

Technologien – Hybrid – Elektrofahrzeuge

Da bei Hybridfahrzeugen neben dem konventionellen Antriebsstrang zusätzliche Komponenten im Fahrzeug verbaut werden, müssen die Gesamtkosten für ein solches Fahrzeugkonzept dem Nutzen bzw. der Verbrauchseinsparung gegenübergestellt werden. Zudem ergeben sich für den Automobilhersteller erhöhte Ausgaben für Forschung und Entwicklung (FuE). Qualitativ ist der Zusammenhang zwischen ökonomischen und ökologischen Faktoren bei der Auslegung von Hybridfahrzeugen in Abbildung 1 dargestellt.

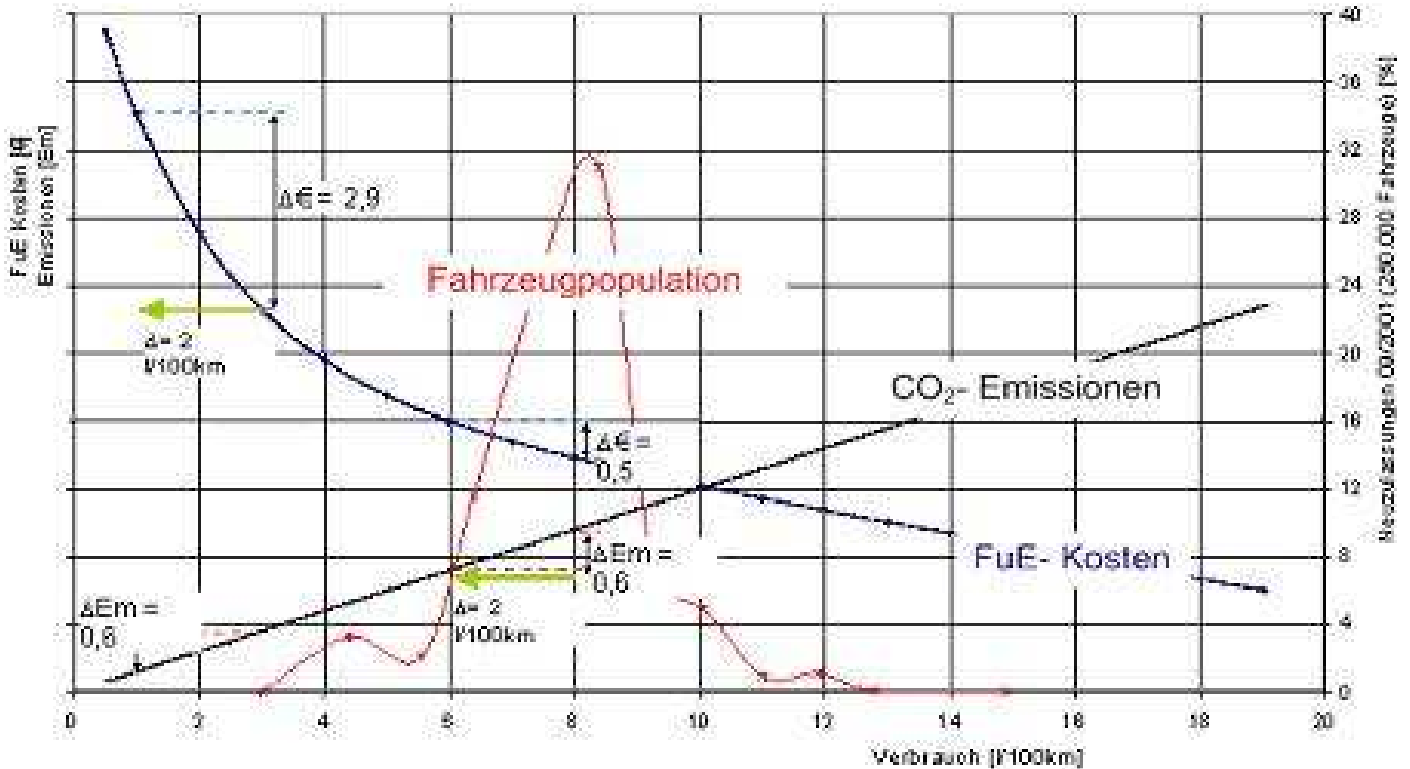


Abbildung 1: Ökonomische und ökologische Faktoren bei der Auslegung von Hybridfahrzeugen

Die Emissionen steigen proportional zum Kraftstoffverbrauch, d.h. eine 25%ige Verbrauchsreduzierung für ein Fahrzeug von 8 auf 6 l/100km und der damit verbundenen Reduktion der Emissionen (delta Em) hat annähernd den selben Effekt, wie die Verbrauchsoptimierung von 3 auf 1 l/100km, was einer Verbrauchsreduzierung von 66% entspricht. Noch deutlicher wird der Einfluss der „extremen“ Randbedingungen bei den Kosten. Hier ist der Aufwand für ein Fahrzeug mit Minimalverbrauch wesentlich höher, als der für die Optimierung eines Mittelklassefahrzeugs, wie an dem Vergleich delta € zu erkennen ist. Die Kurve „FuE-Kosten“ gibt einen rein qualitativen Zusammenhang für den Aufwand, bezogen auf den angestrebten Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs wieder.

Es ist demnach für die Bilanzierung ökonomisch wenig sinnvoll, ein Übermaß an Arbeit in die serienreife Entwicklung von Fahrzeugen mit extrem niedrigem Verbrauch zu investieren. Wesentlich effektiver für die ganzheitliche Bilanzierung ist eine Reduzierung des Flottenverbrauchs durch die Hybridisierung des Antriebsstrangs von Fahrzeugen der Mittelklasse bzw. den Fahrzeugen, die ein hohes Marktvolumen haben oder heute noch überdurchschnittlich viel Kraftstoff verbrauchen.

Definitionsgemäß besteht ein Hybridantrieb aus zwei unterschiedlichen Antriebssystemen, d.h. aus mindestens zwei Energiewandlern und -speichern. Diese Definition lässt erkennen, dass der Begriff Hybridantrieb prinzipiell eine Vielzahl von möglichen Varianten umfasst. Die verschiedenen Grundstrukturen der Kombination von Verbrennungsmotor (oder auch Brennstoffzelle), E-Maschine, Batterie und Planetengetriebe für den seriellen, den parallelen, den kombinierten und den leistungsverzweigenden Hybrid sind in Abbildung 2 zusammenfassend dargestellt.

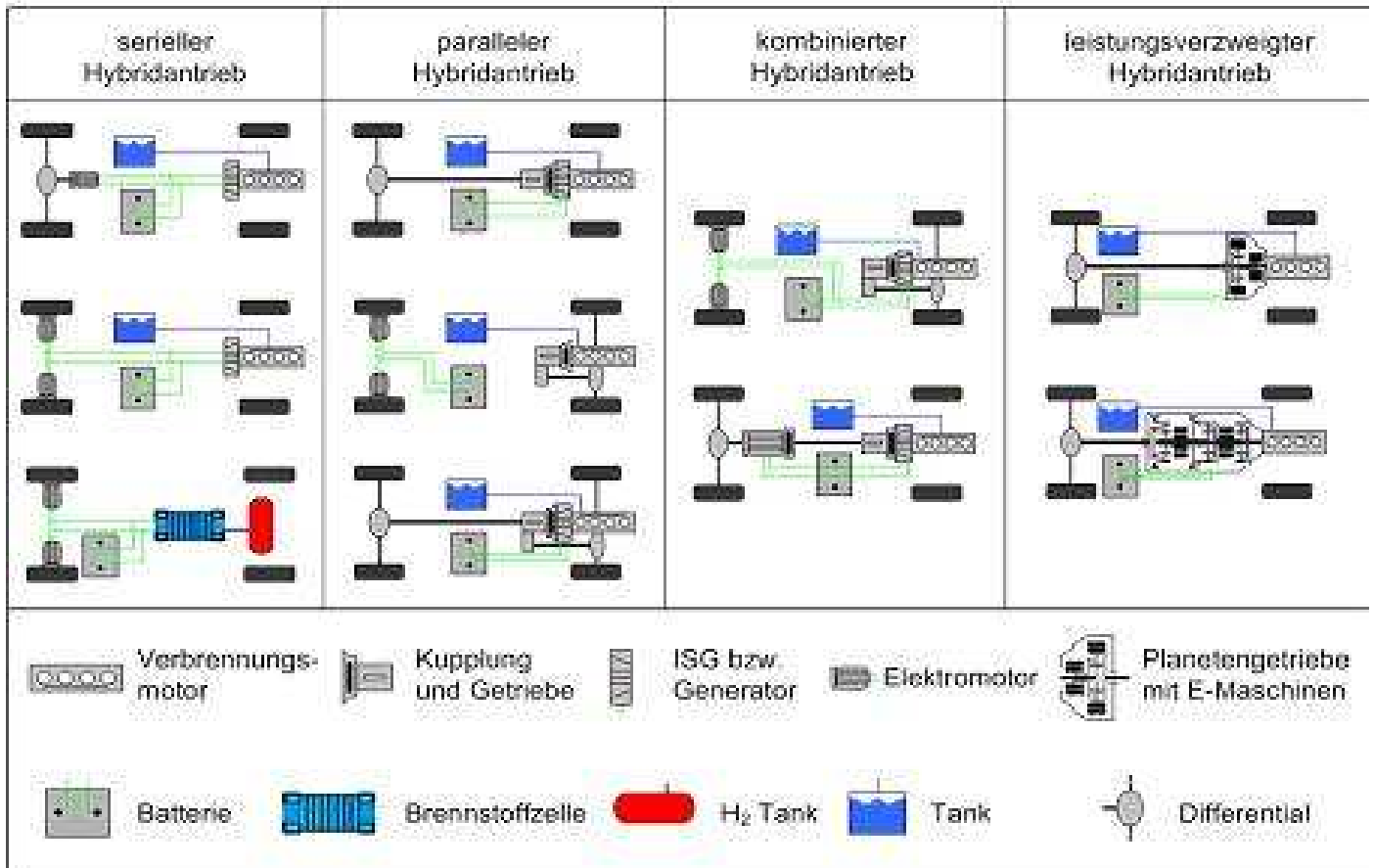


Abb. 2: Grundstrukturen von Hybridantrieben

Grundsätzlich existieren zahlreiche Möglichkeiten, verschiedene Energie-Wandler und -Speicher miteinander zu kombinieren, jedoch hat sich die Kombination aus Verbrennungsmotor und elektrischen Komponenten als HEV (Hybrid Electric Vehicle) praktisch durchgesetzt. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf vornehmlich auf diese Art des Hybridantriebs eingegangen. Durch die zusätzliche Komponenten Energie-wandler und -speicher können mehrere Vorteile gegenüber einem konventionellen Fahrzeug erzielt werden. Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit, den Betriebspunkt des Verbrennungsmotors variabel zu betreiben, d. h. den Verbrennungsmotor im Leerlauf zu stoppen und über den Elektromotor den Lastpunkt anzuheben oder abzusenken. Zudem kann die Bremsenergie in einem Hybridfahrzeug aufgenommen und zwischengespeichert werden.

Serieller Hybridantrieb

Kennzeichen serieller Hybridantriebe ist die „Reihenschaltung“ der Energiewandler ohne mechanische Anbindung des Verbrennungsmotors an die Antriebsräder, siehe [Abbildung 3](#). Der Verbrennungsmotor treibt hierbei einen Generator an, der seinerseits den elektrischen Fahrentrieb sowie einen im elektrischen Zwischenkreis angeordneten Speicher (in der Regel eine Batterie) mit Energie versorgt. Es existieren sowohl Varianten mit einem Fahrmotor und Differential als auch Konzepte mit zwei Fahrmotoren pro Achse unter Wegfall des mechanischen Differentials bis hin zu Radnabenmotoren.

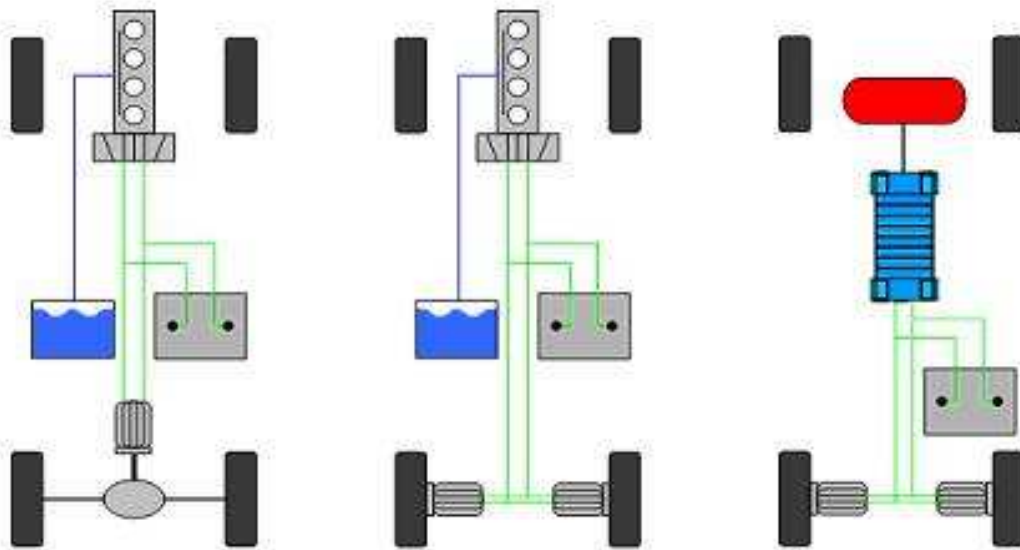


Abbildung 3:
Serieller
Hybridantrieb

Eine weitere Variante des seriellen Hybridantriebs stellt der Brennstoffzellenhybrid dar, bei dem eine Brennstoffzelle die Funktion der Einheit Generator und Verbrennungsmotor übernimmt und die Elektromotoren mit elektrischer Energie versorgt. Gegenüber einem Einzelantrieb mit Brennstoffzelle, ermöglicht die Kombination von Brennstoffzelle und Batterie die Rückspeisung von kinetischer Energie und Leistungsunterstützung der Brennstoffzelle durch die Batterie bei Lastspitzen. Aufgrund der speziellen Eigenschaften des rein elektrischen Hybridantriebs können Brennstoffzellenhybride auch dem leistungsverzweigten Hybridantrieb zugeordnet werden. Im weiteren Verlauf werden ausschließlich thematisch die seriellen Hybride mit Verbrennungsmotor näher beschrieben.

Serielle Hybride geben aufgrund der vollständigen mechanischen Entkopplung die größtmögliche Freiheit bezüglich der Betriebsweise der Verbrennungskraftmaschine. So lassen sich die Bereiche, in denen der Motor betrieben wird, in dessen Kennfeld frei festlegen. Der Verbrennungsmotor kann entweder dem aktuellen Leistungsbedarf folgend, stationär, intermittierend oder phlegmatisiert, d.h. mit beschränkter Dynamik z.B. mit einem zeitlich gemittelten Leistungsbedarf, betrieben werden, wobei besonders emissions- oder verbrauchsgünstige Betriebsbereiche oder -kennlinien gewählt werden können.

Als Führungsgrößen für eine Betriebsstrategie bieten sich eine Vielzahl von Parametern an. Im Wesentlichen sind dies der momentane oder über eine Periode gemittelte Leistungsbedarf des Fahrzeugs, die Fahrzeuggeschwindigkeit, der Ladezustand des elektrischen Energiespeichers, Zeitkonstanten (z.B. min. Zuschaltzeit des Verbrennungsmotors) und Betriebstemperaturen (z.B. Katalysatortemperatur). In der Praxis kommen diese Einflussgrößen häufig kombiniert in Form von mehrdimensionalen Betriebsstrategiefeldern zum Einsatz.

Das Ziel der Betriebsstrategie eines seriellen Hybrids ist es einerseits, den Verbrennungsmotor möglichst dauerhaft in seinem Bestpunkt (Verbrauch, Emissionen) zu betreiben, welches eine Ein- oder Mehrpunktstrategie bedeutet, andererseits aber auch möglichst wenig Energie im elektrischen Speicher zwischenspeichern, um die Wirkungsgradverluste gering zu halten. Theoretisch muss keine Energie gespeichert werden, wenn man dem Leistungsbedarf folgend den Verbrennungsmotor auf seiner Linie minimalen Kraftstoffverbrauchs betreibt. Dieses bewirkt jedoch wiederum, dass der Motor nicht ständig in seinem Bestpunkt arbeitet. Ausgehend von nur einer Einflussgröße (Leistungsbedarf) zeigt dieses Beispiel die vielfältigen Zielkonflikte, die bei der Generierung bzw. Implementierung einer Betriebsstrategie entstehen können.

Wird der Motor hingegen nur in seinem Bestpunkt betrieben, führt dies bei Anforderungsleistungen, die niedriger als die Leistung im Bestpunkt sind, dazu, dass zunächst mit dem Überschuss der Speicher verlustbehaftet geladen wird. Ist die obere Ladegrenze erreicht, wird der Verbrennungsmotor abgeschaltet und ausschließlich gespeicherte Energie genutzt. Dies kann, je nach Größe des Speichers, zu einem häufigen An- und Abschalten des Motors führen. Nachteilig ist weiterhin, dass bei einer solchen Strategie relativ viel Energie verlustbehaftet im Speicher zwischengespeichert wird.

Eine andere, mehrdimensionale Betriebsstrategie für einen seriellen Hybrid zeigt Abb. 4. Hierbei sind Ein-Punkt-Betrieb und phlegmatisierter Betrieb des Verbrennungsmotors in einer Strategie zusammengeführt.

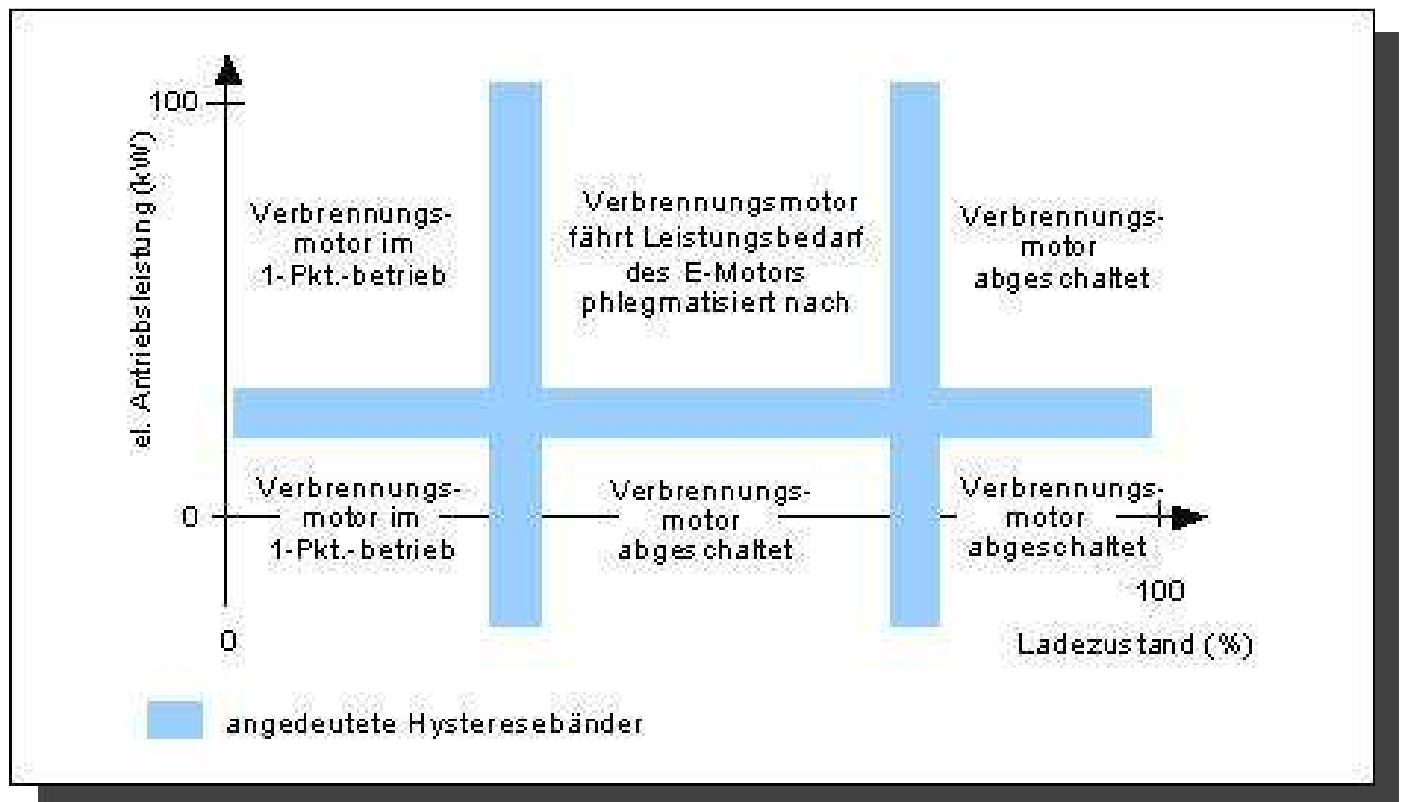


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Betriebsstrategie eines seriellen Hybrids

Paralleler Hybridantrieb

Beim parallelen Hybrid (Abbildung 5) sind Verbrennungsmotor und Elektromotor mechanisch mit den Antriebsrädern gekoppelt. Ein paralleles Konzept beinhaltet neben den beiden Antriebsmotoren und den zwei Speichern ein oder auch mehrere Getriebe, Kupplungen oder Freiläufe.

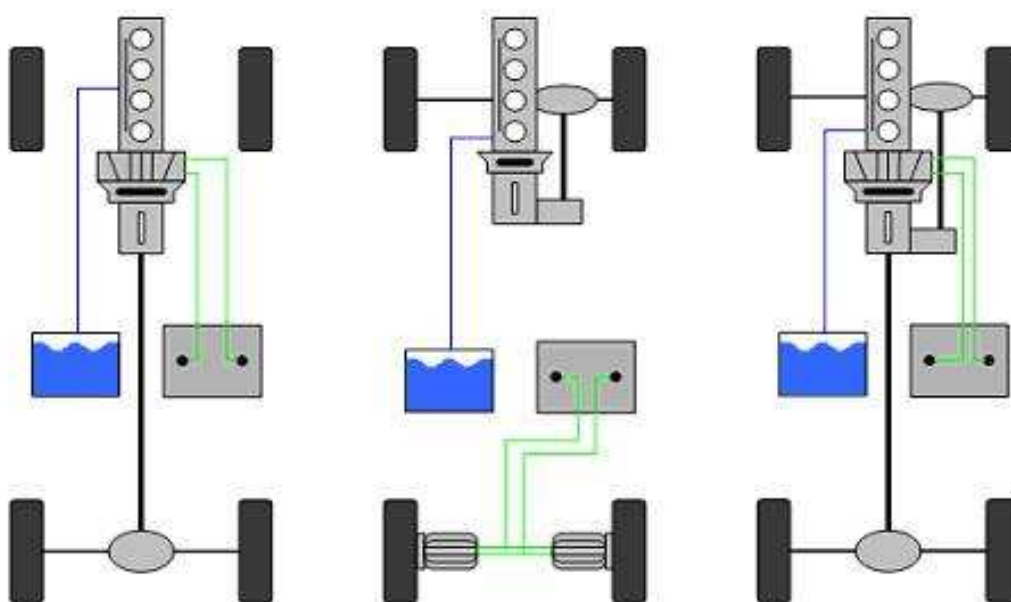


Abbildung 5: Paralleler Hybridantrieb

Die beiden Antriebssysteme können sowohl einzeln als auch gleichzeitig zum Vortrieb des Fahrzeugs genutzt werden. Aufgrund der Leistungsaddition können beide Motoren relativ klein ausgelegt werden, ohne dass Leistungseinbußen beim Beschleunigen oder beim Befahren von Steigungen vorhanden sind. Üblicherweise wird der elektrische Antriebszweig für den Stadtverkehr ausgelegt (begrenzter, emissionsfreier Fahrbetrieb), während der leistungsstärkere Verbrennungsmotor für Überlandverkehr und auf Autobahnen genutzt wird. Die abgegebenen Leistungen von Elektro- und Verbrennungsmotor können mechanisch mittels Drehzahladdition (mit einem Planetengetriebe), Momentenaddition (mit Stirnradgetriebe oder Kette) oder Zugkraftaddition (Elektromotor und Verbrennungsmotor wirken auf unterschiedliche Antriebsachsen) überlagert werden. Bei der Momentenaddition lässt sich das Verhältnis der Drehmomente der beiden Energiewandler frei variieren, während die Drehzahlen in starrem Verhältnis zueinander stehen, siehe Abbildung 6.

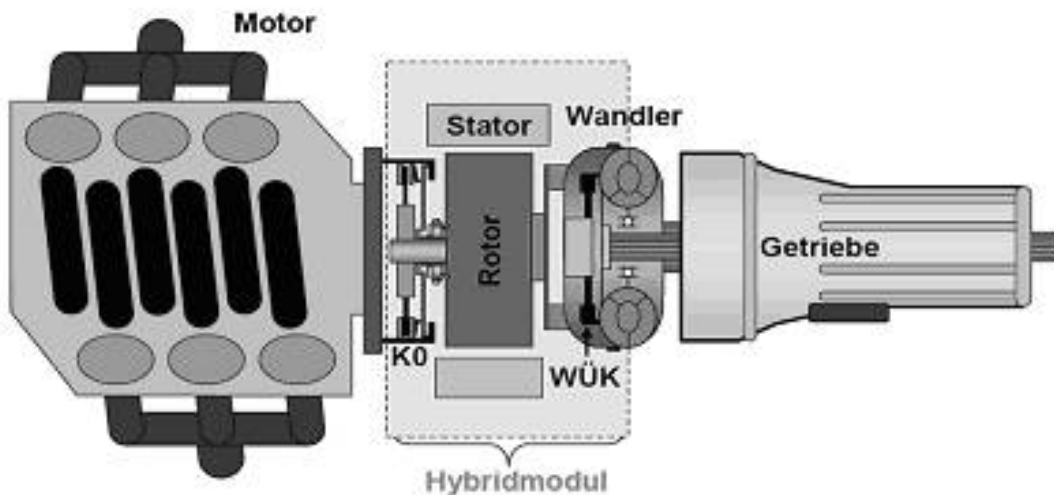


Abbildung 6:
Parallele
Struktur
des Porsche
Cayenne Hybrid

Eine Entkopplung der beiden Antriebssysteme kann über einen Freilauf oder eine Kupplung realisiert werden. Bei der Drehzahladdition werden die Leistungen der Energiewandler mittels eines Planetengetriebes zusammengeführt, wobei das Momentenverhältnis starr durch die Übersetzungen des Getriebes vorgegeben ist. Die Drehzahlen der Antriebssysteme können frei gewählt werden. Bei einem Hybrid mit Zugkraftaddition handelt es sich im physikalischen Sinne ebenfalls um eine Momentenaddition, wobei die beiden Energiewandler auf unterschiedliche Achsen des Fahrzeugs wirken (z.B. der elektrische Antrieb auf die Vorderachse, der Verbrennungsmotor auf die Hinterachse).

Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung paralleler Hybride besteht in der Anordnung der Energiewandler. Wirken beide Antriebssysteme (Elektromotor und Verbrennungsmotor) auf die Getriebeeingangswelle, so spricht man von einem Einwellenhybrid. Dagegen ist die Rede von einem Zweiwellenhybrid, wenn Verbrennungs- und Elektromotor auf unterschiedlichen Getriebewellen (Getriebe-Ein- bzw. Ausgangswelle) angeordnet sind.

Grundsätzlich lassen sich durch einen parallelen Hybridantrieb folgende Funktionalitäten darstellen:

- Start-Stopp-Betrieb
- Rekuperation von Bremsenergie
- Rein elektrischer Fahrbetrieb
- Unterstützen des Verbrennungsmotors durch den Elektromotor beim Antreiben (Boosten)
- Lastpunktverschiebung des Verbrennungsmotors

Ein rein elektrischer Fahrbetrieb wird nur ermöglicht, falls der Verbrennungsmotor über eine Kupplung vom Antriebsstrang getrennt werden kann, der E-Motor jedoch mit dem Antriebsstrang verbunden bleibt. In diesem Fall ist das durchschnittliche elektrische Leistungsniveau i. Allg. höher, da sowohl beim Rekuperieren als auch bei Antreiben des Fahrzeuges über den E-Motor höhere Leistungen umgesetzt werden.

Grundsätzlich kann der parallele Hybridantrieb in Abhängigkeit des elektrischen Leistungsniveaus in drei Kategorien unterteilt werden:

- Micro Hybrid
- Mild Hybrid
- Full Hybrid

Beim Micro Hybrid werden lediglich die konventionellen Komponenten leicht modifiziert um eine Motor Start-Stop-Funktion und eine rudimentäre Rekuperations-Funktionalität zu ermöglichen.

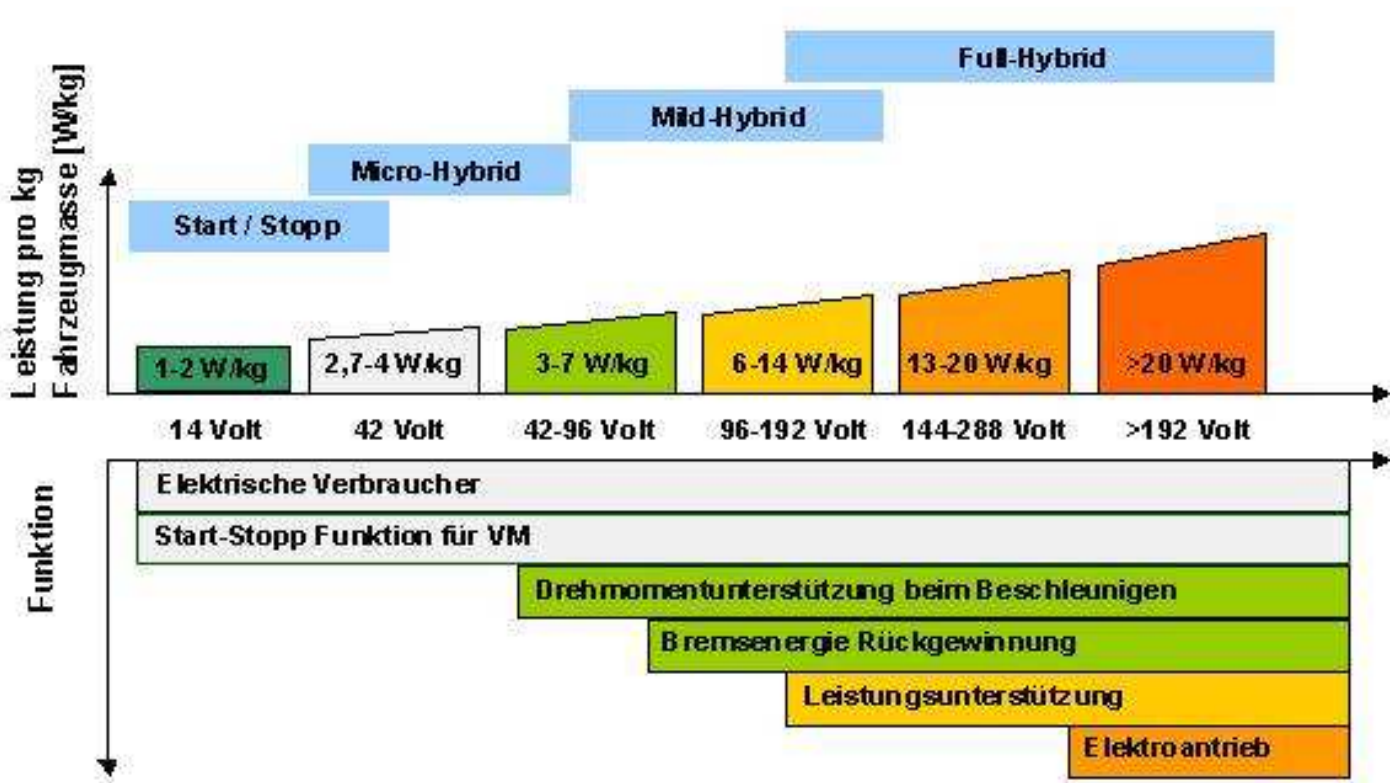


Abbildung 7: Funktionen und elektrisches Leistungsniveau bei parallelen Hybridantrieben

Demzufolge bleibt das elektrische Leistungsniveau im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug nahezu unverändert. Die Variante des Mild-Hybrid verfügt über einen relativ leistungsstarken Starter-Generator (max. 14 W/kg), der über einen Riemen an den Verbrennungsmotor angebunden ist oder direkt auf der Kurbelwelle montiert wird. Bei beiden Varianten wird das Potential der Bremsenergie-Rückgewinnung durch die Schleppverluste des Verbrennungsmotors verringert, da der Verbrennungsmotor nicht von E-Motor und Antriebsstrang abgekuppelt werden kann. Bietet der hybride Antriebsstrang zusätzlich noch die Funktion des reinen Elektroantriebs (Full-Hybrid), d.h. der Verbrennungsmotor kann vom „elektrischen“ Antriebsstrang abgekuppelt werden, erhöht sich die elektrische Bedarfsleistung des E-Motors und das Spannungsniveau des Bordnetzes erreicht dementsprechend hohe Werte (größer 192 V).

Kombinierter Hybridantrieb

Eine Mischform zwischen parallelen und seriellen Strukturen ist der so genannte kombinierte Hybrid. Diese Strukturvariante ist in Abbildung 8 dargestellt.

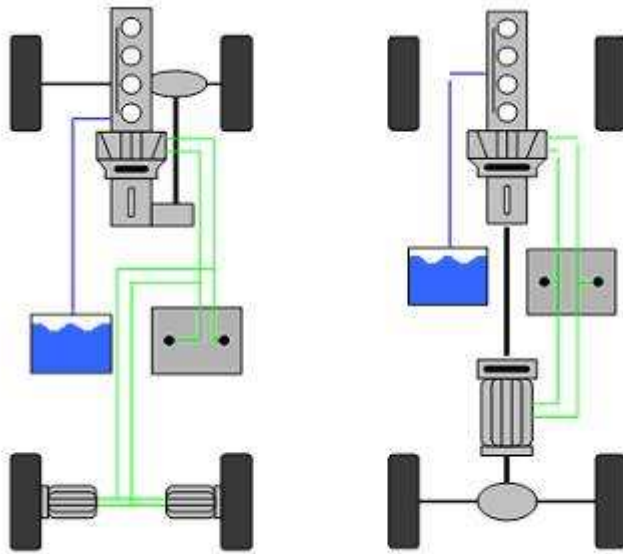


Abbildung 8:
Kombinierter
Hybridantrieb

Beim kombinierten Hybrid besteht die Möglichkeit, durch Schließen einer Kupplung direkt die Leistung des Verbrennungsmotors mechanisch an die Räder zu übertragen, was in bestimmten Betriebszuständen (z.B. hoher Leistungsbedarf bei Autobahnfahrt) eine Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades ermöglicht. Gleichzeitig können beide Elektromaschinen wie bei einem parallelen Hybrid noch zusätzlich ihre Leistung abgeben und so kurzzeitig die Spitzenleistung erhöhen. Außerdem kann das Fahrzeug elektrisch angetrieben werden, wobei die elektrische Energie von der Batterie oder über den Verbrennungsmotor und Generator analog zum seriellen Konzept bereitgestellt wird. Die Ausführung des Antriebsstrang mit einer elektrisch angetriebene Hinterachse und verbrennungsmotorischen Antrieb der Vorderachse (siehe Abbildung 8 links) ermöglicht zudem eine Allrad-Funktionalität. Dadurch kann die Fahrleistung und die Fahrodynamik des Fahrzeuges erhöht werden.

Dem verbesserten Wirkungsgrad steht der höhere Aufwand durch die Kupplung und die zusätzliche(n) E-Maschine(n) gegenüber. Dadurch ist meist auch ein weiterer Anstieg des Fahrzeuggewichts unvermeidlich. Außerdem ist die zu implementierende Betriebsstrategie im Vergleich zu einem seriellen oder parallelen Konzept komplexer. Im Vergleich zu dem seriellen Konzept kann die Anordnung von Verbrennungsmotor und Generator nicht mehr frei gewählt werden, da eine direkte mechanische Ankopplung an den Antriebsstrang erfolgen muss.

Leistungsverzweigter Hybridantrieb

Ebenfalls eine Mischform zwischen parallelen und seriellen Strukturen ist der leistungsverzweigende Hybrid, siehe Abbildung 9.

Die leistungsverzweigten Hybridantriebe stellen eine sehr komplexe Variante des Hybridantriebs dar. Bei dieser Hybridstruktur wird ein Teil der Leistung des Verbrennungsmotors direkt mechanisch an die Antriebsräder übertragen; die restliche Leistung gelangt z.B. über ein Planetengetriebe und zwei Elektromotoren an die Antriebsräder. Zur Energiespeicherung wird meist eine Batterie eingesetzt. Mit dieser Anordnung der Elektromotoren agiert das System als stufenlos verstellbares Getriebe, so dass kein zusätzliches Getriebe für den Verbrennungsmotor notwendig ist. Der Verbrennungsmotor kann prinzipiell drehzahl- und leistungsunabhängig vom übrigen Antrieb betrieben werden. Der Wirkungsgrad ist aufgrund der teilweise direkten mechanischen Leistungsübertragung besser als bei seriellen Strukturen.

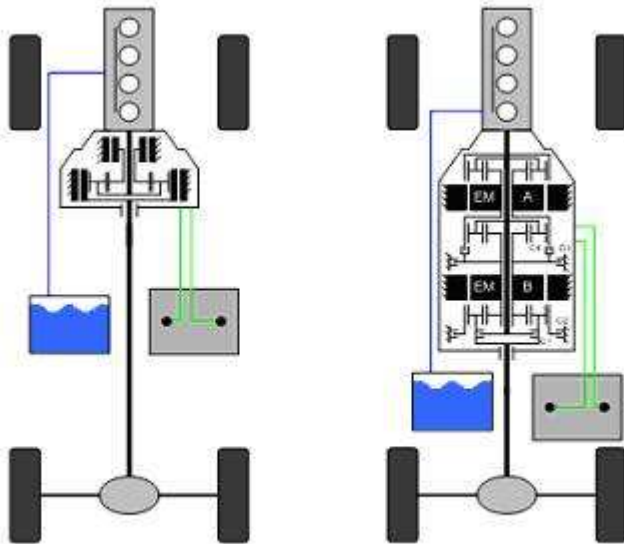


Abbildung 9:
Leistungsverzweigter
Hybridantrieb

Die mögliche Anordnung der Komponenten Verbrennungsmotor, E-Motor, Generator und Planetengetriebe ist dabei äußerst vielfältig und die Verluste durch die Leistungsverzweigung kann durch diese Anordnung verbessert werden. Allgemein kann die Struktur der leistungsverzweigten Hybridantriebe nach der Anordnung der elektrischen Maschinen und der Anzahl der Verzweigungsstufen differenziert werden.

Plug-In und Range Extender

Ausgehend vom Konzept des hybriden Fahrzeuges ergibt sich grundsätzlich die Möglichkeit den zusätzlichen (elektrischen) Leitungs- und Energiepfad zu erweitern. Alle bisher beschriebene (Voll-) Hybridfahrzeuge verfügen über einen zusätzlichen Energiespeicher, der jedoch lediglich als Zwischenspeicher genutzt wird. Die Energie zum Antreiben des Fahrzeugs wird weiterhin von dem konventionellen Kraftstofftank gedeckt. Durch eine Vergrößerung des elektrischen Speichers und die Möglichkeit zur externen Ladung dieses Speichers kann die Strecke, welche das Fahrzeug rein elektrisch betrieben werden kann, erhöht werden. Dadurch kann der Betrieb des Verbrennungsmotors reduziert werden und der Ausstoß von Emissionen (lokal) gesenkt werden. Bei diesem Konzept spricht man von einem Plug-In-Hybridfahrzeug. Typischerweise sind diese Konzepte als parallele oder leistungsverzweigte Hybridstrukturen aufgebaut, so dass das Fahrzeug auch direkt über den Verbrennungsmotor angetrieben werden kann, nachdem der elektrische Speicher entladen wurde. Sobald der zusätzliche elektrische Speicher entladen ist, wird das Fahrzeug als Hybridfahrzeug mit Zwischenspeicher betrieben.

Diese Betriebsweise ist anhand des Batterieladegrad (State of Charge bzw. SOC) in Abbildung 10 dargestellt. Im ersten Teil der gefahrenen Strecke befindet sich das Fahrzeug im „Charge Depleting“-Modus, das heißt, es wird elektrische Energie aus der Traktionsbatterie entladen und zum Antreiben genutzt. Sobald die untere SOC-Grenze erreicht ist, wechselt die Betriebsstrategie in den „Charge Sustaining“-Modus, in dem die Batterie lediglich als Zwischenspeicher genutzt wird und der SOC nur noch geringe Abweichungen aufweist.

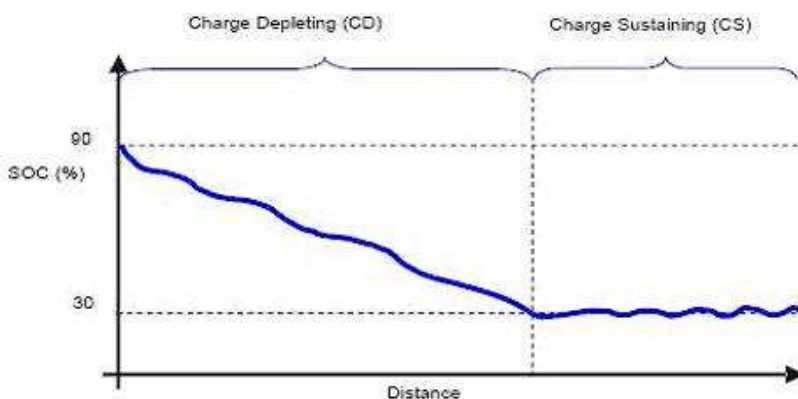


Abbildung 10:
Batterieladegrad
in Abhängigkeit
der gefahrenen
Strecke beim
Plug-In-Hybrid

Der Elektromotor, mit dem der Antrieb des Fahrzeugs auch bei höheren Geschwindigkeit erfolgt, ist in Bezug auf die Leistungsfähigkeit im Vergleich zu einem herkömmlichen Hybridfahrzeug größer dimensioniert. Da sowohl der Elektromotor als auch der Verbrennungsmotor wechselweise das Fahrzeug antreiben, ist das Verhältnis der Leistungen von Verbrennungsmotor und Elektromotor kleiner als bei einem Hybridfahrzeug ohne externen Speicher, siehe Abbildung 11.

Die typischen elektrischen Reichweiten der Plug-In-Hybridfahrzeuge liegen im Bereich von 10 bis 30 km. Es gilt zu beachten, dass diese Reichweiten je nach Einsatzprofil und Verwendung des Fahrzeugs stark variieren können.

Bei Fahrzeugkonzepten mit höheren elektrischen Reichweiten (größer 60 km) steht bei der täglichen Nutzung vornehmlich der elektrische Antrieb im Vordergrund, weil die durchschnittliche tägliche Fahrleistung durch den Elektronantrieb abgedeckt werden kann. Daraus folgt, dass bei diesen Fahrzeugen der Verbrennungsmotor kleiner dimensioniert und der direkte mechanische Antrieb durch eine serielle Hybridstruktur ersetzt werden kann. Durch die serielle Struktur kann das Zusatzgewicht der elektrischen Komponenten (insbesondere hervorgerufen durch die Traktionsbatterie) teilweise kompensiert werden, weil auf das konventionelle Getriebe entfällt und der Verbrennungsmotor kleiner dimensioniert ist. Diese Antriebskonzepte werden als „Range Extender“ bezeichnet und positionieren sich in Bezug auf das Leistungsverhältnis der beiden Antriebe und der elektrischen Reichweite deutlich in Richtung der Elektrofahrzeuge, siehe Abbildung 11.

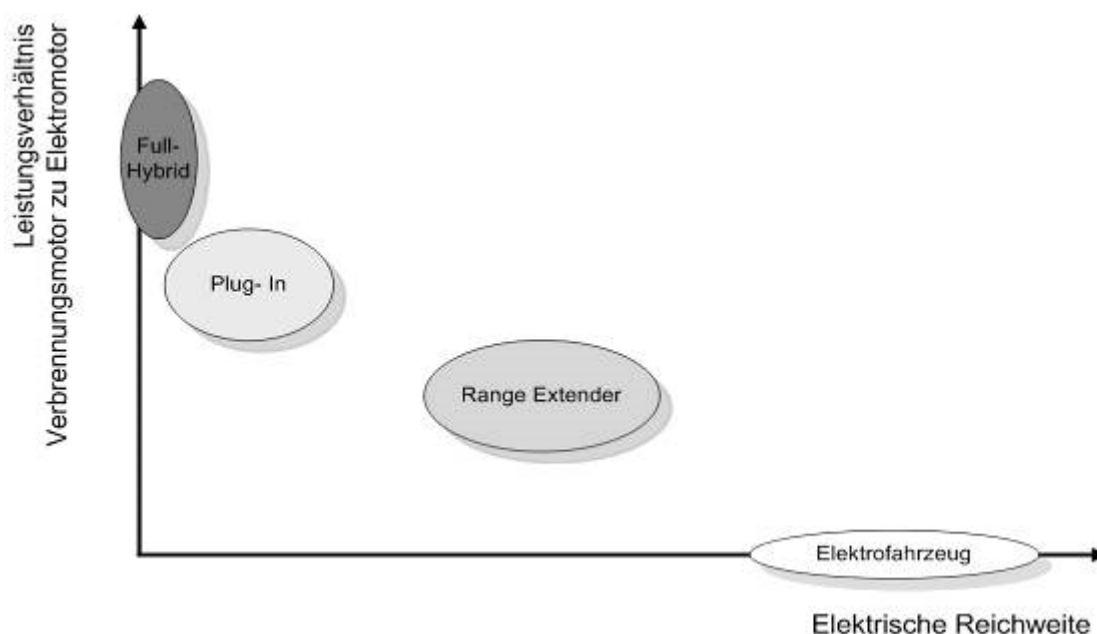


Abbildung 11:
Charakterisierung
von Plug-In- und
Range-Extender-
Hybridfahrzeugen

Analog zu den seriellen Hybridfahrzeugen ohne elektrische Reichweite, kann bei den Range-Extender-Hybridfahrzeugen der Verbrennungsmotor durch eine Brennstoffzelle und Wasserstofftank ersetzt werden.

Die Vorteile der Plug-In- und Range-Extender-Hybridfahrzeuge gegenüber einem konventionellen Fahrzeug bzw. einem „normalen“ Hybridfahrzeug sind zweifellos bedingt durch den rein elektrischen Betrieb. Die Konzepte zeichnen sich durch den hohen Wirkungsgrad des Antriebs und den schadstofffreien Betrieb im „Charge depleting“-Modus aus. Zudem sind diese Fahrzeuge sehr leise und günstiger im Betrieb verglichen mit einem diesel- oder benzinbetriebenen Fahrzeug. Die Reichweite des Fahrzeuges wird im Gegensatz zu einem „normalen“ Elektrofahrzeug aufgrund des doppelten Energiespeichers nicht eingeschränkt. Analog zu den Hybridfahrzeugen ist jedoch eine Erhöhung des Fahrzeuggewichtes nicht zu vermeiden. Im Unterschied zu den Hybridfahrzeugen ergibt sich jedoch ein weiteres Zusatzgewicht durch die vergrößerte Traktionsbatterie, welche durch ihre relativ niedrige Energiedichte einen großen Anteil am gesamten Zusatzgewicht ausmacht. Analog zu den Elektrofahrzeugen muss zudem der indirekte Schadstoffausstoß bei der Stromerzeugung berücksichtigt werden, so dass beim Betrieb des Fahrzeuges zunächst nur eine lokale Emissionsfreiheit ermöglicht wird. Im Gegensatz zu den Betriebskosten sind die Herstellungs- bzw. Anschaffungskosten deutlich höher, da die Batterie zum derzeitigen Technologiestand ein sehr hohes spezifisches Preisniveau besitzt.

In Verbindung mit der gewünschten elektrischen Reichweite des Fahrzeugs und die dadurch bedingt groß dimensionierte Batterie, steigen die Kosten des Fahrzeuges mit der elektrischen Reichweite stark an.

	Plug-In			Range-Extender		
Fahrzeug	Audi Duo	Toyota Prius Plug-In	MB Sprinter Plug-In	Opel Flextrene	Chevrolet Volt	VW Space up! Blue
VM-Leistung [kW]	66	56	80	66	52	12 / 16*
EM-Leistung [kW]	21	44	70	120	120	45 / 61*
Batterieenergieinhalt [kWh]	10	2.6	14	16	16	12
elektr. Reichweite [km]	50	13	30	55	65	100

* Brennstoffzelle anstatt Verbrennungsmotor

Abbildung 12: Übersicht verschiedener Plug-In- und Range-Extender-Konzepte

Analog zu den seriellen Hybridkonzepten ohne externe Aufladung besteht auch bei den Range-Extender-Fahrzeugen die Möglichkeit, den Verbrennungsmotor durch eine Brennstoffzelle zu ersetzen und den Betrieb des Fahrzeugs bei leerer Batterie über den Energiepfad Wasserstofftank-Brennstoffzelle-Elektromotor zu gewährleisten.

Quelle: DGES, Deutsche Gesellschaft für elektrische Straßenfahrzeuge

URL: <http://www.dges.de/alternative-antriebe/5.html>