faun, o. J.).

Da für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge nicht viele Daten zusammengestellt werden konnten, wird für den weiteren Bericht das Fahrzeug „Bluepower“ von FAUN verwendet. Auf dessen Datenblatt sind die meisten nützlichen Angaben für Berechnungen zum Energieverbrauch von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen vorhanden.

Wasserstofffahrzeuge				
Datentyp	Einheiten	Fahrzeuge		
Hersteller		Volvo	Mercedes	Faun
Modell		erst ab 2027	Nicht erhältlich	Bluepower
Anzahl Achsen	Stk.			3
Aussenmasse	mm			k.A.
Rechtsgelenkt				k.A.
Energieverbrauch	kWh/t*km			k.A.
Energieverbrauch	kWh/km			k.A.
Leergewicht	t			k.A.
Gesamtgewicht	t			27
Nutzlast	t			k.A.
Reichweite	km			250
Fassungsvermögen Tank	kg			16.4
Radstand	mm			k.A.
CO ₂ -Emissionen	g/km			k.A.

Tabelle 5-2, Vergleich der mit Wasserstoff betriebenen Fahrzeuge

5.4 Dieseltreibene Sammelfahrzeuge

Für den Vergleich von Fahrzeugen mit einem Dieselantrieb konnten durch die Angaben der Hersteller und durch Recherchen vier Fahrzeuge ermittelt werden. Diese sind der untenstehenden Tabelle 5-3 zu entnehmen. Dabei sind zwei der Fahrzeuge von Volvo, eines von Renault und eines von Mercedes-Benz. Alle Fahrzeuge haben eine Breite von 2.50 Meter oder mehr. Das Fahrzeug von Renault ist jedoch auch mit einer Breite von 2.30 Meter erhältlich. Zudem sind alle Fahrzeuge rechtsgelenkt erhältlich.

Die Energieverbräuche des «FM» von Volvo und dem Renault sind nahe beieinander. Bei beiden Fahrzeugen wurden die Angaben zum Energieverbrauch mit einem Aufbau berechnet. Zudem sind diese Daten ähnlich wie die Daten, welche aus der Routenanalyse hervorgingen. Dadurch erscheinen sie plausibel. Der Verbrauch des Mercedes-Benz scheint im Vergleich ein wenig tief zu sein. Zum Energieverbrauch des «FE» von Volvo konnten keine Angaben erhalten werden.

Das Leergewicht beim «FM» von Volvo ist um einiges höher als das bei den anderen Fahrzeugen. Das Gesamtgewicht der meisten Fahrzeuge ist mit 26 Tonnen identisch mit den aktuell im Einsatz stehenden Fahrzeugen. Die Ausnahme ist der Mercedes-Benz, bei welchem das Gesamtgewicht 26.5 Tonnen beträgt. Durch das höhere Leergewicht des «FM» ist seine Nutzlast dementsprechend tiefer als bei den anderen Fahrzeugen. Die Nutzlast ist beim Mercedes-Benz aufgrund des tiefen Leergewichtes und des hohen Gesamtgewichtes am grössten.

Zu den Lärmemissionen konnten bei keinem der Fahrzeuge Angaben gefunden werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese bei allen Fahrzeugen ähnlich sein werden.

Bei den Schadstoffemissionen liegen zum Volvo «FE» keine Daten vor. Die Schadstoffemissionen von Volvo «FM» sind höher als jene des Renaults. Beim Mercedes-Benz ist lediglich bekannt, dass das Fahrzeug die Anforderungen der Euro 6 Norm erfüllt. In dieser Norm konnte jedoch kein Grenzwert zum CO₂-Ausstoss gefunden werden, lediglich ein Grenzwert zum Ausstoss von CO. Dieser liegt bei 4'000 g/km (*Abgasnorm Euro 6*, 2022). Es wird davon ausgegangen, dass die Angabe von Mercedes-Benz sich auf diesen Grenzwert bezieht.

Bei der Feinstaubbelastung ist nur eine Angabe von Mercedes-Benz erhältlich. Diese besagt wiederum, dass der Grenzwert der Euro 6 Norm eingehalten wurde, also unter 10 mg/kWh liegt (*Abgasnorm Euro 6*, 2022).

Auswahl der Fahrzeuge

Zum Renault und Volvo «FM» konnte dieselbe Anzahl an Daten erhalten werden. Da Renault jedoch das Fahrzeug auch mit einer Breite von 2.30 Meter anbietet, wird der Renault für eine weitere Bearbeitung im Bericht verwendet. Durch die Breite von 2.30 Meter kann der Renault alle Strassen der Gemeinden Riehen und Bettingen befahren.

Dieselfahrzeuge					
Datentyp	Einheiten	Fahrzeuge			
Hersteller		Volvo	Volvo	Renault	Mercedes
Modell		FE	FM	D wide 26t 320	Actros S/M
Anzahl Achsen	Stk.	3	3	3	3
Aussenmasse	mm	2500	2536	2518 & 2300	2500
Rechtsgelenkt		ja	ja	ja	ja
Energieverbrauch	l/t*km	k.A.	0.148	0.143	k.A.
Energieverbrauch	l/100km	k.A.	88.8	85.6	50-70
Leergewicht (Chassis)	t	7.5	8.3	7.848	7.469
Gesamtgewicht	t	26	26	26	26.5
Nutzlast	t	18.5	17.7	18.152	19.031
Radstand	mm	3900	3900	ab 3500	3550
CO ₂ -Emissionen	g/km	k.A.	2324	2239.58	Euro 6
Feinstaubbelastung	mg/km	k.A.	k.A.	k.A.	Euro 6

Tabelle 5-3, Vergleich der mit Diesel betriebenen Fahrzeuge

5.5 Gasbetriebene Sammelfahrzeuge

Es gibt zwei Arten von gasbetriebenen Fahrzeugen. Zum einen die CNG-Modelle und zum anderen die LNG-Modelle. Die Bezeichnung CNG bedeutet «Compressed Natural Gas», dieses Gas wird gasförmig in das Fahrzeug getankt. Die meisten Fahrzeuge, welche mit Gas betrieben werden, tanken das Gas gasförmig («CNG und Biogas – das müssen Sie wissen», o. J.).

Die LNG-Modelle werden mit Flüssiggas betankt. LNG bedeutet «Liquid Natural Gas». Im Vergleich zur gasförmigen Form braucht das Gas in flüssiger Form lediglich 1/600 des Volumens. Damit das Gas flüssig wird, muss es auf eine Temperatur von ca. -160°C gekühlt werden. Dieser Kühlprozess braucht eine grosse Energiemenge. Der Vorteil von flüssigem Gas ist, dass der Transport einfacher ist. Der Nachteil ist, dass sich das Gas bei einer Erwärmung wieder in den gasförmigen Ursprungszustand umwandelt, deshalb müssen die Tanks der LNG-Modelle sehr gut isoliert sein. Sollte das Gas im Tank zu stark expandieren, dann würde es durch ein Ventil in die Atmosphäre austreten und die Energie wäre verloren (Fliessner, 2018). Herr Walser von Volvo-Trucks berichtet, dass in der Schweiz keine LNG-Fahrzeuge von Volvo lieferbar sind. Er erwähnte ebenfalls, dass Volvo ein CNG-Fahrzeug in der Produktpalette hat, dieses aber nicht mit den Anforderungen der Gemeinde Riehen kompatibel ist.

Gasfahrzeuge				
Datentyp	Einheiten	Fahrzeuge		
Hersteller		Volvo	Renault	Mercedes
Modell		Nicht Lieferbar	D wide 26t CNG	Nicht erhältlich
Anzahl Achsen	Stk.		3	
Aussenmasse	mm		2518	
Rechtsgelenkt			ja	
Energieverbrauch	kg/t*km		k.A.	
Energieverbrauch	kg/km		0.9967	
Leergewicht	t		7.87	
Gesamtgewicht	t		26	
Nutzlast	t		18.13	
Radstand	mm		ab 2500	
CO ₂ -Emissionen	g/km		2681.1	
Feinstaubbelastung	mg/km		k.A.	

Tabelle 5-4, Vergleich der mit Gas betriebenen Fahrzeuge

5.6 Hybridbetriebene Sammelfahrzeuge

Wie aus der Tabelle 5-5 zu entnehmen ist, werden nur wenige Fahrzeuge mit Hybridantrieb angeboten. Deshalb konnten von den angefragten Herstellern keine Daten dazu geliefert werden.

Es gibt jedoch Fahrzeuge mit Hybridantrieb, so zum Beispiel den «PHEV» von Scania. Zu diesem konnten jedoch nicht viele Daten beschafft werden, da das erhältliche Datenblatt zu diesem Fahrzeug nur spärlich mit Informationen gefüllt ist (Scania, o. J.). Der «PHEV» ist für die Anforderungen der Gemeinden Riehen und Bettingen überdimensioniert, was an seinem Gesamtgewicht von 36 Tonnen liegt. Die LKW der anderen untersuchten Antriebsarten weisen lediglich ein Gesamtgewicht von 26-28 Tonnen auf. Somit konnte kein geeignetes Fahrzeug mit Hybridantrieb für die Gemeinden Riehen und Bettingen gefunden werden.

Hybridfahrzeuge				
Datentyp	Einheiten	Fahrzeuge		
Hersteller		Volovo	Mercedes	SCANIA
Modell		Nicht gebaut	Nicht erhältlich	PHEV
Anzahl Achsen	Stk.			3
Aussenmasse	mm			k.A.
Rechtsgelenkt				k.A.
Energieverbrauch	kWh/t*km			k.A.
Energieverbrauch	kWh/km			k.A.
Leergewicht	t			k.A.
Gesamtgewicht	t			36
Nutzlast	t			k.A.
Batterieoptionen	kWh			90
Reichweite	km			60
Rekuperation				k.A.
Radstand	cm			k.A.
Ladezeit	h			0.58

Tabelle 5-5, Vergleich der Fahrzeuge mit einem Hybridantrieb

6 Analyse der elektrisch betriebenen Abfallsammelfahrzeuge

In diesem Kapitel wird die Analyse der elektrisch betriebenen Abfallsammelfahrzeuge durchgeführt. Hier wird nur mit dem im Kapitel 5.2 gewählten Fahrzeug von Renault gearbeitet.

6.1 Batteriewahl

Die Anforderungen an die Energiespeicher wurden anhand der Werte aus Kapitel 3 bestimmt. Wie im Kapitel 3 ersichtlich ist, müssen 145 kWh an Energie genutzt werden können. Mit der Annahme eines Wirkungsgrades von 90 % bedeutet dies, dass mindestens 161 kWh Energie gespeichert werden müssen, um die Route zu schaffen (Umstellung Formel **(2)**). Dabei werden mögliche Rückgewinnungen durch Rekuperation nicht beachtet. Sie können als Sicherheitsreserve betrachtet werden.

In der Tabelle 5-1 ist ersichtlich, dass Renault zwei verschiedene Batterieoptionen anbietet. Es werden zum einen 264 kWh und zum anderen 376 kWh angeboten. Diese Batterien reichen theoretisch beide für die energieaufwändigste Sammelroute. Durch Umwege, variierende Anzahl an Press- und Kippvorgängen und variierende Ladungsmengen kann der Energieverbrauch schwanken und es empfiehlt sich eine Reserve an Energie einzuplanen. Ebenfalls muss der Betrieb des Fahrzeuges bei hohen und tiefen Temperaturen berücksichtigt werden. Der Energiebedarf wird bei entsprechenden Temperaturen höher ausfallen, da die Batterie und die Fahrerkabine gekühlt bzw. beheizt werden müssen. Die Batterie sollte immer eine Temperatur von ca. 20° Celsius haben, denn bei dieser Temperatur funktionieren die elektrochemischen Vorgänge am besten. Durch diese zusätzlichen Verbraucher kann der Energiebedarf 30 % bis 50 % höher ausfallen (*Tipps für mehr Reichweite bei Kälte*, 2022).

Im weiteren Verlauf dieses Berichtes wird mit der Batteriegrösse von 264 kWh gearbeitet. Diese Batterie weist bereits eine gute Reserve von ca. 100 kWh auf. Diese kann den erhöhten Energiebedarf im Sommer oder Winter decken. Hinzu kommt, dass zusätzlich aus Rekuperation Energie gewonnen werden kann. Laut den Herstellerangaben aus Kapitel 5.2 sind das nochmals ca. 30 kWh. Ebenfalls ist es möglich, das Fahrzeug während den Pausen zu laden.

6.2 Wirkungsgrad

Elektromotoren haben im Vergleich zu Verbrennungsmotoren einen massiv höheren Wirkungsgrad. In der Praxis zeigen sich Wirkungsgrade von über 90%. Die restlichen 10% können aufgrund von technischen Verlusten nicht genutzt werden (*Wirkungsgrad bei Elektromotoren*, o. J.).

6.3 Stickoxidbelastung

Bei den elektrisch betriebenen Fahrzeugen fallen im Betrieb keine lokalen Stickoxidemissionen an.

6.4 Rekuperation

Die Rekuperation wird von der Firma Renault mit 31 kWh angegeben. Diese 31 kWh beziehen sich auf die simulierte Strecke der Gemeinde Riehen. Durch die Rekuperation kann kinetische Energie in elektrische Energie umgewandelt und in der Batterie gespeichert werden. Diese Energie kann zu einem späteren Zeitpunkt wieder in Bewegung umgesetzt werden. Durch das Optimieren der Sammelrouten, lässt sich auch die Energiemenge, welche durch Rekuperation zurückgewonnen werden kann, maximieren.

6.5 Machbarkeit der Routen

Die energieaufwändigste Route im Sammelgebiet der Gemeinde Riehen ist mit der gewählten Batteriegrösse machbar.

6.6 Ladesituation

Mit Abfall beladene Abfallsammelfahrzeuge dürfen nicht in der Garage eingestellt werden. Darum braucht die Gemeinde Riehen für zwei Fahrzeuge insgesamt vier Ladestationen (zwei Innenstationen und zwei Aussenstationen). Diese vier Ladestationen würden identisch ausfallen.

Bei der Ladezeit kommt es zum einen auf die Grösse des Hausanschlusses an und zum anderen auf die Fahrzeuge. Bei den Fahrzeugen ist entscheidend, mit wie viel Leistung die Batterie geladen werden darf. Die Grösse des Hausanschlusses ist nur ein Problem, wenn das Fahrzeug mehr Leistung aufnehmen als der Anschluss abgeben kann. In der Schweiz haben die meisten Einfamilienhäuser einen Stromanschluss von 40 Ampère, dieser reicht

für eine Ladeleistung von 27.6 kW. Bei Mehrfamilienhäusern liegt die Anschlussgrösse zwischen 80 und 120 Ampère, somit sind Ladeleistungen von bis zu 82 kW möglich. Für eine Schnellladestation mit 150 kW müsste mit höchster Wahrscheinlichkeit der Stromanschluss des Werkhofes von Riehen auf rund 220 Ampère vergrössert werden, um die volle Leistung abzugeben. Da die Fahrzeuge tagsüber im Einsatz stehen, müssen sie in der Nacht geladen werden. Aus diesem Grund würde eine 22 kW Ladestation mit entsprechender Ladezeit genügen (Vogel, 2020).

6.7 Ausblick Batterien

Aktuell sind in Fahrzeugen Lithium-Ionen-Batterien verbaut. Diese Batterie wurde vor rund 30 Jahren zum ersten Mal von der Firma Sony eingesetzt. Im Bereich der Lithium-Ionen-Batterie wird immer noch geforscht. Weil Lithium teuer und ein seltenes Element ist, wird neben den Lithium-Batterien auch an Batterien mit Ersatzrohstoffen geforscht. Die Forscher prüfen die Langlebigkeit und ob neue Materialzusammensetzungen zu besseren Batterien führen. Diese Tests werden nicht mehr von den Forschern selbst durchgeführt, sondern durch eine künstliche Intelligenz. Diese künstliche Intelligenz macht es möglich, die Langzeittests in einem Monat anstelle von zwei Jahren durchzuführen. Dies ist möglich, weil die künstliche Intelligenz so trainiert wurde, dass sie den Leistungsabfall der Batterien bestimmen kann (Schreiner, 2020).

In Zukunft sollen Feststoffbatterien den Weg zu höheren Reichweiten und kürzeren Ladezeiten ebnen. Ein Beispiel für eine Feststoffbatterie ist die Natrium-Ionen-Batterie. Diese Batterien sind um einiges nachhaltiger als die bekannten Lithium-Ionen-Batterien. Die neuen Feststoffbatterien kommen ohne den Einsatz von Kobalt, Nickel und Lithium aus, dadurch kann der Knappheit dieser Rohstoffe entgegengewirkt werden. Zudem können die Batterien zu einem tieferen Preis verkauft werden, da die verwendeten Rohstoffe deutlich günstiger sind als Lithium. Nebst der höheren Nachhaltigkeit bieten diese Batterien auch Vorteile bei der Ladegeschwindigkeit und der Kälteverträglichkeit. Einen Nachteil haben die Batterien jedoch noch, sie weisen eine geringere Energiedichte auf. Im Vergleich zu einer Lithium-Batterie hat die Natrium-Ionen-Batterie eine rund ein Drittel tiefere Energiedichte.

Nebst den nachhaltigeren Feststoffbatterien gibt es weitere Entwicklungen im Bereich der Feststoffbatterien. Die Lithium-Feststoffbatterien sollen im Vergleich eine rund ein Drittel höhere Energiedichte besitzen als die bisherigen (Wildberg & Gomoll, 2022).

Nebst den bisher genannten Produkten gibt es eine weitere vielversprechende Technologie, welche durch das Fraunhofer-Institut und der Forschungseinrichtung «The Netherlands Organisation» entwickelt wurde. Mit der Technologie namens SALD sollen dreifache Reichweiten und fünffache Ladegeschwindigkeiten bei gleicher Batteriegrösse möglich sein. SALD steht für «Spatial Atom Layer Deposition» und beschreibt eine massgebende Technologie dieser Batterie. Um die Leitfähigkeit in der Batterie selbst zu erhöhen, wird im inneren der Batterie eine extrem dünne Atombeschichtung aufgetragen. Diese Schicht verbessert den Ionenfluss zwischen Anode und Kathode massiv. Nebst der erhöhten Leistungsfähigkeit sollen SALD-Batterien auch sicherer und langlebiger als normale Lithium-Ionen-Batterien sein. Diese Technologie soll ebenfalls bei Feststoffbatterien einsetzbar sein (Wildberg & Gomoll, 2022).

6.8 Schlussfolgerung

In den Augen des Projektteams ist das Gemeindegebiet von Riehen gut geeignet, um die Sammelrouten mit einem elektrisch betriebenen Fahrzeug abzufahren. Wichtig zu erwähnen ist, dass die Abfallsammlung aufgrund der neuen Breite von 2.50 Metern nicht mehr auf allen Strassen der Gemeinde machbar ist. Diese Strassen sind aber ein kleiner Teil des gesamten Gebietes. Das Projektteam würde empfehlen, dass für diese Stellen ein kleines, wendiges Kommunalfahrzeug angeschafft wird.

7 Analyse der wasserstoffbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge

In diesem Kapitel wird die Untersuchung der wasserstoffbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge durchgeführt. Es wird nur mit dem Fahrzeug gearbeitet, welches im Kapitel 5.3 ausgewählt wurde. Da zu wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen nicht viele Daten ermittelt werden konnten, wird mit dem Fahrzeug «Bluepower» von FAUN aus den im Kapitel 5.3 gearbeitet.

7.1 Machbarkeit der Routen

Hier wird untersucht, ob das Fahrzeug «Bluepower» von FAUN für den Einsatz in der Gemeinde Riehen infrage kommt. Dafür muss das Fahrzeug mehr Energie zur Verfügung stellen können, als dass die energieintensivste Sammelroute verbraucht. Die Berechnung für der Energie, welche das Fahrzeug zur Verfügung stellen kann, ergibt sich aus der Formel **(3)**:

$$E_{H_2} = H_i * m_{H_2} * \eta_{H_2} \quad (3)$$

Mit einem Heizwert von 33.3 kWh/kg für Wasserstoff (Paschotta, 2022), einem Wasserstofftank mit einem Fassungsvermögen von 16.4 kg und einem Wirkungsgrad der Wasserstoff-Brennstoffzellen von 50 % kann das Fahrzeug mit einem Wasserstoffantrieb somit maximal 273.06 kWh an Energie zur Verfügung stellen (Randelhoff, 2019). Dies liegt über dem geforderten Wert von 145 kWh, somit kann der «Bluepower» von FAUN die Routen theoretisch abfahren. Der theoretische Verbrauch liegt laut der Formel **(4)** bei 12.8 kg/100 km.

$$m_{H_2} = \frac{E_{H_2,real}}{H_{i,H_2} \cdot \eta_{H_2}} \quad (4)$$

Zu beachten ist, dass die Strecke zur Tankstelle in die Routen inkludiert werden muss, solange keine Tankstelle in Riehen oder Bettingen vorhanden ist. Beim theoretischen Verbrauch (beruht auf dem Verbrauch der Route 2.1) liegt die maximale Reichweite des LKW bei 128 km. Dies bedeutet, dass mindestens einmal täglich getankt werden muss.

7.2 Stickoxidbelastung

Bei den wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen fallen im Betrieb keine lokalen Stickoxide an.

7.3 Tanksituation

Wie aus dem Kapitel 5.3 ersichtlich ist, sind nicht viele Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb vorhanden. Ein Grund dafür könnte die Anzahl der Wasserstofftankstellen sein, welche sich in ganz Europa auf 161 Tankstellen beläuft (*Wasserstofftankstellen in Deutschland und Europa*, 2022). Diese Tankstellen sind auch nicht über ganz Europa verteilt, die meisten befinden sich in Deutschland, wie der folgenden Abbildung 6 zu entnehmen ist.



Abbildung 6, Wasserstofftankstellen in Europa (H2.LIVE, o. J.)

Die weiss hinterlegten Zahlen sind Tankstellen, die derzeit existieren. Die blau hinterlegten Zahlen sind Tankstellen, welche aktuell in Planung sind. In der Schweiz sind derzeit 11 Wasserstofftankstellen in Betrieb.

Analyse der wasserstoffbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge

Die nächstgelegene Wasserstofftankstelle von Riehen ist die Tankstelle in Frenkendorf BL. Somit müssten bei der Anschaffung eines Wasserstofffahrzeuges nach aktuellem Stand zusätzlich zur Sammelroute noch weitere 35 km, in Abbildung 8 ersichtlich, gefahren werden, damit das Fahrzeug betankt werden kann (Google Maps, 2022).

In Pratteln ist eine Wasserstofftankstelle geplant, welche im Frühjahr 2023 den Betrieb aufnehmen soll (Edrich, 2022). Diese Tankstelle würde den Anfahrtsweg um 2.7 km verkürzen, wie in der Abbildung 7 zu sehen ist.

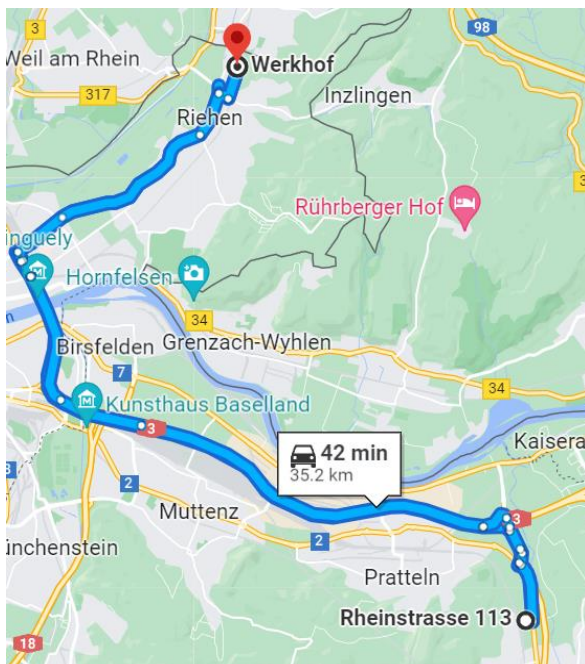


Abbildung 8, Strecke Riehen Werkhof - Tankstelle Frenkendorf - Riehen Werkhof

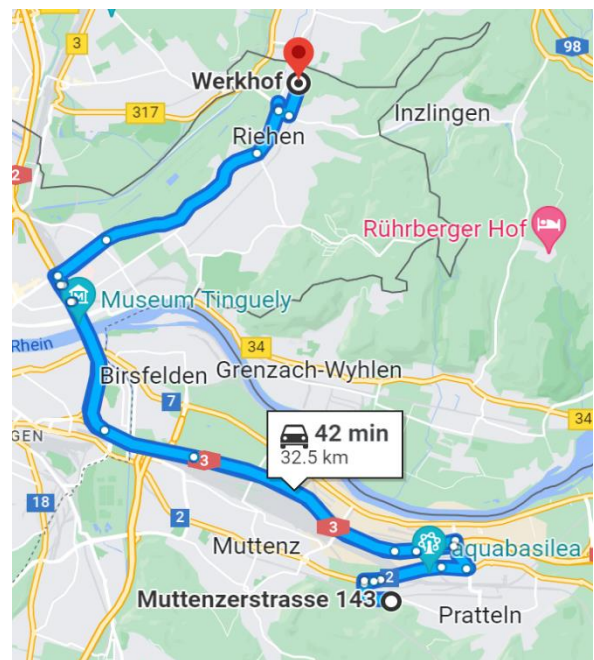


Abbildung 7, Strecke Riehen Werkhof - geplante Tankstelle Pratteln - Riehen Werkhof

Es ist die Erstellung eines flächendeckenden Wasserstoff-Tankstellennetzes in der Schweiz geplant. Der Hauptantreiber dieses Projektes ist der Förderverband „H₂energy“ («H₂ Energy | Wasserstoff Tankstellen», o. J.). Wann genau das flächendeckende Netz fertiggestellt werden soll, konnte nicht ermittelt werden. Mit einem Ausbau des Wasserstoff-Tankstellennetzes könnte auch eine Tankstelle näher bei Riehen eröffnet werden, wodurch der Anfahrtsweg abnehmen würde. Zudem könnte sich auch die Menge der hergestellten Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb erhöhen. Dadurch könnte diese Technologie in Zukunft mehr an Bedeutung gewinnen.

7.4 Schlussfolgerung

Durch die Berechnung ist ersichtlich, dass die bereitgestellte Energie des Fahrzeuges mit Wasserstoffantrieb höher ist (273.06 kWh) als die benötigte Menge an Energie (145 kWh). Dadurch wäre die Route 2.1 mit einem wasserstoffbetriebenen Fahrzeug zu bewältigen. Durch den zusätzlichen Weg zur Tankstelle wird die Machbarkeit jedoch infrage gestellt und müsste unter Realbedingungen getestet werden, zudem ist der Zeitverlust durch die lange Anfahrt gross. Aufgrund der unbekannten Breite des Fahrzeuges und der aktuellen Tanksituation ist ein Wasserstoffantrieb im Abfallsammelfahrzeug eher ungeeignet.

Sollte beim Ausbau des Wasserstoff-Tankstellennetzes in der nahen Umgebung von Riehen eine Tankstelle gebaut werden, so könnte diese Antriebsart jedoch wieder mehr an Relevanz gewinnen.

8 Analyse der dieselbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge

In diesem Kapitel wird die Untersuchung der Abfallsammelfahrzeuge mit einem Dieselantrieb durchgeführt. Dabei wird nur das Fahrzeug angeschaut, welches im Kapitel 5.4 ausgewählt wurde. Das Fahrzeug, welches untersucht wird, ist das Modell «D wide 26t 320» von Renault.

8.1 Machbarkeit der Routen

Zum jetzigen Zeitpunkt sind Dieselfahrzeuge im Einsatz, welche alle Routen abfahren können. Die erhaltenen Daten des Renaults sind ähnlich wie die erfassten Daten aus dem Monitoring. Daher werden keine Probleme bei der Machbarkeit der Sammelrouten erwartet.

8.2 Stickoxidbelastung

Bei dieselbetriebenen Fahrzeugen ist die Stickoxidbelastung, auch NO_x-Belastung genannt, ein bekanntes Problem. Dieselfahrzeuge belasten die Umwelt aber nicht immer mit gleich vielen Stickoxiden. Bei der Stickoxidbelastung kommt es vor allem darauf an, wie die Abgase nach der Verbrennung im Motor behandelt werden. In modernen Fahrzeugen werden den aus dem Motor kommenden Abgasen noch AdBlue beigemischt. AdBlue ist ein Flüssigharnstoff, welcher fein dosiert in die Abgasanlage eingespritzt wird. Durch den Einsatz von AdBlue kann die Stickoxidbelastung auf 200 mg/km gesenkt werden (tagesschau.de, 2017; *Was ist Adblue?*, o. J.).

8.3 Tanksituation

Der Werkhof der Gemeinde Riehen besitzt eine eigene Tankstelle für Dieselfahrzeuge. Somit kann das Fahrzeug vor Ort betankt werden.

8.4 Schlussfolgerung

Das Fahrzeug von Renault ist für die Strecke geeignet. Es ist mit dem Fahrzeug, welches zurzeit im Einsatz ist, vergleichbar. Somit wäre dieses Fahrzeug eine sichere Option, da sich dieselbetriebene Fahrzeuge bereits auf den Routen bewährt haben. Zudem ist die Tanksituation durch die bereits vorhandenen Tankstellen von Vorteil. Aufgrund der Vergleichbarkeit mit den Fahrzeugen, welche zurzeit in Betrieb sind, würde es sich bei der Anschaffung eines dieselbetriebenen Sammelfahrzeuges um eine Eins-zu-Eins-Substitution handeln.

9 Analyse der gasbetriebenen Abfallsammelfahrzeuge

In diesem Kapitel wird die Untersuchung der Abfallsammelfahrzeuge mit einem Gasantrieb durchgeführt. Dabei wird nur das Fahrzeug angeschaut, welches im Kapitel 5.5 ausgewählt wurde. Das Fahrzeug, welches untersucht wird, ist das Modell «D wide 26t CNG» von Renault.

9.1 Machbarkeit der Routen

Die energieintensivste Route kann von dem gasbetriebenen Abfallsammelfahrzeug bewältigt werden.

9.2 Stickoxide

Bei gasbetriebenen Fahrzeugen fallen, wie bei den meisten Verbrennungsvorgängen, auch Stickoxidemissionen an. Diese sind aber sehr viel kleiner als jene der Dieselfahrzeuge. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Verbrennung von Gas sauberer ist als die von Diesel (*Erdgasauto*, 2018).

9.3 Tanksituation

CNG-Fahrzeuge können direkt bei der Gemeinde Riehen betankt werden. LNG-Fahrzeuge können nur an drei Tankstellen in der Schweiz betankt werden. Für den Fernverkehr sollten diese wenigen Tankstellen weniger ein Problem darstellen, da Fahrzeuge mit Gasmotoren

Analyse der Abfallsammelfahrzeuge mit Hybridantrieb

eine hohe Reichweite haben. Für die Gemeinde Riehen ist jede Fahrt zu einer Flüssiggastankstelle ein zusätzlicher Arbeitsaufwand. Zur nächsten Flüssiggastankstelle müssten die Mitarbeiter der Gemeinde Riehen einen Weg von über 40 Minuten nach Neuendorf auf sich nehmen («Krummen Kerzers realisiert dritte LNG-Tankstelle in der Schweiz», o. J.).

9.4 Schlussfolgerung

Das Fahrzeug von Renault wäre aufgrund der Machbarkeit der Routen und aufgrund der schon vorhandenen Tankstelle auf dem Werkhof für einen Einsatz in der Gemeinde Riehen geeignet. Da das Fahrzeug jedoch eine Breite von 2518 mm besitzt, kann es nicht alle Strassen auf den Sammelrouten befahren.

10 Analyse der Abfallsammelfahrzeuge mit Hybridantrieb

Internetrecherchen haben ergeben, dass es sich aktuell bei den Hybridantrieben eher um ein Nischenprodukt handelt. Es konnten nur wenige Informationen auf den Webseiten von «Scania» und «DAF» zu Hybridantrieben gefunden werden.

Durch den Mangel an verwertbaren Daten konnte der Hybridantrieb nicht näher untersucht werden. Der Datenmangel kann darauf hindeuten, dass solche Fahrzeuge in Zukunft nicht gefördert werden. Durch den Hybridantrieb müssten vier Ladestationen auf dem Werkhof der Gemeinde Riehen installiert werden, auch wenn ein Hybridfahrzeug hauptsächlich mit Diesel betrieben wird.

Aufgrund der wenigen Daten kann keine abschliessende Beurteilung vorgenommen werden.

11 Förderprogramme

In diesem Abschnitt werden mögliche Förderprogramme und andere Vorteile aufgelistet. Die Vorteile beziehen sich vor allem auf die Fahrzeuge, welche ohne fossile Energieträger funktionieren.

11.1 Wasserstoff

Bei den Wasserstofffahrzeugen gibt es ein Förderprogramm, welches eine Einmalvergütung von 50'000 Franken bietet. Trotz dieser Einmalvergütung sind die Wasserstofffahrzeuge im Vergleich zu dieselbetriebenen Fahrzeugen immer noch deutlich teurer. Sollte ein Fahrzeug geleast oder gemietet werden, dann werden rund zwei Drittel der jährlichen Mietmehrkosten im Vergleich zu einem Dieselfahrzeug durch das Förderprogramm übernommen.

Zusätzlich gibt es in diesem Förderprogramm 100 Franken für jede eingesparte Tonne CO₂. Der Richtwert dabei ist ein dieselbetriebenes Fahrzeug. Hervorzuheben bei dieser jährlichen Förderung ist, dass lediglich die Tonnen zählen, welche durch grünen Wasserstoff eingespart werden. Bei diesem Förderprogramm wird die ganze Herstellung des Wasserstoffs betrachtet, durch das wird das Bewusstsein für die Herkunft des Wasserstoffs deutlich gesteigert (*Die Stiftung KliK unterstützt die Wasserstoff-Mobilität*, o. J.).

11.2 Elektrofahrzeuge

Für Elektrofahrzeuge sind dem Projektteam keine Förderprogramme bekannt. Im Betrieb gibt es jedoch eine Befreiung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe, kurz LSVA. Durch diese Förderung kann jährlich eine beträchtliche Summe an Geld eingespart werden. Im folgenden Beispiel wird dies für die Gemeinde Riehen spezifiziert. Es wurde berechnet, dass die Abfallsammelfahrzeuge von Riehen jährlich rund 27'000 Kilometer zurücklegen. Für das Gesamtgewicht des zu untersuchenden Fahrzeugs werden 26 Tonnen angenommen, somit entspricht das Gewicht dem der aktuellen Fahrzeuge. Als Euronorm wird Euro 6 angenommen, da ein neuangeschafftes Dieselfahrzeug dieser Norm entsprechen würde. Mit diesen Angaben wurden die jährlichen LSVA-Kosten für ein Dieselfahrzeug berechnet und somit auch die möglichen Einsparungen bei einem Wechsel auf ein Elektrofahrzeug. Die LSVA liegt aktuell bei 2.28 Rp/t*km (Katic, 2021). Die Berechnung der Kosten ergibt sich aus der Formel (5):

$$k = 2.28 \frac{Rp}{t * km} * s * m \quad (5)$$

Mit den Werten von Riehen belaufen sich die LSVA-Kosten pro Jahr auf rund 16'000 Franken.

11.3 Andere fossilfreie Antriebe

Im Bericht vom Auto-Gewerbe-Verband Schweiz ist die Rede davon, dass in Zukunft auch weitere Fahrzeuge von der LSVA befreit werden sollen. Fahrzeuge, welche mit fossilfreien Antriebssystemen unterwegs sind, sollen ganz oder teilweise von dieser Befreiung profitieren. Genauere Angaben zum aktuellen Stand konnten durch das Projektteam nicht gefunden werden (*Schub für fossilfreie Nutzfahrzeuge*, 2020).

12 Entscheidungsmatrix

In der nachfolgenden Tabelle 12-1 sind alle wichtigen Ergebnisse dieser Projektarbeit zusammengetragen. Diese Darstellung soll als Unterstützung dienen, um die Ergebnisse zu den einzelnen Antriebsarten besser vergleichen zu können.

Der Dieserverbrauch der im Einsatz stehenden Fahrzeuge wurde mit einem Fahrtenheft erfasst und ausgewertet. Die Route 2.1 ist mit einem Durchschnittsverbrauch von 86.8 l/100 km die energieaufwendigste Route. Auch der Spitzenwert bei der Anzahl der Kippvorgänge und die hohe Anzahl an Pressvorgängen stützt diese Annahme. Dieser Verbrauch dient als Grundlage für die angegebenen Werte. Der Heizwert von Diesel liegt bei 9.8 kWh/l (Kraftstoff, o. J.).

	LW 4	Diesel	Elektro	Gas	Wasserstoff		Hybrid
							
					Öko-Strom	Schweizer Strom-Mix	
Gewicht Fahrzeug [t]							
Zulässiges Gesamtgewicht	26	26	27	26	k.A.		k.A.
Nutzlast (ohne Aufbau)	k.A.	18.2	17.3	18.1	k.A.		k.A.
Nutzlast (mit Aufbau)	11.7	k.A	k.A	k.A	k.A.		k.A.
CO ₂ -Emissionen [g/km]							
Fahrzeugherstellung	437	437	437	437	437		437
Batterie (Antrieb)	0	0	103	0	33	33	k.A.
Betrieb	2300	2240	0	2681	0		k.A.
Bereitstellung Treibstoff	459	459	220	482	0	659	k.A.
Total [g/km]	3196	3136	760	3600	470	1129	k.A.
Verbrauch [l/100km]							
Gemessener Verbrauch	86.8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.
Dieseläquivalent	86.8	85.6	24.1	≈ Diesel	43.5		k.A.
Lärmemission [dB]							
Umgebungsschallpegel	46.6	46.6	46.8	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Stand	68.7	68.7	57.2	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Normales Anfahren 0-30km/h	83.8	83.8	81.3	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
max. Beschleunigung 0-30km/h	84.3	84.3	84.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (30 km/h)	79	79	74.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Vorbeifahrt (50 km/h)	84.7	84.7	80.7	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.
Pressvorgang	84.2	84.2	73.9	≈ Diesel	≈ Elektrofahrzeug		k.A.

Tabelle 12-1, Entscheidungsmatrix

12.1 Gewicht Fahrzeuge

Das zulässige Gesamtgewicht wurde durch die Hersteller mitgeteilt. Die Nutzlast, welche der Tabelle 12-1 zu entnehmen ist, ist die Differenz zwischen zulässigem Gesamtgewicht und dem Leergewicht des Fahrzeuges ohne Aufbau. Da der Aufbau individuell an das Fahrzeug angepasst bzw. nach Kundenwunsch gefertigt wird, wurde dieser nicht in die Matrix aufgenommen. Es ist ersichtlich, dass sich die Nutzlast bei den Fahrzeugen in ähnlichen Bereichen befindet. Zum Fahrzeug, welches sich im Einsatz befindet, konnte die genaue Nutzlast inklusive Aufbau angegeben werden.

12.2 CO₂-Emissionen

Die aufgeführten CO₂-Emissionen stammen aus der Leuchtturmstudie Futuricum und wurden rechnerisch an dieses Projekt angepasst. Die Werte bei der Fahrzeugherstellung und der Herstellung der Batterie setzen eine Nutzungsdauer von 500'000 km voraus (Hoti et al., 2019). Bei der Herstellung der Batterie wurde zusätzlich die Speicherkapazität berücksichtigt. Die Batterie aus der Leuchtturmstudie mit einer höheren Speicherkapazität besitzt einen CO₂-Ausstoss von 105 g/km pro 270 kWh. Mit der Formel (6) wurde die CO₂-Emission linear auf eine Batterie mit 264 kWh Speicherkapazität angepasst.

$$A_{neu} = \frac{A_Q}{E_Q} * E_{neu} \quad (6)$$

Somit besitzt die Batterie einen CO₂-Ausstoss von 103 g/km. Sollten die Fahrzeuge länger als 500'000 km im Betrieb sein, verbessert sich der CO₂-Ausstoss. Bei kürzerer Nutzung erhöht er sich.

Die im Betrieb anfallenden Emissionen umfassen die lokal ausgestossene CO₂-Menge des Fahrzeuges bei realer Nutzung und wurden mit der Formel (7) berechnet:

$$N_R = Nt \cdot V_R \quad (7)$$

Die anfallende CO₂-Menge des neuen Diesels und die des Gasmotors stammen vom Hersteller. Dieser simulierte die Strecke digital, um die Verbrauchsdaten zu bestimmen. Da der gemessene Verbrauch (86.8 l/100 km) mit der Simulation (85.6 l/100 km) korreliert, wird dieser als realistisch betrachtet. Die Differenz kann mit einer möglichen Steigerung der Motoreffizienz begründet werden. Ebenfalls ist davon auszugehen, dass das angenommene Ladegewicht in der Simulation vom tatsächlichen Ladegewicht abweicht, da dieses variieren kann.

Elektromotoren und Wasserstoffantriebe erzeugen in der Anwendung keine lokalen CO₂-Emissionen.

Die Bereitstellung der unterschiedlichen Treibstoffe verursachen ebenfalls CO₂-Emissionen. Bei Diesel umfassen diese Emissionen Förderung, Transport, Raffinerieprozesse und Verteilung. Bei Erdgas ist es sehr ähnlich: Förderung, Transport, Verarbeitung und Verteilung verursachen viele Emissionen. Bei Biogas entfällt die Förderung. Es muss jedoch Primärenergie für die Gewinnung und Aufbereitung der Rohstoffe aufgewendet werden. Elektrizität könnte zwar komplett CO₂-neutral produziert werden, dies ist aber aktuell noch nicht der Fall. In der Gemeinde Riehen würde mit Netzstrom gearbeitet werden (R. Wenger, persönliches Gespräch). Daher beziehen sich die angegebenen Werte auf den Schweizer Strommix (Hoti et al., 2019). Beim Strom ist anzumerken, dass die Emissionen bei der Herstellung stetig sinken, der Schweizer Strommix wird somit immer nachhaltiger. Dies zeigt der Vergleich der Berichte «Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011» und «Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018». Beide sind im Auftrag vom Bundesamt für Umwelt erstellt worden.

Wasserstoff

Wasserstoff ist für die Betrachtung der CO₂-Emissionen ein spezieller Fall. In den Daten zur Herstellung des Fahrzeuges und der Batterie wird auf Daten aus dem Leuchtturmprojekt «Futuricum» Bezug genommen. Da im Wasserstofffahrzeug eine wesentlich kleinere Batterie verbaut ist, 85 kWh, werden die CO₂-Emissionen linear angepasst (Kebshull, 2021). Die Batterie aus der Quelle hat eine CO₂-Emission von 105 g/km pro 270 kWh. Für 85 kWh würde dies nach der Formel **(4)** einen Ausstoss von 33 g/km CO₂ bedeuten. Für die Bereitstellung des Kraftstoffes können sehr unterschiedliche Werte für den CO₂-Ausstoss anfallen.

Die Herstellung des Wasserstoffs verbraucht viel Energie. Zur Herstellung von 1kg Wasserstoff müssen ca. 50 kWh Energie aufgewendet werden, wobei nur 33 kWh im Wasserstoff gespeichert werden können (Heizwert = 33 kWh/kg) (Gloor, 2021).

Die Wasserstofftankstelle in Frenkendorf wird mit Wasserstoff der Firma Hydrosponder AG beliefert. Dieser Wasserstoff wird als grüner Wasserstoff verkauft und via LKW an die Tankstelle geliefert. Tatsächlich scheint die Firma den Strom für die Produktion direkt (nicht via Stromnetz) bei einem Wasserkraftwerk zu beziehen und nutzt daher CO₂-emissionsfreien Strom. Es konnten keine Informationen gefunden werden, mit welchen LKW die Wasserstofftanks zu den Tankstellen geliefert werden. Werden die LKW mit dem eigens produzierten Wasserstoff betrieben, so fallen für den Transport keine zusätzlichen Emissionen an. Werden die LKW jedoch mit Diesel betrieben, fallen weitere CO₂-Emissionen an.

Sollte der Wasserstoff aber entgegen der Einschätzung mit dem Schweizer Strom-Mix produziert werden, so wären die CO₂-Emissionen nicht mehr null, sondern wesentlich höher. Im Schweizer Strom-Mix entstehen 103 g/kWh CO₂, demnach entstehen 5150 g CO₂ bei der Herstellung von 1 kg Wasserstoff. Der errechnete Verbrauch vom Wasserstofffahrzeug (Kapitel 7.1) liegt bei 12.8 kg/100 km, der Ausstoss von CO₂ bei der Bereitstellung beläuft sich somit auf 659.2 g/km.

Dieseläquivalent

Um die Unterschiede in den Verbräuchen besser vergleichen zu können, wurden die Angaben für den elektrischen Verbrauch in Dieseläquivalente umgerechnet (Formeln **(1)**, **(2)**, **(8)**). Als Grundlage dient der Dieserverbrauch aus dem Monitoring. Durch das Einbeziehen von bekannten Wirkungsgraden kann eine Energiemenge gefunden werden, welche für diese Route aufgewendet werden muss. Diese kann wiederum in Dieseläquivalenten angegeben werden.

12.3 Feinstaubemissionen

Zu den massgebenden Emissionen im Strassenverkehr gehören auch die Feinstaubemissionen. Der Feinstaub wird dabei in drei Grössen unterteilt. Es gibt grosse Partikel (PM 10), feine Partikel (PM 2.5) und ultrafeine Partikel (PM <0.1). Diese Grössen beziehen sich auf den maximalen Durchmesser der Partikel in Mikrometer (*Feinstaub.ch*, o. J.).

Weiter kann der Feinstaub in zwei Kategorien eingeteilt werden, nämlich in die primären und in die sekundären Partikel. Die primären Partikel entstehen durch Verbrennungsprozesse, durch mechanischen Abrieb, durch Aufwirbelung oder sie sind natürlichen Ursprungs. Die sekundären Partikel bilden sich in der Luft aus Vorläuferschadstoffen wie zum Beispiel NO_x (Bundesamt für Umwelt, o.J.).

Die Feinstaubemission durch die primären Partikel fällt bei allen Fahrzeugen in etwa gleich aus, da die Emissionen hauptsächlich durch den mechanischen Abrieb der Reifen entstehen. Ein Dieselfahrzeug würde aufgrund des Verbrennungsmotors grundsätzlich mehr Feinstaub emittieren als ein Fahrzeug mit einer anderen Antriebsart. Durch verbaute Partikelfilter, welcher über 95 % des Feinstaubes filtert, können diese Emissionen jedoch grösstenteils verhindert werden (*Audi Technology Portal - Dieselpartikelfilter*, 2011).

Bei den sekundären Partikeln hingegen schneiden die Gas- und Dieselantriebe im Betrieb schlechter ab. Der Elektro- und Wasserstoffantriebe weisen keine lokalen NO_x-Emissionen auf.

12.4 Lärmemissionen

Die angegebenen Lärmemissionen wurden durch Messungen in der Leuchtturmstudie bestimmt. Die gemessenen Werte für die Diesel- und Elektrofahrzeuge werden daher als sehr plausibel erachtet. Aufgrund fehlender Daten wurden für die beiden Antriebsarten Gas und Wasserstoff Annahmen getroffen. Da es sich beim Gasmotor ebenfalls um einen Verbrenner handelt, wird eine ähnliche Lärmemission wie beim Dieselfahrzeug erwartet. Beim Wasserstofffahrzeug wird eine ähnliche Lärmemission wie beim Elektrofahrzeug erwartet, da die Brennstoffzellen Strom erzeugen, welcher wiederum den Motor antreibt.

Das Dezibel (dB) und die damit verbundene Skala werden genutzt, um Geräuschpegel einzustufen. Die Dezibel-Skala ist eine logarithmische Skala. Eine Verdoppelung des Schalldrucks bedeutet auf der Skala einen Anstieg um 6 dB (Hoti et al., 2019). Die Wahrnehmung

Entscheidungsmatrix

der Lautstärke ist subjektiv, grundsätzlich kann jedoch gesagt werden, dass eine Verdoppelung der wahrgenommenen Lautstärke 10 dB entspricht (Marti, 2021). Beim Betrachten der Werte in der Tabelle 12-1 muss dies für die Einschätzung berücksichtigt werden. Damit der empfundene Unterschied besser sichtbar ist, wird er als Prozentsatz in der Abbildung 9 angezeigt. Hier ist der empfundene Unterschied der Lautstärke eines Elektro-Abfallsammelfahrzeuges im Vergleich zu einem Diesel-Abfallsammelfahrzeug grafisch dargestellt, wobei positive Werte eine Minderung der Lautstärke bedeuten. Es ist sofort ersichtlich, dass der Elektroantrieb eine deutliche Minderung der Lärmemissionen mit sich bringt. Die erhöhten Lärmemissionen bei der maximalen Beschleunigung des Elektrofahrzeuges lassen sich auf das erheblich höhere Drehmoment zurückführen. Die Reifen verursachen bei einer derartigen Beschleunigung mehr Lärm.

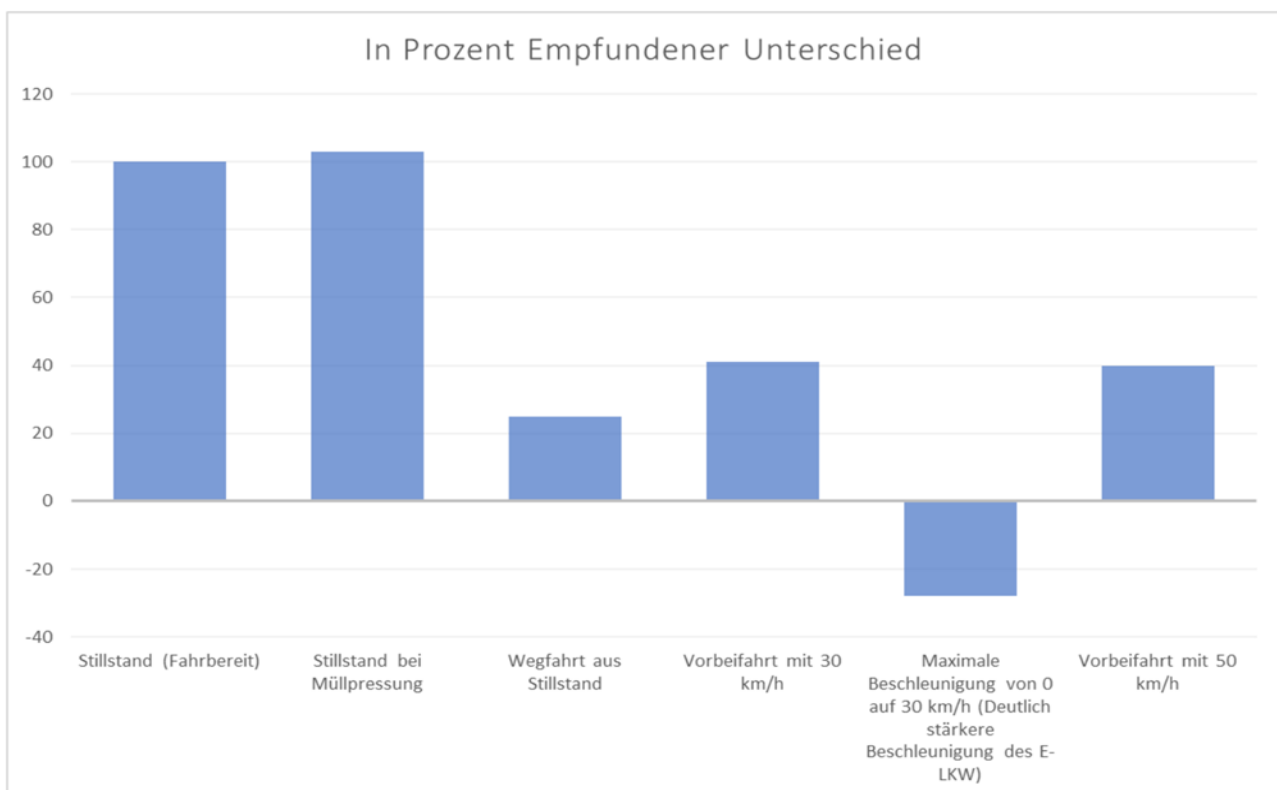


Abbildung 9, Empfundene Lärmunterschiede in Prozent

13 Kostenvergleich

Elektrofahrzeuge, insbesondere Elektro-LKW, schrecken oft durch ihren hohen Anschaffungspreis ab. Herkömmliche Dieselfahrzeuge weisen zwar einen niedrigeren Anschaffungspreis auf, im Gegenzug kann das elektrisch betriebene Fahrzeug mit geringeren Betriebs- und Unterhaltskosten sowie der Befreiung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgaben (LSVA) punkten. Dies bedeutet, je länger das Fahrzeug im Einsatz ist und je mehr Kilometer mit dem Fahrzeug zurückgelegt werden, desto eher wird die Differenz der Anschaffungskosten aufgehoben.

Bei Anschaffungen, welche solche Kostenverläufe aufweisen, lohnt sich eine Analyse der Gesamtkosten (Total Cost of Ownership), die über die geplante Einsatzzeit anfallen. Im Folgenden wurde dies mit den drei Antriebsarten Gas, Elektro und Diesel, versucht. Von diesen Antrieben waren die nötigen Daten vorhanden oder die Kosten konnten am ehesten abgeschätzt werden und sind in der Tabelle 13-1 aufgeführt. Aus der Abbildung 10 ist ersichtlich, dass es sich lohnt, den Fokus auf die Gesamtkosten zu legen, anstatt nur die zu Beginn tieferen Anschaffungspreise der Diesel-LKW zu betrachten (Hoti et al., 2019).

Fahrzeuge		Diesel	Gas	Elektro
Anschaffungskosten	CHF	286'000	286'000	745'000
Treibstoffkosten	CHF/a	49'159	56'935	18'498
LSVA	CHF/a	16'005	16'005	0
Wartungs- und Reparaturkosten	CHF/a	22'000	22'000	16'200
Gesamtkosten pro Jahr	CHF/a	87'164	94'940	34'698
Kosten nach 8.8 Jahren	CHF	1'053'042	1'121'471	1'050'340
Kosten nach 12 Jahren	CHF	1'331'967	1'425'279	1'161'372

Tabelle 13-1, Kostenannahmen für die Antriebsarten

Die Anschaffungskosten für das Diesel- und Elektrofahrzeug stammen aus der Leuchtturmstudie und inkludieren Aufbau und Mehrwertsteuer. Wartungs- und Reparaturkosten stammen ebenfalls aus dieser Studie. Hier ist berücksichtigt, dass für Elektro-LKWs geringe Wartungskosten zu erwarten sind. Die Kosten für das Gasfahrzeug wurden gleich den Kosten für den Diesel angenommen. Für die Treibstoffkosten wurde mit den Preisen vom

Kostenvergleich

16.12.2022 gerechnet. Beim Strompreis wurde ein Kostenmix aus 20% Hochtarif und 80% Niedertarif gewählt, welche ab 2023 gelten. Elektro-LKWs sind aktuell von der LSVA befreit.

- Diesel mit CHF 2.10 pro Liter
- Gas mit CHF 2.13 pro Kilogramm
- Strom (IWB) mit CHF 0.31 pro Kilowattstunde

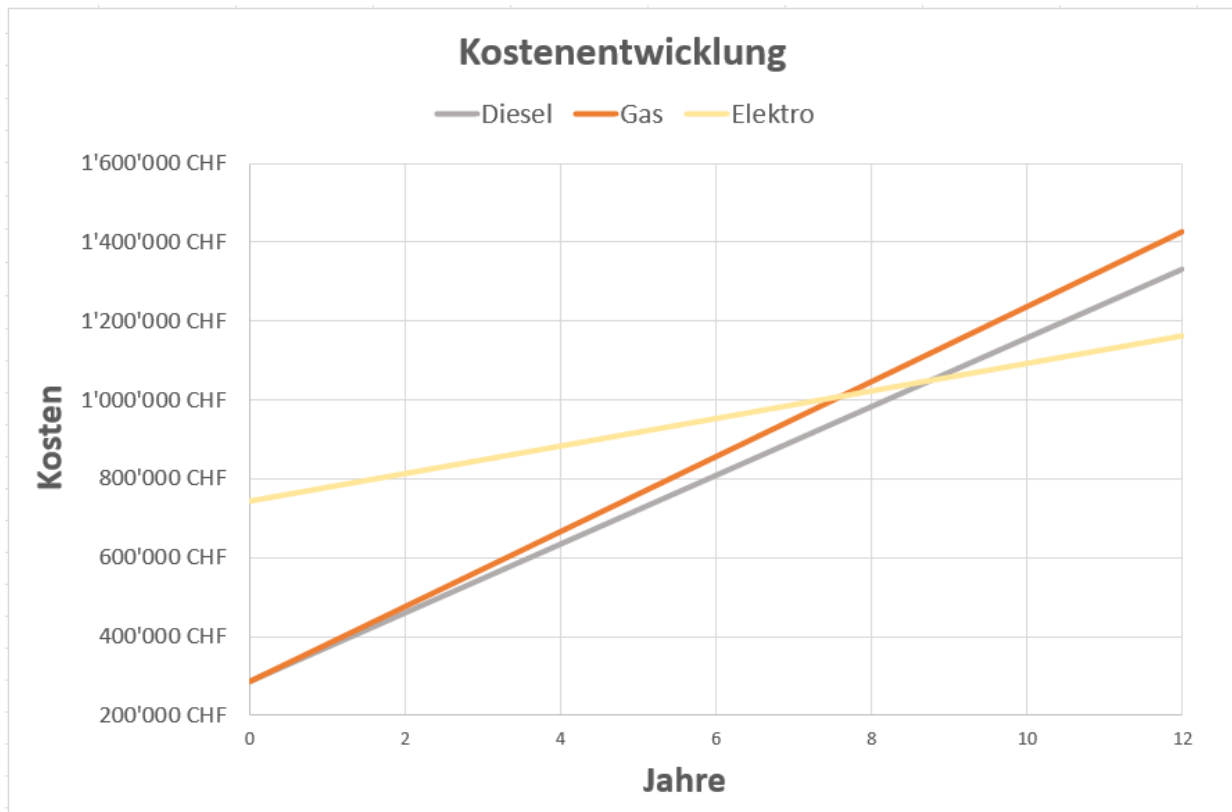


Abbildung 1010, Kostenentwicklung über die Einsatzdauer unter den getroffenen Annahmen

Gemäss dieser Berechnung wären das Diesel- und das Elektrofahrzeug nach ungefähr neun Jahren gleich teuer. Bei einer Nutzungsdauer von 12 Jahren könnten mit dem Elektrofahrzeug im Vergleich zum Diesel 170'000 Franken eingespart werden. Bei dieser Berechnung wurde mit einer Kilometerleistung von 27'000 km/a gerechnet.

Es wird empfohlen, eine möglichst genaue Aufstellung der Lebenszykluskosten zu machen, um die Kosten für die Fahrzeuge gut vergleichen zu können. Die Initiative «Vorbild Energie und Klima» der Bundesverwaltung stellt dazu ein umfangreiches Tool zur Verfügung (Vorbild Energie und Klima, o.J.).

14 Formeln

Nr.	Formel	Bezeichnungen
(1)	$E_D = V_R \cdot H_{i,D}$	$H_{i,D}$ = Heizwert Diesel (9.8 kWh/l) V_R = Realer Verbrauch E_D = Energie Dieserverbrauch
(2)	$E_{eff} = E_D \cdot \eta_D$	E_D = Energie Dieserverbrauch η_D = Wirkungsgrad Dieselmotor (0.25) E_{eff} = Effektiv genutzte Energie
(3)	$E_{H_2} = H_i \cdot m_{H_2} \cdot \eta_{H_2}$	H_i = Heizwert m_{H_2} = Fassungsvermögen des Wasserstofftanks η_{H_2} = Wirkungsgrad der Brennzelle E_{H_2} = bereitgestellte Energie Wasserstoff
(4)	$m_{H_2} = \frac{E_{H_2,real}}{H_{i,H_2} \cdot \eta_{H_2}}$	$E_{H_2,real}$ = nötige Energie unter Realbedingungen H_{i,H_2} = Heizwert Wasserstoff η_{H_2} = Wirkungsgrad Brennstoffzelle
(5)	$k = 2.28 \frac{Rp}{t \cdot km} \cdot s \cdot m$	k = LSVA-Kosten s = gefahrene Kilometer m = Gewicht
(6)	$A_{neu} = \frac{A_Q}{E_Q} \cdot E_{neu}$	A_Q = CO ₂ -Emissionen aus der Quelle E_Q = Energie aus der Quelle E_{neu} = Energie des neuen Fahrzeuges A_{neu} = CO ₂ -Emissionen des neuen Fahrzeuges
(7)	$N_R = N_t \cdot V_R$	N_t = Theoretischer CO ₂ -Ausstoss (512g/l) V_R = Realer Verbrauch N_R = Realer CO ₂ -Ausstoss
(8)	$D_{\ddot{a}} = \frac{E_{eff}}{\eta_{el} \cdot H_{i,D}}$	η_{el} = Wirkungsgrad Elektromotor /(+Brennstoffzellen) $H_{i,D}$ = Heizwert Diesel (9.8 kWh/l) E_{eff} = Effektiv genutzte Energie $D_{\ddot{a}}$ = Dieseläquivalent

Tabelle 14-1, Tabelle mit div. Formeln und der dazugehörigen Legende

15 Zusammenfassung

Im ersten Teil dieser Arbeit wurden die Sammelrouten der Gemeinde Riehen erfasst. Um die Routen erfassen zu können, wurde ein Vergleich von drei verschiedenen GPS-Applikationen durchgeführt, bei welchem sich «Topo-GPS» durchsetzen konnte. Nebst der Wahl der App wurde eine Bedienungsanleitung für die App und ein Fahrtenheft erstellt. Das Fahrtenheft und die Bedienungsanleitung wurden an die Gemeinde Riehen weitergegeben, diese hat dann während zwei Wochen die Routen inklusive Press- und Kippvorgängen erfasst. Aus diesen Daten wurde dann die Route 2.1 als energieaufwändigste Route bestimmt und für den weiteren Vergleich der Fahrzeuge wurde nur noch diese Route verwendet.

Anschliessend wurden Mails mit Kriterienkatalogen zu den Antriebsarten Elektro, Hybrid, Wasserstoff, Gas und Diesel an die Hersteller gesendet. Nebst den Anfragen bei den Herstellern wurden auch Recherchearbeiten im Internet durchgeführt. Dadurch konnten die Daten geprüft und allfällige Lücken bei den Antriebssystemen geschlossen werden.

Als zu den meisten Antriebsarten Daten von einem oder mehreren Herstellern vorhanden waren, ging es darum, pro Antriebssystem ein Fahrzeug zu wählen. Diese Fahrzeuge werden dann in einer Matrix miteinander verglichen. Die Wahl der Fahrzeuge ist nicht wertend gegenüber Kontaktperson oder Marke. Es musste darauf geachtet werden, zu welchem Fahrzeug die besten Daten vorhanden sind. Nebst den angefragten Daten wurde untersucht, ob die Fahrzeuge die Route ohne Zwischenladung/-tankung bewältigen können. Ebenfalls wurde die aktuelle Tanksituation von z.B. Wasserstoff oder Flüssiggas untersucht. Nach der Wahl der Fahrzeuge wurde kurz auf mögliche Förderprogramme eingegangen.

Anschliessend wurde das eigentliche Ziel dieser Arbeit bearbeitet, der Vergleich der einzelnen Antriebssysteme. Dieser Vergleich wird anhand einer eigens erstellten Matrix durchgeführt. Die Kriterien in dieser Matrix wurden im Voraus durch den Auftraggeber im Gespräch mit dem Team festgelegt. Sollten zu gewissen Punkten keine Angaben vorhanden sein oder sollten Angaben massiv von den Berechnungen des Projektteams abweichen, so wird das direkt in der Matrix vermerkt. In dieser Matrix wurden lediglich die im vorderen Teil dieser Arbeit ausgewählten Modelle verglichen. Durch die Darstellung in der Matrix ist es einfacher zu sehen, welche Antriebsart in welchem Bereich seine Vorzüge mit sich bringt.

16 Fazit

Durch den Vergleich der Antriebssysteme empfiehlt das Projektteam der Gemeinde Riehen ein elektrisch betriebenes Abfallsammelfahrzeug, da dieses einige Vorteile vorzuweisen hat, wie zum Beispiel in der tiefen CO₂- und Lärmbelastung. Das Elektrofahrzeug hat mit Ausnahme der Vollbeschleunigung von 0 auf 30 km/h tiefere Lärmemissionen als ein vergleichbares diesel- oder gasbetriebenes Fahrzeug. Das Projektteam nimmt nicht an, dass die lautere Vollbeschleunigung problematisch sein wird, weil diese in der Praxis selten vorkommt. Zudem hört sich das elektrisch betriebene Fahrzeug bei der Pressung aufgrund der niedrigeren Dezibel etwa halb so laut an wie ein dieselbetriebenes Fahrzeug. Dies liegt daran, dass ein dieselbetriebenes Fahrzeug bei der Pressung die Drehzahl erhöhen muss, beim elektrisch betriebenen Fahrzeug muss dies nicht gemacht werden. Die Anschaffungskosten eines Elektrofahrzeuges sind deutlich höher als jene eines Diesels, jedoch sind die Betriebskosten tiefer. Bei einer Kostengegenüberstellung sind die beiden Fahrzeuge nach ca. neun Jahren gleich teuer. Wird das Fahrzeug länger gefahren, dann wird das Elektroauto günstiger sein. In Anbetracht der oben genannten Vorteile ist das Elektrofahrzeug mit hoher Wahrscheinlichkeit die richtige Wahl für die Gemeinde. In der untenstehenden Abbildung 11 sind die CO₂-Emissionen der verschiedenen Antriebsarten ersichtlich.

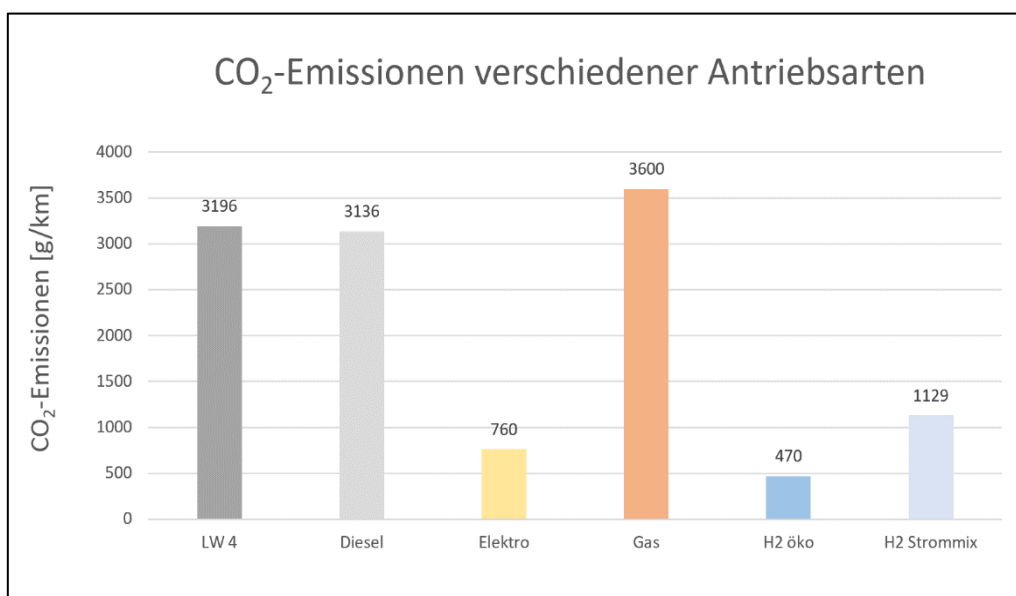


Abbildung 1111, Balkendiagramm CO₂-Emissionen der Antriebsarten

Beim Wasserstoffantrieb besteht das Problem, dass es zurzeit keine Wasserstofftankstelle in oder nahe bei Riehen oder Bettingen gibt. Bedingt durch den kleinen Tank muss wohl täglich nachgetankt werden, was zu zeitlichem Mehraufwand und einer längeren Route

Fazit

führt. Zudem ist die Herstellung von Wasserstoff sehr energieintensiv. Beim Herstellungsprozess von Wasserstoff (Wirkungsgrad ca. 0.65) und bei der Verbrennung in der Brennstoffzelle (Wirkungsgrad ca. 0.5) geht viel Energie verloren. Durch direkte Nutzung des Stroms via Batterie kann ein deutlich besserer Wirkungsgrad erzielt werden. Aus diesem Grund scheint der Wasserstoffantrieb hier nicht von Vorteil zu sein.

Es wird nicht empfohlen, ein gasbetriebenes Fahrzeug zu beschaffen, da dieses laut den Herstellerangaben mehr CO₂ emittiert als ein vergleichbares Dieselfahrzeug. Die Lärmemissionen sind dabei ungefähr gleich, wodurch das dieselbetriebene Fahrzeug besser abschneidet.

Den hybriden Antrieb kann das Projektteam aufgrund mangelhafter Datenlage nicht beurteilen.

17 Quellenverzeichnis

Abgasnorm Euro 6: Grenzwerte für NOx, Kohlenwasserstoffe und Co. (2022, November 8). Mobilitätsmagazin. <https://www.bussgeldkatalog.org/euro-6-grenzwerte/>

Alternative Antriebe für Lkw. (2019, Mai 19). [Text]. Aftermarketzeitschrift; Schlütersche Fachmedien GmbH. <https://www.amz.de/alternative-antriebe-fuer-lkw>

Audi Technology Portal—Dieselpartikelfilter. (2011). Audi Technology Portal. <https://www.audi-technology-portal.de/de/antrieb/motor-effizienztechnologien/dieselpartikelfilter>

Bundesamt für Statistik. (o.J.). *Umweltauswirkungen.* Bundesamt für Statistik. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/unfaelle-umweltauswirkungen/umweltauswirkungen.html>

Bundesamt für Strassen, A. (o. J.). *Häufig gestellte Fragen (FAQ).* Abgerufen 28. November 2022, von <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/fachleute/fahrzeuge/sonderbewilligungen/allgemeine-informationen/haeufig-gestellte-fragen--faq-.html>

Bundesamt für Umwelt. (o.J.). *Feinstaub.* <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-luft/luft--fachinformationen/luftqualitaet-in-der-schweiz/feinstaub.html>

CNG und Biogas – das müssen Sie wissen. (o. J.). *CNG-Mobility.* Abgerufen 29. November 2022, von <https://www.cng-mobility.ch/12-fakten-zu-cng-und-biogas/>

Die Stiftung KliK unterstützt die Wasserstoff-Mobilität. (o. J.). Abgerufen 29. November 2022, von <https://wasserstoff-lastwagen.klik.ch/>

Edrich, K. (2022, Oktober 6). *Grüne Energie: In Pratteln öffnet eine Wasserstofftankstelle.* <https://www.bazonline.ch/in-pratteln-oeffnet-eine-wasserstofftankstelle-997496099255>

Erdgasauto: Mit (Voll)gas gegen Feinstaub, NOx und CO2. (2018, Mai 24). Stadtwerke Solingen Blog. <https://www.stadtwerke-solingen.de/blog/erdgasauto-feinstaub-nox-co2/>

Faun. (o. J.). Abgerufen 28. November 2022, von <https://www.faun.com/wordpress/wp-content/uploads/2022/09/ENGINIUS-4-Seiter-IAA-DE.pdf>

Feinstaub.ch. (o. J.). Abgerufen 30. November 2022, von <https://feinstaub.ch/was-ist-feinstaub/hintergrund>

Quellenverzeichnis

Fliesser, L. (2018, Dezember 17). *Was ist LNG? Was ist CNG? Was ist LPG?* TRAKTUELL. <https://traktuell.at/fahrzeuge/was-ist-lng-was-ist-cng-was-ist-lpg/>

Gloor, R. (2021, März 9). Wasserstoff. *energie.ch*. <https://energie.ch/wasserstoff/>

Google Maps. (2022, November 28). Google Maps. <https://www.google.com/maps/dir/Werkhof,+Haselrain+65,+4125+Riehen/47.5124,7.71885/Werkhof,+Haselrain,+Riehen/@47.5508541,7.6250895,12z/data=!4m15!4m14!1m5!1m1!1s0x4791b0b6a6440001:0x7c5b5951469a5dbb!2m2!1d7.6559075!2d47.5925307!1m0!1m5!1m1!1s0x4791b0b6a6440001:0x7c5b5951469a5dbb!2m2!1d7.6559075!2d47.5925307!3e0>

H2 Energy | Wasserstoff Tankstellen. (o. J.). *H2energy*. Abgerufen 1. Dezember 2022, von <https://h2energy.ch/wasserstoff-tankstellen/>

Hoti, D., Wyssmann, F., Loacker, F., Rohrbach, S., Wülser, T., & Dettwiler, V. (2019). *Leuchtturmprojekt Futuricum*.

Katic, S. (2021, Juni 8). *LSVA-Rechner*. <https://www.astag.ch/wissen/betriebswirtschaft/lsva-rechner/>

Kebschull, G. (2021). *Faun mit Batterie-/ Wasserstoffantriebe*. <https://www.auto-online-magazin.de/index.php/magazin/technik/3570-faun-mit-batterie-wasserstoffantriebe>

Koll, S. (2021, Dezember 29). *Schweiz: Emissionsfreie LKW dürfen künftig schwerer und länger sein*. Trans.INFO. <https://trans.info/de/schweiz-lkw-268717>

Kraftstoff. (o. J.). Abgerufen 30. November 2022, von <https://www.chemie.de/lexikon/Kraftstoff.html>

Krummen Kerzers realisiert dritte LNG-Tankstelle in der Schweiz. (o. J.). *Krummen Kerzers*. Abgerufen 29. November 2022, von <https://krummen.com/aktuelles/dritte-lng-tankstelle-in-der-schweiz/>

Marti, C. (2021, Oktober 25). *Die Dezibel-Skala einfach erklärt* | *akustikform.ch*. <https://www.akustikform.ch/raumakustik/dezibel-skala>

Paschotta, D. R. (2022, April 1). *Wasserstoff*. <https://www.energie-lexikon.info/wasserstoff.html>

Quellenverzeichnis

Randelhoff, M. (2019, Juli 5). Batterieelektrisch vs. Brennstoffzelle vs. Power-to-X im Straßenverkehr. *Zukunft Mobilität*. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/169895/analyse/elektroauto-brennstoffzelle-synthetische-kraftstoffe-ptx-ptl-kosten-infrastruktur-rohstoffe-energiebedarf-wirkungsgrad/>

Scania. (o. J.). *Plug-in-Hybridfahrzeug*. Scania DEUTSCHLAND. Abgerufen 28. November 2022, von <https://www.scania.com/de/de/home/products/trucks/plug-in-hybrid-truck.html>

Schreiner, M. (2020, Oktober 18). *KI-Batterie: Bringt Künstliche Intelligenz den Energiespeicher-Durchbruch?* THE-DECODER.de. <https://the-decoder.de/ki-batterie-bringt-kuenstliche-intelligenz-den-energiespeicher-durchbruch/>

Schub für fossilfreie Nutzfahrzeuge. (2020, Dezember 18). AGVS | UPSA. <https://www.agvs-upsa.ch/de/news/news-archiv/schub-fuer-fossilfreie-nutzfahrzeuge>

Skarics, K. / R. (2018, Juli 31). *Automotoren: Wundersamer Wirkungsgrad*. DER STANDARD. <https://www.derstandard.de/story/2000083825192/automotorenwundersamer-wirkungsgrad>

tagesschau.de. (2017, Januar 6). *FAQ: Wieso sind Diesel-Pkw dreckiger als Laster?* tagesschau.de. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/diesel-faq-101.html>

Tipps für mehr Reichweite bei Kälte. (2022, März 1). <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-reichweite-winter/>

Vogel, B. (2020, Februar 6). *BFE-Forschungsprojekt <16 A-Gebäude>: Stabiles Stromnetz dank Absicherung auf 16 Ampère* (ee-news.ch). <https://www.ee-news.ch/de/article/43027/bfe-forschungsprojekt-16-a-gebaude-stabiles-stromnetz-dank-absicherung-auf-16-ampere>

Vorbild Energie und Klima. (o.J.). *Life Cycle Cost Tool (LCC Tool)*. <https://www.vorbild-energie-klima.admin.ch/vbe/de/home/dokumentation/hilfsmittel.html>

Was ist Adblue? Vorteile, Eigenschaften, Zusammensetzung | AGROLA. (o. J.). AGROLA AG 8401 Winterthur - Heizöel. Abgerufen 30. November 2022, von <https://www.agrola.ch/de/mobilitaet/diesel/adblue.html>

Wasserstofftankstellen in Deutschland und Europa. (2022, November 28). H2.LIVE. <https://h2.live/>

Quellenverzeichnis

Welling, K. (2022, August 24). *Rekuperation beim Elektroauto: So laden Sie Ihren Stromer beim Fahren wieder auf*. https://efahrer.chip.de/e-wissen/rekuperation-beim-elektroauto-so-laden-sie-ihren-stromer-beim-fahren-wieder-auf_102586

Wildberg, R., & Gomoll, W. (2022, September 15). *Neue Batterien für E-Autos: Wann kommt der Wunderakku? - AUTO BILD*. autobild.de. <https://www.autobild.de/artikel/e-autos-batterie-zukunft-21260619.html>

Wirkungsgrad bei Elektromotoren. (o. J.). Abgerufen 25. November 2022, von <https://www.blecher.de/info/133/allgemein/glossar/Wirkungsgrad.html>

18 Ehrlichkeitserklärung

«Hiermit erkläre ich, die vorliegende Projektarbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst zu haben. Die wörtlich oder inhaltlich aus den aufgeführten Quellen entnommenen Stellen sind in der Arbeit als Zitat bzw. Paraphrase kenntlich gemacht. Diese Projektarbeit ist noch nicht veröffentlicht worden. Sie ist somit weder anderen Interessierten zugänglich gemacht noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.»

Windisch, 23.12.2022

Name: Joël Borioli

Unterschrift:

Handwritten signature of Joël Borioli in black ink.

Name: Lukas Meier

Unterschrift:

Handwritten signature of Lukas Meier in black ink.

Name: Florian Hochstrasser

Unterschrift:

Handwritten signature of Florian Hochstrasser in black ink.

19 Anhang

19.1 A_Projektauftrag_Original

19.2 B_Bedienungsanleitung_Topo-GPS

19.3 C_Kriterienkatalog_Aufbau

19.4 D_Kriterienkatalog_Fahrzeuge

19.5 E_Mailverkehr_Aufbauer

19.6 F_Mailverkehr_Fahrzeughersteller

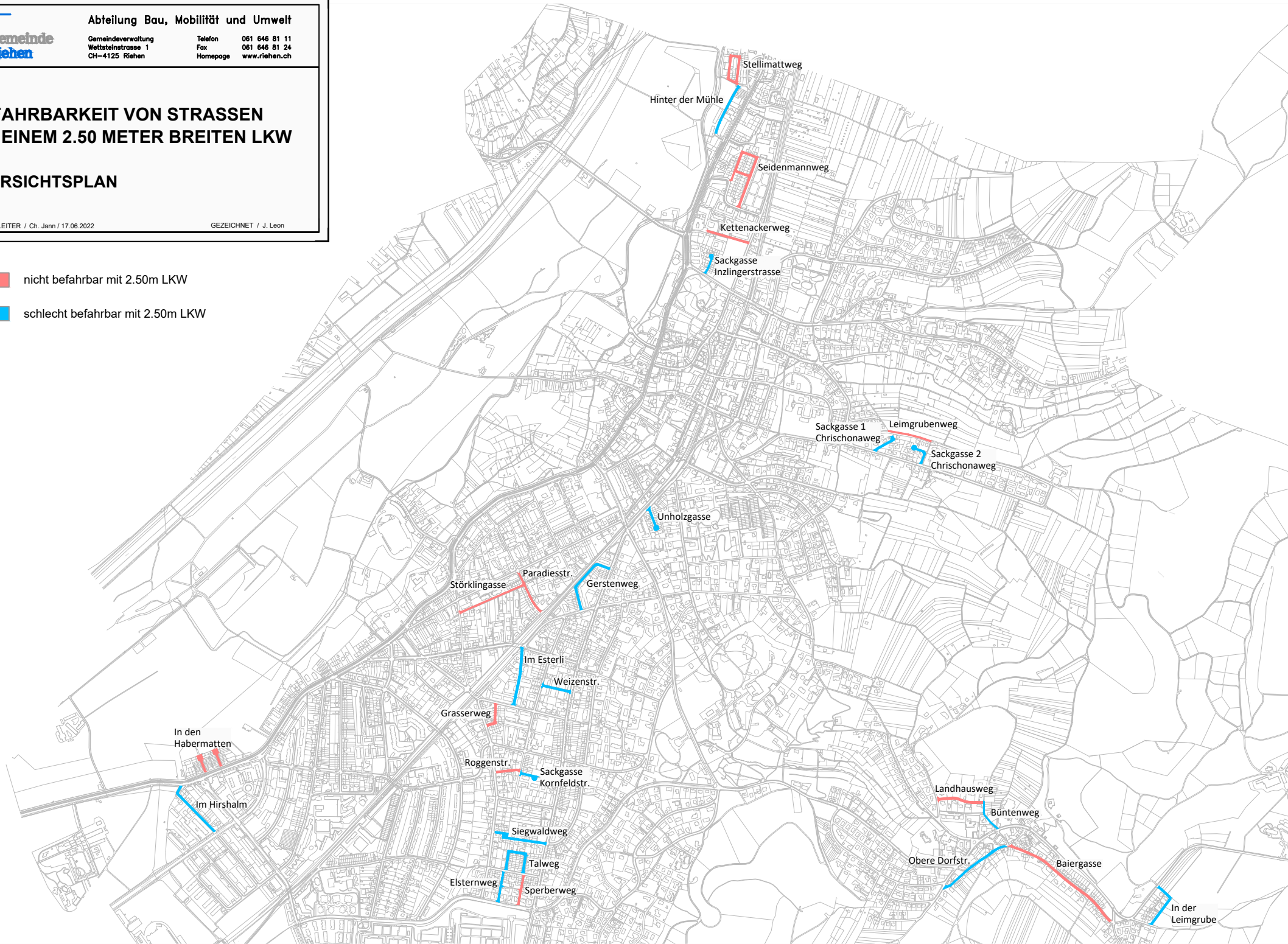
BEFAHRBARKEIT VON STRASSEN MIT EINEM 2.50 METER BREITEN LKW

ÜBERSICHTSPLAN

PROJEKTLEITER / Ch. Jann / 17.06.2022

GEZEICHNET / J. Leon

- nicht befahrbar mit 2.50m LKW
- schlecht befahrbar mit 2.50m LKW



Gemeindeverwaltung Riehen
Herr Rainer Helm
Haselrain 65
4125 Riehen

Münchenstein, 31. Oktober 2023
sebastian.kramer@rapp.ch, T +41 58 595 79 60

Einschätzung Brandschutz - Aufstellung 2 Elektrofahrzeuge in Tiefgarage WH Riehen

Geschätzter Rainer

Wie heute telefonisch besprochen, teile ich Dir auf diesem Wege nochmals meine Einschätzung zum Thema Elektrofahrzeuge in der Tiefgarage im WH Riehen mit.

Ich beziehe mich hierbei auf das VKF-Brandschutzmerkblatt 2005-15 «Lithium-Ionen-Batterien», unser heutiges Gespräch sowie meine Begehungen vor Ort.

Zuerst möchte ich nochmals festhalten, dass wir bereits im Rahmen der Machbarkeitsstudie darauf hingewiesen haben, dass wir die Nutzung Lager und Parking in der Einstellhalle kritisch sehen. Hieran hat sich weiterhin nichts geändert. Die Situation ist jedoch im Bestand bewilligt. Ich möchte jedoch nochmals darauf hinweisen, dass Ihr im Parking Fahrzeuge von enormem Wert unterstellt, welche bei Ausfall auch nicht so leicht zu ersetzen sind. Dies empfehle ich bei der weiteren «Bestückung» des Parkings zu berücksichtigen.

Für reines Parkieren von Elektrofahrzeugen gelten dieselben Brandschutzvorschriften wie für konventionelle Fahrzeuge. Für das Laden von Elektrofahrzeugen zitiere ich Kapitel 4.10 des oben genannten Merkblattes:

«1 Mögliche Gefahren

- a Unsachgemäß installierte Ladeeinrichtungen können zu Bränden führen;
- b Ungenügend dimensionierte Ladekabel und -stecker können zu Bränden führen.

2 Schutzziele

- a Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Brandes soll durch Einhaltung geltender Regelungen auf dem akzeptierten Niveau gehalten werden.

3 Lösungsansätze

- a Die Ladestationen müssen den geltenden Normen entsprechen;
- b Der Einbau von Elektroinstallationen und Ladestationen ist durch eine fachkundige Person auszuführen;
- c Die Einbau- und Bedienungsanleitungen der Ladestationen sind zu beachten;

