



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Florian Renz

Untersuchung von Möglichkeiten, Maßnahmen und Grenzen der Leistungssteigerung von Verbrennungsmotoren im Hinblick auf die Überprüfung und Zulassung durch Prüfstellen

Florian Renz

**Untersuchung von Möglichkeiten,
Maßnahmen und Grenzen der Leistungs-
steigerung von Verbrennungsmotoren im
Hinblick auf die Überprüfung und Zulas-
sung durch Prüfstellen**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen des Studiums

im Studiengang Fahrzeugbau
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
GTÜ Gesellschaft für Technische Überwachung mbH
Vor dem Lauch 25
70567 Stuttgart

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Axel Pöhls
Zweitprüfer: Dipl. Ing. (FH) Kai Schnoor

Industrieller Betreuer: Dipl. Ing. (FH) Kai Schnoor

Abgabedatum: 28.02.2022

Zusammenfassung

Florian Renz

Thema der Bachelorarbeit

Untersuchung von Maßnahmen, Möglichkeiten und Grenzen der Leistungssteigerung von Verbrennungsmotoren im Hinblick auf die Überprüfung und Zulassung durch Prüfstellen

Stichworte

StVZO, Paragraphen, Eintragungen, Leistungssteigerung, klassisches Tuning, Software-Tuning, Motortausch, Turbolader, Kompressor

Kurzzusammenfassung

Das Thema Leistungssteigerung ist heutzutage noch immer sehr präsent und hat sich im Laufe der Jahre stark gewandelt. In den 1960-1980er Jahren war das klassische Tuning mit Hubraumerweiterungen, Nockenwellen, Vergaser etc. häufig vertreten. Dadurch, dass die Hersteller seit Ende der 1990er Jahre vermehrt Digitale Motorelektroniken in ihren Fahrzeugen einsetzen, hat das Software-Tuning immer mehr an Bedeutung gewonnen. Damit der Fahrzeughalter mit seinem Leistungsgesteigerten Fahrzeug auf öffentlichen Straßen legal unterwegs sein darf, muss die gesteigerte Leistung verschiedene Regularien erfüllen. Es soll mit dieser Bachelorarbeit eine Hilfestellung für die ambitionierten Tuner gegeben werden, worauf diese zu achten haben.

Florian Renz

topic of the bachelor thesis

investigation of measures, possibilities and limits of performance
enhancement of internal combustion engines regarding testing and
approval by test centre

Keywords

StVZO, paragraphs, registrations, performance enhancement, classic tuning,
software tuning, engine swap, turbocharger, supercharger

Abstract

The topic of performance enhancement is still present today and has changed a lot over the years. In the 1960-1980s, classical tuning with increased cylinder capacity, camshaft, carburetor etc. was common. Since the end of the 1990s, manufacturers have been using digital engine electronics in their vehicles and as a result software tuning has become a new way of increasing the power of the engine. For the vehicle owner to be able to drive his performance-enhanced vehicle legally on public roads, the increased performance must fulfil various regulations. The control institution is represented by several experts. These experts are instructed to look for unregistered changes and decide if the vehicle can be driven safely on the roads. Therefore, this bachelor's thesis intends to aid ambitious tuners on their way to a legally performance-enhanced vehicle.

Inhalt

Formelverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis.....	IX
Diagrammverzeichnis.....	X
Abbildungsverzeichnis.....	XI
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1. Einleitung	1
2. Rechtliche Aspekte.....	3
2.1 Gesetzliche Vorgaben.....	4
2.2 Vorhandene Gutachten.....	8
3. Methoden der Leistungssteigerung	22
3.1 Klassisches Tuning	23
3.2 Software-Tuning	41
3.3 Nachrüsten von Hardware	45
3.4 Indirektes Tuning (Abgasanlage)	48
4. Aufgaben des Sachverständigen.....	55
4.1. VdTÜV-Merkblatt 751	56
4.2 Feststellung einer Leistungssteigerung	59
5. Anwendungsbeispiel	60
5.1 Leistung und Drehmoment Messung	62
5.2 AU-Messung.....	69
5.3 Elastizitätsmessung und Fahrversuch.....	72
6. Tuning Ratgeber.....	76
7. Diskussion.....	79
8. Fazit	82
9. Zusammenfassung.....	83
10. Literaturverzeichnis	84
Anhang A	104
Anhang B	106
Anhang C.....	113
Anhang D.....	116

Inhalt

Anhang E	118
----------------	-----

Formelverzeichnis

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
C_m	Kolbengeschwindigkeit	$\frac{m}{s}$
C_p	spezifische Wärmekapazität konstanter Druck	$\frac{J}{kg \cdot K}$
C_v	Spezifische Wärmekapazität Konstantes Volumen	$\frac{J}{kg \cdot K}$
D	Kolbenhub	mm
ε	Verdichtungsverhältnis	/
η_{th}	Thermische Wirkungsgrad	/
η_m	Mechanischer Wirkungsgrad	/
i	Anzahl der Arbeitsspiele pro Kurbelwellenumdrehung	/
κ	Isentropenexponent	/
k	Trübungswert	m^{-1}
λ_l	Liefergrad	/
M_d	Motordrehmoment	Nm
m_{th}	Theoretische Luftmasse	kg
M_t	Torsionsmoment	Nm
m_z	Im Zylinder befindliche Luft- masse	kg
n	Drehzahl	$\frac{1}{min}$
P_e	Nutzleistung	kW
P_i	Innere Leistung	kW
p_{me}	Effektiver Nutzmitteldruck	bar

Formelverzeichnis

p_{mi}	Indizierte Mitteldruck	bar
Q_{ab}	Abgeführte Wärmemenge	$\frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
Q_{zu}	Zugeführte Wärmemenge	$\frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
s	Kolbenhub	m
V_c	Kompressionsvolumen	m ³
V_h	Zylindervolumen	m ³
V_H	Motorhubraum	m ³
z	Zylinderanzahl	/

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenseitige Beeinflussung bei technischen Veränderungen[49]	21
Tabelle 2: Technische Daten des Seat Exeo [133;134].....	60
Tabelle 3: Daten laut CRD-Tuning für die Leistung und das Drehmoment [135]	61
Tabelle 4: Umgebungsbedingung im Prüfstandsraum [136]	63
Tabelle 5: Messergebnisse der Einflussfaktoren während der Messung.....	67
Tabelle 6: Elastizitätsmessung ohne Box	74
Tabelle 7: Elastizitätsmessung mit Box.....	74
Tabelle 8: Strafen bei illegaler Leistungssteigerung [148].....	78
Tabelle 9: Für Einteilung der Leistungssteigerung [30]	121

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Leistungsmessung ohne CRD-Powerbox	64
Diagramm 2: Drehmomentmessung ohne CRD-Powerbox	65
Diagramm 3: 3 Messungen der Leistung mit CRD-Powerbox	66
Diagramm 4: 3 Messungen des Drehmomentes mit CRD-Powerbox	66
Diagramm 5: Vergleich der Leistung mit/ohne CRD-Powerbox.....	67
Diagramm 6: Vergleich des Drehmomentes mit/ohne CRD-Powerbox.....	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Eintragung von Tuningteilen mit oder / ohne Prüfzeugnis [24]	8
Abbildung 2: ABE einer Felge [29].....	10
Abbildung 3: Gutachten zur ABE [29].....	11
Abbildung 4: ABG Prüfzeichen [34]	12
Abbildung 5: EBG-Prüfzeichen [34].....	13
Abbildung 6: EWG-Prüfzeichen [34].....	14
Abbildung 7: Prüfzeichen EWG-Betriebserlaubnis [34]	15
Abbildung 8: ECE-Prüfzeichen [40]	15
Abbildung 9: TGA einer Leistungssteigerung [44].....	17
Abbildung 10: Porsche 914/6 Herstellerbescheinigung [49].....	20
Abbildung 11: Skizze der möglichen Erweiterung der Kanäle [7, S.74]	26
Abbildung 12: Bearbeitung der Ventile und des Sitzringes [68]	27
Abbildung 13: Unterschied der Zylinderköpfe [84, S.30]	37
Abbildung 14: Kombination HJS Downpipe mit Abgasanlage [113]	50
Abbildung 15: Abgasgegendruck Vergleichsmessung bei Katalysatoren [115]	51
Abbildung 16: Seat Exeo [132]	60
Abbildung 17: Abbildung der CRD-Powerbox	61
Abbildung 18: Seat Exeo auf dem Fahrzeugrollenprüfstand	62
Abbildung 19: Fahrtwindsimulator der Firma Nordwind	62
Abbildung 20: Y-Stecker der Powerbox	63
Abbildung 21: Bosch BEA 070	69
Abbildung 22: Bosch BEA 950	69
Abbildung 23: AU ohne Powerbox.....	71
Abbildung 24: AU mit Powerbox	71
Abbildung 25: VBOX Touch [144].....	72
Abbildung 26: Übersicht der Teststrecke [VBOX Touch].....	73
Abbildung 27: CRD-Powerbox	75
Abbildung 28: Porsche 914/6 [150]	104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 29: VW Käfer [152].....	104
Abbildung 30: BMW 2002 Turbo [153]	104
Abbildung 31: VW Golf IV 1,9 TDI [154].....	104
Abbildung 32: Saab 99 Turbo [155].....	105
Abbildung 33: Oldsmobile Jetfire F 85 [156].....	105
Abbildung 34: BMW M4 GTS [158]	105
Abbildung 35: Mitsubishi Lancer EVO X [159].....	105

Abkürzungsverzeichnis

ABE	<i>Allgemeine Betriebserlaubnis</i>
ABG	<i>Allgemeine Bauartgenehmigung</i>
ATL	<i>Abgasturbolader, Abgasturbolader</i>
AU	<i>Abgasuntersuchung</i>
COC	<i>Certificate of Conformity</i>
cpsi	<i>cells per square inch</i>
DPF	<i>Dieselpartikelfilter</i>
EBG	<i>Einzelgenehmigung</i>
ECE	<i>Economic Commission for Europe</i>
EK	<i>Europäische Kommission</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
ESP	<i>Elektronische Stabilitätsprogramm</i>
EU	<i>Europäische Union, Europäische Union</i>
EWG	<i>Europäische Wirtschaftsgemeinschaft</i>
FzTV	<i>Fahrzeugteilverordnung</i>
FZV	<i>Fahrzeugzulassungsverordnung</i>
GTÜ	<i>Gesellschaft für Technische Überwachung mbH</i>
HU	<i>Hauptuntersuchung</i>
KBA	<i>Kraftfahrtbundesamt</i>
Kfz	<i>Kraftfahrzeug</i>
MIL	<i>Motorkontrollleuchte</i>
PEMS	<i>Portable Emission Measurement System</i>
RDE	<i>Real Drive Emission</i>
RL	<i>Richtlinien</i>
StVG	<i>Straßenverkehrsgesetz</i>
StVZO	<i>Straßenverkehrszulassungsordnung</i>
TGA	<i>Teilegutachten</i>
UMA	<i>Untersuchung des Motormanagements und Abgasreinigungssystems</i>
USB	<i>Unterschriftsberechtigter</i>
VdTÜV	<i>Verband der TÜV e.V.</i>
VO	<i>Verordnungen</i>
WLS	<i>Werksleistungssteigerung</i>
WLTP	<i>Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure</i>
ZB 1	<i>Zulassungsbescheinigung Teil 1 Fahrzeugschein</i>
ZB 2	<i>Zulassungsbescheinigung Teil 2 Fahrzeugbrief</i>

1. Einleitung

Die Anzahl der zugelassenen Autos hat sich in den letzten 40 Jahren in Deutschland verdoppelt und beträgt zurzeit ungefähr 48 Millionen [1;2]. Das Auto ist immer noch von großer Bedeutung, da es für viele als Statussymbol gilt und unabhängig macht. Diese Gründe genügen einem Teil der Fahrzeughalter nicht mehr. Sie möchten sich von der Masse abheben und passen durch Tuning ihr Fahrzeug individuell an. Unter diesem Begriff wird die Verbesserung bzw. die Feinabstimmung oder den Anbau weitere Komponenten in oder an das Fahrzeug verstanden. Hauptsächlich geht es darum, die Fahreigenschaften oder die Leistung des Fahrzeuges zu steigern [3]. Eine Leistungssteigerung kann auf die verschiedensten Arten erfolgen. In der Anfangszeit war das klassische Tuning dominierend. Darunter wird die mechanische Bearbeitung von Teilen des vorhandenen Verbrennungsmotors verstanden. Es wurden Nockenwellen mit veränderten Steuerzeiten verbaut, der Hubraum vergrößert und der Zylinderkopf bearbeitet. Da die Entwicklung der Verbrennungsmotoren nicht stillsteht und immer strenger werdende Abgasgrenzwerte festgelegt wurden, entwickelte sich das klassische Tuning immer mehr zum Chip-Tuning. Unter dem Begriff Chip-Tuning, wird ein Eingriff in das Motorsteuergerät verstanden [4]. Eine Leistungssteigerung kann dazu führen, dass das Abgas-/ Geräuschverhalten sich verschlechtert. Der Tuner ist dazu verpflichtet nachzuweisen, dass dies nicht der Fall ist und somit den gesetzlichen Vorgaben entspricht. Denn der Schutz des Klimas hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Im Jahr 2007 hat dies dazu geführt, dass die Europäische Kommission (EK) über einen Vorschlag für den CO₂-Flottengrenzwert nachgedacht hat. Dieser CO₂-Flottengrenzwert beschreibt den durchschnittlichen CO₂-Ausstoß aller, in einem Jahr in der Europäischen Union (EU) zugelassen Fahrzeuge eines Herstellers, die diesen Wert nicht überschreiten dürfen. Erst im Jahr 2012 wurde von der EU der erste Flottengrenzwert festgelegt und galt ab dem Jahr 2015 mit 130 g CO₂/ km. Im April 2019 ist es zu einer neuen EU-Vorgabe gekommen. Diese verbirgt sich hinter der Abkürzung Verordnung (EU) 2019/631 und dient als Vorgabe für die Flottengrenzwerte, die ab dem Jahr 2025 bzw. ab dem Jahr 2030 gelten sollen. Zum 01.01.2020 wurde der Flottengrenzwerte auf 95 g CO₂/km verringert und gilt seit dem Jahr 2021. Werden diese Flottengrenzwerte nicht eingehalten drohen den Herstellern empfindliche Geldstrafen [5]. Eine Leistungssteigerung des Verbrennungsmotors hat immer Auswirkungen auf die Abgas- / Geräuschverhalten sowie die Verkehrssicherheit des Fahrzeuges. Daher muss ein Sachverständiger für den Kraftfahrzeugverkehr oder Unterschriftsberechtigter des Technischen Dienstes (USB) diese Änderung begutachten und ggf. Messungen durchführen. Im Anschluss wird er bestenfalls ein Gutachten anfertigen und dem Fahrzeughalter aushändigen [6].

Ziel dieser Arbeit ist es, die technischen und rechtlichen Aspekte einer Leistungssteigerung zu untersuchen und die Herangehensweise, an die Aufgabe der Identifizierung, solcher Leistungssteigerungen durch die Prüfstellen, aufzuzeigen. Zur Verdeutlichung ist die Aufgabenstellung in zwei Forschungsfragen zusammengefasst.

1. Einleitung

(1) In welchem Umfang sind die verschiedenen Möglichkeiten einer Leistungssteigerung von den amtlichen Vorgaben betroffen und dadurch bei der Eintragung beschränkt?

(2) Inwieweit ist es den Prüfstellen möglich eine Leistungssteigerung während einer HU zu identifizieren?

Mit einem Anwendungsbeispiel soll ein Nachweis über die Leistungssteigerung erbracht werden. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse möchte die Gesellschaft für Technische Überwachung mbH (GTÜ) einen neuen Tuning Ratgeber entwickeln. Für den Bereich der Leistungssteigerung werden die Erkenntnisse aus dieser Arbeit genutzt.

Alle in dieser Bachelorarbeit mit Anführungszeichen, fett und kursive markierten Sätze sind direkte Zitate. Des Weiteren wird in dieser Bachelorarbeit bei der Schreibweise das generische Maskulin verwendet. Im **Anhang A** befinden sich die Technische Daten der Fahrzeuge, die in der Bachelorarbeit vorgestellt werden.

2. Rechtliche Aspekte

Dieses Kapitel beschäftigt sich eingehend mit den rechtlichen- sowie gesetzlichen Vorgaben der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO). Es gibt in der EU Verordnungen (VO) und Richtlinien (RL) und in Deutschland zudem noch nationale Gesetze, so dass zwischen dem internationalen- und dem nationalen Recht unterschieden werden muss. In Deutschland fällt den Überwachungsorganisationen eine wichtige, hoheitliche Aufgabe zu. Sie haben in erster Linie die staatlich vorgeschriebene, regelmäßige Überwachung der Kraftfahrzeuge (Kfz) vorzunehmen. Dadurch sind sie für die Verkehrssicherheit dieser Fahrzeuge mitverantwortlich. Ab dem Zeitpunkt der Erstzulassung muss jedes Fahrzeug alle drei bzw. zwei Jahre bei den Überwachungsorganisationen zur Hauptuntersuchung (HU) nach § 29 StVZO vorgeführt werden. Der Prüflingenieur oder Sachverständige kontrolliert die allgemeine Verkehrssicherheit des Fahrzeuges und bringt bei bestandener Prüfung am hinteren Kennzeichen eine Prüfplakette an. Anhand dieser Prüfplakette kann der nächste HU-Termin abgelesen werden. Zusätzlich sind diese Überwachungsorganisationen die Instanzen, die überprüfen ob, die Vorschriften auch bei Änderungen an Fahrzeugen (z.B. bei einer Leistungssteigerung des Verbrennungsmotors) eingehalten werden. Die Betriebserlaubnis erlischt nach § 19 Abs. 2 StVZO, wenn genehmigte Komponenten geändert werden. Sie kann ebenfalls erlöschen, wenn durch die Änderung eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer zu erwarten ist oder das Abgas-/Geräuschverhalten sich verschlechtert [7, S.13-15]. Um wieder am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen zu können muss das Kfz bei einer Überwachungsorganisation vorgestellt werden. Der Sachverständige / USB begutachtet und bewertet die vorgenommene Veränderung. Es dienen ihm dabei u.a. die Prüfzeugnisse in der Form von Gutachten als Arbeitsgrundlage. Aufgrund der Vielzahl von Gutachten werden die verschiedenen Arten im **Unterkapitel 2.2** gesondert behandelt. Anhand der Gutachten und Kontrolle entscheidet der Sachverständige, ob eine Änderungsabnahme nach § 19 Abs. 3 StVZO oder eine Einzelabnahme nach § 19(2)/ 21 StVZO nötig wird [8].

2.1 Gesetzliche Vorgaben

Gesetzliche Vorgaben bilden die Grundlage, damit Fahrzeuge am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen dürfen. Diese müssen jederzeit auch bei technischen Veränderungen berücksichtigt werden. Dabei ist das Straßenverkehrsgesetz (StVG) ein wichtiger Bestandteil im deutschen Verkehrsrecht. Es handelt sich um ein nationales Bundesgesetz, das die Grundlagen des Straßenverkehrsrechts beinhaltet [9]. Die Definition eines Kfz erfolgt mit dem § 1 StVG Abs. 2-3.

(2) „Als Kraftfahrzeuge im Sinne dieses Gesetzes gelten Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden, ohne an Bahngleise gebunden zu sein [10].“

Diese Definition ist allgemein gehalten und muss präzisiert werden. Dafür gibt es den Abs. 3.

(3) „Keine Kraftfahrzeuge im Sinne dieses Gesetzes sind Landfahrzeuge, die durch Muskelkraft fortbewegt werden und mit einem elektromotorischen Hilfsantrieb mit einer Nenndauerleistung von höchstens 0,25 kW ausgestattet sind, dessen Unterstützung sich mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit progressiv verringert und

1. beim Erreichen einer Geschwindigkeit von 25 km/h oder früher,

2. wenn der Fahrer im Treten einhält, unterbrochen wird.“

[10]

Es wird zwischen dem nationalen und dem internationalen Recht unterschieden. Für das Tuning am Kfz ist national die StVZO entscheidend. International gilt das Europäische Gemeinschaft (EG)-Recht.

- Die StVZO ist eine Rechtsverordnung und besteht aus mehreren Paragrafen. Zu diesen Paragrafen gibt es entsprechende Richtlinien und Erläuterungen, welche die Anwendung des Gesetzes vorgeben. Außerdem beschreibt die StVZO wie und unter welchen Voraussetzungen Fahrzeuge am Straßenverkehr teilnehmen dürfen. Dabei geht es besonders um die Bau-/Betriebsvorschriften sowie um die Betriebserlaubnis und die Bauartgenehmigung [11].
- Das EG-Recht besteht aus RL und VO. Diese besitzen Anhänge in denen konkrete Vorgaben und Grenzwerte enthalten sind. Das internationale Recht steht in der Hierarchie über dem nationalen Recht.

2. Rechtliche Aspekte

Wird eine neue EG-VO festgelegt ist diese verbindlich und gilt in allen Mitgliedstaaten einheitlich und vollständig. Sie ist für alle EG-Bürger bindend und muss nicht in nationales Recht umgesetzt werden. Eine EG-RL dient der Angleichung der unterschiedlichen nationalen Rechtsordnungen. Sie legt ein verbindliches Ziel für die Mitgliedsstaaten fest, aber lässt den Mitgliedsstaaten bei der Form der Mittel zur Umsetzung Freiraum. Für die Umsetzung dieser RL in nationales Recht ist eine bestimmte Frist vorgesehen. Sie müssen dann in den einzelnen Mitgliedstaaten umgesetzt werden [12].

Im **Anhang B** sind die wichtigsten EG-RL und VO aufgeführt. Kfz benötigen eine Typgenehmigung, damit sie am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen dürfen. Die Genehmigung erteilt den Automobilherstellern die Erlaubnis, Fahrzeuge herzustellen und diese in Verkehr zu bringen. Durch das Inverkehrbringen eines Kfz kann es zu einer Betriebsgefahr kommen und im schlimmsten Fall zu Personen- oder Sachschäden führen [13]. Daher wird im § 7 StVG „**die Haftung des Halters**“ geregelt [14]. In Deutschland muss bei der Typgenehmigung zwischen der Allgemeinen Betriebserlaubnis (ABE) und der EG-Typgenehmigungen unterschieden werden. Beide erkennen die Vorschriftsmäßigkeit eines Fahrzeuges an und somit dessen Verkehrssicherheit [15]. Die ABE ist eine nationale Genehmigung, die nur in Deutschland entsprechend der StVZO gilt und vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) erteilt wird. Dazu muss der Automobilhersteller alle Daten sowie die Konstruktionsunterlagen beim KBA hinterlegt haben [7, S.13]. Zusätzlich stellt der Automobilhersteller einen Prototyp zur Prüfung vor. Wird diese positiv abgeschlossen, erhalten alle Fahrzeuge der Serie, die diesem Typ entsprechen, eine Zulassung [16]. Es gibt ABE's für Typfahrzeuge, für Einzelfahrzeuge und für Fahrzeugteile. Bei Typfahrzeugen handelt es sich um serienmäßige produzierte Fahrzeuge [15]. Anhand der hinterlegten Unterlagen fertigt das KBA ein Typgutachten an. Davon sind die wichtigsten Daten in der Zulassungsbescheinigung Teil 1 (ZB 1), auch Fahrzeugschein genannt, abgedruckt [7, S.13]. Das Pendant zur ABE ist die EG-Typgenehmigung. Sie ist eine internationale Typgenehmigung und wird nach Prüfung und Statuten der EG-RL ausgestellt. Im Jahr 1958 wurde die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (EWG), mit dem Ziel gegründet, den Warenverkehr innerhalb der sechs Gründungsmitglieder zu vereinfachen. Die Gründungsländer hatten bis zum Jahr 1969 auf nationaler Ebene bestimmte technische Anforderungen und Merkmale für Kfz vorgegeben/festgelegt, die zwingend vorge-schrieben waren. Erst nach einer, auf die Bauart bezogenen Kontrolle der Einhaltung dieser Bestimmung (in Deutschland die ABE), war ein Inverkehrbringen möglich. Um dieses Verfahren in den jeweiligen Mitgliedstaaten zu vereinfachen, wurde die Rahmenrichtlinie 70/156/EWG 1970 festgelegt. Mit ihr wurde ein Rahmen über die Betriebserlaubnis von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern geschaffen. Mit dieser RL kann der Automobilhersteller in einem der Mitgliedstaaten ein Kfz zur Typgenehmigung vorstellen. Das Kfz wird anhand einer vollständigen Reihe einheitlicher und auf europäischer Ebene festgelegten technischen Anforderungen überprüft und dann bei positiv abgeschlossener Prüfung zugelassen. Kfz mit einer EG-Typgenehmigung können ohne eine weitere Prüfung innerhalb der Mitgliedsstaaten zugelassen werden [17, S.143-144].

2. Rechtliche Aspekte

Es entfällt die teure und aufwändige Einzelabnahme, die bei Kfz durchgeführt werden muss, die nur eine nationale Typgenehmigung besitzen [13]. Zusätzlich umfasst die Rahmenrichtlinie eine vollständige Auflistung der verschiedensten Merkmale, Systeme und Bauteile eines Fahrzeuges. Diese werden wiederum von 44 Einzelrichtlinien geregelt [17, S.143-144]. Im Laufe der Jahre wurde die Richtlinie 70/156/EWG in wesentlichen Punkten abgeändert. Im Jahr 2007 standen wieder umfangreiche Änderungen an. Es empfahl sich eine Neufassung dieser Richtlinie und wurde mit der RL 2007/46/EG erreicht. Diese RL dient **„zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhänger sowie Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge.“** Sie wurde am 01.09.2020 durch die EU-VO 2018/858 ersetzt. Diese beinhaltet zusätzlich das Thema der Marktüberwachung [18]. Seit dem 01.10.2005 sind die Automobilhersteller dazu verpflichtet jedem Neuwagenkäufer neben der EG-Typgenehmigung die **„Konformitätsbescheinigung“**, **„Certificate of Conformity“** (CoC) auszuhändigen [13]. Mit dieser Bescheinigung weisen die Automobilhersteller nach, dass das Kfz den EU-Normen entspricht und eine gültige EG-Typgenehmigung besitzt. Auf den meisten deutschen CoC-Papieren steht in der Kopfzeile der Begriff **„EU-Übereinstimmungsbescheinigung“**. Es ist in der jeweiligen Landessprache der Mitgliedstaaten verfasst und ist für die Zulassung extrem wichtig, da es alle wichtigen technischen Daten des Kfz wie z.B. die Maße, das Gewicht oder die Reifengröße enthält [19]. Die EG-Typgenehmigung wird, wie die ABE, durch das KBA für die Fahrzeugklassen M1 (Pkw) und N1 (Lkw) erteilt [20]. Anhand der ZB 1, im Feld K kann abgelesen werden, ob das Kfz eine ABE oder eine EG-Typgenehmigung besitzt. Die EG-Typgenehmigung wird, wie die ABE für Typfahrzeuge, für Einzelfahrzeuge und für Fahrzeugteile erstellt [21]. Nimmt der Fahrzeughalter jetzt technische Veränderungen an seinem Kfz vor, erlischt in der Regel die Betriebserlaubnis nach § 19 StVZO. Dieser Paragraph regelt die **„Erteilung und Wirksamkeit der Betriebserlaubnis“**. Er besteht aus sieben Absätzen. Davon sind die ersten vier Absätze wichtig. Ihr Inhalt wird kurz und knapp in eigenen Worten wiedergegeben. Aufgrund ihrer Wichtigkeit für den Sachverständigen werden die Abs. 2 & 3 im **Anhang C** zitiert. Diese beiden Absätze klären, ob durch eine technische Veränderung des Kraftfahrzeuges eine Änderungsabnahme nach § 19 Abs. 3 StVZO oder eine Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO erfolgen muss.

- Abs. 1 beschäftigt sich mit der allgemeinen Zulassung,
- Abs. 2 zählt Veränderungen auf, die zum sofortigen Erlöschen der Betriebserlaubnis führen,
- Abs. 3 bezieht sich auf den Abs. 2 und nennt Gründe, warum die Betriebserlaubnis doch nicht erlischt, wenn z.B. eine ABE oder ein ECE/EG genehmigtes Bauteil vorliegt und,

2. Rechtliche Aspekte

- Abs. 4 bezieht sich auf den Abs.3. Wenn es für das Bauteil eine ABE oder eine ECE/EG Genehmigung gibt, genügt es in der Regel die Papiere mitzuführen. Bei einem Teilegutachten (TGA) muss das Kfz bei einer Überwachungsorganisation vorstellig werden und unverzüglich eine Eintragung in die Papiere erfolgen.

[22]

§ 21 StVZO regelt die Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge. Eine Einzelbetriebserlaubnis ermöglicht die Wiederinbetriebnahme des geprüften Kfz. Sie ist nicht auf Kfz des gleichen Typs übertragbar. Deshalb wird im **Anhang D** der § 21 StVZO zitiert [23].

2.2 Vorhandene Gutachten

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Gutachten. Einige dieser Gutachten besitzen nur eine nationale Gültigkeit, andere sind wiederum international gültig. Diese sollten bei jedem Teil mitgeliefert werden, da sie dem Sachverständigen als Arbeitsgrundlage dienen.

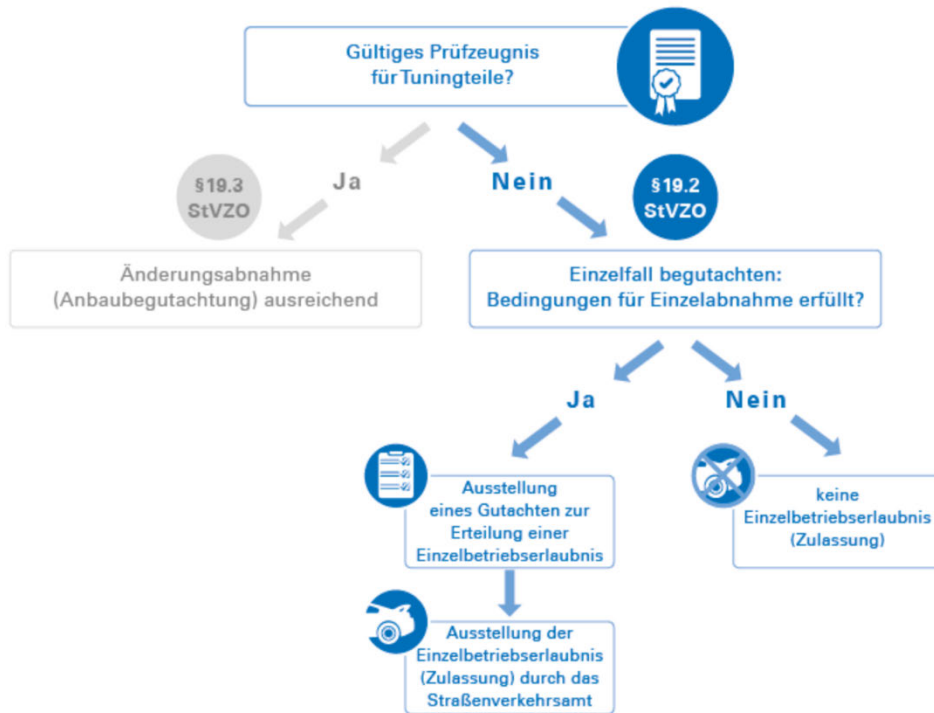


Abbildung 1: Eintragung von Tuningteilen mit oder / ohne Prüfzeugnis [24]

Abbildung 1 zeigt das Vorgehen des Sachverständigen bei der Eintragung von Tuningteilen mit und ohne Prüfzeugnis (Gutachten). Dazu muss der Sachverständige zuerst feststellen, ob für die technische Veränderung ein Gutachten vorliegt. Ist dies der Fall führt er eine Änderungsabnahme nach § 19 (3) StVZO durch. Bei dieser Abnahme kontrolliert der Sachverständige, ob das Teil, das am Kfz montiert ist, mit dem in dem Gutachten beschriebenen Teil übereinstimmt. Zusätzlich überprüft er, ob die Auflagen/Hinweise und der im Gutachten angegebene Verwendungsbereich eingehalten werden. Verläuft die Begutachtung positiv wird ein Gutachten für die Eintragung ausgestellt. Mit diesen Gutachten muss der Fahrzeughalter zur Zulassungsbehörde, die stellt dann eine neue ZB 1 und Zulassungsbescheinigung (ZB 2), auch Fahrzeugbrief genannt, mit der Änderung aus. Sollte der Sachverständige jedoch feststellen, dass der Verwendungsbereich nicht eingehalten wird, oder dass es für die technische Veränderung kein gültiges Gutachten gibt, muss eine Einzelfallbegutachtung nach § 19 (2) StVZO erfolgen.

2. Rechtliche Aspekte

Sind alle Bedingungen vollständig erfüllt, stellt der Sachverständige ein Gutachten zur Erteilung einer Einzelbetriebserlaubnis nach § 21 StVZO aus. Mit diesem Gutachten muss unverzüglich die Zulassungsbehörde aufgesucht werden. Dort werden die Daten aus dem Gutachten in die ZB 1 / ZB 2 übertragen und dadurch wird die Betriebserlaubnis wiederhergestellt [24]. In Deutschland gibt es dafür extra die Fahrzeugzulassungsverordnung (FZV) mit dem § 13 FZV. In diesem Paragraphen werden alle Veränderungen aufgeführt, die einer Mitteilungspflicht bei der Zulassungsbehörde unterliegen. Bei einer Leistungssteigerung betrifft es folgende Daten: Hubraumveränderungen, die neue (erhöhte) Nennleistung, die Erhöhung der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit sowie Änderungen im Abgas- & Geräuschverhalten [25]. Sind diese Daten nicht eingetragen, ist das strafbar und kann im Fall einer Hubraumerhöhung als Steuerhinterziehung geahndet werden. Bei Fahrzeugen deren Erstzulassung vor dem 01.07.2009 liegt, errechnet sich die Kfz-Steuer nur nach dem Hubraum. Ab dem 01.07.2009 wird die Kfz-Steuer zusätzlich anhand des CO₂-Ausstoßes berechnet. Bei Leistungssteigerung muss die Kfz-Versicherung informiert werden. Durch die erhöhte Leistung steigt das Unfallrisiko, die Versicherungsprämie wird entsprechend angepasst. Dies kann in der jeweiligen Versicherungspolice der Kfz-Versicherung nachgelesen werden [26]. Nachfolgend sind die verschiedensten Gutachten aufgeführt. Das bekannteste Gutachten in Deutschland ist die ABE.

Allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) für Fahrzeugteile:

Die ABE für Fahrzeugteile ist eine Typgenehmigung nach nationaler Vorschrift § 22 StVZO [27]. Sie gilt nur in Deutschland und soll sicherstellen, dass durch die Verwendung dieser Fahrzeugteile die Vorschriften nach § 22 StVZO eingehalten werden. Dazu muss im Voraus eine Prüfung des Teils durch einen technischen Dienst bzw. technische Prüfstelle erfolgen. Diese Ergebnisse werden dokumentiert und dann beim KBA eingereicht. Anhand der Unterlagen/Ergebnisse vergibt das KBA die Genehmigungsnummer für das geprüfte Fahrzeugteil. In der Regel genügt das Mitführen der ABE. Sollte doch eine Abnahme durch den Sachverständigen nötig sein, steht dies in den Auflagen/Hinweisen der ABE. Eine ABE gibt es für verschiedene Fahrzeugteile wie z.B. :

-Alufelgen, Spoiler, Stoßstangen, Sportsitze, Überrollkäfig usw. [28].

2. Rechtliche Aspekte



Kraftfahrt-Bundesamt

DE-24932 Flensburg

Allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) National Type Approval

ausgestellt von:

Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)

nach § 22 in Verbindung mit § 20 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)
für einen Typ des folgenden Genehmigungsobjektes

Sonderräder für Pkw 9 J x 20 H2

issued by:

Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)

according to § 22 and 20 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) for a type
of the following approval object

special wheels for passenger cars 9 J x 20 H2

Genehmigungsnummer: **53651*00**

Approval number:

1. Genehmigungsinhaber:
Holder of the approval:
Superior Industries Leichtmetallräder Germany GmbH
DE-67098 Bad Dürkheim
2. Gegebenenfalls Name und Anschrift des Bevollmächtigten:
If applicable, name and address of representative:
Entfällt
Not applicable
3. Typbezeichnung:
Type:
AUVX 9020

Abbildung 2: ABE einer Felge [29]

In **Abbildung 2** ist die erste Seite einer ABE für ein Sonderrad abgebildet. Diese enthält neben der Genehmigungsnummer die Typbezeichnung der Felge sowie den Genehmigungsinhaber. Die nachfolgenden Seiten beschreiben die Kennzeichnung der Felge, welcher Technische Dienst/Technische Prüfstelle die Prüfung durchgeführt hat, sowie Bemerkungen/Hinweise/Auflagen und Anlagen.

2. Rechtliche Aspekte

Die Anlagen beinhalten die verschiedenen Gutachten für das Sonderrad. Sie dienen mit dem dazugehörigen Prüfbericht als Grundlage für die ABE-Beantragung.

GUTACHTEN zur ABE Nr. **53651** nach §22 StVZO

Anlage 1 zum Prüfbericht Nr. **55017021** (1. Ausfertigung)

Prüfgegenstand
Hersteller

PKW-Sonderrad 9Jx20 H2 Typ AUVX 9020
Superior Industries Leichtmetallräder Germany GmbH



Seite 1 von 16

Auftraggeber

Superior Industries Leichtmetallräder Germany GmbH
Gustav-Kirchhoff-Straße 10
D-67098 Bad Dürkheim
QM-Nr.: 49 02 0131806

Prüfgegenstand

Modell Auvora
Typ AUVX 9020
Radgröße 9Jx20 H2
Zentrierart Mittenzentrierung

Ausführung	Kennzeichnung Rad/ Zentrierung	Lochzahl/ Lochkreis- (mm)/ Mittenloch-ø (mm)	Einpresstiefe (mm)	Radlast (kg)	Abrollumfang (mm)
FO1	AUVX 9020 FO1 / ohne Ring	5/108/63,4	38,5	830	2310

Kennzeichnungen

KBA-Nummer 53651
Herstellerzeichen ATS Germany
Radtyp und Ausführung AUVX 9020 (s.o.)
Radgröße 9Jx20 H2
Einpresstiefe ET.. (s.o.)
Herstelldatum Monat und Jahr

Befestigungsmittel

Nr.	Art der Befestigungsmittel	Bund	Anzugsmoment (Nm)	Schaftlänge (mm)	Artikel-Nr.
S01	Mutter M12x1,5	Kegel 60°	125	-	Multipack: 64A
S02	Mutter M12x1,5	Kegel 60°	130	-	Multipack: 64A
S03	Mutter M14x1,5	Kegel 60°	140	-	Multipack: 117
S04	Serienschraube M14x1,5	Kegel 60°	140	31,5	
S05	Serienbundmutter M12x1,5 für Alu-Räder	Kegel 60°	135	-	
S06	Serienschraube M14x1,5	Kegel 60°	140	33,5	
S07	Mutter M14x1,5	Kegel 60°	135	-	Multipack: 117
S08	Mutter M14x1,5	Kegel 60°	125	-	Multipack: 117
S09	Mutter M14x1,5 (Classe 10)	Kegel 60°	170	-	Multipack: 117A
S10	Mutter M14x1,5 (Classe 10)	Kegel 60°	220	-	Multipack: 117A

Prüfungen

Entsprechend den Kriterien des VdTÜV Merkblattes 751 (in der jeweils gültigen Fassung) wurden an den im Verwendungsbereich aufgeführten Fahrzeugen Anbau-, Freigängigkeits- und Handlingsprüfungen durchgeführt.

Verwendungsbereich

Hersteller Ford
Jaguar
Land Rover
Volvo

Spurverbreiterung innerhalb 2%

Technologiezentrum Typprüfstelle Lambsheim - Königsberger Straße 20d - D-67245 Lambsheim

Abbildung 3: Gutachten zur ABE [29]

In **Abbildung 3** ist die erste Seite eines Gutachtens für das gleiche Sonderrad des Herstellers ATS dargestellt.

2. Rechtliche Aspekte

Die Kopfzeile beinhaltet den Prüfgegenstand (in diesem Fall das Sonderrad), den Hersteller sowie die Überwachungsorganisation, die das Sonderrad geprüft hat. Anschließend erfolgt eine genaue Beschreibung des Prüfgegenstandes. Bei Felgen ist beispielsweise das richtige Befestigungsmaterial besonders wichtig. Außerdem wird der vorgesehene Verwendungsbereich inkl. der freigegeben Reifengröße in dem Gutachten aufgeführt. Die Prüfungen haben an den Fahrzeugen, die im Verwendungsbereich angegeben wurden, stattgefunden. Dabei diente das Merkblatt 751 vom Verband der TÜV e.V. (VdTÜV) als Arbeitsgrundlage. Laut diesem Merkblatt wurde die Freigängigkeit sowie der Anbau kontrolliert und es wurde eine Handlingsprüfung durchgeführt [30]. Die Folgeseiten des Gutachtens enthalten Auflagen und Hinweise, die unbedingt einzuhalten sind.

Allgemeine Bauartgenehmigung (ABG):

Die Allgemeine Bauartgenehmigung ist eine nationale Typgenehmigung für genehmigungspflichtige Fahrzeugteile nach § 22a StVZO [27]. Dort wird festgelegt, dass Einrichtungen am Fahrzeug in einer bestimmten amtlichen genehmigten Bauart ausgeführt sein müssen. Dabei ist es egal, ob sie an zulassungspflichtigen oder zulassungsfreien Fahrzeugen verwendet werden [31]. Zulassungsfreie Fahrzeuge sind z.B. Leichtkrafträder, Kleinkrafträder mit zwei oder drei Rädern [32]. Nach § 22a Abs.1 StVZO gehören dazu eine Vielzahl von Teilen (Liste ist nicht vollständig): **„Heizung in Kraftfahrzeugen (ausgenommen elektrische Heizungen sowie Warmwasserheizung, bei denen als Wärmequelle das Kühlwasser des Motors verwendet wird) (§35 c Absatz1), Luftreifen (§ 36 Absatz 2), Gleitschutzeinrichtungen (§ 37 Absatz 1 Satz 2), Scheiben aus Sicherheitsglas (§ 40) und Folien für Scheiben aus Sicherheitsglas, Frontschutzsysteme (§ 30c Absatz 4), Auflaufbremsen ausgenommen ihre Übertragungseinrichtungen und Auflaufbremsen, die nach den im Anhang zu § 41 Absatz 18 genannten Bestimmungen über Bremsanlagen geprüft sind und deren Übereinstimmung in der vorgesehenen Form bescheinigt ist, Scheinwerfer für Fernlicht und für Abblendlicht sowie für Fern- und Abblendlicht (§ 50) [33]“**. Das Genehmigungsverfahren für diese Teile ist gemäß dem § 22a Abs. 2 StVZO entsprechend den Bestimmungen der Fahrzeugteilverordnung (FzTV) durchzuführen. Laut dem § 1 Abs.1 FzTV dürfen Fahrzeugteile innerhalb der ABG entweder als Produkt aus Serienfertigung oder als Einzelgenehmigung (EBG) zugelassen werden. Seriengefertigte Teile erhalten nach ihrer Genehmigung ein nationales Prüfzeichen durch das KBA. Fahrzeughalter sind dazu verpflichtet die Unterlagen der ABG mitzuführen und auf Verlangen von berechtigten Personen vorzuzeigen [31].



Abbildung 4: ABG Prüfzeichen [34]

2. Rechtliche Aspekte

In **Abbildung 4** wird das ABG-Prüfzeichen für in Serie gefertigte Fahrzeugteile dargestellt. Es besteht aus einer Wellenlinie von drei Perioden, einem oder zwei Kennbuchstaben und einer Nummer. Dieser Nummer können noch weitere Zeichen folgen. Mit dem Kennbuchstaben wird die Art des Fahrzeugteils angegeben. In diesem Fall steht der Buchstabe M für „**Einrichtungen zum Verbinden von Fahrzeugen**“ [34]. Im nachfolgenden werden die Kennbuchstaben für die jeweilige Art der Fahrzeugteile aufgeführt:

- D** Sicherheitsglas und Folien zur Aufbringung auf Scheiben von Fahrzeugen
- E** Fahrtschreiber
- F** Auflaufbremse und Teile davon
- K** lichttechnische Einrichtungen
- L** Gleitschutzeinrichtungen
- M** Einrichtung zum Verbinden von Fahrzeugen
- R** Reifen
- S** Heizung
- W** Warneinrichtungen mit einer Folge von Klängen verschiedener Grundfrequenzen (Einsatzhorn)“

Ist das Fahrzeugteile aus zwei verschiedenen Arten gemeinsam genehmigt, so enthält das Prüfzeichen beide Kennbuchstaben [35].

Einzelbauartgenehmigung (EBG):

Mit Hilfe der Einzelbauartgenehmigung können einzelne Fahrzeugteile die nach § 22a Abs.1 StVZO nicht zu einem genehmigten Typ gehören, zugelassen werden. Dazu erstellt der Sachverständige ein Gutachten und vergibt das entsprechende Prüfzeichen. Die Zulassungsbehörde kann anhand des Gutachtens eine Einzelbauartgenehmigung ausstellen [36]. Diese muss jederzeit mitgeführt werden.

TP 28 123456

Abbildung 5: EBG-Prüfzeichen [34]

In **Abbildung 5** ist das Prüfzeichen einer Einzelbauartgenehmigung (EBG) abgebildet. Es besteht aus den Kennbuchstaben TP oder TD und einer Prüfnummer. Dabei steht die Abk. TP für Technische Prüfstelle und TD für Technischer Dienst. Die Prüfzeichen werden vom jeweiligen TP/TD ausgestellt [34].

2. Rechtliche Aspekte

EWG-Bauartgenehmigung:

Hierbei handelt es sich nach § 21 Abs. 2 StVZO um eine internationale Bauartgenehmigung. In Deutschland geprüfte Teile, die diese Genehmigung erhalten haben, sind in allen Ländern der EG gültig.

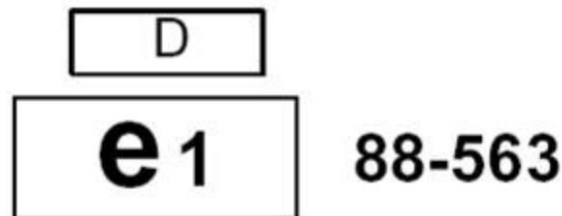


Abbildung 6: EWG-Prüfzeichen [34]

Abbildung 6 zeigt das EWG-Prüfzeichen. Dieses besteht aus einem Rechteck und dem Buchstaben e. Hinter dem Buchstaben befindet sich eine Ziffer. Diese Ziffer gibt den Mitgliedstaat an, der das Bauteil genehmigt hat. Die Ziffer 1 steht für Deutschland. Außerhalb des Rechteckes befindet sich die Bauartgenehmigungsnummer [34].

EG-Typgenehmigung / EWG-Betriebserlaubnis als technische Einheit:

Die EG-Typgenehmigung ist nach § 21a Abs.2 StVZO die internationale Bauartgenehmigung. Es gilt das gleiche wie bei der EWG-Bauartgenehmigung. Es kann hierbei zu Ausnahmen kommen, wenn die Länder eigene Regelungen aufgestellt haben, die diese Genehmigung untersagen. Ein Beispiel dafür ist gelbes Fernlicht. In Deutschland ist das Verwenden von gelbem Fernlicht untersagt, obwohl das Leuchtmittel eine EG-Genehmigung erhalten hat. Die EWG-Betriebserlaubnis ist die europäische Version der ABE. Dadurch wird es ermöglicht ein Anbauteil im europäischen Ausland, das mit einer EWG-Nummer versehen ist, nicht nur zu kaufen, sondern auch zu verwenden. Natürlich können auch Auflagen aufgeführt sein wie z.B. das Eintragen des Teils. In der Regel genügt ein Mitführen der Unterlagen wie bei einer ABE oder ABG. Früher war der Aufwand für eine Zulassung solcher Teile aus dem europäischen Ausland in Deutschland mit großem Aufwand verbunden [37, S.18-20].

2. Rechtliche Aspekte



Abbildung 7: Prüfzeichen EWG-Betriebserlaubnis [34]

In **Abbildung 7** ist das Prüfzeichen der EWG-Betriebserlaubnis dargestellt. Es weist eine sehr starke Ähnlichkeit mit dem EWG-Prüfzeichen laut **Abbildung 6** auf. Es besteht aus dem Buchstaben e in einem Rechteck. Zusätzlich wird entweder eine Ziffer oder der Kennbuchstabe des Mitgliedstaates angegeben, der die Teileprüfung durchgeführt hat. Weiterhin wird eine Ziffernfolge angegeben [34].

Economic Commission for Europe (ECE)-Genehmigung:

ECE ist auch eine internationale Bauartgenehmigung nach § 21 a Abs. 2 StVZO. Dieses ECE-Prüfzeichen ist durch die Economic Commission for Europe eine vereinbarte Kennzeichnung. Es wird auch E-Kennzeichnung oder E-Kennung genannt. Angebracht wird dieses Prüfzeichen auf genehmigungspflichtigen Fahrzeugteilen und Ausrüstungsteilen. In Deutschland geprüfte Teile erhalten die Ziffer 1. Diese Genehmigung ist in allen Mitgliedstaaten der ECE gültig [37, S.18]. Mitglieder der ECE sind alle EU-Staaten sowie die meisten Industrienationen [38]. Zusätzlich wird durch Genehmigung der grenzüberschreitende Handel vereinfacht [39]. Teile mit einer E-Kennzeichnung benötigen in Deutschland keine Eintragung in die Fahrzeugpapiere. Dies gilt aber nur so lange, wie der vorgegebene Verwendungsbereich eingehalten wird [38].



Abbildung 8: ECE-Prüfzeichen [40]

In **Abbildung 8** wird das ECE-Prüfzeichen abgebildet. Dieses Prüfzeichen hat durch den Aufbau eine gewisse Ähnlichkeit zum EWG-Prüfzeichen in **Abbildung 6**. Dieses Prüfzeichen ist jedoch als Kreis ausgeführt. In dessen Inneren befindet sich ein großes E und eine Ziffer. Diese Ziffer gibt den Mitgliedstaat an, der das Bauteil genehmigt hat. Dabei steht die 1 für Deutschland. Außerhalb des Kreises befindet sich eine Zahl und dahinter der Buchstabe R. Diese beiden ergeben die ECE-Regelung, nach der das Bauteil geprüft wurde.

2. Rechtliche Aspekte

13 R steht für die ECE-Regelung „**Einheitliche Vorschriften von Bremsen bei den Fahrzeugklassen M (PKW), N (LKW) und O (Anhängern)**“ [41]. Die dahinter befindliche Nummer ist eine fortlaufende Prüfnummer der Bremsanlage [40].

Prüfbericht für Fahrzeugteile:

Der Prüfbericht ist der Vorläufer des Teilegutachtens (TGA) und wurde durch dieses ersetzt. Der Unterschied zwischen TGA und Prüfbericht ist die Anzahl der vorgenommenen Prüfungen. Es erfolgen heutzutage immer noch Eintragungen anhand eines Prüfberichts. Dazu führt der Sachverständige eine Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO durch [42].

Teilegutachten (TGA):

Teile, die mit einem TGA ausgestattet sind, müssen nach dem Einbau unverzüglich bei einer Überwachungsorganisation vorgeführt werden. Dabei kontrolliert der Sachverständige den angegebenen Verwendungsbereich und gleicht diesen mit dem vorgeführten Fahrzeug ab. Zusätzlich überprüft er die im Gutachten vorgegebenen Auflagen und Hinweise. Fällt die Begutachtung positiv aus, erfolgt die Eintragung per Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO. Ist der laut Gutachten vorgesehene Verwendungsbereich nicht eingehalten, kann die Eintragung nur per Einzelabnahme nach §19(2)/21 erfolgen. Jedes TGA besitzt eine Genehmigungsnummer, anhand dieser Nummer lässt sich das Gutachten bei den Überwachungsorganisationen jederzeit aufrufen. Die Teilenummer ist im Gutachten aufgeführt und muss mit dem verbauten Teil übereinstimmen. So kann der Sachverständige sichergehen, dass das Gutachten zu dem verbauten Teil gehört [43]. Einige TGA besitzen einen Anhang, in dem Bilder der Teile vor dem Einbau dargestellt sind. Dies wird besonders bei Zusatzsteuergeräten/Powerboxen angewendet, die zur Leistungssteigerung dienen, da diese nach dem Einbau nicht mehr sichtbar sind.

2. Rechtliche Aspekte

Teilegutachten / *Technical component report*
Nr. / No.: GTÜ TGA – 18026.00



Teiletyp /
Component type : 1020100H
Hersteller /
Manufacturer : SIP Scootershop GmbH

TEILEGUTACHTEN TECHNICAL COMPONENT REPORT

über die Vorschriftsmäßigkeit eines Fahrzeuges bei bestimmungsgemäßem Ein- oder Anbau von Teilen gemäß § 19 Abs. 3 Nr. 4 StVZO /
concerning the proper condition of a vehicle when components are installed or added in an appropriate manner according to § 19 Paragraph 3 No. 4 StVZO

für das Teil / den Änderungsumfang /
for part / scope of change : Tuningkit (bestehend aus Zylinder, Schwimmerkammer, Vergaserhauptdüse, Gasschieber, Auspuffanlage) / *tuning kit (consisting of cylinder, float chamber, carburetor main nozzle, gas slide, exhaust system)*

vom Typ / *of type* : 1020100H

des Herstellers / *by manufacturer* : SIP Scootershop GmbH
Marie-Curie-Str. 4
86899 Landsberg am Lech



für die Fahrzeuge / *for these vehicles* : Verwendungsbereich siehe Abschnitt I /
for application area see section I

Die Kopie dieses Teilegutachtens hat nur Gültigkeit mit Originalstempel und Unterschrift des Herstellers SIP Scootershop GmbH und darf nur für folgendes Fahrzeug verwendet werden: /
The copy of this technical component report is only valid in conjunction with original stamp and signature of the manufacturer SIP Scootershop GmbH and may only be used for the following vehicle:

Fahrzeugtyp / *Vehicle type:*

mit der FIN / *with VIN:*

Landsberg, _____

Stempel / Unterschrift / *Stamp / Signature*

GTÜ - Gesellschaft für
Technische Überwachung mbH
Vor dem Lauch 25
D-70567 Stuttgart

PRÜFLABORATORIUM / *TEST LABORATORY*
DIN EN ISO/IEC 17025 und/and DIN EN ISO/IEC 17020
Registrier-Nr. / *Registration number* KBA-P 00077-09

Rev.01 Seite / *Page* 1 von / *of* 11

Abbildung 9: TGA einer Leistungssteigerung [44]

2. Rechtliche Aspekte

Abbildung 9 zeigt die erste Seite eines TGA für eine Leistungssteigerung. Die Kopfzeile beinhaltet die Genehmigungsnummer für das Gutachten, den Prüfgegenstand, der Hersteller des Prüfgegenstandes und die Überwachungsorganisation, die das Gutachten erstellt hat. Die erste Seite beschreibt immer den Änderungsumfang. In diesem Fall handelt es um eine Leistungssteigerung bei einem Motorroller. Die nachfolgenden Seiten enthalten Hinweise für den Fahrzeughalter und den vorgesehenen Verwendungsbereich, bei dem die Leistungssteigerung erfolgen darf. Zusätzlich werden in diesem Gutachten die Einzelteile des Änderungsumfanges beschrieben und mit Bildern ergänzt. Die Bilder dienen dem Sachverständigen als Orientierung, damit dieser die Kennzeichnung auf den montierten Teilen wiederfindet. Die im TGA aufgeführten Auflagen sind einzuhalten [44].

Materialgutachten:

Das Materialgutachten und das TGA unterscheiden sich voneinander. Ein TGA bezieht sich immer auf ein bestimmtes Fahrzeug/Fahrzeugtyp. Dagegen ist das Materialgutachten Fahrzeug/Fahrzeugtyp unabhängig. Ein Materialgutachten sagt nur etwas über die Materialbeschaffenheit aus. Es wird dabei das Bruchverhalten/Splitterverhalten sowie die Brennbarkeit untersucht und dokumentiert [45]. Zum Teil findet keine Prüfung der Funktion seitens der Hersteller statt. Trotzdem verkaufen die Hersteller ihre Teile wie z.B. Spoiler oder Hauben mit Materialgutachten und werben mit einer leichten Eintragung. Diese Teile können aber nur per Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO eingetragen werden. Dafür muss der Sachverständige die Funktion des Teils und deren Einfluss auf das Fahrverhalten sowie die Verkehrssicherheit des Kfz genauestens untersuchen. Es müssen oft aufwändige und teure Tests erfolgen [37, S.20]. Bei einem Spoiler wird eine Probefahrt mit Fahrzeughöchstgeschwindigkeit unternommen. Dadurch kann der Sachverständige sichergehen, dass keine Gefahr von dem Spoiler ausgeht und genügend Festigkeit gewährleistet ist [45].

Festigkeitsgutachten:

Ein Festigkeitsgutachten stellt nur eine Momentaufnahme dar. Mit diesem Gutachten konnten bis zum Jahr 2008 Felgen per Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO eingetragen werden. Ab 2008 dürfen Eintragungen bei Felgen aber nur noch mit einer ABE oder einem TGA erfolgen. Grund hierfür ist, dass ein Festigkeitsgutachten nur die Prüfbedingung sowie den technischen Wert der Prüfräder belegt. Anhand dieser Daten kann der Sachverständige aber nicht feststellen, ob die Felgen, die er jetzt eintragen soll, mit den Prüfrädern identisch sind. Heutzutage ist dieses Gutachten ein Baustein von vielen, damit eine Felge eine ABE, ECE-Genehmigung oder ein TGA erhält [46]. Der § 30 StVZO mit seiner Erläuterung 42 enthält alle Prüfungen, die Felgen für eine erfolgreiche Zulassung absolvieren müssen [47].

2. Rechtliche Aspekte

Mustergutachten:

Ein Mustergutachten ist eine Beurteilung sowie Prüfung eines Einzelteils. Diese Art von Gutachten enthält Hinweise für den Sachverständigen, die dieser bei montierten Teilen kontrollieren soll. Für den Fahrzeughalter gilt der Hinweis, dass dieser nach erfolgreicher Vorführung die Zulassungsstelle aufsuchen muss. Diese trägt die geänderten Daten in die ZB 1 / ZB 2 ein. In dem Gutachten erfolgt eine Beschreibung des Teils und es wird der vorgesehene Verwendungsbereich aufgeführt. Eine Eintragung kann der Sachverständige nur per Einzelabnahme nach §19(2)/21 StVZO durchführen [48].

Herstellerbescheinigung für eine Leistungssteigerung:

Einige Hersteller bieten für eine Leistungssteigerung eine Herstellerbescheinigung an. Mit dieser Bescheinigung, dem dazugehörigen Prüfbericht und dem VdTÜV-Merkblatt 751 kann der Sachverständige die Leistungssteigerung mit einer Einzelabnahme nach §19(2)/21 StVZO eintragen. Die Firma Porsche hat für den Porsche 914/6, der ursprünglich mit einem 110 PS starken 6-Zylinder Boxermotor ausgeliefert wurde, eine solche Herstellerbescheinigung erstellt.

2. Rechtliche Aspekte

PORSCHE										
Grundtyp 914	Nr. 1/2	Herstellerbescheinigung								
Diese Bescheinigung ist nur gültig mit Originalstempel und Unterschrift der Porsche AG oder einem autorisierten Porsche Zentrum in Verbindung mit dem beiliegenden, von der Porsche AG ausgestellten Autorisierungsnachweis.										
		Stempel / Unterschrift								
Die Reifen- und Räderkombination ist entsprechend dem technischen Stand des ursprünglichen Fahrzeugs, dem der verwendete Motor serienmäßig zugeordnet war, anzugleichen. Die Reifenqualität muß nach der erreichbaren Höchstgeschwindigkeit, den maximal zulässigen Achslasten und gleichzeitiger Berücksichtigung des Toleranzkataloges der STVZO (§ 30) gewählt werden. Verwenden Sie nur die von der Porsche AG geprüften und empfohlenen Reifenfabrikate der aktuellen Freigabeliste. Dabei sind grundsätzlich nur Reifen des gleichen Fabrikats und Typs, sowie der gleichen Geschwindigkeitsklasse ("W" oder "ZR") und Spezifikationskennziffer ("N0", "N1", "N2" oder "N3") zu kombinieren. Für die zahlreichen Umbaumöglichkeiten liegen die entsprechenden Arbeitsanweisungen und Teilleisten nicht vor. Es ist deshalb nötig, Modifikationen durch geschultes Personal bei einem der autorisierten Porsche Zentren vornehmen zu lassen. Wenn die technischen Daten des verwendeten Porsche Serienmotors nicht anderweitig vorliegen, können diese nach Angabe der Motornummer beim technischen Kundendienst der Porsche AG, Abt. VKT4, angefordert werden. 1. Auflagen und Hinweise 1.1 Das Fahrzeug muß sich in technisch einwandfreiem Allgemeinzustand befinden. Dies gilt im besonderen für alle Bauteile und Bereiche des Fahrzeugs, die mit der beschriebenen Änderungen in direktem Zusammenhang stehen. Bereits vor Durchführung der beabsichtigten Motoränderung empfehlen wir, anhand dieser Herstellerbescheinigung die Stellungnahme der Technischen Prüfstelle einzuholen, die später mit der Abnahme des modifizierten Fahrzeugs beauftragt werden soll. 1.2 Motoren mit einem Hubraum >3000 cm³ sind nicht zulässig. 1.3 Entsprechend der Leistung des vorgesehenen Motors sind folgende Mindestforderungen zu erfüllen: <table style="width: 100%; border: none;"><tr><td style="width: 30%;">bis 96 kW (130 PS)</td><td>keine Änderungen erforderlich</td></tr><tr><td>bis 118 kW (160 PS)</td><td>Stabilisatoren vorne und hinten</td></tr><tr><td>bis 132 kW (180 PS)</td><td>Stabilisatoren vorne und hinten sowie innenbelüftete Brems scheiben auch an der Hinterachse</td></tr><tr><td>bis 154 kW (210 PS)</td><td>Stabilisatoren vorne und hinten, Montage der größeren Brems sättel an Vorderachse (Bremsfläche je Rad 76 cm²), innenbelüftete Brems scheiben auch an der Hinterachse sowie zur Versteifung der Karosserie ein "Fest-Dach" der Baureihe 916 oder durch geeignete Rohrversteifungen (Überrollk äfig) gleichwertige Steifigkeit der Karosserie sicherstellen.</td></tr></table>			bis 96 kW (130 PS)	keine Änderungen erforderlich	bis 118 kW (160 PS)	Stabilisatoren vorne und hinten	bis 132 kW (180 PS)	Stabilisatoren vorne und hinten sowie innenbelüftete Brems scheiben auch an der Hinterachse	bis 154 kW (210 PS)	Stabilisatoren vorne und hinten, Montage der größeren Brems sättel an Vorderachse (Bremsfläche je Rad 76 cm ²), innenbelüftete Brems scheiben auch an der Hinterachse sowie zur Versteifung der Karosserie ein "Fest-Dach" der Baureihe 916 oder durch geeignete Rohrversteifungen (Überrollk äfig) gleichwertige Steifigkeit der Karosserie sicherstellen.
bis 96 kW (130 PS)	keine Änderungen erforderlich									
bis 118 kW (160 PS)	Stabilisatoren vorne und hinten									
bis 132 kW (180 PS)	Stabilisatoren vorne und hinten sowie innenbelüftete Brems scheiben auch an der Hinterachse									
bis 154 kW (210 PS)	Stabilisatoren vorne und hinten, Montage der größeren Brems sättel an Vorderachse (Bremsfläche je Rad 76 cm ²), innenbelüftete Brems scheiben auch an der Hinterachse sowie zur Versteifung der Karosserie ein "Fest-Dach" der Baureihe 916 oder durch geeignete Rohrversteifungen (Überrollk äfig) gleichwertige Steifigkeit der Karosserie sicherstellen.									
17.05.1999 VKT4	91401-02 Seite 2 von 2	Service © Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG Printed in Germany								



Abbildung 10: Porsche 914/6 Herstellerbescheinigung [49]

In **Abbildung 10** ist die zweite Seite der Herstellerbescheinigung von Porsche für den Porsche 914/6 abgebildet. Porsche erlaubt den Einbau von Motoren, mit einem maximalen Hubraum von 3000 cm³. Damit der Motor bzw. die Leistungssteigerung erfolgreich eingetragen werden kann, müssen die Fahrzeuge bestimmte Mindestanforderungen erfüllen. Diese können der **Abbildung 10** entnommen werden. Aus der Sicht von Porsche gibt es kein technisches Bedenken, das oben genannte Fahrzeug in der Leistung zu steigern **[49]**.

2. Rechtliche Aspekte

Viele Fahrzeughalter nehmen nicht nur eine technische Veränderung vor, sondern führen gleichzeitig mehrere aus. Durch diese technischen Veränderungen kann es zu einer gegenseitigen Beeinflussung kommen. Es wird statt einer Änderungsabnahme nach § 19(3) eine Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO nötig [48].

Tabelle 1: Gegenseitige Beeinflussung bei technischen Veränderungen[49]

Art der Änderung	Abgasverhalten	Auspuffanlage	Änderung am Motor, Leistungsänderung	Anhängekupplung	Lenkrad, Lenker	Tieferlegung	Spoiler	Federn, Stoßdämpfer	Spur/Sturz	Rad/Reifen
Rad/Reifen	X	-	X	-	X	X	X	X	X	-
Spur/Sturz	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-
Federn, Stoßdämpfer	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-
Spoiler	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-
Tieferlegung	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-
Lenkrad, Lenker	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anhängekupplung	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
Änderungen am Motor, Leistungsänderung	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Auspuffanlage	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abgasverhalten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- keine gegenseitige Beeinflussung

X gegenseitige Beeinflussung möglich, weitere Hinweise siehe Teile ABE/Teilegutachten/Genehmigung

In **Tabelle 1** ist die mögliche, gegenseitige Beeinflussung bei technischen Veränderungen dargestellt. Bei einer Leistungssteigerung muss damit gerechnet werden, dass sich das Abgas-/ Geräuschverhalten verändert. Zusätzlich müssen die montierten Räder/Reifen für die neue, erhöhte bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit ausgelegt sein. Anhand eines Fahrversuches kann eine Bewertung des Fahrverhaltens erfolgen. Dabei dürfen sich keine kritischen Fahrzustände einstellen. Besondere Aufmerksamkeit muss den Reifen, der Federung und den Schwingungsdämpfer gelten. Gleichzeitig muss eine Untersuchung der Anbauteile erfolgen. Am Ende muss die vorgegebene Anhängelast bestätigt werden. Für das Eintragen einer Leistungssteigerung dienen dem Sachverständigen neben den Gutachten das VdTÜV-Merkblatt 751 als Arbeitsgrundlage. Aufgrund der Wichtigkeit dieses Merkblattes werden im **Kapitel 4.1** die Prüfpunkte der Leistungssteigerung zitiert. Im **Anhang E** sind die genauen Prüfvorgänge zitiert.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den verschiedenen Methoden der Leistungssteigerung. Die bekannteste und älteste Methode ist das sogenannte Klassische Tuning. Es beschreibt die mechanische Bearbeitung eines vorhandenen Verbrennungsmotors sowie das Austauschen einiger Komponenten. Als das klassische Tuning aufkam, war der VW Käfer eines der beliebtesten und bekanntesten Tuningfahrzeuge. In seiner Anfangszeit wurde er mit einer mageren Leistungsausbeute von 25 PS ausgeliefert. Den meisten Fahrzeughalter war dies zu wenig. Anfang der 1950er Jahre sind die ersten Tuningfirmen entstanden. Sie hatten für den Käfer größere Einzel-/Doppelvergaser, größere Kolben und Kurbelwellen mit mehr Hub im Angebot. Ebenfalls wurden bearbeitete Zylinderköpfe und Nockenwellen mit verlängerten Steuerzeiten angeboten. Bei gleichzeitiger Umsetzung dieser Maßnahmen verdoppelt oder verdreifacht sich die Leistung [52]. Natürlich gab es in dieser Zeit auch für andere Fahrzeughersteller/Modelle Tuningteile, die die Leistung steigerten [53, S.6-10]. Durch die Energiekrise der 1970er Jahre wurde der Anspruch nach sparsameren und schadstoffärmeren Kfz in der Gesellschaft, besonders in Deutschland, größer. 1973 während der ersten Ölpreiskrise hat BMW den 2002 Turbo in Deutschland auf den Markt gebracht. Bei diesem Fahrzeug handelt es sich um den ersten in Deutschland serienmäßigen hergestellten Pkw mit Abgasturbolader (ATL). Durch den Einsatz eines ATL wurde nicht nur die Leistung des Verbrennungsmotors gesteigert, sondern, in der Anfangszeit der Aufladung, nahm der Kraftstoffverbrauch zu [54]. Bei aufgeladenen Verbrennungsmotoren lässt sich die Leistung durch das Erhöhen des Ladedrucks steigern. Dazu muss eine Erhöhung der Vorspannung der Wastegate-Feder erfolgen oder diese muss durch eine verstärkte Feder ersetzt werden. Bei diesem Vorgehen wird ein späteres Öffnen der Wastegateklappe erreicht [55]. Das Wastegate dient zum Regeln des Ladedrucks. Ist dieser zu Hoch wird über einen Aktuator die Wastegateklappe geöffnet. Es sinkt der Ladedruck. Wird die Klappe geschlossen steigt der Ladedruck wieder an [56]. Aufgrund immer strengerer Abgasgrenzwerten, die in den 1980er Jahren eingeführt wurden, ist der Vergaser trotz seines hohen Entwicklungsstandes durch die elektronische Kraftstoffeinspritzung abgelöst worden. Neben Einsparpotenzialen beim Kraftstoffverbrauch, gelang dank der Abgasnachbehandlungssysteme eine Senkung der Abgaswerte. Seit Mitte der 1990er Jahre ist die elektronische Kraftstoffeinspritzung der Stand der Technik [57, S.7]. Durch ihre Einführung hat das Thema Chiptuning immer mehr an Bedeutung gewonnen. Dieser Art von Tuning zeichnet sich dadurch aus, dass kein Eingriff in die Hardware des Verbrennungsmotors erfolgt, sondern nur ein Eingriff in die Software des Motorsteuergerätes [58]. Statt einem Eingriff in die vorhandene Hardware oder Software kann auch eine Nachrüstung von Hardware in Form einer Lachgas-/Wassereinspritzung erfolgen [59], [60]. Das **Unterkapitel 3.4** behandelt das indirekte Tuning. Hierbei werden Veränderungen an der Abgasanlage aufgeführt, die zum Teil ebenfalls eine Leistungssteigerung ermöglichen [61].

3.1 Klassisches Tuning

Das klassische Tuning besteht aus der mechanischen Bearbeitung sowie das Austauschen vorhandener Komponenten des Verbrennungsmotors. Dabei spielt die Berechnung der Nutzleistung P_e eine wichtige Rolle. Mit dieser Formel kann die Leistung in jedem Betriebspunkt errechnet werden. Dazu wird das Motordrehmoment M_d und die dazugehörige Drehzahl n benötigt.

$$P_e = M_d \cdot 2\pi \cdot n \quad (1)$$

Eine Leistungssteigerung lässt sich laut der Formel (1) durch eine Steigerung der Drehzahl oder des Drehmoments erreichen. Es lassen sich beide Parameter auch gleichzeitig steigern. Um das Motordrehmoment M_d in der Formel (1) zu ersetzen kann die Formel des effektiven Mitteldrucks (2) nach dem Motordrehmoment M_d umgestellt werden.

$$p_{m_e} = \frac{M_d \cdot 2\pi}{V_H \cdot i} \quad (2)$$

p_{m_e} ist der effektive Mitteldruck, M_d das Motordrehmoment und V_H der Gesamthubraum des Verbrennungsmotors. Der Faktor i gibt die Arbeitsspiele pro Kurbelwellenumdrehung an. Bei 2-Taktverbrennungsmotoren wird $i=1$ und bei 4-Taktverbrennungsmotoren $i= 0,5$ gesetzt. Daraus ergibt sich die nachstehende Formel:

$$P_e = p_{m_e} \cdot V_H \cdot i \cdot n \quad (3)$$

Anhand dieser Formel werden die drei Stellparameter sichtbar die maßgeblich einen Einfluss auf die Nutzleistung des Verbrennungsmotors haben. Wird einer dieser Parameter gesteigert steigt die Nutzleistung an [57, S.21+26]. Mit einem Motortausch auch Motor-Swap genannt, kann eine Erhöhung der drei Parameter gleichzeitig erfolgen. Zeitgleich ist auch eine neue Auslegung der Motorperipherie nötig [7, S.141].

Eintragung:

Eine Eintragung eines anderen Verbrennungsmotors kann nur per Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO erfolgen.

Im nachfolgenden werden die drei Stellgrößen mit ihren Maßnahmen aufgeführt, die zu einer Leistungssteigerung beitragen.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Effektiver Nutzmitteldruck p_e :

Der effektive Nutzmitteldruck ist für die Motorleistung der ausschlaggebende Wert. Für eine hohe Leistung ist nicht nur der maximale Wert entscheidend, sondern auch dessen Verlauf. Die Drehzahlabhängigen Verläufe des Nutzmitteldrucks und des Motordrehmomentes sind identisch [62]. Der Nutzmitteldruck setzt sich aus dem Liefergrad λ_l , dem thermischen η_{th} und dem mechanischen η_m Wirkungsgrad zusammen [63, S.43]. Dabei spielt der Liefergrad λ_l eine wichtige Rolle, denn dieser gibt einen Hinweis darauf, ob eine Verbesserung der Zylinderfüllung möglich ist. Er ist ein Maß für die tatsächlich angesaugte Luftmasse m_z , zur theoretisch möglichen Luftmasse m_{th} [57, S.28,29].

$$\lambda_l = \frac{m_z}{m_{th}} \quad (4)$$

Bei aufgeladenen Verbrennungsmotoren lassen sich je nach Betriebspunkt auch Liefergradwerte erreichen, die größer 1 sind. Der Grund dafür ist, dass sich schon beim geringen Öffnen der Drosselklappe ein gewisser Ladedruck aufbaut. Bei freiansaugenden Verbrennungsmotoren schwankt dagegen der Liefergrad zwischen Werten von 0,6 und 0,9. Daran lässt sich ein sehr hohes Potenzial in der Steigerung des Liefergrads erkennen [63, S.57,58]. Der Liefergrad ist durch die nachstehenden Faktoren begrenzt.

- Drosselung des Frischgasstroms durch Strömungs- und Reibungswiderstände in der Saugleitung (Querschnittsveränderung in den Ein & Auslasskanälen)
- Frischgas wird beim Ladungswechsel überspült (durch ungünstige Ventilsteuerzeiten)
- Abgasreste verbleiben im Zylinder und verringern das Frischgasvolumen des nächsten Ansaugvorganges

[64, S.44]

Um eine Liefergradsteigerung zur gewährleisten, müssen diese Faktoren/Verluste minimiert werden. Die nachfolgenden Maßnahmen verringern diese Verluste.

Maßnahme:

Ansaugwege verändern + Sportluftfilter einsetzen

Die Ansaugwege haben mit ihrem Durchmesser, deren Länge und ihrer Oberflächenbeschaffenheit einen Einfluss auf die Zylinderfüllung. Sie müssen deshalb so kurz wie möglich ausgeführt sein und wenig Ecken/Kanten aufweisen. Es entstehen sonst schon Verwirbelungen im Ansaugrohr [7, S.62-63].

3. Methoden der Leistungssteigerung

Eine weitere Maßnahme, um den Liefergrad bei freiansaugenden Otto-/Dieselmotoren zu erhöhen, ist das Ausnutzen gasdynamischer Effekte. Es fallen dabei die Begriffe der Resonanz-/Schwingrohraufladung. Beide Systeme nutzen den gleichen Effekt, aber ihre Wirkungsweise ist grundverschieden. Die Schwingrohraufladung nutzt die Schwingungswellen im jeweiligen isolierten Ansaugkanal pro Zylinder. Mit der Resonanzaufladung werden mehrere Zylinder gekoppelt deren Wellenbewegungen in den gleichen Zeitabständen ablaufen. Es ist sogar eine Kombination beider Systeme möglich. Im unteren Drehzahlbereich wird die Resonanzaufladung genutzt und bei hohen Drehzahlen kommt die Schwingrohraufladung zum Einsatz [63, S.123]. Durch das Austauschen des originalen Luftfilters gegen einen Sportluftfilter lässt sich der Luftdurchsatz um bis zu 40 % erhöhen. Grund dafür sind die unterschiedlichen Filtermaterialien, die zur Anwendung kommen. Originale Luftfilter bestehen aus Papier, während die Sportluftfilter entweder aus Baumwolle oder Schaumstoff gefertigt werden [65]. Bei dem Sportluftfilter gibt es drei verschiedene Varianten. Der Tauschfilter, der auch Plattenfilter genannt wird, passt in das originale Luftfiltergehäuse. Dieser kann auch als Ring ausgeführt sein. Variante zwei ist der offene Luftfilter und Variante drei das Sport-Ansaugsystem. Dieses System nutzt neben dem Sportluftfilter ein geändertes Luftfiltergehäuse sowie eine abgeänderte Luftführung [66].

Grenzen:

Ansaugrohre und die Resonanz-/Schwingrohraufladung müssen eine hohe Dichtigkeit aufweisen, da es sonst zu Undichtigkeiten im Ansaugbereich kommt. Der gasdynamische Effekt wird nur zum Teil genutzt und es entsteht ein Leistungsverlust [57, S.342]. Bei der Montage eines Sportluftfilters ändert sich das Ansaugergeräusch und wird in der Regel lauter. Für eine Eintragung muss eine Geräuschmessung erfolgen. Aufgrund des höheren Luftdurchsatzes des Sportluftfilters geraten größere Staub-/Schmutzpartikel leichter in den Brennraum und erhöhen den Verschleiß. Sportluftfilter benötigen daher eine Reinigung mittels Spezialreiniger. Dies wird gerne durch den Kunden vergessen [66]. Nach abgeschlossener Reinigung muss eine Benetzung des Filters mit Öl erfolgen. Ist diese Ölschicht zu dick aufgetragen kann es vorkommen, dass sich Ölpartikel lösen und bei neueren Fahrzeugen zu einer Verschmutzung des Luftmassenmessers führen. Offene Luftfilter bringen den Nachteil mit sich, dass diese die warme Luft unter der Motorhaube ansaugen. Warme Luft enthält eine geringere Sauerstoffsättigung und verringert dadurch die Leistung [37, S.141-142].

Eintragung:

Tauschfilter, die im originalen Luftfiltergehäuse zum Einsatz kommen, sind eintragungsfrei. Einige Sportluftfilter sind entweder mit einer ABE oder einem TGA ausgestattet. In der Regel sind Teile mit einer ABE eintragungsfrei. Bei einem TGA muss der Sachverständige eine Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO durchführen. Die Kombination aus einer geänderten Abgasanlage und dem Sportluftfilter lässt sich überwiegend nicht eintragen, da das gesamte Geräuschverhalten verschlechtert wird.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Eine Eintragung ist nur nach bestandener Geräuschmessung per Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO möglich [37, S.141-142].

Maßnahme:

Zylinderkopf bearbeiten

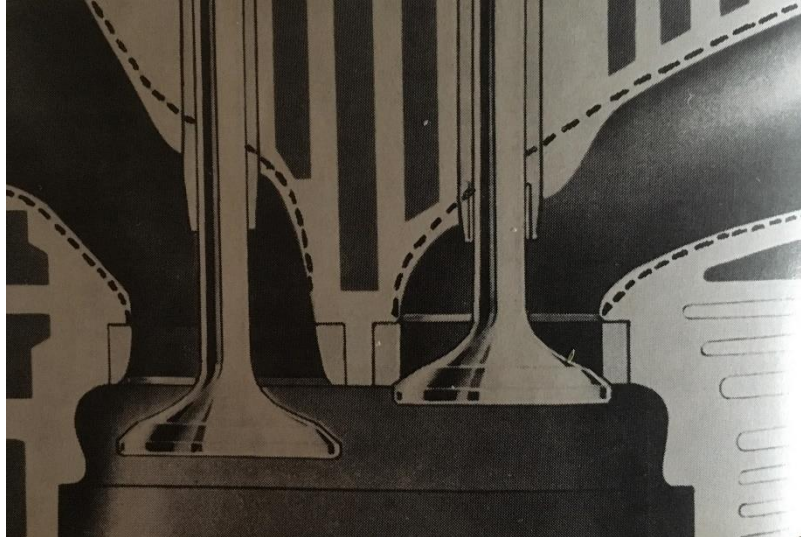


Abbildung 11: Skizze der möglichen Erweiterung der Kanäle [7, S.74]

Abbildung 11 zeigt die Maßnahmen der Zylinderkopfbearbeitung anhand einer Skizze [7, S.74]. Es lassen sich die Ein- & Auslasskanäle erweitern, sowie deren Oberfläche glätten. Darüber hinaus verringern sich mit dem Kürzen oder dem Bearbeiten der Ventilfehrung die Strömungswiderstände in den Kanälen [63, S. 99,105,113].

Grenzen:

Ein zu starkes glätten und polieren (auf Hochglanz) ist bei den Einlasskanälen zu vermeiden. Dies hätte eine Verringerung der gewünschten Verwirbelung zur Folge, und ermöglicht somit keine optimale Gemischbildung. Es wäre ein Leistungsabfall zu verzeichnen [67]. Ist die vorhandene Ventilfehrung kurz, darf nur eine Konturoptimierung erfolgen. Es würde sonst aufgrund von Seitenführungskräften des Ventils zu erhöhtem Verschleiß der Ventilfehrung kommen [63, S.105].

3. Methoden der Leistungssteigerung

Maßnahme:

Ventile bearbeiten und ggf. ersetzen

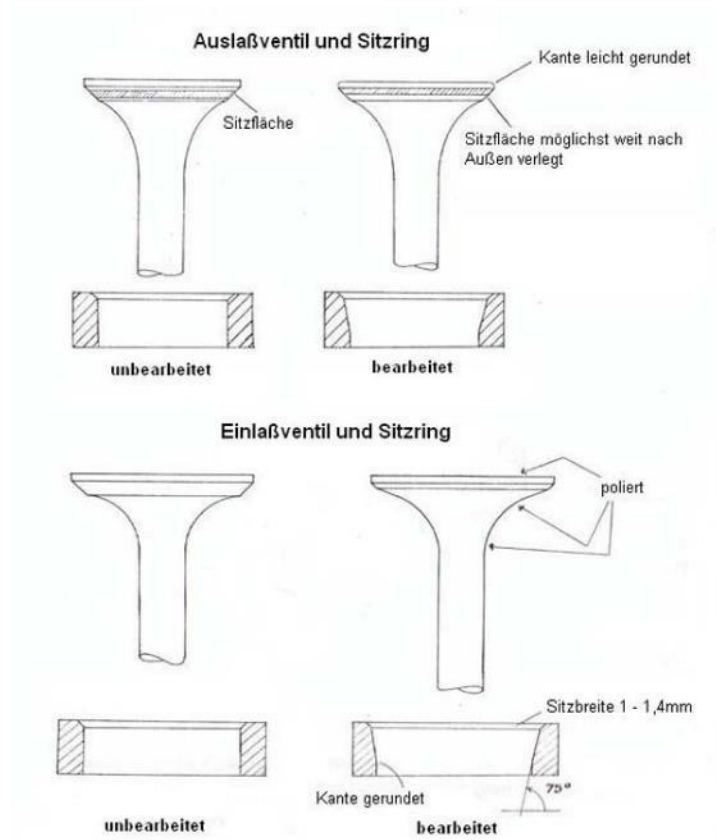


Abbildung 12: Bearbeitung der Ventile und des Sitzringes [68]

Abbildung 12 zeigt die Maßnahmen an den Ventilen und den Sitzringen. Mit Hilfe eines anderen Sitzwinkels lässt sich bei originalen Ventilen ein größerer Ventilquerschnitt erreichen. Neben diesem Vorgehen, können auch Gewichtsoptimierung an den Ventilen erfolgen [67;68]. Ist dies nicht ausreichend, kommen größere Ventile zum Einsatz. Sie bringen einen vergrößerten Ventilquerschnitt mit sich. Durch ein nach außen verlegen der Auflagefläche des Sitzrings lässt sich eine vergrößerte Querschnittsfläche erzielen [63, S.97-98, S.99-101].

Grenzen:

Findet eine Bearbeitung der Ventile statt, muss auch eine Anpassung der Sitzringbreite geschehen. Die Sitzringbreite darf nicht zu groß sein, sonst würde das Ventil nicht mehr richtig abdichten und es entsteht ein Kompressionsverlust.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Eine zu geringe Sitzringbreite beeinflusst die Wärmeübertragung negativ [69]. Größere Ventile bringen ein höheres Gewicht mit sich und sorgen aufgrund dessen für eine stärkere Belastung des Ventiltriebes [63, S.97-98].

Maßnahme:

Ventilsteuerzeiten

Mit einer sportlichen Nockenwelle (umgangssprachlich auch als scharfe Nockenwelle bezeichnet) gelingt die Beeinflussung der Motorcharakteristik. Ziel ist es, dabei durch die geänderten Steuerzeiten, die Ventile so schnell wie möglich zu öffnen, lange und weit zu öffnen und ein schnellstmögliches Schließen zu ermöglichen. Dieses Ziel lässt sich durch eine rundlichere Form des Nockens gegenüber den serienmäßigen Nocken erreichen. Gleichzeitig sind die Nocken meist höher, um das Ventil weiter öffnen zu können [53, S.32]. Das Öffnen der Ventile gelingt durch verschiedene Betätigungselemente. Früher wurden oft Kipphebel als Betätigungselemente genutzt. Mit ihnen lässt sich in einem gewissen Rahmen das Übersetzungsverhältnis anpassen. Es ermöglicht dadurch einen etwas größeren Ventilhub und sorgt für eine verbesserte Zylinderfüllung [7, S.45]. Verbrennungsmotoren ohne Nockenwellenverstellung benötigen manchmal ein verstellbares Nockenwellenrad. Diese besitzen Langlöcher und erreichen damit ein Verdrehen der Nockenwelle zur Kurbelwelle. Oft lässt sich ein Bereich von nur ca.15°KW abbilden. In der heutigen Zeit sind Nockenwellenversteller Stand der Technik [70].

Grenzen:

Durch den Einsatz einer sportlichen Nockenwelle verschiebt sich das nutzbare Drehzahlband weiter nach oben. Es entsteht dabei ein Kompromiss zwischen der Alltagstauglichkeit und der Leistungssteigerung [63, S.108]. Die sportliche Nockenwelle sorgt für einen höheren Leerlauf und ist für einen unrunder Lauf bei niedrigen Drehzahlen verantwortlich. Gründe hierfür lassen sich nicht allein mit dem geänderten Nockenwellenprofil erklären, sondern es müssen zusätzlich die Ventilüberschneidung und die Spreizung berücksichtigt werden [53, S.34]. Mit der Ventilüberschneidung wird der Zeitraum beim Ladungswechsel OT beschrieben, bei dem das Einlass- und das Auslassventil gleichzeitig geöffnet sind. Ist dieser Zeitbereich zu groß gewählt, führt dies zu einem erhöhten Spülverlust und zu einer Verringerung des effektiven Wirkungsgrades. Gleichzeitig wirkt sie sich aber positiv auf die Restgasausspülung aus. Sie sorgt somit für eine verbesserte Zylinderfüllung mit Frischgas. Durch diesen Effekt steigt die Nennleistung an [71, S.67]. Es kann bei geänderten Steuerzeiten dazu kommen, dass ggf. die Übertragungsteile dem Nocken nicht mehr folgen können. Eine geänderte Ventildruckkraft verhindert dieses Phänomen [53, S.32]. Die Kraft hängt von der Nockenform, der damit verbundenen Beschleunigung und den beschleunigten Massen des Ventiltriebes ab.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Ist die Federkraft zu hoch ausgelegt, führt dies zu einem erhöhten Verschleiß der Bauteile bei gleichzeitigem Anstieg der Verlustleistung. Ist die Federkraft zu gering, kann die Ventalfeder das Ventil nicht komplett schließen. Somit kann es zu einer Berührung zwischen Ventil und Kolben kommen. Ein weiterer Faktor, der gerne vernachlässigt wird, ist die Auslegung der Feder, sie darf nicht auf Block gehen. Das bezeichnet ein komplettes Zusammendrücken der Feder [72]. Bei einem verstellbaren Nockenwellenrad muss genügend Platz zwischen Ventil und Kolben sein, sonst kommt es dort auch zu einer Berührung. Deshalb muss es genügend Platz im Bereich des oberen Totpunktes geben [70].

Maßnahmen:

Abgasanlage

Die Ladungswechseleigenschaften werden maßgeblich durch die Abgasanlage und ihre drei Faktoren: gasdynamische Effekte, Ausschiebearbeit und Restgasanteil beeinflusst. Untereinander können sich diese sogar gegenseitig beeinflussen [57, S.387]. Bei richtiger Ausführung und Auslegung der Abgasanlage kann diese für ein kleines Leistungsplus sorgen. Im **Unterkapitel 3.4** wird die Abgasanlage gesondert behandelt.

Maßnahmen:

Aufladungssystem nachrüsten

Mit dem Nachrüsten eines Aufladungssystems kann die Leistung des Verbrennungsmotors gesteigert werden, da der Liefergrad durch den Ladedruck größere Werte als beim freiansaugenden Verbrennungsmotor annimmt. In einigen Betriebspunkten lassen sich Liefergrad-Werte von größer 1 erreichen. Aufgrund der Vielzahl an Aufladungssystemen entsteht ein Unterschied zwischen dem mechanischen Aufladungssystemen (G-Lader, Kompressor usw.) und dem ATL. Mechanische Aufladungssysteme sind über einen Riemen mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors verbunden. Bei niedrigen Drehzahlen liegt schon ein gewisser Ladedruck an. Ein ATL ist nicht mechanisch, sondern thermodynamisch mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt. Durch die Abgase des Verbrennungsmotors wird die Abgasturbine angetrieben und treibt damit über eine gemeinsame Welle das Verdichterrad an. Aufgabe des Verdichterrads ist die angesaugte Luft zu verdichten. Mit einem Aufladungssystem gelangt im gleichen Zeitraum mehr Luft in den Brennraum als beim freiansaugenden Verbrennungsmotor. Dieser Mehr-Luft muss nun ausreichend Kraftstoff zugefügt werden, um die Leistung zu steigern [57, S.609-610].

Grenzen:

Durch das Nachrüsten eines Aufladesystems ergeben sich zwei verschiedene Grenzen. Die erste Grenze ist durch die mechanische sowie thermische Bauteilebelastung gekennzeichnet. Die serienmäßigen Kolben und Pleuel sind der gesteigerten Belastung nicht mehr gewachsen. Sie sind durch Schmiedeteile zu ersetzen. Freiansaugende Verbrennungsmotoren besitzen gegenüber ihrer aufgeladenen Variante eine höhere Verdichtung. Mit einer Anpassung des Verdichtungsverhältnisses kann dieser auch ein Aufladesystem erhalten **[37, S.142-144]**. Dafür muss eine Anpassung des Verdichtungsverhältnisses erfolgen, sonst kommt es zu einer klingelnden oder klopfenden Verbrennung. Eine klopfende oder klingelnde Verbrennung ist ein ungewolltes Phänomen, das bei Ottoverbrennungsmotoren auftritt. Es beschreibt die ungewollte Selbstentzündung von unverbrannten Gemischresten der Zylinderladung. Dies lässt sich durch ein Herabsetzen der Verdichtung entweder durch einen Kolben mit geänderter Kolbenbodenform oder durch eine dickere Zylinderkopfdichtung verhindern **[57, S.729+765]**. Die zweite Grenze wird durch die Pump-, die Stopfgrenze und durch die maximale Drehzahl des Laufzeuges vorgegeben. Alle drei Parameter begrenzen das nutzbare Kennfeld des Verdichters. Die Pumpgrenze wird erreicht, wenn der Volumenstrom zu gering und zeitgleich das Druckverhältnis zu groß ist. In diesem Fall strömt die Luft rückwärts durch den Verdichter, bis sich wieder ein stabiles Druckverhältnis eingestellt hat. Die Luft wird dabei zum Verdichteraustritt befördert. Aufgrund des erhöhten Ladedrucks löst sich die Strömung von den Verdichterschaukeln ab und der Vorgang wiederholt sich. Es entsteht ein periodisches Geräusch, und gibt dieser Erscheinung somit den Namen des Pumpens. Erreicht dagegen die Luft am Verdichtereintritt Schallgeschwindigkeit lässt sich der Massendurchsatz nicht mehr weiter steigern. Es wird die Stopfgrenze erreicht. Die Maximaldrehzahl des ATLS hängt im Wesentlichen von der Festigkeit des Laufzeuges ab **[71, S.117]**. Mechanische Aufladungssysteme besitzen den Nachteil, dass ein Teil der gewonnenen Leistung durch den Antrieb des Aufladesystems reduziert wird. Besonders nachteilig wirkt sich dies bei hohen Drehzahlen aus. Durch die mechanische Aufladung verschlechtert sich zunächst der mechanische Wirkungsgrad. Gleichzeitig steigt der Mitteldruck an, wenn das Kraftstoff-Luft-Gemisch konstant bleibt. Mechanisch aufgeladene Verbrennungsmotoren zeichnen sich gegenüber leistungsgleichen freiansaugenden Verbrennungsmotor dadurch aus, dass ihr Wirkungsgrad aufgrund geringerer mechanischer sowie thermischer Verluste besser ist **[57, S.609-610]**. Nachteil der Abgasturboaufgeladenen Verbrennungsmotoren ist ihr verzögertes Ansprechverhalten bei schlagartigen Drehzahländerungen. Dieses Phänomen wird auch als Turboloch bezeichnet **[71, S.114]**. Abhilfe hierfür würde ein Kompressor oder eine Registeraufladung schaffen. Die Registeraufladung zeichnet sich durch eine Kombination von zwei Abgasturboladern aus. Im unteren Drehzahlbereich ist einer der zwei Abgasturbolader komplett abgeschaltet. Steigt der Ladedruck an wird sukzessiv der zweite Abgasturbolader zugeschaltet. Nachteil dieses Aufladekonzeptes ist der Anstieg des Kraftstoffverbrauchs beim Betrieb beider Stufen **[57, S.626]**. Alle Aufladungssysteme sorgen durch das Verdichten für eine Erwärmung der Luft und somit zu einer Verringerung der Sauerstoffsättigung. Mit Hilfe eines Ladeluftkühlers gelingt das Abkühlen der erwärmten Luft **[57, S.611-614]**. Die Ladeluftverrohrung darf nicht zu lang sein.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Sonst würde dies zu einem Anstieg des Druckabfalls führen. Bei einigen leistungsstarken Fahrzeuge kommen kühlmittelgekühlte Ladeluftkühler zum Einsatz. Vorteil dieser Variante ist, dass ihre Platzierung motornah erfolgen kann. Ladeluftkühler, die nur durch Luft gekühlt sind, benötigen ihrerseits mehr Platz, da ihre Ausführung größer ist. Des Weiteren wird eine optimale Anströmung nur erreicht, wenn sie an die Fahrzeugfront montiert sind [73, S.263-266].

Thermische Wirkungsgrad:

Der Thermische Wirkungsgrad beschreibt die Güte oder die Intensität der Verbrennung und gibt das Verhältnis von abgegebener Arbeit (Nutzen) q_{ab} zu zugeführter Wärme (Aufwand) q_{zu} an [63, S.133].

$$n_{th} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad (5)$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{|q_{ab}|}{q_{zu}} \quad (6)$$

Dieser thermische Wirkungsgrad hängt beim Ottomotor vom Verdichtungsverhältnis ab [74]. Beim Dieselmotor hängt er vom Verdichtungsverhältnis und vom Einspritzverhältnis ab. Nimmt das Einspritzverhältnis ab steigt zeitgleich der thermische Wirkungsgrad an [75]. Ein weiterer Einflussfaktor für den thermischen Wirkungsgrad ist die Abbrenngeschwindigkeit des Gemisches. Brennt das Gemisch schnell und homogen ab, führt dies zu einem Druckberg und sorgt somit für einen Anstieg der Motorleistung. Einfluss auf die Abbrenngeschwindigkeit haben die Zündkerzenlage, die Ventilanordnung und die Turbulenz. Die Turbulenz beschreibt die Verwirbelung des Gemisches und kann durch Einstrombedingungen des Ansaugvorgangs verbessert werden. Dazu muss folglich eine Unterscheidung zwischen dem Drall und dem Tumble-Effekt erfolgen. Beide sind durch die Kontur, die Lage und Ausführung im Zylinderkopf festgelegt. Der Drall-Effekt wird mit einer Drehbewegung des Kraftstoff-Luft-Gemisches um die Zylinderachse erreicht. Dafür weist der Einlasskanal in horizontaler Draufsicht eine geringe Krümmung auf. Beim Tumble-Effekt, auch Walzen-effekt genannt, wird die Strömung durch eine walzenförmige Drehbewegung zur Zylinderquerachse erreicht. Nachteilig ist, dass sie bei hohen Drehzahlen den Liefergrad negativ beeinflussen. Für die maximale Leistung müssen die Kanalführungen ohne Krümmung auskommen. Ist das Kraftstoff-Luft-Gemisch schon angesaugt und es befindet sich im Brennraum, kann nur noch durch den Einsatz von Quetschkanten eine zusätzliche Verwirbelung stattfinden [63, S.133,137-138,140].

Mechanischer Wirkungsgrad:

Er beschreibt das Verhältnis zwischen effektiver P_e und innerer Leistung P_i .

3. Methoden der Leistungssteigerung

$$n_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{p_e}{p_i} \quad (7)$$

Damit werden die motorinneren Reibungsverluste beschrieben. Hauptsächlich treten diese im Kurbeltrieb und im Ventiltrieb auf. Außerdem treten Verluste durch hydraulische Verluste (Panschverluste) und durch Antriebsleistungen für den Betrieb von den Hilfsaggregate des Verbrennungsmotors auf [57, S.511+520]. Den größten Anteil und Einfluss auf den mechanischen Wirkungsgrad hat dabei der Kolben mit seiner Masse. Mit einer Gewichtsreduktion des Pleuelauges und des Kolbenbolzens findet eine Verringerung der Reibungsverluste statt. Gewichtsreduktionen am Kolben selbst verringern auch die oszillierenden Massenkräfte und sorgen bei hohen Drehzahlen für eine Entlastung des Kurbeltriebs [63, S.145].

Möglichkeit:

Die Motordrehzahl n erhöhen.

Maßnahmen:

1). Bei einer Drehzahlerhöhung des Verbrennungsmotors darf die Zylinderfüllung und die Verbrennungsintensität nicht absinken. Dies wird durch ein Anheben des Liefergrades erreicht. Dies gelingt nur bei Entfernung der vorhandenen Drosselung. Die Drosselung kann z.B. über die Zündung, die Kraftstoffzufuhr oder über die Nockenwelle erfolgt sein [63, S.55].

2). Die Drehzahl wird ebenfalls durch die mechanischen Widerstände der Kurbelwelle und des Ventiltriebs begrenzt. Sie steigen zum Teil überproportional mit der Drehzahl an. Eine Verringerung der mechanischen Widerstände gelingt nur dann, wenn eine Anpassung der Gewichte von Pleuel und Kolben erfolgt [63, S.55]. Mit einem kürzen des Kolbenschaftes lässt sich die Masse des Kolbens reduzieren [64, S.262].

Grenzen:

Wurde die Drossel durch eine sportliche Nockenwelle beseitigt, muss darauf geachtet werden, dass der Verbrennungsmotor bei niedrigen Drehzahlen unrund läuft und sich die Abgaswerte aufgrund einer zu großen Ventilüberschneidung verschlechtern [76]. Des Weiteren steigen durch die Drehzahlerhöhung die Reibungsverluste überproportional an [57, S.609]. Sie können mit einer Gewichtsanpassung verringert werden. Dies gelingt aber nur wenn das Material an Stellen weggenommen wird, die nicht im Kraftfluss liegen oder keine unmittelbare Funktion erfüllen.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Es kann sonst zu einer Schwächung des Materials und Versagen des Bauteils führen. Aufgrund eines zu weit gekürzten Kolbenschafts kann das Laufgeräusch zunehmen und es steigt die Gefahr eines Kolbenkippers [64, S.262].

Möglichkeit:

Den Hubraum V_h eines Zylinders erhöhen. Es kann dadurch eine größere Gemischmasse angesaugt werden. Die Hubraumerhöhung kann durch zwei Maßnahmen erfolgen.

$$V_h = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s \quad (8)$$

Bei der Formel (8) sind D der Zylinderdurchmesser in mm und s der Hub in mm. Diese beiden lassen sich beeinflussen.

Maßnahme:

Mit einem aufbohren der Zylinder können größere Kolben zum Einsatz kommen. In einigen Fällen gelingt dabei eine Verbesserung des Einströmverhältnisses am Einlassventil, da der Abstand der Ventile zur Zylinderwand größer wird. Dadurch lässt sich eine überproportionale Leistungssteigerung erreichen [64, S.256].

Grenzen:

Kommen größere Kolben zum Einsatz, ist die begrenzende Größe die Mindestdicke der Zylinderwand. Des Weiteren kann die Zylinderverformung durch die verringerte Wandstärke zunehmen. Bei nicht richtig abgestimmter Kolbenkontur kann es zu erhöhtem Laufspiel und ggf. zu einem Kolbenfresser kommen [64, S.256]. Größere Kolben benötigen eine passende Zylinderkopfdichtung. Außerdem steigt das Gewicht der einzelnen Kolben an. Dieses wirkt sich nachteilig auf die Reibungsverluste und die oszillierenden Massenkräfte aus. Mit einer Bearbeitung des Pleuels und des Kolbens gelingt eine Minimierung dieser Gefahr [63, S.54].

Maßnahme:

Ersetzen der Ursprünglichen Kurbelwelle gegen eine Kurbelwelle mit mehr Hub.

Grenzen:

Eine Montage einer Kurbelwelle mit mehr Hub funktioniert nur wenn genügend Platz im Kurbelgehäuse vorhanden ist [77].

3. Methoden der Leistungssteigerung

Daraus resultiert, dass eine Anpassung des Kolbens (durch Kolben mit verringerter Kompressionshöhe) oder des Pleuels (durch kürzere Pleuel) nötig ist. Es verhindert dadurch eine Kollision zwischen dem Kolben und dem Ventil. In einigen Fällen reicht aber auch das Bearbeiten des serienmäßigen Kolbens aus. Gleichzeitig lässt sich eine Anpassung des Verdichtungsverhältnisses erzielen. Durch eine Huberhöhung steigt bei gleichbleibender Drehzahl die Kolbengeschwindigkeit an. Sie darf unter keinen Umständen zu hoch ausfallen, da zeitgleich die Massenkräfte, der Verschleiß, die Strömungswiderstände und die Reibleistung ansteigen [63, S.54-55]. Außerdem nimmt das Laufgeräusch zu. Besonders die Massenkräfte begrenzen die Kolbengeschwindigkeit und damit auch die maximale Drehzahl des Verbrennungsmotors. Bei Verbrennungsmotoren mit innerer Gemischbildung wie bei Dieselmotoren und Ottomotoren mit Direkteinspritzung wird die Drehzahl zusätzlich durch die Zeit für die Gemischbildung begrenzt.

$$C_m = 2 \cdot s \cdot n \quad (9)$$

C_m ist die Kolbengeschwindigkeit in $\frac{m}{s}$, s der Hub in m und n die Drehzahl in $\frac{1}{s}$ [57, S.21]. Ein weiterer Nachteil einer langhubigen Kurbelwelle ist, dass diese aufgrund der verringerten Überdeckung eine geringere Steifigkeit aufweist. Die Überdeckung beschreibt die Überschneidung des Hauptlagerzapfen mit dem des Hubzapfens. Deshalb müssen diese Kurbelwellen eine ausreichende Steifigkeit aufweisen. Dies wird durch ausreichend breit dimensionierte Kurbelwangen erreicht [64, S.137-137]. Zusätzlich steigt der Pleuelschrägstand bei einer langhubigen Kurbelwelle an und erhöht damit die Kolbenseitenkraft. Als Folge dessen nimmt die Kolbendeformation und die Kolbenreibung zu [71, S.19]. Um mit einer Hubraumerweiterung die Leistung zu steigern, muss der Liefergrad über den ganzen Drehzahlbereich erhalten bleiben [63, S.55]. Durch ein Aufbohren oder Austauschen der Kurbelwelle steigt das Verdichtungsverhältnis an [7, S.37]. Des Weiteren nimmt die Masse der Bauteile zu und verschlechtert damit den Wirkungsgrad aufgrund von erhöhter Reibleistung [57, S.609].

Möglichkeit:

Das Verdichtungsverhältnis ε erhöhen.

$$\varepsilon = \frac{v_h + v_c}{v_c} \quad (10)$$

Bei der Formel (10) ist V_h der Hubraum eines Einzelzylinders und V_c das Kompressionsvolumen. Mit den folgenden Maßnahmen gelingt eine Beeinflussung des Verdichtungsverhältnisses.

Maßnahmen:

1.) Den Zylinderkopf planen lassen.

3. Methoden der Leistungssteigerung

- 2.) Den Motorblock bzw. Einzelzylinder planen lassen.
- 3.) Den Zylinderhubraum vergrößern.
- 4.) Den Brennraum verkleinern. Dafür gibt es zwei Maßnahmen; entweder wird dies durch Auftragsschweißen am Zylinderkopf erreicht oder durch das Austauschen der Kolben. Diese Kolben weisen einen dachförmigen Kolbenboden auf. Beide Maßnahmen verringern das Kompressionsvolumen und sorgen somit für einen Anstieg des Verdichtungsverhältnisses. Eine Erhöhung des Verdichtungsverhältnis sorgt gleichzeitig für einen Anstieg des thermischen Wirkungsgrades. Er weist somit ein logarithmisches Wachstum auf. Des Weiteren steigt der Nutzmitteldruck an [7, S.37-40].

Grenzen:

Ist das Verdichtungsverhältnis zu hoch sorgt dies bei Volllast für Verluste beim effektiven Wirkungsgrad durch stark ansteigende Reibungskräfte. Des Weiteren nehmen die NO_x und die HC-Emissionen mit steigendem Verdichtungsverhältnis zu. Die Brennraumtemperatur ist der ausschlaggebende Wert für einen Anstieg der NO_x -Emissionen. Für die HC-Emissionen ist die Brennraumform entscheidend. Ist der Brennraum stark zerklüftet sorgt dies für einen Anstieg der HC-Emissionen. Dies lässt sich mit einer kompakteren Brennraumform kompensieren. Ein zu hohes Verdichtungsverhältnis sorgt dafür, dass die Abgastemperatur sinkt. Dadurch wird die Nachreaktion von HC und CO behindert. Gleichzeitig ermöglicht dies eine bessere Abmagerungsfähigkeit und erlaubt somit einen späteren Zündzeitpunkt, da die Verbrennung schneller abläuft. Es verringern sich die HC- und die NO_x -Emissionen. Ein zu hohes Verdichtungsverhältnis führt beim Ottomotor zu einer klingelnden oder klopfenden Verbrennung. Im schlimmsten Fall kann es zu einer Schädigung der Bauteile kommen [57, S.19-20]. Kraftstoffe mit einer höheren Oktanzahl verringern die Klopfanfälligkeit und erlauben sogar eine weitere Steigerung des Verdichtungsverhältnisses. In Deutschland wurde bis zum Jahr 2015 an Tankstellen E85 (85% Ethanol und 15% Benzin) angeboten. Durch den Einsatz von Ethanol wird der Kraftstoff gegen Klingeln bzw. Klopfen resistenter, da Ethanol eine Oktanzahl von 105 aufweist. Der steuerliche Vorteil (Energiesteuer) des Ethanols wurde im Jahr 2015 aufgehoben. Dies sorgte dafür, dass das Ethanol teurer als das Benzin wurde. Ethanol verschwand daraufhin in Deutschland wieder vom Markt. Soll Ethanol als Kraftstoff verwendet werden, müssen alle Materialien des Kraftstoffkreislaufes (Kraftstoffleitungen, Kraftstoffpumpe, Kraftstofftank und Einspritzventile) resistent gegenüber dem Ethanol sein [78]. Außerdem ist es hygroskopisch (Wasseranziehend). Durch dieses Phänomen kann es bei Fahrzeugen, die mit einem Metalltank ausgestattet sind und über einen längeren Zeitraum eingemottet sind, zu Korrosion kommen. Dies lässt sich nur durch das Leerfahren des Tankes und ein anschließendes Auffüllen mit Superkraftstoff verhindern. Ein weiterer Nachteil des Ethanols ist der geringere Heizwert. Es steigt folglich der Verbrauch um ca. 30 % gegenüber dem Benzin [79; 80]. Im Winter wird der Ethanolanteil verringert, um ein sicheres Anspringen auch bei Minusgraden zu gewährleisten [81]. Statt Ethanol kann auch Methanol zum Einsatz kommen.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Methanol zeichnet sich durch eine noch höhere Oktanzahl gegenüber dem Ethanol aus und hat den Vorteil, dass es sauber verbrennt. Des Weiteren sorgt die niedrige Siedetemperatur für eine verbesserte Kraftstoffverdampfung. Mit dem Methanol verläuft die Verbrennung sanfter und ermöglicht einen Anstieg der Motorinnenkühlung [78]. Beim Dieselmotor muss das Verdichtungsverhältnis so gewählt werden, dass das Fahrzeug auch bei Minusgraden sicher anspringt [57, S.19].

Eintragung:

Alle Maßnahmen, die eine Bearbeitung des vorhandenen Verbrennungsmotors beschreiben, lassen sich in der Regel nur per Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO eintragen. Dies liegt daran, dass keine Gutachten für die Teile existieren. Daher ist der Fahrzeughalter dazu verpflichtet, die Tuningmaßnahmen ausreichend und anhand von Bildern zu dokumentieren, was ungemein die Arbeit des Sachverständigen erleichtert.

Möglichkeit:

Herstellertuning

Maßnahme:

Einige Hersteller bieten ab Werk oder als Zusatz-Option eine Leistungssteigerung an. Die Firma Porsche verkauft unter den Ausstattungscodes X50 und X51 ihre Werksleistungssteigerung (WLS). Der Ausstattungscodex X50 dient für Leistungssteigerung bei aufgeladenen Verbrennungsmotoren. Für freiansaugende Verbrennungsmotoren verwendet Porsche den Ausstattungscodex X51 [82]. Bei den frühen 911-Modellen bis zum Typ 993 (der letzte luftgekühlte 911er) hat Porsche meistens die WLS durch eine Hubraumerweiterung erreicht. Seit dem Jahr 1998 verbaut Porsche beim 911er nur noch wassergekühlte Motoren. Eine Leistungssteigerung wird bei diesen Motoren nicht mehr durch eine Hubraumerweiterung erreicht, sondern durch eine Optimierung am Ladungswechselsystem. Die 7. Generation des 911er (auch als Typ 991 bezeichnet) nutzt bei ihrer WLS eine doppelt schaltbare Resonanzsauganlage in Verbindung mit strömungsgünstigen Zylinderköpfen. Diese Zylinderköpfe zeichnen sich durch ihre maschinell polierten Ladungswechselkanäle aus. Dabei wird ein neues Verfahren, das Druckfließlappen, zur Oberflächenbearbeitung verwendet. Es wird Polierpaste unter hohem Druck und genau definierten Randbedingungen durch die Ladungswechselkanäle gepresst. Es lassen sich genau definierte Materialabträge erreichen, die lokal bis zu 0,4 mm betragen. Durch die Bewegung des Schleifmediums wird ein nahezu ideales Schleifbild erreicht, da es der optimalen Gasströmung entspricht. Mit einer maschinellen Nachbearbeitung lässt sich dieses Ergebnis nicht erreichen. Ebenfalls wichtig sind geänderte Einlassnockenwellen. Sie besitzen einen größeren Ventilhub und ein darauf angepasstes Ventilsfederpaket.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Abgerundet wird die WLS durch eine modifizierte Motorsoftware sowie eine Sportabgasanlage. All diese Maßnahmen ermöglichen eine Mehrleistung von 30 PS. Durch die gesteigerte Leistung nimmt die Wärmemenge zu. Sie muss über einen extra Wasserkühler, der ebenfalls Bestandteil des Kits ist, abgeführt werden [83, S.94-94 + 84, S.29-33].



Abbildung 13: Unterschied der Zylinderköpfe [84, S.30]

In **Abbildung 13** ist der Unterschied an den Einlasskanälen der Zylinderköpfe abgebildet. Die linke Abbildung zeigt den Zylinderkopf ohne Bearbeitung. Das rechte Bild zeigt den mittels Druckfließlappens bearbeiteten Zylinderkopf [84, S.30].

Nebenparameter:

Alle technischen Veränderungen können nur ihre Mehrleistung abgeben, wenn eine Anpassung der beiden Nebenparameter das Kraftstoff-Luft-Verhältnis und die Zündanlage erfolgt ist. Es muss eine Angleichung der eingespritzten Kraftstoffmenge erfolgen. Bei Vergasermotoren wird dies durch eine andere Bedüsung erreicht. Ein Trugschluss, der gerne verbreitet wird, ist, dass nur durch den alleinigen Einsatz einer größeren Düse die Leistung ansteigt. Dieser überschüssige Kraftstoff kann nicht genutzt werden, da die Sauerstoffteilchen der Luft in der Minderzahl sind. Es steigt nur der Kraftstoffverbrauch an [64, S.256]. Außerdem ist eine Abstimmung sowie Synchronisation der Vergaser bei einer Leistungssteigerung auf einem Fahrzeugrollenprüfstand Pflicht. Anfang der 1960er Jahre sind die ersten mechanischen Einspritzanlagen erschienen. Die sogenannte Kugelfischereinspritzanlage ist die bekannteste Art der mechanischen Einspritzanlagen. Sollten Änderungen an einem solchen Motor vorgenommen werden, gelingt dies nur auf einem Fahrzeugrollenprüfstand. Dazu werden mehrere Messungen durchgeführt und die dabei gewonnenen Daten ermöglichen erst die Anfertigung des Raumnockens. Der Raumnocken gibt für jeden Betriebspunkt die exakte Einspritzmenge vor und ist individuell an den jeweiligen Motor angepasst. Im Laufe der Jahre wurden diese Einspritzanlagen durch eine elektronische Einspritzanlage abgelöst.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Seit Mitte der 1990er Jahre sind elektronische Einspritzanlagen Standard. Eine Abstimmung solcher Systeme wird durch eine Softwareanpassung der Einspritzmenge und des Einspritzintervalls erreicht. Genügen diese Veränderungen nicht, kann es nötig sein die vorhandenen durch größere Einspritzdüsen zu ersetzen. Diese zeichnen sich durch eine vergrößerte Durchflussmenge aus [53, S.18,20-23]. Lambda sollte in allen Fällen einen Wert von $\lambda = 0,9$ haben. Es handelt sich dabei um ein leicht fettes Gemisch. Es werden alle Sauerstoffteilchen, die an der Verbrennung teilnehmen, verbrannt und erzeugen somit die maximale Leistung. Des Weiteren kann es aufgrund der erhöhten Kraftstoffmenge nötig sein die originale Kraftstoffpumpe gegen eine Kraftstoffpumpe mit erhöhter Förderleistung zu ersetzen [63, S.45-47]. Die Zündanlage bzw. das Zündsystem hat sich im Laufe der Jahre verändert. In der Anfangszeit wurde die Hochspannung über einen Zündverteiler und die einzelnen Zündkabel an die entsprechende Zündkerze verteilt. Diese wurden durch die Einzelfunkenzündspulen abgelöst. Diese sitzen direkt auf der Zündkerze und zeichnen sich durch ihre kompakte Bauweise aus [53, S.24-26; 57, S.701]. Die Zündanlage kann die Leistung nicht steigern, aber mit ihrer Hilfe kann die Zündung zum richtigen Zeitpunkt erfolgen. Bei falschem Zündzeitpunkt lässt sich keine maximale Leistungssteigerung erreichen. Deswegen existiert eine Unterscheidung zwischen frühen und späten Zündzeitpunkten. Bei einem zu frühen Zündzeitpunkt kommt es zu einer klingelnden/klopfenden Verbrennung. Ist dagegen der Zündzeitpunkt zu spät, kann der Verbrennungsmotor nicht seine maximale Leistung entfalten. Deshalb muss der Zündzeitpunkt genau eingestellt sein. Die Druckspitze muss ca. 10° KW nach OT erfolgen [63, S.47-50].

Motorperipherie + Antriebsstrang:

Der Antriebsstrang sowie die Motorperipherie wurden vom Hersteller über tausende von Kilometer bei verschiedensten Umgebungstemperaturen getestet. Er ist damit für die Serienleistung ausreichend dimensioniert. Mit einer Leistungssteigerung wird die mechanische sowie thermische Bauteilebelastung gesteigert. Kühlsysteme für das Öl und das Kühlmittel kommen hierdurch an ihre Grenzen. Es ist eine neue Auslegung nötig. Dafür kann es sogar nötig sein die originalen Pumpen gegen verstärkte Versionen zu tauschen. Sie sorgen dafür, dass die Bauteiletemperaturen und die Lagerbelastung gesenkt werden [57, S.514-515]. Bei luftgekühlten Verbrennungsmotoren hat das Motoröl eine besondere Aufgabe. Neben der Kühlung der Kolben durch Sprühöl ist das Motoröl für die Wärmeabfuhr der Lager zuständig. Leistungsgesteigerte luftgekühlte Verbrennungsmotoren benötigen erstens eine vergrößerte Ölumlaufmenge und zweitens einen externen Ölkühler. Dieser sollte sich an der Fahrzeugfront befinden, damit er optimal durch den Fahrtwind angeströmt wird. Der externe Ölkühler kann auch mit einem Elektrolüfter ausgestattet sein [7, S. 110-114].

Getriebeübersetzung:

Ein weiterer Punkt, der geändert werden sollte, ist die Getriebeübersetzung. Es sollte sich in jedem Gang, sogar im letzten Gang, die Höchstdrehzahl erreichen lassen. Des Weiteren soll genügend Vortrieb vorhanden sein. Der Schlupf darf in den niedrigen Gängen nicht zu hoch sein. Für eine optimale Auslegung muss der Tuner zwei Schritte vollziehen. Erstens muss die geplante Höchstgeschwindigkeit sowie die Übersetzung des höchsten Gangs bestimmt werden. Anschließend muss eine Angleichung der restlichen Übersetzungen der anderen Gänge erfolgen. Dies ermöglicht eine noch ausreichende Beschleunigung des Fahrzeuges in den anderen Gängen. Freiansaugende und aufgeladene Verbrennungsmotoren benötigen aufgrund ihrer Motorcharakteristik unterschiedliche Gangübersetzungen. Durch sportliche Nockenwellen lässt sich bei freiansaugenden Verbrennungsmotor die Drehzahl stark anheben. Die Folge ist, dass die Serienübersetzung mit Ausnahme der ersten beiden Gänge zu lang ist. Aufgeladene Verbrennungsmotoren haben den umgekehrten Effekt. Bei diesen Motoren steigt die Leistung stark an. Gleichzeitig erhöht sich die Nenndrehzahl aber nicht merklich. Nach dem Tuning ist bei diesen Fahrzeugen die Serienübersetzung zu kurz. Das bedeutet, die Getriebeübersetzung hängt von der Motorleistung und dem Motordrehmoment ab. Beide Größen hängen unterschiedlich von der Drehzahl ab. Sportliche Nockenwellen mit verlängerten Steuerzeiten schieben das Drehzahlband weiter nach oben und sorgen gleichzeitig dafür, dass es den nutzbaren Drehzahlbereich einschränkt. Ähnliche Effekte lassen sich beim Drehmomentverlauf erkennen. Der Verlauf der Kurven wird steiler und sorgt dafür, dass nach dem Tuning die Einkuppeldrehzahl im Bereich des abfallenden Drehmoments liegt. Somit steht im nächsthöheren Gang nicht mehr das maximale Motordrehmoment zur Verfügung. Das Fahrzeug fällt bei jedem Schaltvorgang in ein sogenanntes Drehzahlloch. Mit Hilfe einer Anpassung der Getriebeübersetzung lässt sich dieser Umstand vermeiden. Ist die Höchstgeschwindigkeit gleichgeblieben oder nur minimal angestiegen, lässt dies dem Tuner mehr Spielraum für die Übersetzungen der einzelnen Gänge, da es sich positiv auf die Gesamtbeschleunigung des Fahrzeuges auswirkt [63, S.151+152+155+156-157].

Grenzen:

In der Richtlinie 70/220/EG wird das Thema der Getriebe-/Gesamtübersetzung behandelt. Bei Übersetzungsänderung der Gesamtübersetzung bzw. der Einzelübersetzung, die kleiner als 8% gegenüber der Serienübersetzung ist, wird kein Abgasgutachten benötigt. Ist die Gesamtübersetzung bzw. die Einzelübersetzung größer als 8%, wird ein Abgasgutachten im akkreditierten Abgaslabor verlangt. Grundsätzlich darf die Einzelübersetzungsänderung nicht größer als 13 % ausfallen [85, S.26].

Zusammenfassung:

Alle oben genannten Möglichkeiten und deren Maßnahmen haben einen Einfluss auf die Leistung. Es stellt sich dabei schnell heraus, dass der Einsatz einer einzelnen Maßnahme nur einen geringen Einfluss auf die Leistung hat. Kommen mehrere zum Einsatz und sind diese aufeinander abgestimmt, wird eine beträchtliche Leistungssteigerung erreicht **[63, S. 52]**. Beim klassischen Tuning kommt der Fahrzeughalter schnell an seine Grenzen, da einige Arbeiten, wie z.B. das Aufbohren der Zylinder oder das Austauschen der Kurbelwelle, nur Fachbetriebe umsetzen können, da diese die entsprechenden Maschinen besitzen **[53, S.48-49]**. Sie haben sich über die Jahre eine Menge an Knowhow angeeignet und können den Fahrzeughalter beim Tuning beraten. Bei jeder Leistungssteigerung muss eine Anpassung der beiden Nebenparameter (Kraftstoff-Luft-Verhältnis und Zündung) erfolgen. Der Lambda Wert soll nach dem Tuning bei 0,9 liegen. Der optimale Zündzeitpunkt ist so einzustellen, dass der Druckberg ca. 10° KW n.OT erreicht wird **[63, S.45-50]**. Extreme Leistungssteigerungen erhöhen die mechanische sowie thermische Bauteilebelastung. Es kommen statt den Serienteile geschmiedete Teile zum Einsatz **[53, S.46+51]**. Ein weiterer Punkt, der eine Anpassung benötigt, ist die Kühlung. Es wird eine neue Auslegung nötig und es kann sogar notwendig sein, verstärkte Pumpen zu verwenden **[57, S.514-515]**. Luftgekühlte Verbrennungsmotoren benötigen neben, der erhöhten Ölumlaufmenge, einen externen Ölkühler **[7, S.110-114]**. Des Weiteren ist eine sinnvolle Anpassung der Getriebeübersetzung erforderlich, sonst würde das Fahrzeug beim Schaltvorgang zu Lasten einer verbesserten Beschleunigung in ein Drehzahlloch fallen **[63, S.151+152+155+156-157]**. Neben der Belastung des Verbrennungsmotor steigt die gesamte Belastung des Antriebsstranges an. Dies lässt sich durch verstärkte Teile verhindern. Im Antriebsstrang ist die Kupplung das schwächste Glied und würde sich durch Rutschen bemerkbar machen. Die Lösung wäre hier, eine verstärkte Variante zu nutzen **[53, S.66-71]**.

3.2 Software-Tuning

Software-Tuning ist auch unter dem Namen Chiptuning oder Kennfeldoptimierung bekannt. Diese Art von Tuning entstand Mitte der 1990er Jahre. In dieser Zeit wurde der Vergaser vollständig als Gemischbildner durch die elektronische Einspritzanlage abgelöst. Beim Softwaretuning findet ein Eingriff in die Software des Motorsteuergerätes statt, die Hardware des Verbrennungsmotors bleibt hierbei unangetastet. In jedem Motorsteuergeräte befinden sich Speicherbausteine, die auch als EPROM-Chip bzw. EEPROM-Chip bezeichnet werden. Auf diesen Speicherbausteinen sind die verschiedensten Kennfelder für die Zündung, die Einspritzmenge, das Einspritzintervall sowie der Ladedruck bei aufgeladenen Verbrennungsmotoren hinterlegt. Das Software-Tuning gelingt auf drei unterschiedlichen Varianten. Es lassen sich sowohl freiansaugende als auch aufgeladene Verbrennungsmotoren per Software tunen. Aufgeladene Verbrennungsmotoren erreichen eine größere Leistungssteigerung, da in diesen Motorsteuergeräten der Ladedruck hinterlegt ist. Mit ihm wird ein direkter Einfluss auf den Liefergrad genommen [86]. Eine Softwareanpassung nutzt die Reserven und Toleranzen des Verbrennungsmotors aus, die bei der Fertigung der Motoren entstehen. Da die Automobilhersteller ihre Fahrzeuge in unterschiedlichen Ländern der Welt verkaufen, müssen die Fahrzeuge die diverse unterschiedliche, länderspezifische Abgasnormen erfüllen, eine minderwertige Kraftstoffqualität vertragen und zusätzlich mit unterschiedlichen Klimabedingungen klarkommen [87].

Möglichkeit:

Widerstand verändern

Maßnahme:

Bei dieser Variante wird der Widerstand des Sensors für die Ansaugluft verändert. Damit verändert sich gleichzeitig auch die Spannung des Sensors. Diese manipulierte Spannung wird an das Motorsteuergerät weitergegeben. Durch das so manipulierte Signal wird dem Steuergerät eine kältere Ansaugluft suggeriert. Es verlängert die Einspritzzeit und sendet dieses Signal an die Einspritzdüse/Injektor. Sie bleiben dadurch länger geöffnet. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird leicht fett und sorgt dadurch für eine geringfügige Mehrleistung [88].

Grenzen:

Dieser zusätzliche Kraftstoff lässt sich nur zum Teil verbrennen. Es erhöht sich der Schadstoffausstoß an HC & CO. Zusätzlich steigt der unverbrannte Kraftstoffanteil im Motoröl bei Kurzstreckenfahrten an. Das Öl verliert früher seine Funktionalität. Des Weiteren kann der Katalysator sogar Schaden nehmen [88].

3. Methoden der Leistungssteigerung

Eintragung:

Für diese Möglichkeit ist keine Eintragung möglich. Eine so durchgeführte Manipulation ist illegal [88]. Es muss davon ausgegangen werden, dass sich die Abgaswerte verschlechtern. Dies führt nach § 19 (2) StVZO zum sofortigen Erlöschen der Betriebserlaubnis [22].

Möglichkeit:

Chiptuning, Software-Tuning, Kennfeldoptimierung

Maßnahme:

Bei dieser Variante findet ein direkter Software-Eingriff statt. Im Laufe der Jahre hat sich diese Maßnahme gewandelt. In der Anfangszeit musste der Tuner das Motorsteuergerät ausbauen, um an den Speicherbaustein (EPROM-Chip) zu kommen. Dieser muss durch einen neuen Erasable Programmable Read-Only-Memory- (EPROM) Chip ersetzt werden, auf dem sich die geänderten Kennfelder befinden [86]. Eine weitere Maßnahme, um die Kennfelder anzupassen, ist das sogenannte Background Debug Mode Tuning (BDM). Dies wird bei neueren Fahrzeugen gemacht, die sich nicht über die OBDII-Schnittstelle programmieren lassen. Im Jahr 2001 wurde diese eingeführt. Sie dient den Werkstätten zum Auslesen des Fehlerspeichers sowie zum Aufspielen von Softwareupdates. Beim BDM handelt es sich um ein Programm der Automobilhersteller, um Fehler zu beheben. Für das Nutzen dieses Programmes muss der Tuner das Motorsteuergerät ausbauen und ein spezielles Tool an die Schnittstelle des Steuergerätes löten. Erst dann gelingen ein Auslesen sowie Abändern der abgespeicherten Daten. Heutzutage lassen sich in den meisten Fällen die Fahrzeuge über die OBDII-Schnittstelle tunen. Dafür verbindet der Tuner seinen Laptop mit dem Fahrzeug und kann anschließend die Daten auslesen und bearbeiten. Es lässt sich damit der gesamte Arbeitsaufwand verringern. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil der Softwareoptimierung ist die individuelle Anpassung an den jeweiligen Verbrennungsmotor. Jeder Verbrennungsmotor hat unterschiedliche Herstellertoleranzen und reagiert daher etwas anders auf die Veränderungen [89]. Bei einigen aufgeladenen Verbrennungsmotoren lassen sich bis zu 30 % Mehrleistung erreichen [90].

Grenzen:

Mit Hilfe einer Softwareoptimierung kann die Leistung nicht unendlich gesteigert werden. Hierbei nimmt die Bauteilbelastung sowohl aus mechanischer,- als auch aus thermischer Sicht zu. Des Weiteren steigt die Belastung des gesamten Antriebsstranges [86]. Es führt immer zu einem erhöhten Verschleiß der Bauteile.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Einige Tuner geben an, dass die mechanischen Bauteile z.B. beim Golf IV 1,9 TDI trotz unterschiedlichster Leistungsangaben gleich sind und die Leistung nur über die Software eingebremst ist. Dies ist nicht richtig. VW verwendet bei den leistungsstärkeren Varianten andere Turbolader, andere Einspritzdüsen oder leistungsstärkere Ladeluftkühler. Diese Bauteile sind der Mehrleistung gewachsen [87]. Mit einer Softwareanpassung allein lässt sich die Leistung nicht unendlich steigern. Es müssen dann Hardwareeingriffe erfolgen. Dafür bieten die Tuner sogenannte Stages an. Hinter diesen Begriff verbergen sich unterschiedliche Leistungsstufen. In der Regel beinhaltet eine Stage 1 nur eine Softwareanpassung/Optimierung. Eine Stage 2 beinhaltet neben der Softwareoptimierung ein austauschen des Ladeluftkühlers oder der Downpipe gegen eine optimierte Variante. Stage 3 soll die maximale Leistung herausholen. Neben der üblichen Softwareoptimierung gelingt dies durch Austauschen von Motorkomponenten wie z.B. Kolben und Pleuel gegen geschmiedete Varianten. Sie vertragen eine höhere mechanische sowie thermische Belastung. Leider legt jeder Tuner selbst fest was für ihn eine Stage 2 oder Stage 3 ist. Dadurch kann der Fahrzeughalter die verschiedenen Angebote der Tuner nicht direkt vergleichen [92]. Besitzt das Fahrzeug noch eine Herstellergarantie, wird durch ein Softwareupdate des Motorsteuergerätes in der Fachwerkstatt die Tuning-Software gelöscht. Anschließend muss das Fahrzeug wieder zum Tuner. Dort wird eine neue Tuningsoftware aufgespielt. Sie ist an das Softwareupdate des Herstellers angepasst [93]. Updates des Herstellers lassen sich verweigern, es sei denn es ist eine vorgeschriebene Rückrufaktion, die vom KBA angeordnet wurde [94].

Eintragung:

Die meisten Tuner bieten für ihr Software-Tuning ein TGA an. In der Regel fahren diese dann auch zu einer Überwachungsorganisation. Der Sachverständige führt dann eine Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO durch. Sollte kein Gutachten vorliegen kann die Eintragung der Software-Optimierung nur per Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO erfolgen.

Möglichkeit:

Powerbox / Zusatzsteuergeräte

Maßnahme:

Powerboxen / Zusatzsteuergeräte lassen sich vom Kunden selbst verbauen und sind beispielsweise zwischen dem Sensor für den Kraftstoff Common Rail Druck und dem Motorsteuergerät geschaltet. Ihre Aufgabe ist es die Signale beispielsweise vom Rail Druck zu verfälschen [95, S.350]. Das Rail ist der Hochdruckspeicher für den Kraftstoff. Dieser Kraftstoff wird von der Hochdruckpumpe geliefert. Es versorgt die Injektoren mit der jeweils benötigten Kraftstoffmenge [57, S.672-673].

3. Methoden der Leistungssteigerung

Dieser manipulierte Wert wird an das Motorsteuergerät übermittelt und dieses regelt entsprechend nach. Es nutzt die vorhandenen Herstellertoleranzen aus [95, S.350]. Eine der bekanntesten Hersteller für Powerboxen ist die Firma Racechip. Sie bietet aktuell drei verschiedene Varianten ihrer Powerboxen an. Die teuerste Variante erreicht die größte Leistungssteigerung und beinhaltet eine Motorgarantie. Mittels einer eigens dafür entwickelten Handy-App gelingt das Auswählen von drei unterschiedlichen Fahrstufen (Eco, Sport und Race). Racechip ermöglicht den Fahrzeughalter das Mitnehmen ihrer Powerbox. Es muss dazu eine Umprogrammierung erfolgen und ein zum Fahrzeug passender Kabelbaum wird benötigt [96].

Grenzen:

Durch den Einsatz einer Powerbox / Zusatzsteuergerätes können Fehler entstehen wie z.B. ein Fahrzeug-Ruckeln oder es treten Notlaufprogramme auf. Aufgrund der universellen Software ist keine individuelle Abstimmung am Motor möglich. In den meisten Fällen wird nur die Einspritzmenge erhöht und die restlichen Kennfelder bleiben unangetastet [97].

Eintragung:

Es ist darauf zu achten, dass die Powerbox / Zusatzsteuergeräte ein TGA besitzen. Nach Einbau der Powerbox / Zusatzsteuergerät muss unverzüglich eine Überwachungsorganisation aufgesucht werden, die eine Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO vornimmt. Möchte der Fahrzeughalter dagegen eine Powerbox / ein Zusatzsteuergerät eintragen, die kein Gutachten besitzen, muss der Sachverständige eine Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO durchführen.

Zusammenfassung:

Der Aufwand sowie die Kosten sind gegenüber dem klassischen Tuning geringer, da kein Eingriff in die Hardware des Verbrennungsmotor erfolgt [96]. Es lassen sich sowohl freiansaugende als auch aufgeladene Verbrennungsmotoren über die Software in der Leistung steigern. Besonders bei aufgeladenen Motoren lässt sich eine beachtliche Leistungssteigerung mit einem Chiptuning erzielen [90]. Ein Vorteil des Chiptunings und der Software-Optimierung gegenüber der Powerbox ist die individuelle Abstimmung an den jeweiligen Verbrennungsmotor. Jedes Bauteil enthält Toleranzen, die bei der Herstellung entstanden sind. Dies führt dazu, dass der Verbrennungsmotor in der Leistung entweder nach oben oder nach unten streut. Tuner nehmen eine Eingangsmessung vor und passen dann dementsprechend die Software individuell an [96].

3.3 Nachrüsten von Hardware

Eine weitere Möglichkeit für eine Leistungssteigerung ist das Nachrüsten von Hardware. Dabei wird die Leistungssteigerung nicht durch eine Veränderung der vorhandenen Motorkomponenten erreicht, sondern es kommen zusätzliche Komponenten zur Anwendung. Es gibt die Lachgaseinspritzung und die Wassereinspritzung. Beide Systeme haben ihren Ursprung bei aufgeladenen Flugzeugmotoren während des zweiten Weltkrieges. Diese Flugzeuge erreichten immer neue Dienstgipfelhöhen. Je höher die Flugzeuge flogen, desto mehr nahm der Sauerstoffanteil ab und es machte sich ein Leistungsverlust bemerkbar. Dank der beiden oben genannten Systeme ist sogar eine Leistungssteigerung möglich [98].

Möglichkeit :

Wassereinspritzung

Maßnahme:

Eine Wassereinspritzung dient dazu die Ansaugluft zu kühlen und den Sauerstoffgehalt zu erhöhen, da eine kühlere Ansaugluft ein geringeres Volumen aufweist. Die Wassereinspritzung kann sowohl bei freiansaugenden als auch bei aufgeladenen Verbrennungsmotoren verwendet werden. Bei aufgeladenen Verbrennungsmotoren lässt sich eine höhere Leistung erreichen, da dieser thermisch höher belastet ist als ein freiansaugender Verbrennungsmotor. Zusätzlich verringert sie die thermische Bauteilbelastung [99]. Zum ersten Mal in der Automobilindustrie kam die Wassereinspritzung beim Oldsmobile Jetfire 1962 zum Einsatz. Dieser Motor war mittels eines ATL aufgeladen und benötigte durch seine hohe Verdichtung von 10,25:1 eine Wassereinspritzung, da er sonst aufgrund des reduzierten Sauerstoffanteils klingeln bzw. klopfen würde. Wird das System nicht befüllt führt es zu Schäden am Verbrennungsmotor oder am ATL [54]. In Europa hat es bis Ende der 1970er Jahre gedauert, bis eine Wassereinspritzung erschien. Sie wurde als Option beim Saab 99 Turbo bis Mitte der 1980er Jahre angeboten [100]. Erst mit dem BMW M4 GTS des Baujahres 2016 wird eine serienmäßige Wassereinspritzung verwendet. BMW verbaut bei diesem System drei zusätzlichen Einspritzdüsen (für jeweils 2 Zylinder wird 1 Wassereinspritzdüse benötigt). Diese Düsen spritzen das destillierte Wasser als feinen Nebel in den Sammler des Saugmoduls und verringern dadurch die thermische Belastung des Motors. Laut BMW lässt sich beim Turbomotor eine Leistungssteigerung von rund acht Prozent realisieren [101]. Durch die Verdunstung des Wassers wird der Ladeluft Enthalpie entzogen und somit eine Verringerung der Ladelufttemperatur erreicht [102, S.540]. Enthalpie ist eine extensive Zustandsgröße und beschreibt die Energie im System. Sie ist somit die Summe der Enthalpien aller Teilsysteme. Eine Extensive Zustandsgröße ist von der Größe des Systems abhängig [103].

3. Methoden der Leistungssteigerung

Der Wasseranteil verändert die Stoffwerte des Gemisches und erreicht damit einen Anstieg der spezifischen Wärmekapazität bzw. eine Senkung des Isentropenexponents. Es sinken die Spitzentemperaturen im Verbrennungsprozess und verringern damit die Stickstoff-Emissionen. Mit dem Isentropenexponent wird das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck (c_p) zu konstantem Volumen (c_v) beschrieben.

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (11)$$

Der größte Effekt lässt sich aber durch die Nutzung der Verdampfungsenthalpie des Wassers erreichen. Neben der Reduzierung der Klopfneigung ermöglicht es einen früheren Zündzeitpunkt. An der Volllast (besonders der Low-End-Torque Bereich) lässt sich der Wirkungsgrad steigern. Im Bereich der Nennleistung gelingt eine Senkung der Abgastemperatur. Dadurch lässt sich auf das zusätzliche Einspritzen von Kraftstoff für die Kühlung des ATLs verzichten. Es ermöglicht sogar eine Steigerung des Verdichtungsverhältnisses. Dies hat wiederum einen positiven Effekt auf den Teillastwirkungsgrad **[102, S.349;S.540-541]**. Für höhere Leistung wird dem Wasser Methanol im Verhältnis von 70:30 beigefügt. Durch den Methanol Anteil erhöht sich die Klopfestigkeit und ermöglicht so eine Anhebung des Verdichtungsverhältnisses. Eine Nutzung von Ethanol statt Methanol ist auch möglich. Das Mischungsverhältnis sollte dann aber bei 50:50 liegen. Vorteil des Methanols gegenüber dem Ethanol ist die höhere Oktanzahl. Daraus resultiert eine weiter erhöhte Klopfestigkeit. Je nach Auslegung der Wassereinspritzung und der verbauten Motorkomponenten lässt sich eine Mehrleistung von bis zu 40% erzielen **[60]**. Durch die Wassereinspritzung lässt sich ein niedriger Verbrauch sowie einen geringeren Ausstoß an Stickoxiden erreichen **[102, S.540-541]**.

Grenzen:

Nachteil der Wassereinspritzung ist die verlängerte Brenndauer sowie die langsamere Verbrennung. Dies liegt an der Beimischung vom Wasser zum Ottokraftstoff. Zusätzlich ergeben sich daraus ein erhöhter Vorzündbedarf und ein Wirkungsgradnachteil aufgrund der langsameren Brenngeschwindigkeit. Dieser Wirkungsgradnachteil wird aber durch die vorteilhafte Verbrennungsschwerpunktlage wieder kompensiert **[102, S.540-541]**. Bei leerem Wassertank wird der Zündzeitpunkt in Richtung spät verstellt und der Ladedruck verringert, wodurch die maximale Leistung nicht mehr abrufbar ist **[101]**.

Eintragung:

Eine Eintragung ist nur per Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO möglich **[99]**.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Möglichkeit:

Lachgaseinspritzung

Maßnahmen:

Mit diesem System sind sehr große Leistungssteigerungen möglich. Die Lachgaseinspritzung kommt häufig im Motorsport zur Anwendung. Es wird Distickstoffmonoxid, eher bekannt unter dem Namen Lachgas (N_2O) eingespritzt. Dieses Gas, was aus zwei Stickstoff- und einem Sauerstoffmolekül besteht, zerfällt bei einer Temperatur von 575°C in seine Bestandteile. Es steigt dadurch der Sauerstoffanteil im Brennraum und ermöglicht bei einem ausreichenden Hinzufügen des Kraftstoffes eine Leistungssteigerung [59]. Die Lachgaseinspritzung gibt es in zwei Varianten. Nasse Systeme spritzen über eine oder mehrere Mischdüsen ein fertiges Gemisch aus Kraftstoff und Lachgas ein. Vorteil des nassen Systems ist, dass die maximale Durchflussmenge in den Düsen höher ist und sich somit mehr Kraftstoff einspritzen lässt. Trockene Systeme spritzen nur Lachgas ein. In der Regel lassen sich Leistungssteigerungen zwischen 20-50 % erreichen. Sind schon vorher technische Veränderungen vorgenommen worden, gelingen sogar Leistungssteigerungen um bis zu 100 % [104].

Grenzen:

Trockene Systeme besitzen den Nachteil, dass nicht alle Zylinder das gleiche Gemisch erhalten. Das serienmäßige Einspritzsystem muss den Kraftstoff liefern und gelangt dadurch schnell an seine eigene Grenze. Dies hat zur Folge, dass das Gemisch deutlich abmagert ($\lambda > 1$) und so für eine klopfende Verbrennung sorgt. Im schlimmsten Fall entstehen somit Schäden am Verbrennungsmotor [104].

Eintragung:

Eine Lachgaseinspritzung lässt sich, bis auf eine Ausnahme, nicht eintragen, da sich durch diese Art der Leistungssteigerung die Abgaswerte immens verschlechtern. Die Firma NOS 1 GmbH hat für ihr Lachgassystem eine ABE erhalten. Sie darf nur beim Seat Leon oder Seat Cupra R mit dem Motorkennbuchstaben BAM und einem 6 Gang Schaltgetriebe verbaut werden. Nach erfolgreichem Einbau der Anlage ist eine Vorführung bei einer der Überwachungsorganisation unerlässlich. Der Sachverständige bestätigt mit seinem Gutachten den ordnungsgemäßen Einbau und schreibt zusätzlich die Änderungen der Fahrzeugpapiere auf. Anhand des Gutachtens kann die Zulassungsbehörde, die ZB 1 und 2 anpassen [105].

3.4 Indirektes Tuning (Abgasanlage)

Die Abgasanlage hat drei Aufgaben: Sie beeinflusst die Leistungscharakteristik des Verbrennungsmotors, soll die Geräusche reduzieren und vermindert mit den eingebauten Katalysatoren die Schadstoffe des Abgases. Dabei lassen sich diese drei Aufgaben nicht vollständig voneinander trennen. Es treten Kompromisse auf. Beispielsweise beeinflusst eine geräuscharme Abgasanlage die Leistungscharakteristik des Verbrennungsmotors. Natürlich gilt dies auch umgekehrt. Eine Leistungsoptimierte Abgasanlage ist meistens zu laut. Die Schalldämpfer sollen den Schallpegel, der am Auslassventil zwischen 60-150 dB (A) beträgt, auf den gesetzlich vorgegebenen Wert verringern. Dies gelingt entweder mit Resonanz- oder Absorptionsschalldämpfer. Es kommen Vor-, Mittel- und Endschalldämpfer zum Einsatz. Auf der Frischgas- sowie auf der Abgasseite tritt ein instationäres Strömungsverhalten auf. Bei geöffnetem Auslassventil wird durch den im Zylinder befindlichen Überdruck und durch die später Aufwärtsbewegung der Kolben eine Überdruckwelle induziert. Diese Überdruckwelle bewegt sich in Richtung Abgasstrang fort und wird an den offenen Rohrenden reflektiert. Sie wird von dort als Sogwelle in Richtung Brennraum zurückgeworfen. Mit einer optimalen Abstimmung der Rohrlängen lässt sich dadurch der Ladungswechsel positiv beeinflussen und zeitgleich der Abgasgegendruck senken. Die Strömungseigenschaften der Abgasanlage beeinflussen maßgeblich die Ausschiebearbeit. Mit den gasdynamischen Effekten und den Strömungseigenschaften wird wiederum der Restgasgehalt der Zylinderladung beim Volllastbetrieb beeinflusst. Dies hat wiederum einen starken Einfluss auf die Verbrennungseigenschaften. Je nach Restgasgehalt erzeugt er veränderte Zündbedingungen. Mit einer Anpassung des Zündzeitpunktes wird maßgeblich der innere Wirkungsgrad und das Drehmoment des Verbrennungsmotors beeinflusst [57, S.548-550]. Das Fahrgeräusch (Schallpegel) spielt, in Deutschland, eine zentrale Rolle und wird mit Hilfe von RL festgelegt. Diese RL verbergen sich hinter der Bezeichnung ECE R 51 bzw. ECE R51.03 [106;107]. In den kommenden Jahren ist eine weitere Anpassung des Fahrgeräusches vorgeschrieben. Ein entscheidender Faktor dabei ist das Leistungsmasseverhältnis eines Kfz. Laut dem Gesetzgeber dürfen schwere und leistungsstarke Kfz lauter sein als ein leichtes Kfz. Für Mittelklasse Kfz gilt aktuell ein Wert von 72 dB. Im Jahr 2022 soll eine Reduzierung auf 70 dB und im Jahr 2026 auf 68 dB erfolgen. Leistungsstarke Sportwagen dürfen aktuell einen Wert von 75 dB erreichen [108]. Trotz dieser Einschränkungen beim Schallpegel schaffen es die Hersteller bzw. Tuner Abgasanlagen zu entwickeln, die in erste Linie, dass Geräusch (Sound) verändern. Als Nebeneffekt dieser abgeänderten Abgasanlage wird der Abgasgegendruck verringert und sorgt für eine geringfügige Leistungssteigerung.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Möglichkeit: Tuningteile bei der Abgasanlage verbauen

Im Folgenden werden die verschiedenen Maßnahmen aufgeführt:

Abgaskrümmer:

Der Abgaskrümmer ist eine wichtige Komponente der Abgasanlage, denn seine Aufgabe besteht darin, das Abgas aus den Zylindern in die Abgasanlage zuführen [109, S.481]. Der Krümmer besteht aus Grauguss oder Edelstahl. Die Form des Abgaskrümmer hängt von der Zylinderanzahl sowie der Bauweise des Motors ab [37, S.99]. Es lässt sich der originale Abgaskrümmer durch einen Fächerkrümmer tauschen. Dieser bietet den Vorteil, der individuellen Anpassung an den Verbrennungsmotor. Er besitzt eine angepasste/optimierte Rohrführung sowie gleiche Rohrlänge und vergrößerte Rohrdurchmesser. Dadurch lassen sich die Abgase schneller und ungehinderter aus dem Zylinder saugen. Es verhindert ein Ansaugen der Abgase beim nächsten Ansaugvorgang [110]. Beim Reihen-Vierzylindermotor ist der Abgaskrümmer nach dem Prinzip 4in2in1 aufgebaut. Gleichläufige Zylinder sind zusammengefasst. Es betrifft beim Reihen-Vierzylindermotor die Zylinder 1 und 4 sowie die Zylinder 2 und 3. Diese zwei Zylinder sind in einem Rohr zusammengefasst. Anschließend gehen diese beiden Rohre in ein Rohr über. Daran angeschlossen wird der Katalysator [63, S.122].

Eintragung:

Im besten Fall liefert der Hersteller für die Fächerkrümmer ein TGA mit. Nach Einbau des Krümmer muss unverzüglich eine Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO erfolgen. Dies gilt aber nur für sonst serienmäßige Abgasanlagen. Hat der Fahrzeughalter die Abgasanlage im Voraus optimiert, muss sichergestellt sein, dass sich der Abgasgegendruck nicht verändert und daraus eine Leistungssteigerung ergibt. In diesem Fall erhöht sich der Prüfaufwand für den Sachverständigen. Eine Fahrgeräuschemessung nach ECE R51 ist unumgänglich [37, S.100].

Downpipe:

Die Downpipe wird auch als Vorrohr bezeichnet und bei Verbrennungsmotoren mit ATL verbaut [111]. Sie besteht aus mehreren Teilen: dem Abgasturboladerflansch, die Katalysatoren und einem Flexteil. Durch die Downpipe wird der ATL mit der restlichen Abgasanlage verbunden. Das Flexrohr soll Spannung aus allen Komponenten der Abgasanlage beim Beschleunigen nehmen und somit die Haltbarkeit der Komponenten erhöhen [112]. Durch die Downpipe wird der Sound lauter/kerniger. Grund dafür ist der vergrößerte Rohrdurchmesser sowie der Einsatz von Sportkatalysatoren. Es verringert sich der Abgasgegendruck und sorgt somit für ein Leistungsplus.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Ein weiterer Vorteil der Tuning Downpipe ist, dass die Hitze effizienter abgeführt wird und dadurch die thermische Bauteilebelastung sinkt. Es sorgt für eine Entlastung des Verbrennungsmotors [111].

HJS Downpipe	+	Abgasanlage	Eintragungsfrei	Unsere Empfehlung
ECE R103 genehmigt				
		Serienanlage	✓	✓
		ECE R59 genehmigt	✓	✓
		EWG oder EG Typengenehmigung	?	Einzelabnahme nach §19 Abs. 2 StVZO
		Teilegutachten	✗	Einzelabnahme nach §19 Abs. 2 StVZO

Abbildung 14: Kombination HJS Downpipe mit Abgasanlage [113]

In **Abbildung 14** ist die Kombinationsmöglichkeiten einer HJS Downpipe mit ECE Genehmigung und einer Abgasanlage dargestellt.

Eintragung:

Die HJS Downpipe besitzt eine ECE-Genehmigung. Findet eine Kombination der HJS Downpipe mit einer Abgasanlage statt, gibt es ein paar Dinge zu berücksichtigen. Ist die Abgasanlage in einem serienmäßigen Zustand oder hat die Abgasanlage selbst eine ECE-Genehmigung, ist laut HJS keine Eintragung erforderlich. Nach Rücksprache mit der GTÜ-Hotline für technische Fragen ist die zuletzt genannte Kombination eine Auslegungssache von HJS. Es ist eine sogenannte Grauzone, da es **Stand 16.11.2021** gesetzlich nicht klar definiert ist. Soll die Downpipe mit einer Abgasanlage kombiniert werden, die eine EWG oder EG-Typgenehmigung hat, muss eine Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO erfolgen. Durch den Einsatz dieser beiden Tuningteile kommt es zu einer gegenseitigen Beeinflussung. Das gleiche gilt auch, wenn für die Abgasanlage nur ein TGA vorhanden ist. Es muss unverzüglich eine Einzelabnahme erfolgen [113].

Katalysator:

Nachdem die Abgase den Abgaskrümmen verlassen haben, strömen sie in die fahrzeugeigene Reinigungsanlage, den Katalysator [37, S.100]. Dieser wird auch als Drei-Wege-Katalysator bezeichnet und konvertiert die bei der Verbrennung entstehenden Schadstoffe HC, CO, und NO_x in nicht schädliche Komponenten H₂O, CO₂ und N₂ um. Im inneren befindet sich ein Träger, der auch Monolith genannt wird.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Dieser Monolith enthält eine Vielzahl von sehr feinen parallelen Kanälen, die mit einer katalytisch aktiven Schicht überzogen sind. Dabei wird die Anzahl der Kanäle in Zellen pro Quadratzoll angegeben und beträgt in der Regel zwischen 400 und 1200 cells per square inch (cpsi). Als Trägermaterial kommt meistens Keramik zum Einsatz. In Sonderfällen und im Motorsport wird Metall verwendet [109, S.482+586]. Bei Tuningkatalysatoren (Sportkatalysatoren) wird die Anzahl der Kanäle auf 200/300 cpsi reduziert und senkt dadurch den Abgasgegendruck. Zusätzlich sorgt der optimierte Abgasstrom für eine thermische Entlastung des Verbrennungsmotors. Des Weiteren zeichnen sich Tuning-Kats durch größere Rohrdurchmesser aus [37, S.101]. Sie kommen auch bei Downpipes zur Anwendung. Die Firma HJS verkauft auch universale Sportkatalysatoren. Sie sind an der originalen Einbauposition zu montieren. Entstandene Lücken sind mit passenden Rohrstücken zu überbrücken. Die Einbauposition der Lambdasonde muss ebenfalls gleichbleiben [114].

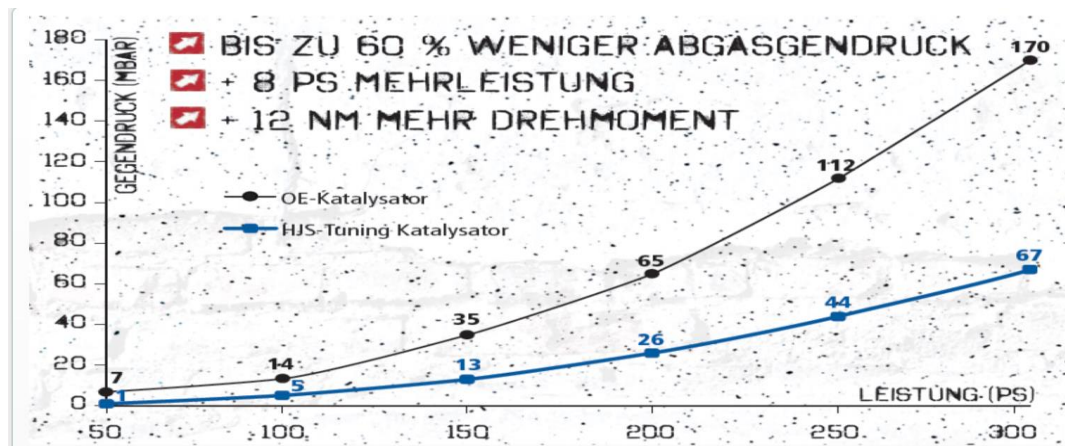


Abbildung 15: Abgasgegendruck Vergleichsmessung bei Katalysatoren [115]

In **Abbildung 15** ist eine Vergleichsmessung des Abgasgegendruckes am Mitsubishi Lancer EVO X mit Euro IV dargestellt. Der Serienkatalysator weist dabei eine Anzahl von 400 Zellen pro cpsi auf. Beim HJS Katalysator wurde die Anzahl der Zellen auf 200 Zellen pro cpsi reduziert. Dadurch sinkt der Abgasgegendruck und es wird gleichzeitig die Anströmung des Katalysators verbessert. Beide Maßnahmen sorgen für eine Mehrleistung von 8 PS und steigern das Drehmoment um 12 Nm. Dies entspricht einer ungefähren Leistungssteigerung von 3 %, wenn der Rest des Kfz serienmäßig bleibt [115].

Eintragung:

Tuningkatalysatoren können mit einem ECE-Prüfzeichen versehen sein. Ist das passende Fahrzeug in der Bescheinigung aufgeführt, kann der Einbau des Kats ohne Hindernisse erfolgen. Gibt es für den Kat nur ein TGA, ist eine Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO erforderlich.

3. Methoden der Leistungssteigerung

Besitzt der ausgewählte Kat kein Gutachten, ist eine Eintragung nur per Einzelabnahme nach § 19(2)StVZO möglich. Damit diese Einzelabnahme positiv verläuft, muss ein Nachweis über das Geräuschverhalten erfolgen. Zusätzlich muss ein Nachweis vorliegen, dass die Abgaswerte sowie die entsprechende Euro-Norm eingehalten werden. Dies kann nur ein akkreditiertes Abgaslabor durchführen. Hat der Besitzer schon im Voraus Veränderungen an der restlichen Abgasanlage vorgenommen, ist in diesem Fall auch wieder eine Einzelabnahme nötig [37, S.101].

Schalldämpfer:

Schalldämpfer gibt es als Vor-, Mittel- und Endschalldämpfer. Es muss dabei eine Unterscheidung zwischen Reflexionsschalldämpfer und Absorptionsschalldämpfer erfolgen. Kennzeichnend für den Reflexionsschalldämpfer sind seine Vielzahl an Kammern. Durch diese wird der Schall geleitet. Diese Schallwellen werden von den einzelnen Wänden zurückgeworfen und heben sich teilweise gegenseitig auf. Der Absorptionsschalldämpfer besteht ebenfalls aus Kammern, die mit Glaswolle oder Glasfasern gefüllt sind. Es entstehen poröse Strukturen, die im Inneren den Schalldruck absorbieren und dadurch die Lautstärke verringern [37, S.102-103]. Sie sollen die Gaspulsation (Gasschwingungen), die durch den Verbrennungsprozess und durch das Auschieben des Abgases an den Auslassventilen entstehen, dämpfen. Bei Austausch der originalen Schalldämpfer durch Sportschalldämpfer wird der Abgasgegendruck vermindert, was zu einem kernigeren/lauteren Geräusch der Abgasanlage führt [109, S.481].

Eintragung:

Oft wird nur der Endschalldämpfer getauscht. Dies ist die einfachste und kostengünstige Maßnahme zur Soundoptimierung. Teile mit ECE-Genehmigung sind eintragungsfrei. Liegt ein TGA vor muss eine Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO erfolgen [37, S.103].

Klappenabgasanlage:

Klappenabgasanlagen kommen bei den Endschalldämpfern zum Einsatz. Sie sind bei einigen Automobilhersteller serienmäßig oder als zusätzliche Option zu kaufen. Die Steuerung dieser Anlage ist technisch sehr simpel ausgeführt. Die Klappen lassen sich entweder per Unterdruck, per Feder oder elektronisch öffnen. Bei geschlossener Klappe wird der Abgasstrom durch alle Schalldämpfer geleitet. Es findet eine ausreichende Dämpfung statt. Ist die Klappe geöffnet, werden ein oder mehrere Schalldämpfer umgangen. Das Fahrzeug wird als Folge um einiges lauter [37, S.104-105]. Es lässt sich in der Regel eine Leistungssteigerung zwischen 4-10% realisieren. Im Wesentlichen hängt die Leistungssteigerung davon ab wie gut der Endschalldämpfer mit der restlichen Abgasanlage harmoniert [116].

3. Methoden der Leistungssteigerung

Eintragung:

Klappenabgasanlagen mit einem ECE oder EG-Prüfzeichen sind eintragungsfrei. Bei einem TGA ist keine Eintragung möglich. Laut EG-Gesetzgebung und dem § 30 StVZO dürfen sich die Geräuschwerte eines Kfz nicht verschlechtern, d.h. die Geräuschwerte dürfen nicht lauter werden. Wenn der Verwendungsbereich der Klappenabgasanlage nicht eingehalten oder mit einer Downpipe oder Ansaugung kombiniert wird, ist eine umfangreiche Geräuschmessung nach VO(EU)540/2014 erforderlich. Wird diese Messung positiv abgeschlossen, erhält das Kfz nach § 21 StVZO eine Einzelbetriebserlaubnis [37, S104-105].

Zusammenfassung:

Die Abgasanlage beeinflusst zum großen Teil das Fahrgeräusch und somit den Sound des Fahrzeuges. Als Nebeneffekt wird der Abgasgegendruck verringert und es wird die thermische Bauteilbelastung des Verbrennungsmotors gesenkt. Es kommt zu einer Entlastung des Motors. Besonders bei leistungsgesteigerten Fahrzeugen macht sich dieser verringerte Abgasgegendruck bemerkbar [117]. Eine Absenkung des Abgasgegendruckes kann aber nicht beliebig weit erfolgen. Einerseits liegt dies an den Strömungswiderständen des Katalysators und andererseits an der Grundfunktion der Schalldämpfung. Sie basiert auf einer irreversiblen Energieumsetzung [57, S.550]. Es müssen jedoch die Grenzwerte der Abgasnorm sowie des Fahrgeräusches eingehalten werden.

Zusammenfassung Kapitel 3:

Kapitel 3 hat die verschiedenen Methoden der Leistungssteigerung aufgezeigt. Das klassische Tuning ist sehr aufwändig und kostenintensiv, da spezielle Bearbeitungsmaschinen nötig sind. Es stellt sich schnell heraus, dass eine einzige Maßnahme nur einen kleinen Einfluss auf die Leistung hat. Für die größtmögliche Leistungssteigerung muss eine Umsetzung von diversen Maßnahmen gleichzeitig erfolgen. Zusätzlich müssen die Nebenparameter und die Getriebeübersetzung neu abgestimmt werden. Software-Tuning greift nur in die Software des Motorsteuergeräts ein. Es ist die kostengünstigste Möglichkeit, um die Leistung zu steigern [85]. Wichtig dabei ist, dass alle Motorschutzfunktionen erhalten bleiben. Das Abschalten von Abgaskomponenten, die zur Abgasnachbehandlung dienen, ist strengstens verboten und führt zum sofortigen Erlöschen der Betriebserlaubnis [118]. Für eine erfolgreiche Eintragung ist das entsprechende Gutachten wichtig [85]. Das Eintragen einer Lachgaseinspritzung ist bis auf eine Ausnahme nicht möglich. Wassereinspritzungen lassen sich nur per Einzelabnahme eintragen. Sie lohnen sich besonders bei leistungsstarken aufgeladenen Verbrennungsmotoren, da sie die thermische Bauteilbelastung senken [99]. Das indirekte Tuning, also der Einsatz einer geänderten Abgasanlage, hat einen entscheidenden Einfluss auf den Abgasgegendruck [116;117].

3. Methoden der Leistungssteigerung

Durch eine Sportabgasanlage ist dieser geringer und erleichtert dem Kolben das Auschieben des Abgases und sorgt somit für eine Leistungssteigerung. Zusätzlich wird die Abgastemperatur verringert und damit die thermische Belastung des Verbrennungsmotors gesenkt [117].

4. Aufgaben des Sachverständigen

Die Überwachungsorganisationen haben in Deutschland mehrere Aufgaben, von denen die Überprüfung der Verkehrssicherheit der Fahrzeuge die Hauptaufgabe ist. Neufahrzeuge (PKW) müssen nach drei Jahren zum ersten Mal zur HU. Danach ist eine HU alle zwei Jahre vorgeschrieben. Diese Untersuchung findet nach § 29 StVZO statt. Neben der Kontrolle der Verkehrssicherheit beinhaltet die HU auch die Untersuchung des Motormanagements und des Abgasreinigungssystems (UMA), auch als Abgasuntersuchung (AU) bekannt. Weitere Aufgaben des Sachverständigen sind das Oldtimergutachten nach § 23 StVZO (Gutachten für das H-Kennzeichen) und die Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO. Möchte der Fahrzeughalter technische Veränderungen vornehmen, kann er den Sachverständigen bezüglich seines Vorhabens fragen. Anhand des Gespräches kann er abschätzen, ob die technische Veränderung umsetzbar wäre und ob eine Eintragung der Veränderung möglich ist. Es lassen sich dadurch eine Menge Aufwand und Kosten vermeiden. Neben diesen hauptsächlichen Aufgaben kann der Sachverständige Gutachten für alle Kraftfahrzeuge erstellen, die schon einmal am öffentlichen Straßenverkehr teilgenommen haben. Diese Rechtsverordnung, nach § 21 StVZO gilt somit auch für Tuningfahrzeugen. Sie waren vor ihrem Umbau als Serienfahrzeug zugelassen. Damit das Tuningfahrzeug wieder am Verkehr teilnehmen darf, führt der Sachverständige eine Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO durch. Handelt es sich um ein Importfahrzeug oder das Fahrzeug war mehr als 7 Jahre abgemeldet, führt er eine Vollabnahme nach § 21 StVZO durch. Er stellt ein Gutachten für eine Einzelbetriebserlaubnis aus. Außerdem darf er Gutachten zur Erteilung einer ABE für alle Kraftfahrzeuge nach § 20 StVZO erstellen. Gutachten zur Erteilung für eine ABE oder EBG/ABG für Fahrzeugteile nach § 22 und § 22a StVZO können auch von ihm erstellt werden. Zu guter Letzt darf der Sachverständige auch Fahrerlaubnisprüfungen von Führerscheinanwärtern abnehmen sowie die Prüfung von Fahrlehrern [119]. Da jede Überwachungsorganisation einen anderen Verrechnungssatz hat, gibt es schon bei der HU preisliche Unterschiede [120]. Bei Eintragungen richten sich die Kosten nach dem Aufwand für Recherche und Untersuchung [121]. **Kapitel 4.1** beschäftigt sich mit dem Teil des VdTÜV-Merkblatt 751, der bei Leistungssteigerungen zur Anwendung kommt. Es dient dem Sachverständigen als Arbeitsgrundlage und beinhaltet alle wichtigen Prüfpunkte, die er berücksichtigen und kontrollieren muss. Je nachdem wie hoch die Leistungssteigerung ausfällt, steigt der Prüfaufwand an. Bei erfolgreicher Prüfung stellt der Sachverständige ein Gutachten zum Ändern der Fahrzeugpapiere aus [30]. Im Anschluss muss unverzüglich eine Berichtigung der Fahrzeugpapiere erfolgen. Im **Kapitel 4.2** sind Indizien zur Feststellung einer Leistungssteigerung während der HU aufgeführt.

4. Aufgaben des Sachverständigen

4.1. VdTÜV-Merkblatt 751

Das VdTÜV Merkblatt 751 ist eine Arbeitsgrundlage für den Sachverständigen. Neben Themen wie z.B. eine geänderte Rad-/Reifenkombination enthält es die wichtigsten Prüfpunkte bei einer Leistungssteigerung. Bevor der Sachverständige mit dem Prüfen des Fahrzeuges anfängt, muss die Leistungskategorie bestimmt werden. Liegt ein TGA vor bezieht sich der Sachverständige auf die im TGA gemessene Leistung. Ist dagegen kein Gutachten vorhanden muss im ersten Schritt eine Leistungsmessung erfolgen. In der Regel besitzen die Prüfstellen keine Fahrzeugrollenprüfstände. Deshalb muss der Fahrzeughalter im Voraus eine Messung durchführen lassen. Mit diesem Dokument kann der Sachverständige sich die Kategorie berechnen, in die das Fahrzeug fällt. Anhand der berechneten Kategorie wird der Prüfaufwand bestimmt.

Kategorie 1: Leistungssteigerung bis 20% der Serienleistung

Kategorie 2: Leistungssteigerung > 20% bis ≤ 40% der Serienleistung

Kategorie 3: Leistungssteigerung > 40% der Serienleistung

Sind alle Prüfungen positiv abgeschlossen, stellt der Sachverständige ein Gutachten aus. Der Sachverständige muss **bei jeder Leistungssteigerung** die folgenden Dinge kontrollieren:

- „1. Motorleistung /Motordrehmoment**
- 2. Prüfung des Emissionsverhalten und Prüfung der CO₂ nach NEFZ**
- 3. Prüfung der Geräuschentwicklung**
- 4. Ermittlung der Höchstgeschwindigkeit**
- 5. Eignung der Bremsanlage**
- 6. Elektromagnetische Verträglichkeit**
- 7. Eignung der Reifen**
- 8. Fahrerprobung über angemessene Strecke**
- 9. Eignung des Geschwindigkeitsmessers**
- 10. Prüfung der zulässigen Anhängelast**
- 11. Maßnahmen gegen Manipulationen“**

[30]

Fällt das Fahrzeug in die **Kategorie 2** muss neben den oben genannten elf Prüfpunkten eine

„ Prüfung der Eignung der Antriebswellen“ erfolgen.

[30]

Sollte das Fahrzeug in die **Kategorie 3** fallen müssen die folgenden Nachweise zusätzlich zu den zwölf Prüfpunkten erbracht werden:

„ Betriebsfestigkeit

Dauererprobung mindestens 2000 km (Vorgegebenes Lastprofil)

4. Aufgaben des Sachverständigen

**Betriebsfestigkeit auf der Basis des Serienfahrzeuges
Bremsverhalten aus $0,8 \times V_{max}$ (dreimal im eingekuppelten Zustand)“**

[30]

Die umfangreiche Beschreibung der Prüfpunkte ist im **Anhang E** zitiert. Die Zusammenfassung bezieht sich auf diese Prüfpunkte.

Zusammenfassung:

Das VdTÜV-Merkblatt 751 dient dem Sachverständigen mit den entsprechenden Gutachten als Arbeitsgrundlage. Für eine Leistungssteigerung beinhaltet es eine Vielzahl von verschiedenen Prüfungen. Das Thema Chiptuning (Änderung der Software im Motorsteuergerät) ist noch (**Stand 30.04.2021**) in der Untersuchung einer Experten-Gruppe und wird zu einem späteren Zeitpunkt aufgenommen [30]. Bei jeder Leistungssteigerung wird im ersten Moment davon ausgegangen, dass sich die Abgaswerte verschlechtern [22]. Es muss deshalb eine Neubestimmung der Abgaswerte erfolgen. Für eine solche Messung wird spezielles Messequipment benötigt sowie ein akkreditiertes Abgaslabor [30]. Deshalb kann eine Neubestimmung der Abgaswerte nicht bei einer Prüfstelle vor Ort erfolgen. Der TÜV oder die Dekra besitzen solche Labore [122,123]. Das KBA hat aufgerüstet und kann seit April 2021 selbst Stichproben in ihrem eigenen akkreditierten Abgaslabor durchführen [124]. Bei Fahrzeugen deren Erstzulassung nach dem 1. September 2018 erfolgte wird ein verändertes Testverfahren nach dem Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure (WLTP) durchlaufen. Grund für das neue Testverfahren ist der Abgasskandal aus dem Jahr 2015. Zusätzlich wird der Test durch den Real Drive Emission-Test (RDE) unterstützt [125]. Bei diesem Test ist das Fahrzeug mit einer Portable Emission Measurement System (PEMS) ausgestattet und wird unter realen Bedingungen im Straßenverkehr bewegt. Es misst die Abgaswerte während der Fahrt [126]. Aufgrund des Aufwandes sind diese Messungen kostenintensiv [127]. An den Prüfstellen wird eine AU durchgeführt. Diese Untersuchung ist aber nicht gleichzusetzen oder vergleichbar mit einer Messung im akkreditierten Abgaslabor. Eine AU besteht aus einer Sichtprüfung der Abgasanlage und deren Sensoren sowie der eigentlichen Messung des Schadstoffausstoßes. Bei Fahrzeugen deren Erstzulassung nach dem Januar 2006 erfolgte, wird neben der Abgasmessung der Fehlerspeicher über die OBDII-Schnittstelle ausgelesen. Erst nachdem der Verbrennungsmotor und die Abgasnachbehandlungssysteme auf Betriebstemperatur sind, darf die Messung starten. Je nach Kraftstoffart und dem Abgasnachbehandlungssystem werden andere Schadstoffe gemessen. Die Abgasmessung erfolgt bei Ottomotoren mit Katalysator im Leerlauf sowie bei erhöhter Drehzahl.

4. Aufgaben des Sachverständigen

Besitzt das Fahrzeug eine OBDII-Schnittstelle, wird in den Regelkreis der Lambdasonde ein Störfaktor eingebracht. Dieser dient zur Funktionsüberprüfung der Lambdasonde. Bei Dieselmotoren werden die Abgaswerte bei Leerlauf und auch bei der Abregeldrehzahl gemessen. Mit der Abregeldrehzahl ist die maximale Drehzahl des Verbrennungsmotors gemeint. Der ausschlaggebende Wert dabei ist der Trübungs- wert auch K-Wert genannt. Die Messungen sind immer von einer gewissen Beruhi- gungszeit unterbrochen [128]. Laut dem Merkblatt sind einige dieser Prüfungen mit einem hohen Aufwand verbunden. In der Praxis erfolgt die Umsetzung allerdings et- was anders. Für eine erfolgreiche Eintragung ist ein Nachweis über die gesteigerte Leistung entweder auf einem Motorprüfstand oder auf einem Fahrzeugrollenprüfstand zu erbringen. In der Regel besitzen die Prüfstellen keinen Fahrzeugrollenprüfstand. Deshalb muss der Fahrzeughalter die Nennleistung bei einem Tuner ermitteln lassen und dieses Diagramm dem Sachverständigen vorlegen. Mit diesem Diagramm kann eine Bestimmung der Leistungskategorie erfolgen. Ist die Leistungssteigerung größer als 20%, aber kleiner gleich 40%, ist eine Prüfung der Antriebswelle nötig. Laut dem Merkblatt muss eine „**Prüfung Eignung der Antriebswelle**“ erfolgen [30]. Dieser Satz ist sehr vage, da er nicht differenziert erläutert was zu tun, bzw. zu kontrollieren ist. Es müsste in diesem Fall die Antriebswelle demontiert und anschließend einer eingehenden Untersuchung unterzogen werden. Im ersten Schritt muss der Ausbau der Antriebswelle erfolgen. Der nächste Schritt wäre eine Materialbestimmung der Antriebswelle. Ist dies erfolgt kann die Wandstärke gemessen werden. Mit dieser gelingt die Berechnung des Torsionsträgheitsmoment und des Widerstandsmomentes. Es lässt sich außerdem die Verdrehung der beiden Enden (Torsion) zueinander berech- nen [129, S.161-166]. Im nächsten Schritt müsste eine Torsionsuntersuchung der Antriebswelle erfolgen, dazu würde die Welle in einen Prüfstand eingespannt und mit dem Torsionsmoment M_T beaufschlagt werden [130]. Allein für eine genaue Untersu- chung der Antriebswelle wäre dies ein immenser Aufwand und mit hohen Kosten ver- bunden. In der Praxis führt der Sachverständige eine eingehende Recherche durch. Dafür sucht er auf der verbauten Antriebswelle nach einer Teilenummer. Anhand die- ser Nummer und mit Hilfe von Ersatzteilkatalogen der Hersteller, kontrolliert der Sachverständige, ob die Antriebswelle auch in leistungsstärkeren Varianten des Her- stellers zum Einsatz kommt. Sollte dies der Fall sein kann der Sachverständige davon ausgehen, dass es nicht zu einem plötzlichen Versagen der Antriebswelle kommen kann. Sind alle anderen Prüfpunkte positiv abgeschlossen, stellt der Sachverständige ein Gutachten aus. Mit diesem Gutachten muss der Fahrzeughalter unverzüglich bei der Zulassungsbehörde vorstellig werden. Diese überträgt die Daten aus dem Gut- achten in die ZB 1 und die ZB 2 und stellt die Betriebserlaubnis wieder her.

4.2 Feststellung einer Leistungssteigerung

Eine HU nach § 29 StVZO ist eine Bauteileprüfung ohne Zerlegung. Dabei wird darauf geachtet, dass sich alle Bauteile in einem ordnungsgemäßen und verkehrssicheren Zustand befinden. Ist dies nicht der Fall, wird die Prüfplakette verweigert und das Kfz muss innerhalb eines Monats zur Nachprüfung. Während der HU gibt es nur wenige Indizien, eine Leistungssteigerung festzustellen **[131]**. Nachfolgend sind die Indizien, aufgeführt, an denen der Sachverständige eine Leistungssteigerung feststellen kann.

- Durch eine sportliche Nockenwelle erhöht sich die Leerlaufdrehzahl und der Verbrennungsmotor läuft bei niedrigen Drehzahlen unrund.
- Der AU-Tester stellt keine Verbindung mit dem Kfz her oder es ist ein abgas-relevanter Fehler im Fehlerspeicher hinterlegt.
- Die Bauform des Verbrennungsmotors hat sich geändert wie z.B. durch Einsatz eines anderen Verbrennungsmotors des gleichen oder anderen Herstellers.
- Die originale Gemischaufbereitung wurde ausgetauscht (elektronische Einspritzanlage gegen Vergaser getauscht).
- Es wurde einem Aufladesystem nachgerüstet (G-Lader, Kompressor oder ATL).
- Eine Lachgaseinspritzung, bzw. eine Wassereinspritzung wurde verwendet.
- Powerboxen / Zusatzsteuergeräte sind so verbaut, dass sie ins Auge beim Öffnen der Haube sticht.
- Veränderungen an der Abgasanlage wie z.B. geänderte Downpipes, Tuning-Katalysatoren etc..

Erfolgt die Leistungssteigerung durch eine Hubraumerhöhung oder durch Anpassen des Liefergrades, ist dies nicht nachweisbar, da keine Zerlegung der Bauteile stattfindet. Dies betrifft auch Veränderungen am vorhandenen Aufladesystem sowie an der vorhandenen Gemischaufbereitung.

5. Anwendungsbeispiel

Dieses Kapitel behandelt das praktische Beispiel, welches an einem Seat Exeo Bj. 2010 mit einem 2,0 TDI Motor durchgeführt wurde. Das Fahrzeug ist mit einer Powerbox der Firma CRD-Tuning ausgerüstet. Diese soll die Leistung des Verbrennungsmotors steigern. Der Nachweis dazu erfolgte auf einem Fahrzeugrollenprüfstand. Anschließend wurde der Einfluss der Powerbox auf die Abgaswerte durch eine AU-Messung untersucht. Zum Abschluss des Versuches wurde ein Fahrversuch inklusive einer Elastizitätsmessung unternommen. Die Elastizität ist die Beschleunigung in einem Gang. Zusätzlich muss die Anfangsgeschwindigkeit $> 0 \frac{km}{h}$ sein.



Abbildung 16: Seat Exeo [132]

In **Abbildung 16** ist das Modell des Versuchsfahrzeugs abgebildet. Die technischen Daten sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Technische Daten des Seat Exeo [133;134]

Beschreibung	Technische Daten
Zylinderanzahl	4
Motorbaumform	Reihenmotor
Hubraum	1968 cm ³
Leistung	125 KW/ 170 PS
Drehzahl bei max. Leistung	4200 min ⁻¹
Drehmoment	350 NM
Drehzahl bei max. Drehmoment	1750-2500 min ⁻¹
Höchstgeschwindigkeit	224 $\frac{km}{h}$
Anzahl der Gänge	6 Gang Schaltgetriebe
Reifengröße	205/55 R 16 91 W / H M+S

5. Anwendungsbeispiele



Abbildung 17: Abbildung der CRD-Powerbox

In **Abbildung 17** ist die verbaute CRD-Powerbox abgebildet. Laut CRD wird mit dieser Powerbox eine Mehrleistung von bis ca. 30% erreicht. Das Drehmoment soll bis ca. 25 % steigen und gleichzeitig sinkt der Kraftstoffverbrauch bis ca. 20%. **Tabelle 3** enthält die für den Seat Exeo 2,0 TDI mit Dieselpartikelfilter (DPF) konkreten Daten der Leistungssteigerung.

Tabelle 3: Daten laut CRD-Tuning für die Leistung und das Drehmoment [135]

	Serienmäßig	CRD-Tuningboxxx
Leistung	170 PS	212PS
Drehmoment	350 NM	416 NM

Für die Steuerung ihrer Box nutzt CRD-Tuning einen Atmel Microcontroller. Anhand der programmierten Kennlinie erhöht er den Kraftstoffdruck. Zusätzlich berücksichtigt der Microcontroller bei seiner Steuerung die Drehzahl und die Last **[136]**.

5.1 Leistung und Drehmoment Messung

Versuchsaufbau:

Die Messung der Motorleistung/Motordrehmomentes erfolgt auf einem Fahrzeugrollenprüfstand des Typs FLA 206 der Robert Bosch GmbH. Dabei handelt sich um einen Allrad-Leistungsprüfstand, der pro Achse max. 400 kW messen kann. Für die Bremse wird pro Rollenpaar eine Wirbelstrombremse genutzt. Es ist somit eine passive Belastungsmaschine. An der Wirbelstrombremse befindet sich ein Hebelarm und eine Kraftmessdose. Diese misst das Drehmoment und errechnet mit der Drehzahl die Radleistung. Für die Drehzahlmessung befinden sich an den Rollen Drehzahlsensoren. Das Fahrzeug wird mit Spanngurten an der Abschleppöse und dem Boden festgespannt. Als Prüfstandsoftware wird Your Dyno 3.2 verwendet [137].



Abbildung 18: Seat Exeo auf dem Fahrzeugrollenprüfstand

Abbildung 18 zeigt den Seat Exeo auf dem Fahrzeugrollenprüfstand. Vor dem Fahrzeug befindet sich ein Fahrwind Simulator der Firma Nordklima. Dieser soll das Fahrzeug während der Messung kühlen und den Fahrtwind simulieren. In **Abbildung 19** ist dieser dargestellt.



Abbildung 19: Fahrtwind Simulator der Firma Nordwind

Versuchsdurchführung:

Bevor der eigentliche Versuch gestartet wird, müssen die Umgebungsbedingungen im Prüfstandsraum gemessen werden. Die Ergebnisse davon sind in der **Tabelle 4** dargestellt.

Tabelle 4: Umgebungsbedingung im Prüfstandsraum [136]

Atmosphärischer Luftdruck	1026,9 hPa
Temperatur	10,6 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	50,4%

Nach dem diese bestimmt sind kann nun der Sensor in den Ansaugbereich des Luftfilters gesteckt werden. Über alle Messungsdurchführungen werden dort die Daten der angesaugten Luft erfasst. Zusätzlich muss vor den Messungen ein Abgleich zwischen der Motordrehzahl sowie der Rollendrehzahl erfolgen, da es eine Übersetzung innerhalb des Antriebsstranges gibt und eine Übersetzung zwischen dem Rad und der Rolle. Es würde sonst eine falsche Leistung berechnet werden. Die Messungen können erst beginnen, nachdem das Fahrzeug seine Betriebstemperatur erreicht hat. Im ersten Abschnitt wird das Fahrzeug ohne Powerbox gemessen. Für eine Reproduzierbarkeit der Messergebnisse wurden die Messung dreimal durchgeführt. Anschließend wurde die Powerbox zwischengeschaltet und es wurden erneut drei Messungen durchgeführt. Zum Abschluss der Leistungsmessung erfolgte eine Rückvermessung im Serienzustand. Mit dieser Messung sollte eine Bestätigung der ersten drei Messungen erfolgen. Die Leistungsmessungen erfolgten im vierten Gang, da in diesem Gang die Übersetzung bei 0,939 ist und somit fast eine direkte Übersetzung vorliegt [134]. Das Fahrzeug wird aus niedriger Drehzahl bis zur Abregeldrehzahl hoch beschleunigt. Ist diese Drehzahl erreicht wird ausgekuppelt und der Fuß vom Fahrpedal genommen. Jetzt rollt das Fahrzeug aus und es wird zeitgleich die Schleppleistung gemessen. Mit der Schleppleistung sind die Verluste gemeint, die zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Rad entstehen. Die Radleistung und die Schleppleistung ergeben zusammen addiert die Motorleistung [138].



Abbildung 20: Y-Stecker der Powerbox

5. Anwendungsbeispiele

Abbildung 20 zeigt den Y-Stecker der CRD-Powerbox. Zuerst muss der originale Stecker vom Common Rail Drucksensor entfernt werden. Dieser Stecker wird mit dem unteren Stecker des Y-Kabels verbunden. Der obere Stecker wird auf dem Common Rail Drucksensor gesteckt. Nun ist die Powerbox angeschlossen.

V Versuchsergebnisse und Interpretation:

In den **Diagrammen 1 und 2** sind die Leistungskurven und Drehmomentkurven im Serienzustand abgebildet.



Diagramm 1: Leistungsmessung ohne CRD-Powerbox

Im **Diagramm 1** ist die Leistung über der Drehzahl dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die Motorleistung in den vier Messungen nahezu identisch ist. Es treten nur geringe Streuungen in der Leistung von 0,65 kW auf. Diese Abweichungen lassen sich vernachlässigen, da diese innerhalb der Messtoleranzen liegen. Die Messung zwei erreicht einen Höchstwert von 115,9 kW bei einer Drehzahl von 3996 min⁻¹. Ab einer Drehzahl von 4000 min⁻¹ fallen die Leistungskurven wieder ab. In den vier Messungen wurde die Serienleistung nicht erreicht.

5. Anwendungsbeispiele

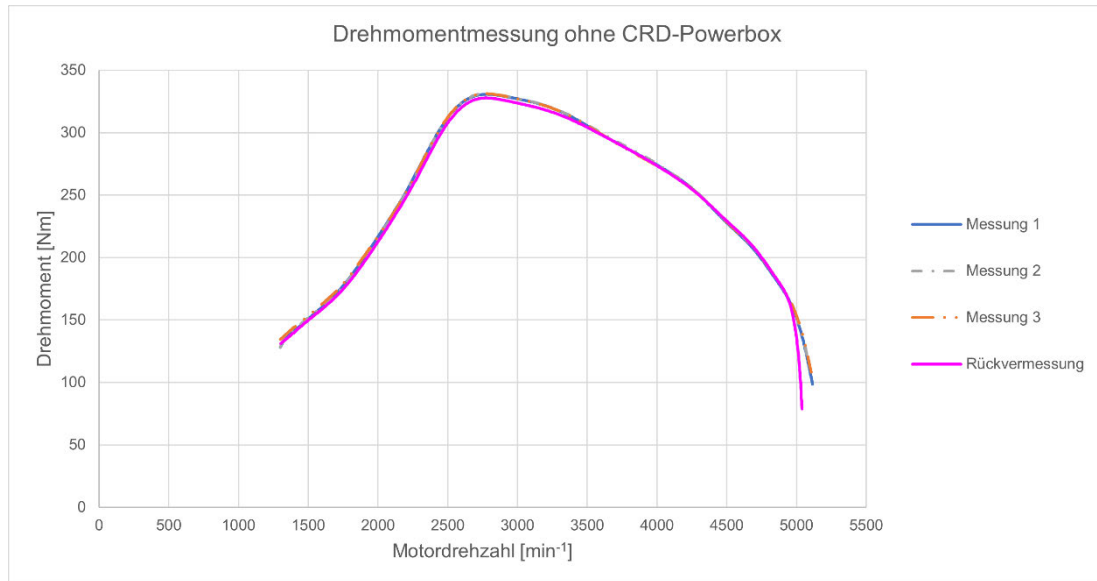


Diagramm 2: Drehmomentmessung ohne CRD-Powerbox

Im **Diagramm 2** ist das Drehmoment über der Drehzahl dargestellt. In den Messungen ist das Drehmoment genauso konstant wie die Leistung. Es ergibt sich über die Messungen eine geringe Streuung von max. 0,4 Nm im Drehmoment. In den Messungen zwei und drei wird der Höchstwert von 331,17 Nm bei 2774 min^{-1} bzw. bei 2771 min^{-1} erreicht. Ab einer Drehzahl von 3000 min^{-1} fällt das Drehmoment ab. Bei Erreichen der Abregeldrehzahl liegt ein Drehmoment von 150 Nm vor. Das gemessene Drehmoment liegt ca. 20 Nm unter dem Serienwert.

Die Messergebnisse mit der CRD Powerbox sind in den **Diagrammen 3 und 4** dargestellt.

5. Anwendungsbeispiele

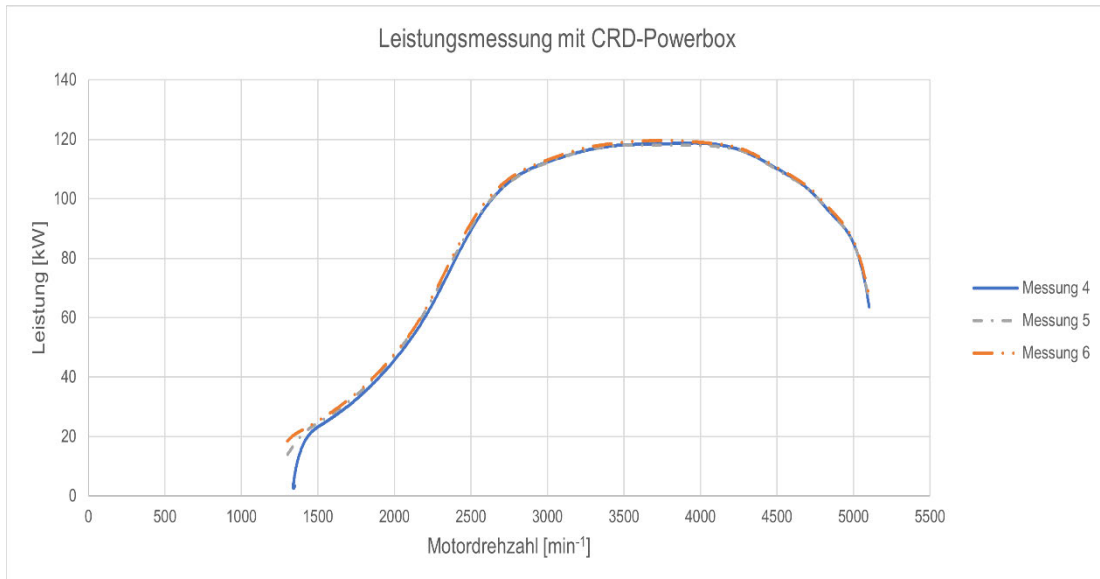


Diagramm 3: 3 Messungen der Leistung mit CRD-Powerbox

In **Diagramm 3** ist die Leistung über der Drehzahl dargestellt. Über die drei Messungen ist die Leistung nahezu identisch. Es treten Streuungen in der Leistung von max. 1,58 kW auf. In der Messung 6 erreicht das Fahrzeug eine Leistung von 119,62 kW bei 3757 min⁻¹. Trotz der Powerbox erreicht das Fahrzeug die Serienleistung nicht.

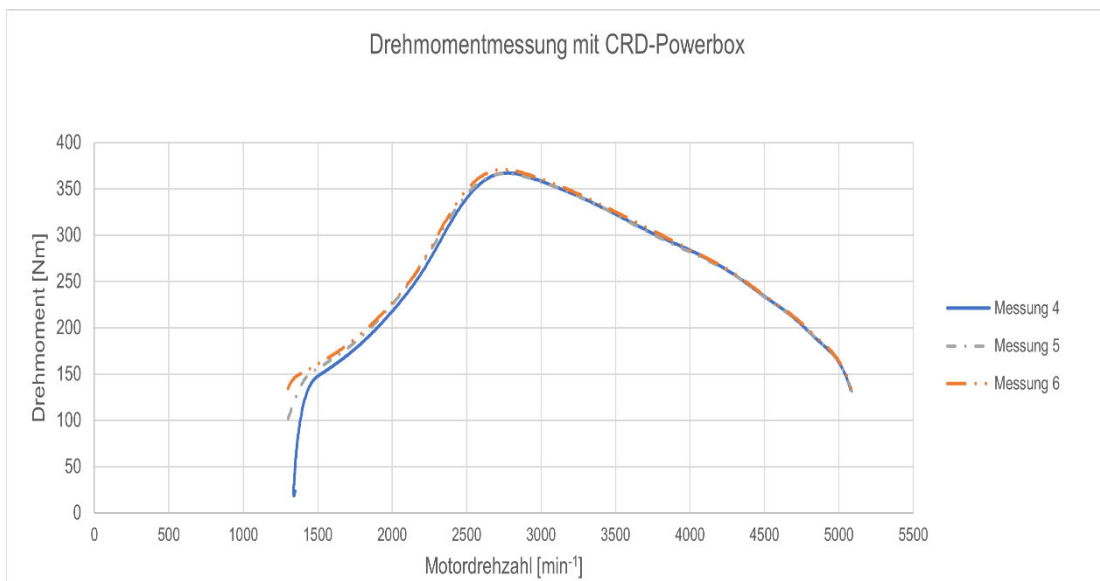


Diagramm 4: 3 Messungen des Drehmomentes mit CRD-Powerbox

Im **Diagramm 4** ist das Drehmoment über der Drehzahl dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass das Drehmoment über die drei Messungen nahezu identisch ist.

5. Anwendungsbeispiele

Es treten Streuungen im Drehmoment von 4,2 Nm auf. In der sechsten Messung wird ein max. Drehmoment von 370,86 Nm erreicht. Ab einer Drehzahl von 3000 min⁻¹ fällt das Drehmoment ab.

Während der sieben Messungen sind die Umgebungsbedingungen im Ansaugbereich des Luftfilters konstant geblieben. Die Ergebnisse davon sind in der **Tabelle 5** dargestellt.

Tabelle 5: Messergebnisse der Einflussfaktoren während der Messung

Atmosphärischer Luftdruck	1026,8 mBar
Temperatur	15,4°C
Relative Luftfeuchtigkeit	39,5%

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Messergebnisse sind in den **Diagrammen 5 und 6** die Daten der Messungen ohne Powerbox und mit Powerbox dargestellt.

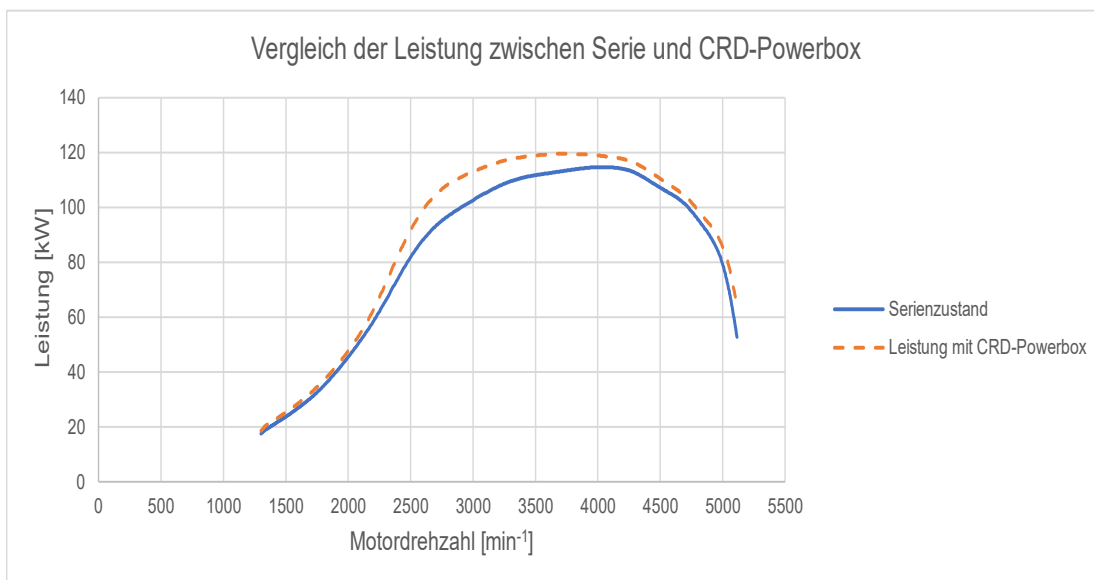


Diagramm 5: Vergleich der Leistung mit/ohne CRD-Powerbox

Im **Diagramm 5** wurde die Leistungskurven des Serienzustandes und der Leistung mit der CRD-Powerbox über der Drehzahl dargestellt. Anhand der beiden Kurvenverläufe lässt sich erkennen, dass das Fahrzeug mit der Powerbox über den ganzen Drehzahlbereich eine Mehrleistung erzeugt. Besonders ab einer Drehzahl von 2400 min⁻¹ hebt sich die orange Kurve ab und nähert sich erst bei einer Drehzahl von 4200 min⁻¹ der blauen Kurve wieder an. Bei einer Drehzahl von 2616 min⁻¹ liegt eine Leistung von 100 kW mit der Powerbox vor. Dagegen stehen bei der gleichen Drehzahl im Serienzustand 89 kW zur Verfügung. Es ergibt sich in diesem Punkt eine Leistungsdifferenz von 11 kW.

5. Anwendungsbeispiele

Die orange Kurve erreicht bei einer niedrigeren Drehzahl die maximale Leistung. Bei der max. Drehzahl ergibt sich eine Leistungsdifferenz von 3,72 kW.

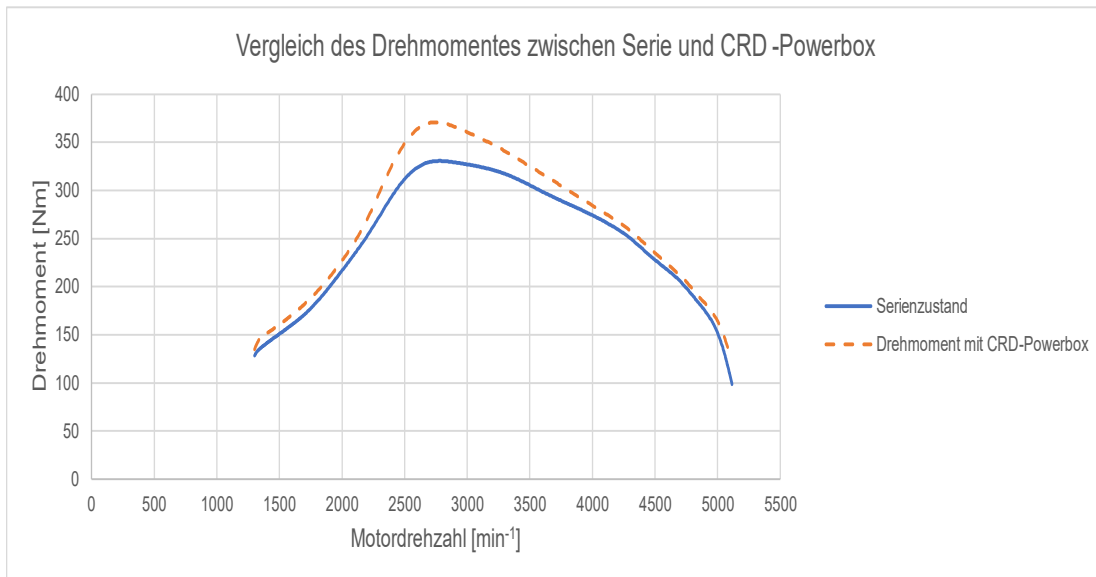


Diagramm 6: Vergleich des Drehmomentes mit/ohne CRD-Powerbox

In **Diagramm 6** wurde das Seriendrehmoment und das Drehmoment mit der Powerbox über der Drehzahl dargestellt. Im unteren Drehzahlbereich bis zu einer Drehzahl von 2400 min^{-1} sind die beiden Kurvenverläufe nahezu identisch. Danach hebt sich die orange Kurve ab und nähert sich erst ab einer Drehzahl von 4000 min^{-1} der blauen Kurve wieder an. Bei einer Drehzahl von 2500 min^{-1} erreicht die orange Kurve einen Wert von 350 Nm. Dagegen erreicht die blaue Kurve bei gleicher Drehzahl ein Drehmomentwert von 312 Nm. Das maximale Drehmoment erreichen die beiden Kurven bei fast gleicher Drehzahl. Es ergibt sich ein max. Drehmomentunterschied von ca. 40 Nm.

Hiermit wird bewiesen, dass die Powerbox eine messbare Leistungssteigerung auf dem Fahrzeugrollenprüfstand bringt. Es lässt sich aber in beiden Fällen nicht die Serienleistung von 125 kW erreichen. Mit der Powerbox wird das Seriendrehmoment um ca. 20 Nm übertroffen. Zusätzlich kann keine Bestätigung der Angaben von CRD-Tuning erfolgen. Bei den Angaben von CRD-Tuning handelt es sich um bis zu Angaben und zweitens wird bei dieser Powerbox nur der Rail Druck erhöht. Dies ist ein Nachteil dieser preiswerten Powerboxen. Greift die Powerbox zusätzlich in den Ladedruckkreis ein kann eine höhere Nennleistung erreicht werden. Anhand der gemessenen Leistungsdifferenz und dem VdTÜV-Merkblatt 751 kann nun die Leistungskategorie bestimmt werden, in die das Fahrzeug fallen würde, wenn die Leistungssteigerung eingetragen werden soll.

„**P 20 = P Tuning/P Serie**“ = 119,62 kW/115,9 kW = 1,0319. [30]

Es ergibt sich somit eine Leistungssteigerung von 3,19 %. Es werden somit die Anforderungen nach dem **Punkt Anforderungen 4.1** fällig. Diese sind im **Kapitel 4.1** aufgeführt. Ihre Beschreibung erfolgt im **Anhang E**.

5.2 AU-Messung

Versuchsaufbau:

Bei der AU-Messung kommt als Messtechnik der Bosch BEA 950 der Robert-Bosch GmbH zum Einsatz. Mit diesen lassen sich die Abgaswerte bei Otto- und Dieselmotoren messen. Zusätzlich kommt der BEA 070 von Bosch zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ein Opazimeter. Dieses Messgerät kann die Trübung bei Gasen oder Flüssigkeiten messen.



Abbildung 21: Bosch BEA 070

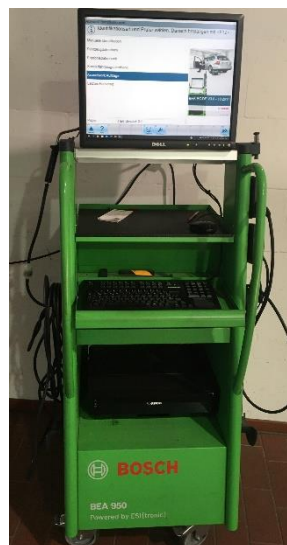


Abbildung 22: Bosch BEA 950

In den **Abbildungen 21 und 22** ist die verwendete Messtechnik abgebildet. Beide Geräte sind durch die GTÜ Prüfmittelservice am 15.12.2021 kalibriert worden. Der Bosch BEA 950 der in **Abbildung 22** zu sehen ist ermöglicht mit dem dafür vorgesehenen Programm die Messung der Abgaswerte beim Otto- als auch beim Dieselmotoren. Die verwendete Software hat den Stand BEA- PC DE V3.0-10.2017.

Versuchsdurchführung:

Die AU-Messung erfolgt zuerst ohne die Powerbox und anschließend mit der Powerbox. Bevor die Messung starten kann, muss das Opazimeter eingeschaltet werden und ist nach einer Aufwärmphase von 3 min einsatzbereit [139]. Das Fahrzeug muss, damit die Messung beginnen kann, auf eine Mindestöl-Temperatur von 80 °C gebracht werden. Während das Fahrzeug warm läuft, kann der Sachverständige mit der Identifikation des Fahrzeuges beginnen. Dies ist ein wichtiger Prüfschritt, um einen möglichen Betrug auszuschließen und die AU zu einem späteren Zeitpunkt dem betreffenden Fahrzeug zuzuordnen. Im ersten Schritt erfolgt dazu ein Abgleich von der Fahrzeugidentifikationsnummer (FIN) die in den Fahrzeugpapieren steht mit der eingprägten FIN des Fahrzeuges. Ist dies erfolgt kann der Sachverständigen das Fahrzeug über die Fahrzeugdatenbank identifizieren. Dazu gibt er die Hersteller- und die Schlüsselnummer laut Fahrzeugschein ein. Anhand dieser Daten wird das Fahrzeug erkannt. Nun muss der richtige Motorkennbuchstabe ausgewählt werden. In diesem Fall ist der Motorkennbuchstabe CAH. Ist das richtige Fahrzeug ausgewählt wird der Bediener darum gebeten, das Kennzeichen des Fahrzeuges, den aktuellen Kilometerstand, die maximale Nenndrehzahl sowie die Emissionsklasse ein zugegeben. Nach diesem Schritt muss eine Verbindung zwischen AU Tester und Fahrzeug hergestellt werden. Ist die Verbindung hergestellt wird der Bediener gefragt, ob die Motorkontrollleuchte (MIL) bei eingeschalteter Zündung leuchtet und bei laufendem Motor aus ist. Dies muss der Bediener bestätigen. Zeitgleich erfolgt ein Auslesen des Fehlerspeichers. Anschließend baut sich das Messfenster auf. Es muss jetzt noch eine Durchführung des Drehzahltest erfolgen. Dazu wird das Fahrpedal bis zum Anschlag durchgetreten, bis die Abregeldrehzahl erreicht wird. Viele Dieselfahrzeuge erreichen im Stand nicht die in den AU-Daten hinterlegte natürliche Abregeldrehzahl, genauso auch das Versuchsfahrzeug. Um dort die natürliche Abregeldrehzahl zu erreichen, muss das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) ausgeschaltet und die Kupplung getreten sein [128]. Das ESP verhindert mit gezielten Bremsingriffen ein Ausbrechen des Fahrzeuges [102, S.312]. Nun gelingt das Erreichen der natürlichen Abregeldrehzahl. Im Messfenster wird der Wert für die Abregeldrehzahl auf 5 Sek. eingestellt sowie die Anzahl der Reinigungsgasstöße auf 10. Sie dienen zum Freiblasen der Abgasanlage. Es kann nun die eigentliche Messung beginnen. Im ersten Abschnitt wird dazu die Leerlaufdrehzahl gemessen. Bei der Leerlaufmessung darf die Drehzahl auf keinen Fall steigen/sinken da sonst die Uhr neu beginnt runter zulaufen. Die Messung dauert 30 Sek. Danach wird die Abregeldrehzahl für 5 Sek. gehalten. Es wird nun das Fahrpedal schlagartig losgelassen, dadurch dauert es eine gewisse Zeit, bis sich die Motordrehzahl wieder bei der Leerlaufdrehzahl eingependelt hat. Der AU Tester wertet die gemessene Werte aus und sagt dem Bediener gleich, ob die AU bestanden ist oder nicht.

5. Anwendungsbeispiele

Versuchsdurchführung und Interpretation:

		Einheit	Min.	Max.	Fzg. Istdaten	
Konditionierung	Motortemp.	°C	80		82,0	i. O.
	Leerlaufdrehzahl	1/min	730	930	830	i. O.
	Abregeldrehzahl	1/min	2300	5600	5340	i. O.
Gasstoßmessung	Rein.Gasst./Drehzahl	10/2300			10/2461	
	Messzeit	s	0,50			
	Messmodus/Sonde		B/1			
	Trübungs-Bandbreite	1/m		0,2	0,00	i. O.
	Arithm. Mittelwert der Trübung(P)	1/m		1,50	0,00	i. O.
	Beschleunigungs-Bandbreite	s		0,5	0,00	i. O.
	Gasstoß-Nr.	Trübung	Leerlaufdrehzahl	Abregeldrehzahl	Beschleunigungszeit	
	k1	0,00	829	4820	1,24	i. O.

Abbildung 23: AU ohne Powerbox

In **Abbildung 23** ist das Ergebnis der AU ohne Powerbox abgebildet. Anhand der Fahrzeug-Istdaten lässt sich erkennen dass alle Prüfpunkte mit i.O. beantwortet sind und es liegt kein Fehler vor. Der Trübungswert beträgt $0,00 \text{ m}^{-1}$. Das Fahrzeug dürfte laut dem Baujahr einen maximalen Trübungswert von $1,50 \text{ m}^{-1}$ haben [140]. Die AU wurde von dem Fahrzeug anstandslos bestanden.

Im nächsten Schritt wurde die Powerbox wieder angeschlossen und die AU nochmals durchgeführt. In **Abbildung 24** ist das Ergebnis dieser Messung zusehen.

		Einheit	Min.	Max.	Fzg. Istdaten	
Konditionierung	Motortemp.	°C	80		80,0	i. O.
	Leerlaufdrehzahl	1/min	730	930	830	i. O.
	Abregeldrehzahl	1/min	2300	5600	5341	i. O.
Gasstoßmessung	Rein.Gasst./Drehzahl	10/2300			10/3571	
	Messzeit	s	0,50			
	Messmodus/Sonde		B/1			
	Trübungs-Bandbreite	1/m		0,2	0,00	i. O.
	Arithm. Mittelwert der Trübung(P)	1/m		1,50	0,00	i. O.
	Beschleunigungs-Bandbreite	s		0,5	0,00	i. O.
	Gasstoß-Nr.	Trübung	Leerlaufdrehzahl	Abregeldrehzahl	Beschleunigungszeit	
	k1	0,00	829	4847	1,06	i. O.

Abbildung 24: AU mit Powerbox

Abbildung 24 zeigt das AU Ergebnis mit angeschlossener Powerbox. Anhand dieser Daten lässt sich erkennen, dass die Fahrzeug- Istdaten wieder alle i.O sind. Es wird ein Trübungswert von $0,00 \text{ m}^{-1}$ gemessen. Das Fahrzeug besteht auch diese AU anstandslos.

5. Anwendungsbeispiele

Trotz angeschlossener Powerbox lässt sich kein Einfluss auf den Trübungswert feststellen. Das Fahrzeug besteht die AU anstandslos. Bei der Messtechnik muss berücksichtigt werden, dass die Opazimeter veraltet sind und ihr Messverfahren aus den 1970er Jahren stammt. Sie können einen minimalen Trübungswert von $0,50 \text{ m}^{-1}$ messen [141]. Neuere Fahrzeuge sind sauberer und erreichen in der Regel einen Trübungswert von $0,00 \text{ m}^{-1}$ bei der AU. Deshalb sollen bei Fahrzeugen, die der Schadstoffklasse Euro 6 angehören ab dem 01.01.2023 neben der Trübungsmessung eine Partikelanzahl gemessen werden. Die Firma Bosch hat dafür das Partikelzählgerät BEA 090 entwickelt. Bei diesem Gerät wird das Kondensationspartikel-Zählverfahren als Messverfahren genutzt. Durch eine Trägerflüssigkeit lassen sich die Partikel für das optische Zählverfahren sichtbar machen. Mittels eines Sensors gelingt die präzise Partikelzählung.[142] Um eine genaue Aussage über die Abgaswerte zu erhalten, müssen Leistungsgesteigerte Fahrzeuge ins akkreditierte Abgaslabor. Die AU ersetzt diese Untersuchung nicht.

Im abschließenden Test wurde ein Fahrversuch mit einer Elastizitätsmessung zwischen 80 und $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ durchgeführt.

5.3 Elastizitätsmessung und Fahrversuch

Versuchsaufbau:

Für diesen Versuch wird das Fahrzeug mit einer VBOX Touch ausgerüstet. Sie hat den Softwarestand 1.4.0.18 und nutzt für die Messungen das GPS-Signal [143].



Abbildung 25: VBOX Touch [144]

In **Abbildung 25** ist die VBOX Touch Racelogic abgebildet. Neben Messungen der Geschwindigkeit, Beschleunigung, Verzögerung können auch Elastizitätsmessungen durchgeführt werden. Die VBOX ist bis zum 31.08.2022 geeicht [143]. Die Messung erfolgt in Anlehnung an die DIN-Norm 70020-Teil 3 [145].

Versuchsdurchführung:

Auf die Prüfung der Höchstgeschwindigkeit wurde aus folgenden Gründen verzichtet: Erstens erreicht das Fahrzeug nicht die in der ZB 1 abgedruckte Serienleistung. Zweitens weisen die montierten Winterräder einen Geschwindigkeitsindex von H (entspricht $210 \frac{\text{km}}{\text{h}}$) auf [146]. Laut ZB 1 erreicht das Fahrzeug aber eine Höchstgeschwindigkeit von $224 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ [133]. Die Sommerreifen besitzen den benötigten Geschwindigkeitsindex von W (entspricht $270 \frac{\text{km}}{\text{h}}$) [146]. Die Messungen fanden auf der Autobahn A7 zwischen den Ausfahrten 19 Henstedt-Ulzburg und 18 Kaltenkirchen statt. Die Teststrecke wurde in beide Richtungen einmal durchfahren. Mit dem Fahrzeug wurden ca. 25 km zurückgelegt. In **Abbildung 26** ist die Teststrecke abgebildet.



Abbildung 26: Übersicht der Teststrecke [VBOX Touch]

Auf den Hinweg nach Kaltenkirchen war die Powerbox ausgeschaltet. Es wurden zwei Messungen der Elastizität im vierten Gang durchgeführt sowie drei Messungen im fünften Gang. An der Autobahnausfahrt 18 wurde die Autobahn verlassen und die Powerbox am Straßenrand wieder aktiviert. Nun begann die Rückfahrt und es wurden die gleichen Messungen durchgeführt.

Versuchsergebnisse und Interpretation:

Die Messergebnisse ohne Powerbox sind in der **Tabelle 6** zusammengefasst. Es werden die tatsächlich gemessenen Werte aufgeführt und dann auf eine Nachkommastelle gerundet [145].

Tabelle 6: Elastizitätsmessung ohne Box

Messung	gemessener Wert	gerundet auf 0,1 s	Mittelwert
1 im 4.Gang	6,65 s	6,7 s	6,4 s
2 im 4.Gang	6,13 s	6,1 s	
3 im 5.Gang	8,44 s	8,4 s	8,2 s
4 im 5.Gang	8,05 s	8,1 s	
5 im 5.Gang	8,1 s	8,1 s	

In der **Tabelle 7** sind die Ergebnisse mit der Powerbox dargestellt.

Tabelle 7: Elastizitätsmessung mit Box

Messung	gemessener Wert	gerundet auf 0,1 s	Mittelwert
1 im 4.Gang	5,84 s	5,8 s	5,8 s
2 im 4.Gang	5,79 s	5,8 s	
3 im 5.Gang	7,45 s	7,5 s	7,3 s
4 im 5.Gang	7,07 s	7,1 s	
5 im 5.Gang	7,40 s	7,4 s	

Durch die Powerbox nimmt die Beschleunigung sowohl im vierten als auch im fünften Gang zu. Im vierten Gang lässt sich der Mittelwert von 6,4 s ohne Box auf 5,8 s mit Box reduzieren. Eine ähnliche Verbesserung lässt sich auch im fünften Gang beobachten. Ohne Box beträgt der Mittelwert 8,2 s und mit der Box 7,3 s. Es lassen sich damit die auf dem Fahrzeugrollenprüfstand gemessenen Werte bestätigen. Zum aktuellen Zeitpunkt kann die VBOX Touch das Gefälle bzw. die Steigung bei den Messungen nicht berücksichtigen. Der Hersteller ist an einer Entwicklung eines Programmes dran. Des Weiteren kann gesagt werden, dass durch die Powerbox keine Erhöhung der Höchstgeschwindigkeit zu erwarten ist, da die Serienleistung nicht übertroffen wird. Bei diesem Versuch soll es auch um die Indizien aus dem **Kapitel 4.2** gehen.

5. Anwendungsbeispiele

Leistungssteigerung feststellbar während der HU nach § 29 StVZO:

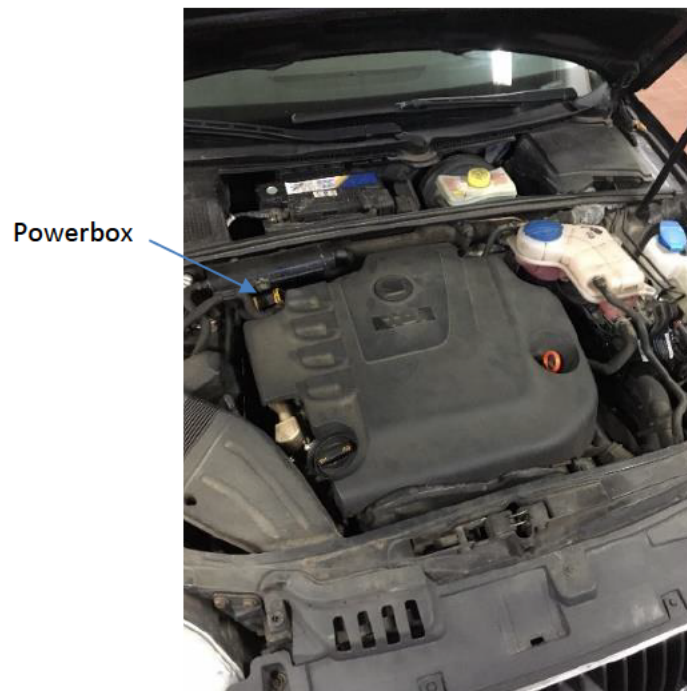


Abbildung 27: CRD-Powerbox

In **Abbildung 27** ist der Einbauort der CRD-Powerbox dargestellt. Sie ist so verbaut, dass sie beim Öffnen der Haube sofort auffällt. Die Leistungssteigerung ist nicht nach § 13 FZV in den Fahrzeugpapieren eingetragen und somit fällt das Fahrzeug durch die HU. Der Fahrzeughalter ist nun dazu verpflichtet entweder die Leistungssteigerung zu entfernen oder sie durch einen Sachverständigen eintragen zu lassen. Da in diesem Fall kein Gutachten für die Box vorliegt, ist eine Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO nötig.

6. Tuning Ratgeber

In diesem Kapitel geht es um den neuen Tuning-Ratgeber der GTÜ. Interessierte Personen sollen damit einen Überblick über die zulässigen Tuningmöglichkeiten erhalten. Da sich die Bachelorarbeit mit dem Thema der Leistungssteigerung des Verbrennungsmotors auseinandersetzt, sollen deshalb nur die Möglichkeiten einer Leistungssteigerung inkl. deren Vor- / Nachteile aufgeführt werden. Es muss eine Unterteilung in einem Hardwareeingriff (sportliche Nockenwelle) und einem Softwareeingriff (ändern der Software des Motorsteuergerätes) erfolgen. Die maximale Leistungsausbeutung lässt sich bei gleichzeitiger Umsetzung dieser Möglichkeiten erreichen. Diese Möglichkeiten werden allgemein dargestellt. Für genauere Informationen und Anmerkungen sowie die Eintragungsmöglichkeiten eignet sich das **Kapitel 3 mit seinen Unterkapiteln**.

Leistungssteigerung von Motoren (Hardwareeingriff):

Mit diesen drei unterschiedlichen Stellschrauben (Hubraum, Brennraumfüllung, Drehzahl) lässt sich die Motorleistung steigern. Erfolgt die Umsetzung dieser drei Möglichkeiten gleichzeitig, gelingt eine beträchtliche Leistungssteigerung. Sind diese drei Möglichkeiten ausgeschöpft, kann die Leistung nur über ein Nachrüsten eines Aufladesystems (Kompressor, Spirallader oder ATL) weiter gesteigert werden.

Die Grenzen:

Bei einem Teil der Möglichkeiten ergeben sich für den Fahrzeughalter aber Umsetzungsschwierigkeiten, da dieser die erforderlichen Maschinen nicht besitzt. Diese können aber mit der Hilfe von Fachbetrieben gelöst werden. Moderne Fahrzeuge haben eine elektronische Einspritzanlage und benötigen nach Hardwareeingriffen eine Anpassung der Motorsoftware, um ein einwandfreies Zusammenspiel zwischen Hardware und Software zu gewährleisten.

Anpassung der Motorperipherie:

Neben der Leistung steigt gleichzeitig auch die Bauteilebelastung aus mechanischer sowie thermischer Sicht. Zusätzlich nimmt die Belastung auf den Antriebsstrang mit seinen Komponenten zu.

6. Tuning Ratgeber

Vor + Nachteile:



Fahrleistung



Individualisierung



Standfestigkeit



Verbrauch, wenn die gesteigerte Leistung genutzt wird



Garantieverlust

Chiptuning (Softwareeingriff):

Heutzutage besitzen alle modernen Fahrzeuge ein Motorsteuergerät. Es ist die Schaltzentrale (das sogenannte Gehirn) des Motors und überwacht mit Hilfe von Sensoren: Temperaturen, Drücke usw.. Anhand der Messwerte und den hinterlegten Kennfeldern erkennt das Motorsteuergerät in welchem Betriebszustand/punkt es sich befindet. Diese Kennfelder werden durch einen direkten Eingriff der Tuner verändert/optimiert. Powerboxen/Zusatzsteuergeräte greifen nicht direkt in die Software des Steuergerätes ein, sondern sie sind in der Regel zwischen dem Sensor für den Rail Druck und dem Motorsteuergerät geschaltet. Ihre Aufgabe ist es die gemessene Spannung zu verfälschen, dadurch regelt das Motorsteuergerät gegen. Bei aufgeladenen Motoren kann aufgrund des Ladedrucks, je nach Fahrzeugtyp, eine Leistungssteigerung von bis zu 30 % erreicht werden.

Vorsicht:

Beim Chiptuning gibt es unter der Vielzahl an Anbietern auch unseriöse die zum Teil Schutz-/Wartungssysteme und Abgaskomponenten deaktivieren. Dies führt zum sofortigen Erlöschen der Betriebserlaubnis.

Vor + Nachteile:



Fahrleistung



Selbstmontage durch Kunde bei Zusatzsteuergeräten/Powerboxen



Preiswerter gegenüber dem klassischen Tuning



Standfestigkeit



Garantieverlust



Verbrauch, wenn die Leistung genutzt wird



Softwareanpassungen werden beim Herstellerupdate gelöscht

GTÜ Experten Tipps:

Bevor der Fahrzeughalter eine technische Veränderung vornimmt, sollte er ein Gespräch mit dem Sachverständigen suchen. Hierbei lassen sich Unklarheiten beseitigen und unnötige Kosten vermeiden. Für eine einfachere Eintragung benötigen die Tuningteile Gutachten. Deshalb sollten Tuning-Fachbetriebe ausgewählt werden.

[147]

Strafen:

Ist die Leistungssteigerung nicht eingetragen können dem Fahrzeughalter folgende Strafen laut **Tabelle 8** drohen.

Tabelle 8: Strafen bei illegaler Leistungssteigerung [148]

Beschreibung	Strafe	Punkte
Fahrzeug wurde verändert und im öffentlichen Straßenverkehr benutzt	25 €	/
+ Beeinträchtigung der Umwelt	90 €	/
+ Gefährdung der Verkehrssicherheit	90 €	1

Sind die verwendeten Tuning Teile nicht in die Papiere eingetragen und die Kfz-Versicherung wurde nicht informiert, kann dies beim Verkehrsunfall zu Problemen führen. Stellt nämlich ein Gutachter fest, dass die Leistungssteigerung die Unfallursache ist, verweigert die Versicherung die Leistung **[149]**.

7. Diskussion

Das Ziel der Bachelorarbeit ist es die unterschiedlichen Möglichkeiten, Maßnahmen und Grenzen der Leistungssteigerung von Verbrennungsmotoren aufzuzeigen. Dabei geht es sowohl um die technischen als auch um die rechtlichen Aspekte. Im Fokus stehen dabei besonders die Überprüfung sowie die Zulassung der Leistungssteigerung durch die Prüfstellen. Anhand eines praktischen Beispiels soll ein Nachweis über die Leistungssteigerung durch eine Powerbox an einem Fahrzeugrollenprüfstand erfolgen. Die Leistung eines Verbrennungsmotors kann auf verschiedenste Art und Weise gesteigert werden. Dabei kommt Heutzutage überwiegend das Chiptuning zum Einsatz. Diese Art der Leistungssteigerung benötigt einen geringeren Arbeitsaufwand und ist somit gegenüber dem klassischen Tuning kostengünstiger. Werden hierfür Powerboxen eingesetzt, lassen sich diese oft selbst vom Kunden verbauen, da der Einbau mit wenigen Handgriffen zu erledigen ist. Dem Gegenüber benötigt der Kunde beim klassischen Tuning der Fahrzeuge die Hilfe von Fachfirmen, da diese die speziellen Bearbeitungsmaschinen und über das entsprechende Knowhow verfügen. Durch eine Leistungssteigerung, egal ob es ein Hardware- oder ein Softwareeingriff ist, erhöht sich die thermische sowie mechanische Bauteilbelastung. Zusätzlich steigt die Gesamtbelastung des Antriebsstranges an, wodurch es zu einem verfrühten Ausfall der Bauteile kommen kann, da seitens des Automobilherstellers die Bauteile nur für die Serienleistung getestet und ausgelegt sind. Erfolgt die Leistungssteigerung durch einen direkten Softwareeingriff, kann durch ein Softwareupdate des Herstellers diese Tuning Software gelöscht werden. Um die Leistungssteigerung wieder zu erreichen, muss das Fahrzeug beim Tuner vorgeführt werden, sodass dieser eine neue Tuningsoftware entwickeln kann. Damit solche eine Leistungssteigerung nicht zum Erlöschen der Betriebserlaubnis führt, gibt es zwei Möglichkeiten der Eintragung. Zum einen ist es die Änderungsabnahme nach § 19(3) StVZO. Sie wird bei Tuningteilen angewendet, die ein Gutachten besitzen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass der angegebene Verwendungsbereich sowie die Auflagen und Hinweise eingehalten werden, sonst sind diese Gutachten ungültig. In einem solchen Fall oder bei Tuningteilen die kein Gutachten besitzen, muss eine Einzelabnahme nach §19(2)/21 StVZO erfolgen. Das VdTÜV-Merkblatt 751 nimmt der Sachverständige zur Hand, wenn es für das Tuningteil kein Gutachten gibt bzw. der angegebene Verwendungsbereich nicht eingehalten wird. Leistungssteigerungen, die mit einem Teilegutachten verkauft werden, haben schon die Prüfung anhand des VdTÜV-Merkblatt 751 absolviert. Es beinhaltet eine Vielzahl an Prüfpunkten, ein besonderer Fokus liegt dabei auf den Abgaswerten, da diese sich bei jeder Leistungssteigerung verschlechtern. Außerdem müssen die Bremsen und Reifen für die neue Nennleistung ausgelegt sein. Die im VdTÜV-Merkblatt 751 aufgeführten Prüfpunkte lassen sich nicht alle eins zu eins in die Praxis umsetzen, denn nicht jede Prüfstelle besitzt einen Fahrzeugrollenprüfstand.

7. Diskussion

Die in den Prüfstellen durchgeführte AU ist nicht ausreichend, um einen Nachweis über die nicht Veränderung der Abgaswerte durch die Leistungssteigerung darzustellen. Hierfür muss ein akkreditiertes Abgaslabor aufgesucht werden. Die Besuche in solchen Laboren sind zeitaufwändig und kostenintensiv. Des Weiteren kann nicht garantiert werden, dass das Fahrzeug die Messung im Abgaslabor besteht. In diesem Fall müsste die Messung dann wiederholt werden. Nicht zu vernachlässigen ist, dass bei einer Leistungssteigerung von mehr als 40 % ein Nachweis über eine Dauerhaltbarkeit von mindestens 2000 km auf einer abgesperrten Teststrecke erfolgen muss. Mit dieser Untersuchung wird sichergestellt, dass das Fahrzeug nach der absolvierten Strecke uneingeschränkt verkehrs- und betriebssicher ist. Viele Fahrzeughalter sparen sich zum Teil die Eintragungskosten und nehmen somit mit erloschener Betriebserlaubnis am Straßenverkehr teil. Um eine nicht eingetragene Leistungssteigerung während der HU festzustellen, gibt es nur wenige Indizien. Ist die Leistung durch eine Softwareanpassung erfolgt lässt sich dies optisch schwer erkennen. Deshalb kann der Sachverständige nur nach sichtbaren Powerboxen Ausschau halten. Da diese aber rückstandslos entfernbar sind, wird ein Sachverständiger wohl kaum eine finden. Unabhängig davon, ob der Softwareeingriff direkt oder indirekt erfolgt, liefert jener nur wenige Indizien, an denen der Sachverständige eine Leistungssteigerung erkennen kann. Dem gegenüber steht das klassische Tuning. Dieses kann mehr Indizien für den Sachverständigen liefern, da neben dem Hardwareeingriff meistens ein Eingriff in die Motorperipherie notwendig ist. Darunter fallen zum Beispiel ein geänderter ATL und ein größerer Ladeluftkühler sowie eine veränderte Downpipe. Weitere Indizien, die der Sachverständige ausfindig machen kann, sind eine geänderte Bauform des Verbrennungsmotors, eine erhöhte Leerlaufdrehzahl oder ein unruhiges Verhalten des Verbrennungsmotors bei niedriger Drehzahl. Die HU stellt eine Bauteileprüfung ohne Zerlegung dar, weshalb es nur wenige Indizien gibt. Anhand eines praktischen Beispiels, an einem Seat Exeo mit 2,0 TDI Motor, soll der Frage nachgegangen werden, ob eine Powerbox, des Herstellers CRD-Tuning, die in der Theorie versprochene Leistungssteigerung auch in der Praxis umsetzen kann. Dazu wurde die Leistung des Fahrzeugs ohne und mit der Powerbox jeweils drei Mal gemessen. Die gemessenen Werte auf dem Fahrzeugrollenprüfstand lassen darauf schließen, dass die Powerbox die in der Theorie versprochene Leistungssteigerung auch in der Praxis erbringt. Hingegen ergab die AU, dass die Powerbox keinerlei Einfluss auf die Abgaswerte des Fahrzeugs hatte. Der speziell betrachtete Trübungswert war ebenfalls unverändert. Da es sich bei diesen Messungen aber um eine klassische AU handelt muss berücksichtigt werden, dass die Messtechnik der Opazimeter veraltet ist. Da sich mit dem Opazimeter nur ein minimaler Trübungswert von $0,50 \text{ m}^{-1}$ messen lässt, wäre eine Untersuchung des Fahrzeuges im akkreditierten Abgaslabor interessant, um festzustellen, ob diese Messtechnik die Powerbox überführen würde. Aus Kostengründen wurde darauf aber verzichtet. Ein weiterer Aspekt, der die Untersuchungsergebnisse der Elastizitätsmessung in Relation setzt, ist, dass dabei keine Berücksichtigung der Steigung oder des Gefälles erfolgte. Grund dafür ist, dass der Hersteller der VBOX zum aktuellen Zeitpunkt noch kein Programm entwickelt hat, dass dies berücksichtigt. Die verwendete Powerbox würde sich per Einzelabnahme nach § 19(2)/21 StVZO eintragen lassen.

7. Diskussion

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Eintragung nicht nur bei dieser Powerbox möglich ist, sondern auch bei den meisten anderen Arten der Leistungssteigerung. In einem besonderen Fall ist es sogar möglich, die eigentlich illegale Lachgaseinspritzung, eintragen zulassen. Die gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit sind in einem neuen Tuningratgeber der GTÜ zusammengefasst.

Eine Empfehlung für weitere Forschung ist, eine ähnliche Untersuchung im akkreditierten Abgaslabor durchzuführen, um eine genauere Aussage über das Abgasverhalten eines Fahrzeuges mit installierter Powerbox oder ähnlicher Art von Leistungssteigerung, tätigen zu können. Des Weiteren bietet das Chiptuning die oben genannten Vorteile, dass es sich leichter und günstiger umsetzen lässt, sowie das es erheblich schwieriger bei einer Prüfung zu entdecken ist, lassen darauf schließen, dass auch in Zukunft der Trend in Richtung Chiptuning weiter gehen wird. Daher wäre eine Erweiterung der Indizien-Listen zur Entdeckung von Chip getunten Fahrzeugen äußerst empfehlenswert. Um weitere Indizien mit in die Liste aufnehmen zu können, wäre es hilfreich sich beim Auslesen des Fehlerspeichers zusätzliche Werte wie bspw. den Ladedruck ausgeben zu lassen. Insgesamt liegt die Vermutung nahe, dass sich nicht ohne großen Aufwand die Liste der Indizien erweitern lässt und demzufolge es nach wie vor schwierig bleiben wird, softwaregetunte Fahrzeuge bei einer HU zu identifizieren.

8. Fazit

Um die Aufgabenstellung dieser Bachelorarbeit zu präzisieren, wurden in der Einleitung zwei Forschungsfragen erörtert, welche in diesem Abschnitt beantwortet werden. Die erste Frage: „In welchem Umfang sind die verschiedenen Möglichkeiten einer Leistungssteigerung von den amtlichen Vorgaben betroffen und dadurch bei der Eintragung beschränkt?“, wurde ausführlich in den **Kapitel 2 und 3** aufgefasst und analysiert. Es wurde aufgezeigt, dass alle Methoden der Leistungssteigerungen in der Praxis umsetzbar sind. Jedoch besteht grundsätzlich der Verdacht auf verschlechterte Abgaswerte/Geräuschverhalten, weshalb Prüfungen, die das Gegenteil belegen, notwendig sind, um eine Betriebserlaubnis zu erhalten. Diese können entweder vom Hersteller der Leistungssteigerung im Voraus durchgeführt worden sein oder müssen nach Einbau vom Fahrzeughalter veranlasst werden. Generell ist aber möglich sich fast jede Art der Leistungssteigerung mit entsprechenden Gutachten eintragen zu lassen. Im zweiten Teil der Bachelorarbeit wurde sich mit der Frage: „Inwieweit ist es den Prüfstellen möglich eine Leistungssteigerung während einer HU zu identifizieren?“, auseinandergesetzt. Hier muss explizit zwischen dem Chiptuning und dem klassischen Tuning unterschieden werden. Ursache dafür ist, dass das klassische Tuning oftmals neben einer erhöhten Leistung auch eine Veränderung des Fahrzeugs Verhaltens oder der Motorperipherie zur Folge hat. Somit gibt es mehrere Indizien, die auf eine Leistungssteigerung hinweisen und es ist dem Sachverständigen leichter diese Fahrzeuge zu identifizieren. Bei dem Chiptuning ist eine Identifizierung deutlich schwieriger, nahezu unmöglich, da ausschließlich auf die Motorsoftware des Fahrzeugs ein Update gespielt wird. Lediglich offensichtlich verbaute Powerboxen könnten bei einer HU auffallen. Da diese aber rückstandslos entfernbar sind, ist es äußerst unwahrscheinlich, dass ein Fahrzeug mit solch einer installierten Box vorgeführt wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es viele verschiedene Möglichkeiten gibt eine größere Nennleistung des Fahrzeuges zu erreichen. Um eine besonders große Leistungssteigerung zu erreichen ist es empfehlenswert beide Arten des Tunings anzuwenden. Mit anschließenden Gutachten steht einer Eintragung auch kaum etwas im Wege. Da nicht sichergestellt werden kann, dass während der HU, Modifikationen, die nicht eingetragen sind, entdeckt werden, scheuen einige Fahrzeughalter die hohen Kosten für die benötigten Gutachten, die eine Eintragung ermöglichen. Dies hat zur Folge, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass auf den Straßen einige Fahrzeuge ohne Betriebserlaubnis unterwegs sind.

9. Zusammenfassung

Die Zielsetzung der Bachelorarbeit sah es vor die Möglichkeiten und Maßnahmen der Leistungssteigerung der Verbrennungsmotors zu untersuchen und die Grenzen sowohl aus technischer als aus rechtlicher Sicht aufzuzeigen. Des Weiteren sollten die Indizien aufgeführt werden, an denen der Sachverständige eine Leistungssteigerung erkennen kann. Abschließend wurde ein praktischer Versuch an einem PKW unternommen, um einen Nachweis über eine Leistungssteigerung zu erbringen. Die gewonnen Erkenntnisse sind in einem neuen Tuningratgeber für die GTÜ zusammengefasst.

Die Analyse hat ergeben, dass die Leistung auf die verschiedensten Methoden gesteigert werden kann, und in vielen Fällen lässt sich eine Eintragung der Leistungssteigerung realisieren. Für das Erkennen einer illegalen Leistungssteigerung gibt es für den Sachverständigen wenige Indizien, da es sich bei der HU um eine Bauteileprüfung ohne Zerlegung handelt. Die Softwareanpassung ist gegenüber dem klassischen Tuning optisch schwer zu erkennen, da bei ihr kein zusätzlicher Eingriff in die Motorperipherie erfolgt. Es wurden alle Indizien aufgeführt, mit denen der Sachverständige eine Leistungssteigerung erkennen kann.

Mit dem praktischen Beispiel gelang ein Nachweis darüber, dass eine Powerbox auf dem Prüfstand eine messbare Leistungssteigerung bringt. Diese gemessenen Werte konnten auch in einem Fahrversuch mit einer Elastizitätsmessung zwischen 80 und $120 \frac{km}{h}$ bestätigt werden. Anhand einer AU konnte nachgewiesen werden, dass die Powerbox auf die Abgaswerte und besonders auf den Trübungswert, der bei Dieselmotoren eine entscheidende Rolle spielt, keinen messbaren Einfluss hat. Wäre diese Powerbox nicht so offensichtlich verbaut worden, würde das Fahrzeug die HU in diesem Punkt anstandslos bestehen. Gerade deshalb ist es dem Sachverständigen nicht leicht illegal getunte Fahrzeuge zu erkennen und diese aus dem Straßenverkehr zu ziehen.

Die aus dieser Bachelorarbeit gewonnen Erkenntnisse können als Grundlage für weitere Forschungen sowie Bachelorarbeiten genutzt werden.

10. Literaturverzeichnis

- [1] Zulassungszahlen PKWs 1980
https://www.was-war-wann.de/historische_werte/kfz-bestand-deutschland.html
zugegriffen am 26.11.2021
- [2] Zulassungszahlen PKWs 2021
https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/fz_b_jahres_bilanz_node.html
zugegriffen am 26.11.2021
- [3] Was versteckt sich hinter dem Begriff Tuning
<https://onthegrid.de/motorsport-abc/t-wie-tuning>
zugegriffen am 15.11.2021
- [4] Vom klassischen Tuning zum Chiptuning
<https://www.nordkurier.de/motor/wie-der-motor-zu-mehr-leistung-kommt-1723296206.html>
zugegriffen am 10.01.2022
- [5] Flottengrenzwerte in der EU
<https://www.bmu.de/gesetz/die-eu-verordnungen-zur-verminderung-der-co2-emissionen-von-strassenfahrzeugen>
zugegriffen am 26.11.2021
- [6] Auswirkungen auf Abgas- & Geräuschverhalten
<https://www.tune-it-safe.de/tuning-lexikon/motor/>
zugegriffen am 26.01.2022
- [7] G.Hack /D. Korp VW Käfer alle Modelle Jetzt mache ich ihn schneller
Bd.7 erschienen im Motor Buch Verlag, Auflage 114 082
- [8] Änderungsabnahme und Einzelabnahme
<http://www.endlichplakette.de/einzelabnahme-oder-aenderungsabnahme/>
zugegriffen am 16.11.2021
- [9] Straßenverkehrsgesetz (StVG)
https://www.bussgeldkatalog.org/stvg/#stvg_vs_stvo_gibt_es_einen_unterschied
zugegriffen am 13.01.2022
- [10] §1 der StVG
https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/_1.html
zugegriffen am 18.11.2021

10. Literaturverzeichnis

- [11] StVZO-Erklärung
<https://www.bussgeldrechner.org/verkehrsrecht/stvzo.html>
zugegriffen am 07.01.2022
- [12] Unterschied zwischen einer EU-Richtlinie und einer EU-Verordnung
<https://www.umweltpakt.bayern.de/izu/hinweise/index.php?ID=15>
zugegriffen am 15.11.2021
- [13] Betriebserlaubnis / Typgenehmigung
<https://kfz-serviceportal.de/lexikon/betriebserlaubnis/>
zugegriffen am 20.12.2021
- [14] § 7 StVG
https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/_7.html
zugegriffen am 20.12.2021
- [15] Betriebserlaubnis / EG-Typgenehmigung- Zwangsstilllegung
<https://verkehrslexikon.de/Module/BetriebsErlaubnis.php>
zugegriffen am 17.12.2021
- [16] Allgemeine Betriebserlaubnis
<https://vimcar.de/boxenstopp/lexikon/betriebserlaubnis/>
zugegriffen am 26.01.2021
- [17] Matthias Bauer; Das Recht des technischen Produkts
Praxishandbuch für Unternehmensjuristen
2018, Springer Vieweg Verlag
- [18] Richtlinie 2007/46/EG und EU-Verordnung 2018/858
<https://markhaacke.de/fageu2018858/>
zugegriffen am 21.12.2021
- [19] CoC Papier
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/import-export/coc-papiere/>
zugegriffen am 06.12.2021
- [20] KBA Liste für Typgenehmigung
https://www.kba.de/DE/Themen/Typgenehmigung/Auskuenfte_TGV/Liste_erteilter_Typgenehmigungen/liste_typgenehmigungen_node.html
zugegriffen am 13.12.2021
- [21] EG-Typgenehmigung
<https://www.tuningblog.eu/kategorien/tuev-gesetze-verbote/eg-typgenehmigung-207864/>
zugegriffen am 14.12.2021

10. Literaturverzeichnis

- [22] § 19 Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO)
https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/_19.html
zugegriffen am 10.11.2021
- [23] § 21 Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO)
https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/_21.html
zugegriffen am 10.11.2021
- [24] Abbildung TÜV Rheinland Unterschied zwischen Änderungsabnahme und Einzelabnahme
<https://www.tuv.com/germany/de/%C3%A4nderungsabnahme.html>
zugegriffen am 15.11.2021
- [25] § 13 Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV)
https://www.gesetze-im-internet.de/fzv_2011/_13.html
zugegriffen am 11.11.2021
- [26] KFZ-Steuer + Versicherung
<https://www.allianz-autowelt.de/werkstatt/chiptuning/#teilegutachten-chiptuning-nur-vom-fachmann>
zugegriffen am 30.11.2021
- [27] KBA Glossar ABE + ABG
https://www.kba.de/DE/Service/Glossar1/glossar_node.html
zugegriffen am 20.12.2021
- [28] Allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) für Fahrzeugteile
[https://www.bussgeldkatalog.org/abe-teilegutachten/#abe - die allg
meine betriebserlaubnis fuer fahrzeugteile](https://www.bussgeldkatalog.org/abe-teilegutachten/#abe-die-allgemeine-betriebserlaubnis-fuer-fahrzeugteile)
zugegriffen am 09.11.2021
- [29] ABE und Gutachten für ATS Felge mit KBA 53651
[https://atswheels.com/downloads/gutachten/?drawer=Gutachten/Aktuelle Gut-
achten/AuVoRa \(AUV\)/AUVX 9020/AUVX 9020 5x112 ET38,5 FO1 \(ABEun-
dECE\)](https://atswheels.com/downloads/gutachten/?drawer=Gutachten/Aktuelle_Gutachten/AuVoRa_(AUV)/AUVX_9020/AUVX_9020_5x112_ET38,5_FO1_(ABEundECE))
zugegriffen am 16.12.2021
- [30] VdTÜV Merkblatt 751 Stand 30.4.2021 internes Blatt der GTÜ
- [31] Allgemeine Bauartgenehmigung ABG Erklärung
[https://www.tuningblog.eu/kategorien/tuev-gesetze-verbote/bauartgenehmi-
gung- 206943/](https://www.tuningblog.eu/kategorien/tuev-gesetze-verbote/bauartgenehmigung-206943/)
zugegriffen am 11.11.2021

10. Literaturverzeichnis

- [32] Zulassungsfreie Fahrzeuge
https://www.bussgeldkatalog.org/zulassungsfreie-fahrzeuge/#was_bedeutet_zulassungsfrei
zugegriffen am 06.02.2022
- [33] § 22a StVZO
https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/_22a.html
zugegriffen am 07.02.2022
- [34] Abbildung der ABG
https://scwler.de/grafstat/LernCD/zulassung/genuehmigung_1.html
zugegriffen am 11.11.2021
- [35] § 7 FzTV
https://www.gesetze-im-internet.de/fztv/_7.html
zugegriffen am 16.12.2021
- [36] Einzelbauartgenehmigung
<https://service.berlin.de/dienstleistung/327074/>
zugegriffen am 17.12.2021
- [37] Denis Marasciulo: Angezweifelt- Der Tuning Ratgeber in Zusammenarbeit mit Heiner Manthey TÜV SÜD Tuning, Tiefer, Schneller, Breiter- Alles Legal 2021, 2. Auflage, Heel Verlag
- [38] ECE-Zulassung/Legales Tuning
<https://www.tuningblog.eu/kategorien/tuev-gesetze-verbote/legales-tuning-dann-ist-die-ece-genehmigung-ist-pflicht-207917/>
zugegriffen am 14.12.2021
- [39] Vereinfachung des Warenhandels durch das ECE Prüfzeichen
<https://www.it-recht-kanzlei.de/e-ece-eg-pr%C3%BCfzeichen.html>
zugegriffen am 14.12.2021
- [40] Abbildung ECE-Norm
https://www.kba.de/DE/Presse/Archiv/Genuehmigungszeichen/genuehmigungszeichen_node.html
zugegriffen am 12.11.2021
- [41] Einheitliche Vorschriften der Bremse für die Fahrzeugklassen M,N & O
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A42016X0218%2801%29>
zugegriffen am 20.12.2021

10. Literaturverzeichnis

- [42] Prüfbericht
<https://www.tuningblog.eu/kategorien/tuning-wiki/pruefbericht-bauteil-284768/>
zugegriffen am 07.01.2022
- [43] Teilegutachten (TGA)
<https://www.autotuning.de/teilegutachten-abe-der-unterschied/>
zugegriffen am 20.12.2021
- [44] TGA Leistungssteigerung für eine Roller internes Blatt der GTÜ
- [45] Materialgutachten
<https://www.tuningblog.eu/kategorien/tuning-wiki/materialgutachten-284397/>
zugegriffen am 12.11.2021
- [46] Festigkeitsgutachten
<http://www.vdat.org/news/raedereintragungen.php>
zugegriffen am 15.11.2021
- [47] § 30 StVZO und seine Erläuterung 42 [internes Blatt]
- [48] Mustergutachten
<https://www.wwag.com/cgi-bin/WebObjects/WebSite.woa/wa/DirectAction?navi=1&page=%2151128#0>
zugegriffen am 12.01.2022
- [49] Porsche 914/6 Herstellerbescheinigung für leistungsgesteigerte Verbrennungsmotoren
<https://www.pff.de/thread/2714137-unbedenklichkeitsbescheinigung-fuer-2-2-porschemotor-im-914-4/?pageNo=1>
zugegriffen am 23.12.2021
- [50] Unterschied zwischen Änderungs- & Einzelabnahme
<https://www.gtue.de/de/privatkunden/vorgeschriebene-fahrzeuguntersuchungen/fahrzeugtuning-und-aenderungsabnahmen>
zugegriffen am 01.11.2021
- [51] E-Mail von Herrn J. Bernhardt mögliche Gliederung (Stand 12.10.2021) für Tabelle Gegenseitige Beeinflussung bei mehreren Änderungen
- [52] Käfer-Tuning
<https://www.sowirdsgemacht.com/articles/view/kaefer-tuning>
zugegriffen am 19.11.2021
- [53] Oldtimer Markt Sonderheft Nr. 52 Klassik Tuning
Erschienen am 26.09.2013; VF Verlagsgesellschaft mbH

10. Literaturverzeichnis

- [54] Geschichte des Abgasturboladers
<https://www.turbolader.net/Technik/Geschichte.aspx>
zugegriffen am 28.12.2021
- [55] Wastegate Feder
<https://www.bar-tek-tuning.de/turbo-tipps>
zugegriffen am 28.12.2021
- [56] Funktionsweise des Wastegates
<https://www.turbolader.net/Technik/Wastegate.aspx>
zugegriffen am 07.02.2022
- [57] Richard van Basshuysen / Fred Schäfer Hrsg.: Handbuch Verbrennungsmotoren
Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven,
8.Auflage, Springer Vieweg Verlag
- [58] Chiptuning
<https://powermod.de/was-ist-softwareoptimierung/>
zugegriffen am 05.11.2021
- [59] Lachgaseinspritzung
<https://www.nextek-tuning.ch/nos>
zugegriffen am 11.11.2021
- [60] Wassereinspritzung
<https://www.bar-tek-tuning.de/wassereinspritzung>
zugegriffen am 12.11.2021
- [61] Indirektes Tuning mittel Abgasanlage
https://www.bussgeldkatalog.org/motortuning-chiptuning/#indirektes_motortuning
zugegriffen am 01.11.2021
- [62] Effektiver Nutzmitteldruck
<https://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/steuerung/psteig.htm>
zugegriffen am 16.11.2021
- [63] Karl-Heinz Müller; Tuning-Tipps Teil 1:
Grundlagen für das Tuning frei ansaugenden 4-Takt-Motoren
4.Nachdruck 2015; bestellbar über www.Tuning-Tipps.de
- [64] Jürgen Stoffregen; Motorradtechnik Grundlagen und Konzepte von Motor,
Antrieb und Fahrwerk
9.Auflage, Springer Vieweg

10. Literaturverzeichnis

- [65] K&N Sportluftfilter
https://www.performance-luftfilter.de/010/K-und-N-Luftfilter.htm?ref=no_ref&gclid=EAlaIQobChMlzfnSxsSw9AIVFuDtCh2w1gTeEAAiAAEg-JhPfD_BwE
zugegriffen am 24.11.2021
- [66] Auswirkung Sportluftfilter Test vom ADAC
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/zubehoer/tuning-sportfilter/>
zugegriffen am 24.11.2021
- [67] Zylinderkopf bearbeiten und Ventilführung
https://www.gs-classic.de/tipps/zykopf_03.htm
zugegriffen am 06.12.2021
- [68] Bearbeitung des Ventilsitzringes
<http://www.20v-sauger-tuning.de/ventilbearbeitung.htm>
zugegriffen am 07.02.2022
- [69] Sitzringbreite
<https://kfz-tech.de/Biblio/Motorsteuerung/Ventilsitz.htm>
zugegriffen am 19.11.2021
- [70] verstellbares Nockenwellenrad
<https://www.tuningblog.eu/kategorien/tuning-wiki/verstellbares-kettenrad-260964/>
zugegriffen am 02.12.2021
- [71] Michael Trzesniowski Antrieb Handbuch Rennwagenteknik Antrieb
2.Auflage, Springer Vieweg Verlag
- [72] AVL Schrick Ventildruckkraft
http://www.schrick.com/index.php?article_id=56&clang=0
zugegriffen am 04.11.2021
- [73] Helmut Pucher, Karl Zinner; Aufladung von Verbrennungsmotoren
Grundlagen, Berechnungen, Ausführungen
4. Auflage, Springer Vieweg
- [74] Thermische Wirkungsgrad Otto
<https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/otto-prozess-1206>
zugegriffen am 06.12.2021
- [75] Thermischer Wirkungsgrad Diesel
<https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/diesel-prozess-1205>
zugegriffen am 06.12.2021

10. Literaturverzeichnis

- [76] sportliche Nockenwelle Ulf Penner
<http://www.tuning-fibel.de/tuning-fibel/scharfe-nockenwellen.php>
zugegriffen am 23.11.2021
- [77] Hubraumvergrößerung Kurbelwelle mit mehr Hub
<https://garagen-rostock.de/hubraumvergroeserung/>
zugegriffen am 05.02.2022
- [78] Methanol- und Ethanolkraftstoffe
<https://www.rv24.de/magazin/trends-der-mobilitaet/methanol-als-kraftstoff-der-zukunft-was-ist-aus-e85-geworden>
zugegriffen am 30.11.2021
- [79] Begriffserklärung hygroskopisch
<https://www.at-rs.de/Hygroskopisch.html>
zugegriffen am 30.11.2021
- [80] 10 Fragen rund um E85-Kraftstoffe
<https://www.autobild.de/artikel/kraftstoff-ratgeber-744847.html>
zugegriffen am 25.01.2022
- [81] E85-Kraftstoff im Winter
<https://www.kfz-auskunft.de/news/15901.html>
zugegriffen am 25.01.2022
- [82] Porsche X50 & X51
<https://www.turbosposition.com/de/service/porsche-ausstattungscode>
zugegriffen am 07.12.2021
- [83] Tagungsbericht 5. MTZ-Fachtagung Ladungswechsel im Verbrennungsmotor
am 23-24.10.2012; MTZ 02/2013 74. Jahrgang
- [84] Porsche Engineering Magazin „Nardò“
Dirk Becker, Stephan Hübner; Leistungssteigerung 911 Carrera S
Ausgabe 02/2012
- [85] Getriebeübersetzung ändern
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:31970L0220>
zugegriffen am 27.12.2021
- [86] Chiptuning der Anfangszeit
<https://www.p-m-tec.de/chiptuning/>
zugegriffen am 19.11.2021

10. Literaturverzeichnis

- [87] Reserven die durch das Chiptuning genutzt werden
<https://www.autobild.de/artikel/chiptuning-6978555.html>
zugegriffen am 01.12.2021
- [88] Arten von Chiptuning
<https://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/tuning/chiptuning-2.htm>
zugegriffen am 19.11.2021
- [89] OBD und BDM-Tuning
https://www.tuningblog.eu/kategorien/tipps_tuev-dekra-u-co/obd-chiptuning-bdm-230839/
zugegriffen am 22.11.2021
- [90] Softwareoptimierung bis zu 30% mehr Leistung
<https://mcchip-dkr.com/chiptuning>
zugegriffen am 05.11.2021
- [91] ADAC Chiptuning
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/zubehoer/chip-tuning-und-eco-tuning/>
zugegriffen am 05.11.2021
- [92] Tuning Stage
<https://www.felgenshop.de/blog/tuning-stages-erklaerung/>
zugegriffen am 06.12.2021
- [93] Chiptuning und Software-Update des Herstellers
<https://www.bhp-chiptuning.com/softwareupdate/>
zugegriffen am 10.01.2022
- [94] Rückrufaktion
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/neuwagen-kauf/rechte-rueckrufaktion/>
zugegriffen am 10.01.2022
- [95] Konrad Reif: Dieselmotormanagement Systeme, Komponenten, Steuerung und Regelung, 6.Auflage, Springer Vieweg
- [96] Racechip Varianten
<https://www.racechip.de/chiptuning/produktuebersicht.html>
zugegriffen am 11.11.2021
- [97] Chip oder Tuningbox
<https://www.bhp-chiptuning.com/chip-oder-box/>
zugegriffen am 05.11.2021

10. Literaturverzeichnis

- [98] Messerschmidt Me 109 D pdf Datei
<https://fliegerhorst-oldenburg.de/geschichte-des-fliegerhorst-oldenburg/>
zugegriffen am 16.11.2021
- [99] Wassereinspritzung Erklärung
http://www.world-of-911.de/water_injection.php
zugegriffen am 11.11.2021
- [100] Saab 99 Turbo Wassereinspritzung als Option
<https://saabblog.net/2016/04/15/wer-hats-erfunden/>
zugegriffen am 07.12.2021
- [101] BMW M4 GTS mit Wassereinspritzung
<https://www.bmw-m.com/de/topics/magazine-article-pool/5-liter-wasser-fuer-500-pferde.html>
zugegriffen am 09.11.2021
- [102] Stefan Pischinger, Ulrich Seiffert Hrsg. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik
9. Auflage, Springer Vieweg
- [103] Enthalpie
<https://studyliflix.de/ingenieurwissenschaften/enthalpie-definition-1158>
zugegriffen am 08.02.2022
- [104] trockenes und nasses System Lachgaseinspritzung
<https://www.autotuning.de/wie-funktioniert-eine-lachgaseinspritzung/>
zugegriffen am 07.12.2021
- [105] NOS 1 GmbH ABE KBA 91065, internes Blatt
- [106] ECE R51 Regelung
<https://www.laboratuvar.org/de/testler/otomotiv-testleri/ece-r-51-motorlu-tasit-larda-gurultu-emisyonu-onayi/>
zugegriffen am 16.11.2021
- [107] ECE R51.03 Regelung „Pass-by“ Messung
<https://www.tuv-ad.de/leistungen/automotive/geraeuschemessung-auspuff/>
zugegriffen am 12.11.2021
- [108] Dezibel Grenzwerte für Fahrzeuge der kommenden Jahre
<https://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/laermmessung-100.html>
zugegriffen am 12.11.2021
- [109] Bosch; Kraftfahrtechnisches Taschenbuch,
27. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag

10. Literaturverzeichnis

- [110] Fächerkrümmer
<https://www.autotuning.de/was-ist-ein-faecherkruemmer/>
zugegriffen am 10.11.2021
- [111] Downpipe
<https://bnpipes.de/interessantes/was-ist-eine-downpipe>
zugegriffen am 12.11.2021
- [112] Downpipe
<https://www.bar-tek-tuning.de/downpipe-tuning>
zugegriffen am 12.11.2021
- [113] Info Kombination ECE Downpipe mit Abgasanlage
<https://www.hjs-motorsport.de/downloads.html>
zugegriffen am 15.11.2021
- [114] Tuning Katalysator
<https://www.hjs-motorsport.de/produkte/tuning/universal-katalysator.html>
zugegriffen am 15.11.2021
- [115] HJS Vergleichsmessung Katalysatoren
<https://www.hjs-motorsport.de/produkte/tuning/technikcheck.html>
zugegriffen am 15.11.2021
- [116] Klappenabgasanlage
http://www.world-of-911.de/exhaust_system.php
zugegriffen am 11.11.2021
- [117] Sportabgasanlage
<https://www.mk-sportauspuff.de/komplettanlage>
zugegriffen am 11.11.2021
- [118] Deaktivierung von Katalysator und Dieselpartikelfilter
<http://lechner-tuning.at/index.php?file=leistungen>
zugegriffen am 08.12.2021
- [119] Aufgaben des Sachverständigen
[https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/71242#Befugnisse von Sachverst.C3.A4ndigen](https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/71242#Befugnisse_von_Sachverst.C3.A4ndigen)
zugegriffen am 08.12.2021
- [120] Kosten der verschiedenen Überwachungsorganisationen für HU § 29 StVZO
<https://www.autozeitung.de/tuev-hu-haeufigste-maengel-115047.html>
zugegriffen am 27.01.2022

10. Literaturverzeichnis

- [121] Kosten für Änderung- und Einzelabnahme
<https://www.allianz-autowelt.de/tuev/kosten/#aenderungsabnahme>
zugegriffen am 27.01.2022
- [122] Abgaslabor Dekra
<https://www.dekra.de/de/abgasemissionen/>
zugegriffen am 14.12.2021
- [123] Abgaslabor TÜV
<https://www.tuvsud.com/de-de/branchen/mobilitaet-und-automotive/automotive/pruefloesungen-und-compliance-services/kraftstoffverbrauch-und-abgaspruefung>
zugegriffen am 14.12.2021
- [124] KBA Abgaslabor
https://www.kba.de/DE/Themen/Marktueberwachung/Produktpruefungen/produktpruefungen_node.html
zugegriffen am 14.12.2021
- [125] WLTP und RDE
<https://www.autozeitung.de/abgas-messverfahren-wltp-rde-190688.html>
zugegriffen am 05.02.2022
- [126] PEMS
<https://www.tuev-nord.de/de/pems/was-ist-pems/>
zugegriffen am 05.02.2022
- [127] Abgasdatenbank Abgasgutachten Wissen
<https://abgasdatenbank.com/abgasgutachten-wissen/>
zugegriffen am 05.02.2022
- [128] Wie funktioniert die Abgasuntersuchung
<https://www.autobild.de/artikel/abgasuntersuchung-8507163.html>
zugegriffen am 10.12.201
- [129] Dietmar Gross et al. Technische Mechanik 2 Elastostatik
14. Auflage, Springer Vieweg
- [130] Antriebswellenprüfstand
<https://www.atesteo.com/testing/komponentenpruefung-torsion/>
zugegriffen am 11.01.2022
- [131] Hauptuntersuchung Bauteileprüfung ohne Zerlegen dazugehörige Checkliste
<https://www.gtue.de/de/die-gtu/publikationen/checklisten/fuer-pkw>
zugegriffen am 13.12.2021

10. Literaturverzeichnis

- [132] Seat Exeo
<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.auto-bild.de%2Fmarken-mo-delle%2Fseat%2Fexeo%2F1%2F&psig=AOvVaw281xB7PujcYxPCNbTfcF9T&ust=1645377744034000&source=images&cd=vfe&ved=0CAgQjRxqFwo-TCNDAqvKjiPYCFQAAAAAdAAAAABAD>
zugegriffen am 18.02.2022
- [133] Zulassungsbescheinigung Teil 1 Seat Exeo
Dokument des Fahrzeughalters
- [134] Technische Daten Seat Exeo 2,0 TDI
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj1gLb4qvL1AhWJuaQKHagMDZ8QFnoE-CAQQAQ&url=http%3A%2F%2Fbox.motorline.cc%2Fauto-welt%2Fpdf%2Fdexeost.pdf&usq=AOvVaw1enmYNKq6OxY0HYiuJCrAh>
zugegriffen am 28.01.2022
- [135] CRD-Tuningboxxx Seat Exeo 2,0 TDI
<https://www.ebay.de/itm/201950251067?epid=19031009204&trkparms=ispr%3D1&hash=item2f052c483b:g:MjoAAOSw~1FUWM~q&amdata=enc%3AAQAGAAACo-PYe5NmHp%252B2JmMi7yxGiTJkPrKr5t53CooMSQt2orsSjVt3vLKC-bov98Z19ghuwYz2T3%252BTOjBUf2phHTSTF4e946rFu2fAlrx6CbX7f8vo2LvqPqY6s58XcD4E4Rs7S9lczOMobrJ%252FdJO9HBz7%252Fm8dmNep2uN3X6%252FCZT%252FTuDepKedGzXuHzDEbBtjveVX7IPYINFiVE-ahMLXa4saa490SBeTlp3iO06CnGRrA5s%252ByTP7Nw64c96MNoql-geNjC3NvGpuOal8K8fr9zFR6h1%252B7BDnep1HF1yINcdcwFJjJqh-huvTi9yJYoxcu0J9SZt%252Fyh45Ap0uceAMLBxGsvltpiGAIUNd-Cnf0Zs9mHqYSsfvIUfiUF9G7052sWaB8f4%252BJheo-lgQbXL2%252B%252F3tj1Swj9A0DF%252FH3x3oym34Ow8nx9gOnTMP9ccoZAG8EDYSJkCtnj1foL%252FU79OQMNj%252BfLm6OOWCPSKI-LnJFT3GxmqqF2rgHYlplzREf8ggFhZr9TKoqrkvOOBljoDw4Qb6Qisi0fFM-weXMPKE%252Ft%252FS%252FXZK%252BDO1op-MPqVVsVeZo%252BbbjOq1MDAeUK067ViUXA-wQbh9XQXZwY5%252Fz35ug1%252FEKTS8ugVkdXGiSpGZ8rcIx%252FvN-Mlji%252BwyXgPuGusai%252F1Xg3Rdh9mTt4T5K1m9BjX%252FIQA-pUS78k7PkugF%252FIUKIb1MNBIErlyWwgZYVZCm-guuq4%252BqVlpP76wWAHeWD%252Ft%252BFfJrhka8rVLaoJ9G58ukztXRciHDSOGNPiyYn4mOB1IPEN1os-BUpWZhvzf9jeRQwsGQaQi9leFZOW%252BaCh4pTVBWgFJ57XZG8a4dHFR3fLJb0DPTWyXCJrD1dla%252BgTxZCr15bKdsgLgMp-PIGo%252Bwgsd%252FkWFekSAK-DRzXdZC3w%253D%253D%7Cclp%3A2334524%7Ctkp%3AB-FBMks67lddfj#rwid>
zugegriffen am 30.01.2022

10. Literaturverzeichnis

- [136] CRD-Tuningboxxx Funktionsweise
<http://www.ebaystores.de/Chiptuning-von-CRD-Tuning/Funktionsweise.html#>
zugegriffen am 02.02.2022
- [137] Daten zum Leistungsprüfstand
<https://www.lueth-gbr.de/sachverstaendigen-leistungen/leistungspruefstand/>
zugegriffen am 07.02.2022
- [138] Schleppleistung
<https://www.auto-motor-und-sport.de/technik/die-technik-moderner-leistungs-pruefstaende/>
zugegriffen am 19.02.2022
- [139] Opazimeter Vorbereitung
<https://www.manualslib.de/manual/542588/Bosch-Bea-070.html?page=11#manual>
zugegriffen am 18.02.2022#
- [140] Gesetzlich zulässiger Trübungswert
<https://www.auplus.de/au-informationen>
zugegriffen am 31.01.2022
- [141] Technik der Opazimeter und warum sie abgelöst werden müssen
<https://www.kfz-betrieb.vogel.de/au-kaum-messbare-partikelgefahren-a-311734/?p=2>
zugegriffen am 31.01.2022
- [142] Partikelzählgerät
<https://www.boschaftermarket.com/de/de/services-und-support/news-und-downloads/news-artikel/partikelzaehlung.html>
zugegriffen am 25.01.2022
- [143] VBOX Touch
<https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/de/produkte/gps-messsysteme/vbtouch-de>
zugegriffen am 02.02.2022
- [144] VBOX Touch Abbildung
<https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/de/produkte/gps-messsysteme>
zugegriffen am 02.02.2022
- [145] DIN 70020-3 Straßenfahrzeuge-Kraftfahrzeugbau-Teil 3: Prüfbedingung, Höchstgeschwindigkeit, Beschleunigung und Elastizität, Masse, Begriffe, Verschiedenes; Stand März 2008

10. Literaturverzeichnis

- [146] Geschwindigkeitsindex der Reifen
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/reifen/reifenkauf/reifen-geschwindigkeitsindex/>
zugegriffen am 02.02.2022
- [147] Der Teil für die Leistungssteigerung basiert auf dem alten Tuningratgeber der GTÜ. Das Grundgerüst an Informationen ist gleichgeblieben. Es wurde einige Änderungen neu mit aufgeführt.
- [148] Strafe bei nicht Eintragung der Leistungssteigerung
<https://www.bussgeldkatalog.org/motortuning-chiptuning/>
zugegriffen am 10.12.2021
- [149] Versicherung und Tuning
<https://www.allianzdirect.de/kfz-versicherung/zahlt-die-versicherung/tuning/>
zugegriffen am 05.01.2022
- [150] Porsche 914/6 Bild
<https://amklassiek.nl/de/die-porsche-914-6-2/2018/08/12/>
zugegriffen am 24.11.2021
- [151] Porsche 914/6 technische Daten
<https://www.auto-motor-und-sport.de/oldtimer/porsche-914-6-der-kurvenkuenstler/technische-daten/>
zugegriffen am 24.11.2021
- [152] VW Käfer technische Daten + Bild
<https://www.autobild.de/artikel/vw-beetle-und-kaefer-vergleich-1828801.html>
zugegriffen am 24.11.2021
- [153] BMW 2002 Turbo
<https://www.bmw-m.com/de/topics/magazine-article-pool/bmw-2002-turbo-e20.html>
zugriffen am 09.02.2022
- [154] VW Golf IV 1,9 TDI + PDF-Datei
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-mo-delle/vw/golf/iv/992847/>
zugegriffen am 15.02.2022
- [155] Saab 99 Turbo technische Daten + Bild
<https://www.autobild.de/artikel/saab-99-turbo-912314.html>
zugegriffen am 03.01.2022

10. Literaturverzeichnis

- [156] Oldsmobile Jetfire F85 technische Daten + Bild
<https://blog.consumerguide.com/1962-oldsmobile-f-85-jetfire/>
zugegriffen am 03.01.2022
- [157] Oldsmobile Jetfire F85 Höchstgeschwindigkeit
<https://de.knowledgr.com/00274700/OldsmobileCutlass>
zugegriffen am 03.01.2022
- [158] BMW M4 GTS technische Daten + Bild
<https://www.auto-motor-und-sport.de/fahrbericht/fahrbericht-bmw-m4-gts-2016/>
zugegriffen am 03.01.2022
- [159] Mitsubishi Lancer EVO X technische Daten + Bild
<https://passiondriving.de/2013/10/30/verleiht-fluegel-mitsubishi-lancer-evolution-x-fahrbericht-test-review/>
zugegriffen am 24.11.2021
- [160] VO EG Nr. 715/2007
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32007R0715>
zugegriffen am 03.11.2021
- [161] VO EG Nr. 692/2008
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32008R0692>
zugegriffen am 03.11.2021
- [162] VO EG Nr. 595/2009
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32009R0595>
zugegriffen am 04.11.2021
- [163] VO EU Nr. 458/2011
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32011R0458>
zugegriffen am 15.02.2022
- [164] VO EU Nr. 566/2011
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32011R0566>
zugegriffen am 03.11.2021
- [165] VO EU Nr. 459/2012
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32012R0459>
zugegriffen am 03.11.2021
- [166] VO EU Nr. 630/2012
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32012R0630>
zugegriffen am 03.11.2021

10. Literaturverzeichnis

- [167] VO EU Nr. 540/2014
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0540>
zugegriffen am 05.11.2021
- [168] VO EU 2017/1157
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1151>
zugegriffen am 05.11.2021
- [169] VO EU 2018/858
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0858>
zugegriffen am 05.11.2021
- [170] VO EU 2019/631
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32019R0631>
zugegriffen am 18.11.2021
- [171] Richtlinie 70/156/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:31970L0156>
zugegriffen am 03.11.2021
- [172] Richtlinie 70/157/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex:31971L0320>
zugegriffen am 05.11.2021
- [173] Richtlinie 71/320/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex:31971L0320>
zugegriffen am 05.11.2021
- [174] Richtlinie 72/245/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:31972L0245>
zugegriffen am 08.11.2021
- [175] Richtlinie 72/306/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:31972L0306>
zugegriffen am 10.11.2021
- [176] Richtlinie 75/443/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A31975L0443>
zugegriffen am 11.11.2021
- [177] Richtlinie 80/1269/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:31980L1269>
zugegriffen am 04.11.2021

10. Literaturverzeichnis

- [178] Richtlinie 88/77/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:31988L0077>
zugegriffen am 15.02.2022
- [179] Richtlinie 92/21/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A31992L0021>
zugegriffen am 12.11.2021
- [180] Richtlinie 92/23/EWG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:31992L0023>
zugegriffen am 15.02.2022
- [181] Richtlinie 2001/116/EG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32001L0116>
zugegriffen am 04.11.2021
- [182] Richtlinie 2005/55/EG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX%3A32005L0055>
zugegriffen am 15.02.2022
- [183] Richtlinie 2007/46/EG
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32007L0046>
zugegriffen am 04.11.2021
- [184] ECE R 51.02
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A42007X0530%2802%29>
- [185] ECE R51.03
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjP_eis-ft1AhXyRPEDHe8SD_MQFnoE-CAIQAQ&url=https%3A%2F%2Feur-lex.europa.eu%2Flegal-content%2FDE%2FTXT%2FPDF%2F%3Furi%3DCELEX%3A42018X0798%26from%3DDE&usq=AOv-Vaw0VTA26TSP71EwgybIPhdxH
zugegriffen am 29.11.2021
- [186] Regelung Nr. 10 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A42012X0920%2801%29>
zugegriffen am 16.11.2021

10. Literaturverzeichnis

- [187] Regelung Nr. 13 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A42016X0218%2801%29>
zugegriffen am 16.11.2021
- [188] Regelung Nr. 13 H der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A42015X1222%2801%29>
zugegriffen am 17.11.2021
- [189] Regelung Nr. 24 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A42008X0222%2801%29>
zugegriffen am 17.11.2021
- [190] Regelung Nr. 39 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A42010X0513%2803%29>
zugegriffen am 18.11.2021
- [191] Regelung Nr. 51 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiTldikzYH2AhVaPOw-KHdWWDIEQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Feur-lex.europa.eu%2Flegal-content%2FDE%2FTXT%2FPDF%2F%3Furi%3DCELEX%3A42018X0798%26from%3DDE&usq=AOvVaw0VTA26TSP71EwgyblPhdxH>
zugegriffen am 12.02.2022
- [192] Regelung Nr. 68 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl289s0642.pdf%27%5D#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl289s0642.pdf%27%5D_1641903722848
zugegriffen am 19.11.2021
- [193] Regelung Nr. 83 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A42015X0703%2801%29>
zugegriffen am 18.11.2021

10. Literaturverzeichnis

- [194]** Regelung Nr.85 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A42014X1107%2801%29>
zugegriffen am 18.11.2021
- [195]** Regelung Nr. 101 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A42012X0526%2801%29>
zugegriffen am 19.11.2021

Anhang A

Abbildungen der genannten Fahrzeuge sowie deren Technischen Daten



Abbildung 28: Porsche 914/6 [150]
Technische Daten [151]

6 Zyl.	110 PS
Boxermotor	$207 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
1991 cm ³	luftgekühlt



Abbildung 29: VW Käfer [152]

4 Zyl.	25 PS
Boxermotor	$105 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
1131 cm ³	luftgekühlt



Abbildung 30: BMW 2002 Turbo [153]

4 Zyl.	170 PS
Reihenmotor	$211 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
1990 cm ³	wassergekühlt



Abbildung 31: VW Golf IV 1,9 TDI [154]

4 Zyl.	90-150 PS
Reihenmotor	$180-216 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
1896 cm ³	wassergekühlt

Anhang A



Abbildung 32: Saab 99 Turbo [155]

4 Zyl. 145 PS

Reihenmotor $190 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

1985 cm³ wassergekühlt



Abbildung 33: Oldsmobile Jetfire F 85 [156]

8 Zyl. 215 PS

V-Motor $176 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ [157]

3523 cm³ wassergekühlt



Abbildung 34: BMW M4 GTS [158]

6 Zyl. 500 PS

Reihenmotor $305 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

2979 cm³ wassergekühlt



Abbildung 35: Mitsubishi Lancer EVO X [159]

4 Zyl. 295 PS

1991cm³ $250 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Reihenmotor wassergekühlt

Anhang B

In diesem Anhang werden die VO und die RL aufgelistet, die im VdTÜV Merkblatt 751 vermerkt sind. In diesen ist genau geregelt welche Fahrzeuge betroffen sind und um was es in dieser Richtlinie bzw. Verordnung geht.

VO EG Nr. 715/2007 **„über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeug“**
Regelung ist in Kraft und Anwendbar
(vom 20 Juni 2007) [160]

VO EG Nr. 692/2008 **„zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge“**
(vom 18 Juli 2008) [161]

VO EG Nr. 595/2009 **„über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 und der Richtlinie 2007/46/EG sowie zur Aufhebung der Richtlinien 80/1269/EWG, 2005/55/EG und 2005/78/EG“**
(vom 18 Juni 2019) [162]

- VO EU Nr. 458/2011 **„über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern hinsichtlich der Montage von Reifen und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit“**
(vom 12 Mai 2011) [163]
- VO EU Nr. 566/2011 **„zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge“**
(vom 8 Juni 2011) [164]
- VO EU Nr. 459/2012 **„zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 6)“**
(vom 29 Mai 2012) [165]
- VO EU Nr. 630/2012 **„zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 bezüglich der Anforderungen für die Typgenehmigung von mit Wasserstoff und Gemischen aus Wasserstoff und Erdgas betriebenen Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen und bezüglich der Aufnahme spezifischer Informationen zu Fahrzeugen mit Elektroantrieb in den Beschreibungsbogen für die EG-Typgenehmigung“**
(vom 12 Juli 2012) [166]
- VO EU Nr. 540/2014 **„über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157/EWG“**
(vom 16 April 2014)
(Inkrafttreten am 1 Juli 2016) [167]

- VO EU 2017/1151 **„zur Ergänzung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen, zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission sowie der Verordnung (EU) Nr. 1230/2012 der Kommission und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission“**
(vom 01 Juni 2017) [168]
- VO EU 2018/858 **„über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 715/2007 und (EG) Nr. 595/2009 und zur Aufhebung der Richtlinie 2007/46/EG“**
(vom 30 Mai 2019)
(Inkrafttreten am 1 September 2020) [169]
- VO EU 2019/631 **„zur Festsetzung von CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011“**
(vom 17 April 2019) [170]
- RL 70/156/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Betriebserlaubnis für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger“**
(vom 6 Februar 1970) [171]
- RL 70/157/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen (vom 6 Februar 1970) wird ersetzt durch die Richtlinie VO 2014/540/EU“**
(wird aufgehoben am 1 Juli 2027) [172]

Anhang B

- RL 70/220/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Abgase von Kraftfahrzeugmotoren mit Fremdzündung“**
(vom 20 März 1970) [85]
- RL 71/320/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bremsanlagen , bestimmter Klassen von Kraftfahrzeugen und deren Anhänger“**
(vom 26 Juli 1971) [173]
- RL 72/245/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Funkentstörung von Kraftfahrzeugmotoren mit Fremdzündung“**
(vom 20 Juni 1972) [174]
- RL 72/306/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission verunreinigender Stoffe aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen“**
(vom 2 August 1972) [175]
- RL 75/443/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den Rückwärtsgang und das Geschwindigkeitsmeßgerät in Kraftfahrzeugen“**
(vom 26 Juni 1975) [176]
- RL 80/1269/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Motorleistung von Kraftfahrzeugen“**
(vom 16 Dezember 1980) [177]
- RL 88/77/EWG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen“**
(vom 03 Dezember 1987) [178]

Anhang B

- RL 92/21/EWG **„über Massen und Abmessungen von Kraftfahrzeugen der Klasse M₁.“**
(vom 31 März 1992) [179]
- RL 92/23/EWG **„über Reifen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und über ihre Montage“**
(vom 31 März 1992) [180]
- RL 2001/116/EG **„zur Anpassung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Betriebserlaubnis für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger an den technischen Fortschritt“**
(vom 20 Dezember 2001) [181]
- RL 2005/55/EG **„zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Flüssiggas oder Erdgas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen“**
(vom 28 September 2005) [182]
- RL 2007/46/EG **„zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge (Rahmenrichtlinie)“**
(vom 20 September 2007)
(Außerkraft getreten am 31 August 2020) [183]

Anhang B

- ECE 51.02 **„der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern hinsichtlich ihrer Geräuschemissionen“**
(Inkrafttreten am 18 Juni 2007) [184]
- ECE 51.03 **„der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern hinsichtlich ihrer Geräuschemissionen“**
(Inkrafttreten am 10 Februar 2018) [185]
- UN-Regelung Nr. 10 **„Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit“**
(Inkrafttreten am 15 Juli 2013) [186]
- UN-Regelung Nr.13 **„Einheitliche Vorschriften für die Typgenehmigung von Fahrzeugen der Klassen M, N, und O hinsichtlich der Bremsen [2016/19]“**
(Inkrafttreten am 8 Oktober 2015) [187]
- UN-Regelung Nr.13 H **„Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Personenkraftwagen hinsichtlich der Bremsen“**
(Inkrafttreten am 15 Juni 2015) [188]
- UN-Regelung Nr. 24 **„I. Die Genehmigung der Motoren mit Selbstzündung (Dieselmotoren) hinsichtlich der Emission luftverunreinigender Stoffe
II. Die Genehmigung der Kraftfahrzeuge hinsichtlich des Einbaues eines Motors mit Selbstzündung (Dieselmotors) eines genehmigten Typs
III. Die Genehmigung der mit einem Motor mit Selbstzündung (Dieselmotor) ausgerüsteten Kraftfahrzeuge hinsichtlich der Emission sichtbarer luftverunreinigender Stoffe aus dem Motor
IV. Die Messung der Leistung von Motoren mit Selbstzündung (Dieselmotoren)“**
(Stand 24 November 2006) [189]

Anhang B

- UN-Regelung Nr. 39 **„Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Geschwindigkeitsmess- und Kilometerzähleinrichtung einschließlich ihres Einbaus [2018/1857]“**
(Inkrafttreten am 10 Oktober 2017) [190]
- UN-Regelung Nr. 51 **„Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern hinsichtlich ihrer Geräuschemissionen [2018/798]“**
(Inkrafttreten am 10 Februar 2018) [191]
- UN-Regelung Nr.68 **„über die Messung der Höchstgeschwindigkeiten von Kraftfahrzeugen“**
(vom 13 Juli 1989) [192]
- UN-Regelung Nr.83 **„Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Emission von Schadstoffen aus dem Motor entsprechend den Kraftstoffanforderungen des Motors“ [2019/253]**
(Inkrafttreten am 29 Dezember 2018) [193]
- UN-Regelung Nr.85 **„Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Verbrennungsmotoren oder elektrischen Antriebssystemen für den Antrieb von Kraftfahrzeugen der Klassen M und N hinsichtlich der Messung der Nutzleistung und der höchsten 30-Minuten-Leistung elektrischer Antriebssysteme“**
(Inkrafttreten am 15 Juli 2013) [194]
- UN-Regelung Nr. 101 **„Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Personenkraftwagen, die nur mit einem Verbrennungsmotor oder mit Hybrid-Elektro-Antrieb betrieben werden, hinsichtlich der Messung der Kohlendioxidemission und des Kraftstoffverbrauchs und/oder der Messung des Stromverbrauchs und der elektrischen Reichweite sowie der nur mit Elektroantrieb betriebenen Fahrzeuge der Klassen M1 und N1 hinsichtlich der Messung des Stromverbrauchs und der elektrischen Reichweite“**
(Inkrafttreten am 9 Dezember 2010) [195]

Anhang C

„Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) § 19 Erteilung und Wirksamkeit der Betriebserlaubnis

(2) Die Betriebserlaubnis des Fahrzeugs bleibt, wenn sie nicht ausdrücklich entzogen wird, bis zu seiner endgültigen Außerbetriebsetzung wirksam. Sie erlischt, wenn Änderungen vorgenommen werden, durch die

- 1. die in der Betriebserlaubnis genehmigte Fahrzeugart geändert wird,**
- 2. eine Gefährdung von Verkehrsteilnehmern zu erwarten ist oder**
- 3. das Abgas- oder Geräuschverhalten verschlechtert wird.**

Fahrzeughersteller, Importeure oder Gewerbetreibende dürfen keine Änderungen vornehmen oder vornehmen lassen, die nach Satz 2 zum Erlöschen der Betriebserlaubnis führen. Satz 3 gilt nicht, wenn unverzüglich eine Betriebserlaubnis nach § 21 für das Gesamtfahrzeug eingeholt wird.

Sie erlischt ferner für Fahrzeuge der Bundeswehr, für die § 20 Absatz 3b oder § 21 Absatz 6 angewendet worden ist, sobald die Fahrzeuge nicht mehr für die Bundeswehr zugelassen sind. Für die Erteilung einer neuen Betriebserlaubnis gilt § 21 entsprechend. Besteht Anlass zur Annahme, dass die Betriebserlaubnis erloschen ist, kann die Verwaltungsbehörde zur Vorbereitung einer Entscheidung

- 1. die Beibringung eines Gutachtens eines amtlich anerkannten Sachverständigen, Prüfers für den Kraftfahrzeugverkehr oder eines Prüfsachverständigen darüber, ob das Fahrzeug den Vorschriften dieser Verordnung entspricht, oder**
- 2. die Vorführung des Fahrzeugs anordnen und wenn nötig mehrere solcher Anordnungen treffen; auch darf eine Prüfplakette nach Anlage IX nicht zugeteilt werden.**

(2a) Die Betriebserlaubnis für Fahrzeuge, die nach ihrer Bauart speziell für militärische oder polizeiliche Zwecke sowie für Zwecke des Brandschutzes und des Katastrophenschutzes bestimmt sind, bleibt nur so lange wirksam, wie die Fahrzeuge für die Bundeswehr, die Bundespolizei, die Polizei, die Feuerwehr oder den Katastrophenschutz zugelassen oder eingesetzt werden.

Für Fahrzeuge nach Satz 1 darf eine Betriebserlaubnis nach § 21 nur der Bundeswehr, der Bundespolizei, der Polizei, der Feuerwehr oder dem Katastrophenschutz erteilt werden; dies gilt auch, wenn die für die militärischen oder die polizeilichen Zwecke sowie die Zwecke des Brandschutzes und des Katastrophenschutzes vorhandene Ausstattung oder Ausrüstung entfernt, verändert oder unwirksam gemacht worden ist. Ausnahmen von Satz 2 für bestimmte Einsatzzwecke können gemäß § 70 genehmigt werden.

(3) Abweichend von Absatz 2 Satz 2 erlischt die Betriebserlaubnis des Fahrzeugs jedoch nicht, wenn bei Änderungen durch Ein- oder Anbau von Teilen

1. für diese Teile

a) eine Betriebserlaubnis nach § 22 oder eine Bauartgenehmigung nach § 22a erteilt worden ist oder

b) der nachträgliche Ein- oder Anbau im Rahmen einer Betriebserlaubnis oder eines Nachtrags dazu für das Fahrzeug nach § 20 oder § 21 genehmigt worden ist und die Wirksamkeit der Betriebserlaubnis, der Bauartgenehmigung oder der Genehmigung nicht von der Abnahme des Ein- oder Anbaus abhängig gemacht worden ist oder

2. für diese Teile

a) eine EWG-Betriebserlaubnis, eine EWG-Bauartgenehmigung oder eine EG-Typgenehmigung nach Europäischem Gemeinschaftsrecht oder

b) eine Genehmigung nach Regelungen in der jeweiligen Fassung entsprechend dem Übereinkommen vom 20. März 1958 über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen und über die gegenseitige Anerkennung der Genehmigung (BGBl. 1965 II S. 857, 858), soweit diese von der Bundesrepublik Deutschland angewendet werden, erteilt worden ist und eventuelle Einschränkungen oder Einbauanweisungen beachtet sind oder

3. die Wirksamkeit der Betriebserlaubnis, der Bauartgenehmigung oder der Genehmigung dieser Teile nach Nummer 1 Buchstabe a oder b von einer Abnahme des Ein- oder Anbaus abhängig gemacht ist und die Abnahme unverzüglich durchgeführt und nach § 22 Absatz 1 Satz 5, auch in Verbindung mit § 22a Absatz 1a, bestätigt worden ist oder

4. für diese Teile

a) die Identität mit einem Teil gegeben ist, für das ein Gutachten eines Technischen Dienstes nach Anlage XIX über die Vorschriftsmäßigkeit eines Fahrzeugs bei bestimmungsgemäßem Ein- oder Anbau dieser Teile (Teilegutachten) vorliegt,

b)der im Gutachten angegebene Verwendungsbereich eingehalten wird und

c)die Abnahme des Ein- oder Anbaus unverzüglich durch einen amtlich anerkannten Sachverständigen oder Prüfer für den Kraftfahrzeugverkehr oder durch einen Kraftfahrzeugsachverständigen oder Angestellten nach Nummer 4 der Anlage VIIIb durchgeführt und der ordnungsgemäße Ein- oder Anbau entsprechend § 22 Absatz 1 Satz 5 bestätigt worden ist; § 22 Absatz 1 Satz 2 und Absatz 2 Satz 3 gilt entsprechend.

Werden bei Teilen nach Nummer 1 oder 2 in der Betriebserlaubnis, der Bauartgenehmigung oder der Genehmigung aufgeführte Einschränkungen oder Einbauanweisungen nicht eingehalten, erlischt die Betriebserlaubnis des Fahrzeugs.“

[22]

Anhang D

„Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) § 21 Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge

(1) Gehört ein Fahrzeug nicht zu einem genehmigten Typ, so hat der Verfügungsberechtigte die Betriebserlaubnis bei der nach Landesrecht zuständigen Behörde zu beantragen.

Mit dem Antrag auf Erteilung der Betriebserlaubnis ist der nach Landesrecht zuständigen Behörde das Gutachten eines amtlich anerkannten Sachverständigen für den Kraftfahrzeugverkehr oder eines nach § 30 der EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung zur Prüfung von Gesamtfahrzeugen der jeweiligen Fahrzeugklasse benannten Technischen Dienstes vorzulegen.

Das Gutachten muss die technische Beschreibung des Fahrzeugs in dem Umfang enthalten, der für die Ausfertigung der Zulassungsbescheinigung Teil I und Teil II erforderlich ist. Dem Gutachten ist eine Anlage beizufügen, in der die technischen Vorschriften angegeben sind, auf deren Grundlage dem Fahrzeug eine Betriebserlaubnis erteilt werden kann.

In den Fällen des § 19 Absatz 2 sind in dieser Anlage zusätzlich die Änderungen darzustellen, die zum Erlöschen der früheren Betriebserlaubnis geführt haben. In dem Gutachten bescheinigt die oder der amtlich anerkannte Sachverständige für den Kraftfahrzeugverkehr oder der nach § 30 der EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung zur Prüfung von Gesamtfahrzeugen der jeweiligen Fahrzeugklasse benannte Technische Dienst, dass sie oder er das Fahrzeug im Gutachten richtig beschrieben hat und dass das Fahrzeug gemäß § 19 Absatz 1 vorschriftsmäßig ist; die Angaben aus dem Gutachten überträgt die Genehmigungsbehörde in die Zulassungsbescheinigung Teil I und, soweit vorgesehen, in die Zulassungsbescheinigung Teil II.

(1a) Gehört ein Fahrzeug zu einem genehmigten Typ oder liegt eine Einzelbetriebserlaubnis nach dieser Verordnung oder eine Einzelgenehmigung nach § 13 der EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung vor, ist eine Begutachtung nur zulässig, wenn die Betriebserlaubnis nach § 19 Absatz 2 erloschen ist.

(2) Für die im Gutachten zusammengefassten Ergebnisse müssen Prüfprotokolle vorliegen, aus denen hervorgeht, dass die notwendigen Prüfungen durchgeführt und die geforderten Ergebnisse erreicht wurden. Auf Anforderung sind die Prüfprotokolle der Genehmigungs- oder der zuständigen Aufsichtsbehörde vorzulegen. Die Aufbewahrungsfrist für die Gutachten und Prüfprotokolle beträgt zehn Jahre.

(3) Der Leiter der Technischen Prüfstelle ist für die Sicherstellung der gleichmäßigen Qualität aller Tätigkeiten des befugten Personenkreises verantwortlich. Er hat der zuständigen Aufsichtsbehörde jährlich sowie zusätzlich auf konkrete Anforderung hin einen Qualitätssicherungsbericht vorzulegen. Der Bericht muss in transparenter Form Aufschluss über die durchgeführten Qualitätskontrollen und die eingeleiteten Qualitätsmaßnahmen geben, sofern diese aufgrund eines Verstoßes erforderlich waren. Der Leiter der Technischen Prüfstelle hat sicherzustellen, dass fehlerhafte Begutachtungen aufgrund derer ein Fahrzeug in Verkehr gebracht wurde oder werden soll, von dem ein erhebliches Risiko für die Verkehrssicherheit, die öffentliche Gesundheit oder die Umwelt ausgeht, nach Feststellung unverzüglich der zuständigen Genehmigungsbehörde und der zuständigen Aufsichtsbehörde gemeldet werden.

(4) Bei zulassungspflichtigen Fahrzeugen ist der Behörde mit dem Antrag eine Zulassungsbescheinigung Teil II vorzulegen. Wenn diese noch nicht vorhanden ist, ist nach § 12 der Fahrzeug-Zulassungsverordnung zu beantragen, dass diese ausgefertigt wird.

(5) Ist für die Erteilung einer Genehmigung für Fahrzeuge zusätzlich die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung nach § 70 erforderlich, hat die begutachtende Stelle diese im Gutachten zu benennen und stichhaltig zu begründen.

(6) Abweichend von Absatz 4 Satz 1 bedarf es für Fahrzeuge, die für die Bundeswehr zugelassen werden, nicht der Vorlage einer Zulassungsbescheinigung Teil II, wenn ein amtlich anerkannter Sachverständiger für den Kraftfahrzeugverkehr oder ein nach § 30 der EG-Fahrzeuggenehmungsverordnung zur Prüfung von Gesamtfahrzeugen der jeweiligen Fahrzeugklasse benannter Technischer Dienst eine Datenbestätigung entsprechend Muster 2d ausgestellt hat.

Anhang E

„IV.1 Geltungsbereich

Dieser Anhang gibt Hinweise für die Begutachtung von M1- und N1-Fahrzeugen (gemäß VO (EG) 2018/858 oder Richtlinie 2007/46/EG bzw. 70/156/EWG, außer Fahrzeugen, die nach VO (EG) 595/2009 oder Richtlinie 2005/55/EG bzw. 88/77/EWG geprüft wurden), an denen Motortuning-Maßnahmen durchgeführt werden sollen, z. B.:

- durch Änderungen der im Fahrzeug eingebauten Antriebsmaschine,**
- durch Einbau einer anderen Antriebsmaschine,**
- durch den Einbau eines Zusatzsteuergerätes.**

Hinweis:

Das Thema Chip-Tuning (Änderung im Serien-Motorsteuergerät) wird nach Abschluss der Arbeiten einer Expertengruppe (technische Dienste, Projektgruppe Teiletypgenehmigung und Hersteller) in das Merkblatt 751 aufgenommen.

IV.2 Begriffsbestimmungen

IV.2.1 Als Motortuning-Maßnahmen im Sinne dieses Merkblattes gelten alle Veränderungen der Antriebsmaschine und ihrer Peripherie, deren Durchführung eine Änderung

- der Motorleistung (Nennleistung) und/oder**
- des Motordrehmomentes (Drehmomentverlauf)**

zur Folge hat.

IV.2.2 Als betriebsübliche Bedingungen im Sinne dieses Anhangs gelten u. a.:

- Fahrten im Bereich der Höchstgeschwindigkeit,**
- Anfahren mit höchstmöglicher Beschleunigung,**
- Bremsen aus hohen Geschwindigkeiten,**
- Lastwechsel im Bereich kritischer Fahrzustände,**

– Anfahren an Steigungen.

IV.2.3 Typabgrenzende Merkmale im Sinne dieses Anhangs für das Tuning-Bauteil oder den Tuningsatz

Der Begriff Fahrzeugtyp (in Verbindung mit dem Tuning-Bauteil oder dem Tuningsatz) umfasst hinsichtlich der Auspuffemissionen aus dem Motor die Fahrzeuge die untereinander keine wesentlichen Unterschiede aufweisen.

Die Typenabgrenzung hat je nach Genehmigungsstand des Basis-Fahrzeuges analog zur VO (EG) 715/2007 und 692/2008 oder VO (EG) 2017/1151 Anhang I Kap. 3 (oder Richtlinie 70/220/EWG) bzw. der UN-Regelung Nr. 83 oder VO (EG) 2017/1151 zu erfolgen. Verwenden andere Fahrzeughersteller den gleichen Antriebsmotor des geprüften Fahrzeugherstellers, so können – falls alle übrigen Anforderungen erfüllt sind – auch diese Fahrzeugtypen in den Verwendungsbereich mit aufgenommen werden.

Dies gilt auch bei identischem Motortyp (mit identischem Datenstand) in einer anderen Typenreihe (Chassisplattform) des Fahrzeugherstellers.

Beim Abgastest ist stets der Worst Case zu berücksichtigen!

IV.2.4 Worst Case im Sinne dieses Anhangs

Der Begriff „Worst Case“ berücksichtigt den ungünstigsten Fall bezüglich der im Verwendungsbereich enthaltenen Fahrzeuge. Diese Fahrzeugausführung ist bei dem Nachweis hinsichtlich der Auspuffemissionen dem Technischen Dienst vorzustellen.

IV.2.5 OBD-System („On-Board-Diagnosesystem“) im Sinne dieses Anhangs

Als „On-Board-Diagnosesystem“ bezeichnet man ein an Bord des Fahrzeugs installiertes Diagnosesystem für die Emissionsüberwachung, das in der Lage ist, mit Hilfe rechnergespeicherter Fehlercodes Fehlfunktionen und deren wahrscheinliche Ursachen anzuzeigen.

IV.3 Allgemeine Anforderungen

IV.3.1 Nach Durchführung der Motortuning-Maßnahmen muss das Fahrzeug unter betriebsüblichen Bedingungen betriebs- und verkehrssicher bleiben.

Hierbei sind ggf. auch komplexe elektronische Systeme zu berücksichtigen (z. B. Netzwerke). Die entsprechenden Nachweise bezüglich der Erfüllung der EMV-Vorschriften sind erforderlich.

IV.3.2 Alle infolge der Umrüstung höher belasteten Bauteile im Antriebsstrang und im Fahrwerk müssen so beschaffen sein, dass ein plötzliches und völliges Versagen dieser Bauteile nicht zu erwarten ist.

IV.3.3 Die Auswahl des/der repräsentativen Prüffahrzeugs/Prüffahrzeuge, in Verbindung mit dem Tuning-Bauteil oder dem Tuningsatz, ist zwischen dem Technischen Dienst und dem Antragsteller unter Berücksichtigung von Abschnitt IV.2.3 bzw. Abschnitt IV.2.4 abzustimmen.

Die nachfolgenden typabgrenzenden Kriterien der VO (EG) 715/2007 und 692/2008 (oder Richtlinie 70/220/EWG) der UN-Regelung Nr. 83 und VO (EG) 2017/1151 sind bezüglich der Auswahl des Prüffahrzeuges anzuwenden.

Nachfolgend nochmals die Parameter der vorgenannten Kriterien:

- Art des Antriebs (z. B. Verbrennungsmotor, Hybridelektrofahrzeug (HEV), plug-in-Hybrid (PHEV))**
- Saugmotor, aufgeladener Motor,**
- Verbrennungsverfahren (2-Takt, 4-Takt, Drehkolben),**
- Tuning-Leistung,**
- Zylinderzahl/Hubraum,**
- Gestalt des Motors (Reihe, V, Stern, liegend, usw.),**
- Einspritzung (indirekt, direkt bzw. Arbeitsverfahren: Pumpe-Düse, Common-Rail),**
- Art der Kühlung (Luft, Wasser, Öl),**
- Kraftstoff (Benzin, Diesel, NG, LPG usw.)**
(bei Fahrzeugen, die mit zwei Kraftstoffarten betrieben werden können, erfolgt die Bewertung unter Berücksichtigung der VO (EG) 715/2007 und 692/2008 (oder Richtlinie 70/220/EWG) der UN-Regelung Nr. 83 bzw. der VO (EG) 2017/1151 (z. B. kein Nachweis im Benzinbetrieb, wenn der Benzintank ≤ 15 Liter – Richtlinie 70/220/EWG Anhang I 5.3.1.2.1.2 – ist),
- Typen und Aufeinanderfolge der Abgasnachbehandlungseinrichtungen (z. B. 3-Wege-Katalysator, Oxidationskatalysator, NOx Kat, SCR System, Partikelfilter),**
- Abgasrückführung (mit/ohne),**

- Schadstoffklasse (z. B. EURO 5 oder EURO 6),
- Einstellung des Rollenprüfstandes (Worst Case-Prinzip).

Anforderungen

Fahrzeuge mit Typgenehmigung nach VO(EU)715/2007 und 692/2008, Richtlinie 70/220/EWG oder UN-Regelung Nr. 83 (NEFZ): Schwungmassenklassenausdehnung nach unten unbegrenzt, zwei Schwungmassenklassen nach oben, Gesamtfahrwiderstand bei 80 km/h + 5% oder niedriger.

**Fahrzeuge mit Typgenehmigung nach VO (EU) 715/2007 und 2017/1151 (WLTP): Ausdehnung Testmasse und Gesamtfahrwiderstand bei 80 km/h + 5% bzw. Zyklusenergie + 5%, nach unten unbegrenzt.
(PEMS-Familie siehe Punkt 5.2.2 dieses Merkblattes)**

IV.4 Anforderungen

Die spezifischen Anforderungen sind insbesondere abhängig von der Größe der Leistungssteigerung. Nachfolgend wird zwischen 3 verschiedenen Klassen unterschieden.“

Tabelle 9: Für Einteilung der Leistungssteigerung [30]

Berechnung	Faktor	Anforderung	WLTP-Klasse
$P_{20} = P_{\text{Tuning}} / P_{\text{Serie}}$	$\leq 1,2$	4.1	I
$P > 20 \leq P_{40} = P_{\text{Tuning}} / P_{\text{Serie}}$	$> 1,2 \leq 1,4$	4.2	II
$P > 40 = P_{\text{Tuning}} / P_{\text{Serie}}$	$> 1,4$	4.3	III

IV.4.1 Anforderungen bei Leistungssteigerungen bis 20%

4.1.1 Ermittlung von Motorleistung und Motordrehmoment (Abschnitt IV.5.1)

4.1.2 Prüfung des Emissionsverhaltens und Prüfung der CO₂-Emissionen nach NEFZ (Abschnitt IV.5.2) (Abschnitt IV.5.3)

4.1.3 Prüfung der Geräuschentwicklung (Abschnitt IV.5.4)

4.1.4 Ermittlung der Höchstgeschwindigkeit (Abschnitt IV.5.5)

4.1.5 Eignung der Bremsanlage (Abschnitt IV.5.6)

4.1.6 Elektromagnetische Verträglichkeit	(Abschnitt IV.5.7)
4.1.7 Eignung der Reifen	(Abschnitt IV.5.8)
4.1.8 Fahrerprobung über angemessene Strecke	(Abschnitt IV.5.9)
4.1.9 Eignung des Geschwindigkeitsmessers	(Abschnitt IV.5.10)
4.1.10 Prüfung der zulässigen Anhängelast	(Abschnitt IV.5.11)
4.1.11 Maßnahmen gegen Manipulationen	(Abschnitt IV.5.12)

IV.4.2 Anforderungen bei Leistungssteigerungen größer 20% bis 40%

4.2.1 Beträgt die Steigerung der Motorleistung und/oder des Motordrehmoments mehr als 20% bis 40%, sind alle nach Abschnitt IV.4.1 erforderlichen Prüfungen durchzuführen.

4.2.2 Zusätzliche Maßnahmen

4.2.2.1 Prüfung der Eignung der Antriebswellen	(Abschnitt IV.5.13.1)
---	------------------------------

IV.4.3 Anforderungen bei Leistungssteigerungen größer 40%

**Alle Anforderungen unter Abschnitt IV.4.1 und Abschnitt IV.4.2
Zusätzlich:**

4.3.1 Betriebsfestigkeit

4.3.1.1 Dauererprobung mindestens 2000 km (Vorgegebenes Lastprofil)	(Abschnitt IV.5.14.1)
--	------------------------------

4.3.1.2 Betriebsfestigkeit auf der Basis des Serienfahrzeuges	(Abschnitt IV.5.14.2)
--	------------------------------

4.3.2 Bremsverhalten 4.3.2.1 Bremsverhalten aus $0,8 \times V_{max}$ (dreimal im eingekuppelten Zustand)	(Abschnitt IV.5.6)
--	---------------------------

IV.5 Prüfungen

IV.5.1 Ermittlung von Motorleistung und Motordrehmoment

IV.5.1.1 Motorleistungsmessung auf einem Motorprüfstand

Die Motorleistung wird auf der Basis der Richtlinie 80/1269/EWG oder der UN-Regelung Nr. 85 ermittelt. Alle weiteren Randbedingungen sind der vorgenannten Richtlinie zu entnehmen.

IV.5.1.2 Motorleistungsmessung auf einem Fahrzeug-Rollenprüfstand

Alternativ zur Ermittlung der Motorleistung unter Abschnitt 5.1.1, kann die neue Motorleistung über eine Vergleichsmessung auf einem stationären oder instationären Fahrzeug-Rollenprüfstand, in Anlehnung an die Richtlinie 80/1269/EWG oder UN-Regelung Nr. 85, ermittelt werden.

Mit einem stationären Prüfstand (bezogen auf den Betriebspunkt) kann die Vollastkurve unter Berücksichtigung der Verluste im Antriebsstrang unter Vorgabe der Motordrehzahlen Punkt für Punkt gemessen werden. Mit einem instationären Prüfstand wird die Vollastkurve unter Berücksichtigung der Leistungsmessung beim Beschleunigungsvorgang sowie über die Verlustleistungskurve beim Auslaufen auf dem Prüfstand ermittelt. Darüber hinaus sind die von dem Prüfstandshersteller angegebenen Genauigkeiten bei der Auswertung der Messergebnisse zu berücksichtigen.

Wegen der Messunsicherheit bezüglich der Verlustleistung ist bei dem Prüfverfahren nach Abschnitt IV.5.1.2 stets eine Vergleichsmessung zwischen der Serienausführung und der Tuning Ausführung durchzuführen. Die gemessene Leistungsdifferenz und die bisherige Nennleistung der Serienausführung ergeben die neue Nennleistung der Tuning-Ausführung. Die neue Nennleistungsdrehzahl wird von der Messung der Tuning-Ausführung übernommen.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Randbedingungen sind die ermittelte neue Nennleistung sowie die neue Nennleistungsdrehzahl der Tuning-Ausführung festzulegen.

IV.5.2 Prüfung der Emissionen

IV.5.2.1 Prüfung des Abgasverhaltens nach NEFZ

Die Emissionen werden auf der Basis der VO (EG) 715/2007 und 692/2008 (oder Richtlinie 70/220/EWG) oder nach der UN-Regelung Nr. 83 ermittelt. Alle weiteren Randbedingungen (einschließlich die für die Übertragbarkeit der Messergebnisse) sind diesen Vorschriften zu entnehmen. Als Grenzwerte der Tuning-Ausführung gelten die Anforderungen der entsprechenden Schadstoffklasse, die für das betreffende Fahrzeug nachgewiesen werden muss.

Die zum Zeitpunkt der Erstzulassung gültigen Grenzwerte gemäß der nationalen Rechtsverordnung StVZO in Verbindung mit der VO (EG) 715/2007 und 692/2008 (oder Richtlinie 70/220/ EWG) bzw. der UN-Regelung Nr. 83 in den entsprechenden Fahrzeugklassen sind mindestens auch bei dem leistungsgesteigerten Fahrzeug einzuhalten.

Bei der Auswertung der Testergebnisse sind die Anforderungen (Verschlechterungsfaktoren sowie die Anzahl der Typ I Tests siehe hierzu Prüfbericht IV.7.) der VO (EG) 715/2007 und 692/2008 (oder Richtlinie 70/220/EWG) bzw. der UN-Regelung Nr. 83 zu berücksichtigen. Die Verschlechterungsfaktoren der VO (EG) 715/2007 und 692/2008 (oder Richtlinie 70/220/EWG) bzw. der UN-Regelung Nr. 83 sind immer dann anzuwenden, wenn kein Nachweis der Prüfung Typ V entsprechend den genannten Vorschriften vorliegt. Bei EURO 6-Diesel-Fahrzeugen sind bis zur Festlegung der entsprechenden gesetzlichen Verschlechterungsfaktoren die für die EURO 5-Abgasnorm definierten Faktoren anzuwenden.

Bei Fahrzeugen mit einem periodisch arbeitenden Regenerationssystem (z. B. EURO 5/6-Diesel mit DPF) kann auf eine Bestimmung des Regenerationsfaktors (Ki-Faktors) nach UN-Regelung Nr. 83 Anhang 13 unter folgenden Bedingungen verzichtet werden:

Das Abgasminderungssystem wird durch die Tuning-Maßnahme nicht verändert und Vergleichsmessungen (durchgeführt nach VO (EG) 715/2007 und 692/2008) zwischen Serien- und Tuning Zustand zeigen keine relevanten Unterschiede in Bezug auf Abgasemissionen und Verbrauch.

Die Prüfung Typ II ist entsprechend der Verordnung durchzuführen.

Die Prüfung Typ III ist nur nach Hardwareänderungen am Motor durchzuführen. Die Prüfung Typ IV ist nur nach relevanten Änderungen am Kraftstoffsystem des Fahrzeugs durchzuführen.

Auf den Test nach Typ VI kann verzichtet werden, wenn keine relevanten Hardwareänderungen am Motor vorgenommen wurden und vom Begutachter im Prüfbericht ein Vermerk aufgenommen wird! (Z. B.: Die Erfüllung der Grenzwerte gemäß Typ I wurde nachgewiesen. Auf der Basis dieser Ergebnisse ist zu erwarten, dass bei der Prüfung Typ VI (-7 °C) die Emissions-Vorschriften ebenfalls erfüllt werden.)

Bei Fahrzeugtypen mit OBD-Systemen (ab EURO 3) ist die Funktion des Diagnosesystems zu überprüfen und im Gutachten vom Technischen Dienst zu bestätigen.

Die typabgrenzenden Kriterien der Prüffahrzeuge nach der VO (EG) 715/2007 und 692/2008 (oder Richtlinie 70/220/EWG) bzw. der UN-Regelung Nr. 83 sind anzuwenden. Siehe hierzu auch Abschnitt IV.3.3.

Für Schalt- und Automatikgetriebe sind getrennte Prüfungen nach VO (EG) 715/2007 und 692/2008 (oder Richtlinie 70/220/EWG) bzw. der UN-Regelung Nr. 83 erforderlich.

**IV.5.2.1.1 Dieselrauchmessung (korrigierter Absorptionskoeffizient)
(Entfällt bei Fahrzeugen mit geschlossenem Partikelfilter!)**

IV.5.2.1.2 Dieselrauchmessung auf einem Motorprüfstand oder Fahrzeug-Rollenprüfstand

Der Dieselrauch wird auf der Basis der Richtlinie 72/306/EWG oder nach der UN-Regelung Nr. 24 auf einem Motor- oder Fahrzeug-Rollenprüfstand ermittelt. Alle weiteren Randbedingungen einschließlich der vorgegebenen Messeinrichtung für die Rauchgastrübung sind diesen Vorschriften zu entnehmen. Die vorgenannte Prüfung besteht aus der

– Prüfung über den Vollastrauch (unter Berücksichtigung der neuen Tuningleistung),

– Prüfung mit freier Beschleunigung.

Nach dem Verfahrensablauf gemäß der Richtlinie 72/306/EWG oder nach der UN-Regelung Nr. 24 (siehe auch Prüfberichtsvorlage) wird dann der neue korrigierte Absorptionskoeffizient ermittelt. Der ermittelte neue Absorptionskoeffizient ist im Gutachten anzugeben und der Wert am Fahrzeug mit neuem Aufkleber zu ändern.

IV.5.2.2 Prüfung des Abgasverhaltens nach VO (EU) 2007/715 und VO (EU) 2017/1151 (WLTP)

Auf Grund der höheren Anforderungen des Vorordnungsgebers wurde für Fahrzeuge, die diesen Emissionsstandart besitzen, ein eigener Abschnitt verfasst.

Hierbei wurde versucht, mit Augenmaß die Anforderungen der Verordnungen umzusetzen.

Dazu wurden in diesem Abschnitt:

- 1. die Klasseneinteilung des Punkts IV.4. dieses Merkblattes übernommen und**
- 2. folgende Definitionen verfasst:**

Definition „kleine“ Hardwareänderungen:

- **Beibehaltung kompletter Kurbeltrieb,**
- **Beibehaltung Zylinderkopf und Ventiltrieb,**
- **Änderung der Ansaugwege mit einer maximalen Querschnittsänderung von 10%, Beibehaltung der originalen Gemischbilder (Einspritzvorrichtungen, Drosselklappe, Sensorik),**
- **mögliche Änderung:**
- **Luftfilter (Gehäuse und Einsätze),**
- **Abgasturbolader: geänderte Verdichter-Räder im Serien-Verdichter-Gehäuse,**
- **geänderte Ladeluftkühler bis zu einer Volumenänderung bis $\leq 40\%$.**

(Alle hier nicht aufgeführten Änderungen stellen keine „kleine“ Hardwareänderung dar!)

Für die WLTP-Klasse I wahlweise inklusive der kleinen Hardwareänderung ist zu erfüllen:

WLTC-Abgastest (Test Typ I nach VO (EU) 2017/1151, Anhang XXI)

Der WLTC-Testzyklus ist von jedem Testfahrzeug im Abgaslabor zu durchlaufen.

Bei der Auswertung der Testergebnisse sind die Anforderungen (Verschlechterungsfaktoren (DF), Ki-Faktor, sowie die Anzahl der Typ I Tests) der VO (EG) 715/2007 und 2017/1151 zu berücksichtigen. Bei allen Fahrzeugen sind die Verschlechterungsfaktoren des Serienfahrzeugs anzuwenden.

Bei Fahrzeugen mit einem periodisch arbeitenden Regenerationssystem kann der Ki-Faktor des Serienfahrzeuges unter folgenden Bedingungen auch für die Tuning-Variante verwendet werden: Das Abgasminderungssystem wird durch die Tuning-Maßnahme nicht verändert und Vergleichsmessungen (durchgeführt nach VO (EG) 715/2007 und 2017/1151) zwischen Serien- und Tuning Zustand zeigen keine relevanten Unterschiede in Bezug auf Abgasemissionen und Verbrauch. Falls der Ki-Faktor nicht bekannt ist, kann gem. UN-Regelung Nr. 101, Anhang 10, Punkt 2.3 der Faktor 1,05 verwendet werden.

Für Schalt- und Automatikgetriebe sind getrennte Prüfungen erforderlich.

RDE Abgastest (Test Typ IA nach VO EU 2017/1151, Anhang IIIA)

Abweichend von Punkt IV.3.3:

Der RDE Abgastest ist von einem Fahrzeug je Tuning-PEMS-Familie zu durchlaufen. Die Tuning PEMS-Familie kann wie hier beschrieben gebildet werden. Folgende Abgrenzungskriterien sind dabei anzuwenden:

- Art des Antriebsmotors (Otto, Diesel, Hybrid),**
- gleiche Tuningstrategie (Typ des Zusatzsteuergeräts etc., weitere Tuningmaßnahmen),**
- Motorhersteller (für Fahrzeughersteller, die verschiedene Antriebsmotorhersteller nutzen, ist je Motorenhersteller eine eigene PEMS-Familie erforderlich),**
- gleiche Abgasnachbehandlungsstrategie,**
- Der Tuner muss garantieren, dass alle Fahrzeuge im Verwendungsbereich mit seinen Produkten die Anforderungen erfüllen.**

Bei der Auswahl des RDE Testfahrzeuges ist grundsätzlich der Worst Case zu berücksichtigen. Es kann aber auch ein Fahrzeugtyp der Tuning-PEMS-Familie unterhalb des Worst Case ausgewählt werden, wenn das Worst Case Fahrzeug nicht mit vertretbarem Aufwand mit einem PEMS ausrüstbar ist.

Im RDE Abgastest ist die Einhaltung der RDE-Grenzwerte (NTE) durch das Tuning-Fahrzeug zu überprüfen.

Für alle Kriterien gelten die Vorgaben der RDE-Vorschrift (VO EU 2017/1151 Anhang IIIA).

Als Basis für die Auswertung der RDE-Fahrt sind die CO₂-Daten aus dem COC des Prüffahrzeuges zu verwenden.

Die Funktion des Diagnosesystems (OBD) ist nach der Tuning-Maßnahme stichpunktartig zu überprüfen und im Gutachten vom Technischen Dienst zu bestätigen. Dazu sind mindestens 2 OBD-relevante Bauteile durch Entfernen (Kabelunterbrechung) zu überprüfen.

Die Prüfung Typ II ist entsprechend der Verordnung durchzuführen.

Die Prüfung Typ III ist nur nach Hardwareänderungen am Motor durchzuführen.

Die Prüfung Typ IV ist nur nach relevanten Änderungen am Kraftstoffsystem des Fahrzeugs durchzuführen.

Hinsichtlich Typ V (Dauerhaltbarkeit) kann über einen Abgastemperaturvergleich bei der Motorleistungsmessung (Serie/Tuning) nachgewiesen werden, dass sich die Abgastemperaturen nicht verändern (erhöhen). Alternativ kann der Nachweis erbracht werden, dass durch das Tuning sich die Temperaturen im Standardstraßenzyklus (SSZ) nicht ändern. Und hierzu können auch die Temperaturen im WLTP-Zyklus verwendet werden. Die Ergebnisse (OE/Tuning) der Typ 1 Prüfung sind in geeigneter Weise darzustellen. In diesen Fällen ist keine Verschlechterung der Dauerhaltbarkeit zu erwarten und daher können die Serienangaben (DF u. Ki) verwendet werden.

Auf den Test nach Typ VI kann verzichtet werden, wenn vom Begutachter im Prüfbericht ein entsprechender Vermerk aufgenommen wird. (Bei Hardwareänderungen, die nicht durch die Definitionen dieses Abschnitts abgedeckt werden, ist immer ein Test Typ VI erforderlich.)

Für die WLTP-Klasse II wahlweise inklusive der kleinen Hardwareänderung und oder für Tuningmaßnahmen außerhalb der kleinen Hardwareänderung ist zusätzlich zu erfüllen:

Zur Bildung der PEMS-Familie sind zusätzlich folgende Abgrenzungskriterien zu berücksichtigen:

- Abgasnachbehandlungssystem (Katalysatoren/Partikelfilter/Sonstige).**
- Das Leistungsgewicht (Tuning-Nennleistung/Bezugsmasse) jeder Familie darf um $\pm 20\%$ um das Leistungsgewicht des Testfahrzeugs variieren.**

Hierzu kann eine Familie aufgespannt werden mit einem niedrigen Leistungsgewicht und mit einem hohen Leistungsgewicht. In dieser Familie sind dann alle Fahrzeuge von dem niedrigen Leistungsgewicht minus 20% bis zu dem hohen Leistungsgewicht plus 20% abgedeckt.

– Dauerhaltbarkeit:

Kann der Nachweis erbracht werden, dass durch das Tuning sich die Temperaturen im Standardstraßenzyklus (SSZ) nicht ändern, so ist das Verfahren gemäß Klasse I anzuwenden. Erhöhen sich die Temperaturen, so ist die Dauerhaltbarkeit gemäß der VO EU 2017/1151 nachzuweisen.

Für die WLTP-Klasse III und/oder für Tuningmaßnahmen außerhalb der kleinen Hardwareänderung ist zusätzlich zu erfüllen:

- Auf eine Ausarbeitung wurde verzichtet, da nach Auffassung der Verfasser dieses Merkblattes die sich noch weiter ergebenden Anforderungen wirtschaftlich nicht abbildbar sind.**

IV.5.2.2.1 Dieselrauchmessung (korrigierter Absorptionskoeffizient)

(Entfällt bei Fahrzeugen mit geschlossenem Partikelfilter!)

IV.5.3 Prüfung der CO₂-Emissionen nach NEFZ

Der CO₂-Wert des geprüften Tuning-Fahrzeuges (Worst Case) ist im Serien- und im Tuning-Zustand nach VO (EG) 715/2007 und 692/2008 i. V. m. UN-Regelung Nr. 101 zu messen und ein entsprechender CO₂-Faktor zu ermitteln und im Verwendungsbereich aufzuführen. Die Veränderung des CO₂-Wertes weiterer Fahrzeuge im Verwendungsbereich mit dem identischen Basis Motor wird über den Faktor des geprüften Fahrzeugs ermittelt. Bei der Vergleichsmessung kann der Ki-Faktor vernachlässigt werden.

Prüfung der CO₂-Emissionen nach WLTP

Der CO₂-Wert des geprüften Fahrzeuges ist im Serien- und im Tuning-Zustand nach VO (EG) 715/2007 und 2017/1151 zu messen und ein entsprechender CO₂-Faktor zu ermitteln. Die Veränderung des CO₂-Wertes weiterer Fahrzeuge im Verwendungsbereich wird über den Faktor des geprüften Fahrzeugs ermittelt.

Bei der Vergleichsmessung kann der Ki- und ATCTFaktor vernachlässigt werden, die RCB-Korrektur und das zugehörige Anwendungskriterium ist zu beachten.

Bei Hardwareänderungen ist zu bewerten, ob die Änderungen eine Auswirkung auf die Wärmeverluste von Motor/Getriebe haben. Ggf. ist ein neuer ATCT-Faktor zu ermitteln. Die Ergebnisse aller geforderten Prüfungen sind im Gutachten zu dokumentieren.

IV.5.4 Prüfung der Geräuschentwicklung

Die Geräuschemissionen sind auf Basis der für das zu verändernde Fahrzeug zugrundeliegenden Geräuschgenehmigung zu überprüfen (z.B. Richtlinie 70/157/EWG, der VO (EU) 540/2014 oder der UN-Regelung Nr. 51 Änderungsreihe 01, 02 oder 03).

Die zum Zeitpunkt der Erstzulassung des Fahrzeugs geltenden Grenzwerte sind einzuhalten.

Eine Erhöhung des Standgeräuschs im Rahmen von Änderungen sollte vermieden werden, kann jedoch nicht beanstandet werden, da maßgebliche Grenzwerte hierfür nicht existent sind. Ein geändertes Standgeräusch ist im Prüfbericht zu dokumentieren und in die Fahrzeugdokumente einzutragen

Sofern das zu verändernde typgenehmigte Fahrzeug eine Geräuschgenehmigung gemäß der Verordnung (EU) Nr. 540/2014 bzw. UN-Regelung Nr. 51.03 aufweist, sind die Anforderungen des Artikels 6 der Verordnung (EU) Nr. 540/2014 bzw. des Paragraphen 6.2.3 der UN-Regelung 51.03 (Zusätzliche Geräuschbestimmungen; Additional Sound Emission Provisions; ASEP) zu erfüllen. Hierbei sind die Vorgaben des Dokumentes GRB-68-03 zum Geräuschverhalten unter typischen Straßenfahrbedingungen ebenfalls einzuhalten.

Die durchgeführten Prüfungen zu den Geräuschemissionen einschließlich aller gemessenen Geräuschwerte in den eventuell vorhandenen unterschiedlichen Fahrmodi sind im Prüfbericht des Technischen Dienstes zu dokumentieren. Bei ggf. geänderten Werten des Stand-/Fahrgeräuschs ist die Zulassungsbescheinigung entsprechend anzupassen.

Hinweise:

Wird ein Austauschschalldämpfer verwendet, so ist dieser genehmigungspflichtig, sofern das serienmäßige Fahrzeug über eine Fahrzeug-Typgenehmigung gemäß der Rahmenrichtlinien 70/156/EWG bzw. 2007/46/EG oder der Rahmenverordnung (EU) 2018/858 verfügt. Die in der Genehmigung festgehaltenen Parameter z.B. Ansteuerung von Abgasklappen oder Ansteuerung von Soundgeneratoren sind auch im Rahmen der Tuningmaßnahme einzuhalten.

Verkehrsblattverlautbarungen zu der Thematik Genehmigungspflicht und Geräuschemissionen, welche sich auf Fahrzeuge der Klasse M1 beziehen, sind zu beachten.

IV.5.5 Ermittlung der Höchstgeschwindigkeit

Zur Ermittlung der neuen bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit (in Anlehnung an UN-Regelung Nr. 68) ist zunächst die Differenz zwischen der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit der Serienausführung und der Tuning-Ausführung zu bestimmen. Über die gemessene Differenz und mit dem bisherigen Nominalwert der Höchstgeschwindigkeit (aus der Typgenehmigung) wird der neue Nominalwert hinsichtlich der Höchstgeschwindigkeit für die Tuning-Ausführung ermittelt. Bei diesem Verfahren ist die Toleranz des neuen Nominalwertes der Höchstgeschwindigkeit zu bestimmen und im Gutachten anzugeben.

Wahlweise kann die neue bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit ausschließlich mit der Tuning Ausführung (nach der UN-Regelung Nr. 68) als Absolutwert ermittelt werden.

Der ermittelte neue Nominalwert oder der Absolutwert ist im Verwendungsbereich (gemäß der Anlage A zum Prüfbericht) für die entsprechenden Fahrzeugausführungen festzulegen und in der Zulassungsbescheinigung im Feld T einzutragen.

IV.5.6 Prüfung der Bremsanlage

Die Bremsanlage wird bei Erhöhung der Höchstgeschwindigkeit auf der Basis der Richtlinie 71/320/EWG oder der UN-Regelung Nr. 13 bzw. 13 H geprüft.

a) In Verbindung mit der Typgenehmigung (nach Richtlinie 2007/46/EG bzw. 70/156/EWG) ist nachzuweisen, dass die Serien-Bremsanlage im Rahmen der Typgenehmigung für die erhöhte Höchstgeschwindigkeit der getunten Fahrzeugausführung genehmigt ist.

b) Sofern die Voraussetzung nach a) nicht erfüllt ist, ist die Einhaltung der o. g. Bau- und Wirkvorschriften, in Verbindung mit der neuen Höchstgeschwindigkeit bei Bremsungen aus $0,8 \times V_{\max}$ nachzuweisen.

Hierzu ist folgendes Prüfverfahren anzuwenden:

3 Bremsungen (Typ 0 = eingekuppelt) des unbeladenen Fahrzeugs aus $0,8 \times V_{\max}$ mit maximaler Verzögerung bis auf eine Geschwindigkeit von 20 km/h und jeweils anschließender maximaler Beschleunigung des Fahrzeugs bis $0,8 V_{\max}$.

Hierbei ist insbesondere auch die Fahrstabilität während der Bremsphase zu beurteilen!

Dabei ist die Blockierreihenfolge bei hohen Geschwindigkeiten im Fadingbereich zu beachten.

IV.5.7 Prüfung der Funkentstörung/elektromagnetischen Verträglichkeit

Bei Zusatzsteuergeräten ist in jedem Fall eine Genehmigung nach Richtlinie 72/245/EWG bzw. der UN-Regelung Nr. 10 erforderlich. Bei allen Änderungen an sonstiger Hardware des Motors ist im Einzelfall über die Notwendigkeit einer Prüfung durch den Technischen Dienst zu entscheiden.

In bestimmten Fällen kann auch bei Softwareänderungen eine EMV-Nachprüfung notwendig sein (z. B. im Bereich von PWM-Ausgängen).

IV.5.8 Prüfung der Eignung der Reifen

Entsprechend Anhang I Abschnitt I.5.1.5 dieses Merkblattes. Dabei sind die Messtoleranzen der Höchstgeschwindigkeitsmessung zu berücksichtigen. Für Messungen nach der UN-Regelung Nr. 68 ist die dort genannte Toleranz (5%) zu berücksichtigen. Hierbei muss die Bereifung den Anforderungen der Höchstgeschwindigkeit inkl. der Toleranz entsprechen.“

In dem Abschnitt IV 5.8 ist ein falscher Abschnitt zum Nachlesen vermerkt. Es muss sich um den Abschnitt I.5.1.4 handeln. Dieser bezieht sich auf die Eignung der Reifen.

„I.5.1.4 Prüfung der Eignung der Reifen

Die Eignung der vorgesehenen Reifen hinsichtlich Abrollumfang, Tragfähigkeit, zulässiger Höchstgeschwindigkeit, Felgenzuordnung und Luftdruck ist unter Berücksichtigung des vorhandenen Radsturzwinkels bei der höchsten zulässigen Achslast zu prüfen. Es ist sicherzustellen, dass der Fahrzeughalter dauerhaft über die notwendigen Luftdrücke für jede verwendete Reifengröße informiert wird, z. B. in Form eines angebrachten Aufklebers.

Anmerkung:

Bei der Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs sind folgende Toleranzen zu berücksichtigen:

Fahrzeuge mit EG-Typgenehmigung $v_{\max} = v_{\text{Genehmigung}} + 0\%$

(Fundstelle Richtlinie 92/23/EWG, Anhang IV 2.11 oder VO (EU) 458/2011, Anhang II 4 bzw. KBA IST 07-07)

Fahrzeuge mit nationaler Betriebserlaubnis

$$v_{\max} = v_{\text{Betriebserlaubnis}} + (v_{\text{Betriebserlaubnis}} \times 0,01 + 6,5) \text{ km/h}$$

(Fundstelle StVZO, Toleranzenkatalog § 30 a, Nr. 5, Abs. 3)

Die Anzeige des Geschwindigkeitsmessers ist bei von der Serie abweichenden Abrollumfängen zu überprüfen.

Anmerkung:

Folgende Toleranz der Anzeige zur tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit ist zulässig:

$$0 \leq (v_1 - v_2) \leq v_2/10 + 4 \text{ km/h}$$

v_1 = angezeigte Geschwindigkeit

v_2 = tatsächliche Geschwindigkeit

(Fundstelle Richtlinie 75/443/EWG, UN-Regelung Nr. 39)

IV.5.9 Fahrerprobung über eine angemessene Fahrstrecke

Das Fahrverhalten des umgerüsteten Fahrzeugs ist unter betriebsüblichen Bedingungen nach Abschnitt IV.2.2 zu prüfen.

Folgende Versuche sollen dabei mindestens gefahren werden:

- a) Kreisfahrt/Slalomfahrt Lastwechselreaktionen im Grenzbereich,**
- b) Geradeausfahrt/Geradeauslauf bei Höchstgeschwindigkeit, auch nach Lenkbewegungen.**

IV.5.10 Prüfung der Eignung des Geschwindigkeitsmessers

Der Anzeigebereich des Geschwindigkeitsmessers muss mindestens die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des getunten Fahrzeugs abdecken.

IV.5.11 Prüfung der zulässigen Anhängelast

Wenn die zulässige Anhängelast des Fahrzeugs (Feld O.1 und O.2 der Zulassungsbescheinigung) nach der Umrüstung beibehalten werden soll, ist die Eignung des Fahrzeugs durch Prüfungen nach der Richtlinie 92/21/EWG in der jeweils gültigen Fassung nachzuweisen.

(Anfahrtests nach der Richtlinie 92/21/EWG Anhang IV gemäß Abschnitt 3.3.3!) Als Nachweis für die weiterhin vorhandene ausreichende Zugkraft beim Tuningfahrzeug kann die Motorleistungskurve bzw. Motorleistungsvergleichsmessung herangezogen werden.

IV.5.12 Maßnahmen gegen Manipulationen

Der Antragsteller hat durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass die Tuningmaßnahmen gegen Manipulation durch nicht autorisierte Personen wesentlich erschwert sind.

IV.5.13 Zusätzliche Prüfungen bei Leistungs- bzw. Drehmomentsteigerung über 20% bis 40%

Beträgt die Steigerung der Motorleistung und/oder des Motordrehmomentes mehr als 20% bis 40%, sind alle Anforderungen nach Abschnitt IV.5.1 bis Abschnitt 5.13 zu erfüllen.

Zusätzlich ist vorzusehen:

IV.5.13.1 Prüfung der Eignung der Antriebswellen

IV.5.14 Zusätzliche Prüfungen bei Leistungs- bzw. Drehmomentsteigerung über 40%

Beträgt die Steigerung der Motorleistung und/oder des Motordrehmomentes mehr als 40%, sind alle Anforderungen nach Abschnitt IV.5.1 bis Abschnitt IV.5.14 zu erfüllen.

IV.5.14.1 Nachweis einer hinreichenden Dauerhaltbarkeit

Bei Leistungs- bzw. Drehmomentsteigerungen über 40% ist zusätzlich nachzuweisen, dass wesentliche Baugruppen (z. B. Antriebsstrang, Fahrwerk und Aufbau) des umgerüsteten Fahrzeugs nach der Fahrerprobung auf einer Prüfstrecke noch uneingeschränkt verkehrs- und betriebssicher sind.

Als Referenz gelten folgende Prüfstrecken und Distanzen:

- Hockenheimring (kleiner Kurs, mind. 2000 km),***
- Nürburgring (Nordschleife, mind. 2000 km),***
- DEKRA Test Oval (Testmodul Handlingkurs mind. 2000 km).***

Alternativ kann die Fahrerprobung auch auf anderen Prüfstrecken oder Testzentren mit gleichwertiger oder höherer Belastung erfolgen (Nachweis erforderlich!).

IV.5.14.2 Betriebsfestigkeit auf der Basis des Serienfahrzeuges

Auf den Nachweis der Betriebsfestigkeit kann dann verzichtet werden, wenn der Fahrzeughersteller bereits für gleiche oder größere Motorleistungen und/oder Motordrehmomente eine Serienfreigabe erteilt hat und die dafür festgelegten Randbedingungen eingehalten sind.

Dies gilt auch, wenn das Fahrzeug hinsichtlich der für die Betriebssicherheit und die Verkehrssicherheit relevanten Bauteile auf den Serienstand eines Fahrzeugs mit entsprechend gleicher oder höherer Leistung bzw. Drehmoment umgerüstet wurde.

IV.5.15 Prüfung von Hybridfahrzeugen

Die folgenden Prüfanforderungen gelten nur für Hybridfahrzeuge, bei denen ausschließlich die Leistung/das Drehmoment des Verbrennungsmotors gesteigert wurde.

Für diese Fahrzeuge gelten grundsätzlich die Prüfanforderungen gemäß Abschnitt IV.5.1 bis Abschnitt IV.5.15, zusätzlich sind die nachfolgenden Vorgaben anzuwenden:

IV.5.15.1 Extern aufladbare Hybrid-Elektro-Fahrzeuge (plug-in-Hybride)

Die Prüfung der Motorleistung (Abschnitt IV.5.1.1 bzw. Abschnitt IV.5.1.2) ist als Vergleichsmessung (Serienausführung und Tuning-Ausführung) mit entladener Hochvoltbatterie und, wenn möglich, mit abgeschaltetem Elektromotor durchzuführen.

Die Prüfung der Abgasemissionen (Abschnitt IV.5.2) ist mit entladener Hochvoltbatterie und, wenn möglich, mit abgeschaltetem Elektromotor als Prüfung Typ I nach VO (EG) 715/2007 und 692/2008 oder 2017/1151 bzw. UN-Regelung Nr. 83 durchzuführen. Die Prüfung der CO₂-Emissionen (Abschnitt IV.5.3) ist als Vergleichsmessung (Serienausführung und Tuning-Ausführung) mit entladener Hochvoltbatterie und, wenn möglich, mit abgeschaltetem Elektromotor als Prüfung Typ I nach VO (EG) 715/2007 und 692/2008 i. V. m. UN-Regelung Nr. 101 oder nach VO (EG) 2017/1151 durchzuführen. Der CO₂-Wert nach Leistungssteigerung ist über den CO₂-Faktor dieser Vergleichsmessung zu berechnen.

IV.5.15.2 Nicht extern aufladbare Hybrid-Elektro-Fahrzeuge

Die Prüfung der Motorleistung (IV.5.1.1 bzw. IV.5.1.2) ist als Vergleichsmessung (Serienausführung und Tuning-Ausführung) mit weitestgehend entladener Hochvoltbatterie und, wenn möglich, mit abgeschaltetem Elektromotor durchzuführen.

Die Prüfung der Abgasemissionen (IV.5.2) ist nach einer Vorkonditionierung mit mindestens zweimal NEFZ als Prüfung Typ I nach VO (EG) 715/2007 und 692/2008 oder 2017/1151 bzw. UN-Regelung Nr. 83 durchzuführen.

Die Prüfung der CO₂-Emissionen (IV.5.3) ist als Vergleichsmessung (Serienausführung und Tuning-Ausführung) nach einer Vorkonditionierung mit mindestens zweimal NEFZ als Prüfung Typ I nach VO (EG) 715/2007 und 692/2008 i.V.m. UN-Regelung Nr. 101 oder nach VO (EG) 2017/1151 durchzuführen. Die RCB-Korrektur und das zugehörige Anwendungskriterium ist ggf. zu beachten. Der CO₂ Wert nach Leistungssteigerung ist über den CO₂-Faktor dieser Vergleichsmessung zu berechnen.

[30 S.44-53]

IV.6 Dokumentationen der Tuning-Maßnahmen durch den Antragsteller

IV.6.1 Änderungen von Teilbereichen des Motors oder vom Austauschmotor

IV.6.1.1 Auflistung der geänderten Bauteile oder Beschreibung des neuen Motortyps.

Konstruktive Unterlagen zur Änderung gegenüber der Serie sind beim Technischen Dienst zu hinterlegen.

Teileliste und Beschreibung der Teile – siehe Anlage TL der Prüfberichtsvorlage.

IV.6.1.2 Darstellung der Änderungen gegenüber der Serie.

Die Strategie der Tuningmaßnahme ist zu dokumentieren. Aus der Beschreibung muss hervorgehen, welche Parameter in welchen Betriebspunkten für die Leistungssteigerung verändert werden.

Funktionsbeschreibung – siehe Anlage FB der Prüfberichtsvorlage.

IV.6.1.3 Beschreibung des Teileaustauschs;

Einbau- und Montageanleitung der auszutauschenden Tuningteile.

Montageanleitung – siehe Anlage MA der Prüfberichtsvorlage.

IV.6.1.4 Kennzeichnung der Austauschteile.

Die neue Kennzeichnung der primären Austauschteile ist in die Zulassungsbescheinigung im Feld 22 einzutragen. Foto oder Zeichnung der Austauschteile zur Leistungssteigerung.

Kennzeichnung – siehe Anlage BB der Prüfberichtsvorlage.

IV.6.1.5 Herstellerangabe zur Dauerhaltbarkeit bzw. OBD

Es ist eine Erklärung des Herstellers der Tuning-Maßnahme zur Dauerhaltbarkeit der Emissionsmindernden Bauteile nach Maßgabe der relevanten Emissionsvorschriften und der uneingeschränkten Funktionsfähigkeit der OBD in den Beschreibungsunterlagen einzubringen.

IV.6.1.6 Bewertung möglicher Einflüsse auf die Emissionsstrategie (BES + AES) des Basisfahrzeuges

Eine Bewertung der BES + AES nach Tuning ist durch die Hersteller der Tuning-Maßnahme nicht hinreichend möglich, da die BES + AES der Fahrzeughersteller als Basis nicht zur Verfügung stehen. Daher wird ein RDE-Test als Wirkprüfung für die Bewertung der BES + AES durchgeführt (siehe unter Abschnitt I.5.2.2).

Zusätzlich ist eine Erklärung abzugeben, dass durch die Tuning-Maßnahme keine Abschalteinrichtungen wesentlich in das Fahrzeugsystem eingebracht werden, welche die Emissionsstrategie (BES + AES) des Basisfahrzeuges außer Kraft setzen.

IV.6.2 Zusatzsteuergerät

IV.6.2.1 Konstruktive Unterlagen

Konstruktive Unterlagen (z. B. Blockschaltbild) sind beim Technischen Dienst zu hinterlegen.

Teileliste und Aufbau des Gerätes siehe Anlage TL der Prüfberichtsvorlage.

IV.6.2.2 Darstellung der Änderungen gegenüber der Serie.

Die Strategie der Tuningmaßnahme ist zu dokumentieren. Aus der Beschreibung muss hervorgehen, welche Parameter in welchen Betriebspunkten verändert werden.

Funktionsbeschreibung siehe Anlage FB der Prüfberichtsvorlage.

IV.6.2.3 Beschreibung der Montage- bzw. des Einbaus

Wird im Rahmen der Tuningmaßnahme ein Zusatz-Steuergerät eingebaut, so sind die Anbringung im Fahrzeug sowie der Einbau einschließlich des elektrischen Anschlussplanes über ein entsprechendes Dokument (Montage- und Einbauanweisungen) vom Hersteller vorzugeben. Die Abschnittsnummer dieser Dokumentation ist im Prüfbericht des Technischen Dienstes anzugeben.

Montageanleitung siehe Anlage MA der Prüfberichtsvorlage.

IV.6.2.4 Kennzeichnung des Zusatz-Steuergerätes

Die Kennzeichnung von Zusatz-Steuergerät und Software-Version ist in die Zulassungsbescheinigung im Feld 22 einzutragen.

Art der Kennzeichnung: Foto oder Zeichnung des Zusatzsteuergeräts zur Leistungssteigerung (siehe Anlage BB der Prüfberichtsvorlage).

IV.6.2.5 Dokumentation des geprüften Softwarestandes

Der Softwarestand des bei der Prüfung eingesetzten Zusatzsteuergerätes ist zu archivieren und die Software-Kennzeichnung (CALID) der serienmäßigen Fahrzeug-ECU zu dokumentieren.

IV.6.2.6 Herstellerangabe zur Dauerhaltbarkeit bzw.

OBD Es ist eine Erklärung des Herstellers der Tuning-Maßnahme zur Dauerhaltbarkeit der Emissionsmindernden Bauteile nach Maßgabe der relevanten Emissionsvorschriften und der uneingeschränkten Funktionsfähigkeit der OBD in den Beschreibungsunterlagen einzubringen.

IV.6.2.7 Bewertung möglicher Einflüsse auf die Emissionsstrategie (BES + AES)

des Basisfahrzeuges Eine Bewertung der BES + AES nach Tuning ist durch die Hersteller der Tuning-Maßnahme nicht hinreichend möglich, da die BES + AES der Fahrzeughersteller als Basis nicht zur Verfügung stehen. Daher wird ein RDE-Test als Wirkprüfung für die Bewertung der BES + AES durchgeführt (siehe unter Abschnitt I.5.2.2).

Zusätzlich ist eine Erklärung abzugeben, dass durch die Tuning-Maßnahme keine Abschalteinrichtungen wissentlich in das Fahrzeugsystem eingebracht werden, welche die Emissionsstrategie (BES + AES) des Basisfahrzeuges verändern oder außer Kraft setzen.“

[30 S.54-57]