

Schriftliche Stellungnahme von:

A.o. Univ. Prof. Dr. Stefan Hausberger

Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik
TU-Graz

Inffeldgasse 19, A-8010 Graz

Tel: +43 316 873-30260

Deutscher Bundestag

5. Untersuchungsausschuss
der 18. Wahlperiode

Ausschussdrucksache
18(31)36

Zum Thema des 5. Untersuchungsausschusses der 18. Wahlperiode

Bekannte Messmethoded für PKW Abgasemissionen

Üblicherweise werden zuerst die Fahrwiderstände (Roll- und Luftwiderstand) eines Kfz mittels Ausrollversuch bestimmt. Alternativ aber teurer kann auch bei Konstant Fahrten die Kraft an den Rädern gemessen werden. Die so gemessenen Fahrwiderstände werden dann am Rollenprüfstand nachgestellt. Es sollte dabei das Fahrzeug in jeder Situation also die gleiche Leistung aufbringen, wie sie bei gleicher Situation auf der Straße nötig wäre. Dass es bei dem Verfahren zur Bestimmung der Fahrwiderstände im NEDC Mängel gibt, war unter Experten seit einigen Jahren bekannt (unpassende Formeln zur Auswertung und ungenügende Definitionen zum Fahrzeugzustand). Die bekannten Unzulänglichkeiten wurden für das WLTP-verfahren jedoch eliminiert.

Am Rollenprüfstand können an sich beliebige Testzyklen gefahren werden. Ein Testzyklus stellt den Geschwindigkeitsverlauf über der Zeit dar, den das Fahrzeug abfahren muss.

Der Typprüfzyklus (NEDC) ist seit über 20 Jahren in Verwendung. Dass er für moderne Kfz mit elektronischer Motorsteuerung nicht mehr zeitgemäß ist, ist zumindest seit ca. 2005 bekannt (Berichte des FP5 Projektes ARTEMIS sowie Handbuch Emissionsfaktoren).

Man hätte den NEDC danach aus technischer Sicht jederzeit durch einen realitätsnäheren Testzyklus ersetzen können. In einem demokratischen Prozess wie der EU Gesetzgebung dauert aber auch so ein Vorgang mehrere Jahre. Da bald danach mit der Erarbeitung der WLTP (World Light Duty Test Procedure) begonnen wurde, die ja ab 2017 in der EU den NEDC ersetzt, wäre die Erarbeitung eines zwischenzeitlichen Ersatzes für den NEDC sicher nicht sinnvoll investierte Energie gewesen.

Das WLTP Testverfahren hat nicht nur einen neuen Geschwindigkeitszyklus sondern beseitigt auch alle bekannten Lücken im Messablauf, die bisher zu Abweichungen von Trends im Realverbrauch zum Typprüfwert geführt haben. Da auch der WLTP auf dem Rollenprüfstand gefahren wird, kann der Test illegale Software zur Deaktivierung von Emissionsminderungstechnologien auch nicht sicher detektieren. Er deckt lediglich einen wesentlich breiteren Raum an Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie Fahrwiderständen ab als der NEDC.

Daher wurde – nach meinem Wissen etwa ab 2010 – innerhalb der EU und der Mitgliedstaaten diskutiert, ob zusätzlich zum Typprüfzyklus auch ein per Zufallsgenerator erstellter Test (Random Cycle) am Rollenprüfstand oder eine zusätzliche Messung der Emissionen On-Board im Zulassungsverfahren integriert werden soll. Da nur On-Board Messungen Defeat Devices mit hoher Sicherheit verhindern können, wurde ca. 2012 beschlossen, ein On-Board Emissionstestverfahren für die EU zu entwickeln. Ein solches Testverfahren war für LKW zu der Zeit bereits in Kraft. Für PKW mussten Messinstrumente auf die beschränkten Raum- und Zuladungsbedingungen angepasst und getestet werden. Grundsätzlich waren On-Board Messungen schon in den 80er Jahren möglich, aber sehr aufwändig (siehe Bild unten) und mit sehr beschränkter Aussagekraft wegen hoher Unsicherheiten. Mit den LKW-On-Board Messsystemen konnten ab ca. 2005 brauchbare Messungen auch bei PKW durchgeführt werden, sofern ausreichen Platz im Innenraum bestand.

Allerdings war 2010 noch kein Auswerteverfahren bekannt, zumindest nicht standardisiert, mit dem aus einer On-Board Messung abgeleitet werden könnte, dass ein Kfz unerlaubte Software nutzt. Da Fahrer, Route und Verkehr die durchschnittliche Motorleistung eines Kfz um mehr als den Faktor 5 beeinflussen können und die NOx-Emissionen bei Diesel-PKW der Schadstoffklassen EURO 4 und 5 bei steigender Leistung zumindest in gleichem Maße wie die Leistung zunehmen, war aus On-Board Messergebnissen nicht direkt sichtbar, ob nur die Fahrt besonders emissionsungünstig war oder ob

das Kfz Emissionsminderungstechnologien unzulässig deaktiviert hat. Eine Messung der Leistung On-Board ist bis heute sehr aufwändig.

Bilder von RDE Messaufbauten an der TU Graz:

IVT System aus 80er Jahren



PEMS System von SNF in einem PKW



Aktuelles PEMS System für PKW



Reduktion Masse und Energieverbrauch, einfachere Bedienung. Abgasmassenstrom aus OBD Schnittstelle oder mittels MFM.

Der hohe Einfluss von Fahrer und Verkehr erforderte also die Erarbeitung einer neuen Auswertungsroutine für die Messergebnisse um mit Grenzwerten vergleichbare Ergebnisse zu schaffen. Dieser Prozess ist heute noch nicht völlig abgeschlossen. Allerdings sind in der RDE-Gesetzgebung der EU Kommission dazu gangbare Prozesse enthalten, die seit etwa 2013 als Entwurf vorliegen.

Ergebnisse der Messungen:

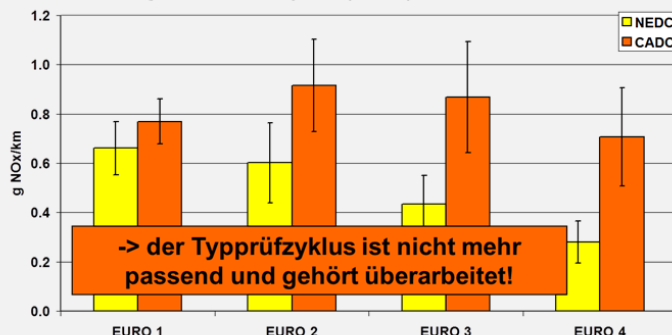
Die TU Graz koordiniert die Sammlung von Messdaten unabhängiger Labors in der EU und wertet diese Daten für das HBEFA aus.

Dabei wurden am Rollenprüfstand EU weit seit ca. 2002 Messungen in einem „Real World Zyklus“, dem CADC (Common ARTEMIS Driving Cycle“) durchgeführt. Dass die Emissionen von nahezu allen Diesel-PKW im CADC weit über denen im NEDC lagen, wurde schon vor etwa 10 Jahren publiziert. Das Bild unten stammt aus einem Vortrag von mir im Jahr 2006:

Vortragsfolie aus 2006

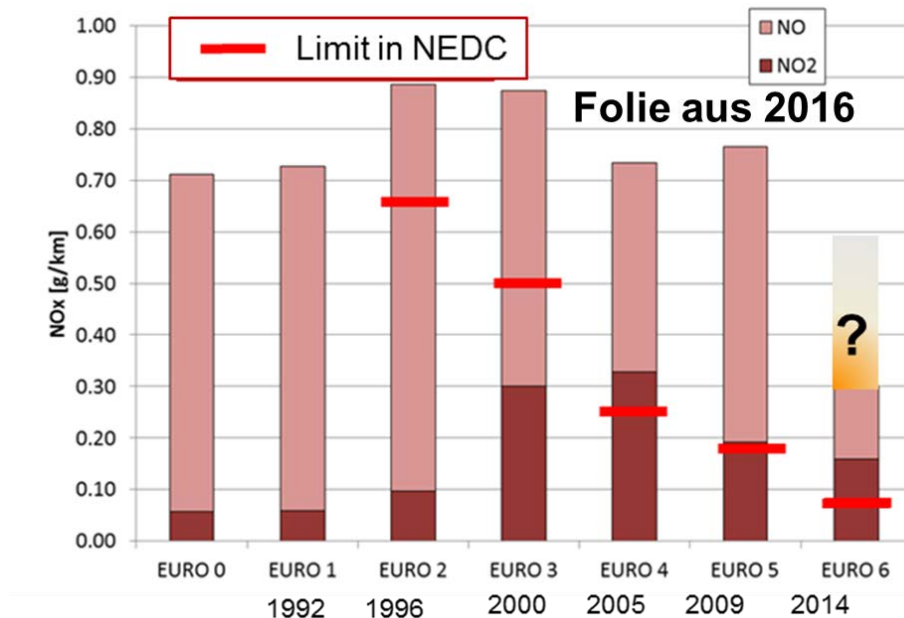
**Trade-Off Verbrauch und NOx ->
in Typprüfzyklus auf niedere NOx optimiert
in anderen Fahrzuständen aber oft auf niederen Verbrauch**

Beispiel: 104 Diesel-PKW gemessen in Typprüfung (NEDC) und in einem im realen Verkehr aufgenommenen Zyklus (CADC)



Die Messdaten wurden für die Erarbeitung der Emissionsdaten für das HBEFA (Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs) herangezogen und waren damit öffentlich zugänglich. Da das HBEFA von vielen Anwendern genutzt wird, kann auch von einer allgemeinen Bekanntheit der Real-NOx-Emissionen ausgegangen werden.

Die Messdatensammlung wird regelmäßig aktualisiert. In der 2016 Version sind auch schon On-Board Messungen enthalten, die aber keine wesentlich anderen Emissionsniveaus zeigen als der CADC. Die Stichprobe an EURO 6 Fahrzeugen ist bislang noch zu klein, um sichere Aussagen zum Mittelwert treffen zu können. Es scheint aber eine deutliche Minderung gegen EURO 5 real-NOx Emissionen zu geben. Der Grenzwert wird aber auch bei EURO 6 bislang im realen Fahren im Mittel klar überschritten.



Es muss aber betont werden, dass die höheren NOx-Emissionen im CADC bzw. in RDE Fahrten vor 2015 nicht als Hinweis auf unerlaubte Abschaltvorrichtungen gesehen wurden. Die Analysen zeigten grundsätzlich, dass die NOx-Emissionen der Diesel-PKW in den Motorlastbereichen, die der NEDC nicht erfasst, gegenüber dem NEDC Bereich anstiegen. Bei der wesentlichsten NOx-Minderungstechnologie (Abgasrückführung, AGR) ist es aber bekannt, dass diese Richtung Vollast reduziert werden muss, da sonst bei der Verbrennung zu wenig Sauerstoff vorhanden ist und es zu starker Rußbildung kommt.

Da das sich das reale Fahren bezüglich Leistung und Dynamik vornehmlich außerhalb des NEDC Bereichs in Richtung höherer Leistungen bewegt, war die Annahme, dass die höheren Emissionen zwar unerwünscht aber legal sind und nur durch ein geändertes Testverfahren in den Griff zu bekommen sind, gerechtfertigt.

Dementsprechend wurde Seitens der EU und der Mitgliedstaaten der richtige Schritt gesetzt, indem die Entwicklung des RDE-Testverfahrens angestoßen wurde. Das Umsetzungstempo der Ausarbeitung und Einführung des RDE Testverfahrens war für eine demokratische Institution wie der EU angemessen. Speziell wenn man bedenkt, dass vor 2015 Schadstoffemissionen medial und politisch ein Randgebiet waren, wo entsprechend wenig Geld und Personenressourcen zugeordnet waren. Ich nehme an, dass mit dem Budget, das jetzt zur Europa weiten Aufarbeitung von Dieselgate ausgegeben wird, die Gesetzgebung schneller und effizienter erneuert hätte werden können. Ich nehme auch an, dass auch 2016 viel weniger Geld in die weitere Optimierung des kommenden RDE Testverfahrens investiert wird, als in die Aufbereitung der Vergangenheit. Investitionen in die Zukunft sind aus meiner Sicht hier wichtiger.

Insbesondere ist dazu in Zukunft sicherzustellen, dass:

- 1) In Zukunft regelmäßig von unabhängiger Seite durch EU Mitgliedstaaten Nachmessungen von in Betrieb befindlichen Kfz mittels der RDE Methode durchgeführt werden. Dies sollte im Rahmen der „In Service Conformity“ Testprozedur geschehen, die erst noch in die RDE Gesetzgebung der EU einzubauen ist.
- 2) Diese Nachmessungen alle Möglichkeiten der Kfz-Elektronik zur Erkennung eines Emissionsprüfzustandes berücksichtigen und diese im Messaufbau möglichst ausschließen.
- 3) Ausreichend abschreckende Konsequenzen für Hersteller definiert werden, die gegen die Vorschriften verstoßen.

Weitere Informationen zu den Möglichkeiten, die durch RDE Messungen (On-Board Emissionsmessungen) sowie durch Rollentests gegeben sind:

Rollenprüfstand

Vorteile: Die Tests am Rollenprüfstand sind reproduzierbar und die Messtechnik ist genauer.

Nachteile: wenn der Testzyklus bekannt ist, wird im Entwicklungsverfahren des Kfz die Letztabsimmung in dem Typprüfzyklus vorgenommen um eine Einhaltung der Grenzwerte abzusichern. Selbst ohne unlautere Absicht ist damit das Ergebnis im Testzyklus grundsätzlich besser als in anderen Fahrsituationen. Ein Kfz kann leicht erkennen, dass es am Rollenprüfstand ist, womit die Nutzung unerlaubte Softwarelösungen erleichtert wird. Rollenprüfstandfahrten sind als solche immer zu erkennen (z.B. mit den Beschleunigungssensoren am Kfz, das sich da ja auch bei 'drehenden Rädern selbst nicht bewegt).

On-Board Messung im Realbetrieb:

Vorteil: zufällige Fahrzustände, damit kann nicht auf spezielle Zyklen optimiert werden. Das Kfz kann kaum¹ erkennen, dass es in einem Emissionsmessverfahren ist (Erkennung der Emissionsmessgeräte auf Anhängerkupplung oder in Kofferraum ist über die Abstandssensoren aber auch denkbar). Abschaltvorrichtungen können nicht nach Erkennung des Fahrzyklus oder Erkennung einer Rollenprüfung (z.B. Fahrzeug bewegt sich nicht und es drehen sich nur 2 Räder) ausgelegt werden, da diese Randbedingungen bei RDE nicht fix sind. Zudem ist ein Temperaturbereich von -7°C bis +35°C für die Tests erlaubt, nicht wie bisher 20° bis 30°C, es gibt Steigungen und unterschiedliche Beladungen des Kfz. Ein Erkennen, dass eine Messfahrt vorliegt, wäre somit nur durch Detektion der Messeinrichtung an Bord möglich. Mit Manipulationen bei der Abgasreinigung würden also die Emissionsgrenzwerte im realen Fahren nicht eingehalten, außer die Messeinrichtung würde also solche erkannt (was natürlich auch unerlaubt wäre).

Nachteil: Die Messgenauigkeit ist geringer als im Labor und Testzustände können i.A. nicht reproduziert werden. Fahrer, Verkehr, Route und Umgebungsbedingungen können Emissionsniveaus auch bei völlig legal konzipierten Kfz um ein Vielfaches verändern. Die Interpretation der Messergebnisse ist damit sehr schwierig und benötigte viel Entwicklungsaufwand in der RDE-Gesetzgebung. Es kann ja aus technischer Sicht nicht erwartet werden, dass ein Kfz voll beladen mit Anhänger und aggressiver Fahrweise und vielen Berganteilen gleich niedrige Emissionen hat wie ohne Zuladung auf ebener Strecke mit gemäßigter Fahrweise. Die Einhaltung der (niederen) Grenzwerte selbst in worst-case Fahrzuständen würde zu sehr unwirtschaftlichen Lösungen führen, da Motor und Abgasnachbehandlung für Zustände ausgelegt werden müssten, die real so gut wie nie auftreten und damit für die Luftgüte gar keine Relevanz haben.

Sinnvolle Anwendung von RDE Tests und WLTP Rollentest

Aus derzeitiger Sicht werden die RDE Prüfungen maßgeblich für die Kontrolle der Schadstoffemissionen (NOx, HC, PM, CO) sein, da sie viel höhere Ansprüche stellen, als der WLTP.

Zur Festlegung robuster und vergleichbarer Verbrauchswerte (l/100km) und der CO₂-Emissionen (g/km) wird aber der Rollentest weiterhin relevant sein. Dass dabei auch Schadstoffe gemessen werden ist wichtig, damit nicht im Rollentest der Verbrauch zu Lasten hoher Emissionen optimiert werden kann. Als Testzyklus sollte in Zukunft unbedingt bald WLTP verwendet werden, der NEDC ist weniger geeignet, da zu viele Schlupflöcher bestehen und der Zyklus nicht repräsentativ ist. Wegen des NEDC werden bevorzugt Technologien umgesetzt, die in Niederlast Verbrauch mindern. Im höherlastigen, realen Betrieb haben diese Technologien dann weniger Minderungseffekte. Das ist einer der Gründe, für die stetig weiter auseinanderklaffenden Norm- und Realverbräuche.

¹ Eine Erkennung von RDE tests ist schwieriger, das Kfz könnte aber, erkennen, dass etwas auf der Anhängerkupplung ist (für den Fall, dass PEMS Messgeräte dort montiert ist), oder dass Kofferraumklappe offen ist (PEMS im Kofferraum verstaut) oder dass ein hinteres Fenster offen ist (PEMS auf Rückbank montiert). Es würden damit auch einige nicht-Messfahrten als Messfahrten erkannt, in vielen Situationen könnte aber RDE Testsituation ausgeschlossen und somit Defeat-Software aktiv werden.