



Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg

Gefördert durch den
Innovationsfonds
Klima- und Wasserschutz

badenova
Energie. Tag für Tag

Projekt 2020-06

Erste Elektro-Wasserstoff-Hybrid-Müllabfuhr

Abschlussbericht



Moriz Trautmann

10.10.2022

Anmerkungen zur Berichtsvorlage:

Die Vorlage zum Abschlussbericht dient der Übersicht wesentlicher Berichtsbestandteile und stellt eine mögliche unverbindliche Struktur vor. Gerne können Sie Teile übernehmen oder eine ihrem Projekt passendere Struktur wählen.

Unabhängig der Ausgestaltung des Abschlussberichts bitten wir Sie die Anlage „Projekterkenntnisse“ (letzte Seite) Ihrem Abschlussbericht beizulegen.

Inhalt

1	Projektüberblick	4
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Wissenschaftliche und technische Ziele	4
1.3	Herausforderungen // Chancen und Risiken des Vorhabens	5
2	Projektbeschreibung	5
2.1	Projektablauf	5
2.1.1	Projektidee	5
2.1.2	Terminplan	6
2.1.3	Budgetplanung und Förderung	7
2.2	Projektplanung	7
2.2.1	Einsatzkonzept	7
2.3	Fahrzeugbetrieb und Monitoring	7
2.3.1	Auswertung der Betriebsergebnisse	7
2.4	Ökologischer Nutzen	9
2.4.1	Einsparung an Primärenergie	9
2.4.2	Reduktion der CO ₂ -Emission	9
2.5	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	10
2.5.1	Investitionskosten	10
2.5.2	Betriebskosten	10
2.5.3	Verbesserung der Wirtschaftlichkeit	11
3	Wirkung der Umsetzung	12
3.1	Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb	12
3.2	Weiterführende, resultierende Maßnahmen	12
3.3	Übertragbarkeit der Projektergebnisse	13
4	Öffentlichkeitsarbeit	13
4.1	Führungen und Vorträge	13
4.2	Flyer, Presse, Veröffentlichungen	13
5	Zusammenfassung/Fazit	13
6	Ausblick	13
7	Anlage: Projekterkenntnisse	14

1 Projektüberblick

1.1 Ausgangslage

Die ASF verstärkt seit mehreren Jahren Ihr Engagement bei der umwelt- und klimafreundlichen Entsorgung. Die Abfallwirtschaft kann bei der Vermeidung und Verminderung von Abgasen, Feinstaub und Stickoxiden im Stadtgebiet einen besonderen Beitrag leisten. Da die Fahrzeuge im kommunalen Bereich fast ausschließlich und täglich im Stadtgebiet unterwegs sind, ergeben sich große Potentiale für die Vermeidung von klima- und gesundheitsgefährdenden Stoffen. Bereits 2017 wurde deshalb eine elektrische Kehrmaschine, ebenfalls durch den Innovationsfond gefördert, angeschafft, um die Innenstadt emissionsfrei zu reinigen. Durch die besonders positiven Erfahrungen mit dieser Technologie, die mit Zahlen im Monitoring bis heute belegbar sind, hat die ASF sich auch für zwei weitere E-Kehrmaschinen entschieden, sowie verschiedene Streetscooter. Zwei Streetscooter sind bereits auf den Straßen Freiburgs unterwegs und stellen Behälter sowie verschiedene Transportarbeiten emissionsfrei.

Doch neben der Batterie als „Treibstoff“ für den E-Motor gibt es noch die Brennstoffzelle, die mit Wasserstoff betrieben wird. Zu diesem Thema gibt es immer wieder experimentelle Fahrzeuge im PKW-Bereich, doch im Bereich schwere Nutzfahrzeuge war das Thema bis jetzt nicht sehr präsent.

Das Zukunftsträchtige eines Wasserstofffahrzeuges ist das Verbinden des Komforts eines schnellen Tankens mit der Klimaneutralität des Elektroantriebs. Die ASF hat daher zwei MKWs (Müllkraftwagen) mit einer kleinen Batterie und einem Wasserstofftank als "Rangeextender" für den Betrieb einer Brennstoffzelle mit dem Fahrzeugbauer FAUN konzipiert und hergestellt. Damit wurden zwei klimaneutrale und richtungsweisende Technologien vereint. Freiburg wurde damit einer der ersten Städte in Europa, die mit einem Wasserstoff MKW ausgestattet wurden. Die Fahrzeuge wurden mit einiger Verzögerung im ersten Quartal 2021 geliefert. Damit erfüllte die ASF ein weiteres Ziel in der Strategie eine klimaschonende und noch umweltfreundlichere Stadtreinigung zu werden.

1.2 Wissenschaftliche und technische Ziele

Ziel war es sicherzustellen, dass sich ein Umstieg auf Wasserstoff lohnt und die Fahrzeuge die versprochene Leistung als auch den versprochenen Verbrauch liefern können. Zusätzlich wurde in einem größeren Scope als Erweiterung des Projekts die eigene Herstellung von Wasserstoff geprüft, damit die Fahrzeuge möglichst unabhängig von globalen Krisen versorgt werden können. Technisch wurden die Fahrzeuge darauf hin geprüft, ob ein Fahren mit den Verbrauchsangaben der Hersteller möglich ist und unsere Touren mit einem vertretbaren Energieaufwand gefahren werden können. Die Komponenten wurden zum Kauf des Fahrzeugs vorkonfiguriert und wurden getestet. Daraus konnten Schlüsse für zukünftige Käufe gezogen werden. Insbesondere ging es um die Größe der Batterie, die Anzahl der Brennstoffzellen und die Größe der Tanks. Das übergeordnete Ziel, die Erfüllung der Aufgaben im Bereich Entsorgung, ist mit diesen Fahrzeugen erreicht worden und das aktuell auch noch zu konkurrenzfähigen Preisen. Das könnte sich aber durch die Energiesituation in Deutschland verändern.

1.3 Herausforderungen // Chancen und Risiken des Vorhabens

Eine Herausforderung lag darin die richtige Dimensionierung der Komponenten der Fahrzeuge zu erzielen. Das Monitoring konnte uns helfen die Auslegung der Fahrzeuge individuell zu gestalten. In den meisten Fällen können wir mit einer Brennstoffzelle auskommen, aber für energieintensive Strecken werden wir Fahrzeuge mit bis zu drei Brennstoffzellen bestellen müssen. Der Tank bleibt mit seiner Füllgröße von 16 kg unverändert.

2 Projektbeschreibung

2.1 Projektablauf

2.1.1 Projektidee

Die Idee einer Abfallwirtschaft, die klimaneutral wirtschaften kann, wurde schon 2016 geboren. Die Abfallwirtschaft ist täglich im Stadtgebiet unterwegs und verursacht durch die Vielfalt der Aufgaben, die größtenteils nur mit schweren Maschinen zu bewältigen sind erhebliche Emissionen. Durch die günstige Situation, dass die Fahrzeuge jeden Tag an den gleichen Ort zurückkehren und feste Einsatzzeiten haben, kann der Betrieb der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben sichergestellt werden. Durch Förderprogramme des Bundes konnten bereits Gelder für die erhaltenen Fahrzeuge abgerufen werden. Seitdem wird diese Idee konsequent und im Rahmen des Möglichen verfolgt. Das nächste Etappenziel ist es, einen Stadtteil Freiburgs komplett emissionsfrei und klimaneutral zu reinigen und zu entsorgen.

Die **Idee** in der Richtung Klimaneutralität noch einen Schritt weiterzugehen hat dazu geführt über den Rand der Elektromobilität hinaus zu schauen und nach Alternativen zu suchen, die es möglich machen, Bewährtes zu beizubehalten, z.B. das schnelle Tanken an zentralen Orten und Notwendiges wie den Klimaschutz mindestens genauso gut zu gewährleisten wie ein E-Fahrzeug. Das **Ziel** war die Klimaneutralität des Elektromotors und die Flexibilität eines Verbrenners zu kombinieren.

Unsere Erfahrungen mit der E-Mobilität waren zwar durchweg positiv, doch ist für eine größere Fahrzeugflotte nicht nur die Umstellung des Motors bzw. der Fahrzeuge nötig, sondern auch eine ganze Reihe von Betriebsabläufen und Infrastruktur muss geändert werden. Dazu gehören dann feste Standplätze für Fahrzeuge, Aufbau von Ladesäulen, zusätzlichen Transformatorhäusern, neue Verkabelungen, Leitungslegung und ein Lastenmanagementsystem. Diese Overheadkosten machen es schwer technologisch flexibel zu bleiben. Auch das hat die ASF dazu bewogen nach einer Lösung mit einer größeren Flexibilität zu suchen

Nach mehreren Gesprächen in der Branche hat der Fahrzeugbauer FAUN ein Konzept dazu vorgelegt: Ein wasserstoffbetriebener Müllkraftwagen. Die EWH MKWs werden mit einer zusätzlichen Batterie wie auch einem Wasserstofftank ausgestattet. Die Batterie wird über Nacht und bei Möglichkeit geladen. Der MKW fährt auf der Batterieenergie bis diese entladen ist und stellt dann für die weitere Strecke auf den Brennstoffzellenbetrieb um. Die ASF kann somit die kostspieligen und statischen Infrastrukturkosten für Strombereitstellung auf dem Betriebsgelände verringern und kann wieder an zentralen Orten zum zeitsparenden Tanken fahren.

2.1.2 Terminplan

Ursprünglicher Terminplan

AP1

1. Angebot und Konzept eingeholt (Q1 2019 – Q2 2019)
2. Vertrag über die Herstellung und Kosten vorliegend (Q2 2019)
3. Start der Unternehmung (Q2 2019)

AP2

1. Aufnahme und Erstellung der notwendigen Daten (Q2 2019 – Q4 2019)
2. Herstellungsbeginn Fahrzeug (Q4 2019 – Q3 2020)

AP3

1. Erstellung des Handbuches (Q2 2020)
2. Schulung am Fahrzeug (Q3 2020)
3. Betriebsbeginn Fahrzeug (Q3 2020)

AP4

1. Beginn Dokumentation der Betriebs- und
Wartungsdaten (Q3 2020 – Q4 2022)
2. Erweiterung der Kenntnisse des
Werkstattpersonals (Q4 2020 – Q3 2021)
3. Jahresbeurteilung 2020 (Q4 2020)
4. Jahresbeurteilung 2021 (Q4 2021)
5. Jahresbeurteilung 2022 (Q4 2022)

Grundsätzlich hat sich der Zeitplan auf Grund von Lieferschwierigkeiten stark nach hinten verschoben. Anschließend war ein regelmäßiger Einsatz der Fahrzeuge auf Grund der fehlenden Wasserstofftankstelle ein Problem. Diese hätte bereits Ende 2020 genehmigt werden und Wasserstoff ab Anfang 2021 liefern sollen. Nun hatte sich die Genehmigung bis Mitte 2022 verzögert.

Abweichend ist AP3 und AP4

AP3

1. Erstellung des Handbuches (Q1 2021)
2. Schulung am Fahrzeug (Q1 2021)
3. Betriebsbeginn Fahrzeug (Q2 2021)

AP4

1. Beginn Dokumentation der Betriebs- und
Wartungsdaten (Q2 2021 – Q4 2022)
2. Erweiterung der Kenntnisse des
Werkstattpersonals (Q2 2021 – Q4 2022)
3. Jahresbeurteilung 2021 (nicht möglich
wegen zu weniger Daten) (Q4 2021)
4. Jahresbeurteilung 2022 (Q4 2022)

2.1.3 Budgetplanung und Förderung

Auch der Budgetplan wurde etwas erweitert, da die Fahrzeuge teurer wurden, als in den Angeboten angekündigt

Alter Budgetplan

Gesamtausgaben	100 %	1.262.779 €
Förderleistung Dritter	59,0 %	744.696 €
<i>(nur Ko-Finanzierung aus anderen Fördertöpfen)</i>		
Eigenanteil	29,1 %	368.083 €
Beantragte Zuwendung badenova	11,9 %	150.000 €

Aktueller Budgetplan

Gesamtausgaben	100 %	1.403.754,82 €
Förderleistung Dritter	63,5 %	892.075,34 €
<i>(nur Ko-Finanzierung aus anderen Fördertöpfen)</i>		
Eigenanteil	26,2 %	361.679 €
Beantragte Zuwendung badenova	10,7 %	150.000 €

2.2 Projektplanung

2.2.1 Einsatzkonzept

Die Ermittlung des Verbrauchs von Batterie und Wasserstoff sollte einen Überblick darüber geben, wie wir die Fahrzeuge einsetzen können. Aktuell werden wir die Fahrzeugbatterie jeden Abend laden und damit etwa 60% der Tour fahren können. Die restlichen 40% der Tour werden mit Wasserstoff als Energiequelle gefahren. Dieses Konzept ist notwendig solange wir noch moderate Strompreise gesichert haben. Sollte Strom aus dem Netz sehr viel teurer werden müssen wir versuchen auf die Eigenstromproduktion dafür zu nutzen Wasserstoff herzustellen und hauptsächlich diesen zu verwenden.

2.3 Fahrzeugbetrieb und Monitoring

2.3.1 Auswertung der Betriebsergebnisse

Um die Verbräuche der Fahrzeuge, sowie deren andere Betriebskosten zu monitoren, wurden täglich Daten aufgenommen.

Das Monitoring wurde über 3 Monate betrieben, um einen Durchschnittswert für den Batterieverbrauch als auch für den Wasserstoffverbrauch zu erhalten und weitere

Dimensionierungen daraus zu schlussfolgern. Die Fahrzeuge in der Tabelle sind als D7 und D9 gekennzeichnet, haben unterschiedliche Strecken, sowie andere Fahrer und verbrauchen daher unterschiedlich viel im Monatsdurchschnitt. Um den Aufwand zu Tanken niedrig zu halten wird ein Wasserstoffverbrauch von max. 30 kg wöchentlich angestrebt. Hier die Ergebnisse aus dem Fahrzeugmonitoring:

Fahrzeug	Wochenverbrauch Wasserstoff real	Akkuverbrauch real	Verbrauch in kWh-Äquivalenten Gesamt	Verbrauch in H2-Äquivalenten Gesamt
D9	18,24 kg	405,80 kWh	673,73 kWh	44,92 kg
D7	28,91 kg	324,44 kWh	749,53 kWh	49,97 kg

Der reale Verbrauch ist der, den es tatsächlich gegeben hat. Das bedeutet für Fahrzeug D7, dass es durchschnittlich 28,9 kg Wasserstoff über den Kurs einer Woche verbraucht hat und über die Batterie wöchentlich 324,4 kWh Stunden verbraucht werden. Umgerechnet in Einheiten von kWh sind das gesamt 749,5 kWh, die das Fahrzeug durchschnittlich in einer Woche an Energie braucht und in Wasserstoff umgerechnet, also ohne jeglichen Batteriebetrieb wären das ca. 50 kg Wasserstoff. Daraus folgt ein Realumrechnungsfaktor von Wasserstoff zu Strom von $795/50 = 16$ kWh/kg

Legt man die aktuellen Kosten zu Grunde, dann würde für 16 kWh Strom ca. 5 € fällig sein und für 1 kg Wasserstoff etwa 12,5 € auf dem freien Markt zu zahlen sein. Betrachtet man nur diese Kosten müsste ein rein elektrisches Fahrzeug wirtschaftlicher sein, aber der Faktor Zeit verändert das wiederum. Das Fahrzeug schafft mit der Batterie und einer wirtschaftlichen Auflast von bis zu 11 Tonnen maximal 60% der Strecke. Sollte die Batterie für eine ganze Tour ausreichen, müsste diese ca. doppelt so groß sein. Das dadurch entstehende Zusatzgewicht würde die Auflast um 1-2 Tonnen verringern und würde damit eine Neugestaltung aller Touren und den Einsatz von mindestens 15 % mehr Fahrzeugen benötigen. Bezogen auf unseren Fuhrpark wären wir genötigt 4-6 MKWs zusätzlich einzukaufen, daher ist ein rein batteriebetriebenes Fahrzeug eher keine Option. Mit einer Nutzung von ausschließlich der kleinen Batterie kommt es zum Zeitproblem. Ein Aufladen würde mindestens selbst an einem Schnelllader über eine Stunde dauern. Ein Fahrzeug, das unproduktiv ist mit seinen 3 Mitarbeitern pro Fahrzeug kostet pro Stunde ca. 150 € Kosten. Zusätzlich würden die Touren, auch wenn das Laden in der Mittagspause (abzüglich 30 Minuten) täglich eine halbe Stunde zusätzlich in Anspruch. Das würde sich schnell zu vielen Überstunden summieren und auch hier müsste man die Touren umplanen, um die Arbeitszeit einhalten zu können. Abgesehen davon ist bei einem Schnellladen von 12 Fahrzeugen gleichzeitig die maximale Strommenge, die durch unsere neue Trafostation abgerufen werden kann erschöpft (maximal 1500 kW). Die restlichen 300 kW müssen noch für den Betrieb des Geländes zur Verfügung stehen und sonst können keine weiteren Fahrzeuge geladen werden. Doch diese Energie brauchen wir um auch andere Fahrzeuge aus der Stadtreinigung zwischenzuladen. Zusätzlich ist ein Messkonzept notwendig, sowie die Infrastruktur dafür müsste hergerichtet werden, diese Umstände bringen auch nochmal hohe Investitionen mit sich. Auch wirkt sich so eine Spitze, die nur 30-50 Minuten am Tag gebraucht wird sehr negativ auf den resultierenden Strompreis als Mittelspannungskunde aus und verkürzt auch noch die Lebensdauer der Batterie. Das schnelle zusätzliche Tanken von Wasserstoff dagegen (ca. 10 Minuten für einen

vollen Tank von 16 kg) und das maximal 2 Mal die Woche, erzeugt die Mischung der Technologien, die notwendig ist um unsere Bedürfnisse und Anforderungen in der Abfuhr gerecht zu werden. So kann die Effizienz einer Batterie mit der Tankgeschwindigkeit von Wasserstoff kombiniert werden.

Ein Betrieb rein auf Wasserstoff lohnt sich aktuell auch nicht, da wir noch den günstigen Strom erhalten, ändert sich das aber, wie es bereits im privaten Bereich viele Haushalte trifft und es verdoppelt sich der Strompreis, dann wird eine eigene Produktion von Wasserstoff immer wichtiger. Aktuell ist der Wasserstoffpreis des frei erhältlichen Wasserstoffs auf dem freien Markt eng mit dem Strompreis verbunden, da grüner Wasserstoff nur durch den Strom von erneuerbaren Stromerzeugern hergestellt werden kann (Wasser, Wind, PV). Auch der graue Wasserstoff ist eng mit den Energiepreisen, hauptsächlich Erdgas, verbunden und dieser Preis ist mittlerweile noch wesentlich weiter angestiegen als der Strompreis. Durch den Bau einer eigenen Tankstelle mit eigener Erzeugung (PV-Anlage mit Elektrolyseur), können wir uns aus diesem volatilen Markt rausziehen und, solange alle Förderungen zugesagt werden und die Teile lieferbar bleiben, für wesentlich geringere Kosten Wasserstoff produzieren. Es wäre sogar dann wahrscheinlich den Strompreis, wenn dieser bei 50 Cent/kWh bleibt in Wasserstoffäquivalenten zu unterbieten. Das ist aber ein Folgeprojekt.

Aktuell ist ein hybridbetrieb in dem wir so viel wie möglich auf die Batterie setzen und den Wasserstoff so einsetzen wie es notwendig ist, die wirtschaftlichste Variante ohne einen Zeitverlust in der Tour zu erleiden.

2.4 Ökologischer Nutzen

2.4.1 Einsparung an Primärenergie

Eine direkte Einsparung auf die verbrauchte Energie lässt sich gegenüber Diesel schnell errechnen. Um einen Vergleich sichtbar zu machen, normieren wir den Verbrauch pro Woche auf kWh in Diesel, Wasserstoff und Strom und vergleichen diese.

Kraftstoff	kWh/kg	Wochenverbrauch in kg		Energieverbrauch
		oder kWh		
Diesel	12	215,8	kg	2589,6 kWh
Wasserstoff	33	47,4	kg	1565,8 kWh
Strom	1	711,6	kWh	711,6 kWh

Angabe	Anteil Strom	Anteil H2	Ergebnis
Mischbetrieb H2/Strom	60%	40%	1053,3 kWh
Einsparungen zu Diesel			1536,3 kWh

Über den aktuellen Mischbetrieb sparen wir wöchentlich über 60% (1536,3 kWh) der verbrauchten Energie gegenüber Diesel pro Fahrzeug ein.

2.4.2 Reduktion der CO₂-Emission

Die CO₂-Emissionen können genauso errechnet werden.

Kraftstoff	Emissionsfaktor	Wochenverbrauch in kg	Energieverbrauch
Diesel	2,65	215,8	571,9 kg
Wasserstoff (grau)	7,33	47,4	347,8 kg
Wasserstoff (grün)	0	47,4	0,0 kg
Strom	0,375	711,6	266,9 kg
Angabe	Anteil Strom	Anteil H2	Ergebnis
Mischbetrieb H2 (grau)/Strom	60%	40%	299,2 kWh
Einsparungen zu Diesel			272,6 kg
Mischbetrieb H2 (grün)/Strom	60%	40%	160,1 kWh
Einsparungen zu Diesel			411,8 kg

Mit grauem Wasserstoff, wie es ihn an der Tankstelle zu kaufen gibt sparen wir gegenüber Diesel 272,6 kg CO₂ wöchentlich und pro Fahrzeug ein. Eine Reduktion um fast 50%. Steigen wir auf den eigen produzierten Wasserstoff aus erneuerbaren Energien mit 0 Emissionen um, dann sparen wir sogar 411,8 kg CO₂ wöchentlich und pro Fahrzeug ein. Eine Reduktion um über 70%.

Ein weiterer Aspekt ist die Reduktion der Schallemissionen. Während ein Dieselmotor sehr laut werden kann und vor Allem im Stand zum Betrieb der Nebenantriebe (Schüttung und Hydraulik für das Heben der Abfalleimer) besonders hohe Lautstärken (80-100 dB je nach Entfernung zum Motor) emittiert, kann das Wasserstofffahrzeug sehr leise, sogar fast geräuschlos seine Nebenantriebe steuern. Auch die sonstige Fahrt im Stop&Go-Betrieb macht es besonders angenehm für unsere Mitarbeiter. Aber auch gerade für die Anwohner, die bei frühen Touren nun nicht um 06 Uhr morgens bereits laute Fahrzeuggeräusche hören müssen, ist dies ein wesentlicher Vorteil. Auch wenn das Fahrzeug kaum noch Geräusche macht, bleibt ein Grundgeräuschpegel von der sonstigen Arbeit (Tonnen heranziehen, Klappen öffnen, etc).

2.5 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

2.5.1 Investitionskosten

Die Kosten der Fahrzeuge sind in Punkt 2.1.3 bereits genannt. Es kommen noch Kosten für die Einrichtung einer Lademöglichkeit dazu, die aber unerheblich bei der Investitionssumme sind.

Ohne eine Förderung ist eine Investition in Wasserstoff MKWs aktuell weit entfernt von einer Wirtschaftlichkeit. Die geringeren Betriebskosten können leider nicht die hohen Beschaffungskosten ausgleichen. Vergleicht man nur die Anschaffungskosten, kostet ein Wasserstoff-MKW ca. 3,5 Mal so viel wie ein Diesel-MKW.

2.5.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten der Fahrzeuge sind auf Grund von geringerer Teilanzahl und geringerem Verschleiß, auf Grund der geringerer Beanspruchung in den Motorprozessen, bis jetzt günstiger. Eine belastbare Aussage dazu wird aber erst in 5-6 Jahren, nach dem ein Abschreibungszyklus, möglich sein.

H2 Fahrzeug Monitoring

Stand: 29.09.2022

Kostenarten	Diesel FR-SR 944		H2 FR-SR 950		H2 FR-SR 951	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
AfA Sachanlagen	34.144 €	25.608 €	15.956 €	20.513 €	15.617 €	20.078 €
Ersatzteile	2.062 €	1.438 €	3.101 €	904 €	2.161 €	18 €
Kfz-Aufw. (Sonstige)	299 €	174 €	52 €	4 €	56 €	4 €
Kfz-Aufwand (Repar.)	983 €	3.153 €		115 €	3.357 €	194 €
Lager (Entnahme)	5 €	6 €	1.460 €	73 €	1.467 €	176 €
Schmierstoffverbr.				297 €	1.570 €	1.852 €
Treibstoffverbrauch	12.567 €	11.764 €	523 €	3.073 €	1.861 €	3.616 €
Vers. Kfz	1.779 €	2.120 €	1.008 €	2.120 €	934 €	2.120 €
Kfz-Steuer	556 €	556 €				
LV Kfz-Monteur	970 €	1.476 €				
Gesamtkosten	53.366 €	46.295 €	22.100 €	27.099 €	27.023 €	28.057 €
Treibstoffverbrauch in Liter	10.950 L	7.321 L				

Inklusive der Förderungen sind die Wasserstofffahrzeuge im Unterhalt sehr viel günstiger, aber auch wenn man den Abschreibungsvorteil nicht berücksichtigt, sind diese bis jetzt im Vergleich mit einem ähnlich jungen Dieselfahrzeug günstiger. Das ist vor Allem in der Ersparnis im Treibstoff und sonstigen Reparaturen zu sehen. Der Steuerwegfall trägt auch dazu bei, wird aber auf Dauer sicher nicht existieren.

2.5.3 Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

Sollte es keine Förderung für die Fahrzeuge geben, müsste sich der Anschaffungspreis stark reduzieren, um 45-65%, auch wenn sonstige Betriebskosten grundsätzlich viel geringer sind, um eine Wirtschaftlichkeit für diese Fahrzeuge herzustellen. Wir gehen aber davon aus, dass die Anschaffungspreise mit dem Markthochlauf und einer Normalisierung des Zuliefermarktes in den nächsten Jahren stark fallen werden.

H2 Fahrzeug Monitoring fiktiv mit Maximalpreis auf das ganze Jahr hochgerechnet

Preis Einkauf für Konkurrenzfähigkeit ohne Förderung im Maximum

350.000,00 €

	Diesel FR-SR 944	H2 FR-SR 950
Kostenarten	2026	2026
AfA Sachanlagen	37.558 €	50.000 €
Ersatzteile	1.438 €	904 €
Kfz-Aufw. (Sonstige)	174 €	4 €
Kfz-Aufwand (Repar.)	3.153 €	115 €
Lager (Entnahme)	6 €	73 €
Schmierstoffverbr.		297 €
Treibstoffverbrauch	24.090 €	18.741 €
Vers. Kfz	2.120 €	2.120 €
Kfz-Steuer	1.112 €	
LV Kfz-Monteur	1.476 €	
Gesamtkosten	71.128 €	72.254 €
Treibstoffverbrauch in Liter	10.950 L	

Um die Fahrzeuge vergleichbar zu machen wurden alle Werte auf das fiktive Jahr 2026 hochgerechnet und der Dieselpreis von 2,2 € angenommen. Für den Strompreis wurden 50 Cent angenommen und der Wasserstoff würde für 8,3 Euro von uns produziert werden. Das Verhältnis zwischen der Betankung Strom und Wasserstoff ist 50:50. Damit wäre das H2-Fahrzeug gegenüber der Dieselvariante zumindest ab einem Einkaufspreis von 350.000 € konkurrenzfähig. Sollten sich die Preise anders entwickeln müssen wir versuchen noch niedrigere Produktionskosten bei Wasserstoff und Strom zu generieren.

3 Wirkung der Umsetzung

3.1 Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb

Der Betrieb bleibt weitgehend gleich, was für uns eine positive Entwicklung ist, da sich sonst das ganze Personal umstellen müsste. Das Tanken der Fahrzeuge mit Wasserstoff bedeutet einen kleinen Umweg, ist aber tragbar. Zusätzlich müssen die Fahrzeuge jeden Abend durch das Personal an die Ladestation geschlossen werden. Aber auch dies ist ein kleiner Umstand und stört oder verändert den Betriebsablauf nicht wirklich.

3.2 Weiterführende, resultierende Maßnahmen

Der Betrieb der Fahrzeuge und die Entwicklungen auf dem Energiemarkt haben uns darin bestärkt eine eigene Wasserstoffproduktion aufzubauen und mehr Fahrzeuge dieser Art zu besorgen.

3.3 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

Für andere Abfallwirtschaften oder kommunale Betriebe mit größeren Fahrzeugflotten ist unsere Erfahrung über Kosten, Betriebszeiten, Eigenschaften, Förderung etc. besonders interessant, um selber Entscheidungen in dieser Richtung zu treffen.

4 Öffentlichkeitsarbeit

4.1 Führungen und Vorträge

Es gab bei diversen Veranstaltungen Vorstellungen zu unseren Fahrzeugen. Die letzte Präsentation war bei TRION Wasserstoffkonferenz im Sommer 2022 an der französischen Grenze bei der sich Frankreich, Schweiz und Deutschland zu dem Thema Wasserstoffwirtschaft ausgetauscht haben.

4.2 Flyer, Presse, Veröffentlichungen

Es erschienen mehrere Artikel und Pressemitteilungen zu den Fahrzeugen in der regionalen Presse (BZ), bekannten Portalen wie elektrive.net und Regierungswebseiten

5 Zusammenfassung/Fazit

Die Anschaffung der Wasserstofffahrzeuge ist aus unserer Sicht ein Schritt in die richtige Richtung, vor Allem wenn es um Klimaneutralität geht. Wirtschaftlich gesehen ziehen diese Fahrzeuge unter der Bedingung einer Förderung auch noch eine positive Bilanz. Fällt diese weg muss sich der Preis stark senken. In einem entsprechenden Gesamtkonzept kann aber auch unter Berücksichtigung der aktuellen Rohstoffsituation eine autarke Treibstoffproduktion sich so positiv auswirken, dass auch kostenintensivere Anschaffungspreise weiter lohnenswert sein können.

6 Ausblick

Die ASF wird sich weiter im Bereich klimaneutrale Fahrzeuge engagieren und ein Gesamtkonzept zur emissionsfreien Fahrzeugflotte verfolgen, um so spätestens 2030 keine Dieselfahrzeuge mehr betreiben zu müssen. Dieses Ziel ist natürlich von vielen Aspekten außerhalb des Einflussbereichs der ASF abhängig, aber wird im Rahmen des Möglichen verfolgt.

7 Anlage: Projekterkenntnisse

Darstellung drei wesentlicher Erkenntnisse aus dem Projekt.

(Je Punkt maximal 300 Zeichen.)

1.	Eine Umstellung auf klimafreundliche Antriebe ist mit wesentlicher Infrastruktur und hohen Investitionen verbunden. Probeweise ist das nicht möglich, nur ein Commitment zu einer Strategie macht es wirtschaftlich und umsetzbar.
2.	Die Verkehrswende darf sich nicht auf eine Technologie oder einen Weg beschränken. Es gibt viele Technologien mit Ihren Vor- und Nachteilen, je nach Stärken müssen diese Technologien neben einander existieren können.
3.	Es gibt viele positive Aspekte, die klimaneutrale Fahrzeuge mit sich bringen, aber es sind viele Akteure notwendig (Regierung, Hersteller, Kunden, Energielieferanten etc.), damit diese infrastrukturintensive Verkehrswende funktioniert und auch Kunden den tatsächlichen Nutzen und die positiven Effekte erfahren können.