15.10.2016

Einflussgrößen auf den Kraftstoffverbrauch: Teil 1 Limousinen

Die Ausgangssituation

Wildeste Spekulationen ranken sich um den Verbrauch. Wie groß ist der Unterschied zwischen Benzin und Diesel? Um wieviel mehr verbraucht ein Allrad? Was bringt Leichtbau? Wieviel CO2 verschleudern SUVs im Vergleich zu Limousinen? Journalisten, Kreative aus der Werbebranche, alle möglichen "Experten", die Grünen, Greenpeace oder Elektroanhänger, sie alle werfen mit Zahlen um sich, wie es ihnen gerade in den Kram passt. Da müsste sich jemand mal an die schwierige Aufgabe wagen und Klarheit schaffen. Der Autokritiker meint, einen Versuch könnte es wert sein.

Auswahl der Einflussfaktoren

Bei der Vielzahl an Einflussfaktoren ist eine Auswahl unumgänglich. Wir konzentrieren uns auf die wichtigsten:

Benzin und Diesel, Standard- und Allradantrieb, Limousine und SUV, Motorleistung und Gewicht.

Außerdem vergleichen wir die Werte des **NEFZ** mit dem **Praxisverbrauch**. Beim Praxisverbrauch greifen wir auf die Test-Werte von ***auto motor und sport*** bzw. ***AutoBild*** zurück.

Bewusst vernachlässigen wir bei der vergleichenden Betrachtung Reifenrollwiderstand, Getriebetyp und Downsizing. Der Einfluss des Reifenrollwiderstands ist zu vernachlässigen, der Verbrauch der einzelnen Getriebevarianten ist inzwischen fast identisch, und Fahrzeuge ohne Abgasturbolader sind, bis auf wenige Exoten, vom Markt verschwunden.

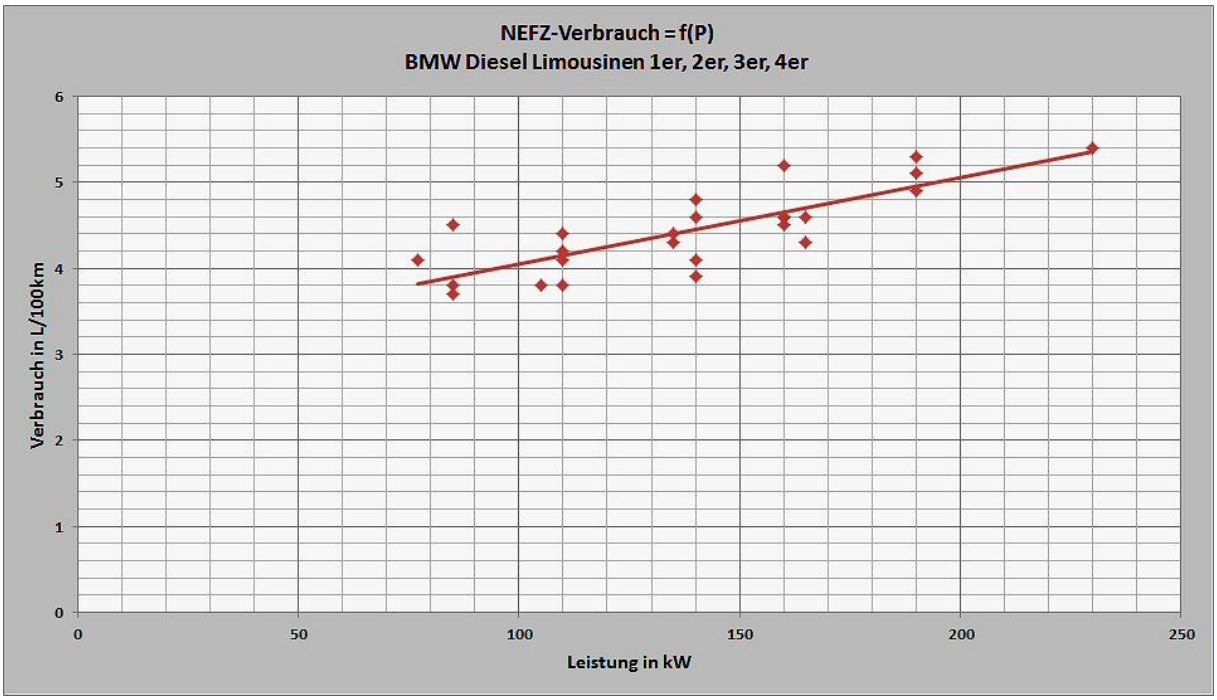
Schwierigkeiten

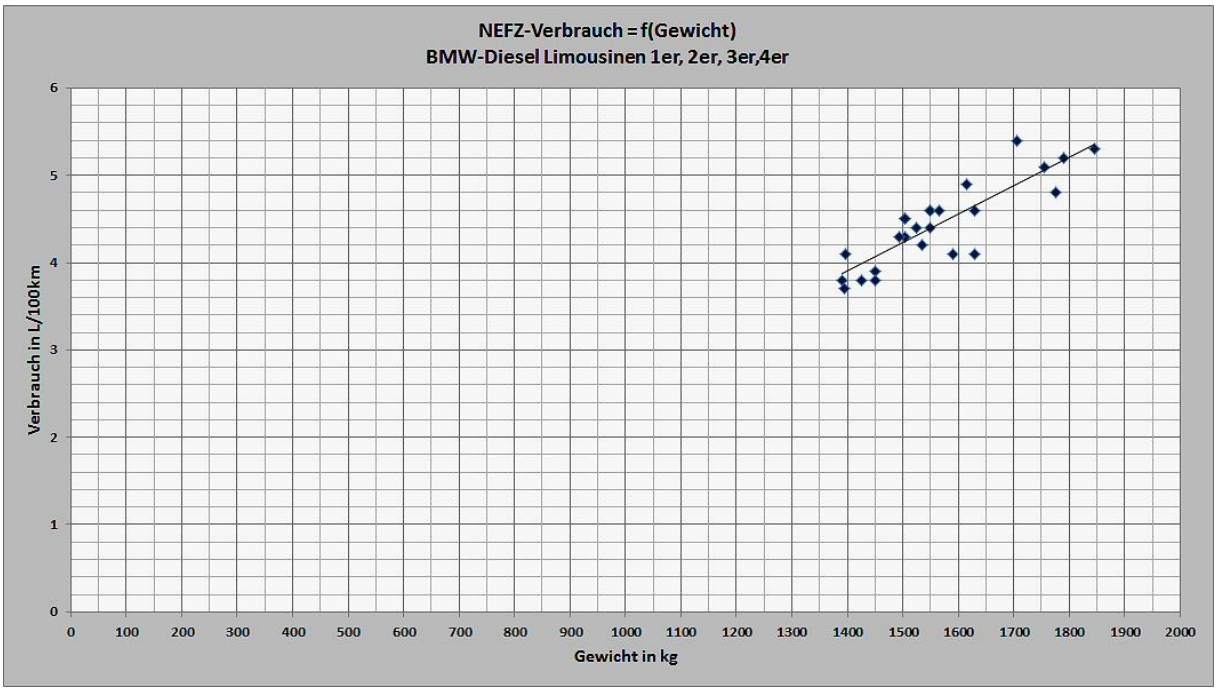
Beispiel Gewicht und Motorleistung: Um den Einfluss des Fahrzeuggewichts zu bestimmen, bräuchte man lediglich eine Reihe von identischen Fahrzeugen, die sich ausschließlich im Gewicht unterscheiden. Ein frommer Wunsch. Ein Fahrzeug mit höherem Gewicht aus der gleichen Modellreihe hat auch meistens einen stärkeren Motor. Umgekehrt gilt das gleiche. Eine stärkere Motorisierung bedeutet in der Regel auch mehr Gewicht. Wie soll man den Einfluss von Gewicht und Motorleistung trennen?

Wir versuchen, dieses Problem zu lösen, indem wir immer nur ein begrenztes Spektrum an Probanden vergleichen. Also z.B. nur Limousinen der Kompakt- und Mittelklasse, und dann die Beiträge der beiden Hauptverursacher zu extrahieren.

Beispiel BMW Limousinen

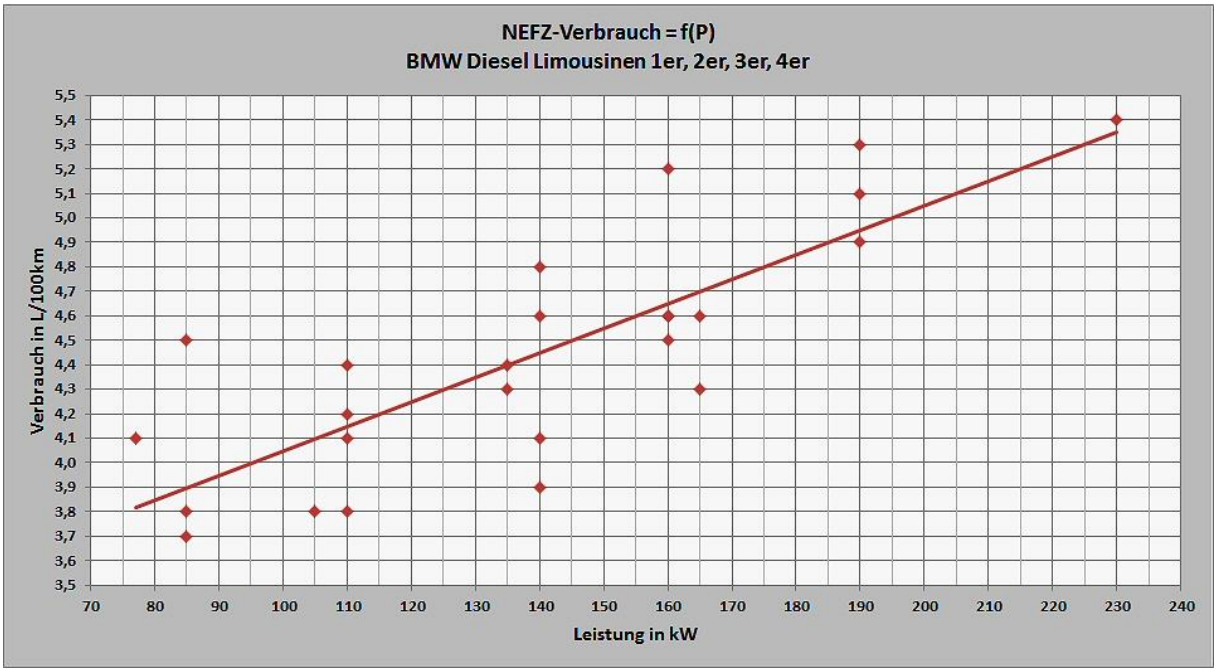
BMW bietet mit die besten Voraussetzungen, um die Methode zu erklären. Als Basis nehmen wir die Limousinen (einschließlich Cabrio) der 1er, 2er, 3er und 4er Baureihe. Sie sind sich in ihren relevanten Werten recht ähnlich, bis auf Leistung und Gewicht. Zunächst betrachten wir den Verbrauch der Modelle mit Dieselantrieb. Die beiden Einflussfaktoren sind Gewicht und Motorleistung. Die Abhängigkeit stellen wir in zwei Diagrammen dar.





In beiden Diagrammen handelt es sich um dieselben Fahrzeuge mit ihren Verbrauchswerten. Wie können wir nun Leistungs- und Gewichtseinfluss trennen? Im ersten Moment ist man geneigt, den Gewichtseinfluss höher zu bewerten als den Leistungseinfluss, aufgrund der Steilheit der Ausgleichsgeraden. Das ist aber falsch. Angenommen, alle Fahrzeuge hätten das gleiche Gewicht, dann ergäbe sich im unteren Diagramm eine senkrechte Linie. Der Verbrauch würde dann einzig und allein von der Motorleistung abhängen. Man muss sich daher fragen, wieviel Prozent vom Gesamtgewicht die Differenz zwischen niedrigstem und höchstem Gewicht ausmacht. Die gleiche Überlegung stellt man mit der Motorleistung an.

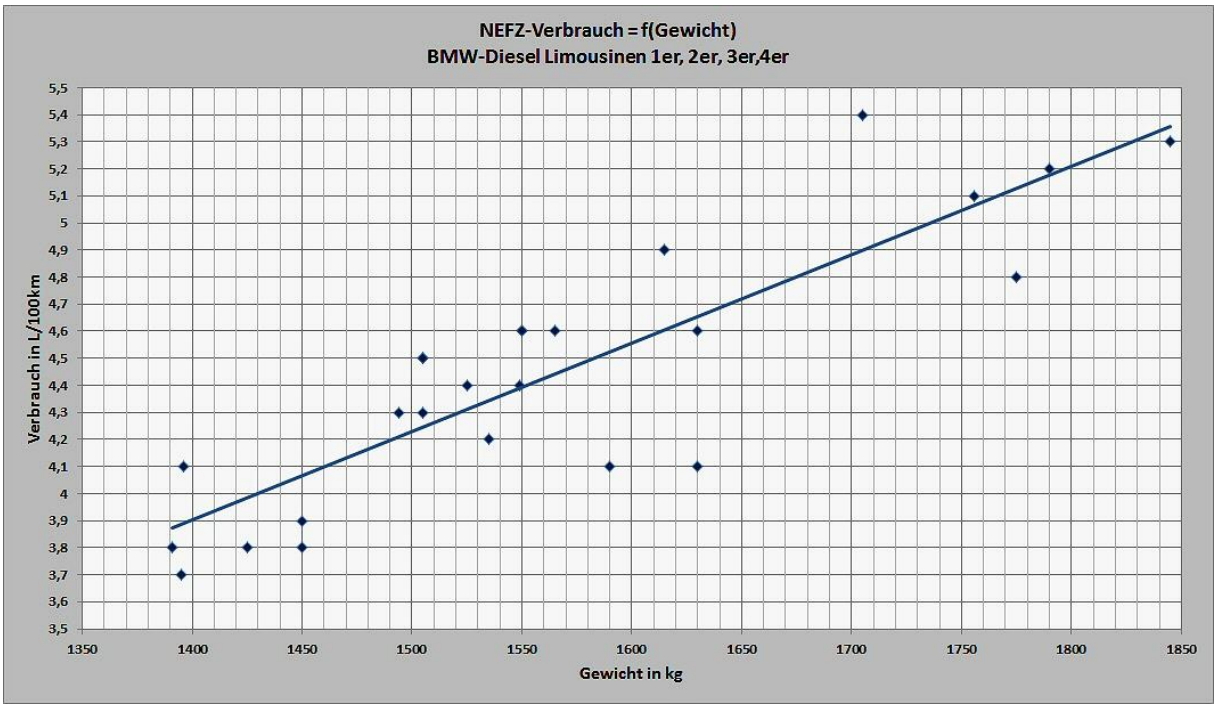
Zur verbesserten Auswertung zeichnen wir die Diagramme mit veränderten Skalierungen.



Die Ausgleichsgerade als Formel dargestellt:

$V_{PD} = 3{,}85 + 0{,}01 * (P - 80)$ Δ Verbrauch = 0,001 L/100km / kW

V_{DP} = NEFZ-Verbrauch Diesel in L/100km als Funktion der Leistung P.



Die Ausgleichsgerade als Formel dargestellt:

$V_{DG} = 3{,}9 + 0{,}00328 * (G - 1400)$ Δ Verbrauch = 0,00328 L/100km / kW

V_{DG} = NEFZ-Verbr. Diesel in L/100km als Funktion des Gewichts.

Aufteilung auf Leistung und Gewicht

- Die Differenz in der Leistung beträgt 153 kW. Das entspricht 67 Prozent der höchsten Leistung von 230 kW.
  Die Differenz im Leergewicht beträgt 460 kg. Das entspricht 25 Prozent des höchsten Gewichts von 1845 kg.
- Das Verbrauchsdelta teilen wir jetzt im Verhältnis der beiden Prozentzahlen auf. Das ergibt 73 % für die Leistung und 27 % für das Gewicht.
- Bei einem Verbrauchsdelta von 1,53 L/100 km ergibt das 1,11 L/100 km für die Leistung und 0,42 L/100km für das Gewicht.
- Wir wissen, dass ein Delta von 153 kW ein Delta im Verbrauch von 1,11 L/100 km verursacht. Mittels Dreisatz rechnen wir um auf 100 kW und bekommen 0,73 L/100km pro 100 kW.
  Wir wissen, dass ein Delta von 460 kg ein Delta im Verbrauch von 0,42 L/100 km verursacht. Mittels Dreisatz rechnen wir um auf 100 kg und bekommen 0,09 L/100km pro 100 kW.

Leistungsabhängigkeit: 100 kW ≙ 0,73 L/100 km 1 kW ≙ 0,0073 L/100 km

Gewichtsabhängigkeit: 100 kg ≙ 0,09 L/100 km 1 kg ≙ 0,0009 L/100 km

Vorsicht bei der Anwendung!

Niemals darf die Hochrechnung von Leistung oder Gewicht isoliert erfolgen. Die wahren Werte bekommt man mit diesen Faustformeln nur dann, wenn man sie beide hintereinander durchführt. Der sichere Weg ist die Anwendung der Formeln für die Ausgleichsgeraden, denn sie enthalten die Gesamtheit aller Einflussgrößen.

Ergebnisbewertung:

Wichtigste Erkenntnis:

Die Motorleistung beeinflusst den Verbrauch wesentlich stärker als das Gewicht.

Warum wird der Gewichtseinfluss ganz allgemein erheblich überschätzt? Es stimmt zwar, dass das schwerere Fahrzeug mehr Beschleunigungsenergie benötigt. Aber dieser Effekt wird zu hoch bewertet. Die meiste Energie wird durch das gleichmäßige Rollen vernichtet, selbst in der Stadt. Unter diesem Aspekt sind die Anstrengungen zur Gewichtsreduzierung kritisch zu sehen, vor allem, wenn sie sich dramatisch auf Kosten, Energiebedarf und Recycling auswirken.

Der große Einfluss der Motorleistung auf den Verbrauch liegt nicht etwa daran, dass mit dem stärkeren Motor schneller gefahren wird. Die NEFZ-Lastkollektive unterscheiden nicht zwischen niedriger und hoher Leistung. Ebenso wenig unterscheidet sich die Fahrweise im öffentlichen Verkehr - solange man sich an die Straßenverkehrsordnung hält. Der Unterschied liegt daran, dass der Verbrennungsmotor seinen besten Wirkungsgrad in der Nähe der Volllast bei etwa 1/3-Nenndrehzahl aufweist. Der Verbrauch ist dann am geringsten, wenn der Motor im NEFZ oder bei normaler Fahrweise im städtischen oder stadtnahen Bereich exakt an dieser Stelle läuft. Leider ist dazu nur wenig Leistung erforderlich. Sie liegt in der Größenordnung von 20 bis 30 kW. Alles an Leistung, was darüber hinausgeht, führt dazu, dass der Motor im Teillastbereich läuft. Damit weicht er vom optimalen Wirkungsgrad ab, und das umso stärker, je höher die Leistung ist. Dieser Zusammenhang widerspricht der landläufigen Auffassung, dass der leistungsstarke Motor weniger verbraucht, weil er sich weniger anstrengen

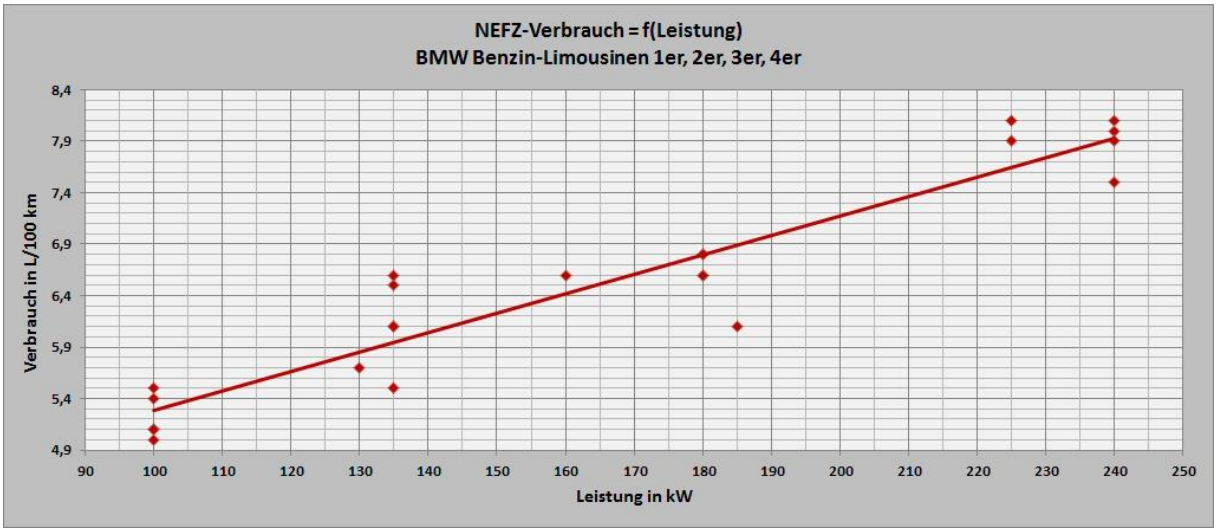
muss. Das Gegenteil ist richtig: Je näher der Motor an seiner Leistungsgrenze läuft, desto niedriger der Verbrauch.

Gültigkeitsspektrum: Noch ein Wort zur Gültigkeit des Ergebnisses: Die Werte gelten nur für Diesel-Limousinen der Kompakt- und der Mittelklasse ohne Allrad. Sie gelten nicht für VANs und SUVs. Diese werden gesondert betrachtet.

Luft- und Rollwiderstand: Wo sind eigentlich Luft- und Rollwiderstand abgeblieben? Sie sind im Diagramm "Verbrauch über Leistung" enthalten, ebenso wie im Diagramm "Verbrauch über Gewicht". Bei der Extrapolation, egal ob über Leistung oder Gewicht, berücksichtigt man automatisch diese Anteile.

BMW Benzinfahrzeuge

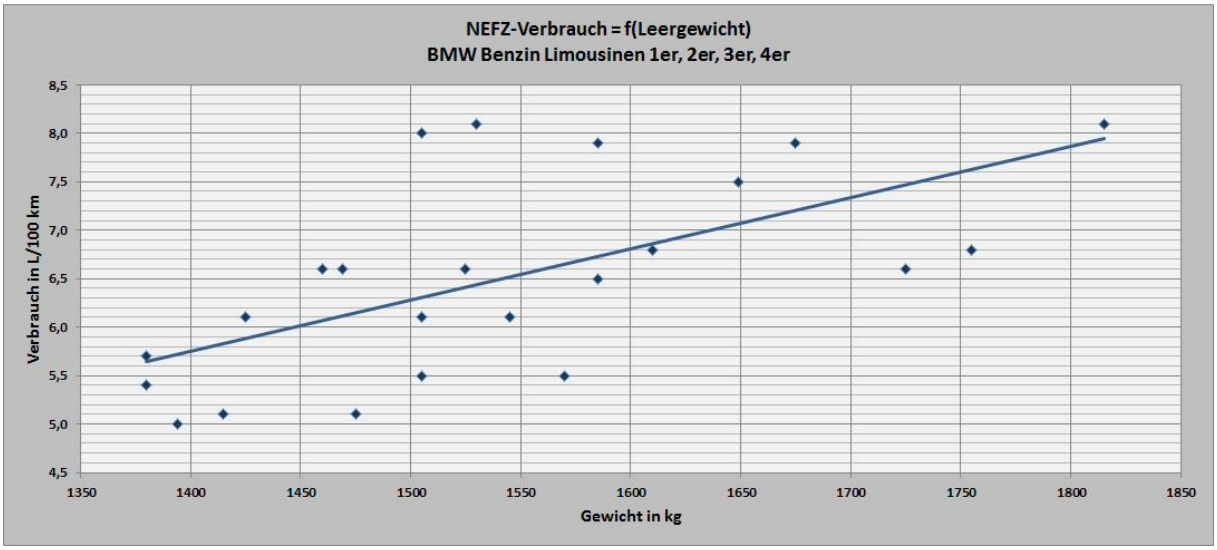
Die hier betrachteten Benzinfahrzeuge stammen aus dem gleichen Modellspektrum wie die obigen Dieselfahrzeuge. Auch die Auswertemethode ist die gleiche. Die Diagramme für den vollen Gewichts- und Leistungsbereich ersparen wir uns, und nehmen gleich die Diagramme mit optimierter Auflösung zu Hilfe.



Die Ausgleichsgerade als Formel dargestellt:

$V_{BP} = 5{,}3 + 0{,}0186 * (P - 100)$ Δ Verbrauch = 0,0186 L/100km /kW

V_{BP} = NEFZ-Verbrauch Benzin in L/100km als Funktion von Leistung P



Die Ausgleichsgerade als Formel dargestellt:

V_{BG} = 5,75 + 0,0053 * (G - 1400) Δ Verbrauch = 0,0053 L/100km /kg

V_{BG} = NEFZ-Verbrauch Benzin in L/100km als Funktion von Gewicht G

Aufteilung auf Leistung und Gewicht

Die Aufteilung erfolgt nach exakt der gleichen Methode wie beim Diesel.

- Die Differenz in der Leistung beträgt 140 kW. Das entspricht 58 Prozent der höchsten Leistung von 240 kW.
  Die Differenz im Leergewicht beträgt 440 kg. Das entspricht 24 Prozent des höchsten Gewichts von 1820 kg.
- Das Verbrauchsdelta teilen wir jetzt im Verhältnis der beiden Prozentzahlen auf. Das ergibt 71 % für die Leistung und 29 % für das Gewicht.
- Bei einem Verbrauchsdelta von 2,6 L/100 km ergibt das 1,85 L/100 km für die Leistung und 0,75 L/100 km für das Gewicht.
- Wir wissen, dass ein Delta von 140 kW ein Delta im Verbrauch von 1,63 L/100 km verursacht. Mittels Dreisatz rechnen wir um auf 100 kW und bekommen 1,16 L/100km pro 100 kW.
  Wir wissen, dass ein Delta von 440 kg ein Delta im Verbrauch von 0,75 L/100 km verursacht. Mittels Dreisatz rechnen wir um auf 100 kg und bekommen 0,17 L/100km pro 100 kW.

Leistungsabhängigkeit: 100 kW ≙ 1,16 L/100 km 1kW ≙ 0,0116 L/100 km

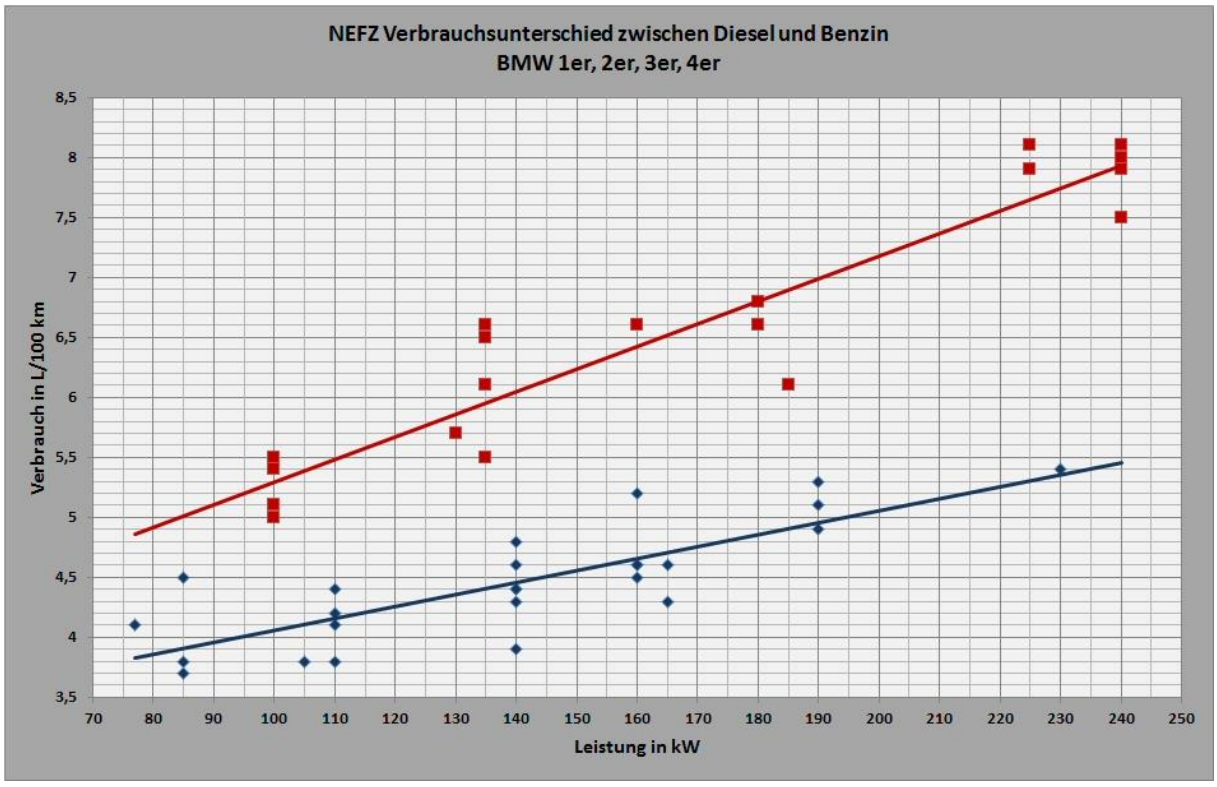
Gewichtsabhängigkeit: 100 kg ≙ 0,16 L/100 km 1 kg ≙ 0,0016 L/100 km

Vorsicht bei der Anwendung!

Niemals darf die Hochrechnung von Leistung oder Gewicht isoliert erfolgen. Die wahren Werte bekommt man mit diesen Faustformeln nur dann, wenn man sie beide hintereinander durchführt. Der sichere Weg ist die Anwendung der Formeln für die Ausgleichsgeraden, denn sie enthalten die Gesamtheit aller Einflussgrößen.

Vergleich Diesel - Benzin

In weiser Voraussicht beschränkten wir uns bei Diesel- und Benzinfahrzeugen auf das gleiche Modellspektrum. Deshalb lassen sich die beiden unmittelbar vergleichen. Ob auf Leistungs- oder Gewichtsbasis spielt dabei keine Rolle.



Dass der Benzinmotor durch das Downsizing dem Dieselmotor im Verbrauch näher gekommen sein soll, entpuppt sich bei dieser Auswertung als frommer Wunsch. Der Mehrverbrauch des Benziners ist nach wie vor erheblich.

- Leistung 100 kW: Δ V = 1,3 L/100 km V_D + 32 %
- Leistung 150 kW: Δ V = 1,7 L/100 km V_D + 37 %
- Leistung 200 kW: Δ V = 2,1 L/100 km V_D + 42 %

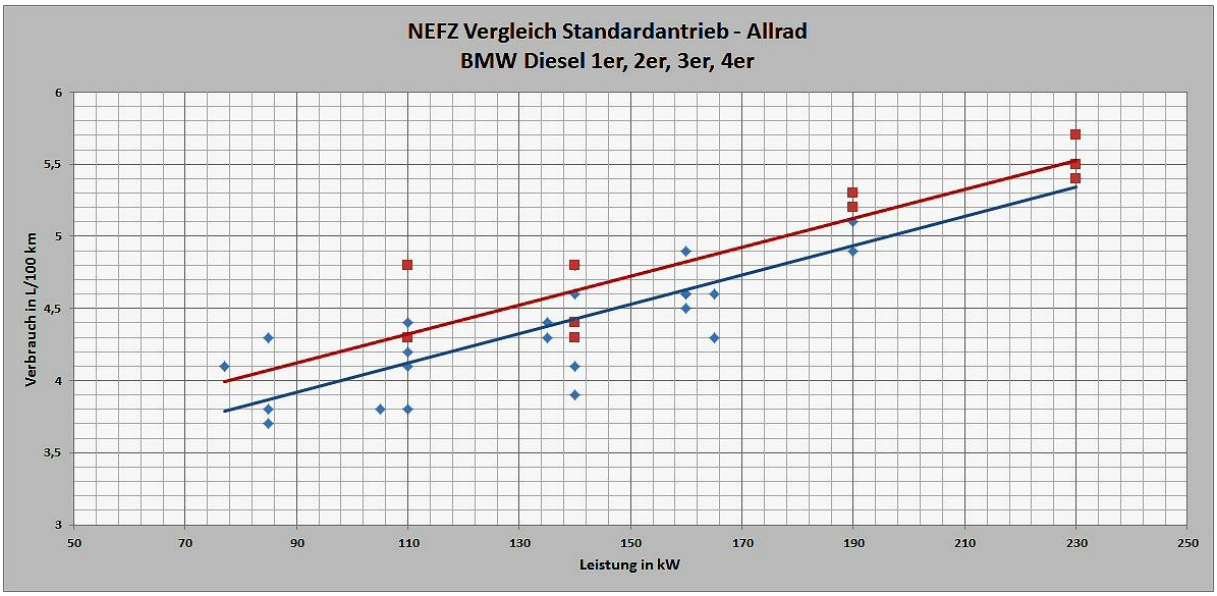
Man sieht außerdem, dass mit steigender Leistung das Delta größer wird, und zwar nicht nur absolut, sondern auch prozentual. Deshalb lässt sich leider kein allgemein gültiger Standardwert für den Unterschied angeben. Will man das Delta von einer Kraftstoffart zur anderen ermitteln, muss man es entweder aus dem Diagramm ablesen, oder nach folgender Formel errechnen:

$\Delta V_P = V_{BP} - V_{DP}$ **$\Delta V_P = 1{,}25 + 0{,}0086 * (P - 100)$**

Mehrverbrauch Allrad

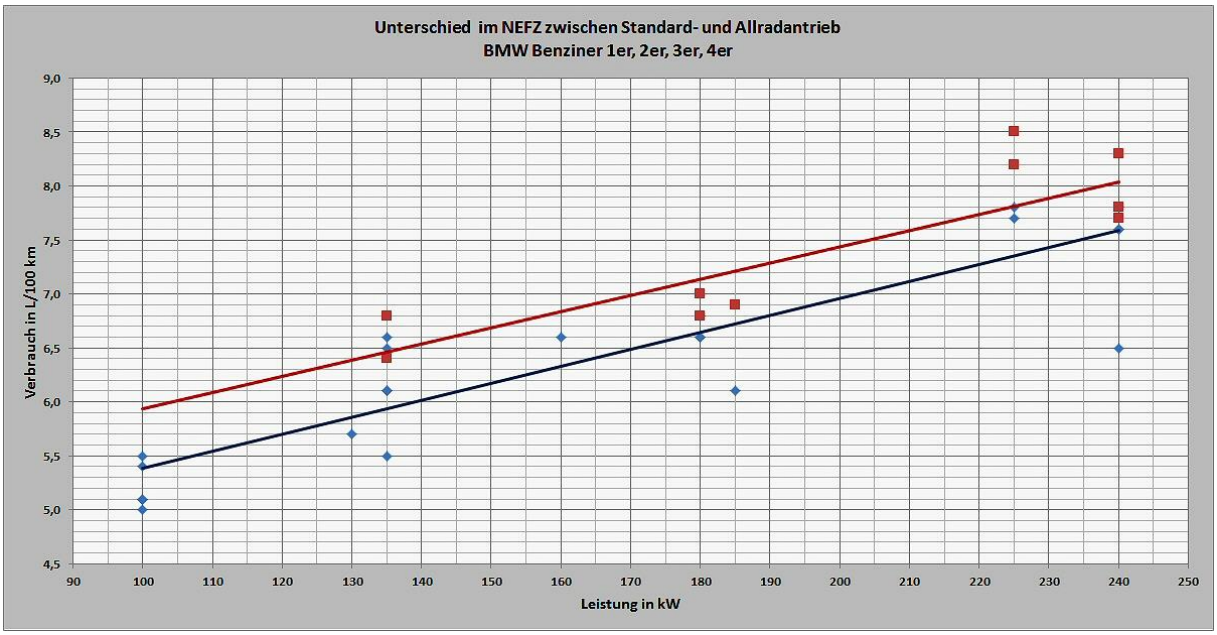
BMW bietet für einen Vergleich der beiden Antriebsarten Standard und Allrad die denkbar günstigsten Voraussetzungen. In allen Modellreihen sind die beiden Antriebsarten parallel im Programm, bei Benzinern und bei Dieseln. Wir betrachten wieder die Limousinen von 1er, 2er, 3er und 4er, getrennt nach Benziner und Diesel.

Vergleich Allrad und Standardantrieb, Dieselmotor



Beim Diesel beträgt der NEFZ-Unterschied zwischen Standard und Allradantrieb konstant **0,2 L/100 km.**

Vergleich Allrad und Standardantrieb, Benzinmotor

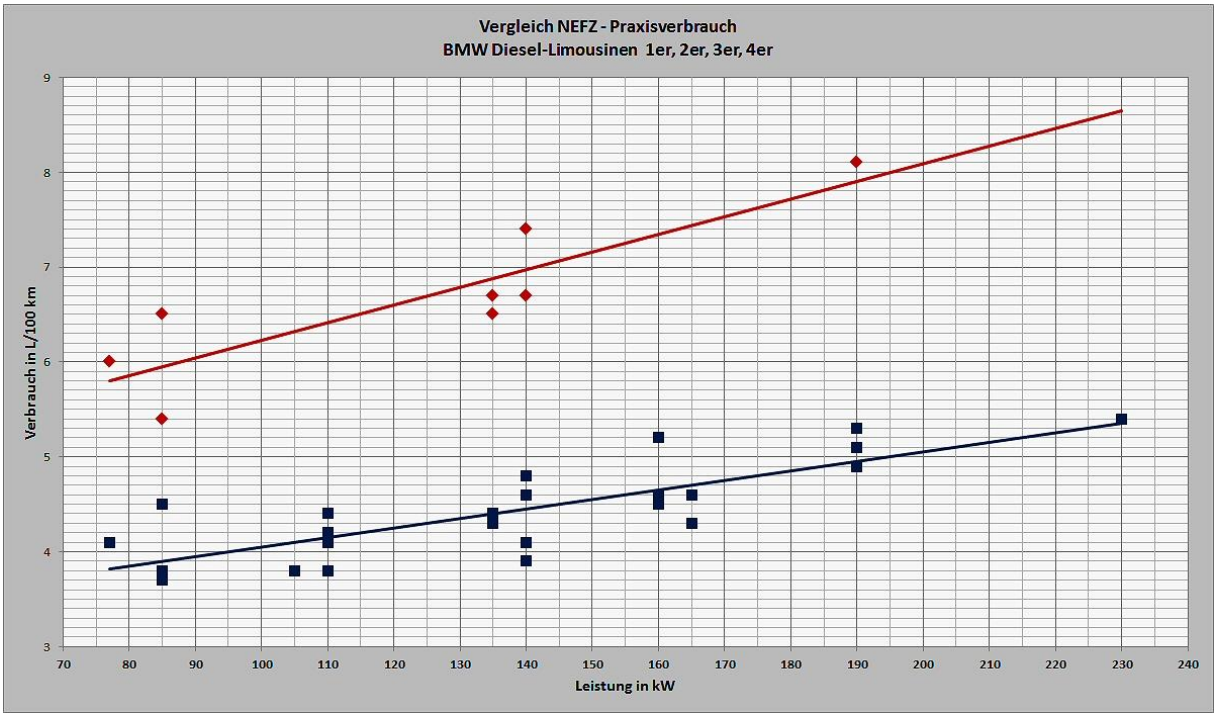


Beim Benzinmotor beträgt der NEFZ-Unterschied zwischen Standard und Allradantrieb konstant **0,5 L/100 km.**

Vergleich NEFZ - Praxis

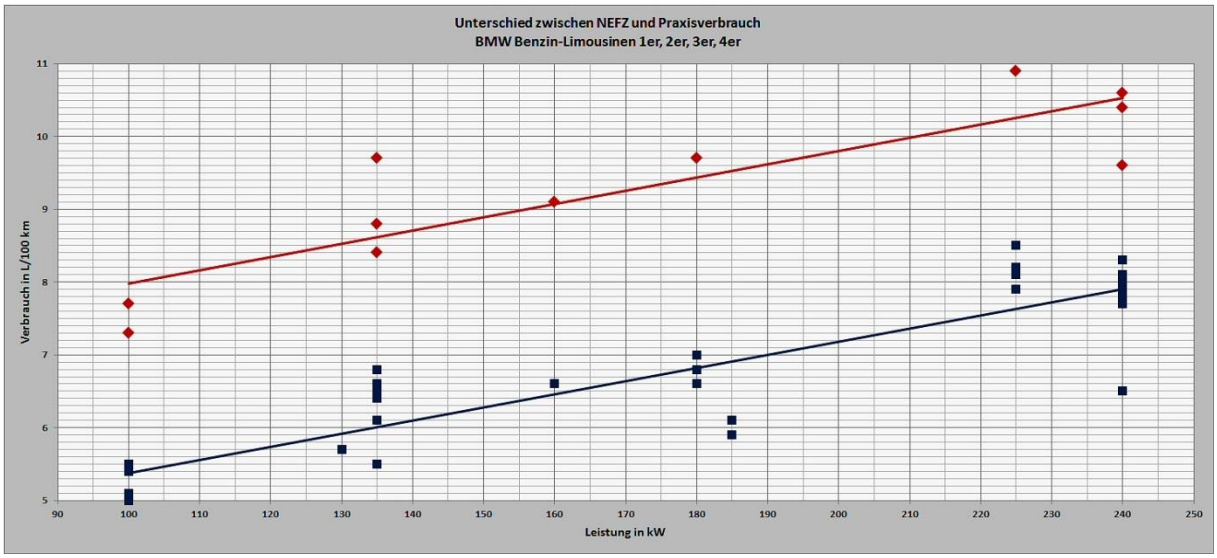
Als letzte Größe interessiert noch der Unterschied zwischen dem NEFZ - und dem Praxisverbrauch. Dem folgenden Diagramm liegen Angaben für den Testverbrauch von ***ams*** aus den Jahren 2013, 2014 und 2015 zugrunde (Praxis), und den offiziellen Werksangaben von **BMW** für den NEFZ.

Vergleich Diesel:



Prozentual gesehen stellt sich ein beinahe gleichmäßiger Abstand ein. Er beträgt bezogen auf den NEFZ **56 Prozent**, bezogen auf den Testverbrauch **36 Prozent**.

Vergleich Benziner:



Im Gegensatz zum Diesel haben wir es beim Benziner mit einem nahezu gleichbleibenden Abstand von **2,6 L/100 km** zu tun.

Bei 100 kW beträgt der Praxis-Mehrverbrauch **50 %**, der NEFZ-Minderverbrauch **33 %**. Bei 240 kW beträgt der Praxis-Mehrverbrauch **33 %**, der NEFZ-Minderverbrauch **25 %**

Zwischenwerte ergeben sich durch lineare Interpolation.

Überprüfung

Von einem 120d hochgerechnet auf einen 435i xDrive soll die Tauglichkeit der Methode überprüft werden.

120d 140 kW	NEFZ	=	3,6 L/100 km
120d => 120i	+ 1,6 L/100 km	=	5,2 L/100 km
140 kW => 240 kW	+ 2,5 L/100 km	=	7,7 L/100 km
Std. - Allrad	+ 0,4 L/100 km	=	**8,1 L/100 km** (NEFZ-Werksangabe 8,1 L/100 km)

Ergebnis: Methode bestätigt.

Wie geht es weiter?

Die Zukunft gehört den SUVs, Vans und Crossover-Modellen, heißt es. Die Zulassungszahlen geben den Trendbeobachtern und Zukunftsforschern Recht. Das lässt Schlimmes befürchten, handelt es sich doch dabei um aufgeblasene Limousinen mit deutlichem Mehrverbrauch. Von dem Delta zwischen Limousine und Großraumderivaten handelt einer der nächsten Beiträge.

Jacob Jacobson