
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)

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 Ergebnisse	7
4	Vorgehensweise und Methodik.....	16
4.1	Prämissen	16
4.2	Testfahrzeuge	16
4.3	Hardware-Nachrüstungen	16
4.4	So wird getestet	17
4.5	So wird ausgewertet.....	21
5	Detailergebnisse – Fiat Ducato 130 Multijet 2.3 D (HJS)	22
5.1	Testfahrzeug – Fiat Ducato*	22
5.2	SCR-Nachrüstung (HJS Emissions Technology GmbH & Co. KG).....	23
5.3	Messergebnisse im Detail	24
5.3.1	Abgasemissionen im Serienzustand.....	24
5.3.2	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests	25
5.3.3	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstests nach 10.000 km	26
5.3.4	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstests nach 20.000 km	26
5.3.5	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstests nach 30.000 km	27
5.3.6	Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung	28
5.3.7	Emissionsverhalten der gesetzlich limitierten Schadstoffe.....	30
5.3.8	Ausstoß von NH ₃ -Emissionen und Sekundär-Emissionen – Fiat Ducato	31
5.3.9	CO ₂ -Emissionen und Kraftstoffverbrauch	32
5.3.10	Testtagebuch Alltagstest – Fiat Ducato (HJS)	34
6	Detailergebnisse – VW T5 Multivan 2.0 TDI (Oberland-Mangold).....	36
6.1	Testfahrzeug – VW T5	36
6.2	SCR-Nachrüstung (Oberland-Mangold Katalysatortechnik GmbH).....	37
6.3	Messergebnisse im Detail	38
6.3.1	Abgasemissionen im Serienzustand.....	38
6.3.2	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests	39
6.3.3	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 10.000 km	40
6.3.4	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 20.000 km	40
6.3.5	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 30.000 km	41
6.3.6	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 40.000 km	42
6.3.7	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 50.000 km	42
6.3.8	Abgasemissionen nach Ende Alltagstest ohne SCR.....	43

6.3.9	Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung	44
6.3.10	Emissionsverhalten der gesetzlich limitierten Schadstoffe.....	47
6.3.11	Ausstoß von NH ₃ -Emissionen und Sekundär-Emissionen – VW T5	47
6.3.12	CO ₂ -Emissionen und Kraftstoffverbrauch	48
6.3.13	Testtagebuch Alltagstest – VW T5 (Oberland-Mangold).....	50
7	Detailergebnisse – Opel Astra 1.7 CDTI (Twintec)	53
7.1	Testfahrzeug – Opel Astra.....	53
7.2	SCR-Nachrüstung (Twintec Baumot Technologie GmbH)	54
7.3	Messergebnisse im Detail	55
7.3.1	Abgasemissionen im Serienzustand.....	55
7.3.2	Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung vor Beginn des Alltagstests	56
7.3.3	Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km.....	57
7.3.4	Abgasemissionen Alltagstest nach 20.000 km.....	57
7.3.5	Abgasemissionen Alltagstest nach 30.000 km.....	58
7.3.6	Abgasemissionen Alltagstest nach 40.000 km.....	59
7.3.7	Abgasemissionen Alltagstest nach 50.000 km.....	59
7.3.8	Abgasemissionen nach Ende Alltagstest ohne SCR.....	60
7.3.9	Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung	60
7.3.10	Emissionsverhalten der gesetzlich limitierten Schadstoffe.....	63
7.3.11	Ausstoß von NH ₃ -Emissionen und Sekundär-Emissionen – Opel Astra	64
7.3.12	CO ₂ -Emissionen und Kraftstoffverbrauch	66
7.3.13	Testtagebuch Alltagstest – Opel Astra (Twintec)	67
8	Abbildungsverzeichnis.....	71
9	Tabellenverzeichnis.....	73
10	Quellenverzeichnis	75
11	Glossar.....	76

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, möglichst ohne die individuelle Mobilität durch Fahrverbote einzuschränken.

Deshalb geht der Einsatz des ADAC für die Hardware-Nachrüstung zur Reduktion der Stickoxidemissionen (NO_x) von Dieselfahrzeugen 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, die Funktions- und Leistungsfähigkeit von SCR-Systemen im alltäglichen Dauerbetrieb zu testen.

Diese zweite Testreihe war die Fortsetzung eines ersten, vom baden-württembergischen Verkehrsministerium geförderten Projekts des ADAC Württemberg e.V. im vergangenen Winter 2017/18. 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 des aktuellen Projekts bildete ein Alltagstest, bei dem die bereits im ersten Förderprojekt des ADAC Württemberg e.V. eingesetzten Fahrzeuge nach Optimierung durch die Nachrüster mindestens 50.000 Kilometer zurücklegen haben – im Stadtverkehr sowie auf Landstraßen und Autobahnen. Dabei wurde die Funktionsstabilität der Systeme unter verschiedenen klimatischen Bedingungen wie Hitze, Kälte, Regen und Schnee untersucht. Um die NO_x-Emissionen regelmäßig zu ermitteln, mussten sich die Testwagen alle 10.000 Kilometer auf den Abgasprüfstand einer Untersuchung nach WLTC unterziehen. Zum Untersuchungsumfang des Projekts gehörten auch mehrere Emissionsmessungen im realen Straßenverkehr.

Der Projektplan sah auch eine Reihe Sondermessungen vor. Dazu gehörten etwa Messungen von nichtlimitierten Schadstoffen wie Ammoniak (NH₃) oder des klimagefährdenden Lachgases (N₂O), Prüfungen des Tieftemperaturverhaltens.

Neben dem von der Firma Twintec Baumot umgerüsteten Opel Astra 1.7 CDTI waren zwei leichte Nutzfahrzeuge (VW T5 von Oberland-Mangold und Fiat Ducato von HJS) im Test. Wegen eines unverschuldeten Verkehrsunfalls mit nicht reparablem Fahrzeugschaden musste der Dauerfahrttest mit dem Fiat Ducato in dem vorliegenden Berichtszeitraum nach 33.000 km vorzeitig beendet werden. Der Mercedes B 180 CDI der Firma Dr. Pley SCR-Technology GmbH hatte aus unternehmensinternen Gründen nicht mehr an diesem Projekt teilgenommen.

In einem ersten Schritt bekamen die beteiligten Nachrüsterunternehmen im Juli/August 2018 die Gelegenheit, ihre jeweiligen Prototypen in den Testfahrzeugen technisch auf den damals neuesten Stand zu bringen. Das Lastenheft schrieb 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. Die Fahrzeuge wurden 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.

Ende August 2018 begann der Dauerfahrttest und endete im Januar 2019, somit konnte das breite klimatische Spektrum von Sommerhitze bis Winterkälte abdeckt werden.

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 [1].

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

Alltagstest über 50.000 km zur Überprüfung der mechanischen Belastbarkeit und der Systemstabilität

Die in diesem Projekt nachgerüsteten Fahrzeuge wurden über eine Distanz von mindestens 50.000 km gefahren und besondere Vorkommnisse oder mögliche Systemausfälle in einem Testtagebuch dokumentiert. Alle 10.000 km wurden die Abgasemissionen im WLTC- und BAB-Zyklus auf dem Abgasprüfstand ermittelt, um die Leistungsfähigkeit der SCR-Systeme über die Laufzeit zu dokumentieren.

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

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

Überprüfung des Nieder-/Hochtemperaturverhaltens

Um das Systemverhalten bei unterschiedlichen Außentemperaturen zu dokumentieren, wurden bei besonderen Temperatur-/Wetterlagen (Sommer, Herbst, Winter) PEMS-Messungen auf der Straße durchgeführt. Der Verlauf der Teststrecke schloss Stadtfahrten bei niedriger Motorlast und infolgedessen niedrigen Abgastemperaturen ein. Ebenso kam es zu einer Anzahl von Kaltstarts bei unterschiedlichen Außentemperaturen.

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 wurde daher auch der Ausstoß von nichtlimitierten Schadstoffen wie Ammoniak (NH₃) und Lachgas (N₂O) untersucht.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Am 21. Dezember 2018 wurden durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) die Anforderungen für SCR-Nachrüstsysteme im Pkw-Bereich verabschiedet. Die Richtlinie mit dem Titel „*Technische Anforderungen an Stickoxid (NO_x)-Minderungssysteme mit erhöhter Minderungsleistung für die Nachrüstung von Pkw und Pkw-ähnlichen Fahrzeugen (NO_xMS-Pkw)*“ definiert die Eigenschaften und Minderungsleistungen von Nachrüstsystemen. Die Richtlinie wurde am 11. Januar 2019 im Bundeanzeiger veröffentlicht [2].

Den Kernpunkt der Richtlinie bildet der definierte NO_x-Grenzwert von 270 mg/km, der bereits im Herbst 2018 im Entwurf der Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) genannt wurde [3]. Das Prüf- und Genehmigungsverfahren sieht vor, dass der NO_x-Grenzwert im Realbetrieb (RDE) in einem Temperaturbereich von 5 °C bis 30 °C eingehalten werden muss. Bei niedrigeren Temperaturen (4 °C bis -3 °C) dürfen die geminderten NO_x-Werte um den Faktor 2 höher liegen (540 mg/km), bei Temperaturen über 30°C liegt der Faktor bei 1,6 (432 mg/km). Zudem wurde in der Richtlinie festgelegt, dass der CO₂-Ausstoß durch SCR-Nachrüstung um maximal 6 % ansteigen darf.

Die Dauerhaltbarkeit der NO_x-Minderungssysteme muss laut Richtlinie durch entsprechenden Nachweis des Herstellers bestätigt werden. Die Funktionsfähigkeit des Systems muss bei bestimmungsgemäßem Betrieb über eine Kilometerleistung von 100.000 km oder über eine Lebensdauer von bis zu fünf Jahren (je nachdem, was zuerst erreicht wird) gewährleistet werden.

Auch nach 50.000 km Alltagstest sind die SCR-Nachrüstsysteme noch voll leistungsfähig – die Zuverlässigkeit muss für den Serieneinsatz aber verbessert werden

Fünf Monate dauerte es, bis die Testfahrzeuge die 50.000 km Alltagstest absolviert hatten. 72-mal wurde dabei die 700 km lange Dauerlaufstrecke umrundet. Nach Abschluss des Tests zeigt sich in den Ergebnissen ein differenziertes Bild.

Erfreulich: Die prinzipielle Leistungsfähigkeit der SCR-Katalysatoren hat auch nach 50.000 km nicht nachgelassen. Die Minderungsraten liegen auf ähnlichem Niveau wie zu Beginn des Alltagstest. Eine kontinuierlich nachlassende Performance z.B. durch Alterung der SCR-Katalysatoren konnte innerhalb der 50.000 km nicht festgestellt werden.

Dieser positive Befund gilt für die Zuverlässigkeit nur mit Abstrichen: Die in wenigen Wochen durch die Nachrüster aufgebauten und auf das jeweilige Testfahrzeug abgestimmten SCR-Systeme waren in diesem Entwicklungsstadium noch nicht in der Lage, eine durchgehend zuverlässige Funktion zu gewährleisten: Temporäre Systemausfälle und mechanische Defekte an SCR-Komponenten zeigten sich ebenso wie ein zeitweilig instabiles Energiemanagement. Die Folge: Mehrere Nachbesserungen durch die Nachrüster an mechanischen Komponenten, Sensorik und Energieversorgung waren nötig.

Für den möglichen Serieneinsatz gilt: Die mechanische Dauerhaltbarkeit der SCR-Komponenten, die Vermeidung von Ablagerungen sowie ein stabiles und effizientes Energiemanagement scheinen die bisher größte Herausforderungen einer serientauglichen SCR-Nachrüstung zu sein. Hier müssen die Nachrüster ansetzen, um angelehnt an die in der Nachrüstrichtlinie festgelegten Dauerhaltbarkeitsanforderungen den Kunden entsprechende zeit-

sowie lauffleistungsbezogene Garantien auf ihre Nachrüstsysteme zu gewähren. Denn der Autofahrer muss sich darauf verlassen können, ein zuverlässiges und dauerhaftes Produkt zu erwerben, das ohne Sorge vor Folgekosten die Mobilität in den kommenden Jahren sichert.

SCR-Nachrüstsysteme mit weitgehend serienproben Komponenten funktionierten im Alltagstest zuverlässiger als Systeme mit speziell entwickelten Bauteilen

Weitgehend aus serienproben Komponenten besteht das SCR-System des Fiat Ducato: Das Testtagebuch verzeichnet mit Ausnahme von zwei temporären Systemausfällen (Details siehe Testtagebuch) keine relevanten Störungen. Bis zur 30.000 km Zwischenmessung zeigte das Fahrzeug eine stabile NO_x-Reduktion und spulte ohne nennenswerte Defekte den Alltagstest ab. Kurz nach Start der vierten Etappe des Dauerlaufs geriet das Fahrzeug jedoch unverschuldet in einen Verkehrsunfall. Wegen des nicht reparablen Fahrzeugschadens musste der Alltagstest mit diesem Fahrzeug vorzeitig abgebrochen werden. Auch wenn die letzten 20.000 km des Alltagstests nun fehlen, kann zumindest für die absolvierte Teststrecke ein positives Fazit gezogen werden: HJS setzt beim Ducato weitgehend auf Serienteile der Modellvariante mit Euro 6b. Dieses Konzept scheint in großen Teilen zuverlässig zu funktionieren und bietet somit das Potential, zeitnah zu einem serienreifen SCR-Nachrüstsystem weiterentwickelt zu werden.

Oberland Mangold setzt beim VW T5 teilweise auf Serienteile, die im VW T6 zum Einsatz kommen. Diese Bauteile, bestehend aus AdBlue[®]-Tankeinheit inklusive aller Leitungen, sind bereits dauererprobt und erwiesen sich auch im Alltagstest als robust. Lange Zeit spulte auch der VW den Test ohne Auffälligkeit ab. Doch nach 30.000 km zeigte sich eine plötzliche Verschlechterung der NO_x-Emissionswerte. Der Grund: Im von Oberland Mangold entwickelten externen Hydrolyse-Reaktor, der für die AdBlue[®]-Aufbereitung zuständig ist, bildeten sich mit der Zeit Ablagerungen, die in der Folge die Funktionsfähigkeit des Systems einschränkten. Die Fehlfunktion konnte durch Oberland Mangold zwar schnell behoben werden, indem die Ablagerungen entfernt wurden. Für einen Serieneinsatz wäre das allerdings keine Lösung. Hier muss bis zur Serienreife noch Entwicklungsarbeit geleistet werden, um die Dauerhaltbarkeit garantieren zu können. Entwicklungsbedarf gibt es auch noch bei den NO_x-Minderungsraten. Insbesondere bei höheren (Autobahn-)Geschwindigkeiten fällt die Minderungsrate noch sehr gering aus.

Der dritte im Bunde ist der Opel Astra. Ein Fahrzeug, das unabhängig von der SCR-Nachrüstung im Alltagstest nicht gerade mit Zuverlässigkeit punktete und mehrmals außerplanmäßig in der Werkstatt vorstellig werden musste. Es sei jedoch angemerkt, dass der Astra die mit Abstand höchste Gesamtfahrleistung auf dem Tacho stehen hat (140.000 km). Das SCR-System für den Opel musste von der Nachrüfstirma Twintec bereits im ersten Projekt von 2017/2018 über die grundsätzliche Machbarkeit und Wirksamkeit komplett neu entwickelt und angepasst werden, da für dieses Fahrzeug keinerlei SCR-Serienbauteile verfügbar waren. Sowohl die eingeschränkten Platzverhältnisse als auch die ungünstig verbaute Abgasanlage stellten für die Entwickler eine besondere Herausforderung dar. Die Ergebnisse des Alltagstest zeigen, dass hier noch erhöhter Entwicklungsaufwand notwendig ist. Das Testtagebuch verzeichnet mehrere Ausfälle und entsprechende Nachbesserungen. Dazu gehören eine undichte Kühlwasserleitung, eine nicht funktionierende Füllstandanzeige des AdBlue[®]-Tanks, sowie ein mechanischer Defekt einer Abgasleitung zum Hydrolyse-Reaktor. Auch das Energiemanagement bzw. die Energieversorgung erwiesen sich als noch nicht serientauglich. Die Zusatzbatterie im Kofferraum konnte durch den fahrzeugseitigen Generator nicht unter allen Bedingungen zuverlässig aufgeladen werden. In der Folge wurde das SCR-System unter bestimmten Fahrsituationen vorsichtshalber deaktiviert bzw. die Dosierraten herabgesetzt, um die stabile Energieversorgung der (sicherheitsrelevanten) Fahrzeugsysteme durch Überlastung des Bordnetzes nicht zu gefährden.

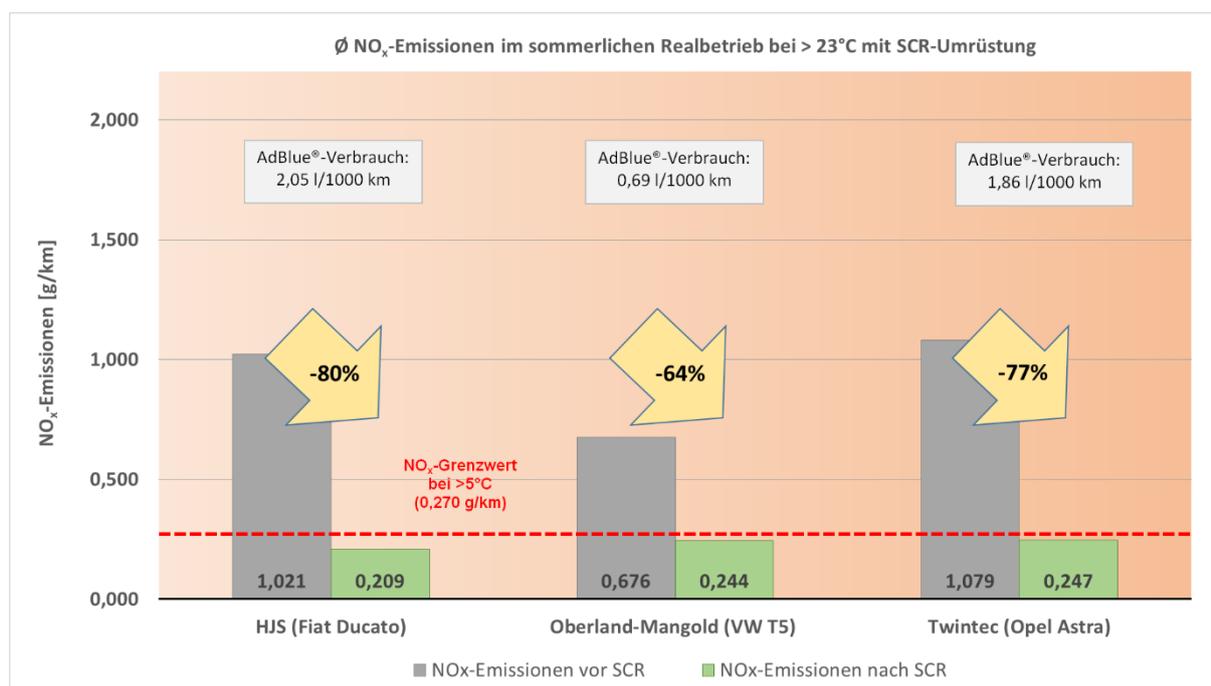
Trotz dieser offenkundigen Schwierigkeiten beweist das System von Twintec, dass SCR-Nachrüstung prinzipiell auch bei solch ungünstigen Fahrzeugtypen möglich ist. Die Entwicklung von serienreifen Lösungen für solche Fahrzeuge erfordert jedoch weitere technische Kreativität und wohl auch noch etwas Zeit.

Bei sommerlichen Temperaturen wird der NO_x-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 hohe Niveau der Serienemissionen ist einerseits erschreckend, die Messungen mit SCR-Nachrüstung stimmen aber zuversichtlich.

Selbst unter günstigen äußeren Bedingungen bei Temperaturen ab 23 °C werden von den drei Testfahrzeugen im Realbetrieb ungereinigte Serienemissionen von rund 700 bis 1.100 Milligramm Stickoxid (NO_x) pro Kilometer emittiert. Obwohl die Werte um ein Vielfaches über dem Prüfstand-Grenzwert der Abgasnorm Euro 5 liegen, gelang es allen drei SCR-Systemen, durch die Nachbehandlung der Abgase mithilfe von Katalysatoren und dem Harnstoff AdBlue® die Emissionen deutlich zu vermindern. Die gemessenen Reduktionsraten liegen im RDE-Test zwischen 64 und 80 Prozent und drücken den NO_x-Ausstoß der getesteten Fahrzeuge auf oder unter den Grenzwert von 270 mg/km, der laut Nachrüstrichtlinie im Temperaturbereich von +5 °C bis +30 °C unterschritten werden muss.

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



Herbstliche Temperaturen lassen die Serienemissionen der Fahrzeuge drastisch ansteigen. SCR-Nachrüstung wirkt auch hier mit beachtlicher NO_x-Reduktionsrate

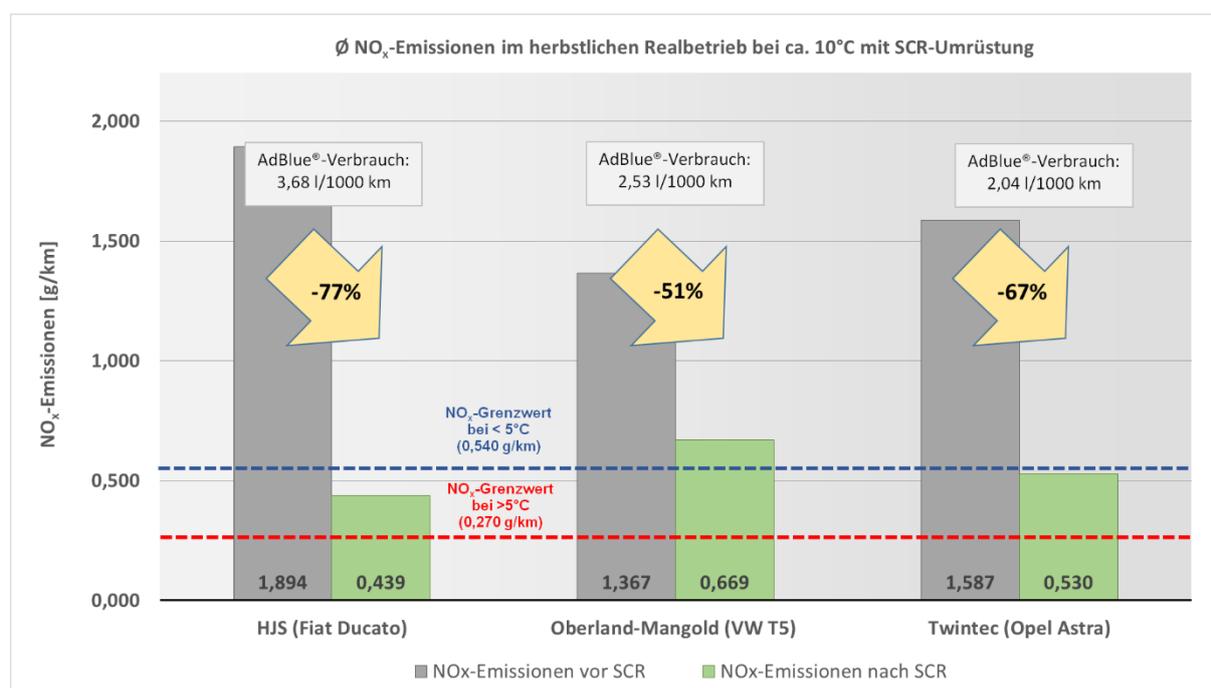
Niedrige Außentemperaturen sorgten für deutlich erhöhte Serienemissionen der drei umgerüsteten Fahrzeuge - teilweise verdoppelten sich die Serienemissionen gegenüber der RDE-Messung bei sommerlichen Temperaturen auf bis zu knapp zwei Gramm Stickoxid pro Kilometer. Und das, obwohl sich die herbstlichen Messungen noch in einem Temperaturbereich

bewegten, der der deutschen Jahresdurchschnittstemperatur entspricht (ca. 9,5°C). Die SCR-Nachrüstsysteme zeigten bei 10°C Außentemperatur immer noch eine hohe Minderungsleistung, auch wenn diese insgesamt etwas geringer ausfiel, als noch bei sommerlichen Temperaturen. Das liegt vor allem daran, dass die SCR-Systeme unabhängig von der Motorsteuerung arbeiten und nach Kaltstart länger benötigen, um auf Temperatur zu kommen. Die gemessenen NO_x-Reduktionsraten lagen aber immer noch bei hohen 51 bis 77 Prozent. Der Ausstoß an Stickoxiden sinkt dadurch zwar deutlich, der absolute NO_x-Wert liegt jedoch selbst dann noch bei mindestens 400 mg/km.

Die herbstlichen Messungen zeigen, dass die Serienemissionen bereits bei Temperaturen um 10 °C massiv ansteigen. Obwohl die getesteten Nachrüstsysteme auch in diesem Temperaturbereich einen noch guten Wirkungsgrad aufweisen, lagen die geminderten Emissionen deutlich über den 270 mg/km, der Minderungswert von 540 mg/km für niedrige Temperaturen könnte jedoch erreicht werden. Die Messungen zeigen, dass die Serienemissionen bereits bei Temperaturen von rund +13 °C je nach Modell stark ansteigen können (Stichwort Thermofenster). Der Verschlechterungsfaktor für niedrige Temperaturen greift jedoch erst bei +5°C.

Es scheint, als gehöre der Temperaturbereich zwischen +5°C und +13°C zu den größten Herausforderungen, den Grenzwert einzuhalten. Denn der Gesetzgeber geht in der Nachrüstrichtlinie davon aus, dass sich das Fahrzeug hier noch im Betriebsmodus für normale Temperaturen befindet und kein Verschlechterungsfaktor notwendig ist. Die Praxis zeigt aber, dass die Fahrzeughersteller ein anderes Verständnis für niedrige Außentemperaturen aufweisen und die serienmäßige Abgasreinigung bereits in diesem Temperaturbereich stark drosseln. Die sehr hohen Serienemissionen bekommen dann selbst wirkungsvolle Nachrüstsysteme nicht mehr ausreichend in den Griff, auch wenn die Stickoxide absolut gesehen um bis zu 1.400 mg/km reduziert werden können. Ein Update der Motorsteuerung durch den Fahrzeughersteller, welche z.B. die Nutzung der Abgasrückführung in diesem Temperaturbereich verbessert, hätte das Potenzial, die absolute Minderung der SCR- Nachrüstsysteme noch einmal deutlich zu verbessern.

Abbildung 2 NO_x-Emissionen im herbstlichen Realbetrieb (RDE-Messung)

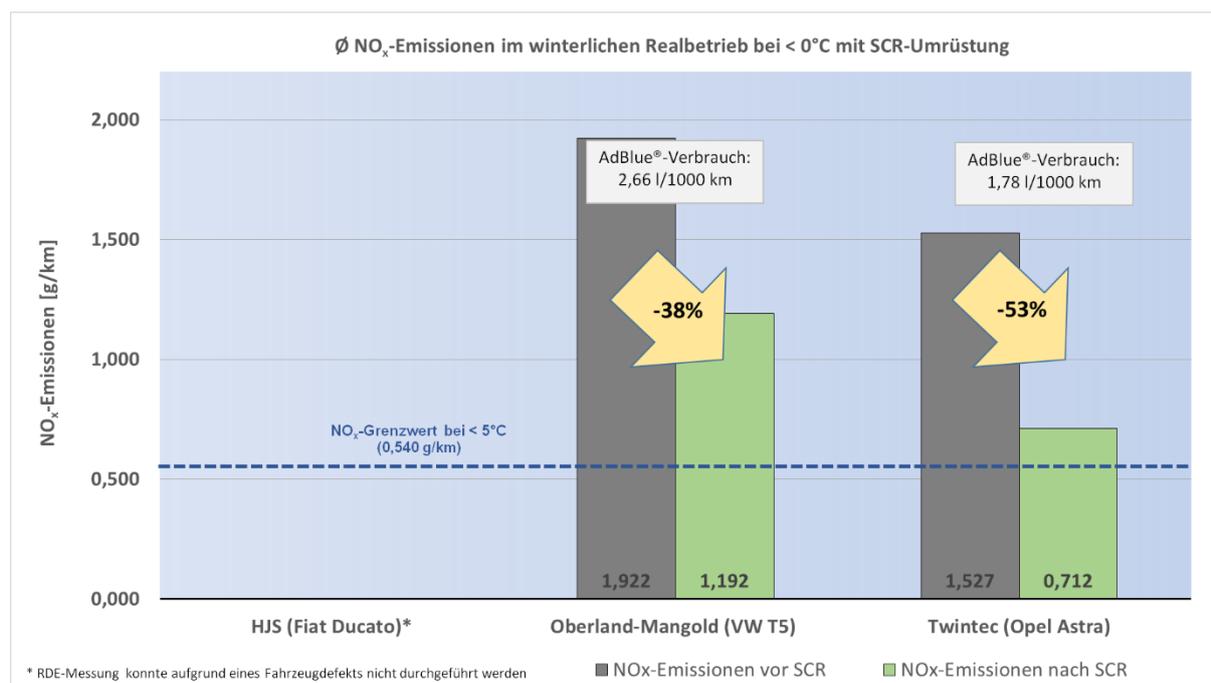


Im Winter nimmt die Leistungsfähigkeit der SCR-Nachrüstsysteme zwar deutlich ab, eine annehmbare NO_x-Reduktion findet aber dennoch statt

Bei winterlichen Außentemperaturen um den Gefrierpunkt können die Serienemissionen wie im Falle des VW T5 Multivan weiter ansteigen. Der Opel Astra zeigt dagegen, dass sich ab einem gewissen Temperaturniveau die Serienemissionen auf stabilem Niveau einpendeln. Die Außentemperatur an sich hat also kaum Einfluss auf die Höhe des Stickoxidausstoßes, sondern viel mehr die Strategie des Fahrzeugherstellers, wann und in welchem Umfang die Abgasnachbehandlung zurückgefahren wird. Da die Nachrüster diese Strategie nicht kennen, ist die Systemapplikation über den gesamten Temperaturbereich besonders herausfordernd.

Die Minderungsraten im winterlichen Betrieb liegen immer noch bei annehmbaren 38 bis 53 Prozent. Die absoluten geminderten NO_x-Emissionen liegen zwischen 700 mg (Opel) und 1.200 mg (VW). Der NO_x-Grenzwert für niedrige Temperaturen (540 mg/km) wird so zwar teils recht deutlich überschritten, liegt aber zumindest im Falle des Opel im technisch machbaren Bereich. Ein besonders ausgereiftes Energiemanagement, eine effiziente Aufheizstrategie des SCR-Systems und eine gute Wärmekapselung der SCR-Komponenten können dazu beitragen, diesen ambitionierten Grenzwert zu erreichen.

Abbildung 3 NO_x-Emissionen im winterlichen Realbetrieb (RDE-Messung)



Bei kühlen Außentemperaturen steigen nicht nur die Serienemissionen, auch die Warmlaufphase des SCR-Systems verlängert sich

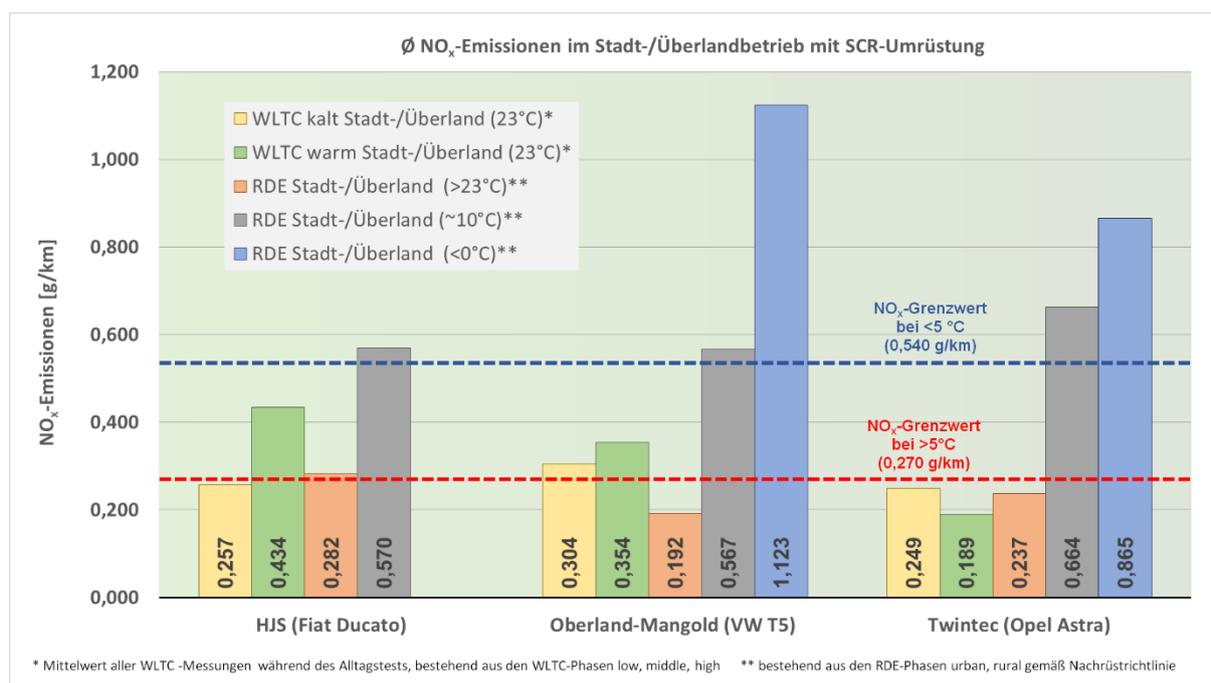
Betrachtet man den Stadt- und Überlandbetrieb, liegen die NO_x-Emissionen des Opel Astra im WLTC sowohl direkt nach Motorstart als auch mit betriebswarmem Motor deutlich unter dem vorgeschlagenen NO_x-Grenzwert von 270 mg/km. Das bestätigt auch die RDE-Messung bei sommerlichen Temperaturen. Die beiden 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 (M1 für soziale Zwecke) homologiert sind. Daher gilt für beide Fahrzeuge ein

NO_x-Zulassungswert von 280 mg/km (statt 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.

Im herbstlichen Betrieb steigen die Serienemissionen deutlich an. Hinzu kommt die längere Warmlaufphase, bis die Abgastemperatur für den Betrieb des SCR-Nachrüstsystem ausreichend hoch ist. In der Summe steigen somit die absoluten Emissionen im Stadt-/Überlandteil gegenüber den Messungen bei wärmeren Temperaturen deutlich an.

Bei sehr niedrigen Temperaturen im Winter wird deutlich, wie wichtig eine effiziente Aufheizstrategie und gut isolierte SCR-Komponenten sind. Die Emissionen direkt nach dem Kaltstart liegen sehr hoch.

Abbildung 4 NO_x-Emissionen Stadt-/Überland im WLTC kalt/warm und RDE



Erhöhter Energiebedarf von SCR-Nachrüstsystem lässt den Kraftstoffverbrauch ansteigen – für den Serieneinsatz ist ein effizientes Energiemanagement gefordert

In der Pkw-Nachrüstrichtlinie wurde festgelegt, dass der Mehrverbrauch bzw. der Mehrausstoß an CO₂ max. 6 Prozent betragen darf. Diese Begrenzung des Mehrverbrauchs ist sinnvoll, um den Mehrausstoß des Treibhausgases CO₂ zu limitieren und vor allem die Mehrkosten für den Autofahrer aufgrund eines Verbrauchsanstiegs möglichst gering zu halten.

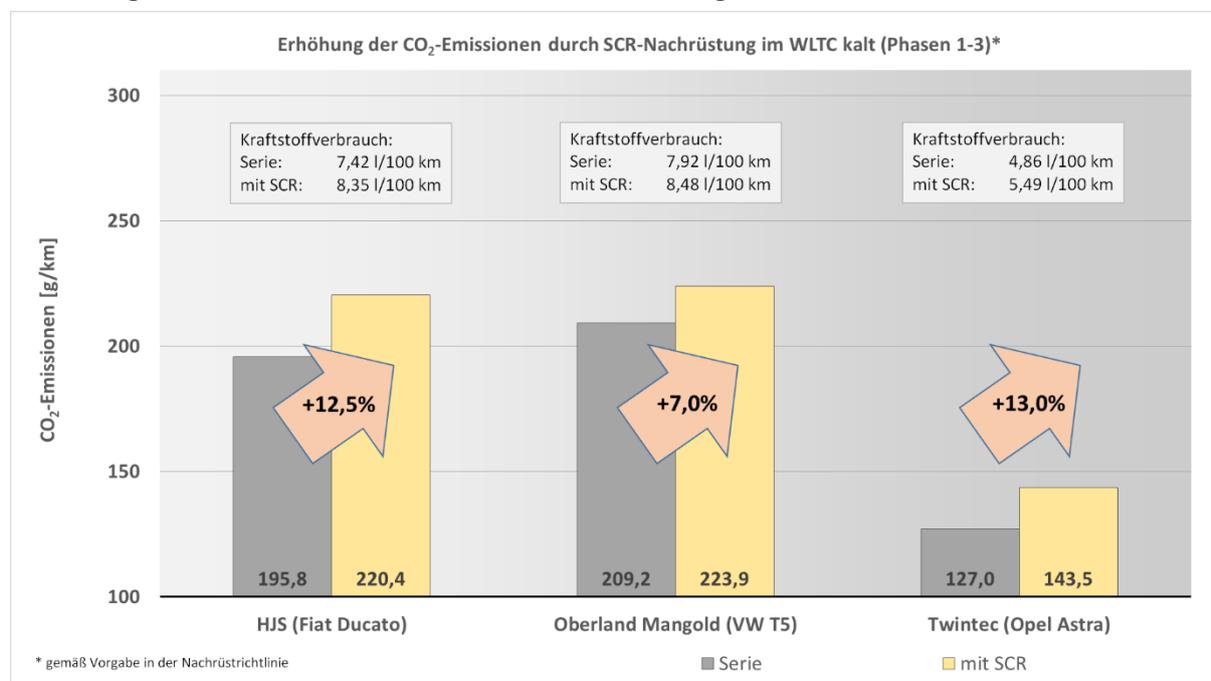
Als Prüfverfahren wurde in der Richtlinie eine Vermessung des Fahrzeuges auf dem Prüfstand vor und nach Umrüstung definiert. Das gibt durchaus Sinn, da nur im Labor reproduzier- und somit vergleichbare Werte zum Kraftstoffverbrauch ermittelt werden können. Eine RDE-Messfahrt ist hierzu ungeeignet, da die Verkehrsbedingungen und der Fahrstil einen wesentlichen Einfluss auf den Verbrauch haben. Die Auswertung des Mehrverbrauchs über die ersten drei Phasen des WLTC berücksichtigt gezielt den direkt nach dem Kaltstart höheren Energieverbrauch, der zum Aufheizen des SCR-Systems nötig ist. Die Anforderungen sind für die Nachrüster besonders herausfordernd, was die Auswertungen der WLTC-Messungen während des Alltagstests zeigen. Der Mehrverbrauch und Mehrausstoß an CO₂ liegt bei allen drei Fahrzeugen teils deutlich über dem zulässigen Erhöhungsfaktor. Während das System von Oberland-Mangold im VW T5 mit einem Mehrverbrauch von 7 Prozent auskommt und nahe

am zulässigen Mehrverbrauch liegt, liegen der Wert des Fiat Ducato (HJS) und des Opel Astra (Twintec) mit 12 bis 13 Prozent deutlich darüber. Beim Opel Astra ist eine Überarbeitung des Energiemanagementsystems nötig, das für den hohen Mehrverbrauch verantwortlich ist. Beim Fiat Ducato konnte aufgrund des vorzeitigen Ausfalls des Fahrzeuges durch einen Unfall die Ursache nicht mehr endgültig ermittelt werden. Der elektrische Heizkatalysator, der zur Anhebung der Abgastemperatur nach dem Kaltstart verbaut wurde, kann hier Anteil haben. Es gilt zu beachten, dass beim Ducato keine Prüfung erfolgen konnte, ob sich der Kraftstoffverbrauch im Serienzustand im Laufe des Alltagstests verändert hat und ein Teil des Mehrverbrauchs somit fahrzeugseitig ursächlich ist.

Betrachtet man den Kraftstoffmehrverbrauch über alle durchgeführten Messungen und Betriebszustände, fällt dieser deutlich geringer aus, als bei Betrachtung des reinen Zulassungstests, der speziell den schlechtesten Fall mit Kaltstart abbildet. Im Durchschnitt über alle durchgeführten Messungen steigt der Verbrauch um rund neun Prozent. Der absolute Mehrverbrauch liegt je nach Messzyklus zwischen 0,46 Liter (Opel Astra) und 0,68 Liter (Fiat Ducato) pro 100 Kilometer. Während nach dem Kaltstart der Mehrverbrauch am höchsten ausfällt, wird bei warmem Motor auf der Autobahn kaum zusätzliche Energie benötigt. Der Mehrverbrauch liegt bei Autobahnfahrt bei nur noch zwei bis vier Prozent.

In der Nachrüstrichtlinie wird lediglich ein zulässiger prozentualer CO₂-Anstieg vorgegeben und kein absoluter Wert. Besonders sparsame Fahrzeuge sind somit benachteiligt, weil der absolute zulässige Mehrverbrauch sehr gering ausfällt. Der absolute Mehrverbrauch des Opel Astra liegt auf ähnlichem Niveau wie beim VW T5. Da der Serienverbrauch des VW T5 jedoch deutlich höher liegt, liegt der prozentuale Mehrverbrauch bei lediglich 7,0 Prozent, während der Opel Astra bei 13,0 % Prozent. Die Entwicklung einer SCR-Nachrüstung ist für sparsame Fahrzeugmodelle dadurch deutlich anspruchsvoller, als für Fahrzeuge mit hohem Kraftstoffverbrauch.

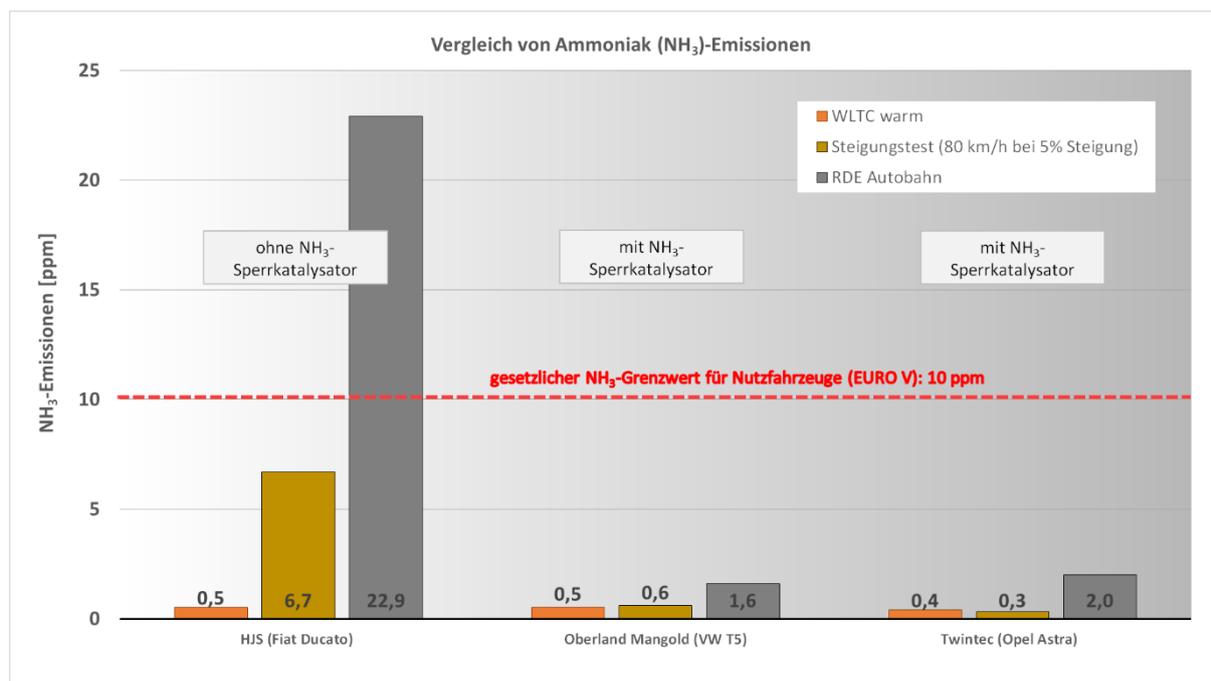
Abbildung 5 CO₂-Emissionen durch SCR-Nachrüstung



Sekundäremissionen wie Ammoniak oder Lachgas lassen sich bei SCR-Nachrüstung zuverlässig vermeiden – wenn die richtige Technik verbaut ist

Der im Fahrzeug verwendete Harnstoff wird im Katalysator zunächst in Ammoniak (NH_3) umgewandelt. Eine Überdosierung von Ammoniak und dessen Austritt in die Umwelt gilt es unter allen Umständen zu vermeiden. Eine entsprechende Vorgabe zum Verbau eines NH_3 -Sperrkatalysators ist bereits in der Nachrüstrichlinie vorgesehen [2]. Dass dieser Ammoniak-Sperrkatalysator sinnvoll ist, damit Ammoniak-Schlupf zuverlässig vermieden werden kann und überdosiertes NH_3 sicher oxidiert wird, zeigt das Beispiel des Fiat Ducato. Der im Ducato verbaute SCR-Katalysator (Serienteil des Ducato Euro6b) besitzt noch keinen entsprechenden Sperrkatalysator. Im WLTC-Fahrtzyklus, der auch den typischen Stadtbetrieb abbildet, sind keine NH_3 -Emissionen feststellbar. Die gemessenen Werte liegen innerhalb der Messoleranz. Bei speziellen Fahrsituationen, wie einem Steigungstest bei dem lange mit hoher Last gefahren wird oder im Realbetrieb auf der Autobahn besteht die Gefahr einer kurzfristigen Überdosierung, was zu einem Anstieg der NH_3 -Emissionen führen kann. Ohne NH_3 -Sperrkatalysator können wie im Falle des Fiat Ducato die NH_3 -Werte bei über 20 ppm liegen. Zur Einordnung: Der Grenzwert für Nutzfahrzeuge der Abgasnorm EURO V liegt bei 10 ppm. Mit verbautem NH_3 -Sperrkat kann Ammoniakschlupf dagegen zuverlässig vermieden werden, wie die Messungen des VW T5 und Opel Astra zeigen.

Abbildung 6 Ammoniak (NH_3)-Emissionen



Unter gewissen Umständen können sich über die katalytische Abgasnachbehandlung Sekundäremissionen wie Lachgas (N_2O) bilden. Ursächlich hierfür können AdBlue[®]-Überdosierung, ein ungünstiges NO_2/NO_x -Verhältnis oder Beschichtungen der SCR-Katalysatoren sein. Die Nachrüster müssen sicherstellen, dass die Bildung dieses klimaschädlichen Treibhausgases weitgehend vermieden wird. Die Messungen zeigen, dass der Ausstoß von Lachgas bei allen Fahrzeugen vernachlässigbar gering ausfällt. Selbst im schlechtesten Fall (Opel Astra im Autobahnteil des RDE-Zyklus) liegt die Lachgaskonzentration im Abgas bei nur 8 ppm. Lachgas ist zwar 298-fach klimaschädlicher als CO_2 , aber aufgrund der geringen Menge weniger relevant. Umgerechnet in CO_2 -äquivalent würde der maximale zusätzliche CO_2 -Ausstoß auf der Autobahn bei rund 3 g/km liegen.

Der Geltungsbereich der jeweiligen Nachrüstrichtlinien für Pkw und Handwerker-/Lieferfahrzeuge ist nicht ausreichend spezifiziert – das sorgt für Unsicherheit und unnötige Verzögerungen bei der Serieneinführung von NO_x-Minderungssystemen

Die Ergebnisse des Alltagstest zeigen, dass in der Pkw-Nachrüstrichtlinie weitgehend alle relevanten Anforderungen definiert wurden, die für eine zügige und erfolgreiche Einführung von NO_x-Minderungssystemen notwendig sind. So kann durch Nachrüstung ein effektiver Beitrag zur Luftreinhaltung bei gleichzeitiger Vermeidung von Fahrverboten geleistet werden. Dasselbe gilt auch für die Nachrüstrichtlinie für Handwerker- und Lieferfahrzeuge [4].

Bei der Ausgestaltung beider Richtlinien lässt der genannte Geltungsbereich jedoch Interpretationsspielraum, was insbesondere bei den Nachrüstern für Verunsicherung und somit Entwicklungsverzögerungen sorgt. Die Begrenzung des zulässigen Gesamtgewichts auf 2,8 Tonnen ist in der Pkw-Richtlinie nicht eindeutig erläutert. Insbesondere ist unklar, ob die Beschränkung nur für Nutzfahrzeuge (N1) gilt, oder auch die Pkw-Klassen M1 und M2 betrifft. Zudem ist unklar, ob privat genutzte Nutzfahrzeuge über 2,8 Tonnen nachgerüstet werden können, da sich die technischen Anforderungen im Anhang der Förderrichtlinie befinden. Die Förderrichtlinie adressiert wiederum lediglich gewerblich genutzte Nutzfahrzeuge (Handwerker- oder Lieferfahrzeuge).

Der Geltungsbereich der Richtlinien muss daher schnellstmöglich eindeutiger spezifiziert werden, um den Nachrüstern und Autofahrern Rechtssicherheit bezüglich der Möglichkeit einer SCR-Nachrüstung zu gewährleisten.

4 Vorgehensweise und Methodik

4.1 Prämissen

Die nachgerüsteten Fahrzeuge wurden 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 wurden 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 gingen 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 konnte aus unternehmensinternen Gründen nicht am Test teilnehmen.

Im Opel Astra kommt ein 1,7 l großer Dieselmotor zum Einsatz, der in vielen unterschiedlichen Opel-Modellen verbaut wurde. Die NO_x-Grenzwerte liegen gemäß der für diese Fahrzeuge gültigen Abgasnorm Euro 5 (M1) 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 engen Zeitraum von vier Wochen 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 vier damals 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. Vor Start des Alltagstests hatten die Nachrüster sechs Wochen die Gelegenheit, die Nachrüstersysteme weiterzuentwickeln.

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 über entsprechende Sensoren das Abgasverhalten während des Dauerlaufs kontinuierlich aufzeichnen, etwa die NO_x-Emissionen vor und hinter dem SCR-System, Abgastemperaturen und AdBlue®-Verbrauch.

Abbildung 7 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 8 VW T5 mit mobiler Abgasmessanlage (PEMS)

Abbildung 9 WLTC-Fahrzyklus

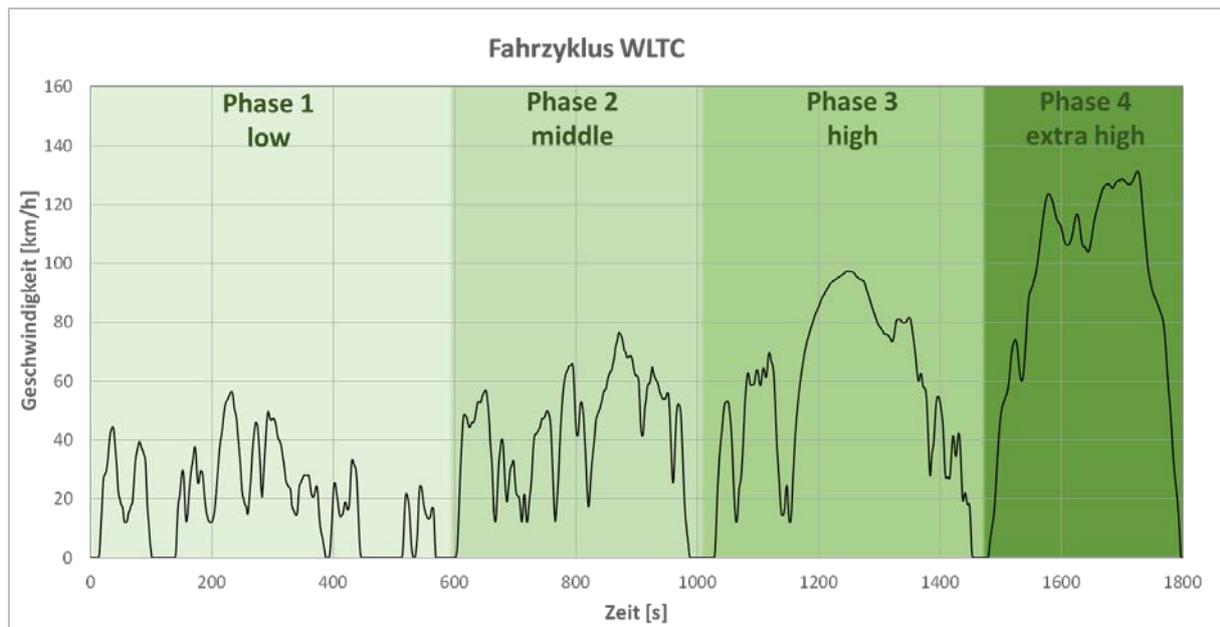
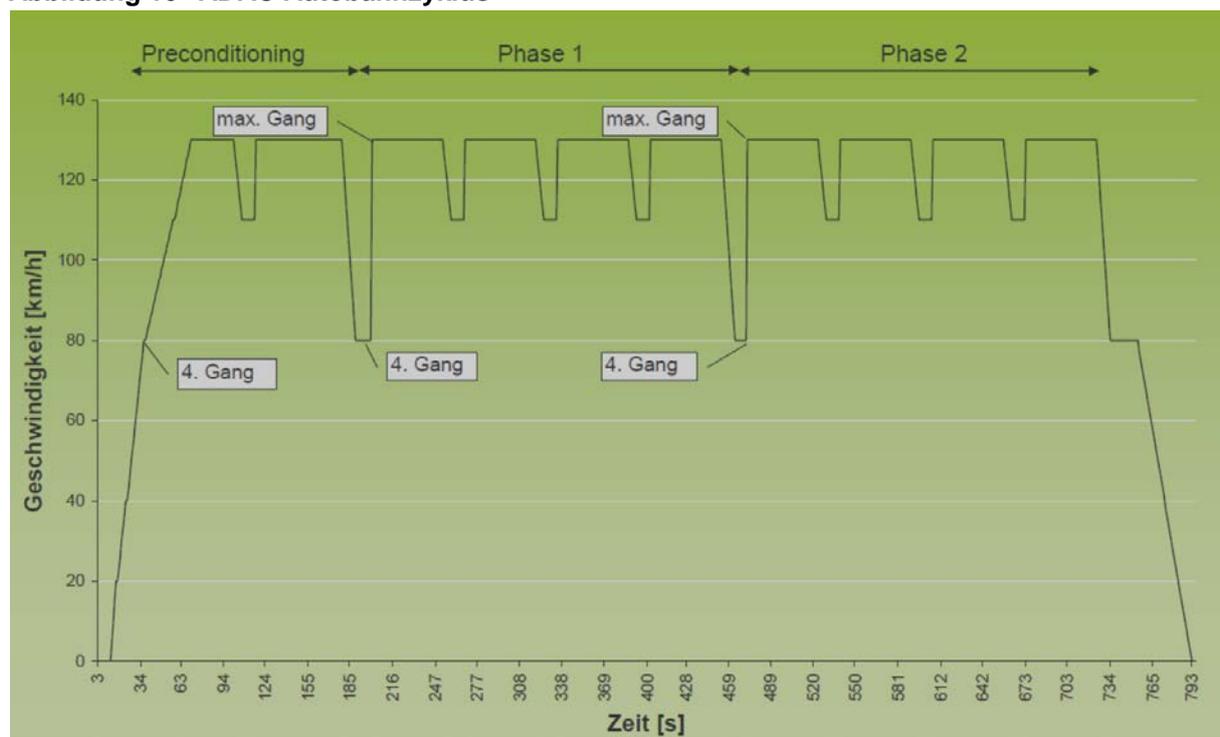


Abbildung 10 ADAC Autobahnzyklus



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, wurden die höheren Anforderungen an eine mobile Messtechnik vom Gesetzgeber berücksichtigt. In der Euro 6d-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]

* berechnet über kohlenstoffhaltige Komponenten im Abgas

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

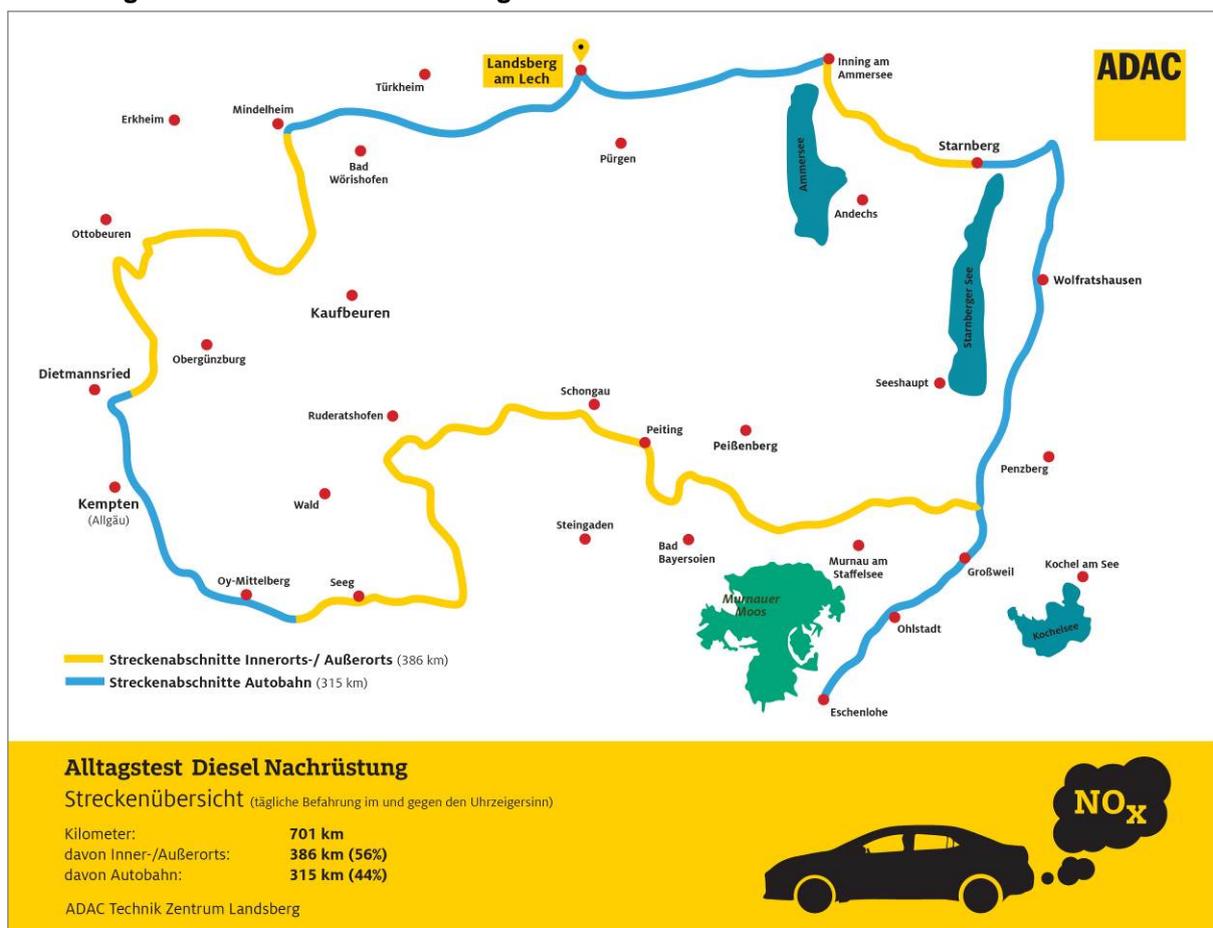
Tabelle 2 Gemessene Abgaskomponenten RDE

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]

* berechnet über kohlenstoffhaltige Komponenten im Abgas

Anschließend starteten die Testfahrzeuge in den Alltagstest und fuhren dabei täglich eine fest definierte Strecke von rund 700 km, die geographisch betrachtet aus 56 Prozent Inner- und Außerortsanteil sowie rund 44 Prozent Autobahn besteht. Täglich wurde dabei ein Kaltstart bei unterschiedlichen Außentemperaturen abgebildet. Die Streckenlänge betrug einfach ca. 350 km und wurde 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 durchwechselten, wurde ein möglichst vergleichbares Fahrprofil erreicht. Die Alltagsfahrten fanden tagsüber im normalen Verkehr mit möglichst defensiver und vorausschauender Fahrweise statt. Der tägliche Kraftstoffverbrauch und Außentemperaturen wurden zusätzlich zu den über den Datenlogger aufgezeichneten Werten dokumentiert.

Abbildung 11 Streckenübersicht Alltagstest



Alle 10.000 Kilometer wurden 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 mussten sich die drei umgerüsteten Euro 5-Dieselfahrzeuge mehreren Zusatztests unterziehen. Dazu gehörten etwa Messungen von nichtlimitierten Schadstoffen (z.B. Ammoniak NH₃ und Lachgas N₂O), Prüfungen des Tieftemperaturverhaltens bis hin zur mechanischen Belastbarkeitsprüfung der SCR-Komponenten auf Schlechtwegstrecken.

Zur Messung der nicht limitierten Schadstoffe (NH_3 und N_2O) kam ein mobiles FTIR-Spektrometer (Abkürzung für Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer) der Firma Ansyco Gasmeter zum Einsatz. Eine zuverlässige Messung des Ausstoßes an Isocyanursäure (HNCO) war mit der zur Verfügung stehenden Messtechnik nicht möglich.

4.5 So wird ausgewertet

Über die gesamte Dauer des Alltagstests, der Anfang September 2018 startete und sich bis zum Januar 2019 hingezogen hat, wurden 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 aufgezeichnet. In einem Testtagebuch wurden alle Ereignisse während des Dauertests dokumentiert und ggf. erläutert.

Zur Bewertung der NO_x -Minderung wurden 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, wurden gemäß Prüfverfahren in der Pkw-Nachrüstrichtlinie insbesondere die ersten drei Phasen des WLTC (low, middle, high) ausgewertet. Die vierte Phase (extra-high) bildet dagegen den typischen Außerortsverkehr auf Landstraßen und Autobahnen ab und wurde daher separat dargestellt. Zusätzlich wurden 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“ wurde 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 [5].

Da sich die Serienemissionen eines Fahrzeuges je nach Außentemperatur stark verändern können, ist es bei RDE-Messungen – anders als im Abgaslabor, wo immer 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 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 12 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)
Maximale Motorleistung	96 kW (130 PS) bei 3.600 1/min
Maximales Motordrehmoment	320 Nm bei 1.800 1/min
Leergewicht Herstellerangabe/gewogen	2.108 kg/ 2.198 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	3.500 kg

* Aufgrund eines unverschuldeten Verkehrsunfalls mit nicht reparablem Fahrzeugschaden musste der Dauerfahrttest mit dem Fiat Ducato nach 33.000 km vorzeitig beendet werden.

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 des 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 elektrischer Heizkat verbaut. Die AdBlue®-Eindüsung erfolgt 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 13 Anzeigeelemente Fiat Ducato

Tabelle 5 Übersicht Systemaufbau HJS

Katalysatoren	SCR-Katalysator (im Austausch zum originalen Nachschalldämpfer), Heizkatalysator (1 kW), kein Ammoniak-Sperrkatalysator verbaut
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 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstests nach 20.000 km

Tabelle 12 Abgasemissionen Alltagstest nach 20.000 km - Fiat Ducato (HJS)

Fiat Ducato mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 10/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,68	8,37	11,18
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	228,67	219,82	294,63
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,061	0,37	0,002
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,008	0,002	0,001
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,239	0,368	0,144
	HC+NO _x [g/km]	0,247	0,37	0,145
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,126	0,159	0,086
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,045	0,124	0,011
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0015	0,0035	0,0041
Partikelanzahl	PN [1/km]	6,27x10 ¹¹	0,0784x10 ¹¹	2,55x10 ¹¹

Tabelle 13 NO_x-Emissionen Fiat Ducato – Alltagstest nach 20.000 km

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,236	0,510
Außerorts**	[g/km]	0,098	0,109
Gesamt	[g/km]	0,239	0,368

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

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

5.3.5 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstests nach 30.000 km

Tabelle 14 Abgasemissionen Alltagstest nach 30.000 km - Fiat Ducato (HJS)

Fiat Ducato mit SCR-Nachrüstung		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (12,3°C)	BAB (23°C)
Messdatum: 11/2018					
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,67	8,39	9,30	11,00
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	228,20	220,92	245,44	289,85
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,095	0,014	0,048	0,002
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,007	0,002	-	0,001
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,197	0,309	0,499	0,127
	HC+NO _x [g/km]	0,204	0,311	-	0,128
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,110	0,167	0,494	0,075
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,028	0,053	0,005	0,012
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0003	0,0003	-	0,0037
Partikelanzahl	PN [1/km]	1,81x10 ¹¹	0,0506x10 ¹¹	0,17x10 ¹¹	0,623x10 ¹¹

Tabelle 15 NO_x-Emissionen Fiat Ducato – Alltagstest nach 30.000 km

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (12,3°C)
Innerorts*	[g/km]	0,251	0,402	0,702
Außerorts**	[g/km]	0,098	0,140	0,288
Gesamt	[g/km]	0,197	0,309	0,499

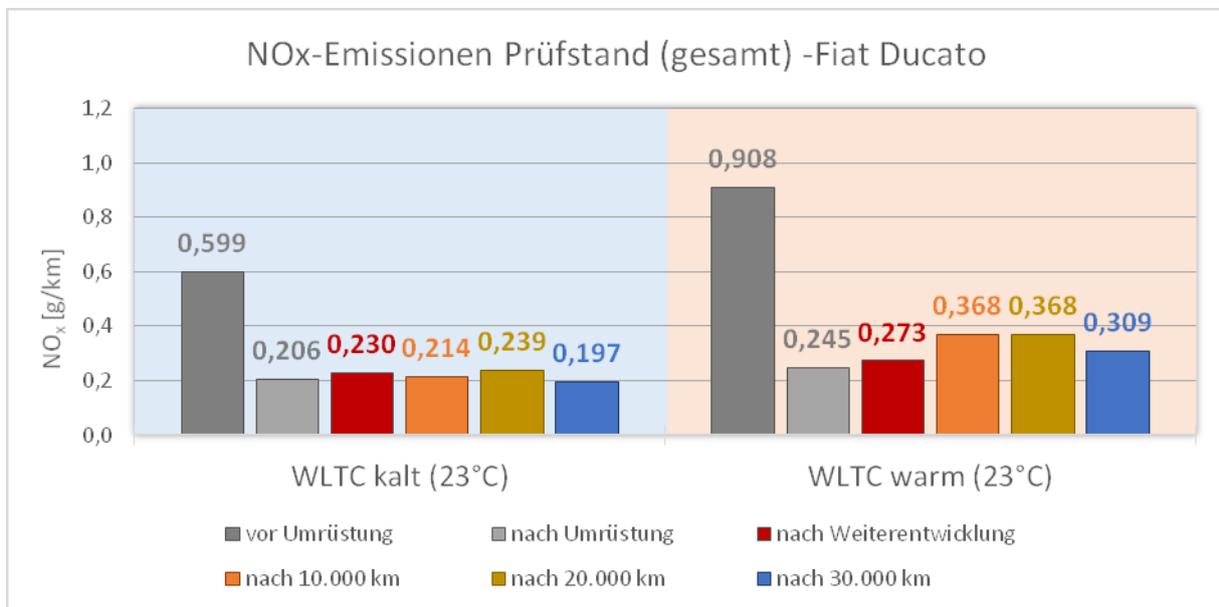
* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high)

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

5.3.6 Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung

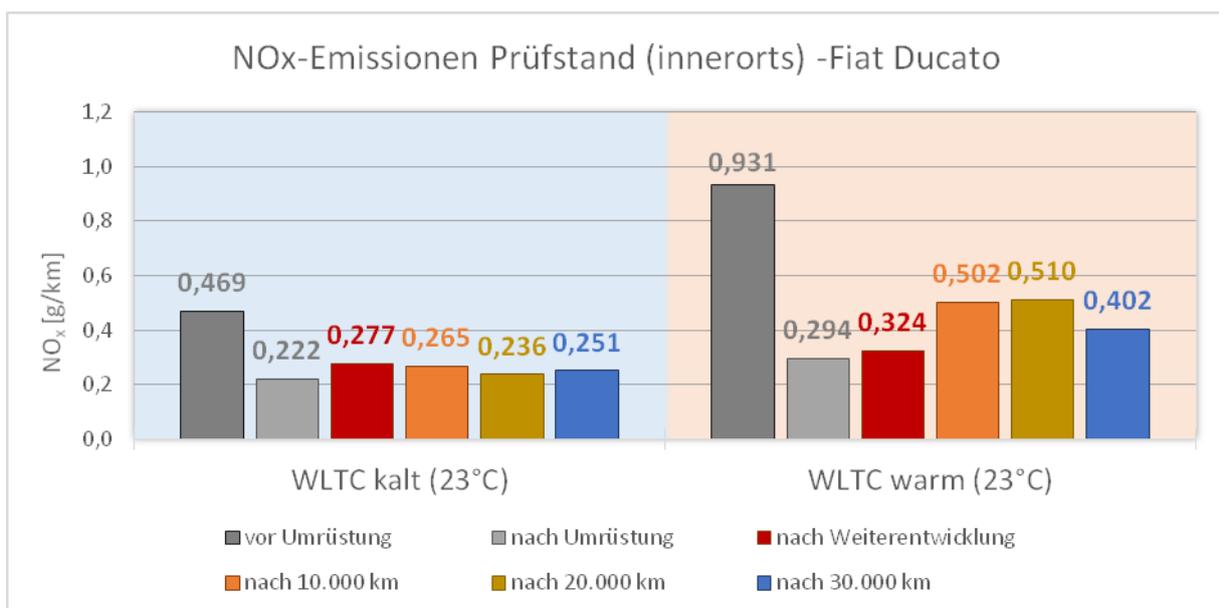
Die NO_x-Emissionen im WLTC liegen nach 30.000 absolvierten Kilometern auf stabilem Niveau.

Abbildung 14 NO_x-Emissionen im WLTC kalt und WLTC warm – Fiat Ducato



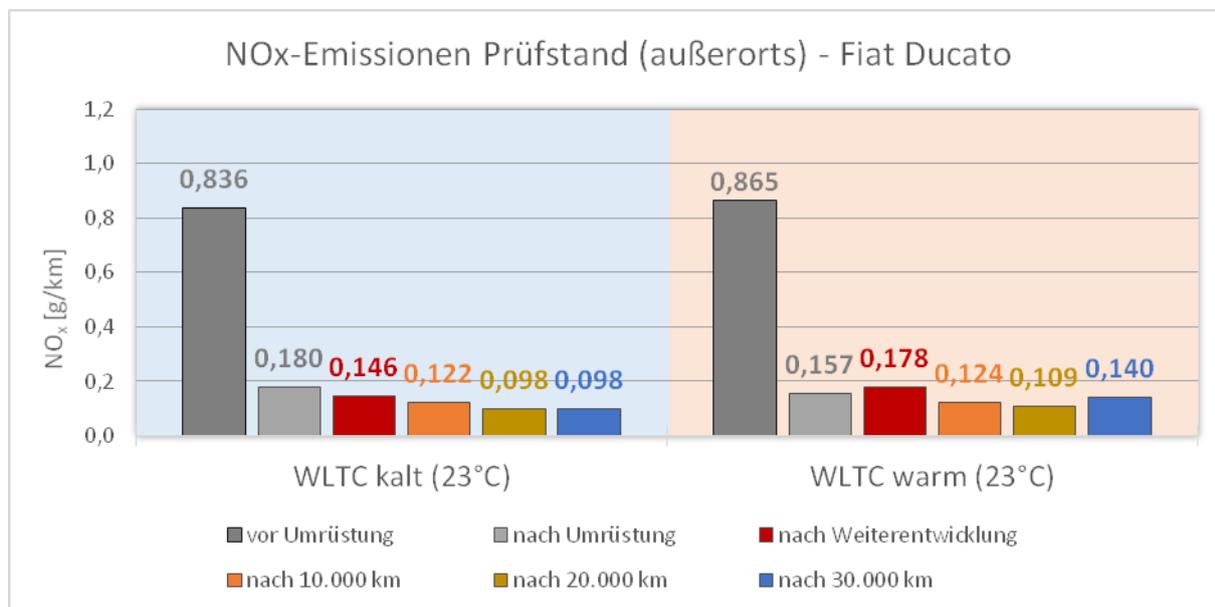
Im Innerortsteil des WLTC liegen die NO_x-Emissionen ebenfalls auf stabilem Niveau. Nachdem die NO_x-Emissionen im warmen Zyklus bei den beiden Messungen bei 10.000 km und 20.000 km etwas höher ausfielen, weist die 30.000 km wieder niedrigere Emissionen aus.

Abbildung 15 NO_x-Emissionen innerorts im WLTC kalt und WLTC warm – Fiat Ducato



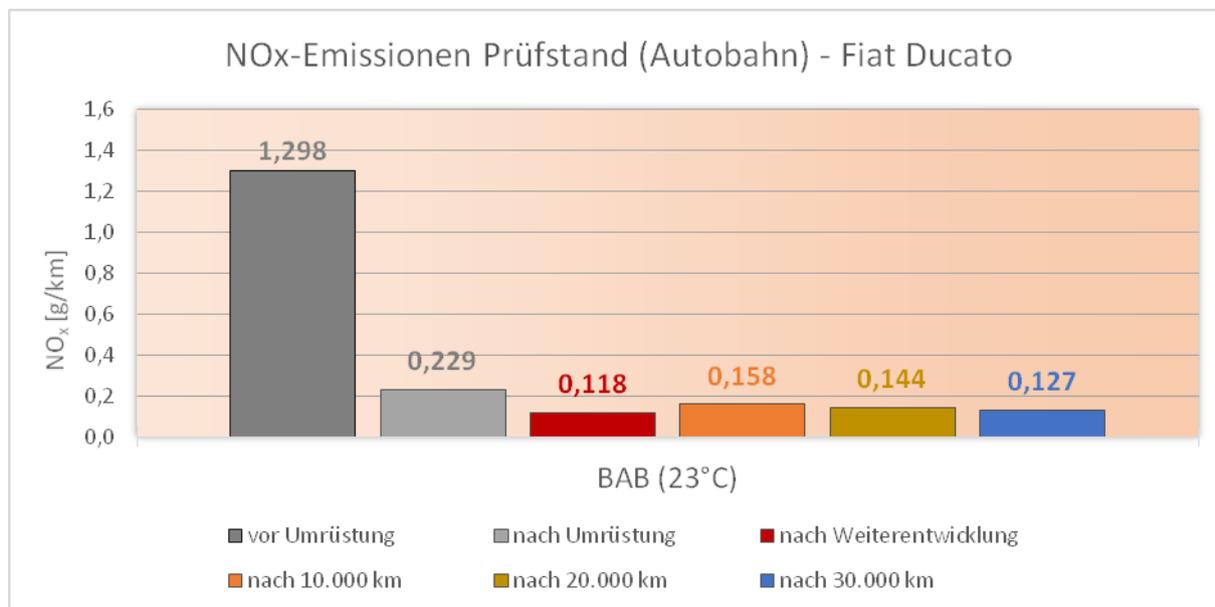
Im Außerortsteil des WLTC kann das im Ducato verbaute System mit enormen Reduktionsraten punkten, die teilweise deutlich über 90 Prozent betragen.

Abbildung 16 NO_x-Emissionen außerorts im WLTC kalt und WLTC warm - Fiat Ducato



Auch im anspruchsvollen Autobahnzyklus zeigt das System seine volle Wirkung und sorgt stabil für äußerst hohe NO_x-Reduktionsraten.

Abbildung 17 NO_x-Emissionen im BAB-Zyklus – Fiat Ducato



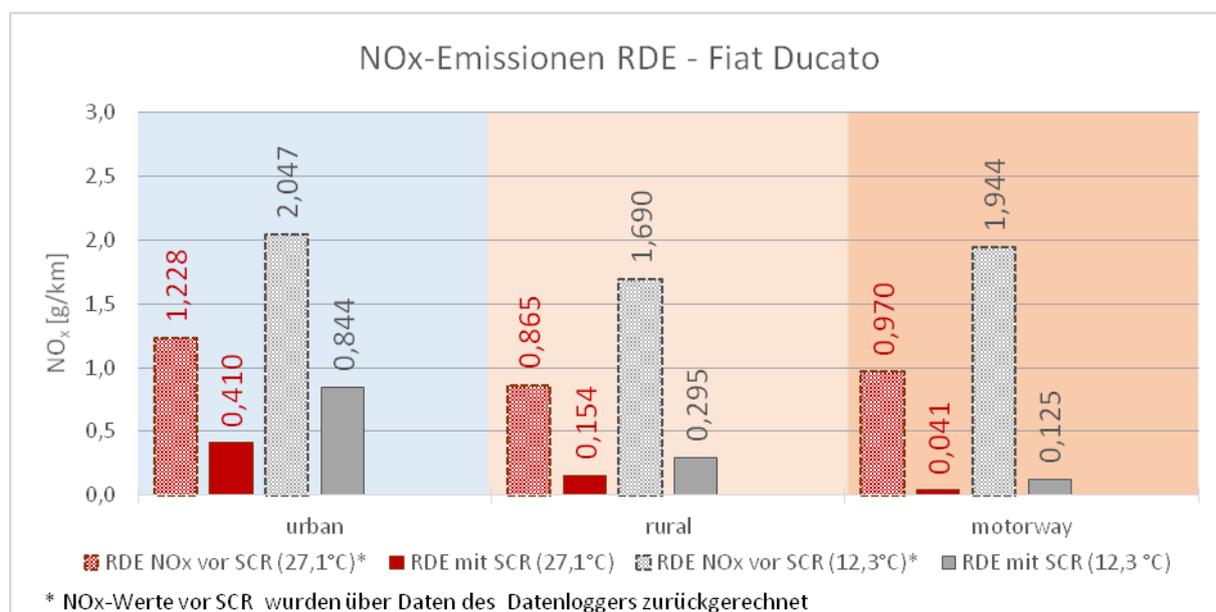
Bei sommerlichen Temperaturen kann eine konstant hohe NO_x-Reduktionsrate erreicht werden. In der Phase „motorway“ liegt der NO_x-Wert sogar unterhalb des Euro 5 Zulassungsgrenzwertes.

Die herbstlichen Temperaturen lassen die Rohemissionen des Fiat Ducato stärker ansteigen. Teilweise verdoppelt sich der Serienausstoß an NO_x. In der Spitze (innerorts) würde der Ducato ohne Nachrüstung über 2,0 Gramm pro Kilometer an NO_x ausstoßen. So liegen insbesondere innerorts die NO_x-Werte nach SCR trotz hoher Minderungsrate noch bei über 800 µg/km.

Eine RDE-Messung bei winterlichen Temperaturen war aufgrund eines Fahrzeugdefekts nicht mehr möglich.

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) – Fiat Ducato



5.3.7 Emissionsverhalten der gesetzlich limitierten Schadstoffe

Die Messungen bis 30.000 km zeigen keine relevante Verschlechterung der restlichen gesetzlich limitierten Emissionen (CO, HC, PM, PN).

5.3.8 Ausstoß von NH₃-Emissionen und Sekundär-Emissionen – Fiat Ducato

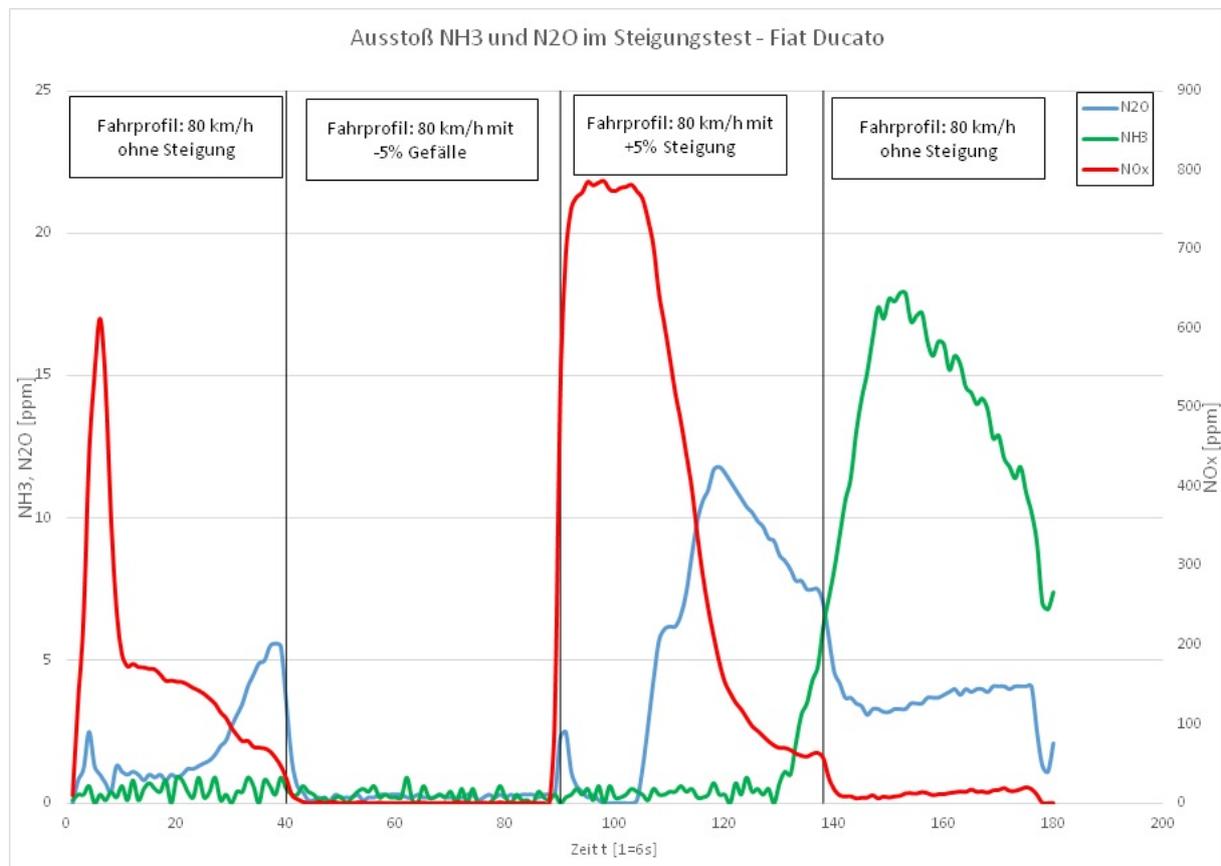
Das HJS-Nachrüstsystem im Fiat Ducato beinhaltet noch keinen NH₃-Sperrkatalysator. In speziellen Fahrsituationen kann temporär eine NH₃-Überdosierung stattfinden.

Beispielhaft wurde zur Ermittlung eines möglichen NH₃-Durchbruchs ein synthetischer Fahrzyklus auf dem Prüfstand gefahren, der zuerst eine Konstantfahrt mit 80 km/h beinhaltet. Anschließend wird fünf Minuten ein 5-prozentiges Gefälle gefahren, um ein Auskühlen des SCR-Systems zu simulieren, bevor es direkt mit kaltem System in eine Steigungsfahrt geht. Danach erfolgte eine erneute Konstantfahrt mit 80 km/h.

In Phase drei (Steigung) wird zuerst eine kontinuierliche Reduktion des NO_x-Ausstoßes sichtbar, ab einem gewissen Punkt wird allerdings ein NH₃-Durchbruch festgestellt, hier hätte ein NH₃-Sperrkat zuverlässig wirken können. Die NH₃-Konzentration im Abgas steigt in der Folge auf einen Spitzenwert von 17,9 ppm. Im Mittel über die Messfahrt liegt die NH₃-Konzentration bei 6,7 ppm.

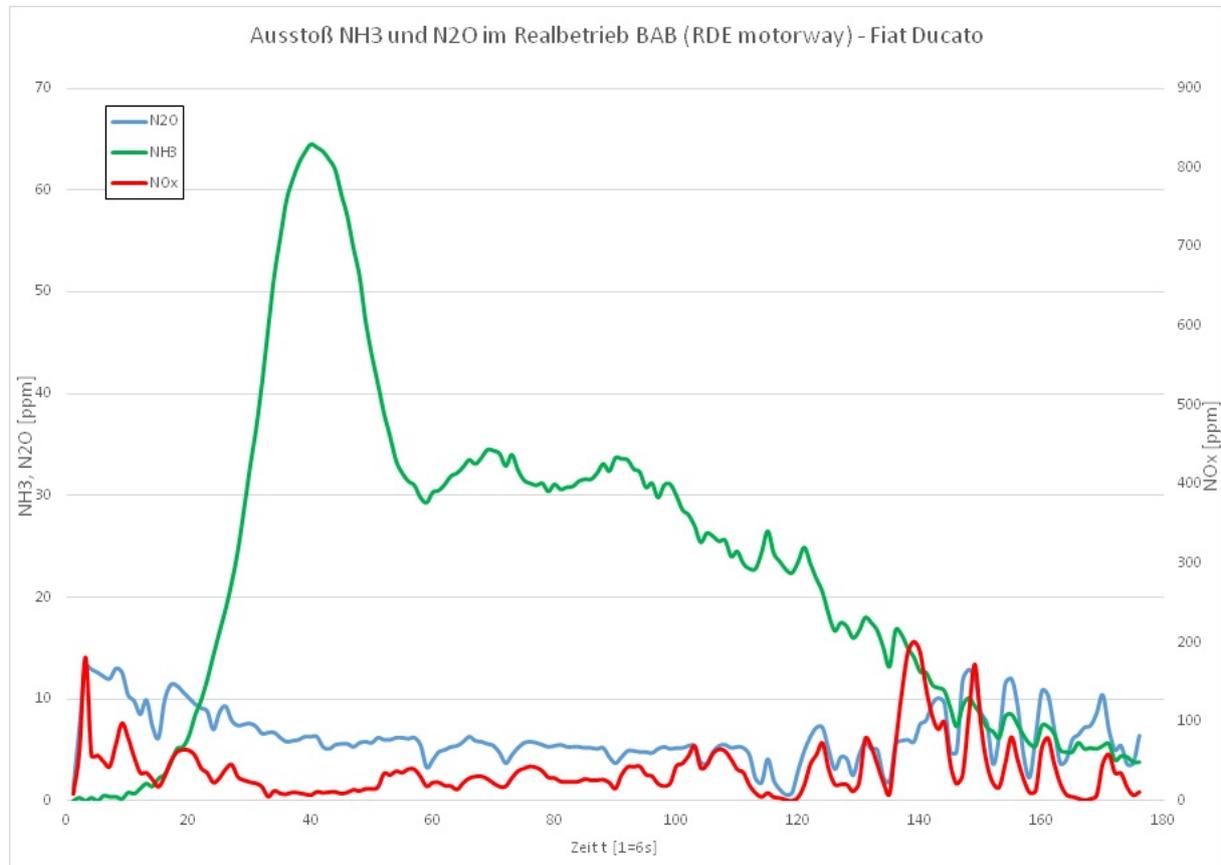
Die Lachgas-Emissionen liegen insgesamt auf niedrigem Niveau. Insbesondere während der Steigungsfahrt steigt die N₂O-Konzentration kurzzeitig auf 11,8 ppm an. Im Schnitt liegt der N₂O-Ausstoß im abgebildeten Fahrszenario bei 4,2 ppm.

Abbildung 19 Ammoniak-/Lachgasemissionen - Fiat Ducato



Zur Überprüfung des auf dem Prüfstand festgestellten Verhaltens wurde zusätzlich eine RDE-Messfahrt mit dem FTIR-Messsystem durchgeführt. Auch im Realverkehr erfolgt beim Ducato während der Autobahnfahrt ein NH₃-Durchbruch. Hier werden in der Spitze Konzentrationen von bis zu 64,5 ppm festgestellt. Im Schnitt sind es 22,9 ppm. Die N₂O-Emissionen liegen im Autobahnanteil der RDE-Messfahrt bei 6,3 ppm.

Abbildung 20 Ammoniak-/Lachgasemissionen in RDE - Fiat Ducato



5.3.9 CO₂-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

Die CO₂-Emissionen erhöhen sich durch die SCR-Nachrüstung je nach Messzyklus zwischen 6,0 g/km und 28,6 g/km (+2,1 % bis +13,1 %). Der Kraftstoffmehrerbrauch beträgt je nach Fahrzyklus zwischen 0,25 l und 0,99 l pro 100 km.

Es gilt zu beachten, dass keine Prüfung erfolgen konnte, ob sich die Serienemissionen im Laufe des Alltagstests verändert haben. Die geplante erneute Emissionsmessung im Serienzustand nach Abschluss des Alltagstests konnte beim Fiat Ducato aufgrund eines Verkehrsunfalls und dem dadurch vorzeitigen Endes des Alltagstests nicht mehr durchgeführt werden. Der ermittelte Mehrverbrauch ist somit nicht abschließend abgesichert.

Abbildung 21 CO₂-Emissionen – Fiat Ducato

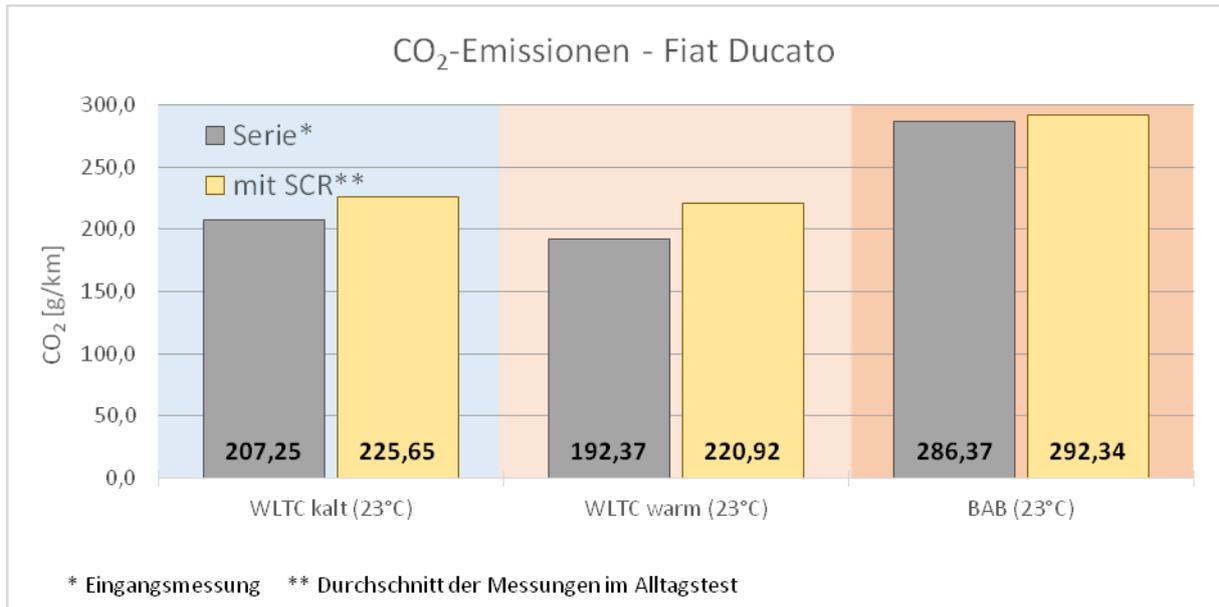
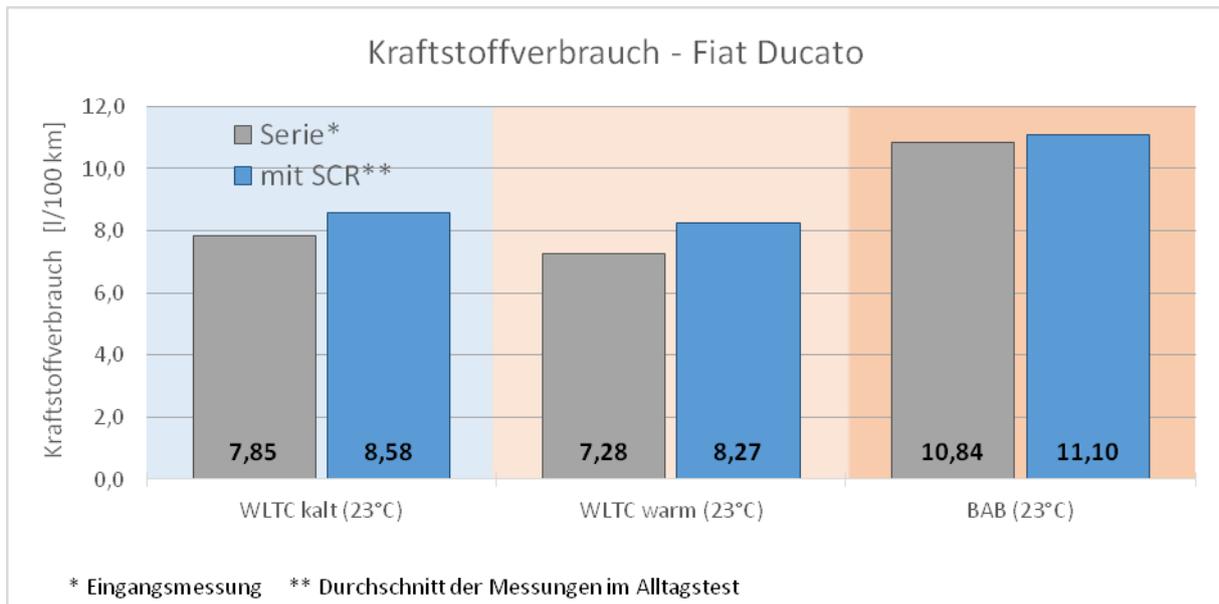


Abbildung 22 Kraftstoffverbrauch - Fiat Ducato



5.3.10 Testtagebuch Alltagstest – Fiat Ducato (HJS)

Tabelle 16 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
05.10.2018	52.306	Ende Alltagstest – zweite Etappe	
05.10.2018	52.306	Abgasmessung nach 20.000 km	
09.10.2018	52.381	Start Alltagstest – dritte Etappe	
24.10.2018	62.292	Ende Alltagstest – dritte Etappe	
26.10.2018	62.298	Abgasmessung nach 30.000 km inkl. Sondermessung nicht limitierter Schadstoffe	
31.10.2018	62.390	RDE-Messung – herbstliche Temperatur inkl. Sondermessung nicht limitierter Schadstoffe	

02.11.2018	62.587	Start Alltagstest – vierte Etappe	
06.11.2018	65.247	Vorzeitiges Ende des Alltagstest	Fahrzeugschaden durch unverschuldeten Verkehrsunfall. Fahrzeugreparatur nicht möglich.

Zu den Ursachen der beiden temporären Systemausfälle während der ersten Phase der Alltagserprobung nahm HJS 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.“

Am 06.11.2018 war das Fahrzeug während des Alltagstest in einen unverschuldeten Verkehrsunfall verwickelt. In der Folge musste der Alltagstest aufgrund eines irreparablen Fahrzeugschadens abgebrochen werden.

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-Diesलगrenzwert 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 23 VW T5 auf dem Abgasprüfstand



Tabelle 17 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)
Maximale Motorleistung	103 kW (140 PS) bei 3.500 1/min
Maximales Motordrehmoment	340 Nm bei 1.750 1/min
Leergewicht Herstellerangabe/gewogen	2.075 kg/ 2.182 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	3.000 kg

Tabelle 18 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 vor Beginn des Alltagstest überarbeitet.



Abbildung 24 Anzeigeelemente VW T5

Tabelle 19 Übersicht Systemaufbau Oberland-Mangold

Katalysatoren	2 SCR-Katalysatoren mit integriertem Ammoniakschlupfkatalysator
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 20 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 21 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 22 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 23 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 24 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 25 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 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 20.000 km

Tabelle 26 Abgasemissionen Alltagstest nach 20.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold)

VW T5 mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 10/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	9,06	8,89	10,36
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	238,63	234,31	273,02
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,009	0,002	0,002
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,004	0,002	0,002
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,373	0,393	1,060
	HC+NO _x [g/km]	0,378	0,396	1,062
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,174	0,176	0,492
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,106	0,123	0,304
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0004	0,0002	0,0053
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,973x10 ¹¹	0,832x10 ¹¹	1,72x10 ¹¹

Tabelle 27 NO_x-Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 20.000 km

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,388	0,403
Außerorts**	[g/km]	0,347	0,375
Gesamt	[g/km]	0,373	0,393

* 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)

6.3.5 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 30.000 km

Tabelle 28 Abgasemissionen Alltagstest nach 30.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold)

VW T5 mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 11/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (14,7°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,82	8,65	8,11	10,55
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	232,27	227,92	213,27	278,03
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,010	0,001	0,174	0,002
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,005	0,002	-	0,004
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,368	0,498	0,647	1,168
	HC+NO _x [g/km]	0,372	0,500	-	1,171
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,173	0,225	0,578	0,589
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,102	0,151	0,069	0,262
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0003	0,0002	-	0,0039
Partikelanzahl	PN [1/km]	1,08x10 ¹¹	0,849x10 ¹¹	0,25x10 ¹¹	2,06x10 ¹¹

Tabelle 29 NO_x-Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 30.000 km

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (14,7°C)
Innerorts*	[g/km]	0,392	0,528	0,527
Außerorts**	[g/km]	0,323	0,441	0,895
Gesamt	[g/km]	0,368	0,498	0,647

* 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)

6.3.6 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 40.000 km

Tabelle 30 Abgasemissionen Alltagstest nach 40.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold)

VW T5 mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 12/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)		BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,43	8,46		9,85
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	222,06	222,84		259,42
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,016	0,003		0,003
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,008	0,003		0,005
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,227	0,304		1,002
	HC+NO _x [g/km]	0,235	0,308		1,007
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,119	0,151		0,466
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,044	0,073		0,286
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0001	0,0003		0,0033
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,759x10 ¹¹	0,939x10 ¹¹		2,05x10 ¹¹

Tabelle 31 NO_x-Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 40.000 km

NO_x-Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,213	0,293
Außerorts**	[g/km]	0,255	0,326
Gesamt	[g/km]	0,227	0,304

* 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)

6.3.7 Abgasemissionen mit SCR-Nachrüstung Alltagstest nach 50.000 km

Tabelle 32 Abgasemissionen Alltagstest nach 50.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold)

VW T5 mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 01/2019		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (-0,4°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,37	8,3	8,45	9,84
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	220,36	218,68	221,06	259,19
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,010	0,003	0,177	0,003
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,006	0,004	-	0,003
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,243	0,261	1,192	1,014
	HC+NO _x [g/km]	0,249	0,265	-	1,018
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,126	0,134	-	0,480
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,049	0,055	-	0,277
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0001	0,0002	-	0,0028
Partikelanzahl	PN [1/km]	1,32x10 ¹¹	1,08x10 ¹¹	0,057x10 ¹¹	2,35x10 ¹¹

Tabelle 33 NO_x-Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 50.000 km

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (-0,4°C)
Innerorts*	[g/km]	0,255	0,256	1,123
Außerorts**	[g/km]	0,220	0,270	1,340
Gesamt	[g/km]	0,243	0,261	1,192

* 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)

6.3.8 Abgasemissionen nach Ende Alltagstest ohne SCR

Tabelle 34 Abgasemissionen nach Alltagstest ohne SCR – VW T5 (Oberland-Mangold)

VW T5 ohne SCR Messdatum: 02/2019		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	8,64*	8,41*	10,03*
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	227,58*	221,52*	264,25*
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,012	0,001	0,002
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,005	0,003	0,003
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,545	0,632	1,234
	HC+NO _x [g/km]	0,550	0,635	1,237
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,218	0,228	0,600
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,210	0,281	0,312
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0001	0,0001	0,0018
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,693x10 ¹¹	0,782x10 ¹¹	1,51x10 ¹¹

* Aufgrund eines Defekts an der Bremsanlage waren die Fahrwiderstände bei der Schlussmessung erhöht, was einen unplausibel hohen Verbrauch nach sich zog. Der Verbrauchswert und CO₂-Ausstoß der Schlussmessung sind daher für Auswertungen nicht verwendbar. Ein Abschätzung der Entwicklung der restlichen Serienemissionen (insbesondere NO_x) ist dagegen möglich.

Tabelle 35 NO_x-Emissionen VW T5 – nach Alltagstest ohne SCR

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,557	0,641
Außerorts**	[g/km]	0,523	0,617
Gesamt	[g/km]	0,545	0,632

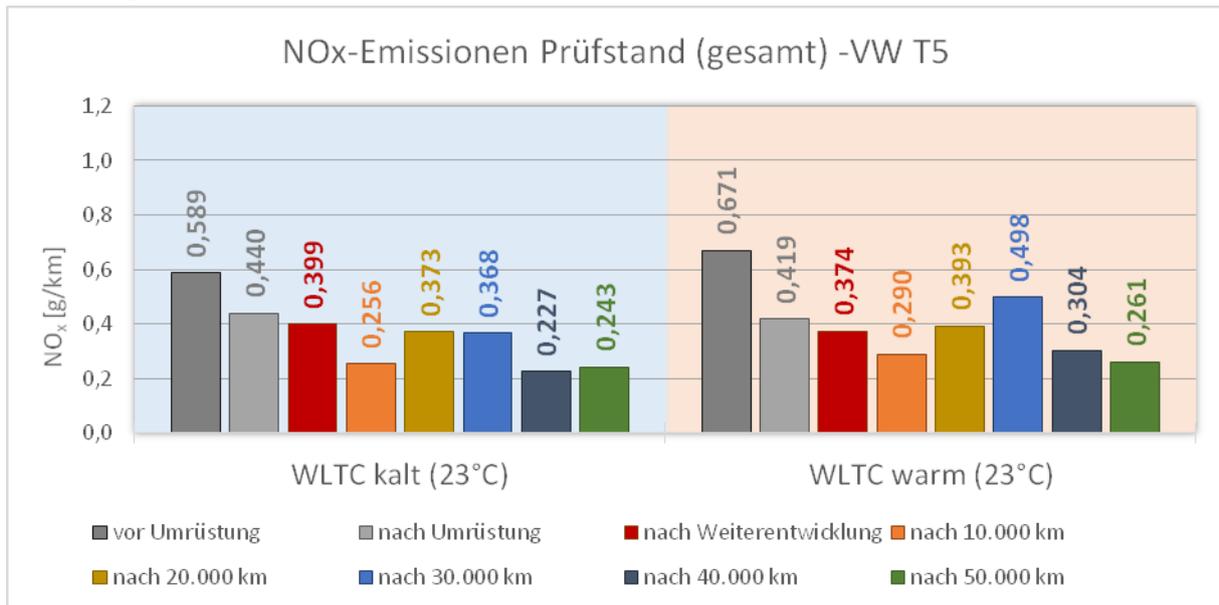
* entspricht im WLTC den Phasen 1-3 (low, middle, high) und in RDE den Phasen 1-2 (urban, rural)

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

6.3.9 Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung

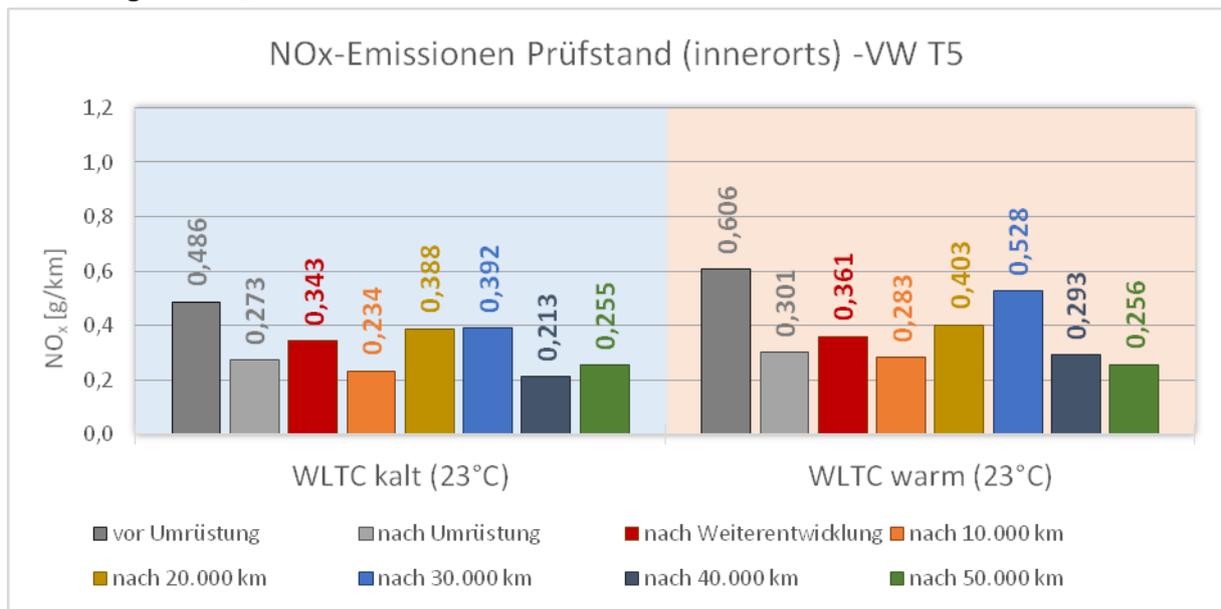
Die Stickoxidemissionen liegen nach der Weiterentwicklung des SCR-Systems bis zur 20.000 km Messung weitgehend auf konstantem Niveau. Die 30.000 km Messung zeigte jedoch im WLTC warm einen Anstieg der NO_x-Emissionen. Die Überprüfung des Fahrzeuges durch Oberland Mangold ergab, dass sich Ablagerungen im Hydrolyse-Reaktor gebildet hatten, die die Leistungsfähigkeit einschränkten (Details siehe Testtagebuch). Nach Behebung des Problems lagen die NO_x-Werte wieder auf gleichem Niveau wie zu Beginn des Alltags-tests.

Abbildung 25 NO_x-Emissionen im WLTC kalt und WLTC warm – VW T5



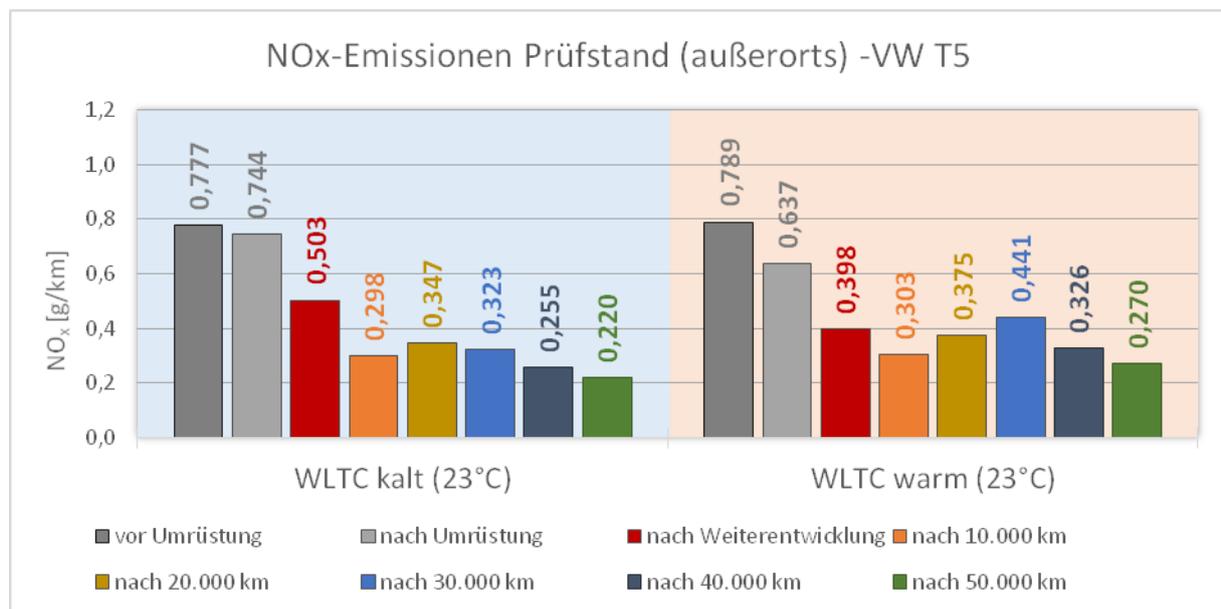
Im Innerortsteil des WLTC schwanken die NO_x-Emissionen im Verlauf der Messungen relativ stark. Auffällig ist das recht geringe Minderungsniveau im WLTC kalt. Bei warmem SCR-System fällt die Minderungsrate um ein gutes Stück höher aus. Speziell im Innerortsteil des WLTC warm wird der Performanceverlust aufgrund von Ablagerungen bei der 30.000 km Messung sichtbar. Nach Entfernen der Ablagerungen lag die Leistungsfähigkeit ab der 40.000 km Messung wieder deutlich höher.

Abbildung 26 NO_x-Emissionen innerorts im WLTC kalt und WLTC warm – VW T5



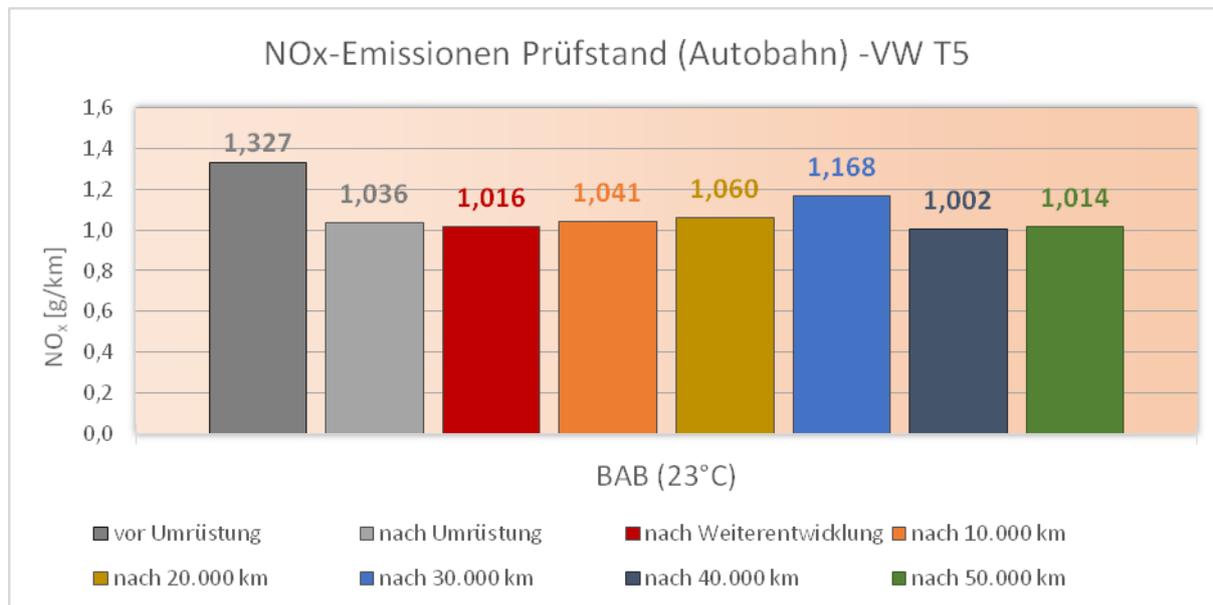
Nachdem die Eingangsmessung nach Weiterentwicklung des Systems noch recht hohe NO_x-Emissionen im Außerortteil des WLTC kalt zeigte, liegen die Emissionen im weiteren Verlauf auf konstant niedrigerem Niveau.

Abbildung 27 NO_x-Emissionen außerorts im WLTC kalt und WLTC warm – VW T5



Auf der Autobahn zeigt das System zwar ein stabiles Reduktionsniveau, das liegt aber äußerst niedrig. Die NO_x-Emissionen können hier nur um ca. 20 Prozent reduziert werden.

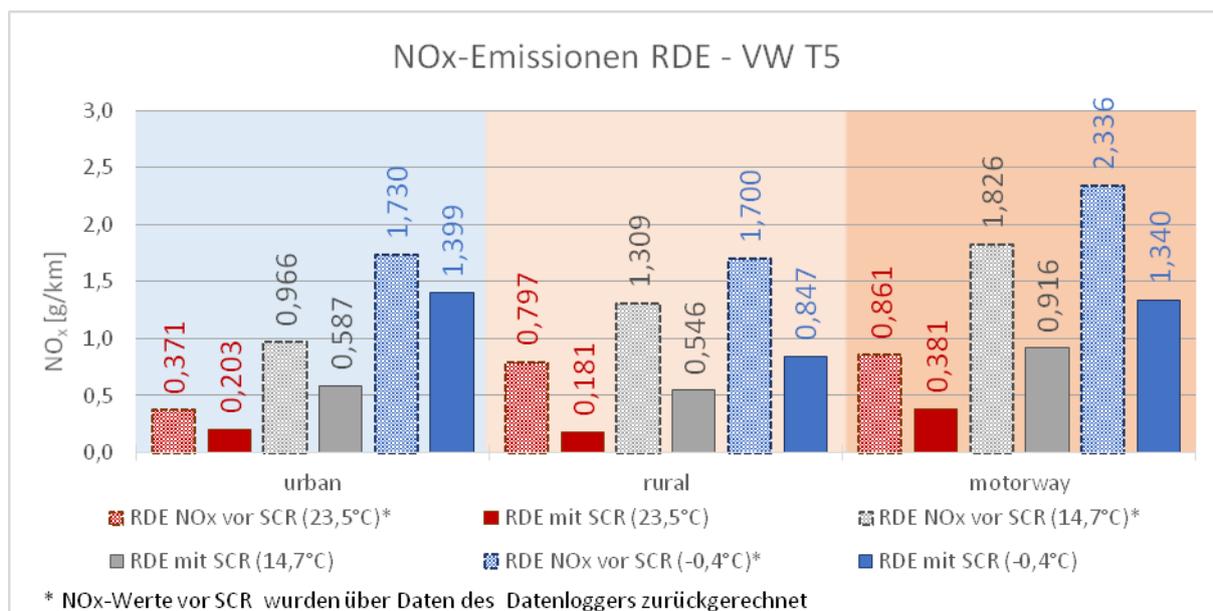
Abbildung 28 NO_x-Emissionen im BAB-Zyklus - VW T5



Erstaunlich niedrig fallen die NO_x-Emissionen bei der sommerlichen RDE-Fahrt aus. Anders sieht das bei herbstlichen Temperaturen aus. Bereits bei 14°C steigen insbesondere in den Phasen „rural“ und „motorway“ die Serienemissionen deutlich an. Ein nochmaliger deutlicher Anstieg der Serienemissionen ist bei der winterlichen RDE-Messung festzustellen. Dann liegen die Serienemissionen teilweise bei weit über zwei Gramm pro Kilometer (motorway).

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 29 NO_x-Emissionen im Realbetrieb (RDE) - VW T5



6.3.10 Emissionsverhalten der gesetzlich limitierten Schadstoffe

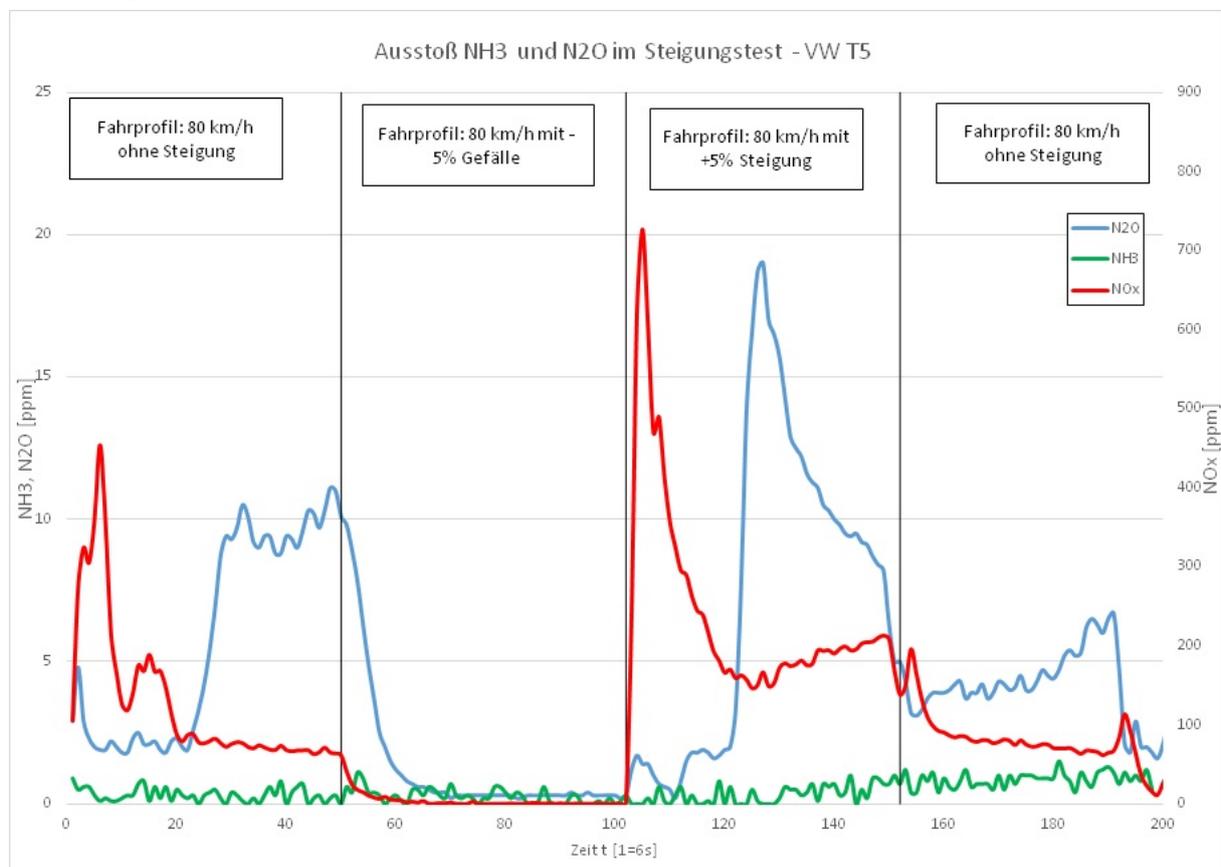
Die Messungen zeigen keine relevante Verschlechterung der restlichen gesetzlich limitierten Emissionen (CO, HC, PM, PN).

6.3.11 Ausstoß von NH₃-Emissionen und Sekundär-Emissionen – VW T5

Das SCR-Naschrüstsysteem ist mit einem wirkungsvollen Ammoniak-Sperrkatalysator ausgestattet. Selbst im anspruchsvollen Steigungstest konnte kein NH₃-Durchbruch festgestellt werden. Die NH₃-Werte liegen mit durchschnittlich 0,6 ppm im Bereich der Messtoleranz

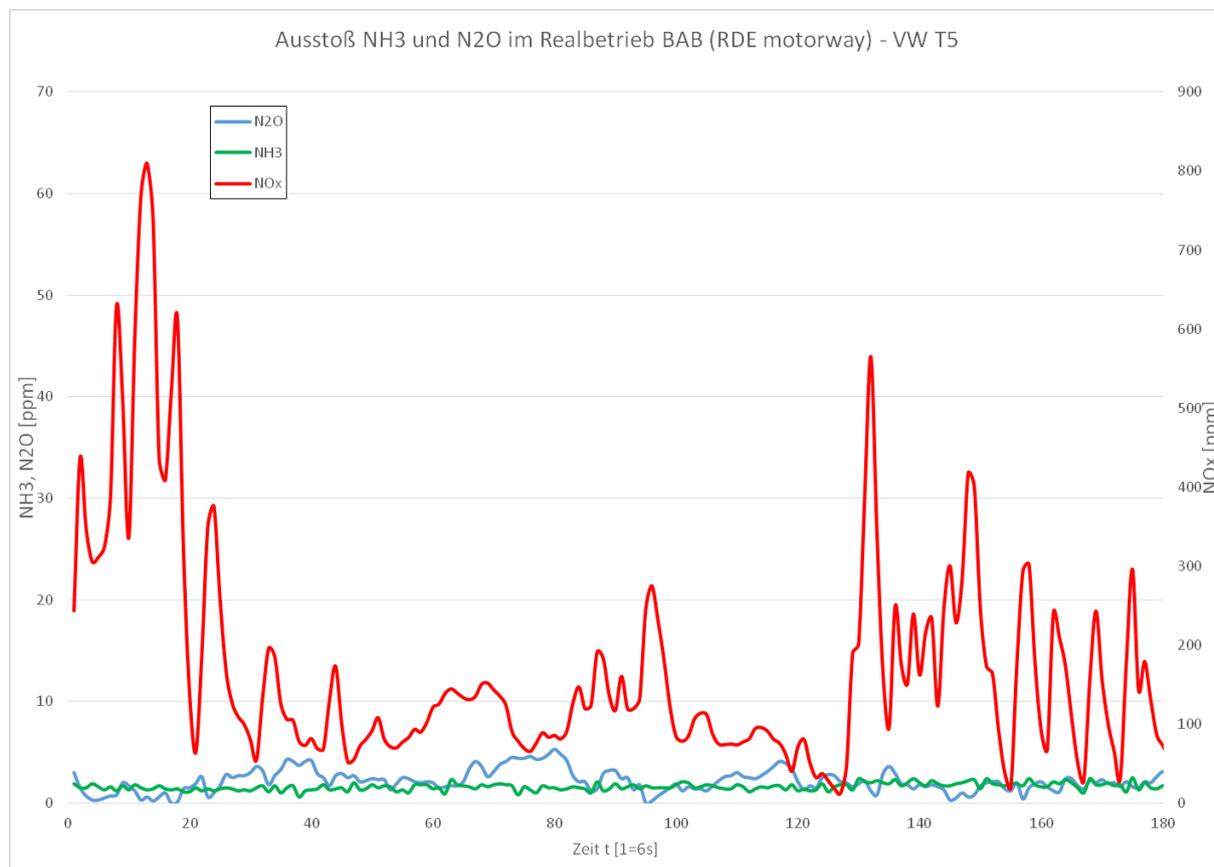
Die Lachgas-Emissionen liegen insgesamt auf niedrigem Niveau. Insbesondere während der Steigungsfahrt steigt die N₂O-Konzentration kurzzeitig auf 19,0 ppm an. Im Schnitt liegt der N₂O-Ausstoß im abgebildeten Fahrzenario bei 5,7 ppm.

Abbildung 30 Ammoniak-/Lachgasemissionen – VW T5



Eine Zusatzmessung im Realbetrieb zeigt ebenfalls keine auffällig hohen NH₃- bzw. N₂O-Emissionen. In der Spitze werden NH₃-Konzentrationen von nur 2,5 ppm festgestellt. Die N₂O-Emissionen liegen bei 2,2 ppm.

Abbildung 31 Ammoniak-/Lachgasemissionen in RDE – VW T5



6.3.12 CO₂-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

Die CO₂-Emissionen erhöhen sich durch die SCR-Nachrüstung je nach Messzyklus zwischen 7,3 g/km und 20,4 g/km (+4,6 % bis +12,7 %). Der Kraftstoffmehrverbrauch beträgt je nach Fahrzyklus zwischen 0,31 l und 0,79 l pro 100 km. Es erfolgte zwar eine Prüfung nach Abschluss des Alltagstests, ob sich der Serienkraftstoffverbrauch im Laufe des Alltagstests verändert hat. Aufgrund eines Defekts an der Bremsanlage waren die Fahrwiderstände bei der Schlussmessung jedoch erhöht, was einen unplausibel hohen Verbrauch nach sich zog. Der Verbrauchswert und CO₂-Ausstoß der Schlussmessung sind daher für Auswertungen nicht verwendbar.

Abbildung 32 CO₂-Emissionen – VW T5

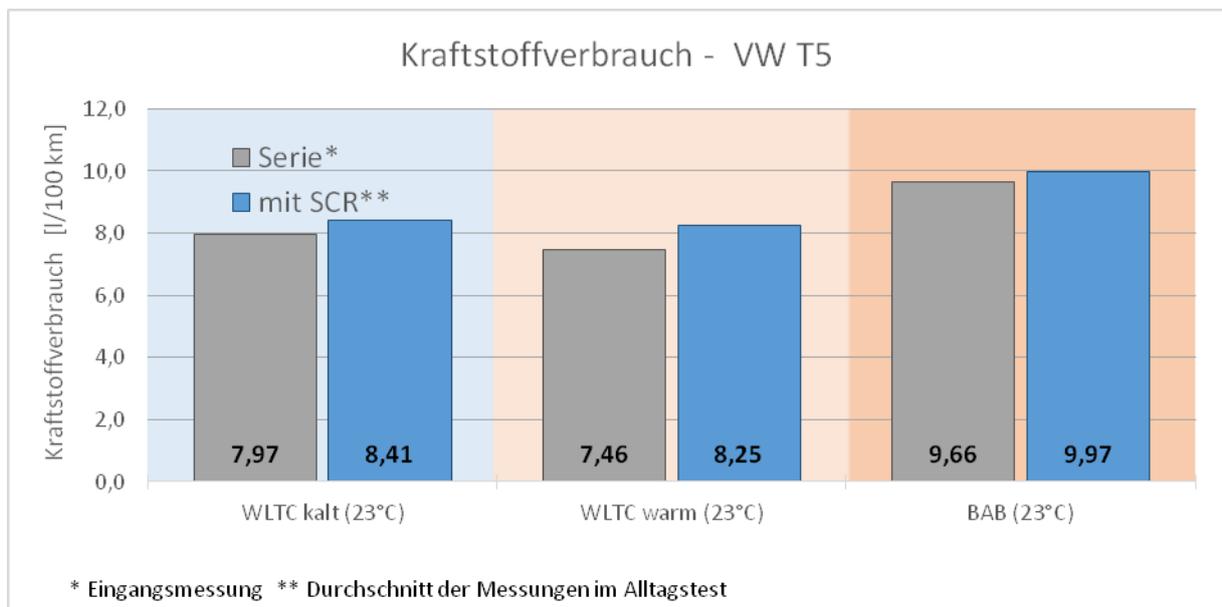
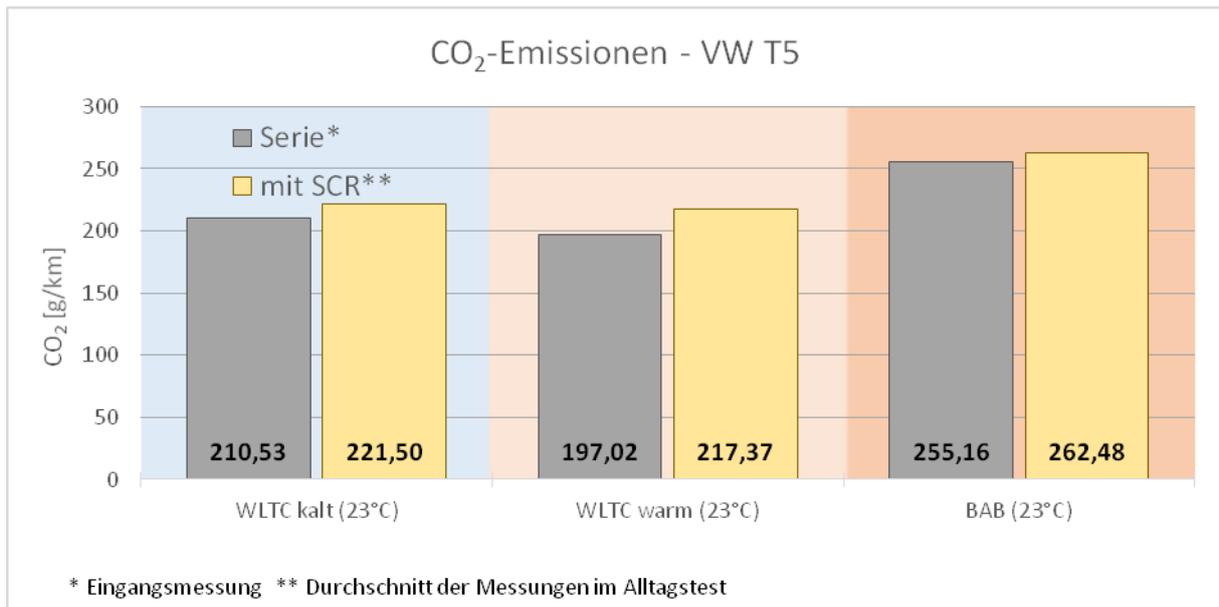


Abbildung 33 Kraftstoffverbrauch – VW T5

6.3.13 Testtagebuch Alltagstest – VW T5 (Oberland-Mangold)

Tabelle 36 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
12.10.2018	83.701	Ende Alltagstest – zweite Etappe	
15.10.2018	83.751	Abgasmessung nach 20.000 km	
20.10.2018	83.944	Start Alltagstest – dritte Etappe	
06.11.2018	93.950	Ende Alltagstest – dritte Etappe	
07.11.2018	93.975	Abgasmessung nach 30.000 km - inkl. Sondermessung nicht limitierter Schadstoffe	
09.11.2018	94.100	Ablagerungen im Hydrolyse-Reaktor des SCR-Systems	Bei Abgasmessungen wurde eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit des SCR-Systems festgestellt. Oberland Mangold konnte den Defekt vor Ort beheben (siehe Stellungnahme)
19.11.2018	94.371	Start Alltagstest – vierte Etappe	
30.11.2018	101.496	Fehlermeldung SCR-System	60A-Hauptsicherung defekt. Sicherung getauscht

03.12.2018	102.921	RDE-Messung – herbstliche Temperatur inkl. Sondermessung nicht limitierter Schadstoffe	
07.12.2018	104.402	Ende Alltagstest – vierte Etappe	
11.12.2018	104.404	Abgasmessung nach 40.000 km	
11.12.2018	104.450	Fehlermeldung SCR-System	60A-Hauptsicherung defekt. Sicherung erneuert getauscht. Neuen Sicherungsträger verbaut
13.12.2018	104.510	Start Alltagstest – fünfte Etappe	
03.01.2019	114.457	Ende Alltagstest – fünfte Etappe	
04.01.2019	114.499	Abgasmessung nach 50.000 km	
21.01.2019	118.350	RDE-Messung – winterliche Temperatur	
19.02.2019	118.688	Abgasmessung ohne SCR	Erhöhte Rollwiderstände während der Messung, Bremsanlage vorne rechts fest

Bis zum Ende der dritten Etappe des Alltagstests gab es beim VW T5 keine Auffälligkeiten. Nach der 30.000 km Messung wurden jedoch Ablagerungen im Hydrolyse-Reaktor festgestellt, die die Leistungsfähigkeit des SCR-Systems reduzierten. Zudem gab es zwei Systemausfälle aufgrund defekter Hauptsicherungen.

Oberland Mangold gab bezüglich den Ablagerungen im Hydrolyse-Reaktor am 12.12.2018 folgende Stellungnahme ab:

„Im Rahmen der vom ADAC durchgeführten RDE-Messung am 13.11.18 (30.000 km) wurden am Demonstrator-Fahrzeug ungewöhnlich hohe NO_x-Emissionen (>1300 mg/km) nach SCR gemessen. Diese hohe NO_x-Emission führte zu der Vermutung, dass das installierte Nachrüstsystem während der Messung keine bzw. nur eine stark reduzierte Minderungsleistung aufwies. Am 16.11. wurde das System durch Oberland Mangold vor Ort in Landsberg begutachtet. Bei der visuellen Inspektion der Hydrolyse-Reaktor-Einheit wurden Ablagerungen in Form von Harnstoff-Nebenprodukten im Bereich der Flanschverbindung zwischen Einspritzventil und Hydrolyse-Reaktor festgestellt, welche zu einer Reduktion des freien Querschnitts im Bereich des Dosierflansches geführt haben. Diese Querschnittsverengung führte einerseits zu einer Reduzierung der eingedüsten Adblue-Fördermenge und andererseits zu einer Verschlechterung der „Spray-Qualität“ und wirkte sich dadurch unmittelbar auf die NO_x-Reduktionsleistung des SCR-Systems aus. Die Ablagerungen wurden im Zuge der Kontrolle durch Oberland Mangold beseitigt, wobei sowohl der Injektor als auch das Reaktorgehäuse selbst unverändert blieben. Nach Beseitigung der Ablagerungen konnte die Funktionsfähigkeit des Systems wieder hergestellt werden.“

Als Ursache für die Ablagerungen wird seitens Oberland Mangold eine Wandfilmbenetzung der Rohrhülse am Eintritt in den Reaktor gesehen. Nachdem im Bereich der Verbindungsstelle zwischen Reaktor und Injektor die Isolation des Reaktors für die Montage ausgespart ist, stellt

diese Verbindungsstelle zwischen Reaktor und Einspritzventil eine Kältebrücke dar. Kommt es aufgrund von Spraywinkelveränderungen in diesem Bereich zu einer Wandfilmbenetzung, so können sich in diesem Bereich unter ungünstigen Bedingungen Feststoffablagerungen aufbauen. Um diesen Effekt zu vermeiden, sind für ein späteres Serienprodukt bereits konstruktive Veränderungen am Reaktorgehäuse und an der Gehäuseisolation vorgesehen. In erster Linie kann die beobachtete Wandfilmbenetzung durch eine Vergrößerung des Durchmessers der Flanschbohrung in Verbindung mit einer konischen Aufweitung der anschließenden Verbindungsrohrhülse verhindert werden. Im Bereich der Isolation werden im Rahmen der Serienentwicklung weitere Optimierungsschritte vorgenommen, welche die „kalten Oberflächen“ im Bereich der Injektor-Anbindung vermeiden.“

Bezüglich der defekten Hauptsicherungen gab Oberland Mangold am 12.12.2018 folgende Stellungnahme ab:

„Am 30.11. wurde Oberland Mangold durch den ADAC informiert, dass die System-OBd einen Systemfehler anzeigt (Erkennung Fehlfunktion über Diagnose-LED). Nach Auswertung der übermittelten Systemdaten konnte durch Oberland Mangold ein inaktives Heizelement des Reaktors als Ursache diagnostiziert werden. Nach Rücksprache mit einem Techniker des ADAC konnte eine defekte AGU-Glassicherung am Fahrzeug festgestellt werden. Nach dem Austausch der Sicherung durch das ADAC-Technikpersonal konnte die Systembereitschaft wieder hergestellt werden. Der identische Fehler trat am 11.12.18 ein zweites Mal auf.

Auffällig war, dass beide defekten Sicherungen nicht im Bereich der vorgesehenen „Sollbruchstelle“ geschmolzen sind, sondern sich in beiden Fällen die Verbindung zwischen Metallkappe und Schmelzdraht gelöst hatte. Diese Schadensbild deutet darauf hin, dass die Sicherung nicht aufgrund von überhöhten Strömen ausgefallen ist, sondern dass diese Sicherung, welche eigentlich aus der HiFi-Anwendung kommt für den Einsatz im Motorraum qualitativ nicht geeignet ist. Dieser Sicherungstyp kam im Demonstrator-Fahrzeug nur zum Einsatz, da ein geeigneter Sicherungstyp im Prototypen-Kabelbaum aus zeitlichen Gründen nicht rechtzeitig umgesetzt werden konnte. Im Rahmen der Weiterentwicklung wurde diese Schwachstelle bei Oberland Mangold bereits eliminiert. In den aktuell bei Oberland Mangold verbauten Kabelbäumen kommen bereits ein für diese Anwendung angepasster Sicherungstyp zum Einsatz.“

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 34 Opel Astra auf dem Abgasprüfstand

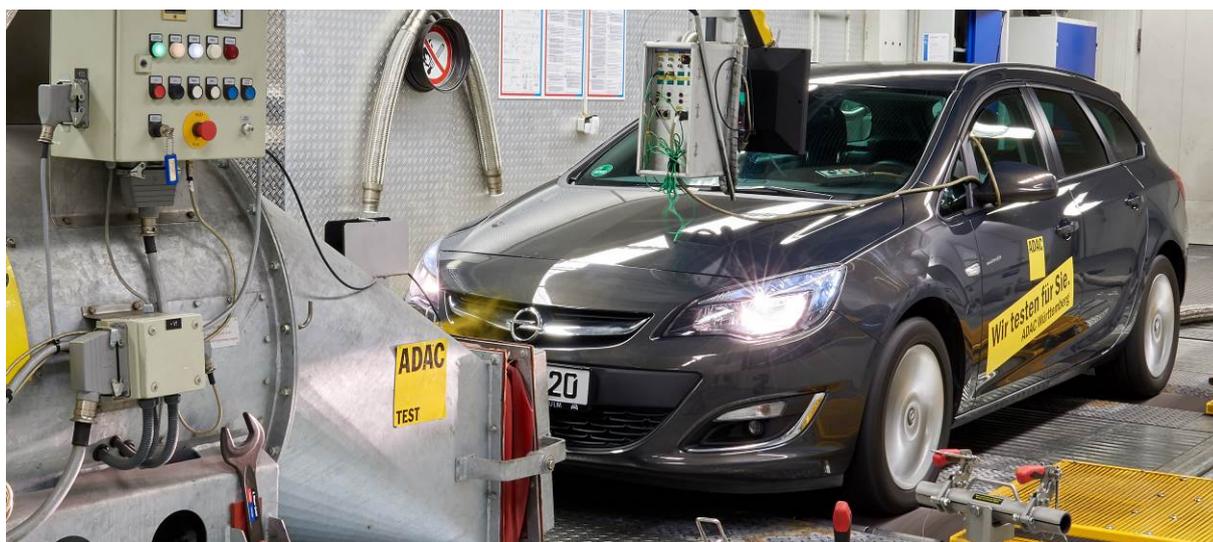


Tabelle 37 Technische Daten Opel Astra

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
Maximale Motorleistung	81 kW (110 PS) bei 4.000 1/min
Maximales Motordrehmoment	260 Nm bei 1.700 1/min
Leergewicht Herstellerangabe/gewogen	1.613 kg/ 1.562 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	2.120 kg

Tabelle 38 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 Batterie, 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. Aufgrund der technischen Herausforderungen werden vermutlich für Fahrzeuge mit Unterflur verbauten Dieselpartikelfiltern SCR-Nachrüstungen 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 35 Informationsdisplay Opel Astra

Tabelle 39 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 Serienemissionen 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 40 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 41 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 42 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 43 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 44 Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km - Opel Astra (Twintec)

Opel Astra mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 09/2018		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 45 NO_x-Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 10.000 km

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 Abgasemissionen Alltagstest nach 20.000 km

Tabelle 46 Abgasemissionen Alltagstest nach 20.000 km - Opel Astra (Twintec)

Opel Astra mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 10/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	5,41	5,32	5,72
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	142,14	140,00	150,59
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,196	0,029	0,012
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,006	0,004	0,006
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,406	0,379	0,471
	HC+NO _x [g/km]	0,412	0,382	0,477
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,177	0,183	0,238
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,135	0,101	0,106
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0001	0,0002	0,0009
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,0626x10 ¹¹	0,0696x10 ¹¹	0,114x10 ¹¹

Tabelle 47 NO_x-Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 20.000 km

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,339	0,293
Außerorts**	[g/km]	0,529	0,534
Gesamt	[g/km]	0,406	0,379

* 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)

7.3.5 Abgasemissionen Alltagstest nach 30.000 km

Tabelle 48 Abgasemissionen Alltagstest nach 30.000 km - Opel Astra (Twintec)

Opel Astra mit SCR-Nachrüstung		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (8,8°C)	BAB (23°C)
Messdatum: 11/2018					
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	5,51	4,82	6,33	5,88
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	144,73	126,97	167,22	154,92
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,17	0,020	0,088	0,019
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,015	0,016	-	0,008
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,282	0,403	0,560	0,807
	HC+NO _x [g/km]	0,297	0,419	-	0,815
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,148	0,180	0,542	0,358
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,055	0,127	0,018	0,257
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0002	0,0001	-	0,0009
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,0151x10 ¹¹	0,0161x10 ¹¹	0,011x10 ¹¹	0,0252x10 ¹¹

Tabelle 49 NO_x-Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 30.000 km

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (8,8°C)
Innerorts*	[g/km]	0,293	0,274	0,702
Außerorts**	[g/km]	0,258	0,639	0,293
Gesamt	[g/km]	0,282	0,403	0,560

* 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)

7.3.6 Abgasemissionen Alltagstest nach 40.000 km

Tabelle 50 Abgasemissionen Alltagstest nach 40.000 km - Opel Astra (Twintec)

Opel Astra mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 12/2018		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)		BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	5,46	5,29		5,9
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	143,64	139,4		155,43
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,13	0,018		0,017
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,018	0,011		0,016
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,146	0,123		0,143
	HC+NO _x [g/km]	0,164	0,134		0,159
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,083	0,072		0,086
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,146	0,013		0,011
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0002	0,0003		0,0012
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,018x10 ¹¹	0,0311x10 ¹¹		0,0393x10 ¹¹

Tabelle 51 NO_x-Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 40.000 km

NO_x-Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,187	0,134
Außerorts**	[g/km]	0,070	0,102
Gesamt	[g/km]	0,146	0,123

* 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)

7.3.7 Abgasemissionen Alltagstest nach 50.000 km

Tabelle 52 Abgasemissionen Alltagstest nach 50.000 km - Opel Astra (Twintec)

Opel Astra mit SCR-Nachrüstung Messdatum: 01/2019		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (-0,3°C)	BAB (23°C)
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	5,27	5,38	6,1	6,14
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	138,51	141,58	159,76	161,79
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,122	0,024	0,139	0,019
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,016	0,009	-	0,012
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,217	0,144	0,712	0,051
	HC+NO _x [g/km]	0,233	0,152	-	0,063
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,122	0,082	-	0,032
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,03	0,018	-	0,002
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0002	0,0002	-	0,0006
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,0128x10 ¹¹	0,0318x10 ¹¹	0,0058x10 ¹¹	0,0649x10 ¹¹

Tabelle 53 NO_x-Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 50.000 km

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	RDE (-0,3°C)
Innerorts*	[g/km]	0,244	0,129	0,865
Außerorts**	[g/km]	0,165	0,171	0,373
Gesamt	[g/km]	0,217	0,144	0,712

* 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)

7.3.8 Abgasemissionen nach Ende Alltagstest ohne SCR

Tabelle 54 Abgasemissionen nach Alltagstest ohne SCR – Opel Astra (Twintec)

Opel Astra mit SCR-Nachrüstung		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)	BAB (23°C)
Messdatum: 01/2019				
Kraftstoffverbrauch	FC [l/100 km]	4,96	5,05	5,94
Kohlendioxid	CO ₂ [g/km]	130,58	133,07	156,31
Kohlenmonoxid	CO [g/km]	0,086	0,023	0,017
Kohlenwasserstoff	HC [g/km]	0,015	0,009	0,011
Stickstoffoxide	NO _x [g/km]	0,731	0,785	1,284
	HC+NO _x [g/km]	0,746	0,794	1,295
Stickstoffmonoxid	NO [g/km]	0,248	0,283	0,518
Stickstoffdioxid	NO ₂ [g/km]	0,35	0,35	0,487
Partikelmasse	PM [g/km]	0,0003	0,0003	0,0006
Partikelanzahl	PN [1/km]	0,0063x10 ¹¹	0,0218x10 ¹¹	0,0571x10 ¹¹

Tabelle 55 NO_x-Emissionen Opel Astra nach Alltagstest ohne SCR

NO _x -Ausstoß		WLTC kalt (23°C)	WLTC warm (23°C)
Innerorts*	[g/km]	0,537	0,584
Außerorts**	[g/km]	1,085	1,154
Gesamt	[g/km]	0,731	0,785

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

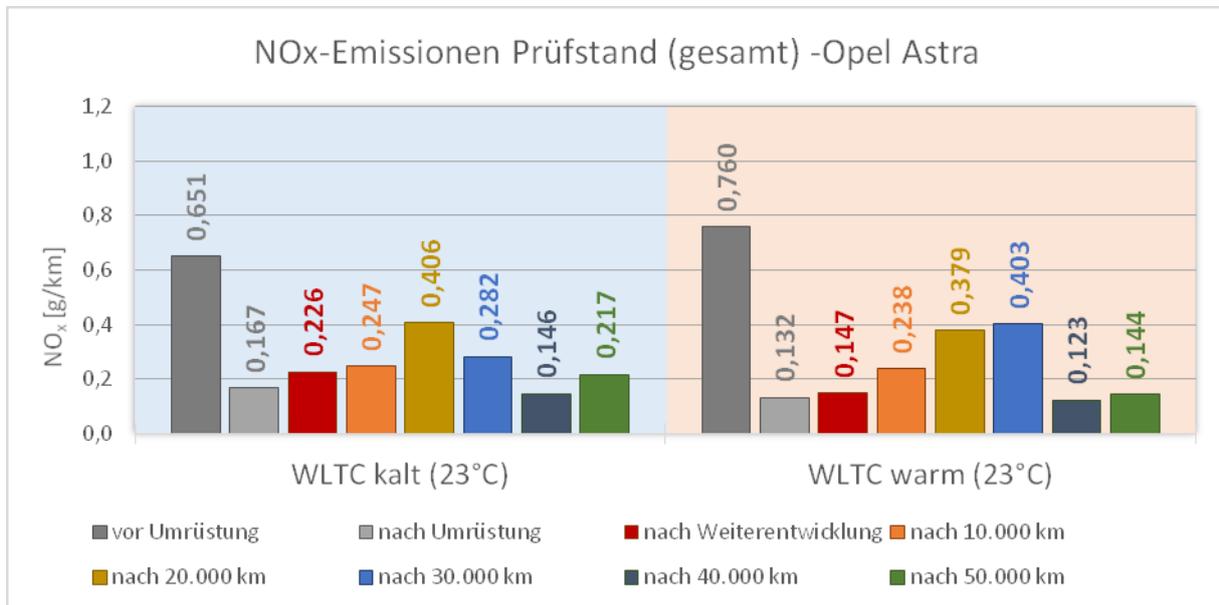
** entspricht im WLTC der Phase 4 (extra high) und in RDE der Phase 3 (motorway)

7.3.9 Reduzierung des Stickoxidausstoßes durch SCR-Nachrüstung

Im WLTC zeigt das Nachrüstsystem auch nach der Weiterentwicklung eine hohe NO_x-Reduktion. Dennoch ist auffällig, dass sich die NO_x-Emissionen über die Laufleistung kontinuierlich erhöhen. Als Ursache konnte letztendlich ein unausgereiftes Energiemanagement ausgemacht werden. Die Zusatzbatterie im Kofferraum konnte durch den fahrzeugseitigen Generator nicht unter allen Bedingungen zuverlässig aufgeladen werden. In der Folge wurde das SCR-System unter bestimmten Fahrsituationen deaktiviert bzw. zum Schutz der Bordelektronik der Umsatz des SCR-Systems vorübergehend reduziert. Ab der 40.000 km Messung wurde die im Kofferraum verbaute Zusatzbatterie vor Testbeginn mit mittels externen Batterieladegeräts

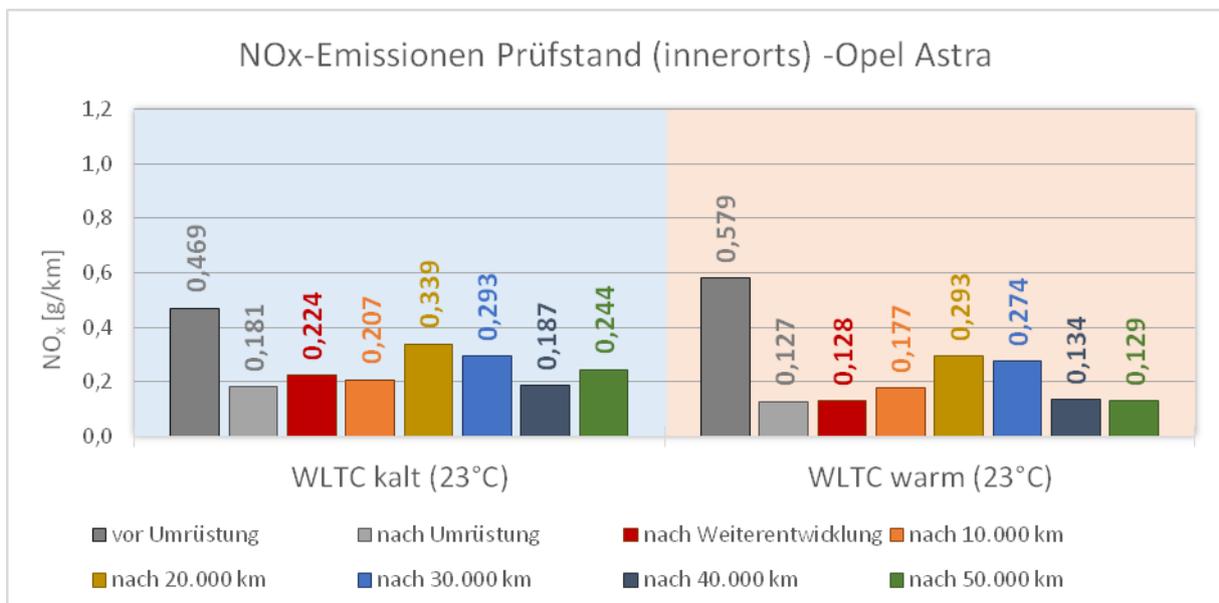
aufgeladen, um Verfälschungen der Emissionsmessungen aufgrund zu geringer Batterieladung zu vermeiden. Die Ergebnisse zeigen, dass die prinzipielle Funktionsstabilität des SCR-Katalysators gegeben ist und keine Alterung der Komponenten stattgefunden hat. Die Reduktionsraten liegen auch zum Ende des Alltagstest auf Ausgangsniveau.

Abbildung 36 NO_x-Emissionen im WLTC kalt und WLTC warm – Opel Astra



Im Innerortsteil des WLTC erkennt man bei der 20.000 km und 30.000 km Messung eine nachlassende Systemperformance. Die darauffolgenden Messungen liegen dagegen wieder auf Ausgangsniveau.

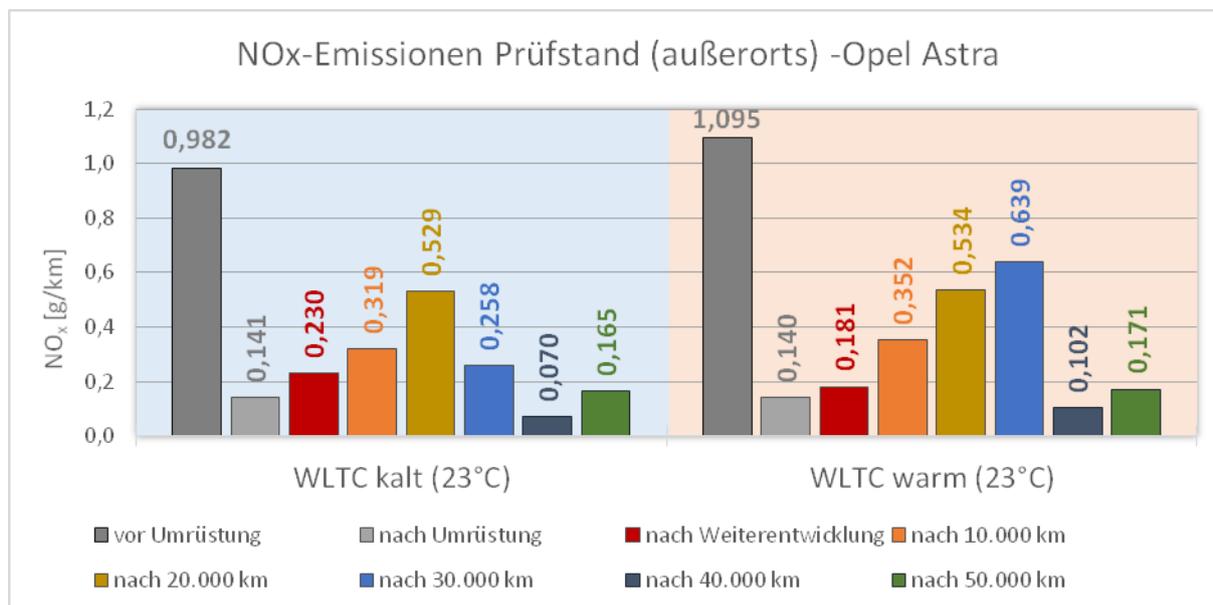
Abbildung 37 NO_x-Emissionen innerorts im WLTC kalt und WLTC warm – Opel Astra



Im Außerortsteil des WLTC wird die nachlassende Performance des im Opel Astra verbauten SCR-Systems noch deutlicher. Quasi über jede Messung hinweg verschlechtert sich der NO_x-

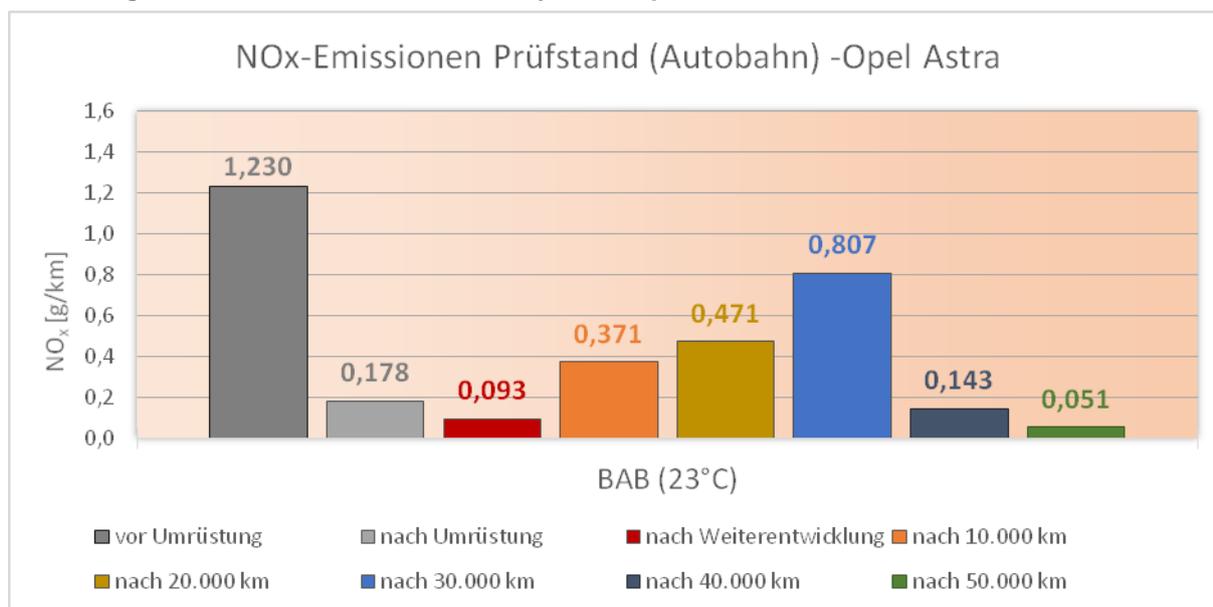
Wert. Eine Ausnahme bildet die 30.000 km-Messung im WLTC kalt. Hier liegt der Außerorts-wert plötzlich wieder im Bereich der Eingangsmessung nach Weiterentwicklung. Hier scheint das Energiemanagement kurzzeitig funktioniert zu haben.

Abbildung 38 NO_x-Emissionen außerorts im WLTC kalt und WLTC warm – Opel Astra



Auch im Autobahnzyklus verschlechtern sich die NO_x-Werte zunehmend bis zur 30.000 km Messung. Nach Erkennung und Gegensteuern des Problems, liegen die Autobahnwerte plötzlich wieder auf einem extrem niedrigen Niveau, nahe dem Euro6-Prüfstandsrenzwert.

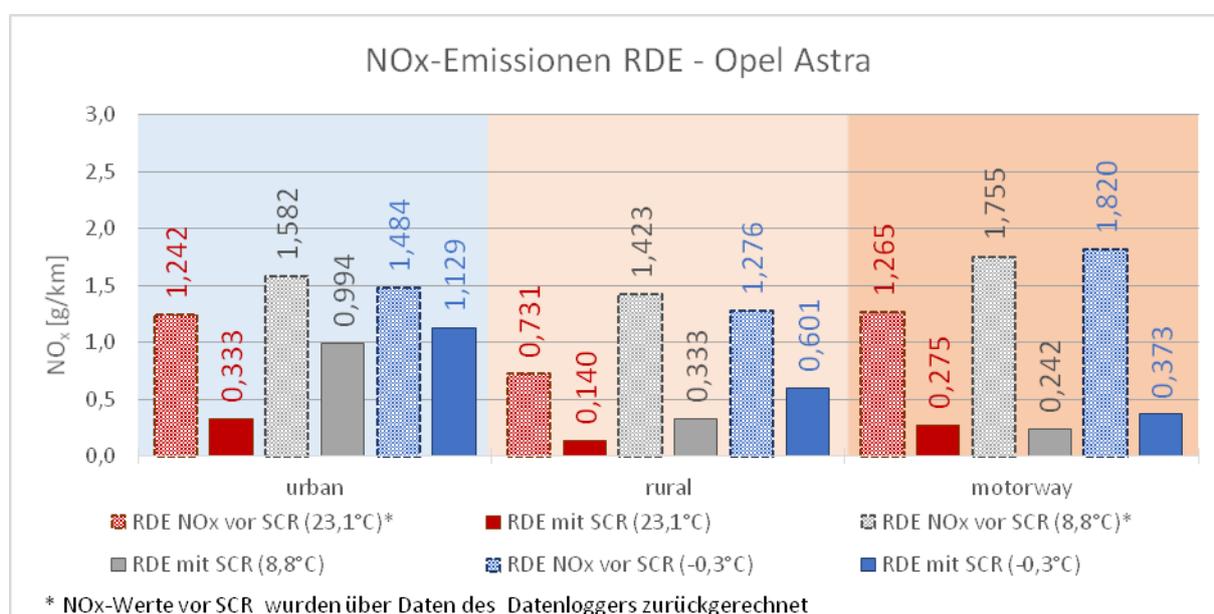
Abbildung 39 NO_x-Emissionen im BAB-Zyklus - Opel Astra



Die RDE-Messung bei sommerlicher Temperatur zeigt in allen Phasen ein stabiles Reduktionsniveau. Die herbstlichen Temperaturen lassen die Serienemissionen des Opel insbesondere in den Phasen „rural“ und „motorway“ stark ansteigen. Dennoch kann das SCR-Nachrüstsystem die Emissionen deutlich mindern. Hat das SCR-System erstmal ideale Betriebstemperatur erreicht, liegen die NO_x-Emissionen trotz der deutlich höheren Serienemissionen beinahe auf gleichem Niveau wie bei sommerlichen Temperaturen. Auffällig beim Opel ist, dass die Serienemissionen bei der RDE-Messung im Winter nicht weiter ansteigen, sondern fast auf gleichem Niveau liegen, wie bei herbstlichen Temperaturen. Speziell in der Kaltstartphase fällt die Minderungsrate durch die kalten Temperaturen deutlich geringer aus, als im Sommer und Herbst. Hat das System allerdings erstmal Betriebstemperatur erreicht, wird eine ähnlich hohe NO_x-Reduktion erreicht, wie bei wärmeren Außentemperaturen.

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 40 NO_x-Emissionen im Realbetrieb (RDE) – Opel Astra



7.3.10 Emissionsverhalten der gesetzlich limitierten Schadstoffe

Die Messungen zeigen keine relevante Verschlechterung der restlichen gesetzlich limitierten Emissionen (CO, HC, PM, PN).

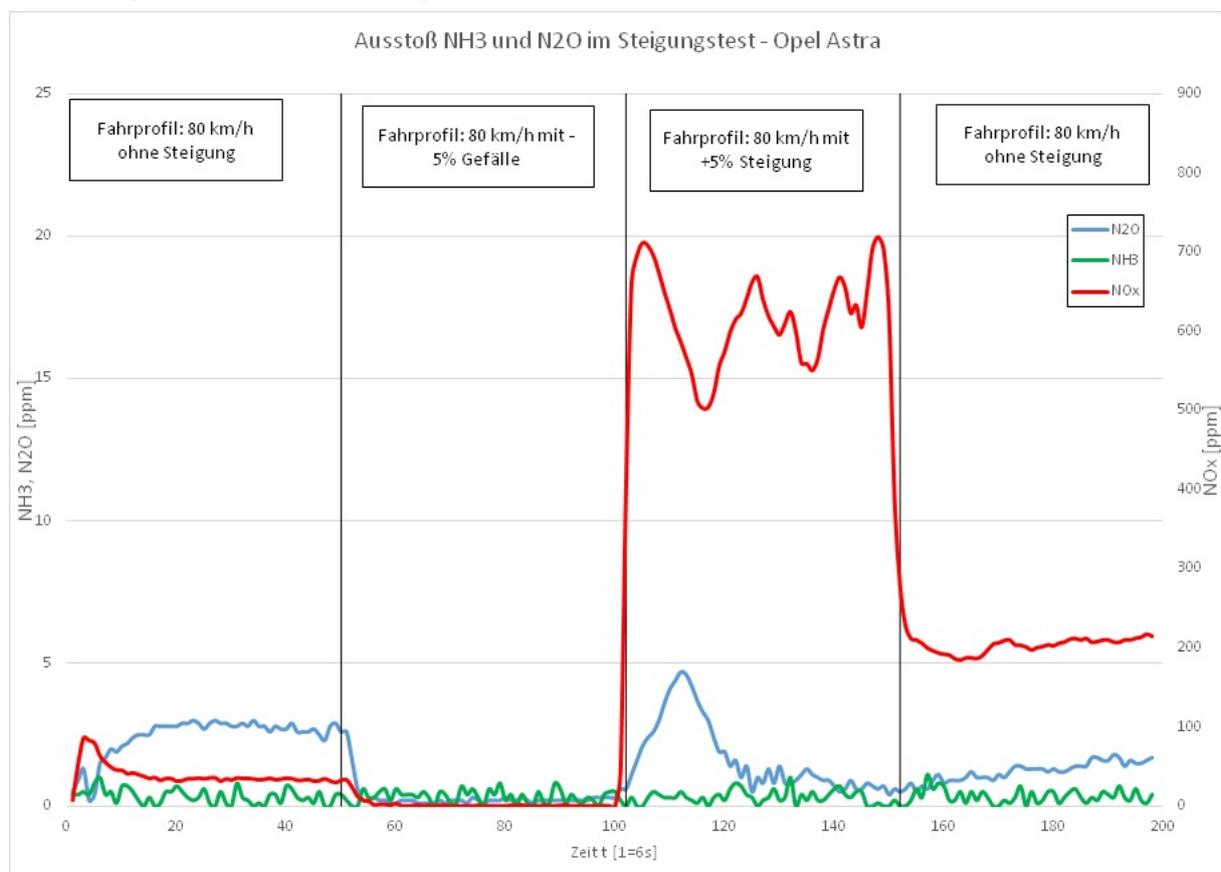
7.3.11 Ausstoß von NH₃-Emissionen und Sekundär-Emissionen – Opel Astra

Das SCR-Naschrüstsysteem ist mit einem wirkungsvollen Ammoniak-Sperrkatalysator ausgestattet. Selbst im anspruchsvollen Steigungstest konnte kein NH₃-Durchbruch festgestellt werden. Die NH₃-Werte liegen mit durchschnittlich 0,3 ppm im Bereich der Messtoleranz.

Die Lachgas-Emissionen liegen insgesamt auf niedrigem Niveau. Im Schnitt liegt der N₂O-Ausstoß im abgebildeten Fahrscenario bei 1,4 ppm.

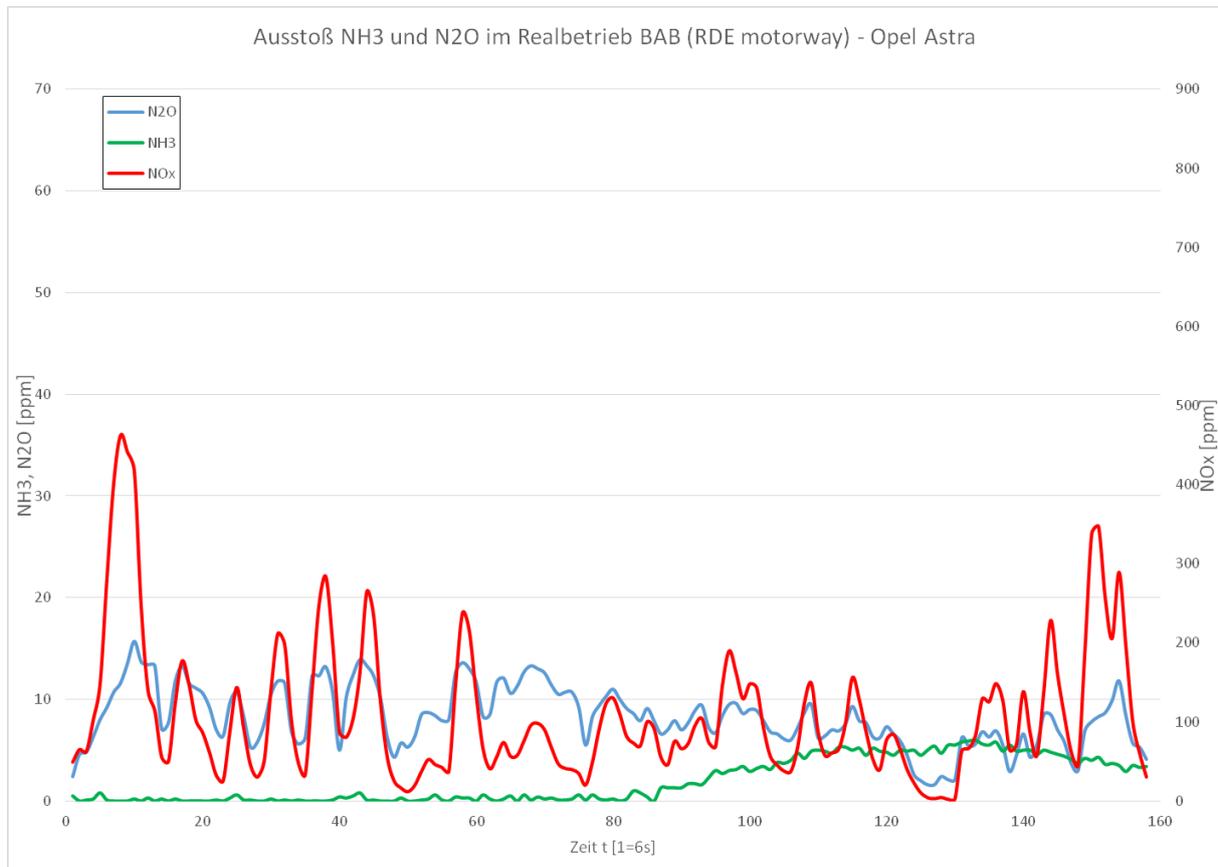
Da die NO_x-Reduktionsrate im Steigungstest sehr niedrig ausfällt, muss davon ausgegangen werden, dass auch in diesem Test die Dosierrate aufgrund einer instabilen Energieversorgung reduziert wurde.

Abbildung 41 Ammoniak-/Lachgasemissionen – Opel Astra



Eine Zusatzmessung im Realbetrieb zeigt jedoch ebenfalls keine auffällig hohen NH_3 - bzw. N_2O -Emissionen. Hier werden in der Spitze Konzentrationen von bis zu 6,0 ppm festgestellt. Die N_2O -Emissionen liegen bei 8,3 ppm.

Abbildung 42 Ammoniak-/Lachgasemissionen in RDE - Opel Astra



7.3.12 CO₂-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

Die CO₂-Emissionen erhöhen sich durch die SCR-Nachrüstung je nach Messzyklus zwischen 0,9 g/km und 13,4 g/km (+1,6 % bis +16,0 %). Der Kraftstoffmehrerverbrauch beträgt je nach Fahrzyklus zwischen 0,04 l und 0,50 l pro 100 km. Nach Abschluss des Alltagstests erfolgte eine erneute Prüfung mit deaktiviertem SCR-System, ob sich der Serienkraftstoffverbrauch im Laufe des Alltagstests verändert hat. Die Ergebnisse zeigen lediglich im WLTC-Zyklus mit warmem Motor einen geringen Verbrauchsanstieg. Die Werte des WLTC kalt und Autobahnzyklus liegen dagegen fast auf Ausgangsniveau.

Abbildung 43 CO₂-Emissionen – Opel Astra

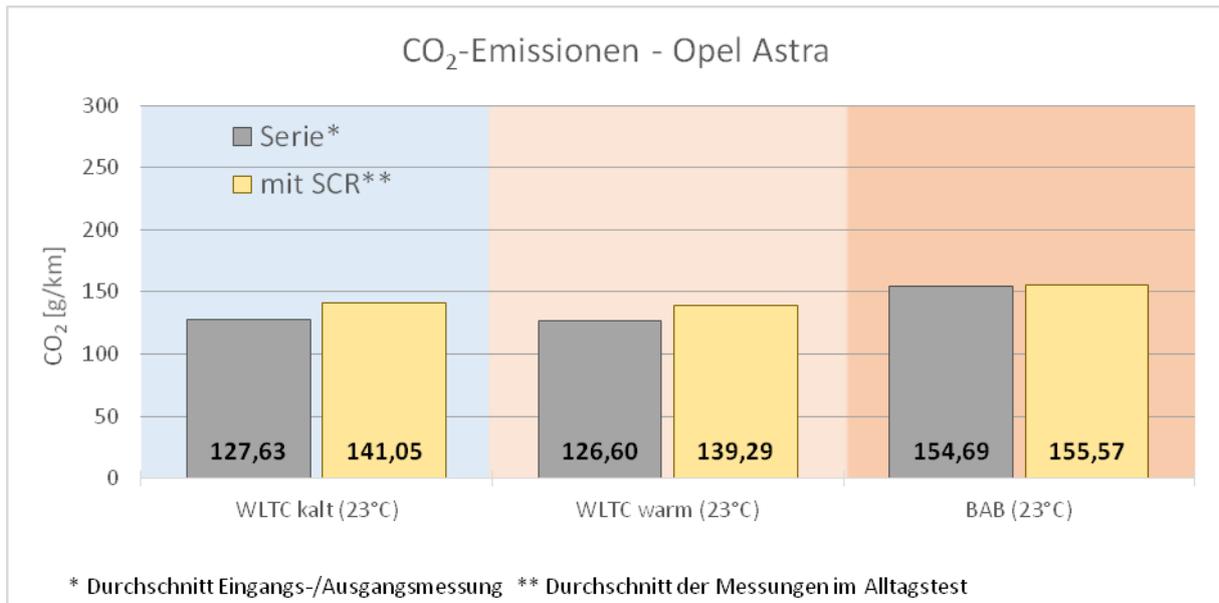
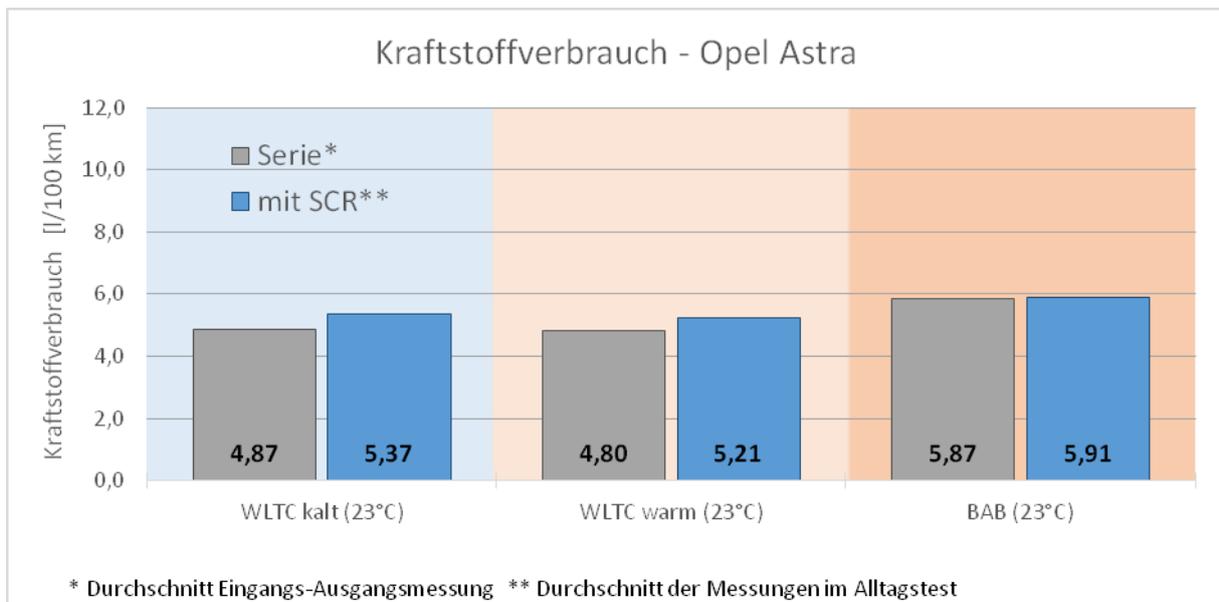


Abbildung 44 Kraftstoffverbrauch – Opel Astra



7.3.13 Testtagebuch Alltagstest – Opel Astra (Twintec)

Tabelle 56 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
13.10.2018	108.888	Ende Alltagstest – zweite Etappe	
18.10.2018	108.890	Fahrzeugbatterie hat zeitweise Unterspannung	Fahrzeugbatterie erneuert
18.10.2018	108.942	Abgasmessung nach 20.000 km	
22.10.2018	109.040	Start Alltagstest – dritte Etappe	

25.10.2018	111.958	Reparatur AdBlue-Füllstandanzeige und Ersetzen der T-Stücke am Kühlwasserkreislauf	Techniker der Firma Twintec haben die T-Stücke zum Abgriff von Kühlwasser durch eine haltbarere Lösung ersetzt. Der Füllstandsensoren im AdBlue-Tank wurde neu justiert und ist nun wieder funktionsfähig
07.11.2018	119.187	Ende Alltagstest – dritte Etappe	
08.11.2018	119.187	Fehler in Fehlerspeicher ausgelesen: Partikelfilter	Mechanischer Defekt am Flexrohr der Abgasleitung zur Entnahme des Abgasstroms für den Hydrolysereaktor. Fahrzeug wurde zur Reparatur der Flexleitung zur Firma Twintec überführt (Reparatur vor Ort nicht möglich). Siehe Stellungnahme Twintec
16.11.2018	120.800	RDE-Messung – herbstliche Temperatur inkl. Sondermessung nicht limitierter Schadstoffe	
21.11.2018	120.852	Abgasmessung nach 30.000 km inkl. Sondermessung nicht limitierter Schadstoffe	
21.11.2018	120.933	Stark erhöhte NO _x -Werte während der Abgasmessungen	Zusatzbatterie wird während des Prüfstandtests nicht korrekt durch den Generator geladen. SCR-System wird zur Vermeidung von Unterspannung automatisch deaktiviert. Details siehe Stellungnahme Twintec
23.11.2018	121.039	Start Alltagstest – vierte Etappe	
29.11.2018	124.865	Fehlermeldung: Kraftstoffsystem, zu hoher Druck	Erneuerung des Kraftstoffdruckventils. Dieser Defekt steht nicht in Zusammenhang mit der SCR-Nachrüstung
13.12.2018	130.971	Ende Alltagstest – vierte Etappe	
14.12.2018	131.001	Abgasmessung nach 40.000 km	
19.12.2018	131.078	Start Alltagstest – fünfte Etappe	
08.01.2019	140.001	Warnleuchte zeigt Systemausfall an	Trotz aktivierter Warnleuchte war das SCR-System weiterhin aktiv. Fehler im Steuergerät konnte durch einen Techniker der Firma Twintec behoben werden
11.01.2019	141.087	Ende Alltagstest – fünfte Etappe	
17.01.2019	141.179	Abgasmessung nach 50.000 km	
24.01.2019	141.350	RDE-Messung – winterliche Temperatur	
14.02.2019	141.700	Abgasmessung ohne SCR	

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.“

Am 25.10.2018 waren Techniker der Firma Twintec vor Ort, um die Füllstandanzeige des AdBlue®-Tanks neu zu justieren. Die Halterung des Sensors hatte sich gelockert. Auch die T-Stücke der Kühlwasserleitungen wurden durch dauerhaltbare T-Stücke ersetzt.

Laut Auswertung des internen Datenloggers durch Twintec hat das System bei der 10.000 km Messung eine niedrige Batteriespannung erkannt und zum Schutz der Bordelektronik den Umsatz des SCR-Systems vorübergehend reduziert. Daraufhin wurde vor Durchführung der 20.000 km Messung vorsorglich die Fahrzeugbatterie erneuert.

Am 08.11.2018 wurde nach Beendigung der dritten Etappe des Alltagstests routinemäßig der Fehlerspeicher des Fahrzeuges ausgelesen. Dabei war eine Fehlfunktion des Partikelfilters hinterlegt. Bei der anschließenden Fehlersuche in einer Fachwerkstatt wurde ein Riss im Flexrohr der Zuleitung zum Hydrolyse-Reaktor entdeckt. Da das defekte Flexrohr herausgetrennt und ein neues eingeschweißt werden musste, war eine Reparatur des Fahrzeuges

durch Twintec vor Ort nicht möglich. Daher wurde das Fahrzeug zur Reparatur am 12.11.2018 zur Firma Twintec überführt und wurde am 15.11.2018 wieder im ADAC Technik Zentrum angeliefert.

Bezüglich des defekten Flexrohres gab Twintec am 12.12.2018 folgende Stellungnahme ab:

„Aus Zeit- und Kostengründen wurde der BNO_x-Generator mit einer Flexrohr-Verbindung angeschlossen. Wir würden eine solche Verbindung nicht in die Serie bringen, sondern es ist eine Verbindung, die dem Zustand „Stückzahl 1-Prototyp“ geschuldet ist. In der Serie würden wir ein festes, vorgeformtes Rohr verwenden. Nachbesserung des defekten Rohrs: Wir haben für das defekte Flexrohr, aufgrund der kurzen Umbauzeit, wieder ein Flexrohr mit verbesserter Verlegung verwendet.“

Am 29.11.2018 musste der Alltagstest aufgrund eines plötzlichen Leistungsabfalls während der Fahrt und leuchtender Motorkontrollleuchte kurzfristig unterbrochen werden. Die Diagnose in einer Fachwerkstatt ergab einen Defekt eines Kraftstoffdruckventils, das anschließend erneuert wurde. Der Defekt des Kraftstoffdruckventils hängt nicht mit der SCR-Nachrüstung zusammen.

Am 08.01.2019 leuchte während des Dauerlauftests plötzlich die Warnleuchte im Infodisplay auf und zeigte einen Systemausfall an. Die Überprüfung ergab, dass das SCR-System trotz Fehlermeldung im Display voll funktionsfähig war. Ein Techniker der Firma Twintec konnte den Fehler in der Steuerelektronik vor Ort beheben.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	NO _x -Emissionen im sommerlichen Realbetrieb (RDE-Messung)	9
Abbildung 2	NO _x -Emissionen im herbstlichen Realbetrieb (RDE-Messung)	10
Abbildung 3	NO _x -Emissionen im winterlichen Realbetrieb (RDE-Messung).....	11
Abbildung 4	NO _x -Emissionen Stadt-/Überland im WLTC kalt/warm und RDE.....	12
Abbildung 5	CO ₂ -Emissionen durch SCR-Nachrüstung.....	13
Abbildung 6	Ammoniak (NH ₃)-Emissionen	14
Abbildung 7	Projektplanung und Meilensteine	17
Abbildung 8	VW T5 mit mobiler Abgasmessanlage (PEMS).....	17
Abbildung 9	WLTC-Fahrzyklus	18
Abbildung 10	ADAC Autobahnzyklus	18
Abbildung 11	Streckenübersicht Alltagstest.....	20
Abbildung 12	Fiat Ducato auf dem Abgasprüfstand.....	22
Abbildung 13	Anzeigeelemente Fiat Ducato	23
Abbildung 14	NO _x -Emissionen im WLTC kalt und WLTC warm – Fiat Ducato.....	28
Abbildung 15	NO _x -Emissionen innerorts im WLTC kalt und WLTC warm – Fiat Ducato	28
Abbildung 16	NO _x -Emissionen außerorts im WLTC kalt und WLTC warm - Fiat Ducato....	29
Abbildung 17	NO _x -Emissionen im BAB-Zyklus – Fiat Ducato	29
Abbildung 18	NO _x -Emissionen im Realbetrieb (RDE) – Fiat Ducato.....	30
Abbildung 19	Ammoniak-/Lachgasemissionen - Fiat Ducato	31
Abbildung 20	Ammoniak-/Lachgasemissionen in RDE - Fiat Ducato.....	32
Abbildung 21	CO ₂ -Emissionen – Fiat Ducato	33
Abbildung 22	Kraftstoffverbrauch - Fiat Ducato	33
Abbildung 23	VW T5 auf dem Abgasprüfstand.....	36
Abbildung 24	Anzeigeelemente VW T5	37
Abbildung 25	NO _x -Emissionen im WLTC kalt und WLTC warm – VW T5	44
Abbildung 26	NO _x -Emissionen innerorts im WLTC kalt und WLTC warm – VW T5	45
Abbildung 27	NO _x -Emissionen außerorts im WLTC kalt und WLTC warm – VW T5.....	45
Abbildung 28	NO _x -Emissionen im BAB-Zyklus - VW T5	46
Abbildung 29	NO _x -Emissionen im Realbetrieb (RDE) - VW T5.....	46
Abbildung 30	Ammoniak-/Lachgasemissionen – VW T5	47
Abbildung 31	Ammoniak-/Lachgasemissionen in RDE – VW T5	48
Abbildung 32	CO ₂ -Emissionen – VW T5.....	49
Abbildung 33	Kraftstoffverbrauch – VW T5.....	49
Abbildung 34	Opel Astra auf dem Abgasprüfstand	53
Abbildung 35	Informationsdisplay Opel Astra	54
Abbildung 36	NO _x -Emissionen im WLTC kalt und WLTC warm – Opel Astra	61

Abbildung 37	NO _x -Emissionen innerorts im WLTC kalt und WLTC warm – Opel Astra	61
Abbildung 38	NO _x -Emissionen außerorts im WLTC kalt und WLTC warm – Opel Astra	62
Abbildung 39	NO _x -Emissionen im BAB-Zyklus - Opel Astra	62
Abbildung 40	NO _x -Emissionen im Realbetrieb (RDE) – Opel Astra	63
Abbildung 41	Ammoniak-/Lachgasemissionen – Opel Astra.....	64
Abbildung 42	Ammoniak-/Lachgasemissionen in RDE - Opel Astra	65
Abbildung 43	CO ₂ -Emissionen – Opel Astra.....	66
Abbildung 44	Kraftstoffverbrauch – Opel Astra.....	66

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Gemessene Abgaskomponenten WLTC	19
Tabelle 2	Gemessene Abgaskomponenten RDE	19
Tabelle 3	Technische Daten Fiat Ducato	22
Tabelle 4	Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe Fiat Ducato	23
Tabelle 5	Übersicht Systemaufbau HJS.....	24
Tabelle 6	Abgasemissionen Fiat Ducato im Serienzustand.....	24
Tabelle 7	NO _x -Emissionen Fiat Ducato im Detail (Serienzustand)	25
Tabelle 8	Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest Fiat Ducato (HJS).....	25
Tabelle 9	NO _x -Emissionen Fiat Ducato im Detail vor Beginn Alltagstest	25
Tabelle 10	Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km - Fiat Ducato (HJS)	26
Tabelle 11	NO _x -Emissionen Fiat Ducato – Alltagstest nach 10.000 km.....	26
Tabelle 12	Abgasemissionen Alltagstest nach 20.000 km - Fiat Ducato (HJS)	26
Tabelle 13	NO _x -Emissionen Fiat Ducato – Alltagstest nach 20.000 km.....	27
Tabelle 14	Abgasemissionen Alltagstest nach 30.000 km - Fiat Ducato (HJS)	27
Tabelle 15	NO _x -Emissionen Fiat Ducato – Alltagstest nach 30.000 km.....	27
Tabelle 16	Testtagebuch Fiat Ducato (HJS)	34
Tabelle 17	Technische Daten VW T5	36
Tabelle 18	Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe VW T5	37
Tabelle 19	Übersicht Systemaufbau Oberland-Mangold	38
Tabelle 20	Abgasemissionen VW T5 im Serienzustand.....	38
Tabelle 21	NO _x -Emissionen VW T5 im Detail (Serienzustand).....	39
Tabelle 22	Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest VW T5 (Oberland-Mangold)	39
Tabelle 23	NO _x -Emissionen VW T5 im Detail vor Beginn Alltagstest	39
Tabelle 24	Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold) .	40
Tabelle 25	NO _x -Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 10.000 km.....	40
Tabelle 26	Abgasemissionen Alltagstest nach 20.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold) .	40
Tabelle 27	NO _x -Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 20.000 km.....	41
Tabelle 28	Abgasemissionen Alltagstest nach 30.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold) .	41
Tabelle 29	NO _x -Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 30.000 km.....	41
Tabelle 30	Abgasemissionen Alltagstest nach 40.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold) .	42
Tabelle 31	NO _x -Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 40.000 km.....	42
Tabelle 32	Abgasemissionen Alltagstest nach 50.000 km – VW T5 (Oberland-Mangold) .	42
Tabelle 33	NO _x -Emissionen VW T5 – Alltagstest nach 50.000 km.....	43
Tabelle 32	Abgasemissionen nach Alltagstest ohne SCR – VW T5 (Oberland-Mangold)..	43
Tabelle 33	NO _x -Emissionen VW T5 – nach Alltagstest ohne SCR	43
Tabelle 36	Testtagebuch VW T5 (Oberland-Mangold)	50

Tabelle 37	Technische Daten Opel Astra.....	53
Tabelle 38	Abgasemissionen gemäß Herstellerangabe Opel Astra	54
Tabelle 33	Übersicht Systemaufbau Twintec	55
Tabelle 40	Abgasemissionen Opel Astra im Serienzustand	55
Tabelle 41	NO _x -Emissionen Opel Astra im Detail (Serienzustand).....	56
Tabelle 42	Abgasemissionen vor Beginn Alltagstest Opel Astra (Twintec).....	56
Tabelle 43	NO _x -Emissionen Opel Astra im Detail vor Beginn Alltagstest	56
Tabelle 44	Abgasemissionen Alltagstest nach 10.000 km - Opel Astra (Twintec)	57
Tabelle 45	NO _x -Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 10.000 km	57
Tabelle 46	Abgasemissionen Alltagstest nach 20.000 km - Opel Astra (Twintec)	57
Tabelle 47	NO _x -Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 20.000 km	58
Tabelle 48	Abgasemissionen Alltagstest nach 30.000 km - Opel Astra (Twintec)	58
Tabelle 49	NO _x -Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 30.000 km	58
Tabelle 50	Abgasemissionen Alltagstest nach 40.000 km - Opel Astra (Twintec)	59
Tabelle 51	NO _x -Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 40.000 km	59
Tabelle 52	Abgasemissionen Alltagstest nach 50.000 km - Opel Astra (Twintec)	59
Tabelle 53	NO _x -Emissionen Opel Astra Alltagstest nach 50.000 km	60
Tabelle 54	Abgasemissionen nach Alltagstest ohne SCR – Opel Astra (Twintec).....	60
Tabelle 55	NO _x -Emissionen Opel Astra nach Alltagstest ohne SCR	60
Tabelle 56	Testtagebuch Opel Astra (Twintec)	67

10 Quellenverzeichnis

- [1] Schlussbericht „*NO_x-Reduzierung an Euro 5 Dieselfahrzeugen durch Hardwarenachrüstung*“ vom 20. Februar 2018. Veröffentlicht unter: www.adac.de/scr
- [2] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BAnz AT 11.01.2019 B3: "*Bekanntmachung der Technischen Anforderungen an Stickoxid (NO_x)-Minderungssysteme mit erhöhter Minderungsleistung für die Nachrüstung an Pkw und Pkw-ähnlichen Fahrzeugen (NO_xMS-Pkw)*" vom 21.12.2018
- [3] Gesetzentwurf der Bundesregierung: *Entwurf eines Dreizehnten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes*, Stand: 30.10.2018
<https://www.bmu.de/gesetz/gesetzesentwurf-eines-dreizehnten-gesetzes-zur-aenderung-des-bundes-immissionsschutzgesetzes/>
- [4] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BAnz AT 28.12.2018 B6: "*Bekanntmachung der Förderrichtlinie für die Nachrüstung von mit Selbstzündungsmotor angetriebenen gewerblichen leichten Handwerker- und Lieferfahrzeugen der Klassen N1 und N2 mit einer zulässigen Gesamtmasse von 2,8 Tonnen bis zu 3,5 Tonnen der Schadstoffklassen Euro 3, 4, 5 und 6 mit Stickoxidminderungssystemen*" vom 10.12.2018
- [5] 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_nachruistung_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 (HNCO)	<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>