

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

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

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

### Projektleiter:

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

### Zuwendungsgeber:

Verkehrsministerium Baden-Württemberg

### Zuwendungsempfänger:

ADAC Württemberg e.V.

# Inhalt

1	Einleitung .....	3
1.1	Projektbeteiligte.....	4
2	Zielsetzung.....	5
3	Zusammenfassung der Zwischenergebnisse.....	6
4	Vorgehensweise und Methodik.....	9
4.1	Prämissen .....	9
4.2	Testfahrzeuge .....	9
4.3	Hardware-Nachrüstungen .....	9
4.4.	So wird getestet .....	10
4.5	So wird ausgewertet.....	14
5	Abbildungsverzeichnis.....	15
6	Tabellenverzeichnis.....	16
7	Quellenverzeichnis .....	17
8	Glossar.....	18

# 1 Einleitung

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

Der Einsatz des ADAC für die Hardware-Nachrüstung zur Reduktion der Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>) von Dieselfahrzeugen geht weiter. Dazu haben der ADAC Württemberg e.V. und der ADAC e.V ein Gemeinschaftsprojekt aufgelegt, das vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg gefördert wird. Ziel des Projekts ist es, in den kommenden Monaten die Funktions- und Leistungsfähigkeit von SCR-Systemen im Alltags- und Dauerbetrieb zu testen.

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

Den Kern der Untersuchung bildet ein Alltagstest, bei dem die bereits im ersten Förderprojekt des ADAC Württemberg e.V. eingesetzten Fahrzeuge mindestens 50.000 Kilometer zurücklegen werden – im Stadtverkehr sowie auf Landstraßen und Autobahnen. Dabei soll die Funktionsstabilität der Systeme unter verschiedenen klimatischen Bedingungen wie Hitze, Frost, Regen und Schnee untersucht werden. Um die NO<sub>x</sub>-Emissionen regelmäßig zu ermitteln, müssen die Testwagen alle 10.000 Kilometer auf den Abgasprüfstand und sich einer Untersuchung nach WLTC unterziehen. Zum Untersuchungsumfang des Projekts gehören auch mehrere Emissionsmessungen im realen Straßenverkehr.

Der Projektplan sieht auch eine Reihe Sondermessungen vor. Dazu gehören etwa Messungen von nichtlimitierten Schadstoffen wie Ammoniak (NH<sub>3</sub>) oder des klimagefährdenden Lachgases (N<sub>2</sub>O), Prüfungen des Tieftemperaturverhaltens bis hin zur mechanischen Belastbarkeitsprüfung der eingebauten SCR-Komponenten auf Schlechtwegstrecken.

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

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

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

## 1.1 Projektbeteiligte

### Projektleitung:

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

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

### Projektbeteiligte:

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

Oberland Mangold Katalysatortechnik GmbH  
In der Enz 1  
82438 Eschenlohe

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

### Wissenschaftliche Begleitung:

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

## 2 Zielsetzung

Die grundsätzliche Funktionalität der SCR-Nachrüsttechnik wurde im Projekt NO<sub>x</sub>-Reduzierung an Euro 5 Dieselfahrzeugen durch Hardware-Nachrüstung bereits festgestellt.

Im aktuellen Folgeprojekt soll nun geprüft werden, ob die mittels Hardware nachgerüsteten Dieselfahrzeuge mit Schadstoffklasse Euro 5 auch im Alltagsbetrieb eine dauerhafte Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen ermöglichen und ob sich die generelle Leistungsfähigkeit über einen gewissen Nutzungszeitraum unter erheblich unterschiedlichen Randbedingungen verändert. Das hier angesetzte Projekt soll eine exemplarische Dokumentation über die Funktions- und Leistungsfähigkeit der bei den Funktionsprototypen eingebauten SCR-Abgasnachbehandlungssysteme liefern und entspricht keiner umfassenden Funktions- und Dauerläuferprobung zur Funktionsabsicherung gemäß den Standards der Automobilindustrie.

### **Alltagstest über 50.000 km mit nachfolgendem mechanischem Belastungstest**

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

### **Dokumentation der NO<sub>x</sub>-Reduktionsleistung und des AdBlue<sup>®</sup>-Verbrauchs bei unterschiedlichen Temperaturen**

Während des Alltagstests erfolgt eine kontinuierliche Dokumentation relevanter Abgasdaten mittels Datenlogger. Neben den NO<sub>x</sub>-Emissionen vor und nach SCR werden auch die Abgas Temperaturen sowie der AdBlue<sup>®</sup>-Verbrauch dokumentiert. Ziel ist es, die NO<sub>x</sub>-Reduktion und den AdBlue<sup>®</sup>-Verbrauch über den Testzeitraum bei unterschiedlichen Außentemperaturen zu erfassen und darzustellen.

### **Überprüfung des Nieder-/Hochtemperaturverhaltens**

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

### **Messung von nichtlimitierten Schadstoffen**

Unter gewissen Umständen können sich über die katalytische Abgasnachbehandlung oder durch Überdosierung von AdBlue<sup>®</sup> Sekundäremissionen bilden, die es unbedingt zu vermeiden gilt. Es wird daher auch der Ausstoß von nichtlimitierten Schadstoffen wie Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Isocyanensäure (HCNO) untersucht.

### 3 Zusammenfassung der Zwischenergebnisse

Der Dieselkompromiss der Großen Koalition von Anfang Oktober hat grundsätzlich den Weg für die Hardware-Nachrüstung von Dieselfahrzeugen mit SCR-Katalysatoren frei gemacht, deren Autos von Fahrverboten bedroht sind. Die schlechte Nachricht: Weil sich die Autohersteller mehrheitlich nicht daran beteiligen wollen und es immer noch keinen rechtlichen Rahmen gibt, ist vieles noch unklar: Wann sind die ersten Systeme verfügbar? Für welche Fahrzeuge? Wer übernimmt die Kosten? Immerhin ein  $\text{NO}_x$ -Grenzwert von 270 mg/km wurde nun festgelegt – wird dieser von einem Euro 5-Dieselfahrzeug im Realbetrieb unterschritten, soll das Fahrzeug von Fahrverboten ausgenommen werden. Nähere Details hierzu fehlen aber noch, weder das Prüf- noch das Genehmigungsverfahren sind bisher festgelegt.

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

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

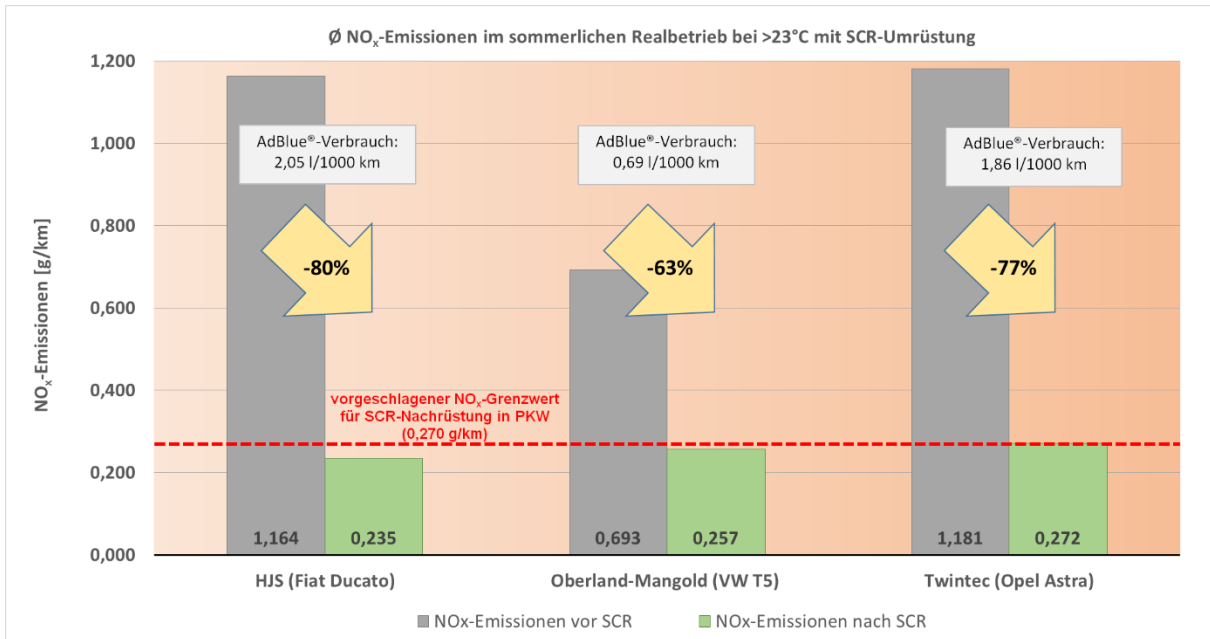
Die erneuten Abgasmessungen wurden nach ADAC Ecotest-Prozedur und in Anlehnung an die für Euro 6d gültige Abgasgesetzgebung (WLTP, RDE) durchgeführt. Insgesamt bestätigten sich die Ergebnisse aus dem ersten SCR-Nachrüstprojekt. Am deutlichsten weiterentwickelt wurde das Nachrüstsystem von Oberland-Mangold. Das im VW T5 verbaute System hatte im Erstprojekt noch mit Softwareproblemen zu kämpfen, die nun behoben werden konnten. Insbesondere außerorts kann nun eine höhere  $\text{NO}_x$ -Reduktionsrate verzeichnet werden.

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

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

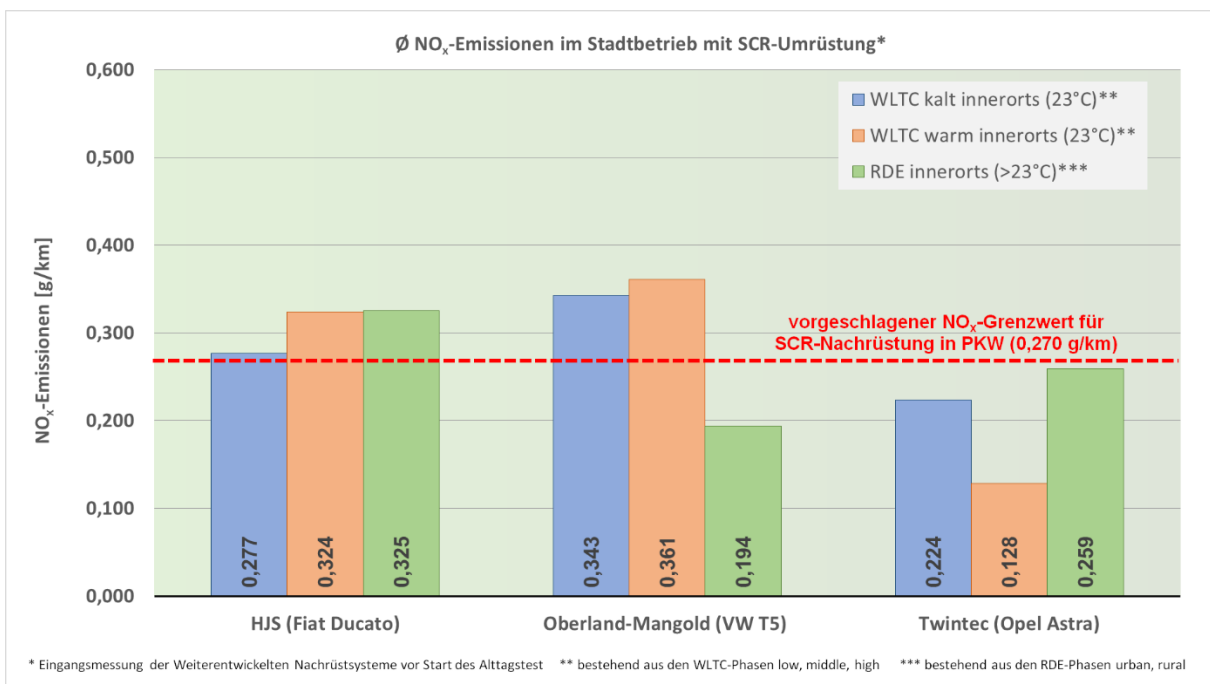
Auch unter günstigen äußeren Bedingungen bei Temperaturen ab 23 °C produzieren die Testfahrzeuge auf der Straße ungereinigte Rohemissionen, von rund 700 bis 1.200 Milligramm Stickoxid ( $\text{NO}_x$ ) pro Kilometer und damit um ein Vielfaches über dem offiziell geltenden Prüfstand-Grenzwert liegen. Allen drei SCR-Systemen gelingt es jedoch, durch die Nachbehandlung der Abgase mithilfe von Katalysatoren und dem Harnstoff AdBlue® die Emissionen deutlich zu vermindern. Die gemessenen Reduktionsraten liegen zwischen 60 und 80 Prozent und drücken den  $\text{NO}_x$ -Ausstoß der getesteten Fahrzeuge auf oder unter den Grenzwert von 270 mg/km, den die Große Koalition beim Dieselkompromiss festgelegt hat.

**Abbildung 1 NO<sub>x</sub>-Emissionen im sommerlichen Realbetrieb (RDE-Messung)**



Betrachtet man den rein innerstädtischen Betrieb, liegen die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Opel Astra im WLTC sowohl direkt nach dem Kaltstart als auch mit betriebswarmem Motor deutlich unter dem vorgeschlagenen NO<sub>x</sub>-Grenzwert von 270 mg/km. Das bestätigt auch die RDE-Messung bei sommerlichen Temperaturen. Die beiden Transporter können diesen Wert dagegen trotz beachtlicher NO<sub>x</sub>-Reduktionsrate im WLTC nicht gänzlich unterschreiten. Es gilt jedoch zu beachten, dass sowohl der Fiat Ducato, als auch der VW T5 nach Abgasnorm Euro 5 N1 III bzw. nach Euro 5 M1 homologiert sind. Daher gilt für beide Fahrzeuge ein NO<sub>x</sub>-Zulassungswert von 280 mg/km (anstatt 180 mg/km für PKW). Rechnet man nun wie bei den PKW mit dem Faktor 1,5 zum Zulassungswert, würde der NO<sub>x</sub>-Grenzwert um von Fahrverboten ausgeschlossen zu werden bei 420 mg/km liegen. Diesem Wert würden die beiden nachgerüsteten Transporter deutlich unterschreiten.

**Abbildung 2 NO<sub>x</sub>-Emissionen innerorts im WLTC kalt/warm und RDE**



## Die erste von fünf Etappen des Alltagstest wurde erfolgreich abgeschlossen

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

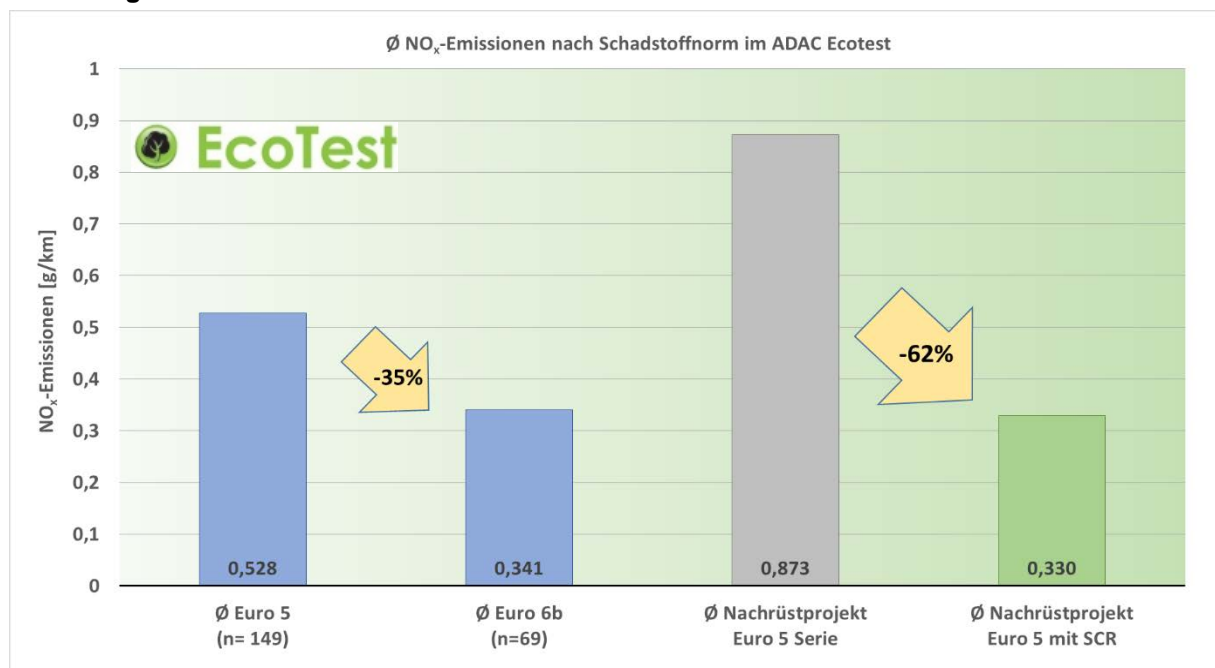
Mit Spannung erwarten nun die Ingenieure des ADAC, wie sich die Messwerte bei sinkenden Temperaturen im Herbst und bei winterlichen Bedingungen entwickeln werden. Bekannt ist, dass die Serienemissionen deutlich in die Höhe gehen werden und die SCR-Systeme im Winter einige Zeit benötigen, um Temperaturen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

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

Der zweite Teil des Dieselkompromiss behandelt die Flottenerneuerung. Mit attraktiven Prämien sollen für Dieselfahrer Anreize geschaffen werden, ihren alten Euro 5-Diesel gegen ein Euro 6 Fahrzeug einzutauschen. Der Vergleich von insgesamt 218 im Ecotest gemessenen Fahrzeugen zeigt, dass im Schnitt eine NO<sub>x</sub>-Reduktion von 35 Prozent erreicht werden kann – zumindest wenn der Altdiesel durch ein Euro 6b-Fahrzeug getauscht wird. Kauft man stattdessen einen Diesel mit Euro 6d-TEMP, liegt die NO<sub>x</sub>-Reduktion bei rund 85 Prozent [2].

Die Auswertung zeigt aber auch, dass mit SCR-Nachrüstung selbst bei überdurchschnittlich schlechten Euro 5-Diesel ein NO<sub>x</sub>-Niveau nahe dem durchschnittlichen Euro 6b-Wert erreicht wird. Es sind Reduktionsraten von über 60 Prozent möglich. SCR-Nachrüstung ist also mindestens genauso wirksam, wie eine Flottenerneuerung. Im Einzelfall kann sie sogar die bessere Lösung darstellen.

Abbildung 3 NO<sub>x</sub>-Emissionen im ADAC Ecotest





## 4 Vorgehensweise und Methodik

### 4.1 Prämissen

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

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

### 4.2 Testfahrzeuge

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

Im Opel Astra kommt ein 1,7 l großer Dieselmotor zum Einsatz, der in vielen unterschiedlichen Opel-Modellen verbaut wird. Die NO<sub>x</sub>-Grenzwerte liegen gemäß der für diese Fahrzeuge gültigen Abgasnorm Euro 5 bei 180 mg/km.

Die beiden Transporter sind ebenfalls nach Abgasnorm Euro 5 mit dem bisherigen Testzyklus NEFZ zugelassen, für sie gilt jedoch ein NO<sub>x</sub>-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<sub>x</sub>-Grenzwert von 280 mg/km, da das ausgewählte Fahrzeug nach Euro 5 M1 (M1 für soziale Zwecke) homologiert ist.

### 4.3 Hardware-Nachrüstungen

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

#### 4.4. So wird getestet

Vor Beginn des Alltagstests hatten die Nachrüstfirmen die Möglichkeit, ihre SCR-Nachrüstsysteme zu ertüchtigen, d.h. entsprechende Software-Updates der SCR-Steuergeräte sowie mögliche technische Neuerungen in die Fahrzeuge einzubauen, welche in den Detailberichten dokumentiert sind. Weiterhin mussten die Fahrzeuge mit Informationssystemen ausgestattet werden, welche den AdBlue®-Füllstand und die SCR-Funktionsfähigkeit anzeigen. Die Fahrzeuge wurden zudem mit Datenloggern ausgestattet, die das Abgasverhalten während des Dauerlaufs kontinuierlich aufzeichnen, etwa die NO<sub>x</sub>-Emissionen vor und hinter dem SCR-System, Abgastemperaturen und AdBlue®-Verbrauch.

Abbildung 4 Projektplanung und Meilensteine



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

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

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



Abbildung 5 VW T5 mit mobiler Abgasmessanlage (PEMS)

Abbildung 6 WLTC-Fahrzyklus

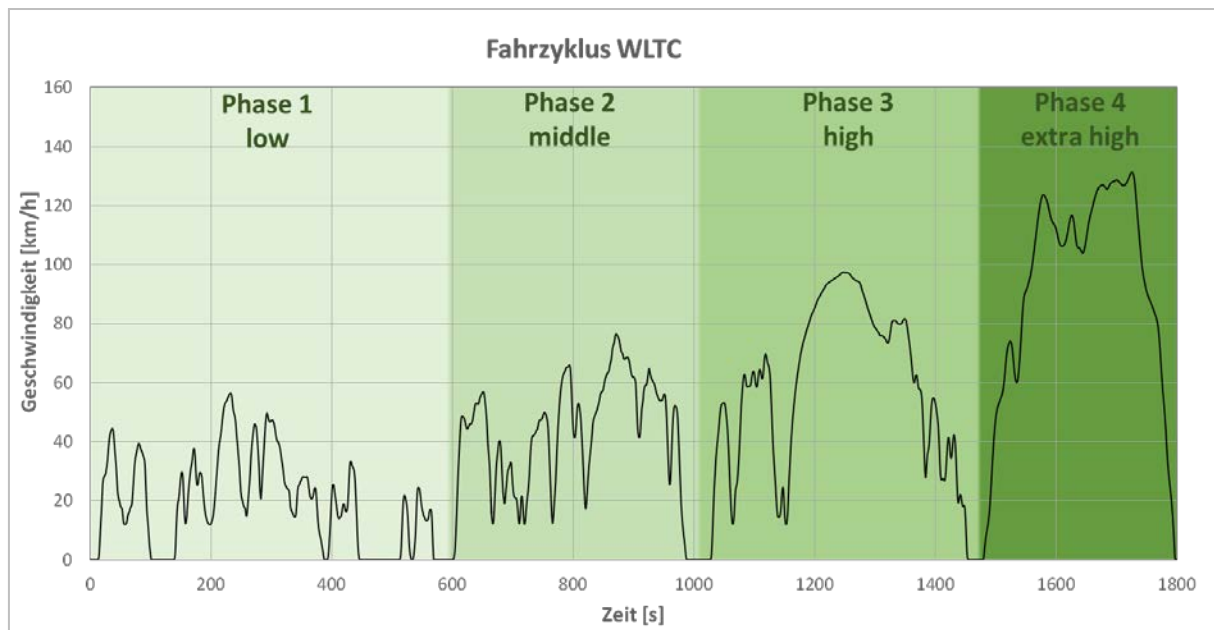
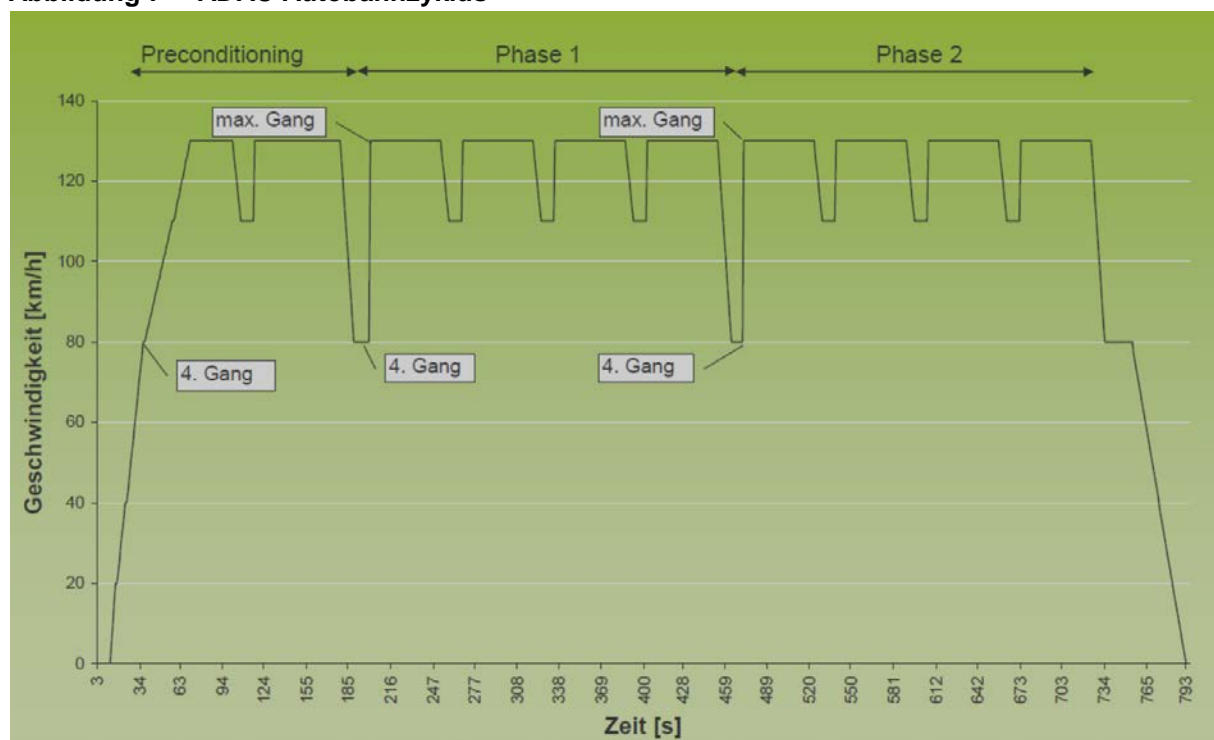


Abbildung 7 ADAC Autobahnzyklus



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

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

Bei den Labormessungen wurden folgende Abgaskomponenten untersucht und ausgewertet:

**Tabelle 1 Gemessene Abgaskomponenten WLTC**

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

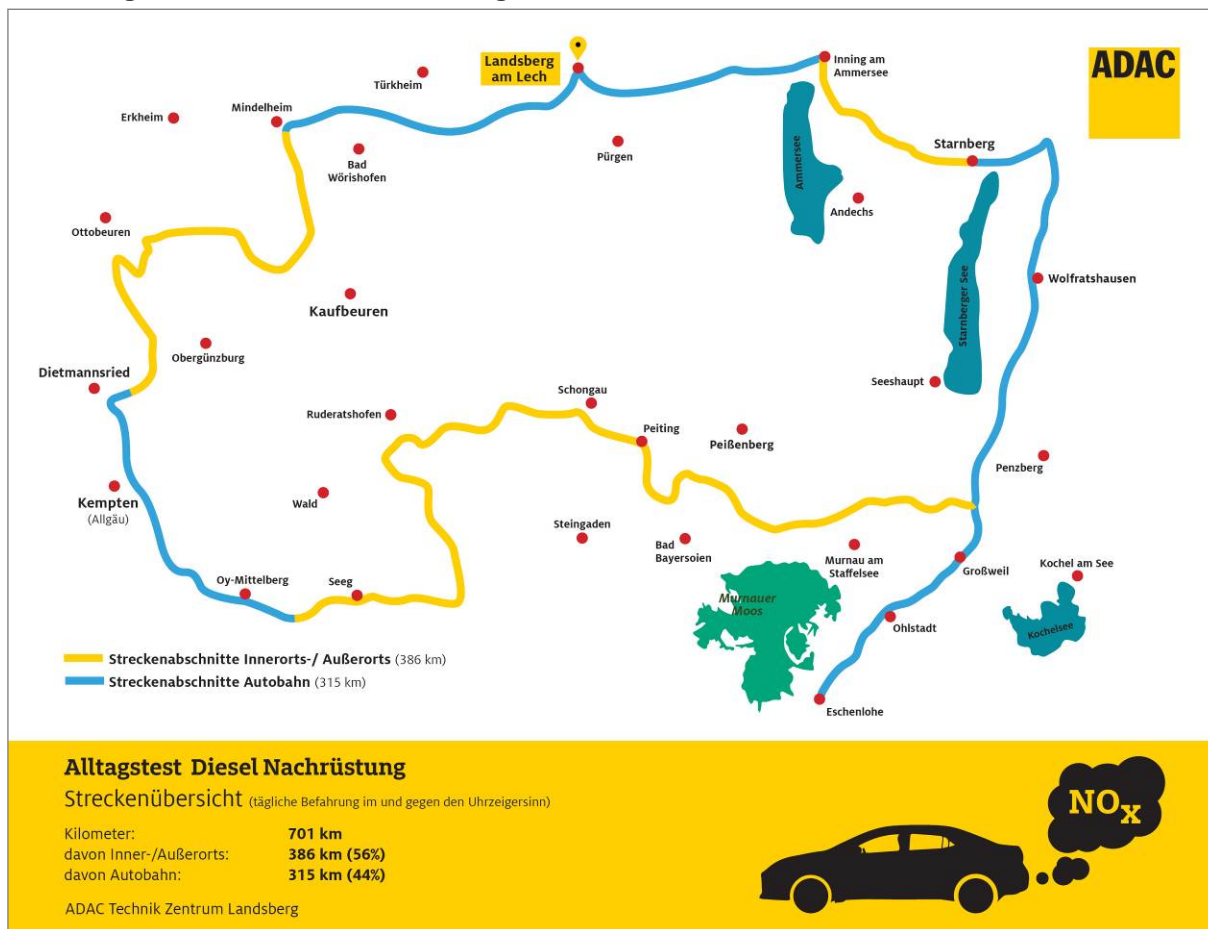
Bei den RDE-Fahrten wurden folgende Emissionen erfasst und ausgewertet:

**Tabelle 2 Gemessene Abgaskomponenten RDE**

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

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

**Abbildung 8 Streckenübersicht Alltagstest**



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

Während des Alltagstests müssen sich die drei umgerüsteten Euro 5-Dieselfahrzeuge mehreren Zusatztests unterziehen. Dazu gehören etwa Messungen von nichtlimitierten Schadstoffen (z.B. Ammoniak NH<sub>3</sub>, Lachgas N<sub>2</sub>O oder Isocyansäure HCNO), Prüfungen des Tieftemperaturverhaltens bis hin zur mechanischen Belastbarkeitsprüfung der SCR-Komponenten auf Schlechtwegstrecken.

## 4.5 So wird ausgewertet

Über die gesamte Dauer des Alltagstests, der Anfang September 2018 startete und sich bis zum Januar 2019 hinziehen wird, werden über die in den Fahrzeugen verbauten Datenlogger täglich über Sensoren die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen vor und nach SCR, sowie die durchschnittliche Außentemperatur und die eingespritzte AdBlue®-Menge dokumentiert und am Ende des Alltagstests ausgewertet. In einem Testtagebuch werden alle Ereignisse während des Dauertests dokumentiert und ggf. erläutert.

Zur Bewertung der NO<sub>x</sub>-Minderung werden angelehnt an die ADAC Ecotest-Prozedur sowohl der WLTC kalt (mit Kaltstart) als auch der WLTC warm (mit betriebswarmem Motor) vor und nach Umrüstung gegenübergestellt. Um eine möglichst realistische Abbildung des Stadtverkehrs zu erhalten, werden insbesondere die ersten drei Phasen des WLTC (low, middle, high) ausgewertet. Die vierte Phase (extra-high) bildet dagegen den typischen Außerortsverkehr ab und wurde daher separat dargestellt. Zusätzlich werden die NO<sub>x</sub>-Emissionen unter hoher Last auf der Autobahn (ADAC Autobahnzyklus) ausgewertet.

Um auch im Realverkehr (RDE) den typischen innerstädtischen Betrieb abzubilden, wurden speziell die Phasen „urban“ und „rural“ ausgewertet. Diese beiden Phasen liegen in einem ähnlichen Last-/Drehzahlkollektiv wie die oben genannten WLTC-Phasen. Die RDE-Phase „motorway“ wird dagegen separat dargestellt. Zu einer ähnlichen Bewertungsempfehlung kommen auch die Experten, die im UBA-Bericht zur NO<sub>x</sub>-Nachrüsttechnologien aus dem Juli 2017 zitiert werden [3].

Da sich die Rohemissionen eines Fahrzeuges je nach Außentemperatur stark verändern können, ist es bei RDE-Messungen - anders als im Abgaslabor wo im gleiche Bedingungen herrschen - nicht uneingeschränkt möglich, die Messergebnisse vor und nach Umrüstung gegenüberzustellen. Daher werden bei den RDE-Messungen zusätzlich die über den Datenlogger aufgezeichneten NO<sub>x</sub>-Konzentrationen ausgewertet und auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen vor SCR zurückgerechnet. Es gilt zu beachten, dass die NO<sub>x</sub>-Daten vor SCR aus dem Datenlogger nur als groben Anhaltspunkt dienen und nicht messtechnisch abgesichert sind.

## 5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	NO <sub>x</sub> -Emissionen im sommerlichen Realbetrieb (RDE-Messung) .....	7
Abbildung 2	NO <sub>x</sub> -Emissionen innerorts im WLTC kalt/warm und RDE.....	7
Abbildung 3	NO <sub>x</sub> -Emissionen im ADAC Ecotest .....	8
Abbildung 4	Projektplanung und Meilensteine .....	10
Abbildung 5	VW T5 mit mobiler Abgasmessanlage (PEMS).....	10
Abbildung 6	WLTC-Fahrzyklus .....	11
Abbildung 7	ADAC Autobahnzyklus .....	11
Abbildung 8	Streckenübersicht Alltagstest.....	13

## 6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Gemessene Abgaskomponenten WLTC .....	12
Tabelle 2	Gemessene Abgaskomponenten RDE .....	12



## 7 Quellenverzeichnis

- [1] Schlussbericht „*NO<sub>x</sub>-Reduzierung an Euro 5 Dieselfahrzeugen durch Hardwarenachrüstung*“ vom 20. Februar 2018. Veröffentlicht unter: [www.adac.de/scr](http://www.adac.de/scr)
  
- [2] ADAC Ecotest-Publikation vom 18. September 2018: "*ADAC Ecotest: Moderne Diesel sind sehr sauber*" Quelle: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/abgas-diesel-fahr-verbote/dieselkauf-abgasnorm/euro-6d-temp/>
  
- [3] Umweltbundesamt: Ergänzung der Bewertung zu marktverfügbaren fahrzeugseitigen NO<sub>x</sub>-Nachrüsttechnologien und Bewertung der Nachbesserung, Stand: Juli 2017  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/uba\\_bericht\\_nachruestung\\_ii\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/uba_bericht_nachruestung_ii_0.pdf)

## 8 Glossar

<b>Abgasprüfstand</b>	<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>
<b>Abgasrückführung (AGR)</b>	<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>
<b>AdBlue®</b>	<p>AdBlue® ist der vom Verband der Automobilindustrie (VDA) geschützte Handelsname für den Harnstoff AUS 32, der zur Reduktion von Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>) mittels SCR-System eingesetzt wird.</p> <p>Es handelt sich hierbei um eine hochreine, wasserklare, synthetisch hergestellte 32,5 %ige wässrige Harnstofflösung (chemische Formel: H<sub>2</sub>N-CO-NH<sub>2</sub>). Die Anforderungen an AdBlue® sind in der Norm ISO 22241 festgeschrieben.</p>
<b>Ammoniak (NH<sub>3</sub>)</b>	<p>Ammoniak (NH<sub>3</sub>) 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>
<b>Ammoniak-Sperrkatalysator</b>	<p>Durch Nachschalten eines Oxidationskatalysators (Sperrkatalysator) an die SCR-Einheit kann ein nicht umgesetzter Ammoniak-Anteil zu N<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O umgewandelt werden.</p>
<b>CAN-Datenbus</b>	<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>
<b>Dieselpartikelfilter (DPF)</b>	<p>System bei Dieselmotoren, das schädliche Rußpartikel aus dem Abgas filtert und durch sogenannte Regeneration von Zeit zu Zeit den gesammelten Ruß nachverbrennt.</p>

<b>Emissionen</b>	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.
<b>Emissionsfaktoren</b>	<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>
<b>Emissionsklassen</b>	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.
<b>Fahrwiderstandsdaten</b>	<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 <math>f_0</math>, <math>f_1</math>, <math>f_2</math> 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>
<b>Homologation</b>	Typgenehmigung (Zulassung) von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen durch eine Behörde (in Deutschland durch das KBA), um eine Genehmigung zum Verkauf zu erhalten.

<p><b>Immissionen</b></p>	<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>
<p><b>Isocyan Säure (HCNO)</b></p>	<p>Bei der Thermolyse von Harnstoff entsteht nicht nur das für die Reaktion im SCR-Kat gewünschte Ammoniak, sondern auch Isocyan Säure HCNO. Sie ist sehr reaktiv und neigt als Zwischenprodukt zwangsweise zu Polymerisation und zur Bildung von Folgeprodukten. Isocyan Säure entsteht auch bei Waldbränden und wird im Zigarettenrauch gefunden. Bei niedrigen Konzentrationen (über 1 pptv) werden von der im Körper gut löslichen Isocyan Säure und Cyanat-Ionen gesundheitliche Effekte beobachtet, etwa Arterienverkalkung, Schädigung der Augen, entzündliche Prozesse und Rheuma.</p>
<p><b>Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)</b></p>	<p>Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) 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. CO<sub>2</sub> ist kein Luftschadstoff im engeren Sinne, es ist zu etwa 0,04 % Bestandteil der „natürlichen“ Luft. CO<sub>2</sub> ist ein Treibhausgas, seine Emission trägt zur anthropogenen Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes bei. CO<sub>2</sub>-Emissionen sind weitgehend proportional zum Kraftstoffverbrauch.</p>
<p><b>Kohlenstoffmonoxid (CO)</b></p>	<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 O<sub>2</sub>-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>
<p><b>Kohlenwasserstoffe (HC)</b></p>	<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 hauptsächlich Bestandteil des Kraftstoffs.</p>

<b>Konformitätsfaktor (CF)</b>	Der Konformitätsfaktor gibt an, um welchen Faktor die NO <sub>x</sub> -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.
<b>Lachgas (N<sub>2</sub>O)</b>	Distickstoffmonoxid (N <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> .
<b>NEFZ</b>	Der NEFZ (Neue Europäische Fahrzyklus) war bis 1. September 2017 Grundlage für die Ermittlung der Schadstoff- und CO <sub>2</sub> -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.
<b>OBD</b>	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.
<b>Oxidationskatalysator (DOC)</b>	Oxidationskatalysatoren werden zur Abgasreinigung von Dieselmotoren eingesetzt. Die im Abgas enthaltenen Kohlenwasserstoffe (HC) und Kohlenmonoxid (CO) werden in Wasser (H <sub>2</sub> O) und Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) umgewandelt. Mit entsprechender Beschichtung lässt sich das NO <sub>2</sub> /NO Verhältnis im Abgas erhöhen, was für eine stabile Funktion von SCR-Katalysatoren notwendig ist.
<b>PEMS</b>	Portable Messtechnik (PEMS, Portable Emissions Measurement Systems) zur Messung der Emissionen bei Fahrt auf der Straße (RDE, Real Driving Emissions).

<b>RDE</b>	<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>
<b>Referenzkraftstoff</b>	<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>
<b>SCR-Technik</b>	<p>Bei der SCR-Technologie (Selective Catalytic Reduction) werden die Stickoxidemissionen (<math>\text{NO}_x</math>), die während des Verbrennungsprozesses im Dieselmotor entstehen, nachmotorisch in einem Katalysator in elementarem Stickstoff (<math>\text{N}_2</math>) und Wasser (<math>\text{H}_2\text{O}</math>) umgewandelt. Notwendig hierfür ist Ammoniak als Reduktionsmittel, das im Fahrzeug aus AdBlue<sup>®</sup> gebildet wird. Es wird in einem separaten Tank im Fahrzeug mitgeführt und wird bedarfsgerecht in den Abgastrakt eingespritzt.</p>
<b>Stickoxide (<math>\text{NO}_x</math>)</b>	<p>Unter Stickoxiden (<math>\text{NO}_x</math>) werden Stickstoffmonoxid (<math>\text{NO}</math>) und Stickstoffdioxid (<math>\text{NO}_2</math>) subsumiert. Zwischen <math>\text{NO}</math> und <math>\text{NO}_2</math> stellt sich nach der Emission ein chemisches Gleichgewicht ein (unter Sommersmog-Bedingungen innerhalb von Sekunden bis Minuten). Daher trägt auch der <math>\text{NO}</math>-Anteil an den <math>\text{NO}_x</math>-Emissionen zur <math>\text{NO}_2</math>-Immissionsbelastung bei.</p>
<b>Stickstoffdioxid (<math>\text{NO}_2</math>)</b>	<p><math>\text{NO}_2</math> 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 (<math>\text{O}_3</math>).</p>
<b>Stickstoffmonoxid (<math>\text{NO}</math>)</b>	<p>Aus <math>\text{NO}</math> kann sich unter Einwirkung von Sauerstoff und anderen Oxidationsmitteln <math>\text{NO}_2</math> bilden. Dementsprechend ist es also wesentlich, sich bei der Minderung von <math>\text{NO}_x</math> nicht nur auf <math>\text{NO}_2</math> zu fokussieren, sondern auch die Emissionen von <math>\text{NO}</math> zu verringern, da sich daraus rasch <math>\text{NO}_2</math> bilden kann – mit den dargestellten negativen Auswirkungen.</p>

<p><b>WLTC</b></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><b>WLTP</b></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 CO<sub>2</sub>-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 Reifenauswahl und -druck.</p> <p>Das WLTP definiert drei Fahrzeugklassen entsprechend dem Leistungsgewicht <math>P_{mr}</math> (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 <math>P_{mr} \leq 22</math> W/kg; Zyklen: low, medium, low</p> <p>Klasse 2: Fahrzeuge mit <math>22</math> W/kg <math>&lt; P_{mr} \leq 34</math> W/kg; Zyklen: low, medium, high, extra-high</p> <p>Klasse 3: Fahrzeuge mit <math>P_{mr} &gt; 34</math> W/kg; Zyklen: low, medium, high, extra-high. Klasse 3 wird abhängig von der Höchstgeschwindigkeit noch weiter in 3-1 (<math>&lt; 120</math> km/h) und 3-2 (<math>&gt; 120</math> km/h) unterteilt.</p> <p>Für den deutschen Automarkt ist weitgehend nur die Klasse 3b relevant, da Fahrzeuge mit einem Leistungsgewicht <math>&lt; 34</math> W/kg kaum vorkommen und auf Autobahnen schneller als 120 km/h gefahren werden darf.</p>