



# VERKEHR UND AKKUMULATOREN

## Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2005

Martin Pulfer

[martin.pulfer@bfe.admin.ch](mailto:martin.pulfer@bfe.admin.ch)



### *Weltrekord mit PAC-Car II*

Nach Jahren der Forschung und Entwicklung, der Optimierung und der nervlichen Belastungen der Moment des Triumphs und der Entspannung: Mit 5385 km Reichweite pro Liter Benzinäquivalent wurde der alte Weltrekord förmlich pulverisiert.

## Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Nach wie vor ist der **Verkehr in der Schweiz der grösste Energieverbraucher**. Gegenwärtig benötigt er, bei zumeist steigender Tendenz, rund einen Drittel der Endenergie in unserem Lande. Mit 48,6 % (Stand 2000, inkl. Flugverkehr) hat er auch den höchsten Anteil an den Emissionen des Treibhausgases CO<sub>2</sub>.

Der Treibstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen können durch ein **adäquates Mobilitätsverhalten** drastisch gesenkt werden. Gerade während einer Phase mit hohen Luftschadstoffbelastungen (beispielsweise im Sommer) und insbesondere in den Agglomerationen der Städte sollten möglichst viele Kurzstreckenfahrten mit dem PW umweltschonend, energie- und zeitsparend durch ein einspuriges Verkehrsmittel (Velo, E-Bike, E-Scooter, etc.) oder durch eine Fahrt mit dem öffentlichen Verkehr ersetzt werden. Auch bei PW-Fahrten mit dem Fahrstil *Eco-Drive* kann 10 –15 % Treibstoff eingespart werden. Hierbei sind auch der Pneudruck, Luftwiderstand und Ballast gebührend zu berücksichtigen. Durch den Kauf eines effizienten Personenwagens lassen sich, gegenüber einem ineffizienten, bei gleicher Sitzplatzzahl, gleichem Nutzvolumen und Komfort, gut 30 % Treibstoff sparen. Das **Forschungsprogramm Verkehr** untersucht Ansätze und Massnahmen zur Absenkung des Energieverbrauchs im Verkehr, insbesondere beim Hauptverbraucher, dem motorisierten Individualverkehr. Erreicht werden damit auch eine Reduktion der Umweltbelastung sowie die Stärkung des Industriestandorts Schweiz. Eine Verringerung des Energieverbrauchs beim Individualverkehr wird dabei vor allem mit folgenden Ansätzen angestrebt:

- Leichtere und / oder kleinere Fahrzeuge,
- Effizientere Antriebsstränge,
- Optimiertes Verhalten beim Fahrzeugkauf.

Das **Programm Akkumulatoren** erforscht die Möglichkeiten zur verbesserten elektrochemischen und elektrostatischen Energiespeicherung. Die Schwerpunkte liegen insbesondere bei:

- *Zebrabatterie*: System mit sehr hoher Energiedichte, nahe der Marktreife und einem weiterhin vorhandenen grossen Verbesserungspotential.
- Super-Cap: Hochleistungskondensatoren mit einer sehr hohen Leistungsdichte (aber tieferen Energiedichte) und einer sehr langen Lebensdauer
- Blei-Akkumulatoren: bewährte, aber immer noch verbesserungsfähige Batterien

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2005

### Verkehr Verhalten und Grundlagen

Das Forschungsprojekt **Finanzielle Anreize für energieeffiziente Fahrzeuge** [1] von RappTrans Zürich und Interface Luzern hatte zum Ziel, die Wirkung solcher Anreize am Beispiel der Förderprojekte VEL2 und NewRide zu evaluieren. In den betrachteten Förderprojekten konnte eine deutliche Wirkung der finanziellen Anreize nachgewiesen werden, die jedoch nicht für alle Fahrzeugkategorien das gleiche Ausmass erzielte. Es ist zu beachten, dass finanzielle Anreize nur im Kontext einer kontinuierlichen Kommunikationstätigkeit wirken. Bei den geförderten Benzin- und Dieselfahrzeugen konnte der Anteil der geförderten Modelle mehr als verdoppelt werden. Im Bereich der Elektrofahrzeuge haben die finanziellen Anreize sehr stark gewirkt. Allerdings führten die hohen Fahrzeugbeiträge und die eher niedrigeren Fahrleistungen dieser Fahrzeuge zu einem schlechten Kosten-Nutzen-Verhältnis bezüglich Energieeinsparung. Das Angebot in diesen Fahrzeugkategorien stagniert seit etwa einem Jahrzehnt. Die staatliche Förderung dieser Fahrzeuge ist vor diesem Hintergrund zu überdenken. Eine Ausnahme stellen die E-Bikes dar: Das Angebot hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert und die Absatzzahlen sind kontinuierlich gestiegen. Effiziente Fahrzeuge können zur Erreichung von unterschiedlichen Zielsetzungen gefördert werden, so dass eine allgemeine Aussage zur Erwünschtheit der Förderung nicht möglich ist. Im Hinblick auf die in diesem Forschungsprojekt vor allem untersuchten Auswirkungen bezüglich des CO<sub>2</sub>-Ausstosses hat sich die Förderung von effizienten Diesel-, Benzin- oder Hybrid-PW als besonders Erfolg versprechend erwiesen.

**Cleaner Drive** [2] stellte ein 3-jähriges EU – Forschungsprojekt dar, welches von der DG Transport and Energy TREN und in der Schweiz vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) und vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt wurde. Cleaner Drive war ein Netzwerk aus Projektpartner aus folgenden Ländern: Belgien, Deutschland, Frankreich, Grossbritannien, Holland, Italien, Österreich, Schweden und der Schweiz. In der Schweiz war e'mobile der Projektverantwortliche.

Das Ziel war die Verhinderung resp. Überwindung von Markthindernissen bei der Markteinführung von neuen Fahrzeuggenerationen.

Die spezifischen Zielsetzungen lauteten:

- Aufbereitung von fundierten Informationen für Kaufentscheid im Rahmen von nationalen Websites, basierend auf einer europaweit einheitlich strukturierten Datenbank.
- Entwicklung einer konsistenten europäischen Methode für ein Umweltbewertungssystem, welches die spezifischen Eigenschaften von alternativen Antriebssystemen zu berücksichtigen vermag, inkl. einer Pilotanwendung in einer Website.
- Formulierung von Bedingungen für eine wirtschaftliche Infrastruktur für gasförmige Treibstoffe; dazu gehören Empfehlungen für politische Fördermassnahmen sowie die Bedürfnisse für Normen und Standards.

Dementsprechend war das Projekt in drei Teilprojekte unterteilt:

Umweltbewertungssystem, Entscheidungshilfe Fahrzeugkauf und Infrastruktur.

Das Umweltbewertungssystem berechnet für jedes Fahrzeug den so genannten Cleaner Drive-Index, eine dimensionslose Umweltbewertungszahl zwischen 100 und 1. Berücksichtigt werden Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) und Luftschadstoffe (CO, HC, NO, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>) sowohl beim Betrieb des Autos als auch bei der Herstellung des Treibstoffs. Die Gewichtung der einzelnen Indikatoren erfolgt über externe Kosten, basierend auf dem EU-Projekt ExternE.

Obwohl Verkehrslärm eine bedeutende Umweltbelastung darstellt, wird er in der Umweltbewertungsmethoden nicht erfasst, weil die Daten zu wenig aussagekräftig sind. Die Problematik wird jedoch auf der Cleaner Drive-Website ausführlich behandelt.

Ebenfalls nicht berücksichtigt wurden in der aktuellen Version Bio-Treibstoffe. Die verfügbaren Daten reichen nicht aus, um den Ansprüchen des Cleaner Drive- Umweltbewertungssystems zu genügen; zu viele Kompromisse und Verallgemeinerungen müssten in Kauf genommen werden. Die Vorzüge von Bio-Treibstoffen werden aber auf der Homepage (siehe [www.e-mobile.ch](http://www.e-mobile.ch), Rubrik „Fahrzeuge und Treibstoffe“) ausführlich beschrieben.

### **Entscheidungshilfe für den umweltbewussten Autokauf**

Das oben beschriebene Umweltbewertungssystem wurde in eine Website integriert und für den Benutzer anwendbar gemacht, damit dieser sie als Entscheidungshilfe beim Autokauf einsetzen und den Umweltaspekten vermehrt Beachtung schenken kann. Besondere Herausforderungen sind die Anwendbarkeit für verschiedene Länder und Sprachen. Der Benutzer wird in 5 Schritten durch die Entscheidungshilfe geführt.

Die Inputdaten zu den Fahrzeugen wurden national erfasst und aufbereitet, anschliessend wurden sie zentral in die Datenbank eingebaut.

### **Infrastruktur für gasförmige Treibstoffe**

Ende 2001 hat die EU in einer Richtlinie eine Zielvorgabe für den Einsatz von alternativen Treibstoffen bis ins Jahr 2020 gesetzt. Danach soll der Anteil von Erdgas und Wasserstoff am gesamten Treibstoffverbrauch in der EU auf 10 resp. 5 % ansteigen.

Der Aufbau des Tankstellennetzes gilt als die grösste Hürde zur Erreichung des EUZiels für 2020. Aus ökonomischer Sicht drängt sich eine Etappierung dieses Aufbaus in drei Phasen auf:

- Test und Demonstration,
- Geografische Abdeckung,
- Kommerzialisierung.

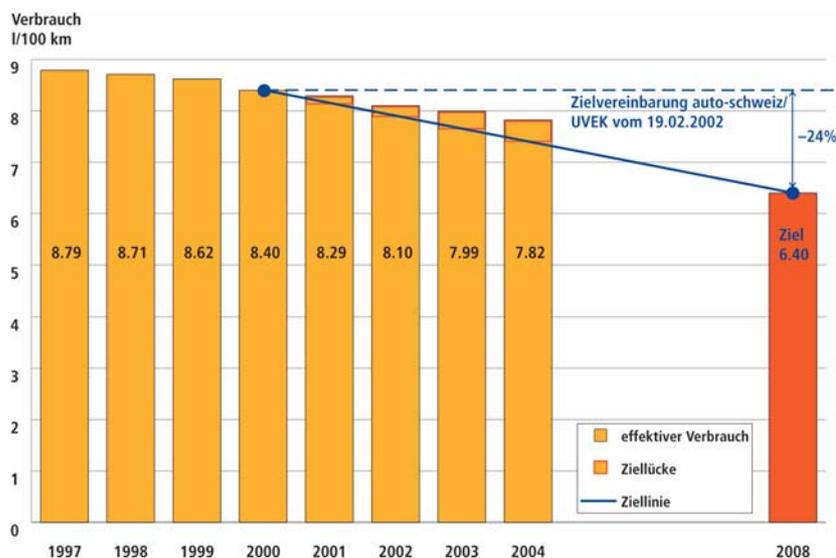
Daneben spielen, vor allem in der Anfangsphase, Grossflottenbetriebe eine bedeutende Rolle.

Die Kosten für den Aufbau eines flächendeckenden Tankstellennetzes für Methan (Erdgas und Biogas/Kompogas) wurde aufgrund der aktuellen Preise abgeschätzt, wobei aufgrund der zu erwartenden technologischen Entwicklung von einer Kostenreduktion von 30 - 50 % (je nach Tankstellentyp) ausgegangen wurde. Aus diesen Berechnungen resultiert ein notwendiges Investitionsvolumen von 10 bis 12 Milliarden €.

Ein analoger Ansatz ergab für den Aufbau eines Tankstellennetzes für Wasserstoff ein Investitionsvolumen von 26 Milliarden €, wobei hier der Absatz nur 5 % des gesamten Treibstoffverbrauchs beträgt

(im Gegensatz zu 10 % für Methan). Zur Zeit existieren erst sehr wenig Tankstellen für Wasserstoff. Deshalb wurde diese Extrapolationsmethode mit einer Analyse verschiedener Studien erhärtet. Insgesamt wurden 79 verschiedene Wasserstoffpfade miteinander verglichen. Sie führten zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen; der Durchschnitt der ermittelten Investitionskosten beträgt 36 Milliarden €.

Im Rahmen des Forschungsprogramms Energiewirtschaftliche Grundlagen untersuchte die ETH Zürich im Projekt **Autoklassen - Wechselverhalten** [3] die Wirkung von Lenkungsabgaben beim Neuwagenkauf. Eine gleichmässig erhöhte Autoimportsteuer für alle Neufahrzeuge und ein abgestufter haushaltsneutraler Bonus für die Fahrzeuge der Effizienzkatgorien A und B senkt den Verbrauch der Neuflotte 1.6%. Durch diese Untersuchung konnten die Ergebnisse einer früheren Studie von Infras Bern zu diesem Thema bestätigt werden.



*Bild 1:* Minderung des Treibstoffverbrauchs der Schweizer Fahrzeug Neuflotte. Zur Zeit besteht eine beträchtliche Ziellücke.

Die vom Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW, Zürich, finanzierte **Busvergleichsstudie** [4] vergleicht die aktuellsten Erdgas- versus Dieselflusse. Im Durchschnitt benötigten die Erdgasbusse 14 % mehr Energie, emittierten aber rund 15 % weniger CO<sub>2</sub> und schnitten bezüglich der Schadstoffemissionen besser, bezüglich den toxischen deutlich besser ab.

Im Rahmen des **Erlebnisraum Mobilität der Pilotregion Basel** [5] sollen dort bis ins Jahr 2010 hundert Umwelttaxis in Verkehr gesetzt werden. In diesem Projektrahmen analysiert das BFE "Gas- und Hybridtaxiprojekt" der Arbeitsgemeinschaft PSI Sustainurv die Erfolgsfaktoren und Stolpersteine, beantwortet Akzeptanzfragen und zeigt die Kosten und Nutzen-Verhältnisse auf. In einem nächsten Schritt werden Umfragen bei Erdgastaxi- Benützern, Fahrern und Haltern durchgeführt, sowie begleitend ein Simulationsmodell entwickelt, in welchem wichtige Prozesse der Umstellungsstrategie auf Umwelttaxis und deren Kosten- und Umwelt-Auswirkungen abgebildet und analysiert werden. Das Projekt wird voraussichtlich Ende 2006 abgeschlossen werden.

**NewRide** [6] ist das vom BFE unterstützte Promotionsprogramm für Elektrozweiräder. Im Rahmen der Begleitforschung dieses Programms wurde durch Interface, Luzern, die Wirkung der seit 2001 laufenden Förderaktivitäten mittels Kundeninterview analysiert. Es zeigte sich, dass beispielsweise bei Betriebsanlässen (Information / Schulung / Probefahren) das Kosten-Nutzen-Verhältnis in der Regel deutlich schlechter ist, als die gleiche Promotion an grossen Besuchermessen. Deshalb wurde beschlossen, Betriebsanlässe in der heutigen Form nur noch bei Grossbetrieben (ab ca. 500 Mitarbeitern) durchzuführen. Ein Interesse des Betriebes über die eigene Imagepflege oder die unverbindliche Sensibilisierung für die Problematik hinaus ist aber unabdingbare Voraussetzung. Eine Kurzevaluation der Gemeinde-Projekte zeigte zudem, dass die Gemeinden die Produkte von NewRide schätzen und die Zusammenarbeit mit dem NewRide-Sekretariat gut klappt. Die Gemeinden betonten darüber hinaus die entscheidende Bedeutung der finanziellen Unterstützung durch NewRide für die Akzeptanzschaffung gegenüber den Gemeindebehörden und der Bevölkerung.

Das Projekt **e-rent** [7] der Arbeitsgruppe SOKW (Solarkraftwerk Wohlten bei Bern) erprobte einen Mietservices für Elektrofahrzeuge, mit dem Ziel ein sinnvolles Ergänzungsangebot zu ÖV und Car Sharing (Mobility) aufzubauen. Damit sollte dem Bedürfnis nach individueller Mobilität durch Förderung des Einsatzes energiesparender und umweltschonender Elektro-Fahrzeuge nachgekommen

werden. Der Strom wurde vom Solarkraftwerk Wohlen bezogen. Das Mietangebot sollte Jedermann die Gelegenheit geben Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen zu machen ohne zuerst einen hohen Anschaffungspreis in Kauf nehmen zu müssen und sich dennoch umweltbewusst fortbewegen zu können. Das Mietangebot umfasste 2 Elektroroller und 2 Elektropersonenwagen. Elektrofahrzeuge eignen sich nicht für einen Mietservice. Die Handhabung mit der Ladung durch die NutzerInnen erwies sich im Mietsystem als zu kompliziert und wirkte sich auf die Lebensdauer der Batterien nachteilig aus. Die Reparaturkosten stellten sich dem entsprechend hoch ein. Im Winter wurde von Scoot'elec-Angebot, wegen der Kälte, wenig Gebrauch gemacht. Der erwartete Erfolg blieb unter den Erwartungen. Deshalb wurde das Projekt *e-rent* nach fünf Jahren eingestellt.

## **Antriebssysteme**

Das Projekt **PALOS II** [8] der ETH Zürich umfasst zwei Teilprojekte:

1. Modellierung und optimale Leistungsregelung eines Hybriden PEM-Brennstoffzellensystems und
2. Druckwellenlader für Ottomotoren.

Im ersten Teilprojekt wird ein Regelsystem für eine hybride Brennstoffzelle optimiert. Brennstoffzellen gelten künftig für eine Vielzahl von Anwendungen (z.B. automobile Antriebe, Notstromaggregate) als vielversprechende Alternative. Die hohe Leistungsdichte, die tiefen Betriebstemperaturen und ihre Eigenschaft rasch auf Lastwechsel reagieren zu können, macht die Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Brennstoffzelle zur bevorzugten Technologie für Anwendungen, welche durch stark transiente Betriebsbedingungen gekennzeichnet sind. Brennstoffzellen funktionieren nur in einem relativ engen Temperaturbereich optimal. Um die Leistungseinschränkungen der Brennstoffzellen während des Warmlaufvorgangs zu kompensieren, werden die Systeme daher hybridisiert, d.h. durch einen elektrischen Energiespeicher (z.B. eine Batterie) ergänzt. Überdies macht der Einsatz von elektrischen Zuheizern Sinn, um die Warmlaufphase zu verkürzen.

Neben der Regelung der Temperatur auf den Betriebspunktwert kommt der optimalen Leistungskontrolle (power control) des Systems während der Warmlaufphase eine wichtige Bedeutung zu. Ziel ist es, das System möglichst rasch auf Betriebstemperatur zu bringen und dabei die Ladung im elektrischen Energiespeicher zu erhalten (charge-sustaining operation). Um das dynamische Verhalten eines solchen hybriden Brennstoffzellensystems systematisch zu analysieren, wurde zuerst ein mathematisches Modell hergeleitet und validiert. Basierend auf diesem Modell wurden dann einerseits robuste Regler für die Temperaturregelung des Systems entwickelt und andererseits optimale Strategien für einen beschleunigten Warmlaufvorgang synthetisiert. Die Strategien wurden als Feedback-Regelgesetze formuliert, was deren praktischen Einsatz ermöglicht. In simulierten Zyklen konnte die Funktionsweise der Regelgesetze verifiziert und klare Verbesserungen gegenüber alternativen Systemkonfigurationen aufgezeigt werden.

Im zweiten Teilprojekt wird der Einsatz von Druckwellenladern für Ottomotoren analysiert. Benzinmotoren verfügen über ein ausgezeichnetes Emissionsverhalten, aber unterliegen den Dieselmotoren bezüglich dem Wirkungsgrad. Traditionell wird die Last von Benzinmotoren über eine Drossel im Ansaugtrakt eingestellt. So wird die Dichte im Einlasskrümmer und schliesslich der vom Motor angesaugte Massenstrom variiert. Diese Methode ist billig und weist ein vortreffliches dynamisches Verhalten auf, aber der Motorwirkungsgrad sinkt massgeblich im Teillastbetrieb. Personenwagen werden aber am häufigsten in der Teillast betrieben, was tiefe Wirkungsgrade beziehungsweise einen hohen Verbrauch bewirkt.

Zahlreiche Massnahmen sind vorgeschlagen worden, um Motoren nur teilgedrosselt oder ungedrosselt zu betreiben. Ein Konzept besteht darin, den Motor-Hubraum zu reduzieren und die Leistung über Aufladung zurück zu gewinnen. Heutzutage werden verbreitet Abgasturbolader eingesetzt, wobei die nach dem Auslasskrümmer im Rauchgas vorhandene Enthalpie dazu verwendet wird, einen Kompressor anzutreiben, welcher seinerseits die Frischluft im Einlasskrümmer verdichtet. Im Gegensatz dazu stehen in Druckwellenladern Rauchgas und Frischluft in direktem Kontakt. Die Enthalpieübertragung erfolgt durch einen gasdynamischen Prozess, wobei Druckwellen in den beiden Medien hin und her laufen. Aufgrund dieses Prinzips zeichnen sich Druckwellenlader durch ein gutes Ansprechverhalten und durch über den gesamten Betriebsbereich hohe Wirkungsgrade aus. Beides steigert die Fahrbarkeit beim Einsatz in Personenwagen.

Moderne Druckwellenladersysteme bieten die Möglichkeit, über drei unabhängige Stellglieder in den Prozess einzugreifen: Gastaschen-Zufluss-Ventil, Rotordrehzahl und Winkelversatz zwischen Luft-

und Gasgehäuse lassen eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten zu, wie die Massenströme und schliesslich das Motordrehmoment zu beeinflussen sind.

Während hohen Lastsprüngen können dann kritische Situationen entstehen, wenn grosse Mengen an Rauchgas durch den Lader zurück in den Ansaugtrakt transportiert werden. Dieser Effekt - auch als Abgasrezirkulation (AGR) bezeichnet - bewirkt einen markanten Drehmomenteinbruch und verschlechtert dadurch die Fahrbarkeit merklich. Durch eine koordinierte Betätigung der Steller sind aber solche Situationen vermeidbar.

Diese Arbeit befasst sich deshalb mit der Entwicklung von physikalischen Modellen, mit denen es möglich wird, sowohl stationäre als auch transiente Effekte von Motor und Lader simulieren zu können.

Einführend wird ein Modell vorgestellt, welches auf Grundprinzipien der Gasdynamik aufbaut. Die so genannten Eulergleichungen, ein Satz von partiellen Differentialgleichungen, werden mit Hilfe eines finite-Differenzen-Verfahrens numerisch gelöst. Das Modell berücksichtigt die eindimensionale Gasdynamik und auch Effekte wie Leckage, Wärmeübergang, Reibung und veränderliche Stellgrössen. Ein Vergleich mit Messresultaten von einem Motor mit Druckwellenlader zeigt, dass die Resultate über einen grossen Betriebsbereich innerhalb von 5% liegen.

Ausgehend von diesem finite-Differenzen-Modell wird ein vereinfachtes, regelungstechnisch orientiertes Mittelwertmodell abgeleitet. Der daraus resultierende verringerte Rechenaufwand ermöglicht den Einsatz dieses statischen Druckwellenlader-Modells in einer Simulationsumgebung, womit das dynamische Verhalten des gesamten Motorsystems nachgebildet werden kann.

Basierend auf diesen Modellen wird ein Regelkonzept entworfen und experimentell am Motor überprüft. Der Regler vermag die während Lastsprüngen auftretenden AGR-Effekte zu verhindern, und der Lader wird wirkungsgrad-optimal betrieben.

Diese neuen Regelkonzepte haben das Potential, die Akzeptanz von verbrauchsgünstigen druckwellenaufgeladenen Motoren markant zu steigern.

Vom Projekt **Kraftstoffsparende Antriebssysteme** [8] der ETH Zürich konnte im Berichtsjahr das Teilprojekt **Optimierte Hybridstrategien** gestartet werden. Die Automobilindustrie setzt seit einigen Jahren verstärkt auf Hybridfahrzeuge im Bereich Personenkraftwagen. Diese basieren auf einer Kombination von Verbrennungsmotor und Elektromotor. Diese hybride Struktur ermöglicht eine Vielzahl von Betriebsmodi: Bei Stillstand des Fahrzeuges kann der Verbrennungsmotor abgeschaltet werden ohne dabei Verzögerungen beim Anfahren in Kauf nehmen zu müssen. Beim Abbremsen kann ein Teil der kinetischen Energie in Form von elektrischer Energie rekuperiert werden. Im Fahrbetrieb kann rein elektrisch, rein thermisch oder kombiniert angetrieben werden. Diese Vielzahl von Freiheitsgraden der Steuerung des Systems erlaubt einer angepassten Betriebsstrategie den Verbrauch signifikant zu reduzieren.

In diesem Projekt sollen modellbasierte Strategien entwickelt und untersucht werden die den Verbrauch von Hybridfahrzeugen minimieren. Dabei muss die geforderte Fahrleistung stets erfüllt werden um den Komfort und die Sicherheit zu garantieren. Zusätzlich muss die Strategie garantieren, dass keine elektrische Energie dem Fahrzeug extern zugeführt werden muss.

In Zusammenarbeit mit Robert Bosch GmbH wurde eine akausale, modellbasierte Strategie in eine Simulation zur Potentialabschätzung und Komponentendimensionierung implementiert. Parameter müssen dabei iterativ gefunden werden. Dabei stützt sich die numerische Optimierung der Parameter auf mehrfache Auswertung der Simulation über den Fahrzyklus. Folglich basieren die Parameter der Strategie auf dem Zyklus und die Strategie ist nicht mehr kausal. Das Projekt fokussiert parallele Hybridfahrzeuge. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus der Simulation im NEFZ.

Zukünftig werden kausale Strategien entwickelt. Diese sind modellbasiert, was einerseits die Implementation in verschiedene Fahrzeugmodelle deutlich vereinfacht und andererseits den Einsatz von mathematischen Optimierungsmethoden zulässt. Es werden sowohl analytische als auch numerische Betriebsstrategien untersucht. Die gefundenen Strategien sollen so erweitert werden, dass sie durch Adaption an den Fahrer und seine typischen Fahrstrecken den Verbrauch weiter senken. Es ist weiter vorgesehen auch Informationssysteme (GPS, Radar) einzubeziehen um Schätzungen über den zukünftigen Fahrverlauf zu erhalten und darauf basierend den Fahrzeugbetrieb zu optimieren.

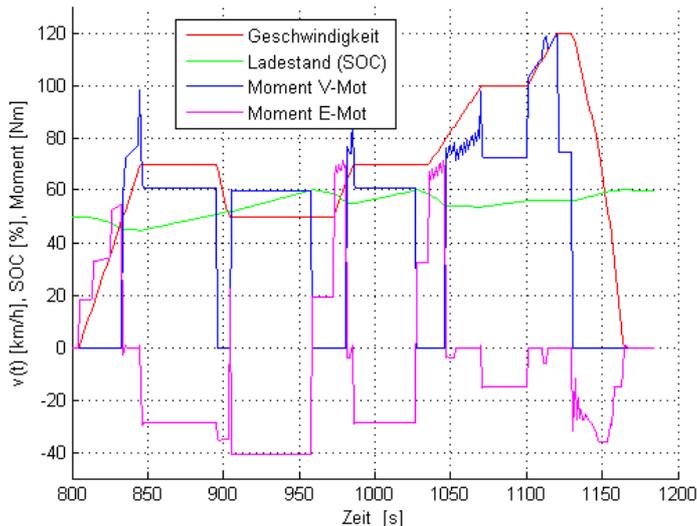


Bild 2: Simulation im Neuen Europäischen Fahrzyklus

Das 2005 gestartete Projekt **CLEVER** [9] der bewährten Projektpartner EMPA / ETH, Volkswagen, Bosch, Corning und Engelhard entwickelt einen hybriden Antrieb mit Erdgas als Treibstoff. Das Projekt nutzt das Wissen aus dem CEV Projekt (siehe Jahresbericht 2004) und strebt eine dauerhaltbare Nullemissionstechnologie für Erdgasfahrzeuge an und macht die Erdgasmotortechnologie fit für Hybridanwendungen. Der Projektinhalt und die Zusammenarbeit wurde zwischen den Projektpartnern in der Vorphase abgestimmt. Die Resultate bezüglich der dauerhaltbaren Nullemissionstechnologie können kurzfristig in die Serienentwicklung von Volkswagen einfließen während die Hybridtechnologie auf eine längerfristige Umsetzung zielt. Das Projekt wird neben der Unterstützung durch die Industriepartner vom ETH-Rat, dem BAFU und dem BFE unterstützt.

Unter Beteiligung diverser Forschungs- und Wirtschaftspartner wurde im Projekt **Brennstoffzellen-SAM** [10] an der HTI Biel ein Brennstoffzellen-Batterie-System entwickelt und in das Leichtelektromobil SAM der Firma CREE integriert.

Der PEM-Brennstoffzellenstapel ist mit einer Dauerleistung von 6 kW auf den mittleren Leistungsbedarf des Fahrzeugs bei Überlandfahrten ausgelegt. Die maximale Antriebsleistung von 15 kW bei Beschleunigungsvorgängen und bei Bergfahrten wird durch einen Hybrid mit Lithium-Polymer-Akkumulatoren bereitgestellt. Der für die Brennstoffzelle benötigte Wasserstoff wird in Metallhydridspeichern bei relativ niedrigem Betriebsdruck auf dem Fahrzeug mitgeführt.

In ausgedehnten Tests auf dem Rollenprüfstand der HTI, im Stadt- und Überlandbetrieb wurde der stabile Betrieb der Systeme nachgewiesen. Die Fahrleistungen (Beschleunigung, Endgeschwindigkeit) der Originalversion des SAM mit Bleibatterien bleiben unverändert gut, wobei die Reichweite auf rund 130 km verdoppelt werden konnte.

Insgesamt hat das Fahrzeug bis zum Projektabschluss rund 300 km ohne grössere Störungen zurückgelegt. Es konnten dabei die Auslegungsleistungsdaten des Fahrzeugs mit einer Spitzengeschwindigkeit von 80 km/h und einer Beschleunigung mit 15 kW Antriebsleistung bestätigt werden. Die Testserien erbrachten mit gefüllten Speichern eine Reichweite von über 128 km. Auf eine Distanz von 100 km kann bei einer „normalen“ Beanspruchung ein Wasserstoffverbrauch von 464g H<sub>2</sub> abgeleitet werden. Mit den Heizwerten von Wasserstoff und Benzin umgerechnet, ergibt sich ein Verbrauch von 1.67 l Benzin auf 100 km.

Die Entwicklung eines Erdgasantriebes für das Leichtbaufahrzeug SAM im Projekt **Naturgas-SAM** [4] des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches SVGW, Zürich, in Zusammenarbeit mit der SamSon GmbH, Biel, musste wegen Überlastung letzterer unterbrochen werden. SVGW beabsichtigt 2006, mit einem neuen Partner, das Projekt erfolgreich abzuschliessen und die Umsetzung anzustreben.

Ateliers d'études de construction automobiles (A.C.A.) von Franco Sbarro entwickelte, erprobte und optimierte in den vergangenen zwei Jahren in Grandson ein **hydropneumatisches Rekuperations-**

**system** [11] für Personenwagen. Dieses funktioniert einerseits auf der Rekuperation der Fahrenergie und andererseits durch die Wandlung der Energie in den Stossdämpfern. Die Rekuperationsenergie wurde in Drucklufttanks mit einem Druck von anfänglich maximal 200, später bis zu 260 bar gespeichert. Durch diese quasi Hybridisierung des Antriebs konnte der Treibstoffverbrauch um insgesamt 14 – 15 % gesenkt werden. In der Folge ist vorgesehen, den Speicherdruck bis auf 400 bar zu erhöhen und so die Systemwirkung weiter zu verbessern.



Bild 3: Pneumatischer Zwischenspeicher unter dem Fahrzeugboden.

Das Projekt **E-Management-Integration** [12] der HTI Bern / Biel erforschte einen kleinen seriellen Hybrid Antrieb für zwei- bis vierrädige Kleinfahrzeuge. Das Konzept ist modular aufgebaut und ermöglicht den Einbau von industriell gefertigten Baugruppen. Als Serie Hybrid ist das System auch deshalb interessant, weil aus ihm verschiedene Antriebs - Konfiguration ableitbar sind: Hybride, reine Batterie-Fahrzeuge sowie Brennstoffzellen-Fahrzeuge.

Mit dem Aufkommen von hochstromfähigen Lithium Akkumulatoren verlagerte sich der Fokus bei den Energiespeichern im Verlauf der Projektdauer von Ultra-Cap zu ebendiesen Speichern.

Zusammen mit den Industriepartnern autork, Bern, später Brüggli, Romanshorn und Fuchs, wurden die Antriebs-Komponenten weiterentwickelt und als Prototypen realisiert. Komponenten sind jeweils auch auf Leerlaufverluste hin untersucht worden. Die Komponenten wurden in ihrem jeweiligen Entwicklungsstand in zwei Muskelkraft-Fahrzeugen, einem Laborzweirad, und einem „Digitrike“, montiert und testgefahren.

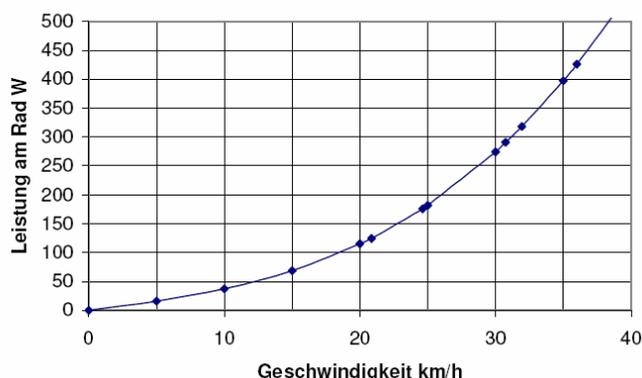


Bild 4: Leistung am Rad vs. Geschwindigkeit

Mit knapp 300 W Fahrleistung kann man mit dem Laborzweirad 30 km/h schnell fahren. Stammt die Hälfte davon aus Muskelkraft (mit 150 W Leistung, kommt eine Person auf mittlerer Distanz noch nicht ins Schwitzen), sind vom elektrischen Antrieb die verbleibenden 150 W zu liefern. Mit auf e-Bikes/Pedelecs typisch installierten Batteriekapazitäten von 150 bis 200 Wh können so Reichweiten von 30 – 40 km erzielt werden.

## Leichtbau und Kleinfahrzeuge

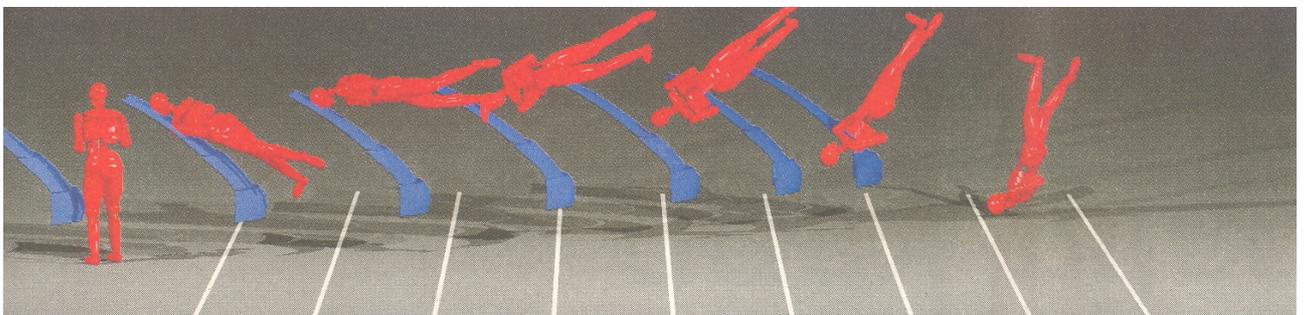
Das Hauptziel des Projekts Lightweight Vision 0 - 21 (Livio 21) [13] von Horlacher, Möhlin, Rieter Automotive, Winterthur, den Fachhochschulen beider Basel und der Fachhochschule Aargau ist die Entwicklung neuer Technologien (Konstruktionen, Materialien, Prozesse) zur Herstellung von leichtgewichtigen Modulen für die Automobilindustrie. Mit solchen leichten Modulen kann die Schweizer Zuliefererindustrie massgeblich zur Reduktion des Fahrzeuggewichtes und damit zur Verringerung des Treibstoffverbrauchs der Autos beitragen.

Zur Erprobung und Demonstration dieser neuen Technologien wird das Konzeptfahrzeug Livio 21 markenneutral als "fahrende Plattform" aufgebaut. Die Hauptstruktur des Fahrzeugs besteht aus einem metallischen Rahmen (= Spaceframe, erwiesenermassen eines der leichtesten Konzepte für eine Fahrzeugstruktur) und leichten Composite - Modulen mit integrierten Funktionen. Ein solches Fahrzeug wird als leichtgewichtiger Kleinwagen (wenig Querschnitt) mit guter Aerodynamik und einem effizienten Antriebssystem mit einem Minimum an Energie fahren können.

Bei den Modulen konzentrieren wir die Forschungsaktivitäten auf Front-, Boden-, Dach- und Heckmodul. An den im Livio 21 grundsätzlich zugänglichen Sitz-, Seiten- und Antriebsmodulen wird zur Zeit nicht gearbeitet.

Ein erstes Bodenmodul aus leichtgewichtigen Sandwichplatten wurde im Konzeptfahrzeug Livio 21 eingebaut. Ausserdem wurde in einer Diplomarbeit der Fachhochschule Aargau die Herstellung eines Bodenmoduls mit integrierter Sitzbefestigung im RTM-Verfahren untersucht.

Am Frontmodul wurden Ideen aufgezeigt, wie mit einem leichten Kleinwagen die heutigen Sicherheitsanforderungen (haben bisher zu immer schwereren Fahrzeugen geführt) erfüllt werden können. In einer Diplomarbeit der Fachhochschule beider Basel wurde ein Vorschlag für eine "weiche" A-Säule erarbeitet. Zudem wurde Mitte Juni 05 ein erster Fussgänger Crashtest mit einem Leichtbau - Frontmodul durchgeführt. Durch die weiche Gestaltung der Fahrzeugfront im Stossstangen und Fronthaubenbereich sowie durch einen Airbag auf der Windschutzscheibe konnte der Dummy "sanft" abgefangen werden. Leider wurde er durch das Fahrzeug so weggeschleudert, dass er dann mit dem Kopf voran auf der Strasse aufprallte.



**Bild 5: Computersimulierter Fussgänger / PW Crash Quelle: Automobil**

Mit Hilfe einer Projektarbeit der Fachhochschule Aargau wurde die Schnittstelle zwischen der Struktur des Livio 21 und dem Heckmodul konstruiert und auf dem Konzeptfahrzeug integriert.

Auch beim Dachmodul wurde die Schnittstelle definiert und ein Prototyp auf dem Livio 21 installiert.

Die beteiligten Projektpartner Horlacher AG, Rieter Automotive Management AG, Georg Kaufmann AG, Quadrant, Festo, Winterthur, Fachhochschule Aargau und Fachhochschule Beider Basel beabsichtigen im nächsten Jahr die "fahrbare Plattform" Livio 21 fertig zustellen. Als Schwerpunkt wollen sie die Technologien zur Herstellung leichtgewichtiger Module an den Beispielen Front-, Boden-, Dach-, und Heckmodul weiter erforschen.

Im Projekt **Ultra Leicht Scooter** [12] ULS der HTI Bern / Biel wurde die technische und ökonomische Machbarkeit eines solchen Scooters an Hand erster Design-Konzepte analysiert. Antriebsseitig wurden alle möglichen Antriebssysteme ins Auge gefasst. Wegen den grossen Fortschritten bei den Lithium-Batterien und der Einfachheit des Batterieelektroantriebs wurde dieses System als Antrieb evaluiert. So wird es möglich, einen ultraleichten Roller mit folgenden Eigenschaften zu realisieren (Faust-Formel „60/60/60“):

Energieinhalt Batterie	2 kWh
Masse Roller	60 kg
Maximalgeschwindigkeit	60 km / h
Reichweite	60 km

Ein solches einspuriges Verkehrsmittel erhöht die Kapazität des Verkehrsträgers, ist Lärmarm und lokal Emissionsfrei.

Die zentrale Zielsetzung des Projektes **Wetterschutz** [14] von Tribecraft Zürich war die Entwicklung eines Wetterschutzsystems für ein Fahrrad, das die bisherigen Produkte bezüglich der Funktion aber auch in Bezug auf formale Aspekte übertrifft. Das Projekt soll als Basis für die Entwicklung eines Serienproduktes genutzt werden können.

In der Analysephase des Fahrrad-Wetterschutz-Projektes hat sich recht schnell gezeigt, dass ein Fahrrad-Wetterschutz nicht unbedingt dem Anspruch eines hundertprozentigen Wetterschutzes gerecht werden muss, wie dies vielleicht aus der ursprünglichen Zieldefinition des Projektes hervorgehen mag. Vielmehr wurde klar, dass ein Produkt anzustreben ist, mit welchem eine maximale Einsatzhäufigkeit erreicht werden kann. Der Wetterschutz sollte im Vergleich zu heute zwar besser sein, aber nur so gut, dass die Einfachheit bei der Nutzung optimal ist und der Wetterschutz zum selbstverständlich eingesetzten Utensil bei wechselnden Wetterbedingungen werden kann.

Diese aus der Analyse hervorgehende, abstrakte Zieldefinition war Grundlage für das nun entstandene Produkt, einem völlig neuartigen Fahrrad - Wetterschutz.

Der Wetterschutz sorgt nicht nur für einen optimalen Schutz gegen Spritzwasser von der Fahrbahn, sondern schützt zudem die Kleider vor der Verschmutzung durch das Fahrrad selbst (Kette). Im Weiteren verbessert der Wetterschutz die Sichtbarkeit des Fahrradfahrenden. Der Wetterschutz besteht aus mehreren Teilen, die je nach Umgebungsbedingungen ergänzend eingesetzt werden können. Dadurch kann bei Regen der Schutz der Beine und Füße weiter verbessert werden.

In Kombination mit einer Regenjacke, die so oder so von den meisten durchschnittlichen Alltagsradlern in der Stadt genutzt wird, ergibt sich ein nahezu optimaler Schutz gegen Nässe und Regen, Verschmutzung und in geringerer Masse auch gegen die Kälte vom Fahrtwind.

Auch wenn der Wetterschutz im Rahmen des Projektes noch keinem intensiven Alltagstests unterzogen werden konnte, können bezüglich der ursprünglichen Zielsetzung folgende Schlüsse gezogen werden:

- Das System erlaubt einen sehr guten Schutz des Fahrradfahrenden vor allen negativen Nässe- und Schmutzeinwirkungen - Die Funktion des Systems verbessert den Wetterschutz im Vergleich zu bestehenden Lösungen deutlich, im speziellen bezüglich Nässe und Schmutz von unten (Fahrbahn).
- Das System ist vom Prinzip her auf fast alle Fahrräder und Fahrer nachrüstbar.
- Das System ist in seiner Form einzigartig und somit mit grosser Wahrscheinlichkeit patentierbar.
- Im Rahmen des Projektes konnte eine Grundlage für die Entwicklung eines Serieproduktes erarbeitet werden.

Das Projekt **Citybike Swiss** [15] von Rent a Bike, Therwil, entwickelt ein automatisches Velovermiet-system. Ein solches Velovermietssystem kann in Zukunft den Zugang zur kombinierten Mobilität erleichtern. Bisher wurden 3 Untervarianten entwickelt; mit der Kostengünstigsten Version wird 2006 die Umsetzung angestrebt.

## Fahrzeuge

Ziel des PAC-Car-Projektes [8] war, das bisher sparsamste Strassenfahrzeug zu realisieren. Zu diesem Zweck hat das Institut für Mess- und Regeltechnik der ETH Zürich eine Forschungsgruppe zusammengestellt, die sich aus Forschern und Studierenden der ETHZ und des Paul Scherrer Instituts sowie aus industriellen Partnern wie RUAG Aerospace, Esoro AG und Tribecraft AG zusammensetzt.

Um das sehr ambitionöse Ziel erreichen zu können, musste ein Fahrzeug entwickelt werden, das sowohl bezüglich der Fahrzeugmasse, der Fahrzeugfläche, des Luft- und Rollwiderstand, der Effizienz des

Antriebsstrangs sowie bezüglich der Fahrstrategie optimiert ist. Hierzu wurden Simulationsmethoden, FE-Analysen und Messungen auf Teststrecken wie auch im Windkanal eingesetzt.

Ende April 2005 bestand das Fahrzeug, das zumeist aus Baugruppen besteht, die einzeln gefertigt worden sind, die technische Abnahme. So konnte die verbleibende Zeit bis zum Rekordversuch für weitere Erprobungen und Optimierungen verwendet werden.

Am 26. Juni 2005 verbesserte der PAC-Car, anlässlich des Shell-Eco-Marathons in Ladoux Frankreich den Weltrekord von knapp 4000 km Reichweite pro Liter Benzinäquivalent sehr deutlich auf 5385 km.

Nachfolgendes Factsheet beschreibt die Erfolgsfaktoren des PAC-Car II:

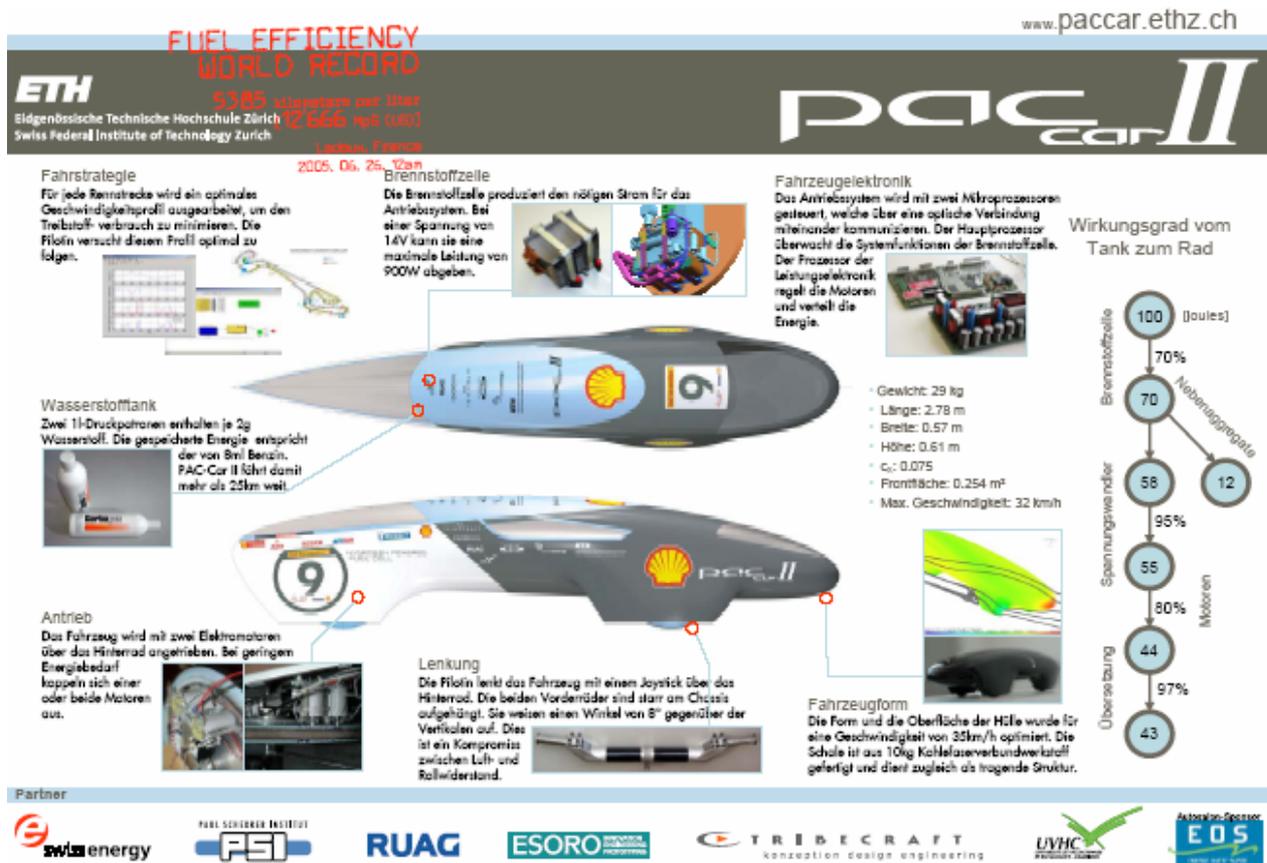


Bild 6: Der Aufbau und die Erfolgsfaktoren des PAC-Car II

Die Carrosserie Hess AG in Bellach SO entwickelte im Rahmen des Projekts *Swisstrolley 3* [16] einen neuen, energieeffizienten und leichten Trolleybus. Das projektierte Leer-Gewicht von 18'920 kg wurde beinahe erreicht, das Fertigfahrzeug erreicht ein Leergewicht von 19'100 kg. Damit ist dieses Fahrzeug im Vergleich zu ähnlichen Fahrzeugen der Konkurrenz um 1400 kg leichter. Mit kundenfreundlicher Klimaanlage benötigt das Fahrzeug bescheidene 21,4 Wh pro Passagier und km. Die Wirtschaftlichkeit kann mit einem vorläufig noch berechneten LCC-Fahrkilometer-Preis von CHF 0.69 als erfüllt gelten. Der Fahr-, der Einstieg- und der Sitzkomfort sowie das Interieur kommen bei den Fahrgästen und Betreibern sehr gut an. Das BAV hat das Fahrzeug nach allen Gesichtspunkten des Behindertengleichstellungsgesetzes sowie den dazugehörigen Empfehlungen abgenommen. Ein erstes Fahrzeug wird seit dem Berichtsjahr in Luzern im Linienbetrieb eingesetzt, gegenwärtig sind 72 Einheiten des Busses (Systempreis ca. 1000 kFr.) von den Verkehrsbetrieben der Städte Genf, Luzern und Zürich bestellt.



Bild 7: Swisstrolley 3 für die Verkehrsbetriebe Genf

REVA ist ein Leichtelektromobil, das seit Juni 2001 in Bangalore, Indien, für den globalen Markt produziert wird. Dieses günstige Fahrzeug ist ein ideales, emissionsfreies, energieeffizientes Stadtfahrzeug, wenn es an schweizerische/europäische Marktanforderungen angepasst wird. Im Rahmen des vorliegenden Projektes entwickelt die Firma PASOL, Titterten, den REVA EURO [17], der folgende Anforderungen europäischen erfüllt:

**Spitzengeschwindigkeit 85 km/h (im Vergleich zu 65 km/h des aktuellen REVA)**

**Reichweite 100 bis 150 km (im Vergleich zu 60 bis 80 km des aktuellen REVA)**

**Beschleunigung 0 auf 50 km/h in weniger als 10 Sekunden**

**Wartungsfreier Antriebsstrang und Batterie**

Seit dem Projektstart Oktober 2005, wurden folgende Arbeiten bereits erledigt:

**Simulation des REVA EURO zur Spezifikation von Batterie, Antriebsstrang und Ladegerät. (Drehmomentkennlinien, Nominal- und Spitzenleistung, Übersetzungsverhältnis, etc.). Dazu wurden in der Schweiz ein paar Referenzfahrten mit Horlacher sport durchgeführt (Gewicht, Rollwiderstand gleich wie Zielfahrzeug).**

**Diskussion von Lösungsansätzen für den Antriebsstrang mit einschlägigen Firmen. Festlegung der Antriebsstrang-Komponenten.**

**Systemintegration (mechanisch und elektrisch) von Batterie, Antriebsstrang und Ladegerät.**

**Konzeption und Bau des Interfaces zwischen REVA Ladegerät und ZEBRA Batteriemangement, sowie CAN-Kommunikation zwischen ZEBRA-BMI und Inverter. Tests dieser Subsysteme in aktuellem REVA mit ZEBRA Batterie (48V System).**

**Die Machbarkeitsstudie MUPUM [18] (Multi Purpose Mobil) der HTI Biel entwickelt ein kommunales Mehrzweckfahrzeug, dessen Umsetzung in der Schweizer Fahrzeugindustrie angedacht ist. Die Trägerzelle ist in der Gestalt, dass an ihr rasch verschiedene Module mit unterschiedli-**

chem Einsatzzweck an- und abgebaut werden können: Module für Schulbus, Behindertentransport, Kehrriechtsammlung, Strassenreinigung, Löscheinsätze. Für den Antrieb wurden verschiedene Konzepte geprüft; aus ökologischer Sicht ergeben sich Vorteile für hybride Systeme, insbesondere im Teillastbetrieb, hervorgerufen durch die Nebenaggregate im Stillstand.

Im Projekt **COASTER** [19] der Firma Brusa / Sennwald entwickelt diese das Antriebssystem für den Coaster, ein schienengebundenes, führerloses Taxi. Eine erste Pilotanlage ist am Bürserberg im Eingang des Brandnertals / Österreich in der intensiven Erprobung. Das Gesamtsystem soll künftig in sensiblen Gebieten die Strasse, den PW ersetzen. Erste kleinere kommerzielle Anlagen sind für mehrere Touristische Gebiete in Planung und in der Zwischenzeit wurde bereits eine Anlage geordert.



Bild 8: Der Coaster auf der hügeligen Teststrecke

### Akkumulatoren / Ultrakapazitäten

Ziel des Projektes **Integrated micro-supercapacitors** [20] ( $\mu$ SC) des PSI Villigen ist die Entwicklung eines mikrostrukturierten Doppelschichtkondensators ( $\mu$ SC), der als Energie- und Leistungsversorgung für eine Mikrobrennstoffzelle dient. Der Kondensator soll sowohl bei der Startphase der BZ Energie liefern als auch im Betrieb Leistungsspitzen abdecken. Der DSK soll in einem Volumen von max.  $3 \text{ cm}^3$  eine Energie von 2 J und eine Leistung von 5 W liefern. Um den Mikrostrukturierungsprozess auf eine Ebene zu begrenzen, wurde eine kammartige Elektrodenstruktur gewählt, bei der die positive und negative Elektrode nebeneinander liegen. Als Elektrodenmaterial wurde hydratisiertes  $\text{RuO}_2$  gewählt.

Im Berichtszeitraum wurde hydratisiertes  $\text{RuO}_2$  als aktives Elektrodenmaterial durch einen pH kontrollierten Fällungsprozess mit NaOH aus  $\text{RuCl}_3$  hergestellt. Mittels Einzelelektrodenmessungen wurde eine spezifische Kapazität von  $> 700 \text{ F/g}$  demonstriert. Dieser Wert wird nur bei einer Kalzinierungstemperatur von um  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  erreicht. Bei höheren Temperaturen nehmen die Kapazität ab und die Leitfähigkeit zu. Mit diesem Elektrodenmaterial wurde in  $\text{H}_2\text{SO}_4$  das mögliche Spannungsfenster (Nennspannung des Kondensators) zu 1.0 V bestimmt. Bei dieser Nennspannung wurde eine ausreichende Zyklenstabilität demonstriert (Kapazitätsverlust  $< 4\%$  nach 600 Zyklen). Die Selbstentladung ist relativ gross mit 30% Ladungsverlust nach 100 Stunden. Mit einer "Knopfzellenanordnung" wurde eine spezifische Energie von ca.  $10 \text{ Wh/kg}$  und eine spezifische Leistung von  $> 10 \text{ kW/kg}$  – bezogen auf das Gewicht des  $\text{RuO}_2$  – bestimmt.

Das Füllen der kammartigen Mikrostrukturen mit Kanalbreiten von  $100 \text{ }\mu\text{m}$  und Stegbreiten von  $50 \text{ }\mu\text{m}$  mit dem aktiven Elektrodenmaterial  $\text{RuO}_2$  ist stark von den Oberflächeneigenschaften der Metallisierung und von den Benetzungseigenschaften der  $\text{RuO}_2$  Lösung/Paste abhängig. Nach zahlreichen Versuchen wurde ein vielversprechendes Verfahren gefunden, bei dem Nafion als Binder verwendet wird. Es konnten an einer Ni metallisierten Struktur erste Zyklische Voltammogramme erfolgreich gemessen werden.

Um den Abstand der Elektroden möglichst klein zu halten und eine hohe Leistungsdichte zu erzielen wurde, bei einem ersten  $\mu$ SC-Design eine Metallisierung der Seitenwände vorgesehen. Die in der Mikrosystechnik eingesetzten Beschichtungsverfahren (PVD) sind nahe zu gerichtet, wodurch die Seitenwände zur Beschichtung ein konisches Profil aufweisen müssen. Der zum Strukturieren von Silizium verwendete DRIE Prozess ist für senkrechte Seitenwände optimiert. Durch ein Anpassen der Parameter durch die Firma Alcatel konnte ein konisches Profil erzeugt werden. Der von Alcatel entwickelte Strukturierungsprozess zeigte ein unerwartet starkes unterätzen, welches dazu führte, dass Stege teilweise weggeätzt wurden. Des Weiteren ist das Profil leicht überhängend was die Metallisierung erschwert.

Das als Stromsampler bevorzugt eingesetzte Platin ist mit nasschemischem Ätzen nicht strukturierbar. Aus diesem Grunde muss für die Strukturierung ein Lift-Off Prozess verwendet werden. Der Lift-Off Prozess ist nur mit ausreichendem Yield einsetzbar wenn auch Stege und kein Überhang vorhanden sind.

Um trotz der aufgetretenen Schwierigkeiten ein Device für erste Messungen zu Verfügung zu haben, wurde die Prozess-Folge komplett umgestellt und ein galvanisch abgeschiedenes Nickel verwendet. Für zukünftig hergestellte Devices kann das Nickel durch ein galvanisch abgeschiedenes Pt ersetzt werden. Durch ein Anpassen der Aetzmaske und ein Optimieren der Prozesse sollte es möglich sein Stege in den geforderten Dimensionen zu erhalten.

Unterstützt vom BFE klärt die *MES DEA S.A.* aus Stabio TI die Machbarkeit einer **Niedertemperatur-Zebra Batterie** [21] ab. Die herkömmliche Zebra-Batterie weist eine Betriebstemperatur von 270 – 350°C auf. Trotz nur minimalen thermischen Verlusten ist diese Temperatur für viele Anwendungen nachteilig resp. verunmöglicht sogar den Einsatz der Batterie. Da das System bezüglich Lebensdauer und Energiedichte über hervorragende Eigenschaften verfügt, versucht *MES DEA*, die Betriebstemperatur durch den Einsatz geeigneter organischer Lösungsmittel wesentlich abzusenken. Erste Versuche im Labor bestätigten die theoretische Machbarkeit – für deren Anwendung bedarf es aber noch wesentlicher Forschungs- und Entwicklungsarbeit.

## Nationale Zusammenarbeit

Das Programm *Verkehr / Akkumulatoren* koordiniert und vernetzt die Energieforschungsaspekte im Themengebiet. Die Zusammenarbeit mit dem ETH-Bereich, den Fachhochschulen, der Industrie und den Verbänden ist gut etabliert und es findet ein reger Erfahrungs- und Informationsaustausch statt. An einer inzwischen etablierten, jährlich stattfindenden Forschungstagung des BFE werden diese Koordination, die Vernetzung und der Informationsaustausch speziell gefördert. Im Berichtsjahr fand diese Tagung mit etwa 120 Teilnehmern am PSI in Villigen statt. Ein Tagungsband auf CD-ROM mit sämtlichen Präsentationen ist bei [martin.pulfer@bfe.admin.ch](mailto:martin.pulfer@bfe.admin.ch) erhältlich.

## Internationale Zusammenarbeit

Das Implementing Agreement (IA) **Hybrid- and Electric Vehicle Technologies and Programmes** [22] (HEV) der Internationalen Energieagentur (IEA) befasst sich mit der Entwicklung und Verbreitung von Batterie- oder Brennstoffzellen betriebener Elektrofahrzeugen und Hybriden Fahrzeugen. Geleitet wird dieses IA vom Schweizer Chairman Urs Muntwyler. 2005 konnten die zwei Annexe „Elektrochemische Systeme“ und „Hybridfahrzeuge“ wieder neu lanciert werden. Von der Schweiz stark forciert wird ein weiterer neuer Annex „Elektrozweiräder“ der vermutlich 2006 genehmigt und in Angriff genommen wird. Seit einem Jahr ist die Schweiz auch in einem weiteren IA *Advanced Motor Fuels* als Mitglied vertreten. Innerhalb und zwischen den beiden IA hat sich eine erspriessliche Zusammenarbeit etabliert.

## Bewertung 2005 und Ausblick 2006

Herausragendes Resultat im Berichtsjahr war sicher der Weltrekord des Forschungsteam von Lino Guzzella der ETH Zürich mit dem Experimentalfahrzeug PAC-Car II. National und insbesondere international sensibilisierte dieses Fahrzeug das Publikum für das Thema Energieeffizienz und zeigte gleichzeitig auch die Grenzen des Machbaren auf.

NewRide, das Promotionsprogramm für Elektrozweiräder erzielt zusammen mit seinen Partnern Wachstumsraten von ca. plus 20 % pro Jahr. Es verlässt so langsam das Stadium der Erprobung und erhält wegen der zunehmenden Wirkung nach und nach energiepolitische Bedeutung. Ökologisch und insbesondere ökonomisch stellen die 72 bestellten Busse Swisstrolley 3 der Neuentwicklung von Carrosserie Hess einen grossen Erfolg dar.

Für das Jahr 2006 sind nach dem Durchschreiten der budgetmässigen Durststrecke kaum spektakuläre Erfolge zu erwarten, zumal wichtige Projekte gerade erst vor kurzem gestartet werden konnten resp. gerade gestartet werden. Am ehesten ist für das Stadtfahrzeug REVA EURO, insbesondere in London, ein gewisser kommerzieller Erfolg zu erwarten (Elektro- und Hybridfahrzeuge sind in London nicht dem Road Pricing unterworfen).

## Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht 2005 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden (siehe [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch) unter den angegebenen Publikationsnummern in Klammern)

Unter den angegebenen Internet-Adressen sind die Berichte sowie weitere Informationen verfügbar.

- [1] G. Moreni ([gianni.moreni@rapp.ch](mailto:gianni.moreni@rapp.ch)) U. Haefeli, ARGE Rapp Trans, Zürich, Interface, Luzern: **Finanzielle Anreize für effiziente Fahrzeuge**, (JB), <http://www.rapp.ch>
- [2] U. Schwegler, ([ursschwegler@bluewin.ch](mailto:ursschwegler@bluewin.ch)), e'mobile, Fischingen: **CleanerDrive** (SB), <http://www.e-mobile.ch>.
- [3] P. de Haan, ([dehaan@env.ethz.ch](mailto:dehaan@env.ethz.ch)), ETH-Zürich: **Autoklassen – Wechselverhalten** (SB), <http://www.ethz.ch>
- [4] M. Seifert, ([m.seifert@svgw.ch](mailto:m.seifert@svgw.ch)), Verein des Schweizerischen Gas und Wasserfaches, Zürich: **a) Erdgas SAM** (JB), **• b) Busvergleichsstudie** (SB) <http://www.svgw.ch/>
- [5] S. Ulli ([silvia.ulli@psi.ch](mailto:silvia.ulli@psi.ch)) St. Lienin, ([stephan.lienin@sustainserv.com](mailto:stephan.lienin@sustainserv.com)), sustainsurv, Zürich: Erlebnisraum Mobilität der Pilotregion Basel (JB), <http://www.novatlantis.ch>
- [6] H. Hofmann, ([hofmann@ikaoe.unibe.ch](mailto:hofmann@ikaoe.unibe.ch)) IKAÖ Universität Bern: **NewRide** (JB), <http://www.newride.ch>
- [7] R. Kiener, ([r.kiener@gmx.ch](mailto:r.kiener@gmx.ch)) SOKAW, Gemeinde Wohlen: **e-rent** (SB), <http://www.mobilem.ch>, <http://www.buchmich.ch>
- [8] L. Guzzella, C. Onder, ([guzzella@imrt.mavt.ethz.ch](mailto:guzzella@imrt.mavt.ethz.ch)), ETH-Zürich: **a) PALOS II Optimale Antriebssysteme für Leichtfahrzeuge** (JB) **• b) Kraftstoffsparende Antriebssysteme** (JB) **• c) Pac-Car** (JB), <http://www.ethz.ch>
- [9] Ch. Bach, ([christian.bach@empa.ch](mailto:christian.bach@empa.ch)), P. Soltic, ([patrick.soltic@empa.ch](mailto:patrick.soltic@empa.ch)), EMPA Dübendorf: **Clever** (JB), <http://www.empa.ch/abt137>
- [10] M. Hoeckel, ([michael.hoeckel@hti-bern.bfh.ch](mailto:michael.hoeckel@hti-bern.bfh.ch)), FH Bern/Biel: **Brennstoffzellen-SAM** (SB), <http://www.hta-bi.bfh.ch/E/Laboratories/FuelCell>
- [11] F. Sbarro, ([sbarro@freesurf.ch](mailto:sbarro@freesurf.ch)), A.C.A. Ateliers d'Etudes, Grandson: **Pneumatische Rekuperation** (JB).
- [12] A. Fuchs, ([andreas.fuchs@hti.bfh.ch](mailto:andreas.fuchs@hti.bfh.ch)), FH Bern: **a) Energiemanagementsystem** (JB) **• b) Ultraleicht scooter** (JB), <http://www.hta-be.bfh.ch/>
- [13] M. Horlacher, ([thomas.efler@bluewin.ch](mailto:thomas.efler@bluewin.ch)), Horlacher Möhlin: **Livio21** (JB), <http://www.horlacher.com>
- [14] M. Schütz / D. Irazy, ([martin.schuetz@tribecraft.ch](mailto:martin.schuetz@tribecraft.ch)), Tribecraft, Zürich: **Wetterschutz Fahrrad** (SB), <http://www.tribecraft.ch>
- [15] S. Maissen ([s.maissen@bro.ch](mailto:s.maissen@bro.ch)), Rent a Bike, Therwil: **Citybike SWISS** (JB); <http://www.rentabike.ch>
- [16] A. Naef / H.-J. Gisler, ([info@hess-ag.ch](mailto:info@hess-ag.ch)), Carrosserie Hess, Bellach: **Swisstrolley3** (SB), <http://www.hess-ag.ch>
- [17] P. Schweizer, ([pschweizer@pasol.ch](mailto:pschweizer@pasol.ch)), Pasol, Titterten: **REVA EURO** (JB), <http://www.pasol.ch/>
- [18] J.-F. Urwyler ([jean-francois.urwyler@hti.bfh.ch](mailto:jean-francois.urwyler@hti.bfh.ch)), FH Biel: **MUPUM** (SB), <http://www.hti.bfh.ch>
- [19] A. Mathoy / P. Matt, ([arno.mathoy@brusa.biz](mailto:arno.mathoy@brusa.biz)), Brusa AG, Sennwald: **Coaster**, (SB), [http://www.brusa.biz/company/g\\_c](http://www.brusa.biz/company/g_c)
- [20] R. Kötz ([ruediger.koetz@psi.ch](mailto:ruediger.koetz@psi.ch)), Paul Scherrer Institut, Villigen: **Integrated micro-supercapacitors** (JB), <http://www.psi.ch>
- [21] C. Dustmann, ([cdustmann@mes-dea.ch](mailto:cdustmann@mes-dea.ch)) MES-DEA, Stabio: **Niedertemperatur-Zebra Batterie** (JB) <http://www.cebi.com>
- [22] S. Kleindienst Muntwyler ([muntwyler@solarcenter.ch](mailto:muntwyler@solarcenter.ch)) Solarcenter Muntwyler, Zollikofen: **IEA Implementing Agreement HEV** (JB).

## Referenzen

- [23] M. Pulfer ([martin.pulfer@bfe.admin.ch](mailto:martin.pulfer@bfe.admin.ch)) BFE, Bern: **Programme Verkehr und Akkumulatoren/ Supercaps 2004 – 2007**, <http://www.energie-schweiz.ch/bfe/de/verkehr/forschung/>.
- [24] **Konzept der Energieforschung des Bundes 2004 – 2007**, download unter: <http://www.energie-schweiz.ch/internet/03095/index.html?lang=de>.