

### Betriebsmodi

Grundsätzlich sind bei einem Vollhybrid vier Betriebsmodi möglich, welche im Bild 1 als Ausgangsgrößen dargestellt sind. Anhand der drei Eingangsgrößen wird die Hybridsteuerung eine Variante auswählen. Dabei werden aber nicht nur die drei abgebildeten Größen berücksichtigt, sondern auch ein Äquivalenzwert der gespeicherten elektrischen Energie. Dieser stellt den Treibstoffverbrauch dar, welcher nötig war, um diese Energie zu erzeugen (Rekuperation oder Laden mit dem Verbrennungsmotor). Dieser Äquivalenzwert wird bei der Wahl der genutzten Energie mitberücksichtigt. Möchte man die Effizienz weiter steigern, so kann man versuchen, den Äquivalenzwert auch für die kommenden Fahr-situationen zu bestimmen. Dies ist aber sehr schwierig und nur bei einem vorher bekannten Testzyklus exakt möglich.

### Elektrisches Fahren

Soll das Fahrzeug rein elektrisch betrieben werden, so ist die Grundvoraussetzung, dass das vom Elektromotor erzeugte Antriebsmoment gleich oder grösser als das vom Fahrer angeforderte Antriebsmoment ist. Dazu kommen zusätzlich noch folgende Anforderungen:

- Der SOC der Batterie ist genügend hoch
- Die Batterie kann die geforderte Leistung zur Verfügung stellen
- Das Bremspedal wird nicht betätigt

Wenn diese Vorgaben erfüllt werden, ist das rein elektrische Fahren möglich.

### Hybrides Fahren

Wenn das rein elektrische Fahren nicht möglich ist, so ist der Verbrennungsmotor immer in Betrieb. Je nach Hybridbauart muss er dabei verschiedene Aufgaben erfüllen. Bei einem seriellen Hybridkonzept dient er nur dazu, die E-Maschine, welche als Generator arbeitet, zur Stromerzeugung anzutreiben. Bei parallelen- und leistungsverzweigten Konzepten ist er für den Antrieb des Fahrzeugs zuständig. Aber auch hier wird ein Teil des Antriebsmoments zur Stromerzeugung genutzt. Der Verbrennungsmotor wird nur dann ausschliesslich für den Antrieb eingesetzt, wenn der hybride Fahrmodus nicht möglich oder nicht effizient ist oder wenn gerade kein Strom benötigt wird.

Da der Verbrennungsmotor kein reiner Antriebsmotor mehr ist, unterscheiden sich die Anforderungen und die damit

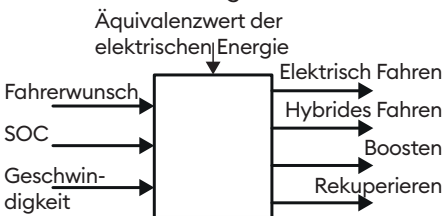


Bild 1: Hybridsteuerung

verbundenen Betriebspunkte von herkömmlichen Antriebskonzepten. So kann je nach Zusammenspiel der Hybridkomponenten der Betriebspunkt des Verbrennungsmotors so verschoben werden, dass eine bestimmte Strategie verfolgt werden kann. Eine Strategie ist z.B., eine möglichst tiefe CO<sub>2</sub>-Emission oder bei einem Dieselmotor einen möglichst geringen NO<sub>x</sub>-Ausstoss zu erreichen.

Verbrennungsmotoren, die im unteren Teillastbereich betrieben werden, arbeiten in einem schlechten Wirkungsgradbereich. Dadurch ergeben sich schlechte Verbrauchswerte und damit verbunden sind hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dies kann zwar in einem gewissen Mass durch Motoren mit magerer Gemischbildung kompensiert werden, aber auch hier ist dieser Bereich nicht optimal. Bei einem Vollhybrid kann dieser ungünstige Bereich durch den Elektromotor abgedeckt werden. Mit dieser Massnahme lässt sich dieser Arbeitsbereich für den Verbrennungsmotor vermeiden. Das führt dazu, dass diverse Zusatzmassnahmen um ein höheres Drehmoment bei tiefen Drehzahlen zu erzeugen, weggelassen werden können. Dazu zählt zum Beispiel ein zweiter Lader, welcher bei Doppelaufladungssystemen das Drehmoment im unteren Drehzahlbereich verbessert.

### Lastpunktverschiebung

Eine andere Möglichkeit besteht in der sogenannten Lastpunktanhebung. Dabei wird der Betriebspunkt, welcher durch das notwendige Antriebsmoment bestimmt wird, in einen Bereich mit besserem spezifischen Verbrauch verschoben. In Bild 2 ist dieses Prinzip dargestellt.

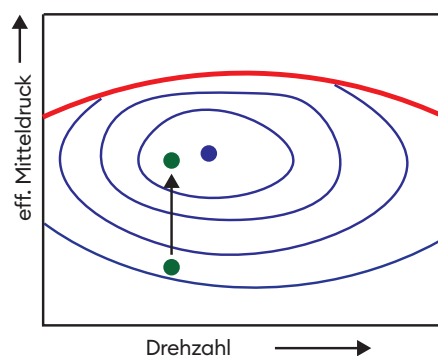


Bild 2: Lastpunktverschiebung

Das Bild 2 zeigt das vereinfachte Verbrauchskennfeld eines Verbrennungsmotors. Auf der x-Achse ist die Drehzahl abgebildet und auf der y-Achse der effektive Mitteldruck, welcher indirekt das Drehmoment darstellt. Die rote Linie stellt die Vollastkennlinie dar. Die blauen Linien zeigen den spezifischen Verbrauch des Motors in Abhängigkeit der aufgeführten Größen. Der blaue Punkt stellt den kleinstmöglichen spezifischen Verbrauch dar (den besten Wirkungsgrad). Je weiter weg die Linien vom Punkt sind, desto höher wird der Verbrauch.

Der untere grüne Punkt stellt einen beliebigen Betriebspunkt des Verbrennungsmotors dar. Dieser liegt in einem Bereich mit einem schlechten Wirkungsgrad. Dieser Punkt kann jetzt nach oben und somit in einen effizienteren Bereich verschoben werden. Die Last des Motors wird dabei um soviel erhöht, wie notwendig ist, um in einen Bereich mit einem tieferen spezifischen Verbrauch zu gelangen. Um das zu erreichen, wird ein Teil des Moments genutzt, eine E-Maschine im Generatorbetrieb anzutreiben. Dabei wird die E-Maschine entsprechend belastet, um Strom zu erzeugen.

Damit dies möglich ist, muss der SOC der Batterie in einem Bereich liegen, der das Laden ermöglicht. Was man bei dieser Optimierung auf der Seite des Verbrennungsmotors nicht vergessen darf, ist die elektrische Wirkungskette. Bei der Stromerzeugung, Umwandlung und Speicherung entstehen auch Verluste. Dazu kommen die Verluste, wenn die elektrische Energie über den Elektromotor wieder in mechanische Energie umgewandelt wird. Beim Bestimmen des Betriebspunktes durch die Lastanhebung wird daher immer ein Kompromiss zwischen dem Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors und dem Wirkungsgrad auf der elektrischen Seite gemacht.

### Serieller Hybrid

Bei einem seriellen Hybrid ist es möglich, den Betriebspunkt des Verbrennungsmotors unabhängig vom Fahrzustand zu wählen. Somit ist es möglich, für den gesamten Bereich der abgegebenen elektrischen Leistung der Wirkungskette Verbrennungsmotor-Generator, jeweils den Betriebspunkt mit dem geringsten spezifischen Verbrauch zu wählen. Dadurch erhält man eine Betriebslinie, welche dem optimalen Kraftstoffverbrauch des Gesamtsystems folgt. Diese Linie (Grün) ist in Bild 3 dargestellt.

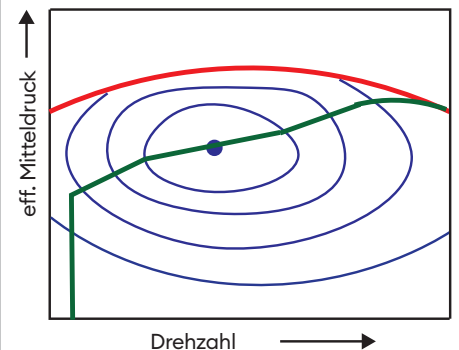


Bild 3: Betriebskennlinie

Dabei kann der Betriebspunkt bei Bedarf der Linie entlang in einen effizienteren Bereich verschoben werden. Soll das Antriebsmoment erhöht werden, so muss die Batterie den zusätzlich erzeugten Strom speichern können. Wenn das Antriebsmoment abgesenkt werden soll, dann muss die Batterie die Differenz zum fehlenden Strom zur Verfügung stellen.