

Wie schnell sollte man eigentlich fahren?

Philipp Preis - März 2016

Hat man einmal das Glück über lange Zeit eine leere und unlimitierte Autobahn unter die Räder nehmen zu können, so stellt sich irgendwann die Frage, wie schnell man eigentlich fahren sollte, um schnellstmöglich am Ziel zu sein.

Die intuitive Antwort lautet natürlich: **Vollgas!** - doch was ist mit der Zeit, die man dann an der Tankstelle verbringt?

Die Geschwindigkeitsformel

Die tatsächlich pro Kilometer benötigte Zeit setzt sich zusammen aus der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Zeit zum Tanken. Der Einfachheit halber sei angenommen, daß man zwischen den Tankstops mit konstanter Geschwindigkeit fahren kann, und daß die Dauer eines Tankstops konstant ist (wohl ein paar Minuten). Dann erhält man als Geschwindigkeitsformel (d.h. die benötigte Zeit um 1km zurückzulegen):

$$Gesamtzeit(v) = \frac{1km}{v} + Tankzeit(v) \quad (1)$$

Da wir eine unendlich lange Strecke betrachten wollen, ist es nicht notwendig die Tankzeit so zu modellieren wie sie tatsächlich auftritt (immer wenn der Tank leer ist), sondern wir können die notwendige Zeit auch über die gesamte Reichweite pro Tankfüllung verteilen. Für jeden Kilometer wird somit ein passender Bruchteil der gesamten Tankzeit veranschlagt:

$$Tankzeit(v) = \frac{z}{Reichweite(v)} \quad (2)$$

Dabei ist z die tatsächlich an der Tankstelle verbrachte Zeit (zB 0.1h = 6min). Die Reichweite ergibt sich aus dem Tankinhalt i und der Geschwindigkeit v :

$$Reichweite(v) = \frac{i}{Verbrauch(v)} \quad (3)$$

Insgesamt erhält man so:

$$Gesamtzeit(v) = \frac{1km}{v} + \frac{z}{i} \cdot \frac{Verbrauch(v)}{100km} \quad (4)$$

mit Geschwindigkeit v , notwendige Zeit pro Tankfüllung z , Tankinhalt i .

Beispiele

Seat Leon 1M 4 20VT (180PS)

Der Verbrauch beträgt geschwindigkeitsabhängig ungefähr:

km/h	60	100	130	150	160	200	224
l/100km	6.5	7.5	9.5	10	11	17	28

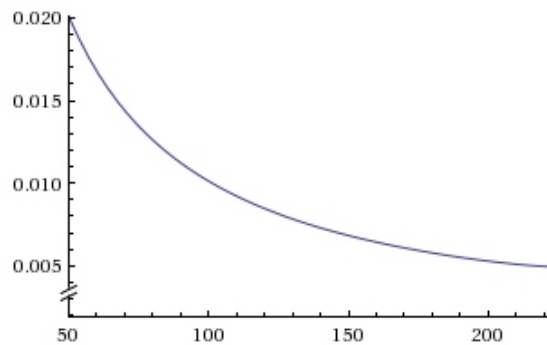
Aus diesen Werten erstellt Wolfram Alpha folgende Interpolationsfunktion:

InterpolatingPolynomial

[{{60, 6.5}, {100, 7.5}, {130, 8.5}, {150, 10}, {160, 11}, {200, 17}, {224, 28}}, x]

$$\begin{aligned} \text{Verbrauch}(v) = & 28 + (0.131098 + (0.00124606 + (7.80875 * 10^{-6} + \\ & (1.40179518 * 10^{-7} + (2.02198 * 10^{-9} + 2.00784 * 10^{-11} * (-130 + x)) * \\ & (-200 + x)) * (-100 + x)) * (-150 + x)) * (-60 + x)) * (-224 + x) \end{aligned} \quad (5)$$

Unter Annahme von $z = 0.1h$ und $i = 60l$ ergibt sich folgender Plot, der die benötigte Gesamtzeit (Stunden) pro Kilometer in Abhängigkeit von der zwischen den Tankstops gefahrenen Durchschnittsgeschwindigkeit anzeigt:



Man erkennt, daß kein Minimum vorliegt, die beste Gesamtzeit (ca. $0.005h/km \hat{=} 200km/h$) wird bei **Vollgas** ($224km/h$ zwischen den Tankstops) erreicht.

Porsche Cayenne Turbo S (521PS)

Die legendären Verbrauchswerte dieses Fahrzeugs wurden vor ein paar Jahren mal von Autobild ermittelt:

<http://www.autobild.de/bilder/was-kostet-vollgas--28601.html#bild5>

km/h	80	100	130	150	180	200	220	250	270
l/100km	11.3	13.2	14.8	17.1	20.1	26.4	35.4	50.4	66.7

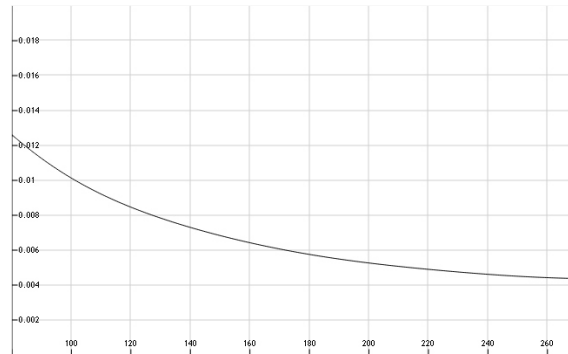
Aus diesen Werten erstellt Wolfram Alpha folgende Interpolationsfunktion:

InterpolatingPolynomial

[{{80, 11.3}, {100, 13.2}, {130, 14.8}, {150, 17.1}, {180, 20.1}, {200, 26.4}, {220, 35.4}, {250, 50.4}, {270, 66.7}}, x]

$$\begin{aligned} \text{Verbrauch}(v) = & 66.7 + (0.291579 + (0.00226199 + (0.000013 + \\ & (-1.59565580 * 10^{-8} + (-5.417956656 * 10^{-11} + (2.817125875 * 10^{-11} + \\ & (9.805140379 * 10^{-13} - 1.249042501 * 10^{-14} * (-150 + x)) * (-220 + x)) * \\ & (-100 + x)) * (-250 + x)) * (-130 + x)) * (-180 + x)) * (-80 + x)) * (-270 + x) \end{aligned} \quad (6)$$

Unter Annahme von $z = 0.1h$ und $i = 100l$ ergibt sich folgender Plot, der die benötigte Gesamtzeit (Stunden) pro Kilometer in Abhängigkeit von der zwischen den Tankstops gefahrenen Durchschnittsgeschwindigkeit anzeigt:



Man erkennt, daß auch hier kein Minimum vorliegt, die beste Gesamtzeit (ca. $0.0044h/km \hat{=} 227km/h$) wird bei **Vollgas** ($270km/h$ zwischen den Tankstops) erreicht.

Tesla Model S P85 (421PS / 310kW)

Bei batterieelektrischen Fahrzeugen ist die Zeit zum Betanken ist wesentlich länger. Genaue Verbrauchsdaten sind bis 80mph bekannt.

mph	20	40	60	70	80
Wh/mile	140	160	250	300	360

Umgerechnet in normale Maßeinheiten ergibt sich daraus

km/h	32	64	96	112	129	160	180	200	220	240	250
Wh/km	87	100	155	186	223	320	420	505	586	675	723

(Erster Teil Daten von Tesla,

zweiter Teil Daten von <http://www.klausolafzehle.de/teslablog/ein-wenig-physik/>,

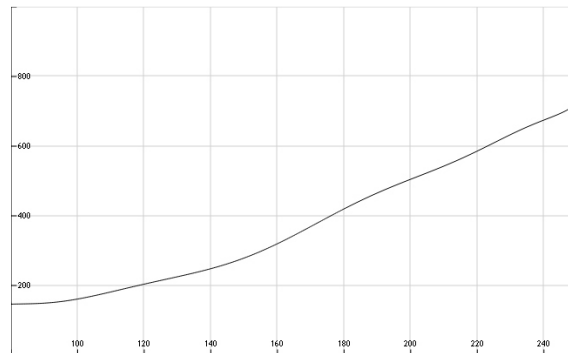
dritter Teil berechnet in <https://tff-forum.de/viewtopic.php?f=55&t=5402&start=10>)

Aus diesen Werten erstellt Wolfram Alpha folgende Interpolationsfunktion:

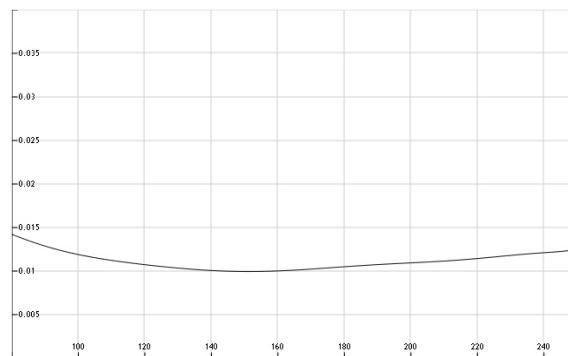
```
InterpolatingPolynomial
[{{32, 87}, {64, 100}, {96, 155}, {112, 186}, {129, 223}, {160, 320}, {180, 420},
{200, 505}, {220, 586}, {240, 675}, {250, 723}}, x]
```

$$\begin{aligned}
 \text{Verbrauch}(v) = & 87 + (13/32 + (21/1024 + (-49/245760 + (143791/57951928320 + \\
 & (-618019/91981300629504 + (-87973103/6348549369448366080 + \\
 & (-3394029871/721195208369334386688 + (2551539208842983/17846336028703364065787904000 + \\
 & (-119065909578130139/52825154644961957634732195840000 + \\
 & (460778428415000478444161(-240 + x))/16825569795389538710754262782050304000000) \\
 & (-220 + x))(-200 + x))(-180 + x))(-160 + x))(-129 + x))(-112 + x))(-96 + x)) \\
 & (-64 + x))(-32 + x) \\
 & (7)
 \end{aligned}$$

Anschaulich (Verbrauch in Wh/km bei km/h):



Der Tankinhalt beträgt 85000Wh, die Zeit zum Vollarbeiten an einem SuperCharger beträgt ca. 1h. Die benötigte Zeit pro Kilometer ergibt sich dann als



Man sieht ein deutliches Minimum im Bereich zwischen 140 und 160 km/h, dies ist die sinnvollste Geschwindigkeit. Die tatsächliche Geschwindigkeit beträgt dann bei gefahrenen 150km/h: $0.01h/km \hat{=} 100km/h$.

Fazit

Für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor wird die höchstmögliche Durchschnittsgeschwindigkeit erzielt, indem permanent Vollgas gefahren wird. Die zum Tanken angenommene Zeit (6 Minuten pro Tankvorgang) fällt nicht ins Gewicht. Die tatsächlich erzielte Geschwindigkeit beträgt dabei 90% (Leon) bzw. 85% (Cayenne) der Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs.

Für batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge muss die Tankzeit berücksichtigt werden. Dauert der Tankvorgang eine Stunde, so verschiebt sich die optimale Geschwindigkeit deutlich nach unten, beim Tesla liegt sie bei ca. 150km/h (obwohl das Fahrzeug 250km/h erreichen könnte). Die tatsächlich erzielte Geschwindigkeit beträgt dabei lediglich 40% der Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs, bzw. 66% der gefahrenen Geschwindigkeit.