Erfahrungen mit dem Toyota Prius

von Dr. Dieter Schulze, Dresden

Der Toyota Prius verdient Aufmerksamkeit

Unsere Familie fährt im städtischen Nahverkehr Dresdens über 30 Jahre einen Elektrotrabant. Es ist ein Hobby mit zeit- und kostensparendem Nutzeffekt (siehe Solarmobil Mitteilungen Nr. 41/42, S.17 ff.). Mittlerweile sehen wir es auch als öffentlichkeitswirksame Werbung für umweltfreundlichen Stadtverkehr.

Für Fernreisen suchten wir schon länger nach einem geeigneten Pkw, der den inzwischen betagten 4-Takt-Wartburg nach 10 Jahren treuen Dienst ablöst. Wenn möglich sollte es auch hier in Richtung elektrischen Fahrzeugantrieb gehen, allein wegen der Speicherproblematik bei Fernreisen ein eher utopischer Wunsch.

Hin und wieder kamen Informationen über einen Hybrid-Pkw Prius von Toyota über die Medien. Vor allem meine Frau bemühte sich intensiv um den Prius, aber noch Mitte 2000 war für uns bei Toyota Deutschland kein Prius verfügbar. Schließlich war doch Ende März 2001 für den Prius Marktstart in Dresden und eine Woche später hatten wir einen der schmukken und komfortablen Fünfsitzer gekauft.

Nun hat Herr Staubach in der Nr. 48 dieser Zeitschrift den Pkw eingehend in Aufbau, Funktion und Eigenschaften beschrieben. Ich habe die Ausführungen mit Interesse gelesen und kann sie in wesentlichen Punkten bestätigen, vor allem was die umweltschonenden Daten des Prius betrifft. Die Euro-4-Schadstoffnorm wird unterboten, die Kohlendioxidmenge beträgt nur 120 g/km. Die niedrige Abgasemmision hilft auch uns, denn wir sparen bis zum Jahr 2005 die Kfz-Steuern. Dem oft gescholtenen Fiskus sei Dank für diesen Steuerbonus, womit die neue Antriebskonzeption anerkannt und gefördert wird. Aus deutscher Serienproduktion gibt es noch kein vergleichbares Angebot auf dem Markt. Warum eigentlich ?

Energieverbrauchswerte

Da unser Prius nun bereits den zweiten Winter erlebt, können wir den Kraftstoffverbrauch und seine Anzeige auf dem Bildschirm jahreszeitlich aufgeschlüsselt in 500 km-Strecken recht genau angeben und vergleichen. Die Werte sind in Tabelle 1 und 2 zu lesen und sprechen mit dem entsprechenden Kommentar am Tabellenende für sich.

Der Autor abends mit seinem Prius nach der enertec, Messe Leipzig

Ob und in welchem Zeitraum der niedrige Benzinverbrauch den beachtlichen Kaufpreis von 44.400,- DM etwas kompensiert, bleibt abzuwarten, auch im Hinblick auf die Preisentwicklung bei Kraftstoffen.

Toyota garantiert für 5 Jahre oder maximal 100.000 km Fahrstrecke. Der Ni-Metallhydrid-Akkumulator ist in diese Garantie einbezogen. Ist die Garantie abgelaufen, kostet ein neuer Akku nach Firmenangabe 4.000 DM. Das ist auf einen Schlag ein Batzen Geld. Andererseits: welcher Akkuhersteller oder –händler bietet dieses Produkt preiswerter bei 5 Jahre Garantie? Da bin ich daran interessiert !!

Für den o.g. Akku (273,6 V Nennspannung; 6,5 Ah; ca. 50 kg) errechnet sich im vollgeladenen Zustand ein Energievorrat von rund 1,8 kWh, bei voller Leistung des Elektromotors eine Entladestromstärke von 120 A. Der Akku wäre bei o.g. Stromentnahme nach rund 3 Minuten leer. Gerade das verhindert das computergestützte Toyota-Hybrid-System mit zusätzlichem Verbrennungsmotor und Generator zum Nachladen des Akkus abweichend vom "normalen" Elektroauto. Dieses System verwertet außerdem ingenieurtechnisch gekonnt Überschuß- und Verlustenergien des Pkw (Schub-, Roll- und Bremsenergie) zum Aufladen des Akkus, die beim verbrennungsmotorischen Antrieb in der Regel verloren gehen. Elektroautos nutzen in den meisten Fällen ebenfalls die Nutzbremsung.

Der Verbrennungsmotor allein wie auch der Elektromotor allein leisten für den Kfz-Antrieb nicht das, was die Antriebskonzeption des Prius bietet. Allerdings wäre die Nachladung des Akku z. B. mit Solarstrom oder mit Windstrom ein weiterer wünschenswerter Schritt.

Aus meiner Sicht verdient der Prius vor allem deswegen Aufmerksamkeit, weil die überzeugende Serienreife der Antriebskonzeption anregt, über Kfz-Antriebsenergien grundsätzlich nachzudenken.

Im Kfz benötigt das Fahrwerk, mit dem das Fahrzeug bewegt wird, ausschließlich mechanische Energie. Mit anderen Energiearten kommen Differential, Achsen oder Räder nicht zurecht. Chemische, thermische und elektrische Energie müssen zuvor in mechanische Energie umgewandelt werden, diese unmittelbar ersetzen können sie nicht. Das klingt so selbstverständlich einfach, trifft aber nicht zu. Es ist gegenwärtig eine wichtige Aufgabe für die zukünftige Mobilität herauszufinden, welche Energieart auf welchem Wege mit welchen Wirkungen und Nebenwirkungen für welche Kfz am günstigsten mechanische Energie für den Antrieb bereitstellt.

Im Nahverkehr ist nach meiner Erfahrung der akkugestützte elektromotorische Antrieb kleiner, leichter Fahrzeuge kombiniert mit ortsfester oder mobiler Solarstromerzeugung zum Nachladen eine gute Variante zukünftiger Mobilität. Wie die Fahrzeuge "Twike" und "City.el" beweisen, reichen die Fahrleistungen für o.g. Einsatzbereich aus bzw. gehen sogar darüber hinaus. Zu nennen ist hier auch der "SAM" von der Cree AG/Schweiz. Die Autofir men Renault, Citroen, Peugeot aus Frankreich waren mit ihren Elektro-Pkw Schrittmacher. Aber

insgesamt ist das Marktangebot noch zu mager und die Fahrzeuge sind recht teuer.

Elektrotrabant DD – DE 639 mit Solardach

Als Beispiel für kleine Pkw ist der Energieverbrauch unseres Elektrotrabant mit Solardeck aufgelistet, getrennt nach Netz- und Solarstrom, zusammen mit den dazu gefahrenen Streckenabschnitten im sonnenreichen Monat Mai.

2 Module BP– Solar 490: 60 V; 180 W; 1,1 m^2; 15 kg

„Solarernte“ Mai 1998

31.04. – 03.05.	33 Ah
04.05. – 05.05.	15 Ah
06.05.	5 Ah
07.05.	7 Ah
08.05.	17 Ah
09.05. – 10.05.	29 Ah
11.05. – 12.05.	20 Ah
13.05.	24 Ah
14.05. – 16.05.	36 Ah
17.05.	1 Ah
18.05. – 19.05.	25 Ah
20.05.	14 Ah
21.05. – 22.05.	22 Ah
23.05.	1 Ah
24.05. – 25.05.	22 Ah
26.05.	9 Ah
27.05.	10 Ah
28.05.	24 Ah
29.05.	26 Ah
30.5.	6 Ah
31.05.	10 Ah
01.06.	14 Ah
	370 Ah

Gesamtenergie von der Sonne:
370 Ah x 50 V = 18.500 Wh = **18,5 kWh**

gefahrene Strecke
vom 01.05. bis 01.06. 1998: **283 km**

Ladeenergie gesamt:

Solar	18,5 kWh	59 %
Netzstrom	13,0 kWh	41 %

Energie gesamt 31,5 kWh

Spez: Energieverbrauch: 11,1 kWh / 100 km

Diese elektrische Energie läßt sich in Kraftstoffenergie (10 kWh entsprechen rund 1 Liter Benzin) umrechnen: Der solarelektrische Trabi hat damit pro 100 km etwa soviel Energie verbraucht, wie in 1,1 Liter Benzin enthalten ist, also deutlich weniger als das „3 l–Auto“.

Allerdings muß bei dem Vergleich berücksichtigt werden, daß die Fahrleistungen dieses Elektroautos auf 25 bis 30 km Reichweite und max. 50 km/h begrenzt ist. Nach unseren Erfahrungen ist dies im städtischen Nahverkehr häufig ausreichend.

Trabi-Antrieb mit PERM Motor, Orginal Getriebe und Curtis Steller. Der Autor bietet einen entsprechenden Bausatz zum Selbstumbau an.

Brennstoffzelle

Die Brennstoffzelle hat die Chance, dem elektromotorischen Kfz-Antrieb genereller zum Durchbruch zu verhelfen. Das Prinzip der stromliefernden "kalten Verbrennung" von Wasserstoff mit Sauerstoff ist lange bekannt. Auch der wesentlich höhere Wirkungsgrad dieser elektrochemischen Umsetzung gegenüber anderen Prinzipien der Energiegewinnung ist längst Lehrbuchwissen.

Die neue, aktuelle Aufgabe ist die Technologie dieses Prinzips handhabungssicher für jeden Autofahrer und kostengleich zum verbrennungsmotorischen Kfz-Antrieb zu entwickeln, die externen Umweltkosten eingerechnet.

Wie und mit welchem Ergebnis dieser Entwicklungsabschnitt verläuft, wird ein sehr spannendes Stück Technikzukunft werden. Tom Koppel beschreibt in seinem Buch "Energie der Zukunft"[1] beeindruckend, was schon erreicht ist. Dabei ist der o.g. Durchbruch des elektromotorischen Kfz-Antriebs eher als ein "come back" zu sehen. Die ersten Autos liefen mit Elektromotor, erst danach kam der Verbrennungsmotor. Und nun die gelungene Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor.

Seit etwa 100 Jahren haben Wärmekraftmaschinen für den Kfz-Antrieb die Nase vorn mit steigender Quantität und Qualität und immer neuen Varianten bis in die Gegenwart hinein mit ungebrochener Innovationskraft. Jedoch ist diese Energiewandlung nicht beliebig zu verbessern von noch so findigen Ingenieuren.

Wie es der Name sagt, wandeln Wärmekraftmaschinen thermische Energie in erforderliche mechanische um, allerdings mit schlechtem, grundsätzlich begrenztem Wirkungsgrad. Seit den Arbeiten des Franzosen Carnot 1824 ist bekannt, daß Wärmekraftmaschinen (Verbrennungsmotoren, Dampf- und Gasturbinen, Stirlingmotor) aus physikalischer Sicht ein Notbehelf bzw. nur die zweitbeste Lösung sind, um mechanische Energie aus anderen Energien zu gewinnen. Die bekannten Umweltschäden durch die Wärmekraftmaschinen nehmen zu; ich diskutiere sie nicht an dieser Stelle.

- Der Verbrennungsmotor verdankt seine dominierende Stellung dem hohen Energieinhalt der Kraftstoffe. Mit einer Tankfüllung sind Reichweiten von 1000 km in einem

[1] „Energie der Zukunft“, G. Reichel Verlag, 255 Seiten, 19,94 Euro, jetzt auch broschiert im Constans-Verlag für 14 Euro, siehe auch Anzeige in diesem Heft.

Ritt für einen modernen Pkw kein Problem. Von den theoretischen Grundlagen her ist jedoch mit der gleichen Energiemenge im Tank eine deutlich größere Reichweite möglich, wenn die chemische Energie des Kraftstoffs nicht mit einem thermischen Verfahren, sondern auf dem Weg Brennstoffzelle-Elektromotor in mechanische Energie umgewandelt wird.

Außer der Brennstoffzelle einen guten Praxiseinsatz und eine preiswerte Wasserstoffquelle zu wünschen, muß auch noch viel auf dem Gebiet der Speichertechnik getan werden. Das gilt sowohl für die mechanische Energie (Schwungradspeicher), elektrische Energie (Akkumulatoren, Kondensatoren, elektromechanische Schwungradspeicher, Wasserelektrolyse) wie auch für die Speicherung energiereicher chemischer Substanzen an Bord von Kraftfahrzeugen.

Allein aus der verschiedenartigen Kombination der in diesem Beitrag genannten Kraft-und Arbeitsmaschinen und Speichermöglichkeiten sind mehrer hybride Antriebskonzeptionen möglich, von denen eine am Prius mit Erfolg realisiert wurde.

Ein Blick unter die geöffnete Motorhaube des Prius

Tabelle 1

TOYOTA PRIUS 33 kW Elektromotor, 34 kW Generator, 53 kW-1,5 l-4 Zyl. Benzinmotor, Ni-MH-Akku (274 V)

Benzinverbräuche in l/100 km, abgelesen nach jeweils 500 km am Fahrzeugmonitor (Gesamtfahrstrecke 6000 km, Sommerbetrieb, Reifen Michelin Energy 175/65 R 14)

4.4.01	Start	Liter/100km
21.4.01	500 km	5,1
16.5.01	1000 km	4,9
21.5.01	1500 km	4,6
6.6.01	2000 km	4,6
18.6.01	2500 km	4,7
23.6.01	3000 km	4,6
19.7.01	3500 km	4,8
18.8.01	4000 km	4,7
8.9.01	4500 km	4,6
26.9.01	5000 km	4,7
14.10.01	5500 km	4,4
23.10.01	6000 km	4,8

Fahrstil: Im Dresdner Stadtverkehr und Umland zügig, jedoch vorausschauend auf die zu erwartende Verkehrssituation. Ca. 2.000 km waren Autobahnstrecke, meist mit 120 - 130 km/h, selten über 140 km/h.
Um die Monitorwerte zu kontrollieren, hier die real getankten Werte: 300 l Super für insgesamt 6000 km (5 l/100 km).
Damit beurteilen die Monitorwerte die Benzinverbräuche etwas zu günstig. die insgesamt stabil und erfreulich niedrig liegen.

Tabelle 2

TOYOTA PRIUS 33 kW Elektromotor, 34 kW Generator, 53 kW-1,5 l-4 Zyl. Benzinmotor, Ni-MH-Akku (274 V)

Benzinverbräuche in l/100 km, abgelesen nach jeweils 500 km am Fahrzeugmonitor (Gesamtfahrstrecke 4000 km, Winterbetrieb, Reifen Dunlop Winter Sport M + S)

23.10.2001	Ende Sommerbetrieb	l/100km
3.11.01	6500 km	4,9
23.11.01	7000 km	6,0
3.12.01	7500 km	5,9
8.1.02	8000 km	6,7
15.2.02	8500 km	5,6
3.3.02	9000 km	5,4
27.3.02	9500 km	5,4
18.4.02	10000 km	5,2

Das ergibt einen Durchschnitt von 5,64 l/100 km.

Fahrstil: Im Dresdner Stadtverkehr und Umland zügig, jedoch voraus schauend auf die zu erwartende Verkehrssituation. Ca. 1500 km waren Autobahnstrecke, meist mit 120 - 130 km/h, selten über 140 km/h.

Die Monitorwerte sind den real getankten Benzinmengen gegenüber zu stellen:

229 l Super für insgesamt 4000 km (5,7 l/100 km).

Der Unterschied zu den Monitorangaben ist minimal und zu vernachnachlässigen. Den höheren Winterverbrauch sehe ich im höheren Rollwiderstand der Dunlopreifen gegenüber den Reifen von Michelin, dem höheren Fahrwiderstand auf der winterlichen Straßendecke und dem Heizbedarf bei niedrigen Außentemperaturen.

Der Winterverbrauch sinkt signifikant mit einem Pullover und Schal zusätzlich und Handschuhe im Fahrzeugbetrieb ohne eingeschalteter Heizung. Aber es wird ungemütlich, ich habe es ausprobiert.

Der Autor zeigt gerne den Motor seines Prius