

Überprüfung der Funktions- und Leistungsfähigkeit hardwareseitig umgerüsteter Euro 5-Dieselfahrzeuge im Alltagsbetrieb

Durchführung eines Alltagstests über 50.000 km
mit regelmäßiger Vermessung der Abgasemissionen
im Zulassungszyklus WLTC und Realbetrieb (RDE)

Erster technischer Zwischenbericht nach 10.000 km Alltagstest
(Stand: 10/2018)

Projektleiter:

ADAC Württemberg e.V.
ADAC e.V. Test und Technik

Zuwendungsgeber:

Verkehrsministerium Baden-Württemberg

Zuwendungsempfänger:

ADAC Württemberg e.V.

Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Projektbeteiligte.....	5
2	Zielsetzung.....	6
3	Zusammenfassung der Zwischenergebnisse.....	7
4	Vorgehensweise und Methodik.....	10
4.1	Prämissen	10
4.2	Testfahrzeuge	10
4.3	Hardware-Nachrüstungen	10
4.4.	So wird getestet	11
4.5	So wird ausgewertet.....	15
5	Detailergebnisse – Fiat Ducato 130 Multijet 2.3 D (HJS)	16
5.1	Testfahrzeug – Fiat Ducato	16
5.2	SCR-Nachrüstung (HJS Emissions Technology GmbH & Co. KG).....	17
5.3	Messergebnisse im Detail	18
5.3.1	Abgasemissionen im Serienzustand.....	18
5.3.2	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests	19
5.3.3	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstests nach 10.000 km	20
5.3.4	Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung	21
5.3.5	Testtagebuch Alltagstest – Fiat Ducato (HJS)	22
6	Detailergebnisse – VW T5 Multivan 2.0 TDI (Oberland-Mangold).....	24
6.1	Testfahrzeug – VW T5	24
6.2	SCR-Nachrüstung (Oberland-Mangold Katalysatortechnik GmbH).....	25
6.3	Messergebnisse im Detail	26
6.3.1	Abgasemissionen im Serienzustand.....	26
6.3.2	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests	27
6.3.3	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 10.000 km	28
6.3.4	Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung	29
6.3.5	Testtagebuch Alltagstest – VW T5 (Oberland-Mangold).....	31
7	Detailergebnisse – Opel Astra 1.7 CDTI (Twintec)	32
7.1	Testfahrzeug – Opel Astra.....	32
7.2	SCR-Nachrüstung (Twintec Baumot Technologie GmbH)	33
7.3	Messergebnisse im Detail	34
7.3.1	Abgasemissionen im Serienzustand.....	34
7.3.2	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests	35
7.3.3	Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km.....	36
7.3.4	Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung	37

7.3.5	Testtagebuch Alltagstest – Opel Astra (Twintec)	38
8	Abbildungsverzeichnis.....	40
9	Tabellenverzeichnis.....	41
10	Quellenverzeichnis	42
11	Glossar.....	43

1 Einleitung

Für den ADAC steht die Gesundheit der Menschen an erster Stelle. Entsprechend sollten alle Maßnahmen konsequent ausgeschöpft werden, die dazu geeignet sind, die Luft in unseren Städten sauberer zu machen ohne die individuelle Mobilität durch Fahrverbote einzuschränken.

Der Einsatz des ADAC für die Hardware-Nachrüstung zur Reduktion der Stickoxidemissionen (NO_x) von Dieselfahrzeugen geht weiter. Dazu haben der ADAC Württemberg e.V. und der ADAC e.V ein Gemeinschaftsprojekt aufgelegt, das vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg gefördert wird. Ziel des Projekts ist es, in den kommenden Monaten die Funktions- und Leistungsfähigkeit von SCR-Systemen im Alltags- und Dauerbetrieb zu testen.

Diese zweite Testreihe ist die Fortsetzung eines ersten, vom baden-württembergischen Verkehrsministerium geförderten Projekts des ADAC Württemberg e.V. im vergangenen Jahr. Dessen Ergebnisse wurden am 20. Februar 2018 bei einer Pressekonferenz in Stuttgart der Öffentlichkeit vorgestellt [1]. Dabei belegten die Messungen des ADAC Technik Zentrums in Landsberg am Lech vor und nach der Umrüstung klar die grundsätzliche Wirksamkeit der Technologie. Damit konnten die Stickoxidemissionen von vier nachgerüsteten Euro 5-Dieselfahrzeugen um mindestens 50 bis zu mehr als 70 Prozent reduziert werden.

Den Kern der Untersuchung bildet ein Alltagstest, bei dem die bereits im ersten Förderprojekt des ADAC Württemberg e.V. eingesetzten Fahrzeuge mindestens 50.000 Kilometer zurücklegen werden – im Stadtverkehr sowie auf Landstraßen und Autobahnen. Dabei soll die Funktionsstabilität der Systeme unter verschiedenen klimatischen Bedingungen wie Hitze, Frost, Regen und Schnee untersucht werden. Um die NO_x-Emissionen regelmäßig zu ermitteln, müssen die Testwagen alle 10.000 Kilometer auf den Abgasprüfstand und sich einer Untersuchung nach WLTC unterziehen. Zum Untersuchungsumfang des Projekts gehören auch mehrere Emissionsmessungen im realen Straßenverkehr.

Der Projektplan sieht auch eine Reihe Sondermessungen vor. Dazu gehören etwa Messungen von nichtlimitierten Schadstoffen wie Ammoniak (NH₃) oder des klimagefährdenden Lachgases (N₂O), Prüfungen des Tieftemperaturverhaltens bis hin zur mechanischen Belastbarkeitsprüfung der eingebauten SCR-Komponenten auf Schlechtwegstrecken.

Neben dem von der Firma Twintec Baumot umgerüsteten Opel Astra 1.7 CDTI gehen zwei leichte Nutzfahrzeuge (VW T5 von Oberland-Mangold und Fiat Ducato von HJS) in den Langzeittest. Der Mercedes B 180 CDI der Firma Dr. Pley SCR-Technology GmbH nimmt aus unternehmensinternen Gründen nicht mehr an dem Test teil.

In einem ersten Schritt bekommen die beteiligten Nachrüstunternehmen die Gelegenheit, ihr jeweiliges Testfahrzeug technisch auf den neuesten Stand zu bringen. Das Lastenheft schreibt den Nachrüstern unter anderem vor, alle Fahrzeuge mit Informationssystemen auszustatten, die etwa den Füllstand im AdBlue®-Tank sowie die Funktionsfähigkeit des SCR-Katalysators laufend überprüfen und dem Fahrer anzeigen. Nach Abschluss dieser Phase werden die Fahrzeuge mit den weiterentwickelten Systemen einer ersten Abgasmessung auf dem Prüfstand und auf der Straße unterzogen und die Ergebnisse mit denen aus der ersten Entwicklungsstufe verglichen.

Danach beginnt der Dauerfahrttest, der sich bis in den Januar 2019 hinziehen wird und dabei das breite klimatische Spektrum von Sommerhitze bis Winterkälte abdeckt.

1.1 Projektbeteiligte

Projektleitung:

ADAC Württemberg e.V.
Carl-Eugen Metz, Vorstand Verkehr und Umwelt
Am Neckartor 2
70190 Stuttgart

ADAC e.V. Test und Technik
Dino Silvestro, Leiter Fahrzeugtest
Otto-Lilienthal-Straße 2
86899 Landsberg am Lech

Projektbeteiligte:

HJS Emission Technology GmbH & Co. KG
Dieselweg 12
58706 Menden/Sauerland

Oberland Mangold Katalysatortechnik GmbH
In der Enz 1
82438 Eschenlohe

Twintec Baumot Group
BAUMOT Technologie GmbH
Stockumer Str. 28, B14
58453 Witten

Wissenschaftliche Begleitung:

Prof. Dr.-Ing. Hermann Koch-Gröber
Automotive Systems Engineering (ASE)
Hochschule Heilbronn
Max-Planck-Str. 39
74081 Heilbronn

2 Zielsetzung

Die grundsätzliche Funktionalität der SCR-Nachrüsttechnik wurde im Projekt NO_x-Reduzierung an Euro 5 Dieselfahrzeugen durch Hardware-Nachrüstung bereits festgestellt.

Im aktuellen Folgeprojekt soll nun geprüft werden, ob die mittels Hardware nachgerüsteten Dieselfahrzeuge mit Schadstoffklasse Euro 5 auch im Alltagsbetrieb eine dauerhafte Reduktion der NO_x-Emissionen ermöglichen und ob sich die generelle Leistungsfähigkeit über einen gewissen Nutzungszeitraum unter erheblich unterschiedlichen Randbedingungen verändert. Das hier angesetzte Projekt soll eine exemplarische Dokumentation über die Funktions- und Leistungsfähigkeit der bei den Funktionsprototypen eingebauten SCR-Abgasnachbehandlungssysteme liefern und entspricht keiner umfassenden Funktions- und Dauerläuferprobung zur Funktionsabsicherung gemäß den Standards der Automobilindustrie.

Alltagstest über 50.000 km mit nachfolgendem mechanischem Belastungstest

Die in diesem Projekt nachgerüsteten Fahrzeuge werden über eine Distanz von mindestens 50.000 km gefahren. Besondere Vorkommnisse oder mögliche Systemausfälle werden in einem Testtagebuch dokumentiert. Alle 10.000 km werden die Abgasemissionen im WLTC- und BAB-Zyklus auf dem Abgasprüfstand ermittelt, um die Leistungsfähigkeit der SCR-Systeme über die Laufzeit zu dokumentieren. Nach Erreichen der 50.000 km Fahrstrecke werden die Fahrzeuge einem zusätzlichen Belastungstest auf definierten Schlechtwegstrecken (z.B. belgisch Block) unterzogen, um Erkenntnisse über die mechanische Belastbarkeit der Systeme zu erhalten.

Dokumentation der NO_x-Reduktionsleistung und des AdBlue[®]-Verbrauchs bei unterschiedlichen Temperaturen

Während des Alltagstests erfolgt eine kontinuierliche Dokumentation relevanter Abgasdaten mittels Datenlogger. Neben den NO_x-Emissionen vor und nach SCR werden auch die Abgas Temperaturen sowie der AdBlue[®]-Verbrauch dokumentiert. Ziel ist es, die NO_x-Reduktion und den AdBlue[®]-Verbrauch über den Testzeitraum bei unterschiedlichen Außentemperaturen zu erfassen und darzustellen.

Überprüfung des Nieder-/Hochtemperaturverhaltens

Um das Systemverhalten bei unterschiedlichen Außentemperaturen zu dokumentieren, werden bei besonderen Temperatur-/Wetterlagen RDE-Messungen durchgeführt. Der Verlauf der Teststrecke schließt Stadtfahrten bei niedriger Motorlast und infolgedessen niedriger Abgas Temperaturen ein. Ebenso kommt es zu einer Anzahl von Kaltstarts bei unterschiedlichen Außentemperaturen. Weiterer Bestandteil des Projekt sind Untersuchungen bzgl. des Systemverhaltens bei gefrorenem AdBlue[®] (ab Temperaturen < -10 °C). Hier gilt es zu klären, ob und mit welcher Verzögerung die Nachrüstsysteme einsatzbereit sind, nachdem der AdBlue[®]-Tank und die AdBlue[®]-Leitungen durchgefroren sind.

Messung von nichtlimitierten Schadstoffen

Unter gewissen Umständen können sich über die katalytische Abgasnachbehandlung oder durch Überdosierung von AdBlue[®] Sekundäremissionen bilden, die es unbedingt zu vermeiden gilt. Es wird daher auch der Ausstoß von nichtlimitierten Schadstoffen wie Ammoniak (NH₃), Lachgas (N₂O) und Isocyan Säure (HCNO) untersucht.

3 Zusammenfassung der Zwischenergebnisse

Der Dieselkompromiss der Großen Koalition von Anfang Oktober hat grundsätzlich den Weg für die Hardware-Nachrüstung von Dieselfahrzeugen mit SCR-Katalysatoren frei gemacht, deren Autos von Fahrverboten bedroht sind. Die schlechte Nachricht: Weil sich die Autohersteller mehrheitlich nicht daran beteiligen wollen und es immer noch keinen rechtlichen Rahmen gibt, ist vieles noch unklar: Wann sind die ersten Systeme verfügbar? Für welche Fahrzeuge? Wer übernimmt die Kosten? Immerhin ein NO_x -Grenzwert von 270 mg/km wurde nun festgelegt – wird dieser von einem Euro 5-Dieselfahrzeug im Realbetrieb unterschritten, soll das Fahrzeug von Fahrverboten ausgenommen werden. Nähere Details hierzu fehlen aber noch, weder das Prüf- noch das Genehmigungsverfahren sind bisher festgelegt.

Mitten in dieser Diskussion wurde die erste Etappe des ADAC Alltagstests von drei mit SCR-Technik umgerüsteten Dieselfahrzeugen erfolgreich abgeschlossen. Und die Ergebnisse stimmen zuversichtlich, auch wenn die Funktionsprototypen an der einen oder anderen Stelle noch kleineren Optimierungsbedarf haben, um die Zuverlässigkeit im Serienbetrieb zu gewährleisten.

Nachdem die drei nachgerüsteten Dieselfahrzeuge vor Start des Alltagstests von den Nachrüstern überprüft und für den Dauerlauf fit gemacht wurden, wurden erneut die Emissionen auf dem Abgasprüfstand und im Realbetrieb überprüft.

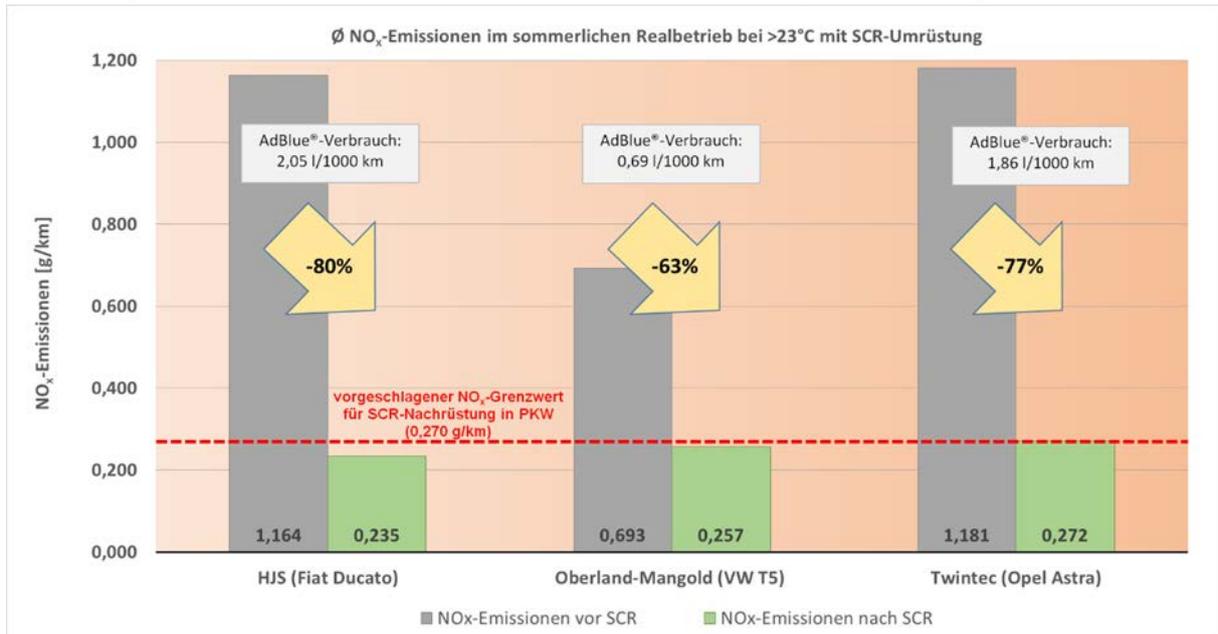
Die erneuten Abgasmessungen wurden nach ADAC Ecotest-Prozedur und in Anlehnung an die für Euro 6d gültige Abgasgesetzgebung (WLTP, RDE) durchgeführt. Insgesamt bestätigten sich die Ergebnisse aus dem ersten SCR-Nachrüstprojekt. Am deutlichsten weiterentwickelt wurde das Nachrüstsystem von Oberland-Mangold. Das im VW T5 verbaute System hatte im Erstprojekt noch mit Softwareproblemen zu kämpfen, die nun behoben werden konnten. Insbesondere außerorts kann nun eine höhere NO_x -Reduktionsrate verzeichnet werden.

Bei sommerlichen Temperaturen wird der vorgeschlagene Grenzwert von 270 mg/km im Realbetrieb durch SCR-Nachrüstung erreicht oder sogar unterschritten

Vor Beginn des Alltagstests wurden Ende August die warmen Außentemperaturen genutzt, um eine RDE-Fahrt im sommerlichen Betrieb durchzuführen. Das Ergebnis ist einerseits erschreckend, stimmt aber auch zuversichtlich:

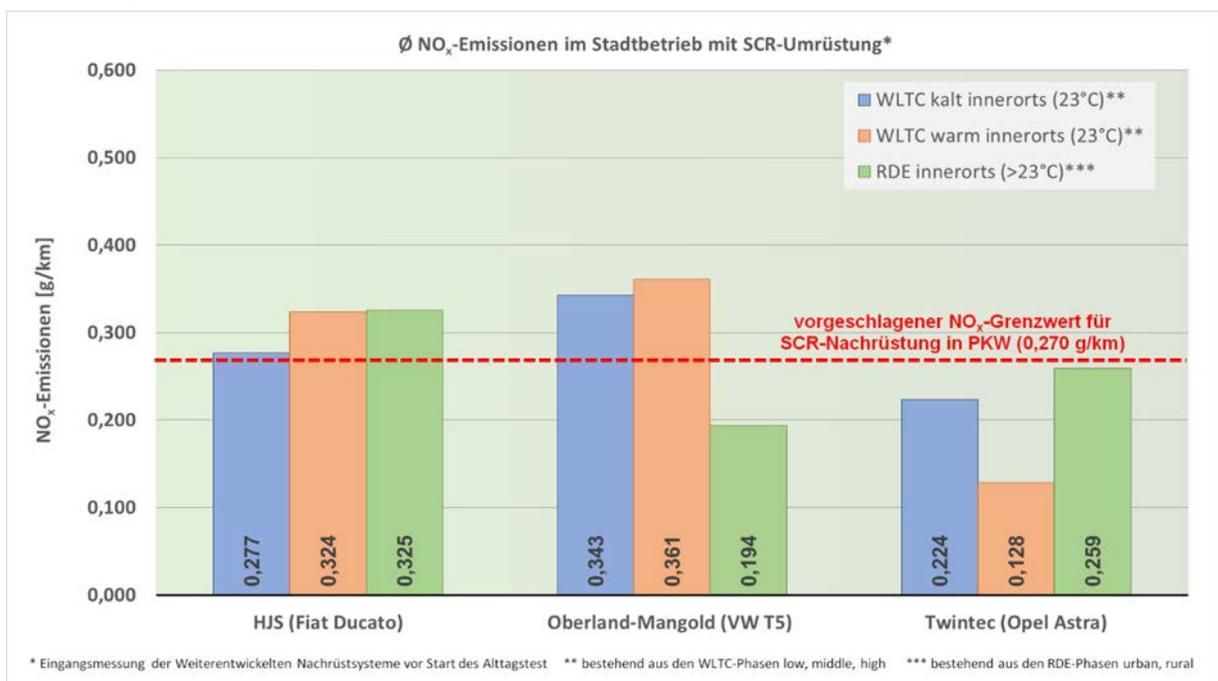
Auch unter günstigen äußeren Bedingungen bei Temperaturen ab 23 °C produzieren die Testfahrzeuge auf der Straße ungereinigte Rohemissionen, von rund 700 bis 1.200 Milligramm Stickoxid (NO_x) pro Kilometer und damit um ein Vielfaches über dem offiziell geltenden Prüfstand-Grenzwert liegen. Allen drei SCR-Systemen gelingt es jedoch, durch die Nachbehandlung der Abgase mithilfe von Katalysatoren und dem Harnstoff AdBlue® die Emissionen deutlich zu vermindern. Die gemessenen Reduktionsraten liegen zwischen 60 und 80 Prozent und drücken den NO_x -Ausstoß der getesteten Fahrzeuge auf oder unter den Grenzwert von 270 mg/km, den die Große Koalition beim Dieselkompromiss festgelegt hat.

Abbildung 1 NO_x-Emissionen im sommerlichen Realbetrieb (RDE-Messung)



Betrachtet man den rein innerstädtischen Betrieb, liegen die NO_x-Emissionen des Opel Astra im WLTC sowohl direkt nach dem Kaltstart als auch mit betriebswarmem Motor deutlich unter dem vorgeschlagenen NO_x-Grenzwert von 270 mg/km. Das bestätigt auch die RDE-Messung bei sommerlichen Temperaturen. Die beiden Transporter können diesen Wert dagegen trotz beachtlicher NO_x-Reduktionsrate im WLTC nicht gänzlich unterschreiten. Es gilt jedoch zu beachten, dass sowohl der Fiat Ducato, als auch der VW T5 nach Abgasnorm Euro 5 N1 III bzw. nach Euro 5 M1 homologiert sind. Daher gilt für beide Fahrzeuge ein NO_x-Zulassungswert von 280 mg/km (anstatt 180 mg/km für PKW). Rechnet man nun wie bei den PKW mit dem Faktor 1,5 zum Zulassungswert, würde der NO_x-Grenzwert um von Fahrverboten ausgeschlossen zu werden bei 420 mg/km liegen. Diesem Wert würden die beiden nachgerüsteten Transporter deutlich unterschreiten.

Abbildung 2 NO_x-Emissionen innerorts im WLTC kalt/warm und RDE



Die erste von fünf Etappen des Alltagstest wurde erfolgreich abgeschlossen

Die Nachrüstsysteme zeigten mit wenigen Ausnahmen eine stabile Funktionsweise. Während der Opel Astra nach rund 10.000 km mit einem Kühlwasserverlust, der auf das SCR-Nachrüstsystem zurückzuführen war, den Alltagstest kurzzeitig unterbrechen musste, wurden beim im Fiat Ducato verbauten Nachrüstsystem von HJS zwei Systemausfälle registriert. Sowohl für den Kühlwasserverlust als auch die zwei temporären Systemausfälle lieferten die Nachrüster plausible Erklärungen und Abhilfemaßnahmen für die Serie (siehe Testtagebuch).

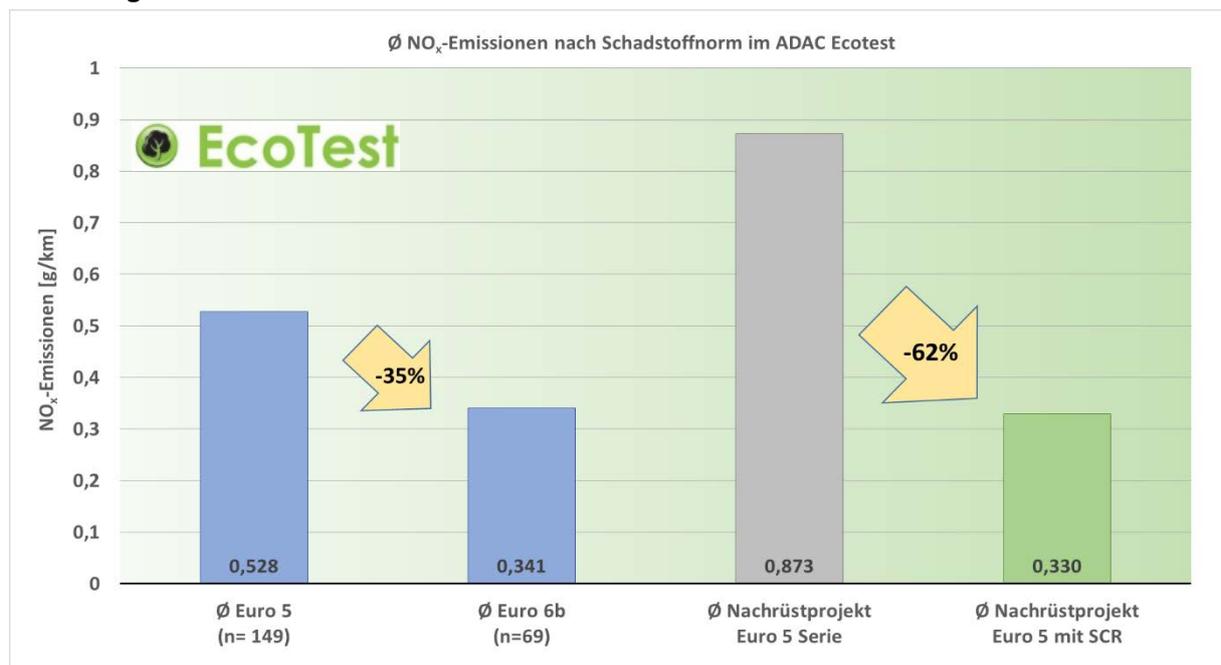
Mit Spannung erwarten nun die Ingenieure des ADAC, wie sich die Messwerte bei sinkenden Temperaturen im Herbst und bei winterlichen Bedingungen entwickeln werden. Bekannt ist, dass die Serienemissionen deutlich in die Höhe gehen werden und die SCR-Systeme im Winter einige Zeit benötigen, um Temperaturen zu erreichen, welche die volle Wirksamkeit ermöglichen. Deshalb wird mit einem insgesamt höheren Emissionsniveau gerechnet.

Der realitätsnahe ADAC Ecotest zeigt: SCR-Nachrüstung kann sogar wirkungsvoller sein als eine Flottenerneuerung mit Euro 6b-Diesel

Der zweite Teil des Dieselkompromiss behandelt die Flottenerneuerung. Mit attraktiven Prämien sollen für Dieselfahrer Anreize geschaffen werden, ihren alten Euro 5-Diesel gegen ein Euro 6 Fahrzeug einzutauschen. Der Vergleich von insgesamt 218 im Ecotest gemessenen Fahrzeugen zeigt, dass im Schnitt eine NO_x-Reduktion von 35 Prozent erreicht werden kann – zumindest wenn der Altdiesel durch ein Euro 6b-Fahrzeug getauscht wird. Kauft man stattdessen einen Diesel mit Euro 6d-TEMP, liegt die NO_x-Reduktion bei rund 85 Prozent [2].

Die Auswertung zeigt aber auch, dass mit SCR-Nachrüstung selbst bei überdurchschnittlich schlechten Euro 5-Diesel ein NO_x-Niveau nahe dem durchschnittlichen Euro 6b-Wert erreicht wird. Es sind Reduktionsraten von über 60 Prozent möglich. SCR-Nachrüstung ist also mindestens genauso wirksam, wie eine Flottenerneuerung. Im Einzelfall kann sie sogar die bessere Lösung darstellen.

Abbildung 3 NO_x-Emissionen im ADAC Ecotest



4 Vorgehensweise und Methodik

4.1 Prämissen

Die nachgerüsteten Fahrzeuge werden einem Alltagstest unterzogen. Die drei Testfahrzeuge wurden durch den ADAC Württemberg e.V. gekauft und vor Start des Alltagstests erneut auf einwandfreien technischen Zustand überprüft.

Alle Emissionsmessungen werden im ADAC Technik Zentrum in Landsberg am Lech durchgeführt. Das hauseigene Abgaslabor ist vom KBA zertifiziert (Nr. KBA-P 00069-07) und erfüllt die Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 sowie der DIN EN ISO/IEC 17020:2012.

4.2 Testfahrzeuge

Neben dem von der Firma Twintec Baumot umgerüsteten Opel Astra 1.7 CDTI gehen zwei leichte Nutzfahrzeuge (VW T5 von Oberland-Mangold und Fiat Ducato von HJS) in den Langzeittest. Der Mercedes B 180 CDI der Firma Dr. Pley SCR-Technology GmbH nimmt aus unternehmensinternen Gründen nicht mehr an dem Test teil.

Im Opel Astra kommt ein 1,7 l großer Dieselmotor zum Einsatz, der in vielen unterschiedlichen Opel-Modellen verbaut wird. Die NO_x-Grenzwerte liegen gemäß der für diese Fahrzeuge gültigen Abgasnorm Euro 5 bei 180 mg/km.

Die beiden Transporter sind ebenfalls nach Abgasnorm Euro 5 mit dem bisherigen Testzyklus NEFZ zugelassen, für sie gilt jedoch ein NO_x-Grenzwert von 280 mg/km. Das Zulassungsverfahren ist mit dem der Pkw-Modelle identisch, es gelten jedoch die höheren Grenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge. Ausgewählt wurden ein Fiat Ducato Kastenwagen 130 Multijet mit einem Hubraum von 2,3 l und ein VW T5 Multivan mit dem weit verbreiteten 2,0 TDI Dieselmotor. Für den VW T5 gilt ebenfalls der höhere NO_x-Grenzwert von 280 mg/km, da das ausgewählte Fahrzeug nach Euro 5 M1 (M1 für soziale Zwecke) homologiert ist.

4.3 Hardware-Nachrüstungen

Die Hardware-Nachrüstungen wurden im Rahmen des ersten Projekts [1] von den Nachrüsterfirmen durchgeführt. Jeder Nachrüster musste in einem vorgegeben Zeitraum ein Fahrzeug mit entsprechender Technik zur Reduzierung der Stickoxidemissionen umbauen. Das Ziel war, die Wirksam- und Machbarkeit verschiedener SCR-Systeme in unterschiedlichen Fahrzeugen darzustellen. Entsprechend handelt es sich bei allen damals vier umgerüsteten Fahrzeugen um Funktionsprototypen, die eine prinzipielle Machbarkeit darstellen. Für den Betrieb der Fahrzeuge mit nachgerüstetem SCR-System wurden entsprechende temporäre Ausnahmegenehmigungen des Regierungspräsidiums Stuttgart gemäß § 70 StVZO ausgestellt. Die entsprechenden Gutachten gemäß § 19 (2) / 21 StVZO und § 70 StVZO liegen vor.

4.4. So wird getestet

Vor Beginn des Alltagstests hatten die Nachrüstfirmen die Möglichkeit, ihre SCR-Nachrüstsysteme zu ertüchtigen, d.h. entsprechende Software-Updates der SCR-Steuergeräte sowie mögliche technische Neuerungen in die Fahrzeuge einzubauen, welche in den Detailberichten dokumentiert sind. Weiterhin mussten die Fahrzeuge mit Informationssystemen ausgestattet werden, welche den AdBlue®-Füllstand und die SCR-Funktionsfähigkeit anzeigen. Die Fahrzeuge wurden zudem mit Datenloggern ausgestattet, die das Abgasverhalten während des Dauerlaufs kontinuierlich aufzeichnen, etwa die NO_x-Emissionen vor und hinter dem SCR-System, Abgastemperaturen und AdBlue®-Verbrauch.

Abbildung 4 Projektplanung und Meilensteine



Bevor der Alltagstest über 50.000 Kilometer startete, wurden die Abgasemissionen der drei Fahrzeuge nach ADAC Ecotest-Prozedur ermittelt. Um uneingeschränkt vergleichbare und reproduzierbare Messergebnisse vor und nach Hardware-Umrüstung zu erhalten, sind Labormessungen unumgänglich. Nur im Abgaslabor kann sichergestellt werden, dass sowohl die Umweltbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck), als auch das Fahrprofil immer identisch sind und somit die Ergebnisse mehrerer Messungen unter genau gleichen Randbedingungen erzeugt wurden. Im Abgaslabor wurde der seit 1. September 2017 für alle neuen Fahrzeugmodelle gültige Fahrzyklus WLTC gewählt. Um höhere Motorlasten abzudecken, wird zusätzlich der ADAC Autobahnzyklus gefahren.

Die Abgasmessungen wurden gemäß Zulassungsvorschrift bei einer Lufttemperatur von 23 °C durchgeführt. Es wurde sowohl eine Messung mit kaltem Motor (WLTC kalt), als auch eine Messung mit betriebswarmem Motor durchgeführt. Damit können auch die Unterschiede der Emissionen zwischen kaltem und warmem Motor dargestellt werden. Da typische SCR-Systeme erst ab einer gewissen Abgastemperatur funktionieren, konnte durch den Kaltstart auch dargestellt werden, welche Emissionsminderung direkt nach dem Kaltstart möglich ist.

Die Messungen erfolgten sowohl im Abgaslabor auf einem Abgasprüfstand, als auch im realen Straßenverkehr mittels portabler Abgasmessanlage (PEMS). Die Messungen im Abgaslabor und Realbetrieb sind – soweit bei Euro 5-Fahrzeugen anwendbar – an die seit 1. September 2017 gültige Abgasgesetzgebung (WLTP, RDE) angelehnt.



Abbildung 5 VW T5 mit mobiler Abgasmessanlage (PEMS)

Abbildung 6 WLTC-Fahrzyklus

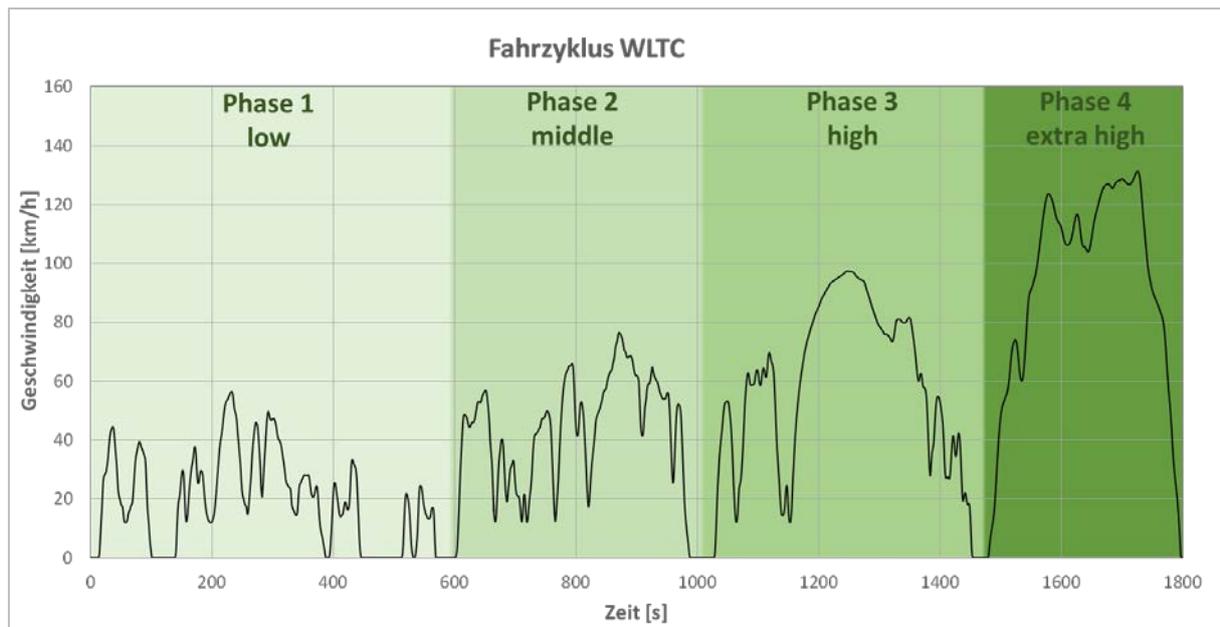
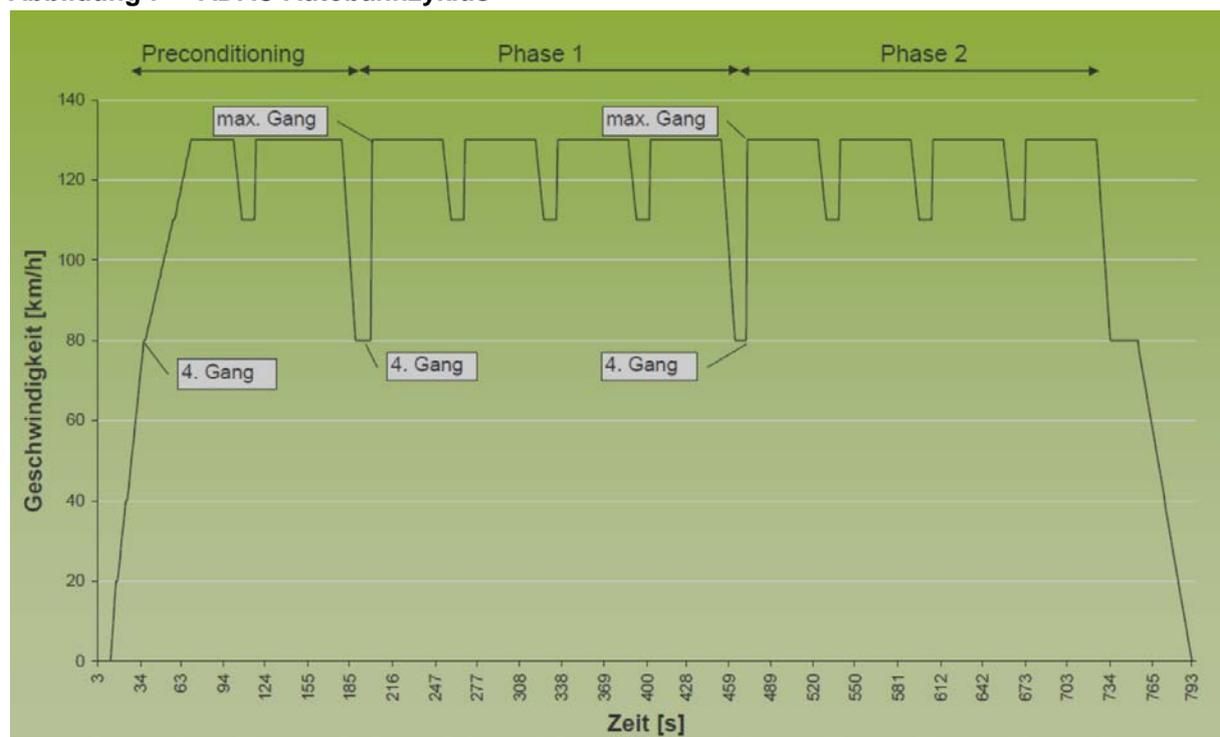


Abbildung 7 ADAC Autobahnzyklus



Als Nachweis der Wirksamkeit der Nachrüstung im realen Verkehr es ist zudem erforderlich, die Emissionen mittels mobiler Abgasmessanlage (PEMS) zu überprüfen. Es muss jedoch beachtet werden, dass RDE-Fahrten in erster Linie dazu dienen, die Robustheit der Systeme im Realbetrieb zu prüfen. So muss sichergestellt sein, dass die Emissionswerte auch unter extremen Bedingungen ein gewisses Limit nicht überschreiten. Da die nicht konstanten Umwelt-

bedingungen nicht nur Einfluss auf die Fahrzeugemissionen haben sondern auch die Messgenauigkeit der mobilen Abgasanlagen beeinflussen, lassen sich keine uneingeschränkt reproduzierbaren und somit vergleichbaren Messergebnisse generieren. Ein Nachrüstsystem kann als robust angesehen werden, wenn die Ergebnisse der RDE-Fahrt einen gewissen Faktor nicht überschreiten. In der Euro6d-TEMP Abgasgesetzgebung wird daher bei RDE-Messungen ein Konformitätsfaktor (CF) von 2,1 gegenüber dem Grenzwert für die Stickoxidemissionen zugelassen.

Bei den Labormessungen wurden folgende Abgaskomponenten untersucht und ausgewertet:

Tabelle 1 Gemessene Abgaskomponenten WLTC

Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]
Kohlenmonoxid	CO [g/km]
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]
Partikelmasse	PM [g/km]
Partikelanzahl	PN [1/km]

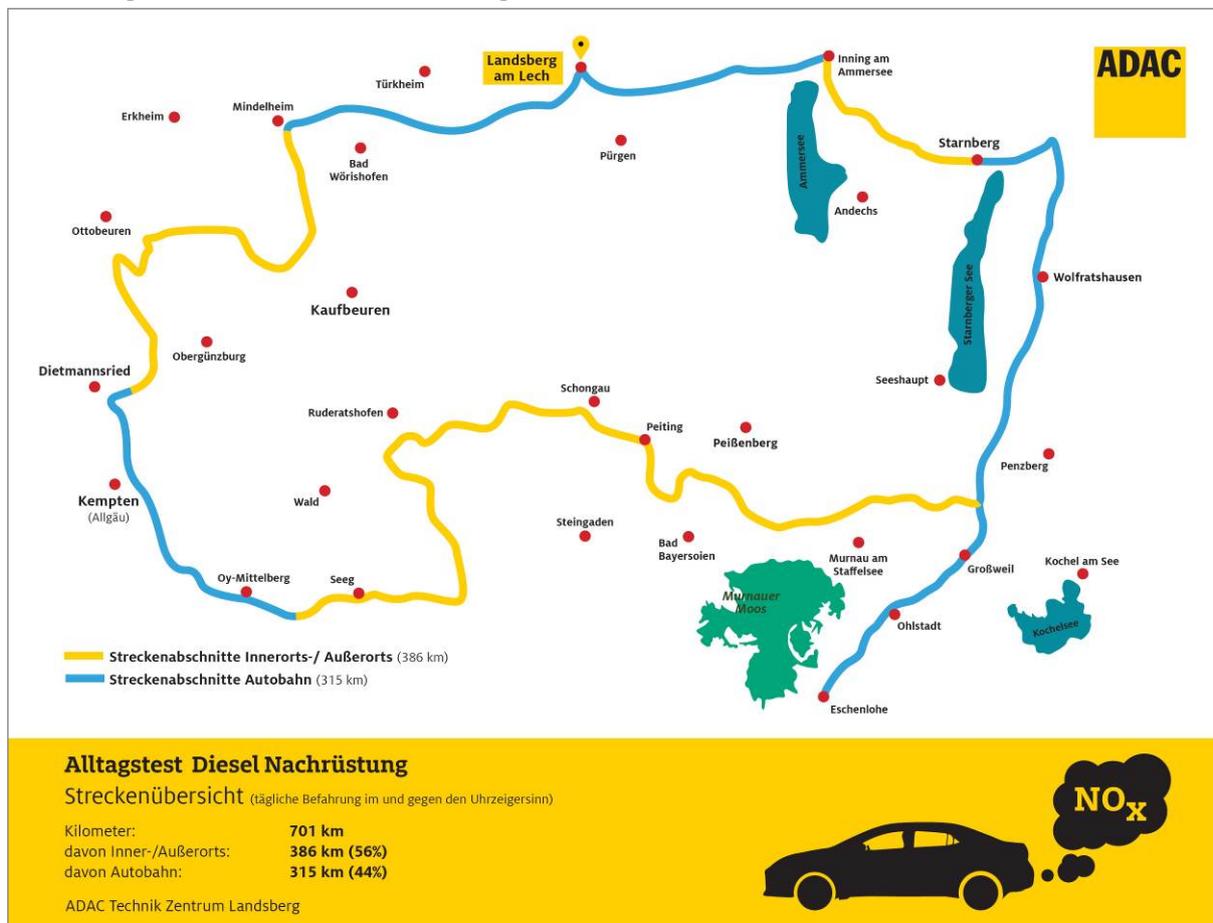
Bei den RDE-Fahrten wurden folgende Emissionen erfasst und ausgewertet:

Tabelle 2 Gemessene Abgaskomponenten RDE

Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]
Kohlenmonoxid	CO [g/km]
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]
Partikelanzahl	PN [1/km]

Anschließend starteten die Testfahrzeuge in den Alltagstest und fahren dabei täglich eine fest definierte Strecke von rund 700 km, die aus 56 Prozent Inner- und Außerortsanteil sowie rund 44 Prozent Autobahn besteht. Die Streckenlänge beträgt einfach ca. 350 km und wird täglich einmal im und einmal gegen den Uhrzeigersinn gefahren. Die ausgewählte Strecke nutzt der ADAC bereit seit rund zehn Jahren zur Durchführung von Reifenverschleißtests. Durch den Einsatz von erfahrenen Testfahrer/-innen die regelmäßig die Fahrzeuge durchwechseln, wird ein möglichst vergleichbares Fahrprofil erreicht. Die Alltagsfahrten finden tagsüber im normalen Verkehr mit möglichst defensiver und vorausschauender Fahrweise statt. Der tägliche Kraftstoffverbrauch und Außentemperaturen werden zusätzlich zu den über den Datenlogger aufgezeichneten Werten dokumentiert.

Abbildung 8 Streckenübersicht Alltagstest



Alle 10.000 Kilometer werden die Abgasemissionen erneut im Abgaslabor überprüft, um die Wirksamkeit der SCR-Nachrüstung und ggf. Veränderungen des Abgasverhaltens über den Testzeitraum zu dokumentieren.

Während des Alltagstests müssen sich die drei umgerüsteten Euro 5-Dieselfahrzeuge mehreren Zusatztests unterziehen. Dazu gehören etwa Messungen von nichtlimitierten Schadstoffen (z.B. Ammoniak NH₃, Lachgas N₂O oder Isocyansäure HCNO), Prüfungen des Tieftemperaturverhaltens bis hin zur mechanischen Belastbarkeitsprüfung der SCR-Komponenten auf Schlechtwegstrecken.

4.5 So wird ausgewertet

Über die gesamte Dauer des Alltagstests, der Anfang September 2018 startete und sich bis zum Januar 2019 hinziehen wird, werden über die in den Fahrzeugen verbauten Datenlogger täglich über Sensoren die NO_x-Konzentrationen vor und nach SCR, sowie die durchschnittliche Außentemperatur und die eingespritzte AdBlue®-Menge dokumentiert und am Ende des Alltagstests ausgewertet. In einem Testtagebuch werden alle Ereignisse während des Dauertests dokumentiert und ggf. erläutert.

Zur Bewertung der NO_x-Minderung werden angelehnt an die ADAC Ecotest-Prozedur sowohl der WLTC kalt (mit Kaltstart) als auch der WLTC warm (mit betriebswarmem Motor) vor und nach Umrüstung gegenübergestellt. Um eine möglichst realistische Abbildung des Stadtverkehrs zu erhalten, werden insbesondere die ersten drei Phasen des WLTC (low, middle, high) ausgewertet. Die vierte Phase (extra-high) bildet dagegen den typischen Außerortsverkehr ab und wurde daher separat dargestellt. Zusätzlich werden die NO_x-Emissionen unter hoher Last auf der Autobahn (ADAC Autobahnzyklus) ausgewertet.

Um auch im Realverkehr (RDE) den typischen innerstädtischen Betrieb abzubilden, wurden speziell die Phasen „urban“ und „rural“ ausgewertet. Diese beiden Phasen liegen in einem ähnlichen Last-/Drehzahlkollektiv wie die oben genannten WLTC-Phasen. Die RDE-Phase „motorway“ wird dagegen separat dargestellt. Zu einer ähnlichen Bewertungsempfehlung kommen auch die Experten, die im UBA-Bericht zur NO_x-Nachrüsttechnologien aus dem Juli 2017 zitiert werden [3].

Da sich die Rohemissionen eines Fahrzeuges je nach Außentemperatur stark verändern können, ist es bei RDE-Messungen - anders als im Abgaslabor wo im gleiche Bedingungen herrschen - nicht uneingeschränkt möglich, die Messergebnisse vor und nach Umrüstung gegenüberzustellen. Daher werden bei den RDE-Messungen zusätzlich die über den Datenlogger aufgezeichneten NO_x-Konzentrationen ausgewertet und auf die NO_x-Emissionen vor SCR zurückgerechnet. Es gilt zu beachten, dass die NO_x-Daten vor SCR aus dem Datenlogger nur als groben Anhaltspunkt dienen und nicht messtechnisch abgesichert sind.

5 Detailergebnisse – Fiat Ducato 130 Multijet 2.3 D (HJS)

5.1 Testfahrzeug – Fiat Ducato

Beim als Versuchsfahrzeug ausgewählten Fiat Ducato handelt es sich um die Kastenwagenvariante, die nach Euro 5 N1 III zugelassen ist. Die Abgasnorm gilt für leichte Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis 3,5 Tonnen. Die gesetzlichen Abgasgrenzwerte liegen entsprechend höher. So liegt der gesetzliche Grenzwert für NO_x bei diesem Fahrzeug bei 280 mg/km.

Abbildung 9 Fiat Ducato auf dem Abgasprüfstand



Tabelle 3 Technische Daten Fiat Ducato

Fahrzeugtyp	Fiat Ducato 130 Multijet 2.3 D, Kastenwagen
Fahrgestellnummer	ZFA25000002B00356
Amtliches Kennzeichen	S-AC 381
Erstzulassung	15.07.2016
Kilometerstand bei Beginn des Alltagstests	32.198 km
Motortyp	2,3 l Vierzylinder Turbodiesel
Getriebe	6-Gang-Schaltgetriebe
Abgasnorm	Euro 5 (N1 III)
Motorleistung	96 kW (130 PS) bei 3.600 1/min
Motordrehmoment	320 Nm bei 1.800 1/min
Leergewicht Herstellerangabe/gewogen	2.108 kg/ 2.198 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	3.500 kg

Tabelle 4 Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe Fiat Ducato

		Gesetzlicher Grenzwert*	Herstellerangabe (gemäß EC COC)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	-	7,0
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	-	183
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,74	0,364
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	-	-
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,28	0,23
	HC+NO _x [g/km]	0,35	0,266
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	-	-
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	-	-
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0045	0,0016
Partikelanzahl	PN [1/km]	6x10 ¹¹	3,66x10 ¹¹

* Die getestete Kastenwagenvariante des Fiat Ducato ist nach der Abgasnorm Euro 5 N1 III zugelassen.

5.2 SCR-Nachrüstung (HJS Emissions Technology GmbH & Co. KG)

HJS verfolgt die Philosophie, möglichst keine Veränderungen am serienmäßigen Abgassystem vorzunehmen und verwendet weitgehend Komponenten des Euro 6-Abgassystems aus dem Fiat Ducato. So wurden die originale AdBlue®-Aufbereitung und das AdBlue®-Betankungskonzept der Euro 6-Ducato mit möglichst wenigen Anpassungen übernommen. Um den SCR-Kat trotz der geringen Gesamtlänge der Abgasanlage unterzubringen (Endrohr seitlich am Fahrzeug angeordnet) wurde der SCR-Kat anstelle des serienmäßigen Nachschalldämpfers verbaut. Durch den Wegfall des Nachschalldämpfers und die damit verbundene Veränderung des Abgassystems kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich das Geräuschniveau des Fahrzeugs ändert, auch wenn im Falle des Funktionsprototypen keine signifikante Änderung des Geräuschniveaus festgestellt werden konnte. Laut HJS würde dieser Sachverhalt bei einer Serien-Projektierung berücksichtigt. Zusätzlich wurde vor dem SCR-Katalysator ein Heizkat verbaut. Die AdBlue®-Eindüsung erfolgt flüssig direkt in den Abgasstrang.

Im Rahmen der Ertüchtigung des SCR-Nachrüstsystems wurde durch HJS ein Datenlogger verbaut, der mittels Sensoren die NO_x-Konzentration und Abgastemperatur vor und nach SCR sowie den AdBlue®-Verbrauch aufzeichnet. Im Armaturenbrett des Fahrzeuges wurden eine Funktionsanzeige (rote LED) und Füllstandüberwachung mit Warnung wenn Füllstandreserve erreicht wurde (gelbe LED) verbaut.



Die Hardwarekomponenten des SCR-Systems wurden nicht weiter optimiert. Es wurde eine Beheizung des AdBlue®-Tanks und den AdBlue®-Leitungen verbaut. Die Software zur Regelung des SCR-Systems wurde optimiert.

Abbildung 10 Anzeigeelemente Fiat Ducato

Tabelle 5 Übersicht Systemaufbau HJS

Katalysatoren	SCR-Katalysator (im Austausch zum originalen Nachschalldämpfer), Heizkatalysator, kein Ammoniak-Sperrkatalysator verbaut (für Serienlösung denkbar)
Systemsteuerung	Sensorik und Fahrzeugdaten (Luftmasse), direkter Abgriff, kein Zugriff auf CAN-Datenbus
Sensorik	2 NO _x -Sensoren (vor und nach SCR), 2 Temperatursensoren
Einspritzung AdBlue®	Direkte flüssige Einspritzung in Abgasstrang (Bosch DM 3.2), über Mischstrecke erfolgt Verdampfung und Reaktion zu Ammoniak
AdBlue®-Tank	Fahrzeugunterboden, Füllvolumen: 17 l
Diagnose/ Systemüberwachung	Anzeige von Systemausfall mittels roter LED und Füllstandüberwachung mit Warnung wenn Füllstandreserve erreicht wurde (gelbe LED)

5.3 Messergebnisse im Detail

5.3.1 Abgasemissionen im Serienzustand

Die Rohemissionen des Fiat Ducato wurden im Rahmen des ersten SCR-Projekts (September 2017) im Serienzustand gemessen [1]. Die Emissionen fallen sehr hoch aus. Insbesondere die NO_x-Emissionen liegen auf sehr hohem Niveau. Während beim WLTC kalt der Ausstoß an Stickoxiden bei knapp 600 mg/km liegt, steigt der Ausstoß im selben Zyklus lediglich mit warmem Motor auf über 900 mg/km.

Die NO_x-Emissionen der RDE-Messung liegen nochmals höher. Hier emittiert der Ducato rund 1.200 mg/km an NO_x. Die RDE-Messung wurde bei einer Außentemperatur von rund 17 °C durchgeführt.

Tabelle 6 Abgasemissionen Fiat Ducato im Serienzustand

Fiat Ducato vor Umrüstung Messdatum: 09/2017		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (17,3 °C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	7,85	7,28	8,84	10,84
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	207,25	192,37	232,47	286,37
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,089	0,03	0,100	0,001
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,014	0,003	-	0,001
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,599	0,908	1,206	1,298
	HC+NO _x [g/km]	0,613	0,911	-	1,298
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,222	0,327	0,774	0,483
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,258	0,406	0,415	0,554
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0002	0,0000	-	0,002
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,391x10 ¹¹	0,003x10 ¹¹	-	0,007x10 ¹¹

Tabelle 7 NO_x-Emissionen Fiat Ducato im Detail (Serienzustand)

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (17,3 °C)
Innerorts*	[g/km]	0,469	0,931	1,237
Außerorts**	[g/km]	0,836	0,865	1,139
Gesamt	[g/km]	0,599	0,908	1,206

* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

5.3.2 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests

Tabelle 8 Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest Fiat Ducato (HJS)

Fiat Ducato mit SCR-Nachrüstung		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (27,1°C)	BAB (23°C)
Messdatum: 08/2018					
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,44	7,97	9,42	10,93
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	221,92	209,89	248,22	287,98
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,275	0,052	0,022	0,002
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,009	0,003	-	0,001
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,23	0,273	0,235	0,118
	HC+NO _x [g/km]	0,238	0,276	-	0,12
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,124	0,132	0,225	0,069
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,04	0,071	0,011	0,011
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0002	0,0002	-	0,0046
Partikelanzahl	PN [1/km]	1,52x10 ¹¹	0,0656x10 ¹¹	0,24x10 ¹¹	0,751x10 ¹¹

Tabelle 9 NO_x-Emissionen Fiat Ducato im Detail vor Beginn Alltagstest

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (27,1°C)
Innerorts*	[g/km]	0,277	0,324	0,325
Außerorts**	[g/km]	0,146	0,178	0,048
Gesamt	[g/km]	0,230	0,273	0,235

* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

5.3.3 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstests nach 10.000 km

Tabelle 10 Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km - Fiat Ducato (HJS)

Fiat Ducato mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 09/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,51	8,33	11,27
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	223,79	219,45	296,91
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,203	0,038	0,001
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,007	0,001	0,001
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,214	0,368	0,158
	HC+NO _x [g/km]	0,221	0,369	0,159
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,134	0,184	0,094
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,023	0,085	0,013
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0002	0,0001	0,0024
Partikelanzahl	PN [1/km]	1,87x10 ¹¹	0,0658x10 ¹¹	0,775x10 ¹¹

Tabelle 11 NO_x-Emissionen Fiat Ducato – Alltagstest nach 10.000 km

NO_x-Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,265	0,502
Außerorts**	[g/km]	0,122	0,124
Gesamt	[g/km]	0,214	0,368

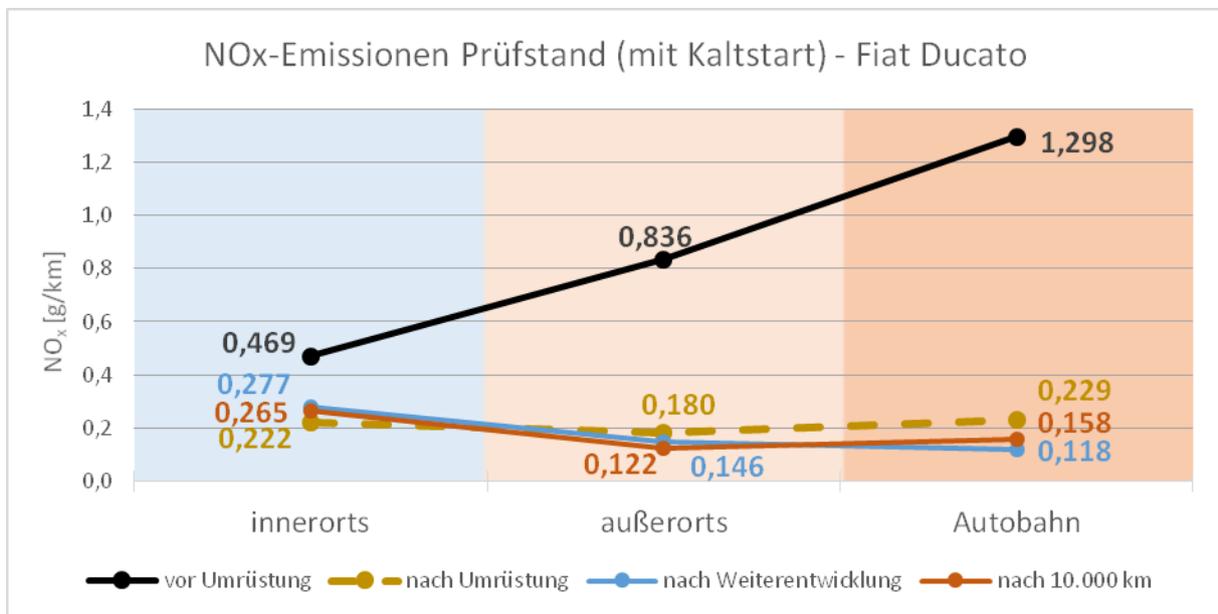
* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high)

5.3.4 Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung

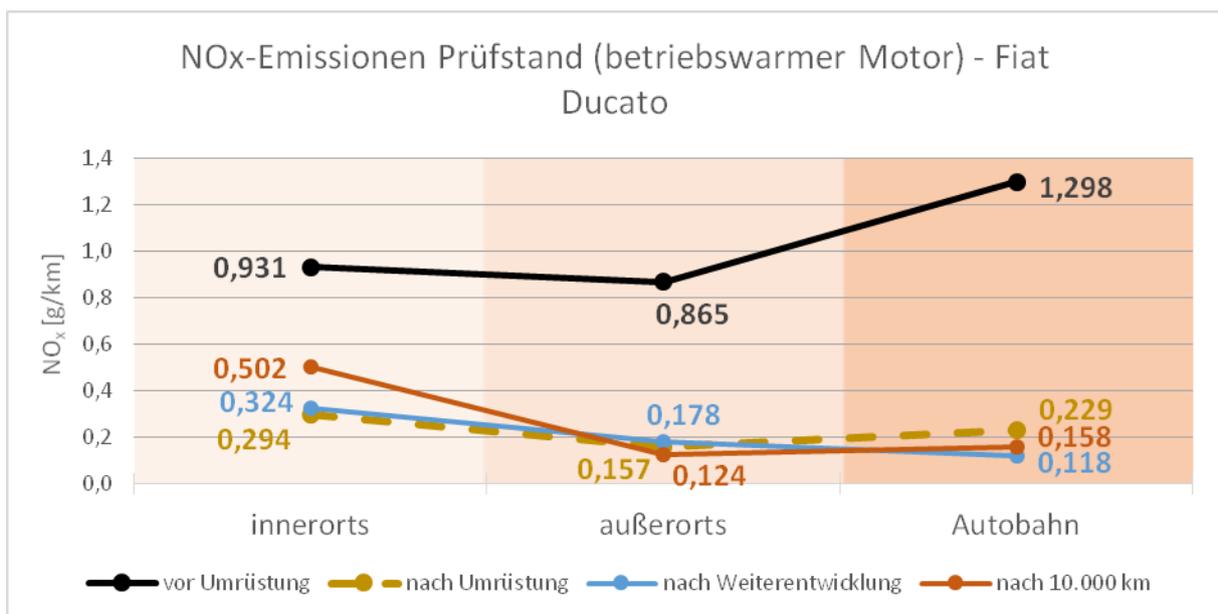
Die NO_x-Emissionen im WLTC kalt liegen sowohl nach der Weiterentwicklung des SCR-Systems als auch nach den ersten 10.000 km im Alltagstest auf stabil niedrigem Niveau.

Abbildung 11 NO_x-Emissionen Prüfstand (WLTC kalt und BAB) – Fiat Ducato



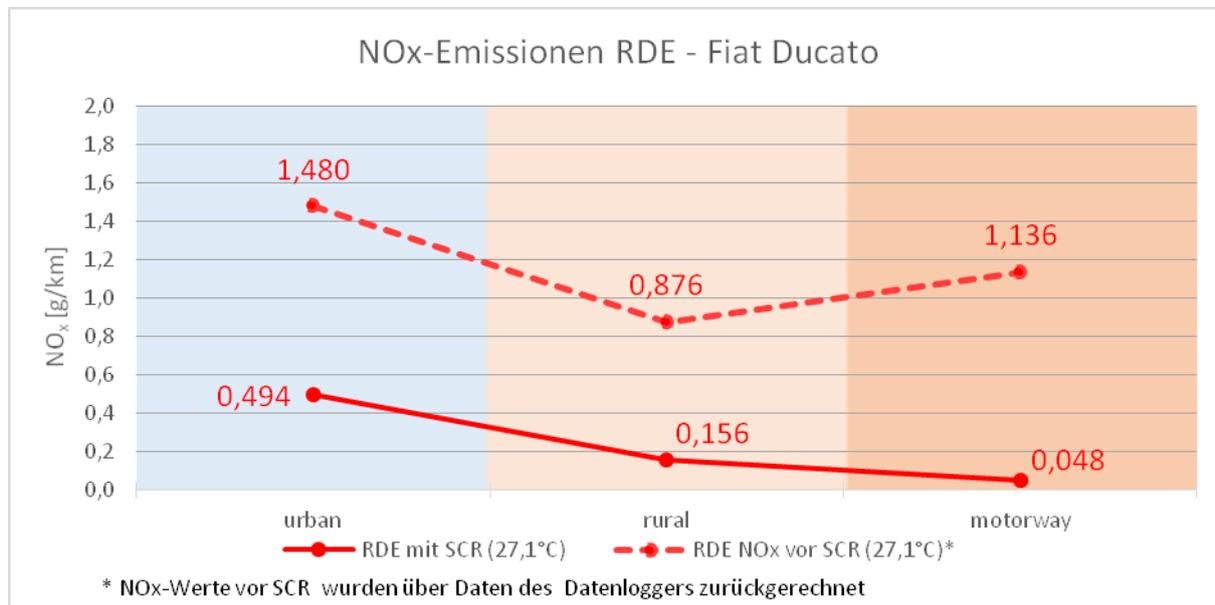
Im Innerortsteil des WLTC warm liegen die NO_x-Emissionen nach 10.000 km etwas höher, als noch bei der Eingangsmessung. Ob sich dieser Trend fortsetzt oder lediglich ein ungünstiger Zustand des Abgasnachbehandlungssystems (z.B. ungünstige Partikelfilterbeladung oder geringe NH₃-Einlagerung im SCR-Kat zu Beginn der Messung) wird sich im weiteren Verlauf des Alltagstests zeigen.

Abbildung 12 NO_x-Emissionen Prüfstand (WLTC warm und BAB) – Fiat Ducato



Bei sommerlichen Temperaturen kann eine konstant hohe NO_x-Reduktionsrate erreicht werden. In der Phase „motorway“ liegt der NO_x-Wert sogar unterhalb des Euro 6-Grenzwertes. Es gilt zu beachten, dass die NO_x-Daten vor SCR aus dem Datenlogger nur als groben Anhaltspunkt dienen und nicht messtechnisch abgesichert sind.

Abbildung 13 NO_x-Emissionen im Realbetrieb (RDE) – Fiat Ducato



5.3.5 Testtagebuch Alltagstest – Fiat Ducato (HJS)

Tabelle 12 Testtagebuch Fiat Ducato (HJS)

■ Abgasmessung im Labor ■ Sondermessung ■ besonderes Ereignis

Datum	Kilometerstand	Ereignis	Erläuterung
21.08.2018	32.198	RDE-Messung – sommerliche Temperatur	
21.08.2018	32.283	Abgasmessung vor Beginn Alltagstest	
28.08.2018	32.475	Start Alltagstest – erste Etappe	
04.09.2019	36.710	Temporärer Systemausfall SCR	Über eine Fahrdauer von ca. 2 Stunden war das SCR-System nicht aktiv – in dieser Zeit leuchtete die Fehlerlampe. Erläuterung des Fehlers: siehe Stellungnahme HJS

05.09.2018	37.415	Temporärer Systemausfall SCR	Über eine Fahrdauer von ca. 5 Stunden war das SCR-System nicht aktiv – in dieser Zeit leuchtete die Fehlerlampe. Erläuterung des Fehlers: siehe Stellungnahme HJS
12.09.2018	42.333	Ende Alltagstest – erste Etappe	
13.09.2018	42.335	Abgasmessung nach 10.000 km	
17.09.2018	42.429	Start Alltagstest – zweite Etappe	
27.09.2018	49.120	Fahrzeugausfall aufgrund eines defekten Außenspiegels	Schaden wurde in Fachwerkstatt behoben

Zu den Ursachen der beiden temporären Systemausfälle während der ersten Phase der Alltagstestprobung nimmt HJS wie folgt Stellung:

HJS nahm zum Systemausfall am 12.10.2018 wie folgt Stellung:

„Als Ursache für den sporadischen Systemausfall kommt ein nicht bestimmungsgemäßer Druckaufbau im AdBlue-Dosiersystem in Frage. Nach dem Fahrzeugstart versucht das System, einen Druck von etwa 7,5 bar in der Dosierleitung aufzubauen. Wenn dies innerhalb der vorgegebenen Zeit nicht funktioniert, wird ein Fehler gesetzt und das System schaltet sich ab. Erst beim nächsten Motorstart wird der Druckaufbau erneut versucht.“

Wir setzen in diesem Prototypenfahrzeug abweichend vom späteren Seriensystem eine separate AdBlue-Pumpeinheit ein. Dies war erforderlich, um das Fahrzeug innerhalb der vorgegebenen äußerst knappen Zeit ausrüsten zu können. Tank und Pumpeinheit sind über eine Saugleitung miteinander verbunden. Um den Druck in der Dosierleitung aufbauen zu können, muss die Pumpe zunächst AdBlue über die Saugleitung ansaugen. Befindet sich nun Luft in der Saugleitung oder wird Luft angesaugt, kann der Druckaufbau nicht erfolgen.

Da im Seriensystem das AdBlue von der direkt im Tank verbauten Pumpeinheit gefördert wird, kann diese Fehlerquelle nicht mehr auftreten. Der im Dauerlauf sporadisch aufgetretene Fehler ist also allein darauf zurückzuführen, dass der Systemaufbau vom späteren Seriensystem abweicht.“

6 Detailergebnisse – VW T5 Multivan 2.0 TDI (Oberland-Mangold)

6.1 Testfahrzeug – VW T5

Beim als Versuchsfahrzeug ausgewählten VW T5 handelt es sich um ein Fahrzeug, das nach der Abgasnorm Euro 5 M1 (M1 für soziale Zwecke) homologiert ist. Für diese Fahrzeug gilt für NO_x nicht der Euro 5-Dieselmotorgrenzwert von 180 mg/km, sondern der für N1 Gruppe III Fahrzeuge. Dort liegt der gesetzliche Grenzwert bei 280 mg/km. Das Fahrzeug ist mit einem Dieselmotor EA288 ausgestattet, der nicht vom Software-Update betroffen war. Vor Beginn des Alltagstests wurde durch den VW-Händler ein verfügbares Motor- und Getriebe-Update aufgespielt.

Abbildung 14 VW T5 auf dem Abgasprüfstand

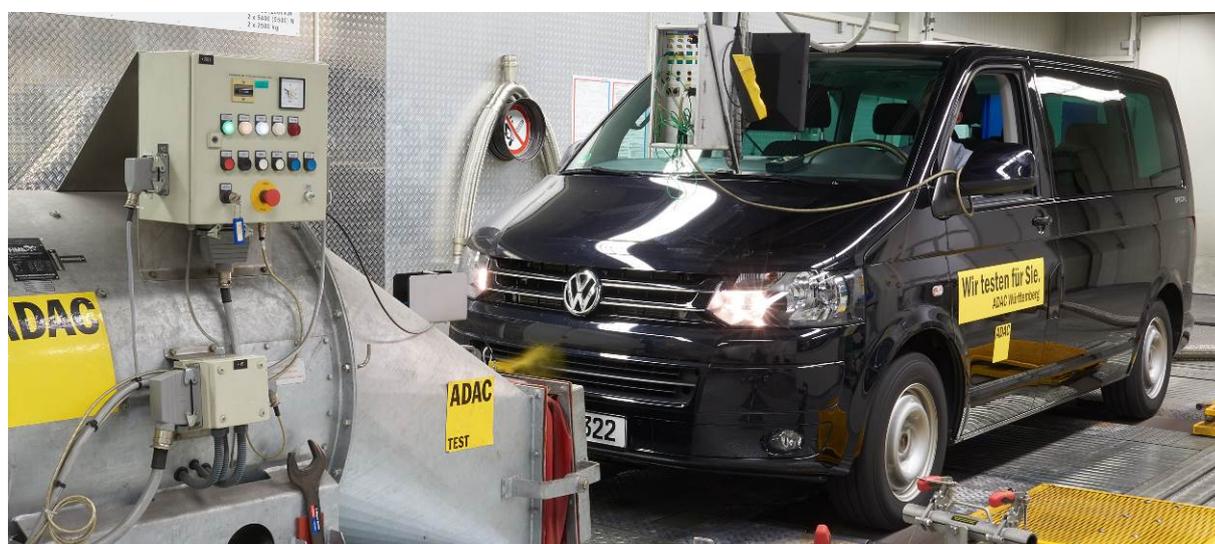


Tabelle 13 Technische Daten VW T5

Fahrzeugtyp	Volkswagen T5 Multivan 2,0 TDI
Fahrgestellnummer	WV2ZZZ7HZEH097655
Amtliches Kennzeichen	S-AC 322
Erstzulassung	13.03.2014
Kilometerstand bei Beginn des Alltagstests	63.589 km
Motortyp	2,0 l Vierzylinder Turbodiesel
Getriebe	7-Gang-Doppelkupplungsgetriebe
Abgasnorm	Euro 5 (M1 für soziale Zwecke)
Motorleistung	103 kW (140 PS) bei 3.500 1/min
Motordrehmoment	340 Nm bei 1.750 1/min
Leergewicht Herstellerangabe/gewogen	2.075 kg/ 2.182 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	3.000 kg

Tabelle 14 Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe VW T5

		Gesetzlicher Grenzwert*	Herstellerangabe (gemäß EC COC)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	-	8,0
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	-	211
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,74	0,050
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	-	-
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,28	0,258
	HC+NO _x [g/km]	0,35	0,274
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	-	-
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	-	-
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0045	0,0004
Partikelanzahl	PN [1/km]	6x10 ¹¹	0,027x10 ¹¹

* Der getestete VW T5 Multivan ist nach der Abgasnorm Euro 5 für besondere soziale Zwecke homologiert. Hierfür gelten die Grenzwerte nach Euro 5 N1 III.

6.2 SCR-Nachrüstung (Oberland-Mangold Katalysatortechnik GmbH)

Bei der Nachrüstlösung im VW T5 greift Oberland-Mangold nur teilweise auf VW-Originalteile des VW T6 zurück (Tanksystem, AdBlue®-Einspritzventil). Die SCR-Kats sowie der Hydrolyse-Reaktor sind Eigenentwicklungen. Es sind zwei SCR-Katalysatoren verbaut, der zweite ist mit einem Ammoniakschlupfkatalysator versehen. Die Steuerung erfolgt kennfeldbasiert (CAN-Bus) und wird durch zusätzliche Sensorik gestützt (NO_x-Sensor nach SCR).

Im Rahmen der Ertüchtigung des SCR-Nachrüstsystems wurde ein Datenlogger verbaut, der die NO_x-Konzentration und Abgastemperatur vor und nach SCR sowie den AdBlue®-Verbrauch aufzeichnet. Im Armaturenbrett des Fahrzeuges wurde neben der Funktionsanzeige (rote LED) auch eine Füllstandüberwachung mit Warnung wenn Füllstandreserve erreicht wurde (blaue LED) verbaut.

Die Hardwarekomponenten des SCR-Systems wurden um einen zweiten NO_x-Sensor vor SCR ergänzt. Es wurde eine Beheizung des AdBlue®-Tanks und der AdBlue®-Leitungen verbaut. Die Software zur Regelung des SCR-Systems wurde überarbeitet.



Abbildung 15 Anzeigeelemente VW T5

Tabelle 15 Übersicht Systemaufbau Oberland-Mangold

Katalysatoren	2 SCR-Katalysatoren mit integriertem Ammoniak-schlupfkatalysator
Systemsteuerung	Kennfeldsteuerung über CAN-Datenbus des Fahrzeuges (Drehzahl, Drehmoment, Außentemperatur), zusätzlich Sensorik
Sensorik	2 NO _x -Sensoren (vor/nach SCR), 2 Temperatursensoren
Einspritzung AdBlue®	Elektrisch beheizter Hydrolyse-Reaktor, gasförmige Ammoniak-Einspritzung in den Abgasstrang
AdBlue®-Tank	Fahrzeugunterboden, Füllvolumen: 13 l
Diagnose/ Systemüberwachung	Anzeige von Systemausfall mittels roter LED und Füllstandüberwachung mit Warnung wenn Füllstandreserve erreicht wurde (blaue LED)

6.3 Messergebnisse im Detail

6.3.1 Abgasemissionen im Serienzustand

Die Rohemissionen des VW T5 wurden im Rahmen des ersten SCR-Projekts (Oktober 2017) im Serienzustand gemessen. Die Abgasemissionen des VW T5 fallen im Serienzustand sehr hoch aus. Die NO_x-Emissionen liegen auf sehr hohem Niveau. Während beim WLTC kalt der Ausstoß an Stickoxiden bei knapp 600 mg/km liegt, steigt der Ausstoß bei warmem Motor nochmals um rund 10 Prozent an.

Die NO_x-Emissionen der RDE-Messung fallen enorm aus. Der VW emittiert über 1.400 mg/km an NO_x. Die RDE-Messung erfolgte bei einer Außentemperatur von 11,5 °C.

Tabelle 16 Abgasemissionen VW T5 im Serienzustand

VW T5 vor Umrüstung Messdatum: 10/2017		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (11,5 °C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	7,97	7,46	7,93	9,66
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	210,53	197,02	208,58	255,16
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,016	0,002	0,030	0,002
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,007	0,002	-	0,002
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,589	0,671	1,448	1,327
	HC+NO _x [g/km]	0,595	0,673	-	1,328
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,216	0,248	0,965	0,585
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,257	0,290	0,485	0,428
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0003	0,0004	-	0,0027
Partikelanzahl	PN [1/km]	2,68x10 ¹¹	0,439x10 ¹¹	-	1,09x10 ¹¹

Tabelle 17 NO_x-Emissionen VW T5 im Detail (Serienzustand)

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (11,5 °C)
Innerorts*	[g/km]	0,486	0,606	1,269
Außerorts**	[g/km]	0,777	0,789	1,812
Gesamt	[g/km]	0,589	0,671	1,448

* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

6.3.2 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests

Tabelle 18 Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest VW T5 (Oberland-Mangold)

VW T5 mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 08/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (23,5°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,5	8,12	6,59	10,02
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	223,92	213,97	173,48	263,86
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,009	0,001	0,062	0,002
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,005	0,003	-	0,003
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,399	0,374	0,257	1,016
	HC+NO _x [g/km]	0,405	0,377	-	1,020
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,182	0,171	0,207	0,476
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,120	0,111	0,050	0,285
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0003	0,0004	-	0,0036
Partikelanzahl	PN [1/km]	1,29x10 ¹¹	0,716x10 ¹¹	0,29x10 ¹¹	1,32x10 ¹¹

Tabelle 19 NO_x-Emissionen VW T5 im Detail vor Beginn Alltagstest

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (23,5°C)
Innerorts*	[g/km]	0,343	0,361	0,194
Außerorts**	[g/km]	0,503	0,398	0,385
Gesamt	[g/km]	0,399	0,374	0,257

* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

6.3.3 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 10.000 km

Tabelle 20 Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold)

VW T5 mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 09/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,34	8,12	10,15
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	219,64	214	267,44
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,009	0,002	0,001
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,007	0,003	0,004
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,256	0,290	1,041
	HC+NO _x [g/km]	0,263	0,293	1,046
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,133	0,134	0,470
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,051	0,084	0,319
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0001	0,0003	0,0039
Partikelanzahl	PN [1/km]	1,25x10 ¹¹	0,392x10 ¹¹	0,773x10 ¹¹

Tabelle 21 NO_x-Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 10.000 km

NO_x-Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,234	0,283
Außerorts**	[g/km]	0,298	0,303
Gesamt	[g/km]	0,256	0,290

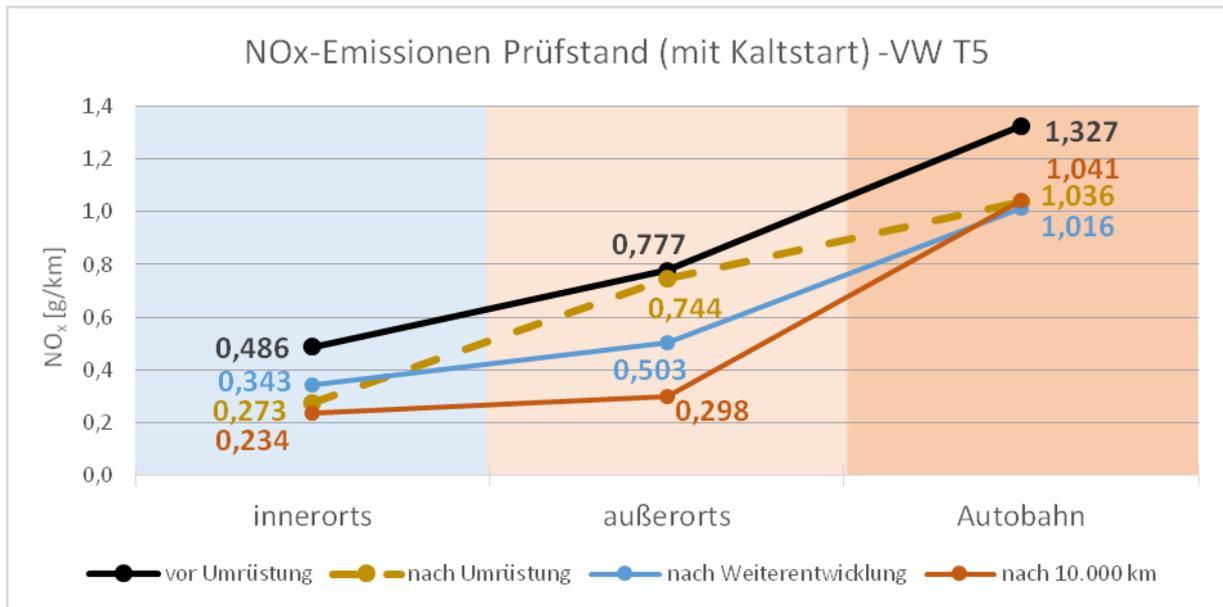
* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

6.3.4 Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung

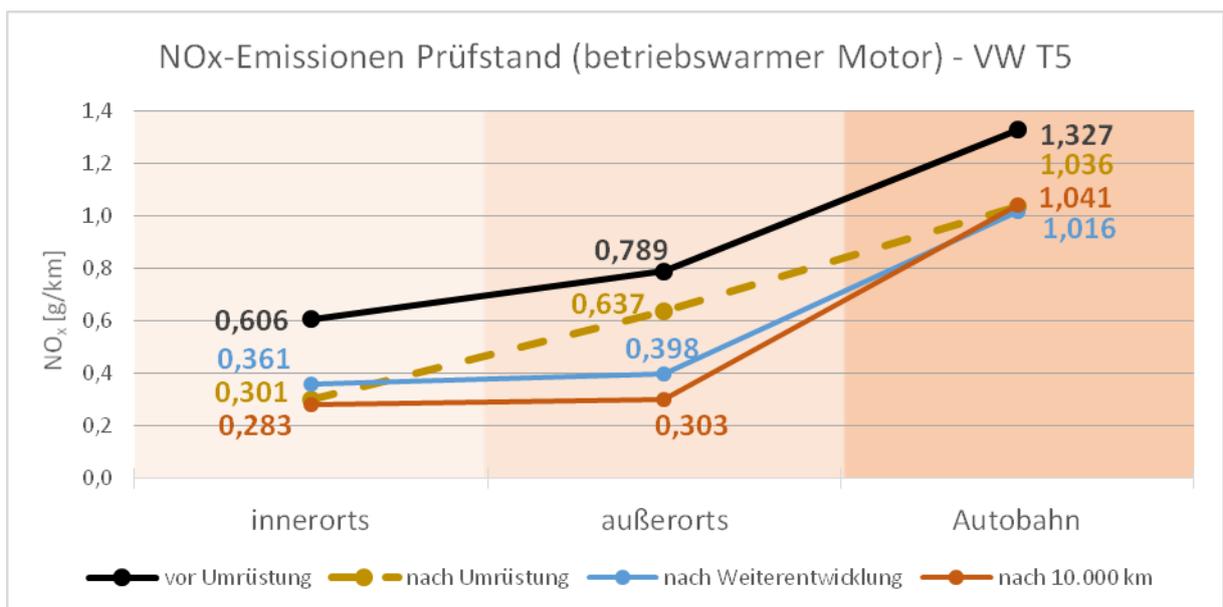
Die Stickoxidemissionen liegen nach der Weiterentwicklung des SCR-Systems auf konstantem Niveau, insbesondere außerorts konnte eine deutliche Verbesserung der Systemperformance erreicht werden. Keine Fortschritte konnten bei der Reduktion der Emissionen im Autobahnzyklus erzielt werden.

Abbildung 16 NO_x-Emissionen Prüfstand (WLTC kalt und BAB) – VW T5



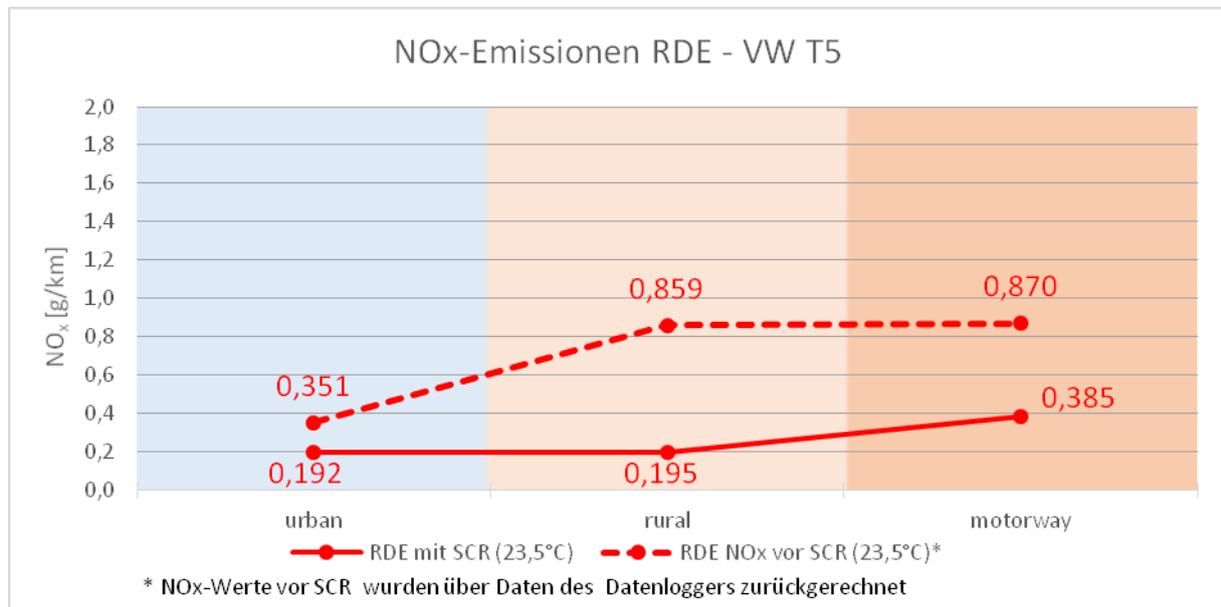
Im WLTC warm zeigt sich ein ähnliches Bild wie im WLTC mit Kaltstart.

Abbildung 17 NO_x-Emissionen Prüfstand (WLTC warm und BAB) – VW T5



Erstaunlich niedrig fallen die NO_x-Emissionen bei der RDE-Fahrt aus. Es ist jedoch anzumerken, dass der VW T5 bei Idealbedingung (23 °C Lufttemperatur) auch deutlich geringere Rohemissionen aufweist, als bei der RDE-Eingangsmessung aus dem vergangenen Jahr bei kühlen 11,5 °C. Es gilt zu beachten, dass die NO_x-Daten vor SCR aus dem Datenlogger nur als groben Anhaltspunkt dienen und nicht messtechnisch abgesichert sind.

Abbildung 18 NO_x-Emissionen im Realbetrieb (RDE) - VW T5



6.3.5 Testtagebuch Alltagstest – VW T5 (Oberland-Mangold)

Tabelle 22 Testtagebuch VW T5 (Oberland-Mangold)

■ Abgasmessung im Labor ■ Sondermessung ■ besonderes Ereignis

Datum	Kilometerstand	Ereignis	Erläuterung
24.08.2018	63.589	Abgasmessung vor Beginn Alltagstest	
29.08.2018	63.711	RDE-Messung – sommerliche Temperatur	
31.08.2018	63.812	Start Alltagstest – erste Etappe	
15.09.2018	73.650	Ende Alltagstest – erste Etappe	
17.09.2018	73.652	Abgasmessung nach 10.000 km	
20.09.2018	73.793	Start Alltagstest – zweite Etappe	
05.10.2018	82.666	Fahrzeugausfall: Radlager defekt	Reparatur des Radlagers hinten rechts

Während der ersten Etappe des Alltagstests gab es beim VW T5 keine Auffälligkeiten. In der zweiten Etappe stand bislang ein außerplanmäßiger Werkstattaufenthalt an, der jedoch nicht mit dem SCR-Nachrüstsystem zusammenhängt.

7 Detailergebnisse – Opel Astra 1.7 CDTI (Twintec)

7.1 Testfahrzeug – Opel Astra

Der 1,7 l große Vierzylinder-Dieselmotor des Opel Astra 1.7 CDTI erfüllt die Abgasnorm Euro 5. Der gesetzliche Grenzwert für NO_x liegt bei 180 mg/km.

Abbildung 19 Opel Astra auf dem Abgasprüfstand

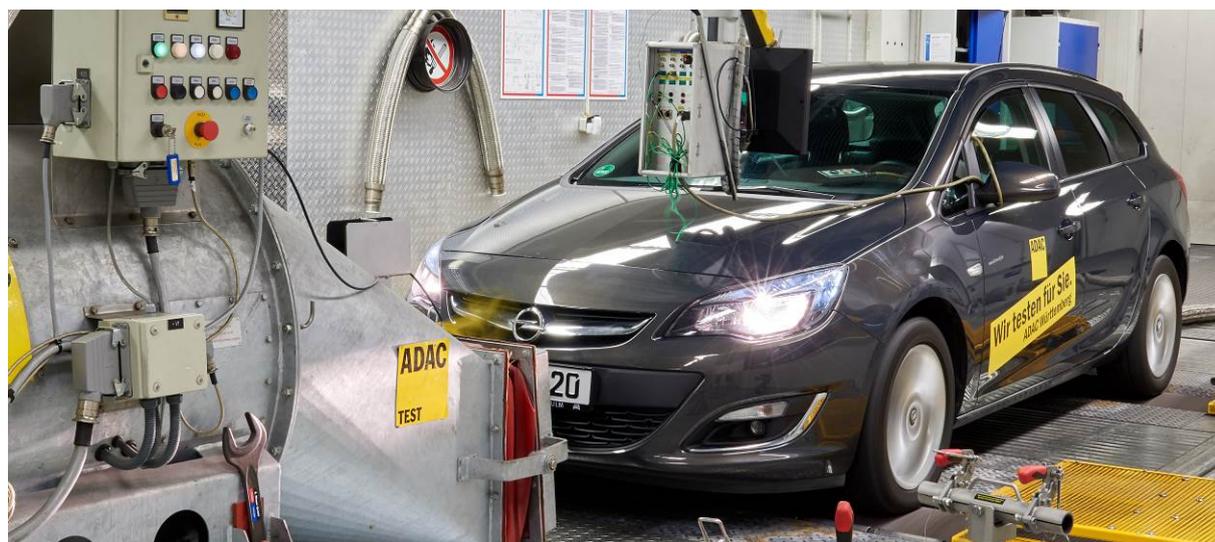


Tabelle 23 Technische Daten Opel Astra

Fahrzeugtyp	Opel Astra 1.7 CDTI Sports Tourer
Fahrgestellnummer	W0LPD8EK9D8032592
Amtliches Kennzeichen	S-AC 320
Erstzulassung	13.03.2013
Kilometerstand bei Beginn des Alltagstests	88.572 km
Motortyp	1,7 l Vierzylinder Turbodiesel
Getriebe	6-Gang-Schaltgetriebe
Abgasnorm	Euro 5
Motorleistung	81 kW (110 PS) bei 4.000 1/min
Motordrehmoment	260 Nm bei 1.700 1/min
Leergewicht Herstellerangabe/gewogen	1.613 kg/ 1.562 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	2.120 kg

Tabelle 24 Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe Opel Astra

		Gesetzlicher Grenzwert	Herstellerangabe (gemäß EC COC)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	-	4,3
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	-	114
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,50	0,381
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	-	-
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,18	0,138
	HC+NO _x [g/km]	0,23	0,167
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	-	-
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	-	-
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0045	0,00032
Partikelanzahl	PN [1/km]	6x10 ¹¹	0,023x10 ¹¹

7.2 SCR-Nachrüstung (Twintec Baumot Technologie GmbH)

Das Twintec-System ist insgesamt recht komplex aufgebaut. Neben dem Austausch von Serienteilen (DPF) werden viele zusätzliche Komponenten verbaut (zweiter DOC, SCR-Kat, 2 NO_x-Sensoren, 3 Temperatursensoren, 2 Drucksensoren, Hydrolyse-Reaktor, Steuergerät, AdBlue®-Tank, Zusatzbatterie). Laut Twintec sind einige Komponenten des Funktionsprototypen für den Serieneinsatz nicht notwendig (zweite Starterbatterie, Drucksensoren, DOC), was die Komplexität gegebenenfalls verringert.

Twintec weist darauf hin, dass bei diesem Fahrzeug der Dieselpartikelfilter für einen Euro 5-Diesel untypischerweise nicht motornah verbaut ist, sondern im Unterflurbereich. Hier gibt es lediglich die Möglichkeit, das SCR-System durch Austausch des serienmäßigen Partikelfilters zu integrieren – diesen Weg ist auch Twintec beim umgerüsteten Opel Astra gegangen. In der Praxis werden durch den Austausch von Originalteilen wie dem DPF erhöhte Anforderungen an die Zulassung eines Systems gestellt, da das originale Abgasnachbehandlungssystem nicht ergänzt sondern verändert wird. In der Praxis werden vermutlich für Fahrzeuge mit Unterflur verbauten Dieselpartikelfiltern SCR-Nachrüstung die Ausnahme bleiben, auch wenn Twintec im aktuellen Funktionsprototyp die generelle Machbarkeit darstellt.

Im Opel ist ein Datenlogger verbaut, der die NO_x-Konzentration und Abgastemperatur vor und nach SCR sowie den AdBlue®-Verbrauch aufzeichnet. Twintec hat im Opel ein bereits seriennahes Informationsdisplay verbaut, das den ordnungsgemäßen Betriebszustand anzeigt, sowie eine Warnung bei niedrigem AdBlue®-Füllstand ausgibt.

Die Hardwarekomponenten des SCR-Systems wurden nicht überarbeitet. Es wurde eine Beheizung des AdBlue®-Tanks und der AdBlue®-Leitungen verbaut. Die Software zur Regelung des SCR-Systems wurde nicht weiter optimiert und entspricht dem Stand des ersten Projekts.



Abbildung 20 Informationsdisplay Opel Astra

Tabelle 25 Übersicht Systemaufbau Twintec

Katalysatoren	Zusätzlicher Oxidationskatalysator (DOC), Dieselpartikelfilter mit SCR-Beschichtung (SDPF, im Austausch zum originalen DPF), SCR-Katalysator mit integriertem Ammoniak-Sperrkatalysator
Systemsteuerung	Sensorik und Fahrzeugdaten (Drehzahl, Luftmasse), direkter Abgriff, nicht über CAN-Bus
Sensorik	2 NO _x -Sensoren (vor und nach SCR), 3 Temperatursensoren, 2 Drucksensoren
Einspritzung AdBlue®	Elektrisch und über Abgasentnahme beheizter Hydrolyse-Reaktor, gasförmige Ammoniak-Einspritzung in den Abgasstrang, wassergekühltes Dosiermodul
AdBlue®-Tank	In Reserveradmulde, Füllvolumen: 17 l
Diagnose/ Systemüberwachung	Informationsdisplay mit Anzeigeelement bei Systemausfall und Füllstandüberwachung mit Warnung wenn Füllstandreserve erreicht wurde

7.3 Messergebnisse im Detail

7.3.1 Abgasemissionen im Serienzustand

Die Rohemissionen des Opel Astra wurden im Rahmen des ersten SCR-Projekts (September 2017) im Serienzustand gemessen. Auch der Opel Astra zeigt im Serienzustand einen hohen NO_x-Ausstoß. Während beim WLTC kalt der Ausstoß an Stickoxiden bei rund 650 mg/km liegt, steigt der Ausstoß im selben Zyklus lediglich mit warmem Motor auf rund 760 mg/km an.

Die NO_x-Emissionen der RDE-Messung liegen nochmals deutlich höher. Hier emittiert der Opel rund 1.300 mg/km an NO_x. Die RDE-Messung wurde bei einer Außentemperatur von rund 15 °C gefahren.

Tabelle 26 Abgasemissionen Opel Astra im Serienzustand

Opel Astra vor Umrüstung Messdatum: 09/2017		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (15,0 °C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	4,77	4,55	5,7	5,79
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	124,68	120,12	149,36	153,07
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,836	0,047	0,137	0,005
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,012	0,004	-	0,003
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,651	0,760	1,293	1,23
	HC+NO _x [g/km]	0,663	0,765	-	1,233
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,253	0,304	1,116	0,491
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,263	0,294	0,206	0,475
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0002	0,0002	-	0,0005
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,0027x10 ¹¹	0,0014x10 ¹¹	-	0,0004x10 ¹¹

Tabelle 27 NO_x-Emissionen Opel Astra im Detail (Serienzustand)

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (15,0 °C)
Innerorts*	[g/km]	0,469	0,579	1,230
Außerorts**	[g/km]	0,982	1,095	1,421
Gesamt	[g/km]	0,651	0,760	1,293

* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

7.3.2 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests

Tabelle 28 Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest Opel Astra (Twintec)

Opel Astra mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 08/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (23,1°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	5,32	5,33	5,76	6,00
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	139,78	140,31	151,45	158,12
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,147	0,007	0,14	0,009
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,008	0,002	-	0,003
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,226	0,147	0,272	0,093
	HC+NO _x [g/km]	0,234	0,149	-	0,095
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,113	0,07	0,195	0,047
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,052	0,039	0,076	0,02
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0001	0,0001	-	0,0005
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,108x10 ¹¹	0,108x10 ¹¹	0,063x10 ¹¹	0,639x10 ¹¹

Tabelle 29 NO_x-Emissionen Opel Astra im Detail vor Beginn Alltagstest

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (23,1°C)
Innerorts*	[g/km]	0,224	0,128	0,259
Außerorts**	[g/km]	0,230	0,181	0,295
Gesamt	[g/km]	0,226	0,147	0,272

* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

7.3.3 Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km

Tabelle 30 Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km - Opel Astra (Twintec)

Opel Astra mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 08/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	5,23	5,13	5,79
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	137,48	135,15	152,59
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,167	0,013	0,008
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,009	0,004	0,003
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,247	0,238	0,371
	HC+NO _x [g/km]	0,256	0,243	0,374
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,125	0,118	0,187
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,055	0,057	0,083
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0002	0,0001	0,0002
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,0256x10 ¹¹	0,0128x10 ¹¹	0,0783x10 ¹¹

Tabelle 31 NO_x-Emissionen Opel Astra im Detail vor Beginn Alltagstest

NO_x-Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,207	0,177
Außerorts**	[g/km]	0,319	0,352
Gesamt	[g/km]	0,247	0,238

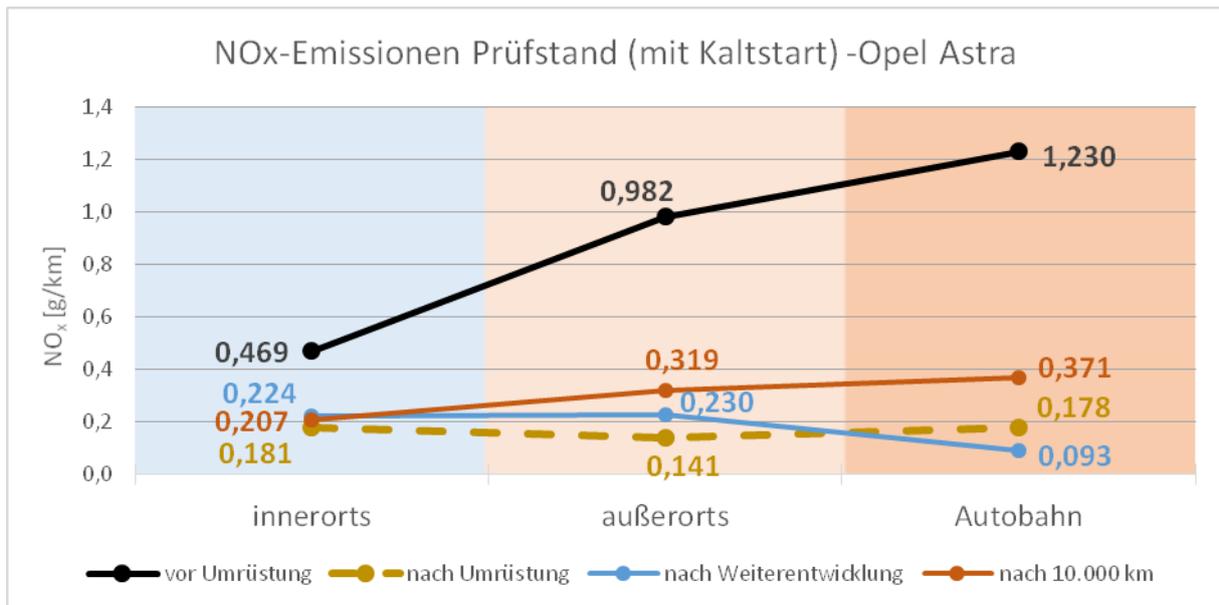
* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

7.3.4 Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung

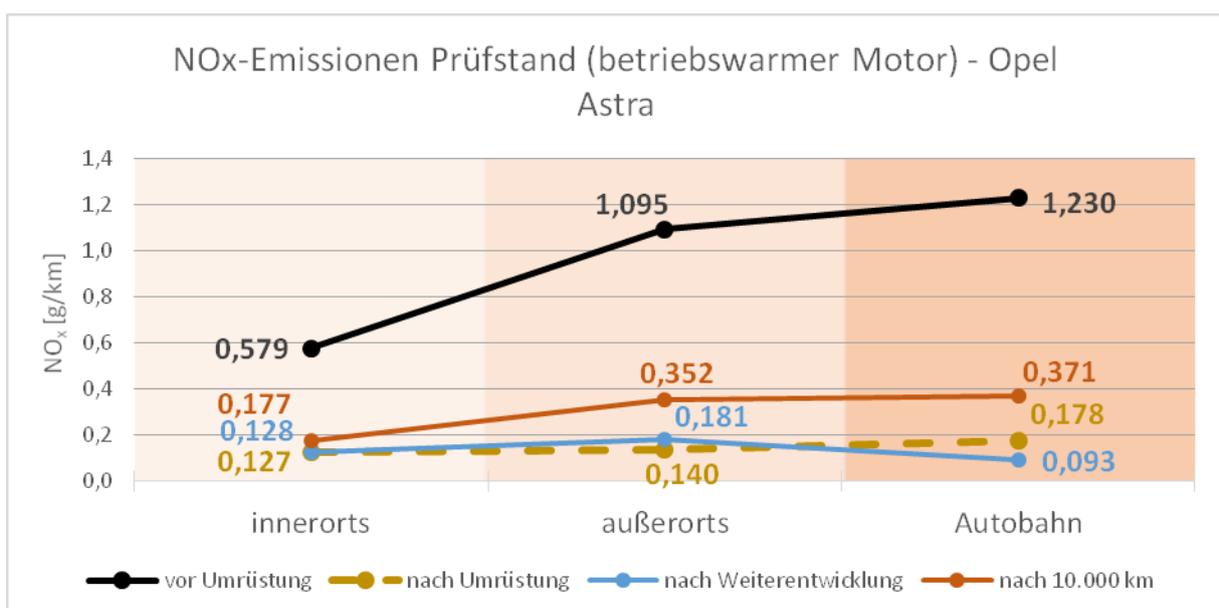
Im WLTC kalt zeigt das Nachrüstsystem auch nach der Weiterentwicklung eine stabile NO_x-Reduktion. Eine Auffälligkeit gab es bei der 10.000 km-Messung. Hier lagen die Emissionen außerorts und im Autobahnzyklus deutlich höher, als noch bei den Messungen zuvor. Laut Auswertung des internen Datenloggers durch Twintec hat das System eine niedrige Batteriespannung erkannt und zum Schutz der Bordelektronik das SCR-System vorübergehend deaktiviert.

Abbildung 21 NO_x-Emissionen Prüfstand (WLTC kalt und BAB) – Opel Astra



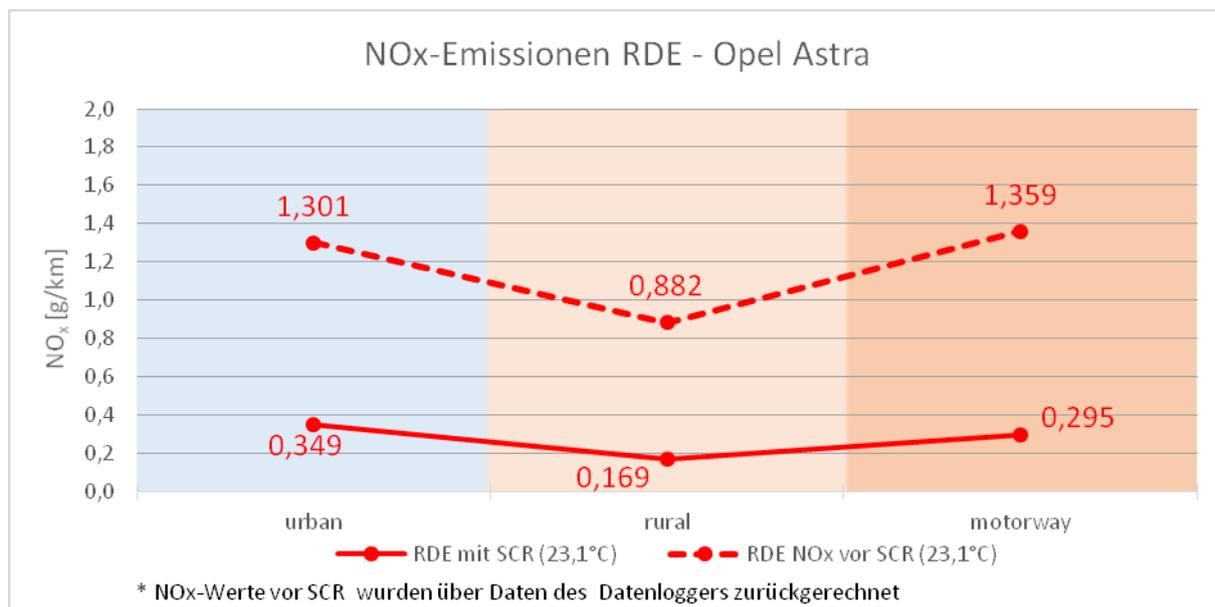
Dasselbe Bild wie im WLTC kalt findet man auch im WLTC warm. Stabil im Innerortsteil und etwas erhöhte Emissionen außerorts und im Autobahnzyklus.

Abbildung 22 NO_x-Emissionen Prüfstand (WLTC warm und BAB) – Opel Astra



Die RDE-Messung bei sommerlicher Temperatur zeigt in allen Phasen ein stabiles Reduktionsniveau. Es gilt zu beachten, dass die NO_x-Daten vor SCR aus dem Datenlogger nur als groben Anhaltspunkt dienen und nicht messtechnisch abgesichert sind.

Abbildung 23 NO_x-Emissionen im Realbetrieb (RDE) – Opel Astra



7.3.5 Testtagebuch Alltagstest – Opel Astra (Twintec)

Tabelle 32 Testtagebuch Opel Astra (Twintec)

■ Abgasmessung im Labor
 ■ Sondermessung
 ■ besonderes Ereignis

Datum	Kilometerstand	Ereignis	Erläuterung
27.08.2018	88.572	RDE-Messung – sommerliche Temperatur	
29.08.2018	88.718	Abgasmessung vor Beginn Alltagstest	
31.08.2018	88.797	Start Alltagstest – erste Etappe	
15.09.2018	98.692	Ende Alltagstest – erste Etappe	
18.09.2018	98.694	Abgasmessung nach 10.000 km	
20.09.2018	98.874	Start Alltagstest – zweite Etappe	

20.09.2018	98.895	Fahrzeugausfall: Kühlwasserverlust	Kühlwasserschlauch zur Kühlung des AdBlue-Dosierventils abgerutscht. Diagnose: Das durch den Nachrüster verbaute T-Stück im Kühlkreis ist für den Dauerbetrieb ungeeignet. Abhilfe: siehe Stellungnahme Twintec
21.09.2018	98.895	Fahrzeugausfall: Kraftstoffrücklaufleitung Einspritzventil undicht	Erneuern der Kraftstoffrücklaufleitungen. Dieser Defekt steht nicht im Zusammenhang mit der SCR-Nachrüstung
06.10.2018	106.182	Fehlerhafte Funktion der AdBlue-Füllstandanzeige	Obwohl der Tankinhalt an AdBlue fast aufgebraucht war, signalisierte die Füllstandanzeige, dass genügend AdBlue vorhanden war. Abhilfe: siehe Stellungnahme Twintec

Zu Beginn der zweiten Etappe des Alltagstest kam es zu einer Fahrzeugpanne, die auf das SCR-Nachrüstsystem zurückzuführen war. Ein Kühlwasserschlauch zur Kühlung des AdBlue®-Einspritzventils der über ein T-Stück an den originalen Kühlwasserkreislauf angebunden ist, rutschte ab. Durch den Kühlwasserverlust war das Fahrzeug nicht mehr fahrbereit. Im Zuge der Behebung des Kühlwasserverlustes wurde festgestellt, dass die Kraftstoffrücklaufleitung der Diesel-Einspritzanlage undicht war. Diese wurde ebenfalls getauscht. Der Defekt der Kraftstoffleitung hängt nicht mit der SCR-Nachrüstung zusammen.

Twintec nahm bezüglich des Kühlwasserverlustes am 20.09.2018 wie folgt Stellung:

„Wie Sie schon richtig erwähnten, würden wir eine solche Verbindung nicht in Serie bringen, sondern es ist eine Verbindung, die dem Zustand „Prototyp“ geschuldet ist. Wir arbeiten an einer verbesserten, betriebssicheren T-Stückverbindung, sodass die T-Stücke schnellstens getauscht werden können.

Für eine Serienanwendung gibt es folgende Lösungsansätze zur Kühlung der AdBlue Düse:

1. Verwendung von luftgekühlten Düsen. Ähnlich wie ein OE würden wir für eine AdBlue-Dosierung im Unterboden eine luftgekühlte Düse verwenden.

2. Bei Verwendung einer wassergekühlten Düse (Motorraum), würden diese Kühlleitungen erpresst und/oder ein profiliertes (Sägezahn oder Welle) T-Stück verwendet.“

Die Füllstandanzeige des AdBlue®-Tanks funktionierte nicht richtig. Laut Twintec sollte eine Meldung im Informationsdisplay ausgegeben werden, sobald ein Tankinhalt von 7 Liter unterschritten wird. Obwohl der Tank zum Ende der ersten Etappe fast vollständig geleert war (Restinhalt ca. ein Liter), wurde keine Meldung ausgegeben.

Twintec gab hierzu am 11.10.2018 folgende Stellungnahme ab:

„Wir gehen davon aus, dass unsere Füllstandanzeige leider nicht korrekt arbeitet. Erste Analysen zeigen, dass höchstwahrscheinlich die Messsonde zu tief in den Tank gerutscht ist. Diese musste variabel ausgelegt werden, um einen sinnvollen Schwellwert zu ermitteln. Geplant ist, dass wir die Anzeige im Rahmen eines kurzen Besuches bei Ihnen wieder in Betrieb nehmen. Einen Termin möchten wir noch abstimmen.“

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	NO _x -Emissionen im sommerlichen Realbetrieb (RDE-Messung)	8
Abbildung 2	NO _x -Emissionen innerorts im WLTC kalt/warm und RDE	8
Abbildung 3	NO _x -Emissionen im ADAC Ecotest	9
Abbildung 4	Projektplanung und Meilensteine	11
Abbildung 5	VW T5 mit mobiler Abgasmessanlage (PEMS)	11
Abbildung 6	WLTC-Fahrzyklus	12
Abbildung 7	ADAC Autobahnzyklus	12
Abbildung 8	Streckenübersicht Alltagstest	14
Abbildung 9	Fiat Ducato auf dem Abgasprüfstand	16
Abbildung 10	Anzeigeelemente Fiat Ducato	17
Abbildung 11	NO _x -Emissionen Prüfstand (WLTC kalt und BAB) – Fiat Ducato	21
Abbildung 12	NO _x -Emissionen Prüfstand (WLTC warm und BAB) – Fiat Ducato	21
Abbildung 13	NO _x -Emissionen im Realbetrieb (RDE) – Fiat Ducato	22
Abbildung 14	VW T5 auf dem Abgasprüfstand	24
Abbildung 15	Anzeigeelemente VW T5	25
Abbildung 16	NO _x -Emissionen Prüfstand (WLTC kalt und BAB) – VW T5	29
Abbildung 17	NO _x -Emissionen Prüfstand (WLTC warm und BAB) – VW T5	29
Abbildung 18	NO _x -Emissionen im Realbetrieb (RDE) - VW T5	30
Abbildung 19	Opel Astra auf dem Abgasprüfstand	32
Abbildung 20	Informationsdisplay Opel Astra	33
Abbildung 21	NO _x -Emissionen Prüfstand (WLTC kalt und BAB) – Opel Astra	37
Abbildung 22	NO _x -Emissionen Prüfstand (WLTC warm und BAB) – Opel Astra	37
Abbildung 23	NO _x -Emissionen im Realbetrieb (RDE) – Opel Astra	38

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Gemessene Abgaskomponenten WLTC	13
Tabelle 2	Gemessene Abgaskomponenten RDE	13
Tabelle 3	Technische Daten Fiat Ducato	16
Tabelle 4	Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe Fiat Ducato	17
Tabelle 5	Übersicht Systemaufbau HJS.....	18
Tabelle 6	Abgasemissionen Fiat Ducato im Serienzustand.....	18
Tabelle 7	NO _x -Emissionen Fiat Ducato im Detail (Serienzustand)	19
Tabelle 8	Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest Fiat Ducato (HJS).....	19
Tabelle 9	NO _x -Emissionen Fiat Ducato im Detail vor Beginn Alltagstest	19
Tabelle 10	Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km - Fiat Ducato (HJS)	20
Tabelle 11	NO _x -Emissionen Fiat Ducato – Alltagstest nach 10.000 km.....	20
Tabelle 12	Testtagebuch Fiat Ducato (HJS)	22
Tabelle 13	Technische Daten VW T5	24
Tabelle 14	Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe VW T5	25
Tabelle 15	Übersicht Systemaufbau Oberland-Mangold	26
Tabelle 16	Abgasemissionen VW T5 im Serienzustand.....	26
Tabelle 17	NO _x -Emissionen VW T5 im Detail (Serienzustand).....	27
Tabelle 18	Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest VW T5 (Oberland-Mangold)	27
Tabelle 19	NO _x -Emissionen VW T5 im Detail vor Beginn Alltagstest	27
Tabelle 20	Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold) .	28
Tabelle 21	NO _x -Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 10.000 km.....	28
Tabelle 22	Testtagebuch VW T5 (Oberland-Mangold)	31
Tabelle 23	Technische Daten Opel Astra.....	32
Tabelle 24	Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe Opel Astra	33
Tabelle 25	Übersicht Systemaufbau Twintec	34
Tabelle 26	Abgasemissionen Opel Astra im Serienzustand	34
Tabelle 27	NO _x -Emissionen Opel Astra im Detail (Serienzustand).....	35
Tabelle 28	Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest Opel Astra (Twintec).....	35
Tabelle 29	NO _x -Emissionen Opel Astra im Detail vor Beginn Alltagstest	35
Tabelle 30	Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km - Opel Astra (Twintec)	36
Tabelle 31	NO _x -Emissionen Opel Astra im Detail vor Beginn Alltagstest	36
Tabelle 32	Testtagebuch Opel Astra (Twintec)	38

10 Quellenverzeichnis

- [1] Schlussbericht „*NO_x-Reduzierung an Euro 5 Dieselfahrzeugen durch Hardwarenachrüstung*“ vom 20. Februar 2018. Veröffentlicht unter: www.adac.de/scr

- [2] ADAC Ecotest-Publikation vom 18. September 2018: "*ADAC Ecotest: Moderne Diesel sind sehr sauber*" Quelle: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/abgas-diesel-fahr-verbote/dieselkauf-abgasnorm/euro-6d-temp/>

- [3] Umweltbundesamt: Ergänzung der Bewertung zu marktverfügbaren fahrzeugseitigen NO_x-Nachrüsttechnologien und Bewertung der Nachbesserung, Stand: Juli 2017
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/uba_bericht_nachruestung_ii_0.pdf

11 Glossar

Abgasprüfstand	<p>Um eine maximale Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit zu gewährleisten, müssen Abgasmessungen auf anerkannten Rollenprüfständen durchgeführt werden. Dabei wird das Fahrzeug auf einem Rollenprüfstand fixiert. Die Rollen werden permanent geregelt und bilden so die Fahrwiderstände einer Straßenfahrt kontinuierlich ab, also Roll- und Luftwiderstand sowie Steigungen und Beschleunigungen.</p> <p>Um das Verhalten eines jeden Fahrzeuges möglichst genau abzubilden werden sogenannte Fahrwiderstandsdaten (siehe Glossar) eingespielt.</p>
Abgasrückführung (AGR)	<p>Gekühlte Abgase werden über ein kontinuierlich arbeitendes Ventil mit der Einlassluft gemischt und senken so den Sauerstoffgehalt im Brennraum und damit die Verbrennungstemperatur. Dadurch entstehen weniger Stickoxide.</p>
AdBlue®	<p>AdBlue® ist der vom Verband der Automobilindustrie (VDA) geschützte Handelsname für den Harnstoff AUS 32, der zur Reduktion von Stickoxidemissionen (NO_x) mittels SCR-System eingesetzt wird.</p> <p>Es handelt sich hierbei um eine hochreine, wasserklare, synthetisch hergestellte 32,5 %ige wässrige Harnstofflösung (chemische Formel: H₂N-CO-NH₂). Die Anforderungen an AdBlue® sind in der Norm ISO 22241 festgeschrieben.</p>
Ammoniak (NH₃)	<p>Ammoniak (NH₃) ist eine chemische Verbindung von Stickstoff und Wasserstoff. Es ist ein stark stechend riechendes, farbloses und giftiges Gas, das schon bei geringen Konzentrationen zu Tränen reizt und erstickend wirkt.</p>
Ammoniak-Sperrkatalysator	<p>Durch Nachschalten eines Oxidationskatalysators (Sperrkatalysator) an die SCR-Einheit kann ein nicht umgesetzter Ammoniak-Anteil zu N₂ und H₂O umgewandelt werden.</p>
CAN-Datenbus	<p>Controller Area Network: meist zwei Kupferleitungen, die verschiedene Steuergeräte verbinden und auf die die Steuergeräte sowohl Informationen "senden" als auch Informationen anderer Steuergeräte "empfangen" können.</p>
Dieselpartikelfilter (DPF)	<p>System bei Dieselmotoren, das schädliche Rußpartikel aus dem Abgas filtert und durch sogenannte Regeneration von Zeit zu Zeit den gesammelten Ruß nachverbrennt.</p>

Emissionen	Emission ist der Ausstoß von gasförmigen oder festen Stoffen. Diese können zur Verunreinigung von Luft, Boden oder Wasser führen. Verursacher von Emissionen sind sogenannte Emittenten (die Sender). Als einer der Hauptverursacher für Luftverunreinigung gilt der Verkehr.
Emissionsfaktoren	<p>Das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) stellt Emissionsfaktoren (spezifische Emissionen in g/km) für alle gängigen Fahrzeugkategorien (Pkw, Lieferwagen, schwere Nutzfahrzeuge, Busse und Motorräder) bereit. Die Emissionsfaktoren decken für verschiedene europäische Länder eine breite Auswahl von Verkehrssituationen, Fahrzeuggrößen und Emissionsstufen ab. Die Datenbank beinhaltet alle regulierten und die wichtigsten nicht regulierten Luftschadstoffe sowie den Kraftstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen.</p> <p>Das HBEFA ist ein Werkzeug, das vom Umweltbundesamt im Auftrag der Bundesregierung durch Wissenschaftler in Österreich und der Schweiz entwickelt wurde, um z.B. Emissionskataster zu erstellen.</p>
Emissionsklassen	Für die Genehmigung neuer Fahrzeugtypen werden im Rahmen der europäischen Typgenehmigungsrichtlinie bestimmte Emissionsgrenzwerte festgeschrieben. Diese Stufen Euro 1 bis Euro 6d sind mit den vorgeschriebenen Prüfverfahren Kernelement der europäischen Gesetzgebung zur Begrenzung von Emissionen bei Pkw.
Fahrwiderstandsdaten	<p>Die Fahrwiderstände eines Fahrzeugs im Straßenbetrieb setzen sich aus dem Anfahrwiderstand, dem Luftwiderstand, innerer Reibung (Antriebsstrang, Lager) und dem Rollwiderstand der Reifen zusammen. Durch Ausrollversuche wird eine Fahrwiderstandskennlinie über die Koeffizienten f_0, f_1, f_2 erstellt. Anhand dieser Fahrwiderstandswerte kann die Last, die das Fahrzeug im realen Fahrbetrieb überwinden muss, am Rollenprüfstand simuliert werden. Die Ausnutzung von im Prüfprozess erlaubten Toleranzen (z.B. Reifenluftdruck) führte insbesondere beim Verbrauch über tendenziell niedrige Fahrwiderstandswerte zu günstigen Prüfstandergebnissen.</p> <p>Stehen diese Fahrwiderstandsdaten nicht zur Verfügung, können laut 70/220/EWG Fahrzeuge alternativ in Schwungmassenklassen eingeteilt werden (Anh. III, Anl.2, „Andere Einstellmethode“). Die Fahrzeuge werden dann entsprechend ihres Gewichts einer Schwungmassenklasse zugeordnet und die Koeffizienten für die Fahrwiderstandskennlinie der Tabelle entnommen.</p>
Homologation	Typgenehmigung (Zulassung) von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen durch eine Behörde (in Deutschland durch das KBA), um eine Genehmigung zum Verkauf zu erhalten.

Immissionen	<p>Unter Immissionen fasst das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) alle auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen zusammen.</p> <p>Durch gesetzlich festgelegte Höchstwerte ist für viele Stoffe die zulässige Immissionskonzentration (i.d.R. in Masse pro Kubikmeter Luft) festgelegt. Der Ausstoß aus der Quelle wird Emission genannt. Jede Immission kann folglich auf einen oder mehrere Emittenten zurückgeführt werden.</p>
Isocyansäure (HCNO)	<p>Bei der Thermolyse von Harnstoff entsteht nicht nur das für die Reaktion im SCR-Kat gewünschte Ammoniak, sondern auch Isocyansäure HNCO. Sie ist sehr reaktiv und neigt als Zwischenprodukt zwangsweise zu Polymerisation und zur Bildung von Folgeprodukten. Isocyansäure entsteht auch bei Waldbränden und wird im Zigarettenrauch gefunden. Bei niedrigen Konzentrationen (über 1 pptv) werden von der im Körper gut löslichen Isocyansäure und Cyanat-Ionen gesundheitliche Effekte beobachtet, etwa Arterienverkalkung, Schädigung der Augen, entzündliche Prozesse und Rheuma.</p>
Kohlenstoffdioxid (CO₂)	<p>Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Es ist ein unbrennbares, saures und farbloses Gas, das bei niedrigen Konzentrationen geruchlos ist. Es ist gut wasserlöslich. CO₂ ist kein Luftschadstoff im engeren Sinne, es ist zu etwa 0,04 % Bestandteil der „natürlichen“ Luft. CO₂ ist ein Treibhausgas, seine Emission trägt zur anthropogenen Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes bei. CO₂-Emissionen sind weitgehend proportional zum Kraftstoffverbrauch.</p>
Kohlenstoffmonoxid (CO)	<p>Kohlenstoffmonoxid (CO) ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Es ist ein farb-, geruch- und geschmackloses sowie toxisches Gas. Es entsteht u.a. bei der unvollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Stoffen bei unzureichender Sauerstoffzufuhr. CO wird vom Hämoglobin um 200- bis 300-mal stärker gebunden als Luftsauerstoff, es behindert den O₂-Transport im Blut und damit die Sauerstoffversorgung des Körpers. Konzentration oberhalb von 0,5 % führen binnen Minuten zum Tod. CO ist eine wichtige Verbindung im Komplex chemischer Umwandlungsprozesse bei der Entstehung von Sommersmog.</p>
Kohlenwasserstoffe (HC)	<p>Kohlenwasserstoffe sind eine Stoffgruppe chemischer Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Diese Stoffgruppe ist vielfältig, da Kohlenwasserstoffe Kohlenstoffketten, -ringe oder Kombinationen daraus enthalten können. Es gibt mehrere Untergruppen wie Alkane, Alkene, Alkine und Aromaten (Arene). Kohlenwasserstoffe (HC) sind hauptsächlicher Bestandteil des Kraftstoffs.</p>

Konformitätsfaktor (CF)	Der Konformitätsfaktor gibt an, um welchen Faktor die NO _x -Emissionen bei Messung auf der Straße (RDE, Real Driving Emissions) vom Euro 6-Grenzwert abweichen dürfen. Es bildet auch den Einfluss von Ungenauigkeiten des Messverfahrens ab.
Lachgas (N₂O)	Distickstoffmonoxid (N ₂ O), auch als Lachgas bekannt, ist eine chemische Verbindung aus Stickstoff und Sauerstoff und gehört zur Gruppe der Stickoxide. Es ist ein farbloses Gas. In geringen Konzentrationen wirkt N ₂ O narkotisch und wurde daher häufig zur Narkose bei leichteren, operativen Eingriffen verwendet. Das Gas kommt in der Atmosphäre zwar nur in Spuren vor, ist aber 298-mal so wirksam wie CO ₂ .
NEFZ	Der NEFZ (Neue Europäische Fahrzyklus) war bis 1. September 2017 Grundlage für die Ermittlung der Schadstoff- und CO ₂ -Emissionen sowie des Kraftstoff- bzw. Stromverbrauches im Rahmen des Typgenehmigungsverfahrens von Pkw. Die Messungen erfolgen auf anerkannten Rollenprüfständen. Der erste Teil des NEFZ (Phase 1) repräsentiert den innerstädtischen Fahrbetrieb, bei dem das Fahrzeug am Morgen gestartet (nachdem es über Nacht abgestellt war) und anschließend im Stop-and-Go-Betrieb mit einer Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h gefahren wird. Der zweite Teil (Phase 2) des Fahrzyklus repräsentiert den außerstädtischen Fahrbetrieb mit einer Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h. Die Testdauer beträgt 1.180 Sekunden bei einer Streckenlänge von 11,01 km (Phase 1 ca. 4 km, Phase 2 ca. 7 km). Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt 33,6 km/h (ohne Leerlaufphasen 44,0 km/h). Die Beschleunigungen sind mit 26 s für 0-50 km/h wenig realitätsnah definiert, sodass die Motoren nur im Bereich niedriger Leistung betrieben werden.
OBD	On-Board-Diagnose: Das seit 2004 in allen Fahrzeugen vorgeschriebene Diagnosesystem überwacht alle abgasrelevanten Systeme und meldet eine Fehlfunktion. Über eine genormte OBD2-Schnittstelle lässt sich über Diagnosegeräte der Fehlerpeicher eines Fahrzeuges auslesen. Das OBD-System greift auf den CAN-Datenbus zu.
Oxidationskatalysator (DOC)	Oxidationskatalysatoren werden zur Abgasreinigung von Dieselmotoren eingesetzt. Die im Abgas enthaltenen Kohlenwasserstoffe (HC) und Kohlenmonoxid (CO) werden in Wasser (H ₂ O) und Kohlendioxid (CO ₂) umgewandelt. Mit entsprechender Beschichtung lässt sich das NO ₂ /NO Verhältnis im Abgas erhöhen, was für eine stabile Funktion von SCR-Katalysatoren notwendig ist.
PEMS	Portable Messtechnik (PEMS, Portable Emissions Measurement Systems) zur Messung der Emissionen bei Fahrt auf der Straße (RDE, Real Driving Emissions).

RDE	<p>Um die Abgasemissionen im realen Fahrbetrieb besser abbilden zu können, wurden im Rahmen des europäischen Abgasgesetzgebungsverfahrens neben den Emissionsmessungen im vorgeschriebenen Typgenehmigungszyklus auf Abgasprüfständen direkte Messungen der Emissionen bei Fahrt auf der Straße (RDE, Real Driving Emissions) unter Einsatz portabler Messtechnik (PEMS, Portable Emissions Measurement Systems) aufgenommen. So soll sichergestellt werden, dass die Automobilindustrie Abgastechniken einsetzt, die wirksam Emissionen über alle Betriebszustände verringern.</p> <p>Teil der RDE-Gesetzgebung ist eine Prozedur der Bewertung von Straßenfahrten, die ein ausgewogenes Verhältnis von Stadt-, Land- und Autobahnfahrt sicherstellt und extreme Fahrweisen ausschließt.</p>
Referenzkraftstoff	<p>Die Anforderungen an Referenzkraftstoffe (Bezugskraftstoffe) für Emissionsmessungen sind in Anhang IX der VO (EU) 2017/1151 festgeschrieben. Damit wird sichergestellt, dass nur qualitätsgeprüfte Kraftstoffe für die Messungen verwendet werden.</p>
SCR-Technik	<p>Bei der SCR-Technologie (Selective Catalytic Reduction) werden die Stickoxidemissionen (NO_x), die während des Verbrennungsprozesses im Dieselmotor entstehen, nachmotorisch in einem Katalysator in elementarem Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) umgewandelt. Notwendig hierfür ist Ammoniak als Reduktionsmittel, das im Fahrzeug aus AdBlue[®] gebildet wird. Es wird in einem separaten Tank im Fahrzeug mitgeführt und wird bedarfsgerecht in den Abgastrakt eingespritzt.</p>
Stickoxide (NO_x)	<p>Unter Stickoxiden (NO_x) werden Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) subsumiert. Zwischen NO und NO_2 stellt sich nach der Emission ein chemisches Gleichgewicht ein (unter Sommersmog-Bedingungen innerhalb von Sekunden bis Minuten). Daher trägt auch der NO-Anteil an den NO_x-Emissionen zur NO_2-Immissionsbelastung bei.</p>
Stickstoffdioxid (NO_2)	<p>NO_2 ist ein Reizgas für den Atemtrakt, löst sich in Schleimhäuten und erhöht die Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern. Ferner bildet es die Grundlage für weitere schädlich wirkende Stoffe des Sommersmog-Komplexes wie z.B. Ozon (O_3).</p>
Stickstoffmonoxid (NO)	<p>Aus NO kann sich unter Einwirkung von Sauerstoff und anderen Oxidationsmitteln NO_2 bilden. Dementsprechend ist es also wesentlich, sich bei der Minderung von NO_x nicht nur auf NO_2 zu fokussieren, sondern auch die Emissionen von NO zu verringern, da sich daraus rasch NO_2 bilden kann – mit den dargestellten negativen Auswirkungen.</p>

<p>WLTC</p>	<p>Der WLTC (Worldwide harmonized Light Duty Test Cycle) ist der Prüfzyklus im Rahmen des neuen Messverfahren WLTP (Worldwide harmonized Light Duty Test Procedure) und löst somit den NEFZ ab. Die Messungen erfolgen auf anerkannten Rollenprüfständen.</p> <p>Der WLTC umfasst je nach Fahrzeugklasse verschiedene Teil-Zyklen, welche mittlere Fahrweisen von innerstädtischen bis Autobahn-Verkehr abbilden (siehe WLTP). Die Dauer der einzelnen Teil-Zyklen ist in den drei Klassen identisch: low 589 Sekunden, medium 433 Sekunden, High 455 Sekunden, extra-high 323 Sekunden. Sie unterscheiden sich jedoch in den Beschleunigungs- und Geschwindigkeitswerten.</p>
<p>WLTP</p>	<p>Um realitätsnähere Verbrauchsangaben zu erhalten, hat die UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) im Auftrag der EU-Kommission einen neuen Prüfzyklus WLTC (Worldwide harmonized Light Duty Test Cycle) und ein neues Messverfahren WLTP (Worldwide harmonized Light Duty Test Procedure) zur Ermittlung der Schadstoff- und CO₂-Emissionen sowie des Kraftstoff- bzw. Stromverbrauches entwickelt. Das neue Prüfverfahren wurde mit VO (EU) 2017/1151 in das Typgenehmigungsverfahren übernommen und ist seit 1. September 2017 für neue Pkw-Modelle vorgeschrieben.</p> <p>Im WLTP sind zahlreiche Bedingungen definiert, dazu zählen unter anderem Schaltvorgänge, Gesamtfahrzeuggewicht (einschließlich Zusatzausstattung, Fracht und Passagiere), Kraftstoffqualität, Umgebungstemperatur sowie Reifenwahl und -druck.</p> <p>Das WLTP definiert drei Fahrzeugklassen entsprechend dem Leistungsgewicht P_{mr} (Motorleistung/Leergewicht in W/kg), für die mehrere Messzyklen WLTC festgelegt wurden. Die Dauer der einzelnen Teil-Zyklen ist in den drei Klassen identisch, sie unterscheiden sich aber in den Beschleunigungs- und Geschwindigkeitswerten.</p> <p>Klasse 1: Fahrzeuge mit $P_{mr} \leq 22$ W/kg; Zyklen: low, medium, low</p> <p>Klasse 2: Fahrzeuge mit 22 W/kg $< P_{mr} \leq 34$ W/kg; Zyklen: low, medium, high, extra-high</p> <p>Klasse 3: Fahrzeuge mit $P_{mr} > 34$ W/kg; Zyklen: low, medium, high, extra-high. Klasse 3 wird abhängig von der Höchstgeschwindigkeit noch weiter in 3-1 (< 120 km/h) und 3-2 (> 120 km/h) unterteilt.</p> <p>Für den deutschen Automarkt ist weitgehend nur die Klasse 3b relevant, da Fahrzeuge mit einem Leistungsgewicht < 34 W/kg kaum vorkommen und auf Autobahnen schneller als 120 km/h gefahren werden darf.</p>