

08.03.2020

## Das ideale Hybridauto Teil 2: **Standardauslegung**

### Präambel

Im ersten Teil der Auslegung eines idealen Hybridfahrzeugs übten wir uns in der Kunst des Weglassens ([02.02.2020 Das ideale Hybridauto Teil 1: Minimalauslegung](#)). Damit kommen wir schon sehr weit, aber noch mehr abzuspecken geht leider nicht. Also müssen wir im nächsten Schritt etwas grundlegend ändern oder sogar etwas hinzufügen. Man muss sich darüber im Klaren sein, dass kleine Fortschritte in der Nähe des Optimums immer mit überproportional großem Aufwand verbunden sind.

### Potentiale

Bevor wir den Hebel ansetzen, müssen wir erst überlegen, wo denn noch Verbesserungspotentiale schlummern. Vielleicht beim Elektroantrieb? Theoretisch wäre mit „Golden Parts“ eine Verbesserung des Wirkungsgrads möglich, allerdings zu nicht akzeptablen Kosten. Finger weg. Dann schon lieber den Verbrennungsmotor mit seinen Wirkungsgraden ins Visier nehmen. Werfen wir einen Blick auf die Wirkungsgrade auf Landstraße und Autobahn.

Strecke	Leistung	Arbeit	$\eta$			CO2 kg/100km
Stadt	3 kW	2,6 kWh	100 %	2,6 kWh	2,6 kWh	1,3
Landstraße	7,5 kW	4,9 kWh	25 %	19,6 kWh	2,3 L	5,5
Autobahn	22 kW	4,4 kWh	35 %	12,6 kWh	1,5 L	3,6
gesamt				<b>33,8 kWh</b>		<b>10,4</b>

Wenn wir es schaffen, den Wirkungsgrad auf der Landstraße von 25 % auf 35 % anzuheben, verbessert sich dadurch der Verbrauch von 19,6 auf 14 kWh! Auf der Autobahn ist nicht ganz so viel zu holen, denn dort befinden wir uns bereits in der Nähe des Optimums. Immerhin scheint eine Steigerung von 35 % auf 40 % möglich, entsprechend einer Reduzierung des Verbrauchs von 12,6 auf 11 kWh.

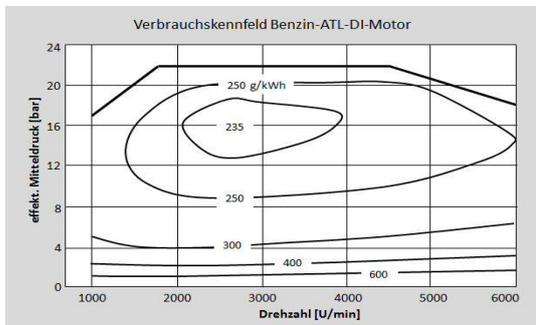
Strecke	Leistung	Arbeit	$\eta$			CO2 kg/100km
Stadt	3 kW	2,6 kWh	100 %	2,6 kWh	2,6 kWh	1,3
Landstraße	7,5 kW	4,9 kWh	35 %	14,0 kWh	1,6 L	3,8
Autobahn	22 kW	4,4 kWh	40 %	11,0 kWh	1,3 L	3,1
gesamt				<b>27,6 kWh</b>		<b>7,2</b>

Was würde eine Verbesserung der CO2-Emissionen von 10,4 auf 7,2 kg/100 km für die Autohersteller bedeuten? Wenig bis nichts, denn sie fahren bei der WLTP-Verbrauchsmessung größtenteils elektrisch, und stoßen deshalb kein CO2 aus. Der

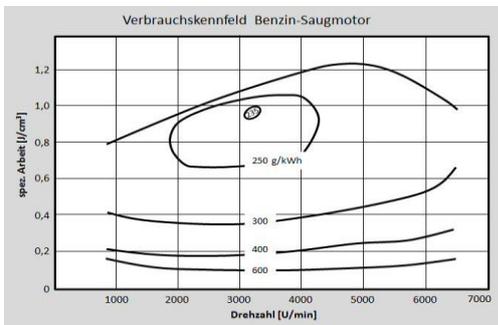
Kundenverbrauch interessiert die Hersteller herzlich wenig. Damit geben wir uns aber nicht zufrieden. **Unser Maßstab ist und bleibt der Kunde**, für den ein Verbrauchsvorteil von **0,9 L/100 km** sehr wohl eine Rolle spielt. Die große Frage ist nur, wie wir die Wirkungsgrade erreichen wollen?

### Hubraum ist durch nichts zu ersetzen, ...

... es sei denn durch noch mehr. Ein Statement aus der guten alten Zeit der Saugmotoren. Anhänger der Aufblas-Technik werden heftig widersprechen: Hubraum ist durch Turbolader sehr wohl zu ersetzen. Stimmt, in den meisten Kriterien trifft das zu. In einem Punkt jedoch nicht, beim Wirkungsgrad im Bestpunkt. Der ATL liefert zwar ein irres Drehmoment bereits im unteren Drehzahlbereich, aber der Lader läuft auch dann, wenn die üppige Leistung und das hohe Drehmoment nicht erforderlich sind. Es liegt in seiner Natur, den Abgasstrom zu behindern – immer, auch im Bestpunkt.



**Kennfeld ATL-Motor**



**Kennfeld Saugmotor**

Im direkten Vergleich gut zu erkennen sind die unterschiedlichen Charakteristika. Der ATL-Motor verfügt über ein hohes Drehmoment. Der Bereich guten Wirkungsgrads erstreckt sich über einen weiten Drehzahlbereich – eine Folge der Ventil-, Nocken- und sonstigen Verstellvorrichtungen.

Die Werte des gezeigten Saugmotors kamen noch ohne moderne Motortechnik wie z.B. Direkteinspritzung zustande. Mit Hilfe modernster Maßnahmen, beim ATL-Motor Stand der Technik, sind weitere Verbesserungen zu erwarten. Das entscheidende Charakteristikum von Saugmotoren: Der beste Wirkungsgrad konzentriert sich auf einen winzig kleinen, fast punktförmigen Bereich.

Den Bestpunkt kann man genau dorthin legen, wo man ihn gerne haben möchte. Das erreicht man durch die Abstimmung von Ventil-Steuerzeiten, Saug- und Auspuffresonanzen. Im Bestpunkt strömt die Frischluft möglichst ungehindert ein, unterstützt durch die Resonanz der Luftsäule im Ansaugtrakt. Das Abgas strömt möglichst ungehindert aus. Einem Verlust beugt die Abstimmung der Rohrlängen im Auspuff vor, indem vorwiegend ausgetretenes Frischgas wieder in den Zylinder zurückgeschoben wird.

Diese Effekte machen wir uns zunutze, indem wir die Abstimmung der drei Komponenten – Steuerzeiten, Saugrohr und Auspuff - auf eine ganz bestimmte Drehzahl konzentrieren. Diesen Punkt legen wir auf eine niedrige Drehzahl. Dabei kommen uns die zwei Dinge zugute: Zum einen der große Hubraum, zum anderen die niedrige Literleistung.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

**ATL-Motor:** Suboptimaler Wirkungsgrad im Bestpunkt,  
guter Wirkungsgrad im Teillastbereich.

**Saugmotor:** Optimaler Wirkungsgrad im Bestpunkt,  
schlechter Wirkungsgrad im Teillastbereich.

### Displacement (Hubraum) on Demand - DOD

Wie können wir uns diesen Effekt des Saugmotors zunutze machen? Ganz einfach, indem wir den Motor möglichst oft in der Nähe des Optimums betreiben. Den ersten Schritt haben wir bereits erledigt, indem wir den Stadtanteil möglichst zu 100 Prozent mit dem Elektromotor bestreiten. Das Geheimnis bei Landstraße und Autobahn besteht in der Zylinderabschaltung.

Zylinderabschaltung wurde schon des Öfteren praktiziert, allerdings immer mit großem Aufwand und nicht zufriedenstellenden Ergebnissen. Für die existierenden Hybridfahrzeuge sind die bisherigen Lösungen völlig inakzeptabel, sind diese doch ohnehin schon mit kostspieligem High-Tech überfrachtet. Da muss eine clevere Lösung her, bezahlbar und mit guten Ergebnissen. ([Siehe auch: Zylinderabschaltung – Hubraum nach Bedarf](#))

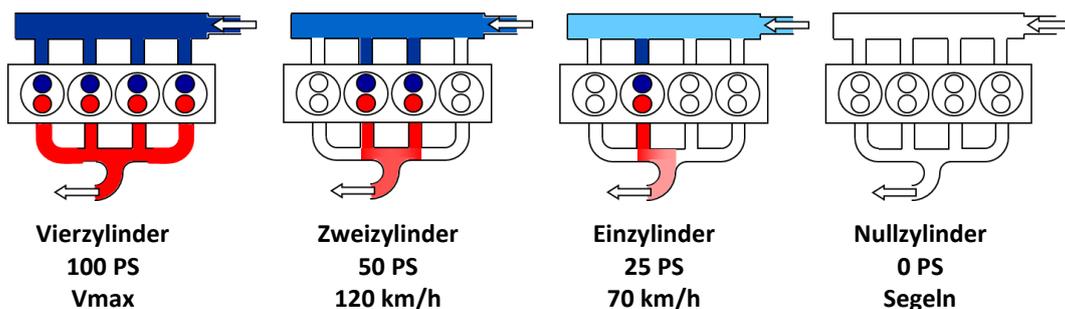
Die Antwort lautet: **Einzelventilabschaltung EVA.**

Heutige Abschaltmethoden haben zwei Probleme:

1. Von den abgeschalteten Zylindern sind nur die Einlassventile abgeschaltet, nicht aber die Auslassventile. Dadurch kommt es immer noch zu Pumpverlusten.
2. Es werden von vier Zylindern immer nur zwei abgeschaltet, und zwar immer die gleichen. Das hat thermische Spannungen zur Folge.

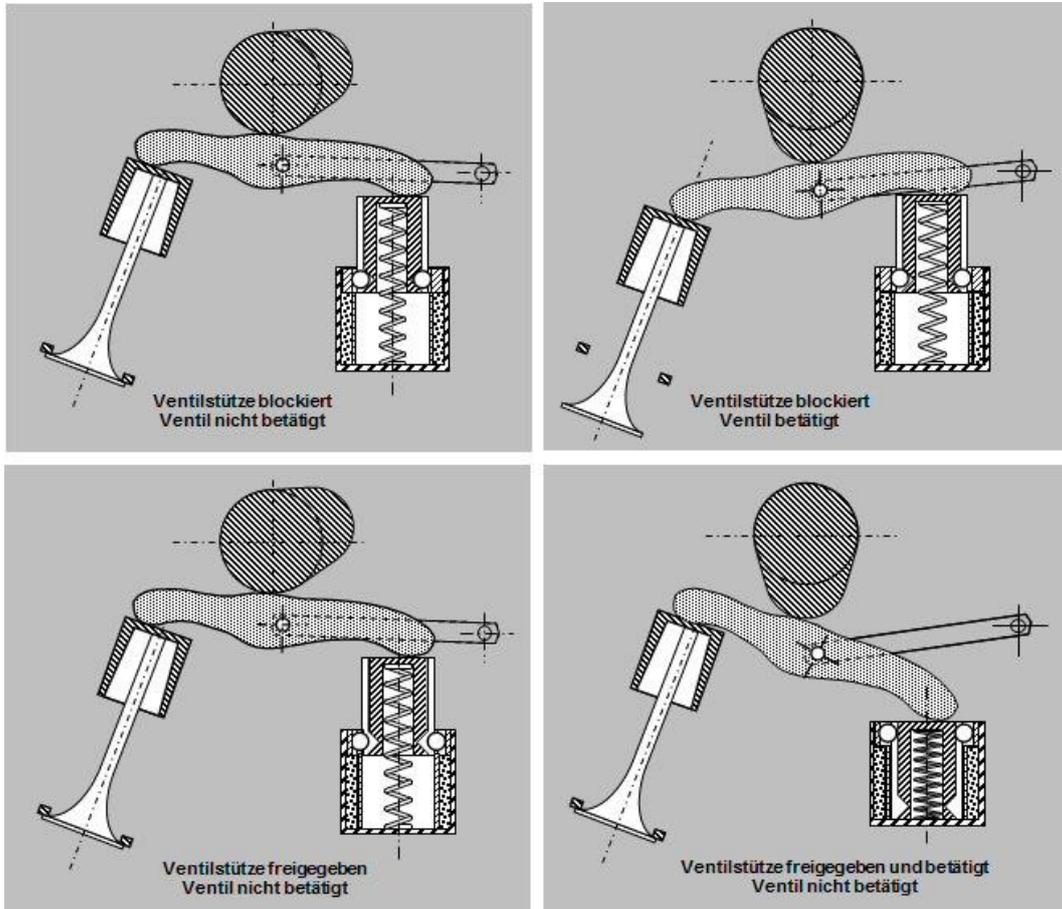
Bei unserem Konzept gibt es keine halben Sachen. Wir wollen **ALLE Ventile** von **ALLEN Zylindern** abschalten. Bei einem Vierzylindermotor sind das je nachdem 8 oder 16 Ventile. Wenn alle Ventile von einem abgeschalteten Zylinder dicht sind, wirkt das eingeschlossene Gas wie eine Feder. Es gibt den größten Teil der Kompressionsenergie wieder zurück, und es entstehen keine Pumpverluste. Die Schleppleistung eines auf diese Weise abgeschalteten Zylinders sinkt auf ca. 75 Prozent.

Wir können von vier Zylindern wahlweise einen, zwei, drei oder alle vier abschalten. Und wir können der Reihe nach immer andere Zylinder passiv schalten, um thermische Spannungen zu vermeiden.



Soweit die Theorie. Wie schaffen wir es, die Einzelventilabschaltung einfach und kostengünstig zu realisieren. Hydraulik scheidet aufgrund der horrenden Kosten für

hydraulische Systeme von vornherein aus. Eine elektromechanische Lösung muss schnell sein und wenig Energie benötigen. Beide Forderungen erfüllt ein sog. Waagebalkenkonzept.



Die Konstruktion besteht aus einem Kipp-/Schlepphebel, der wahlweise das Ventil links oder die sog. Ventilstütze rechts betätigt.

- Bild oben links: Ventilstütze ausgefahren und blockiert
- Bild oben rechts: Ventilstütze blockiert, **Ventil betätigt**
- Bild unten links: Ventilstütze ausgefahren und freigegeben
- Bild unten rechts: Ventilstütze betätigt, **Ventil geschlossen**

Das entscheidende Element ist eine Magnethülse, die sich um eine Vierteldrehung hin und her bewegt. Dabei gibt sie die Kugeln in der einen Endstellung frei, sodass sich die Ventilstütze von der Nockenwelle zusammenschieben lässt. Oder sperrt die Kugeln in den Kerben ein, dann ist die Ventilstütze blockiert. Die Magnethülse ist sehr leicht, besitzt demnach eine geringe Trägheit, und benötigt für die Viertelumdrehung nur wenig Strom in einer Spule.

Die Forderungen nach Schnelligkeit und geringem Energieaufwand sind beide erfüllt. Die Ansteuerung der Spule kann problemlos die Motorelektronik übernehmen, ein wichtiger Kostenreduzierungsfaktor.

## **Verbrauch auf Landstraßen**

Die Durchschnittsgeschwindigkeit auf Landstraßen beträgt 75 km/h. Bei einem Kompaktmodell reichen dafür im Prinzip 10 PS. Der Einzylindermotor leistet maximal 25 PS, also eigentlich zu viel. Der Bereich besten Wirkungsgrads befindet sich bei ungefähr 1/3 bis 2/3 Höchstdrehzahl. Damit sinkt die Leistung auf ungefähr 10 bis 15 PS, ideal für den Einzylinder. Leider fährt man auf Landstraßen überwiegend in der Kolonne mit wechselnden Geschwindigkeiten. Dazu benötigt man mal mehr mal weniger Leistung. Sind höhere Geschwindigkeiten gefragt, schaltet die Motorelektronik um auf Zweizylinderbetrieb, seltener auf vier Zylinder.

Sinkt die Geschwindigkeit, werden alle Zylinder abgeschaltet, und das Fahrzeug segelt. Sinkt die Geschwindigkeit nicht schnell genug, hilft der Elektromotor mit durch Rekuperation. Die elektrische Unterstützung ist auch bei Beschleunigung gefragt, wobei die von der vorangegangenen Verzögerung rückgewonnene Energie verwendet wird.

Das Ein- und Ausschalten der Zylinder geschieht im Millisekundenbereich und ist hervorragend regelbar. Der Fahrer bemerkt nichts von diesen Vorgängen – ein großer Vorteil gegenüber automatischen Kupplungen. Er bekommt das gewohnte Fahrpedalgefühl, sogar mit einem leicht erhöhten Schleppmoment, wie es die BEVs aufweisen. Das erleichtert das Mitschwimmen in der Kolonne.

## **Verbrauch auf Autobahnen**

Prinzipiell gilt hier das Gleiche wie auf Landstraßen. Auch auf Autobahnen schwankt die Geschwindigkeit je nach Verkehrsdichte. Allerdings auf höherem Niveau. Der Einzylinder ist hier nur selten gefragt, umso mehr der Zwei- und der Vierzylinder. Segeln und das damit verbundene Rekuperieren ist auf der Autobahn sehr wichtig. Die hohen Geschwindigkeiten ergeben eine hohe zurückgewonnene Energie.

## **FAQ:**

### **Warum nur zwei und nicht vier Ventile?**

Vier Ventile sollten der Frischluft weniger Widerstand bieten und deshalb günstiger abschneiden. Für Hochleistungsmotoren trifft das auch zu. Wir haben es aber hier mit einem Motor mit niedriger Drehzahl und niedriger Literleistung zu tun, für den zwei Ventile völlig ausreichend sind. Das Stoßaufladen funktioniert beim Zweiventiler sogar besser als beim Vierventiler.

### **Warum kein Dieselmotor?**

Der Dieselmotor braucht die Aufladung. Sie ist sein Lebenselixier, deshalb darf sie nicht entfallen. Ein zweiter Punkt ist die aufwändige Abgasnachbehandlung. Und drittens ist der Wirkungsgrad des Dieselmotors im Teillastbereich bereits so gut, dass sich kostspielige Maßnahmen erübrigen. Auf einen Nenner gebracht: Diesel als PHEV kostet mehr und bringt weniger.

**Ausblick:**

Mit der gezeigten Standardauslegung sind wir mit dem Latein noch nicht am Ende. Im nächsten Kapitel widmen wir uns unter anderem den Möglichkeiten, die in der Vierventiltechnik stecken. Dabei geht es primär um Leistungssteigerung ohne Verbrauchsnachteile. Aber auch die Emissionen sollen nicht zu kurz kommen. Ebenso wenig ein ganz wesentlicher Aspekt – der Komfort.

Das alles spielt weder beim NEFZ noch beim WLTP eine Rolle. Aber wie gesagt:

**Bei uns ist der Kunde König, und nicht der TÜV oder der Prüfstand.**

Jacob Jacobson

[www.der-autokritiker.de](http://www.der-autokritiker.de)