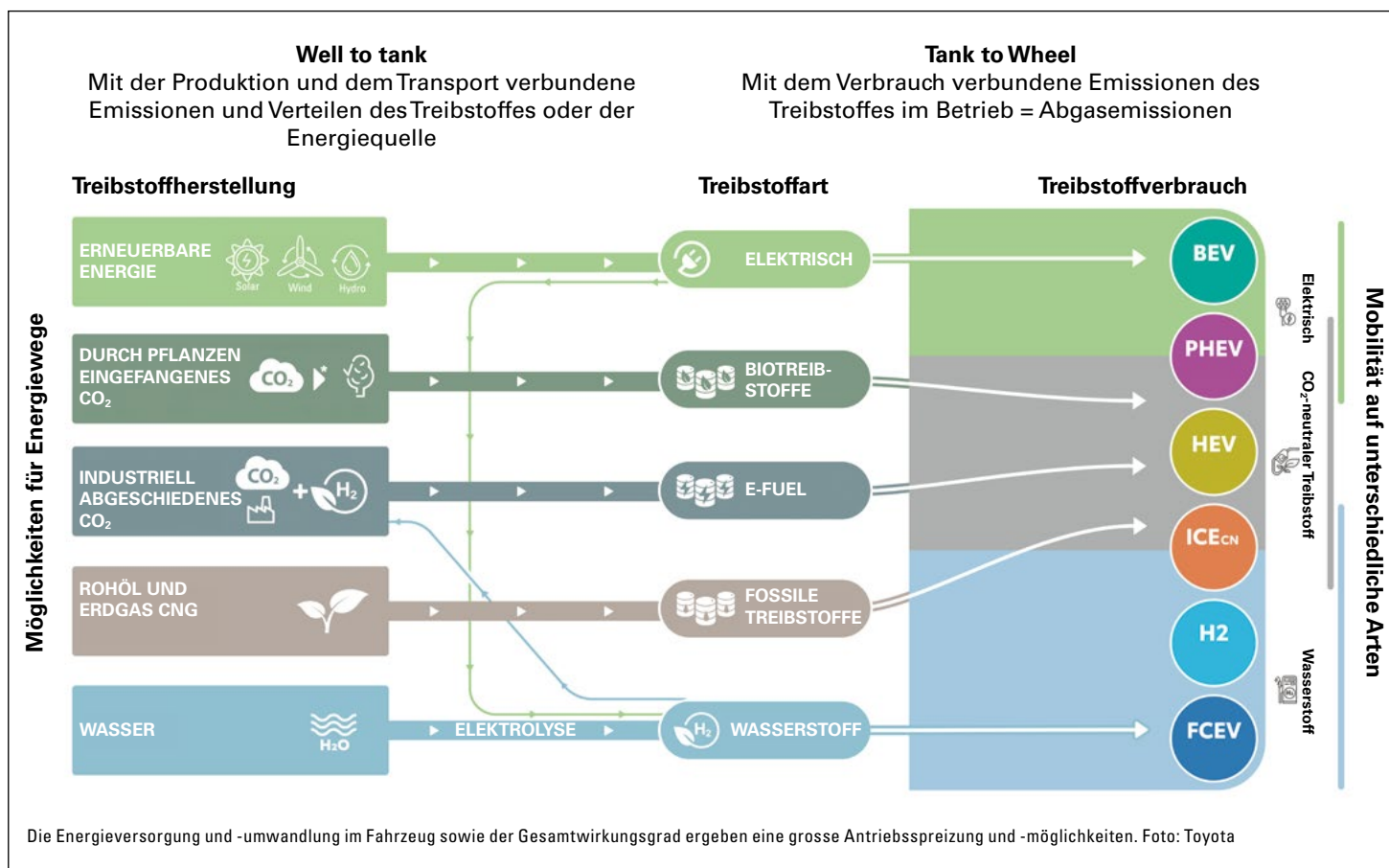


Fahrzeugantrieb – welcher macht das Rennen?

# Begeisterung für den Hybrid

Der CO<sub>2</sub>-Reduktionspfad in Europa favorisiert den batterieelektrischen Antrieb, da lokal keine Emissionen anfallen. Gesamtheitlich betrachtet weist aber auch ein BEV einen hohen CO<sub>2</sub>-Fussabdruck auf und der Markt reagiert nicht euphorisch auf diesen Antrieb. Der Hybrid erfreut sich dafür grosser Beliebtheit. **Andreas Senger**



**B**is ins Jahr 2050 wollen Europa und auch die Schweiz CO<sub>2</sub>-neutral sein. Dies bedeutet, dass in den kommenden Jahren auch im Strassenverkehr die Emissionen noch massivst gesenkt werden müssen. Der «Eierlegende-Wollmilchschwein»-Antrieb ist allerdings nicht gefunden. Auch wenn im Mainstream der batterieelektrische Antrieb als der Königsweg angesehen wird, hat auch dieser seine Herausforderungen. Als Stichworte dazu: Rohstoffsituation, fehlende Ladeinfrastruktur insbesondere für Mieter, lange Ladezeiten, geringerer Wiederverkaufswert von Occasionsfahrzeugen sowie Abnahme der Kapazität und damit der Reichweite über die Lebensdauer und insbesondere im Winter.

Der Fahrzeugmarkt zeigt zudem, dass eine Sättigung eingetreten ist. BEVs verkaufen sich

nicht mehr wie warme «Weggli». Wer sich die grossen und teuren E-Fahrzeuge leisten kann, hat sich ein solches Fahrzeug angeschafft. Das Angebot von preiswerten und damit für die grosse Masse der Neuwagenkäuferinnen und -käufer erschwinglichen Modelle nimmt erst langsam Fahrt auf.

### Das Beste aus zwei Antriebswelten

Der Einsatz eines Verbrennungsmotors kombiniert mit einer oder mehreren E-Maschinen ist technisch ein kurzfristiger Hebel, die Treibhausgasreduktion voranzutreiben. Die Kombination eines aus dem Stand drehmomentstarken E-Motors mit dem Downsizing-Verbrenner, dessen Drehmoment ab rund 1600/min an der Kurbelwelle verfügbar ist, sorgt dank Optimierung der Lastpunkte für einen effizienten Betrieb. Durch die Lastanhebung

beim Parallelhybrid (Motor und E-Maschine in Serie) kann der optimale Wirkungsgrad des Verbrenners bei rund einem Drittel Drehzahl und beinahe Vollast dank Lastanhebung in einigen Betriebspunkten angefahren werden. Die E-Maschine, welche meist zwischen Motor und Getriebe oder im Getriebe verbaut ist, sorgt dank Generatorbetrieb für ein Bremsmoment, um den wirkungsgradoptimierten Lastzustand anzufahren und gleichzeitig die Batterie zu laden.

Bereits ein 12-Volt-Generator im Microhybrid oder ein 48-Volt-Riemenstarter-Generator als Mildhybrid können im Strassenverkehr dank Rekuperation und Boostfunktion den Verbrenner unterstützen und damit Treibstoff einsparen. Diese Einsparungen bewegen sich nicht in enormen Grössen, aber jeder Dezili-

ter zählt. Zudem ist die Technologie preiswert und deshalb bei Klein- und Mittelklassefahrzeugen sinnvoll.

Punkto Hybridantrieb sind die Steckervarianten bei konsequenter Anwendung im Plus: Wird die Batterie an der Steckdose so oft wie möglich geladen und rein elektrisch gefahren, emittiert der Plug-in-Hybrid lokal kein CO<sub>2</sub>. Allerdings muss der Verbrenner periodisch gestartet werden, damit an den Bauteilen keine Schäden entstehen (Kondensationswasser = Oberflächenkorrosion im Zylinder, Ölverdünnung).

**Hybrid bis in die Sportwagenwelt**

Nicht nur Grossserienfahrzeuge können dank Hybridantrieb zur Senkung der Treibhausgasemissionen beitragen. Auch Sportwagen sind in der Pflicht, den CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu verkleinern. Aktuelles Beispiel ist der Porsche 911 GTS. Auf Basis des aktuellen Modells 992.2 (Facelift des 992) haben die Entwickler zwischen überarbeitetem Verbrenner (3,6 L Hubraum, 357 kW/485 PS bei 6500/min; 570 Nm ab 2000 bis 5500/min) und Achtgang-Doppelkupplungsgetriebe eine 5,5 cm schmale Permanentensynchronmaschine (Innenläufer) mit 40 kW Leistung und 150 Nm Drehmoment spendiert. Bei Volllast produziert das Antriebsduo insgesamt 398 kW/541 PS bei 6500/min und ein Drehmomentmaximum von 610 Nm zwischen 1950 und 6000/min.

Diese Zahlen zeigen eindrücklich, wie Verbrenner und E-Maschine Systemleistung/drehmoment optimieren können. Das Resultat ist in Fahrleistungen: 0 bis 100 km/h in 3 s, 312 km/h Höchstgeschwindigkeit und ein WLTP-Durchschnittsverbrauch von 10,5 L/100 km. Ein 1,9 kWh kleiner 400-Volt-Akku mit einer Masse von 27 kg speichert die elektrische Energie zwischen und sorgt sowohl für den E-Boost als auch für das Hochdrehen des Abgasturboladers. Die Leistung der E-Maschine des Laders beträgt maximal 11 kW/15 PS. Ein Turboloch ist somit nie verspürbar und das Ansprechen des Antriebsstrangs unmittelbar. Über den kom-



Der Porsche 911 GTS (Typ 992.2) weist im Antriebsstrang orange Hochvoltkabel auf. Die 400-Volt-Batterie sitzt überhalb der Vorderachse und hat die Dimensionen einer Starterbatterie. Das Mehrgewicht beträgt 70 kg. Foto: Porsche



Auffällig beim neuen GTS-Sechszylinder-Boxermotor ist, dass er nur noch einen Abgasturbolader auf der rechten Fahrzeugseite aufweist (statt wie bei allen anderen Varianten zwei). Nicht nur eine E-Maschine zwischen Verbrenner und Achtgang-Doppelkupplungsgetriebe wird eingesetzt, sondern erstmals ein Abgasturbolader mit E-Antrieb/-Rekuperation. Foto: Porsche



Wie in der Formel 1: Ein elektrisch antriebbares oder als Rekuperationssystem ausgelegtes Laufzeug versorgt mit im Durchmesser statt 50 neu 80 mm messendem Turbinen- und Verdichterrad alle Zylinder mit verdichteter Luft. Statt bei der Ladedruckgrenze mittels Bypassklappe Abgas vorbeiströmen zu lassen, kann das Turbinenrad die E-Maschine antreiben. Foto: Porsche

pletten Drehzahl- und Lastbereich wird der Verbrenner mit Lambda 1 betrieben. Dank des stöchiometrischen Gemisches werden also in jedem Betriebszustand die Schadstoffe im Dreivegekatalysator umgewandelt.

Die Karten für den mittelfristig erfolgreichsten Fahrzeugantrieb sind einmal mehr neu gemischt. Langfristig führt kein Weg an der Dekarbonisierung und Defossilisierung vorbei. Die Bestrebungen in der EU, dem fossilen Treibstoff Benzin und Diesel noch mehr biogene Treibstoffe beizumischen, erzeugt einen deutlich grösseren CO<sub>2</sub>-Hebel, als

einzig auf BEVs zu setzen. Entsprechend wird den Werkstattprofis sowohl in der Aus- wie Weiterbildung der Verbrennungsmotor noch lange erhalten bleiben und werden die Technologieoffenheit und -vielfalt dafür sorgen, dass die technischen Automobilberufe attraktiv und vielseitig bleiben.

**Fortsetzung Seite 32**

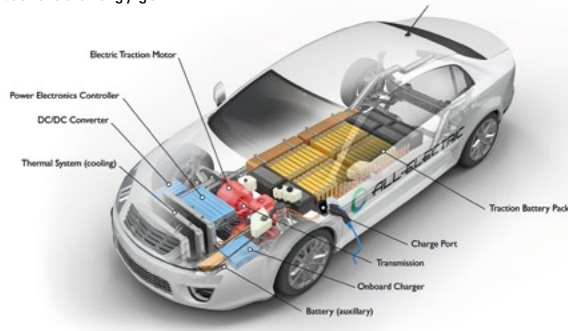
 <p><b>CORTELLINI &amp; MARCHAND AG</b></p>	<p><b>061 312 40 40</b> Rheinfelderstrass 6, 4127 Birsfelden</p>
<p><b>Der umfassendste Auto-Steuergeräte-Reparatur-Service von Cortellini &amp; Marchand AG.</b></p> <p><a href="http://www.auto-steuergeraete.ch">www.auto-steuergeraete.ch</a></p>	<p><b>Sie suchen, wir finden – Ihr Suchservice für Auto-Occasionsteile</b></p> <p><a href="http://www.gebrauchte-fahrzeugteile.ch">www.gebrauchte-fahrzeugteile.ch</a></p>

<p><b>Neu: FGS, der Anhänger mit Liftachse und 100%-Achsausgleich</b></p> <p><b>Nutzlast bis 2,9 t</b></p> 	<p>Autotransport-Anhänger und Aufbauten Besuchen Sie unsere Ausstellung oder verlangen Sie eine Vorführung. Auch in Kommunalausführung lieferbar.</p> <p><b>T&amp;W Technik</b></p> <p>Dammstrasse 16, 8112 Otelfingen Tel. 044 844 29 62 <a href="http://www.fgs-fahrzeuge.ch">www.fgs-fahrzeuge.ch</a></p> 
---	--

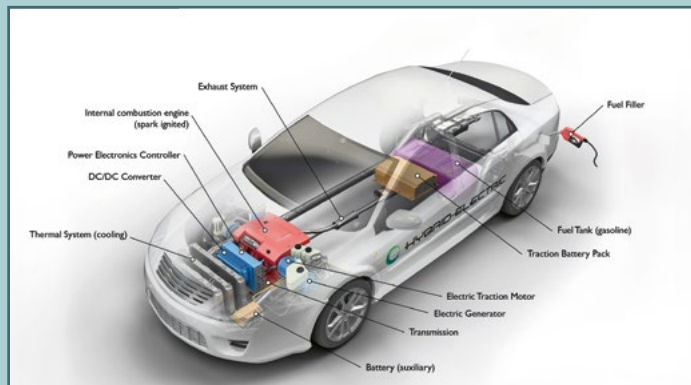
## Antriebsvarianten: Vor- und Nachteilen/Potenzial

Die Technologieoffenheit ist der Schlüssel, um den Fahrzeugantrieb für die gewünschte Anwendung zu definieren. Jede hier dargestellte Antriebsvariante hat technisch und wirtschaftlich betrachtet ihre Vor- und Nachteile. Die Kurzübersicht fasst das Potenzial für die Zukunft zusammen. Energetisch betrachtet ist auch der Gesamtwirkungsgrad entscheidend. Aktuell wird einzig auf den «tank-to-wheel»-Wirkungsgrad fokussiert. Der Verlust vom Energiespeicher bis zur Kraftabgabe am Antriebsrad greift aber deutlich zu kurz. Um den Antrieb gesamtheitlich beurteilen zu können, sollte immer der «cradle-to-grave»-Ansatz angewendet werden. Dabei wird die komplette Energiekette von der Herstellung, dem Betrieb bis zum Verschrotten/Recycling einbezogen. Diese Betrachtungsweise enthält viele Annahmen, die je nach Bevorzugung eines Antriebes zu dessen Vor- oder Nachteil einberechnet werden können. Die Automobilindustrie tut gut daran, sich weiterhin um alle Antriebsmöglichkeiten in der Forschung und Entwicklung zu kümmern. Zu guter Letzt entscheidet der Konsument, welchen Antrieb er sich für sein Fahrzeug wünscht. (Se)

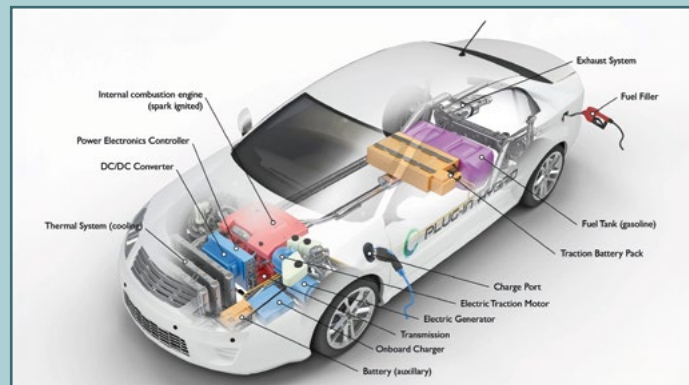
Fotos: afdc.energy.gov



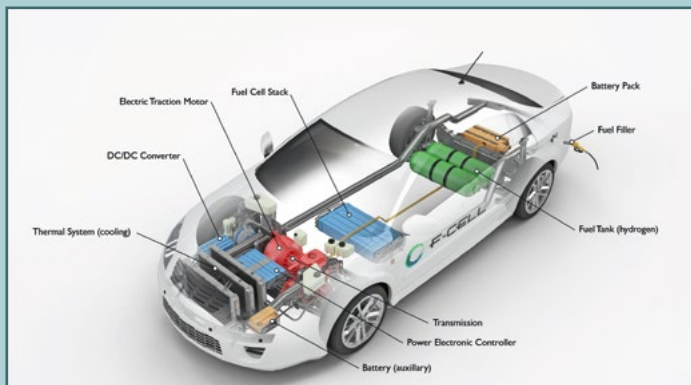
**Batterieelektrischer Antrieb:** Der hohe Wirkungsgrad von der Batterie ans Rad ist sein riesiges Plus. Lokal ist der Antrieb CO<sub>2</sub>-frei. Vor- und nachgelagert (Batterieproduktion/-recycling) und bei der Energieversorgung (europäischer Strommix), wird viel CO<sub>2</sub> emittiert. Lange Ladezeiten, fehlende Ladeinfrastruktur aber auch der hohe Anschaffungspreis sowie der geringe Wiederverkaufswert sind Minuspunkte. Batterien müssen kosteneffizient recycelt, die Reparaturfreundlichkeit zunehmen und preiswerte Kleinwagen angeboten werden.



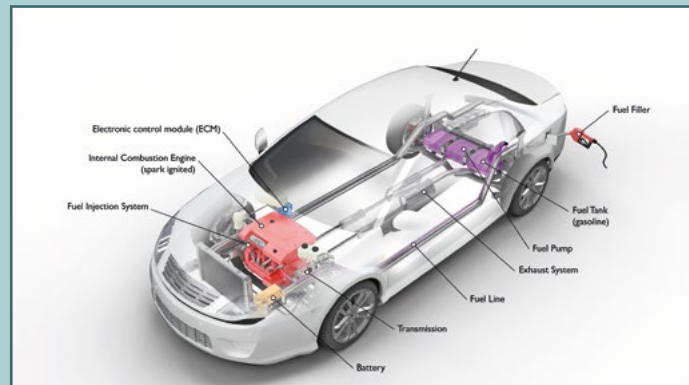
**Hybridantrieb:** Der reine Verbrennungsantrieb hat gegenüber einem optimal operierenden Hybridantrieb keine Vorteile mehr. Schon ein 48-Volt-Hybridkonzept reduziert den CO<sub>2</sub>-Ausstoss nicht nur auf dem Prüfstand, sondern auch im Alltag. Dank Rekuperation lässt sich die Energiebilanz verbessern. Nachteil ist, dass der Verbrenner meist mitläuft. Vorteil ist, dass er dank Lastanhebung im Generatorbetrieb in einem besseren Wirkungsgradfenster betrieben werden kann.



**Plug-in-Hybridantrieb:** Das Beste aus zwei Welten: der hocheffiziente Elektroantrieb kombiniert für längere Distanzen mit einem Verbrenner. Für Pendlerstrecken lässt sich das Fahrzeug rein elektrisch bewegen. Hybrid- und Plug-in-Hybridfahrzeuge sind mit rund 40 Prozent Marktanteil aktuell die beliebteste alternative Antriebsvariante in der Schweiz. Der CO<sub>2</sub>-Vorteil lässt sich in der Praxis aber nur umsetzen, wenn konsequent elektrisch geladen und gefahren wird.



**Brennstoffzellenantrieb:** Wasserstoff ist tüchtig am Aufholen. Während beispielsweise in Japan ein Ökosystem mit Wasserstoff bereits Realität ist (PV-Anlage mit Heimelektrolyseur, FC für Notstrom), holt Europa in diesem Bereich langsam auf. Der CO<sub>2</sub>-freie Antrieb mit Fuel Cell ist allerdings erst dann umweltfreundlich, wenn grüner Wasserstoff getankt wird. Der Aufbau der CO<sub>2</sub>-freien Produktion harzt nach wie vor. Die Fahrzeuge sind gegenüber BEV rasch betankt. Der Wirkungsgrad der Produktion und Verstromung ist allerdings gering.



**Erdgasantrieb:** Seit der Ukraine-Krise ist das Thema Gasfahrzeuge und damit insbesondere CNG (Compressed Natural Gas) in den Hintergrund gerückt. Im PW-Bereich werden kaum noch CNG-Fahrzeuge verkauft. Technisch schade: Trotz fossilem Treibstoff emittiert ein mit Methan CH<sub>4</sub> betriebenes Fahrzeug rund 25 Prozent weniger CO<sub>2</sub> als ein mit Benzinmotor versehenes Auto, weil der Treibstoff mehr Wasserstoff als Kohlenstoffatome besitzt. Im Nutzfahrzeugsbereich hat CNG nach wie vor eine Hebelwirkung zur CO<sub>2</sub>-Reduktion. ●