

Überblicksbericht 2012

Forschungsprogramme Verkehr und Akkumulatoren



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Titelbild:**Hybrid-Bus der Carrosserie Hess AG**

Ein aus einem BFE-Energieforschungsprojekt hervorgegangener Hybridbus der Carrosserie Hess AG holt Teilnehmer der Eidg. Energieforschungskonferenz vor dem Bundeshaus ab (Quelle: Carrosserie Hess AG).

BFE Forschungsprogramm Verkehr

Überblicksbericht 2012

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Pulfer Martin, Bundesamt für Energie, 3003 Bern (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

Bereichsleiter BFE:

Pulfer Martin (pulfer.martin@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Einleitung

Der Verkehr ist mit 36,5 % des Gesamtbedarfs der grösste Energieverbraucher in der Schweiz. Von 1997 bis 2008 ist der Gesamtenergiebedarf der Schweiz um gut 10 %, derjenige des Verkehrs aber um 15 % gestiegen. Die Gründe für die Zunahme des Verbrauchs im Verkehrsbereich sind:

- die steigende Bevölkerungszahl;
- das Anwachsen des Anteils der das Automobil nutzenden Bevölkerung;
- die steigende Motorisierung und der Trend zu schwereren Personenwagen;
- die steigende Verkehrsleistung bei praktisch allen Verkehrsmitteln;
- die vermehrte Staubildung;
- die verlängerte Freizeit und dadurch der erhöhte Freizeitverkehr.

Der Hauptverbraucher im Verkehr ist das Automobil. Dieses wird von der Industrie bezüglich Verbrauch, Emissionen, Sicherheit und auch Komfort laufend und teilweise massiv verbessert. Diese Zielgrössen sind jedoch stark konkurrenzierend. Gleichzeitig neigen Autokäufer immer noch zu leistungsstärkeren, grösseren und schwereren Fahrzeugen und/oder die Käufer werden mit der Werbung und der Beratung in ihrem

Kaufverhalten beeinflusst. Teilweise konjunkturell bedingt, aber auch durch die Anstrengungen der Automobilindustrie (Verbrauchsvorschriften der EU und der Schweiz), wurde dieser Trend seit 2008 gebrochen und der mittlere Verbrauch der Neuflotte sank in den vergangenen Jahren von 8,4 l/100 km im Jahr 2000 auf 6,39 l/100 km im Jahr 2011.

Der Verkehr ist im Vergleich zu den andern Verbrauchergruppen der grösste Energieverbraucher und weist ein riesiges Einsparpotenzial auf. Eine Verbesserung / Innovation bei der Fahrzeugtechnik setzt sich relativ rasch, innerhalb von 10 bis 20 Jahren, auf die gesamte Fahrzeugflotte durch (Lebenszyklus Auto). Schweizer Forschungs- und Entwicklungsteams arbeiten an der Weltspitze mit und setzen markante Meilensteine. Diese Teams können wegen dem Fehlen einer eigenen Autoindustrie freier arbeiten und eigene Wege beschreiten.

In der Schweiz setzt der Verkehr pro Jahr ca. 6 Mio. Tonnen Erdölprodukte ab. Dies entspricht einem Importwert von rund 6 Mrd. CHF. Der Wirkungsgrad im Verkehr liegt bei bescheidenen 20 %. Eine Wirkungsgradverbesserung von nur 10 % würde die Handelsbilanz der Schweiz um 600 Mio. CHF verbessern. Eine weitere Verbrauchsreduktion

in der gleichen Grössenordnung könnte durch ein konsequentes Fahrverhalten im «Eco-Drive-Fahrstil» erreicht werden.

Die Reduktion der Fahrzeugmassen besitzt durch den «Schneeballeffekt» eine gute Hebelwirkung: Ein leichteres Fahrzeug benötigt einen leichteren, leistungsärmeren Motor, leichtere Bremsen, leichtere Reifen, etc.

Die Kapazität des Schweizer Strassennetzes stösst an ihre Grenzen. Energieverpuffende Staus sind eine der ungeliebten Folgen. Damit verbunden sind immense externe Kosten.

Die Schweizer Industrie beschäftigt aktuell ca. 34'000 Personen in der Autozulieferindustrie und erzielt einen Jahresumsatz von ca. 16 Mrd. CHF. Dazu ist die ebenfalls unterstützte Industrie «Öffentlicher Verkehr» zu zählen, die einen geschätzten Umsatz von ca. 2 Mrd. CHF erzielt und ungefähr 1'200 Mitarbeitende beschäftigt (z. B. bei Carrosserie Hess und Stadler Rail).

Die Schweiz, die keinen Automobilhersteller beheimatet, verfügt dank dem Automobilsalon in Genf ein sehr gutes Schaufenster und wird von der Automobilindustrie auch als wichtiger Testmarkt angesehen.

IEA Klassifikation: 1.3 Transport

Schweizer Klassifikation: 1.2 Verkehr

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm *Verkehr* untersucht Ansätze und Massnahmen zur Absenkung des Energieverbrauchs, insbesondere beim Hauptverbraucher, dem motorisierten Individualverkehr. Dadurch soll der Energieverbrauch und generell die Umweltbelastung abgesenkt sowie der Industrie- und Bildungsstandort Schweiz gestärkt werden. Eine Verringerung des Energieverbrauchs beim Individualverkehr wird vor allem mit folgenden Ansätzen angestrebt:

- Leichtbau von Fahrzeugen;
- hoch effiziente Antriebssysteme;
- kleine Verkehrssysteme (z. B. E-Bikes).

Das Forschungsprogramm verfolgt als Hauptziel die längerfristige Absenkung des Energieverbrauchs des Verkehrs gemäss der Nachhaltigkeitsstrategie des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Die Hauptziele lauten:

- Energiebedarf und CO₂-Emissionen der Transportmittel für den motorisierten Individualverkehr (MIV) senken;
- CO₂-Emissionen reduzieren durch Transportmittel mit alternativen Treibstoffen und/oder höherer Effizienz und der Verlagerung zu kleineren Transportsystemen oder dem öffentlichen Verkehr;
- die Graue Energie des Systems «Verkehr» senken;
- eine Diversifizierung der Energieträger, welche die Abhängigkeit vom Erdöl vermindert, die Reichweite desselben verlängert und die Versorgungssicherheit gewährleistet.

Weiter sollen generell sämtliche Emissionen des motorisierten Individualver-

kehrs (MIV) gesenkt, die Sicherheit trotz reduzierter Fahrzeugmasse verbessert, der Raumbedarf des MIV verringert, sowie der Industrie- und Bildungsstandort Schweiz gestärkt werden.

Das Forschungsprogramm *Akkumulatoren* verfolgt folgende Forschungsschwerpunkte: Möglichkeiten zur verbesserten elektrochemischen und elektrostatischen Energiespeicherung. Der aktuelle Fokus liegt bei der Zebra-Batterie, einem seit 1999 in der Schweiz entwickelten Akku-System mit sehr hoher Energiedichte, nahe der Marktreife und einem weiterhin vorhandenen grossen Verbesserungspotenzial. Der Grund für diese Fokussierung liegt darin, dass die Schweiz neben diesem System nur über eine sehr kleine Industrie für Lithium-Akkumulatoren verfügt – dem Hauptthema in der Akkuforschung.

Ausblick

Im Jahr 2013 werden einige spannende Projekte abgeschlossen, die wegweisende und aufschlussreiche Resultate erhoffen lassen:

- *Cohyb*: ein hocheffizientes, ideal dargestelltes hybrides Antriebskonzept mit minimalen CO₂-Emissionen.
- *Ahead*: das Busprojekt verbessert nachhaltig den Energieverbrauch im öffentlichen Verkehr und zeigt gleichzeitig kostenoptimale Lösungen auf.
- *E-Scooters*: E-Scooters bewähren sich u.A. bei der Post im Alltag und sparen massiv Energie.
- *Statusbericht Akkumulatoren*: Eine Darstellung der globalen Forschungsbemühungen zu Energiespeicher.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

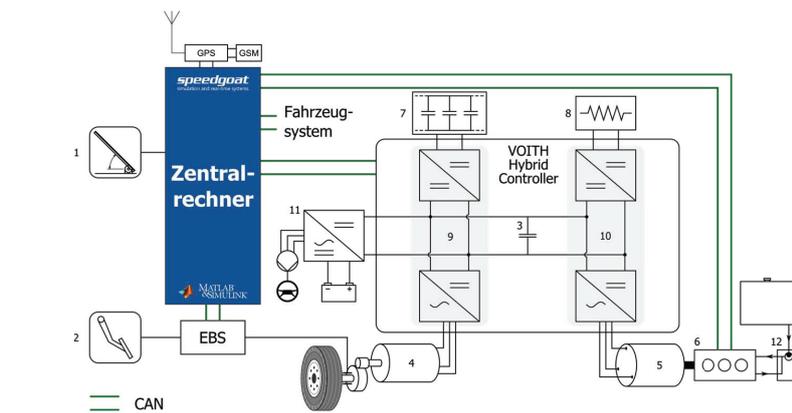
Hybridbus AHEAD [10]

Das vom BFE unterstützte Projekt AHEAD-BH 12m befasst sich mit der Umsetzung der Forschung aus dem KTI-Projekt AHEAD. In einem Stadtbuss mit seriellem elektrischem Hybridantrieb implementiert die Carrosserie Hess AG zusammen mit der ETHZ ein neues Energiemanagement mit dem Ziel, den Treibstoffverbrauch gegenüber herkömmlichen Dieselfahrzeugen deutlich zu senken. Das Fahrzeug wurde von der Firma Carrosserie Hess von Grund auf neu entwickelt und wird ab Anfang 2013 auf der Strasse getestet.

Ein weiteres Ziel des Projektes beinhaltet die Erstellung einer Softwarearchitektur, die kurzfristige Parametervariationen erlaubt, um verschiedene Prädiktionsverfahren des Energiemanagements auszutesten und etwaige neue Problemstellungen untersuchen zu können. Im Anschluss an funktionelle Tests und Sicherheitsüberprüfungen werden der Bus und insbesondere das Energiemanagement im Linienbetrieb im Hinblick auf die gesetzten Leistungsziele evaluiert.

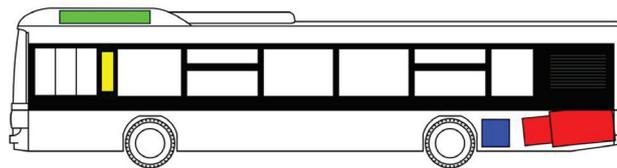
Carrosserie Hess und die ETHZ arbeiten seit längerem eng zusammen, sodass die verschiedenen Teilaspekte des Projekts meist gemeinsam bearbeitet worden sind. Die wichtigsten vier Eckpunkte werden im Folgenden kurz beschrieben:

(1) Bei herkömmlichen Dieselfahrzeugen ergeben sich die momentanen Anforderungen an den Dieselmotor direkt aus dem vom Fahrer angefragten Antriebsmoment, da der Dieselmotor über Getriebe und Kupplung direkt mit der Antriebsachse verbunden ist. Bei einem seriellen Hybridfahrzeug sind hingegen der elektrische Antriebsmotor und der Dieselmotor mechanisch unabhängig, sodass in der Ansteuerung des Dieselmotors ein Freiheitsgrad besteht, mit der Bedingung, dass dem Gesamtsystem zu jedem Zeitpunkt genügend elektrische Energie zur Verfügung stehen muss, um die Fahreranforderungen abzudecken. Dies ermöglicht, dass der Dieselmotor vorzugsweise in Regionen mit hohem Wirkungsgrad betrieben und abschnittsweise ganz ausgeschaltet werden kann. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Dieselgenerator-Regelungen entwickelt und simuliert, um diese im Anschluss auf



Figur 1: AHEAD Systemarchitektur.

- | | |
|---|---|
| ■ Onboard Control System | ■ Diesel - Generator |
| ■ Electric Double Layer Capacitors | ■ Electric Traction Motor |



Figur 2: AHEAD: Prinzipieller Aufbau der Antriebseinheit – die Position der Ultrakondensatoren verbessern die Masseverteilung im Fahrzeug.

dem Prüfstand auf ihre Tauglichkeit zu untersuchen.

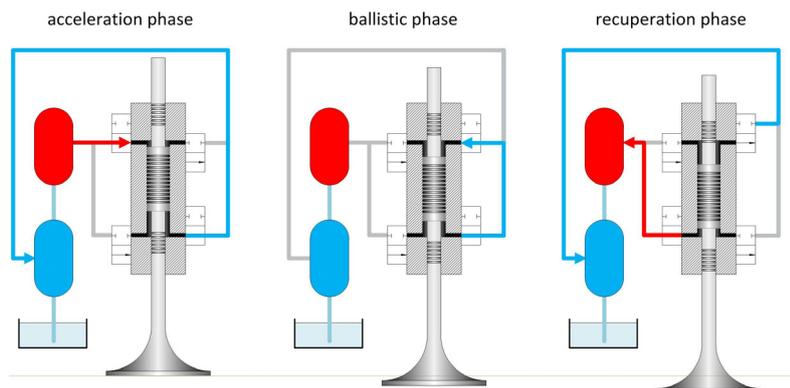
(2) Das Energiemanagement bildet zwar den Kern des Fahrprogramms, es muss aber in eine Gesamtarchitektur eingebettet werden. Diese soll die Kommunikation mit den verschiedenen Komponenten des Busses sicherstellen, zuverlässig auf Fehler oder Unsicherheiten reagieren und die Sicherheit des Gesamtsystems garantieren. Dies bedeutet, dass das System an Hand von diversen Messungen auf den Zustand des Busses schliessen, und den dazu passenden Betriebsmodus wählen muss. Diese Architektur wurde anfangs entwurfsmässig aufgrund verschiedener Spezifikationen und Anforderungen erstellt und anschliessend sukzessive ausgearbeitet.

(3) Um die Funktionalität und das Zusammenspiel von Antriebsstrang und Software auszutesten, steht beim Liefe-

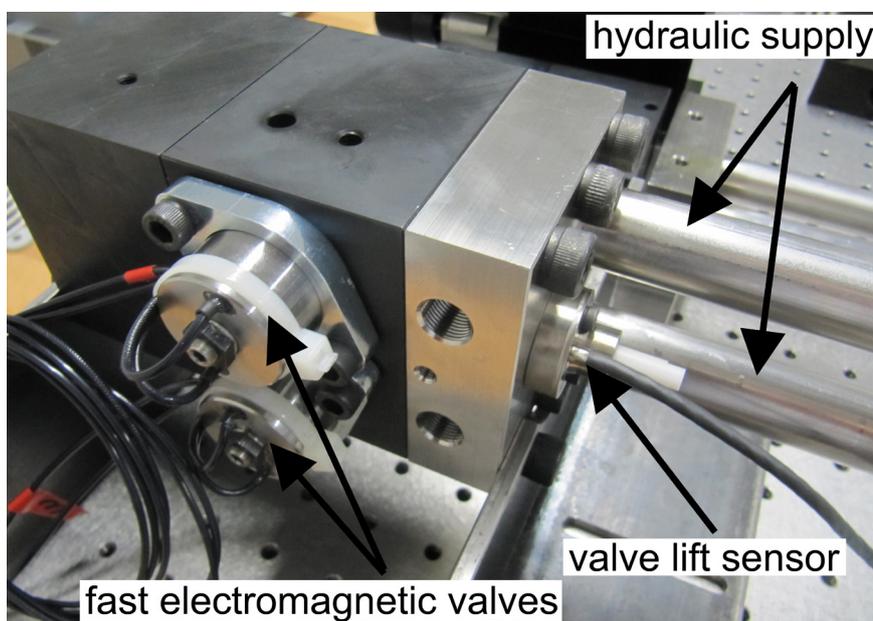
ranten der elektrischen Komponenten ein Prüfstand zur Verfügung. Auf diesem konnte die Kommunikation zwischen dem Zentralrechner mit dem Controller der Umrichter auf der einen und dem Dieselmotor auf der anderen Seite, erprobt werden. In einem weiteren Schritt wurde das Verhalten des Gesamtsystems für verschiedene Fahrzyklen betrachtet und gegebenenfalls angepasst. Zudem konnten die vorgängig erstellten Modelle verifiziert werden. Die Daten, die während den Fahrversuchen gesammelt werden, müssen für die Auswertung rasch ausgelesen und aufbereitet werden.

(4) Ende 2012 wurde der Bus fertiggestellt und es wurden erste Fahrversuche unternommen.

Für das erste Halbjahr 2013 sind einerseits Testfahrten geplant, um den reibungslosen Fahrbetrieb gewährleisten zu können, andererseits sind in einem



Figur 3: Das System funktioniert mit zwei unterschiedlichen Druckniveaus (blau: tieferer Druck, rot: höherer Druck) und kann dadurch die im Gas gespeicherte Energie hydraulisch rekurperieren.



Figur 4: Aufgebautes Funktionsmuster des Ventiltriebes zum Nachweis der Funktion und zur Validierung der Simulationsergebnisse.

späteren Zeitpunkt Fahrten auf einer Linie vorgesehen, bei welchen dann auch Personen befördert werden sollen. Des Weiteren werden diverse Peripherie-Anwendungen implementiert, wie z. B. das Auslesen von Fehlerspeichern über das Mobilfunknetz oder Prädiktion mittels GPS-Daten.

Efficient fully variable valve actuation [8]

Im Gegensatz zu den konventionellen,nockenwellengesteuerten Einlass- und Auslassventilen bei Verbrennungsmotoren, welche beschränkte Flexibilität zur gezielten Beeinflussung des Gaswechsels bieten, ermöglichen flexibel betätigbare Gaswechselventile Vorteile bezüglich Wirkungsgrad und Schadstoffemissionen. Das Projekt *Efficient fully variable valve actuation* (EVA) der Empa setzt sich zum Ziel, einen solchen voll fle-

xiblen, hydraulisch betätigten Ventiltrieb in einer ersten Phase mittels Simulation detailliert auszulegen und diesen in einer zweiten Phase in einem Funktionsmuster umzusetzen. Die erste Phase (Simulation, Auslegung) wurde im Verlauf des Berichtjahres abgeschlossen und der Aufbau eines Funktionsmusters (2. Projektphase) wurde begonnen.

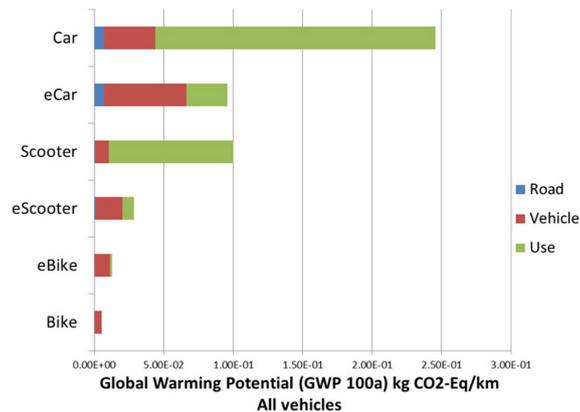
Eine Schlüsselkomponente hydraulischer Ventilsteuerungen sind extrem schnell schaltende Magnetventile (Schaltzeiten deutlich unter 1 ms). Für das EVA-System müssen diese Ventile zudem noch für beide Strömungsrichtungen bis zu einige hundert bar druckfest sein. Die Evaluation hat gezeigt, dass keine solchen Magnetventile kommerziell verfügbar sind. Es konnte aber ein Hersteller gefunden werden, welcher bereit war, für das Projekt speziell schnelle und druckfeste Ventile als Funktionsmuster zu fertigen. Mit diesen Magnetventilen wurde ein hydraulisches Gesamtsystem konstruiert, ausgelegt und gefertigt. Zudem wurde ein ausreichend leistungsfähiges Steuer- und Regelungssystem aufgebaut. Das Gesamtsystem befindet sich Ende 2012 in der Aufbauphase und wird im Jahr 2013 zur Funktion gebracht.

E-Scooters

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt *E-Scooter* der Uni Bern, der Empa und von NewRide hat zum Ziel, einen Beitrag zur technischen Weiterentwicklung von Scootern mit elektrischem Antrieb (E-Scooter) zu leisten, die Markteinführung dieser neuen Fahrzeuge wissenschaftsseitig zu unterstützen und ihre Auswirkungen auf Energie, Umwelt und Mobilitätsverhalten zu analysieren. Eine Analyse der globalen Marktentwicklung zeigt, dass bedeutende Scooter-Hersteller wie BMW, Peugeot, Yamaha und SYM E-Scooter an weltweiten Ausstellungen entsprechende Modelle präsentieren, wenn auch teilweise erst als Prototypen. In der Schweiz geht die Marktentwicklung zurzeit nur zögerlich voran. Eine vergleichende Nischenanalyse zeigt auf, dass zwei Funktionen schwach ausgeprägt sind, die für eine Verbreitung dieser Fahrzeuge wichtig wären: eine «Orientierungshilfe für die

Lösungssuche» (z. B. erfolgreiche Geschäftsmodelle) und die «Schaffung von Legitimität» (z. B. durch zu lasche Emissionsrichtlinien für die herkömmlichen Benzin-Scooter). Eine Untersuchung bei heutigen E-Scooter-Fahrer, welche vormalig Motorrad gefahren sind, zeigt, dass folgende Faktoren beim Umstieg vom Motorrad auf den E-Scooter zentral sind: positive Erfahrungen beim Probefahren, Umweltfreundlichkeit, Geräuscharmheit, Gesamtkosten, Entdeckergeist, Flair für Technologie, sowie finanzielle Anreize. Die Evaluation der Sonderschau für E-Scooter an der Swiss-Moto konnte belegen, dass das Probefahren eine wichtige Voraussetzung für die Verbreitung von E-Scooter ist.

Die Inventarisierung von Elektromotoren, Leistungselektronik und Ladegeräten ist abgeschlossen. Jene von Elektromotoren hat gezeigt, dass sich die Resultate pro Kilogramm Motor sehr ähnlich sind, d. h. dass es zwischen den Motoren keine signifikanten Unterschiede gibt, welche eine Differenzierung in verschiedene Motorentypen erforderlich machen würden. Auch wurde die Leistungselektronik von Elektrofahrzeugen verschiedener Grössenklassen untersucht. Durch Skalierungen konnten verwertbare Datensätze für E-Bikes, E-Scooter und elektrische Motorräder erstellt werden. Die Resultate unterscheiden sich – ähnlich



Figur 5: Das Klimaerwärmungspotenzial verschiedener individueller Verkehrsmittel.

wie bei den Motoren – gewichtsspezifisch nur geringfügig. Die Auswertung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) von E-Scooter im Vergleich mit anderen Fahrzeugen zeigt, dass:

- ein Benzin-Scooter drei Mal mehr THG-Emissionen als ein E-Scooter verursacht;
- ein E-Bike nur ein Drittel der THG-Emissionen eines E-Scooter verursacht.

Nebst Treibhausgas-Emissionen wurden auch andere Umweltaspekte für die drei Hauptkategorien Gesundheit, Ökosystem und Ressourcenverbrauch untersucht. Eine Zwischenauswertung der E-Scooter-Nutzerbefragung (N = 42)

zeigt, dass hauptsächlich Männer im Alter von durchschnittlich 47 Jahren einen E-Scooter kaufen und diesen vor allem für ihren Arbeitsweg einsetzen. Die Analyse der Tagebucheinträge ergaben folgende Werte für den durchschnittlichen Verbrauch eines E-Scooter in den drei betrachteten Geschwindigkeitsklassen:

- bis 45 km/h: 4 kWh/100 km Strombezug ab Steckdose;
- bis 80 km/h: 6 kWh/100 km Strombezug ab Steckdose;
- >80km/h: 8 kWh/100 km Strombezug ab Steckdose.

Weiter konnte gezeigt werden, dass der Strombedarf eines E-Scooter im Winter nicht signifikant höher ist als im Sommer.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Wasserstoffbetriebenes Kommunalfahrzeug

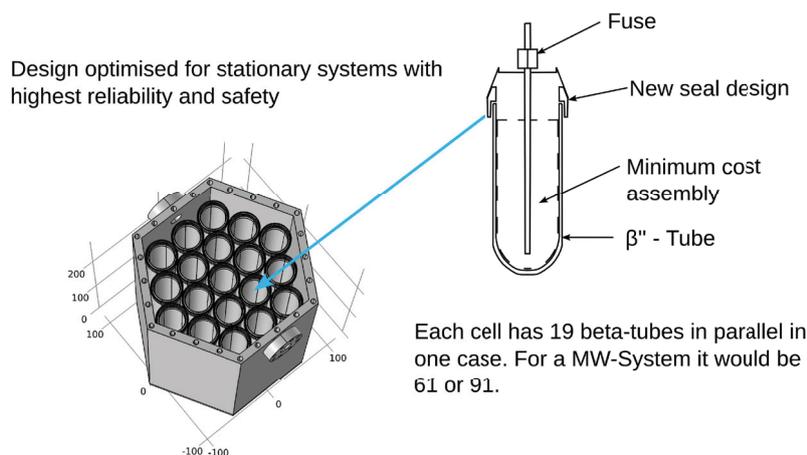
Im Rahmen des Projekts *hy.muve* (*Hydrogen driven municipal vehicle*, www.empa.ch/hy.muve) wurde ein Monitoringkonzept für das Brennstoffzellenfahrzeug *hy.muve* ausgearbeitet, implementiert und getestet. Die Daten können bei regelmässigem Einsatz des Fahrzeuges zur Beschreibung des Lebensdauerhaltens des Brennstoffzellensystems und dessen Wirkungsgrades verwendet werden.

Das *hy.muve*-Fahrzeug wurde im Frühling 2011 in Basel mit einem neuem BZ-System in Betrieb genommen. Aufgrund

verschiedener technischer Schwierigkeiten, wurden 2011 nur wenige Tage im Reinigungsbetrieb durchgeführt. Erst 2012 konnte in St. Gallen ein regelmässiger Reinigungsbetrieb ausgeführt werden. 2012 hat das Fahrzeug an 53 Tagen rund 200 h Einsatz geleistet. Insgesamt wurden im Brennstoffzellen-System 126 kg Wasserstoff verstromt. Die Evaluation der Daten zeigt, dass dabei ein sehr guter Wirkungsgrad von über 50 % (LHV) erreicht worden ist.

Nebst technischen werden im Projekt auch wirtschaftswissenschaftliche Zielsetzungen verfolgt. Erstens wurden Art und Aufwand von intra-organisationalen Lernprozessen im Umgang mit der

Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie erhoben sowie geeignete institutionelle Lösungen (z. B. Public Private Partnerships) und Organisationsformen für die Zusammenarbeit bewertet. Kurzfristig relevant ist für die beteiligten Akteure der Aufbau der Fähigkeit, die technologischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Potenziale richtig einzuschätzen und das notwendige Fachwissen für den Umgang mit der neuen Technologie aufbauen zu können. Zweitens wurde bei Nutzern von Kommunalfahrzeugen mit einer Online-Umfrage ein Choice-Experiment zu verschiedenen technologischen Ausrüstungen eines Kommunalfahrzeuges durchgeführt. Die Ergebnisse



Figur 6: Der prinzipielle Aufbau einer Salzbatteie mit 19 Zellen. Im Gegensatz zur bereits am Markt eingeführten Zebra-Batterie ist das flüssige Natriummetall für alle Zellen in einem einzigen (dem sechseckigen) Stahltank gespeichert.

Symbol	Einheit	Wert
Leerlaufspannung U_o	V	2,58
Nenn Spannung U_N	V	2,3
Nenn Kapazität C_N	Ah	53
Nenn Energie E_N	Wh	115
Nenn Leistung (2h)	W	57

Tabelle 1: Parameter der ersten Testzelle mit einem β'' -Keramik-Rohr.

Realisierung einer punktuellen Wasserstoffbetankungsinfrastruktur. Drittens konnte die Methodik des Technologischen Innovationssystem Ansatzes verfeinert werden und für die Erarbeitung einer Roadmap fruchtbar gemacht werden. Diese zeigt konkrete Massnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Anwendung der wasserstoffbasierten Brennstoffzelle im mobilen Bereich auf.

deuten darauf hin, dass in der Schweiz und in Deutschland ein Nischenmarkt für besonders umweltfreundliche Fahrzeuge existiert, wobei die Schweiz aufgrund verschiedener Faktoren sogar zum Leitmarkt werden könnte. Die Betankungspraktiken eignen sich für eine frühzeitige

Salzbatteie [5]

Die Firma Battery Consult GmbH entwickelt mit finanzieller Unterstützung des BFE eine für die Netzanwendung optimierte Na/NiCl₂-Batteie, die im

folgenden als Salzbatteie bezeichnet wird. Die grundsätzliche Chemie dieses Batterietyps ist seit langem unter dem Namen ZEBRA bekannt. Sie wurde bisher für den mobilen Einsatz ausgelegt. Für die stationäre Verwendung spielen Gewicht und Bauraum im Vergleich zu Lebensdauer und Zyklenfestigkeit eine untergeordnete Rolle. Daher wurde ein neues Batteriekonzept als «MultiTube Cell» entwickelt, bei dem mehrere β'' -Keramik Rohre in einem gemeinsamen Anodenraum untergebracht werden. Dadurch lassen sich Dichtungen und Zellgehäuse für jede Einzelzelle einsparen. Neue Konzepte für die Dichtung der β'' -Rohre, den Anodenstromableiter, die Herstellung der Kathode und für eine Sicherung sind in Arbeit. Die Realisierung von Prototypen erfolgt in zwei Schritten: Zuerst werden die neuen Konzepte in Zellen mit nur einem β'' -Rohr getestet. Dann wird die Zielzelle mit 19 β'' -Rohren gebaut um das MultiTube-Konzept zu testen. Im Rahmen dieses Projektes, welches nur den ersten der genannten Schritte umfasst, wurden die Konstruktionen für die Zellen fertiggestellt und die Batteie konzeptionell gestaltet. Ein zentraler Punkt für die zuverlässige und kostenoptimierte Produktion der Zellen ist die Dichtung. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine neue Dichtung konzipiert und getestet. Verschiedene Zelltests wurden durchgeführt, um die Einflüsse einzelner Komponenten und Verfahrensschritte auf die Zelleistung zu bestimmen. Die Kenndaten einer Zelle sind in Tabelle 1 dargestellt.

Nationale Zusammenarbeit

Zwischen verschiedenen Bundesämtern, den Forschungsorganen des ETH-Bereichs, den Fachhochschulen und der Industrie hat sich eine sehr gute Zusammenarbeit und ein reger Informationsaustausch etabliert. Jährlich finden gemeinsam organisierte Tagungen und Ausstellungen statt. Sehr bedeutsam und erfolgreich ist auch die Zusammenarbeit mit den folgenden Umsetzungsorganisationen *NewRide* (mitverantwortlich für starke Verbreitung von E-Bikes in der Schweiz), *e'mobile* (Förderer der elektrischen und hy-

briden Fahrzeuge) und *Gasmobil* (Promotor der Erd- und Biogasfahrzeuge). Mit der Interessensgemeinschaft V2G konnte von 2009 bis 2011 eine nationale Zusammenarbeit und ein Netzwerk von über 50 Teilnehmern aus der Automobil- und Elektronikindustrie, der Energietechnik, den Behörden und weiteren Partnern aufgebaut werden. Die Interessensgemeinschaft wurde im Berichtsjahr im Rahmen EnergieStadt von EnergieSchweiz weiter bearbeitet und umgesetzt.

Internationale Zusammenarbeit

Die Forschungsaufträge und die Zusammenarbeit der ETHZ mit Industriepartnern und Forschungsinstitutionen im automobilen Umfeld manifestieren die hohe Forschungskompetenz der Institute. Diese Zusammenarbeit lässt auch eine raschere Umsetzung der Forschungsergebnisse erhoffen.

Im Bereich Verkehr arbeitet die Schweiz sehr aktiv in den beiden Implementing Agreements HEV (Hybrid- and Electric Vehicles) und AMF (Advanced Motor Fuels) der Internationalen Energieagentur (IEA) mit. Stellvertretend nachfolgend eine tabellarische Zusammenstellung der aktuellen Aktivitäten des IA HEV.

- Task 1, Information Exchange: Collects, analyzes, and disseminates information;
- Task 10, Electrochemical Systems: Forum for current issues in advanced batteries;
- Task 14, Market Deployment of Electric Vehicles: Lessons Learned: Analyzed past EV demonstrations to identify best practices;
- Task 15, Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Focuses on how PHEVs can address real market needs;
- Task 17, Vehicle Optimization and System Integration: Studies how EV system configurations could be optimized;
- Task 18, EV Ecosystems: Roadmapping for EV deployments based on emerging best practices;
- Task 19, Life Cycle Assessment of EVs: Explores the sustainable manufacture and recycling of EVs;
- Task 20, Quick Charging: Discusses impacts and potential standards for EV quick charging;
- Task 21, Accelerated Ageing Testing for Li-ion Batteries: Collaboration for Li-ion ageing testing;
- Task 22, E-Mobility Business Models: Understanding the revenue opportunities.

Referenzen

[1] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, Bundesamt für Energie, 2007, (www.bfe.admin.ch)

[2] BFE Forschungskonzept Verkehr 2008 - 2011, Bundesamt für Energie 2008, (www.bfe.admin.ch)

[3] BFE Forschungskonzept Akkumulatoren 2008 - 2011, Bundesamt für Energie 2009, (www.bfe.admin.ch)

[4] G. Chevery: TOSA, Transport avec Optimisation du Système d'Alimentation

[5] C. Dustmann: Salzbatte, BFE-Schlussbericht (2012)

[6] C. Pitteloud : Solid polymer electrolytes for lithium batteries, (www.swatchgroup.com)

[7] A. Glatz: Begleitforschung zu Pilotprojekt E-Mobil Ittigen, BFE-Schlussbericht (2012)

[8] P. Soltic: EVA: Energieeffizienter vollvariabler Ventiltrieb, BFE-Jahresbericht (2012), www.Empa.ch

[9] D. Jaggi: LIGHT-TEC I - Leichtbau mit thermoplastischen Composites, BFE-Jahresbericht (2012), (www.esoro.ch)

[10] Ch. Onder: AHEAD-BH 12m, Advanced Hybrid Electric Auto-bus Design, BFE-Jahresbericht (2012), (www.idsc.ethz.ch/)

[11] F. Noembrini, M. Yazdanie: Wirkungsgradkette PW-Antrieb, BFE-Schlussbericht (2012), (www.lav.ethz.ch/)

[12] L. Chapatte, U. Schwegler: Elektro-Nutzfahrzeuge bei Feldschlösschen: Begleitforschung zum Pilotversuch, BFE-Schlussbericht (2012), (www.e-mobile.ch)

[13] P. Walser: IEA Implementing Agreement - Annex XII, BFE-Jahresbericht (2012), (www.e-mobile.ch)

[14] S. Ulli-Beer: Technisch und wirtschaftliche Datenanalyse, BFE-Schlussbericht (2012), (www.psi.ch)

[15] M. Piffaretti: Lampo-Elektrofahrrad, BFE-Schlussbericht (2012), (www.protoscar.com)

[16] THELMA, (www.psi.ch)

[17] P. Oelhafen: Energieverbrauch im Öffentlichen Verkehr: Fahrzeughüllen, BFE-Jahresbericht (2012)

[18] H. Hofmann: E-Scooter: Marktentwicklung, Analyse der Akteure, E-Scooter Technologie, LCA, Verbrauchsmessungen, Auswertung, BFE-Jahresbericht (2012), (www.newride.ch)

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- | | | | |
|--|---|----------|-----------|
| ● | TOSA, TRANSPORT AVEC OPTIMISATION DU SYSTÈME D'ALIMENTATION | R&D | 1.3* |
| Lead: | ABB, OPI | Funding: | BFE |
| Contact: | Gilles Chevery gilles.chevrey@opi.ch | Period: | 2011–2014 |
| Abstract: In Zusammenarbeit mit den Genfer Verkehrsbetrieben (GTP) und Carrosserie Hess AG erarbeitet ABB einen schnellladefähigen Elektrobus. Dieser soll bereits im Mai 2013 anlässlich der 60. UITP- Weltkongress und Ausstellung Mobility & City Transport in Genf im Liniennetz eingebunden werden. | | | |
- | | | | |
|---|--|----------|-----------|
| ● | ENTWICKLUNG EINER KOSTENOPTIMIERTEN SALZ-BATTERIE-ZELLE (ZEBRA) FÜR DIE NETZANWENDUNG | R&D | 6.1 |
| Lead: | Battery Consult | Funding: | BFE |
| Contact: | Dustmann Cord H. cdustmann@bluewin.ch | Period: | 2011–2012 |
| Abstract: Ziel ist die Entwicklung und der Test einer Prototyp Zelle, die auf der chemischen Basis der ZEBRA Batterie speziell für den stationären Einsatz optimiert ist. Die Lösung ist eine Zelle mit einer wählbaren Anzahl Kathoden und keramischen Elektrolyten, einer gemeinsamen Na-Anode (multitube design) und der einfachen Möglichkeit zur Serienschaltung bis zu einigen kV Spannung. | | | |
- | | | | |
|---|---|-----------|-----------|
| ● | BEGLEITFORSCHUNG ZUM PILOTPROJEKT E-MOBILITÄT ITTIGEN | P&D / R&D | 1.3 |
| Lead: | BKW | Funding: | BFE |
| Contact: | Glatzl Andreas Andreas.Glatzl@bkw-fmb.ch | Period: | 2010–2012 |
| Abstract: Elektrofahrzeuge werden in Ittigen als Firmenfahrzeuge eingesetzt. In der parallel laufenden Begleituntersuchung werden neben den energetischen Daten auch die Akzeptanz bei den Fahrzeugnutzern und den -betreibern erhoben und die Fahrzeugzuverlässigkeit ermittelt. | | | |
- | | | | |
|--|--|----------|-----------|
| ● | ENERGIEEFFIZIENTER VOLLVARIABLER VENTILTRIEB | R&D | 1.3 |
| Lead: | EMPA / Dübendorf | Funding: | BFE |
| Contact: | Patrik Soltic patrik.soltic@empa.ch | Period: | 2009–2012 |
| Abstract: Die EMPA entwickelt ein hybrides Erdgasfahrzeug mit voll variablem Ventiltrieb. Diese R&D Arbeit setzt folgerichtig das CLEVER Forschungsprojekt fort. | | | |
- | | | | |
|---|---|----------|-----------|
| ● | LIGHT-TEC I - LEICHTBAU MIT THERMOPLASTISCHEN COMPOSITES | R&D | 1.3 |
| Lead: | Esoro AG / Fällanden | Funding: | BFE |
| Contact: | Jaggi Diego diego.jaggi@esoro.ch | Period: | 2009–2011 |
| Abstract: LIGHT-TEC-I entwickelt ein Produktionsverfahren für Faserverbund-Materialien, den sogenannten Schmelzprägeprozess, welcher die produktive Herstellung von Leichtbau-Strukturbauteilen zum Ziel hat. Die dabei verwendeten hochfaserverstärkten Thermoplast-Materialien besitzen ein sehr gutes Festigkeits-Gewichts-Verhältnis und können effizient und umweltfreundlich verarbeitet werden. Das übergeordnete Ziel ist die Massereduktion des Fahrzeugs. | | | |
- | | | | |
|--|---|----------|-----------|
| ● | AHEAD / ADVANCED HYBRID ELECTRIC AUTOBUS DESIGN | R&D | 1.3 |
| Lead: | Carrosserie Hess AG / ETH Zürich / IDSC | Funding: | KTI |
| Contact: | Gisler Hans-Jörg / Onder Christopher info@hess-ag.ch | Period: | 2010–2013 |
| Abstract: This project aims at optimizing the powertrain of a serial hybrid electric bus for public transportation. Mathematical models and advanced optimization techniques are used to find the optimal component sizes of the powertrain. Further, a predictive energy management strategy that takes into account the altitude profile of the line is implemented. This cuts fuel consumption and CO2 emissions by 25% compared to a conventional bus. | | | |
- | | | | |
|---|--|----------|-----------|
| ● | COHYB (CUSTOMIZED HYBRID POWERTRAIN) | R&D | 1.3 |
| Lead: | ETH Zürich / IDSC | Funding: | ETH / BFE |
| Contact: | Onder Christopher lguzzella@ethz.ch | Period: | 2011–2013 |
| Abstract: Dieses Projekt ermittelt nutzungsabhängig den optimalen hybriden Antriebsstrang. Am Beispiel eines Antriebs, welcher sowohl als Plug-in Konzept verwendet werden kann (grosse Batterie, gute E-Maschine, kleiner Verbrennungsmotor als „Range-Extender“) als auch als „konventioneller“ batterieladungserhaltender Hybrid betrieben werden kann, sollen die Simulationsresultate validiert und Erfahrungen mit optimalen Regelstrategien gewonnen werden. | | | |

- **WIRKUNGSGRADKETTE PW-ANTRIEB** R&D 1.3

Lead: ETH Zürich / LAV	Funding: BFE
Contact: Noembrini Fabrizio noembrini@lav.mavt.ethz.ch	Period: 2009–2011

Abstract: Projektgegenstand ist die Untersuchung unterschiedlicher Fahrzeug-Antriebsarten in Bezug auf ihren Energiebedarf und CO2-Emissionen mit Berücksichtigung der gesamten Energiekette. Auf dieser Basis werden die Wechselwirkungen mit der Elektrizitätswirtschaft und die Auswirkungen auf die Netze abgebildet. Die Resultate dienen als Grundlage zuhanden der Entscheidungsträger für die Erarbeitung optimaler Strategien für den künftigen MIV.
- **ELEKTRO-NUTZFAHRZEUGE BEI FELDSCHLÖSSCHEN: BEGLEITFORSCHUNG ZUM PILOTVERSUCH** R&D 1.3

Lead: Feldschlösschen AG / Rheinfelden	Funding: BFE
Contact: Chapatte Laurent Laurent.Chapatte@fgg.ch	Period: 2009–2012

Abstract: Feldschlösschen AG hat 2009 einen Elektrolastwagen der Marke Modec in Betrieb genommen. 2010 beschaffte die Firma 4 weitere Fahrzeuge, die aber im Gegensatz zum ersten LKW nicht mehr mit Lithium-Ionen-Akkus sondern mit Zebra-Akkus ausgerüstet sind. Das vorliegende Projekt begleitet diesen Versuch wissenschaftlich.
- **LAMPO-ELEKTROFAHRZEUG** P&D / WTT 1.3

Lead: Protoscar SA / Rovio	Funding: BFE
Contact: Piffaretti Marco m.piffaretti@protoscar.com	Period: 2011–2012

Abstract: Protoscar SA entwickelt in dieser Projektreihe sportliche Fahrzeuge als Demonstratoren. Diese werden u. A. am Autosalon in Genf präsentiert, können jedoch auch vom Publikum bei andern Anlässen erprobt werden.
- **THELMA: TECHNOLOGY-CENTERED ELECTRIC MOBILITY ASSESSMENT** R&D 1.3

Lead: Paul Scherrer Institut (PSI)	Funding: ETH / SER
Contact: Hirschberg Stefan stefan.hirschberg@psi.ch	Period: 2010–2012

Abstract: A system analysis is a prerequisite for understanding the strengths & weaknesses of the options developed, evaluating trade-offs compared to both conventional & other advanced alternatives, & assessing the potential contributions of the technology options. The project addresses automobiles, vans & light trucks. Detailed technology evolution is considered until year 2030 with an outlook until year 2050.
- **E-SCOOTERS: MARKTENTWICKLUNG, ANALYSE DER AKTEURE, E-SCOOTER TECHNOLOGIE, LADESTATIONEN, LCA, VERBRAUCHSMESSUNGEN, AUSWE** R&D 1.3

Lead: Uni Bern / IKAÖ	Funding: BFE / ASTRA
Contact: Hofmann Heidi hofmann@ikaoe.unibe.ch	Period: 2009–2013

Abstract: IKAÖ, EMPA, PSI und NewRide untersuchen die Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine beschleunigte Markteinführung der E-Scooters. Ein wichtiges Grundlagenpapier stellt die Life Cycle Analysis dieser Systeme der EMPA dar.

