



Ersatz oder Alternative?

In Hybridfahrzeugen ergänzen sich Verbrennungsmotor und Elektroantrieb optimal, um Treibstoff zu sparen – klimaneutral fahren sie jedoch nicht.

Denise Müller-Dum und Jens Kube

Adobe Stock / Tom Wang

Deutschland hat seine Klimaziele für 2022 insgesamt erreicht, obwohl die Kohlendioxid-Emissionen im Verkehrssektor weiter anstiegen. Vor einer grundsätzlichen Mobilitätswende hin zu deutlich weniger Individual-PKW-Verkehr kann eine Antriebswende helfen, die Emission von klimaschädlichem Kohlendioxid zu verringern. Dazu hat die Europäische Union Ziele für den Flottenverbrauch festgelegt – so heißt der durch-

schnittliche Kraftstoffverbrauch einer Fahrzeugflotte, beispielsweise aller zugelassenen Fahrzeuge eines Herstellers. Elektroantriebe senken diesen Flottenverbrauch effektiv; die Hersteller bewerben jedoch auch Hybridfahrzeuge als kraftstoffsparend und nachhaltig. 2022 lag ihr Anteil an den Neuzulassungen in Deutschland bei 31 Prozent – möglicherweise weil sie einige Vorteile des Elektroantriebs mit der langen Reichweite des Verbrenners vereinen. Gleichzeitig förderte der Bund die Anschaffung eines Hybridfahrzeugs mit 4500 Euro.

Laut einer Definition der UNO von 2003 verfügen Hybridfahrzeuge über jeweils zwei oder mehr verschiedene Energiewandler und im Fahrzeug eingebaute Energiespeichersysteme. Die Idee ist nicht neu: Schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts erschien die Kombination verschiedener Antriebe lohnenswert, wie der Lohner-Porsche (**Infokasten**) zeigt. Heute handelt es sich in der Regel um eine Kombination aus Verbrennungsmotor mit Kraftstofftank und Elektroantrieb mit

Batterie. Nach Umfang der Elektrifizierung unterscheiden sich Micro-, Mild-, Voll- und Plug-In-Hybride. Microhybride nutzen eine kraftstoffsparende Start-Stopp-Automatik und gewinnen die Bremsenergie zurück für das Aufladen der Startbatterie. Beim Mild-Hybrid unterstützt ein Elektromotor den Verbrenner beim Anfahren oder bei starker Beschleunigung. Den größtmöglichen elektrischen Anteil am Vortrieb bieten Voll-Hybride: Sie können rein elektrisch, nur mit Verbrennungsmotor oder mit einer Kombination der Antriebe fahren. Wie der Name vermuten lässt, sorgt bei Plug-In-Hybriden eine externe Stromquelle, die per Stecker mit der Bordbatterie verbunden wird, für deren Aufladen.

Bei der Kombination zweier Antriebe sind serielle, parallele und leistungsverzweigte Lösungen zu unterscheiden. Beim seriellen Hybrid lässt ein Elektromotor die Räder drehen (**Abb. 1a**). Den benötigten Strom liefert entweder die Batterie oder ein Generator. Diesen treibt ein Verbrennungs-

Der Lohner-Porsche

Ludwig Lohner und Ferdinand Porsche präsentierten im Jahr 1900 auf der Weltausstellung in Paris ein Elektromobil namens „System Lohner-Porsche“. Um die mangelnde Reichweite zu verbessern, entwickelte Porsche daraus ein Hybridfahrzeug: Ein Verbrennungsmotor von Daimler lud bei diesem sog. **Mixte-Wagen** den Akku auf. Die Produktion endete 1906 wegen eines Patentstreits und zu hoher Entwicklungskosten.



Geneva Motor Show 2011, CC BY 2.0

motor an, der nicht in mechanischem Kontakt mit der Antriebsachse steht, sondern ausschließlich der Stromerzeugung dient. Wenn die Batterie entladen ist, gewährleistet der Verbrennungsmotor als „Range Extender“, dass die Fahrt weitergeht. Je nach Balance zwischen Batteriekapazität und Generatorleistung fahren serielle Hybride eher elektrisch oder wie ein Verbrenner.

Bei einem parallelen Hybridantrieb können beide Motoren die Räder mechanisch antreiben (**Abb. 1b**). Solche Fahrzeuge fahren rein elektrisch, allein mit dem Verbrennungsmotor oder mit beiden zugleich. So lassen sich beide Motoren für die gewünschte Gesamtleistung kleiner auslegen: Das spart Gewicht und somit Kraftstoff. Der leistungsverzweigte Hybrid oder Mischhybrid kombiniert beide Varianten (**Abb. 1c**). Wie beim seriellen Hybrid kann der Verbrenner die Batterie beziehungsweise den Elektromotor mit Strom versorgen. Aber auch die mechanische Verbindung mit der Antriebswelle ist möglich. So kann der Elektromotor beispielsweise im Stadtverkehr den Antrieb übernehmen; beim starken Beschleunigen unterstützt der Verbrennungsmotor und übernimmt bei leerer Batterie komplett.

Optimum gesucht

Bei der Frage, wie beide Antriebe optimal zusammenarbeiten können, lohnt ein Blick auf den Wirkungsgrad, der das Verhältnis von zugeführter und Nutzenergie beschreibt. Der Gesamtwirkungsgrad eines Benziners inklusive aller Verluste zwischen Tank und Straße liegt zwischen 16 und 25 Prozent. Die Zahl schwankt je nach Belastung: Die größte Nutzleistung pro

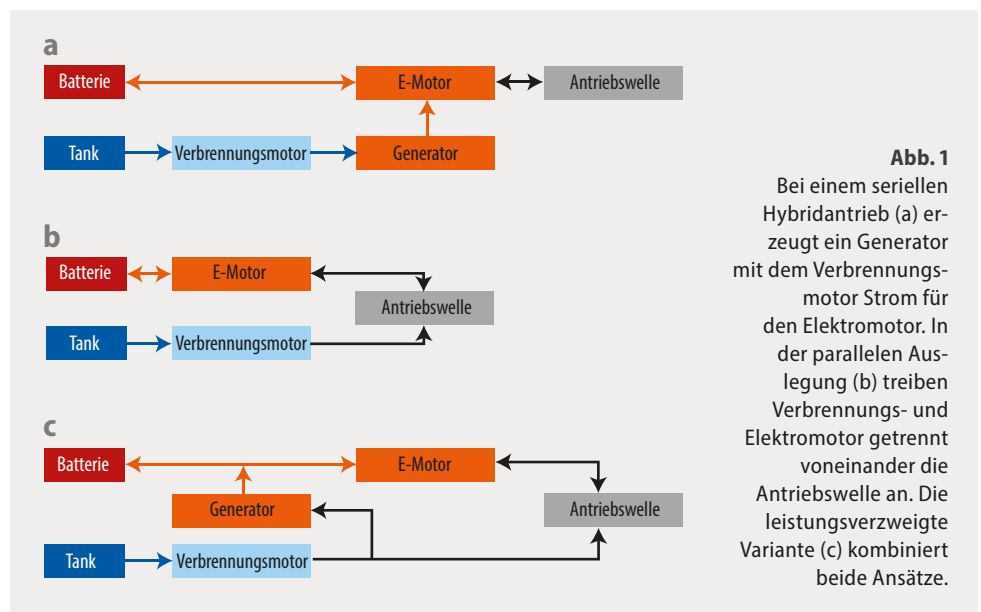


Abb. 1

Bei einem seriellen Hybridantrieb (a) erzeugt ein Generator mit dem Verbrennungsmotor Strom für den Elektromotor. In der parallelen Auslegung (b) treiben Verbrennungs- und Elektromotor getrennt voneinander die Antriebswelle an. Die leistungsverzweigte Variante (c) kombiniert beide Ansätze.

„chemischer Leistung“ liefert ein Ottomotor bei mittleren Drehzahlen. Bei hohen Drehzahlen fällt der Wirkungsgrad etwas geringer aus; bei niedrigen sinkt er erheblich ab, etwa im Stadtverkehr. Beim elektrischen Fahren sieht die Bilanz besser aus: Dort fließen 65 bis 69 Prozent der elektrischen Energie in die Fortbewegung. Kommen noch die Verluste für Benzin- bzw. Stromgewinnung hinzu, wächst der Unterschied weiter an.

Erwartungsgemäß liegt der Wirkungsgrad bei einem Hybridfahrzeug zwischen beiden Werten: Ziel ist es, beide Antriebe in jeder Fahrsituation optimal zu kombinieren. Das hält den Verbrennungsmotor im idealen Bereich mittlerer Drehzahlen. Beispielsweise übernimmt im Stadtverkehr der Elektromotor den Antrieb, weil er bei vielen Tempowechseln deutlich effizienter arbeitet. Der Verbrennungsmotor treibt dann bei einem seriellen Hybrid den Generator an und liefert Strom. Der zusätzliche Schritt ei-

ner weiteren Energieumwandlung senkt hier den Wirkungsgrad des Teilsystems. Insgesamt liegt er für Hybridfahrzeuge zwischen 24 und 38 Prozent.

Ein Vollhybrid erlaubt es, 15 bis 25 Prozent Kraftstoff einzusparen – je nach Fahrprofil: Je mehr elektrisch gefahren wird, desto besser fällt die Bilanz aus. Bei Prüfverfahren gehen die Hersteller oft großzügig von bis zu 75 Prozent elektrisch gefahrenem Anteil aus. In der Realität liegt er bei privat genutzten Plug-In-Hybriden aber nur bei 45 bis 49 Prozent; Dienstwagen schneiden deutlich schlechter ab. Außerdem kommt bei langen Autofahrten vor allem der Verbrennungsmotor zum Einsatz. Dann erhöht das zusätzliche Gewicht der Batterie den Treibstoffverbrauch gegenüber einem reinen Verbrenner.

Hybridfahrzeuge sparen gegenüber einem Verbrenner fast nur im Stadtverkehr Kraftstoff und stoßen weniger Schadstoffe aus (**Tabelle**). Ihr Effekt auf das Erreichen der Klimaziele bleibt insgesamt somit überschaubar. Nicht umsonst ließ die Regierung die staatliche Förderung für Plug-In-Hybride Ende letzten Jahres auslaufen.

Die Autor:innen

Dr. Denise Müller-Dum und **Dr. Jens Kube**,
awk/jk – Agentur für Wissenschaftskommunikation, awkjk.de

Vergleich verschiedener Antriebssysteme (PKW)

	Verbrenner	Hybridantrieb	Elektromotor
Reichweite	hoch	hoch	niedriger
Luftbelastung	lokal hoch	in der Stadt: gering	gering
Preis	teuer	sehr teuer	sehr teuer
Technik	kompliziert	sehr kompliziert	einfacher
Lärmbelastung	hoch	in der Stadt: gering	gering
Effizienz	am geringsten	etwas höher	am höchsten