



**Hochschule für Technik und Wirtschaft
Dresden**
Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik

Abschlussbericht

Thema: Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung bei Kraft-
fahrzeugen
Vorhaben FKZ: 3709 45 170

Auftraggeber: Umweltbundesamt (UBA)
Fachgebiet I3.2
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

Auftragnehmer: Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik (FiF)
Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden

Berichtsumfang: 66 Seiten

Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik

Dresden, 4. Juli 2011

Prof. Dr.-Ing. G. Zikoridse
Direktor

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Aufgabenstellung	5
3	Stand der Technik	6
4	Abgasuntersuchungen an PKW und leichtem NFZ (Transporter)	7
4.1	Abgasmessungen an Fahrzeugen mit Dieselmotor	8
4.1.1	Messungen in Dessau-Roßlau.....	8
4.1.2	Messkampagne in Dresden	19
4.1.3	Zusammenfassung der Messkampagnen	29
4.1.4	Schadenssimulation an zwei Diesel-PKW	35
4.2	Abgasmessungen an Fahrzeugen mit Ottomotor.....	38
4.2.1	Messungen am Fahrzeug <i>Otto 1</i>	39
4.2.2	Messungen am Fahrzeug <i>Otto 2</i>	40
4.2.3	Messungen am Fahrzeug <i>Otto 3</i>	40
4.2.4	Messungen am Fahrzeug <i>Otto 4</i>	40
4.2.5	Partikelmessungen an PKW mit Ottomotor.....	41
5	Charakterisierung Messtechnik.....	42
6	Simulation abgasrelevanter Fehler im Fahrversuch	43
6.1	Versuchsprogramm.....	43
6.2	Ausgewählte Fahrzeuge und Fehlersimulationen	44
6.3	Realisierung Fehlersimulation an den Versuchsfahrzeugen	45
6.4	Bewertungskriterien für Fehleridentifikation	47
6.5	Ergebnisse	50
6.5.1	Fahrzeug <i>Diesel I</i>	50
6.5.2	Fahrzeug <i>Diesel II</i>	52

6.5.3	Fahrzeug <i>Diesel III</i>	54
6.5.4	Fahrzeug <i>Benzin I</i>	55
6.5.5	Fahrzeug <i>Benzin II</i>	57
6.5.6	Zusatzbetrachtung zum Fahrzeug <i>Diesel II</i>	58
6.5.7	Zusammenfassung Fehlersimulation aller Fahrzeuge	60
7	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	62
	Literaturverzeichnis	66
	Anlagen	66

Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

AGR	:	Abgasrückführung
ASA	:	Bundesverband der Hersteller und Importeure von Automobil- und Serviceausrüstungen e.V.
AU	:	Abgasuntersuchung
AVL	:	AVL DiTest GmbH
Bosch	:	Robert Bosch GmbH
CR	:	Common Rail Einspritzverfahren
CO	:	Kohlenmonoxid
Dekra	:	Deutscher Kraftfahrzeug-Überwachungs-Verein; DEKRA SE
DPF	:	Dieselpartikelfilter
Euro x	:	mit x=1...6; Emissionsklassen PKW nach EU-Standard
ESP	:	Elektronisches Stabilitäts-Programm
EZ	:	Erstzulassung
FSD	:	Fahrzeugsystemdaten GmbH Dresden
FSP	:	Fahrzeug Sicherheitsprüfung; Überwachungsorganisation für den Kraftfahrzeugverkehr; Partner des TÜV Rheinland
GTÜ	:	Gesellschaft für Technische Überwachung mbH.
HC	:	Kohlenwasserstoff
HDI	:	Hochdruckdirekteinspritzung Diesel
HU	:	Hauptuntersuchung
HTW	:	Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Junkalor	:	SAXON Junkalor GmbH
KÜS	:	Kraftfahrzeug-Überwachungsorganisation freiberuflicher Kfz-Sachverständiger (e.V.)
K-Wert	:	Rauchgastrübung in 1/m
MAHA	:	Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG.
MIL	:	Malfunction Indicator Light
NEDC	:	New European Driving Cycle
NFZ	:	Nutzfahrzeug
NOx	:	Stickstoffoxid
OBD	:	On-Board-Diagnose
PKW	:	Personenkraftwagen
PM	:	Partikelmasse
PN	:	Partikelanzahl
PTB	:	Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Sensors	:	Sensors Europe GmbH
StVZO	:	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
UBA	:	Umweltbundesamt
TDI	:	Turboaufladung mit Direkteinspritzung Diesel
TÜV	:	Technischer Überwachungs-Verein (e.V.)
VDA	:	Verband der Automobilindustrie
ZDK	:	Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e. V.

1 Einleitung

Die Abgasuntersuchung (AU), eine Verpflichtung für alle Fahrzeughalter zur periodischen Überprüfung des Fahrzeugs auf Fehler und Funktionsstörungen an abgasrelevanten Bauteilen, ist bereits im Jahr 1985 eingeführt worden. Seitdem wurden die Prüftechnik und auch die Prüfabläufe regelmäßig an neue gesetzliche Vorgaben und den fortschreitenden Entwicklungsstand der Fahrzeugtechnik angepasst. Mit dem Inkrafttreten der zweiten Stufe der 41. Änderungsverordnung der StVZO zur Neuordnung der technischen Fahrzeugüberwachung am 1. Januar 2010 gab es nach Meinung des Bundesverbandes der Hersteller und Importeure von Automobil-Service Ausrüstungen e.V. [1] die tiefgreifendsten Änderungen. Das so genannte Konzept 2006/2010 stellt höhere Anforderungen an die zu verwendenden Messgeräte, die nun dem AU-Leitfaden 4 entsprechen müssen, der seit dem 01. Dezember 2008 in Kraft ist und für alle Fahrzeuge mit On-Board-Diagnose (OBD), die nach dem 01. Januar 2006 zugelassen wurden, verbindlich ist. Für diese Fahrzeuge gilt das zweistufige Prüfverfahren, bei dem die Software des AU-Gerätes entscheidet, ob nach dem Auslesen der OBD-Daten eine Endrohrprüfung notwendig ist oder nicht.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass der aktuelle Stand der AU-Gesetzgebung [2] nicht mit der Weiterentwicklung der Emissionsgrenzwerte (Euro 5 / Euro 6) für die Typprüfung von PKW mithalten konnte.

2 Aufgabenstellung

Das UBA-Forschungsvorhaben soll dazu beitragen, den konkreten Bedarf zur Änderung der AU-Vorschriften zu identifizieren, diesen durch konkrete Abgasmessungen nachzuweisen und Vorschläge zur Weiterentwicklung der AU zu erarbeiten. Insbesondere werden moderne PKW mit OBD, Dieselfahrzeuge mit geschlossenen Dieselpartikelfiltern und Fahrzeuge mit Otto-Motor und geregelten 3-Wege-Katalysatoren vermessen. Die im Bericht ausgewiesenen Messdaten sind anhand von Wiederholungsmessungen auf Reproduzierbarkeit geprüft. Aus zeitlichen und finanziellen Gründen ist die statistische Absicherung der Ergebnisse an einer großen Anzahl von Fahrzeugen in diesem Projekt nicht vorgesehen.

3 Stand der Technik

Die Abb. 3.1 zeigt die aktuelle Situation bezüglich der Abgasuntersuchung an PKW.

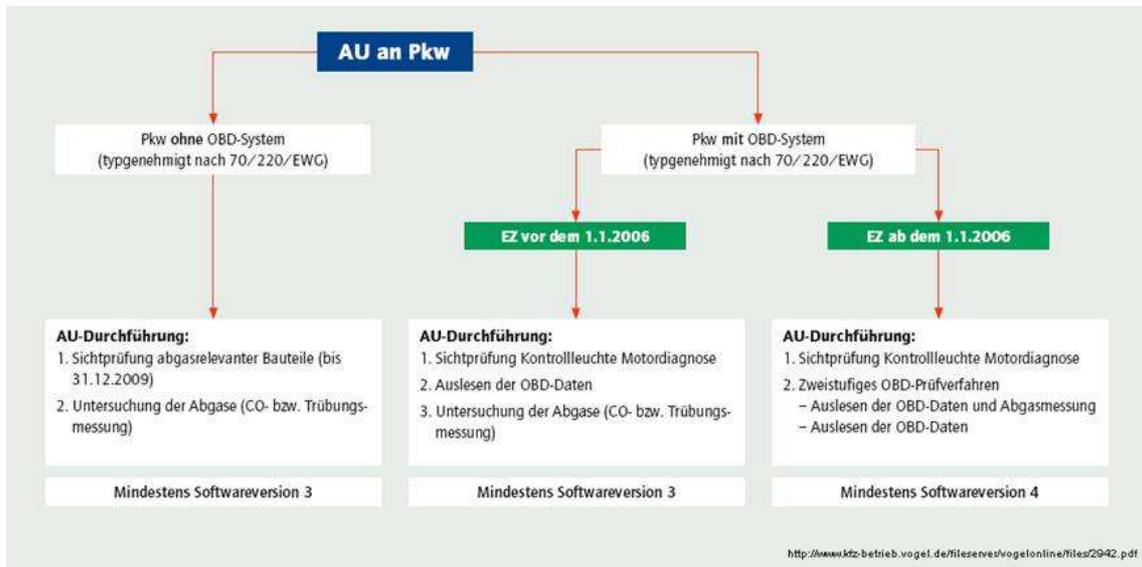


Abb. 3.1: Aktuelle Situation - Abgasuntersuchungen an PKW [3]

In wesentlicher Ergänzung zur Zusammenfassung in Abbildung 3.1 gibt es darüber hinaus ab 01.01.2010 keine eigenständige AU mehr, sie ist ab diesem Zeitpunkt als sogenannte „Umweltverträglichkeitsprüfung“ Bestandteil der Hauptuntersuchung (HU) geworden. Die bis dahin praktizierte separate Plakettierung zur AU entfällt. Die in Abb. 3.1 im Pfad „PKW ohne OBD-System“ gemachte Einschränkung zum Punkt 1. Sichtprüfung... bedeutet, dass diese nunmehr Bestandteil der HU wird und die AU sich nur noch auf die Untersuchung der Abgase bezieht.

Eine Projektgruppe mit Teilnehmern von Dekra, TÜV, ZDK und dem ASA-Verband hat unter dem Projektnamen „Emission 2010“ moderne Dieselfahrzeuge mit neuer Abgasmesstechnik untersucht [4]. Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Untersuchungsergebnissen sind laut ASA-Verband:

- Die OBD kann die Wirkungsprüfung, d. h. die Endrohrmessung, nicht ersetzen, denn in zahlreichen Fällen sind defekte Partikelfilter vom OBD-System nicht erkannt worden.
- Die Grenzwerte für Rauchgastrübung sind für viele Fahrzeuge nicht angemessen und bezogen auf die eingesetzte Technologie teilweise viel zu hoch.
- Bei einem Trübungswert von $K = (1,0 \dots 1,5) \text{ m}^{-1}$ lag die Durchfallquote bei 10%.

- Die AU hat ihre Berechtigung und bei einem nach unten angepassten Grenzwert müssten noch viel mehr Fahrzeuge zum Bestehen der AU repariert werden.
- Die eingesetzte neue Messtechnik auf Basis der Partikelmessung mit Streulichtverfahren, die allerdings noch keine PTB-Abnahme (Physikalisch-Technischen Bundesanstalt) erhalten hat, ist praxistauglich und liefert respektable Ergebnisse.

4 Abgasuntersuchungen an PKW und leichtem NFZ (Transporter)

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sind Abgasuntersuchungen an PKW mit Diesel- und Ottomotoren durchgeführt worden. Eine Beschreibung der untersuchten Fahrzeuge erfolgt in den Abschnitten, in denen die Messungen und Messergebnisse beschrieben werden, wobei die Fahrzeugtypen anonymisiert worden sind.

Bei den Messungen an Dieselfahrzeugen kamen parallel zu den herkömmlichen AU-Geräten, die hier allgemein als Opazimeter bezeichnet werden, neuartige, zurzeit noch in der Entwicklung befindliche Messgeräte, die hier als „Opazimeter II“ bezeichnet werden, der am Vorhaben beteiligten Messgerätehersteller zum Einsatz. Die Opazimeter II, wobei II für 2. Generation steht, bei denen gegenüber Opazimetern andere Messverfahren wie Laserstreulicht- bzw. Rußladungsmessung zum Einsatz kommen, können wesentlich empfindlicher auf geringe Partikelkonzentrationen reagieren und somit bereits kleine Schäden an einem DPF sicher detektieren. Um den Messtechnikentwicklern die Gelegenheit zu bieten, möglichst viele Messungen bei unterschiedlicher Abgaszusammensetzung durchführen zu können, wurden für zwei Messkampagnen Fahrzeuge mit einer Abgasanlage versehen, in der neben einem DPF ein variabler Bypass realisiert wurde. Weiterhin erfolgten Abgasmessungen an einem älteren leichten NFZ vom Typ Transporter, der nicht mit einem DPF ausgerüstet war sowie an PKW, bei denen der DPF ausgebaut bzw. durch ein definiert geschädigte Bauteil ersetzt wurde.

An PKW mit Ottomotoren wurden Abgasmessungen nach dem AU-Standardverfahren durchgeführt. Die Auswahl der zu untersuchenden Fahrzeuge erfolgte so, dass möglichst unterschiedliche Motorkonfigurationen wie aufgeladener bzw. Saugmotor oder Saugrohr- bzw. Direkteinspritzung untersucht werden konnten. Es erfolgten Messungen mit simulierten Schäden am 3-Wege-Katalysator und an der Lambda-Regelsonde. Zusätzlich wurde, ähnlich wie bei den Untersuchungen an

Dieselfahrzeugen, mit einem „Opazimeter II“ exemplarisch der Partikelausstoß gemessen.

4.1 Abgasmessungen an Fahrzeugen mit Dieselmotor

In zwei Messkampagnen, die in Dessau-Roßlau und in Dresden durchgeführt wurden, beteiligten sich folgende fünf Messtechnikhersteller, die für parallele Messungen jeweils ein herkömmliches Opazimeter und eine alternative Messtechnik, die nach dem Laser-Streulicht- oder dem Rußladungsmessungsprinzip arbeiten, hier vereinfacht „Opazimeter II“ genannt, einsetzten.

- **AVL** DiTest GmbH (Opazimeter DiSmoke 480, „Opazimeter II“ Smoke 2000)
- **MAHA** Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. (Opazimeter MDO2-LON, „Opazimeter II“ MPM-4)
- Robert **Bosch** GmbH (Opazimeter RTM 430, „Opazimeter II“ BEA 080)
- **SAXON Junkalor** GmbH (Opazimeter Opacilyt 1030, „Opazimeter II“ PMG LP100)
- **Sensors** Europe GmbH (Opazimeter und „Opazimeter II“ ein Gerät, LCS 3000)

Geräte- und Messverfahrensbeschreibungen, sofern diese bereits vorliegen, sind dem Bericht beigelegt. Eine allgemeine Charakterisierung von Eigenschaften der eingesetzten Messtechnik erfolgt anhand der erzielten Ergebnisse in Abschnitt 5 dieses Berichtes.

Im weiteren Text werden bei namentlicher Nennung der Gerätehersteller anstatt der vollständigen Firmennamen die fett markierten Abkürzungen verwendet. In der Bewertung der hier dargestellten Messungen erfolgt eine anonymisierte Zuordnung der Messtechnik mit den Bezeichnungen *Typ A...E*, die dem unterschiedlichen Entwicklungsstand der einzelnen Hersteller Rechnung tragen soll, da es an dieser Stelle primär noch nicht um eine konkrete Messtechnikqualifizierung gehen konnte.

4.1.1 Messungen in Dessau-Roßlau

Für die Abgasmessungen nach Abb. 4.1, die in der KFZ-Werkstatt Herrmann in Dessau-Roßlau durchgeführt wurden, kamen folgende 2 Fahrzeuge zum Einsatz:

- *Diesel 1 (PKW)*: 2,0l Turbo Direkteinspritzer mit DPF, Emissionsklasse Euro 4, Erstzulassung 04/2007
- *Diesel 2 (leichtes NFZ - Transporter)*: 2,5l Turbo Direkteinspritzer ohne DPF, Emissionsklasse Euro 2, Erstzulassung 11/2002

Beide Fahrzeuge wurden von der Firma Junkalor zur Verfügung gestellt.

Für die Abgasmessungen am *Diesel 1* ist dieser mit einer speziellen Abgasanlage ausgerüstet worden, wobei parallel zum DPF ein Bypass eingebaut wurde, in dem unterschiedlich große Durchflussquerschnitte realisiert werden konnten. Durch diesen Versuchsaufbau war es möglich, die Abgaszusammensetzung an den Endrohren der Abgasanlage in folgenden fünf Stufen zu variieren:

- Bypass verschlossen, Abgas zu 100 % über DPF
- Bypass mit Blende, Durchmesser 25 mm
- Bypass mit Blende, Durchmesser 30 mm
- Bypass mit Blende, Durchmesser 35 mm
- DPF verschlossen, Abgas zu 100 % über Bypass



Abb. 4.1: Abgasmessungen in Dessau-Roßlau mit Messgeräten der Firmen AVL, MAHA, Junkalor (oben von links), Bosch und Sensors (unten von links)

Abb. 4.2 zeigt die am Fahrzeug montierte Abgasanlage und die Blendenvariation.



Abb. 4.2: Abgasanlage am *Diesel 1* für AU-Messungen in Dessau-Roßlau

Jeder der beteiligten Messtechnikhersteller führte Messungen mit allen fünf Konfigurationen der Abgasanlage durch, wobei jeweils mit Opazimeter als Referenz und „Opazimeter II“ gleichzeitig gemessen wurde. Die durchgeführten Tests entsprachen der vorgeschriebenen Abgasuntersuchung für Diesel-PKW, deren Ablauf durch die mit dem Opazimeter verknüpfte Software vorgegeben wurde. Da bei dem Messgerät *Typ C* diese Software noch nicht zur Verfügung stand, wurde bei diesen Messungen der Ablauf vom Opazimeter *Typ B* vorgegeben. Um den Testzyklus der Messtechnik, die bei diesem konkreten Fahrzeug mit Erstzulassung nach dem 01.01.2006 eine Abgasuntersuchung ohne Endrohrmessung vorgegeben hätte, außer Kraft zu setzen, wurde bei der Dateneingabe der Tag der Erstzulassung in das Jahr 2005 rückdatiert.

Bei jeder Konfiguration der Abgasanlage erfolgte je Messgerät eine dreimalige Wiederholung der Prozedur zur Abgasuntersuchung. Es standen damit 9 Einzelmesswerte zur Auswertung zur Verfügung.

Bei der Darstellung der Messergebnisse werden für die „Opazimeter II“ korrigierte Werte angegeben. Der Grund für diese Korrektur, die durch den jeweiligen Mess-

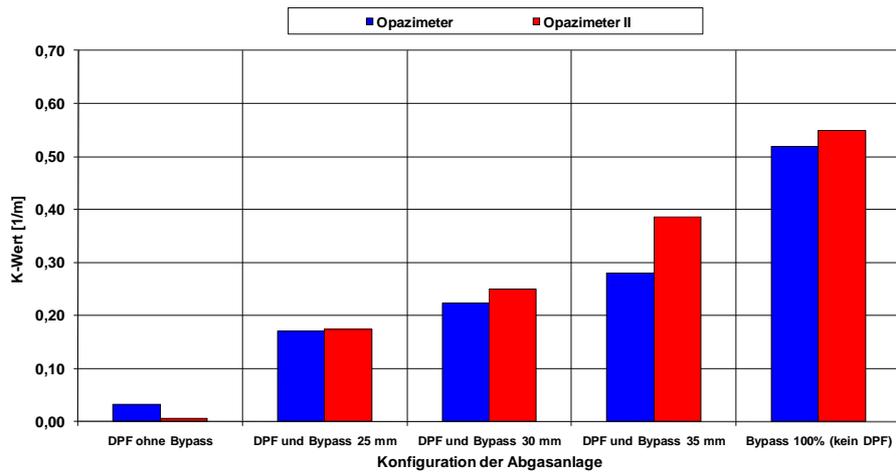
technikhersteller nachträglich erfolgte, besteht darin, dass die Berechnungsmodelle für den K-Wert, ebenso wie die Messgeräte selbst, sich momentan noch im Entwicklungsstadium befinden und es mittels weiterer noch zu sammelnder Erfahrungen gewisser Optimierungsschritte bedarf.

Abb. 4.3 bis 4.7 zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Messungen am *Diesel 1* mit der beschriebenen variablen Abgasanlage. Es werden zuerst jeweils die Mittelwerte der bei der jeweiligen Konfiguration der Abgasanlage durchgeführten Abgasmessungen gegenübergestellt und danach sind die mit den unterschiedlichen Geräten gemessenen einzelnen Gasstöße abgebildet. Es wurden von den in einer Prüfung vorgesehenen fünf Gasstößen je Messreihe, von denen der erste der Ermittlung der Abregeldrehzahl, der zweite dem Ausblasen der Abgasanlage und der 3. bis 5. der eigentlichen Messung des K-Wertes dient, die drei letztgenannten Messergebnisse, die auch im AU-Protokoll erscheinen würden, in den Abbildungen der Einzelmessungen dargestellt. Dabei wird in den Abbildungen je Prüfung eine farblich ähnliche Abstimmung für die zugehörigen Einzelmessungen gewählt, d.h. in zeitlicher Abfolge der Prüfung stehen Blauton für Messreihe 1 sowie Rot- und Grünton für die Messreihen 2 und 3. Für die jeweils 3 durchgeführten Messreihen sind die Mittelwerte ausgewertet und mit den Messwerten der „Opazimeter II“ verglichen worden.

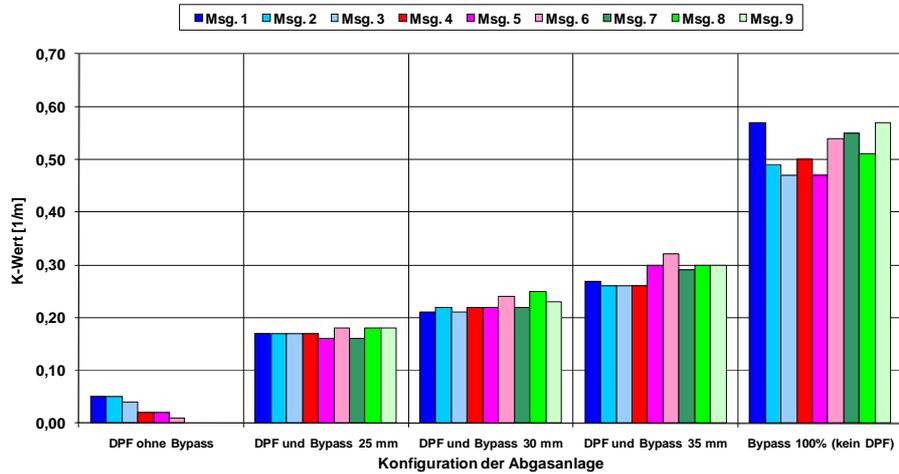
In der Abb. 4.7 sind keine Messergebnisse vom Opazimeter *Typ C* dargestellt, weil dieses unplausible Werte lieferte. Seitens des Herstellers besteht die Vermutung, dass die Opazitätsmessung durch den Einbau des Laserstreulichtensors für die Partikelmessung, also für das Opazimeter II, gestört wird.

Als Referenzgerät wurde deshalb das Opazimeter *Typ B* eingesetzt und im Vergleich ersatzweise herangezogen.

Vergleich AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Messtechnik *Typ B*
(Messwerte korrigiert), Dessau-Roßlau, 14.07.2010



AU-Messungen an einem am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Opazimeter *Typ B*,
Dessau-Roßlau, 14.07.2010



AU-Messungen an einem am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Opazimeter II *Typ B*
(Messwerte korrigiert), Dessau-Roßlau, 14.07.2010

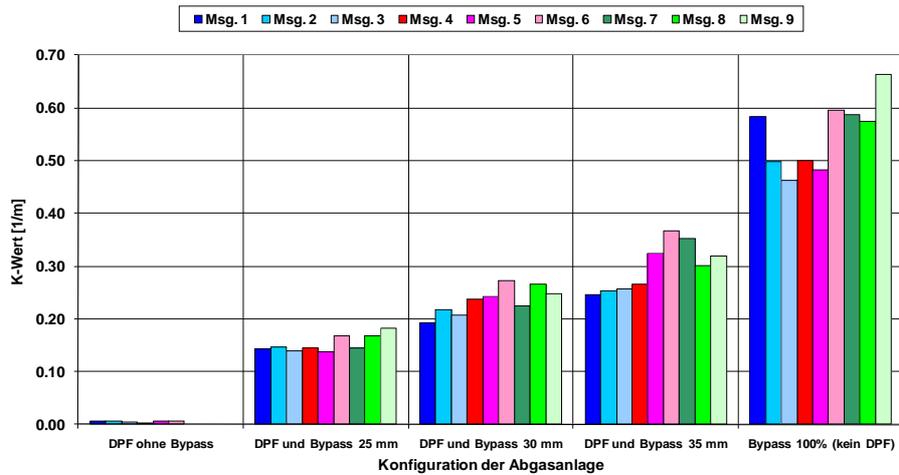
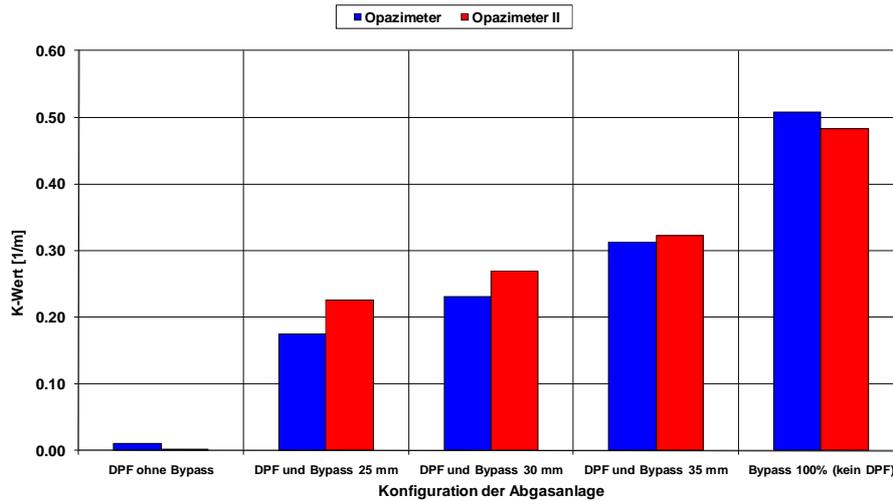
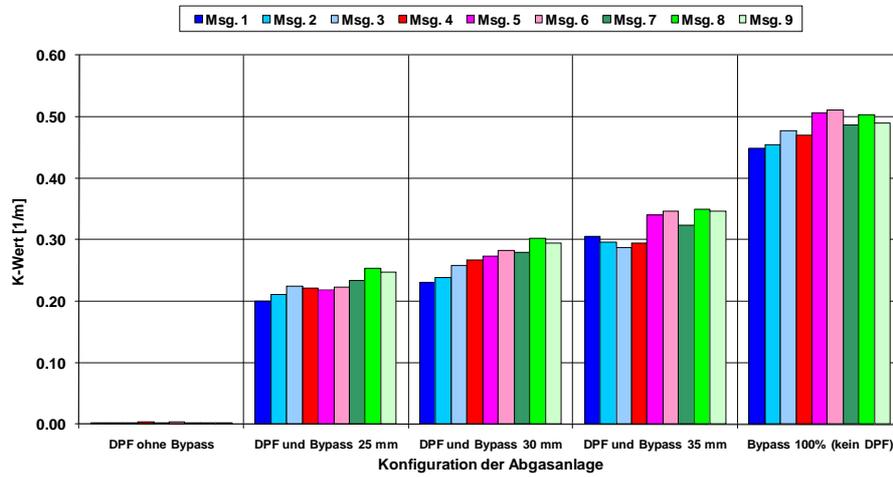


Abb. 4.3: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ B* in Dessau-Roßlau

Vergleich AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Messtechnik *Typ D*
(Messwerte korrigiert), Dessau-Roßlau, 14.07.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Opazimeter *Typ D*
(Messwerte korrigiert), Dessau-Roßlau, 14.07.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Opazimeter II *Typ D*,
Dessau-Roßlau, 14.07.2010

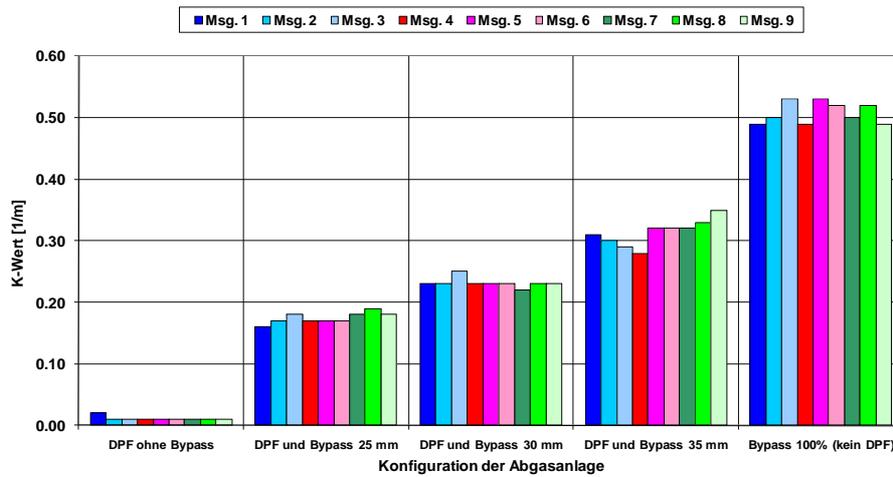
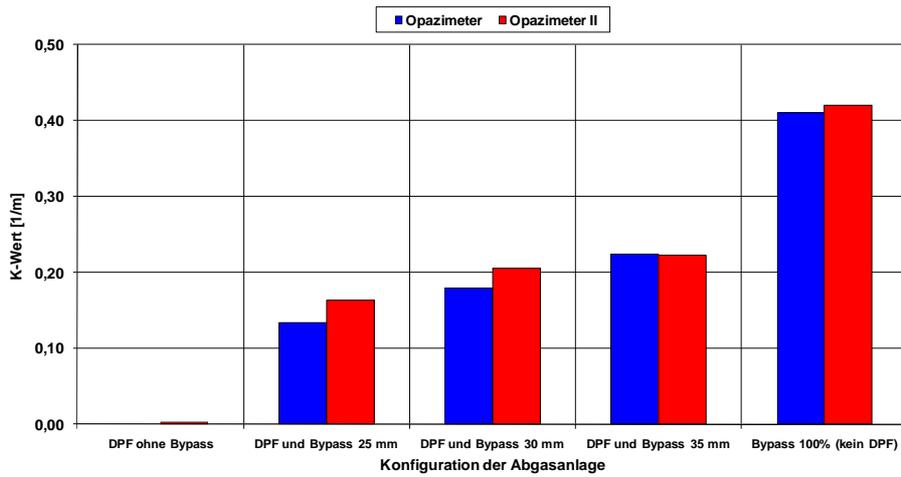
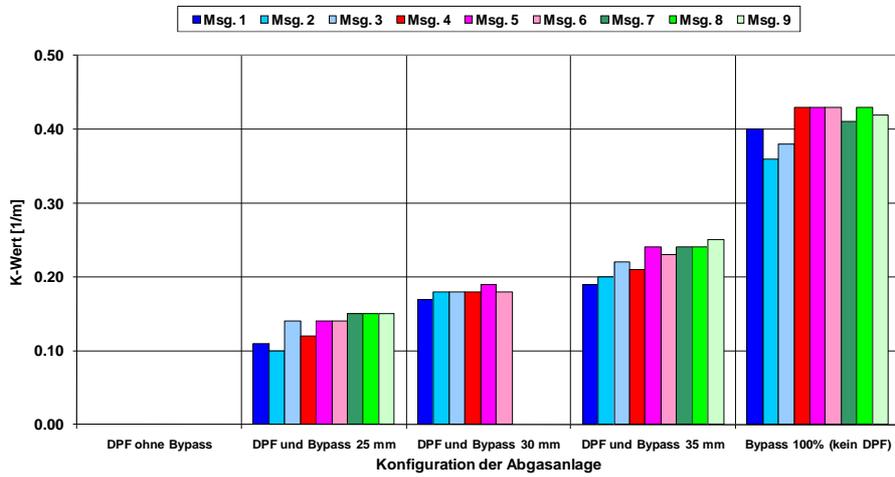


Abb. 4.4: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ D* in Dessau-Roßlau

Vergleich AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Messtechnik *Typ E*,
Dessau-Roßlau, 14.07.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Opazimeter *Typ E*
Dessau-Roßlau, 14.07.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Opazimeter II *Typ E*
(Messwerte korrigiert), Dessau-Roßlau, 14.07.2010

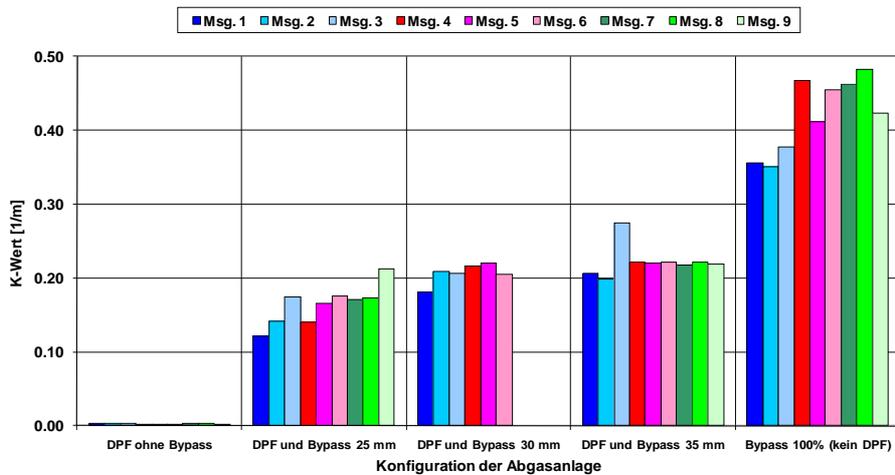
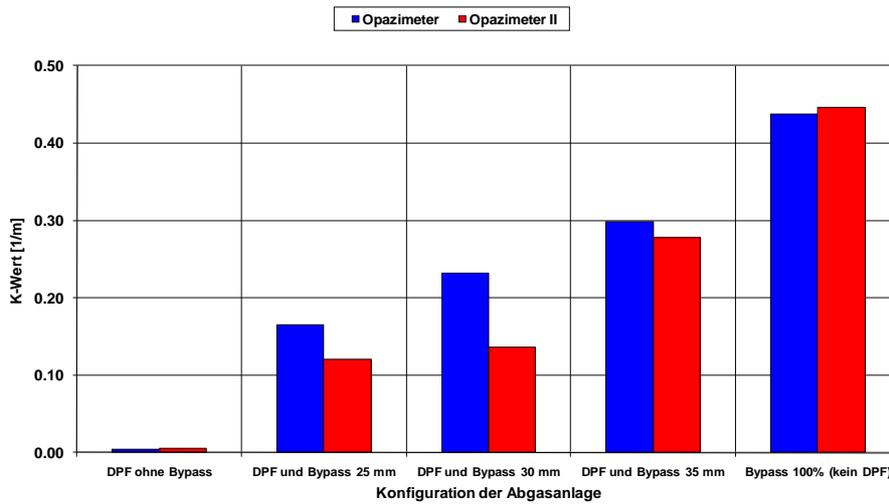
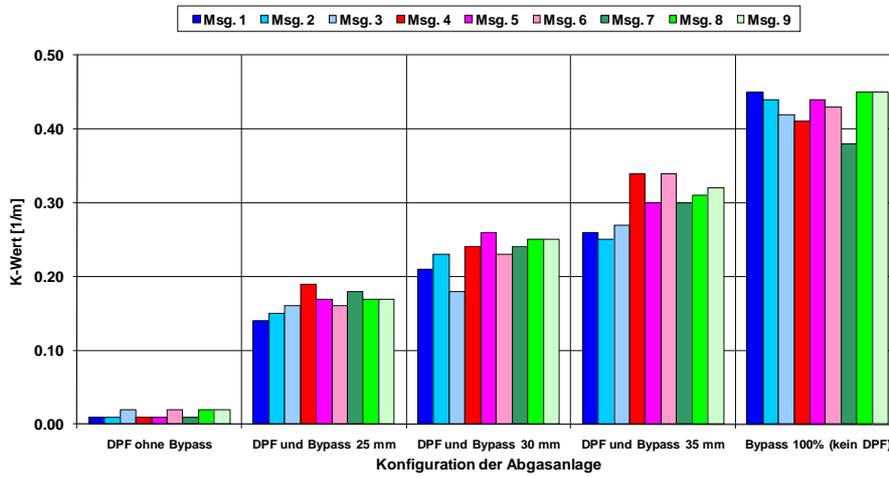


Abb. 4.5: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ E* in Dessau-Roßlau

Vergleich AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Messtechnik *Typ A*
Dessau-Roßlau, 15.07.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Opazimeter *Typ A*
Dessau-Roßlau, 15.07.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 1* (EURO 4) mit Opazimeter II *Typ A*
Dessau-Roßlau, 15.07.2010

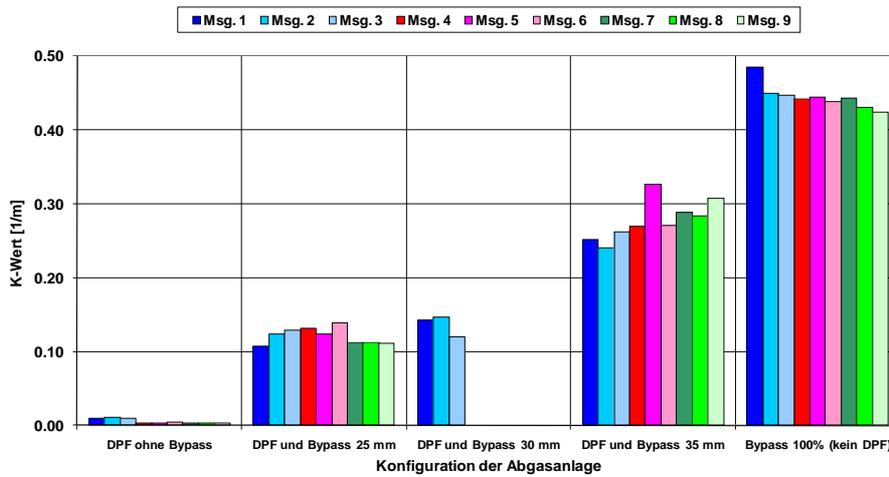


Abb. 4.6: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ A* in Dessau-Roßlau

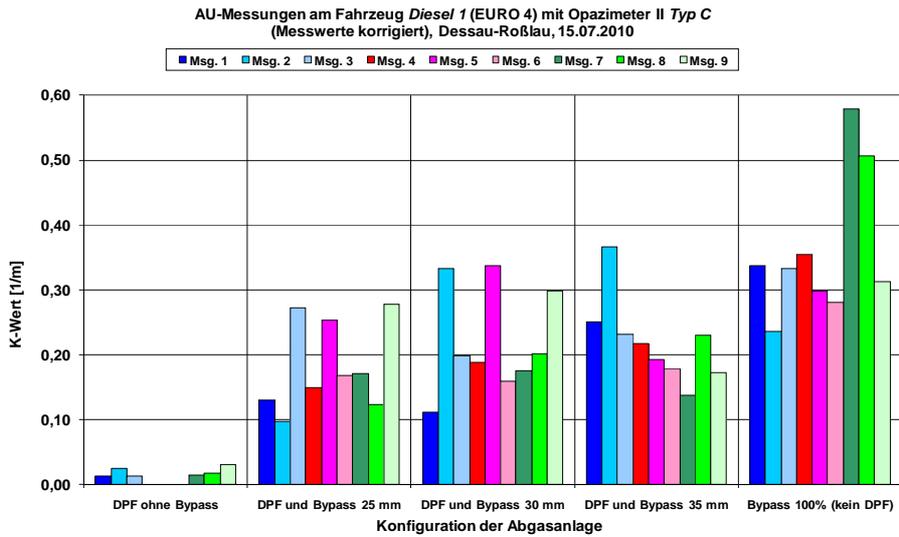
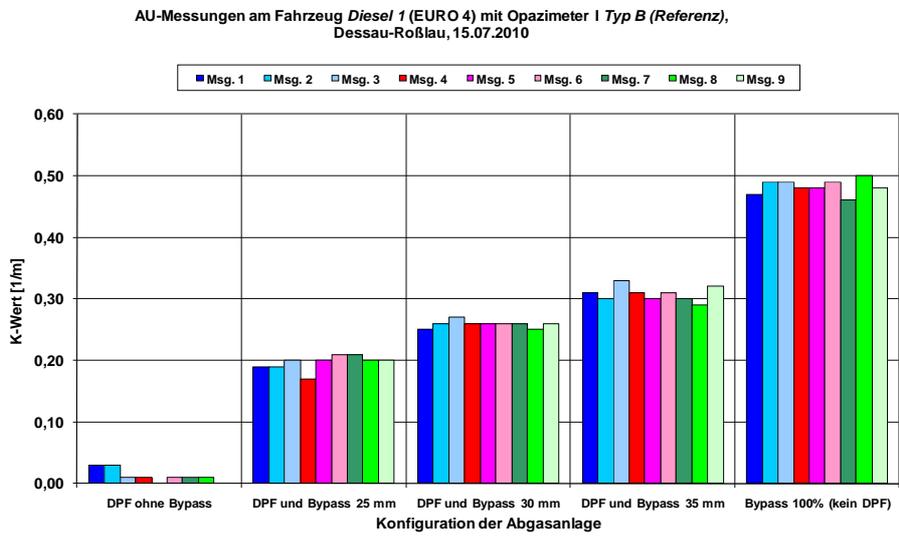
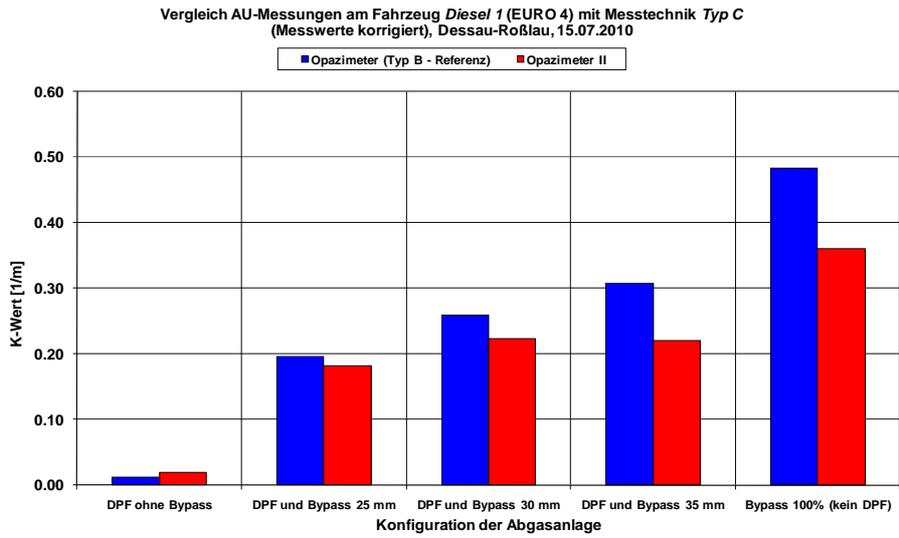


Abb. 4.7: AU-Messungen mit Opazimetern II *Typ C* und *Referenz Typ B* in Dessau-Roßlau

In den Diagrammen der Abbildungen 4.8 bis 4.12 sind die Ergebnisse von Abgasuntersuchungen am Fahrzeug *Diesel 2*, dem eingangs beschriebenen Transporter, dargestellt. Für die Messung mit Opazimeter Typ C in Abb. 4.8 gilt die gleiche Einschränkung hinsichtlich der Referenz, wie sie für Abbildung 4.7 beschrieben ist. Der Transporter hatte zwar keinen DPF, der emittierte Rußausstoß passt quantitativ aber noch gut in diese Messtechnikbetrachtung.

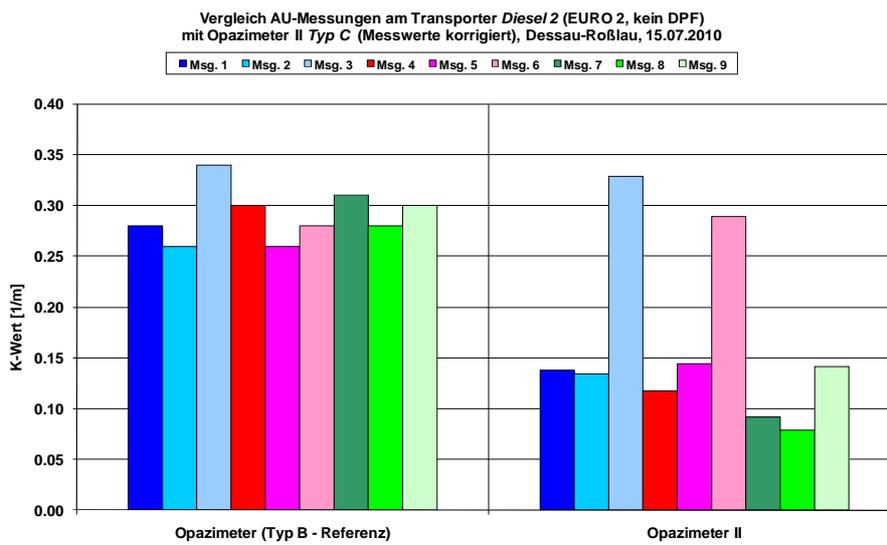


Abb. 4.8: AU-Messungen mit Opazimetern II Typ C in Dessau-Roßlau

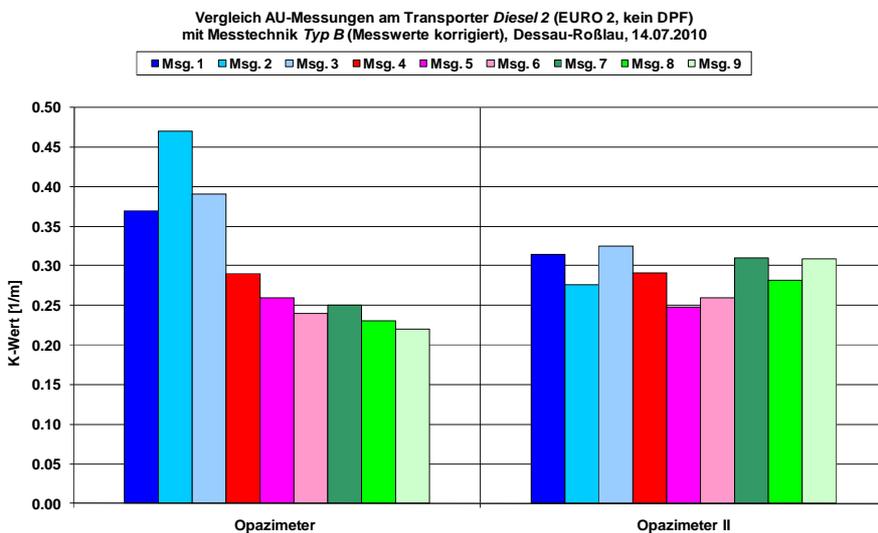


Abb. 4.9: AU-Messungen mit Messgeräten Typ B in Dessau-Roßlau

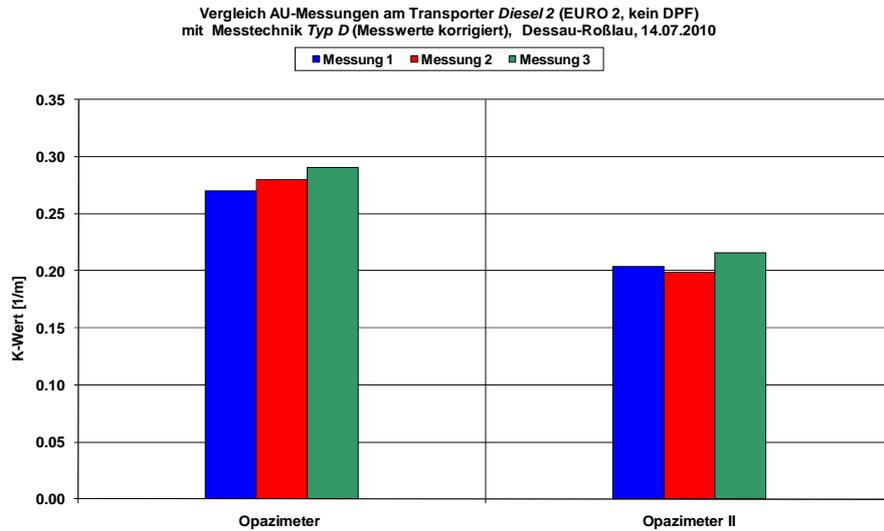


Abb. 4.10: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ D* in Dessau-Roßlau

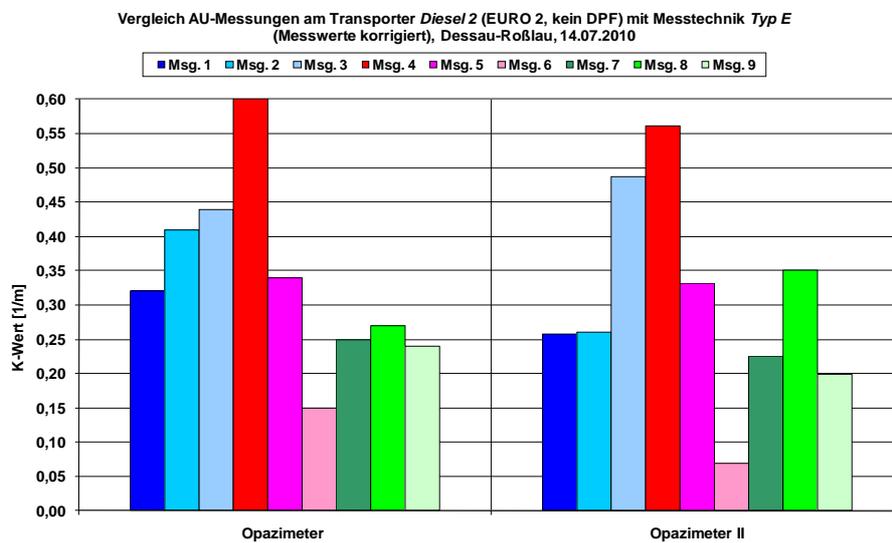


Abb. 4.11: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ E* in Dessau-Roßlau

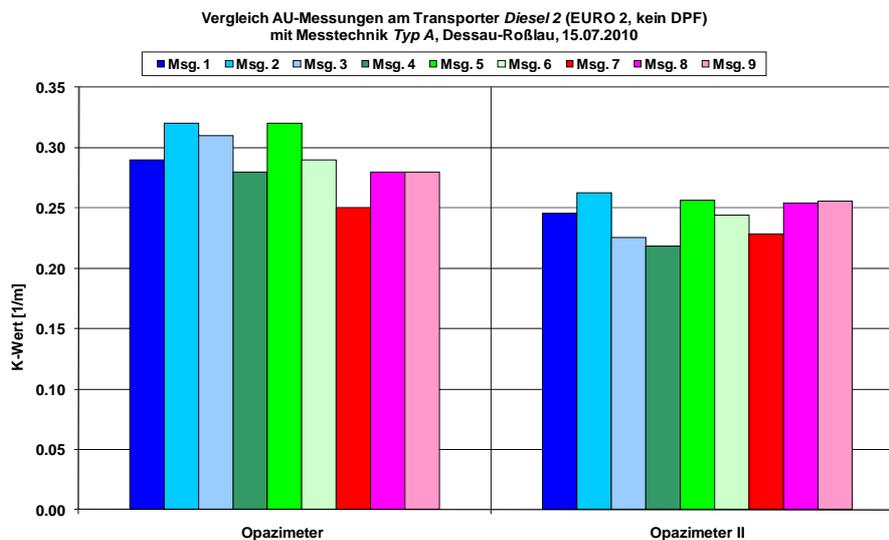


Abb. 4.12: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ A* in Dessau-Roßlau

Insgesamt fallen sowohl innerhalb der Messreihen eines Gerätes als auch im Vergleich der unterschiedlichen Messtechniken z.T. deutliche Unterschiede auf. Eine generelle Einschätzung zur Qualität der erzielten Ergebnisse erfolgt in der Zusammenfassung beider Messkampagnen im Abschnitt 4.1.3.

4.1.2 Messkampagne in Dresden

An den Abgasmessungen in Dresden, die am Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik der Hochschule für Technik und Wirtschaft mit einem Aufbau nach Abb. 4.13 durchgeführt wurden, beteiligten sich wieder alle fünf genannten Messtechnikhersteller. Gemessen wurde an einem PKW (*Diesel 3*: mit 2,2l Common Rail Direkteinspritzer mit DPF, Emissionsklasse Euro 4, Erstzulassung 01/2008), an dem die Montage der bereits in Dessau verwendeten variablen Abgasanlage entsprechend Abb. 4.14 erfolgte. Das Fahrzeug wurde von der Firma MAHA zur Verfügung gestellt.



Abb. 4.13: Abgasmessungen in Dresden mit Messgeräten der Firmen MAHA, Junkalor (von oben links), AVL, Bosch und Sensors (von oben rechts)



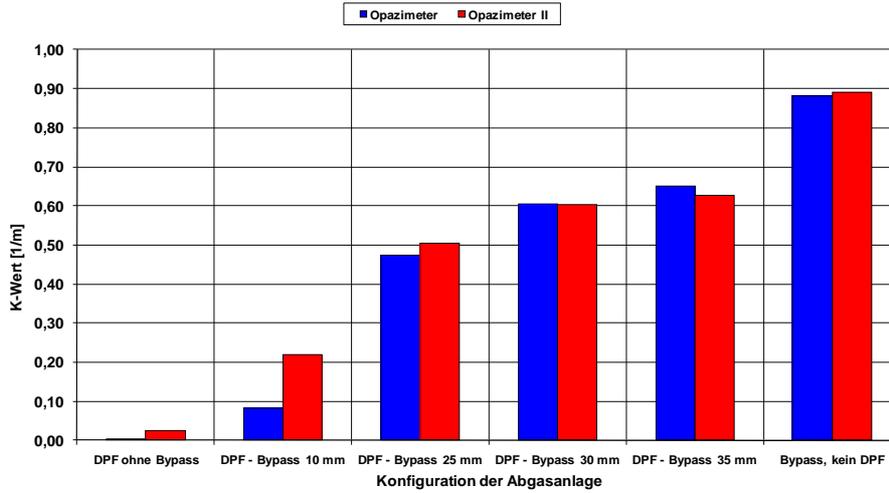
Abb. 4.14: Abgasanlage am PKW *Diesel 3* für AU-Messungen in Dresden

Der Ablauf der Messungen entsprach dem, der für die Messkampagne in Dessau-Roßlau bereits beschriebenen. Weil seitens der Messtechnikhersteller der Wunsch bestand, noch mehr Messungen bei sehr geringem Rußgehalt im Abgas durchführen zu wollen, wurde eine zusätzliche Konfiguration der Abgasanlage durch eine Blende mit Durchmesser 10 mm realisiert. Jeder der beteiligten Messtechnikhersteller führte Messungen bei allen sechs Konfigurationen der Abgasanlage durch, wobei wiederum jeweils mit Opazimeter und „Opazimeter II“ gleichzeitig gemessen wurde. Bei dem Messgerät *Typ C* stand die AU-Software weiterhin nicht zur Verfügung, deshalb wurde bei diesen Messungen der Ablauf wieder vom Opazimeter *Typ B* vorgegeben. Um die OBD, die bei diesem Fahrzeug mit Erstzulassung nach dem 01.01.2006 ebenfalls eine Abgasuntersuchung ohne Endrohrmessung ermöglicht hätte, außer Kraft zu setzen, wurde bei der Dateneingabe der Tag der Erstzulassung in das Jahr 2005 rückdatiert. Bei jeder Konfiguration der Abgasanlage wurden wieder je Messgerät drei aufeinander folgende Abgasuntersuchungszyklen absolviert.

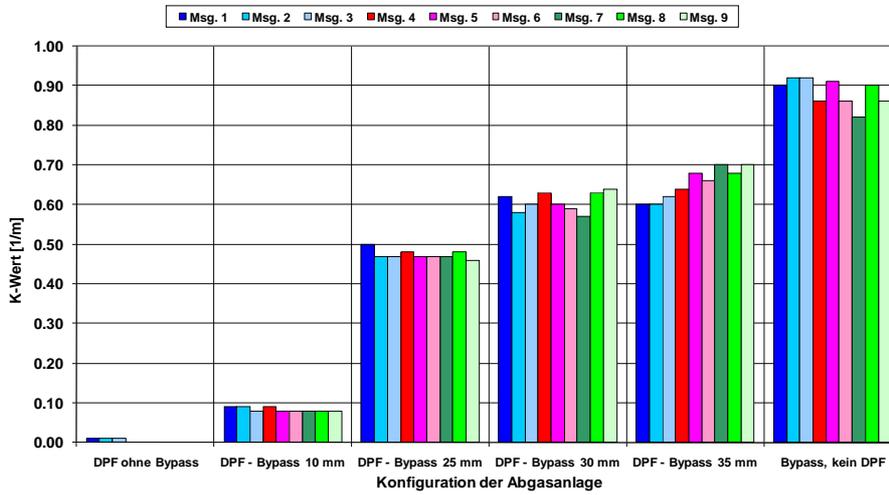
Die Abb. 4.15 bis 4.19 zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Messungen am *Diesel 3*. Zum Vergleich der verwendeten Messgeräte werden analog Abschnitt 4.1.2 zuerst die Mittelwerte der bei der jeweiligen Konfiguration der Abgasanlage durchgeführten Abgasmessungen gegenübergestellt und danach erfolgt ein Vergleich der mit den jeweiligen Geräten gemessenen einzelnen Gasstöße, die sich wiederum auf 9 Einzelmessungen aus 3 farblich abgesetzten Messreihen (blau, rot, grün) zusammensetzen. Die Reihenfolge richtet sich nach dem zeitlichen Ablauf der Einzelmessungen. Vor dem Start einer jeden Messreihe, also vor den ersten Messungen „DPF ohne Bypass“, die mit Messgeräten der *Typen B, C und E* durchgeführt wurden, ist der DPF in einem Ofen über mehrere Stunden bei einer Temperatur von etwa 650 °C regeneriert worden. Es kann davon ausgegangen werden, dass dabei sämtliche angesammelten Partikelablagerungen aus dem Filter entfernt worden sind. Weil bekannt ist, dass sich der Abscheidegrad eines DPF nach vollständiger Regeneration etwas verschlechtert und sich erst nach erneuter geringer Rußbeladung wieder normalisiert, sollte dieser Zustand hinsichtlich des Einflusses auf das Ergebnis einer Abgasuntersuchung zusätzlich betrachtet werden.

In den Abb. 4.16, 4.18 und 4.19 ist dem zufolge auch jeweils zu erkennen, dass beide Geräte *Typ B* und die Opazimeter II vom *Typ C und E* in den ersten Messungen in den Reihen „DPF ohne Bypass“ etwas erhöhte K-Werte lieferten. Diese sind allerdings quantitativ äußerst gering und nicht relevant für ein potenzielles Nichtbestehen der Abgasuntersuchung. Bereits beim zweiten Durchlauf der Abgasuntersuchungen, d.h. ab Messung 4 (Msg. 4), wurden K-Werte deutlich kleiner 0,05 ermittelt, wie sie hinter einem funktionstüchtigen DPF üblich sind.

Vergleich AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Messtechnik *Typ D*
(Messwerte korrigiert), Dresden, 04.08.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Opazimeter *Typ D*,
Dresden, 04.08.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Opazimeter II *Typ D*
(Messwerte korrigiert), Dresden, 04.08.2010

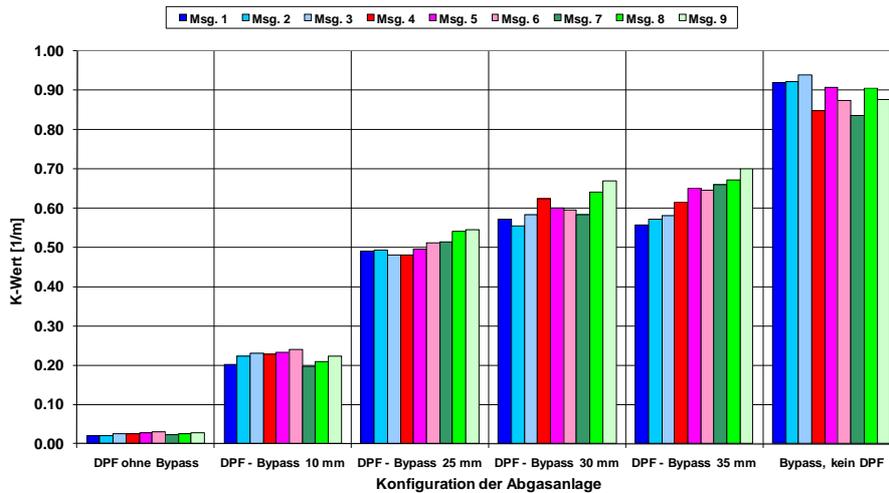
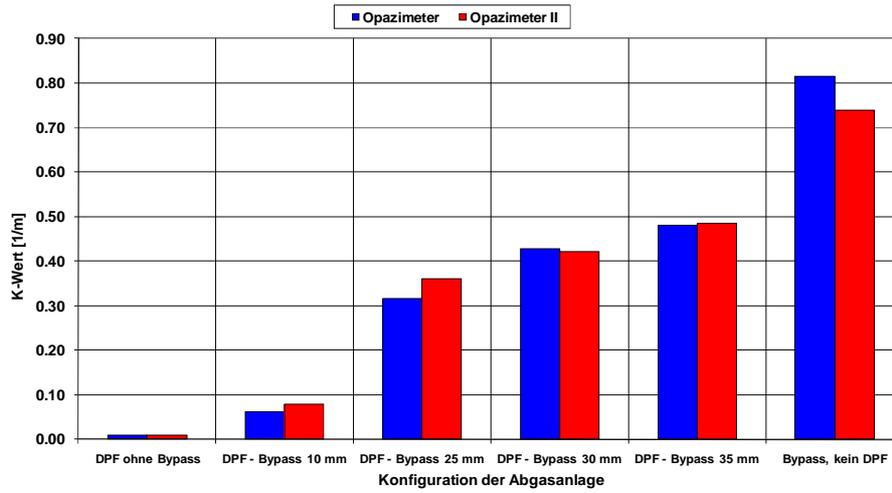
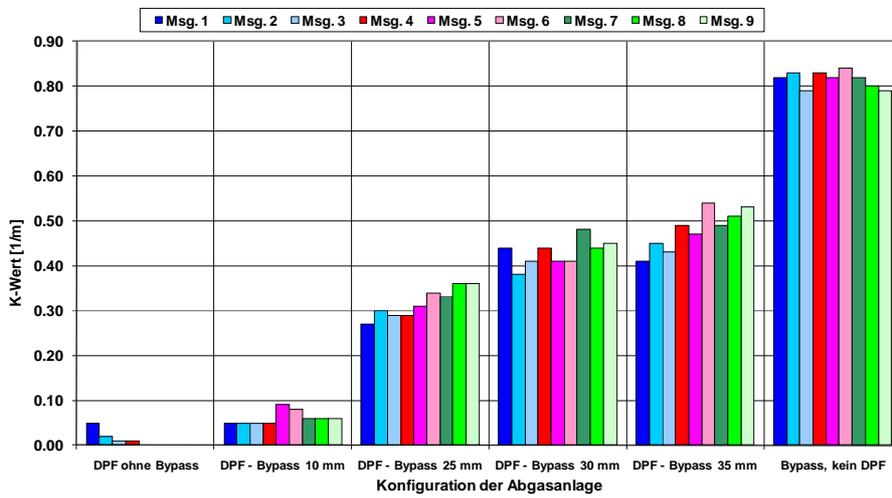


Abb. 4.15: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ D* in Dresden

Vergleich AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Messtechnik *Typ B*
(Messwerte korrigiert), Dresden, 09.08.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Opazimeter *Typ B*,
Dresden, 09.08.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Opazimeter II *Typ B*
(Messwerte korrigiert), Dresden, 09.08.2010

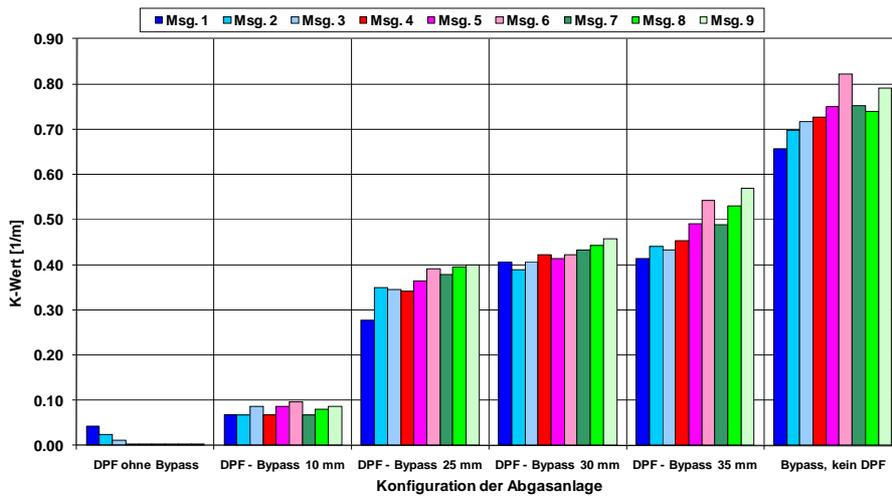
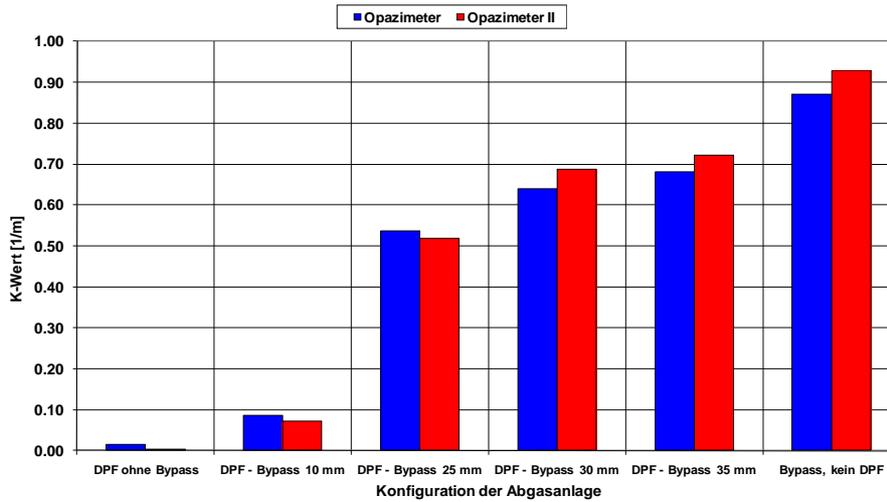
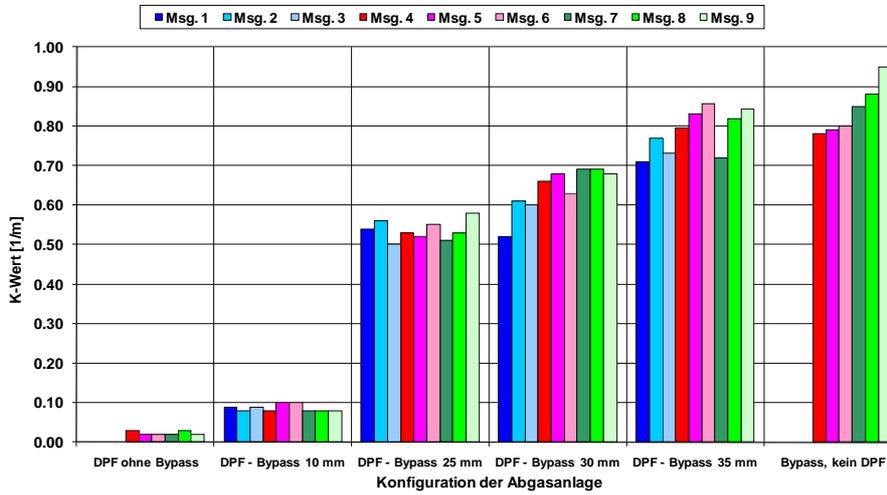


Abb. 4.16: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ B* in Dresden

Vergleich AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Messtechnik *Typ A*,
Dresden, 10.08.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Opazimeter *Typ A*
(Messwerte korrigiert), Dresden, 10.08.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Opazimeter II *Typ A*
(Messwerte korrigiert), Dresden, 10.08.2010

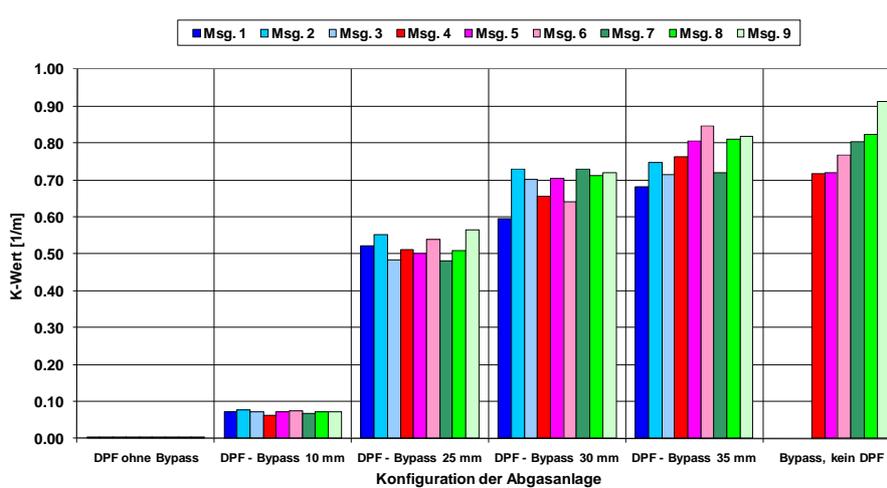
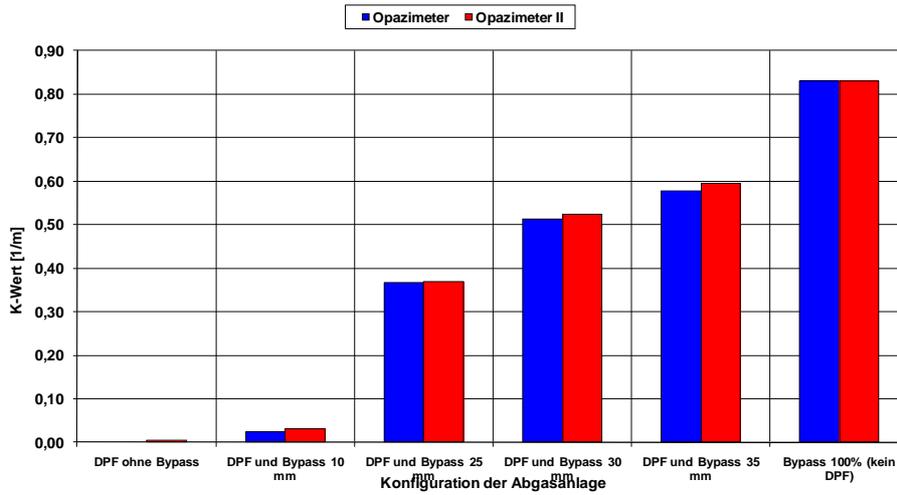
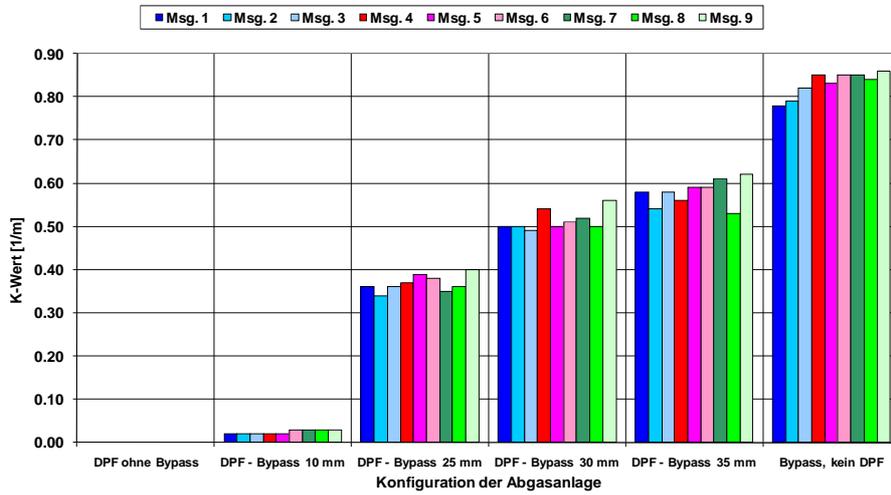


Abb. 4.17: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ A* in Dresden

Vergleich AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Messtechnik *Typ E*
(Messwerte korrigiert), Dresden, 12.08.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Opazimeter *Typ E*
Dresden, 12.08.2010



AU-Messungen am Fahrzeug *Diesel 3* (EURO 4) mit Opazimeter II *Typ E*
(Messwerte korrigiert), Dresden, 12.08.2010

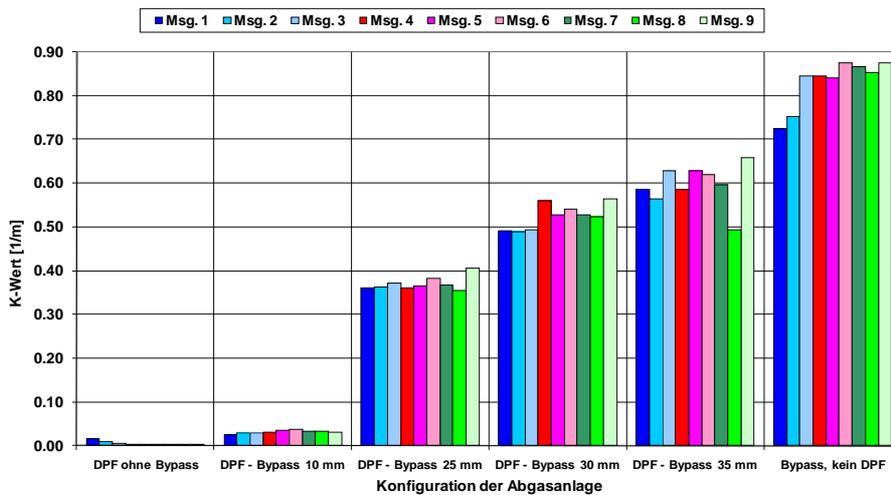


Abb. 4.18: AU-Messungen mit Messgeräten *Typ E* in Dresden

In der Abb. 4.19 sind die Messergebnisse von zwei unterschiedlichen Opazimetern II des Typs C dargestellt. Es kamen das Gerät, das bereits in Dessau-Roßlau verwendet wurde und ein zweites baugleiches Gerät zum Einsatz. Die jeweiligen parallelen Messungen mit Opazimetern Typ C lieferten wiederum unplausible Ergebnisse und sind deshalb hier nicht dargestellt.

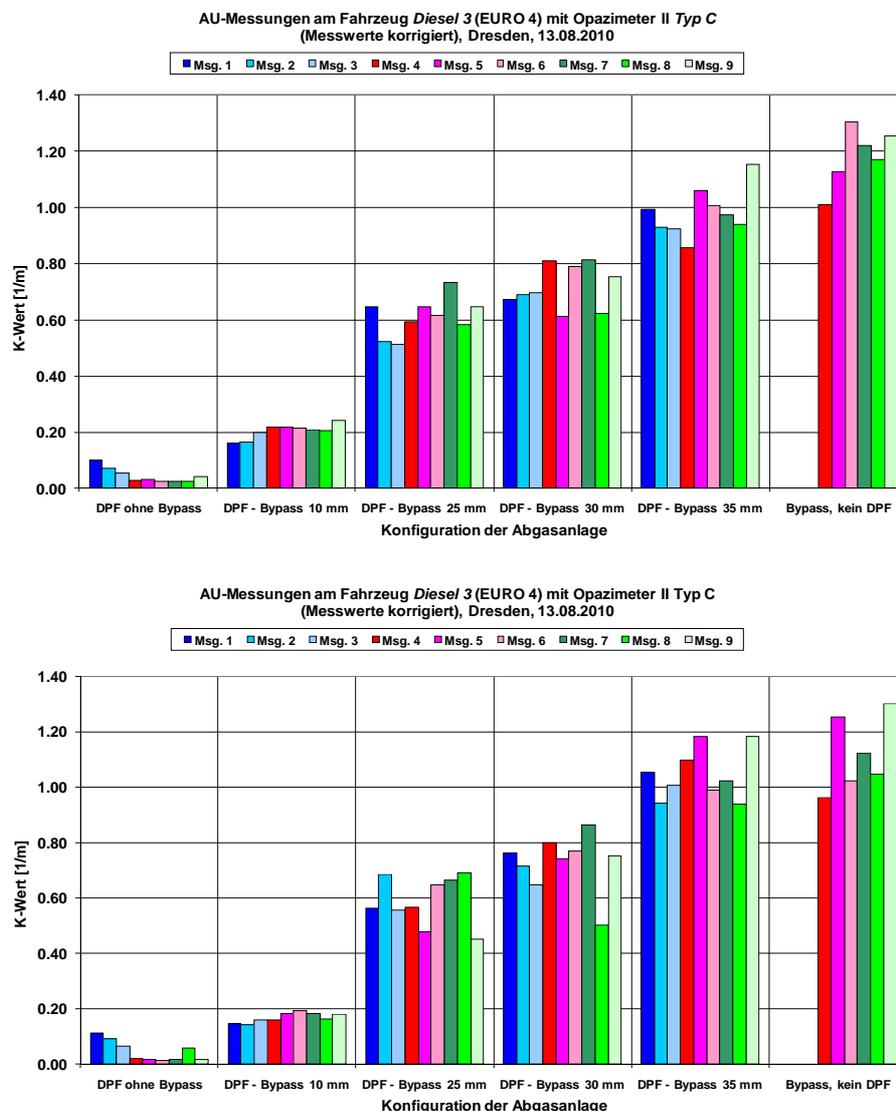


Abb. 4.19: AU-Messungen mit Opazimeter II Typ C in Dresden

Mit dem Opazimeter II vom Typ A erfolgten am regenerierten DPF außerhalb der bereits beschriebenen Messreihen weitere Untersuchungen. In der Abb. 4.20 sind die K-Werte für Gasstöße, die unmittelbar nach der Regeneration des DPF durchgeführt wurden, dargestellt. Das bereits beschriebene typische Verhalten eines DPF, der nach der Regeneration nur eine sehr geringe Rußeinlagerung benötigt, bis er einen hohen und stabilen Abscheidegrad erreicht, konnte messtechnisch erfasst und

bestätigt werden. Das bedeutet, dass es mit Opazimetern II gelingt, eine sehr feine Differenzierung im sehr niedrigen Messbereich zu erzielen.

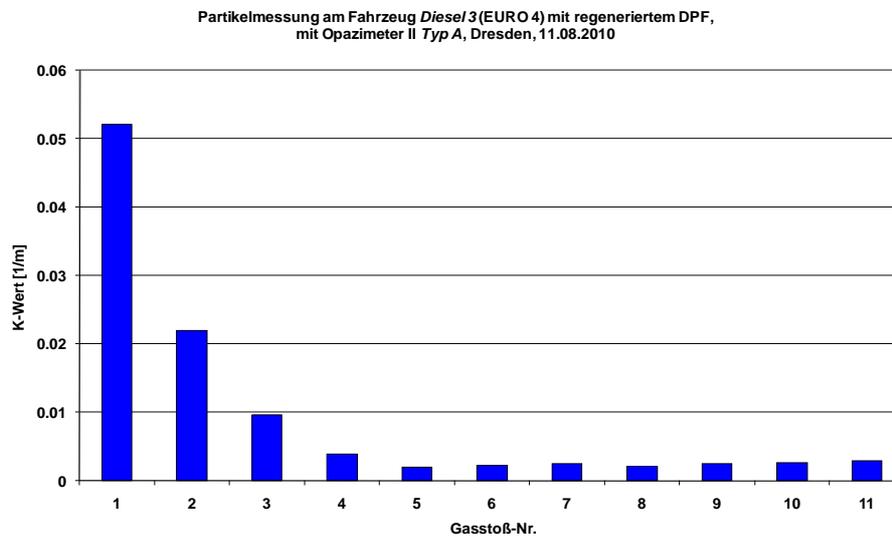


Abb. 4.20: Messungen mit regeneriertem DPF, Opazimeter II Typ A

Zur Unterstützung dieser Aussage sind ergänzend zu den im Projekt absolvierten Tests die von einem Messgerätehersteller bereitgestellten Verläufe der aufgezeichneten K-Werte aus drei Abgasuntersuchungen mit Opazimeter II, die ebenfalls unmittelbar nach der Regeneration des DPF durchgeführt wurden, in Abb. 4.21 zusammengefasst.

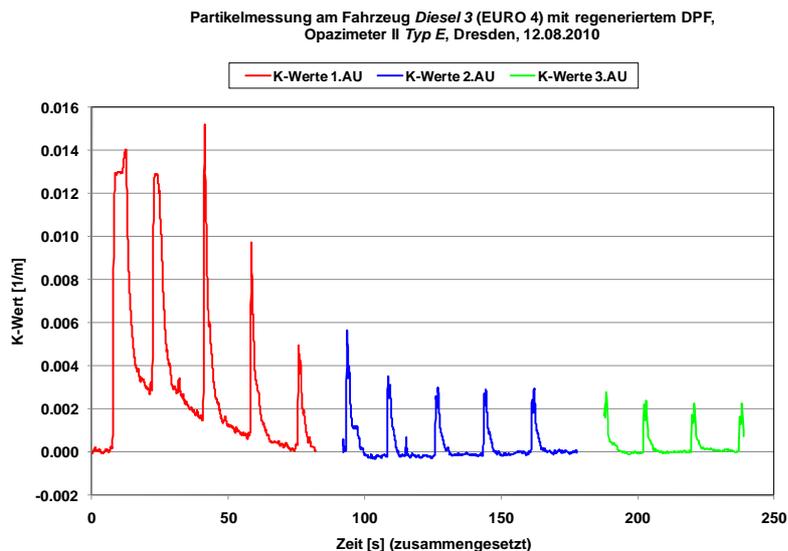


Abb. 4.21: Messungen mit regeneriertem DPF mit Opazimeter II Typ E

Zu diesen Messverläufen gab der Messgerätehersteller folgende Erklärung ab: „Deutlich zu erkennen ist die schnelle Abnahme der maximalen Trübungskoeffizienten nach wenigen Gasstößen. Leider wurde die Abtastrate erst nach den Konditionierungsgasstößen der ersten Abgasuntersuchung richtig eingestellt, so sind die ersten beiden Maximalwerte abgeschnitten. Aus den Breiten der Peaks ist aber erkennbar, in welchem Bereich diese womöglich lagen und dass auch dort schon der Trend zur Abnahme bestand. Die „Drifterscheinung“ von 0,003 auf 0,000 während der ersten Abgasuntersuchung ist durch einen hohen Wasseranteil im Abgas zu erklären.“

Weiterhin standen für eine vergleichbare Messreihe mit ebenfalls regeneriertem DPF auch Auswertungen der berechneten K-Werte eines Opazimeters II vom Typ B zur Verfügung.

Wie in Abb. 4.22 zu sehen ist, war lediglich während der ersten fünf Gasstöße in der 1. Abgasuntersuchung eine signifikante Verringerung des Rußabscheidegrades des DPF festzustellen.

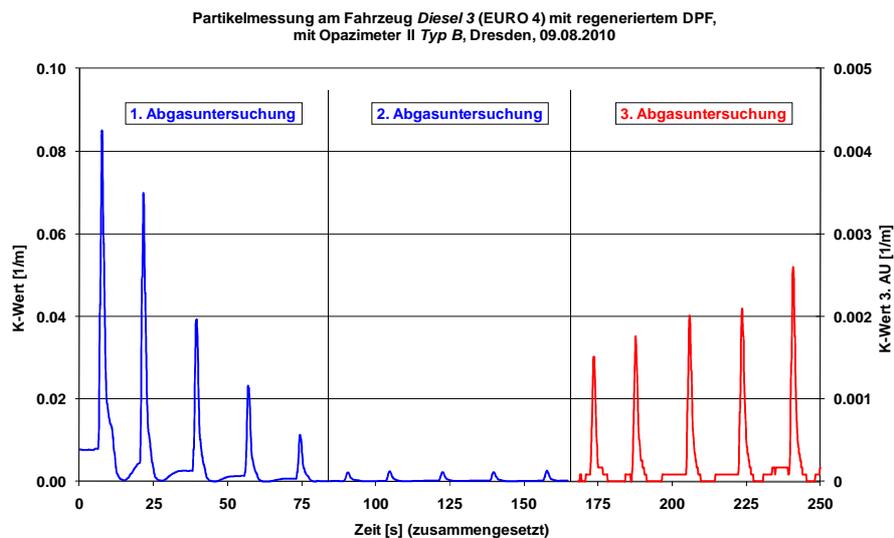


Abb. 4.22: Messungen mit regeneriertem DPF mit Opazimeter II vom Typ B

Die dabei gemessenen K-Werte betragen $<0,1$ 1/m. Sie stehen damit wiederum weder im relevanten Bezug zum gesetzlichen Grenzwert von $K=1,5$ 1/m noch zum sogenannten Plakettenwert, der sich aus dem Homologationswert (K-Wert) des Fahrzeuges zuzüglich einer Toleranz von mindestens $K=0,5$ 1/m bildet. Im untersuchten Fahrzeug Diesel 3 beträgt dieser Wert entsprechend der EG-Übereinstimmungsbescheinigung tatsächlich $K=0,6$ 1/m. Um die Größenordnung des K-Wertes hinter einem funktionierenden DPF zu verdeutlichen, wurden die

Messergebnisse der 3. Abgasuntersuchung in dieser Abbildung bezogen auf eine zusätzliche Ordinate in einem anderen Maßstab dargestellt.

In der Summe der vorangestellten Ergebnisse soll lediglich die potenzielle Leistungsfähigkeit der neuen Messtechnik hinsichtlich der Fähigkeit der Differenzierung sehr geringer Rauchgastrübungen demonstriert sein. Es leitet sich unter den Randbedingungen der bestehenden Richtlinien zur Abgasuntersuchung allerdings keine Notwendigkeit ab, diese auch zwangsläufig abzurufen.

4.1.3 Zusammenfassung der Messkampagnen

Das Ziel der beiden Messkampagnen, die jeweils zusammen mit fünf Messtechnikherstellern in Dessau-Roßlau und in Dresden durchgeführt wurden, bestand darin, bei Abgasuntersuchungen an Dieselfahrzeugen neuartige, auf Partikelmessung basierende Messtechnik, so genannte „Opazimeter II“, zu erproben und im Vergleich mit herkömmlichen Opazimetern zu bewerten. Um Messungen bei unterschiedlichem Rußanteil im Abgas durchführen zu können, kam eine Abgasanlage mit DPF und variablem Bypass zum Einsatz. Dabei sind je Einstellung drei Abgasuntersuchungen durchgeführt worden, bei denen jeweils mit beiden Messgeräten eines Herstellers parallel gemessen wurde. Bei den Messungen mit dem Opazimeter II *Typ C* kamen aus den oben beschriebenen Gründen ein Opazimeter vom *Typ B* als Referenzgerät zum Einsatz.

In den Abb. 4.23 bis 4.27. werden die Ergebnisse zum Vergleich der Messtechnik Opazimeter und Opazimeter II aus Abschnitt 4.2.1 und 4.2.2 in etwas anderer Form zusammenfassend ausgewertet, indem insbesondere die Streubreite der Einzelprüfungen über dem gesamten betrachteten Messbereich hervorgehoben wird. In den Diagrammen sind darüber hinaus je drei dünne schwarze Linien eingetragen, von denen die mittlere die ideale Kennlinie bzw. Korrelation zwischen beiden Geräten, also Opazimeter und Opazimeter II, darstellt. Die äußeren Linien markieren den Toleranzbereich, der für die Zulassung herkömmlicher Opazimeter gilt. In den Anforderungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) wird diesbezüglich sinngemäß gefordert, dass bei Vergleichsmessungen mit einem Referenzgerät im Bereich bis $K=3$ 1/m die zulässigen positiven und negativen Messabweichungen 5 % vom Anzeigewert zuzüglich 0,30 1/m betragen dürfen [5].

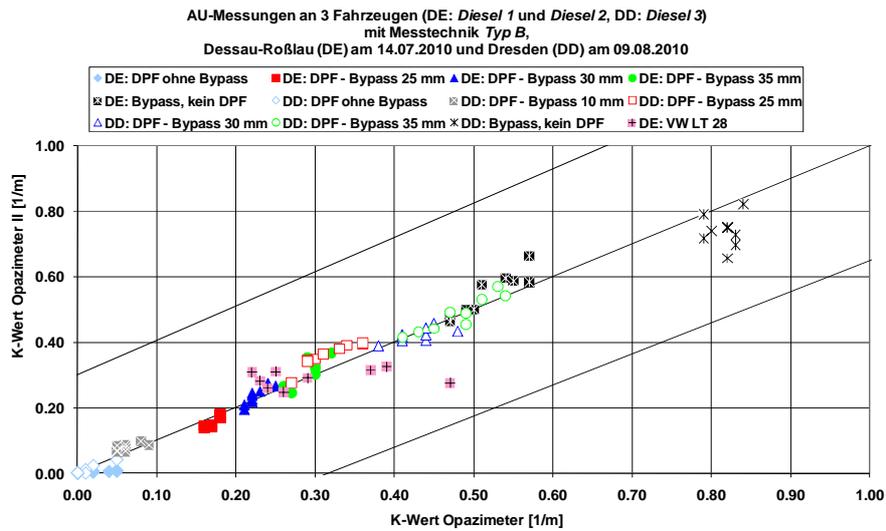


Abb. 4.23: AU-Messungen mit Messgeräten Typ B

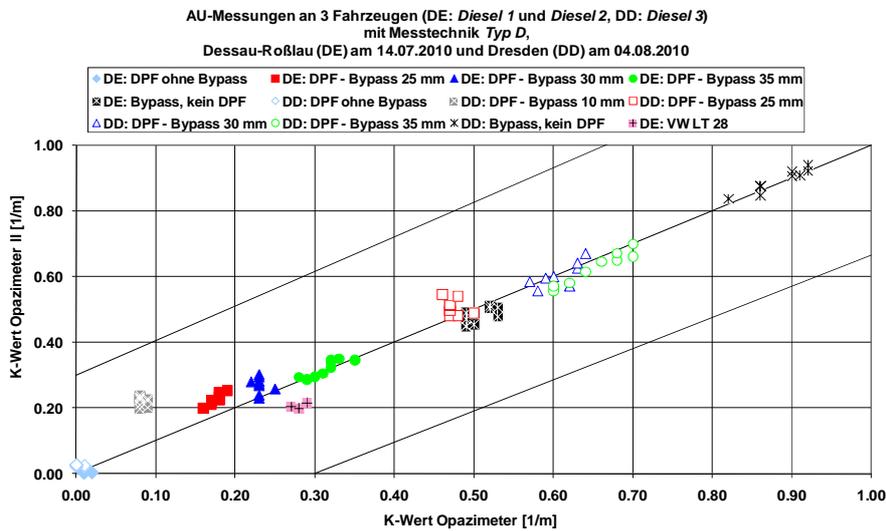


Abb. 4.24: AU-Messungen mit Messgeräten Typ D

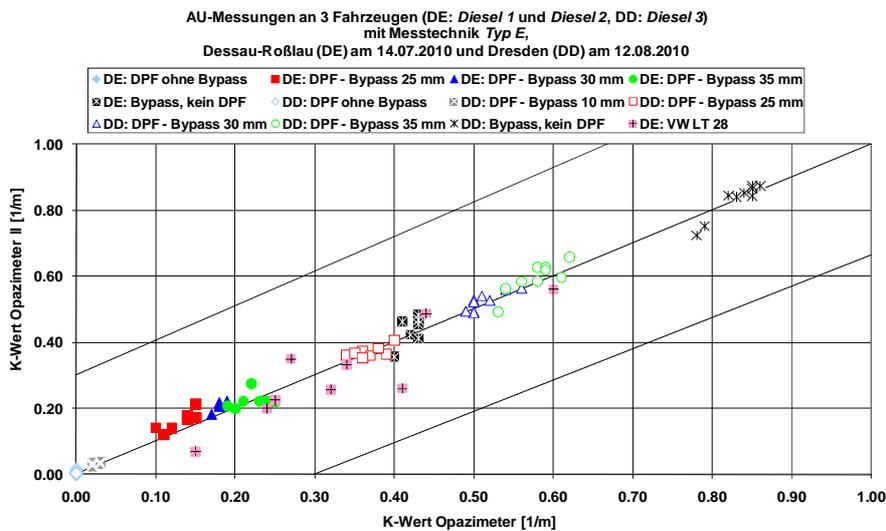
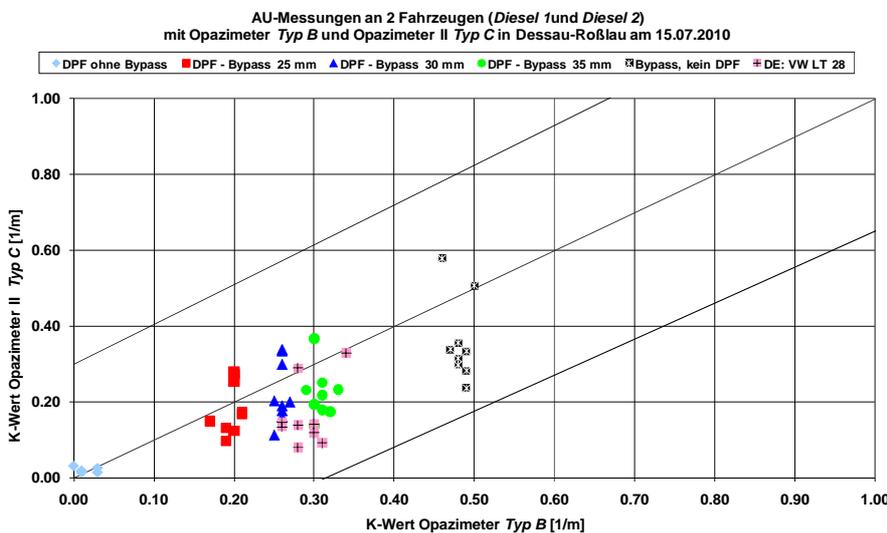
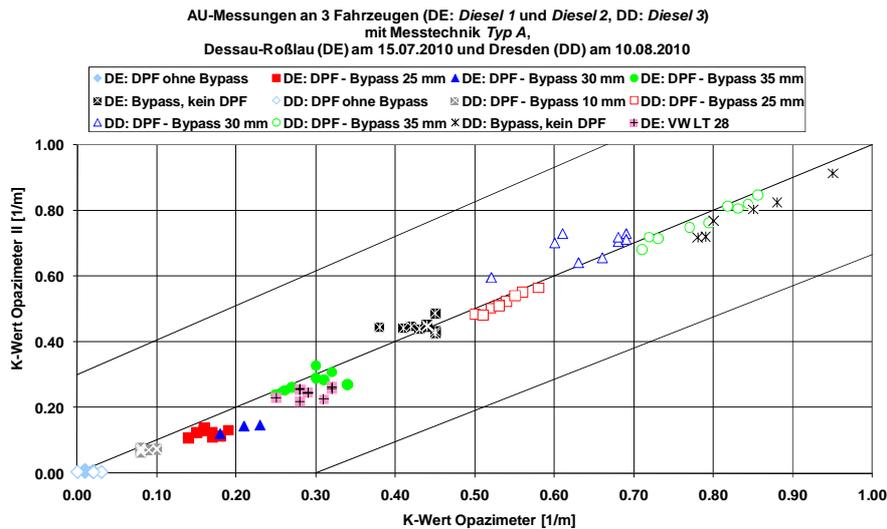


Abb. 4.25: AU-Messungen mit Messgeräten Typ E



Unter der Annahme, dass die jeweiligen Opazimeter als Referenzgeräte zulässig wären, hätten also alle verwendeten „Opazimeter II“ die aktuellen Genauigkeitsanforderungen der PTB erfüllt, obwohl insbesondere beim Gerät *Typ C* aufgrund der dargestellten Messwertstreuung noch Entwicklungsbedarf zu bescheinigen ist. Bei diesem Gerät musste zudem auf die Referenz eines anderen Gerätes zurückgegriffen werden. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass im Rahmen einer PTB-Zulassung dieser neuen Gerätegeneration erweiterte Anforderungen hinsichtlich der Referenzgeräte (z.B. Partikelgenerator anstatt Opazimeter), der Genauigkeit, des Messergebnisses selbst (z. B. Partikelkonzentration anstatt K-Wert oder Trübungsgrad), des Messbereiches u.a.m. aufgestellt werden.

Bezüglich der Empfindlichkeit der Opazimeter II konnte festgestellt werden, dass

diese im Rahmen der durchgeführten Tests auch unterhalb der für herkömmliche Opazimeter üblichen Anzeigegrenze $K=0,01 \text{ 1/m}$ noch deutliche und differenzierbare Signalverläufe lieferten, was mit den Abb. 4.21 und 4.22 angedeutet sein soll. Es wird daraus ableitend eingeschätzt, dass sie somit bereits gut geeignet sind, um auch relativ geringe Schäden am DPF festzustellen.

Die in Dresden durchgeführten Messungen mit Bypass 10 mm zeigten, dass bis hin zu kleinen K-Werten um $0,1 \text{ 1/m}$ die herkömmlichen Opazimeter trotz der durch die PTB großzügig bemessenen Eichfehlergrenzen noch konstante und reproduzierbare Messergebnisse lieferten. Wie die im Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Versuche mit simulierten Schäden an DPF zeigten, kann mit den Opazimetern ein Defekt am DPF, der zur Verringerung des Abscheidegrades um etwa 10 % führt, noch festgestellt werden.

In den folgenden Abbildungen sind alle K-Werte der Einzelmessungen der verschiedenen Messkonfigurationen hinsichtlich Fahrzeug und Abgasanlage über den jeweils aus allen Messungen einer Messkonfiguration gemittelten K-Werten aufgetragen. Diese Darstellungsart beinhaltet allerdings gewisse Unsicherheiten hinsichtlich der Vergleichbarkeit, weil die je Konfiguration betrachteten Messungen nicht parallel erfolgten, sondern aus unterschiedlichen Messreihen stammen. Die Gasstöße wurden darüber hinaus von verschiedenen Personen ausgeführt und auch das Emissionsverhalten der untersuchten Fahrzeuge war nicht immer konstant. Diese Einschränkungen bedeuten damit allerdings Variationen in den Versuchsbedingungen, wie sie in der alltäglichen Praxis der Abgasuntersuchung typisch sein sollten.

Die Abb. 4.28 zeigt zunächst den Vergleich der bei den Messungen eingesetzten Opazimeter.

Aufgetragen sind die jeweiligen Einzelmessungen über dem jeweiligen Mittelwert aller Messungen je Abgasanlagenvariation. Auffällig ist die geringe Schwankungsbreite der Messergebnisse bei K-Werten kleiner $0,3 \text{ 1/m}$. Die etwas größeren Abweichungen der Einzelmesswerte der Opazimeter vom *Typ E* und *B*, die oberhalb des Mittelwertes $K=0,3 \text{ 1/m}$ zugeordnet sind und von den Messungen am Transporter *Diesel 2* stammen (siehe auch Abb. 4.9 und 4.11), sind auf das wechselnde Emissionsverhalten dieses Fahrzeugs, für das keine Ursache bekannt ist, zurückzuführen. In den weiteren aufgeführten Vergleichen wurden diese abweichenden Werte eliminiert.

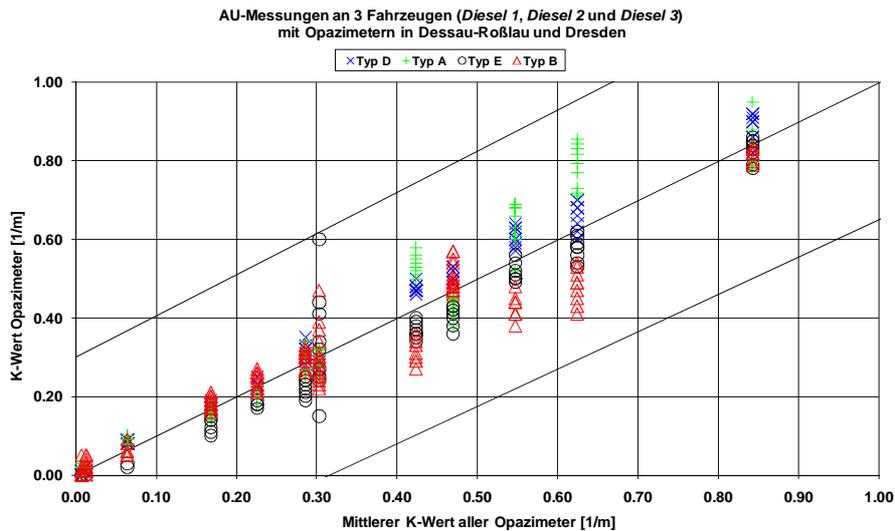


Abb. 4.28: AU-Messungen mit allen Opazimetern

Die Abb. 4.29 zeigt den Vergleich der Messungen mit den Opazimetern II.

Auch mit den Opazimetern II wurden bei den Einzelmessungen mit dem Transporter *Diesel 2* erhöhte Emissionswerte festgestellt. Die über den mittleren K-Werten 0,42, 0,55 und 0,62 1/m aufgetragenen Werte aller Messgeräte weisen hier ebenfalls eine größere Schwankungsbreite auf. Innerhalb der den einzelnen Opazimetern zuzuordnenden Messungen trifft dies nicht zu.

Auffällig ist, dass mit dem Gerät *Typ C* zum Teil stark schwankende und deutlich abweichende Werte gemessen wurden. In weitere Vergleiche sind die Ergebnisse dieses Gerätes daher nicht mehr einbezogen worden. Dies trifft auch auf die bereits beschriebenen Messwerte vom Transporter *Diesel 2* zu.

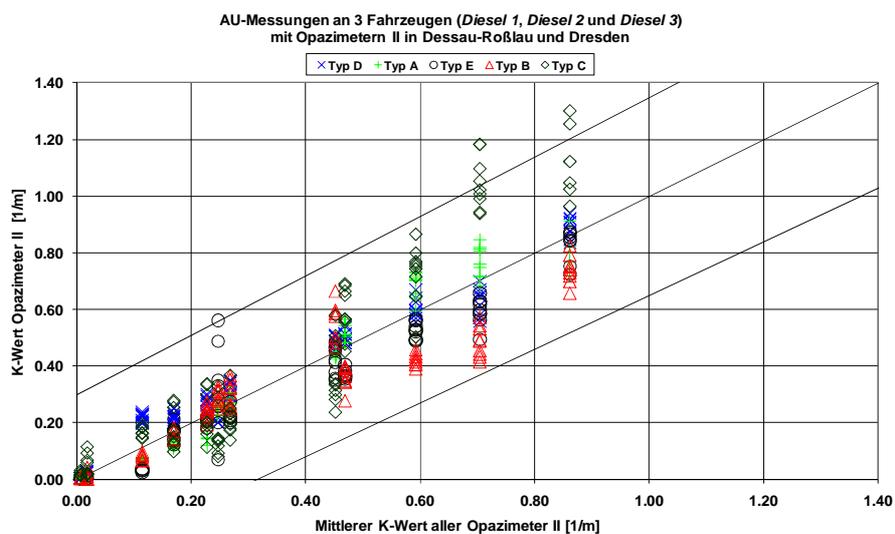


Abb. 4.29: AU-Messungen mit allen Opazimetern II

In den Abb. 4.30 und 4.31 sind abschließend die bereinigten Vergleiche der verbleibenden vier Gerätetypen über den Mittelwerten der Opazimeter II- bzw. der Opazimeter-Messungen aufgetragen.

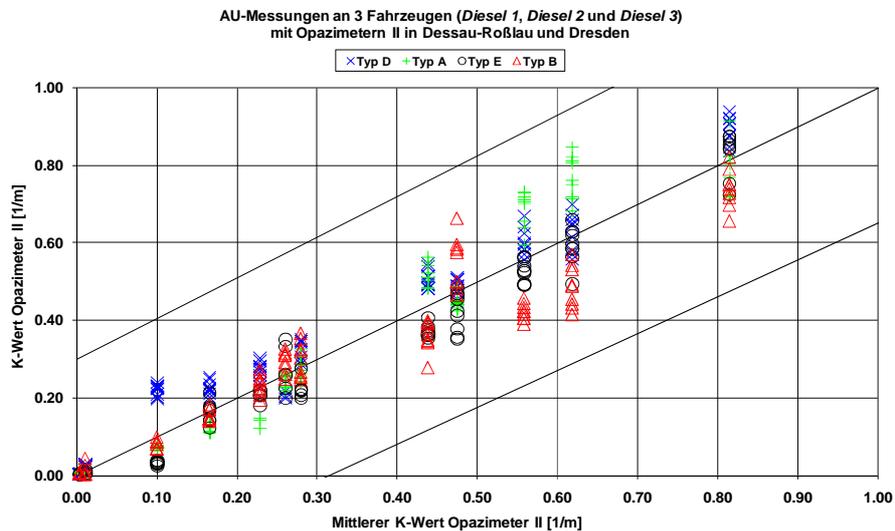


Abb. 4.30: AU-Messungen mit vier Opazimetern II (reduzierte Betrachtung)

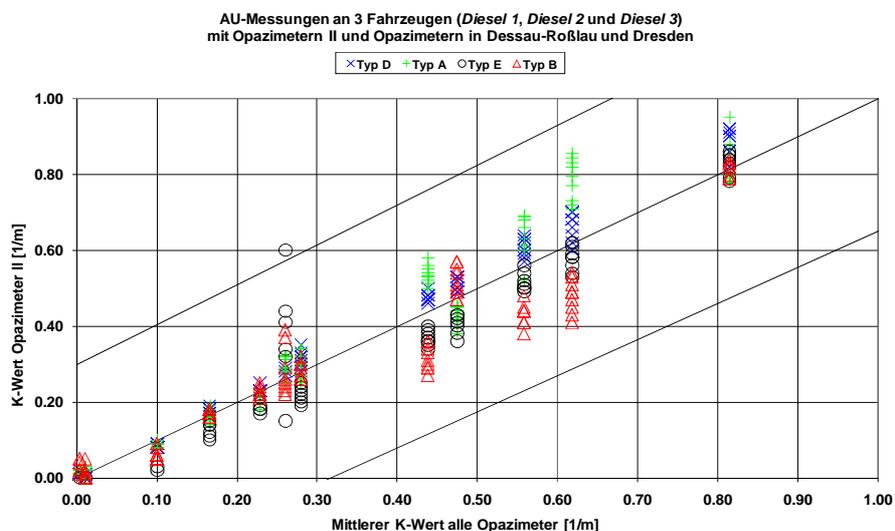


Abb. 4.31: AU-Messungen mit Opazimetern und Opazimetern II (reduzierte Betrachtung)

Die Schwankungsbreite der Messwerte für beide Arten von Messgeräten ist etwa gleich. Für die abweichenden Ergebnisse des Messgerätes Opazimeter *Typ D* beim mittleren K-Wert 0,1 1/m in Abb. 4.30 konnte kein Grund gefunden werden.

Insgesamt scheint bei den Opazimetern II noch Entwicklungsbedarf zu bestehen, deren konkreter Umfang auch von den zu erwartenden PTB-Anforderungen abhängig sein wird.

4.1.4 Schadenssimulation an zwei Diesel-PKW

Bei diesen Abgasuntersuchungen, die in Dresden zusätzlich zu den bereits beschriebenen zwei Messkampagnen durchgeführt wurden, kamen die Messgeräte Opazimeter und Opazimeter II vom *Typ B*, die vom Messtechnikhersteller für die gesamte Projektlaufzeit zur Verfügung gestellt wurden, zum Einsatz. Primär sollten zu diesem Zeitpunkt Wechselwirkungen von extrem geschädigten Abgasnachbehandlungssystemen und Auswirkungen auf die Aussagefähigkeit der unterschiedlichen Messtechnikgenerationen betrachtet werden.

An zwei Diesel-PKW, dem bereits beschriebenen *Diesel 3* und an einem weiteren PKW *Diesel 4* (2,7l aufgeladener Direkteinspritzer mit Partikelfilter, Euro 4 mit Erstzulassung 29.10.2007), wurden DPF-Schäden simuliert, indem ein Austausch der serienmäßigen DPF durch mechanisch teilweise zerstörte Exemplare erfolgte. In den *Diesel 3* wurde demnach ein zerstörter DPF gemäß Abb. 4.32 eingebaut, der ursprünglich für Prüfstanduntersuchungen in einem anderen Projekt präpariert und dort mit einem gravimetrisch ermittelten Partikelabscheidegrad von 66 % vermessen worden war.

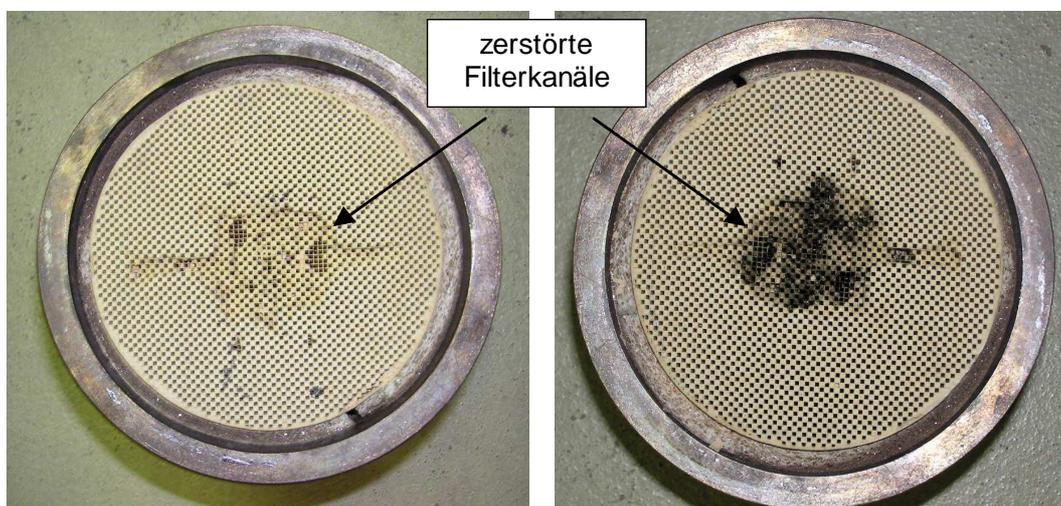


Abb. 4.32: Mechanisch zerstörter DPF für AU-Messungen am *Diesel 3*

Am *Diesel 3* wurden sowohl mit diesem zerstörten DPF, mit dem serienmäßigen DPF als auch gänzlich ohne DPF Abgasuntersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse in der Abb. 4.33 dargestellt sind. Nach Einbau des zerstörten DPF konnte eine deutliche Erhöhung der Rußemission festgestellt werden, womit allerdings unter den

aktuellen gesetzlichen Bedingungen die Abgasuntersuchung noch bestanden wird. Eine Fehleranzeige seitens der OBD erfolgte bei keinem der dargestellten Zustände, allerdings konnten mit dem Fahrzeug auch keine längeren Fahrten im Straßenverkehr durchgeführt werden, weil kein Nummernschild zur Verfügung stand.

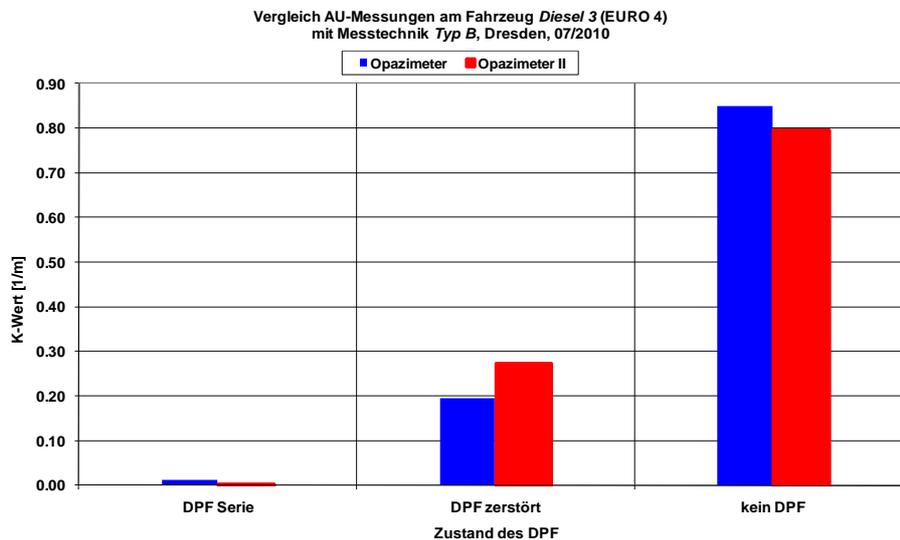


Abb. 4.33: AU-Messungen am *Diesel 3* mit Schadenssimulation

Für die Untersuchungen am *Diesel 4* wurde ein DPF so zerstört, dass etwa 10 % der ursprünglich verschlossenen Filtereinlasskanäle offen waren (Abb. 4.34).



Abb. 4.34: Mechanisch zerstörter DPF für AU-Messungen am *Diesel 4*

Es sind sowohl mit diesem zerstörten DPF, mit dem serienmäßigen DPF als auch gänzlich ohne DPF-Einsatz Abgasuntersuchungen durchgeführt worden, deren Ergebnisse in der Abb. 4.35 dargestellt sind. Nach Einbau des zerstörten DPF konnte

wiederum eine deutliche Erhöhung der Rußemission festgestellt werden, mit der allerdings unter den aktuellen gesetzlichen Bedingungen die Abgasuntersuchung wieder bestanden wird. Eine Abgasuntersuchung entsprechend der Vorschrift (Auslesen der OBD) war bei diesem Fahrzeug nicht möglich, weil über die im OBD-Modul des Messtechnikherstellers nutzbaren Übertragungsprotokolle keine OBD-Kommunikation aufgebaut werden konnte.

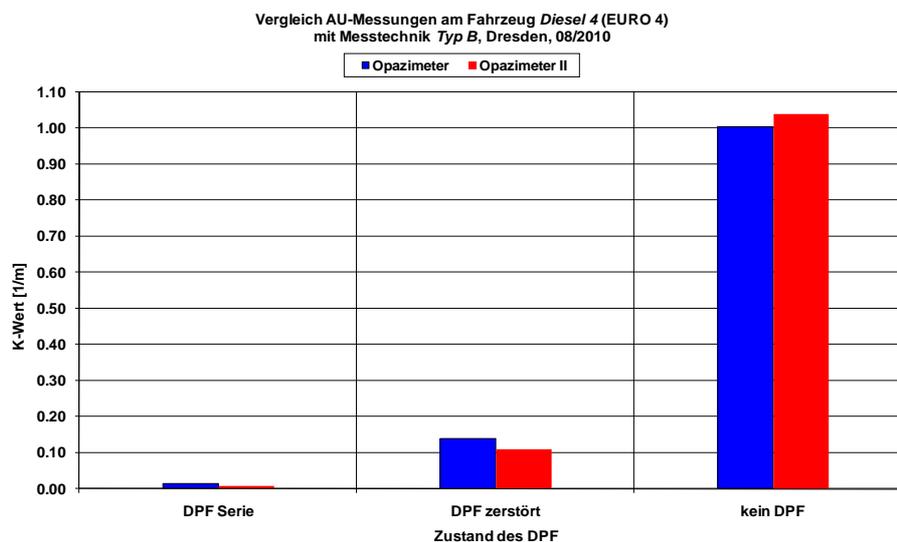


Abb. 4.35: AU-Messungen am *Diesel 4* mit Schadenssimulation

In beiden Tests ohne DPF wird der allgemein zulässige Grenzwert von 1,5 1/m nicht erreicht. Trotzdem bewertet die hinterlegte Messtechniksoftware die AU mit Endrohrmessung als „Nicht Bestanden“. Ursache ist, dass für beide Fahrzeuge ein deutlich niedriger Wert von 0,5 1/m hinterlegt ist. Auf diesen Aspekt wird im noch folgenden Abschnitt 6.5.6 bei Wiederholung derartiger Fehlersimulation nochmals ausführlicher eingegangen.

Bei kurzen Fahrten im Straßenverkehr, die sowohl mit dem beschädigten DPF als auch ohne DPF durchgeführt wurden, erfolgte kein Aufleuchten der Motorkontrollleuchte (MIL - Malfunction Indicator Light). Das bedeutet, dass für den Testzeitraum durch die OBD kein abgasrelevanter Fehler erkannt worden ist. Nach den Fahrten ist das Fahrzeug jeweils mit einem Diagnosegerät (KTS500 von Bosch) kontrolliert worden, wobei sich bestätigte, dass abgasrelevante Fehler gemäß Abb. 36 links nicht registriert wurden. Nach der Fahrt ohne DPF befand sich allerdings eine Eintragung im allgemeinen Fehlerspeicher der Motorsteuerung, die in Abb. 4.36 rechts charakterisiert wird.

Unklar geblieben ist, warum dieser, den Abgas-Differenzdrucksensor betreffende Fehler, nicht auch als abgasrelevant eingestuft wurde.

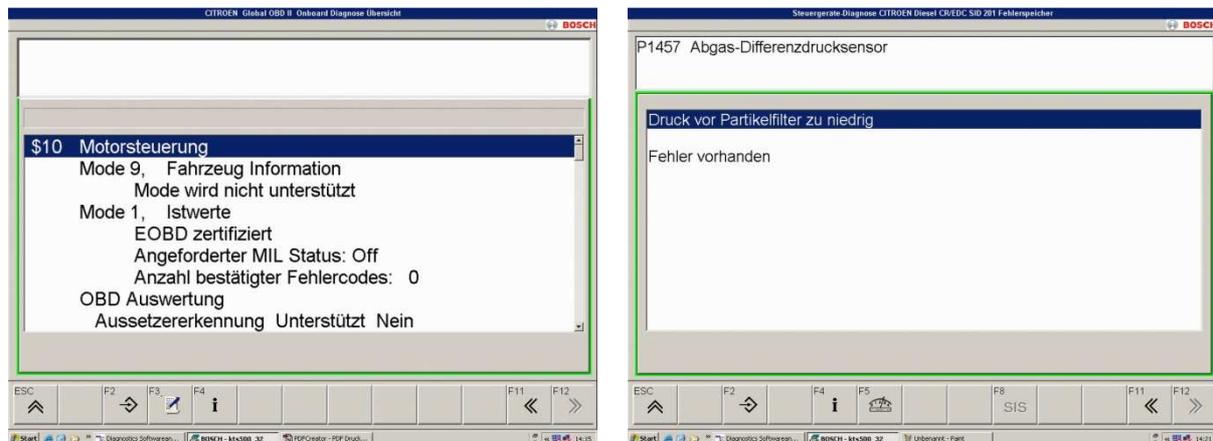


Abb. 4.36: Diagnose am *Diesel 4* nach DPF-Schadenssimulation

4.2 Abgasmessungen an Fahrzeugen mit Ottomotor

Von den ursprünglich für Messungen im Rahmen des Projektes vorgesehenen PKW mit Ottomotor der HTW Dresden stand nur ein Fahrzeug (*Otto 1*: PKW 1,1l mit Saugrohreinspritzung, Saugmotor, ein Vorserienmodell, Baujahr 2004) zur Verfügung. Dank der Unterstützung durch die Firma FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH Dresden konnten Abgasuntersuchungen an weiteren PKW aus deren Fahrzeugbestand durchgeführt werden. Die Fahrzeugauswahl erfolgte so, dass unterschiedliche Motorvarianten, nämlich aufgeladener bzw. Saugmotor und Saugrohr- bzw. Direkteinspritzung, untersucht werden konnten. Folgende Fahrzeuge wurden für die Untersuchungen bereitgestellt:

- *Otto 2*: (PKW 1.2l mit Direkteinspritzung, Aufladung, Erstzulassung 06/2010)
- *Otto 3*: (PKW 2.0l mit Saugrohreinspritzung, Turbo-Aufladung, Erstzulassung 06/2010)
- *Otto 4*: PKW 1.3l mit Saugrohreinspritzung, Saugmotor, Erstzulassung 02/2005).

Alle PKW waren mit regeltem 3-Wege-Katalysator und zwei Lambdasonden, einer Regelsonde vor und einer Monitorsonde nach Katalysator, ausgerüstet. Für die Messungen wurden Fehler am Katalysator und an der Lambda-Regelsonde simuliert. Neben dem 4-Gas-Tester als Standardmesstechnik für Abgasuntersuchungen an PKW mit Ottomotoren kam auch das Opazimeter II *Typ B* zum Einsatz.

4.2.1 Messungen am Fahrzeug Otto 1

Bei den Messungen an diesem Fahrzeug sind Schäden folgendermaßen simuliert worden:

- Ersatz des Katalysators durch ein Rohr
- Vorgabe eines synthetischen Signalverlaufes einer gealterten Regel-Lambdasonde durch einen Signalgenerator.

Diese Messungen sind mit Messgeräten der Firmen AVL, MAHA, Bosch und Junkalor durchgeführt worden. Die Firma Sensors hat ein entsprechendes Gerät nicht im Programm. Weil alle Messungen ähnliche Ergebnisse lieferten, sind diese in der Tabelle 4.1 beispielhaft nur für das Gerät Bosch ESA aufgeführt. Der Grenzwert für die Kohlenmonoxid- (CO-) Konzentration bei erhöhtem Leerlauf beträgt für das Fahrzeug 0,2 Vol.-%.

Tabelle 4.1

Zustand der Abgasanlage	Messwert CO-Konzentration bei erhöhter Leerlaufdrehzahl [Vol.-%]	MIL-Status
serienmäßig	0,000	Aus
ohne Katalysator	0,896	Aus
Signal für Lambdasonde gealtert	4,860	Aus

Obwohl der zulässige CO-Grenzwert in beiden simulierten Zuständen deutlich überschritten wurde, registrierte die OBD keine abgasrelevanten Fehler. Allerdings konnte in diesem Fall die OBD-Prüfbereitschaft nicht vollständig realisiert werden, da der so genannte Readiness-Code von der Messtechnik nicht gesetzt wurde. Dieser Code fungiert im Sinne eines Prüf-Codes. Er besteht aus zwei 12 stelligen binären Zahlenreihen und versteht sich als Bereitschaftstestprozedur, in der sämtliche relevanten Bauteile oder Systeme, auch solche, die ansonsten nicht der permanenten Überprüfung unterliegen, innerhalb der OBD-2 abgefragt und erfolgreich diagnostiziert werden müssen. Der Readiness-Code wird nur gesetzt, wenn der Status sämtlicher Checks mit dem Ergebnis 0 für „Diagnose durchgeführt“ beantwortet ist. Wird nur ein Test mit dem Wert 1 für „Diagnose nicht durchgeführt oder abgebrochen“ gesetzt, erfolgt die Überführung in die Abgasuntersuchung mit Endrohrmessung. Der Readiness-Code selbst besagt allerdings nicht, ob ein Fehler im System vorliegt [9].

Die Ursache für dieses Verhalten konnte im konkreten Fall auch durch Anfrage bei der Herstellerfirma nicht ermittelt werden. Die somit notwendige Endrohrprüfung führte in beiden Fällen zum Nichtbestehen der Abgasuntersuchung.

4.2.2 Messungen am Fahrzeug *Otto 2*

Für die Messungen an diesem und an allen weiteren Fahrzeugen wurde das Messgerät MGT 5 der Firma MAHA verwendet. Da das Fahrzeug *Otto 2* ein Mietwagen war, konnten keine größeren Umbauten zur Fehlersimulation durchgeführt werden. Das Signal der Regel-Lambdasonde konnte mit dem Signalgenerator nur so verändert werden, dass zumindest das Kraftstoff-Luft-Gemisch abgemagert wurde, eine Beeinflussung der CO-Konzentration im Abgas war somit nicht möglich. Der simulierte Fall, bei dem das Verbrennungsluftverhältnis mit 1,07 außerhalb der zulässigen Grenzen (0,97 bis 1,03) lag, führte nicht zum Aufleuchten der MIL, die OBD registrierte keinen abgasrelevanten Fehler. An dem Fahrzeug wurden auch Partikelmessungen mit einem Opazimeter II durchgeführt, auf deren Ergebnisse im Abschnitt 4.2.5 noch eingegangen wird.

4.2.3 Messungen am Fahrzeug *Otto 3*

Bei diesem Fahrzeug ist die CO-Konzentration (Anstieg auf 5,27 Vol.-%) und das Verbrennungsluftverhältnis (Absenkung Lambda auf 0,85) durch Simulation einer Alterung der Regel-Lambdasonde sehr stark beeinflusst worden. Durch Ausschrauben der Lambdasonde wurde der gemessene Lambdawert sehr stark, nämlich auf 1,22, erhöht. Trotzdem führten diese deutlich außerhalb der zulässigen Grenzen liegenden Werte nicht zum Aufleuchten der MIL, die OBD registrierte keinen abgasrelevanten Fehler.

4.2.4 Messungen am Fahrzeug *Otto 4*

Bei den Messungen an diesem Fahrzeug sind Schäden folgendermaßen simuliert worden:

- Ersatz des Katalysators durch ein Rohr
- Verschraubung der Regel-Lambdasonde gelockert.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der Tabelle 4.2 aufgeführt. Der Grenzwert für die Kohlenmonoxid- (CO-) Konzentration bei erhöhtem Leerlauf beträgt für das Fahrzeug 0,2 Vol.-%.

Tabelle 4.2

Zustand der Abgasanlage	Messwert CO-Konzentration bei erhöhter Leerlaufdrehzahl [Vol.-%]	MIL-Status
serienmäßig	0,01	Aus
ohne Katalysator	0,71	Aus
Lambdasonde gelockert	0,41	Aus

Obwohl der CO-Grenzwert in beiden simulierten Zuständen deutlich überschritten wurde, registrierte die OBD keine abgasrelevanten Fehler.

4.2.5 Partikelmessungen an PKW mit Ottomotor

Im Rahmen der beschriebenen Abgasuntersuchungen an Fahrzeugen mit Ottomotor wurden auch Messungen mit dem Opazimeter II *Typ B* durchgeführt. Wie bei der Diesel-AU sind Gasstöße aufgezeichnet und die maximalen K-Werte ausgewertet worden. Die „Abregeldrehzahl“ wurde durch mechanisches Blockieren des Gaspedals auf maximal 5000 1/min eingestellt. In der Abb. 4.37 sind die Partikelmesswerte zweier PKW mit Ottomotor denen der drei untersuchten PKW mit Dieselmotor und DPF gegenübergestellt. Der *Otto 2* erreichte in diesem Vergleich mit ca. 5g/m³ die mit Abstand höchsten Werte. Ottomotoren mit Saugrohreinspritzung, wie hier mit *Otto 4* demonstriert, sind in dieser Hinsicht nicht auffällig. Die Größenordnung der gemessenen K-Werte, d.h. die insgesamt sehr geringen Werte, gibt Hinweis darauf, dass herkömmliche Opazimeter für solche Messungen nicht geeignet sind.

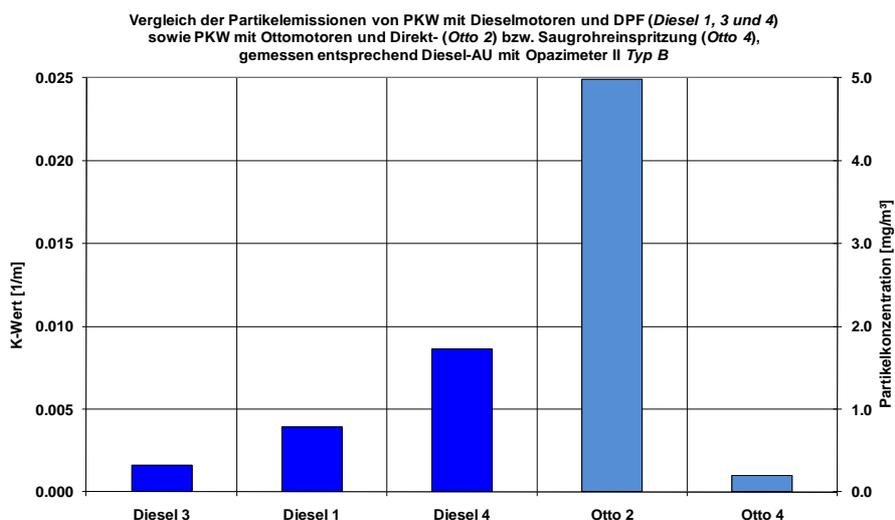


Abb. 4.37: Partikelemission von PKW mit Diesel- und Ottomotoren

In der Summe der in den vorangestellten Abschnitten beschriebenen Fehlersimulationen war zu resümieren, dass innerhalb der Messtechnikbetrachtung nicht alle Fragen zur Wirksamkeit der OBD-Maßnahmen klar erkannt und deren Auswirkung auf die Abgasuntersuchungen abgeleitet werden konnten. Dies führte zur Entscheidung, einen zusätzlichen Versuchsteil mit detaillierter Betrachtung der bisher offenen Fragen zu generieren. Hierüber wird im Kapitel 6 berichtet.

5 Charakterisierung Messtechnik

In nachfolgender Kurzcharakteristik wird auf Eigenschaften der eingesetzten Messtechnik eingegangen. Es wird hierzu eine vom ASA-Verband getroffene und für den Bericht zur Verfügung gestellte Einschätzung [6] weitestgehend unverändert zitiert, in der die Geräte wiederum anonymisiert aufgeführt werden:

Allgemein

- *Alle Opazimeter II waren Prototypen*
- *Korrelation, Umrechnungsformel und Eichung sind Bestandteil des Forschungsvorhabens mit der PTB*
- *Opazimeter I zeigen im unteren Bereich teilweise Null an bzw. driften im Laufe der Messungen gegen Null (Auflösungsgrenze erreicht – Fahrzeuge mit DPF), andere Opazimeter I Geräte zeigen Werte an, obwohl nichts da ist*
- *Von allen Opazimeter II Geräten können alle simulierten Fehlerfälle über die Endrohrprüfung erkannt werden*
- *Die beteiligten Firmen befürworten eine anonymisierte Veröffentlichung*

Messtechnik Typ A:

- *Keine Kondensationseinflüsse – Vorheizstrecke vorhanden*
- *Korrelation insgesamt gut (innerhalb Eichfehlergrenzen)*

Messtechnik Typ B:

- *Opazimeter I zeigt im unteren Bereich teilweise Null an (Auflösungsgrenze erreicht)*
- *Beim Diesel 2 zeigte Opazimeter I eine ungewöhnliche Charakteristik – Opazimetermessung I im Fall Referenz für Messtechnik Typ C zeigt passende Charakteristik*
- *Korrelation insgesamt gut (innerhalb Eichfehlergrenzen)*

Messtechnik Typ C:

- *mit Fremdopazimeter Typ B verglichen*
- *Prototyp – große Streuung durch Darstellung der Rohwerte (ungefiltert)*
- *Korrelation innerhalb Eichfehlergrenzen*

Messtechnik Typ D:

- *Steigende Messwerte - Kondensationseinfluss, da keine Vorheizstrecke*
- *Neue Messzelle wurde erst nach der Messung charakterisiert, deshalb Korrektur nach der ersten Messung*
- *Korrelation insgesamt gut (innerhalb Eichfehlergrenzen)*

Messtechnik Typ E:

- *Messung in Dessau mit Ladungsgerät – in Dresden mit Streulicht*
- *Opazimeter I im unteren Bereich Null (Auflösungsgrenze)*
- *Keine Kondensationseinflüsse – Vorheizstrecke*
- *Korrelation insgesamt gut (innerhalb Eichfehlergrenzen)*

6 Simulation abgasrelevanter Fehler im Fahrversuch

Da sich in den vorangestellten Untersuchungen gezeigt hatte, dass auch potenziell erhebliche, abgasrelevante Fehler von der OBD nicht erkannt wurden und somit nicht zum Aufleuchten der Motorkontrollleuchte (MIL - Malfunction Indicator Light) führten, ist ein ergänzendes und sich an die bisher vorgestellten Ergebnisse anschließendes Testprogramm innerhalb des Vorhabens aufgelegt worden. Die dabei zu untersuchenden Fahrzeuge, je zwei mit Diesel- bzw. mit Ottomotor, waren so auszuwählen, dass jeweils eins von einem Mitglied des VDA (Verband der Automobilindustrie) hergestellt wurde und das zweite von einem Importeur stammt. Eine weitere Vorgabe war, dass insbesondere PKW mit dem Abgasstandard Euro 5 in Betracht zu ziehen sind.

6.1 Versuchsprogramm

Für die Identifikation von abgasrelevanten Fehlerzuständen und deren Auswirkung auf die Emissionen und die Prüfergebnisse in den relevanten Testverfahren kam ein Versuchsprogramm nach Ablaufschema gemäß Abb. 6.1 zum Einsatz.

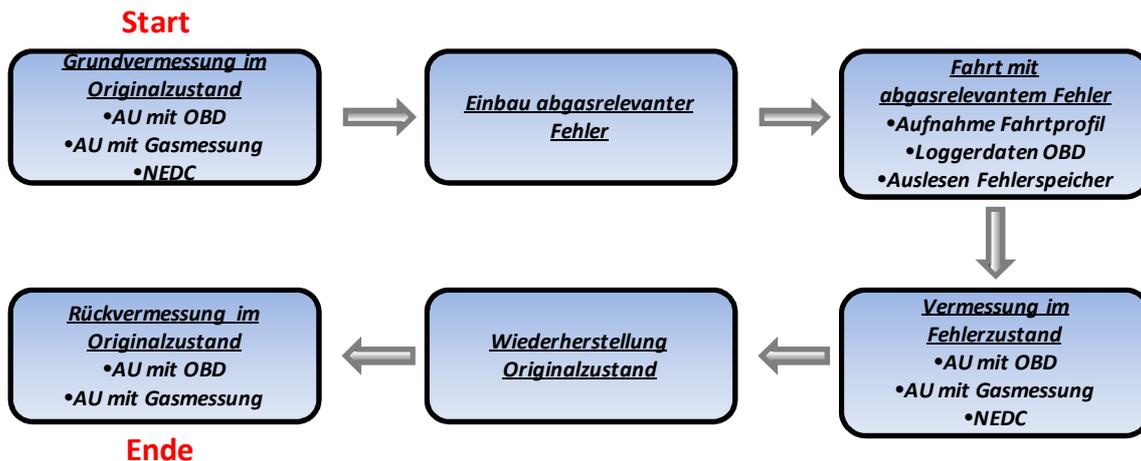


Abb. 6.1: Ablaufschema Versuchsprogramm Fahrerprobung

Die Abgasuntersuchung (AU), die für die auszuwählenden Fahrzeuge nach [7] nur noch die OBD-Überprüfung vorschreibt, sofern keine abgasrelevanten Fehler vorliegen, wurde um eine *Prüfung mit Gasmessung* erweitert, wobei in Analogie zu Abschnitt 4 wiederum im Testsystem eine Vordatierung des Fahrzeugherstellungsdatums vorgenommen worden ist. Sämtliche Prüfungen fanden bei der Firma FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH Dresden statt.

Es kam einheitlich nachfolgende Messtechnik zum Einsatz:

Dieselfahrzeug:

Geeichter Messwert:	Trübung			
	Bezeichnung	Version	Stand	Hersteller
Bedienereführung	AVL DIX AU-DE LF4	V4.5 LF4	01/2010	AVL DITEST GmbH
AU-Messgerät	AVL DiSmoke 480	V2.4	08/2008	AVL DITEST GmbH
Auslesegerät	AVL DIOBD 880	V1.7	02/2010	AVL DITEST GmbH

Benzinfahrzeug:

Geeichter Messwert:	CO, CO ₂ , HC, O ₂			
	Bezeichnung	Version	Stand	Hersteller
Bedienereführung	AVL DIX AU-DE LF4	V4.5 LF4	01/2010	AVL DITEST GmbH
AU-Messgerät	AVL DiGas 480	V2.7	10/2009	AVL DITEST GmbH
Auslesegerät	AVL DIOBD 880	V1.7	02/2010	AVL DITEST GmbH

Die Rollenprüfzyklen NEDC (New European Driving Cycle) nach [8] wurden bei der DEKRA Automobil GmbH im Technology und Automobil Test Center in Klettwitz absolviert.

6.2 Ausgewählte Fahrzeuge und Fehlersimulationen

Mit Unterstützung der Firma FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH Dresden standen nachfolgende Fahrzeuge, die hier hinsichtlich Herstellernamen wiederum anonymi-

siert behandelt werden, leihweise zur Verfügung:

Diesel-Fahrzeug:

Diesel I: (PKW 1.6l , 77 kW TDI, Euro 5; Erstzulassung 05/2010)

Diesel II: (PKW 2.7l , 150 kW HDI, Euro 4; Erstzulassung 10/2007)

Diesel III: (PKW 1.4l , 66 kW CR, Euro 5; Erstzulassung 07/2010) ⁽¹⁾

Benzin-Fahrzeug:

Benzin I: (PKW 1.4l , 77 kW Turbo mit Saugrohreinspritzung; Euro 5;
Erstzulassung 09/2010)

Benzin II: (PKW 1.2l , 55 kW mit Saugrohreinspritzung; Euro 5;
Erstzulassung 12/2010)

⁽¹⁾: nur eingeschränkte Prüfung, siehe Abschnitt 6.3

Fahrzeug I repräsentiert dabei jeweils einen heimischen Hersteller mit Mitgliedschaft im VDA (Verband der Automobilindustrie) und Fahrzeug II bzw. III ein Importfahrzeug.

6.3 Realisierung Fehlersimulation an den Versuchsfahrzeugen

Die Art und Weise der Simulation eines Fehlers stellt innerhalb dieser Untersuchung zunächst zwei grundlegende Fragen, nämlich

- was ist als abgasrelevant einzustufen und
- in welchem Bezug steht dieser Fehler zur OBD und insbesondere zur erweiterten AU mit Emissionsmessung?

Hinsichtlich der zusätzlichen AU Emissionsmessung sind die tatsächlich zu messenden Emissionsgrößen, nämlich beim Diesel die Opazität stellvertretend für Rußemission und beim Benziner CO entsprechend [7] eindeutig fixiert.

In Fragen der Abgasrelevanz sind in [7] maßgebliche Kriterien für die unterschiedlichen Antriebsarten sowohl mit als auch ohne OBD aufgeführt, wobei in der nachfolgenden Untersuchung auf folgende potenzielle Fehler Bezug genommen wird:

Fehlerkategorie [7]	Umsetzung im Versuchsfahrzeug
„Abgasrückführungs-Systeme“	<i>Diesel I</i>
„Sonstige Abgasnachbehandlungs-Systeme (z.B. Partikelfilter)“	<i>Diesel II</i>
„Lambdasonden“	<i>Benzin I und Benzin II</i>
„Sensoren, Stellgliederleitungen“	<i>Diesel I, Diesel II und Diesel III</i>

Mit dem Hintergrund, dass die simulierten Fehler auch eine hohe Praxisrelevanz besitzen sollten, wurden im Einzelnen realisiert:

- *Diesel I:* Drossel in AGR-Leitung (z.B. Verschmutzung/Beschädigung)
- *Diesel II:* Zerstörung kompletter Einlassquerschnitt des DPF (Abb. 6.2); Entfernung Leitung Differenzdrucksensor
- *Benzin I:* Adapter mit Nebenluft vor Lambda-Sonde (z.B. Sensordefekt)
- *Benzin II:* analog *Benzin I*
- *Diesel III:* Temperatursensoren DPF abgeklemmt oder ausgebaut, Differenzdrucksensorleitung abgeklemmt (z.B. Sensordefekt, fehlerhafter Anschluss)

Im Fall der Diesel-Fahrzeuge waren ursprünglich einheitlich Manipulationen unmittelbar am DPF geplant. Es musste aber nach Fahrzeugbeschaffung am *Diesel I* festgestellt werden, dass der Ausbau des DPF wegen der motornahen Anordnung nur mit einschneidenden Umbauten am Gesamtfahrzeug möglich gewesen wäre. Dies trifft nach durchgeführter Recherche auch für einen Großteil anderer Fahrzeugtypen mit Euro 5 zu, da oftmals mit motornahem DPF gearbeitet wird. Da hier Leihfahrzeuge zum Einsatz kamen, waren größere Eingriffe am Fahrzeugaufbau nicht möglich bzw. zulässig.



Abb. 6.2: DPF mit zerstörtem Einlassquerschnitt für Fahrzeug *Diesel II*

Im Fall *Diesel III*, wäre der Umbau trotz hohem Aufwand möglich gewesen. Dieser Fahrzeugimport war speziell wegen der hohen Verkaufszahlen ausgewählt worden. Das Fahrzeug ist aber erst kurze Zeit am Markt verfügbar, sodass die Ersatzteile beim Hersteller bzw. der Händlervertragswerkstatt noch nicht gelistet und in abseh-

barem Zeithorizont aus Übersee auch nicht lieferbar waren.

Ersatzweise kam im Sinne einer termingerechten Bearbeitung des Vorhabens in Absprache mit dem Auftraggeber das Fahrzeug *Diesel II* mit Euro 4, das in Abschnitt 4.1.4 bereits als sogenannter *Diesel 4* Erwähnung fand, zum Einsatz, da hierfür entsprechende Umbauteile für Manipulationen verfügbar gemacht werden konnten.

6.4 Bewertungskriterien für Fehleridentifikation

Die Identifikation der verbauten abgasrelevanten Fehler erfolgte in Hinblick auf die zulässigen Grenzwerte in den Testprozeduren nach Ablaufplan in Abbildung 6.1.

Als Grenzwerte für die OBD mit Abgasmessung wurden die im eingesetzten Diagnosergerät hinterlegten fahrzeugspezifischen Daten verwendet, wonach ein Ergebnis mit „Bestanden“ oder „nicht Bestanden“ entsprechend der Fahrzeugeinstufung bescheinigt wird. Gleichermaßen wird der reine OBD-Test zertifiziert. Beides ist im Abschnitt 6.5 jeweils in Tabellenform mit Aufnahme der wichtigsten Kontrollgrößen dargestellt. Die Emissionsmessungen am Abgasrollenprüfstand nach [8] werden in Diagrammform ausgewertet, wobei der Abgasmesswert in Bezug auf den zulässigen Grenzwert gesetzt wird. In einer Zusammenfassung sind die entsprechenden Grenzwerte in Abbildung 6.3 dargestellt, wobei hier Euro 5 bzw. Euro 4 speziell für Fahrzeug *Diesel II* interessieren.

Stage	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	#/km
Compression Ignition (Diesel)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16) -	0.97 (1.13) -	0.14 (0.18) -			
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01a	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09b	0.50	-	0.23	0.18	0.005f	-
Euro 5b	2011.09c	0.50	-	0.23	0.18	0.005f	6.0×10 ⁻¹¹
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005f	6.0×10 ⁻¹¹
Positive Ignition (Gasoline)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16) -	0.97 (1.13) -	-	-	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-	-
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-	-
Euro 5	2009.09b	1.0	0.10d	-	0.06	0.005e,f	-
Euro 6	2014.09	1.0	0.10d	-	0.06	0.005e,f	-

* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N1 vehicles

† Values in brackets are conformity of production (COP) limits

a - until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)

b - 2011.01 for all models

c - 2013.01 for all models

d - and NMHC = 0.068 g/km

e - applicable only to vehicles using DI engines

f - 0.0045 g/km using the PMP measurement procedure

Abb. 6.3: EU Emission Standards for Passenger Cars (Category M1*) [11]

Gelb gekennzeichnet in Abb. 6.3 sind die zumindest in mittelbarem Bezug zur AU stehenden Messgrößen für Benzin-Fahrzeuge, grau sind diejenigen für Diesel-Fahrzeuge kenntlich gemacht.

Im Zusammenhang mit den in diesem Projekt angestellten Untersuchungen ist festzuhalten, dass spätestens für Diesel-Fahrzeuge ab Euro 6 gemäß Abbildung 6.3 die Einführung des Grenzwertes „Partikelanzahl“ gänzlich neu zum Tragen kommt.

Für die Kontrolle von Fehlerzuständen im Fahrbetrieb kamen zum Einsatz:

- TEXA OBD GATEWAY MODUL, V.3.0.0 von TEXA S.p.A. für die permanente Überwachung von OBD-Fehlern und für die zeitgesteuerte Messdatenaufzeichnung während der Fahrerprobung
- Drive Recorder NG der IAV GmbH zum zyklischen Dokumentieren der Eintragungen im Fehlerspeicher und Überwachung der MIL-Funktion

Zum näheren Verständnis der Bewertung der ausgewerteten Fehler wird Abbildung 6.4 angeführt. Sie zeigt exemplarisch ein Fehlerprotokoll des OBD-Loggers inklusive einiger Erläuterungen zum Fehler-Code.

Scan Fahrtenreport

FAHRTEN REPORT

Kennzeichen: DDC6 Fahrtbeginn: 18.05.11 10:33:28
 Fahrzeugident-Nr.: UNKNOW_VIN Fahrtende: 18.05.11 10:59:15
 Nr. Fahrt: 164

Liste der DTC-Fehler

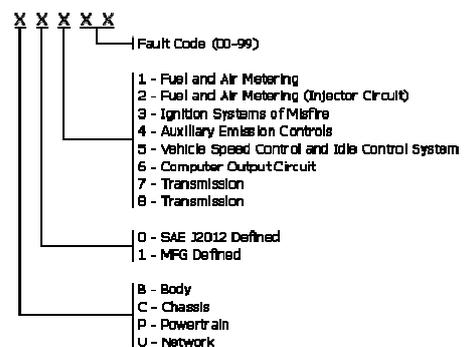
Steuergerät	Fehlercode	Beschreibung	Datum/Uhrzeit des Fehlers
0xA4	U1213	-	18.05.2011 10:33:29

Gespeicherte DTC-Fehler

Steuergerät	Fehlercode	Beschreibung
0xA4	U1213	-

Erläuterung Fehler Code [9]

ein DTC (Diagnostic Trouble Code) setzt sich aus 5 Stellen - einem Buchstaben und vier Zahlen - zusammen.



Es gibt genannte Fehlercodes, auf die alle Hersteller zurückgreifen können sowie herstellereigene Codes.

Auswertung:

Es wird unterschieden in Fehler,

- die lediglich sporadisch in der „Liste der DTC-Fehler“ erscheinen und
- Fehler, die gespeichert werden, siehe

Abb. 6.4: Beispiel eines Protokolls des eingesetzten OBD-Loggers

Sämtliche Straßenfahrten sind weitestgehend durchgehend protokolliert worden. Während der Fahrten registrierte Fehler werden in Bezug auf das gleichfalls anhand

ausgewählter Motorgrößen mitgeloggte Fahrprofil in Diagrammform hinterlegt. Die in den Diagrammen aufsummierten Einzelfahrleistungen wurden aus den Fahrzeuggeschwindigkeiten berechnet. Aufgrund der vergleichsweise geringen Aufzeichnungsraten von 1Hz bzw. später von 0,2Hz stimmen die berechneten Fahrleistungen nicht exakt mit der Abrechnung nach Handprotokoll im „Fahrtenbuch“ überein. Das ist hier aber von untergeordneter Bedeutung, da lediglich ein Eindruck vom Fahrprofil und die zeitliche Zuordnung der Fehlerereignisse dargestellt werden sollen.

Abbildung 6.5 zeigt beispielhaft den Ausdruck einer Protokollierung des Fehlerspeichers, der zusätzlich zur Fahrerbeobachtung zur Dokumentation der MIL-Funktion dient. Die wichtigsten Informationen, die hier zur Auswertung herangezogen werden, sind kenntlich gemacht.

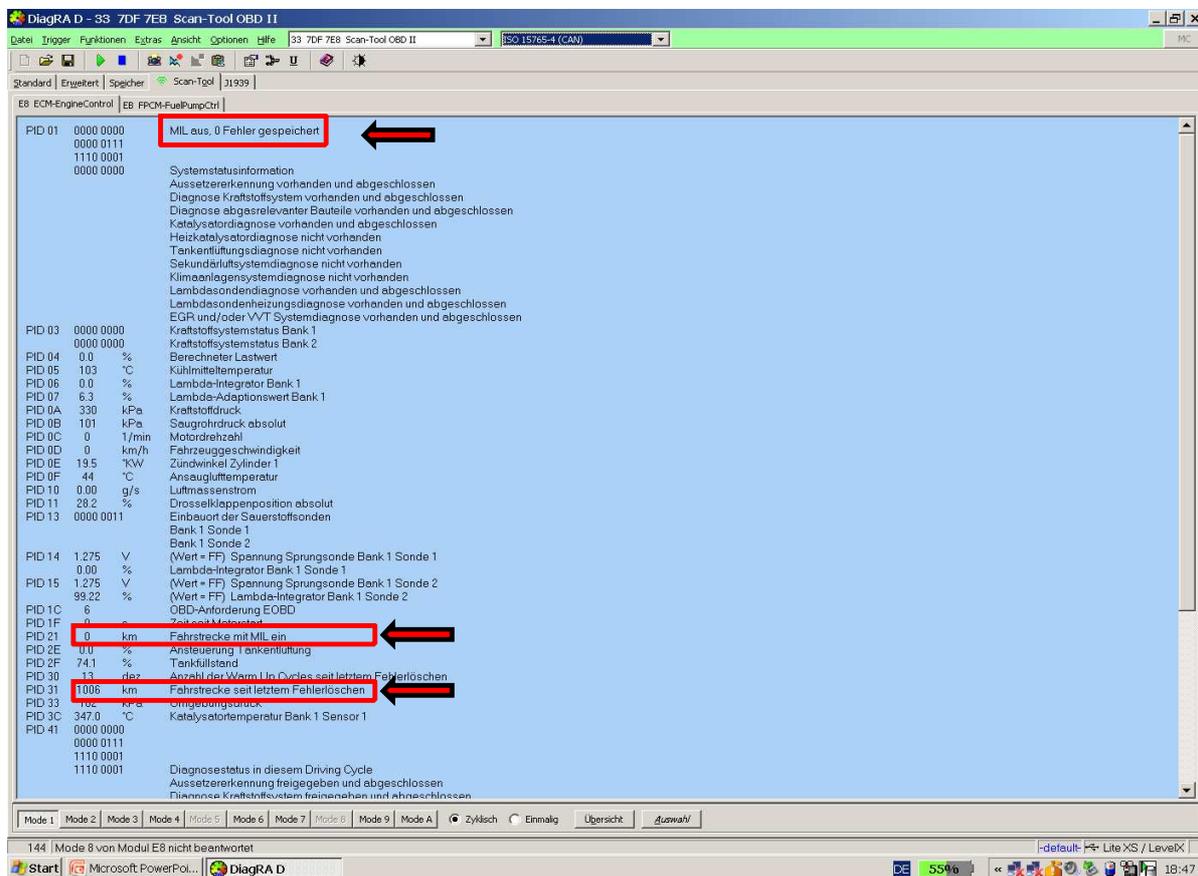


Abb. 6.5: Beispiel Protokoll Fehlerspeicher

Auf einem zusätzlichen Protokollschrieb werden im Recorder in Analogie zu Abbildung 6.4 auch die gespeicherten Fehler-Codes ausgewiesen, was in Abbildung 6.5 nicht extra dargestellt ist. Für deren Deutung im Klartext gibt es zahlreiche Hinweise im Internet, die allerdings nicht immer allgemeinverlässlich sind. Wenn entsprechende Technik verfügbar war, wurden die Fehlercodes zusätzlich mit fahrzeugtypspezi-

fischen Diagnose-Testern übersetzt, worauf im Abschnitt 6.5 noch speziell eingegangen wird.

6.5 Ergebnisse

Die Bewertung der Prüfergebnisse und Fahrtbeobachtungen wird in Chronologie der Versuchsdurchführung abgearbeitet. Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen und zur Vorgehensweise sind in den vorangestellten Abschnitt 6.1 bis 6.4 dargelegt.

6.5.1 Fahrzeug *Diesel I*

Die AU-Vermessung an diesem Fahrzeug war problematisch. Sowohl im Eingangstest als auch in der Prüfung mit eingebautem Fehler wurde jeweils der Readiness-Code, auf den bereits in Abschnitt 4.2.1 näher eingegangen wurde, nicht gesetzt. Das führt innerhalb der Prüfvorgabe OBD 2 zwangsläufig zu einer Überleitung in die Phase „Abgasmessung“, worunter die Endrohrprüfung zu verstehen ist. Mit diesem Fahrzeug konnte darüber hinaus aber generell keine Prüfung mit Abgasmessung durchgeführt werden, da im Rußstoß die anzufahrende Abregeldrehzahl nicht annähernd erreicht wurde. Der Grund für dieses Fahrzeugverhalten konnte nicht ermittelt werden. Obwohl im OBD-Diagnosetest jeweils kein abgasrelevanter Fehler angezeigt wurde, brach die eingesetzte Messtechnik die Testprozedur ab. Erst im Test nach Rückbau auf Originalzustand lag erstmals eine Prüfbereitschaft vor, um zumindest die OBD-Daten zu protokollieren. Die Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse dieser AU erfolgt in Tabelle 6.1, wonach der OBD-Test bestanden wird.

Tabelle 6.1: Prüfergebnis AU am Fahrzeug *Diesel I*

ca. 18000km					
Datum	Test		ohne Abgasmessung	mit Abgasmessung	Messwert
	Diesel mit OBD	Prüfbereitschaft	alle Systemtests durchgeführt	Abregeldrehzahl nicht erreicht	
24.02.2011	Rückvermessung AU	Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	0	Prüfung nicht möglich	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.		
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.		
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.		
		AVL DiSmoke 480 (V2.4 - 08/2008)			
		Gasstoß 1			
		Gasstoß 2			
		Gasstoß 3			
		Abgasuntersuchung	Bestanden	kein Befund	

Die Ergebnisse zur Vermessung der Emissionen im NEDC mit und ohne abgasrelevanten Fehler entsprechend Abbildung 6.1 sind in Abbildung 6.6 dargestellt. In Vorwegnahme sind hier bereits die Ergebnisse für die Fahrzeuge *Diesel II* und *Diesel III* enthalten. In dieser Darstellung wird, wie später auch in Abbildung 6.9, in der Ordinate eine Skalierung in % vom zulässigen Grenzwert, der sich aus Abbildung 6.3 ableitet, gewählt. Das Erreichen des Grenzwertes entspricht also dem Wert 100%.

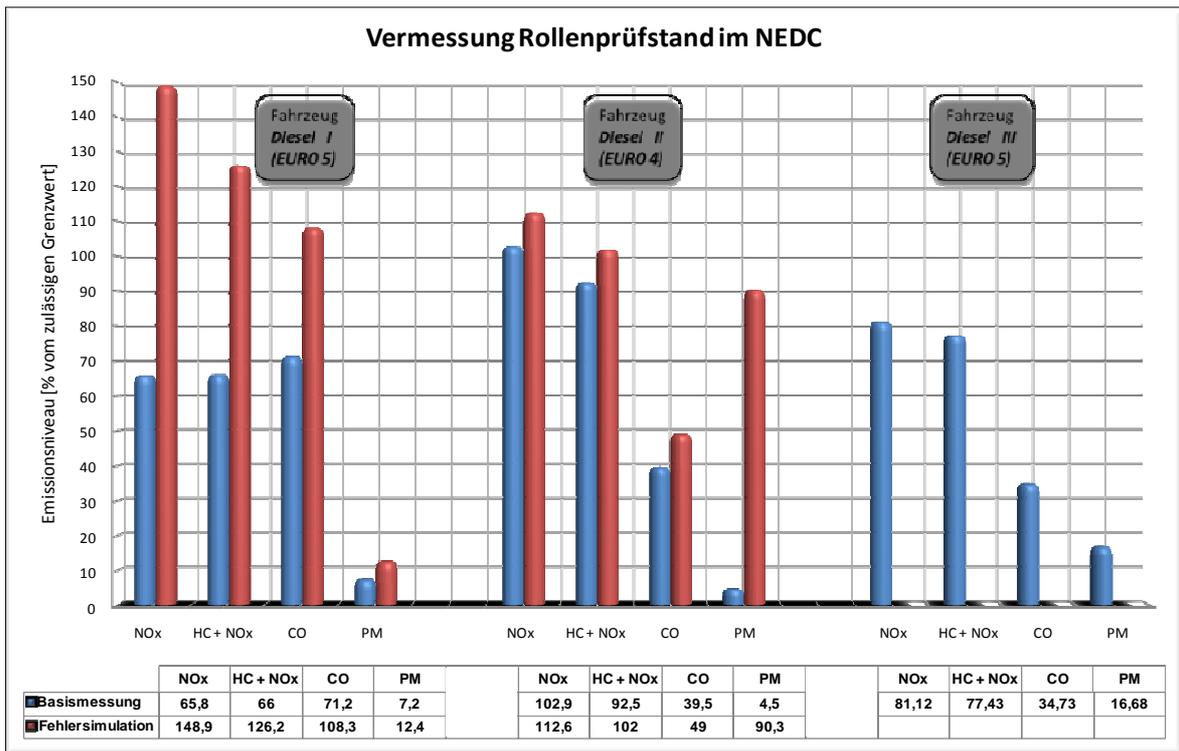


Abb. 6.6: Ergebnisse Emissionstests für alle betrachteten Fahrzeuge Diesel

Für das Fahrzeug *Diesel I* ist ein deutlicher, emissionsrelevanter Einfluss der Fehlersimulation speziell für NOx zu erkennen, der in unmittelbarem Zusammenhang mit der manipulierten AGR steht. Naturgemäß wird der Fehler in Bezug auf die PM-Emission nur unwesentlich wirksam, womit er auch im AU-Test in der Abgasmessung zur Opazität nicht auffällig sein würde.

Das Fahrprofil der Erprobungsfahrt „mit eingebautem Fehler“ zeigt Abbildung 6.7.

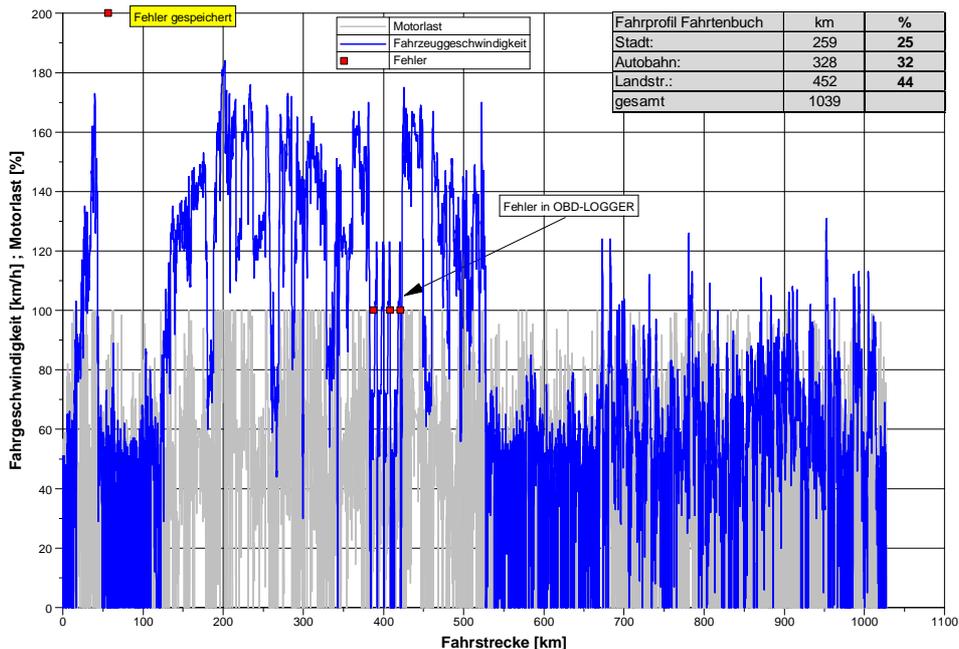


Abb. 6.7: Fahrprofil und Fehlermeldungen Fahrzeug Diesel I

Dargestellt ist der Zusammenschnitt von insgesamt 25 Fahrabschnitten, die an 5 Tagen absolviert worden sind. In der Legende im oberen rechten Teil des Diagrammes sind die tatsächlichen Fahranteile gemäß Fahrtenbucheintrag ausgewiesen. Im Vorfeld der dargestellten Erprobung wurden Fehlereinstellungen zur Manipulation der AGR variiert. Eine komplett geschlossene oder auch eine zu stark gedrosselte Rückführleitung wird vom Systemtest mit der Fehlermeldung „Abgasrückführung – Unzureichender Durchfluss festgestellt“ erkannt und als Fehler gesetzt (s. Anfang Diagramm in Abb. 6.7). Nach Löschen dieses Fehlers und nach Reduktion der Drosselstelle wird der gleiche Fehler noch 3mal im zeitlichen Umfeld des Abgasrollentests sporadisch gemeldet, nicht aber abgespeichert. Eine Anzeige der MIL wurde nicht registriert.

6.5.2 Fahrzeug Diesel II

An diesem Fahrzeug erfolgte die Simulation eines DPF-Fehlers in der Art, dass die gesamte DPF-Einlassfront gemäß Abbildung 6.2 mechanisch zerstört worden ist. Tabelle 6.2 zeigt die Ergebnisse aller durchgeführten AU mit dem Fahrzeug *Diesel II*. Die Messungen mit Fehlersimulation sind, wie auch in allen weiteren Auswertungen dieser Art, grau untersetzt.

Tabelle 6.2: Prüfergebnisse AU am Fahrzeug Diesel II

ca. 28000km					
Datum	Test		ohne Abgasmessung	mit Abgasmessung	Messwert
05.05.2011	Diesel mit OBD Grundvermessung AU	Prüfbereitschaft	alle Systemtests durchgeführt	alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	0	0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		AVL DiSmoke 480 (V2.4 - 08/2008)			
		Gasstoß 1		i.O.	0,03
		Gasstoß 2		i.O.	0,04
		Gasstoß 3		i.O.	0,04
		Trübungsmitelwert [1/m]		i.O.	0,04
Abgasuntersuchung		Bestanden	Bestanden		
11.05.2011	Diesel mit OBD AU mit Manipulation (1)	Prüfbereitschaft	Readyness-Code nicht gesetzt automatisch Anwahl mit Endrohr	nicht alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)		0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		AVL DiSmoke 480 (V2.4 - 08/2008)			
		Gasstoß 1		i.O.	0,48
		Gasstoß 2		i.O.	0,48
		Gasstoß 3		i.O.	0,51
		Trübungsmitelwert [1/m]		i.O.	0,49
Abgasuntersuchung		Bestanden	Bestanden		
16.05.2011	Diesel mit OBD AU mit Manipulation (2) (Wiederholung)	Prüfbereitschaft	alle Systemtests durchgeführt	alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	0	0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		AVL DiSmoke 480 (V2.4 - 08/2008)			
		Gasstoß 1		i.O.	0,4
		Gasstoß 2		i.O.	0,42
		Gasstoß 3		i.O.	0,43
		Trübungsmitelwert [1/m]		i.O.	0,42
Abgasuntersuchung		Bestanden	Bestanden		
18.05.2011	Diesel mit OBD Rückvermessung AU	Prüfbereitschaft	alle Systemtests durchgeführt	nicht alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	1	0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		AVL DiSmoke 480 (V2.4 - 08/2008)			
		Gasstoß 1		i.O.	0,03
		Gasstoß 2		i.O.	0,03
		Gasstoß 3		i.O.	0,04
		Trübungsmitelwert [1/m]		i.O.	0,03
Abgasuntersuchung		nicht Bestanden	Bestanden		

Im Fall der AU mit Fehlersimulation vom 11.05.2011 wurde zunächst wiederum kein Readiness-Code gesetzt. Wird bei Fahrzeugen kein Readiness-Code gesetzt, ist der Prüfer verpflichtet, eine Abgasuntersuchung durchzuführen. Aktuelle Geräte nehmen das automatisch vor, es wird also zusätzlich wie bei Fahrzeugen mit EZ vor 01.01.2006 verfahren. Nach der Absolvierung der Vermessung im NEDC auf dem Rollenprüfstand, d.h. nach Absolvierung hinreichender Fahrleistung, wurde der Test ohne Beanstandung wiederholt. In der AU-Endvermessung mit wieder eingebautem, originalen DPF sind zunächst alle Systemtests durchgeführt, aber ein Fehler erkannt worden. Mit einem Diagnosegerät des Fahrzeugherstellers wurde dieser als Fehler „Bremslichtschalter“ identifiziert. Warum das als abgasrelevant eingestuft wurde, bleibt unklar. Nach Löschen dieses Fehlers lagen dann naturgemäß nicht alle Systemtests vor und es wurde automatisch die AU mit Gasmessung durchlaufen. Auf eine Wiederholung nach entsprechend erneutem Freifahren des Fahrzeuges wurde in diesem Fall verzichtet.

Die Trübungsmessung lag trotz eingebautem, gravierenden Fehler noch in der zulässigen Grenze, worauf später noch genauer eingegangen wird.

Im NEDC wird nach Abbildung 6.6 mit schadhaftem Filter eine sehr starke Überhöhung des ursprünglichen Partikelwertes festgestellt. Der Grenzwert für Euro 4 wird allerdings nicht überschritten. Dieser liegt gemäß Abb. 6.3 allerdings auch noch um den 5-fachen Wert höher als nach Euro 5. Eine in gleicher Weise durchgeführte Fehlersimulation hätte an einem Euro 5 Fahrzeug sicherlich zum deutlichen Überschreiten des zulässigen Grenzwertes geführt.

Das Fahrprofil nach Abbildung 6.8 setzt sich aus 18 Fahrabschnitten innerhalb von 5 Tagen Erprobung zusammen. Die Aufschlüsselung zum Fahrprofil ist wiederum als Legende im Diagramm vermerkt. Es offenbart sich eine Vielzahl an Fehlern.

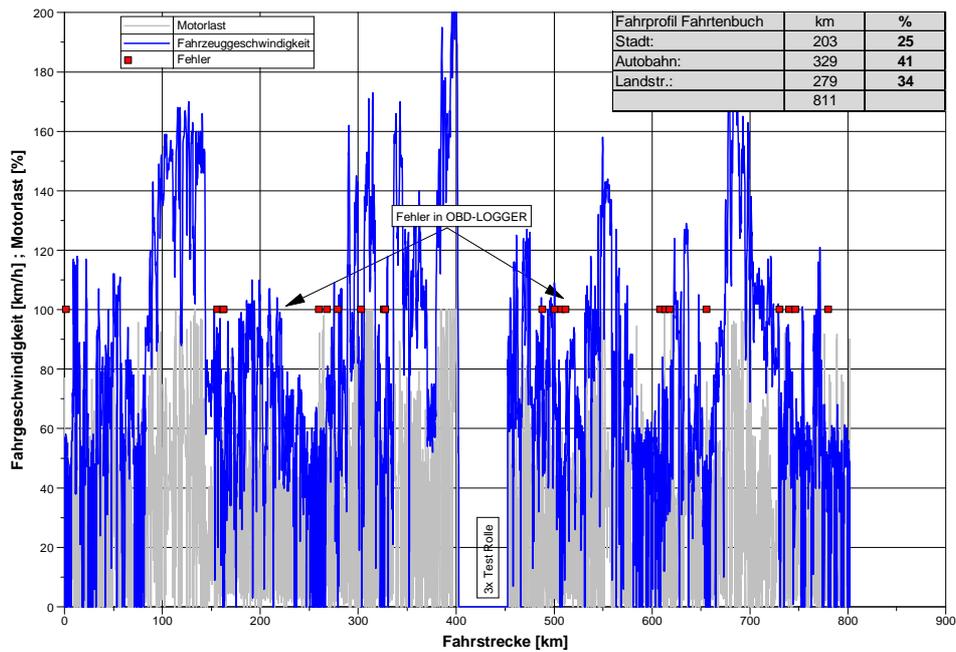


Abb. 6.8: Fahrprofil und Fehlermeldungen Fahrzeug *Diesel II*

Bei den angezeigten sporadischen Fehlern handelt es sich allerdings immer um ein und denselben Fehler-Code vom Typ U, der sich gemäß Erläuterung in Abb. 6.4 dem Typ „Network“ zuordnen lässt. Eine detailliertere Identifikation anhand von Fehlermeldungen erwies sich als widersprüchlich. Nach Fahrerbeobachtung hängt der Fehler wahrscheinlich mit der ESP-Steuerung des Fahrzeuges zusammen, da sehr häufig zeitgleich das Aufleuchten der entsprechenden Kontrolllampe beobachtet worden ist. Eine Warnung der MIL erfolgte über dem gesamten Erprobungszeitraum nicht.

6.5.3 Fahrzeug *Diesel III*

Obwohl mit diesem Fahrzeug nicht die ursprünglich geplanten Fehlersimulationen am DPF absolviert worden sind, können nachfolgende Beobachtungen in die Auswertung einfließen. In Tabelle 6.3 ist die Eingangsmessung zur AU vermerkt.

Tabelle 6.3: Prüfergebnis AU am Fahrzeug *Diesel III*

ca. 1100km			ohne Abgasmessung	mit Abgasmessung	Messwert
Datum	Test				
	Diesel mit OBD	Prüfbereitschaft	Readyness-Code nicht gesetzt	nicht alle Systemtests durchgeführt	
18.04.2011	Grundvermessung AU	Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	automatisch Anwahl mit Abgas	i.O.	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		AVL DiSmoke 480 (V2.4 - 08/2008)			
		Gasstoß 1		i.O.	0
		Gasstoß 2		i.O.	0
		Gasstoß 3		i.O.	0
		Trübungsmittelwert [1/m]		i.O.	0
		Abgasuntersuchung	kein Befund	Bestanden	

Das Nichtsetzen des Readiness-Codes führte beim Fahrzeug *Diesel III* bereits im nicht manipulierten Zustand zum unmittelbaren Ansteuern der Abgasmessung. Die Ursache konnte in diesem Fall nicht eingegrenzt werden, da es keinerlei ergänzenden Hinweise seitens der Messtechnik gab.

Sowohl in der AU als auch in der PM-Messung nach Abbildung 6.6 gibt es keine Auffälligkeiten.

In kurzen Tests zu jeweils ca. 25km Fahrstrecke (Stadt- und Autobahnfahrt) wurde im Nachgang zur Grundvermessung zum einen der Temperatursensor vor DPF aus dem Abgasstrang ausgebaut und/oder der Temperatursensor nach DPF elektrisch abgeklemmt. Ein zweiter Test wurde mit offener Differenzdruckstrecke absolviert, indem die Druckleitung vor DPF gegen Atmosphäre geschaltet worden ist. Beide Fehlersimulationen blieben unentdeckt, d.h. es kam zu keiner Fehleranzeige oder MIL-Reaktion. Eine Überprüfung dieser Fehlersimulation durch AU erfolgte nicht.

6.5.4 Fahrzeug *Benzin I*

Tabelle 6.4 beinhaltet das Ergebnis aller AU-Messungen für das Fahrzeug *Benzin I*.

Tabelle 6.4: Prüfergebnisse AU am Fahrzeug *Benzin I*

ca. 11000km					
Datum	Test		ohne Abgasmessung	mit Abgasmessung	Messwert
11.03.2011	<i>G-Kat mit OBD</i> Grundvermessung AU	Prüfbereitschaft	alle Systemtests durchgeführt	alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	0	0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Abgasuntersuchung	Bestanden	Bestanden	
		erhöhte Drehzahl			
		Drehzahl [min-1]		i.O.	2810
		Lambda		i.O.	1.002
		CO		i.O.	0
16.03.2011	<i>G-Kat mit OBD</i> AU mit Manipulation	Prüfbereitschaft	alle Systemtests durchgeführt	alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	0	0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Abgasuntersuchung	Bestanden	nicht Bestanden	
		erhöhte Drehzahl			
		Drehzahl [min-1]		i.O.	2800
		Lambda		i.O.	0.915
		CO		i.O.	2.92
23.03.2011	<i>G-Kat mit OBD</i> Rückvermessung AU	Prüfbereitschaft	alle Systemtests durchgeführt	alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	0	0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Abgasuntersuchung	Bestanden	Bestanden	
		erhöhte Drehzahl			
		Drehzahl [min-1]		i.O.	2890
		Lambda		i.O.	1.002
		CO		i.O.	0
23.03.2011	<i>G-Kat mit OBD</i> Rückvermessung AU	Leerlauf			
		Drehzahl [min-1]		i.O.	780

Die Fehlersimulation durch Bypass an der Lambda-Sonde wird im OBD-Prüfzyklus nicht erkannt und erst durch die Abgasmessung offenkundig.

Im NEDC auf der Rolle kommt es zu einem Ergebnis nach Abbildung 6.9, wobei wieder bereits beide Testfahrzeuge *Benzin* zusammengefasst worden sind. In beiden Fällen kam der gleiche Fehlersimulationsansatz, d.h. eine Manipulation an der Lambda-Sonde, zum Tragen.

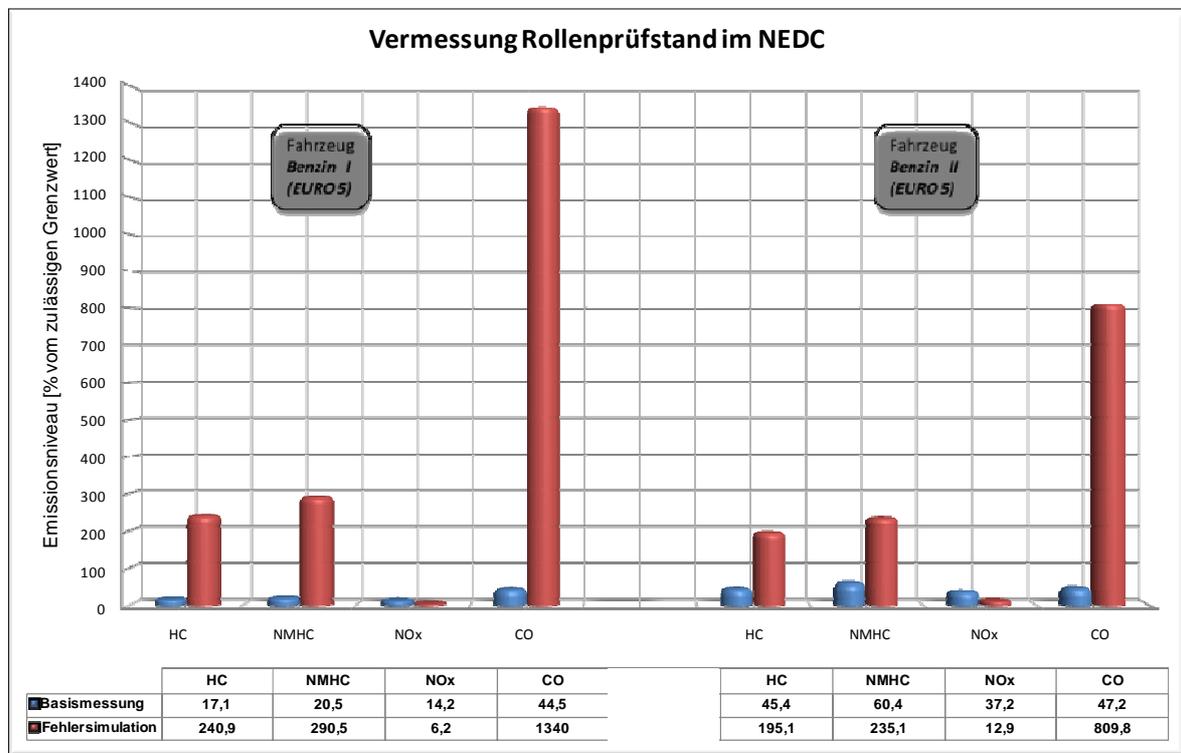


Abb. 6.9: Ergebnisse Emissionstests für alle betrachteten Fahrzeuge *Benzin*

Nach Löschen vorhandener Fehler wurde das Fahrprofil entsprechend Abbildung 6.10 durchlaufen.

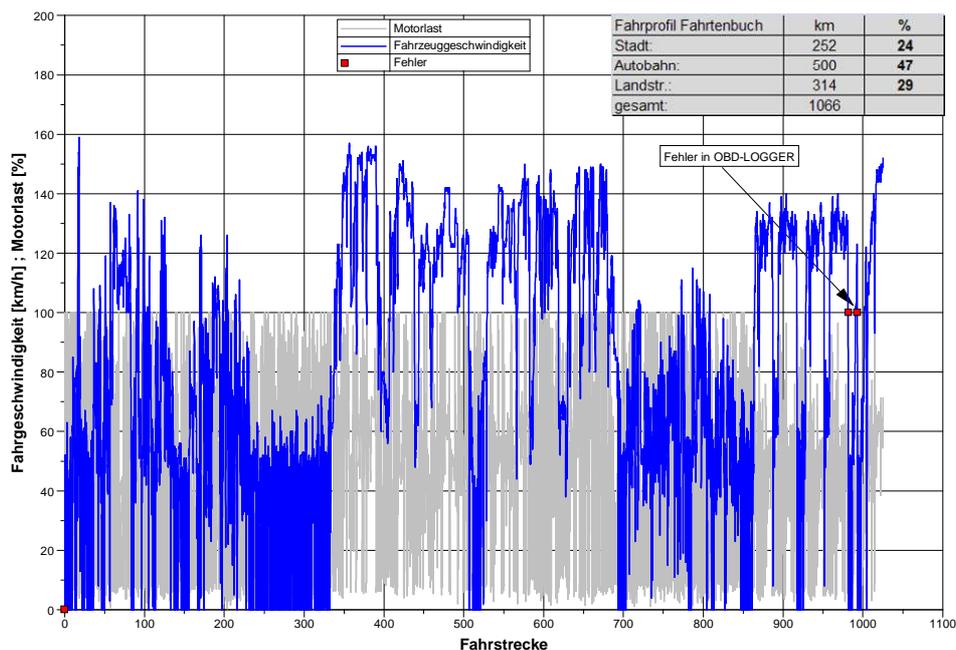


Abb. 6.10: Fahrprofil und Fehlermeldungen Fahrzeug *Benzin I*

Es setzt sich aus 23 Teilabschnitten zusammen, die an 6 Tagen absolviert worden sind und sich nach der Legende in der Abbildung aufschlüsseln.

Die angezeigten Fehler stehen in Zusammenhang mit der Rollenprüfung und werden mit der Fehlermeldung „LF Wheel Speed Sensor Input Signal is 0“ an dieser Stelle als nicht abgasrelevant eingestuft. In der Summe sind also über der gesamten Fehler-simulation keine abgasrelevanten Fehler und entsprechend auch keine MIL-Warnung gesetzt worden.

Im Vorfeld der Tests ist am Fahrzeug *Benzin I* zusätzlich die Lambda-Sonde aus dem Abgasstrang entfernt worden. Dies wurde durch Fehler setzen mit Kennung „Bank Sonde1 – Spannung zu klein“ erkannt, nicht aber in einer kurzen Stadtfahrt durch Aufleuchten der MIL signalisiert. Eine Überprüfung in einer AU erfolgte nicht.

6.5.5 Fahrzeug *Benzin II*

Die Art der Fehler-simulation sowie Versuchsdurchführung decken sich mit Abschnitt 6.5.4. Die Verstimmung am Fahrzeug wurde lediglich etwas geringer eingestellt.

Tabelle 6.5: Prüfergebnisse AU am Fahrzeug *Benzin II*

ca. 8000km	Datum	Test	ohne Abgasmessung	mit Abgasmessung	Messwert
03.05.2011	G-Kat mit OBD Grundvermessung AU	Prüfbereitschaft	Readyness-Code nicht gesetzt automatisch Anwahl mit Abgas	nicht alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)		0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Abgasuntersuchung		Bestanden	
		erhöhte Drehzahl			
		Drehzahl [1/min]		i.O.	2550
		Lambda		i.O.	1,002
		CO [Vol%]		i.O.	0
		Leerlauf			
		Drehzahl [1/min]		i.O.	830
		Regelsondenprüfung Sprungsonde			
		Regelsonde S1B1 [V]		i.O.	0,58
Prüfdrehzahl B1 [min-1]		i.O.	840		
12.05.2011	G-Kat mit OBD AU mit Manipulation	Prüfbereitschaft	Readyness-Code nicht gesetzt automatisch Anwahl mit Abgas	nicht alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)		0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Abgasuntersuchung		nicht Bestanden	
		erhöhte Drehzahl			
		Drehzahl [1/min]		i.O.	2500
		Lambda		i.O.	0,983
		CO [Vol%]		nicht i.O.	0,59
		Leerlauf			
		Drehzahl [1/min]		i.O.	840
		Regelsondenprüfung Sprungsonde			
		Regelsonde S1B1 [V]		i.O.	0,544
Prüfdrehzahl B1 [min-1]		i.O.	880		
16.05.2011	G-Kat mit OBD Rückvermessung AU	Prüfbereitschaft	Readyness-Code nicht gesetzt automatisch Anwahl mit Abgas	nicht alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)		0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose		i.O.	
		Abgasuntersuchung		Bestanden	
		erhöhte Drehzahl			
		Drehzahl [1/min]		i.O.	2480
		Lambda		i.O.	1,002
		CO [Vol%]		i.O.	0
		Leerlauf			
		Drehzahl [1/min]		i.O.	640
		Regelsondenprüfung Sprungsonde			
		Regelsonde S1B1 [V]		i.O.	0,755
Prüfdrehzahl B1 [min-1]		i.O.	650		

Der nicht gesetzte Readiness-Code führte in allen Messungen trotz reichlich absolvierter Fahrleistung zum Anfahren der Abgasuntersuchung mit Endrohrmessung. Ein Grund hierfür konnte nicht ermittelt werden.

In der Bewertung der AU und der Grenzwertüberschreitung im NEDC besteht weitestgehend Analogie zum Fahrzeug *Benzin I*.

Gemäß Abbildung 6.11 gab es innerhalb der an 8 Fahrtagen absolvierten 17 Fahrtabschnitte mit Fahrprofil gemäß Legende in der Abbildung keine Fehleranzeigen. Gleiches trifft für die MIL zu.

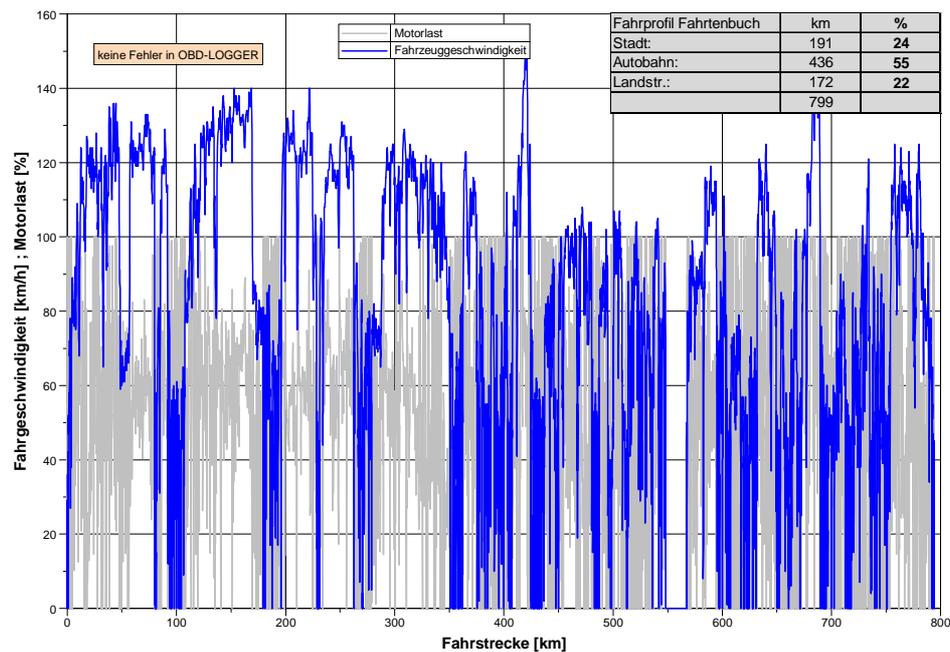


Abb. 6.11: Fahrprofil und Fehlermeldungen Fahrzeug *Benzin II*

6.5.6 Zusatzbetrachtung zum Fahrzeug *Diesel II*

Zur Deutung weiterer Zusammenhänge von OBD mit und ohne Abgasmessung ist in Anlehnung an Abschnitt 4.1.4 am Fahrzeug *Diesel II* nochmals ein Fehler simuliert worden, wie er in der Praxis wohl eher höchst selten auftreten sollte, ohne dass er auch ohne aufwendige Messtechnik zu erkennen wäre.

Es erfolgte zunächst der Einbau eines Leergehäuses anstelle des DPF, d.h. der Partikelfiltereinheit wurde gänzlich entfernt.

In einem zweiten Versuch wurde das erzielte Ergebnis nach Rückbau des DPF mit Manipulation an der Messstrecke des verbauten Differenzdrucksensors überprüft, d.h. in Analogie zu dem Fahrzeug *Diesel III* ist auch hier der Sensoreingang gegen Atmosphäre geschaltet worden. Dies entspricht dann auch eher einem tatsächlich möglichen Fehlerfall, wie z.B. einem Sensordefekt.

Tabelle 6.6 zeigt das Ergebnis der durchgeführten AU in den Messungen ohne DPF.

Tabelle 6.6: Zusatz Prüfergebnisse AU am Fahrzeug Diesel II

Datum	Test		ohne Abgasmessung	mit Abgasmessung	Messwert
18.05.2011	Diesel mit OBD ohne DPF AU	Prüfbereitschaft	nicht alle Systemtests durchgeführt	nicht alle Systemtests durchgeführt	
		Anzahl abgasrelevanter Fehler (Fehlerspeicher)	1	0	
		Sichtprüfung Kontrollleuchte Motordiagnose	i.O.	i.O.	
		Status Kontrollleuchte Motordiagnose	nicht i.O.	i.O.	
		Ansteuerung Kontrollleuchte Motordiagnose	nicht i.O.	i.O.	
		AVL DiSmoke 480 (V2.4 - 08/2008)			
		Gasstoß 1	nicht i.O.	i.O.	0.83
		Gasstoß 2	nicht i.O.	i.O.	0.81
		Gasstoß 3	nicht i.O.	i.O.	0.79
		Trübungsmittelwert [1/m]		nicht i.O.	0.81
		Abgasuntersuchung	nicht Bestanden; Abbruch	nicht Bestanden	

Es ist zunächst eine AU durchgeführt worden, in der die OBD ohne Fehler wegen nicht gesetztem Readiness-Code abgebrochen und in die Endrohrmessung überführt worden ist. In Tabelle 6.6 ist diese Messung in der Spalte „mit Abgasmessung“ vermerkt. Der bestimmte Trübungswert von 0,81 1/m (Spalte Messwert) führte zum Nichtbestehen der AU, da laut Datenbank des Prüfgerätherstellers für dieses Fahrzeug ein Grenzwert von 0,5 1/m hinterlegt ist. Es handelt sich dabei offenbar um eine freiwillige Einschränkung des Fahrzeugherstellers, der allgemein zulässige AU-Grenzwert liegt ansonsten bei 1,5 1/m. Interessanter Weise wird dieser höhere Grenzwert z.B. beim Fahrzeug *Diesel III* auch voll ausgeschöpft, obwohl dieses Fahrzeug mit DPF eine Einstufung nach Euro 5 besitzt.

Auf der Rückfahrt von der AU kam es zum Aufleuchten der MIL und das Fahrzeug wurde unmittelbar zum neuerlichen Test vorgestellt. In der Spalte „ohne Abgasmessung“ in Tabelle D6 ist das Ergebnis dieser Prüfung hinterlegt.

Der ausgewiesene Fehler mit gespeichertem Fehlercode „Abgasdrucksensor "A" – Eingangssignal zu niedrig,, lässt auf eine Fehlererkennung durch Differenzdruckmessung schließen. Um dies zu verifizieren, wurde das in dem bereits genannten zusätzlichen Test mit Manipulation am Differenzdrucksensor nochmals überprüft.

In Abbildung 6.12 ist die gesamte Testphase zur Zusatzuntersuchung protokolliert. Hierin haben die Marken 1...9 nachfolgende Bedeutung:

Marke	Status Fehlermanipulation	Erläuterung	Fahrstrecke [km]
1	ohne	Rückbau auf Original DPF	18
2	ohne	AU Original nach "Fehler gelöscht"	19
3	mit Fehler 1	Leergehäuse ohne Filter	19
4	mit Fehler 1	AU mit Leergehäuse ohne Filter	5
5	mit Fehler 1	AU mit Leergehäuse nach MIL	19
6	mit Fehler 1	weiter mit Leergehäuse und MIL	33
7	ohne	Rückbau auf Original DPF, Fehler gelöscht	33
8	mit Fehler 2	Fehler Differenzdruck eingebaut	38
9	mit Fehler 2	weiter mit Fehler mit MIL	62

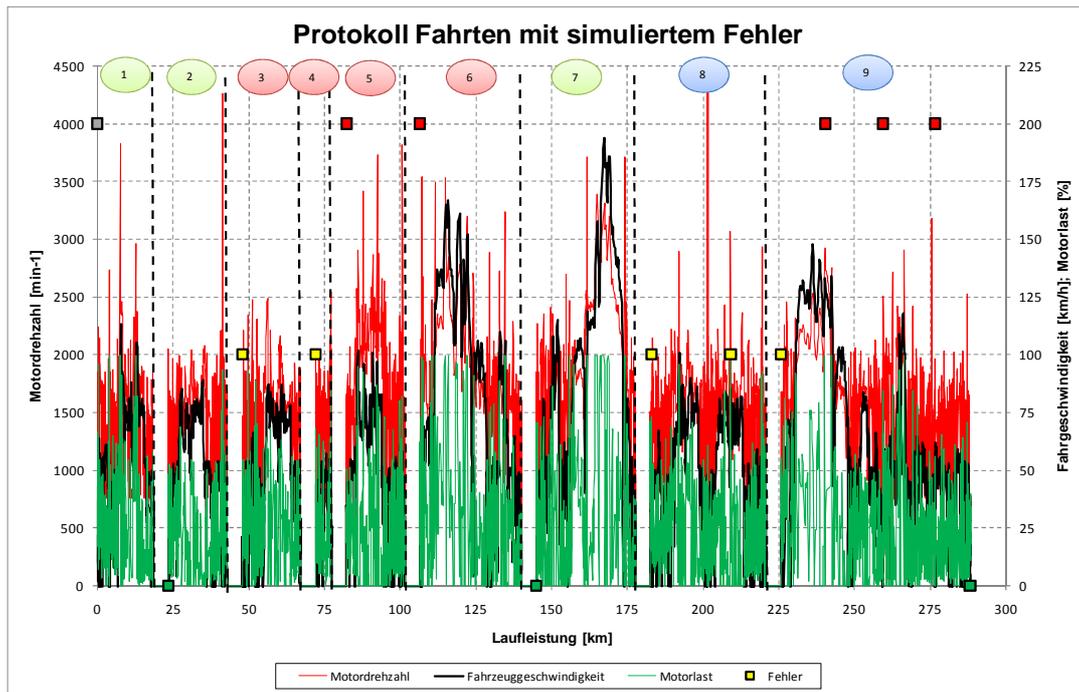


Abb. 6.12: Fahrprofil und Fehlermeldungen Fahrzeug *Diesel II* (Zusatztests)

In Abbildung 6.12 bedeutet ein auf der rechten Ordinate auf den Wert 100 skaliertes Fehler, dass ein Fehlercode sporadisch gesetzt aber noch nicht abgespeichert ist. Der Wert 200 bedeutet einen abgespeicherten Fehler, der hier im Fall der roten Fehlermarkierungen auch mit einer leuchtenden MIL einhergeht. Offenbar bedarf es zur Aktivierung der MIL einer längeren Fahrstrecke bzw. mehrerer Motorstarts.

Mit diesem Test konnte nachgewiesen werden, dass auch über die OBD abgasrelevante Fehler erkannt und signalisiert werden, wenn entsprechende Sensorik, in dem Fall ein Differenzdrucksensor, abgefragt wird.

Es ist in Summe der durchgeführten Messungen festzustellen, dass die jeweils aktive Diagnose tendenziell fahrzeugherstellerabhängig ist, zumindest wurde am Fahrzeug *Diesel III* ein in gleicher Weise *zum Diesel II* simulierter Fehler am Differenzdrucksensor nicht erkannt und signalisiert.

6.5.7 Zusammenfassung Fehlersimulation aller Fahrzeuge

In einer Zusammenfassung aller innerhalb des Abschnittes 6 ausgewerteten Fehlersimulationen an insgesamt 3 Fahrzeugen mit Dieselmotor und an 2 Fahrzeugen mit Ottomotor ergibt sich hinsichtlich der Aussagen zu den durchgeführten Testprozeduren ein Bild nach Tabelle D7.

Tabelle D7: Zusammenfassung alle Fehlersimulationen

Fahrzeug / Abgasnorm	Abschnitt im Bericht	Fehlertyp	in OBD erkannt ?	In Abgasuntersuchung Fehler erkannt ?	Grenzwert NEDC überschritten ?	MIL ausgelöst ?
<i>Diesel I</i> / EURO 5	6.5.1	a) reduzierte AGR	nein	keine Messung möglich, Fehlerart wäre mit AU auch nicht feststellbar	ja: NOx und HC zu hoch	nein
		b) ohne AGR	ja	keine Messung durchgeführt	keine Messung durchgeführt	nein
<i>Diesel II</i> / EURO 4	6.5.2 und 6.5.6	a) stark beschädigter DPF	nein	ja aber i.O. gewertet	nein: PM aber stark erhöht	nein
		b) ohne DPF	ja	ja	keine Messung durchgeführt	ja
		c) Fehler Sensor Differenzdruck	ja	keine Messung durchgeführt	keine Messung durchgeführt	ja
<i>Diesel III</i> / EURO 5	6.5.3	a) manipulation T-Sensor	nein	keine Messung durchgeführt	keine Messung durchgeführt	nein
		b) manipulation Differenzdrucksensor	nein	keine Messung durchgeführt	keine Messung durchgeführt	nein
<i>Benzin I</i> / EURO 5	6.5.4	a) Nebenluft an Lambda-Sonde	nein	ja, CO und Lambda zu hoch	ja: CO + HC zu hoch	nein
<i>Benzin II</i> / EURO 5	6.5.5	a) Nebenluft an Lambda-Sonde	nein	ja, CO zu hoch	ja: CO + HC zu hoch	nein

Im Fall der Benzin-Fahrzeuge *Benzin I und II* werden durch die Abgasmessungen Fehler identifiziert, die mit OBD nicht festgestellt worden sind. Im Fall der DPF-Manipulation am Diesel-Fahrzeug *Diesel II* wird in der Abgasuntersuchung erst ein gänzlich fehlender Filter auffällig. Wie bereits in den Untersuchungen im Abschnitt 4.1.4 konstatiert, hat der Fahrzeughersteller den Kontrollwert für die Rauchgastrübung gegenüber dem allgemein zulässigen Grenzwert deutlich abgesenkt. Die OBD erkennt den Fehler im speziellen Fall durch Differenzdrucküberwachung. An anderer Stelle wird dem entgegen am Fahrzeug *Diesel III* eine Manipulation am Differenzdrucksignal nicht auffällig.

Durch AGR-Verstellung provozierte erhöhte NOx- und HC-Emissionen werden am Fahrzeug *Diesel I* sowohl durch OBD als auch durch Abgasmessung nicht erkannt, sofern die AGR nicht gänzlich unterbrochen wird. Die Überleitung einer nicht bestandenen OBD-Prüfung in die Emissionsendrohrmessung wäre in diesem Fall aber sinnlos, da der Test nur die Trübungsmessung vorsieht.

Im Fall des OBD-Tests kommt es in der AU sowohl bei Diesel- als auch Benzinfahrzeugen zum Nichtbestehen, da wiederholt der sogenannte Readiness-Code nicht gesetzt wird. Dies passiert gemäß der Tabellen 6.1 bis 6.6 sowohl mit als auch ohne definiert verbauten Fehler. Die Gründe für die daraus resultierende Überführung in die Endrohrmessung konnten nicht in jedem Fall nachvollzogen werden.

7 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Auf der Grundlage der innerhalb dieses Projektes gewonnenen Erkenntnisse sollten folgende Veränderungen der zurzeit geltenden Vorschriften für die periodische Abgasuntersuchung diskutiert werden:

- Der aktuelle Entwicklungsstand der OBD-Systeme rechtfertigt den Verzicht auf die Endrohrmessung nicht, da es keine direkte On-Board-Emissionsmessung, auf die die OBD zugreifen kann, gibt. Der Großteil der hier simulierten abgasrelevanten Fehler, die zur Emissionserhöhung führten, wurde sowohl an PKW mit Otto- als auch mit Dieselmotoren von der OBD nicht erkannt.
- Es bleibt dabei festzustellen, dass die Durchführung der AU mit Endrohrmessung zumindest beim Dieselfahrzeug mit DPF durch Erfassung der Rauchgas-Trübung nicht mehr dem Anspruch der Kontrolle des Motorzustandes entspricht, wie es mit ursprünglicher Einführung des Testverfahrens der Fall war. Der erfasste Trübungswert wird nunmehr dominant vom Filterzustand bestimmt.
- Die OBD erweist sich als sinnvoll, da sie zumindest bei tatsächlich durchgeführter Überwachung der vorhandenen Abgassensorik Aufschluss über die Funktionalität des Abgasnachbehandlungssystems liefert, was eine Grundaussage über die Funktion, nicht aber über die Qualität der Nachbehandlung, zulässt.
- Da herstellerspezifisch nicht davon auszugehen ist, dass für alle Fahrzeuge die gleichen Sensorintegrations- und Überwachungsstrategien zur Abgasnachbehandlung zum Einsatz kommen, wird es schwierig sein, der Funktionalität der verbauten Sensoren auch Abgasrelevanz zuzuordnen. Zumindest sollten aber alle tatsächlich im Einsatz befindliche Sensoren im zyklischen Diagnoseverfahren des Fahrzeuges abgefragt, erkannt und auf Plausibilität zu prüfen sein.
- Mit der momentanen Grenzwertfestlegung zum Opazitätsgrenzwert lassen sich fehlerhafte DPF nicht detektieren. Bei allen hier untersuchten modernen Motoren (ab Baujahr 2006) wird selbst bei fehlendem Partikelfilter der gültige Opazitätsgrenzwert eingehalten, sofern er nicht in Selbstverpflichtung des Fahrzeugherstellers herabgesetzt worden ist. Diese Selbstverpflichtung wäre noch zu harmonisieren.
- Die durchgeführten Messungen haben gezeigt, dass die Opazitätswerte mit funktionstüchtigem DPF deutlich unter $K=0,1 \text{ 1/m}$ lagen. Dieser Wert kann für tatsächliche Filtersysteme als sicher erreichbarer Stand der Technik angesehen

hen werden. Einschränkung in Bezug auf diese Einschätzung werden vom Berichtersteller für sogenannte Partikelminderungssysteme gemacht, die aber in der Neuzulassung von Fahrzeugen ab Euro 5 noch keine Rolle spielen.

- Für die Erkennung eines defekten DPF im Sinne der Funktionsüberwachung könnte der K-Wert aus technischer Sicht maximal 0,1 1/m zuzüglich einer erforderlichen Messtoleranz betragen, sofern an der Messmethodik der Trübungsmessung festgehalten wird. In den untersuchten Fällen wurden selbst bei erheblichen Filterbeschädigungen immer noch Trübungswerte $< 0,5$ 1/m erzielt.
- Daraus leitet sich ab, dass der Opazitätsgrenzwert, oder besser noch ein in Partikelbezug stehender Abgaskonzentrationsmesswert, an die Realität heutiger Emissionsniveaus der Dieselfahrzeuge mit DPF anzupassen ist. Eine Überprüfung eines DPF mittels zusätzlicher Abgasmessung mit den momentan möglichen Grenzwerten ergibt keinen Sinn.
- Ein Trübungswert um 0,1 1/m ist nach Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen zur Messtechnik auch noch mit derzeit vorhandenen Opazimetern erfassbar, sofern eine entsprechende Kalibrierung zugrunde gelegt ist.
- Die Festlegung solch niedriger Grenzwerte sollte jedoch sinnvoller Weise mit der Einführung und PTB-Zulassung neuer Partikelmessgeräte („Opazimeter II“) für die AU an PKW mit Dieselmotor einhergehen. In diesem Fall könnte die Partikelkonzentration direkt in mg/m^3 gemessen und an Stelle des K-Wertes ausgewertet werden, was einen besseren Bezug auf die Emissionsgrenzwert für Partikel ab Euro 5 zulassen sollte. Dies setzt die Freigabe anderer Messprinzipien und Messgeräte voraus. In den hier absolvierten Messreihen wurde entsprechendes Potenzial nachgewiesen, wenngleich noch Entwicklungsbedarf besteht.
- Der Übergang auf Messtechnik mit verändertem Messverfahren entsprechend der getesteten „Opazimeter II“ wäre in Hinblick auf Euro 6 auch für den Einsatz bei PKW-Ottomotoren mit Direkteinspritzung eine Option.
- Dem grundlegenden Ansatz nach sollte die Abgasuntersuchung weiterhin lediglich als unterstützendes Hilfsmittel zur Fehlererkennung innerhalb der Hauptuntersuchung verstanden werden. Für eine Überprüfung zur Einhaltung von Grenzwerten nach Abgasnormungsvorschrift bleibt sie ungeeignet.
- Ob spätestens ab Euro 5 das Prüfverfahren zur Abgasmessung hinsichtlich der

Emissionskontrolle noch als ausreichend bewertet werden kann, bleibt in dieser Untersuchung nur exemplarisch und am Rande behandelt. Insbesondere eine fehlerbeeinflusste Veränderung von NO_x, die durch die zugenommene Anwendung der AGR und die verschärfte Wichtung in der Emissionsgesetzgebung an Bedeutung gewonnen hat, bleibt bisher unberücksichtigt.

Die vorangestellten Schlussfolgerungen basieren auf den erlangten Ergebnissen zum umfassenden Test von Messtechnik und hier insbesondere dem Vergleich von herkömmlichen und alternativen „Opazimetern“, die in der AU zum Einsatz kommen oder kommen könnten. Weiterhin wird in der Einschätzung zur Erfordernis von Änderungen in den AU-Bestimmungen auf einer in begrenzter Anzahl durchgeführten Erprobung im Fahrzeugeinsatz aufgebaut.

Die Notwendigkeit zur Modifizierung der bestehenden AU, d.h. z.B. Wiedereinführung der Endrohrmessung, insbesondere für Fahrzeuge mit OBD ab Zulassung 01.01.2006, wird maßgeblich davon abhängig gemacht, ob eine Anpassung von Grenzwerten und möglichst auch Prüfgrößen für die AU zum Ansatz kommt.

Unter der Annahme, die Endrohrmessung wird innerhalb der AU, die mittlerweile Bestandteil der HU ist, wieder festgeschrieben, ergeben sich hinsichtlich der Umsetzung folgende Kostenszenarien:

- a) Kosten für Anpassung vorhandener Messtechnik entsprechend reduzierter Grenzwerte und ggf. Einengung der Toleranzen (durch Nachkalibrierung oder Zusatzkalibrierung)
- b) Kosten für Weiterentwicklung und Zulassung neuer Messtechnik sowie Neanschaffung Messtechnik im Bereich Werkstätten und deren Umlegung auf Prüfkosten
- c) Kosten für die Durchführung der Prüfung

Es wird davon ausgegangen, dass unter a) keine signifikante Änderung zum bestehenden Preisindex notwendig ist und die Hersteller von Messtechnik diesen Aufwand unter Systempflege verbuchen können, da damit ja auch weiterer Bedarf/Absatz sichergestellt wird.

Zu Kosten für Weiterentwicklung und Zulassung neuer Technik lassen sich hier keine Angaben machen. Für innovative Messtechnik, zumal schon in fortgeschrittenem Entwicklungsstand, sollten die Hersteller Absatzmöglichkeiten suchen, zumal wenn sich dahinter eine entsprechende Perspektive abzeichnet.

Die Umlegung von Kosten jeglicher Art auf die vom Endverbraucher zu tragenden Gebühren richtet sich nach Marktgepflogenheiten. Sie sind in weitem Maße auch territorial und werkstattabhängig und deshalb kaum abschätzbar.

Auch wenn sich zumindest eine Anzahl von Prüforganisationen (DEKRA, TÜV, FSP, GTÜ, KÜS) üblicher Weise nach geltenden Gebührenordnungen richten, gibt es keine einheitlichen Regelungen.

In nachfolgender Tabelle, die in Anlehnung an [12] neu zusammengestellt worden ist, werden die Kosten des TÜV Süd beispielhaft herausgegriffen und für ausgewählte Länder aufgezeigt. Es ist festzustellen, dass es nicht einmal länderspezifisch gelingt, zumindest einheitliche Preiskategorien abzustimmen, von Preisharmonisierung ganz zu schweigen. Da sich die Kosten oftmals nur in Verbindung HU und AU ausweisen, kann sich die Durchführung der AU ohne HU davon auch nochmals unterscheiden. Die Aufstellung in der Tabelle kann deshalb auch nur eine grobe Orientierung sein, die die allgemeine Problematik andeutet.

Kategorie	TÜV SÜD Service-Centern in Baden-Württemberg und Bayern	TÜV SÜD Auto Service GmbH, Region TÜV Sachsen	TÜV Service-Centern in Hessen	Hamburg
ohne Katalysator	22,90	19,80		38,50
U-Katalysator	22,90	29,80		38,50
geregelter Katalysator	27,25	34,90	27,20	38,50
Diesel-Pkw / ...	35,00	34,90	45,00	44,90
OBD G-Kat/Diesel Erstzulassung ab 01.01.2006	15,29/29,10	26,00/26,00	15,30/39,00	21,90/30,00
	Gültig ab 01. Februar 2011	Gültig ab 1. März 2011	Gültig ab 1. März 2010	

Lässt man regionale Unterschiede außeracht, kann man in grober Näherung im Durchschnitt einen Preisunterschied einer HU mit OBD und Endrohrmessung zu einer HU nur mit OBD in der Größenordnung von 10-15 EURO vermerken. Es gibt aber auch Beispiele, wo beides nicht unterschieden und ein Einheitspreis angesetzt wird.

In der Gesamtheit aller Betrachtungen wird sich das Problem nicht an für Technikan-schaffung relevanten Kosten festmachen lassen, sondern besitzt andere Charakteristik, die hier nicht Gegenstand der Betrachtung sein kann.

Literaturverzeichnis

- [1] ASA-Verband: Presseinformation 5/09 vom 10.11.2009)
- [2] EU-Richtlinie 2009/40/2009 im Amtsblatt der Europäischen Union L141 vom 06.06.2009)
- [3] <http://www.kfz-betrieb.vogel.de/filesserver/vogelonline/files/2942.pdf>
- [4] ASA-Verband: Abschlussbericht „Emission 2010“, noch nicht frei gegeben
- [5] Physikalisch-Technische Bundesanstalt: Messgeräte im Straßenverkehr - Abgasmessgeräte für Kompressionszündungsmotoren in der Ausführung als Teilstrom-Trübungsmessgerät, PTB-Anforderungen PTB-A 18.9 vom Januar 2004
- [6] H. Hahn, Präsentation ASA (AK Diagnose) vom 17.03.2011
- [7] Richtlinie für die Durchführung der Untersuchungen der Abgase von Kraftfahrzeugen nach Nummer 4.8.2 der Anlage VIIIa der StVZO (AU-Richtlinie)
- [8] EU Directive 2001/11EC, 98/69/EC and EEC Directive 90/C81/01
- [9] Fahrzeugdiagnose Informationsportal von WGSoft.de auf <http://www.obd-2.net>
- [10] Richtlinie 70/220/EWG und Verordnung 715/2007/EG
- [11] <http://www.dieseln.net>
- [12] http://www.tuev-sued.de/auto_fahrzeuge/hauptuntersuchung_und_abgasuntersuchung/4_preise

Anlagen

Angaben zur Messtechnikbeschreibung, sofern von den beteiligten Messtechnikherstellern bereitgestellt, sind diesem Bericht als Kopien in einem separaten Anlagenband beigelegt.