

13.10.2020

Das ideale Hybridfahrzeug Teil 3: **High End Auslegung**

„Ricardo hat im Rahmen des Projekts PaREGEn ein Magerkonzept für Ottomotoren mit Direkteinspritzung, variablem Ventilhub, VNT-Turbolader und E-Kompressor sowie Miller-Steuerzeiten entwickelt.“

So steht es in der Übersicht von [Springer Professional](#) über die Themen der Woche. Konkurrenz für den „Idealen Hybrid“? Nein, eher ein Fall für die Rubrik „**Denn sie wissen nicht was sie sonst tun sollen.**“ Außerdem ein gutes Beispiel für Overengineering, für das Bestreben, mit einer Menge Aufwand ein kleines bisschen besser zu werden. Das genaue Gegenteil unseres Hybridkonzepts.

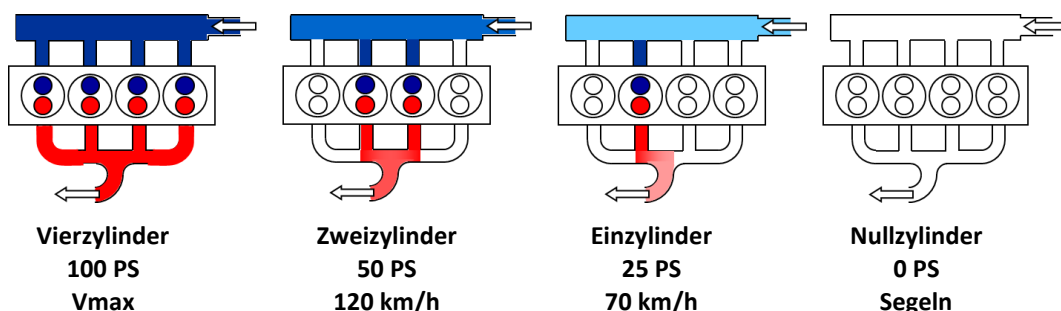
Mit einer Einschränkung. Auch beim Idealen Hybridfahrzeug steigt der Aufwand bei dem Versuch, das Letzte aus dem Konzept herauszukitzeln. Aber keine Sorge, der Rahmen des sittlich statthaften wird im Folgenden ganz bestimmt nicht überschritten.

Vier Ventile besser als zwei?

Warum besitzen moderne Motoren nicht mehr nur zwei Ventile sondern vier? Der Witz liegt im niedrigeren Strömungswiderstand. Und weil sie leichter sind, kann man sie schneller aufreißen und schließen, was speziell bei hohen Drehzahlen von Vorteil ist. Hohe Drehzahlen kennt unser Standardkonzept nicht, deswegen reichen dafür zwei Ventile völlig aus. Will man aber beim Verbrennungsmotor nicht mit 100 PS „verhungern“, sondern vielleicht 200 PS oder mehr mobilisieren, kommt man um die Vierventiltechnik nicht herum.

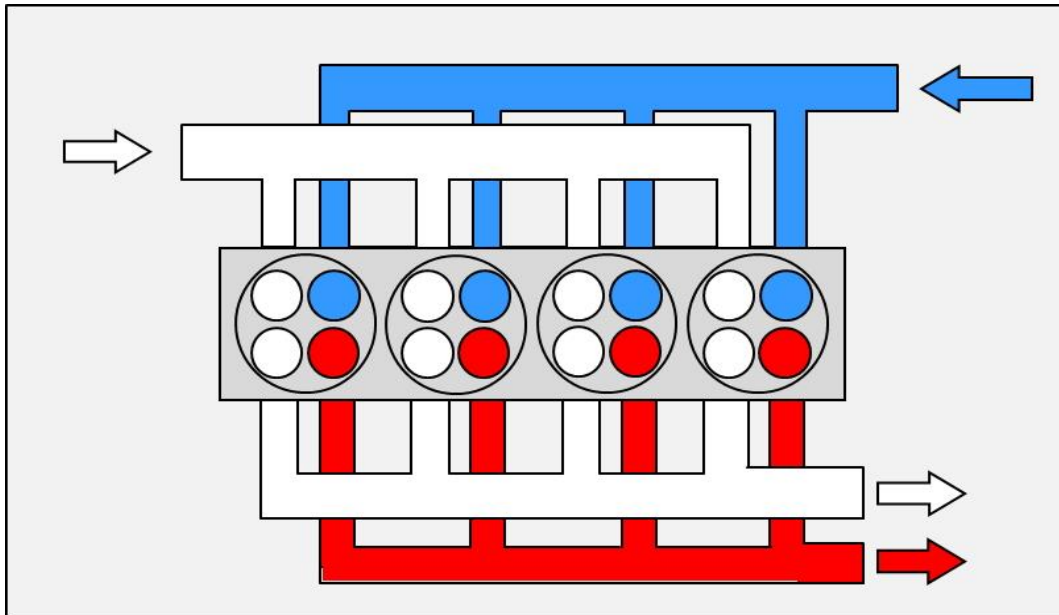
Was aber bei jedem der drei Konzepte unverändert bleibt, ist die Methode der Einzelventilabschaltung. Also ist auch beim High-End-Konzept jedes der vier Ventile einzeln und unabhängig von allen anderen ein- und ausschaltbar. Kein variabler Ventilhub, sondern pures unverfälschtes ON/OFF. Damit kann man wunderbare Sachen anstellen.

Sehen wir uns zur Erinnerung nochmals die verschiedenen Möglichkeiten der Einzelventil- bzw. Zylinderabschaltung an:



Zwei-Ventil-Betrieb für „Untenrum“:

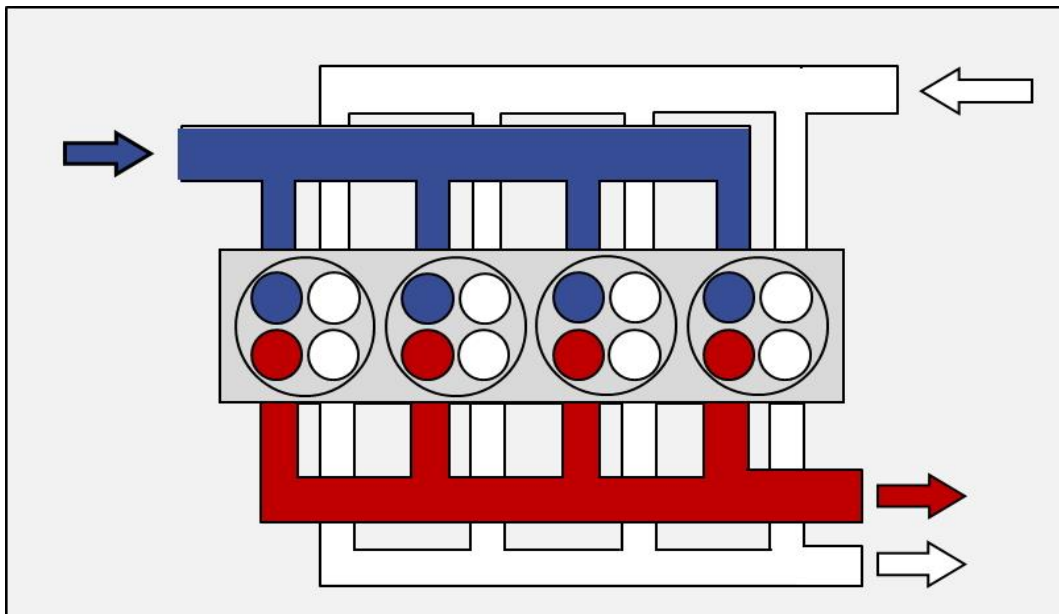
Der Drehmoment-orientierte Zweiventilbetrieb und die verschiedenen Zylinderabschaltungs-Varianten sind natürlich auch mit vier Ventilen möglich. Jeweils zwei Ventile pro Zylinder haben Sendepause. Die zwei aktiven können hintereinander oder diagonal angeordnet sein, je nach Geschmack.



Das Beispiel zeigt den Vierzylinderbetrieb mit jeweils zwei Ventilen pro Zylinder. Typisch für diesen Betrieb sind lange, drehmomentorientierte Ansaug- und Auspuffkanäle, sowie eine zahme Steuerzeitenabstimmung mit wenig Überschneidung, um Füllverluste zu vermeiden. Kraftstoffsparender Zwei-, Ein- und Nullzylinderbetrieb sind ebenso möglich wie bei der oben gezeigten Zweiventilauslegung.

Vier-Ventil Betrieb für „Obenraus“:

Im Normalfall hält sich der Fahrer im Bereich des Zweiventilbetriebs auf, und genießt den niedrigen Verbrauch und das hohe Drehmoment. Hin und wieder möchte er raus aus der Komfortzone und die Pferde etwas galoppieren lassen, so sie denn dafür geeignet sind. Kann man einen Ackergaul zum Rennpferd umfunktionieren? In der echten Pferdewelt nicht. In unserem Fall gelingt das problemlos. Wir aktivieren bei Leistungen und Drehzahlen oberhalb des verbrauchgünstigen Bereichs die beiden anderen Ventile pro Zylinder.



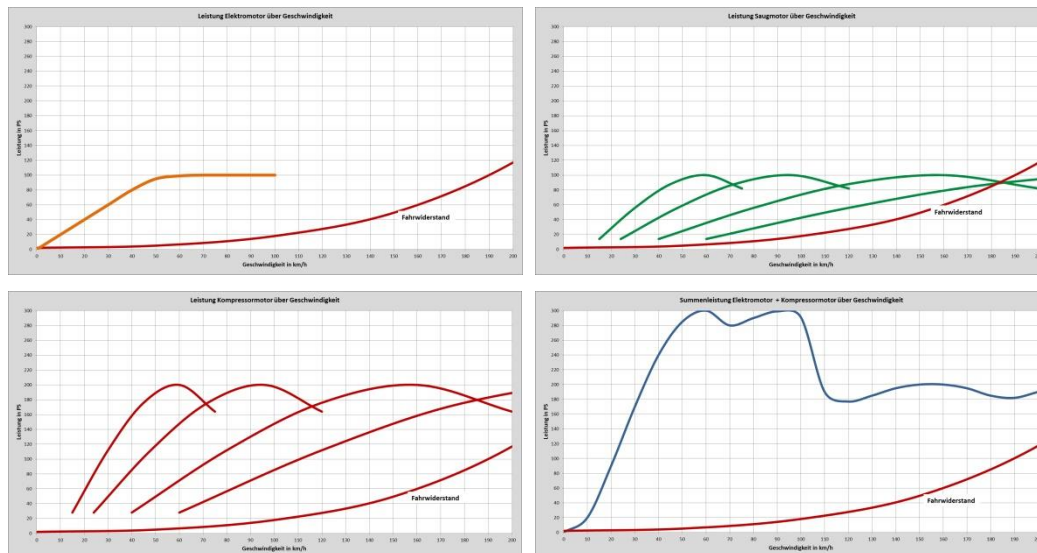
Kümmere dich um 30 Prozent Mehrleistung? Das kann einen sportlichen Fahrer nicht wirklich befriedigen. Er verlangt nach mehr, und die bekommt er auch – mit Hilfe eines elektromechanischen Kompressors.

Wir verwenden dazu dieselbe Anordnung wie bei der Aufteilung auf Low- und High-Performance, mit dem Unterschied, dass auf der High-Seite ein elektromechanischer Kompressor, wie im Bild oben gezeigt, sein Werk verrichtet. Aber nur dann, wenn man ihn auch wirklich braucht. Den Normalbetrieb auf der Low-Seite stört der Lader in keiner Weise. Das bedeutet, dass immer noch die gleichen verbrauchsgünstigen Randbedingungen herrschen wie bei der Eingangs gezeigten Normalauslegung mit Zylinderabschaltung und Segeln.

Der elektromechanische Lader sitzt günstiger Weise in der Nähe der Li-Ion-Batterie, also im Heck des Fahrzeugs. Dort steht ihm genügend Strom und Spannung für ein schnelles Ansprechen zur Verfügung. Der lange Weg bis zum Motor ist kein Nachteil, weil sich die komprimierte Luft auf diesem Weg abkühlen kann, was sowohl der Motorthermik als auch der Leistung zugutekommt.

Das gefürchtete Turboloch des Abgas-Turbo-Laders bleibt aus, weil der Motor im ersten Moment des Beschleunigens als Saugmotor arbeitet, und damit das Ansprechen des Laders überspielt. Sobald der Lader genügend Druck erzeugt, schaltet sich die Saugseite ab. Außerdem haben wir ja immer noch den Elektroantrieb, der zusätzlich für satten Schub beim Beschleunigen aus dem Stand und niedrigen Geschwindigkeiten sorgt.

Vergleich Standard- und High-End-Auslegung:



Zur Standardauslegung gehören der Elektromotor (orange) und der Saugmotor (grün), sowie die Summe aus beiden (nicht gezeigt). Zur High-Performance Auslegung gehören der Elektromotor (orange), der Kompressormotor (rot), und schließlich die Summenkurve (blau). Scherzhaft könnte man jedem der vier gezeigten Leistungskurven eine ganz konkrete Fahrstrecke zuweisen: Orange für die Stadt, grün für die Landstraße, rot für die Autobahn und blau für die Rennstrecke. In der Praxis funktioniert das nicht uneingeschränkt, denn auch in der Stadt oder auf der Landstraße möchte man hin und wieder auf die Dienste der High-Performance-Komponenten zugreifen.

300 PS bis 100 km/h sorgen für eine phänomenale Beschleunigung, soviel ist sicher. Wie sieht es dagegen mit der Endgeschwindigkeit aus? Ab 100 km/h aufwärts muss der Kompressormotor ganz alleine den Vortrieb sicherstellen. Nicht, dass er das nicht könnte. Eine Vmax in der Gegend von 230 km/h wäre sicher möglich. Es erscheint aber vernünftig, die Beschleunigung bei 200 km/h, oder wie Volvo bei 180 km/h abubrechen. Besonders im Hinblick auf etwaige Tempolimits. In den Augen der Umweltschützer bekommt man dafür sicher Pluspunkte.

Konzeptvergleich:

	Dimension	Ziel	BMW 225xe Active Tourer	Minimal-konzept	Standard-konzept	High-End Konzept
Testverbrauch	elektrisch		12,2	2,6	2,6	2,6
	Verbrennung	4,0	4,0	3,8	3,0	3,2
Test-CO2	kg/100 km	9,4	$(6,1 + 9,4) = 15,5$	$(1,3 + 8,9) = 10,2$	$(1,3 + 6,9) = 8,2$	$(1,3 + 7,4) = 8,7$
Reichweite elektrisch	km	100	30	60	60	60
		800	500	800	1.000	1.000
Leergewicht	kg	1.600	1.750	1.800	1.800	1.850
Leistung elektrisch	kW/PS		65/88	100	100	100
	Leistung Verbrenner		100/136	100	100	200
	Leistung gesamt	150	165/224	200	200	300
Beschleunigung bis 100 km/h	s	≤ 8	7,0	~ 7	~ 7	~ 5
Höchstgeschwindigkeit	km/h	160	202	160	160	200
Basispreis	€	40.000	54.000	45.000	45.000	50.000

Resümee:

Dass wir unsere ehrgeizigen Ziele nicht ganz erreichen, liegt in erster Linie an der verhältnismäßig großen und deshalb teuren Batterie. Die Reichweite liegt zwar unter dem Zielwert von 100 Kilometern, immerhin beträgt sie das Doppelte des BMW 225xe. Sozusagen als Gegenleistung erhalten wir konkurrenzlose Verbrauchswerte und Fahrleistungen. Dank „kostenlosem“ Allradantrieb bringt man die überragende Leistung auch auf die Straße.

Damit ist der Beweis geglückt, durch geschickte Kombination und Auslegung der Antriebe ein Hybridfahrzeug zu schaffen, das in Verbrauch, Fahrleistungen und Kosten den bestehenden Ausführungen weit überlegen ist.