



Plug-in-Hybridfahrzeuge im Energie-Verbrauchstest

Der Mitsubishi Outlander PHEV mit mehr als 200 PS und fast zwei Tonnen Leergewicht verbraucht offiziell nur 1.9 l/100 km. Der Volvo V60 D6 Twin Engine – noch kräftiger und schwerer – verbraucht sogar nur 1.8 Liter. Wie kommen die Hersteller auf solche Werte für ihre Plug-in-Hybridfahrzeuge? Der TCS hat vier Vertreter der Plug-in-Hybride auf deren elektrische Reichweite und Energieeffizienz testen lassen. Bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen wurde sowohl der elektrische Energieverbrauch als auch der Treibstoffverbrauch bestimmt.



Nicht nur Benzin oder Diesel

Wir hören und sprechen immer von l/100 km. Aber was gilt eigentlich für ein Plug-in-Hybridfahrzeug, das zwei Motorisierungen hat? Wenn man die Energieetikette betrachtet, ist darin auch ein Wert für den Stromverbrauch enthalten, der in Kombination mit dem Treibstoffverbrauch ein Benzinäquivalent ergibt. Mit diesem Wert kann man alle Antriebsarten vergleichen. Das Benzinäquivalent (BÄ) entspricht dem hypothetischen Benzinbedarf auf l/100 km, falls das Fahrzeug nur mit Benzin betrieben werden könnte (1 l BÄ entspricht 32 MJ Energie).

NEZF vs Praxis

Sind die angegebenen Werte realistisch? Nicht ganz. Schuld ist allerdings der realitätsferne „Neue Europäische Fahrzyklus NEZF“, nach dem alle Normverbrauchswerte von Neuwagen bei Laborbedingungen auf dem Prüfstand ermittelt werden. Und da Plug-in-Hybridfahrzeuge zu diesem Messzyklus mit vollgeladenen Batterien antreten, haben sie gegenüber herkömmlich motorisierten Fahrzeugen zusätzlich einen Vorteil. Je weiter ein Plug-in-Auto rein elektrisch fahren kann, desto besser schneidet es im Verbrauchszyklus ab. Analysiert man aber im Detail die betroffene Fahrzeuge, muss man beim Outlander noch einen Stromverbrauch von 13.4 kWh/100 km addieren, was einem BÄ von total 3.4 l/100 km entspricht (1.9 l/100 km + 13.4 kWh/100 km). Beim Prius mit seiner kleineren Batterie kommen 5.2 kWh/100 km dazu, was einem BÄ von total 2.7 l/100 km entspricht. Obwohl der tatsächliche Energieverbrauch des Outlanders also höher ist, schneidet er beim Norm-Verbrauch mit 1.9 l/100 km besser ab als der Prius (2.1 l/100 km). Seine rein elektrische Fahrleistung (bis zu 52 km bei Tempi unter 120 km/h) ist laut Hersteller höher als beim Prius (bis zu 25 km bei Tempi unter 85 km/h), was auf die grössere Batteriekapazität (12 kWh gegenüber 4.4 kWh) zurückzuführen ist.

Einleitung

Hybridfahrzeuge und im Besonderen Plug-in-Hybridfahrzeuge stellen eine Alternative zu rein elektrischen Fahrzeugen mit begrenzter Reichweite dar. Sie sollen die Vorteile des elektrischen und des verbrennungsmotorischen Antriebes verbinden. Ziel der Studie war die Vermessung, Analyse und Bewertung von vier Plug-in-Hybridfahrzeugen im Hinblick auf deren Energieeffizienz und deren elektrische Reichweite. Dank dieser Studie können folgenden Fragen beantwortet werden:

1. Wie weit fährt man rein elektrisch?
2. Wie viel verbraucht das Auto, wenn die Batterie leer ist?

Testablauf

Zur Analyse von Plug-in-Hybridfahrzeugen hinsichtlich des Energiebedarfs und der elektrischen Reichweite wurden die PKW am Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der TU Wien untersucht. Die Untersuchungen erfolgten unter realitätsnahen Betriebsbedingungen. Dies betraf insbesondere die Klimatisierung (Heizen/Kühlen) des Fahrzeuginnenraumes in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur sowie den Ladezustand der Traktionsbatterie (Betrieb des Fahrzeuges mit „voller“ und „leerer“ Traktionsbatterie). Der Eco-Test (siehe Abbildung 1 auf der nächsten Seite) wurde als Fahrzyklus für diesen Test angewandt.

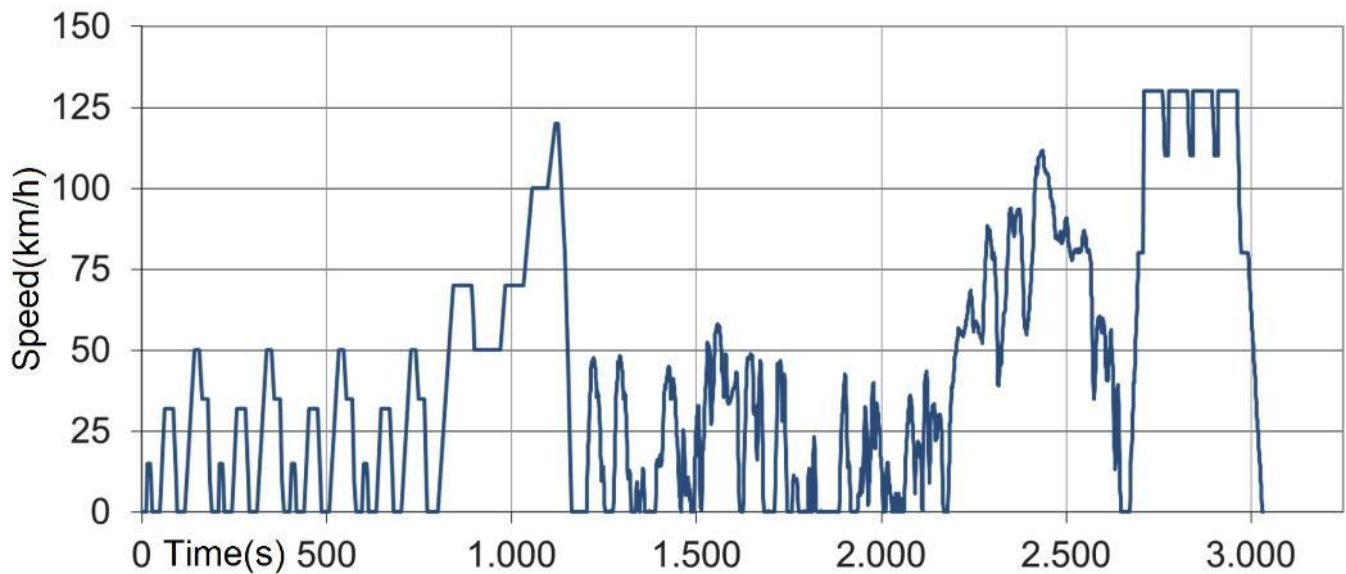


Abbildung 1: Eco-Test Zyklus - Geschwindigkeitsverlauf
(Strecke 35.5 km, Dauer 50:33 Min.)

Der Eco-Test setzt sich aus dem innerstädtischen und außerstädtischen Teil des Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ), dem innerstädtischen und außerstädtischen Teil des Artemiszyklus (CADC) und dem Autobahn-130-km/h-Zyklus (BAB130) zusammen. Trotz Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h kommen bei leichten Steigungen auch in der Schweiz Lastzustände wie bei 130 km/h in der Ebene ebenfalls vor. Für die Analysen wurden die innerstädtischen bzw. außerstädtischen Zyklusabschnitte jeweils gemeinsam betrachtet.

Eco-Test	35.506 km 100%					
ausgewertete Abschnitte	Innerorts 8.850 km 24.93 %		Außerorts 15.886 km 44.74 %		Autobahn 10.770 km 30.33 %	
Testzyklen „Bausteine“	NEFZ Innerorts 3.920 km	CADC Urban 4.930 km	NEFZ Ausserorts 6.920 km	CADC Extra Urban 8.966 km	BAB130 Autobahn 9.270 km	Auf-/Abfahrt 1.500 km

Tabelle 1: Eco-Test Zyklus - Zusammensetzung

Messmethode

Der Einfluss der Umgebungstemperatur – insbesondere durch die Nutzung von Heizung bzw. Klimaanlage – auf den Energiebedarf wurde für die Phasen Innerorts, Außerorts und Autobahn bei einer Umgebungstemperatur von 0, +20 und +30 °C untersucht. Die Fahrzeuge wurden auf dem Rollenprüfstand mit aktiviertem Tagfahrlicht (sofern verfügbar) und eingeschaltetem Radio betrieben. Während der Tests wurde die Fahrzeuginnenraumtemperatur mittels Heizung bzw. Klimaanlage auf +22 °C geregelt (nicht bei Test-/Umgebungstemperatur +20 °C). Sofern das Fahrzeug über einen Automatikmodus für die Temperatur- bzw. Gebläsestufe verfügte, wurde dieser verwendet. Bei Fahrzeugen ohne Automatikmodus wurde die Temperatur manuell geregelt und die Gebläsestufe auf Mittel gestellt. Der Ladevorgang der Traktionsbatterie erfolgte jeweils nach dem hybriden Fahrbetrieb. Die Ladung wurde im klimatisierten Rollenprüfstand bei der festgelegten Testtemperatur durchgeführt und dauerte so lange, bis die Hochvoltbatterie vollständig geladen war.

Es zeigte sich bei den untersuchten Fahrzeugen, dass technische Restriktionen einen rein elektrischen Fahrbetrieb bis zum minimalen Ladezustand der Traktionsbatterie unterbinden. Gründe dafür sind das Erreichen der maximalen Leistung der elektrischen Antriebsmaschinen oder der Traktionsbatterien, so dass konstruktive Massnahmen eine Unterstützung durch den Verbrennungsmotor zur Folge hatten. Die analysierten Fahrzeuge wurden bei „voller“ Traktionsbatterie zunächst möglichst rein elektrisch betrieben und im Anschluss (bei „leerer“ Traktionsbatterie) hybridisch. Bei geladener Traktionsbatterie kann von einem vorrangig elektrischen Fahrbetrieb gesprochen werden, welchem unter den genannten Rahmenbedingungen kurzzeitig nachgeholfen wird.



Testresultate



Marke/Modell	Audi A3 Sportback e-tron	Mitsubishi Outlander PHEV	Toyota Prius Plug-in Hybrid	Volvo V60 D6 AWD Twin Engine
Preis ab (CHF)	45'450.-	49'999.-	41'400.-	64'500.-
Antrieb	Front	Allrad	Front	Allrad
Verbrennungsmotor	Benzin, Turbo	Benzin	Benzin	Diesel, Turbo
Hubraum/Zylinder	1395/4	1998/4	1798/4	2400/5
Systemleistung (kW/PS)	150/204	149/203	100/136	212/288
Getriebe	6-Gang DSG	Fixe mechanische Untersetzung	CVT	6-Gang Automat
Batterie				
Kapazität (kWh)	8.8	12	4.4	11.2
Davon nutzbar (kWh)	7.0	k.A.	2.6	8.0
Ladezeit ¹	3h 35m	5h 5m	1h 24m	3h 40m
Fahrleistung				
Max. EV Geschwindigkeit ²	130 km/h	120 km/h	85 km/h	125 km/h
Max. Geschwindigkeit	222 km/h	170 km/h	180 km/h	230 km/h
0-100 km/h	7.6 s	11.0 s	11.4 s	6.0 s
Leergewicht (Test) ³	1695 kg	1955 kg	1513 kg	2115 kg
Energieetikette (2016)	A	B	A	C
Treibstoffverbr. (l/100 km)	1.6	1.9	2.1	1.8
Stromverbr. (kWh/100 km)	11.6	13.4	5.2	15.1
BÄ (l/100 km)	2.9	3.4	2.7	3.7
CO ₂ -Emissionen (g/km)	37	44	49	48
EV Reichweite Werk (km) ⁴	50	52	25	50
Eco-Test bei 20°C	40	40	16	43
Eco-Test bei 0°C	19	21	9	31
Eco-Test bei 30°C	37	40	15	40
Verbrauch im hybriden Fahrbetrieb (BÄ, l/100 km)				
Eco-Test bei 20°C	6.3	8.6	5.0	7.0
Eco-Test bei 0°C	8.2	10.8	6.3	8.8
Eco-Test bei 30°C	5.7	8.7	5.2	7.6
Kosten 15'000 km/Jahr ca.	CHF 730.-	CHF 960.-	CHF 630.-	CHF 760.-
2/3 Strom; 1/3 Treibstoff	470.-; 260.-	640.-; 320.-	380.-; 250.-	480.-; 280.-

¹ Vollständige Ladung der Batterie bei 20°C mit 230V-16A² Maximale Geschwindigkeit rein elektrisch (ohne Unterstützung des Verbrennungsmotors)³ Gewogenes Leergewicht inkl. 75 kg für den Fahrer⁴ Rein elektrische Reichweite (bis zum Wechseln in den hybriden Fahrbetrieb)

Reichweite von der Temperatur abhängig

Die Ergebnistabelle zeigt, dass die untersuchten Fahrzeuge bei einer Umgebungstemperatur von +20 °C rund 40 km (Toyota Prius Plug-in 16 km) rein elektrisch zurücklegen, bevor vom vorrangig elektrischen in den hybriden Fahrbetrieb gewechselt wird. Bei allen Fahrzeugen zeigt sich nur ein geringer Einfluss der Klimaanlage (bei einer Umgebungstemperatur von +30 °C) auf die elektrische Reichweite – dies aufgrund der geringen mittleren elektrischen Leistungen der Klimaanlage von 0,4 bis 0,8 kW. Bei einer Umgebungstemperatur von 0 °C reduziert sich die elektrische Reichweite primär aufgrund der geringeren Leistungsfähigkeit der Antriebsbatterie und der benötigten Energie zur Heizung des Innenraumes um rund 50 %. Davon ausgenommen ist der Volvo V60 PHEV. Die verhältnismässig geringe Reduktion der elektrischen Reichweite bei diesem Fahrzeug ist damit zu begründen, dass eine tiefere elektrische Heizleistung (durchschnittlich 1,2 kW im Vergleich zu 3 kW beim Mitsubishi Outlander PHEV) aufgewendet wird, um den Fahrzeuginnenraum zu heizen. Die geforderte Innenraumtemperatur von +22 °C wird durch diese Maßnahme entsprechend später erreicht.



Wird der Energiebedarf (BÄ) der Fahrzeuge verglichen, ergeben sich die Testresultate auf S.3. Bei den Ergebnissen bei +20 °C und +30 °C zeigen sich nur kleine Unterschiede. Der geringe Energiebedarf von Klimaanlage und Antriebsenergie bei 30 °C führt insgesamt zu ähnlichen Verbräuchen (elektrisch und Kraftstoff) wie bei 20 °C. Bei einer Umgebungstemperatur von 0 °C liegt der Energiebedarf (elektrisch und Kraftstoff) deutlich höher. Dieser resultiert aus der elektrischen Heizleistung, dem Betrieb der Verbrennungskraftmaschine zu Heizzwecken und den bei 0 °C geringeren Leistungsreserven der Batterie. Bei +30 °C und 0 °C wirkt sich zudem der Energiebedarf des Niedervoltsystems (aufgrund des Gebläses zur Innenraumklimatisierung) verbrauchserhöhend aus. Beim Vergleich der Kraftstoffverbräuche ist zu bedenken, dass das Fahrzeug Volvo V60 PHEV mit Dieselmotorkraftstoff betrieben wird.

Das Verhältnis zwischen Elektro- und Kraftstoffverbrauch ist bei den untersuchten Fahrzeugen auf vergleichbarem Niveau. Davon auszunehmen ist der Toyota Prius Plug-in, welcher aufgrund der verbauten Kapazität der Traktionsbatterie und der technischen Konzeption weniger elektrische Energie und etwas mehr Kraftstoff für die Absolvierung des Eco-Tests im vorrangig elektrischen Fahrbetrieb einsetzt.

Wie dargestellt unterscheiden sich die Konzepte der vier untersuchten Plug-in-Hybride deutlich. Neben einer abweichenden Anzahl und einem unterschiedlichen Einsatz der verbauten Elektromaschinen, weichen auch die Leistungen der Benzin- bzw. Diesel- Verbrennungskraftmaschinen, die verbauten Kapazitäten der Traktionsbatterien, die Arten an Getrieben und die Arten und der Einsatz der Innenraumheizungen voneinander ab.

Weiter sind die Fahrzeuge unterschiedlichen Fahrzeugklassen zuzuordnen, sodass insgesamt ein guter Überblick zu den Potentialen von Plug-in-Hybrid-Konzepten gegeben werden kann. Bei den Fahrzeugen Audi A3 e-tron, Mitsubishi Outlander PHEV und Volvo V60 PHEV liegt das Verhältnis zwischen elektrischem und verbrennungsmotorischem Fahrbetrieb im anspruchsvollen Eco-Test stärker auf dem elektrischen Antrieb als beim Toyota Prius Plug-in.

Es konnte weiter gezeigt werden, dass der Kraftstoffverbrauch auch im praktischen Einsatz (repräsentiert durch den Eco-Test) durch Plug-in-Hybride deutlich gesenkt werden kann. Wird der erforderliche Strom zum Betrieb der Fahrzeuge wie in der Schweiz mittels erneuerbarer Wasserkraft gewonnen, kann hierdurch ein deutlicher Beitrag zur Treibhausgasreduktion geleistet werden.



Vorteile

- Reichlich Motorleistung durch optimales Zusammenspiel von Elektro- und Verbrennungsmotor
- Kein Problem bzw. Risiko mit entladener Batterie stehen zu bleiben, wenn einmal keine Lademöglichkeit besteht.
- Wer einmal die Erfahrung rein elektrisch zu fahren gemacht hat, ist motiviert für geladene Batterie zu sorgen und profitiert von geringen Treibstoffkosten
- Sehr geringer Verbrauch (kostengünstig) im „Stop and Go“ Kolonnen-Verkehr dank Elektroantrieb

Nachteile

- Aufladen der Batterie während der Fahrt nicht energieeffizient
- Für langanhaltenden oder dauernden Betrieb mit Verbrennungsmotor ungeeignet
- Hoher Anschaffungspreis im Vergleich zu normalen Varianten

Empfehlung zu Plug-in-Hybridfahrzeugen

- Der Plug-in-Hybrid-Antrieb ist nahezu die einzige Gemeinsamkeit der getesteten Fahrzeuge. Ansonsten erfüllen sie sehr unterschiedliche Anforderungen bezüglich Platzangebot, Allrad, SUV, Sportwagen etc. Dies gilt es beim Autokauf zu berücksichtigen.
- Wer immer mit geladenem Akku losfährt, wird mit tieferen Kosten für Benzin/Diesel belohnt. Der TCS empfiehlt deshalb, beim Autokauf nach einer Ladestation zu fragen oder diese in den Kaufpreis einzuhandeln. Bei der heutigen Vielfalt an Boni, Prämien und Aktionsangeboten ist es sinnvoll, mehrere Offerten einzuholen.
- Wer die Fahrt einteilt, ist effizienter unterwegs. Bei Autobahnfahrten empfiehlt der TCS, die Funktion «Safe» oder «Hold» einzuschalten, vor allem wenn man weiter als nur bis zur zweiten oder dritten Ausfahrt fährt. Alle vier Testfahrzeuge verfügen über diese Funktion, so dass die Batterieladung noch vorhanden ist, wenn die Route später wieder durch Dörfer und in Städte führt.
- Plug-in-Hybridfahrzeuge sind oft hochwertige und gut ausgestattete Fahrzeuge der Mittelklasse mit serienmässig verbautem Zusatznutzen, z. B. programmierbare Innenraum-Vorheizung mit Strom aus der Ladestation. Vergleiche mit herkömmlichen Benzin- und Dieselmotoren sind deshalb entsprechend schwierig. Wenn nur der hohe Kaufpreis gegen ein Plug-in-Hybrid Modell spricht, empfiehlt der TCS, die reichhaltigen Angebote an Demofahrzeugen zu prüfen. Fahrzeuge mit nur wenigen Kilometern sind vielfach bis zu 10'000 Franken günstiger als eine Werksbestellung.
- Vergleiche zwischen Plug-in-Hybriden und reinen Elektrofahrzeugen sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Grösse, Preise und Zweckbestimmungen nicht immer sinnvoll. So ist z. B. ein SUV Mitsubishi Outlander keine Alternative zum elektrischen Kleinwagen i-MiEV, nur um die „Reichweitenangst“ zu beseitigen, weil letzterer nur halb so viel kostet.
- Das Bedürfnis nach Komfort und Energieeffizienz des Elektroantriebs verbunden mit der Freiheit, bei schlechtem Wetter oder bei einer Ladestation mit salznasser Schneematsch-Umgebung im Winter auch einmal auf das Ladekabel verzichten zu können, wird von dieser neuen Kategorie der Plug-in-Hybridfahrzeuge ausgezeichnet erfüllt.
- Bei entladener Traktionsbatterie verbrauchen Plug-in-Hybridfahrzeuge aufgrund ihres Gewichts nicht weniger Treibstoff als «herkömmliche» Benzin- und Dieselfahrzeuge. Sie bieten aber als Limousine (Toyota), als sportliches Fahrzeug (Audi), als SUV (Mitsubishi) und als Kombi (Volvo) durchwegs hochwertigen Fahrkomfort bei Energiekosten von weniger als 1'000 Franken pro Jahr. Dies bei einem Mix von elektrisch gefahrenen 10'000 km und 5'000 km mit flüssigem Treibstoff – so dass auch einige längere Fahrten „inbegriffen“ sind.