17.06.2015 **Leichtbau – der Kampf mit den Pfunden**

„Schwer ist leicht was!“, hieß ein Kabarettprogramm von Ottfried Fischer in den 80er-Jahren.



Kabarettistisches Schwergewicht Ottfried Fischer

Dieser Satz ist, wie so oft bei umgangssprachlichen Ausdrücken, an Prägnanz kaum zu überbieten. Er bedeutet, in gepflegtes Hochdeutsch übertragen, dass vieles im Leben sehr schnell schwieriger wird als vermutet. Otti, schon damals kein Leichtgewicht, thematisierte im Programm die Last mit dem Körpergewicht und die Schwierigkeit, sich dem permanenten Gewichtszuwachs entgegenzustemmen. (Was ihm, wie wir wissen, bis heute nicht gelungen ist.)

Was für Menschen gilt, nämlich die naturgesetzartige Zunahme des Körpergewichts über die Jahre, scheint für Fahrzeuge genauso zu gelten. Zwar reden ausnahmslos alle von Leichtbau, insbesondere von „intelligentem“ Leichtbau, trotzdem werden die Fahrzeuge immer schwerer. Wie oft wurde schon wurde der Durchbruch im Leichtbau verkündet?



Der Durchbruch im Leichtbau?

Warum ist Leichtbau so schwer? Dieser Frage wollen wir uns etwas intensiver widmen, vielleicht finden wir die eine oder andere Antwort.

Konzeptleichtbau vs. Materialleichtbau

In Vorstandsetagen und Marketingexperten lautet die derzeitige Devise: „Intelligenter Leichtbau“. Dieser erschöpft sich dann vorwiegend im Materialleichtbau, also der Anwendung von Aluminium, Magnesium, Carbon und hochfesten Stählen. In manchen Unternehmen, insbesondere bei Audi, ist Materialleichtbau regelrecht zur Obsession ausgeartet. Logisch, muss man doch das Mehrgewicht des Allradantriebs an anderer Stelle kompensieren. Nennt man das „intelligent“, den Mehraufwand einer technischen Errungenschaft durch gesteigerten Aufwand an anderer Stelle noch zu toppen?

In diesem Beitrag soll es aber ausschließlich um die Frage gehen, warum unsere Fahrzeuge von Modell zu Modell immer schwerer geworden sind. Die Themen Gewichtsreduzierung durch Entfeinerung, Leichtbaukonzepte und Leichtbau-Werkstoffe bleiben einem späteren Beitrag vorbehalten.

Kampf der Giganten

Wer erinnert sich nicht gerne an den BMW 3.0 CSL von 1972?



BMW 3.0 CSL Leergewicht 1.200 kg

Und was haben überehrgeizige Entwicklungsleiter aus diesem kostbaren Erbe über die Jahre gemacht? Ein Spitzenprodukt der Automobiltechnik?



Quelle BMW BMW M6 Leergewicht 1.925 kg

Vollkommen richtig. Aber leider und vor allem ein aufgeblasenes, verfettetes Schwergewicht, versehen mit brachialer Motorleistung. Schmetterlinge im Bauch bekommen da höchstens noch pseudosportliche Journalisten, die Leistung mit Fahrspaß verwechseln.

„Small is Beautiful“

Vielleicht sollte man den Top-Managern einmal das Buch „Small is Beautiful – die Rückkehr zum menschlichen Maß“ von Ernst Friedrich Schumacher zur Lektüre auf das Nachtkästchen legen. Die Lehren des leider in Vergessenheit geratenen namhaften Ökonomen der 60er Jahre wären heute wichtiger denn je.

Vergleich Äpfel mit Birnen?

Kann man ruhigen Gewissens den BMW 3.0 CSL von 1972 mit dem M6 von 2014 vergleichen? Müsste man für einen ehrlichen Gewichtsvergleich nicht vielmehr ein leistungsgleiches Modell heranziehen? 200 PS leistet der 3.0 CSL, 184 PS leistet z.B. das 4er Coupé als 420i. Wäre das nicht das bessere Vergleichsobjekt, das auch in den Abmessungen dem CSL eher entspräche? (Länge CSL 4.630 mm, 4er Coupé 4.638 mm)

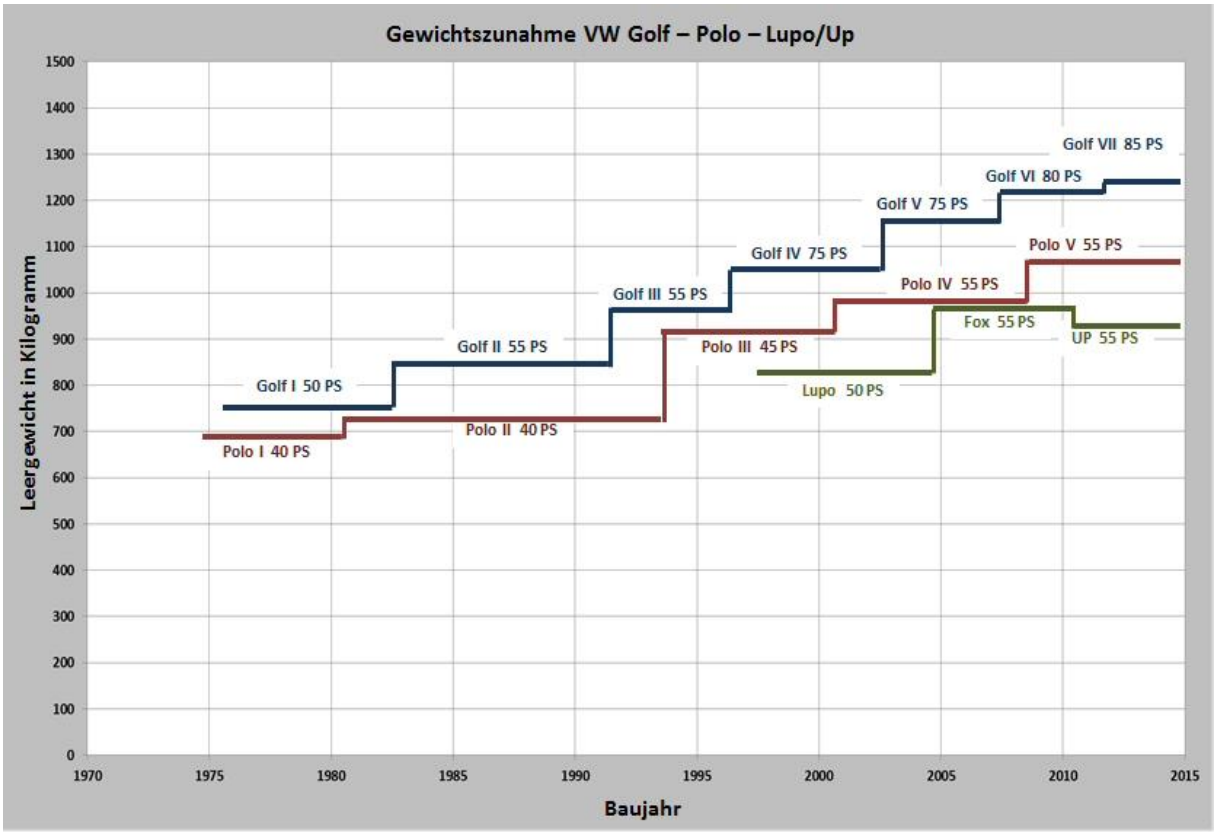
Der 3.0 CSL wiegt 1.200 kg, der 420i 1.500 kg. Die entscheidenden Fragen lauten:

- Welches Mehrgewicht bringt die schiere Größe?
- Wie viel davon entfällt auf gestiegene Anforderungen an aktiver und passiver Sicherheit?
- Wie viel davon geht zu Lasten besserer Fahrleistungen und Fahrdynamik?
- Welchen Beitrag leisten gestiegene Komfort- und Transportanforderungen?
- Welches Scherflein steuern Abgasvorschriften und Verbrauchsreduzierungen bei?
- Wie viele Gewichtseinheiten kosten Assistenzsysteme und Unterhaltungselektronik?
- Wie viel entfällt auf weitere, versteckte Faktoren der Gewichtszunahme?

Zur Beantwortung verschaffen wir uns erst einmal einen Überblick über die kontinuierliche Gewichtszunahme an ein und demselben Modell über die Jahre.

Gewichtszunahme über die Jahre

Kandidaten als Beispiele für die „Verfettung“ über die Jahre gibt es genug. Es muss nur eine Modelllinie sein, die lückenlos von den 70er-Jahren bis in die heutige Zeit existiert. Man könnte z.B. die Dreier-Reihe von BMW heranziehen oder die Opel Kadett/Astra-Modelle, und natürlich auch den VW-Golf. Letzterer eignet sich ganz besonders gut als Anschauungsobjekt, weil er noch durch mehrere kleinere Modelle „unterfüttert“ wird. Im folgenden Diagramm wurde jeweils das Modell mit dem schwächsten Benzinmotor herangezogen.



Eine Treppenstufe beim VW Golf entspricht ziemlich genau 100 kg, nur die Sprünge vom Golf V auf VI und von VI auf VII fielen etwas moderater aus. Wir verzeichnen also einen Gewichtszuwachs von 480 kg (= 65 Prozent) in 36 Jahren, bzw. 13 Kilogramm per anno. Kein Wunder, dass sich unterhalb des Golf eine riesige Lücke auftat, die selbst der Polo nicht mehr ausreichend füllte. Erst der Lupo war der geeignete Lückenbüßer, und, wenn man mal den glücklosen Fox beiseitelässt, der Up als moderne Interpretation eines Kleinwagens.

Um fair zu bleiben darf man also nicht den Golf I mit dem Golf VII vergleichen, sondern man müsste ihn mit dem Up vergleichen. Das gibt aber keinen Aufschluss darüber, wo die Kilos herkommen. Dazu muss man die Treppe von unten nach oben beschreiten. Für diese Übung nehmen wir den Golf I GTi mit 110 PS und vergleichen ihn mit einem Golf VII mit annähernd gleicher Leistung, das ist der 1.2 TSI mit 105 PS.

Vergleich der technischen Daten

		Golf I GTI 1976	Golf VII 1.4 TSI 2014
Motorbauart		Vierzylinder Reihe	Vierzylinder Reihe
		Saugmotor	Abgasturbolader
Einspritzung		Saugrohr	Direkt
Abgasnachbehandlung		_	Katalysator
Nockenwelle		1 obenliegend	2 obenliegend
Ventile		2	4
Hubraum	cm^3	1.600	1.400
Nennleistung	PS	110	122
Getriebe		Viergang manuell	Sechsgang manuell
Beschl. bis 100km/h	s	9,4	9,6
Vmax	km/h	183	203
Länge	mm	3705	4255
Breite	mm	1610	1799
Höhe	mm	1390	1452
Türen + Heckklappe		2 + 1	4 + 1
Reifen		175/70 HR 13	225/45 R 17
Lenkung		manuell	elektro-mechanisch
Fensterheber		manuell	elektrisch
Klimaanlage		nicht lieferbar	Serie
Airbags		keine	6
Leergewicht	kg	820	1286
Praxisverbrauch	L/100km	9 bis 10	6,8

Auf dieser Basis werden wir versuchen, die Differenz von 466 kg (!) zu erklären.

Relativierung der Vorgehensweise

Die folgende Betrachtung kann und will gehobene Genauigkeitsansprüche nicht erfüllen. Wichtig sind einzig und allein die Größenordnungen und Relationen. Das Vorbild dabei ist wieder einmal Franz Josef Strauß mit seinem Wahlspruch:

„Lieber grob richtig als exakt falsch.“

Wie viel wiegt Größe?

Mehr Blech, mehr Gewicht. Eine simple Angelegenheit, möchte man meinen. Leider ist das Karosserieblech für verschiedenartigste Aufgaben zuständig, z.B. für die Steifigkeit der Karosserie und das Crashverhalten. Daraus leiten sich ebenfalls Gewichtsmehrungen ab, die man korrekterweise vom reinen Flächenzuwachs abziehen müsste, ein viel zu aufwendiges Unterfangen. Stattdessen wählen wir den pragmatischen Weg und vergleichen den Rauminhalt eines einhüllenden Quaders.

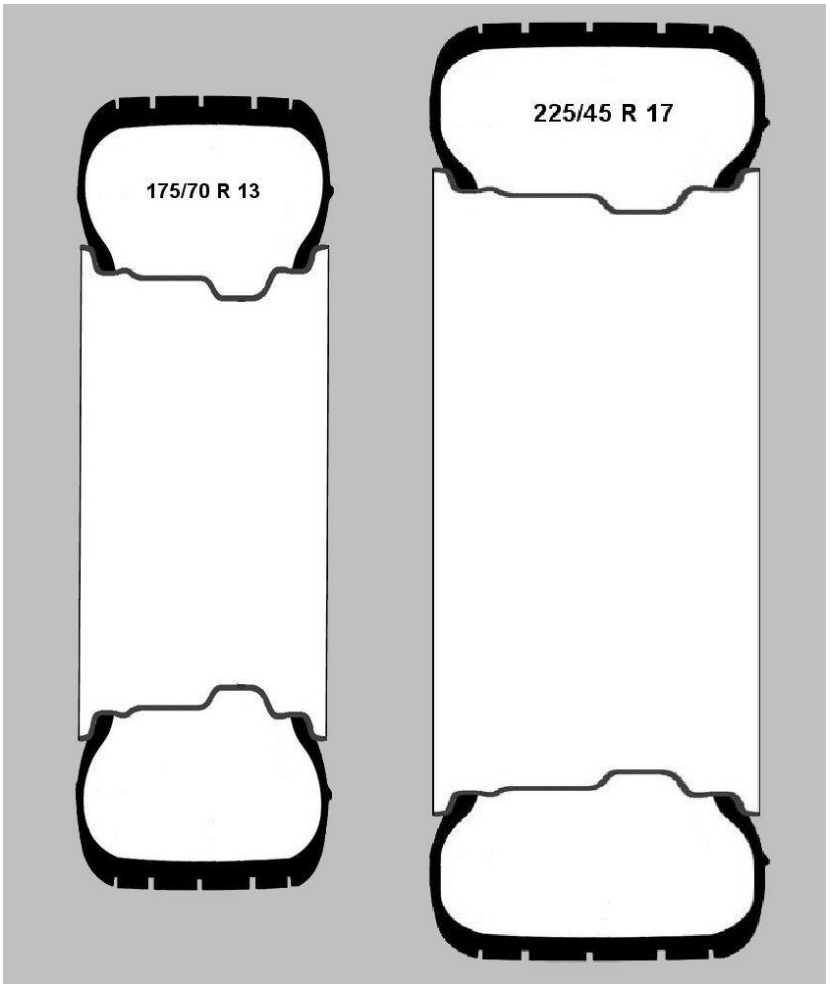
	Länge mm	Breite mm	Höhe mm	Einhüllendes Quadermaß m^3
VW Golf 1 GTI (1974)	3835	1630	1410	0,88
VW Golf VII 1.4 TSI	4255	1799	1452	1,11

25 % beträgt der Raumzuwachs. Umgelegt auf ein Gewicht der Rohkarosse von 300 Kilogramm bedeutet das **50 Kilogramm** Gewichtszuwachs.

Wie viel wiegt Fahrdynamik?

Große Unterschiede in der Fahrdynamik liegen zwischen den Generationen 1 und 7. Beispiel Bremswege: In den 70er-Jahren waren Bremswege unter 40 Metern noch die große Ausnahme und blieben hauptsächlich sportlichen Fahrzeugen vorbehalten. Heute schaffen selbst Limousinen wie der Golf spielend 37 Meter und weniger. Ähnliches gilt auch für die Querbeschleunigung.

Verantwortlich für diese Verbesserung sind die Reifen, mit den riesigen Fortschritten in der Gummimischung. Aber auch die größeren Durchmesser und Breiten tragen ihren Teil dazu bei.



Rädervergleich maßstabsgetreu

Dem Fahrwerk obliegt es, dieses höhere Reibwertpotential auf die Straße zu bringen. Dazu braucht es die richtige Geometrie und eine ausgeklügelte Elastokinematik, denn Breitreifen mögen keine Sturzänderungen beim Ein- und Ausfedern. Außerdem müssen die höheren Kräfte durch stabilere und steifere Achsbauteile und ein möglichst verwindungssteifes Chassis aufgefangen werden.

Die breiten Reifen bescheren noch weiteres Ungemach, denn sie sind durch Muskelkraft alleine wie beim Golf I nicht mehr zu beherrschen. Deshalb gehört eine Servolenkung ebenfalls dazu wie eine leistungsfähigere Bremsanlage. Last not least gilt es, die härteren Abrollbewegungen durch üppig dimensionierte Lager aufzufangen, und die höheren gefederten und ungefederten Massen durch massivere Federn und Dämpfer in den Griff zu bekommen.

In Summe kommen so gut und gerne **70 Kilogramm** für das Fahrwerk zusammen.

Wie viel wiegen aktive und passive Sicherheit?

Der Golf 1 verfügte über Knautschzone, Teleskoplenkstange und Sicherheitsgurte, sonst nichts. Beim Euro NCAP und beim Seitencrash würde er kläglich scheitern. Nicht so der Golf VII. Er erfüllt die gesetzlichen Vorschriften einschließlich Fußgängerschutz vorbildlich, und ist serienmäßig mit sieben Airbags und mit den Sicherheitssystemen ABS und ESP ausgestattet. Das macht sich natürlich auf der Waage bemerkbar - und das nicht zu knapp.

Geschätzte **100 Kilogramm** gehen zu Lasten der aktiven und passiven Sicherheit.

Wie viel wiegen Komfort, Transport und Optik?

Elektrische Servolenkung, Zentralverriegelung, elektrische Fensterheber, Klimaanlage, Sitzheizung, Beinfreiheit auf der Rücksitzbank, vier Türen – das sind bei weitem nicht alle, aber die wesentlichen komfortseitigen Errungenschaften. Und nicht zu vergessen umfangreiche akustische Dämmmaßnahmen gegen Wind-, Fahrbahn- und Motorgeräusche. Dazu addiert sich noch das Gewicht für eine üppige und hochwertige Innenausstattung, denn nichts bereitet dem Tester von ams oder AutoBild mehr Kopfschmerzen als Hartplastik.



Golf I GTi | Golf VI GTi

In Summe läppern sich ca. **100 Kilogramm** schnell zusammen.

Wie viel wiegen Abgas, CO_2 und Verbrauch

Katalysator, Steuerzeitenverstellung, Abgasrückführung, Direkteinspritzung, Klopfsensoren, Motorstopp-Automatik – Fremdwörter in den 70er Jahren. Inzwischen kommen selbst die einfachsten Motoren an diesen Techniken nicht mehr vorbei.




Weitere Kilos entfallen auf das Sechsganggetriebe und die Absenkung des Luftwiderstandes. Und der Glaube, dass durch Downsizing auch das Gewicht nach unten geht, entpuppt sich sehr schnell als Irrglaube. Im Gegenteil: Abgasturbolader und Ladeluftkühler treiben den Zeiger auf der Waage gehörig nach oben, im Vergleich zu einem reinen Saugmotor um etwa 20 Kilogramm.

In Summe sind **70 Kilogramm** für Ökonomie und Umwelt bestimmt nicht zu hoch angesetzt.

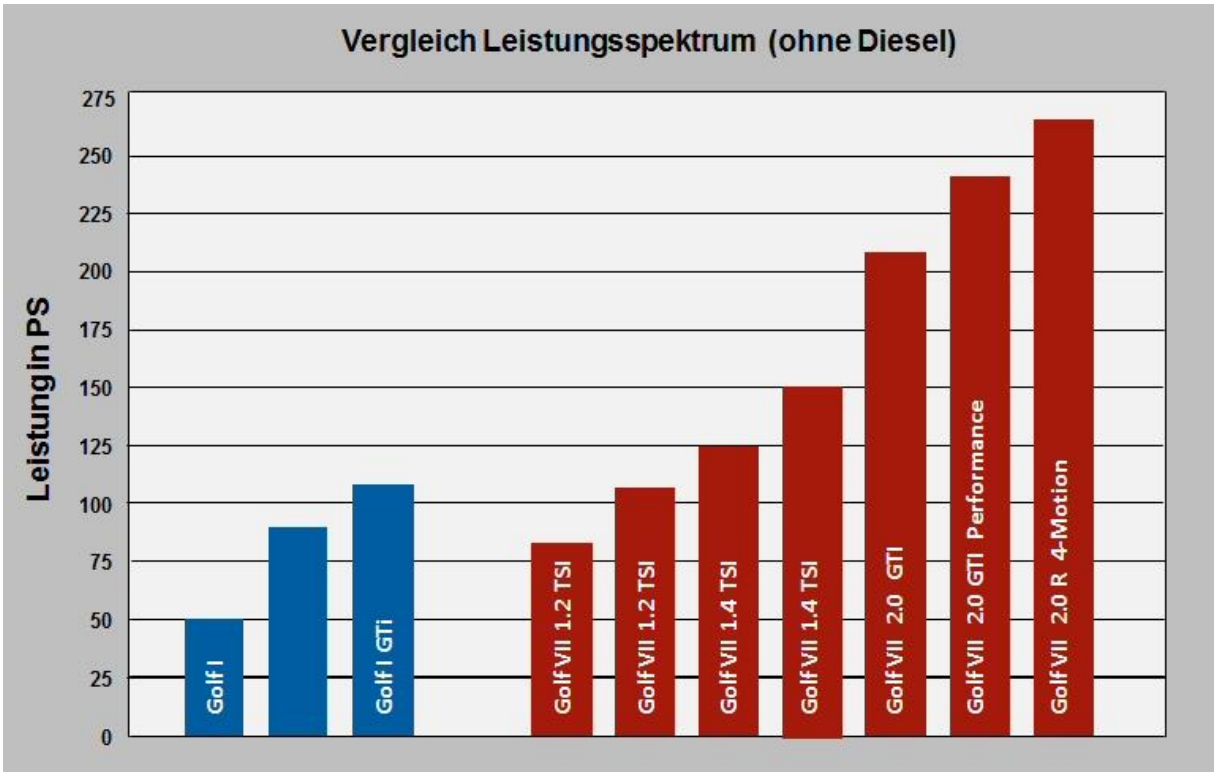
Weitere Gewichtstreiber

390 Kilogramm konnten wir bis hierher plausibel erklären. Fehlen immer noch stolze 76 Kilogramm vom Golf I GTi zum Golf VII 1.4 TSI. Wo könnte noch Gewicht stecken? Ein wesentlicher Gewichtstreiber sind die Kosten, und zwar auf dem Umweg über Baukästen, Vereinheitlichungen und Standardisierungen. Die Zauberworte der Marketingstrategen dafür lauten Synergie- und Skaleneffekte.

- Vereinheitlichung Motorleistungsvarianten
- Vereinheitlichung Diesel - Benziner
- Modularer Querbaukasten
- Allradvorhalt
- Hybridvorhalt

Leistungsbandbreite

Beginnen wir mit dem Blick auf die Leistungsspannweite von Golf I und Golf VII.



Es leuchtet ein, dass eine Spreizung der Leistung von 85 bis 300 PS, also um den Faktor 3,5 nicht ohne Auswirkungen bleiben kann. Mit vielen Gleichteilen an Motor, Antrieb, Fahrwerk und Karosserie finanzieren die schwächer motorisierten Varianten die Hochleistungsmodelle. Deren Kosten würden sonst völlig aus dem Ruder laufen. Das bedeutet aber, dass diese Bauteile für die schwächeren Modelle überdimensioniert sind, also schwerer sind als erforderlich.

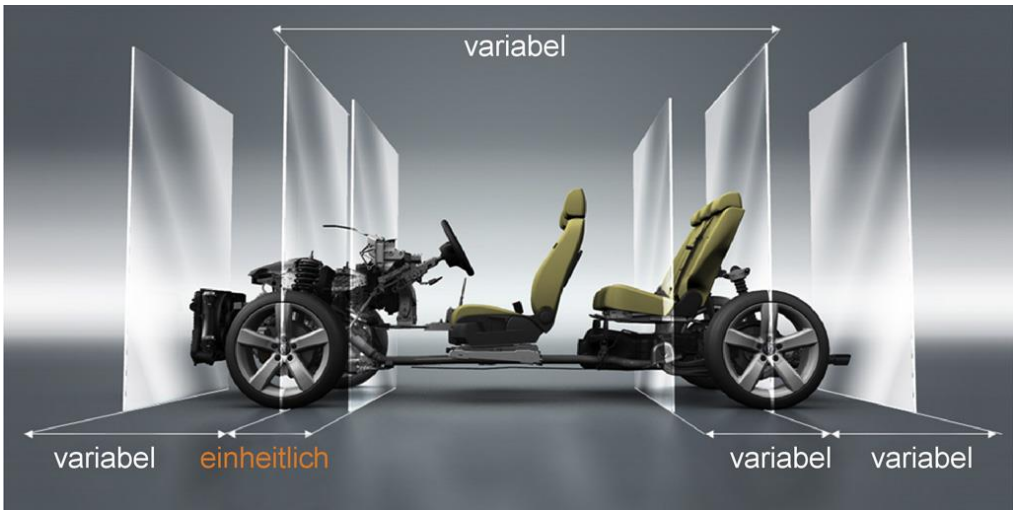
Nebenbei ist auch noch der Einbauraum für die größeren Motoren zu berücksichtigen – wiederum ein unnötiger Gewichtsfaktor für das schwächere Modell. Bleibt festzuhalten, dass eine auf die jeweilige Motorisierung maßgeschneiderte Auslegung erhebliche Gewichtsvorteile bringt.

Vereinheitlichung Diesel – Benziner

Auch der Golf I verfügte über Dieselaggregate. Dabei handelte es sich jedoch um Saugdiesel ohne Aufladung, die keine zusätzliche Platzanforderung stellten. Die Dieselaggregate des Golf VII benötigen ebenfalls keinen zusätzlichen Bauraum, trotz Abgasturboaufladung mit Ladeluftkühlung. Denn die Benzinmotoren nach dem Downsizing-Prinzip verfügen ebenfalls über dieses Ladeprinzip. Ein Benzinmotor nach dem Saugprinzip wäre aber um einiges günstiger im Bauraum und im Gewicht.

Modularer Querbaukasten

VW ist ja bekanntlich mächtig stolz auf den modularen Querbaukasten, der bei allen quer eingebauten Motoren der Fronttriebler und der Allradler des Unternehmens und seiner Töchter künftig zur Anwendung kommt. (Die ellenlange Litanei der in Frage kommenden Modelle des VW-Konzerns hier aufzuführen, würde erstens den Leser langweilen, und zweitens den Platz sprengen. Außerdem wird die Modellpalette jedes Jahr um mindestens 20 Modelle erweitert.)



Solche Bestrebungen stellen immer einen Kompromiss dar, wobei die meisten Zugeständnisse den schwächeren Modellen abverlangt werden. Die bereits bei der Motorleistung getroffene Feststellung vom Vorteil der maßgeschneiderten Ausführung gilt hier ganz genauso.

Berücksichtigung Allrad

Der Frontantrieb ist mit Leistungen oberhalb von 200 PS überfordert. Um die Kraft ohne allzu negative Auswirkungen auf die Straße zu bringen, benötigt man Allrad. Aber auch die Fahrer schwächerer Modelle glauben manchmal, den Alltag auf den Straßen der BRD ohne Allrad nicht bewältigen zu können. Aus diesem Grund entwickeln die Hersteller heutzutage von fast jeder Modellreihe eine Allradvariante.



Der Einbau eines Allradantriebs in ein Modell mit Frontantrieb setzt dominoartig eine ganze Kette von Maßnahmen in Gang. Als erstes ist der Bauraum für die Komponenten freizulegen: Verteilergetriebe, Kardanwelle, Haldexkupplung, Hinterachsdifferential und Antriebswellen wollen untergebracht sein. Als nächstes sind die weichenden Bauteile woanders zu platzieren: Tank, Auspuffanlage und Achsträger. Diese beeinflussen ihrerseits wieder die Rücksitze und den Kofferraum. Doch damit nicht genug, schließlich muss auch noch die Hinterachskonstruktion auf die Antriebsmomente vorbereitet sein. Also Schluss mit einer simplen Verbundlenkerachse hin zu einer Mehrlenkerachse, die aber ihrerseits wieder andere Anforderungen an Befestigungspunkte und Freiräume stellt.

Sinnvollerweise werden diese Anforderungen bereits bei den reinen Frontantriebsmodellen berücksichtigt, sonst müsste man für Allrad ein von Grund auf neues Fahrzeug konstruieren. Für unseren Golf mit Frontantrieb und 105 PS bedeutet das eine suboptimale Raumgestaltung mit überflüssigem Mehrgewicht.

Berücksichtigung Hybridantrieb

Hybridantrieb hat sich als Synonym für Umweltfreundlichkeit etabliert, zumindest in den Köpfen der automobiltechnischen Laien und der Umweltschützer. Die Devise lautet: „Für die Umwelt ist uns kein Aufwand zu hoch.“ Spätestens ab der Nachfolgegeneration des Golf VI muss VW den Bauraum für eine Elektromaschine und Batterien vorhalten.

Summe Vereinheitlichungen

Die Addition aller durch das Vereinheitlichungsbestreben entstandenen Mehrgewichte ergibt ein hübsches Sümmchen von etwa **100 Kilogramm**.

Konstruktiver und Materialleichtbau

Halt, jetzt sind wir über das Ziel hinausgeschossen. Die Waage zeigt jetzt 1.310 kg an, das sind 24 kg zu viel. Wie kommen wir da wieder runter? Antwort: Durch Leichtbau in Form von konstruktivem und Materialleichtbau. Aluminium, Kunststoffe und hochfeste Stähle helfen beim Abspecken. Bei einem so kostensensiblen Modell wie dem Golf natürlich nur in sehr moderater Anwendung.

Ergebnis: -24 Kilogramm.

Gesamtergebnis Gewichtsfaktoren:

Gewicht Golf I GTI	**820 kg**
Größe	+ 50 kg
Fahrdynamik	+ 70 kg
Aktive und passive Sicherheit	+ 100 kg
Komfort, Transport, Optik	+ 100 kg
Abgas, CO2, Verbrauch	+ 70 kg
Baukasten, Vereinheitlichungen	+ 100 kg
Material- und konstruktiver Leichtbau	- 24 kg
Gewicht Golf VII 1.4 TSI	**1.286 kg**

100-prozentige Übereinstimmung, das sieht doch verdammt nach Manipulation aus. Stimmt! Um dieses verblüffende Ergebnis zu bekommen, wurden die Faktoren leicht angepasst. Mit der Betonung auf leicht.

An der grundlegenden Erkenntnis ändert das nichts. Die lautet:

Der Golf VII ist entsprechend den heutigen Anforderungen nicht zu schwer!

Einerseits ein frustrierendes Ergebnis, andererseits aber ein Hinweis auf einen Beitrag zur Verbesserung des Gewichtsproblems. Dieser Beitrag lautet:

Runter mit den Anforderungen!

Das Potential "Reduzierung von Anforderungen" wird in der nächsten Leichtbaulektion behandelt. Außerdem folgt noch die Lektion **Konzeptleichtbau**.

Jacob Jacobson