

TEXTE

22/2020

Fortentwicklung der Abgasuntersuchung

Kurzfassung

TEXTE 22/2020

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl FKZ 37 17 57 1010
FB000130/KURZ

Fortentwicklung der Abgasuntersuchung

Kurzfassung

von

Frank Schneider
Verband der TÜV e. V., Berlin

Harald Hahn
ASA-Verband, Vaterstetten

Prof. Dr. Wolfgang H. Schulz
IERC GmbH, Meerbusch

Helge Schmidt
TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG, Essen

Gerhard Wangrin, Manfred Wecking, Fabian Langwald
TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH, Köln

Gerhard Müller
TÜV SÜD Auto Service GmbH, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

VdTÜV
Friedrichstraße 136
10117 Berlin

Abschlussdatum:

August 2019

Redaktion:

Fachgebiet I 2.2 Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr
Helge Jahn

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
1 Anlass des Vorhabens	4
1.1 Hintergrund	4
1.2 Typprüfung	4
1.3 Periodische Abgasuntersuchung (AU)	5
1.4 Systeme zur NO _x -Konvertierung im Fahrzeug	5
2 Aufbau und Herangehensweise	6
2.1 ASM2050 (Acceleration Simulation Mode)	7
2.2 Fahrt mit Mini-PEMS	8
2.3 Capelec	9
3 Durchführung	9
4 Erkenntnisse	10
4.1 ASM2050 - Rollenprüfstand	10
4.2 ASM2050 – Straßenfahrt mit Mini-PEMS	10
4.3 Kurztest Straßenfahrt mit Mini-PEMS	10
4.4 Konditionierung als wichtige Randbedingung	11
4.5 Erweiterung der standardisierten OBD-Daten	11
4.6 Fahrzeugspezifische Grenzwerte und Prüfvorgaben	11
4.7 Anforderungen an die Messtechnik	12
4.8 Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)	12
4.9 Gesetzliche Änderungen	13
5 Anhang	14
5.1 OBD-PIDs	14
5.2 Messergebnisse	14
5.3 Revisionsvorschlag für die Anpassung der Richtlinie 2014/45/EU und der AU-Richtlinie	17
6 Quellenverzeichnis	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Geschwindigkeitsverlauf über die Zeit des Zyklus ASM2050	8
--------------	--	---

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersichtstabelle aller Messergebnisse des Zyklus ASM2050.....	14
Tabelle 2:	Übersichtstabelle aller Messergebnisse des „Kurztest Straßenfahrt“	16
Tabelle 3:	Ergänzung der Richtlinie 2014/45/EU	17

1 Anlass des Vorhabens

1.1 Hintergrund

Zulässige Stickstoffdioxid (NO_x)-Immissionsgrenzwerte werden in Deutschland, insbesondere in urbanen Regionen, regelmäßig überschritten. Neben Vertragsverletzungsverfahren der Europäischen Kommission drohen den am stärksten belasteten Städten auch gerichtlich angeordnete Fahrverbote für Dieselfahrzeuge. Seit einigen Monaten schenken deshalb sowohl die Medien, die Bevölkerung als auch die Politik dem Thema „Emissionen von Dieselfahrzeugen“ verstärkt Aufmerksamkeit. Erhöhte Schadstoffkonzentrationen in der Umgebungsluft führen zu einem größeren Gesundheitsrisiko [1]. Von den aus modernen Dieselfahrzeugen emittierten Schadstoffkomponenten stehen neben den Dieselpartikeln insbesondere die gesundheitsschädlichen Stickstoffoxide (NO_x) im Fokus [2]. Der Verkehrssektor verursacht ca. 40% der europäischen NO_x -Emissionen. Davon werden ca. 80% von Dieselfahrzeugen ausgestoßen. Ursache der hohen NO_x -Emissionen des Dieselmotors ($\lambda > 1$) sind seine hohen Temperaturspitzen bei der Verbrennung in Verbindung mit dem konzeptbedingten Sauerstoffüberschuss.

Die Richtlinie 2014/45/EU bildet für alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Union den Rahmen für die Durchführung der periodischen technischen Fahrzeugüberwachung. Der Erwägungsgrund 4 der Richtlinie räumt den Mitgliedstaaten ein, selbst Prüfkriterien festzulegen, die über diese Richtlinie hinausgehen. In den Erwägungsgründen 7 bis 9 stellt der europäische Verordnungsgeber fest, dass Fahrzeuge mit schlecht funktionierenden Emissionsminderungssystemen in höherem Maße zur Umweltverschmutzung beitragen als angemessen gewartete Fahrzeuge. Demnach gewährleistet ein System regelmäßiger technischer Überwachung besseren Umweltschutz durch Verringerung der durchschnittlichen Fahrzeugemissionen. Darüber hinaus sollten die Mitgliedstaaten mit geeigneten Maßnahmen Manipulationen vorbeugen, die die erforderlichen sicherheits- und umwelttechnischen Eigenschaften des Fahrzeugs beeinträchtigen könnten. Der regelmäßigen technischen Überwachung wird in diesem Zusammenhang besondere Bedeutung beigemessen.

Der Erwägungsgrund 9 der Richtlinie 2014/45/EU ist quasi der ursächliche Auftrag für den vorliegenden Forschungsbericht: *„Um Lösungen für die Zukunft zu erarbeiten, sollten Möglichkeiten einer Verbesserung der Prüfzyklen zur Simulation realer Betriebsbedingungen umfassend geprüft und Testmethoden für die Messung der NO_x -Werte sowie Grenzwerte für den NO_x -Ausstoß festgelegt werden.“*

1.2 Typprüfung

Ein Teil der NO_2 -Immissionen lässt sich erklären, wenn man die Emissionen während des Typprüfzyklus NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) im Labor mit den tatsächlichen Emissionen im realen Straßenverkehr vergleicht. Es ist bekannt, dass der CO_2 -Ausstoß und somit der Kraftstoffverbrauch bei diesem Vergleich im Realbetrieb um 20 bis 40% höher liegt [3]. Bezogen auf NO_x ist die Differenz sogar noch deutlicher – und sie wächst mit den immer strenger werdenden Abgasvorschriften neuer Abgasnormen (EURO-Klassen) weiter an [4]. Die realen NO_x -Emissionen von Diesel-Fahrzeugen haben sich im Zeitraum von 2000 bis 2016 kaum verbessert, was sich auch in den Daten zur Luftqualität widerspiegelt.

Das liegt unter anderem am bis zur Abgasnorm EURO 6b genutzten Fahrzyklus NEFZ, welcher ein kaum repräsentatives Fahrprofil für die Fahrweise im Straßenverkehr aufweist. Das Fehlen von praxisnahen Testmethoden bei immer strengeren Grenzwerten für CO_2 - und Schadstoffemissionen hat die Lücke zwischen Laborversuch und Realität weiter vergrößert.

Deshalb wurden die Vorschriften für die Zulassung neuer Fahrzeuge verschärft: Ab der Norm EURO 6c müssen die Emissionsgrenzwerte im Prüfzyklus WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure) eingehalten werden, welcher einen deutlich größeren Last- und Drehzahlbereich abdeckt.

Zudem wurde für die Verbesserung der Emissionsmessung mit der Abgasnorm EURO 6d-Temp das RDE (Real Driving Emissions)-Testverfahren eingeführt – als Ergänzung zum Prüfstandstest WLTP. Hierbei müssen Schadstoffgrenzwerte bei einer realen Straßenfahrt eingehalten werden. Dazu werden PEMS-Geräte (Portable Emission Measurement System) am Testfahrzeug befestigt, die während der Realfahrt direkt den Schadstoffanteil in den Abgasen ermitteln.

Die ersten mit diesem RDE-Testverfahren geprüften Dieselfahrzeuge sind seit 2018 auf dem Markt. Eine nennenswerte Marktdurchdringung dieser Fahrzeuge von ca. 50% – und damit einhergehend eine signifikante Emissionsreduzierung – ist, bei einem durchschnittlichen Alter der Fahrzeugflotte in Europa von ca. 13 Jahren (Deutschland ca. 10 Jahre), erst bis ca. 2030 zu erwarten. Diese Maßnahme wird sich also erst längerfristig auswirken.

1.3 Periodische Abgasuntersuchung (AU)

Die periodische Abgasuntersuchung (AU) leistet, neben der aufwendigen Emissionsmessung im Rahmen der Typprüfung, einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität. Sie soll sicherstellen, dass die Abgasnachbehandlungssysteme eines Fahrzeugs über seine gesamte Nutzungsdauer als „in Ordnung“ eingestuft werden können. Verschlechterungen des Abgasverhaltens, z. B. durch Alterung, Verschleiß oder Manipulation des Abgasreinigungssystems, sollen festgestellt und gegebenenfalls behoben werden. Der Fokus der AU liegt auf den sogenannten „High Emittlern“.

In den letzten Jahren wurde die AU zwar stetig weiterentwickelt – es ist jedoch nicht gelungen, mit den Entwicklungen der modernen Motoren- und Abgasreinigungstechnologie Schritt zu halten.

Im Verkehrsblatt 19/2017 [7] wurden u. a. folgende national geltenden strengeren Anforderungen festgelegt:

- ▶ Ab 01.01.2018: Verpflichtende Messung des Abgasstroms (Endrohrmessung)
- ▶ Ab 01.01.2019: Neuer Grenzwert für die Abgastrübung bei Euro 6 Dieselfahrzeugen: 0,25 m-1
- ▶ Ab 01.01.2021: Einführen eines Verfahrens zur Partikelanzahlmessung

Davon wurden die ersten beiden Punkte bereits umgesetzt. Diese zusätzlichen, verschärfenden Vorschriften sollen die Aussagekraft der AU verbessern.

Aus den oben genannten Gründen erscheint es jedoch erforderlich, zukünftig auch die Überprüfung der NO_x-Emissionen in die periodische Abgasuntersuchung zu integrieren.

1.4 Systeme zur NO_x-Konvertierung im Fahrzeug

Beim dieselmotorischen Verbrennungsprozess führt der Sauerstoffüberschuss in Verbindung mit einer hohen Verbrennungstemperatur zum vermehrten Entstehen von Stickstoffoxiden (NO_x). Da eine erhöhte Motorlast zu einem gestiegenen Brennraumdruck und somit einer höheren Brennraumtemperatur führt, ergibt sich ein direkter Zusammenhang zwischen Motorlast und Stickstoffoxidemissionen im Rohabgas.

Innermotorische Maßnahmen sollen diese Entstehung von NO_x während des Verbrennungsprozesses reduzieren. Dazu zählt insbesondere die Abgasrückführung (AGR). Bei der AGR wird eine definierte Menge an Abgas rückgeführt und der frischen Ansaugluft beigemischt. Dadurch wird im Brennraum der Sauerstoffanteil im Kraftstoff-Luft-Gemisch verringert und die Verbrennungstemperatur abgesenkt. Unterstützt wird dieser Effekt durch die hohe Wärmekapazität der Hauptbestandteile der Abgase, Kohlendioxid und Wasser.

Wird viel Abgas zurückgeführt, senkt dies zwar die Stickstoffoxidemissionen, die Bildung von Rußpartikeln während der Verbrennung wird jedoch erhöht. Da beide Schadstoffe durch die Gesetzgebung im Rahmen der Typprüfung limitiert sind, ist eine äußerst sorgfältige Abgasrückführung erforderlich.

Bei hohen Drehzahlen und unter Volllast muss die Abgasrückführung abgeschaltet werden, weil sonst der Partikelaustritt durch den Frischluftmangel zu groß wird. Die Rückführrate hängt also stark vom Betriebspunkt ab. Die Regelung des AGR-Ventils übernimmt das Motorsteuergerät, welches entsprechende Kennfelder hinterlegt hat.

Ein häufiger Ausfallgrund des AGR-Systems ist die Verkokung des AGR-Ventils durch Rußpartikel des rückgeführten Abgases.

Allein durch innermotorische Maßnahmen lassen sich aktuelle Abgasgrenzwerte der Typprüfung jedoch nicht einhalten. Eine Abgasnachbehandlung ist unumgänglich. Zur Reduzierung von Stickstoffoxiden aus dem Rohabgas werden deshalb Speicherkatalysatoren oder SCR-Katalysatoren verbaut.

Bei einem Speicherkatalysator (LNT) werden die Stickstoffoxide während des mageren Motorbetriebs gespeichert. Sobald die maximal speicherbare Menge erreicht ist, werden die Stickstoffoxide durch einen kurzzeitigen fetten Motorbetrieb zu Stickstoff und Wasser reduziert. Der Speicherkatalysator ist mit ca. 80% NO_x-Konvertierungsrate weniger effizient als das SCR-System und wird hauptsächlich in Kleinwagen eingesetzt, bei denen ein SCR-System zu viel Bauraum benötigen würde. Der LNT ist für die Erfüllung künftiger Abgasnormen jedoch nicht geeignet [3].

Das größte NO_x-Minderungspotential weist derzeit der SCR-Katalysator auf. Vor einem SCR-Katalysator wird Harnstoff (AdBlue) in den Abgasstrang zugeführt, wo er zu Ammoniak umgewandelt wird. Mit Hilfe des Ammoniaks werden im SCR-Katalysator die Stickstoffoxide zu elementarem Stickstoff und Wasser reduziert. Die Menge des Harnstoffs muss exakt dosiert werden, um eine Freisetzung von nicht umgesetztem Ammoniak zu vermeiden. NO_x-Konvertierungsraten können unter optimalen Betriebsbedingungen (Temperatur, Motorbetriebszustand etc.) über 90% betragen. Sind die Betriebsbedingungen allerdings nicht erreicht, ist die NO_x-Konvertierungsrate deutlich geringer. Ohne die Zugabe von Harnstoff hat ein SCR-Katalysator keine NO_x-mindernde Wirkung. Zudem besteht der Anreiz, die Harnstoffeinspritzung zu manipulieren, um den zusätzlichen Betriebsstoff (Harnstoff) einzusparen.

2 Aufbau und Herangehensweise

Zunächst wurden bereits bestehenden Prüfverfahren recherchiert, bei denen die NO_x-Emissionen gemessen werden. Diese Prüfverfahren wurden identifiziert und bewertet. Anschließend wurden daraus Prüfverfahren abgeleitet, die grundsätzlich für die AU in Deutschland geeignet erscheinen.

Diese Prüfverfahren unterscheiden sich darin, ob eine zusätzliche Last (Prüfstand / Straßenfahrt) auf den Motor aufgebracht wird – oder ob nur gegen die rotatorische Masse (Trägheit) des Motors im Leerlauf beschleunigt wird, bei Stillstand des Fahrzeuges.

Vorteile eines Prüfverfahrens **mit** extern aufgebrachter Last:

- ▶ Großer Einfluss der Motorlast auf die Höhe der NO_x-Emissionen -> es entsteht mehr NO_x
- ▶ Abregeldrehzahl im Leerlauf hat keinen Einfluss

Nachteile eines Prüfverfahrens **mit** extern aufgebrachter Last:

- ▶ Längere Rüstzeiten für die Vorbereitung der Prüfung (z. B. Sicherung des Fahrzeugs)
- ▶ Prüfgeräte sind tendenziell teurer und benötigen mehr Platz (Prüfstand/Teststrecke)
- ▶ Die Durchführung der Tests ist i. d. R. aufwendiger

Die Vor- und Nachteile eines Prüfverfahrens **ohne** extern aufgebrachte Last sind entsprechend gegenläufig.

Die Prüfverfahren wurden hinsichtlich verschiedener Kriterien (wie z.B. Anschaffungskosten, Zeitaufwand, Korrelation, Fehleranfälligkeit, Akzeptanz, Fehlerindikation) verglichen und bewertet. Durch eigene Messungen wurden dann die am besten bewerteten Prüfverfahren in ihrer Funktion und Wirkung dahingehend untersucht, ob und wie sie sich für eine periodische AU eignen. Die Evaluierung erfolgte an zwei Prüfverfahren **mit** extern aufgebrachter Last (ASM2050 / Straßenfahrt mit Mini-PEMS) und einem Prüfverfahren **ohne** extern aufgebrachte Last (CAPELEC).

Als Prüffahrzeug kam ein Peugeot 308SW (2.0d) mit Abgasnorm EURO 6b zum Einsatz. Um zu bewerten, ob und wie zuverlässig die Prüfverfahren eventuelle Fehler aufdecken, wurden die primären NO_x-mindernden Systeme, also das AGR- und das SCR-System, manipuliert: Die Rückführung des Abgases wurde durch eine Blende verschlossen und somit die AGR unterbunden (AGR-Fehler). Das Harnstoff-Einspritzventil wurde abmontiert, sodass kein Harnstoff mehr in den SCR-Katalysator eingespritzt werden konnte (SCR-Fehler).

2.1 ASM2050 (Acceleration Simulation Mode)

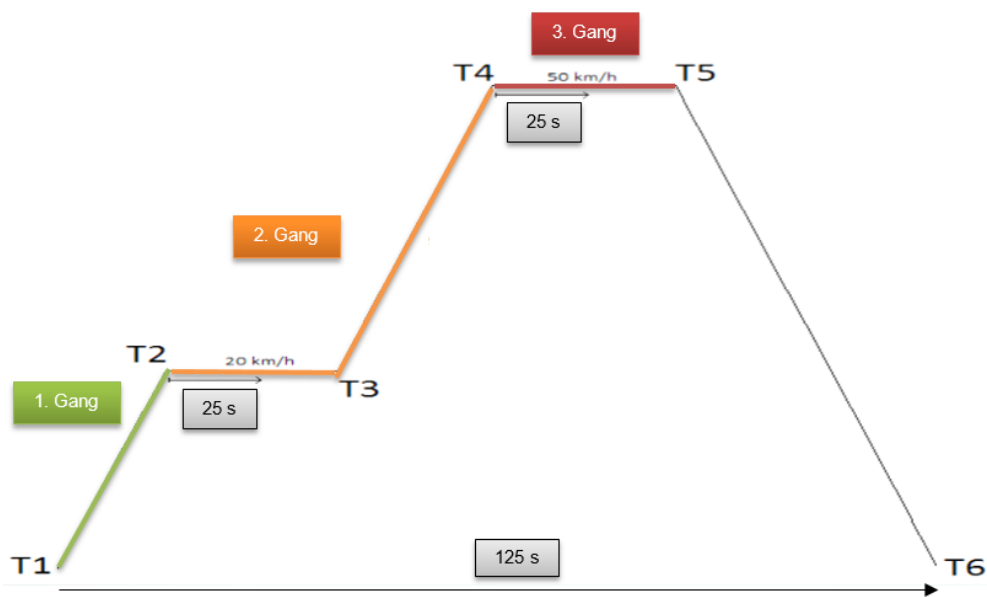
Beim Messverfahren ASM2050 wird unter einer definierten Last auf 20 km/h beschleunigt und die Geschwindigkeit 25 Sekunden lang gehalten. Im Anschluss wird auf 50 km/h beschleunigt und dieses Tempo ebenfalls für 25 Sekunden gehalten. Danach wird das Fahrzeug zum Stillstand gebracht. Der Geschwindigkeitsverlauf ist in Abbildung 1 zu sehen. Die Stickstoffoxidemissionen werden während der jeweiligen Konstantfahrten gemessen, daraus wird ein Mittelwert gebildet. Die ersten fünf Sekunden einer Konstantphase dienen der Stabilisierung. Die Messung selbst dauert folglich jeweils 20 Sekunden pro Konstantfahrt.

Bei den Versuchen der Evaluationsphase wurde eine konstante Rollenlast von 50 N, 200 N und 1000 N eingestellt. Es stellte sich heraus, dass der eingebaute Defekt im AGR-System bereits bei geringer Last gut erkennbar ist. Das SCR-System benötigt demgegenüber höhere Lasten, bis es aktiv wird und damit auch beurteilt werden kann.

Vorteile des ASM2050:

- ▶ Sehr gute Fehlerindikation: Fahrzeuge mit vorsätzlich eingebrachten Defekten zeigten einen viermal so hohen NO_x-Messwert im Vergleich zum fehlerlosen Zustand [6]
- ▶ Verhältnismäßig geringe Anforderungen an den Prüfstand

Abbildung 1: Geschwindigkeitsverlauf über die Zeit des Zyklus ASM2050



Quelle: Eigene Darstellung der Auftragnehmer - Verband der TÜV e. V., ASA-Verband, IERC GmbH, TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG, TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH, TÜV SÜD Auto Service GmbH

2.2 Fahrt mit Mini-PEMS

Derzeit werden sogenannte Mini-PEMS entwickelt, die Abgaskonzentrationen mit Hilfe von Sensoren messen. Diese Geräte sind sehr viel kompakter, leichter und preisgünstiger als die bei der Emissionstypprüfung verwendeten PEMS. Aufgrund dieser Eigenschaften ist der Einsatz von Mini-PEMS im Rahmen der periodischen AU prinzipiell vorstellbar. Die Messung könnte mit der Probefahrt verbunden werden, die im Rahmen der Periodisch Technischen Inspektion (PTI) vorgeschrieben ist.

Der Einbau des eigentlichen Mini-PEMS ist relativ einfach. Um den Schadstoffausstoß pro Kilometer zu bestimmen, muss jedoch auch der Abgasmassenstrom über ein Exhaust Flow Meter (EFM) bestimmt werden. Der Einbau eines EFM hängt von der Bauart und Anordnung des Abgasendrohrs ab und kann mehrere Stunden dauern. Alternativ kann eine Abgasentnahmesonde eingesetzt werden, um lediglich die NO_x -Volumenkonzentration zu messen. Dadurch kann der Aufwand für die Installation auf wenige Minuten reduziert werden. Es stellte sich für die untersuchten Messverfahren heraus, dass die Ermittlung der Volumenkonzentration ausreicht und nicht wie bei der Typprüfung auf „g/km“ umgerechnet werden muss. Somit muss der Massen-/Volumenstrom des Abgases nicht gemessen werden.

Es zeigte sich eine gute Korrelation zwischen Mini-PEMS und PEMS für die Abgastypprüfung.

Nachfolgend die Erkenntnisse aus der Evaluationsphase zu Mini-PEMS:

- ▶ Geschwindigkeit und gefahrene Strecke werden mit einem GPS-System ausreichend genau ermittelt.
- ▶ NO_x -Konzentrationen können mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden.
- ▶ CO_2 -Konzentrationen können mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden.
- ▶ Der Abgasmassenstrom kann aus dem Signal des Ansaugluftsenors und dem Kraftstofffluss mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden.
- ▶ Auf Basis der Abgas-Konzentrationen lassen sich Aussagen zum Zustand der Fahrzeuge treffen. Dadurch kann ein aufwändiger Einbau eines EFM vermieden werden.
- ▶ Aus NO_x über CO_2 Konzentration [%] lassen sich NO_x Emissionen [mg] abschätzen
- ▶ Mini-PEMS ist eine sinnvolle Alternative / Ergänzung zum Rollenprüfstand.

- ▶ Der Einbau des Mini-PEMS ist mit einfachen Mitteln möglich (ohne Massenstrommessung)
- ▶ Die Bewertung eines Fahrzeugs hinsichtlich NO_x, CO und Partikel ist durch eine kurze Testfahrt möglich.
- ▶ Die eingebauten Fehler werden zuverlässig erkannt.
- ▶ Für die Bewertung reichen die gegebenen Konzentrationen aus, eine Bestimmung des Abgasmassenstroms ist nicht zwingend erforderlich.
- ▶ Umgebungsbedingungen und die Fahrzeug-Konditionierung beeinflussen die Ergebnisse.
- ▶ OBD Daten erhöhen die Sicherheit bei der Bewertung (z.B. Abgastemperatur, SCR Kat Temperatur Umgebungstemperatur, AdBlue Dosierung)
- ▶ Allradfahrzeuge können ohne Mehraufwand geprüft werden

2.3 Capelec

Der von der Firma Capelec entwickelte Test ohne externe Last prüft mittels fünf Kriterien das AGR-Ventil auf Funktionstüchtigkeit. Darin wird über den Motorfüllungsgrad auf die Position und Funktion des AGR-Ventils geschlossen. Der Motorfüllungsgrad p wird mithilfe von OBD-Daten und der manuell vom Prüfer einzugebenden Brennraumgröße berechnet.

Die Ergebnisse bei verbautem SCR-Fehler zeigen ein ähnliches Emissionsverhalten wie die Messung im Serienzustand, da der Betriebsbereich zur Harnstoffeinspritzung nicht erreicht wird. Somit ist dieses Verfahren nicht zur Bewertung des Abgasnachbehandlungssystems geeignet und wurde nicht weiter untersucht.

- ▶ Schlechte Fehlerindikation: Erhöhung der Messwerte um Faktor 1,2 [6]
- ▶ Nur 2 Kriterien nutzbar bei Fahrzeugen mit Begrenzung der Abregeldrehzahl
- ▶ Fokus auf AGR, keine Aussagekraft für Abgasnachbehandlungssysteme wie den SCR-Katalysator

3 Durchführung

Die Bewertung der Verfahren hat gezeigt, dass die Funktionsfähigkeit aller emissionsmindernden Systeme nur dann zuverlässig geprüft werden kann, wenn auf den Motor eine externe Last aufgebracht wird. Dies liegt zum einen an dem oben erwähnten Zusammenhang zwischen Motorlast und NO_x-Rohemissionen. Und zum anderen daran, dass Abgasnachbehandlungssysteme wie SCR-Katalysatoren im Leerlauf häufig nicht im temperaturabhängigen Arbeitsfenster liegen und somit auch nicht im Hinblick auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft werden können.

Deshalb wurde im nächsten Schritt der ASM2050 sowohl auf dem Rollenprüfstand als auch auf der Straße mit Mini-PEMS erprobt und validiert. Die Validierung erfolgte mit folgenden Prüffahrzeugen:

- ▶ Peugeot 308 BlueHdi 180 EAT8 GT (2.0d) - Abgasnorm Euro 6d-TEMP
- ▶ Mercedes Benz A-Klasse 180 - Abgasnorm Euro 6d-TEMP
- ▶ VOLVO XC60 - Abgasnorm Euro 6d-TEMP

Die Messungen an den drei ausgewählten Prüffahrzeugen erfolgten jeweils

- ▶ im Serienstand (= ohne verbauten Fehler)
- ▶ mit AGR-Fehler
- ▶ mit SCR-Fehler
- ▶ mit AGR- und SCR-Fehler

Das jeweilige Prüffahrzeug wurde vor jeder Messung konditioniert:

- ▶ Motortemperatur > 80 °C
- ▶ SCR-Katalysatortemperatur > 200 °C
- ▶ Kein Fehler im Fehlerspeicher der OBD hinterlegt

Es wurden jeweils mindestens fünf ASM2050 Zyklen hintereinander gefahren – mit einer Pause von 10 Sekunden zwischen den Zyklen. In die Auswertung gingen die Konstantfahrten der Zyklen 3, 4 und 5 ein. In diesen Zyklen waren die Systeme bei allen Messungen und Fahrzeugen aktiv. Sämtliche Messergebnisse sind im Anhang in Tabelle 1 zusammengefasst.

4 Erkenntnisse

4.1 ASM2050 - Rollenprüfstand

Selbst, wenn nur einer der beiden Fehler eingebaut wurde, zeigte sich eine signifikante Zunahme der NO_x-Emissionen (gemittelte Werte aus Konstantfahrten bzw. aus Peakwerten). Der SCR-Fehler führte außerdem zu höheren Emissionswerten als der AGR-Fehler. Die Emissionen stiegen überproportional stärker an, wenn beide Fehler gleichzeitig verbaut wurden. Das lässt vermuten, dass bei Ausfall lediglich eines Abgasreinigungssystems eine teilweise Kompensation durch das funktionierende System erfolgt. Ob die aufgebrachte Last 500 N oder 1000 N beträgt, hat eher einen geringen Einfluss auf die gemessenen NO_x-Emissionen am Endrohr. Die bereits bei 500 N gemessenen erhöhten Werte nach Fehlereinbau sind ausreichend signifikant gegenüber dem Originalzustand, um Fehler erkennen zu können. Das Aufbringen einer Last von 1000 N bringt keine zusätzlichen Erkenntnisse und erscheint deshalb nicht erforderlich. Ähnlich verhält es sich bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten von 20 km/h und 50 km/h. Bei einer vorhandenen Manipulation sind schon die bei 20 km/h gemessenen erhöhten Werte ausreichend signifikant gegenüber dem Originalzustand, um Fehler erkennen zu können. Das Prüfen mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h erscheint im Verhältnis des zusätzlichen Aufwands und den daraus gewonnenen Erkenntnissen nicht erforderlich. Dieses Ergebnis ist unabhängig davon, ob auf dem Prüfstand oder bei einer kurzen Testfahrt auf der Straße getestet wird.

4.2 ASM2050 – Straßenfahrt mit Mini-PEMS

Die kurzen Testfahrten auf der Straße, bei denen der ASM2050-Zyklus nachgefahren wurde, zeigten sehr ähnliche Ergebnisse wie die simulierten Fahrten auf dem Prüfstand. Bereits der Einbau *eines* Fehlers führt zu signifikant höheren NO_x-Emissionen. Werden beide Fehler gleichzeitig verbaut, steigen die NO_x-Emissionen ebenfalls überproportional stärker an. Das Prüfen mittels einer Testfahrt auf der Straße bis zu einer Geschwindigkeit von 50 km/h erscheint im Verhältnis zu dem zusätzlichen Aufwand und den daraus zu gewinnenden Erkenntnissen nicht erforderlich.

4.3 Kurztest Straßenfahrt mit Mini-PEMS

Auf der Straße wurde mit den Mini-PEMS ergänzend zum ASM2050 der „Kurztest Straßenfahrt“ durchgeführt. Bei dieser verkürzten Testfahrt von ca. 10 s und einer Beschleunigung auf lediglich ca. 20 km/h war ein ähnliches Verhalten (mit Ausnahme des Peugeot 308 mit AGR-Fehler) festzustellen – mit ausreichender Signifikanz zur Fehlererkennung. Der „Kurztest Straßenfahrt“ zeigte ähnliche Ergebnisse wie der längere ASM2050 Zyklus.

Der kurze Beschleunigungstest auf der Straße sollte in weiteren Untersuchungen näher betrachtet werden. Die Vorteile einer realen Straßenfahrt gegenüber einem Test auf dem Rollenprüfstand sind, dass die tatsächlichen Fahrwiderstände auf das Fahrzeug wirken und, unabhängig vom Antriebskonzept, kein Mehraufwand für die Prüfung entsteht. Zudem muss an den AU-Prüfplätzen kein Platz für

einen weiteren Prüfstand geschaffen werden. Dem gegenüber steht die Notwendigkeit, dass an jedem AU-Prüfplatz mit vertretbarem Aufwand die Möglichkeit gegeben sein muss, einen Straßentest durchführen zu können. Die Vorgaben und Randbedingungen für einen solchen Straßentest müssen exakt definiert werden. Unter der Einschränkung, dass lediglich drei Fahrzeuge geprüft wurden, sind beide Verfahren – Test auf dem Prüfstand oder kurze Fahrt auf der Straße – aufgrund der gemessenen NO_x -Emissionen geeignet, um die Funktion des Abgasreinigungssystems im Rahmen einer periodischen AU zu überprüfen. Die verbauten Fehler konnten anhand erhöhter NO_x -Konzentrationen erkannt werden.

4.4 Konditionierung als wichtige Randbedingung

Wie hoch die am Endrohr gemessene NO_x -Konzentration ist, hängt stark davon ab, welchen NO_x -Umsetzungswirkungsgrad der SCR-Katalysator erreicht. Dieser Wirkungsgrad ist abhängig von der Temperatur des SCR-Katalysators, der zwischen ca. 200 °C und 400 °C seinen optimalen Betriebsbereich erreicht. Die Temperatur des SCR-Katalysators muss also während der Messung in diesem Temperaturbereich liegen. Es ist zu beachten, dass die Messung unmittelbar nach der Konditionierung gestartet werden muss, da der SCR-Katalysator im Leerlauf sehr schnell auskühlt. Ist die Temperatur zu gering, sind deutlich erhöhte NO_x -Emissionen zu messen, obwohl das SCR-System keinen Mangel aufweist. Diese Erkenntnis zeigt, dass exakt vorgegeben werden muss, in welchen Zustand das Fahrzeug versetzt werden sollte.

Es müssen zudem bestimmte Umstände festgestellt werden können, bei denen eine AU nicht durchgeführt werden könnte, so z. B. während der Regenerationsphase des Diesel-Partikelfilters. Darüber hinaus sind Informationen über das Systemkonzept der Abgasnachbehandlung erforderlich, um evtl. Zustände identifizieren zu können, bei denen die Systeme teilweise oder umfänglich abgeschaltet werden können (z. B. tiefe Umgebungstemperaturen).

Das Fahrzeug muss nachweislich in einen prüfbereiten Zustand gebracht werden, um die Möglichkeit einer Fehlinterpretation der Ergebnisse zu verringern. Eine korrekte Konditionierung des Fahrzeugs ist für eine transparente und reproduzierbare Messung zwingend erforderlich.

4.5 Erweiterung der standardisierten OBD-Daten

In der On-Board-Diagnose (OBD) sind wichtige Informationen (z. B. Einspritzmenge Harnstoff, Temperatur SCR-Katalysator, Aktivität AGR-Ventil) über den Zustand eines Fahrzeugs hinterlegt. Diese müssen ebenfalls analysiert werden, wenn die Systeme auf ihre Konditionierungsparameter (z.B. die Katalysatortemperatur) überprüft werden. In der aktuellen OBD Norm SAE J 1979 sind viele Daten vorgesehen, die die AU wesentlich effizienter und zielgerichteter durchführen ließen. Eine Übersicht der nötigen Parameter (PID) ist im Anhang aufgelistet. Dafür muss über das OBD-System ein Zugang zu den erforderlichen Daten ermöglicht werden, wie er für Diagnosegeräte im Werkstattbereich üblich ist. Über die OBD ließen sich außerdem bestimmte Fahrzeugzustände feststellen, bei denen eine AU nicht durchgeführt werden könnte, z. B. während einer Regenerationsphase des Diesel-Partikelfilters.

Zudem ist ein Abgleich der aktuell gültigen mit der im Fahrzeug vorhandenen Softwareversion vorzunehmen, um z. B. Manipulationen an der Elektronik feststellen zu können.

4.6 Fahrzeugspezifische Grenzwerte und Prüfvorgaben

Die in diesem Forschungsprojekt untersuchten drei Fahrzeugtypen verfügen über unterschiedliche Abgasnachbehandlungskonzepte und Motorisierungen. Um die gewonnenen Erkenntnisse statistisch abzusichern, bedarf es jedoch einer Vergrößerung des Stichprobenumfangs. Schließlich wurde festgestellt, dass bereits die drei untersuchten Fahrzeuge sehr unterschiedliche absolute NO_x -Emissionen

aufweisen. Aus diesem Grund wäre eine Ermittlung geeigneter Vergleichsdaten bereits bei der Typprüfung sehr hilfreich, um die NO_x-Konzentrationen von Dieselfahrzeugen im Rahmen der periodischen AU bewerten zu können. Eine Definition der entsprechenden Prüfung einschließlich der Ermittlung von Daten für die Technische Überwachung müsste in die europäischen Vorschriften für die Abgastypprüfung aufgenommen werden. Neben den gemessenen NO_x-Konzentrationen sollten auch die Randbedingungen ermittelt werden, die bei der technischen Überwachung zu berücksichtigen sind, z.B. die Motortemperatur und die Temperatur am SCR-Katalysator. Für die Bewertung der NO_x-Konzentrationen von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotoren könnten bei der periodischen AU so typspezifische Grenzwerte herangezogen werden. Nur für den Fall, dass derartige spezifische Werte nicht vorliegen, ist ein noch zu definierender genereller Grenzwert heranzuziehen.

4.7 Anforderungen an die Messtechnik

Bei einigen Tests wurden NO_x-Konzentrationen gemessen, die sich im Bereich der zulässigen Messfehler bewegen. In Verordnung (EU) 2017/1151 ist für den Typ 1 Test vorgegeben: *„Sofern nichts anderes bestimmt ist, dürfen Messfehler nicht mehr als ± 2 Prozent (Eigenfehler des Analysators) betragen, wobei der Bezugswert der Kalibriergase unberücksichtigt bleibt.“* D.h. der zulässige Messfehler ist abhängig vom jeweils verwendeten Messbereich. Bei der Messung von NO_x-Konzentrationen in diesen Größenordnungen ist daher auf die Verwendung eines geeigneten Messgerätes zu achten. Derzeit sind Analysatoren mit 10ppm oder 3ppm Messbereich im Laborbereich verfügbar.

4.8 Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)

Im Rahmen der ökonomischen Analyse sollte mit Hilfe der Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) überprüft werden, ob die modifizierte AU aus gesamtwirtschaftlicher Sicht vorteilhaft ist. Die NKA ist ein etabliertes Verfahren, um den Einsatz öffentlicher Finanzmittel oder die Durchführung ordnungspolitischer Maßnahmen zu bewerten. Außerdem soll sie sicherstellen, dass die Maßnahmen auf jeden Fall die gesellschaftliche Wohlfahrt verbessern. Es wird ein Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) ermittelt. Wenn das NKV größer als 1 ist, ist der Einsatz der öffentlichen Finanzmittel oder die Durchführung der ordnungspolitischen Maßnahmen aus gesellschaftlicher Sicht erwünscht. Ist es kleiner als 1, sollten die Ausgaben gestoppt und die ordnungspolitischen Maßnahmen nicht durchgeführt werden. Bei der AU handelt es sich um eine ordnungspolitische Maßnahme, weil sie einem Marktkontrollmechanismus (= technische Überprüfung, ob die NO_x-Emissionsgrenzwerte tatsächlich eingehalten werden) entspricht. Um das Nutzen-Kosten-Verhältnis für die künftige AU zu ermitteln, müssen sowohl die volkswirtschaftlichen Kosten für die Durchführung der AU als auch der volkswirtschaftliche Nutzen, der sich durch reduzierte NO_x-Emissionen ergibt, ermittelt werden. Die Rentabilitätsschwelle für eine Maßnahme liegt bei einem Nutzen-Kosten-Verhältnis größer als 1. Ein Nutzen-Kosten-Verhältnis größer als 3 wird als exzellent bewertet. Um die Nutzen der AU für Diesel-Pkw mit Euro 6d-TEMP zu untersuchen, wurde zunächst die Anzahl der Diesel-Pkw ermittelt, die ab dem Jahr 2024 regelmäßig zur AU müssen. Es wurde eine Schadensquote in Höhe von 1% für AGR-Fehler, SCR-Fehler oder AGR- und SCR-Fehler unterstellt. Weiterhin wurde die Höhe der zusätzlichen NO_x-Emissionen berechnet, die aufgrund von Defekten der Katalysatoren freigesetzt werden. Dazu wird auf die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Emissionsmessungen zurückgegriffen. Um die volkswirtschaftlichen Kosten zu bestimmen, wurden die Personalkosten berechnet, die sich aus dem Zeitaufwand für die AU ergeben. Weiterhin wurden die Investitionskosten für die Messgeräte ermittelt. Insgesamt errechnet sich über den Untersuchungszeitraum von 2024 bis 2033 ein durchschnittliches NKV in Höhe von 3,7.

Die Einführung der AU führt damit zu deutlichen positiven gesamtwirtschaftlichen Effekten und hat ein exzellentes NKV. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass mit diesem Projekt sowohl theoretisches als auch empirisches Neuland betreten wurde, sodass eine Reihe von Annahmen getroffen werden

mussten. Diese sind zwar plausibel, können aber durchaus kritisch hinterfragt werden. Daher wurde untersucht, wie sensibel die Nutzen-Kosten-Analyse auf Veränderungen wichtiger Eingangsgrößen reagiert. Dazu wurden sogenannte Reaktionselastizitäten berechnet – wie stark sich also beispielsweise eine Veränderung der mit einem Defekt zurückgelegten Pkw-Fahrleistungen, des Zeitaufwandes für die Durchführung der AU, der Personalkosten oder der Investitionskosten für die Messgeräte niederschlägt. Es hat sich gezeigt, dass partielle Veränderungen des Zeitaufwandes, der Personalkosten und der Gerätekosten nur unterproportionale Wirkungen auf das NKV haben. Wenn alle drei Größen gleichzeitig um 10% ansteigen würden, dann würde das NKV von 3,7 auf 3,3 sinken, was immer noch einen exzellenten Wert darstellt. Wenn sich die mit einem Defekt der Abgasnachbehandlungsanlage zurückgelegten Kilometer um 10% verringerten, reduziert sich das NKV um 9,7%, ist aber dennoch größer als 3.

Die NKA zeigt insgesamt, dass die Einführung der AU gesamtwirtschaftlich erwünscht ist. Die Sensitivitätsanalyse bestätigt zudem eine hohe Stabilität des Nutzen-Kosten-Verhältnisses gegenüber Veränderungen von wichtigen Eingangsgrößen. Limitationen bestehen allerdings vor allem darin, dass die Bestandsentwicklung der Diesel-Pkw mit Euro-6d nur schwer vorhersehbar ist.

Der Untersuchungsbericht zeigt deutlich, dass die Ergänzung des AU-Messprogramms um den Luftschadstoff NO_x mit den vorgenannten Messmethoden grundsätzlich messtechnisch leistbar und gesamtwirtschaftlich sinnvoll ist. Das vorliegende Messprogramm verfolgte ausschließlich das Ziel, ein technisch mögliches Messverfahren zu entwickeln. Die Messergebnisse zeigen, dass die Messung unter Last – entweder auf einem Prüfstand oder bei einer Testfahrt auf der Straße – durchgeführt werden muss. Um die Methode jedoch statistisch abzusichern, bedarf es weiterführender Untersuchungen.

Nach einer Schätzung würde sich der künftige Preis für die AU von Diesel-Fahrzeugen (bestehend aus PN- und NO_x- Messung, inklusive der zusätzlichen Gerätekosten von ca. 1,90 €) um ca. 12,80 € (inkl. MwSt.) erhöhen. Dies würde eine jährliche Mehrbelastung für den Fahrzeughalter von ca. 6,40 € (inkl. MwSt.) bedeuten.

4.9 Gesetzliche Änderungen

Die Revisionsvorschläge für die Anpassung der Richtlinie 2014/45/EU und der AU-Richtlinie sind im Anhang unter Tabelle 3 zu finden.

5 Anhang

5.1 OBD-PIDs

Nachfolgend aufgeführte OBD-PIDs sind in der Norm SAE J 1979 bereits aufgelistet und sollten zukünftig standardisiert auslesbar sein:

PID 01 Readinesscodes (non continuous)

bit 1 (NO_x), **bit 5** (Exhaust gas sensor monitoring), **bit 6** (PM filter monitoring) und **bit 7** (EGR system monitoring)

PID 2C Commanded EGR (EGR rate)

PID 2D EGR Error

PID 78/79 Exhaust Gas Temperature (EGT) Bank 1/2

PID 7A/7B Diesel Particulate Filter Pressure (DPF) Bank 1/2

PID 7C Diesel Particulate Filter Temperature (DPF)

PID 7D NO_x NTE control area status

PID 7E PM NTE control area status

PID 83 NO_x Sensor (supported and concentration)

PID 85 NO_x Control System (Information about Reagent)

PID 86 Particulate Matter Sensor (PM)

PID 88 SCR inducement system actual state

PID 8B Diesel Aftertreatment System

PID 8F Particulate Matter Sensor Output

5.2 Messergebnisse

Tabelle 1: Übersichtstabelle aller Messergebnisse des Zyklus ASM2050

Last [N]	Fehler	NO _x Konstant-MW 20 km/h [ppm]	FI Konstant-MW 20 km/h	NO _x Konstant-MW 50 km/h [ppm]	FI Konstant-MW 50 km/h
Peugeot 308					
500	Serie	9,26	1,00	17,25	1,00
500	AGR	16,62	1,80	24,90	1,44
500	SCR	35,20	3,80	54,66	3,17
500	AGR+SCR	128,52	13,88	199,93	11,59
1000	Serie	4,45	1,00	8,74	1,00
1000	AGR	10,97	2,46	9,43	1,08
1000	SCR	47,21	10,61	113,40	12,97
1000	AGR+SCR	207,54	46,62	327,93	37,52
Straßenfahrt	Serie	7,30	1,00	12,17	1,00

Straßenfahrt	AGR	6,68	0,92	5,97	0,49
Straßenfahrt	SCR	75,82	10,39	129,22	10,61
Straßenfahrt	AGR+SCR	194,06	26,60	225,14	18,49
Mercedes A180d					
500	Serie	0,01	1,00	0,04	1,00
500	AGR	1,62	144,32	5,32	132,57
500	SCR	3,55	316,96	5,06	126,16
500	AGR+SCR	32,85	2934,06	62,92	1569,21
1000	Serie	0,02	1,00	0,03	1,00
1000	AGR	5,41	357,21	10,75	331,22
1000	SCR	3,17	208,91	12,26	377,94
1000	AGR+SCR	51,70	3411,00	140,63	4333,91
Straßenfahrt	Serie	0,25	1,00	2,35	1,00
Straßenfahrt	AGR	9,78	39,04	27,00	11,49
Straßenfahrt	SCR	24,23	96,70	40,37	17,18
Straßenfahrt	AGR+SCR	153,85	613,94	284,95	121,22
VOLVO XC60					
500	Serie	0,22	1,00	0,33	1,00
500	AGR	0,36	1,60	1,89	5,68
500	SCR	1,30	5,88	5,24	15,72
500	AGR+SCR	3,72	16,81	27,03	81,16
1000	Serie	0,33	1,00	0,79	1,00
1000	AGR	3,37	10,37	9,88	12,52
1000	SCR	5,73	17,63	19,48	24,67
1000	AGR+SCR	24,50	75,33	92,39	117,05
Straßenfahrt	Serie	0,57	1,00	4,07	1,00
Straßenfahrt	AGR	16,27	28,57	55,05	13,52
Straßenfahrt	SCR	34,16	59,99	57,95	14,23
Straßenfahrt	AGR+SCR	87,85	154,25	132,43	32,52

Tabelle 2: Übersichtstabelle aller Messergebnisse des „Kurztest Straßenfahrt“

Versuch	Fehler	Mittelwert NO _x [ppm]	Peakwert NO _x [ppm]	Fehlerfaktor Mittelwert NO _x
Peugeot 308				
1	Serie	9,65	17,94	
2	Serie	9,23	19,57	
3	Serie	10,53	24,11	
Mittelwert	Serie	9,80	20,54	1,00
1	AGR	10,68	21,14	
2	AGR	10,52	35,23	
3	AGR	12,37	37,18	
Mittelwert	AGR	11,19	31,18	1,14
1	SCR	115,12	189,34	
2	SCR	117,44	177,78	
3	SCR	110,30	180,32	
Mittelwert	SCR	114,29	182,48	11,66
1	AGR+SCR	208,42	365,19	
2	AGR+SCR	216,26	364,82	
3	AGR+SCR	205,52	421,78	
Mittelwert	AGR+SCR	210,07	383,93	21,43
Mercedes A180d				
1	Serie	0,93	5,46	
2	Serie	1,45	7,19	
3	Serie	3,70	17,52	
Mittelwert	Serie	2,03	10,05	1,00
1	AGR	13,25	46,41	
2	AGR	9,66	45,63	
3	AGR	35,91	121,37	
Mittelwert	AGR	19,61	71,13	9,67

1	SCR	104,39	317,13	
2	SCR	93,81	203,87	
3	SCR	114,00	266,63	
Mittelwert	SCR	104,07	262,54	51,32
1	AGR+SCR	252,44	812,41	
2	AGR+SCR	268,73	859,75	
3	AGR+SCR	272,04	858,40	
Mittelwert	AGR+SCR	264,40	843,52	130,40

5.3 Revisionsvorschlag für die Anpassung der Richtlinie 2014/45/EU und der AU-Richtlinie

Tabelle 3: Ergänzung der Richtlinie 2014/45/EU

Position	Methode	Grund der Mängel	Bewertung		
8.2.2.3 NO _x Messung	Bei Fahrzeugen ab Euro 6d-TEMP Messung der NO _x Konzentration unter Last mit einer Kraft von mind. 500 N und einer Geschwindigkeit von 20 km/h. Alternativ kann auch eine Kurzfahrt mit Beschleunigung auf 20 km/h und anschließend abbremsen auf 0 km/h (1. Gang) ausgeführt werden. 1. Vorkonditionierung des Fahrzeugs: Der Motor hat die volle Betriebstemperatur von mind. 80 °C erreicht. Der SCR-Kat hat die Betriebstemperatur nach Herstellerangaben erreicht. NO _x Prüfbereitschaft gegeben (EOBD Mode 1 - Readinesscode). Messung ist unmittelbar und unvermittelt auszuführen (Abkühlung vermeiden) 2. Prüfverfahren: Messung der NO _x Konzentration über ein geeignetes Messgerät unter	NO _x Konzentration übersteigt den vom Hersteller angegebenen Wert. Falls dieser Wert nicht anwendbar/verfügbar ist: NO _x Konzentration übersteigt den Wert von (40) ppm	gering	erhebl.	gefährl.
				X	

Last mit einer Kraft von mind. 500 N und 20 km/h (0-20 km/h in 15 s, 25 s konstant, 20 km/h auf 0 in 15 s) oder alternativ Kurzfahrt mit Beschleunigung von 0 auf 20 km/h (ca. 3 s konstant 20 km/h) und abbremesen auf 0 km/h (entspricht einer Messstrecke von ca. 40m) Die Prüfung ist nur dann als nicht bestanden zu werten, wenn das arithmetische Mittel von mindestens drei Messzyklen den Grenzwert überschreitet. Bei der Berechnung dieses Wertes werden Messungen, die erheblich (> 30 %) vom gemittelten Messwert abweichen, oder das Ergebnis anderer statistischer Berechnungen, die die Streuung der Messungen berücksichtigen, außer Acht gelassen. Die Mitgliedstaaten können die Zahl der durchzuführenden Prüfzyklen begrenzen. Damit keine unnötigen Prüfungen durchgeführt werden, können die Mitgliedstaaten die Prüfung eines Fahrzeugs als bestanden werten, dessen Messwerte nach weniger als drei Messzyklen deutlich unter dem Grenzwert liegen (< 30 %).		
---	--	--

Für die Anpassung/Ergänzung der AU-Richtlinie wird nachfolgend ein Anpassungsvorschlag für die NO_x-Messung gemacht. In der AU-Richtlinie ist die Funktionsprüfung „Abgas mit NO_x-Messung“ einzufügen:

Funktionsprüfung NO_x Messung (für Fahrzeuge ab Euro 6dtemp)

- Fahrzeugkonditionierung:
 1. Kühlmitteltemperatur mind. 80 °C
 2. NO_x Prüfbereitschaft durch Auslesen des Readinesscodes feststellen (NO_x unterstützt und ausgeführt)

3. NO_x-Messung unmittelbar nach der Konditionierung ausführen, Abkühlung vermeiden, unvermittelt ohne Motor abschalten auf den Prüfstand fahren bzw. Kurzfahrt ausführen
- ▶ Fahrzeug auf Prüfstand bringen und Prüfzyklus ausführen (mit 500 N Last, 20 km/h)
 1. Fahrzeug von 0 auf 20 km/h beschleunigen (innerhalb 15 s)
 2. 20 km/h für 25 s konstant halten
 3. Danach verzögern von 20 km/h auf 0 km/h innerhalb 15 s
 4. 15 s abwarten
- ▶ Bewertung Prüfzyklus Lastrolle
 1. 5 s nach Erreichen der Prüfgeschwindigkeit von 20 km/h NO_x Messung starten und Mittelwert über 20 s bilden
- ▶ Steht kein Prüfstand zur Verfügung, kann die Messung auch mit Hilfe einer Kurzfahrt ausgeführt werden
 1. Fahrzeug vom Stand aus auf 20 km/h beschleunigen (in max. 5 Sekunden)
 2. Geschwindigkeit ca. 3 s auf 20 km/h halten
 3. Danach Fahrzeug abbremsten bis auf 0 km/h
- ▶ Bewertung Prüfzyklus Kurzfahrt
 1. NO_x-Messung unmittelbar nach der Beschleunigung des Fahrzeugs starten und Mittelwert über den gesamten Bewegungszyklus des Fahrzeuges bilden
- ▶ Prüfzyklus so lange wiederholen, bis die letzten drei Prüfzyklen innerhalb einer Bandbreite von +/- 20 % (oder festen Wert von z.B. 10 ppm) des Mittelwertes aus drei Prüfzyklen liegen
- ▶ Bewertung Gesamtergebnis
 1. Mittelwert aus den drei letzten Prüfzyklen bilden
 2. Ergebnis < Herstellerwert i.O.
 3. Ergebnis > Herstellerwert n.i.O
 4. Falls Herstellerwert nicht verfügbar, Grenzwert NO_x 40 ppm.

6 Quellenverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt. (2017). Wirkungen auf die Gesundheit. Abgerufen am 01.11.2017 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-die-gesundheit>.
- [2] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Wirkungen auf den Menschen. Abgerufen am 01.11.2017 von <https://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/18796/>.
- [3] Yang, L., Franco, V., Campestrini, A., German, J. & Mock, P. (2015). NO_x control technologies for Euro 6 Diesel passenger cars - Market penetration and experimental performance assessment. ICCT 2015, International Council on Clean Transportation, Neue Promenade 6, 10178 Berlin.
- [4] Tietge, U., Diaz, S., Mock, P., German, J., Bandivadekar, A., Ligterink, N. (2016). From Laboratory to Road. A 2016 update of official and 'Real-world' fuel consumption and CO₂ values for passenger cars in Europe. White Paper ICCT November 2016. Abgerufen am 02.11.2017 von <https://cleantechnica.com/2016/11/21/icct-average-gap-official-fuel-consumption-figures-actual-fuel-use-eu-hit-42/>.
- [5] European Environment Agency. (2016). Explaining road transport emissions - A non-technical guide. Abgerufen am 02.11.2017 von https://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions/at_download/file.
- [6] CITA International Motor Vehicle Inspection Committee. (2017). CITA SET II Project – Sustainable Emissions Testing.
- [7] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2017). Verkehrsblatt 19/2017.