

hy.muve

Hydrogen Driven Municipal Vehicle

Scope of project

A fuel cell driven cleaning vehicle is investigated in this project. The three main tasks are the development of a dynamic computer model of such an application, based on the system performance in its practical use. The second task is integration of the fuel cell system into the hydraulic drive, including the development of the control strategies needed and as third task the development of a market introduction strategy and the demonstration and field testing across Europe. The vehicle will be operated at 2 – 3 geographical locations during different seasons.

Goals and activities

Within the first project phase the following work has been completed in July 2007.

System analysis of existing vehicle

The drive train of the actual diesel version of the CityCat2020 was analysed in detailed tests. Different efficiency maps were recorded for the diesel engine as well as for the three different hydraulic systems of the vehicle. The efficiency of the hydraulic system that propels the vehicle is between 20 and 60% giving a maximum power of 28 kW to the wheels while the diesel engine is giving 55 kW. In cleaning operation, the vacuum ventilator consumes more energy than the vehicle actuation.

Out of this analysis it was decided to replace the two main hydraulic systems by electric drives to increase efficiency.

Simulation of fuel cell drive train

A simulation tool was built such that different concepts of fuel cell drive trains can be analysed and optimised for efficiency, size, performance and efficiency of all components mainly fuel cell system and battery but also motors, DC/DC con-

verters, etc., were varied to find energy optimal solutions for the given daily load patterns.

For different assumptions concerning battery loading and actual driving strategy simulations were run to optimise fuel cell and battery size to achieve optimally low fuel consumption. As final design freeze a fuel cell size of 20 kW, a battery size of 12 kWh and a main voltage of 148 V was chosen.

Vehicle build up

For all components appropriate products need to be found and chosen and detailed construction work takes place to incorporate them in the vehicle.

In parallel the automatic control that manages all the components and signals of the electric drive train as driver input, state of charge, fuel cell output and status etc. is built up. This also includes the monitoring logic necessary to observe the vehicles usage and fuel cell ageing.

The vehicle should be on its wheels in July 2008 and possibly be delivered after the testing phase to the first city in November 2008.



The CityCat 2020.

Main Investigator
Martin Weilenmann, Empa

Project Partners
Empa
University of Berne
PSI
Bucher
Proton Motors

Kommunalfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb

Dauer: 4 Jahre (Juni 2006 bis Juni 2010)

Problemstellung: Auf dem Weg zur Einführung von Wasserstofftechnologie und Brennstoffzellen-Antrieb im Strassenverkehr ist das Sammeln praktischer Erfahrungen für Forschungseinrichtungen, Fahrzeughersteller, Zulieferfirmen und die Öffentlichkeit ein entscheidender Schritt.

Derzeit testen verschiedene Automobilkonzerne Brennstoffzellen-Antriebe in Personenwagen und Bussen. Wegen der hohen Ansprüche an die Leistungsdynamik und Konkurrenzfähigkeit ist in diesem Bereich nicht vor 2012 mit einer Markteinführung zu rechnen.

Einführung von Brennstoffzellen über Nischenmarkt

Unser Projekt strebt die Einführung von Brennstoffzellen über einen Nischenmarkt an. Das besondere Leistungsprofil kommunaler Reinigungsfahrzeuge macht diese für den Einbau eines Brennstoffzellen-Antriebs und für eine allfällige frühe kommerzielle Serienproduktion besonders interessant. Diese Fahrzeuge werden ausschliesslich durch geschultes Personal betrieben, verkehren immer von der gleichen Basis/Auftankstation aus, haben bescheidene Fahrleistungsansprüche und operieren mehrheitlich im Teillastbetrieb. Der Antrieb macht einen relativ kleinen Teil der Gesamtkosten aus und als emissionslose Brennstoffzellen-Fahrzeuge könnten sie auch in Fussgängerpassagen und sogar innerhalb von Gebäuden eingesetzt werden.

Weltmarktführer als Industriepartner

Mit der Firma Bucher-Guyer AG konnte der weltweit führende Hersteller von Kommunalfahrzeugen für Reinigung und Schneeräumung als Projektpartner gewonnen werden. Zusammen mit einem Brennstoffzellen-Lieferant soll auf Basis des aktuellen – dieselgetriebenen – Modells ein Prototyp entwickelt werden, dessen Brennstoffzellen-Antrieb die Leistungsanforderungen (Drehmoment, Reichweite etc.) für die verschiedenen Einsatzsituationen erfüllt. Dazu müssen die nötigen Leistungsdaten ermittelt und damit ein neuer Brennstoffzellen-Antrieb konzipiert werden. Die Komponenten müssen zudem so angepasst und angeordnet werden, dass sie in das Basismodell integriert werden können.

Alltagstauglichkeit demonstrieren

Die Testphase umfasst 18 Monate Alltagseinsatz bei Partnern in verschiedenen Städten sowie Labortests bei der EMPA. Aufgrund der Erfahrungen bezüglich Wartungsaufwand, technischer Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Verbrauch können Schwachpunkte aufgedeckt und Verbesserungen entwickelt werden. Die Prüfstandmessungen (unter verschiedenen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen) erlauben schliesslich einen systematischen Vergleich mit dem dieselgetriebenen Modell.

Forschungsprojekt hy.muve:

Über die Präsenz der Fahrzeuge wird der Öffentlichkeit auch vermittelt, dass Wasserstoff sicher und effizient eingesetzt werden kann.

Forschungsprojekt hy.muve:

Ziele:

Das Projekt soll

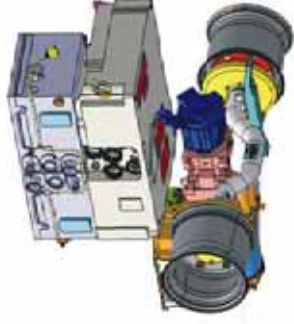
- die technischen Probleme lösen, die sich bei einem Brennstoffzellen-Antrieb für den Einbau in ein Kommunalfahrzeug stellen: Wirkungsgrad, Verbrauch, Kosten, Integration in das Fahrzeug (Einbaugröße, Kühlung, Elektrik etc.).
- im Langzeit-Test Erfahrungen liefern zu Leistungskurve und Lebensdauer sowie zu Handling und Unterhalt des Brennstoffzellensystems. Insbesondere sollen Einflüsse erkannt und gewichtet werden, welche die Lebensdauer der PEM-Brennstoffzellen einschränken (z.B. Verschmutzungen in Treibstoff oder Luft, technische Mängel).
- eine Strategie entwickeln zur Markteinführung von wasserstoffgetriebenen Fahrzeugen. Diese soll alle beteiligten Akteure, Hemmnisse und Risiken berücksichtigen. Die dazu verfügbaren Studien beruhen mehr auf Expertenmeinungen und Schätzungen als auf Langzeit-Testerfahrungen.
- die im Rahmen dieser Zusammenarbeit gemachten Erfahrungen (technische Entwicklung, Abläufe, Zusammenarbeit, Kommunikation) sammeln, überprüfen und für weitere Projekte nutzbar machen.

hy.muve ein wasserstoffbetriebenes Kommunalfahrzeug

Christian Bach
Abteilungsleiter Verbrennungsmotoren

Verdopplung Effizienz + Null-Emissionen

Projekt-Idee



Kommunalfahrzeug

Brennstoffzellenantrieb



- Einsatz in sensiblen Bereichen (Fussgänger, Hallen)
- Neue Technologien erlauben Innovationen
- „Kondensationskern“ für Wasserstofftechnologien in der Praxis

BUCHER

PM
PROTON MOTOR
Proton Power Systems plc Group

BRUSA
energy-efficient η η η η η

ERUN

MESSER



ccm.ch

u^b

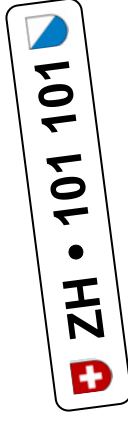
UNIVERSITÄT

PAUL SCHERRER INSTITUT
PSI

EMPA

Vom Labor auf die Strasse

Fahrzeug-Zulassung



Zulassung des Fahrzeuges basierend auf:

- **Komponentenprüfung**
(Gasflaschen, Ventile, Druckregler, Inertisierungssystem)
- **BZ-Systemabnahme**
(Ex-Zonendefinition, Überwachung, Belüftung, Abschaltung)
- **BZ-Systemintegration**
(Ex-Zonen, Überwachung, Betankung, Leitungsführung, Betrieb)
- **Elektroantrieb**
(300 VDC, Überwachung, LiPo-Batterien, Berührung, Crash)
- **Technische Abnahme des Fahrzeuges**
(Lenkung, Bremsen)



swisselectric



BUCHER



Vom Labor auf die Strasse

Kommunikations-Gruppe

Gemeinsame Sprache:

- Gegenseitige Information über Events
- Mehrmalige Nutzung von Informationsmaterialien, Postern, Flyern, ...
- Koordination lokaler und nationaler Kommunikationsaktivitäten (Verstärkungseffekte)
- Austausch von Erfahrungen mit Stakeholdern



Vom Labor auf die Strasse

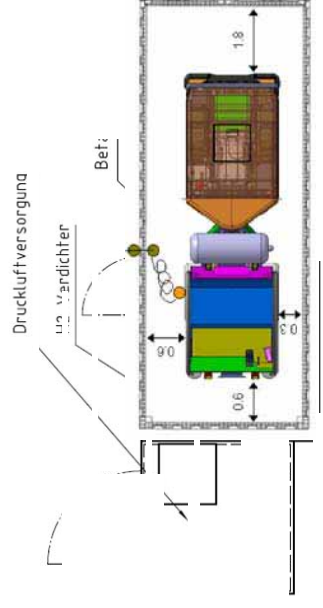
Garagierung / Betankung



suva



BUCHER

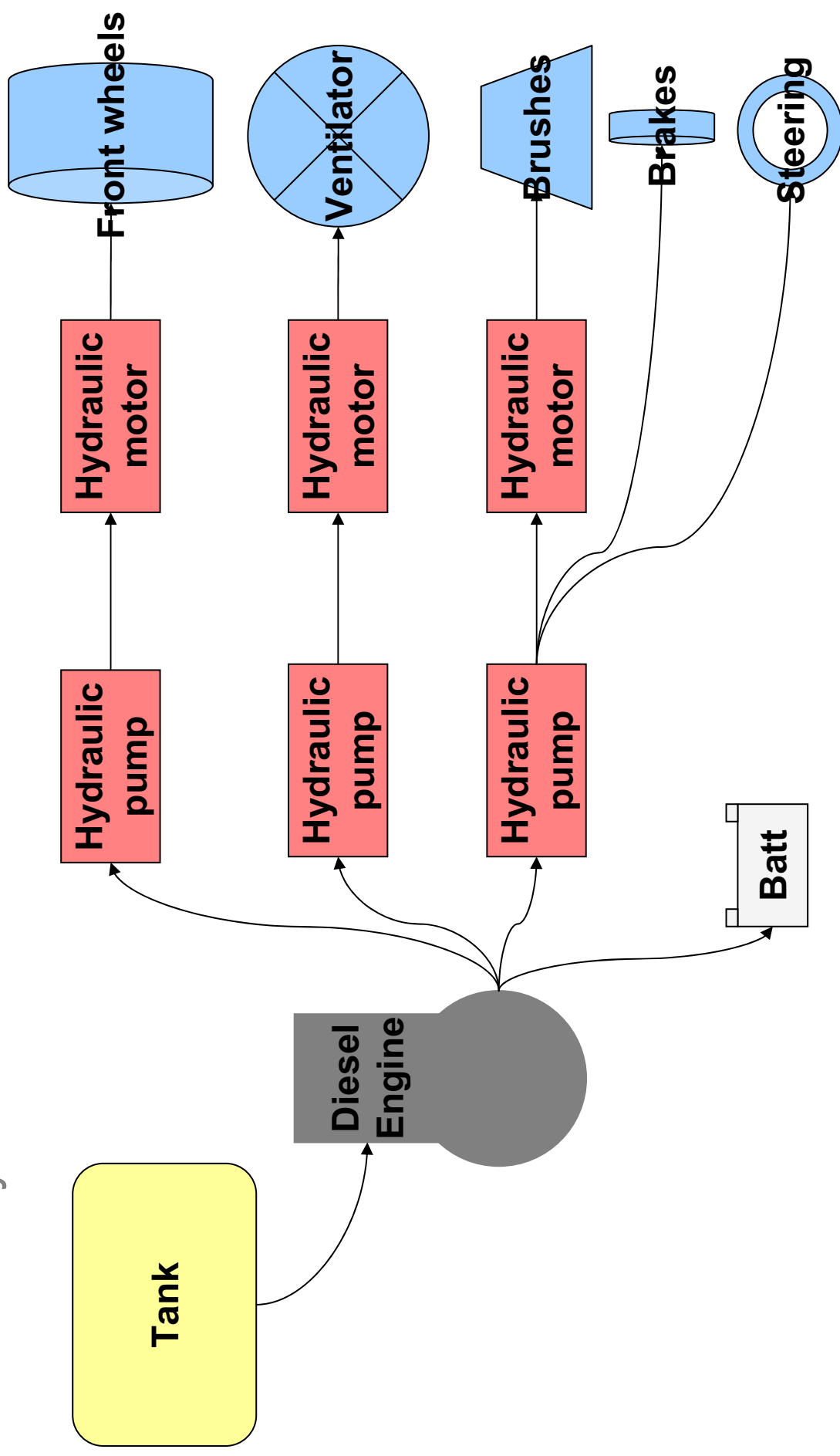


12 - Trailer



Das aktuelle Fahrzeug

Diesel-Hydraulik-Antrieb



Analyse des bestehenden Antriebs

Bestimmung des Wirkungsgrads einzelner Komponenten

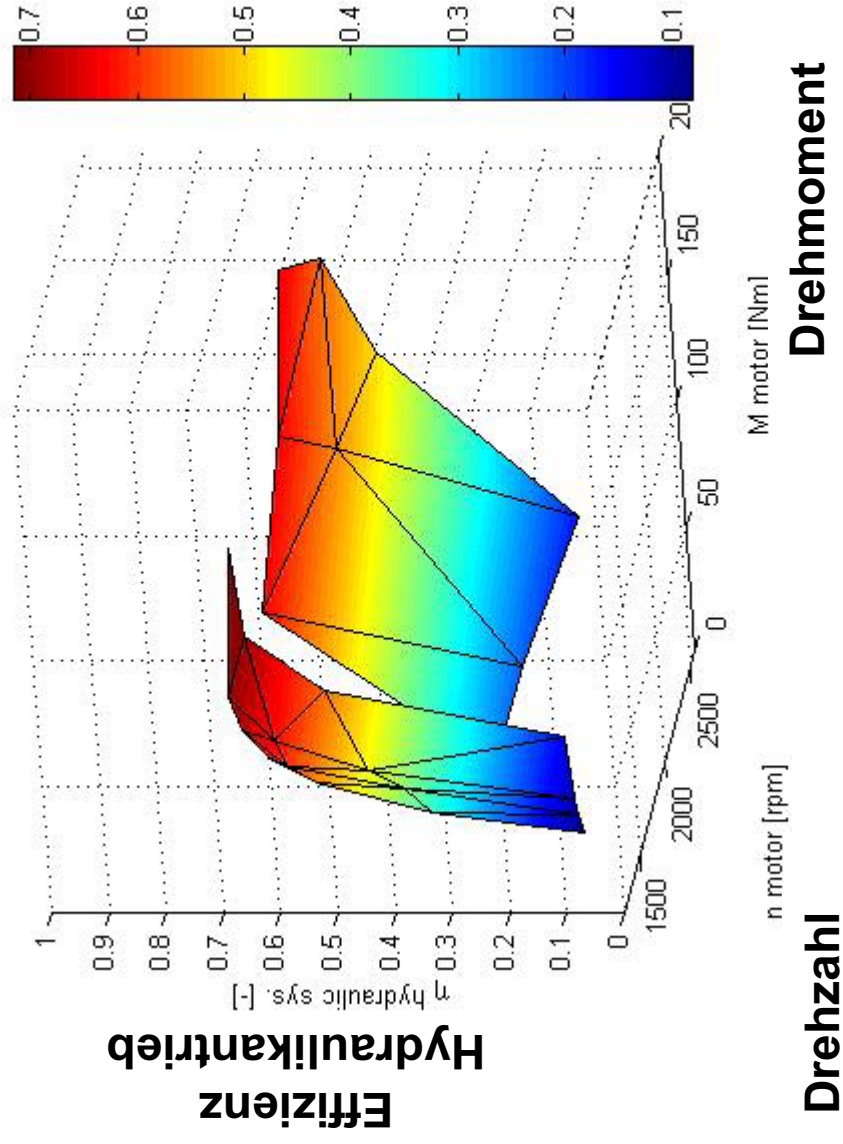


**Energetische
Untersuchungen
auf dem
Rollenprüfstand**

BFE-Besuch vom 05.12.2008 | hy.muve-Präsentation Christian Bach

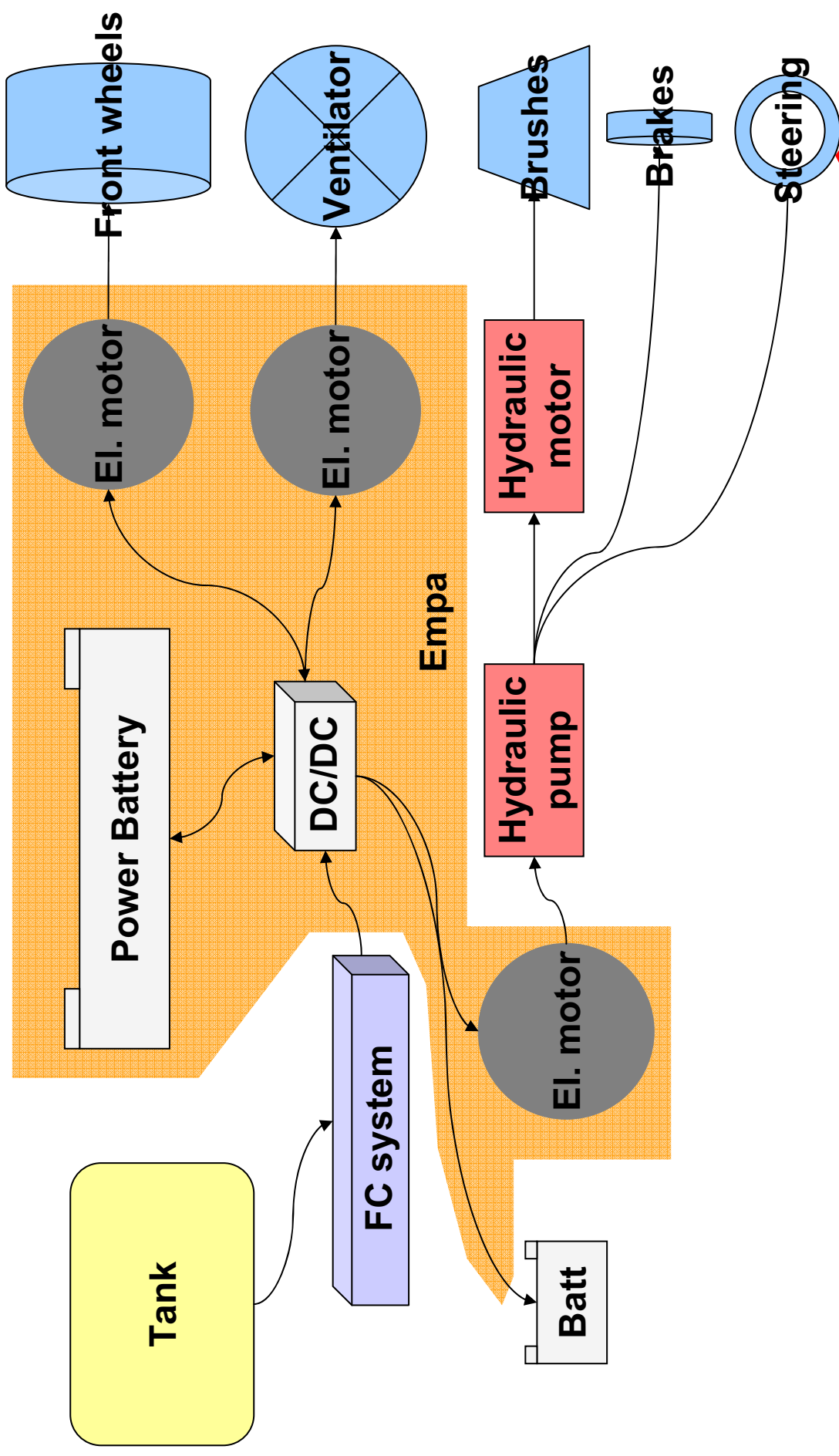
Analyse des bestehenden Antriebs

Wirkungsgradkennfeld Hydraulikantrieb



Der neue Antrieb

BZ/Batterie-Elektro-Antrieb



Spezifizierung der Komponenten

Längsdynamikmodell

Geschwindigkeitsprofil

- 20% Transferfahrten
- 80% Reinigungsfahren

+

Topografisches Profil

Annahme: Steigungsverteilung des Kantons Zürich

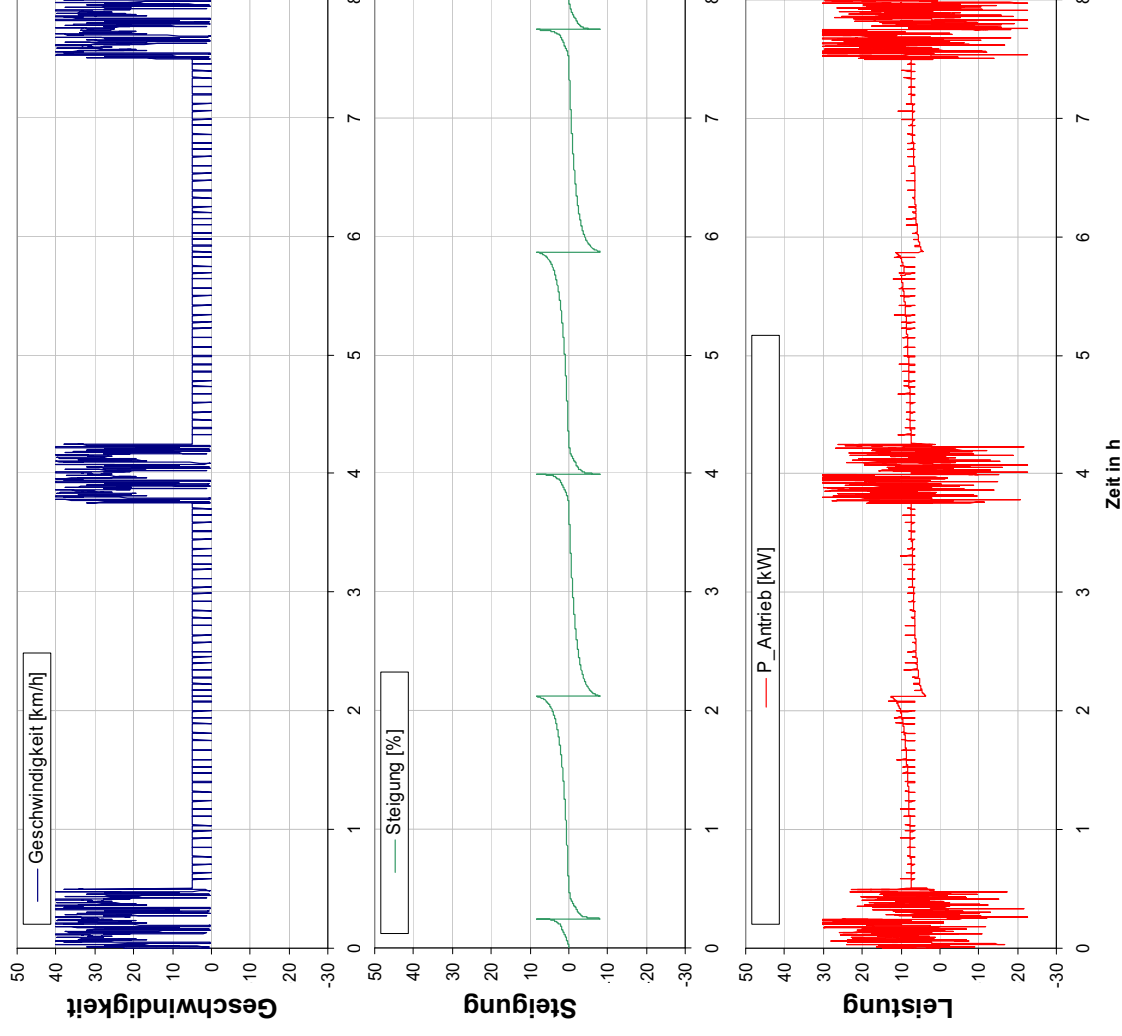
=

Leistungsbedarf Antrieb

daraus abgeleitet:

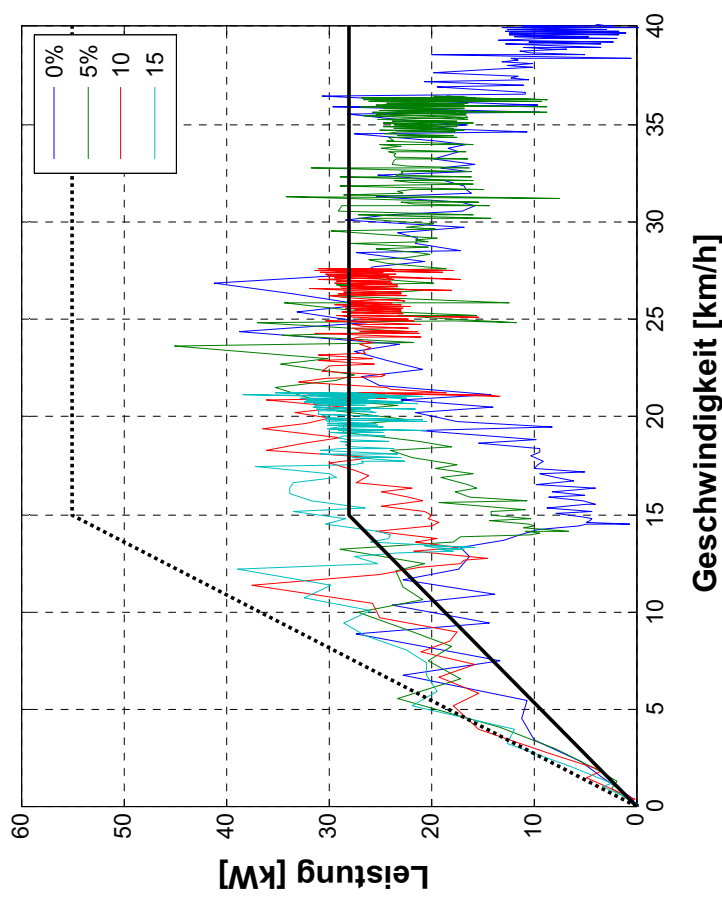
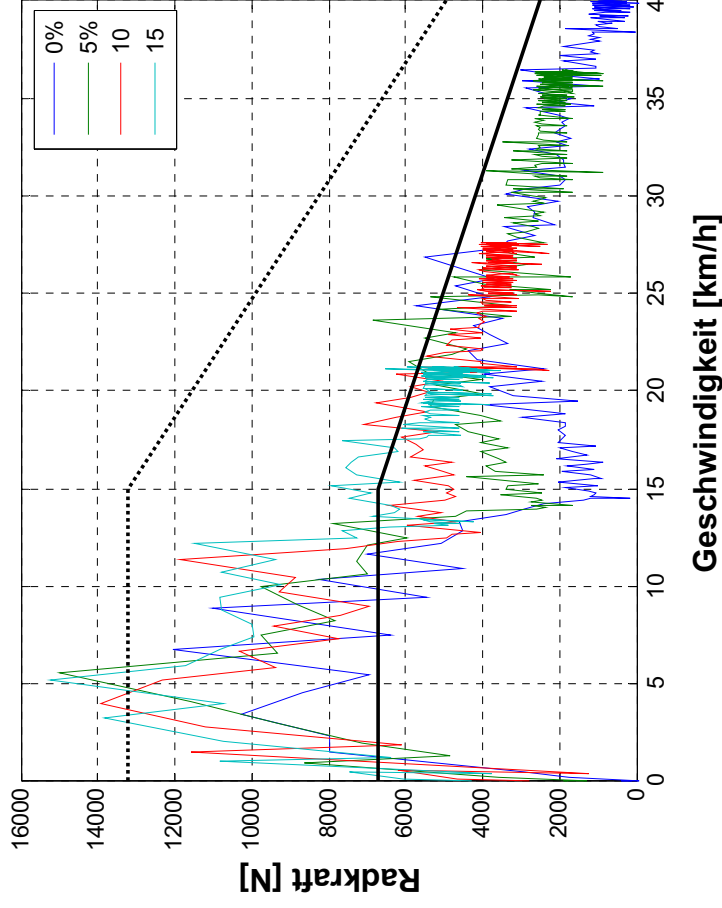
- Leistungsverteilung
- Energiespeicherung
- Kühlbedarf

- ...



Spezifizierung der E-Motors für Fahrantrieb

Drehmoment- und Leistungsanforderungen

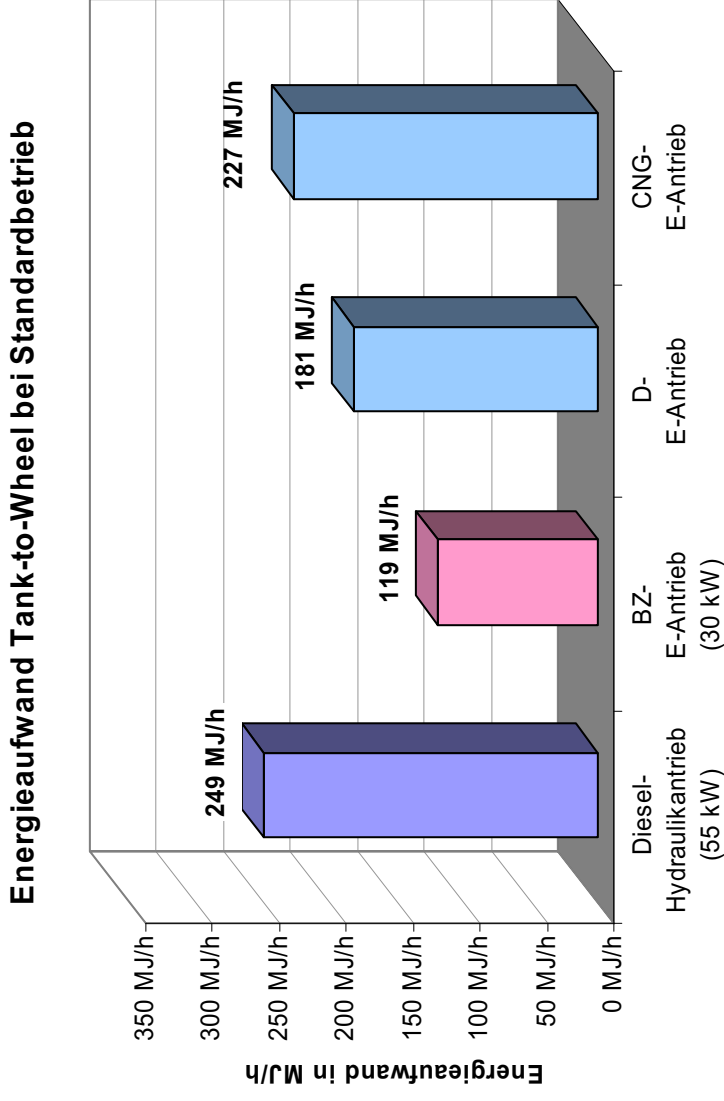


Diesel/Hydraulikantrieb: 55 kW @ 2'800 U/min

BZ/Elektroantrieb: 28 kW @ 3'500 U/min (Faktor 2 kurzzeitige Überlast)

Energieaufwand

Halbierung des energetischen Verbrauchs (TTW)

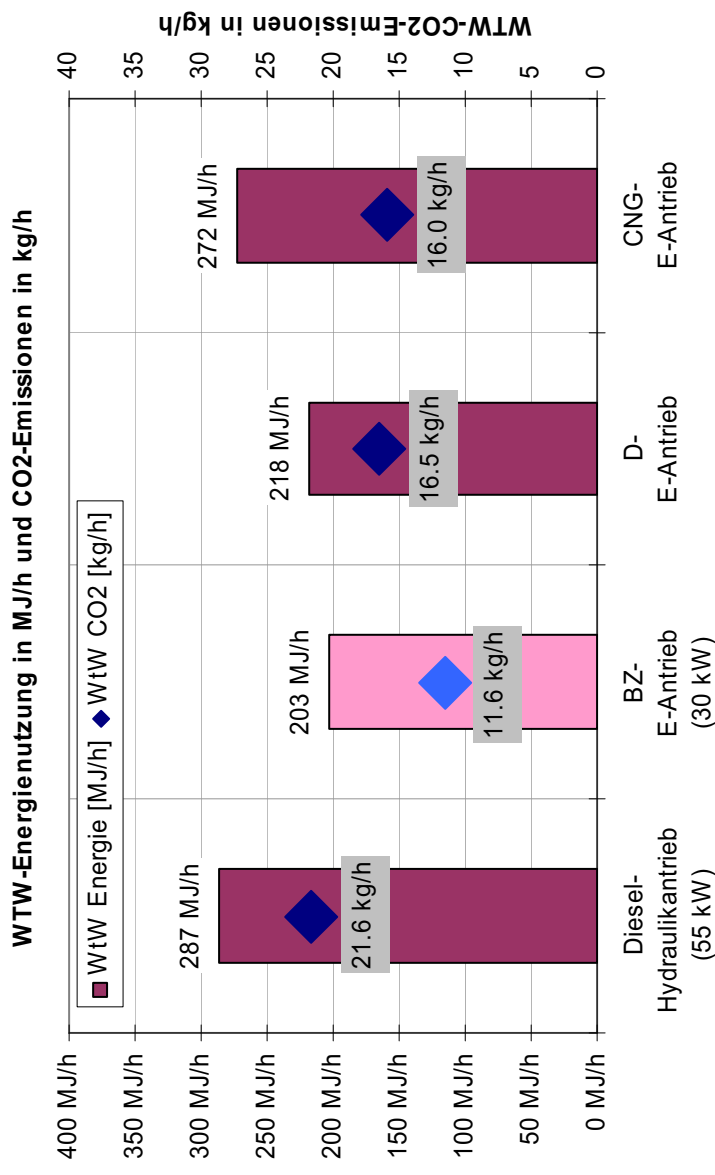


Diesel/Hydraulikantrieb: 249 MJ/h

BZ/Elektroantrieb: 119 MJ/h (48%)

Well-to-Wheel-Betrachtung

Konventionelle H₂-Produktion aus Erdgas



Der gewählte Antrieb erreicht trotz dem grossem Aufwand für H₂-Produktion den **niedrigsten Energieverbrauch** und die **niedrigsten CO₂-Emissionen**.

Praxiserprobung

Technologische und sozio-ökonomische Begleitforschung



März 2009 – Sept. 2009 (Vertrag unterzeichnet)
Der städtische Einsatz



Okt. 2009 – Jan. 2010 (Stadtratsbeschluss erfolgt)
Der Einsatz im Winter (SG), Fussgängerbereich (BE)

**Noch
offen**

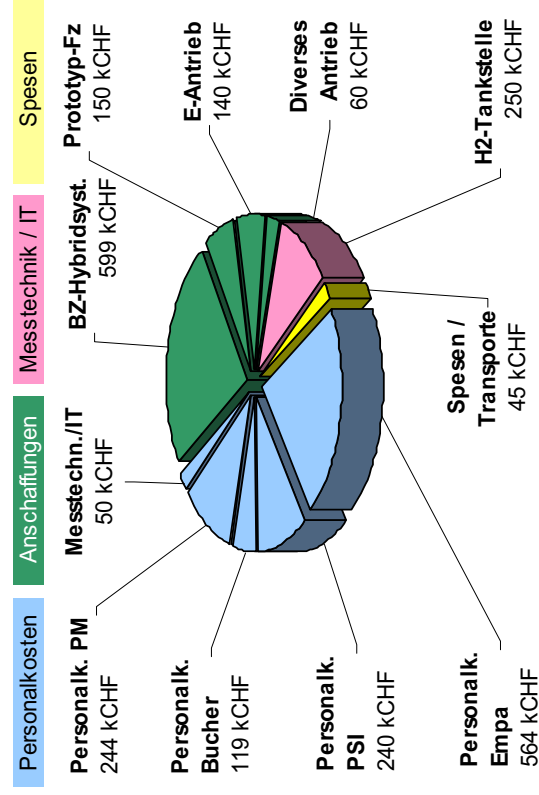
Juni 2009 – Dezember 2009 (Div. Gespäche laufen)
z.B. Indoor-Einsatz (Hallen, ...)

Projekt-Finanzierung

Kosten und Finanzierung

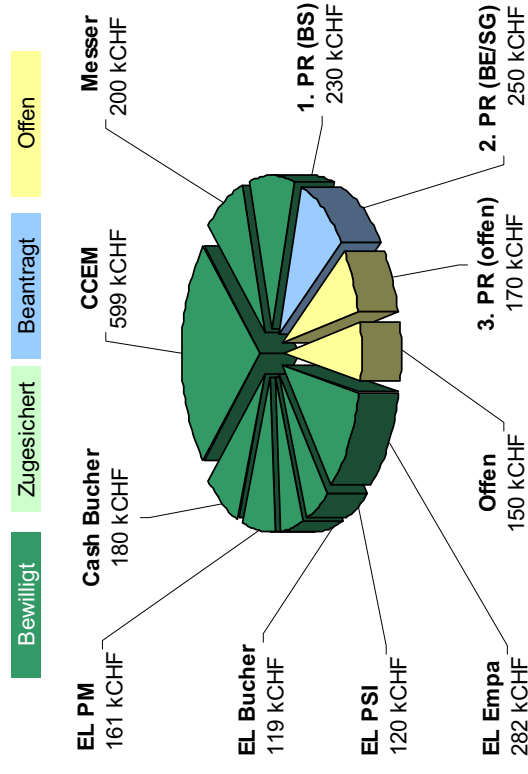
Projektkosten

Gesamtkosten: 2'461 kCHF



Finanzierung

Gesamtkosten: 2'461 kCHF



CCEM: 600 kCHF
 Industrie: 660 kCHF
 PR: 650 kCHF
 Empa/PSI: 402 kCHF
 Offen: 150 kCHF

Zusammenfassung

Warum braucht es das hy.muve-Projekt

- Die BZ-Forschung ist in CH gut etabliert, ebenso die Elektrotechnik (Leistungselektronik). Die Umsetzung der CH-Technologien in strassentaugliche Fahrzeuge in Zusammenarbeit mit Fahrzeug-Industrie ist „unterentwickelt“.
- Wissen und Regeln bezüglich Zulassung von Fahrzeugen und Wasserstoff-Betankungssystemen fehlt in der Praxis fast vollständig (dafür gibt es diffuse Ängste und Bedenken).
- Es gibt viel Interesse an H₂-Fahrzeugen an der Basis – jedoch kaum die Möglichkeit, solche Fahrzeuge in der Realität einzusetzen.
- Im Projekt konnten bis auf das BZ-System ausschliesslich CH-Komponenten verbaut werden.
- **Ausblick:**
 - Dissertation LE Gesamtsystem (SP: Rekuperation) in Planung
 - JTI-Projekt (Integration in Next.hy.lights-Projekt unter LBST/AVL)
 - H₂-ICE Range-Extender-Projekt mit Volkswagen in Anbahnung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

christian.bach@empa.ch



hy.muve

DIE 2000-WATTGESELLSCHAFT

hy.muve ist der Projektname für ein Kehrfahrzeug, das mit Wasserstoff angetrieben wird. Das Fahrzeug CityCat H2 wurde von der Empa, dem Paul Scherrer Institut (PSI), Bucher Schörling und Proton Motor entwickelt und wird in der «2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel» für ein halbes Jahr im realen Betrieb eingesetzt.

Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen werden seit längerer Zeit als eine der möglichen Antriebstechnologien für die zukünftige Mobilität diskutiert. Die Idee dahinter: Erneuerbar erzeugter Wasserstoff (also Wasserstoff, der kohlenstofffrei und ohne Verbrauch endlicher Ressourcen erzeugt wurde) wird mit einem elektrischen Fahrzeugantrieb kombiniert – einem Fahrzeugantrieb notabene, der einen hohen Wirkungsgrad aufweist. Technisch keine einfache Aufgabe, denn das Brennstoffzellensystem und der Elektroantrieb müssen in vielen Details betriebsabhängig aufeinander abgestimmt werden; zudem müssen etliche Betriebs- und Sicherheitsvorkehrungen wie auch Garagierungs- und Betankungskonzepte erarbeitet werden. Ein Kehrfahrzeug ist ideal, um diese Antriebstechnologie vom Labor auf die Strasse zu bringen.



WELTNEUHEIT

Das Projekt hy.muve (für «Hydrogen-Driven Municipal Vehicle», also wasserstoffbetriebenes Kommunalfahrzeug) ist ein Pilotprojekt des Kompetenzzentrums für Energie und Mobilität des ETH-Bereichs (CCEM). Es ist das weltweit erste Kommunalfahrzeug mit Wasserstoffantrieb, das derart in der Praxis erprobt wird. Dies geschieht ab Frühjahr 2009 während sechs Monaten in Basel im Rahmen des Novatlantis-Projektes «Erlebnisraum Mobilität», als Teil der Aktivitäten der 2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel.

Nebst seiner eigentlichen Aufgabe, der Strassenreinigung, hat der Einsatz des Fahrzeuges als Forschungsobjekt zum Ziel, das Betriebs- und Alterungsverhalten des Brennstoffzellensystems unter realen Bedingungen aufzuzeigen sowie Erfahrungen im ganz normalen Betrieb in der Praxis zu sammeln. Diese Studien sollen aufzeigen, wie technische und nicht-technische Hürden für die Einführung von Wasserstofffahrzeugen gemeistert werden können. Dabei geht es um Fragen zur Akzeptanz von Wasserstoff als Treibstoff oder um marktwirtschaftliche Fragen.

OPTIMALER EINSATZ VON WASSERSTOFF IM KEHRFAHRZEUG

Mit Wasserstoff betriebene Kehrfahrzeuge haben den Vorteil, dass sie bereits mit einer einzigen Wasserstofftankstelle sinnvoll eingesetzt werden können; zudem eignen sie sich aus energetischen und betriebstechnischen Gründen sehr gut für derartige Antriebe. Kehrfahrzeuge weisen zwei unterschiedliche Betriebsarten auf, die sich grundlegend unterscheiden: die hochlastige Fahrt vom Depot zum Einsatzgebiet und zurück und die niedriglastige, langsame Reinigungsfahrt. Der Brennstoffzellenantrieb weist insbesondere bei der

niedriglastigen Reinigungsfahrt einen wesentlich höheren Wirkungsgrad auf als konventionelle Dieselmotoren. Computersimulationen haben gezeigt, dass der energetische Verbrauch im Vergleich zu einem dieselmotorisch betriebenen Fahrzeug halbiert werden kann. Zudem stösst ein so angetriebenes Fahrzeug keine Schadstoffe aus und erlaubt damit auch den Einsatz in geschlossenen Gebäuden oder Fussgängerzonen.

HEUTE CO₂-ARM, KÜNFTIG CO₂-FREIG

Heute wird Wasserstoff vorwiegend aus Erdgas (Dampfreformierung) hergestellt. Dabei entsteht gleich viel CO₂ wie bei der Verbrennung von Erdgas, allerdings ist der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle wesentlich höher als derjenige von Verbrennungsmotoren, so dass unter dem Strich deutlich weniger CO₂ ausgestossen wird. Die meisten Kehrfahrzeuge werden heute mit Diesel betrieben; würde die Wasserstoffversion eingesetzt werden, könnten rund 40% der CO₂ Emissionen eingespart werden. Zukünftig soll Wasserstoff zudem regenerativ, d.h. ohne Einsatz fossiler Energieträger hergestellt werden (z.B. mit Windkraft, Photovoltaik). Dadurch könnte noch viel mehr CO₂ eingespart und eine weitgehend unabhängige Energieversorgung garantiert werden.

FÜHRUNGEN ZUM HY.MUVE-KEHRFAHRZEUG

Möchten Sie Genaueres zum hy.muve-Kehrfahrzeug erfahren – und es sogar besichtigen? Ab Juni 2009 werden periodisch Führungen zum hy.muve durchgeführt. Mehr Informationen finden Sie unter:

Erlebnisraum Mobilität in der 2000-Watt-Pilotregion Basel:
www.aue.bs.ch

Informationen zum Fahrzeug:
www.empa.ch/hy.muve

KONTAKT

Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt des Kantons Basel-Stadt

Amt für Umwelt und Energie, Viviane Joyce
Hochbergerstrasse 158, CH-4019 Basel
Telefon: +41 (0)61 639 22 43, Fax: +41 (0)61 639 23 23
e-mail: aue@bs.ch, Internet: www.aue.bs.ch

Mai 2009

Das Projekt wird durchgeführt von:



Industriepartner:



Hydrogen driven municipal vehicle (hy.muve)

Final Report 2010

1. Current state of the project

1.1 Project vehicle

During test runs at the vehicle field testing from August – October 2009 in Basel, it was found, that the energetic target of the project (50% energetic fuel consumption reduction) is clearly achieved. The vehicle consumed about 0.5 kg of hydrogen per hour, corresponding to a diesel fuel equivalent consumption of about 1.7 l per hour. The mean efficiency of the fuel cell system during these test runs was at 47%, while about 40% of the net power was consumed by the aspirator and another 40% by the hydraulic drive for the brushes and the power-assisted steering and braking. 20% was consumed by auxiliary power systems and the drive train for vehicle movement (Fig. 1). Conventional vehicles with diesel engines and hydraulic power distribution are consuming 4.5 – 6.5 l diesel per hour in real operation. A direct comparison between the hy.muve project vehicle and a conventional machine was not possible yet. This will be done within the next months. However, even if a direct comparison is not done yet, it can be concluded, that the desired reduction in energetic consumption of 50% is clearly achieved despite the additional weight of the vehicle of about 500 kg. Furthermore, we found that the performance of the vehicle especially at uphill driving is at least equal to that with conventional propulsion. The quieter operation of the vehicle is another advantage which is appreciated by the drivers very much.

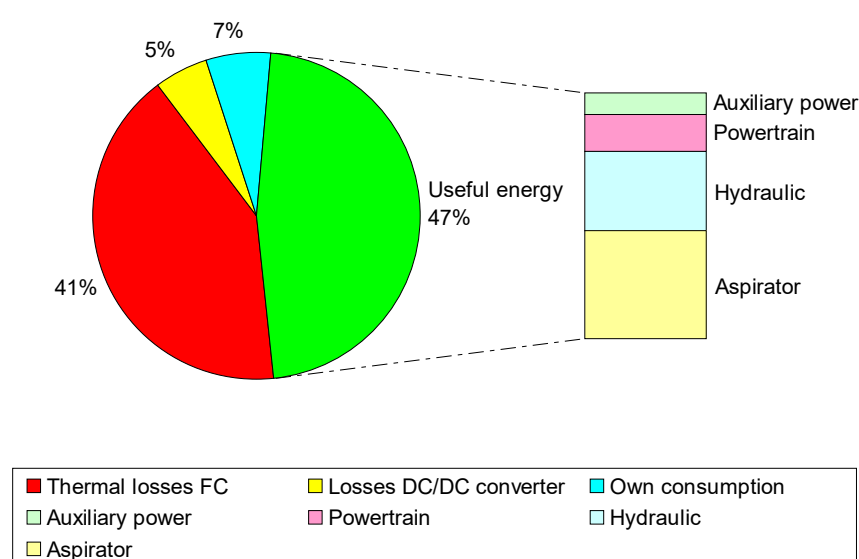


Figure 1: Energy consumption analysis of the hy.muve fuel cell vehicle during field testing

Beside these very pleasing results, the reliability of the vehicle was not satisfactory enough. During the 4 month field testing, it was possible to operate the vehicle only very few days without failure. Problems happened with the H₂ pressure regulator (leak), the air compressor (starting difficulties at low ambient temperatures), several sensors inside the fuel cell system (malfunction, contamination) and the fuel cell system control system. In addition, the fuel cell system was not really designed for wet cleaning, why the daily cleaning procedure was quite time-consuming (covering of delicate components).

Because the fuel cell system supplier at that time, Proton Motor, was obviously not able to solve the main problems and he could not present a trustable solution within the near future, the project team decided to cancel the cooperation with this project partner and to evaluate a new fuel cell system from another supplier with more field experience. This decision was taken after thorough consideration, several visits and phone conferences with the CEO of Proton Motor, as the project partner at that time as well as after juristic consultation.

After 3 months of negotiations with Proton Motor, it was decided:

- Proton Motor sends back the project vehicle to Empa until end of March 2010
- Proton Motor and Empa, as representative of the project team, accept the actual financial situation at that time with 50% payment as final situation without further enforcements of payments or re-payments

In parallel, the evaluation of a new fuel cell system was started. Based on the experience with the Proton Motor fuel cell system, much more attention was given to development status of the new system and the field testing experience of the fuel cell system supplier. Finally, a new system with the same power output, much better dynamics and better integration of auxiliary components could be purchased from Hydrogenics. After delivery in June 2010, the new system was successfully tested at PSI on a fuel cell test rig and integrated into the vehicle at Empa, including adaption of the power electronics, the safety concept and the overall vehicle control system. On 13th of December 2010, the vehicle passed the TÜV certification and is ready now for the re-start of the field testing in Basel.

Due to the much lower price of the new fuel cell system compared with the old one, the overall costs of the project remain more or less the same, whereas the project was delayed for about one year.

1.2 Socio economic research

Choice experiments have been widely used in market research for product innovation, and can be beneficial for eco-innovation research, too. Therefore we used this method for an online survey to determine users preferred street-sweeper technology in Switzerland (174 respondents) and Germany (100 respondents).

Our study extends previous research on consumer preferences for alternative fueled vehicles in two ways. First, most past research has been conducted about individual consumer (or household) preferences. This research focuses on fleet buyers' preferences, as fleet managers are considered as a promising target group for early testing and implementing of new drive train technologies. A grounded understanding of fleet purchase behavior will lead to more effective marketing and policy strategies. Second, this study contributes to the few studies that already exist analyzing the acceptance of hydrogen and hydrogen technologies.

In the choice experiment, the respondent is presented to a number of choice situations and asked to choose the most preferred vehicle. Specifically, respondents were provided with descriptions of three

street-sweeper types: (1) conventional diesel vehicles (defined as the status quo), (2) vehicles which run on compressed natural gas/biogas, and (3) hydrogen-powered fuel cell vehicles.

The use of different alternatives allows for the preference analysis of hydrogen in the context of other competing technologies.

Through expert interviews and a literature review, we identified the most relevant attributes for road-sweepers. The attributes include (1) fuel type, (2) purchase price, (3) running costs, (4) refueling distance (i.e., the time it takes to drive the road-sweeper to the next refueling station), (5) polluting emissions, and (6) noise emissions. In addition to these six attributes, respondents were told to assume that the street-sweepers are identical in all other aspects (e.g. cruising range and reliability).

By using Hierarchical Bayes estimation we determined customer preferences and the importance of product attributes in vehicle choice. This procedure makes it possible to simulate different market scenarios based on stated preferences and to answer strategic questions such as communication or pricing strategies. A conceivable scenario is the introduction of a H₂ small batch into the existing market (the corresponding attribute levels are provided in Table 1).

	Purchase Price	Running Costs	Refueling Distance	Polluting Emissions	Noise Emissions
Diesel	EUR 130'000	EUR 20'000	5 Minutes	100%	High
CNG/Biogas	EUR 169'000	EUR 20'000	15 Minutes	75%	Medium
H ₂ small batch	EUR 221'000	EUR 32'000	15 Minutes	25%	Low

Table 1: H₂ small batch scenario

Based on this scenario a sensitivity analysis was conducted. This approach can show us how much we can improve the hydrogen driven street-sweeper's overall preference by changing its attribute levels one at a time, while holding all other attributes constant at base case level. In this way, the impact of each attribute level is estimated within the specific and appropriate context of the competitive landscape. Figure 2 shows estimated shares of preference from this type of sensitivity analysis. This means that the results reflect the *potential market acceptance* given proper promotion, distribution and time.

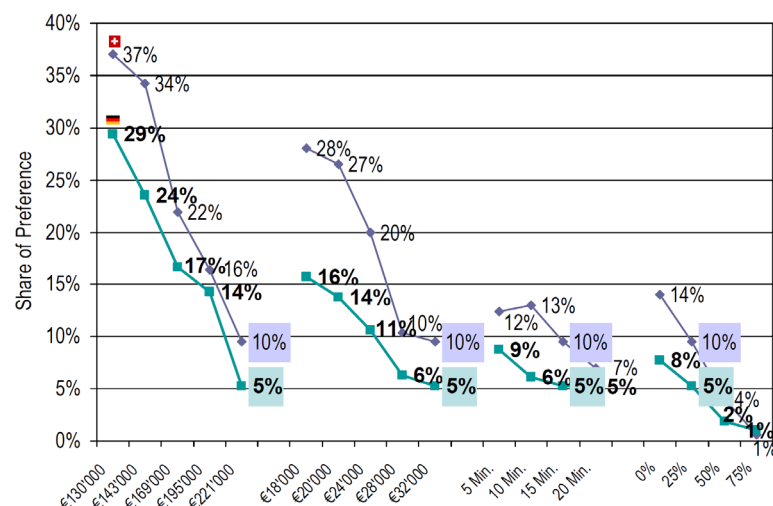


Figure 2: Results of sensitivity analysis

In our H₂ small batch scenario the hydrogen driven street-sweeper captured 10% relative share of preference in Switzerland and 5% in Germany respectively. Decreasing the purchase price by 10% (from €221.000 to €195.000 or from CHF 272'000 to CHF 240'000) for example results in a higher relative preference of 16% in Switzerland and 14% in Germany respectively. The analysis of a H₂ large batch scenario revealed a promising potential market acceptance for the fuel cell road-sweeper of 21% in Germany and even 34% in Switzerland.

2. Main achievements 2010

2.1 Project vehicle

In 2010, the main achievement is the re-design of the whole powertrain for the new fuel cell system of Hydrogenics including mechanical as well as vehicle and battery control aspects and fuel cell system cooling with installation and initial operation of the new fuel cell system. Picture 1 show the new box with the fuel cell system inside.



Picture 1: FC box of the hy.muve project vehicle

2.2 Socio-economic research

The survey results indicate that the refueling practices in Switzerland and Germany are favourable for an early realization of hydrogen infrastructure and that a potential market acceptance for hydrogen driven street sweepers exists in both countries, whereas Switzerland could serve as a lead market.

2.3 Fuel Cell

Before installation the new fuel cell system in the vehicle, the system was tested for it's begin of life (BoL) characteristics with respect to efficiency and dynamics on a test-bench at PSI. Figures 3 shows that for a full load profile from idling to full load the system shows a hysteresis, with the better performance under decreasing load. The efficiency (based on the hydrogen consumption, lower heating value) reaches a maximum of about 55% between 10 and 40% of rated system power.

The system dynamics have also been tested. System power may be increased from idling to full power in approx. 10s. Results are shown in Figure 4.

In addition to the electrical characterization product water samples were analyzed for anions at BoL. It is planned to track the anions in the product water during operation as indicator of state of health of the fuel cell.

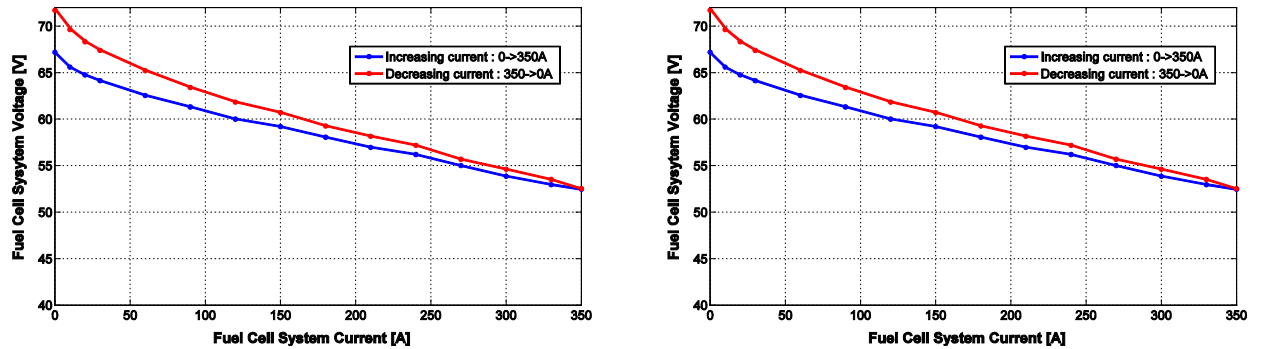


Figure 3: Left: Current/voltage characteristics of fuel cell system; Right: System efficiency as function of system current (Efficiency based on lower heating value of hydrogen).

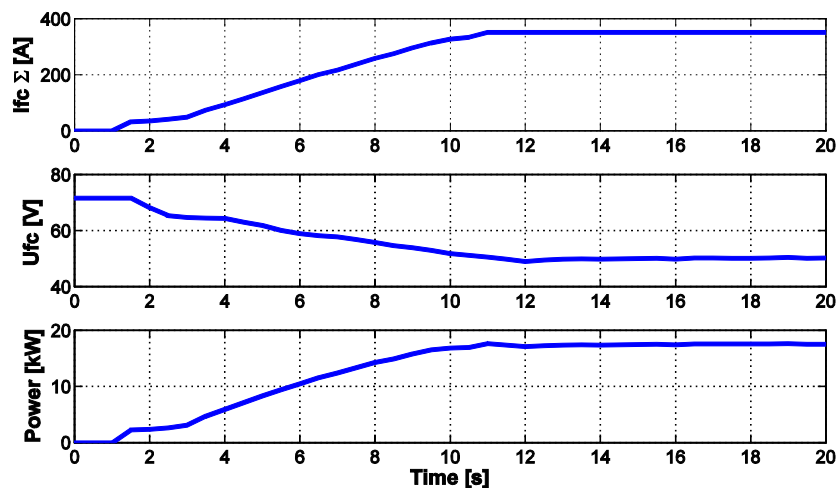


Figure 4: Power increase from idling to full load. A transition time of 10s is reached.

3. Publications/patents

3.1 Reviewed book chapters

- Ulli-Beer, S., M. Bosshardt, A. Wokaun (2010 submitted)
Fleet dynamics. In. Wokaun A. et al (Ed) "Transition to Hydrogen".
Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ulli-Beer, S., A. Wokaun (2010 submitted)
Towards a methodical synthesis of innovation system modelling. In. Pickl S., M. Siegle (Ed)
"Mastering complexity" Post-conference proceedings of the International Conference of Operation
Research, Munich 2010, September 1st-3rd. Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York.

3.2 Peer reviewed journal publications

- Ulli-Beer S., F. Gassmann and A. Wokaun; Generic Structure to Simulate Acceptance Dynamics;
System Dynamics Review (2010)
- Bosshardt, M., S. Ulli-Beer, F. Gassmann, A. Wokaun; Tipping point and technological lock-in:
Effects from a social behavioral norm building process; Technological Forecasting and Social
Change (resubmitted 2010)
- Müller, M., S. Ulli-Beer and S. Grösser; Identification of Important Agents in Fragmented, Complex
Social Systems; European Journal of the Operations Research Society (resubmitted 2010)

3.3 Conference contributions / other publications

- Walter, S.; S. Ulli-Beer, A. Wokaun; Assessing consumer preferences for hydrogen driven road
sweepers; Proceedings of the 18th World Hydrogen Energy Conference, May 16 – 21, 2010,
Essen, Germany
- Ulli-Beer, S., B. Kasemir, S. Lienin, A. Wokaun; How can regions develop "robust" technology
change strategies towards sustainable road transportation? A case analysis of the novatlantis pilot
region Basel in Switzerland; Proceedings of the 3rd International Advanced Mobility Forum, March
9-10, 2010, Palexpo Geneva, Switzerland.
- Walter, S., C. Bach, S. Ulli-Beer, C. Ruiz de Castaneda; „Büchers Brennstoffzellen-Kehrmaschine
als sozio-technische Lernplattform: Die CityCat H2, ein wasserstoff-betriebenes
Kompaktkehrfahrzeug, befindet sich im Alltagstest.“ Kommunalmagazin Hauptbeitrag,
Januar/Februar 2010.
- Peter Schlienger, Wasserstoffantrieb - erste Zwischenbilanz; UmweltPerspektiven Februar 2010
- Schlienger, P.; Elektrische Antriebe und Brennstoffzellen - Eigenschaften und Potenzial im
Vergleich zu Hydraulik und Mechanik; Agrartechniktage, Agroscope; Tänikon 10. Mai 2010

3.4 Invited talks

- Ulli-Beer, S.; Sozio-technische Herausforderungen der Elektromobilität; 1. Schweizer Forum
Elektromobilität, 26./27. Januar 2010, Luzern
- Ulli-Beer, S.; Modeling sozio-technical change: Opportunities and Challenges; 8th Latin American
Conference on SD, November 17 – 19, 2010, Medellin, Colombia (invited key note speaker)

3.5 Master thesis supervision

- Cristina Ruiz de Castañeda Fleischmann; Public-Private Partnership as an instrument for the implementation of hydrogen powered municipal vehicles; Masterthesis submitted to the University Fribourg, Switzerland (2010)

4. Events, Workshops, Reach out activities

- Media release: Zwischenbilanz zu Wasserstoff-Kommunalfahrzeug in Basel - Energieverbrauch halbiert, technisch anspruchsvoll; 12. Mai 2010

5. Industrial and institutional partners

5.1 Project team

- Empa (project manager, power electronics, vehicle control)
- PSI (electro chemistry, FC property change monitoring; socio economic research)
- Bucher Schörfling (vehicle manufacturer, packaging)
- Proton Motor (fuelcell system supplier)
- Messer AG (mobile fuel station)
- Brusa Elektronik AG (electric propulsion motor, DC/DC converters)

5.2 Major suppliers

- ERUN GmbH (Lithium polymer batteries, battery charger)
- Dynetek (fuel storage system)
- Drivetek (electric motors and frequency converters for auxiliary drives)
- Ziehl-Abegg (cooling fan)
- Sensor-Technik Wiedemann GmbH (vehicle control unit)
- AKG (radiators)

5.3 Field testing partners

- City of Basel (Tiefbauamt)
- City of St. Gallen
- SwissAlps3000, City and Canton Berne
- Region Geneva

6. Summary

During test runs at the vehicle field testing from August – October 2009 in Basel, it was found, that the energetic target of the project (50% energetic fuel consumption reduction) is clearly achieved. Furthermore, it was found that the performance of the vehicle especially at uphill driving is at least equal to that with conventional propulsion. The quieter operation of the vehicle is another advantage which is appreciated by the drivers very much. However, beside these very pleasing results, the reliability of the vehicle was not satisfactory enough. During the 4 month field testing, it was possible to operate the vehicle only very few days without failure.

Because the fuel cell system supplier at that time, Proton Motor, was obviously not able to solve the reliability problems and he could not present a trustable solution within the near future, the project team decided end of January 2010 to cancel the cooperation with this project partner and to evaluate a new fuel cell system from another supplier with more field experience. In March 2010, a new fuel cell system with the same power output, much better dynamics and better integration of auxiliary components could be purchased from Hydrogenics. After delivery in June 2010, the new system was successfully tested at PSI on a fuel cell test rig and integrated into the vehicle at Empa, including adaption of the power electronics, the safety concept and the overall vehicle control system. On 13th of December 2010, the vehicle passed the TÜV certification and is ready now for the re-start of the field testing in Basel.

In parallel to the technical vehicle development and field testing work package, a socio-economic choice experiment was used for an online survey to determine users preferred street-sweeper technology in Switzerland (174 respondents) and Germany (100 respondents). The respondent is presented to a number of choice situations and asked to choose the most preferred vehicle. Specifically, respondents were provided with descriptions of three street-sweeper types: (1) conventional diesel vehicles (defined as the status quo), (2) vehicles which run on compressed natural gas/biogas, and (3) hydrogen-powered fuel cell vehicles. The most relevant attributes for road-sweepers were identified through expert interviews and a literature review.

In our “H₂ small batch scenario” the hydrogen driven street-sweeper captured 10% relative share of preference in Switzerland and 5% in Germany respectively. Decreasing the purchase price by 10% (from €221.000 to €195.000 or from CHF 272'000 to CHF 240'000) for example results in a higher relative preference of 16% in Switzerland and 14% in Germany respectively. The analysis of a “H₂ large batch scenario” revealed a promising potential market acceptance for the fuel cell road-sweeper of 21% in Germany and even 34% in Switzerland.

Dübendorf/Villigen, 15th of December 2010 /

Christian Bach, Felix Büchi, Silvia Ulli-Beer, Stephan Walter