

Betrachtungen zum Beschleunigungsverhalten 1.4 TSI 110 kW / 250 Nm vs. 2.0 TDI 110 kW / 340 Nm

Dieselschrauber.de User Georg_G

1. Einführung

Dieses Dokument vergleicht das Beschleunigungsverhalten von prototypischer Benzin - und Dieselmotoren aus dem VAG-Programm mit gleicher nomineller Leistung. Als Beispiel für den Dieselmotor dient der 2.0 TDI Motor mit 110 kW Leistung und 340 Nm Drehmoment. Als vergleichbarer Benzinmotor dient der 1.4 TSI mit 110 kW Leistung und 250 Nm Drehmoment. Da zu einem Beschleunigungsvergleich immer eine träge Masse, sowie eine Getriebeübersetzung und Luft- bzw. Roll/Reibwiderstandsbeiwerte gehören, kommt das Fahrzeug SEAT Leon ST, Modellreihe 5F, mit manuellem 6-Gang-Getriebe zum Einsatz. Der Großteil der hier verwendeten Daten stammt aus den VAG Selbststudienprogrammen SSP403, SSP511, sowie dem technischen Datenblatt aus der Betriebsanweisung des Leon ST 5F, Stand 15.11.2016. Der Luftwiderstandsbeiwert wurde effektiv mit $c_w = 0.33$ angenommen. Die Stirnfläche wurde mit $A = 2.25m^2$ angenommen. Für den Rollwiderstandsbeiwert wurde ein typischer Wert aus der Literatur von $f_R = 0.013$ angenommen. Diese angenommenen Werte führen zu einem Erreichen der in der Betriebsanweisung veröffentlichten Höchstgeschwindigkeit von 215 km/h für TDI und TSI.

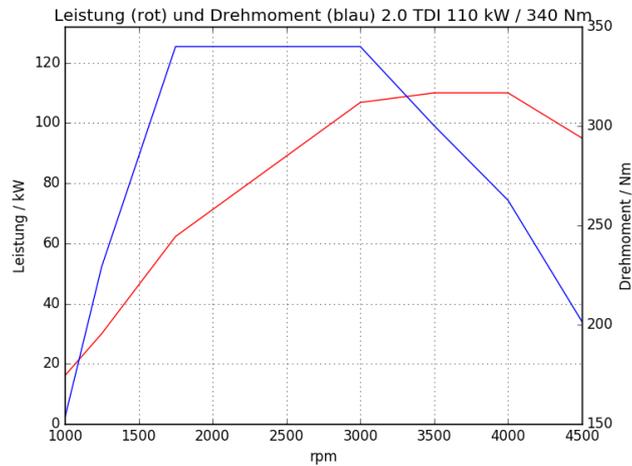


Figure 1: Leistung und Drehmoment des 2.0 TDI Motors: Ein Drehmomentplateau von 340 Nm bei 1750 – 3000 rpm und ein Leistungsplateau von 110 kW bei 3500 – 4000 rpm. Die Grundform des Diagramms entstammt dem SSP403 (2.0 TDI mit 320 Nm); die vorliegende Form wurde um die bekannten Leistungs- und Drehmomentdaten aus der Betriebsanweisung des Leon ST 5F korrigiert. Der Leistungswert von 16 kW bei 1000 rpm wurde aus im Internet gefundenen Prüfstandsprotokollen entnommen.

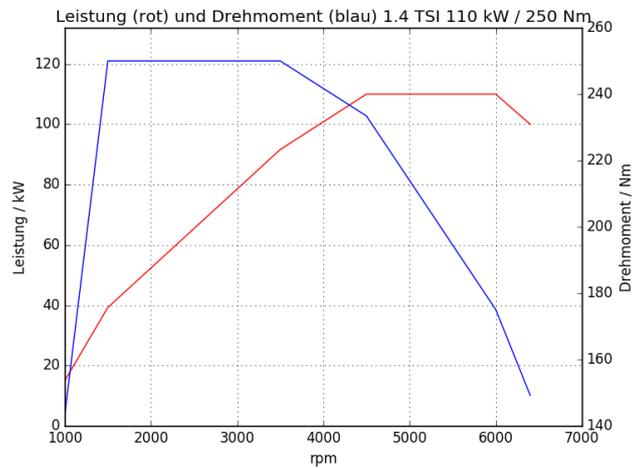


Figure 2: Leistung und Drehmoment des 1.4 TSI Motors: Ein Drehmomentplateau von 250 Nm bei 1500 – 3500 rpm und ein Leistungsplateau von 110 kW bei 4500 – 6000 rpm. Die Grundform des Diagramms entstammt dem SSP511 (1.4 TSI mit 103 kW); die vorliegende Form wurde um die bekannten Leistungs- und Drehmomentdaten aus der Betriebsanweisung des Leon ST 5F korrigiert.

2. Vergleich der Beschleunigung in verschiedenen Gängen

2.1. Details zu den Berechnungen

1. Die Fahrzeugmassen betragen 1275 kg für den Benziner und 1350 kg für den Diesel.
2. Die Untersetzungen für den Benziner sind Gang 1: 3.78, Gang 2: 2.12, Gang 3: 1.36, Gang 4: 1.03, Gang 5: 0.86, Gang 6: 0.73. Die Achsuntersetzung beträgt 3.65 für alle Gänge.
3. Die Untersetzungen für den Diesel sind Gang 1: 3.769, Gang 2: 1.958, Gang 3: 1.257, Gang 4: 0.870, Gang 5: 0.857, Gang 6: 0.717. Die Achsuntersetzung beträgt 3.45 für Gänge 1 – 4 und 2.760 für die Gänge 5 – 6.
4. Als Rad wird ein Reifen 225/45 R17 mit 1.928 m Umfang angenommen.
5. Die die Beschleunigung des Fahrzeuges verursachende Kraft ergibt sich für einen gewählten Gang aus der am Rad anliegenden Zugkraft in Fahrtrichtung, F_{Zug} . Weiterhin wirkt die geschwindigkeitsabhängige Luftwiderstandskraft, $F_{Luft} = -\frac{1}{2} c_w A \rho v^2$. Hierbei ist $\rho = 1.293 \text{ kg/m}^3$ die Dichte der Luft unter Normalbedingungen und v ist die Geschwindigkeit. Zudem wirkt die Rollwiderstandskraft, $F_{Roll} = -f_R m g$. Hierbei ist m die Fahrzeugmasse und $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ist die Gravitationskonstante. Es ergibt sich die effektive Zugkraft, $F_{Zug}^{eff.} = F_{Zug} + F_{Luft} + F_{Roll}$, und die dazugehörige Beschleunigung, $a = F_{Zug}^{eff.} / m$.

2.2. Beschleunigung in den Gängen 1 – 3

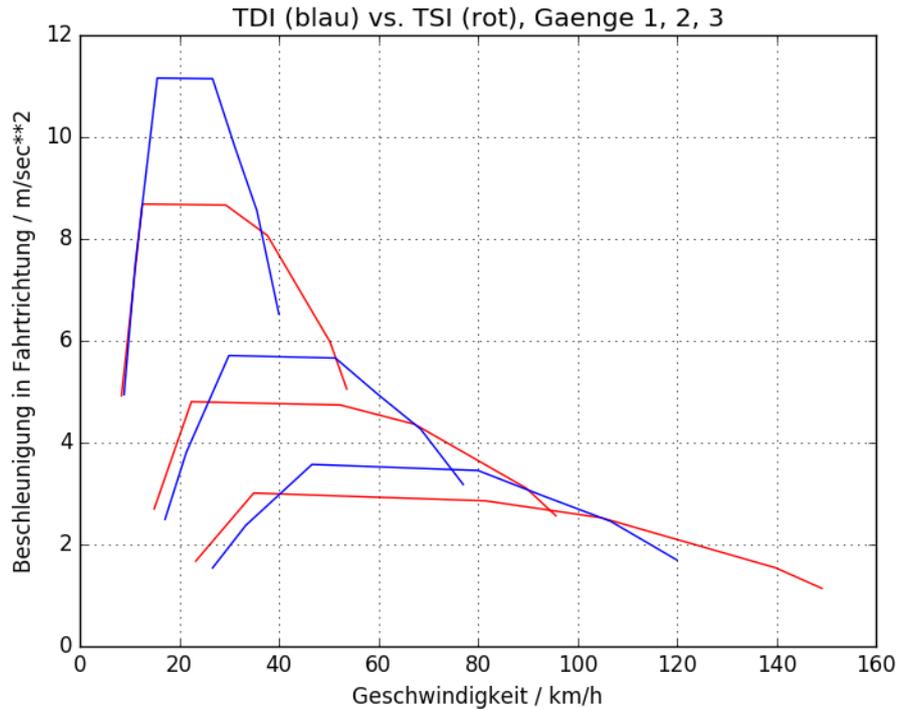


Figure 3: Beschleunigung in den Gängen 1 – 3

In den unteren Gängen zeigt sich, dass der TDI deutlich höhere Maximalwerte der Beschleunigung aufweist. Der TSI zeigt im Anlaufverhalten, also bei besonders niedrigen Geschwindigkeiten, kurzfristig höhere Beschleunigungen als der TDI. Der TSI kann die Gänge höher ausdrehen und beschleunigt am besten, wenn er bis zur Abregeldrehzahl von 6400 rpm ausgedreht wird. Dies gilt fast ebenso für den TDI, welcher für beste Beschleunigungen fast bis zum Erreichen der Abregeldrehzahl, also bis ca. 4300 rpm, ausgedreht werden sollte. Die Drehmomentplateaus der Motoren bilden sich als konstante Beschleunigungsplateaus ab, weil bei den hier betrachteten Geschwindigkeiten der Luftwiderstand noch kaum wirkt.

2.3. Beschleunigung in den Gängen 4 – 6

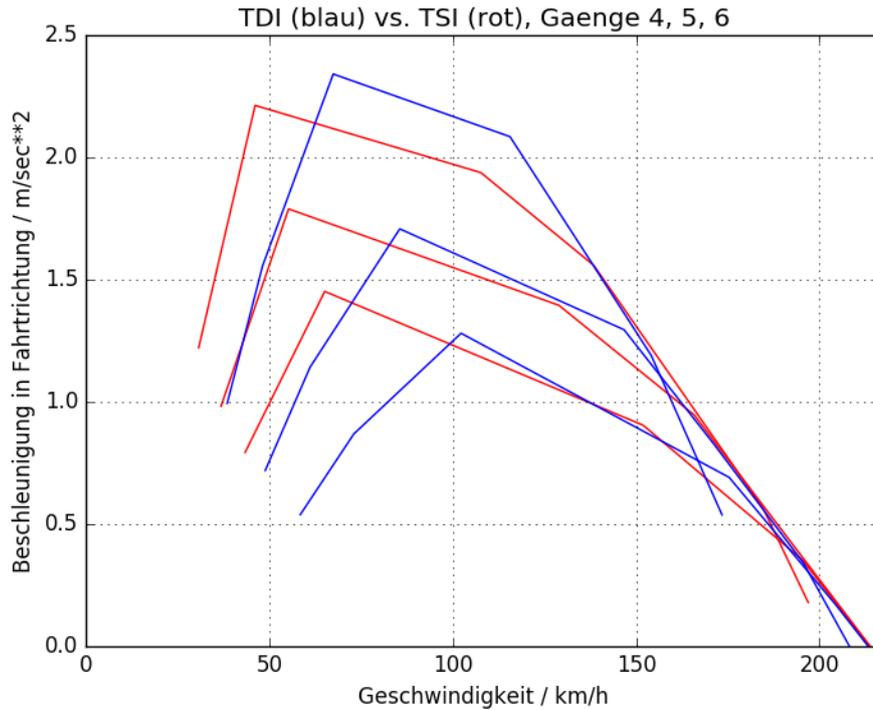


Figure 4: Beschleunigung in den Gängen 4 – 6

In den oberen Gängen bilden sich die Drehmomentplateaus der Motoren als negativ verkippte Beschleunigungsplateaus ab, weil sich bei den hier betrachteten Geschwindigkeiten der Luftwiderstand schon auswirkt. Der TDI erreicht seine Höchstgeschwindigkeit von 215 km/h nur im 6. Gang während der TSI seine Höchstgeschwindigkeit von ebenfalls 215 km/h sowohl im 5. als auch im 6. Gang erreicht. In den oberen Gängen zeigt sich zudem, dass der TDI vor Erreichen der Abregeldrehzahl in den nächsthöheren Gang geschaltet werden sollte, um maximale Beschleunigung zu erzielen. Ein gutes Beispiel hierfür findet sich bei ca. 160 km/h : Ab hier lohnt sich ein Schaltvorgang vom 4. Gang in den 5. Gang. Beim TSI ist dieser Effekt weniger stark ausgeprägt, tritt jedoch auch auf: bei ca. 180 km/h lohnt sich das Schalten vom 4. Gang in den 5. Gang.

3. Und wer ist jetzt schneller?

Die vorherigen Betrachtungen haben im Wesentlichen folgendes gezeigt:

- Der TDI weist für jeden Gang höhere maximale Beschleunigungswerte auf, als sie im TSI anliegen.
- Der TSI beschleunigt in jedem Gang nur zu Anfang des Drehzahlbandes etwas besser als der TDI, kann aber auch etwas längerem, d.h., über einen größeren Geschwindigkeitsbereich, in einem bestimmten Gang beschleunigen

Zur Antwort auf die Frage, welcher Motor nun *unter praktischen Gesichtspunkten* insgesamt besser beschleunigt, wird folgendes Szenario betrachtet: In jedem Gang wird 1000 von rpm bis zu 95% der Abregeldrehzahl beschleunigt. Die Geschwindigkeit ergibt sich durch Integration der Beschleunigungswerte in der Zeit ¹. In den nun folgenden Diagrammen zeigt sich, dass der TDI in den Gängen 1 – 3 durchweg schneller auf Geschwindigkeit kommt, zumindest bis er seine Abregeldrehzahl erreicht. Der TSI ist zwar nicht ganz so schnell nach einer bestimmten Zeitspanne, kann jedoch weiter beschleunigen, ohne schalten zu müssen. Je nachdem, wie lange so ein Schaltvorgang dauert, kann der TSI seinen Beschleunigungsnachteil so ausgleichen. Ab dem 4. Gang herrscht jedoch Gleichstand, was die Beschleunigung angeht. Der TDI bietet selbst bei niedrigen Geschwindigkeiten bzw. Drehzahlen keinen Vorteil mehr. Im 6. Gang erscheint die Situation nun vollständig umgekehrt: Der TSI ist bereits ab einer Geschwindigkeit von ca. 80 km/h durchweg schneller.

¹Für Fachidioten: Hier wird Forward-Euler mit Schrittweite 0.05 sec. verwendet.

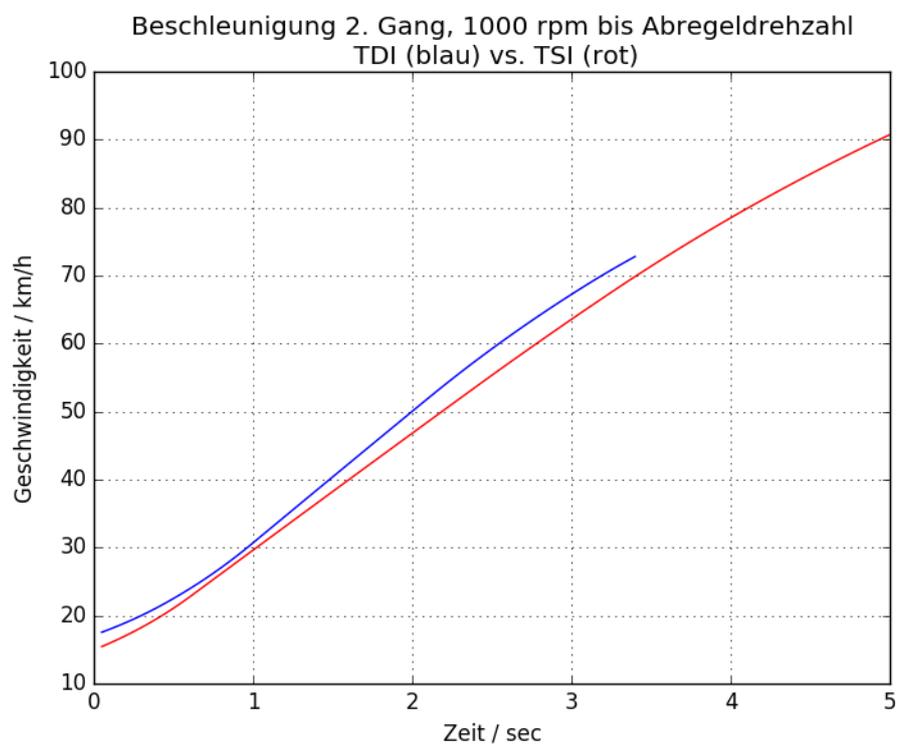


Figure 5: Beschleunigung im 2. Gang.

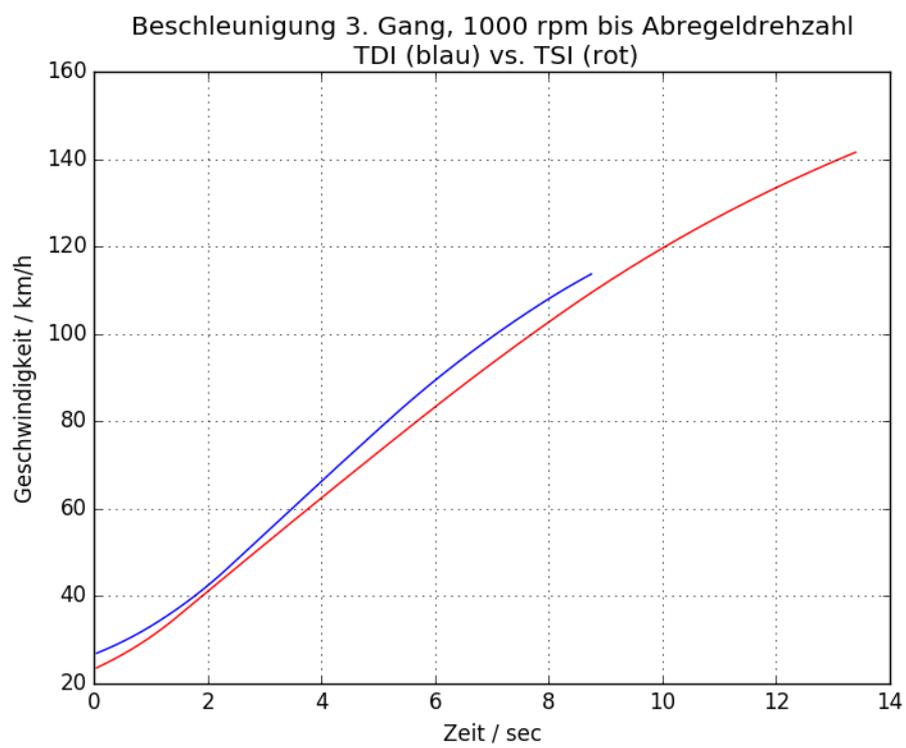


Figure 6: Beschleunigung im 3. Gang.

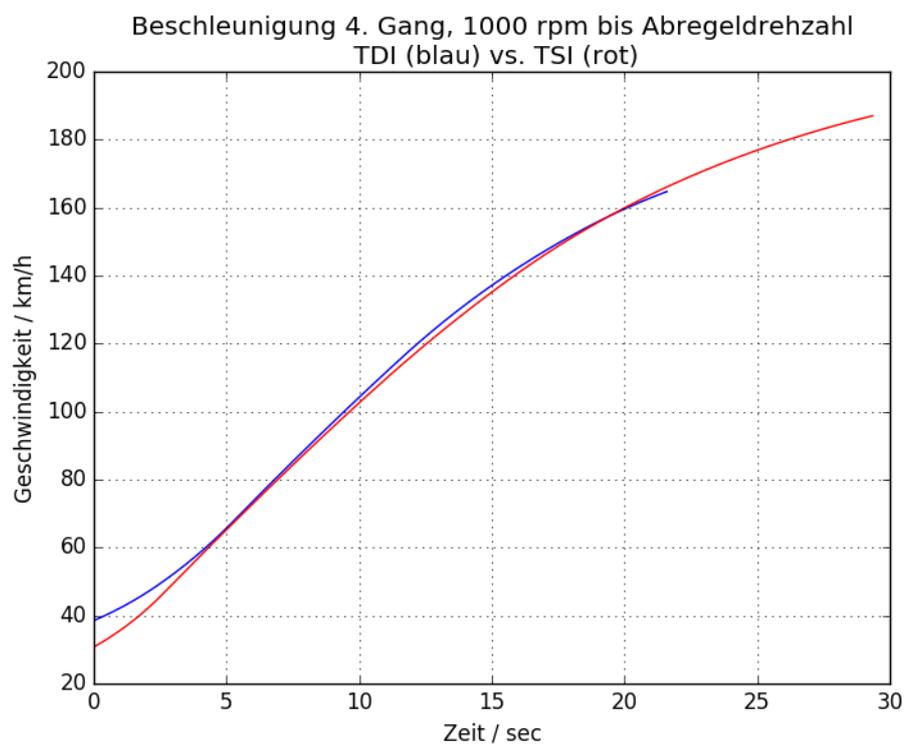


Figure 7: Beschleunigung im 4. Gang.

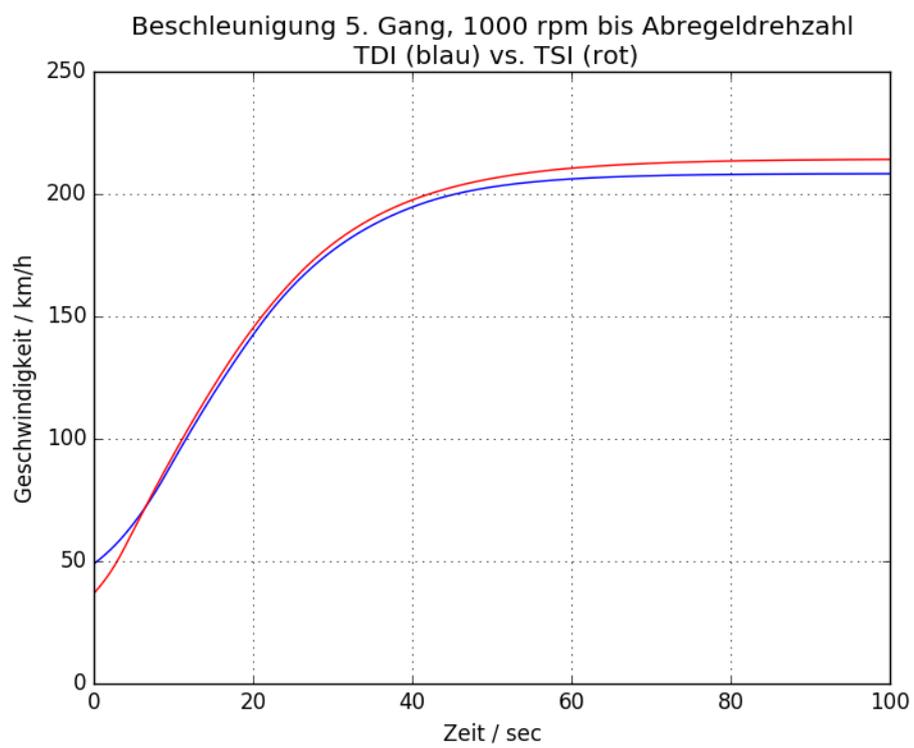


Figure 8: Beschleunigung im 5. Gang.

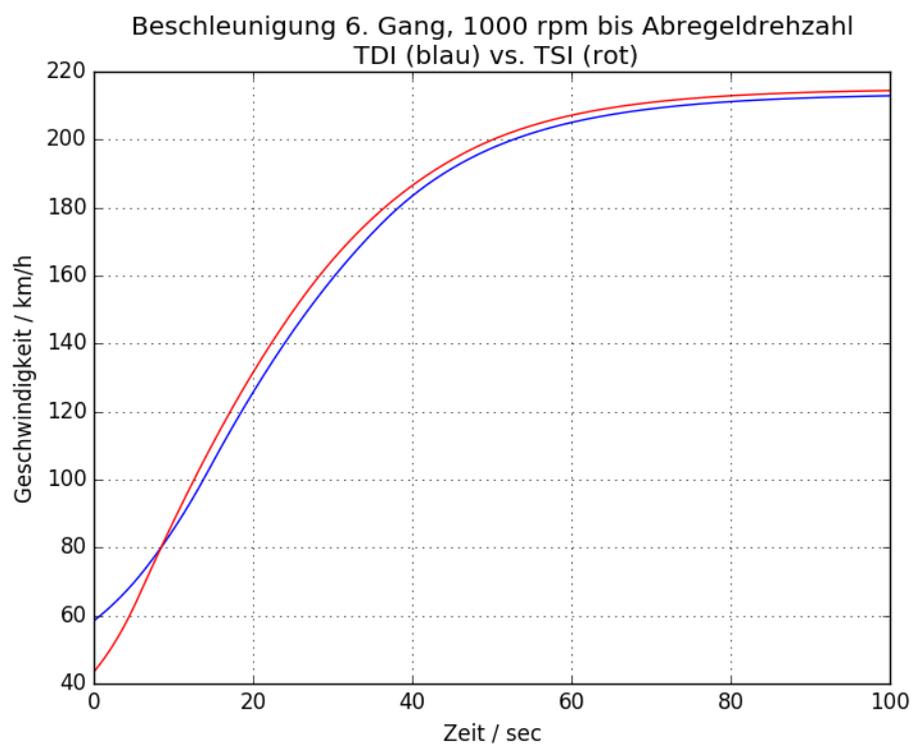


Figure 9: Beschleunigung im 6. Gang.