

Der Schlüssel zum besten Gesamtwirkungsgrad

Elektromobilität ist zurzeit in aller Munde. Eine Vielzahl von Konzepten liegen vor. Der Durchbruch reiner batteriegetriebener Elektroautos lässt jedoch auf sich warten. Woran liegt es? Bei den Batterien, den Motorleistungen oder den Reichweiten? Ein internationaler Test in den USA lieferte markante Erkenntnisse.



Der E-Tracer auf dem Michigan International Speedway.

Die Elektromobilität befindet sich in einem Spannungsfeld: Einerseits wird sie als umweltfreundlich angepriesen, da sie keine Abgase freisetzt. Andererseits wird der Verbrauch von seltenen Erden für die Herstellung der Batterien kritisiert wie auch die Erzeugung des Stroms. Die noch ungesicherte Lebensdauer der Batterien ist ebenfalls eines der Killerkriterien.

Energiebedarf der Mobilität

Bereits in den Urzeiten der Mobilität mit beschränkten Pferdestärken sowie damals bescheidenen Geschwindigkeiten auf zumeist holprigen unbefestigten Naturstrassen wurde der Energiebedarf des Fahrzeuges vorwiegend durch sehr grosse Räder mit kleinem Rollwiderstand minimiert. Auch die ersten mit Dampf betriebenen Fahrzeuge, die Steam Cars um 1800, basierten auf der Kutsche. Beim motorisierten Derivat der Kutsche – dem Automobil – wurde der Sachverhalt komplexer,

insbesondere im Hinblick auf die laufend gestiegenen Anforderungen bezüglich Komfort und Fahrleistungen. Der Fahrwiderstand des Automobils setzt sich aus den Komponenten des Rollwiderstandes der Reifen, des Beschleunigungswiderstandes, des Steigungswiderstandes sowie des Luftwiderstandes zusammen. Bei Geschwindigkeiten ab rund 80 km/h dominiert der Luftwiderstand, der im Gegensatz zum Beschleunigungs- und Steigungswiderstand dauernd anfällt und somit energetisch permanent zu überwinden ist. Der Rollwiderstand, der Beschleunigungswiderstand sowie der Steigungswiderstand vergrössern sich jeweils proportional zum Fahrzeuggewicht, der Luftwiderstand hingegen steigt jedoch quadratisch zur Fahrgeschwindigkeit. Der Luftwiderstand F eines Fahrzeuges ergibt sich aus dem Staudruck q , der quadratisch zur Geschwindigkeit ansteigt, multipliziert mit dem Luftwiderstandsbeiwert c_w sowie der absoluten

Querschnittsfläche F des jeweiligen Fahrzeuges: $W = q \cdot c_w \cdot F$. Somit ist offensichtlich, dass ein kleines Fahrzeuggewicht sowie eine gute Aerodynamik die Energieeffizienz des Fahrzeuges massgeblich beeinflussen. Währendem auf dem Kutschbock der Luftwiderstand keine Rolle spielte, dominiert dieser bei den heutigen Fahrzeuggeschwindigkeiten.

Das ideale Fahrzeug

Offensichtlich vermögen konventionell aufgebaute Fahrzeuge die vorgenannten Zielkonflikte von kleiner Masse, kleinem Fahrwiderstand sowie guter Aerodynamik und Reichweite nicht zu lösen. Zudem ergibt die traditionell nebeneinanderliegende Sitzanordnung insbesondere bei kompakten Strassenfahrzeugen gleich mehrere überproportional grosse Nachteile: Der kurze Radstand und die hohe Schwerpunktlage ergeben ein instabiles Fahrverhalten (Elchtest) und das breite, eher kurze kasten-

förmige Gebilde ergibt einen sehr hohen Luftwiderstand. Es wird somit offensichtlich, dass bei energieeffizienten Fahrzeugen, die dem Transport von zwei Personen dienen sollen, eine Tandem-Anordnung der Sitze anzustreben ist. Damit eine gute Fahrstabilität erzielt werden kann, ist zudem die Reduktion auf ein Einspurfahrzeug nahe liegend.

Der Gesamtwirkungsgrad

Die Wirkungsgrade multiplizieren sich. Der Gesamtwirkungsgrad ist das Produkt aus dem inneren Wirkungsgrad des Antriebsystems und dem äusseren Wirkungsgrad des Fahrzeuges. Der innere Wirkungsgrad setzt sich beim reinen Elektrofahrzeug aus dem Wirkungsgrad der Batterie, des Umrichters, des Elektromotors und dessen Leistungsübertragung über das Getriebe auf die Räder zusammen. Der äussere Wirkungsgrad setzt sich aus der Masse des Fahrzeuges, der Rollreibung der Räder

sowie der Dimension und insbesondere der aerodynamischen Güte des Fahrzeuges zusammen. Der Monotracer, der vom Aussehen her einem aerodynamisch verschalteten Motorrad gleicht, erfüllt diese Bedingungen, um den Gesamtwirkungsgrad zu minimieren. So liess auch der Umbau vom Benzinmotor zu einem Elektroantrieb gute Fahrleistungen bei einem günstigen Energieverbrauch erwarten.

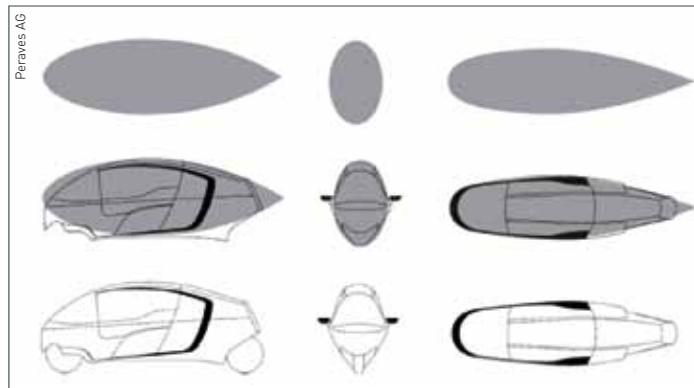
Wettbewerb in den USA

Im Jahr 2007 erfolgte mit dem Automotive X-Prize eine internationale Ausschreibung zur umfangreichen Evaluation der energieeffizientesten Fahrzeuge. Als harte Bedingungen waren unter anderem die Strassenzulassung sowie Serientauglichkeit der Fahrzeuge massgebliche Voraussetzungen zum Wettbewerb. Im selben Jahr begannen Roger Riedener und Felix Wagner der Firma Peraves mit der Vorarbeit, indem ein Ecomobile auf Elektroantrieb umgerüstet wurde. Bereits im Sommer 2008 konnte auf der Rennstrecke in Brünn die Leistungsfähigkeit der Kombination von Fahrzeug, Elektroantrieb und Batterie nachgewiesen werden. Das Team entschied sich, mit zwei E-Tracer-Fahrzeugen auf der aktuellen Plattform des Monotracers am X-Prize-Wettbewerb teilzunehmen. Im Laufe des Jahres 2009 wurden die Fahrzeuge gebaut, und zugleich wurden seitens der Veranstalter stets umfangreichere Nachweise und

Berechnungen für den erstmals durchgeführten Wettbewerb eingefordert. Unmittelbar vor der Abreise des Schweizer Teams «X-Tracer Switzerland» sorgte im April 2010 der Vulkanausbruch in Island für Hochspannung. Die beiden Fahrzeuge X-Tracer 72 und 79 kamen erst unmittelbar vor der ersten Prüfung in den USA an. Sie überwandern auch die Einfuhrhürden in die USA als strassenzugelassene Privatfahrzeuge mit ZH-Nummernschilder für ein Jahr.

Der Tatbeweis

Der Wettbewerb startete 26. April und lief über drei Monate in verschiedenen Testphasen «Shake Down», «Knock-out» und «Final Stage». Die Tests wurden auf dem Michigan International Speedway durchgeführt. Danach wurden die Messreihen bezüglich Verbrauch und Beschleunigung mit wissenschaftlichen Labortests als «Verification Stage» im Argonne Lab des US-Energieministerium im August 2010 abgeschlossen. Beim Automotive X-Prize 2010 in USA erzielte der E-Tracer mit einem Verbrauchsäquivalent von 205,3 MPGe insgesamt die beste Verbrauchswertung aller drei Kategorien. Dieser Wert entspricht einem Verbrauch von 1,14 l/100 km über verschiedene Zyklen. Diese umfassten nebst einem anspruchsvollen Slalom-Parcours verschiedene Stop & Go-Zyklen über Distanzen bis zu 100 Meilen.



Vom Stromlinienkörper zum Monotracer.

Die Siegerehrung

Die Siegerehrung erfolgte am 16. Sept. 2010 in Washington D.C.. Das Schweizer X-Tracer-Team gewann den mit 2,5 Millionen US-Dollar dotierten ersten Preis für die «Alternative Tandem Class» für Zweisitzer. Mit 205,3 MPGe war das Team auch Sieger im Gesamtverbrauch über alle Wertungsklassen. Die mit 5 Millionen Dollar dotierte «Mainstream Class» für Viersitzer gewann das Team Edison 2 mit einem Verbrauch von 102,5 MPGe. Das Team Li-ion Motors gewann die Klasse «Alternative Side-by-side» für Zweisitzer, mit einem Verbrauch von 187,5 MPGe.

Der Praxisnutzen

Energieeffiziente Elektromobile sind seit vielen Jahren mit dem Makel des latenten Verkehrshindernisses behaftet. Der Praxisnutzen eines Fahrzeugs lässt sich mit einer einfachen Formel zeigen, indem die spezifische Reichweite des Fahrzeuges in Miles per Gallon durch die minimale Beschleunigungszeit von 0 auf 60 Meilen dividiert wird. Dies umfasst die Zielkonflikte von Gewicht, Fahrleistung und Reichweite. Das Resultat wird als Ökodynamik-Faktor VED (Vehicle-Eco-Dynamics) bezeichnet und scheidet die Spreu vom Weizen, wie anhand der folgenden Wettbewerbsresultate klar ersichtlich wird. In der «Knockout Stage» erzielte der X-Tracer 79 eine spezifische Reichweite von 188,8 MPGe und beschleunigte innerhalb 5,5 sec von 0 auf 60 MPH, was eine VED von 34,32 ergibt.

Das Deutsche Team mit dem Fahrzeug TW4XP, einem modernisierten Twike, erzielte eine spezifische Reichweite von 107,0 MPGe und benötigte 17,09 sec von 0 auf 60 MPH, was eine VED von 6,26 ergibt.

X-Tracer soll in Serie gehen

Die beiden Wettbewerbsfahrzeuge werden an verschiedenen Messen und Ausstellungen eingesetzt. Anlässlich einer Promotiontour in Kalifornien wurden bei einem Ausflug nach Las Vegas auf dem Highway die magischen 300 MPGe erreicht, was einem Verbrauch von 0,78 l/100 km entspricht. Die Fahrleistungen des E-Tracers decken mit einer Höchstgeschwindigkeit von 240 km/h höchste Ansprüche. Dank der hohen aerodynamischen Güte und geringem Gewicht ergibt sich ein vorzüglicher Gesamtwirkungsgrad des Fahrzeuges, das gegenüber einer konventionell aufgebauten «Elektrokutsche» nur ein Drittel der Energie verbraucht. Mit einem je auf ein Drittel reduzierten Gewicht und Fahrwiderstand wird eine hervorragende Ressourceneffizienz erzielt, was sich im Materialverbrauch beim Fahrzeugbau, beim Verbrauch an seltenen Erden in Form der Batterien sowie in kurzen Ladezeiten niederschlägt. Derzeit wird beim Hersteller die Serienproduktion des Fahrzeuges vorbereitet. 

Adolf Flüeli
ADF Innovation Consulting,
www.progressiveautoxprize.org
www.monotracer.com



Die Trevithick London Coach Engine von 1802 hatte bereits grosse und schmale Räder, um den Rollwiderstand zu minimieren.