

Leistungsverzweigte Hybridantriebe bieten aufgrund ihres Aufbaus mit zwei E-Maschinen und Planetengetriebe diverse Antriebsvarianten (siehe Beitrag: Hybrid, Leistungsverzweigt). Aufgrund der Anordnung des Planetengetriebes kann man zwischen einem Input-Split und einem Output-Split unterscheiden.

### Input-Split

Bei einem Input-Split-System, wie es beim Toyota Prius eingesetzt wird, befindet sich das Planetengetriebe direkt hinter dem Verbrennungsmotor (Bild 1). In diesem Fall sind der Verbrennungsmotor mit dem Planetenträger, die E-Maschine 1 mit dem Sonnenrad und die E-Maschine 2 mit dem Hohlrad verbunden. Dadurch wird die Leistung des Verbrennungsmotors in einen mechanischen und elektrischen Teil verzweigt. Dabei entstehen im mechanischen Zweig keine grossen Verluste. Die Lagerreibung und die Reibung in einem möglichen Getriebe machen keine 5 % aus, somit kann hier ein Wirkungsgrad von 95 % oder höher erreicht werden. Auf der elektrischen Seite müssen die beiden E-Maschinen beachtet werden. Diese haben beim optimalen Betriebspunkt Wirkungsgrade von bis zu 95 %, dabei sind aber die tiefen Lastpunkte nicht beachtet. Bei den Invertern liegt der Wirkungsgrad jeweils zwischen 90 und 95 %, dadurch ergibt sich ein idealisierter Gesamtwirkungsgrad von bis zu 80 %. Im Vergleich zu einem seriellen Hybrid ist der Wirkungsgrad besser, aber im Vergleich zum Parallelhybrid etwas schlechter. Der Wirkungsgrad verändert sich je nach Leistungsverzweigung. Wenn keine Leistung über den elektrischen Zweig fließt, muss man nur die mechanische Seite betrachten und der Wirkungsgrad ist somit am höchsten. Bei diesem System kann je nach Betriebsart auch eine «negative Blindleistung» entstehen. Diese darf man aber nicht mit der Blindleistung verwechseln, welche man aus der Wechselstromtechnik kennt und die durch eine Phasenverschiebung entsteht. Hier wird der Zustand beschrieben, bei dem die E-Maschine 1 als Motor arbeitet und die elektrische Leistung aus der E-Maschine 2 bezieht, die als Generator arbeitet. So wird die Leistung des

Verbrennungsmotors rückwärts geführt und als negativ betrachtet. Aus diesem Grund wird hauptsächlich die E-Maschine 2 als Motor eingesetzt. Dank dem Planetengetriebe kann auf Kupplungen zwischen dem Verbrennungsmotor und den E-Maschinen verzichtet werden. Beim Starten des Verbrennungsmotors wird dieser über das Planetengetriebe mit der E-Maschine 2 verbunden (siehe Beitrag: Getriebe, Planetengetriebe). Beim rein elektrischen Fahren mit abgeschaltetem Verbrennungsmotor wird das Fahrzeug von der E-Maschine 2 angetrieben. Dabei ist zu beachten, dass die beiden E-Maschinen über das Planetengetriebe verbunden sind. Durch diesen Umstand muss die E-Maschine 1 in Gegenrichtung drehen, da der Verbrennungsmotor stillsteht und sonst keine Drehbewegung der E-Maschine 2 möglich wäre.

### Output-Split

Beim Output-Split (Bild 2) wird das Planetengetriebe nach hinten in den Antriebsstrang verschoben. Dadurch werden die beiden Antriebszweige erst vor dem Achsantrieb zusammengeführt. Dabei ist das Sonnenrad mit der E-Maschine 2 verbunden, der Planetenradträger mit dem Achsantrieb und das Hohlrad mit der E-Maschine 1 und dem Verbrennungsmotor. In dieser Anordnung kann man die Leistungsaufteilung nicht mehr klar in einen mechanischen und elektrischen Zweig aufteilen. Zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Planetengetriebe befindet sich noch die E-Maschine 1. Für die Betrachtung des Wirkungsgrades bedeutet diese Kombination, dass wir in einem Zweig den Wirkungsgrad der E-Maschine 2 betrachten und im anderen Zweig die Kombination der E-Maschine 1 und des Verbrennungsmotors. Wenn man mit den gleichen Werten wie beim Input-Split rechnet, erreicht man ähnliche Wirkungsgradwerte. Hier wird der beste Wirkungsgrad erreicht, wenn man nur die Leistung aus dem rein elektrischen Zweig einsetzt. In dieser Anordnung wird auch wieder die E-Maschine 1 hauptsächlich als Generator eingesetzt und die E-Maschine 2 somit als Antriebsmotor. Durch die Verzweigung sind aber auch hier mehrere Fahrmodi möglich.

### System mit Kupplungen

Im Opel Ampera werden zusätzlich noch Kupplungen verbaut (Bild 3). Die Kupplung C1 liegt zwischen dem Verbrennungsmotor und der E-Maschine 1. Eine weitere Kupplung C2 wird zwischen dem Planetengetriebe und die E-Maschine 1 eingesetzt. Dazu kommt noch eine Kupplung (Bremsse) C3 in das Planetengetriebe, mit welcher der Verbrennungsmotor und die E-Maschine 1 blockiert werden. Dadurch werden Schleppverluste beim Antrieb durch die E-Maschine 2 verhindert. Mit dieser Erweiterung wird es aber schwierig, noch klar zwischen leistungsverzweigtem und seriellen Hybridkonzept zu unterscheiden. Je nach dem, in welcher Kombination die Kupplungen geschlossen und geöffnet werden, ist es auch möglich, einen seriellen Hybrid zu schalten. Bei niedrigen Geschwindigkeiten und tiefer Last sind die Kupplungen C1 und C2 geöffnet und C3 geschlossen. Damit wird über die E-Maschine 2 rein elektrisch gefahren. Wird die Last erhöht, kann die E-Maschine 1 über C2 zugeschaltet werden (C3 löst). Dadurch wird das Fahrzeug von beiden E-Maschinen angetrieben und fährt immer noch rein elektrisch. Wenn der Ladezustand in diesem Modus abnimmt, muss irgendwann der Verbrennungsmotor zugeschaltet werden. Wird nun C2 zwischen der E-Maschine 1 und dem Planetengetriebe geöffnet und C3 geschlossen, ist ein serieller Hybridantrieb geschaltet. Der Verbrennungsmotor treibt die E-Maschine 1 an und erzeugt die elektrische Energie für den Antrieb der E-Maschine 2. Die letzte Variante, die man realisieren kann, ist der Antrieb durch alle drei Antriebsaggregate. Dadurch werden im leistungsverzweigten Betrieb beide Zweige im Planetengetriebe für den Antrieb zusammengeführt.

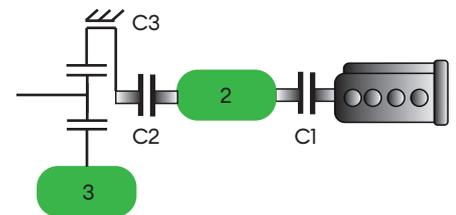


Bild 3: Output-Split mit den Kupplungen C1, C2 und C3

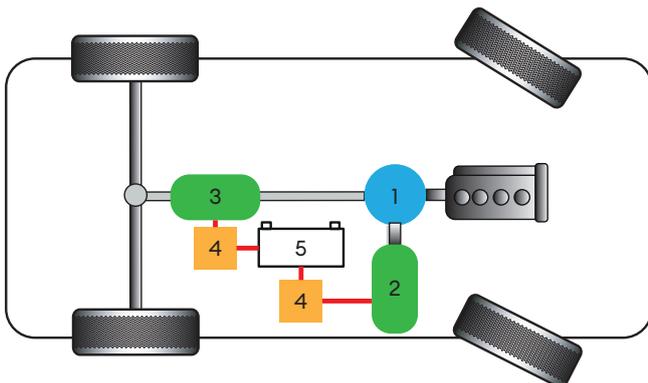


Bild 1: Input-Split  
1. Planetengetriebe

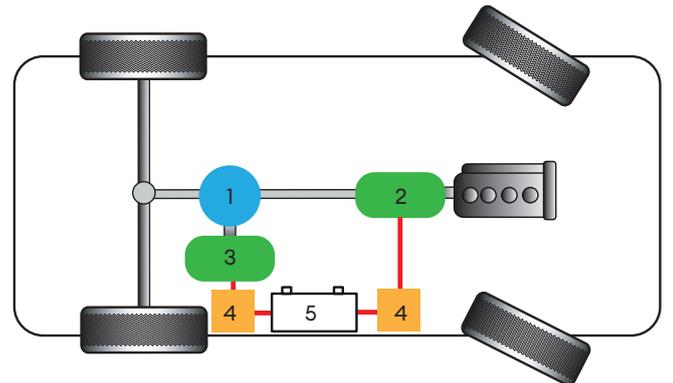


Bild 2: Output-Split  
2. E-Maschine 1  
3. E-Maschine 2  
4. Leistungselektronik  
5. Hochvoltbatterie