

Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 41

bast

Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge

von

Günter Afflerbach
Dieter Hassel
Hans Jürgen Mäurer
Helge Schmidt
Franz-Josef Weber

ARGE BAST
RWTÜV Fahrzeug GmbH, Institut für Fahrzeugtechnik
Essen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 41

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 85.007/1999:
Abgasuntersuchung Erfolgskontrolle (Teil 2),
Dieselmotor

Projektbetreuung
Bernd Bugsel

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de
ISSN 0943-9307
ISBN 3-89701-970-1
Bergisch Gladbach, Mai 2003

Kurzfassung – Abstract

Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurden Vorschläge zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Dieselmotor und zur Anpassung der Untersuchungsmethode an die Anforderungen durch künftige Fahrzeuggenerationen erarbeitet.

Während des Betriebs von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor lagern sich im Abgassystem Rußpartikel ab. Bei der Durchführung der freien Beschleunigung an einem unzureichend konditionierten Fahrzeug können sich derartige Rußpartikel lösen und zu einer Erhöhung der gemessenen Abgastrübung führen. Dieser Depositeneffekt kann dazu führen, dass Fahrzeuge ohne technischen Defekt bei der Abgasuntersuchung beanstandet werden (Error of Commission). Neben der Fahrzeugkonditionierung hat die Beschleunigungszeit bei der freien Beschleunigung einen entscheidenden Einfluss auf die gemessene Abgastrübung. Bei der freien Beschleunigung wird der Motor gegen seine Massenträgheit von der Leerlaufdrehzahl auf die Abregeldrehzahl beschleunigt. Entscheidend für die Aussagefähigkeit dieser Messung ist eine schnelle und stoßfreie Beschleunigung, so dass die größtmögliche Einspritzmenge innerhalb kürzester Zeit erreicht wird. Bei einer langsamen Beschleunigung wird nicht die volle Einspritzmenge erreicht, die aufgebrachte Motorlast ist geringer und es wird eine niedrigere Abgastrübung gemessen. Das kann dazu führen, dass defekte Fahrzeuge bei langsamer Beschleunigung als in Ordnung bewertet werden (Error of Omission). Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens folgende Vorschläge zur Verbesserung der Aussagekraft der Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Dieselmotor erarbeitet:

- eine allgemein gültige Festlegung der Konditionierungsverfahren, d. h. mindestens acht freie Beschleunigungen bei betriebswarmem Motor vor Beginn der Trübungsmessung;
- eine Begrenzung der Beschleunigungszeit auf max. 1,5 s, wobei in besonderen Fällen größere Werte zulässig sind, wenn dies der Hersteller technisch begründet.

Neue Fahrzeugkonzepte mit deutlich abgesenkten Abgasemissionen, sowohl im Pkw-Bereich als auch im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge, stellen langfristig erhöhte Anforderungen an das Prüfverfahren und die eingesetzte Messtechnik. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden daher verschiedene Ansätze für eine Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung aufgezeigt. In einer theoretischen Studie und praktischen Versuchen wurden die verschiedenen Ansätze im Hinblick auf ihre Wirksamkeit und Praxistauglichkeit untersucht. Vor dem Hintergrund der EG-Gesetzgebung scheint die Kombination der Trübungsmessung bei einer freien Beschleunigung mit den Funktionen einer künftigen Diesel-OBD eine aussichtsreiche Lösung darzustellen. Da zum Zeitpunkt der Untersuchung noch keine mit einer vorschriftenkonformen OBD ausgerüsteten Dieselfahrzeuge verfügbar waren, wurden die Ergebnisse an Fahrzeugen mit herstellerspezifischen Eigendiagnosesystemen erarbeitet. Da jedoch nicht grundsätzlich neue Ansätze bezüglich der Eigendiagnose an Dieselmotoren zu erwarten sind (verfügbare Istwerte, Inhalt Fehlerspeicher), sondern im Wesentlichen die Abgasnachbehandlung bei den OBD-Dieselfahrzeugen zusätzlich in die Diagnose einbezogen wird, ist dieser Ausblick durchaus wirklichkeitsnah. Aufgrund der geringen Anzahl von untersuchten Fahrzeugen und der Tatsache, dass zur Zeit keine Dieselfahrzeuge mit vorschriftenkonformer OBD erhältlich sind, sollten für die Erarbeitung eines diskussionsfähigen Vorschlags zur Einbindung der Diesel-OBD in die AU weitere Untersuchungen erfolgen.

Exhaust-emission Check: Diesel Vehicles

This research project involved elaborating proposals to increase the informative value of the existing exhaust-emission check for vehicles with diesel engine and to adapt the test method to the requirements of future generations of vehicles.

Soot particles are deposited in the exhaust system during operation of vehicles with compression ignition engine. Such soot particles may become detached and may lead to an increase in the measured exhaust-gas opacity when freely

accelerating on an inadequately conditioned vehicle. This deposit effect may lead to a situation in which vehicles fail the exhaust-emission check (error of commission) without a technical defect. Besides vehicle conditioning, the duration of acceleration during free acceleration also has a crucial influence on the measured exhaust-gas opacity. During free acceleration, the engine is accelerated against its inertia of mass from idling speed to breakaway speed. Fast and smooth acceleration is crucial as regards the informative value of this measurement, so that maximum possible injected-fuel quantity is achieved within the shortest time. If acceleration is slow, the full injected-fuel quantity is not reached, the applied engine load is lower and a lower exhaust-gas opacity is measured. This may lead to a situation in which defective vehicles are rated as OK in the case of slow acceleration (error of omission). Against this backdrop, the following proposals for improving the informative value of the exhaust-emission check for vehicles with diesel engine were elaborated within the framework of this research project:

- a generally valid stipulation of the conditioning methods, i. e. at least eight free acceleration operations with the engine at operating temperature before commencement of opacity measurement;
- a limitation of the duration of acceleration to max. 1.5 seconds, whereby higher values are permitted in special cases if this is technically substantiated by the manufacturer.

New vehicle concepts with far lower exhaust emissions, both in the passenger car sector and in the heavy goods vehicle sector, will place more stringent requirements on the test method and the measuring system used in the long term. Consequently, various approaches to further development of the exhaust-emission check were illustrated within the framework of this research project. The various approaches were investigated with a view to their effectiveness and practical suitability in a theoretical study and practical trials. Against the backdrop of EU legislation, a combination of opacity measurement with free acceleration and the functions of a future diesel OBD would appear to be a promising solution. Since no diesel vehicles equipped with a regulation-compliant OBD were yet available at the time of the study, the results were elaborated on

vehicles with manufacturer-specific self-diagnosis systems. However, since, basically, no new approaches in respect of self diagnosis on diesel engines can be anticipated (available actual values, content of fault memory), but, essentially, exhaust-gas aftertreatment will be an additional factor included in diagnosis, this outlook is certainly realistic. Further studies should be conducted when elaborating a discussable proposal for integration of diesel OBDs in the exhaust-emission check owing to the small number of vehicles investigated and the fact that no diesel vehicles with regulation-compliant OBD are currently yet available.

Inhalt

1	Einleitung und Aufgabenstellung	7	7	Praktische Untersuchung zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen	31
2	Projektdarstellung	7			
3	Ausgangslage und vorhandene Erkenntnisse	8	7.1	Beschreibung der unterschiedlichen Motorbelastungen	31
4	Methodisches Vorgehen	9	7.1.1	Konstantfahrt bei Teillast auf einem Fahrleistungsprüfstand	31
4.1	Möglichkeiten zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung	9	7.1.2	Beschleunigung von Teillast auf Vollast auf einem Fahrleistungsprüfstand	31
4.1.1	Einfluss der Fahrzeugkonditionierung	9	7.1.3	Vollast auf einem Fahrleistungsprüfstand	31
4.1.2	Einfluss der Beschleunigungszeit	9	7.1.4	Freie Beschleunigung	31
4.2	Möglichkeiten zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen	10	7.2	Beschreibung der eingesetzten Messgeräte	32
5	Ergebnisse zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung	11	7.2.1	Partikelmessung	32
5.1	Einfluss der Fahrzeugkonditionierung	11	7.2.1.1	Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (LTT), Universität Erlangen	32
5.2	Einfluss der Beschleunigungszeit	12	7.2.1.2	Sensors	33
5.3	Bewertung der Möglichkeiten zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung bezüglich Konditionierung und Beschleunigungszeit	20	7.2.1.3	AVL-Filterpumpe 415	33
6	Theoretische Studie zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen	21	7.2.2	Ermittlung der Trübung	33
6.1	Fahrwiderstandssimulation	21	7.2.3	Ermittlung der Filterschwärzung	34
6.2	Analyse der Abgaskomponenten	24	7.2.4	Ermittlung der gasförmigen Schadstoffemissionen	34
6.3	On-Board-Diagnose/Eigendiagnose	29	7.3	Eigendiagnose	34
6.4	On-Board-Measurement	30	7.4	Zulassungstest	36
6.5	Auswahl der praktisch zu untersuchenden Verfahren	30	7.4.1	Pkw nach 70/220/EWG	36
			7.4.2	Nutzfahrzeuge nach 88/77/EWG	37
			8	Ergebnisse bei der praktischen Untersuchung zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen	38
			8.1	Fahrzeug 1	39
			8.2	Fahrzeug 2	40
			8.3	Fahrzeug 3	42
			8.4	Fahrzeug 4	43
			8.5	Fahrzeug 5	45
			8.6	Zusammenfassung der Ergebnisse bei der praktischen Untersuchung zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen	47

9	Bewertung der Ergebnisse der praktischen Untersuchung zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen	48
9.1	Konstantfahrt bei Teillast auf einem Fahrleistungsprüfstand	48
9.2	Beschleunigung von Teillast auf Volllast auf einem Fahrleistungsprüfstand	48
9.3	Volllastmessungen auf Rollenprüfstand	48
9.4	Freie Beschleunigung	49
9.5	Eigendiagnose	49
9.6	Neue Messverfahren	52
10	Zusammenfassung	54
11	Messgeräte zur Bestimmung von Abgaskomponenten/Partikel im Abgas von Dieselmotoren	57
12	Literatur	59

Abkürzungsverzeichnis

AGR	Abgasrückführung
ASM	Acceleration Simulation Mode
AU	Abgasuntersuchung
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
CVS	Constant Volume Sampling
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
DAT	Deutsche Automobil Treuhand
FAS	Free Acceleration Simulation; freie Beschleunigung
FSN	Filter Schwärzungs-Nummer
G _{air}	Luftmassenstrom
G _{exh}	Abgasmassenstrom
G _{fuel}	Kraftstoffmassenstrom
HC	Kohlenwasserstoffe
HFM	Heißfilm-Luftmassenmesser
IM 240	Inspection Maintenance; dynamischer Fahrzyklus mit 240 Sekunden Dauer
k-Wert	Trübungswert [m ⁻¹]
λ	Lambda; Verhältnis der tatsächlich verbrauchten Luftmasse zur theoretisch benötigten Luftmasse
MIL	Malfunction Indicator Lamp; Fehlfunktionsanzeige
NO _x	Stickoxide
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
O ₂	Sauerstoff
OBD	On-Board-Diagnose, gemäß Ratsrichtlinie 98/69/EG
P _{wheel}	Radleistung
PM	Partikelmasse
SCR	Selective Catalytic Reduction
t _B	Beschleunigungszeit, definiert nach dem „Leitfaden zur Begutachtung von AU-Messgeräten“

Vom Auftraggeber wurde ein forschungsbegleitender Ausschuss benannt. Neben der BAST und den Forschungsnehmern waren Vertreter des VDA, des VdIK, des ZDK und des UBA vertreten. Wir danken allen Beteiligten für ihre Unterstützung und die konstruktive Zusammenarbeit.

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Aus heutiger Sicht kann insbesondere im Hinblick auf die erforderliche Senkung der globalen CO₂-Emissionen nicht auf den Dieselmotor als verbrauchsgünstiges Antriebsaggregat für Kraftfahrzeuge verzichtet werden. Dennoch ist der Kompressionszündungsmotor wegen der gegenüber auf $\lambda = 1$ geregelten Fremdzündungsmotoren mit Dreiwege-Katalysator höheren Partikel- und Stickoxidemissionen zunehmender Kritik ausgesetzt.

Bei der Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Dieselmotor erfolgt die Bewertung des Abgasemissionsverhaltens durch die Messung der Abgastrübung bei der freien Beschleunigung. Dieses Messverfahren ist in der Ratsrichtlinie 72/306/EWG und der ECE-Regelung Nr. 24 über die Prüfung sichtbarer luftverunreinigender Stoffe aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen verankert und wurde ursprünglich entwickelt, um Sichtbehinderungen im Verkehr durch Dieselruß zu verhindern. Die im Rahmen von Phase I und II dieses Forschungsvorhabens erarbeiteten Erkenntnisse zeigen, dass insbesondere aufgrund des starken Einflusses der Fahrzeugkonditionierung (Error of Commission) und der nicht begrenzten Beschleunigungszeit (Error of Omission) auf das Ergebnis der Trübungsmessung eine Hochrechnung des Abgasminderungspotenzials der bestehenden Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Dieselmotor nicht möglich ist. Daher sind Maßnahmen zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung für Dieselfahrzeuge erforderlich [1.1, 1.2].

Die Einführung verschärfter Grenzwerte für das Abgasemissionsverhalten von Fahrzeugen mit Dieselmotor im Rahmen der Typprüfung macht neue Motorkonzepte sowohl im Bereich der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge als auch im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge erforderlich. Die niedrigen Abgasemissionen dieser neuen Fahrzeuggeneration stellen erhöhte Anforderungen an die Aussagefähigkeit einer periodischen Abgasuntersuchung für Fahrzeuge im Feld.

Ziel von Phase III der Abgasuntersuchung-Erfolgskontrolle ist daher, Vorschläge für eine bessere Aussagekraft der Abgasuntersuchung für Dieselfahrzeuge darzustellen.

2 Projektdarstellung

Seit dem 01.12.1993 ist eine periodische Abgasuntersuchung für im Verkehr befindliche Fahrzeuge mit Dieselmotor sowie mit Ottomotor und geregeltem Katalysator vorgeschrieben. Der Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) hat die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit der Durchführung des Forschungsprojekts „Abgasuntersuchung – Erfolgskontrolle, Teil 2“ beauftragt. Das Gesamtprojekt, dessen Struktur in Bild 2.1 dargestellt ist, wurde in die Teilprojekte „Statistische Erhebung“ und „Wirksamkeitsanalyse“ untergliedert [2.1].

Im Rahmen des Teilprojekts 1 „Statistische Erhebung“, an der alle Technischen Überwachungs-Vereine, DEKRA und ZDK beteiligt waren, wurden in den Jahren 1994 und 1997 statistisch repräsentative Erhebungen zur Ermittlung der Beanstandungsquoten (Auffälligkeitsraten) durchgeführt.

Gegenstand des Teilprojekts 2 ist die Wirksamkeitsanalyse der geltenden AU, deren Durchführung für den Bereich der G-Kat-Pkw der Arbeitsgemeinschaft RWTÜV/TÜV Rheinland übertragen wurde. Die Untersuchungen für den Bereich der Diesel-Pkw wurden von der Arbeitsgemeinschaft RWTÜV/TÜV Rheinland/DEKRA durchgeführt.

Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Wirksamkeitsanalyse der AU an Diesel-Fahrzeugen. Wie dem Strukturplan entnommen werden kann, untergliedert sich diese Untersuchung in drei Phasen.

Die Ergebnisse aus den Phasen I und II dieses Forschungsvorhabens zeigen, dass insbesondere wegen des starken Konditionierungseinflusses sowie der bisher nicht beschränkten Beschleunigungszeit eine Hochrechnung des Emissions-Minderungspotenzials, hervorgerufen durch die Einführung der Abgasuntersuchung für Dieselfahrzeuge, nicht möglich ist.

Eine Minderung der Abgasemissionen durch die mit einer nicht bestandenen Abgasuntersuchung verbundenen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten lassen sich für einzelne Fahrzeuge nachweisen, sie können jedoch nicht auf den gesamten Fahrzeugbestand übertragen werden. Dabei spielt es keine Rolle, in welchem Prüfpunkt die AU nicht bestanden werden konnte (Sichtprüfung, Einstellungen oder Abgastrübung).

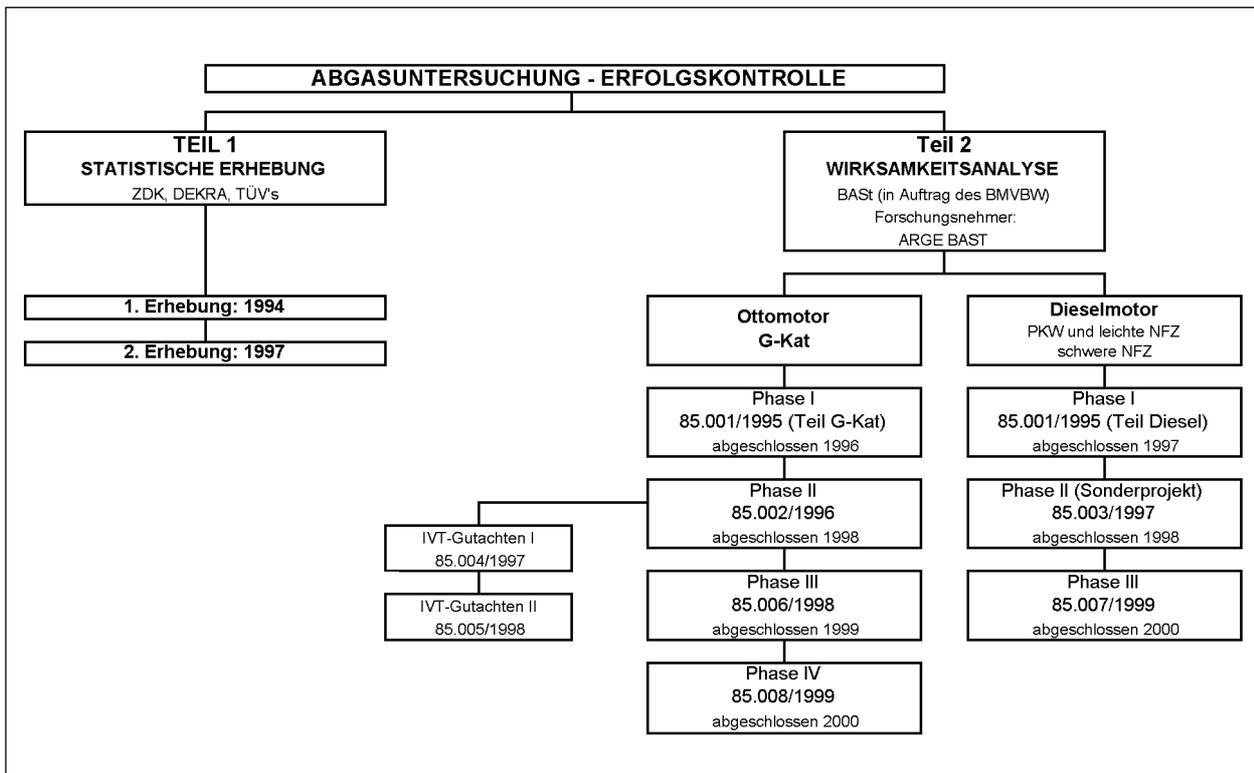


Bild 2.1: Struktur des Forschungsprojekts „Abgasuntersuchung – Erfolgskontrolle“

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden in Phase III der AU-Erfolgskontrolle Vorschläge zur

- Beschränkung der Beschleunigungszeit,
- Verbesserung der Fahrzeugkonditionierung

erarbeitet. Diese Maßnahmen sollen zu einer Verbesserung der Aussagefähigkeit der bestehenden Abgasuntersuchung führen. Die Wirksamkeit und Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen sind zu klären.

Möglichkeiten einer zukünftigen Abgasuntersuchung

Für eine zukünftige Abgasuntersuchung wurden folgende Lösungsansätze betrachtet:

- Messung der Abgastrübung unter Motorlast;
- Messung der gasförmigen Emissionen, insbesondere der Stickoxide;
- Erfassung der Partikelemissionen (Masse, Anzahl und Größe);
- On-Board-Diagnose.

3 Ausgangslage und vorhandene Erkenntnisse

Die Ergebnisse aus Phase I und II der AU-Erfolgskontrolle haben gezeigt, dass die Konditionierung einen erheblichen Einfluss auf die bei der freien Beschleunigung gemessene Abgastrübung hat. Demgegenüber war ein solcher Einfluss der Konditionierung bei der Messung der Partikelemissionen auf dem Fahrleistungsprüfstand im Fahrzyklus nicht zu erkennen. Das führt dazu, dass teilweise unzureichend konditionierte Fahrzeuge, die keinen technischen Defekt aufweisen, aufgrund der Überschreitung des Grenzwertes für die Trübung beanstandet werden (Error of Commission). Die Beschleunigungszeit hat einen entscheidenden Einfluss auf den gemessenen Trübungswert. Der Gesetzgeber schreibt vor, dass das Fahrpedal bei der freien Beschleunigung schnell und stoßfrei durchgetreten werden muss. Einen aussagekräftigen Wert für die Abgastrübung eines Fahrzeuges bei einer freien Beschleunigung erhält man bei einer möglichst kurzen Beschleunigungszeit. Bei langsamer Beschleunigung sinken die gemessenen Trübungswerte auf einen Bruchteil des Wertes bei korrekter Durchführung der Messung. Das kann zu einem „Error of Omission“ führen, d. h., Fahrzeuge die einen abgasrelevanten Defekt aufweisen, kön-

nen aufgrund einer zu langen Beschleunigungszeit bei der Abgasuntersuchung nicht erkannt werden.

Um die Aussagefähigkeit des bestehenden Verfahrens bei der Abgasuntersuchung zu erhöhen, ist eine geeignete Fahrzeugkonditionierung vor der Trübungsmessung erforderlich. Ein geeignetes Verfahren zur Konditionierung der zu untersuchenden Fahrzeuge ist zu entwickeln. Außerdem ist zu prüfen, ob ein Maximalwert für die Beschleunigungszeit bei der Messung der Abgastrübung eingeführt werden kann, dessen Einhaltung von dem Abgasmessgerät überwacht wird.

Mit der EG-Richtlinie 98/69/EG werden im Rahmen der Typprüfung erhöhte Anforderungen an das Abgasemissionsverhalten zukünftiger Fahrzeuggenerationen gestellt. Die Grenzwerte für Kohlenmonoxid-, Stickoxid-, Kohlenwasserstoff- und Partikelemissionen werden in zwei Stufen deutlich abgesenkt. Außerdem ist mit der Einführung dieser Richtlinie die Einbeziehung der OBD für Pkw mit Dieselmotor ab dem Jahr 2003 vorgesehen [3.1].

Auch auf dem Gebiet der schweren Nutzfahrzeuge ist durch die Änderung der Richtlinie 88/77/EWG, die ab dem Jahr 2000 wirksam wurde, eine deutliche Reduzierung der Abgasemissionen zu erwarten [3.2].

Das Inkrafttreten dieser geänderten Richtlinien bringt neue Motor- und Abgasnachbehandlungskonzepte mit sich, die erhöhte Anforderungen an eine periodische Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Dieselmotor stellen und eine Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung erfordern. Bereits bei Fahrzeugen, die zur Zeit im Rahmen der Typprüfung nach den aktuell gültigen Richtlinien zugelassen werden, werden bei der freien Beschleunigung Abgastrübungen (k -Werte) von etwa $0,2 \text{ m}^{-1}$ gemessen.

4 Methodisches Vorgehen

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden Vorschläge zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung für Dieselfahrzeuge aufgezeigt und untersucht. Außerdem werden Ansätze für ein weiterentwickeltes Prüfverfahren für die periodische Untersuchung von Fahrzeugen mit Dieselmotor im Verkehr dargestellt und bewertet.

Als Ausgangsbasis für die Untersuchungen werden der Kenntnisstand aus den Phasen I und II dieses

Forschungsvorhabens und Daten aus Feldmessungen der Prüfstellen herangezogen. Außerdem werden wissenschaftliche Ausarbeitungen und Forschungsergebnisse zu dem allgemeinen Thema der Abgasmessung und deren Bewertung verarbeitet.

In den Phasen I und II dieses Forschungsvorhabens wurden verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Aussagefähigkeit der bestehenden Abgasuntersuchung erarbeitet. Die Wirksamkeit und Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen sollen in der Praxis überprüft werden.

Außerdem werden in Studien und praktischen Versuchen Lösungsansätze für ein aussagefähiges, praxistaugliches Verfahren zur periodischen Überprüfung des Abgasemissionsverhaltens neuer Fahrzeuggenerationen erarbeitet.

4.1 Möglichkeiten zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung

In Phase II der AU-Erfolgskontrolle für Fahrzeuge mit Dieselmotor wurden verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Aussagefähigkeit der bestehenden Abgasuntersuchung erarbeitet. Diese Ansätze werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

4.1.1 Einfluss der Fahrzeugkonditionierung

In Phase II dieses Forschungsvorhabens wurden verschiedenen Vorschläge für eine Fahrzeugkonditionierung entworfen. Außerdem ist zur Klärung der Randbedingungen der Fahrzeugkonditionierung eine Datensichtung der von verschiedenen Fahrzeugherstellern angegebenen Konditionierungsverfahren vorgesehen. Auf der Basis dieser Daten wird ein geeignetes Konditionierungsverfahren unter Berücksichtigung von Parametern wie Hubraum, Ölmenge usw. entwickelt und seine Wirksamkeit an verschiedenen Fahrzeugen in der Praxis untersucht und bewertet. Dabei wird zwischen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen sowie schweren Nutzfahrzeugen unterschieden. An verschiedenen Fahrzeugtypen wird dieses Konditionierungsverfahren erprobt.

4.1.2 Einfluss der Beschleunigungszeit

Die Beschleunigungszeit wird von den AU-Geräten erfasst, aber nicht bewertet. Aufgrund ihres großen

Einflusses auf die gemessene Trübung ist eine Begrenzung der Beschleunigungszeit durch das Abgasmessgerät bei der Trübungsmessung sinnvoll. Daher sollte die Zeit für die Beschleunigung von der Leerlaufdrehzahl auf die Abregeldrehzahl auf einen geeigneten Maximalwert begrenzt werden.

Für einige Motorkonzepte lassen sich nicht beliebig kurze Beschleunigungszeiten realisieren (z. B. zwei Massen-Systeme). Daher ist vor einer Begrenzung der Beschleunigungszeit anhand einer Datensichtung der an den Prüfbahnen von DEKRA, RWTÜV und TÜV Rheinland durchgeführten Abgasuntersuchungen ein geeigneter Grenzwert für die Beschleunigungszeit bei Pkw und Lkw zu ermitteln. In praktischen Untersuchungen wird die Wirksamkeit dieser Maßnahme untersucht und bewertet.

4.2 Möglichkeiten zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen

Auf dem Gebiet der Anpassung der Abgasuntersuchung an zukünftige Fahrzeuggenerationen besteht erheblicher Forschungsbedarf. Es muss ein aussagefähiges Verfahren gefunden werden, das praxistauglich ist.

Als Basis für weiterführende Untersuchungen soll in theoretischen Studien der aktuelle internationale Wissenstand zusammengetragen werden, und die einzelnen Prüfverfahren sollen theoretisch bewertet werden. Dabei werden insbesondere die folgenden Punkte berücksichtigt:

- Alternative Fahrwiderstandssimulation
Entscheidend für die Aussagekraft einer Abgasuntersuchung ist die Motorbelastung. Eine Alternative zur freien Beschleunigung stellt eine Messung im Leerlauf oder eine Prüfung unter Last dar. Hier könnten stationäre (Lastpunkte) oder dynamische Messungen (Fahrzyklen) zum Einsatz kommen.
- Messung der gasförmigen Emissionen
Bei Messungen unter Last ist neben der Erfassung der Abgastrübung die Messung der gasförmigen Schadstoffe, insbesondere der Stickoxide, sinnvoll.
- Gravimetrische Erfassung der Partikelemission
Im Rahmen der Typprüfung wird die ausgestoßene Partikelmasse als Maß für die Rußemission von Dieselfahrzeugen erfasst. Bei einer Messung auf einem Rollenprüfstand wäre

das auch im Rahmen der Abgasuntersuchung theoretisch denkbar.

- Erfassung der Partikelemission (Anzahl und Größe)
Mit Einführung moderner Einspritzsysteme mit hohen Einspritzdrücken sinkt einerseits die Masse der ausgestoßenen Partikel, andererseits werden die Partikel u. U. kleiner. Daher ist die Erfassung der Partikelanzahl und -größe in die Diskussion geraten. Diese Entwicklung sollte bei den Überlegungen zur Verbesserung der Abgasuntersuchung berücksichtigt werden.
- On-Board-Diagnose
Mit der Einführung der Richtlinie 98/69/EG ist die Einbeziehung einer genormten On-Board-Diagnose für Pkw mit Dieselmotor ab dem Jahr 2003 vorgesehen. Somit ist zu untersuchen, ob die Einführung dieser OBD zu einer Verbesserung der Aussagequalität führen kann.

Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Prüfverfahren werden im Hinblick auf die Art der Motorlast und die Abgasanalytik einander gegenübergestellt. Dabei wird zwischen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen auf der einen Seite und schweren Nutzfahrzeugen auf der anderen Seite unterschieden. Aufgrund dieser theoretischen Bewertungen werden in Abstimmung mit dem forschungsbegleitenden Ausschuss zwei Prüfverfahren ausgewählt, die in praktischen Versuchen im Hinblick auf ihre Wirksamkeit und Praxistauglichkeit untersucht werden. Dabei wird der Schwerpunkt zunächst auf die Untersuchung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen gelegt.

Zu diesem Zweck werden vier verschiedene Pkw bzw. leichte Nutzfahrzeuge mit den ausgewählten Prüfverfahren vermessen. Um die Aussagekraft der bei diesen Prüfverfahren erzielten Messergebnisse zu bewerten, werden Vergleichsmessungen im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) auf einem Fahrleistungsprüfstand für Typprüfungen und mit der bestehenden Abgasuntersuchung durchgeführt.

Für die Messungen werden Fahrzeuge verwendet, die den neuesten Stand der Technik repräsentieren. Dabei werden verschiedene Einspritzsysteme berücksichtigt. Da zur Zeit derartige Fahrzeuge mit einer entsprechenden Laufleistung und abgasrelevanten Fehlern im Feld nicht zur Verfügung stehen, ist es erforderlich, Fehlersimulationen an diesen Fahrzeugen durchzuführen, um die Erkennung von

Defekten mit den verschiedenen Prüfverfahren zu untersuchen. Dabei sind die in der Praxis bisher bei der Abgasuntersuchung aufgefallenen Mängel, aber auch durch neue Fahrzeugkonzepte bedingte Fehlerquellen, z. B. an Abgasnachbehandlungssystemen wie Partikelfiltern und De-NO_x-Katalysatoren, zu berücksichtigen. Derartige Systeme standen jedoch nicht zur Verfügung.

Als Ergänzung zu den Messungen an Pkw und leichten Nutzfahrzeugen werden Tests an einem schweren Nutzfahrzeug mit modernem Motorkonzept und, falls verfügbar, Abgasnachbehandlungssystem durchgeführt. Um die Aussagekraft der im ausgewählten Prüfverfahren erzielten Messergebnisse zu bewerten, werden Vergleichsmessungen mit auf einem Fahrleistungsprüfstand gefahrenen 13-Stufentest durchgeführt.

5 Ergebnisse zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung

5.1 Einfluss der Fahrzeugkonditionierung

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde eine Datensichtung der von verschiedenen Fahrzeugherstellern angegebenen Verfahren zur Fahrzeugkonditionierung durchgeführt. Neben den aufgenommenen Daten aus der laufenden AU wurden die Angaben zur Konditionierung aus DAT analysiert. 21 Hersteller geben außer der Information über die Motor-temperatur keine weiteren Hinweise zur Konditionierung. Bei 5 Herstellern sind teilweise zusätzliche Angaben vorhanden. Weitere Informationen können der Tabelle 5.1 entnommen werden.

Auffällig ist die Anzahl der Gasstöße bei dem Hersteller VW. Es wird vorgegeben, dass das Motoröl eine Temperatur von mindestens 60 °C hat und dann mit 10 Gasstößen auf 80 °C gebracht wird. Alternativ schreibt VW für einige Motoren ein Warmfahren des Motors vor.

Im Gegensatz dazu steht der Hersteller Opel, der bei einer Motoröltemperatur von über 80 °C als Konditionierung immer 5 Gasstöße vorschreibt.

Neben der Datensichtung wurde der Einfluss der Motorkonditionierung auf das Abgasergebnis bei 20 Fahrzeugen mit verschiedenen Motorkonzepten in Messreihen ermittelt.

Hersteller	Gasstöße	Wasser- oder Öltemperatur [°C]	Elektr. Verbraucher	Probefahrt (Warmfahren)	Keine Angaben
Alfa	3	> 80	Aus	-	-
Audi	10 (ab 70°C)	> 80	Aus	-	-
BMW	5	> 70	Aus	-	-
Chrysler	-	> 80	-	-	X
Citroën	-	> 80	-	-	X
DAF	-	70 - 130	-	-	X
Daihatsu	5	> 60 - 80	-	-	-
FIAT	3	> 80	Aus	-	-
Ford	10	> 80	-	-	-
GM	-	> 80	Aus	X	-
Honda	-	>70	-	-	X
Hyundai	-	> 80	-	-	X
IFA	-	> 60	-	-	X
IKARUS	-	> 50	-	-	X
ISUZU	5	> 80	-	-	-
IVECO	-	> 50 - 70	-	-	X
Kässbohrer	2	> 75	-	-	-
Kia	-	>60	-	X	-
LADA	-	> 80	-	-	X
Lancia	3	> 80	Aus	-	-
LIAZ	-	> 80	-	-	X
MAN	-	> 75 - 80	-	-	X
Mazda	-	> 60	-	-	X
Mercedes	0 - 3	> 70	-	-	-
Multicar	-	> 80	-	-	X
Neoplan	2	> 70	-	-	-
Nissan	3	> 85	Aus	X	-
Opel	5	> 80	-	-	-
Peugeot	-	> 80	Aus	-	X
Renault	-	> 80	Aus	-	X
Rover	-	70 - 120	-	-	X
Scania	-	70 - 100	-	-	X
Seat	-	> 80	Aus	X	-
Skoda	0 - 10	> 80	Aus	X	-
Ssangyong	-	> 70	-	-	X
Suzuki	-	> 80	-	-	-
Talbot	-	> 80	Aus	-	X
Toyota	3	> 80	Aus	-	-
Volkswagen	0 - 10	> 80	Aus	X (möglichst)	-
Volvo	-	> 80	-	X	-

(Stand: DAT 1998)

Tab. 5.1: Herstellerangaben zur Fahrzeugkonditionierung

Als Beispiel sind in Tabelle 5.2 die Ergebnisse für folgende Fahrzeuge festgehalten:

- DaimlerChrysler W124 300 TD,
- Opel Vectra 2,0 TDI – J96/Kombi,
- VW Passat 1,9 TDI.

Das Vorgehen teilte sich in vier Prüfschritte auf:

1. Konditionierung gemäß Herstellerangaben aus DAT,

Fahrzeug	Konditionierung	Ergebnis					
		t _s -Zeiten			k-Wert		
		1. Gasstoß	2. Gasstoß	3. Gasstoß	1. Gasstoß	2. Gasstoß	3. Gasstoß
Opel Vectra	T _{mot} >80 °C, 5 Gasstöße (Hrst.-angabe)	0,93	0,97	1,09	0,27	0,28	0,29
	T _{mot} >80 °C, warmgefahren	1,01	1,05	1,05	0,31	0,31	0,28
VW 1,9 l	T _{mot} >60 °C, 10 Gasstöße (Hrst.-angabe)	1,05	1,01	1,09	0,25	0,26	0,26
	T _{mot} >80 °C, warmgefahren	1,01	0,97	0,93	0,24	0,24	0,22
DC 300	T _{mot} >70 °C (Hrst.-angabe)	1,42	1,6	1,42	0,67	0,67	0,67
Turbo	T _{mot} >80 °C, 5 Gasstöße	1,33	1,42	1,37	0,65	0,61	0,59

Tab. 5.2: Trübungswerte

2. Durchführung einer AU,
3. Konditionierung durch Warmfahren des Motors,
4. Durchführung einer AU.

Wie die Messungen zeigen, reicht die ausschließliche Angabe der Motoröltemperatur zur Überprüfung der Konditionierung nicht aus. Es muss sichergestellt werden, dass nicht Ablagerungen (Deposit-Effekte) in der Abgasanlage bei der AU freigesetzt werden und das Ergebnis verfälschen. Sichergestellt werden könnte das durch eine ausreichende Anzahl freier Beschleunigungen, um das System von Ablagerungen zu befreien.

In weiterführenden Messungen wurden diese Effekte noch näher untersucht. Dafür wurde der Motor auf Betriebstemperatur gebracht und anschließend mehrere Abgasuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurden die k-Werte aufgezeichnet, die sich einstellen. Ziel war, die Anzahl Gasstöße zu ermitteln, die bei nahezu konstanten Beschleunigungszeiten zu gleich bleibenden Trübungswerten (innerhalb eines schmalen Toleranzbandes) führten.

Bild 5.1 zeigt beispielhaft den zuvor beschriebenen Einfluss der Anzahl der Gasstöße auf das AU-Ergebnis. Daraus wird ersichtlich, dass nach ungefähr 8 Gasstößen (freien Beschleunigungen) ein konstanter Trübungswert des Fahrzeuges erreicht wird. Bei den weiteren Gasstößen pendelt der Trübungswert um einen konstanten Wert, ohne nennenswerte Abweichungen. Ähnliche Messungen wurden mit vergleichbarem Ergebnis an weiteren Fahrzeugen mit verschiedenen Motorkonzepten durchgeführt

Die Messergebnisse zeigen, dass eine Fahrzeugkonditionierung von 10 Gasstößen bei betriebswarmem Motor, wie sie vom Hersteller VW angegeben wird, zu einer Verbesserung der Aussagekraft der Abgasuntersuchung führen kann.

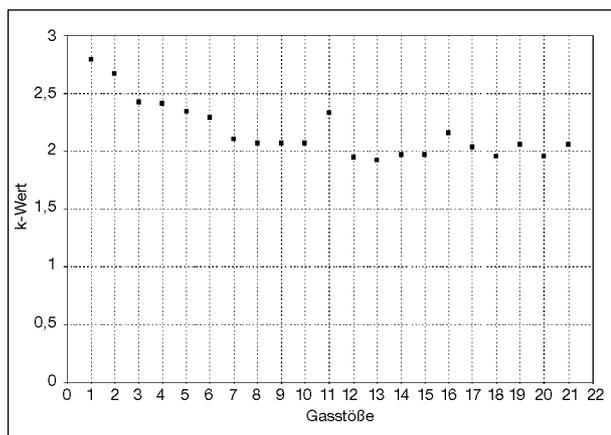


Bild 5.1: k-Wert in Abhängigkeit der Anzahl Gasstöße (Fahrzeugtyp: Peugeot 205)

5.2 Einfluss der Beschleunigungszeit

Zur Darstellung des Einflusses der Beschleunigungszeit auf die bei der freien Beschleunigung gemessene Abgastrübung wurden die Abgasuntersuchungsdaten für Dieselfahrzeuge von 1998 ausgewertet. In Bild 5.2 ist die Verteilung der Beschleunigungszeiten dargestellt. Zugrunde gelegt sind Daten von einem Teil der DEKRA-Niederlassungen und -Außenstellen.

Untersucht wurden die Beschleunigungszeiten bei der freien Beschleunigung von 25.853 Fahrzeugen. Bei ca. drei Beschleunigungen pro Fahrzeug ergeben sich 77.477 einzelne Beschleunigungen, die für die Gesamtübersicht ausgewertet wurden.

Die Messungen wurden bei der Auswertung in Klassen eingeteilt und die Anzahl der Messungen pro Klasse erfasst. Das Einteilungskriterium war die Beschleunigungszeit, in Stufen von 0,1 Sekunde.

Darauf aufbauend wurden für gängige Motorkonzepte Einzelauswertungen in gleicher Form ange-

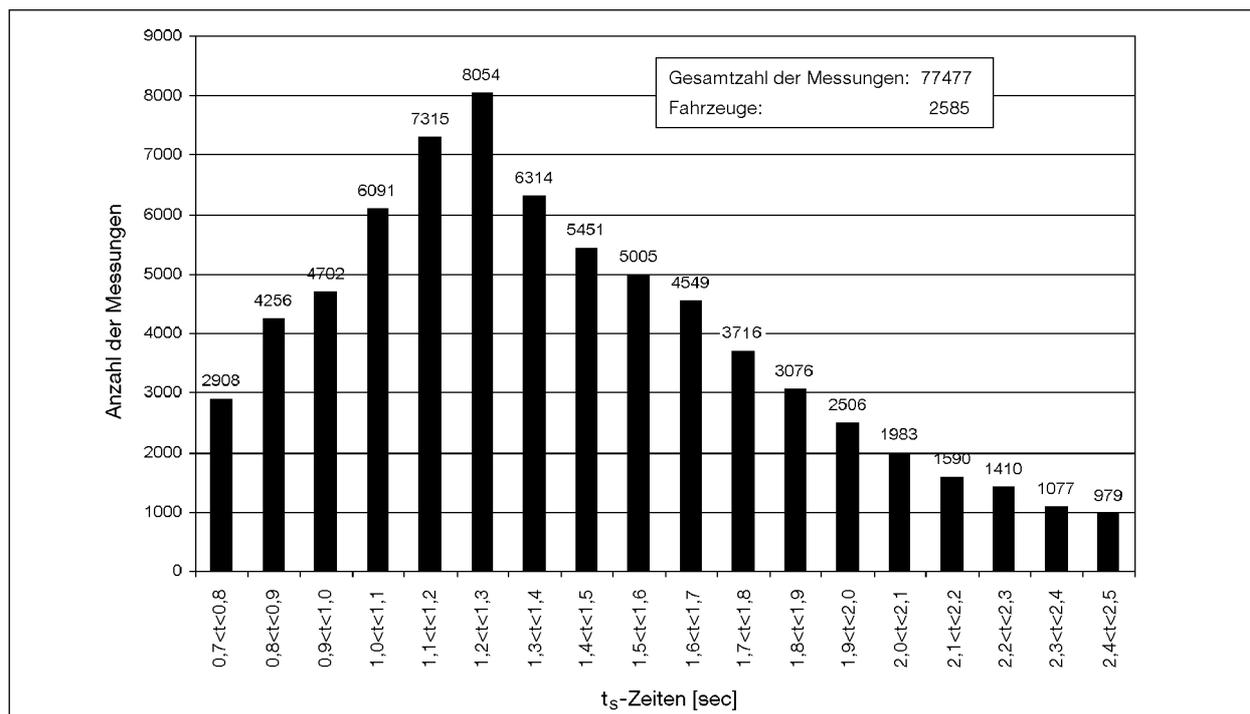


Bild 5.2: Verteilung der Beschleunigungszeiten bei der Diesel-AU

Fahrzeug	Motorkonzept	Hubraumklasse	Beschleunigungszeit [s]
Ford Escort	Wirbel-/Vorkammer Saugmotor	≤ 2,0 l	<1,5
Toyota Corolla	Wirbel-/Vorkammer Saugmotor		<1,5
Golf SDI	Direkteinspritzer Saugmotor		0,8-0,9 1,4-1,5
Golf 1,9 Turbo	Wirbel-/Vorkammer Turbo		0,7-0,8
Fiat Ducato 1,9 l Turbo	Wirbel-/Vorkammer Turbo		0,9-1,1
Golf TDI	Direkteinspritzer Turbo	1,2-1,3	
DC 2,5 l	Wirbel-/Vorkammer Saugmotor	> 2,0 l	1,2-1,3
Fiat Ducato 2,5 l	Wirbel-/Vorkammer Saugmotor		1,1-1,2 1,4-1,6
Ford Transit	Direkteinspritzer Saugmotor		1,3-1,4
DC 3,0 l	Wirbel-/Vorkammer Turbo		1,3-1,4
Audi 100	Direkteinspritzer Turbo		1,2-1,3
Fiat Ducato 2,4l TDI	Direkteinspritzer Turbo		0,9-1,0

Tab. 5.3: Beschleunigungszeiten bei verschiedenen Fahrzeugtypen

fertigt und analysiert, wo der Schwerpunkt der Beschleunigungszeiten für diese Motorkonzepte liegt. Das Ergebnis findet sich in Tabelle 5.3. Dabei wurden sowohl Fahrzeuge berücksichtigt, die die AU bestanden haben, als auch Fahrzeuge, bei denen die AU nicht bestanden wurde.

Um den Einfluss der Beschleunigungszeit auf die bei der freien Beschleunigung gemessene Abgastrübung darzustellen, wurden an mehreren Fahrzeugtypen Messreihen durchgeführt. In Bild 5.3 ist die an einem Peugeot 205 GRD bei verschiedenen Beschleunigungszeiten gemessene Abgastrübung dargestellt.

Anschließend wurde die Einspritzmenge erhöht, so dass ein erhöhter Trübungswert gemessen wurde. Die Ergebnisse dieser zweiten Messreihe sind in Bild 5.4 dargestellt.

Ähnliche Messergebnisse wurden auch bei einem Ford Escort 1,8 l und einem VW mit 1,9l-TDI-Motor erzielt. Die Bilder 5.3 und 5.4 verdeutlichen die Abhängigkeit der gemessenen Abgastrübung von der Beschleunigungszeit. Die statistischen Auswertungen (Bild 5.2 und Tabelle 5.3) zeigen, dass für nahezu alle Pkw und leichte Nutzfahrzeuge eine Beschleunigungszeit von 1,5 Sekunden ausreicht.

Nutzfahrzeuge

Um einen Anhaltspunkt für die Größenordnung der Beschleunigungszeit bei Nutzfahrzeugmotoren zu erhalten, wurden Messungen an einem Actros 2548 des Herstellers DaimlerChrysler durchgeführt.

Es zeigte sich, dass die kürzeste Beschleunigungszeit bei schlagartigem Durchtreten des Gaspedals bei 1,6 bis 1,7 Sekunden liegt. Bei den ermittelten Trübungswerten ergaben sich selbst bei extrem langer Beschleunigungszeit keine Änderungen. Als Ursache kann dabei die extrem niedrige Lage der

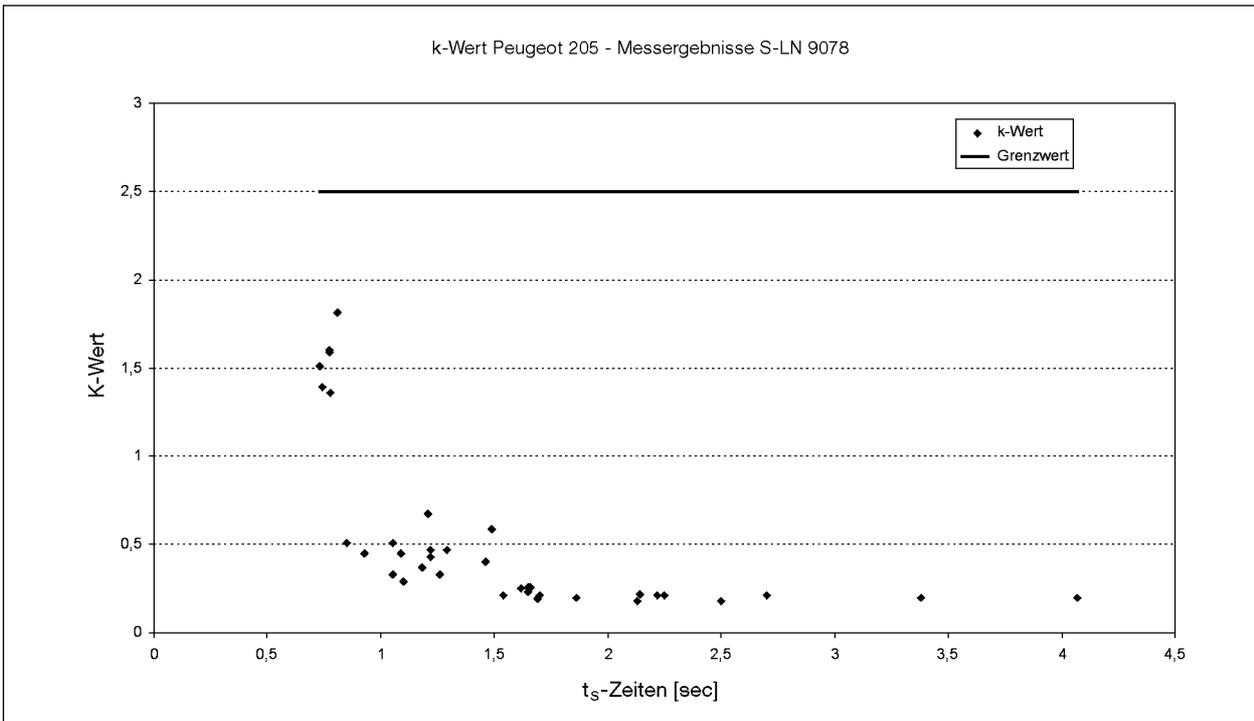


Bild 5.3: Abgastrübung bei verschiedenen Beschleunigungszeiten

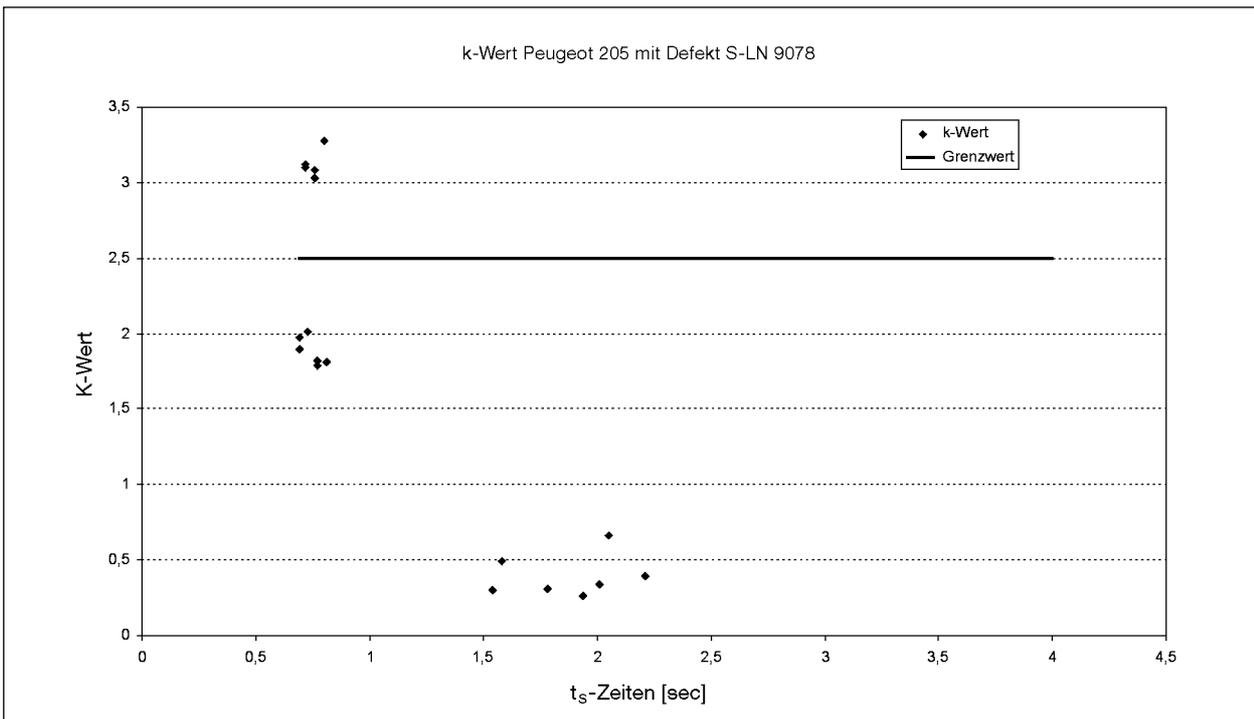


Bild 5.4: Abgastrübung bei verschiedenen Beschleunigungszeiten mit erhöhter Einspritzmenge

Messwerte angesehen werden; mit Werten von 0,1 bzw. 0,06 m⁻¹ liegen alle Messwerte noch innerhalb der Messgenauigkeit des Gerätes.

Auswertung der AU-Daten für VW-Typen

Auf Basis der ca. 60.000 an den Prüfbahnen des TÜV Rheinland im Jahr 1998 durchgeführten AU-Prüfungen an Dieselfahrzeugen wurde ein beispielhafter Datensatz nur mit dem Hersteller VW erstellt, welcher ca. 16.600 Prüfungen umfasst. Für diesen Datensatz wurde zunächst die Rangfolge hinsichtlich der Häufigkeit der auftretenden Typschlüssel-Nummern ermittelt. Insgesamt traten 230 verschiedene Typschlüssel-Nummern auf, von denen jedoch bei mehr als der Hälfte weniger als 10 Fahrzeuge erfasst waren.

Um in Bezug auf die AU-relevanten Merkmale ca. 90 % der Typen abzudecken, müssen weniger als 70 Typschlüssel-Nummern berücksichtigt werden.

Mit Hilfe der technischen Daten aus den von DAT veröffentlichten Einstellwerten ist weiterhin eine Zusammenfassung von verschiedenen Typschlüssel-Nummern möglich. Das Hauptkriterium dabei ist der Motortyp bzw. Motor-Code, durch den wesentliche Merkmale, wie Hubraum, Nennleistung und die Ausrüstung mit Katalysator bzw. Turbolader, festgelegt sind.

Durch die Zusammenfassung von Typschlüssel-Nummern nach Motortypen kann der AU-Datensatz auf lediglich 14 Untergruppen, aufgelistet in Tabelle 5.4, verdichtet werden. Für die Auswertung der AU-Prüfergebnisse auf dieser Basis stehen somit insgesamt 14.572 Fahrzeuge bzw. bei drei freien Beschleunigungen pro Fahrzeug 43.716 Messergebnisse zur Verfügung. Der Stichprobenumfang beträgt je nach Motortyp zwischen 528 und 7.548 Messwerte. Neben dem Stichprobenumfang sind in Tabelle 5.4 pro Motortyp auch drei verschiedene Werte für die Beschleunigungszeit

Motor-Code Technische Daten	Beschleunigungszeit [s]			Anzahl Messwerte
	von (H > 2 %)	bis ($\Sigma H \approx 80/95$ %)	maximale Häufigkeit H	
AAZ 1896 cm ³ , 55 kW, Kat, Turbo	0,7	1,3 / 1,8	0,85	6.897
1 Y/AEF/AEY 1.896 cm ³ , 47 kW, Kat, ohne Turbo	0,7	1,5 / 2,0	0,85	2.637
KY 1.695 cm ³ , 42 kW, ohne Kat, ohne Turbo	0,7	1,3 / 1,7	0,85	972
JP 1.570 cm ³ , 40 kW, ohne Kat, ohne Turbo	0,7	1,3 / 1,8	0,85	7.548
1 W 1.398 cm ³ , 35 kW, ohne Kat, ohne Turbo	0,7	1,7 / 2,4	0,85	528
1 V 1.588 cm ³ , 44 kW, Kat, Turbo	0,8	1,5 / 1,9	0,95	2.298
CY 1.570 cm ³ , 51 kW, ohne Kat, Turbo	0,8	1,3 / 1,7	0,95	4.317
RA / SB 1570 cm ³ , 59 kW, ohne Kat, Turbo	0,8	1,5 / 1,9	0,95*)	1.752
CR / JK 1.570 cm ³ , 40 kW, ohne Kat, ohne Turbo	0,8	1,4 / 1,8	0,95	2.454
CS 1.570 cm ³ , 37 kW, ohne Kat, ohne Turbo	0,8	1,4 / 1,9	0,95	1.671
JX 1.570 cm ³ , 51 kW, ohne Kat, Turbo	0,8	1,3 / 1,9	1,05	1.905
1 X 1.896 cm ³ , 45 kW, ohne Kat, ohne Turbo	0,9	1,5 / 2,1	1,05	864
AAB 2.370 cm ³ , 57 kW, ohne Kat, ohne Turbo	1,0	1,8 / 2,2	1,15	3.651
1Z / AHU 1.896 cm ³ , 66 kW, Kat, Turbo DI	1,1	1,6 / 2,1	1,25	6.222

*) zweites Häufigkeits-Maximum bei 1,25 s

Tab. 5.4: Stichprobenumfang und Beschleunigungszeiten für verschiedene Motortypen

angegeben, die später noch näher erläutert werden.

Zunächst wurde für jeden Motortyp die Häufigkeitsverteilung der Beschleunigungszeiten ermittelt, wobei eine Schrittweite von 0,1 s zugrunde gelegt wurde. Neben der absoluten Häufigkeit, d. h. der Anzahl der in die jeweiligen Klassen entfallenden Beschleunigungszeiten, wurden auch die relative und die kumulierte Häufigkeit bestimmt. In den Bildern 5.5 und 5.6 sind für 6 verschiedene Motortypen die Häufigkeitsverteilungen bzw. die daraus abgeleiteten Grenzen für die Beschleunigungszeit grafisch dargestellt. Wegen der besseren Übersichtlichkeit wurden nur die sechs Motortypen ausgewählt, die deutliche Unterschiede in Bezug auf die Kurvenverläufe der kumulierten Häufigkeit (Bild 5.5, unten) aufwiesen.

Die relativen Häufigkeiten, beispielhaft dargestellt in Bild 5.6, dienen als Basis für die Bestimmung der in Tabelle 5.4 angegebenen Beschleunigungszeiten. Die Beschleunigungszeiten wurden unter folgenden Gesichtspunkten ermittelt:

- Untergrenze (von $H > 2 \%$)
Beschleunigungszeit, bei der die relative Häufigkeit erstmalig $> 2 \%$ beträgt;
- Obergrenze (bis $\sum H \approx 80/95 \%$)
Beschleunigungszeit, bei der die Summe der relativen Häufigkeiten, beginnend bei der Häufigkeit der Untergrenze, etwa 80 % bzw. 95 % beträgt;
- maximale Häufigkeit (H)
Beschleunigungszeit, bei der die relative Häufigkeit ihren Maximalwert erreicht.

Die untere Grenze von 2 % für die relative Häufigkeit war erforderlich, weil der Datensatz, bedingt durch Fehler in der Drehzahlerfassung, auch sehr kleine, technisch unmögliche Beschleunigungszeiten (bis hin zu 0 s) enthält, die zu einer Verfälschung des Ergebnisses führen würden.

Hinsichtlich der Verteilungsbreite wurden die Fälle 80 % bzw. 95 % der Beschleunigungszeiten betrachtet. Die sich daraus ergebenden Maximalwerte für die im Rahmen der AU-Prüfungen auftretenden

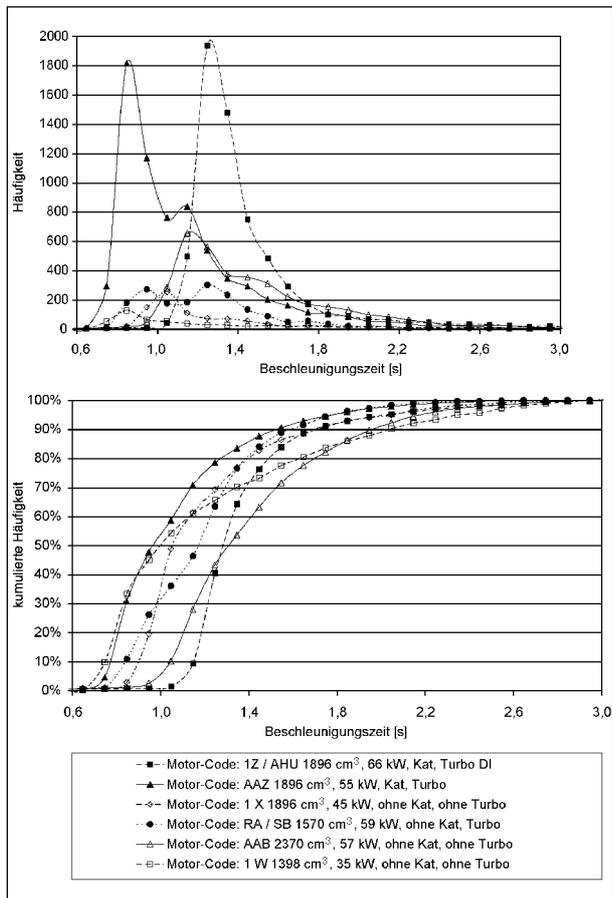


Bild 5.5: Absolute und kumulierte Häufigkeitsverteilung für 6 verschiedene Motortypen

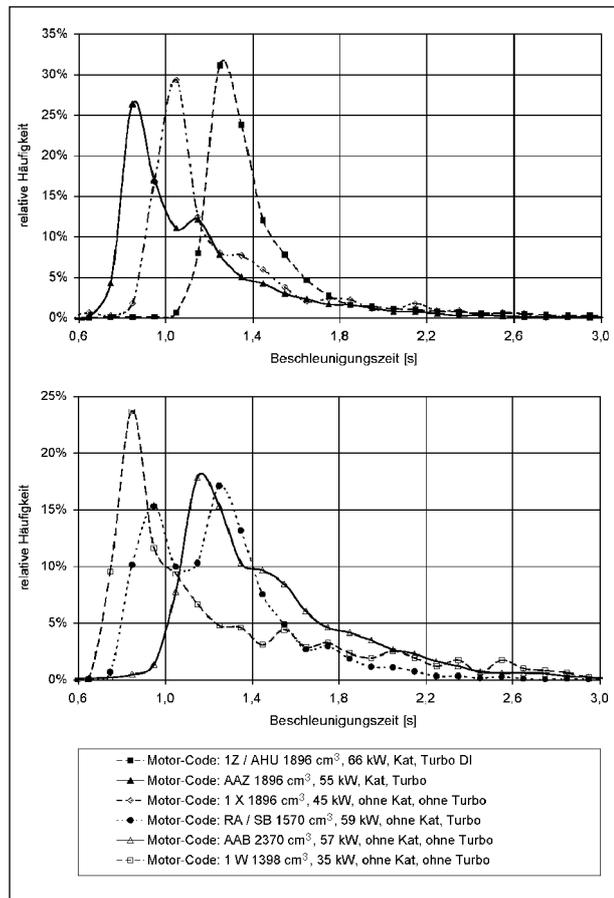


Bild 5.6: Relative Häufigkeitsverteilung für 6 verschiedene Motortypen

den Beschleunigungszeiten sind in Tabelle 5.4 angegeben.

In Bild 5.7 sind die Bereiche der Beschleunigungszeiten, die sich auf Basis der genannten Betrachtungen in Bezug auf Unter- und Obergrenze ergeben, für die ausgewählten 6 verschiedenen Motortypen dargestellt.

Bei allen Motortypen liegt die Beschleunigungszeit mit der maximalen Häufigkeit nur ca. 0,15 s höher als die Untergrenze, wobei die Verteilungsbreite von 0,5 (1,0) bis 1,0 (1,7) s reicht. Die Werte in Klammern beziehen sich auf den Fall, dass 95 % der in der Realität aufgetretenen Beschleunigungszeiten berücksichtigt werden. Die in allen Fällen

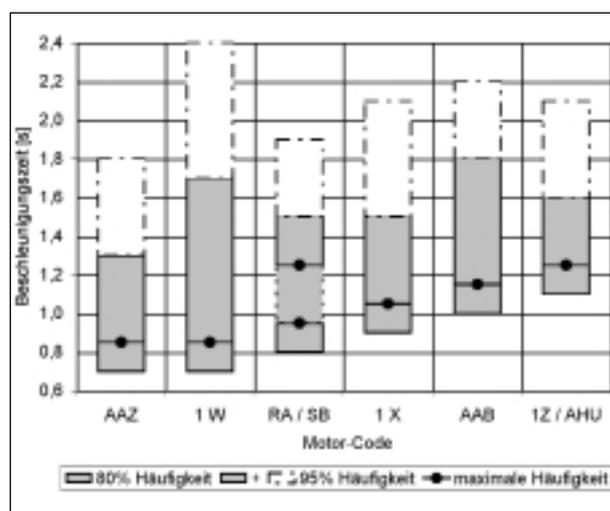


Bild 5.7: Bereich der Beschleunigungszeiten für 6 verschiedene Motortypen

stark bis extrem linksgipfelige Form für die Häufigkeitsverteilung der Beschleunigungszeiten (siehe auch Bild 5.6) ist mit technisch begründeten Notwendigkeiten nicht zu erklären. Die zuvor diskutierte Problematik in Bezug auf die Bereiche der Beschleunigungszeiten wird auch deutlich, wenn man die Kurvenverläufe der relativen Häufigkeit in Bild 5.6 analysiert.

Im Bereich der maximalen Häufigkeit ist annähernd eine Normalverteilung der Beschleunigungszeiten zu beobachten, d. h., die Messwerte verteilen sich näherungsweise symmetrisch um die am häufigsten auftretende Beschleunigungszeit. Die Breite dieses Bereiches ist bei den verschiedenen Motortypen unterschiedlich. Insbesondere bei den im unteren Teil von Bild 5.6 dargestellten Motortypen sind diese Spitzen nur noch schwach ausgeprägt, bzw. im Fall des Motortyps RA/SB ergibt sich sogar eine zweigipfelige Verteilung.

Unterstellt man, dass aufgrund der technischen Konstruktionsmerkmale eines bestimmten Motortyps die Beschleunigungszeiten annähernd normalverteilt sein sollten, d. h., die Verteilung symmetrisch bzw. zumindest annähernd symmetrisch ist, so ergeben sich die in Tabelle 5.5 angegebenen Obergrenzen für die Beschleunigungszeit.

Führt man diese Betrachtung für die übrigen in Tabelle 5.4 aufgeführten Motortypen durch, so ergeben sich vergleichbare Obergrenzen. Für einen großen Teil aller Motortypen lassen sich demnach Beschleunigungszeiten von 1,3 s bis 1,7 s technisch realisieren.

Motor-Code Technische Daten	Beschleunigungszeit [s]			
	Unter- grenze	maximale Häufigkeit	Obergrenze	
			symmetrische Verteilung	annähernd sym. Vert.
AAZ 1.896 cm ³ , 55 kW, Kat, Turbo	0,7	0,85	1,0	1,15
1 W 1.398 cm ³ , 35 kW, ohne Kat, ohne Turbo	0,7	0,85	1,0	1,15
RA / SB 1.570 cm ³ , 59 kW, ohne Kat, Turbo	0,8	0,95*)	1,1	1,25
1 X 1.896 cm ³ , 45 kW, ohne Kat, ohne Turbo	0,9	1,05	1,2	1,35
AAB 2.370 cm ³ , 57 kW, ohne Kat, ohne Turbo	1,0	1,15	1,3	1,45
1Z / AHU 1.896 cm ³ , 66 kW, Kat, Turbo DI	1,1	1,25	1,4	1,55

*) zweites Häufigkeits-Maximum bei 1,25 s

Tab. 5.5: Bereiche der Beschleunigungszeiten für verschiedene Motortypen unter der Annahme einer symmetrischen bzw. annähernd symmetrischen Verteilung

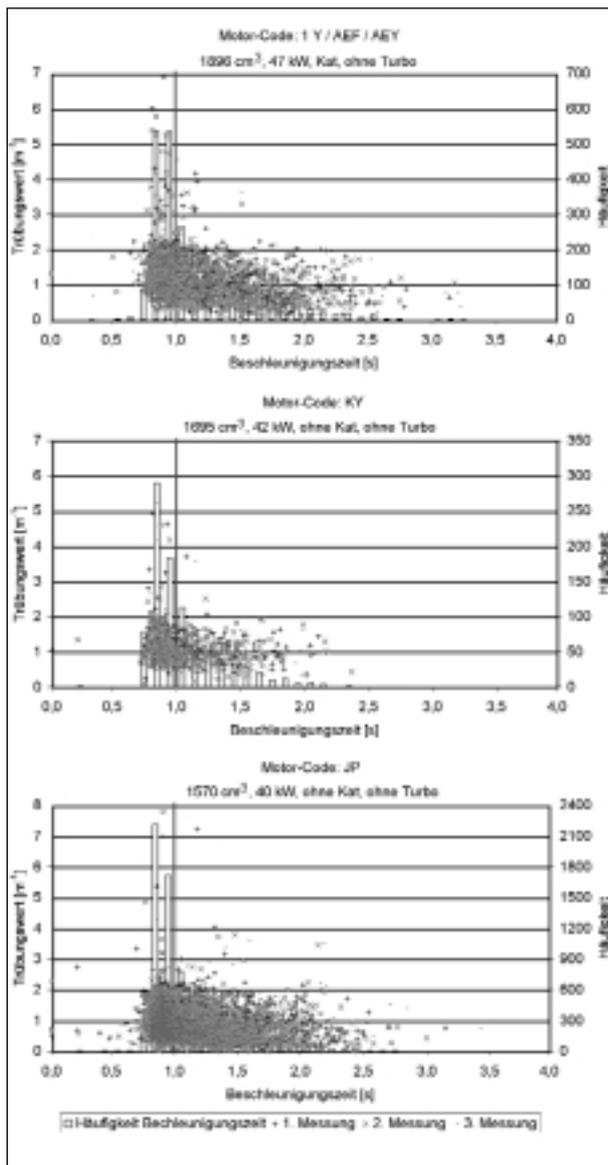


Bild 5.8: Trübungswert in Abhängigkeit von der Beschleunigungszeit für 1 Motortyp mit Katalysator und 2 Motortypen ohne Katalysator und ohne Turboaufladung

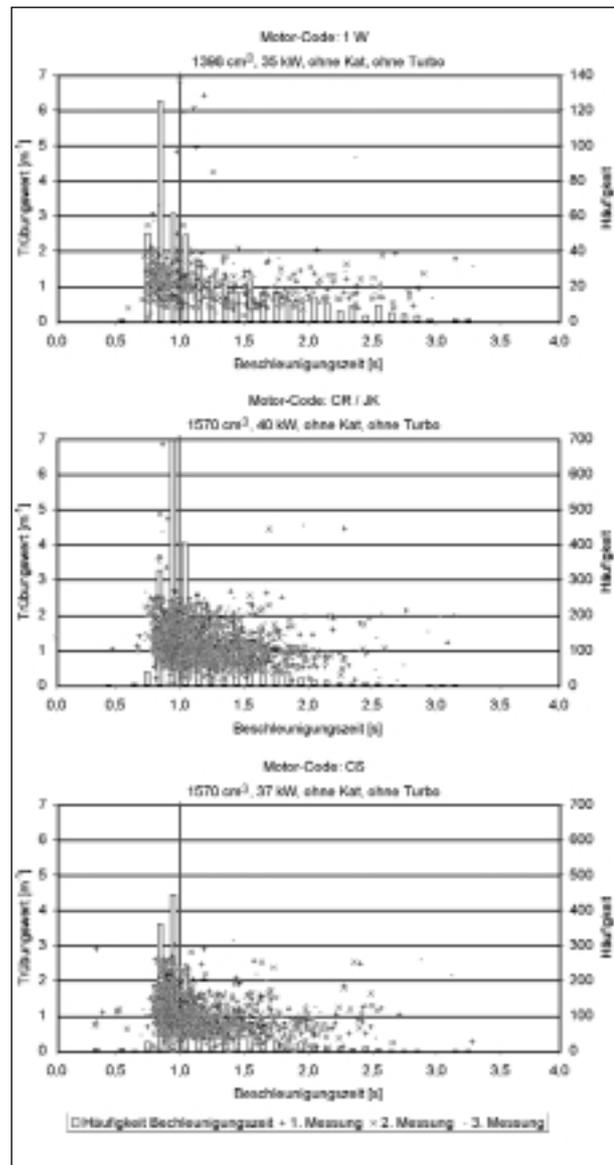


Bild 5.9: Trübungswert in Abhängigkeit von der Beschleunigungszeit für 3 Motortypen ohne Katalysator und ohne Turboaufladung

Inwieweit die längeren Beschleunigungszeiten einen Einfluss auf das Ergebnis der Trübungsmessung haben, soll nachfolgend diskutiert werden. In den Bildern 5.8 bis 5.12 ist für die 14 betrachteten Motortypen der Trübungswert der freien Beschleunigung in Abhängigkeit von der Beschleunigungszeit dargestellt. Die Bilder 5.8 bis 5.10 beinhalten mit einer Ausnahme (mit Kat.) nur Darstellungen von Motortypen ohne Katalysator und ohne Turboaufladung. Die Bilder 5.11 und 5.12 beziehen sich auf Motortypen mit Turboaufladung, und zwar mit (Bild 5.11) und ohne Katalysator (Bild 5.12). Neben den Ergebnissen der Trübungsmessung, dargestellt als „Punktwolke“, sind in den Bildern auch die absoluten Häufigkeiten der Beschleuni-

gungszeiten in Form von Säulendiagrammen hinterlegt. Um die Lage der maximalen Häufigkeit optisch besser einordnen zu können, ist als Referenzlinie die Beschleunigungszeit 1 s eingezeichnet.

Wegen der großen Stichprobenumfänge tritt in den Bereichen, in denen sehr viele Ergebnisse liegen, eine Überlagerung der Darstellungssymbole auf, was eine starke Schwärzung zu Folge hat. Betrachtet man die Form dieser geschwärtzten Bereiche, so zeigen sich prinzipielle Unterschiede zwischen den Motortypen ohne bzw. mit Turboaufladung. Im Fall ohne Turboaufladung ist ein rechtwinkeliges Dreieck zu erkennen, dessen Hypotenuse einen negativen Trend aufweist, d. h., mit zu-

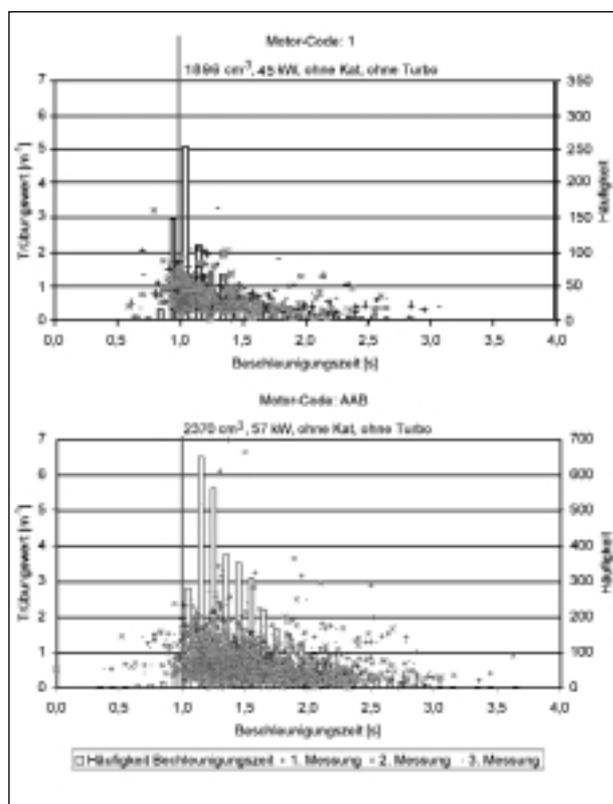


Bild 5.10: Trübungswert in Abhängigkeit von der Beschleunigungszeit für 2 Motortypen ohne Katalysator und ohne Turboaufladung

nehmender Beschleunigungszeit nehmen die Trübungswerte linear ab. Bei einzelnen Motortypen ist die Hypotenuse im mittleren Bereich zur Dreiecksfläche hin gekrümmt, so dass der geschwärtzte Bereich eher die Form eines Schuhes annimmt. In Bezug auf die Trübungswerte bedeutet dies, dass der negative Trend im Bereich von Beschleunigungszeiten oberhalb der maximalen Häufigkeit zunächst relativ stark ist, um sich dann bei einer weiteren Ausdehnung der Beschleunigungszeiten abzuschwächen.

Bei den Motortypen mit Turboaufladung ist mit einer Ausnahme (Bild 5.12, Motor-Code CY) kein negativer Trend zu erkennen. Die geschwärtzten Bereiche haben entweder die Form eines Rechtecks oder einer Kugel. Bei den Motortypen mit Katalysator (Bild 5.11) fällt außerdem auf, dass auch bei relativ langen Beschleunigungszeiten die Trübungswerte nicht abnehmen, sondern sich vielmehr im Bereich des Grenzwertes oder aber auch deutlich darüber bewegen.

Eine wesentliche Einschränkung im Hinblick auf die angestellten Betrachtungen ist, dass in der Praxis

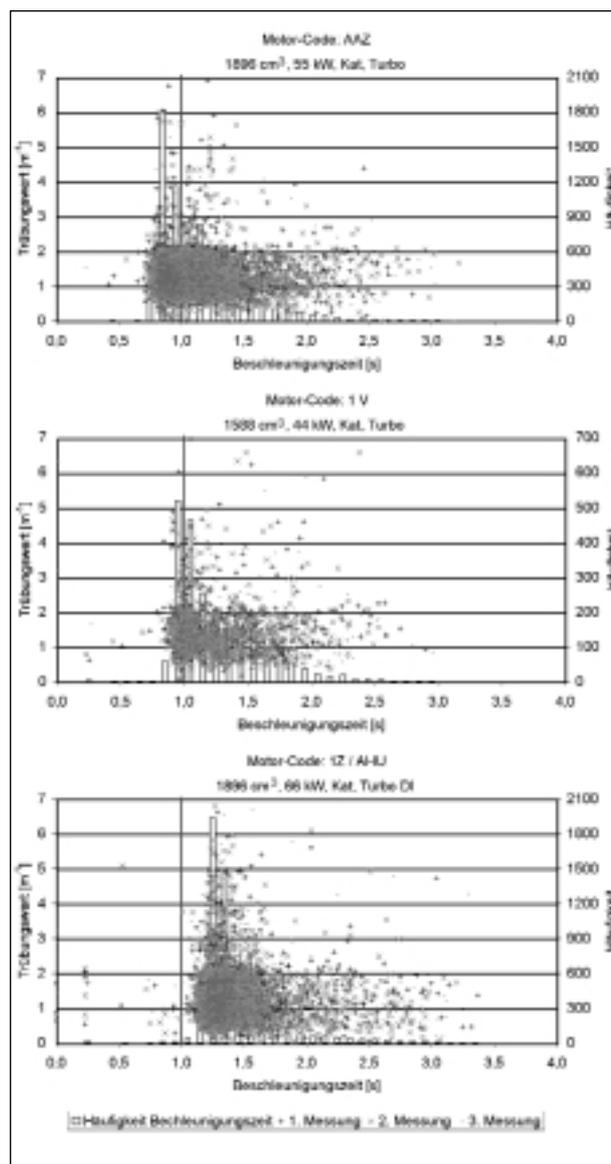


Bild 5.11: Trübungswert in Abhängigkeit von der Beschleunigungszeit für 3 Motortypen mit Katalysator und mit Turboaufladung

die AU-Prüfung mit Unterschreiten des jeweiligen Grenzwertes beendet wird, was die Plateaus bei Trübungswerten von 2,0 bzw. 2,5m⁻¹ bei einigen Motortypen zeigen.

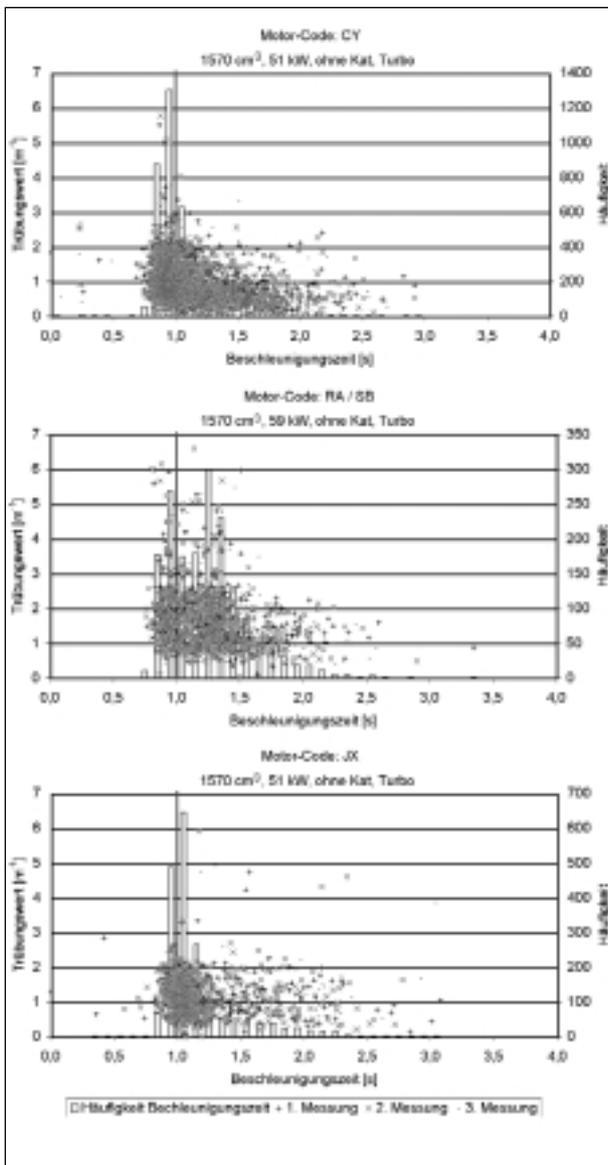


Bild 5.12: Trübungswert in Abhängigkeit von der Beschleunigungszeit für 3 Motortypen ohne Katalysator und mit Turboaufladung

5.3 Bewertung der Möglichkeiten zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung bezüglich Konditionierung und Beschleunigungszeit

Während des Betriebs von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor lagern sich in der Schalldämpferanlage Partikel ab. Bei der Durchführung der freien Beschleunigung an einem unzureichend konditionierten Fahrzeug können sich angelagerte Partikel lösen und zu einer Erhöhung der gemessenen Abgastrübung führen. Dieser Deposit-Effekt kann dazu führen, dass Fahrzeuge ohne

technischen Defekt bei der Abgasuntersuchung beanstandet werden (Error of Commission).

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden verschiedene Möglichkeiten zur Fahrzeugkonditionierung betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass eine Konditionierung durch mindestens 8 freie Beschleunigungen bei sonst betriebswarmem Motor vor der eigentlichen Abgasuntersuchung zu hinreichend stabilen Trübungswerten führt. Diese Vorgabe könnte als genereller Konditionierungshinweis umgehend eingeführt werden. Dadurch lässt sich die Gefahr für das Auftreten eines Error of Commission senken und die Aussagesicherheit der bestehenden Abgasuntersuchung erhöhen.

Bei der freien Beschleunigung wird der Motor gegen seine Massenträgheit von der Leerlaufdrehzahl auf die Abregeldrehzahl beschleunigt. Entscheidend für die Aussagefähigkeit dieser Messung ist eine schnelle und stoßfreie Beschleunigung, so dass für diesen Vorgang die größtmögliche Einspritzmenge erzielt wird. Die Beschleunigungszeit bei der freien Beschleunigung hat einen erheblichen Einfluss auf den Wert der gemessenen Abgastrübung. Bei einer langsamen Beschleunigung wird nicht die volle Einspritzmenge erreicht, die aufgebrauchte Motorlast ist geringer und es wird eine niedrigere Abgastrübung gemessen. Das kann dazu führen, dass defekte Fahrzeuge bei langsamer Beschleunigung als in Ordnung bewertet werden. Durch eine Beschränkung der Beschleunigungszeit lässt sich dieser Error of Omission verringern und die Aussagefähigkeit der bestehenden Abgasuntersuchung erhöhen.

Die Auswertung der Beschleunigungszeiten, die in der Praxis bei der Durchführung der Abgasuntersuchung ermittelt wurden, lässt erkennen, dass für nahezu alle Fahrzeuge eine Beschleunigungszeit von 1,5 Sekunden ausreicht. Für Fahrzeuge, bei denen diese Zeit nicht eingehalten werden kann, sind entsprechende Herstellerangaben erforderlich.

Diese Aussagen gelten nicht nur für die ausgewerteten Fahrzeuge, sondern sie sind auch übertragbar auf Pkw und Lkw anderer Hersteller.

Die hier vorgeschlagene Fahrzeugkonditionierung und eine Beschränkung der Beschleunigungszeit lassen sich relativ schnell und mit geringem Aufwand in die Praxis umsetzen. Durch diese Maßnahmen kann die Aussagekraft der bestehenden

Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor verbessert werden. Vor dem Hintergrund einer verbesserten Fahrzeugkonditionierung und einer dadurch verringerten Gefahr für einen Error of Commission ist die bereits im Abschlussbericht von Phase II dieses Forschungsvorhabens [1.2] angesprochene Möglichkeit der Absenkung der Grenzwerte für moderne Fahrzeugkonzepte zu diskutieren. Teilweise sind die Herstellerangaben bereits im Vergleich zu der in der 96/96/EG angegebenen generellen Grenze von 2,5 bzw. 3,5 m⁻¹ deutlich niedriger.

6 Theoretische Studie zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen

Charakteristische Größen für das Abgasemissionsverhalten von Fahrzeugen mit Dieselmotor sind die gegenüber auf $\lambda = 1$ geregelten Fremdzündungsmotoren höheren Partikel- und Stickoxidemissionen. Partikel und insbesondere Stickoxide werden vom Dieselmotor in erster Linie unter Last emittiert. Daher ist die Kombination von Fahrwiderstandssimulation und der Analyse der Abgaskomponenten für die Aussagefähigkeit einer weiterentwickelten Abgasuntersuchung entscheidend.

Nachfolgend werden einige Ansätze für eine Fahrwiderstandssimulation und zur Analyse der Abgasemissionen von Fahrzeugen mit Dieselmotor im Rahmen einer periodischen Abgasuntersuchung vorgestellt und aus heutiger Sicht theoretisch bewertet. Grundsätzlich ist bei neuartigen Messverfahren zu beachten, das zunächst keine Anhaltswerte für die Festlegung von Grenzwerten zur Verfügung stehen.

6.1 Fahrwiderstandssimulation

Messung im Leerlauf und im erhöhten Leerlauf

Die Messung im Leerlauf und im erhöhten Leerlauf wird bei der periodischen Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor praktiziert. Bei diesem Lastzustand treten bei Fahrzeugen mit Dieselmotor jedoch nur geringe Emissionen auf. Daher ist bei diesem Verfahren keine hohe Aussagekraft zu erwarten. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass kein Hilfsmittel zum Erzeugen einer Motorbelastung erforderlich ist.

Messung im Leerlauf und im erhöhten Leerlauf	
+ Keine Hilfsmittel zum Aufbringen einer Motorlast erforderlich + Sofort verfügbar + Einfache Umsetzung im Feld möglich	- Unzureichende Motorlast - Geringe Emissionen, daher geringe Aussagekraft zu erwarten
Keine Kosten für die Fahrwiderstandssimulation	

Freie Beschleunigung

Bei der freien Beschleunigung wird der Motor ohne Fremdlast gegen seine eigene Massenträgheit vom Leerlauf bis zur Abregeldrehzahl beschleunigt. Dieses Verfahren ist in der Richtlinie 96/96/EG europaweit vorgeschrieben [6.1]. Zur Zeit wird die freie Beschleunigung bei der periodischen Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor in Verbindung mit der Messung der Abgastrübung eingesetzt. Daher liegen nur für dieses Verfahren zur Zeit Herstellerangaben zu typspezifischen Grenzwerten vor. Die Aussagefähigkeit dieses Verfahrens wird jedoch durch den Einfluss der Fahrzeugkonditionierung und der Beschleunigungszeit eingeschränkt. Bei modernen Motorkonzepten werden bei der freien Beschleunigung sehr geringe Trübungswerte erreicht. Bei einigen schweren Nutzfahrzeugen lässt die elektronisch geregelte Einspritzung eine Beschleunigung ohne Last im normalen Betrieb nicht zu. Bei diesen Fahrzeugtypen ist die Durchführung der freien Beschleunigung jedoch in einem Wartungsmodus möglich, der sich ohne Zusatzgeräte anwählen lässt.

Freie Beschleunigung	
+ Keine Hilfsmittel zum Aufbringen einer Motorlast erforderlich + Im Feld eingeführt	- Unzureichende Motorlast - Einschränkung der Aussagekraft durch Einfluss der Beschleunigungszeit - Kein realer Fahrzustand - Bei elektronisch geregelten Motoren ist die freie Beschleunigung u. U. nicht mehr durchführbar
Keine Kosten für die Fahrwiderstandssimulation	

Beschleunigung einer externen Schwungmasse

Bei der freien Beschleunigung handelt es sich um einen extrem kurzen instationären Vorgang, der im realen Fahrbetrieb nicht vorkommt. Durch die Beschleunigung einer externen Schwungmasse wird die Belastung deutlich über die zur Überwindung

des Massenträgheitsmoments des Motors erforderliche Last erhöht. Daraus ergibt sich eine Verlängerung der Beschleunigungszeit und damit unter Umständen eine Erhöhung der Aussagekraft gegenüber der freien Beschleunigung.

Bild 6.1 zeigt den Verlauf der Abgastrübung und der Motordrehzahl während eines Tests. Dabei wurde ein Rollensatz mit einer Schwungmasse von 680 kg bis zur Abregeldrehzahl des untersuchten Fahrzeuges beschleunigt. Die Rauchgastrübung wurde mit einem RTT 110 der Firma Bosch kontinuierlich erfasst, das auch auf Prüfbahnen im Rahmen der AU eingesetzt wird. Die Dauer einer Beschleunigung beträgt etwa 50 Sekunden. Der maximale Trübungswert wird bei Erreichen der Abregeldrehzahl angezeigt [6.2].

Bei diesem Verfahren ist ein Schwungmassenprüfstand ohne Fahrwiderstandssimulation erforderlich. Neben den Anschaffungskosten für einen derartigen Prüfstand sind zusätzliche gebäudetechnische Investitionen zu berücksichtigen (z. B. Schallschutzmaßnahmen). Die Anschaffung einer derartigen Messtechnik ist nur für Stellen mit einem großen Prüfaufkommen rentabel. Die Fahrzeuge sind für eine derartige Messung auf dem Prüfstand festzuzurren. Außerdem treten erhebliche Belastungen für den Antriebsstrang, insbesondere für die Reifen, auf. Dabei ist die Leitlinie W.D.K. 115 zu berücksichtigen. Die Prüfung auf einem Rollenprüfstand kann bei der Umsetzung im Feld insbesondere bei Fahrzeugen mit Allradantrieb und schweren Nutzfahrzeugen zu Schwierigkeiten führen, da für diese Fahrzeuggruppen sehr aufwändige Prüfstände erforderlich sind. Randbedingungen wie die

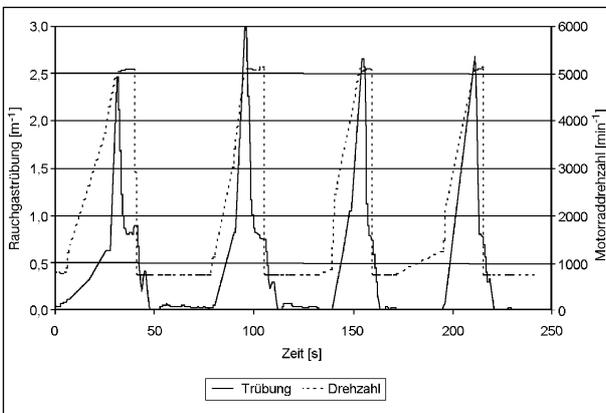


Bild 6.1: Kontinuierlicher Verlauf der Rauchgastrübung und der Motordrehzahl eines Diesel-Pkw mit Saugmotor bei einer Vollastbeschleunigung bis zur Abregeldrehzahl auf einem Rollensatz mit externer Schwungmasse (äquivalente Schwungmasse: 680 kg)

Frage, ob die Größe der Schwungmasse in Abhängigkeit von der Fahrzeugmasse zu wählen ist, sind zu klären. Auch bei diesem Verfahren ist ein Einfluss der Beschleunigungszeit und der Fahrzeugkonditionierung auf das Messergebnis zu erwarten.

Beschleunigung einer externen Schwungmasse	
+ Schwungmassenprüfstände sind verfügbar	- Einschränkung der Aussagekraft durch Einfluss der Fahrzeugkonditionierung zu erwarten - Einschränkung der Aussagekraft durch Einfluss der Beschleunigungszeit zu erwarten - Einfacher Rollenprüfstand erforderlich (mit Schwungmasse) - Schwierigkeiten bei Fahrzeugen mit Allradantrieb und schweren Nutzfahrzeugen zu erwarten
Anschaffungskosten für einen Schwungmassenprüfstand für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge etwa von 15.000 € bis 25.000 €; für schwere Nutzfahrzeuge deutlich höher; zusätzliche gebäudetechnische Investitionen erforderlich	

Konstantfahrt auf einem Fahrleistungsprüfstand (Teillast)

Die Konstantfahrt im Teillastbereich stellt einen typischen Fahrzustand dar. Im Teillastbereich treten in der Regel jedoch nur geringe Emissionen auf, wodurch die Aussagefähigkeit einer derartigen Messung eingeschränkt wird. Bei diesem Verfahren ist ein Schwungmassenprüfstand mit Fahrwiderstandssimulation erforderlich. Neben den Anschaffungskosten für einen derartigen Prüfstand sind zusätzliche gebäudetechnische Investitionen zu berücksichtigen (z. B. Schallschutzmaßnahmen). Die Anschaffung einer derartigen Messtechnik ist nur für Stellen mit einem großen Prüfaufkommen rentabel. Die Fahrzeuge sind für eine derartige Messung auf dem Prüfstand festzuzurren. Außerdem treten bei Messungen auf einem Rollenprüfstand erhebliche Belastungen für die Reifen auf. Dabei ist die Leitlinie W.D.K. 115 zu berücksichtigen. Die Umsetzung im Feld kann insbesondere bei Fahrzeugen mit Allradantrieb und schweren Nutzfahrzeugen zu Schwierigkeiten führen, da für diese Fahrzeuggruppen sehr aufwändige Prüfstände erforderlich sind. Die Lasteinstellung bei einer Konstantfahrt im Teillastbereich ist festzulegen. Dabei ist die Frage zu klären, ob für alle Fahrzeuge eine einheitliche Lasteinstellung oder eine Lasteinstellung in Abhängigkeit von Fahrzeugmasse und Leistung vorgegeben wird.

Konstantfahrt auf einem Fahrleistungsprüfstand	
+ Realistischer Fahrzustand	- Geringe Emissionen, daher geringe Aussagekraft zu erwarten
+ Einfache Fahrleistungsprüfstände für Messungen im Teillastbereich sind sofort verfügbar (z. B. ASM-Prüfstände)	- Fahrleistungsprüfstand erforderlich - Schwierigkeiten bei Fahrzeugen mit Allradantrieb und schweren Nutzfahrzeugen zu erwarten
Anschaffungskosten für einen einfachen Fahrleistungsprüfstand für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge etwa von 15.000 ; bis 25.000 ; für schwere Nutzfahrzeuge deutlich höher; zusätzliche gebäudetechnische Investitionen erforderlich	

Vollastprüfung auf einem Fahrleistungsprüfstand

Im Rahmen der Typprüfung von Fahrzeugen mit Selbstzündungsmotor wird eine Vollastrauchmessung in stationären Lastpunkten auf einem Motorenprüfstand durchgeführt. Daher ist bei der Vollastprüfung auf einem Fahrleistungsprüfstand eine Erkennung von emissionsauffälligen Fahrzeugen zu erwarten [6.3, 6.4]. Um eine derartige Prüfung bei modernen Dieselfahrzeugen mit hohen Drehmomenten und hohen Motorleistungen durchführen zu können, ist ein aufwändiger Fahrleistungsprüfstand erforderlich. Neben den Anschaffungskosten für einen derartigen Prüfstand sind zusätzliche gebäudetechnische Investitionen zu berücksichtigen (z. B. Schallschutzmaßnahmen). Die Anschaffung einer derartigen Messtechnik ist nur für Stellen mit einem großen Prüfaufkommen rentabel. Die Fahrzeuge sind für eine derartige Messung festzuzurren. Es treten extreme Belastungen für das Antriebssystem und insbesondere für die Reifen auf. Dabei ist die Leitlinie W.D.K. 115 zu berücksichtigen. Außerdem ist die Kühlung der Fahrzeuge mit einem Gebläse erforderlich. Bei einer Umsetzung einer Vollastmessung im Feld ist besonders bei Fahrzeugen mit Allradantrieb und bei schweren Nutzfahrzeugen mit erheblichen Schwierigkeiten zu rechnen, da für diese Fahrzeuggruppen extrem aufwändige Prüfstände erforderlich sind.

Vollastprüfung auf einem Fahrleistungsprüfstand	
+ Realistischer Fahrzustand	- Aufwändiger Fahrleistungsprüfstand erforderlich
+ Aussagefähigkeit zu erwarten	- Erhebliche Belastung für das Fahrzeug, insbesondere für die Reifen - Schwierigkeiten bei Fahrzeugen mit Allradantrieb und schweren Nutzfahrzeugen zu erwarten
Anschaffungskosten für einen einfachen Fahrleistungsprüfstand für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge etwa ab 25.000 ; für schwere Nutzfahrzeuge deutlich höher; zusätzliche gebäudetechnische Investitionen erforderlich	

Zyklus auf einem Fahrleistungsprüfstand

Bei einer Messung im Fahrzyklus ist eine gute Korrelation zu realem Fahrverhalten möglich [6.2, 6.5]. Daher ist bei einer derartigen Prüfung eine hohe Aussagefähigkeit zu erwarten. In den Bildern 6.2 und 6.3 sind zwei mögliche Fahrzyklen für einen Kurztest und deren Korrelation zu dem Neuen Europäischen Fahrzyklus dargestellt.

Um realistische Emissionsergebnisse zu erzielen, sollten die zu untersuchenden Pkw in drei Massenklassen eingeteilt werden, denen dann die zugehörige äquivalente Schwungmasse zugeordnet werden kann:

Referenzmasse (kg)	Äquivalente Schwungmasse (kg)
< = 1.020	800
> 1.020 < = 1.470	1.130
> 1.470	1.590

Prinzipiell ist auch eine elektrische Massensimulation vorstellbar, wobei aus Kostengründen auf die Simulation der trägen Masse in den Verzögerungsphasen des Zyklus verzichtet würde.

Für eine dynamische Messung ist ein Fahrleistungsprüfstand mit einer Einrichtung zur Fahrwiderstandssimulation erforderlich. An die Messtechnik und die Datenverarbeitung werden hohe Anforderungen gestellt. Neben den Anschaffungskosten für

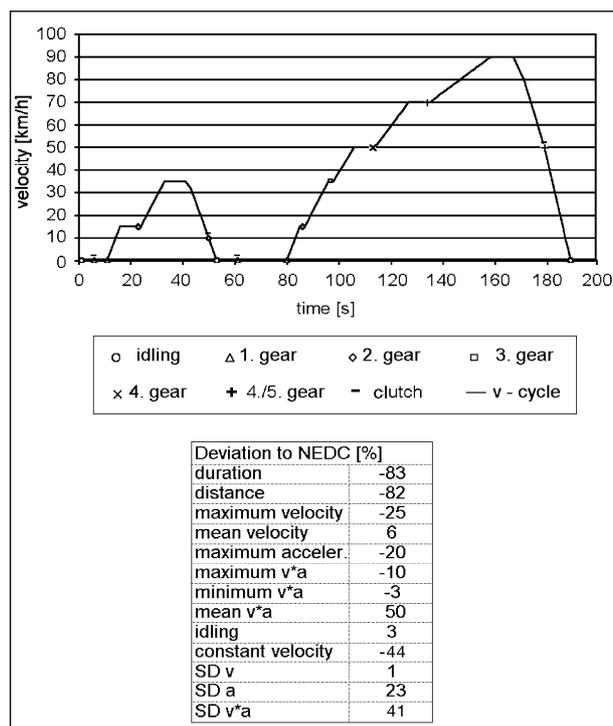


Bild 6.2: TÜV-Kurzzyklus und prozentuale Abweichung der statistischen Parameter zwischen Kurzzyklus und NEFZ

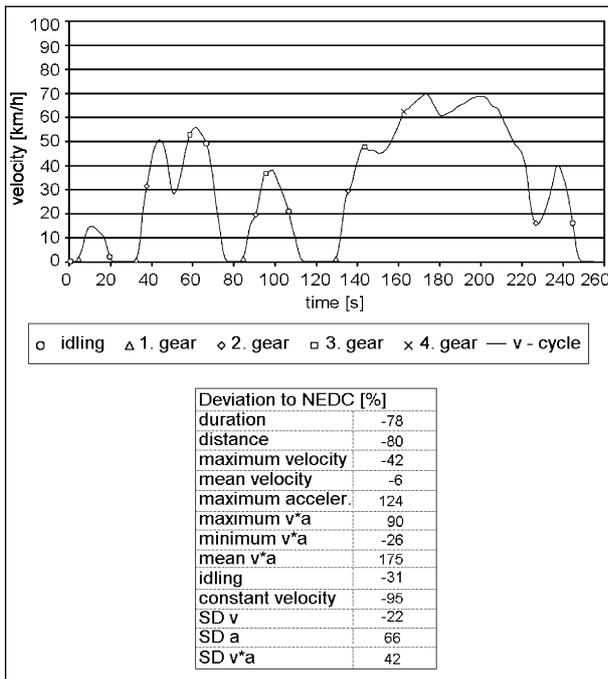


Bild 6.3: INRETS-Kurzzyklus und prozentuale Abweichung der statistischen Parameter zwischen dem Kurztest und dem NEFZ

einen derartigen Prüfstand sind zusätzliche gebäudetechnische Investitionen zu berücksichtigen (z. B. Schallschutzmaßnahmen). Die Anschaffung einer derartigen Messtechnik ist nur für Stellen mit einem großen Prüfaufkommen rentabel. Die Fahrzeuge sollten festgezurt werden. Es treten erhebliche Belastungen für die Reifen auf, so dass für die Durchführung einer solchen Prüfung eine Erhöhung des Reifendruckes erforderlich ist. Dabei ist die Leitlinie W.D.K. 115 zu berücksichtigen. Außerdem ist die Kühlung der Fahrzeuge mit einem Gebläse erforderlich. Bei der Umsetzung im Feld ist insbesondere bei Fahrzeugen mit Allradantrieb und bei schweren Nutzfahrzeugen mit erheblichen Schwierigkeiten zu rechnen. Auch bei diesem Verfahren ist ein Einfluss der Fahrzeugkonditionierung auf das Messergebnis zu erwarten.

Dynamischer Zyklus auf einem Fahrleistungsprüfstand	
+ Realistischer Fahrzustand	- Aufwändiger Fahrleistungsprüfstand mit Einrichtung zur Fahrwiderstandssimulation erforderlich
+ Hohe Aussagefähigkeit zu erwarten	- Erhebliche Belastung für das Fahrzeug, insbesondere für die Reifen
+ Prüfstände für Einsatz im Feld sind sofort verfügbar (z. B. IM-240-Prüfstände)	- Schwierigkeiten bei Fahrzeugen mit Allradantrieb und schweren Nutzfahrzeugen zu erwarten
Anschaffungskosten für einen einfachen Fahrleistungsprüfstand für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge etwa 25.000 €; für schwere Nutzfahrzeuge deutlich höher; zusätzliche gebäudetechnische Investitionen erforderlich	

Messung im realen Fahrbetrieb auf einer Fahrbahn

Bei Messungen auf einer Fahrbahn ist eine gute Korrelation zum realen Fahrverhalten möglich. Zur Bewertung der Messergebnisse müssen Randbedingungen wie Umgebungsbedingungen und die Einhaltung eines vorgegebenen Fahrzyklus sichergestellt werden. Hierzu ist die genaue Bestimmung des aktuellen Lastzustandes im fahrenden Fahrzeug erforderlich. Messungen im Straßenverkehr sind aus Gründen der Verkehrssicherheit nicht möglich. Daher ist eine geeignete abgesperrte Fahrbahn erforderlich. Die Messung der Abgasbestandteile kann mit Hilfe von mobilen Messgeräten an Bord des zu untersuchenden Fahrzeuges oder mit Hilfe von stationären Geräten für Remote Sensing bei der Vorbeifahrt erfolgen. Auch bei diesem Verfahren ist ein Einfluss der Beschleunigungszeit und der Fahrzeugkonditionierung auf das Messergebnis zu erwarten.

Messung im realen Fahrbetrieb auf einer Fahrbahn	
+ Realistischer Fahrzustand	- Absperrte Fahrbahn erforderlich
+ Hohe Aussagefähigkeit zu erwarten	- Definierte Umgebungsbedingungen erforderlich
+ Keine Hilfsmittel zum Aufbringen einer Motorlast erforderlich	- Einrichtung zur Bestimmung des Lastzustandes erforderlich
+ Geringe Kosten	- leicht
+ Sofort verfügbar	- Aufbringen einer definierten Motorlast schwierig
Keine Kosten für die Fahrwiderstandssimulation	

In Tabelle 6.1 sind die verschiedenen Möglichkeiten für das Aufbringen einer Motorlast zusammengefasst.

6.2 Analyse der Abgaskomponenten

Messung der Abgastrübung

Bei Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit heutigem Entwicklungsstand werden in der Regel im Rahmen der Typprüfung unter Vollast auf dem Motorenprüfstand Abgastrübungen von weniger als 0,2 m⁻¹ gemessen. Bei derartig niedrigen Werten wird bei den derzeitigen Trübungsmessgeräten die Grenze der Auflösung erreicht. Im Rahmen der Abgasuntersuchung sollen jedoch hoch emittierende Fahrzeuge erkannt werden, die mit diesen Geräten zu erfassen sind.

	A	B	C	D	E	F	G
	Messung im Leerlauf und im erhöhten Leerlauf	Freie Beschleunigung	Beschleunigung einer externen Schwungmasse	Konstantfahrt auf einem Fahrleistungsprüfstand (Teillast)	Vollastprüfung auf einem Fahrleistungsprüfstand	Zyklus auf einem Fahrleistungsprüfstand	Messung im realen Fahrbetrieb auf einer Fahrbahn
1 Abschätzung der Aussagequalität	geringe Motorlast, daher geringe Abgasemissionen zu erwarten	Einschränkung der Aussagequalität durch Einfluss von Konditionierung und Beschleunigungszeit, bei elektronisch geregelten Motoren Schwierigkeiten zu erwarten	Die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit dieses Verfahrens nicht zu; Randbedingungen wie Schwungmasse und Beschleunigungszeit sind zu berücksichtigen	Bei Konstantfahrt im Teillastbereich treten in der Regel nur geringe Emissionen auf.	Erkennung von auffälligen Fahrzeugen zu erwarten	gute Korrelation zu realem Fahrverhalten möglich	gute Korrelation zu realem Fahrverhalten möglich; Randbedingungen wie Umgebungsbedingungen, geeigneter Fahrzyklus, Bestimmung der Motorlast usw. müssen sichergestellt sein
2 Verfügbarkeit allgemein	keine Einrichtung zur Fahrwiderstandssimulation erforderlich	keine Einrichtung zur Fahrwiderstandssimulation erforderlich	Einfacher Rollenprüfstand erforderlich; eventuell verschiedene Schwungmassen erforderlich	Fahrleistungsprüfstand mit Einrichtung zur Fahrwiderstandssimulation erforderlich	aufwändiger Fahrleistungsprüfstand mit Einrichtung zur Fahrwiderstandssimulation erforderlich (hohe Bremslast)	aufwändiger Fahrleistungsprüfstand mit Einrichtung zur Fahrwiderstandssimulation erforderlich (hohe Anforderungen an Messtechnik und Datenverarbeitung)	nicht im Straßenverkehr möglich, abgesperrte geeignete Fahrbahn erforderlich, mobile Abgasmessgeräte erforderlich
3 Verfügbarkeit für Untersuchungen im Rahmen des Vorhabens	verfügbar	verfügbar	Laborgeräte verfügbar	Laborgeräte und Prüfstände für Einsatz im Feld für Pkw verfügbar	Laborgeräte verfügbar	Laborgeräte und Prüfstände für Einsatz im Feld für Pkw verfügbar	verfügbar
4 Kosten der Prüftechnik	-	-	< 25.000 ; für Pkw (bei Großserienfertigung)	< 25.000 ; für Pkw (bei Großserienfertigung)	etwa 25.000 ; für Pkw (bei Großserienfertigung)	etwa 25.000 ; für Pkw (bei Großserienfertigung)	Aufnahmeeinrichtung für Motorlast erforderlich, zur Zeit keine Angaben
5 geschätzter Zeitaufwand für die gesamte Prüfung	15 bis 20 Minuten	15 bis 20 Minuten	20 bis 30 Minuten	20 bis 30 Minuten	20 bis 30 Minuten	ca. 30 Minuten	20 bis 30 Minuten
6 Umsetzbarkeit im Feld aus heutiger Sicht	gut	gut, im Feld eingeführt	Schwierigkeiten und hohe Kosten bei Nutzfahrzeugen und Fahrzeugen mit Allradantrieb zu erwarten	Schwierigkeiten und hohe Kosten bei Nutzfahrzeugen und Fahrzeugen mit Allradantrieb zu erwarten	Schwierigkeiten und hohe Kosten bei Nutzfahrzeugen und Fahrzeugen mit Allradantrieb zu erwarten; Probleme mit Reifen und Lärmbelastung	Schwierigkeiten und hohe Kosten bei Nutzfahrzeugen und Fahrzeugen mit Allradantrieb zu erwarten; Probleme mit Reifen und Lärmbelastung	geeignete Fahrbahn nicht überall verfügbar (Verkehrssicherheit), Aufbringen einer definierten Motorlast schwierig

Tab. 6.1: Betriebszustand des Motors, Motorlast

Messung der Abgastrübung	
+ Trübungsmessgeräte sind im Feld vorhanden und daher sofort verfügbar + schnelle Auswertung der Messergebnisse möglich + Auch für instationäre Vorgänge geeignet	- Geringe Aussagefähigkeit bei niedrigen Emissionen aufgrund der geringen Auflösung bei den vorhandenen Messgeräten
Anschaffungskosten für ein Opazimeter etwa 5.000 ;	

Messung einer Filterschwärzung

Bei der Messung einer Filterschwärzung wird ein Abgasvolumen durch einen Papierfilter festgelegter Spezifikation gesaugt. Die Filterschwärzung ist ein Maß für die Partikelemission des untersuchten Fahrzeuges. Bei modernen Geräten wird nach einer Vormessung das Saugvolumen in Abhängig-

keit von der Filterschwärzung automatisch so variiert, dass eine hinreichende Messgenauigkeit erzielt wird. Aus dem angesaugten Volumen und der Schwärzung des Papiers lässt sich ein Schwärzungsgrad bestimmen. Aus dem angesaugten Abgasvolumen und der Schwärzung des Filters lässt sich die ausgestoßene Partikelmasse ermitteln. Umstritten ist jedoch die Korrelation zwischen Filterschwärzung und ausgestoßener Partikelmasse. Die Filterpumpen mit variablem Saugvolumen sind nur bei stationären Lastpunkten sinnvoll einsetzbar. Bei niedrigen Emissionen ist ein großes Saugvolumen und damit eine erhöhte Probennahmedauer erforderlich. Daher ist eine Ermittlung der Partikelmasse mit Hilfe von Filterpumpen nicht gut für kurze instationäre Vorgänge wie z. B. die freie Beschleunigung geeignet.

Messung einer Filterschwärzung	
+ Bei geeigneter Motorbelastung ist die Erkennung auffälliger Fahrzeuge zu erwarten	- Filterpumpen mit variablem Saugvolumen sind nur bei stationären Lastpunkten einsetzbar
+ Filterpumpen mit variablem Saugvolumen sind sofort verfügbar	- Bei niedrigen Emissionen ist eine erhöhte Probenahmedauer erforderlich
+ Schnelle Auswertung der Messergebnisse möglich	- Nicht gut geeignet für kurze instationäre Vorgänge
Anschaffungskosten für eine Filterpumpe etwa 10.000 €	

Messung der Partikelmasse

Die beim Durchfahren eines vorgegebenen Fahrzyklus ausgestoßene Partikelmasse wird im Rahmen der Typprüfung von Fahrzeugen mit Dieselmotor als Maß für die Rußemission herangezogen. Dabei werden die Partikel auf einem Filter gesammelt. Vor der Auswertung der Ergebnisse müssen diese Filter vor und nach der Messung 2 Stunden konditioniert werden. Dieser Zeitaufwand lässt sich im Rahmen einer Untersuchung für Fahrzeuge im Feld nur schwer rechtfertigen. Außerdem ist eine aufwändige Probenahme erforderlich.

Um eine ausreichende Filterbeladung und damit eine befriedigende Messgenauigkeit zu erreichen, ist bei niedrigen Partikelemissionen eine hohe Probenahmedauer erforderlich. Daher ist eine Messung der Partikelmasse mit Hilfe von Filtern nicht für kurze instationäre Vorgänge wie z. B. die freie Beschleunigung geeignet.

Es gibt verschiedene Ansätze, um eine schnellere Erfassung der Partikelmassenemission zu ermöglichen. Bei einem automatisierten gravimetrischen Messverfahren werden die Partikel auf einem Filter gesammelt und danach erhitzt. Im Probenraum wird der CO₂-Gehalt gemessen. Über den Anstieg des CO₂-Gehalts wird der Massenverlust der Filterprobe bestimmt. Mit diesem Verfahren lassen sich die Partikelmassenkonzentration (mg/m³) und Anteile in der Probe (ΔM; T) erfassen. Jedoch auch bei diesem Verfahren ist für die Auswertung der Probe ein hoher Zeitbedarf erforderlich (1). Die einzelnen Verfahren sind in Kapitel 11 tabellarisch zusammengestellt und nach den hier im Text angegebenen Nummern geordnet.

Bei einem anderen Verfahren ist ein Filter mit einer oszillierenden Röhre verbunden. Mit zunehmender Filterbeladung nimmt die Eigenfrequenz dieses Systems ab. Anhand der Frequenzänderung wird die Partikelmasse integral und zeitlich aufgelöst berechnet. Mit diesem Verfahren lässt sich die Par-

tikelmassenkonzentration (mg/m³) bestimmen. Es ist jedoch eine beheizte Abgasführung erforderlich (2).

Messung der Partikelmasse	
+ Bei geeigneter Motorbelastung ist die Erkennung von auffälligen Fahrzeugen zu erwarten	- Hoher Zeitaufwand für die Auswertung der Ergebnisse - Bei niedrigen Emissionen ist eine erhöhte Probenahmedauer erforderlich - Die meisten Geräte sind nicht gut geeignet für kurze instationäre Vorgänge - Aufwändiges Probenahmesystem erforderlich - Zur Zeit stehen nur Labor- messtechnik und Prototypen zur Verfügung
Zur Zeit sind keine genauen Angaben zu den Anschaffungskosten derartiger Geräte möglich, da nur Prototypen zur Verfügung stehen, sie liegen jedoch deutlich über den Kosten für ein Opazimeter	

Erfassung der Partikelanzahl und -größe

Durch die erhöhten Einspritzdrücke wird die Masse der emittierten Rußpartikel deutlich gesenkt. Bezüglich der Anzahl und Größenverteilung kann zur Zeit keine allgemein gültige Aussage getroffen werden. Daher wird die Messung der Partikelanzahl und -Größenverteilung im Rahmen der Typprüfung verstärkt diskutiert. Zur Zeit gibt es jedoch kein standardisiertes Messverfahren zur Bestimmung der Partikelanzahl.

Bei einem Opto-elektronischen Partikelanalysesystem basierend auf dem Dispersionsquotienten- bzw. Multi-Wellenlängen-Extinktionsverfahren wird ein Opazimeter mit drei Laserdioden unterschiedlicher Wellenlänge verwendet. Durch die unterschiedliche Abschwächung der drei Lichtwellen lassen sich die wichtigsten Aerosolparameter (Mittlerer Partikeldurchmesser [nm], Größenverteilung und Partikelvolumenkonzentration [mm³/m³]) ermitteln. Nachteile dieses Verfahrens sind ein hoher Geräteaufwand und dass die Vergleichbarkeit mit anderen Messmethoden und die Gültigkeit der verwendeten Beziehungen noch überprüft werden muss (3).

Die laserinduzierte Glühetechnik ermöglicht die simultane Erfassung von Primärteilchengröße und Rußmassenkonzentration. Die Rußpartikel werden mit einem gepulsten Laser aufgeheizt. Der Temperaturverlauf der Teilchen ist abhängig von ihrer Größe. Dieser Temperaturverlauf wird über der Zeit gemessen und daraus ergibt sich direkt die Primär-

teilchengröße und die Massenkonzentration. Bislang ist mit diesem Verfahren noch keine Aussage über die Größenverteilung der Teilchen möglich, das System wird noch weiterentwickelt (4).

Mit Hilfe eines Differentialmobilitätsspektrometers in Verbindung mit einem Kondensationspartikelzähler lässt sich die Anzahlverteilung der Partikel über dem Mobilitätsdurchmesser messen. Elektrisch aufgeladene Partikel bewegen sich unterschiedlich schnell durch die Luft. Über den Luftwiderstand lässt sich mit guter Näherung auf die Größe schließen. Zur Bestimmung der Masse der Teilchen wird das Abgas durch mehrere Messkaskaden (Impaktor-)umgeleitet (Messung Fraunhofer Institut Hannover/Auto Motor Sport). Es handelt sich um ein aufwändiges Messverfahren für den Laborbetrieb (5).

Bei einem anderen Verfahren werden durch eine elektrische Entladung gleich polige Ionen erzeugt, die sich an der Oberfläche der Partikel anlagern. Diese Anlagerung ist abhängig von der Größe der Partikel. Die Partikel werden in einem elektrisch isolierten Filter gesammelt. Die gemessene elektrische Stromstärke ist dann ein Maß für die so genannte „Fuchs Oberfläche“. Bei diesem Verfahren ist keine Aussage über die Zusammensetzung der Partikel möglich. Das Messgerät sollte mit anderen Prüfgeräten zusammen verwendet werden (6).

Bei den meisten Verfahren zur Bestimmung der Partikelanzahl und Größe ist es erforderlich, über einen längeren Zeitraum zu messen, um eine ausreichend große Anzahl von Partikeln zu erfassen. Daher ist bei diesen Verfahren nur die Messung in stationären Lastpunkten möglich. Eine Ausnahme stellt die laserinduzierte Glühtechnik (4) dar, die auch dynamische Messungen erlaubt.

Erfassung der Partikelanzahl und -größe	
+ Zukunftsweisende Messtechnik	- Aufwändige Messtechnik erforderlich
+ Prototyp eines Gerätes (laserinduzierte Glühtechnik) für das Vorhaben verfügbar (4)	- Keine Referenzwerte aus der Typprüfung vorhanden
+ Laserinduzierte Glühtechnik ermöglicht schnelle Auswertung (4)	- Zur Zeit stehen nur Labor- messtechnik und Prototypen zur Verfügung
+ Laserinduzierte Glühtechnik geeignet für instationäre Vorgänge (4)	- Bei den meisten Verfahren sind stationäre Motorlast- punkte erforderlich
Zur Zeit sind keine Angaben zu den Anschaffungskosten der- artiger Geräte möglich, sie liegen jedoch deutlich über den Kosten für ein Opazimeter	

Messung der gasförmigen Schadstoffkomponenten

Die Messung der gasförmigen Schadstoffe, insbesondere der Stickoxide, ist bei Messungen auf einem Rollenprüfstand sinnvoll. Im Rahmen der Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor werden Messgeräte für die Bestimmung der Konzentrationen von CO, CO₂, HC und O₂ eingesetzt. Derartige Messgeräte lassen sich ohne Schwierigkeiten mit einem Sensor zur Messung der NO-Emissionen ausrüsten. Problematisch bei der Messung gasförmiger Komponenten im Dieselabgas ist die Verschmutzung der Messgeräte durch die Rußpartikel. Daher sind aufwändige Probennahmesysteme erforderlich.

Zur Zeit wird ein mobiles System für die periodische Abgasuntersuchung an Fahrzeugen im Verkehr entwickelt, das die Messung der Konzentrationen der gasförmigen Abgaskomponenten CO, CO₂, HC und NO_x und die Messung der Abgastrübung mit einer gegenüber bestehenden AU-Geräten erhöhten Messgenauigkeit ermöglicht. Dabei wird mit Hilfe eines beheizten Probennahmesystems ein Teil des Abgases dem Opazimeter und ein anderer Teil der Analyseneinrichtung zur Bestimmung der gasförmigen Emissionen zugeführt. In einem zweiten Entwicklungsschritt sollen die Massen der gasförmigen und der Partikelemissionen bestimmt werden können (7).

Messung der gasförmigen Schadstoffkomponenten	
+ Bei Messung unter Last insbesondere bei Stickoxid- messung Aussagefähigkeit zu erwarten	- Aufwändige Probennahme, beheizte Leitung erforderlich
+ Schnelle Auswertung der Messergebnisse möglich	- Messgeräte werden durch Partikel verschmutzt
+ Prototyp eines einfachen Gerätes für Messungen im Feld für das Forschungs- vorhaben verfügbar	- Zur Zeit nur Labor- messtechnik oder Prototypen verfü- gbar
Zur Zeit sind keine genauen Angaben zu den Anschaffungs- kosten derartiger Geräte möglich, da nur Prototypen zur Verfü- gung stehen, sie liegen jedoch deutlich über den Kosten für ein Opazimeter	

Remote Sensing

Das Remote Sensing ist ursprünglich für die Messung der Abgasemissionen von Fahrzeugen im Verkehr entwickelt worden. Dabei wird die Geschwindigkeit eines auf der Straße vorbeifahrenden Fahrzeuges zweimal bestimmt, um eine Aussage treffen zu können, ob das Fahrzeug beschleunigt,

	A Messung der Abgastrübung Teilstrom oder Vollstrom	B Messung einer Filterschwärzung	C Messung der Partikelmasse *)	D Erfassung der Partikelanzahl und -größe *)	E Messung der gasförmigen Schadstoffemissionen	F On-Board-Diagnose gemäß 98/69/EG
1 Abschätzung der Verfügbarkeit	Geringe Aussagefähigkeit bei niedrigen Emissionen bei vorhandenen Messgeräten; verbesserte Messtechnik in Entwicklung	bei geeigneter Motorbelastung Erkennung von auffälligen Fahrzeugen zu erwarten	bei geeigneter Motorbelastung Erkennung von auffälligen Fahrzeugen zu erwarten	sinnvoll bei stationären Lastpunkten; die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit dieses Verfahrens nicht zu	bei geeigneter Motorbelastung Aussagefähigkeit insbesondere bei Stickoxidmessung zu erwarten	Erhöhung der Aussagekraft jeder Wirkungsprüfung durch Auslesen der OBD-Daten zu erwarten
2 Verfügbarkeit allgemein	Sofort verfügbar	Filterpumpen mit variablen Saugvolumen sofort verfügbar	aufwändige Probennahme erforderlich; einfaches Gerät für Einsatz im Feld mit kurzer Auswertzeit im Entwicklungsstadium	aufwändige Messtechnik; einfaches Gerät für Untersuchungen im Feld zur Zeit im Entwicklungsstadium	Problem der Probenahme, beheizte Leitung erforderlich	- (zur Zeit für Fahrzeuge mit Dieselmotor nur in Ansätzen verfügbar)
3 Verfügbarkeit für Untersuchungen im Rahmen des Vorhabens	Sofort verfügbar; Prototyp	Verfügbar	Prototyp eines Geräts für Einsatz im Feld nicht verfügbar	Prototyp eines Geräts für Einsatz im Feld nicht verfügbar	Prototyp eines einfachen Messsystems verfügbar; zur Zeit Geräte für Remote Sensing verfügbar	- (zur Zeit für Fahrzeuge mit Dieselmotor nur in Ansätzen verfügbar)
4 Kosten der Prüftechnik	Ab ca. 5.000 €, für verbesserte Messgeräte keine Angaben	ca. 10.000 €	zur Zeit keine Angaben	zur Zeit keine Angaben	zur Zeit keine Angaben	zur Zeit keine Angaben; Scan Tool für Fahrzeuge mit Ottomotor vorhanden etwa ab 1.000 €
5 geschätzter Zeitaufwand für die gesamte Prüfung	Abhängig von der Art der Prüfung, schnelle Auswertung	abhängig von der Art der Prüfung, schnelle Auswertung	hoher Aufwand für die Auswertung (1 bis 2 Stunden bei gravimetrischer Auswertung)	zur Zeit keine Angaben	abhängig von der Art der Prüfung, schnelle Auswertung	abhängig von der Art der Prüfung, schnelle Auswertung
6 Umsetzbarkeit im Feld aus heutiger Sicht	Gut	Gut	zur Zeit kein praxistaugliches System für Feldtest einsatzbereit	zur Zeit kein praxistaugliches System für Feldtest einsatzbereit	zur Zeit keine Angaben möglich	Gut

*) Zur Zeit befindet sich ein Verfahren in der Entwicklung, mit dem sowohl die Partikelmasse als auch die Partikelanzahl zeitlich aufgelöst bestimmt werden kann. Eine Bewertung dieses Verfahrens ist zur Zeit nicht möglich. Andere Verfahren zur Bestimmung der Partikelanzahl und -Größe sind nur in stationären Lastpunkten sinnvoll. Bei diesen Verfahren haben Randbedingungen wie Probenahme und Umgebungsbedingungen einen erheblichen Einfluss auf das Messergebnis.

Tab. 6.2: Analyse der Abgaskomponenten

bei konstanter Geschwindigkeit fährt oder verzögert. Eine genaue Bestimmung der Motorlast ist jedoch mit dieser Methode nicht möglich. Die Konzentration der verschiedenen Abgaskomponenten (CO, CO₂ und HC) und die Abgastrübung werden durch die Absorption von infrarotem und ultraviolettem Licht in der Abgasfahne des Fahrzeuges bestimmt. Schwierigkeiten bei diesem Verfahren bereiten die nicht definierten Fahrzustände der vermessenen Fahrzeuge und die Umweltbedingungen, d. h. Wind, Abgasemissionen anderer Fahrzeuge, Fahren in einer Linienquelle etc. (8).

Ein Einsatz der für den Road Side Test vorgesehenen Messgeräte ist jedoch auch im Rahmen einer an Prüfstellen durchzuführenden Abgasuntersuchung denkbar. Ein Vorteil stellt dabei die Messung der gasförmigen Emissionen in der Abgasfahne dar. Man kann die Konzentrationen der gasförmigen Komponenten und die Abgastrübung bestimmen, ohne dass aufwändige Probennahmesysteme zum Schutz der Abgasmessgeräte vor einer Verschmutzung durch die im Abgas enthaltenen

Rußpartikel erforderlich sind. Durch eine Prüfung auf einem Rollenprüfstand in einer Prüfhalle lassen sich definierte Messbedingungen schaffen und die Messgenauigkeit des Systems erhöhen.

In den Tabellen 6.2 und 6.3 sind die verschiedenen Möglichkeiten für die Analyse der Abgaskomponenten zusammengefasst.

In einer weiteren Matrix werden die verschiedenen Möglichkeiten zum Aufbringen einer Motorlast und für die Analyse der Abgaskomponenten miteinander in Verbindung gebracht.

	A Messung der Abgastrübung Teilstrom oder Vollstrom	B Messung der Filterschwärzung	C Messung der Partikelmasse *)	D Erfassung der Partikelanzahl und -größe *)	E Messung der gasförmigen Schadstoffemissionen	F On-Board-Diagnose
1 Messung im Leerlauf und im erhöhten Leerlauf	geringe Aussagefähigkeit, da geringe Motorbelastung und geringe Emissionen	geringe Aussagefähigkeit, da geringe Motorbelastung und geringe Emissionen	geringe Motorbelastung und geringe Emissionen, die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung nicht zu	geringe Motorbelastung und geringe Emissionen, Problem der Auflösung der Geräte nicht sinnvoll	geringe Motorbelastung und geringe Emissionen, die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung nicht zu	Als Ergänzung zur Erhöhung der Aussagefähigkeit einer Wirkungsprüfung
2 Freie Beschleunigung	Einschränkung der Aussagequalität durch Einfluss der Konditionierung und der Beschleunigungszeit auf das Messergebnis	die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit nicht zu	kurzer instationärer Vorgang, Auflösung von zur Zeit verfügbaren Geräten nicht aussagefähig	nicht sinnvoll; für die Erfassung der Partikelanzahl und -größe sind stationäre Lastpunkte erforderlich	kurzer instationärer Vorgang, Auflösung von zur Zeit für Feldeinsatz verfügbaren Geräten nicht ausreichend, nicht aussagefähig	Als Ergänzung zur Erhöhung der Aussagefähigkeit einer Wirkungsprüfung
3 Beschleunigung einer externen Schwungmasse	die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit nicht zu	die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit nicht zu	kurzer instationärer Vorgang, Auflösung von zur Zeit verfügbaren Geräten nicht aussagefähig	nicht sinnvoll; für die Erfassung der Partikelanzahl und -Größe sind stationäre Lastpunkte erforderlich	kurzer instationärer Vorgang, Auflösung von zur Zeit verfügbaren Geräten nicht aussagefähig	Als Ergänzung zur Erhöhung der Aussagefähigkeit einer Wirkungsprüfung
4 Konstantfahrt auf einem Fahrleistungsprüfstand (Teillast)	nur geringe Abgastrübung bei modernen Motoren, Opazimeter mit hoher Auflösung erforderlich	nur geringe Abgasemissionen bei modernen Motoren, Geräte mit hoher Auflösung erforderlich	die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit nicht zu	die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit nicht zu	Aussagefähigkeit zu erwarten, Prototyp eines einfachen Messsystems	Als Ergänzung zur Erhöhung der Aussagefähigkeit einer Wirkungsprüfung
5 Vollastprüfung auf einem Fahrleistungsprüfstand	nur geringe Abgastrübung bei modernen Motoren, Opazimeter mit hoher Auflösung erforderlich	im Rahmen der Motorenentwicklung angewendetes Verfahren	die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit nicht zu	die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung der Aussagefähigkeit nicht zu	Aussagefähigkeit zu erwarten, Prototyp eines einfachen Messsystems	Als Ergänzung zur Erhöhung der Aussagefähigkeit einer Wirkungsprüfung
6 Dynamischer Zyklus auf einem Fahrleistungsprüfstand	Aussagefähigkeit zu erwarten, erste Ergebnisse siehe EU-Studie, Literatur Zwischenbericht [6.1]	die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Bewertung nicht zu, schwierige Probennahme	gute Aussagefähigkeit zu erwarten, sehr aufwändig	nicht sinnvoll; für die Erfassung der Partikelanzahl und -größe sind stationäre Lastpunkte erforderlich	Aussagefähigkeit zu erwarten, Prototyp eines einfachen Messsystems	Als Ergänzung zur Erhöhung der Aussagefähigkeit einer Wirkungsprüfung
7 Messung im realen Fahrbetrieb auf einer Fahrbahn	Aussagefähigkeit zu erwarten, erhebliche Schwierigkeiten bei der Abwicklung zu erwarten, Remote Sensing oder mobile Abgasgeräte	Aussagefähigkeit zu erwarten, erhebliche Schwierigkeiten bei der Abwicklung zu erwarten, mobile Abgasgeräte erforderlich	Aussagefähigkeit zu erwarten, erhebliche Schwierigkeiten bei der Abwicklung zu erwarten, mobile Abgasgeräte erforderlich	Aussagefähigkeit zu erwarten, erhebliche Schwierigkeiten bei der Abwicklung zu erwarten, mobile Abgasgeräte erforderlich	Aussagefähigkeit zu erwarten, erhebliche Schwierigkeiten bei der Abwicklung zu erwarten, Remote Sensing oder mobile Abgasgeräte	Aussagefähigkeit zu erwarten, erhebliche Schwierigkeiten bei der Abwicklung zu erwarten, mobile Abgasgeräte erforderlich
*) Zur Zeit befindet sich ein Verfahren in der Entwicklung, mit dem sowohl die Partikelmasse als auch die Partikelanzahl zeitlich aufgelöst bestimmt werden kann. Eine Bewertung dieses Verfahrens ist zur Zeit nicht möglich. Andere Verfahren zur Bestimmung der Partikelanzahl und -größe sind nur in stationären Lastpunkten sinnvoll. Bei diesen Verfahren haben Randbedingungen wie Probennahme und Umgebungsbedingungen einen erheblichen Einfluss auf das Messergebnis.						

Tab. 6.3: Überblick über die Ergebnisse der theoretischen Betrachtung zur Anpassung der AU an künftige Fahrzeuggenerationen

6.3 On-Board-Diagnose/Eigendiagnose

Zur Zeit wird bei der Abgasuntersuchung eine Bauteileprüfung (Sichtprüfung) und eine Wirkungsprüfung (Messung der Abgastrübung bei der freien Beschleunigung) durchgeführt. In der Richtlinie 98/69/EG ist die Einführung einer genormten OBD für Pkw mit Kompressionszündungsmotor ab dem Jahr 2003 vorgesehen. Bei der Betrachtung von verschiedenen Prüfverfahren für eine weiterentwickelte Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Dieselmotor kann daher neben den beiden oben genannten Prüfbestandteilen der Bereich Diagnose (z. B. Auslesen der OBD-Daten) in Betracht gezogen werden.

Die bekannten Probleme, Konditionierung und Beschleunigungszeitvarianz, bei der bisherigen AU, können unter Umständen durch die Einbindung von Parametern und Größen, die das OBD-System des Fahrzeugs liefert, minimiert oder sogar eliminiert werden.

In praktischen, exemplarischen Versuchen soll der Zusammenhang von Parametern aus dem Motorsteuergerät und dem Abgasverhalten dargestellt werden. Funktionsinhalte, wie Fehlerspeicher und Prüfbereitschaftstests auslesen, sind in gleichem Umfang zu betrachten, wie dies für die AU bei Fahrzeugen mit Ottomotor und OBD gemäß Richtlinie 98/69/EG zur Diskussion steht.

Allgemein gibt es folgende Ansatzpunkte zur Einbeziehung der OBD bei Dieselfahrzeugen:

- Fehlerspeicher auslesen,
- Sensor-/Aktuatorstest,
- Auslesen von Ist-Werten.

Bei zukünftigen genormten Diesel-OBD-Systemen wird ein großer Teil der allgemeinen Diagnosedaten im Zusammenhang mit entsprechenden Plausibilitäten versehen nutzbar sein. Unter anderem die Motordrehzahl, die Einspritzmenge oder entsprechende Parameter werden bei der Nutzung des genormten OBD-Systems zur Verfügung stehen. Durch diese Größen kann festgestellt werden, ob der Motor wirklich im Rahmen der FAS-Methode (freie Beschleunigung) bis zur Volllast belastet und die maximale Einspritzmenge erreicht wurde. Dabei muss eine Korrelation zwischen OBD-Daten und entweder FAS oder eventueller Abgasmessung auf Leistungsrollenprüfständen gefunden werden. Im Rahmen der vorgesehenen praktischen Versuche sollen diese Zusammenhänge dargestellt werden.

An den aktuellen Dieselfahrzeugen stehen diese Daten bereits über die 16-polige Diagnosedose zur Verfügung, das Übertragungsprotokoll ist jedoch nicht genormt, sondern herstellerspezifisch.

Abgasnachbehandlungssysteme können ebenfalls mit in die Beurteilung einbezogen werden, da i. d. R. entsprechende Sensoren und Aktuatoren zur Verfügung stehen. Bei entsprechender Offenlegung von Seiten der Hersteller können auch Aktuatoren zur Beurteilung herangezogen werden.

Im Rahmen der weiteren Untersuchungsschritte wird u. a. ein Fahrzeug mit Pumpe-Düse-Motorkonzept (VW Passat) und ein Fahrzeug mit Common-Rail-System (DaimlerChrysler 200 CDI) mit in die vorstehend beschriebene Untersuchung einbezogen. Da noch keine Dieselfahrzeuge mit einem genormten OBD-System nach Richtlinie 98/69/EG auf dem deutschen Markt erhältlich sind und außerdem noch keine Protokollinhalte definiert sind, kann nur mit den herstellerspezifischen Diagnosemethoden die beschriebene Korrelationsuntersuchung durchgeführt werden. Außerdem fehlen bei den vermessenen Fahrzeugen noch einige Überwachungsfunktionen, wie zum Beispiel die Überwachung des Katalysatorwirkungsgrades. Dementsprechend kann keine Aussage getroffen werden, inwiefern die Aussagen dieser Funktionen in die AU eingebunden werden können.

6.4 On-Board-Measurement

Über diese Messverfahren hinaus gibt es verschiedene Ansätze zur Entwicklung eines On-Board-Measurement-Systems, bei dem der aktuelle Fahrzustand des Fahrzeugs und die bei diesem Fahrzustand emittierten Schadstoffe im Fahrzeug selbst erfasst werden sollen.

Zur Zeit befindet sich ein Rußpartikelsensor im Entwicklungsstadium, mit dessen Hilfe die Rußemission gemessen werden kann. Dazu wird im Abgasstrom eine Hochspannungs- und eine Messelektrode angebracht. Dadurch wird ein starkes, statisches elektrisches Feld erzeugt. Beim Durchströmen werden die Partikel elektrisch geladen. Die geladenen Partikel transportieren elektrische Energie aus dem Kondensator ab. Da die Hochspannung konstant ist, entsteht ein Ladestrom, der das Defizit wieder ausgleicht. Daraus ergibt sich ein Spannungsabfall am Eingangswiderstand, der das Messsignal liefert. Dieser Sensor ist für den Einsatz im Fahrzeug zur Überwachung und Steuerung von Abgasnachbehandlungssystemen vorgesehen (9). Außerdem werden zur Zeit Sensoren zur Messung von gasförmigen Emissionen und zur Erfassung des Lastzustands im fahrenden Fahrzeug entwickelt (10, 11).

6.5 Auswahl der praktisch zu untersuchenden Verfahren

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollen verschiedene Ansätze für eine weiterentwickelte periodische Abgasuntersuchung an Fahrzeugen mit Dieselmotor praktisch untersucht werden. Entscheidend für die Aussagefähigkeit eines Prüfverfahrens zur Bestimmung des Abgasemissionsverhaltens eines Fahrzeuges ist die Kombination des Lastzustandes des Motors und der Analyse der Abgaskomponenten.

Bestimmte Kombinationen von den in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Möglichkeiten zur Fahrwiderstandssimulation und für die Analyse der Abgaskomponenten erscheinen nicht sinnvoll:

- Von einer Messung im Leerlauf und im erhöhten Leerlauf ist aufgrund der dabei auftretenden niedrigen Emissionen keine hohe Aussagefähigkeit zu erwarten.

- Eine Messung im realen Fahrbetrieb auf einer abgesperrten Fahrbahn lässt sich im Feld nicht umsetzen, da das Sicherheitsrisiko im Straßenverkehr zu groß ist und geeignete abgesperrte Fahrbahnen nicht überall vorhanden sind.
- Die Messung mit einer Filterpumpe bei kurzen instationären Vorgängen ist nicht sinnvoll.
- Bei der Beschleunigung einer externen Schwungmasse sind bei höherem Aufwand ähnliche Schwierigkeiten (Konditionierungseinfluss, Einfluss der Beschleunigungszeit) zu erwarten wie bei der freien Beschleunigung.

Aus den in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Vorschlägen für eine Fahrwiderstandssimulation und für die Analyse der Abgaskomponenten wurden folgende Kombinationen für die weiteren Untersuchung ausgewählt:

Ausgewählte Prüfverfahren	
• Konstantfahrt bei Teillast auf einem Fahrleistungsprüfstand	Messung der Abgastrübung, der Partikel und der gasförmigen Emissionen
• Beschleunigung von Teillast auf Vollast auf einem Fahrleistungsprüfstand	Messung der Abgastrübung, der Partikel und der gasförmigen Emissionen
• Vollast auf einem Fahrleistungsprüfstand	Messung der Abgastrübung, der Partikel und der gasförmigen Emissionen
• Freie Beschleunigung	Messung der Abgastrübung mit Hilfe von Teilstromopazimetern (Modus A, Modus B, Integral) und Vollstromopazimetern
• On-Board-Diagnose (soweit verfügbar)	

Soweit sich bei der Durchführung der Messungen einzelne zusätzliche Messverfahren und Belastungsvarianten ohne nennenswerten Mehraufwand angeboten haben, wurden diese mit durchgeführt.

7 Praktische Untersuchung zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen

7.1 Beschreibung der unterschiedlichen Motorbelastungen

7.1.1 Konstantfahrt bei Teillast auf einem Fahrleistungsprüfstand

Beim RWTÜV wurden diese Messungen an Pkw auf einem Fahrleistungsprüfstand unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- 30 km/h im 2. Gang,
- 50 km/h im 3. Gang,
- 50 km/h im 4. Gang.

Ein Nutzfahrzeug wurde im Rahmen des 13-Stufentests gemessen.

Bei der DEKRA wurden die Messungen auf einem ASM-Prüfstand durchgeführt. Gemessen wurde 50 km/h im 2. Gang.

7.1.2 Beschleunigung von Teillast auf Vollast auf einem Fahrleistungsprüfstand

Beim RWTÜV wurde auf einem Fahrleistungsprüfstand im 2. Gang von 30 km/h bis zur Abregeldrehzahl beschleunigt. Dabei wurde die gleiche Lasteinstellung wie bei der Typprüfung verwendet. Bei der DEKRA wurde im 2. Gang von der Leerlaufdrehzahl bis zur Abregeldrehzahl gegen eine Schwungmasse beschleunigt.

7.1.3 Vollast auf einem Fahrleistungsprüfstand

Beim RWTÜV wurden Vollastmessungen bei zwei Pkw und an einem Nutzfahrzeug auf einem Fahrleistungsprüfstand durchgeführt.

7.1.4 Freie Beschleunigung

Bei dieser Prüfung wird der Motor von Leerlaufdrehzahl bis zur Abregeldrehzahl beschleunigt. Hierbei muss das Fahrpedal schnell und stoßfrei durchgetreten werden. Nach Erreichen der Abregeldrehzahl ist diese so lange zu halten, bis das Messgerät den Trübungswert erfasst hat. Bei der Durchführung dieser Messungen wurden die in Abschnitt 5.1 vorgeschlagenen Maßnahmen zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgas-

untersuchung berücksichtigt, d. h., die Fahrzeuge wurden vor den Messungen konditioniert und die freie Beschleunigung wurde so durchgeführt, dass möglichst kurze Beschleunigungszeiten erreicht wurden.

Die Prüfungen wurden nach dem AU-Prüfmodus A und B sowie als Integralmessung durchgeführt.

7.2 Beschreibung der eingesetzten Messgeräte

7.2.1 Partikelmessung

7.2.1.1 Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (LTT), Universität Erlangen

Rußsensor auf Basis der laserinduzierten Glüh-technik (LII)

Messgrößen: Partikelmasse und Teilchengröße

Methode

Die laserinduzierte Glüh-technik (LII) stellt ein neuartiges Verfahren dar, das es ermöglicht, neben der Massenkonzentration weitere morphologische Kenngrößen zu erfassen. Die Technik beruht auf der Aufheizung der Teilchen mittels eines hochenergetischen Laserpulses und der anschließenden Detektion der damit verknüpften Planckstrahlung. Aus dem Abklingverhalten des Signals lässt sich durch den Vergleich mit Modellrechnungen eindeutig und kalibrierfrei auf die Primärteilchengröße der Partikel zurückschließen, während die absolute Signalstärke ein Maß für die Konzentration liefert. Das Verfahren zeichnet sich dabei insbesondere durch eine hohe Selektivität für elementaren Kohlenstoff und folglich vernachlässigbarer Empfindlichkeit gegenüber anderen Abgaskomponenten wie z. B. Wasser und Schwefelverbindungen aus. Für den Einsatz des Messprinzips zur Charakterisierung von dieselmotorischen Abgasen sprechen weiterhin insbesondere die hohe zeitliche Auflösung und die hohe Empfindlichkeit auch bei geringen Emissionswerten sowie die Einsetzbarkeit im Abgasvollstrom ohne die Notwendigkeit zur Probenentnahme und -aufbereitung oder Verdünnung.

Aufbau des Rußsensors

Auf Basis dieses Funktionsprinzips wurde vom LTT Erlangen in Zusammenarbeit mit der Firma ESY-TEC GmbH, Erlangen, ein weitgehend automati-

sierter Sensor entwickelt (Bild 7.1), der innerhalb der Studie am Rollenprüfstand des RWTÜV an verschiedene Fahrzeuge appliziert wurde. Dazu wurde ein in den Abgasstrang integrierbarer Ringadapter konstruiert, an den alle optischen Komponenten fest appliziert wurden. Das vorliegende Konzept erlaubt die Applikation des Sensorkopfes, ohne dass ein weiterer Justageaufwand nötig ist. Um im Falle möglicher Verschmutzungen durch Abgaspartikel eine möglichst einfache und schnelle Reinigung zu gewährleisten, befindet sich im Inneren des Ringadapters ein Glasring, der den optischen Zugang für alle Einzelkomponenten gleichzeitig gewährleistet und der mit geringem Aufwand ausgebaut und gereinigt werden kann. Die Einkopplung des Laserpulses erfolgt hierbei über einen Strahlführungsarm, der einerseits die vollkommen abgeschirmte Führung des Laserstrahls erlaubt und andererseits eine freie und einfache Positionierung zulässt. Der Festkörperlaser selbst wurde zusammen mit allen weiteren Systemkomponenten (Lasernetzteil, Digitaloszilloskop als AD-Wandler, Messrechner und weitere elektronische Komponenten) in einen geeigneten und elektrisch geschirmten Industriemessschrank integriert. Die Steuerung sämtlicher Systemkomponenten, wie Laser und Oszilloskop, ist durch verschiedene entsprechende Schnittstel-

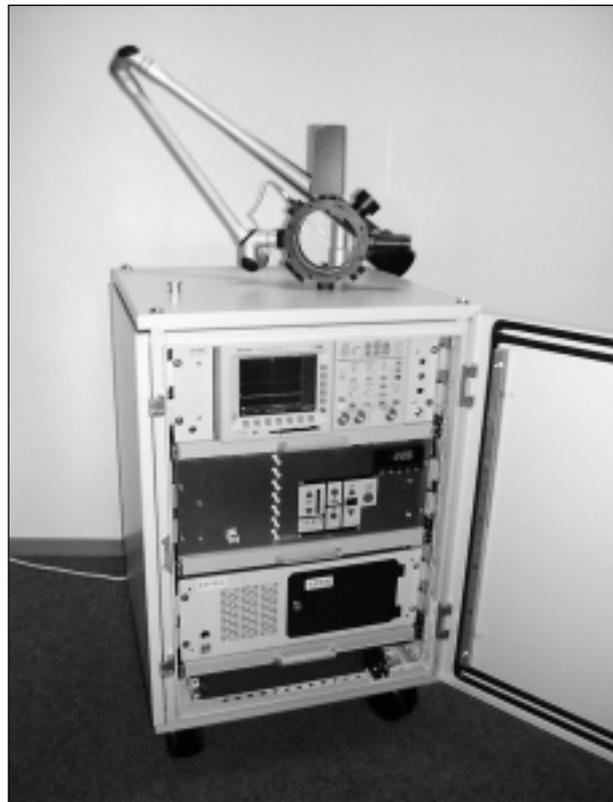


Bild 7.1: Prototyp des On-line-Sensors

len jeweils separat vom Messrechner zu bewerkstelligen. Die dem Rechner zugehörigen Ein- und Ausgabegeräte (Monitor und Tastatur) können von der Prüfstandsleitwarte über ein entsprechendes Schnittstellenkabel bedient werden und erlauben somit eine vollständige Bedienung des Sensors ohne Aufenthalt im Prüfstandsbereich. Bei der Auswahl der Systemkomponenten wurden im Hinblick auf ein prüfstandstaugliches System bereits wichtige Aspekte bezüglich elektrischer Sicherheit, Störstrahlungsabschirmung und Laserschutzverordnung eingearbeitet. [7.1] bis [7.9].

7.2.1.2 Sensors

Messgrößen: Partikelanzahl

Laser-Streulicht-Messgerät zur Bestimmung von Partikelanzahl und -größenverteilung

Über eine volumenregulierte Pumpe wird eine Teilstrom-Abgasprobe entnommen und der Laserkammer zugeführt. Die enthaltenen Partikel erzeugen eine Streuung des Laserlichtes, das mittels einer sehr schnellen Fotodiode aufgenommen und an einen Mehrkanal-Impulshöhenanalysator weitergeleitet wird. Die Auswertung erfolgt über diskrete Zählung der Partikel pro Messkanal.

Dieses Messverfahren erlaubt die Bestimmung von Partikelgrößen und deren Häufigkeit sowie die Bestimmung der Gesamtanzahl der Partikel in Echtzeit.

In Kombination mit der Messung gasförmiger Komponenten wird eine umfassende Beurteilung des Emissionsverhaltens von Dieselmotoren ermöglicht.

7.2.1.3 AVL-Filterpumpe 415

Messgrößen: Filterschwärzung und Partikelmasse

Das Messgerät entnimmt mittels einer Sonde aus der Auspuffleitung eine vom Anwender in weiten Grenzen frei wählbare Abgasmenge und saugt sie durch ein sauberes Filterpapier.

Es erfolgt die

- Messung der durch das Filterpapier gesaugten Abgasmenge mit einer Blendenmessstrecke,
- Berechnung der effektiven Länge,
- Erfassung der Schwärzung des Filterpapiers durch Ruß (Papierschwärzung) mit einem optischen Messkopf,

- Ermittlung des Rußgehaltes im Abgas aus Papierschwärzung und effektiver Länge,
- Anzeige des Rußgehaltes als FSN oder Rußkonzentration (in mg/m^3) oder Pollution Level (in %).

Die Entnahmemenge pro Zeit ist annähernd konstant. Damit entsprechen die Messwerte dem Mittelwert des Rußgehaltes während der Saugzeit.

Der gesamte Messvorgang vom Spülen der Abgaswege über Probenentnahme, Filterpapiertransport und Bestimmung der Papierschwärzung und der effektiven Länge wird von einem Mikroprozessor gesteuert, überwacht und läuft vollautomatisch ab.

7.2.2 Ermittlung der Trübung

Das Trübungsmessverfahren beruht auf der Schwächung der Lichtintensität durch die im Abgas enthaltenen festen Bestandteile wie z. B. Ruß. Es wurden verschiedene Opazimeter zur Ermittlung der Trübung verwendet:

- AVL 439,
- AVL 465,
- Bosch RTT 110,
- Sensors Opazimeter LCS.

Bei diesen drei Trübungsmessgeräten handelt es sich um Teilstromopazimeter. Ein Teilstrom des Abgases wird mit Hilfe einer Probennahmesonde am Endrohr entnommen und strömt durch eine Messkammer. Über Linsen und Quarzstäbe wird das Licht einer Halogenlampe in die Messkammer geleitet. Nach dem Durchstrahlen des Abgases trifft das Licht über einen zweiten Quarzstab, Linsen und einen Filter auf einen lichtempfindlichen Empfänger (Fotodiode). Der Filter (grün) soll eine dem Auge ähnliche Empfindlichkeit nachbilden.

Die Abgassäule im Messrohr absorbiert und streut einen Teil des Lichtes. Der ungehindert durchgehende Lichtanteil wird gemessen. Zu bestimmen ist der Lichtverlust in Form des Trübungskoeffizienten. Die Trübung kann durch den Trübungskoeffizienten in m^{-1} oder durch den Trübungsgrad in % angegeben werden.

CELESCO Model 107

Bei diesem Gerät handelt es sich um ein Vollstromopazimeter. Bei diesem Trübungsmessgerät wird der gesamte Abgasstrom von einem Lichtstrahl durchstrahlt. Die Absorption des Lichtes durch das

Abgas wird als Trübungskoeffizient in m^{-1} oder durch den Trübungsgrad in % erfasst. Eine Anpassung des Messgerätes an das Auspuffendrohr ist erforderlich.

7.2.3 Ermittlung der Filterschwärzung

Beim RWTÜV wurde die AVL-Filterpumpe AVL 415 verwendet. Bei diesem Gerät erfolgt zusätzlich eine Berechnung der Partikelmasse. Die Abgasmenge ist frei wählbar.

Beim DEKRA wurden Filterschwärzungsmessungen mit den Filterpumpen ETD 020.00 und ETD 020.50 von Bosch durchgeführt. Das Saugvolumen beträgt 330 cm^3 bei einer Saugdauer von ca. 2 sec und ist nicht variabel.

7.2.4 Ermittlung der gasförmigen Schadstoffemissionen

Sensors Semtech-D zur Bestimmung von gasförmigen Komponenten im Dieselabgas

Die Auslegung der Probennahme erlaubt die Messung gasförmiger Komponenten im Dieselabgas. Eine der Besonderheiten ist die Konzentrationsmessung der Kohlenwasserstoffe bei $195 \text{ }^\circ\text{C}$, um auch die Erfassung der langkettigen Kohlenwasserstoffe zu gewährleisten. Die Konzentrationen von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid werden mittels NDIR gemessen.

Die Konzentrationsmessung für Stickoxide erfolgt zur Zeit über einen elektrochemischen Sensor in Kombination mit einem NO_2 -Konverter. Um die Nachteile dieses Verfahrens zu kompensieren, werden die Stickoxide zukünftig mittels eines patentierten optischen Verfahrens ermittelt.

Das geplante Serienmodell wird den Zugriff auf Daten des OBD-Systems über die genormte Schnittstelle oder die Verbindung mit einem Durchflussmessgerät ermöglichen, so dass die Massebestimmung der jeweiligen gasförmigen Komponenten erfolgen kann. Das Messgerät ist für stationären und mobilen Einsatz konzipiert. Die Messwerte werden durch drahtlose Datenfernabfrage in Echtzeit übermittelt, was eine permanente Online-Messung unabhängig vom Standort gestattet.

7.3 Eigendiagnose

Die im Rahmen der praktischen Messungen eingesetzten Fahrzeuge waren mit einer Eigendiagnose ausgerüstet, die über herstellerspezifische Aussegeräte das Erkennen verschiedener Fehlfunktionen ermöglichten. Wie bereits erwähnt, entspricht diese Eigendiagnose noch nicht der künftigen genormten OBD nach Richtlinie 98/69/EG. Nachfolgend sind die Ergebnisse für zwei der untersuchten Fahrzeuge beispielhaft dargestellt.

Gespeicherte Fehler in der Motorsteuerung

a) VW-Protokoll

Modernes Dieselmotormanagement ist in der Lage, die angeschlossenen Komponenten selbst zu überwachen. Dabei können Kabelbrüche, Sensorausfall und andere elektrische und auch teilweise elektronische Fehler beziehungsweise Fehlfunktionen erkannt werden.

Erkannte Fehler werden im Fehlerspeicher abgelegt, als Hilfe bei der Fehlersuche in der Werkstatt. Für Benzinfahrzeuge mit On-Board-Diagnose (gemäß 98/69) sind diese Fehler genormt (P0-Codes).

Dem Fahrzeughersteller steht es bei Fahrzeugen mit Dieselmotor frei, diese Fehler zu verwenden. Im Falle des Versuchsfahrzeuges, Passat 1,9 l TDI, hat der Hersteller auf so genannte P1-Codes zugegriffen, soweit es überprüft wurde. Tabelle 7.1 zeigt die verursachten Fehler und deren Eintrag im Motorsteuergerät.

Aus Tabelle 7.1 wird erkennbar, dass der Hersteller bei dem Magnetventil für die Saugrohrklappe keinen P1-Code verwendet hat. Vermutlich wurde dies so gewählt, da es sich um kein abgasbeein-

Fehler	Code	Klartext
HFM abgezogen	P1144	Luftmassenmesser – G70 Unterbrechung/Kurzschluss nach Masse; sporadischer Fehler
Kraftstofftemp. Sensor abgezogen	P1163	Geber für Kraftstofftemp. G81 Unterbrechung, Kurzschluss nach Plus
Magnetventil für Saugrohrklappe abgezogen	01282	Umschaltventil für Saugrohrklappe N239 offen oder Kurzschluss nach Masse
Stelleransteuerung Airbag	P1609	Crashabschaltung wurde ausgelöst

Tab. 7.1: Beispiele für Fehlercodes in der Eigendiagnose

flussendes System handelt. Bei einem Ausfall ist das Abstellen des Motors beeinträchtigt.

Die Versuche zeigen, dass einfache Fehler, wie Leitungsunterbrechung bereits sehr gut erkannt werden, wo hingegen schleichende Veränderungen, wie im Falle des manipulierten Heißfilm-Luftmassenmessers (HFM) kein Fehlereintrag erfolgte.

Weitere Istwerte sind in Tabelle 7.2 aufgelistet, mit deren Bedeutung, soweit diese ausfindig gemacht werden konnte. Für eine vollständige Entschlüsselung muss auf die Reparaturanleitung von VW hingewiesen werden.

Messwert-block	Leerlauf Wert	2000 1/min		Beschreibung	
		Wert	Einheit		
1	820	1930	1/min	Drehzahl	
	4,6	3,5	Mg/H	Einspritzmenge	
	5,1	2	°KW	Förderdauer (soll)	
	64,8	65,7	°C	Motortemperatur	
2	820	1930	1/min	Drehzahl	
	0	11,7	%	Pedalwert	
	010b	000b	Bit	Betriebszustand	
	66,6	66,6	°C	Motortemperatur	
3	820	1930	1/min	Drehzahl	
	255	240	Mg/H	Luftmasse (soll)	
	254	230	Mg/H	Luftmasse (ist)	
	60	70	%	Tastverhältnis AGR-Ventil	Siehe Gruppe 24
4	820	1.970	1/min	Drehzahl	
	3,1	6,2	°vOT	Förderbeginn (soll)	
	5,1	2	°KW	Förderdauer (soll)	Siehe Gruppe 1
	0	0	°KW	Synchronisationswinkel	
5	820	1.950	1/min	Drehzahl	
	24,1	24,1	Mg/H	Startmenge	
	1	1	Bit	Startsynchronisation	
	69,3	69,3	°C	Motortemperatur	
6	0	0	Km/h	Fahrzeuggeschwindigkeit	
	000b	000b	Bit	Schalterstellungen	
	0	11,3	%	Pedalwert	Siehe Gruppe 2
	0	0	Bit	Tempomat	
7	53,1	54	°C	Kraftstofftemperatur	
	0	0	%	Status Kraftstoffkühlung	
	19,8	20,8	°C	Saugrohrtemperatur	
	71,1	71,1	°C	Motortemperatur	
8	820	1930	1/min	Drehzahl	
	0	3,2	Mg/H	Fahrerwunschemenge	
	31,5	50,7	Mg/H	Einspritzmengenbegrenzung	Drehmomentbegrenzung
	20	17,8	Mg/H	Einspritzmengenbegrenzung	Rauchvermeidung
9	820	1.950	1/min	Drehzahl	
	0	0	Mg/H	Einspritzmenge Tempomat	
	-	-		Menge v. Automatikgetr.	
	20	17,8	Mg/H	Begrenzungsmenge	
10	254	255	Mg/H	Angesaugte Luftmasse	
	969	969	Mbar	Umgebungsdruck	
	989	1.009	Mbar	Saugrohrdruck	
	0	11,3	%	Pedalwert	Siehe Gruppe 2

Tab. 7.2: Ist-Daten aus dem Eigendiagnosesystem eines VW Passat 1,9l DT

Messwert-block	Leerlauf Wert	2000 1/min		Beschreibung	
		Wert	Einheit		
11	820	1.930	1/min	Drehzahl	
	989	1.152	mbar	Soll-Ladedruck	
	989	1.009	mbar	Ist-Ladedruck	
	19	39	%	Tastverhältnis Ladedruckventil	
12	11111111	11111111	Bit	Glühstatus	
	0	0		Vorglühzeit	
	14,3	14,3	V	Bordspannung	
	81,9	81,9	°C	Motortemperatur	
13	0,23	0,25	mg/H	Laufrohregler Zyl. 1	Einspritzmenge
	-0,21	-0,16	mg/H	Laufrohregler Zyl. 2	Einspritzmenge
	-0,14	-0,18	mg/H	Laufrohregler Zyl. 3	Einspritzmenge
	0,07	0,07	mg/H	Laufrohregler Zyl. 4	Einspritzmenge
15	820	1930	1/min	Drehzahl	
	4,1	2,1	mg/H	Einspritzmenge (ist)	Lastabhängig
	0,4	0,6	l/h	Kraftstoffverbrauch	Lastabhängig
	0	2,1	mg/H	Fahrerwunschemenge	Lastabhängig
16	32	23	%	Generatorauslastung	
	10000001	10000001	Bit	Zusatzheizung	
	00b	00b	Bit	Ansteuerung Heizelemente	
	14,2	14,2	V	Bordspannung	
17	00000000	00000000	Bit		
	00000000	00000000	Bit		
	00000000	00000000	Bit		
	00000000	00000000	Bit		
18	1	4		Zustand PD-Einheit Zyl. 1	
	1	4		Zustand PD-Einheit Zyl. 2	
	1	4		Zustand PD-Einheit Zyl. 3	
	1	4		Zustand PD-Einheit Zyl. 4	
20	820	1930	1/min	Drehzahl	
	28	18	Nm		
	70	70	mg/H		
	0	0	mg/H		
21	0	0			
	10010000	10010000	Bit		
	00000000	00000000	Bit		
	00000000	00000000	Bit		
22	1	1			
	000000b	000000b	Bit		
	0	0			Änderung nur bei Gasstoß
	0	0			Änderung nur bei Gasstoß
23	-10	-10			
	-15	-13			
	-7	-6			
	-10	-15			
24	255	240	mg/H	Luftmasse (soll)	
	240	240	mg/H	Luftmasse (ist)	
	58	68	%	Tastverhältnis AGR-Ventil	Siehe Gruppe 3
	1	1			
25	989	1.152	mbar	Einspritzdruck?	Siehe Gruppe 11
	989	1.009	mbar	Saugrohrdruck?	Siehe Gruppe 11
	19	39	%	Last	
	0	0			

Tabelle. 7.2: Fortsetzung

b) Auslesen Steuergeräteparameter DaimlerChrysler 200 CDI

Dieses Fahrzeug wurde lediglich zur Darstellung der derzeit verfügbaren Diagnosedaten mit in die Untersuchung einbezogen, Abgasmessungen im Rahmen der Untersuchung wurden an diesem Fahrzeug nicht durchgeführt. Über das Bosch-Diagnose-Gerät KTS 500 konnten folgende Steuergerätegrößen ausgelesen werden:

Identifikation des Steuergerätes,
Fehlerspeicher,
Fehlerspeicher löschen.

Der Mercedes-Handheld-Tester, HHT, stellte noch mehr Optionen zur Verfügung. Dabei konnten auch Ist-Werte ausgelesen werden. Tabelle 7.3 listet alle Daten, die ausgelesen werden konnten.

Dazu kommen noch Daten über die Kommunikation zwischen den einzelnen Steuergeräten im Fahrzeug, über den CAN-Bus:

Motorsteuergerät an CAN	(Ja/Nein)
CDI empfängt von ETS/ABS/ASR/EGS/KI	(Ja/Nein)
CDI sendet an ASR/ESP/KLA/EGS/KI	(Ja/Nein)

Bei der Option Fehlerspeicher lesen, kann unter aktuellen und gespeicherten Fehlern ausgewählt

Istwerte	
Motordrehzahl	(1/min)
Motortemperatur	(°C)
Ansauglufttemperatur	(°C)
Öltemperatur	(°C)
Pedalwert	(%)
Einspritzmenge	(ME)
Voreinspritzung	(°KW, ms)
Haupt einspritzung	(°KW, ms)
Raildruck	(bar)
Tastverhältnis Druckregelventil	(%)
Laufunruhekorrektur Zylinder 1-4	
Injektorspannung	(V)
Tastverhältnis Ladedruck	(%)
Saugrohrdruck	(mbar)
Luftmasse pro Hub	(mg)
Tastverhältnis AGR	(%)
Einlasskanalabschaltung	(Ja/Nein)
Höhendruck	(mbar)
Tankfüllstand	(l)
Abschaltventil	(Auf/Zu)
Synchronisation	(Ja/Nein)

Tab. 7.3: Ist-Daten aus dem Eigendiagnosesystem eines DaimlerChrysler 200 CDI

werden. Dies entspricht möglicherweise den Modi 7 und 3. Dabei werden bereits P-Codes ausgegeben, die der SAE-Norm entsprechen. Außerdem sind Fehlerumgebungsdaten abgespeichert, bei denen bereits der Kilometerstand beim ersten Auftreten des Fehlers und letzten Auftreten des Fehlers abgespeichert wird.

c) OBD-Protokoll

Das bereits angeführte Versuchsfahrzeug, VW-Passat, verfügt über den in SAE J1962 festgelegten 16-poligen Diagnosestecker. Über diesen Stecker kann die Motorsteuerung auch mit anderen Protokollen gereizt werden.

Versuchsweise wurde das Motorsteuergerät mit dem ISO-9141-Protokoll für Ottomotoren zur On-Board-Diagnose gereizt. Es wurde festgehalten, welche Modi unterstützt werden und was für Daten mittels der Modi ausgelesen werden können. Der Fehlerspeicher konnte nicht angesprochen werden.

Die Messungen zeigen, dass die grundlegenden Funktionen bereits vorhanden und ansprechbar sind. Die Untersuchung ergab allerdings auch, dass mit den für Benzinmotor gedachten Istwerten der momentanen OBD gemäß Richtlinie 98/69/EG die Parameter des Dieselmotors nicht richtig erfasst werden.

7.4 Zulassungstest

7.4.1 Pkw nach 70/220/EWG

Die Fahrzeuge wurden im Anlieferungszustand und nach der Fehlersimulation zur Bewertung der Aussagekraft der untersuchten Prüfverfahren in Typzulassungstest nach 70/220/EWG gemessen. Der Fahrzyklus ist in Bild 7.2 dargestellt.

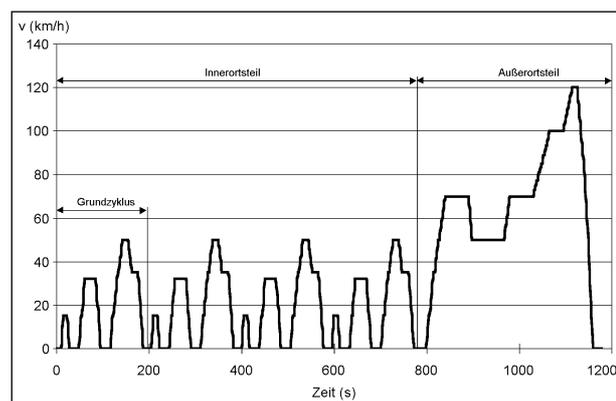


Bild 7.2: Typzulassungstest nach 70/220/EWG (NEFZ)

7.4.2 Nutzfahrzeuge nach 88/77/EWG

Um einen 13-Stufentest in Anlehnung an die angepasste Ratsrichtlinie 88/77/EWG (Euro I und Euro II) auf dem Lkw-Rollenprüfstand durchzuführen, werden folgende Einflussgrößen gemessen:

- Motordrehzahl,
- Bremslast an der Prüfstandsrolle,
- Ansaugluftmassenstrom,
- Kraftstoffmassenstrom,
- Radgeschwindigkeit,
- Konzentrationen im unverdünnten Abgas CO, HC, NO_x, CO₂ und O₂,
- Partikelemissionen (Teilstromverdünnung),
- Ansauglufttemperatur,
- Abgastemperatur,
- Ladelufttemperatur nach dem Ladeluftkühler (falls vorhanden),
- falls der Lüfter nicht blockiert werden kann: Lüfterdrehzahl,
- Barometerstand,
- relative Luftfeuchtigkeit,
- Ansaugunterdruck, gemessen mit einem Unterdrucksensor in der Zuleitung,
- Kraftstofftemperatur am Eintritt der Einspritzpumpe,
- Kühlwassertemperatur.

Damit der angesaugte Luftmassenstrom des im Fahrzeug installierten Luftpressers nicht in die Berechnung des Ansaugluftmassenstroms des Mo-

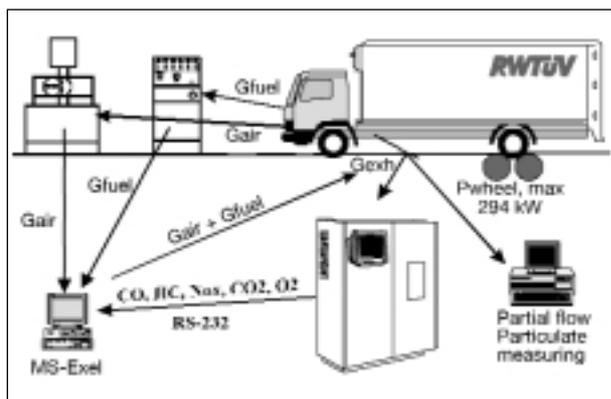


Bild 7.3: Versuchsaufbau

tors eingeht, wird dieser vom Ansaugsystem entkoppelt. Die entstehende Öffnung im Saugrohr wird mit einem Verschlussstopfen versehen, das Ansaugrohr des Luftpressers erhält einen eigenen Luftfilter, um Verschmutzungen zu vermeiden.

Die Achslast an der Antriebsachse des Fahrzeugs wird auf einer Lkw-Waage bestimmt. Abhängig von der Fahrzeugkonfiguration und der Motornennleistung wird gegebenenfalls ein Zusatzgewicht installiert, oder wenn die Achslast zu groß ist, wird das Fahrzeug an den Hebe Punkten mittels Luftbälgen angehoben.

Da zur Bestimmung der Motorleistung die Radgeschwindigkeit benötigt wird, muss in Vorversuchen der mittlere, dynamische Reifendurchmesser berechnet werden. Hierzu werden bei einer mittleren Motordrehzahl in den verschiedenen Getriebegängen, bei vollständig entlastetem Prüfstand, die Reifendrehzahlen, Rollendrehzahlen und Motordrehzahlen gemessen. Mit einem bekannten Durchmesser der Prüfstandsrollen können diese Versuche auch zu einer Prüfung bzw. Bestimmung der Gesamtübersetzungen (Getriebe- und Achsübersetzung) genutzt werden.

Jedes Fahrzeug wird auf dem Rollenprüfstand ca. 30 Minuten konditioniert, dabei wird ausgehend von einer mittleren Geschwindigkeit und mittlerer Belastung langsam bis auf Nenndrehzahl und Volllast gesteigert, um mögliche Ablagerungen im Abgassystem zu beseitigen.

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme und der erforderlichen Leistungsmessung wird eine Qualitätskontrolle der Abgasmessung durchgeführt. Mit einem Vergleich der I-Werte über Ansaugluft und Kraftstoffverbrauch im Vergleich zu den I-Werten über die gemessenen Abgasemissionen wird sichergestellt, dass keine Systemfehler (z. B. Undichtigkeiten) vorhanden sind.

Wie in der Richtlinie 88/77/EWG vorgegeben, wird jeder Lastpunkt in der Regel insgesamt 6 Minuten gefahren. Alle Messdaten werden kontinuierlich gemessen und in der letzten Minute des Lastpunktes sekundlich aufgezeichnet und gemittelt.

Insbesondere im Teillastbereich kann eine Verlängerung der Messzeit über die Grenze von 6 Minuten hinaus erforderlich sein, weil bei einem entsprechend niedrigen Emissionsniveau die Sammelzeiten zur Messung der Partikelemissionen ausgedehnt werden müssen, um eine sicher auswägbare Beladung der Sammelfilter zu erreichen.

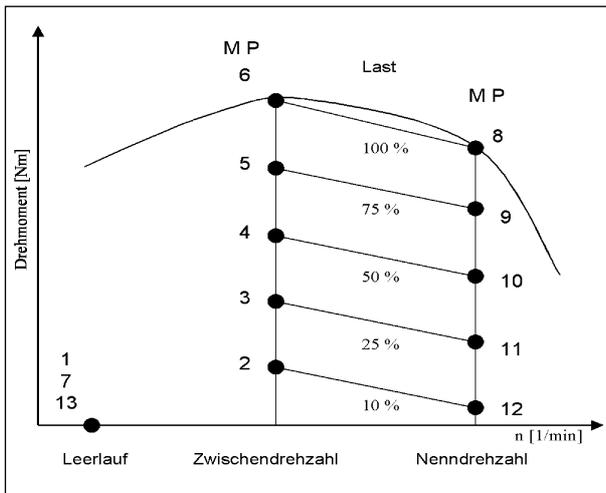


Bild 7.4: Lastpunkte des 13-Stufentests

Die Lastpunkte des 13-Stufentests sind in Bild 7.4 dargestellt.

8 Ergebnisse bei der praktischen Untersuchung zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden verschiedene Ansätze zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen aufgezeigt und untersucht. Zur Bewertung dieser Verfahren wurden vier verschiedene Pkw und ein schweres Nutzfahrzeug mit den in Abschnitt 6 dargestellten Verfahren zur Motorbelastung und Messgeräten vermessen.

Für die Untersuchungen wurden folgende Fahrzeuge ausgewählt:

	Typ	Baujahr	km-Stand	Stand der Zulassung
Fahrzeug 1	BMW 525 d	2000	ca. 1.000 km	EURO 3
Fahrzeug 2	Mazda 323	2000	ca. 9.600 km	EURO 2
Fahrzeug 3	VW Passat	1999	ca. 11.000 km	EURO 3
Fahrzeug 4	Smart	2000	ca. 8.100 km	EURO 2, D3
Fahrzeug 5	Mercedes Benz 1831 LS	1996	ca. 330.000 km	EURO 2

Bei allen Fahrzeugen wurde zunächst der Istzustand mit Hilfe einer Messung im jeweiligen Typprüfverfahren festgestellt und sichergestellt, dass keine Fehler im herstellerspezifischen Eigendiag-

nosesystem abgelegt waren. Die Messergebnisse im Ausgangszustand wurden als Vergleichsbasis für die folgenden Messungen herangezogen. Anschließend wurden an allen Fahrzeugen abgasrelevante Fehler simuliert, um zu prüfen, ob bzw. wie deutlich diese Fehler mit den verschiedenen Mess- und Prüfverfahren erkannt werden können. Um die Aussagekraft der bei den ausgewählten Prüfverfahren erzielten Messergebnisse zu bewerten, wurden Vergleichsmessungen im jeweiligen Typprüfverfahren und mit der bestehenden Abgasuntersuchung durchgeführt. Außerdem wurden die Daten der herstellerspezifischen Fahrzeug-eigendiagnosesysteme ausgelesen und dokumentiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die eingebauten Fehler unterschiedliche Auswirkungen auf das Emissionsverhalten der Fahrzeuge haben können. Als erkannte Defekte wurden nur diejenigen Fehler gewertet, die gegenüber dem Ausgangszustand, d. h. dem fehlerfreien Fahrzeug, zu einer Erhöhung der Emissionen führten.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass bei einigen Messungen nur sehr niedrige Absolutwerte gemessen wurden. In diesen Fällen führten die geringen Änderungen der gemessenen absoluten Messergebnisse zu einer starken prozentualen Veränderung gegenüber dem Ausgangszustand.

Bei einem Teil der eingesetzten Messgeräte handelte es sich um Prototypen, die nicht für den gesamten Zeitraum der Messungen zur Verfügung standen. Dadurch konnte nicht jedes Fahrzeug mit allen Prüfverfahren untersucht werden. Das gilt zum Beispiel für den Rußsensor der Universität Erlangen, der aufgrund eines technischen Defektes ausgefallen und für einen Teil der Messungen nicht einsatzbereit war. Das Gerät Semtech-D zur Bestimmung von gasförmigen Komponenten im Diesellabgas und das Laser-Steulich-Messgerät zur Bestimmung von Partikelanzahl und -größenverteilung der Firma Sensors wurden in einem frühen Prototypenstadium im Verlauf des Vorhabens zur Verfügung gestellt, nachdem die Messungen an einem Teil der Fahrzeuge bereits abgeschlossen waren. Bei einigen Messungen wurden mit einem noch in der Entwicklung befindlichen Gerät unplausible Messergebnisse (z. B. negative Stickoxidemissionen) erzielt, die im Rahmen dieses Berichtes nicht wiedergegeben werden.

8.1 Fahrzeug 1

Hersteller:	Bayerische Motoren Werke AG
Fahrzeugtyp:	525 d
Fahrgestell-Nr.:	WBADP91000GX70004
Motortyp:	256 D1 EURO 3
Einspritzsystem:	Direkteinspritzer Common Rail

Zur Fehlersimulation wurden die Kontakte des Kühlmittelsensors, des Luftmassenmessers und der Abgasrückführung unterbrochen. Diese Fehler führten zu folgenden Belegungen im Fehlerspeicher.

- D 0400 AGR außer Funktion,
- D 0100 Fehler Luftmassenmesser,
- D 0110 Fehler Lufttemperatursensor,
- DDE 0115 Kühlmitteltemperatursensor.

Version	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	Partikel
	g/km				
Ergebnisse bei der Typprüfung	0,244	0,059	0,439	0,498	0,038
	0,296	0,059	0,442	0,501	0,039
	0,255	0,053	0,453	0,506	0,039
Mittelwert	0,265	0,057	0,445	0,502	0,039
Anlieferung	0,103	0,103	0,441	0,544	0,053
Kühlmittelsensor def.	0,503	0,411	0,915	1,326	0,047
Luftmassenmesser def.	0,221	0,225	0,931	1,156	0,026
Abgasrückführung def.	0,212	0,216	0,920	1,136	0,025
Grenzwerte Typprüfung	0,64	-	0,50	0,56	0,05

Vergleich Opazimeter/Filterpumpe

	Anlieferung			AGR-Fehler		
	*	**	***	*	**	***
Leerlauf	0,36	0,2	0,00	0,41	0,2	0,00
erh. LL 2.500 min ⁻¹	0,11	0,1	0,00	0,11	0,0	0,00
30 km/h im 2. Gang	0,54	0,4	0,00	0,18	0,1	0,00
50 km/h im 3. Gang	0,98	0,9	0,00	0,36	0,2	0,00
50 km/h im 4. Gang	1,06	0,9	0,00	0,39	0,2	0,00
Beschl. von 30 km/h	0,43	5,6	0,12	1,16	6,0	0,24
	Ansaugluftsensor			Kühlwassertemperatur		
	*	**	***	*	**	***
Leerlauf	0,36	0,2	0,00	0,40	0,2	0,00
erh. LL 2.500 min ⁻¹	0,09	0,0	0,00	0,13	0,0	0,00
30 km/h im 2. Gang	0,15	0,1	0,00	0,18	0,1	0,00
50 km/h im 3. Gang	0,26	0,3	0,00	0,31	0,2	0,00
50 km/h im 4. Gang	0,34	0,2	0,00	0,34	0,3	0,00
Beschl. von 30 km/h	0,88	5,0	0,58	0,76	6,2	0,09
* AVL 415 (Filterpumpe):	Trübung		FSN			
** CELESCO (Vollstrom):	Trübung		%			
*** SENSORS (Teilstrom):	Trübung		k [m ⁻¹]			

Messung Partikelgröße und Partikelmasse mit LII

	Partikelmasse (mg/m ³)				Primärpartikelgröße (nm)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Leerlauf	8	7	8	8	23	27	27	27
erh. Leerlauf 2.500 min ⁻¹	5	4	4	4	27	21	21	24
30 km/h im 2. Gang	32	5	5	6	22	23	21	23
50 km/h im 3. Gang	31	7	8	8	25	22	22	22
50 km/h im 4. Gang	49	9	11	8	26	23	25	25
Beschl. von 30 km/h	58	58	58	48	-	-	-	-

Messung bei freier Beschleunigung

	1	2	3	4	
LII mg/m ³	80	70	65	40	
Sensors	LCS				
Modus A	m ⁻¹	0,48	0,59	2,85	0,50
Modus B	m ⁻¹	0,32	0,38	1,69	0,34
Integral	m ⁻¹	0,41	0,48	2,42	0,46

- 1 Anlieferung
- 2 def. Abgasrückführung
- 3 def. Luftmassenmesser
- 4 def. Kühlwassersensor

In den Bildern 8.1 bis 8.4 sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst. Dabei werden die Messwerte auf die Messung im Ausgangszustand bezogen. Es wird deutlich, dass alle drei Fehler zu einer Erhöhung der gasförmigen Emissionen und einer Absenkung der Partikelemissionen im NEFZ führten. Alle drei simulierten Fehler führten bei einer Beschleunigung von Teillast auf Volllast auf dem Fahrleistungsprüfstand zu einer erhöhten Filter-

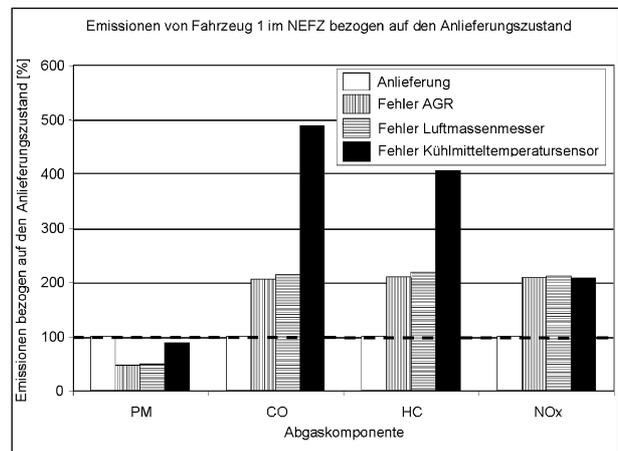


Bild 8.1: Emissionen von Fahrzeug 1 im NEFZ

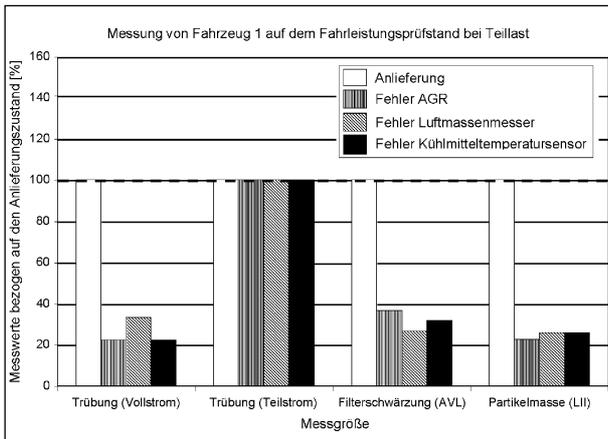


Bild 8.2: Messung von Fahrzeug 1 bei Teillast (50 km/h, 3. Gang)

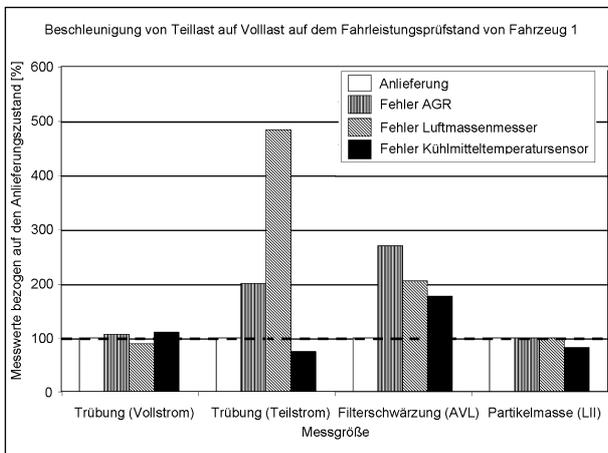


Bild 8.3: Beschleunigung von Teillast auf Vollast bei Fahrzeug 1

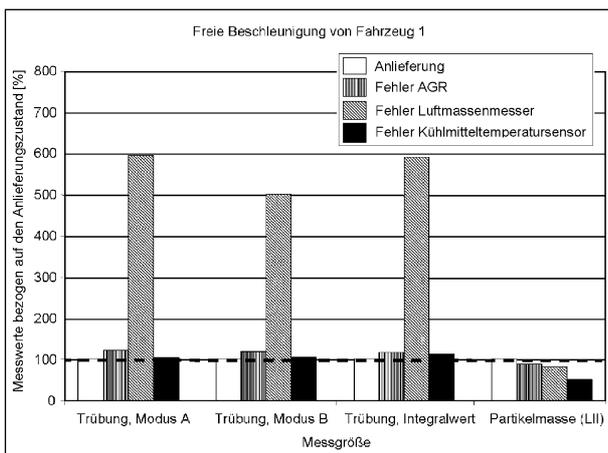


Bild 8.4: Freie Beschleunigung bei Fahrzeug 1

schwärzung bei der Messung mit der Filterpumpe. Bei der freien Beschleunigung verursachte der Fehler am Luftmassenmesser eine deutliche Erhöhung der Abgastrübung. Alle drei Defekte führten zum Setzen eines Fehlers im herstellerspezifischen Eigendiagnosesystem.

8.2 Fahrzeug 2

Hersteller:	MAZDA
Fahrzeugtyp:	323 F Tdi
Fahrgestell-Nr.:	JMZBJ12R200241230
Motortyp:	RF
Einspritzsystem:	Direkteinspritzer, Verteilereinspritzpumpe

Bei Fahrzeug 2 wurden der Ladedrucksensor, das AGR-Ventil sowie die Kühlmitteltemperatur durch Abziehen des jeweiligen Steckers als Fehlersimulation durchgeführt.

Folgende Fehler wurden abgespeichert:

- P 0105 Signalkreis Ladedrucksensor,
- P 1402 Signalkreis AGR-Ventilhubsensoz,
- P 0115 Signalkreis Kühlmitteltemperatursensor.

Version	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	Partikel
	g/km				
Ergebnisse bei der Typprüfung	0,9312	0,1741	0,5972	0,7713	0,0601
	0,8928	0,1651	0,5838	0,7489	0,0579
	0,8881	0,1741	0,6109	0,7850	0,0680
Mittelwert	0,9040	0,1711	0,5973	0,7684	0,0620
Anlieferung	0,828	0,234	0,442	0,677	0,1016
AGR Fehler	0,848	0,275	0,863	1,139	0,0773
Kühlmitteltemp.	0,855	0,306	0,832	1,138	0,0891
Saugrohrdruck	0,844	0,295	0,463	0,758	0,1083
Grenzwerte	1,0	-	-	0,9	0,1

Vergleich Opazimeter/Filterpumpe

	Anlieferung			ohne AGR-Ventil		
	*	**	***	*	**	***
Leerlauf	0,97	0,00	0,08	0,67	0,00	0,08
erh. Leerlauf	1,63	0,00	0,18	1,25	0,00	0,16
30 km/h 2. Gang	1,53	0,00	0,15	0,80	0,00	0,10
50 km/h 3. Gang	2,12	0,00	0,20	1,12	0,00	0,12
50 km/h 4. Gang	2,64	0,06	0,30	1,33	0,00	0,16
Beschl. ab 30 km/h 2. Gang	-	0,42	2,41	-	0,50	1,48
	ohne Saugrohrdruckfühler			ohne Kühlmitteltemperaturfühler		
	*	**	***	*	**	***
Leerlauf	1,05	0,00	0,08	0,81	0,00	0,08
erh. Leerlauf	1,79	0,00	0,22	1,08	0,00	0,12
30 km/h 2. Gang	1,74	0,00	0,19	0,99	0,00	0,11
50 km/h 3. Gang	2,31	0,00	0,27	1,20	0,00	0,17
50 km/h 4. Gang	2,79	0,04	0,40	1,51	0,00	0,19
Beschl. ab 30 km/h 2. Gang	-	0,07	0,94	-	0,51	1,30
* AVL 415 (Filterpumpe):	Trübung		FSN			
** Bosch RTT 110 (Teilstrom):	Trübung		k [m ⁻¹]			
*** CELESCO (Vollstrom):	Trübung		k [m ⁻¹]			

Partikelmassenkonzentration mg/m³ bzw. Partikelanzahl und NO_x-Emission

Messgerät	Serie				def. AGR			
	LII*	AVL**	Sensors***		LII*	AVL**	Sensors***	
			NO _x ppm	PM			NO _x ppm	PM
Leerlauf	14	17	110	17	14	11	118	not
erh. Leerlauf 2.500 min ⁻¹	54	37	62	22	42	24	70	not
30 km/h 2. Gang	42	22	60	8	26	13	75	18
50 km/h 3. Gang	62	58	un- valid	un- valid	44	21	100	35
50 km/h 4. Gang	87	88	75	25	44	27	110	45

Messgerät	def. Saugrohrdruck- sensor				def. Motortempera- tursensor			
	LII*	AVL**	Sensors***		LII*	AVL**	Sensors***	
			NO _x ppm	PM			NO _x ppm	PM
Leerlauf	18	19	115	50	21	13	145	35
erh. Leerlauf 2.500 min ⁻¹	53	43	65	35	29	20	115	40
30 km/h 2. Gang	52	41	60	15	32	18	110	13
50 km/h 3. Gang	68	68	75	30	35	23	145	40
50 km/h 4. Gang	80	98	75	30	51	33	150	30

* LII, Partikelmassenkonzentration [mg/m³]
 ** AVL 415 Filterpumpe, Rußkonzentration [mg/m³]
 *** Sensors Semtech D, NO_x [ppm], Partikelanzahl x 10³

		Freie Beschleunigung				Beschleunigung ab 30 km/h im 2. Gang			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Sensors	LCS								
Modus A	m ⁻¹	1,81	2,15	1,16	1,85				
Modus B	m ⁻¹	1,43	1,75	1,13	1,53				
Integral	m ⁻¹	4,37	4,91	3,70	3,38				
RTT 110	m ⁻¹	0,38	0,39	0,22	0,34	0,42	0,50	0,07	0,51
CELESCO	m ⁻¹	1,65	1,58	1,16	1,23	2,41	1,48	0,94	1,30
LII	mg/m ³	180	165	150	170	200	215	140	205

1 Anlieferung
 2 ohne AGR-Ventil
 3 ohne Saugrohrdrucksensor
 4 ohne Kühlmitteltemperatursensor

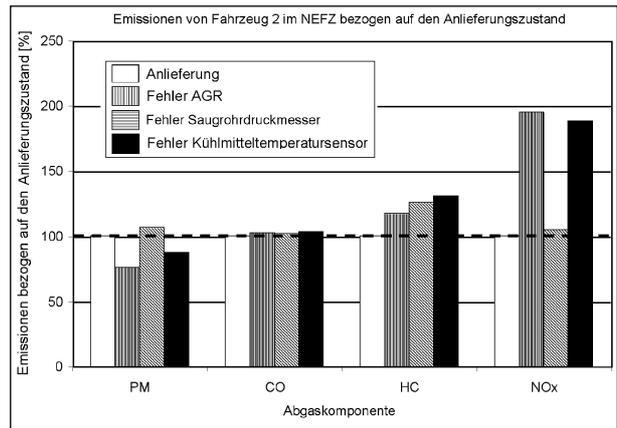


Bild 8.5: Emissionen von Fahrzeug 2 im NEFZ

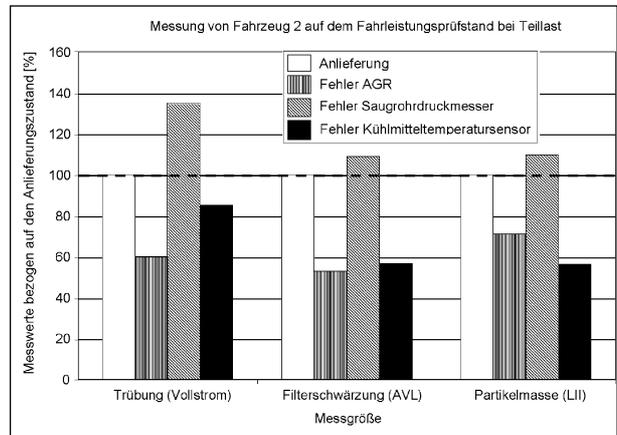


Bild 8.6: Messung von Fahrzeug 2 bei Teillast (50 km/h, 3. Gang)

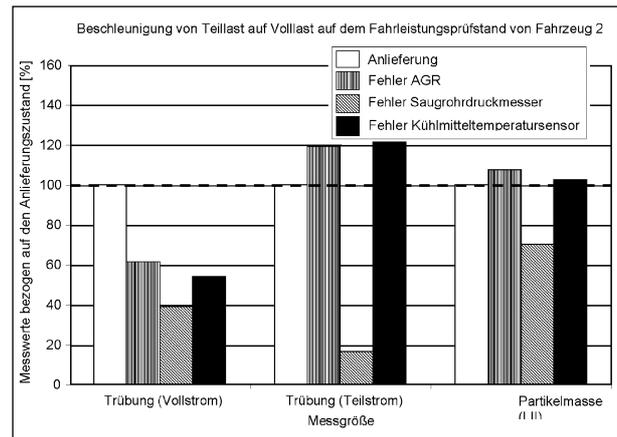


Bild 8.7: Beschleunigung von Teillast auf Volllast bei Fahrzeug 2

In den Bildern 8.5 bis 8.8 sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst. Dabei werden die Messwerte auf die Messung im Ausgangszustand bezogen. Im NEFZ führten alle drei Fehler zu einer Erhöhung der Kohlenwasserstoff- und der Stickoxidemissionen. Die Kohlenmonoxidemissionen blieben unverändert. Während die Fehler an der

Abgasrückführung und an dem Kühlmitteltemperatursensor zu einer Absenkung der Partikelemissionen führten, verursachte der defekte Saugrohrdruckmesser einen leichten Anstieg der Partikelemissionen im NEFZ. Bei der Messung bei Teillast (50 km/h, 3. Gang) führte der defekte Saugrohrdruckmesser zu einer Erhöhung der Filterschwärzung

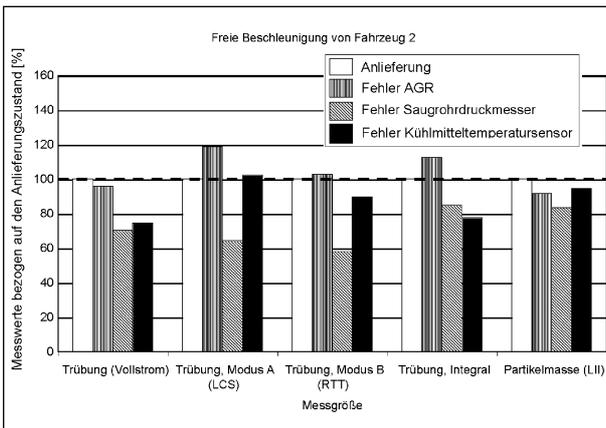


Bild 8.8: Freie Beschleunigung bei Fahrzeug 2

zungszahl und der mit LII gemessenen Partikelmasse. Bei Teillast (50 km/h, 3. Gang) verursachte der fehlende Saugrohrdrucksensor einen geringfügigen Anstieg der mit einem Vollstromopazimeter gemessenen Abgastrübung, während dieser Anstieg der Trübung mit einem Teilstromopazimeter nicht erkennbar war. Wie bereits erwähnt, führten alle drei Fehler zum Setzen eines Fehlers im herstellerspezifischen Eigendiagnosesystem.

8.3 Fahrzeug 3

Hersteller:	Volkswagen VW
Fahrzeugtyp:	3 B
Fahrgestell-Nr.:	WVWZZZ3BZYEO87652
Motortyp:	AJM
Einspritzsystem:	Direkteinspritzer, Pumpe-Düse

Bei diesem Fahrzeug wurden die Fehler nicht durch Unterbrechung der Sensorleitungen simuliert, sondern durch eine Verstimmung der Signale des HFM sowie der Kraftstofftemperatur. Diese Fehler wurden nicht vom herstellerspezifischen Eigendiagnosesystem erkannt.

Da es sich bei dem VW Passat um einen modernen Dieselmotor mit Kraftstoffdirekteinspritzung handelt, gestaltete sich die Fehlersimulation relativ schwierig. Die Einspritzmenge ist mittels Kennfeldern im Motorsteuergerät festgelegt. Eine zentrale Einspritzpumpe besitzt das System auch nicht und der Einspritz- oder Förderbeginn ist ebenfalls auf elektronischem Wege geregelt.

Damit können mit vertretbarem Aufwand nur die Sensoren der Motorsteuerung manipuliert werden. Prädestiniert sind die verschiedenen Temperatur-

geber und natürlich der Heißluftmassenmesser als sekundäres Lastsignal. Daher konnten bei diesem Fahrzeug nur zwei sinnvolle Fehlersimulationen durchgeführt werden.

Mit dem Wissen über die Wirkungsweise des HFM beim Benzinmotor wurde die Referenzspannung des HFM von 5,0 V auf 5,5 V erhöht, um der Motorsteuerung eine höhere Luftmasse im Zylinder vorzugeben. Dadurch wird die Einspritzmenge leicht erhöht und es kommt zu einer verstärkten Rußbildung bei der Verbrennung.

Durch einen 100-Ohm-Widerstand am Kraftstofftemperatursensor konnte die gemessene Temperatur auf 139,5 °C simuliert werden.

Version	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	Partikel
	g/km				
Ergebnisse bei der Typprüfung	0,183	-	0,428	0,454	0,031
Anlieferung	0,227	0,054	0,346	0,400	0,042
Heißluftmassenmesser def.	0,379	0,082	0,243	0,325	0,121
Kraftstofftemperaturfühler def.	0,352	0,0639	0,295	0,359	0,085
Grenzwerte	0,64	-	0,50	0,56	0,05

Ergebnisse Fahrzeug 3

	Anlieferung		HFM defekt		Kraftstofftemperatur-sensor defekt	
	k-Wert [1/m] Modus A*	Filter-schwär-zung**	k-Wert [1/m] Modus A*	Filter-schwär-zung**	k-Wert [1/m] Modus A*	Filter-schwär-zung**
LL	0,08	1,27	0,01	1,18	0,01	1,02
ELL (2.500 1/min)	0,07	0,74	0,09	1,19	0,10	0,77
Freie Beschleunigung	0,42	2,12	3,90	5,31	0,84	3,17
FAS mit Schwungmasse	0,79	2,69	7,09	7,46	1,60	4,06
Teillast	0,07	1,17	0,32	2,24	0,15	1,74
Voll-Last	0,14	1,23	0,23	1,66	0,19	1,59

	Anlieferung		HFM defekt		Kraftstofftemperatur-sensor defekt	
	k-Wert [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**	k-Wert [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**	k-Wert [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**
LL	0,02	1,27	0,05	1,18	0,06	1,02
ELL (2500 1/min)	0,10	0,74	0,14	1,19	0,04	0,77
Freie Beschleunigung	0,22	2,12	1,12	5,31	0,47	3,17
FAS mit Schwungmasse	0,08	2,69	3,73	7,46	1,50	4,06
Teillast	0,25	1,17	0,25	2,24	0,16	1,74
Vollast	0,08	1,23	0,19	1,66	0,18	1,59

* AVL Opazimeter 439 (Teilstrom)
 ** BOSCH Filterpumpe ETD 020.00
 Teillast: 2. Gang, 50 km/h, (7,3 HP, 97 lbf)
 Vollast: 1. Gang, 50 km/h, 5.000 min⁻¹, (7,5 HP, 99,7 lbf)

Stufentest

	Anlieferung		HFM defekt		Kraftstofftemperatur-sensor defekt	
	k-Wert [1/m] Modus A*	Filter-schwärzung**	k-Wert [1/m] Modus A*	Filter-schwärzung**	k-Wert [1/m] Modus A*	Filter-schwärzung**
1.500 1/min	0,27	1,88	0,24	2,07	0,22	1,58
Beschleunigung	0,19	3,57	2,02	5,28	0,71	3,90
3.000 1/min	0,05	1,67	0,44	2,35	0,20	1,53
	k-Wert [1/m] Modus B*	Filter-schwärzung**	k-Wert [1/m] Modus B*	Filter-schwärzung**	k-Wert [1/m] Modus B*	Filter-schwärzung**
1.500 1/min	0,23	1,88	0,32	2,07	0,16	1,58
Beschleunigung	0,31	3,57	1,30	5,28	0,56	3,90
3.000 1/min	0,19	1,67	0,27	2,35	0,16	1,53

* AVL Opazimeter 439 (Teilstrom)
 **)BOSCH Filterpumpe ETD 020.00
 Stufentest (Fahrwiderstandssimulation)
 2. Gang 1. 1.500 min⁻¹, (3 HP, 72 lbf)
 2. 1.500 min⁻¹ - 3000 min⁻¹
 3. 3.000 min⁻¹, (8 HP, 100 lbf)

In den Bildern 8.9 bis 8.11 sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst. Dabei werden die Messwerte auf die Messung im Ausgangszustand

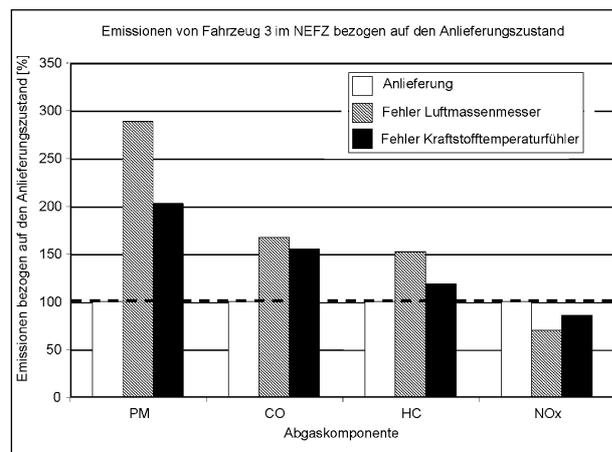


Bild 8.9: Emissionen von Fahrzeug 3 im NEFZ

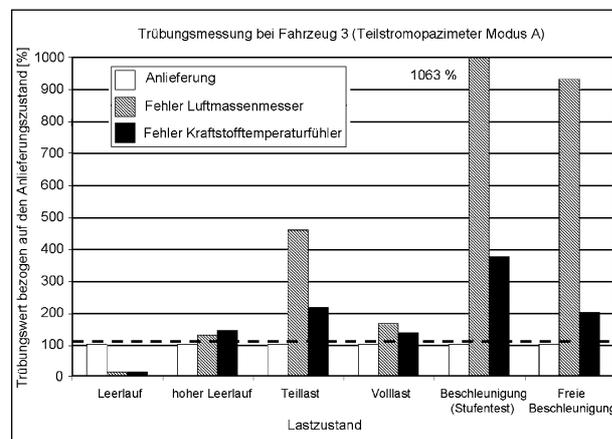


Bild 8.10: Abgastrübung bei Fahrzeug 3 (Teilstrom-Opazimeter, Modus A)

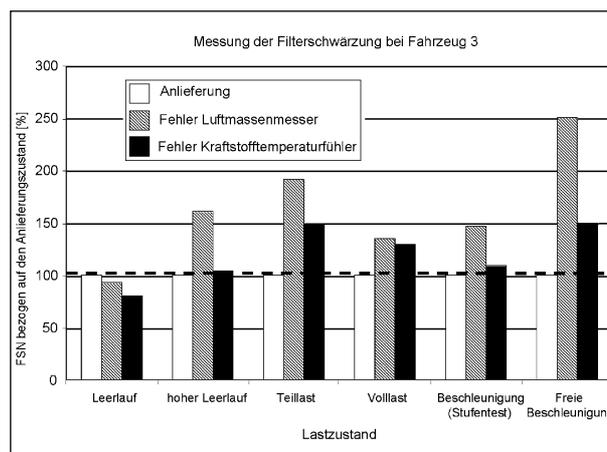


Bild 8.11: Filterschwärzung bei Fahrzeug 3

bezogen. Keiner der simulierten Defekte führte zum Setzen eines Fehlers im herstellerspezifischen Eigendiagnosesystem. Im NEFZ führten beide Fehler zu einer Erhöhung der Kohlenmonoxid-, Kohlenwasserstoff- und der Partikelemissionen. Die Stickoxidemissionen werden durch die simulierten Fehler im NEFZ abgesenkt. Sowohl der Fehler am Luftmassenmesser als auch der Fehler am Kraftstofftemperaturfühler führten zu einem Anstieg der Abgastrübung und der Filterschwärzung bei Volllast, bei einer Beschleunigung von Teillast auf Volllast (Stufentest) und bei der freien Beschleunigung. Bei Teillast wurde bei beiden Fehlern ein Anstieg der Filterschwärzung festgestellt. Dabei ist zu beachten, dass bei diesem Fahrzeug nur sehr niedrige Trübungswerte gemessen wurden. Daher führten die geringen Änderungen der gemessenen absoluten Abgastrübung zu einer starken prozentualen Veränderung gegenüber dem Ausgangszustand.

8.4 Fahrzeug 4

Hersteller:	MCC Smart
Fahrzeugtyp:	MC D1
Fahrgestell-Nr.:	WME01MC01YH048691
Motortyp:	61
Einspritzsystem:	Direkteinspritzer Common Rail

Da es sich bei dem MCC Smart um einen modernen Dieselmotor mit Kraftstoffdirekteinspritzung handelt, gestaltete sich die Fehlersimulation relativ schwierig. Daher konnten bei diesem Fahrzeug nur zwei sinnvolle Fehlersimulationen durchgeführt werden. Bei diesem Fahrzeug wurden der Ansauglufttemperatursensor sowie der Kühlmitteltemperatursensor als defekt simuliert durch Ersatz des Sensors durch Festwiderstände.

Die Ansaugluft wurde auf minus 10 °C sowie die Motortemperatur auf 3,5 °C gesetzt.

Version	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	Partikel
	g/km				
Ergebnisse bei der Typprüfung	0,202	-	0,374	0,388	0,043
Anlieferung	0,301	0,022	0,483	0,505	0,061
Ansaugtemp. -10 °C	0,286	0,013	0,427	0,440	0,075*
Motortemp. 3,5 °C	0,313	0,014	0,680	0,694	0,086*
Grenzwerte Typprüfung	0,64	-	0,50	0,56	0,05

* Ergebnisse im Warmtest

Eine Bewertung der Partikelemissionen im Außerortszyklus (Phase 2 des Zulassungszyklus) zeigt einen deutlichen Anstieg der Partikelemission bei simulierten Fehlern:

- Anlieferung 0,0648 g/km
- Ansaugtemperatur - 10 °C 0,0852 g/km
- Motortemperatur 3,5 °C 0,0854 g/km

Die simulierten Fehler wurden von der Motorsteuerung nicht erkannt.

Ergebnisse Fahrzeug 4

	Anlieferung		Ansaugluft = -10 °C (27-28 kOHM)		Motortemp. = 2,46 °C (7-8 kOHM)	
	Trübung [1/m] Modus A*	Filter-schwär-zung**	Trübung [1/m] Modus A*	Filter-schwär-zung**	Trübung [1/m] Modus A*	Filter-schwär-zung**
LL	0,14	0,7	0,02	0,9	0,25	1,4
ELL (2.500 1/min)	0,24	0,9	0,18	1,0	0,04	0,9
Freie Beschleunigung	1,93	3	7,32	5,2	5,31	6,1
FAS mit Schwungmasse	3,13	5,1	9,99	7,3	8,87	6,8
Teillast	0,08	1,2	0,07	1,1	0,13	1,3
Volllast	0,23	0,6	0,17	1,6	0,2	1,8

	Anlieferung		Ansaugluft = -10 °C (27-28 kOHM)		Motortemp. = 2,46 °C (7-8 kOHM)	
	Trübung [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**	Trübung [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**	Trübung [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**
LL	0,07	0,7	0,02	0,9	0,08	1,4
ELL (2.500 1/min)	0,04	0,9	0,05	1,0	0,04	0,9
Freie Beschleunigung	0,71	3	3,07	5,2	1,94	6,1
FAS mit Schwungmasse	2,99	5,1	9,99	7,3	7,79	6,8
Teillast	0,06	1,2	0	1,1	0,12	1,3
Volllast	0,15	0,6	0,17	1,6	0,21	1,8

* AVL Opazimeter 439 (Teilstrom)
 ** BOSCH Filterpumpe ETD 025.00
 Teillast: 3. Gang, 50 km/h, (7,4 HP, 99,7 lbf)
 Volllast: 2. Gang, 50 km/h, (9,3 HP, 111 lbf)

Stufentest

	Anlieferung		Ansaugluft = -10 °C (27-28 kOHM)		Motortemp. = 2,46 °C (7-8 kOHM)	
	Trübung [%] Modus A*	Filter-schwär-zung**	Trübung [1/m] Modus A*	Filter-schwär-zung**	Trübung [1/m] Modus A*	Filter-schwär-zung**
1.500 1/min	0,18	0,5	0,93	2,1	0,78	3,1
Beschleunigung	0,97	1,1	1,84	5,6	9,99	6,8
3.000 1/min	0,49	0,8	0,2	1,5	0,18	1,7

	Anlieferung		Ansaugluft = -10 °C (27-28 kOHM)		Motortemp. = 2,46 °C (7-8 kOHM)	
	Trübung [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**	Trübung [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**	Trübung [1/m] Modus B*	Filter-schwär-zung**
1.500 1/min	0,19	0,5	0,53	2,1	0,54	3,1
Beschleunigung	1,02	1,1	1,62	5,6	4,55	6,8
3.000 1/min	0,29	0,8	0,18	1,5	0,21	1,7

* AVL Opazimeter 439 (Teilstrom)
 ** BOSCH Filterpumpe ETD 025.00
 Stufentest (Fahrwiderstandssimulation)
 2. Gang 1. 1.500 min⁻¹, (2,43 HP, 68,8 lbf)
 2. 1.500 min⁻¹ - 3000 min⁻¹
 3. 3.000 min⁻¹, (5,8 HP, 80,8 lbf)

In den Bildern 8.12 bis 8.14 sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst. Dabei werden die Messwerte auf die Messung im Ausgangszustand

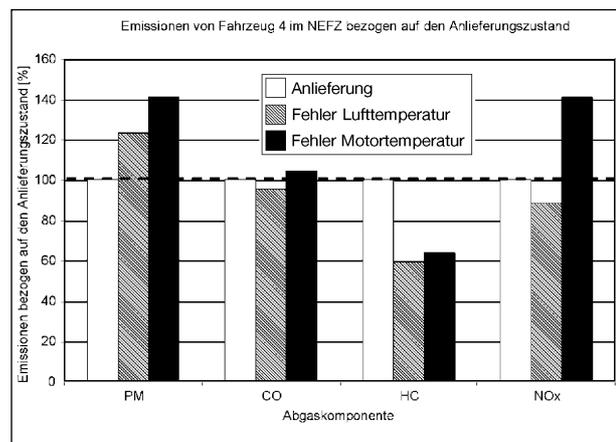


Bild 8.12: Emissionen von Fahrzeug 4 im NEFZ

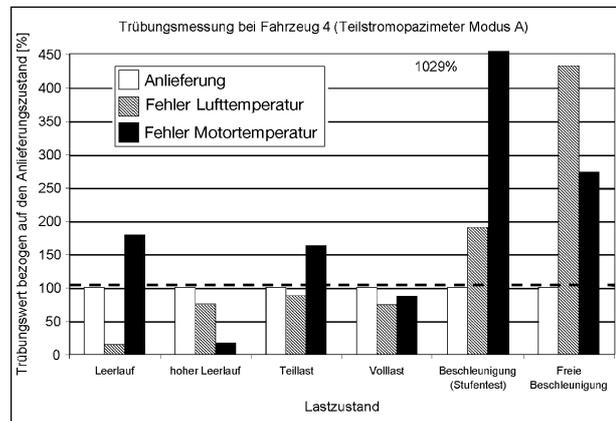


Bild 8.13: Abgastrübung bei Fahrzeug 4 (Teilstrom-Opazimeter, Modus A)

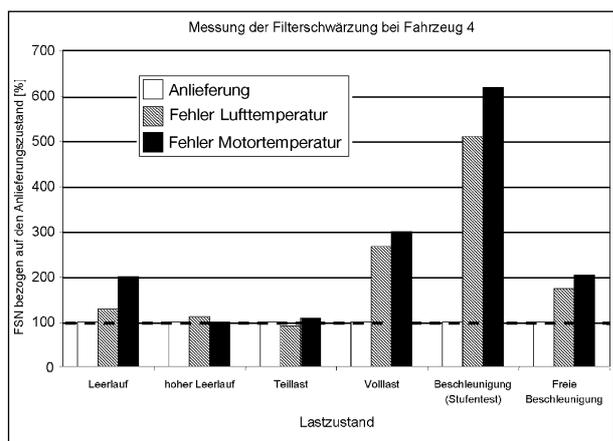


Bild 8.14: Filterschwärzung bei Fahrzeug 4

bezogen. Im NEFZ führten beide Fehler zu einer Erhöhung der Partikelemissionen. Die Stickoxidemissionen stiegen durch die Simulation einer Motortemperatur von 3,5 °C im NEFZ an, während sie durch die Simulation einer falschen Lufttemperatur sanken. Die Kohlenmonoxidemissionen blieben bei beiden Fehlersimulationen nahezu unverändert, während die Kohlenwasserstoffemissionen sanken. Beide simulierten Fehler verursachten einen Anstieg der Filterschwärzung bei Volllast, bei einer Beschleunigung von Teillast auf Volllast (Stufentest) und bei der freien Beschleunigung. Außerdem führten beide Fehler zu einem Anstieg der Abgastrübung bei der Beschleunigung von Teillast auf Volllast auf einem Fahrleistungsprüfstand und bei der freien Beschleunigung. Wie bereits erwähnt, führte kein simulierter Defekt zum Setzen eines Fehlers im herstellerspezifischen Eigendiagnosesystem.

8.5 Fahrzeug 5

Hersteller:	Daimler-Benz AG
Fahrzeugtyp:	MB 1831 LS
Fahrgestell-Nr.:	WDB6554081K202167
Motortyp:	OM 441 LA II/1
Einspritzsystem:	Direkteinspritzer Hubschieberpumpe

13-Stufentest nach 88/77/EWG

Die Fehlersimulation erfolgte bei diesem Fahrzeug durch Abziehen des Kühlmitteltemperatursensors und des Ladedrucksensors. Dabei wurden die folgenden Fehler vom System erkannt:

- EDC 060 Kühlmitteltemperatursensor,
- EDC 070 Ladedrucksensor.

	CO	HC	NO _x	Partikel
	g/kWh			
Ergebnisse bei der Typprüfung	0,48	0,28	6,57	0,127
Anlieferung	1,15	0,37	6,37	0,175
ohne Ladedrucksensor	0,89	0,42	7,03	0,144
ohne Kühlmitteltemperatursensor	1,04	0,37	6,31	0,146
Grenzwerte	4	1,1	7	0,15

Vergleich der Motorleistung:

Anlieferung:	233 kW bei 2.100 min ⁻¹
ohne Ladedrucksensor:	174 kW bei 2.100 min ⁻¹
ohne Kühlmitteltemperatursensor:	210 kW bei 2.100 min ⁻¹

Ergebnisse Fahrzeug 5

	No _x ppm		HC ppm		CO ppm		CO ₂ Vol%	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Anlieferung	1	2	1	2	1	2	1	2
Leerlauf	205	262	28	31,7	50	104	1,23	1,48
erh. Leerlauf 1.200 min ⁻¹	232	-	0	-	70	-	1,70	-
50 % Last 1.260 min ⁻¹	950	1194	11	36,1	0	80	6,75	7,08
75 % Last 1.260 min ⁻¹	904	936	0	41,5	50	139	9,0	9,07
Ladedruck								
Leerlauf	213	250	6	32,8	40	97	1,27	1,42
erh. Leerlauf 1.200 min ⁻¹	218	-4	16	-	60	-	1,62	-
50 % Last 1.260 min ⁻¹	900	828	0	37,0	10	81	6,20	6,08
75 % Last 1.260 min ⁻¹	915	912	0	31,8	40	87	8,80	7,71
Kühlmitteltemperatursensor								
Leerlauf	228	234	29	30,0	40	98	1,40	1,41
erh. Leerlauf 1.200 min ⁻¹	223	-	0	-	50	-	1,63	-
50 % Last 1.260 min ⁻¹	948	929	0	32,0	60	82	6,81	6,97
75 % Last 1.260 min ⁻¹	900	849	0	34,0	90	116	9,00	8,45

1: AVL GEB200 Labormessanlage für die Typprüfung gemäß Richtlinie 88/77/EWG

2: Sensors Semtech-D

	RTT 110 [m ⁻¹]			CELESCO [m ⁻¹]		
	Anlieferung	ohne Ladedrucksensor	ohne Kühlmitteltemperatursensor	Anlieferung	ohne Ladedrucksensor	ohne Kühlmitteltemperatursensor
Leerlauf	0,07	0,00	0,04	0,00	0,30	0,02
erh. Leerlauf 1.200 min ⁻¹	0,11	0,00	0,04	0,00	0,30	0,01
50 % Last 1.260 min ⁻¹	0,18	0,08	0,10	0,04	0,90	0,06
75 % Last 1.260 min ⁻¹	0,20	0,08	0,15	0,05	0,90	0,09
Freie Beschleunigung	0,68	1,63	0,64	1,58	6,60	1,41
Beschleunigung ab 30 km/h (6. Gang)	0,87	1,27	0,82	1,50	2,92	1,48
RTT 110 (Teilstrom), Trübung k [m ⁻¹]						
CELESCO (Vollstrom), Trübung [m ⁻¹]						

Ergebnisse Fahrzeug 5 Fortsetzung

	Schwärzung AVL 415 Filterpumpe [FSN]			Partikel AVL 415 Filterpumpe [mg/m³]		
	Anlie-ferung	Lade-druck	Kühl-mittel	Anlie-ferung	Lade-druck	Kühl-mittel
Leerlauf	0,11	0,15	0,17	1,0	2,0	2,0
erh. Leerlauf 1.200 min ⁻¹	0,06	0,05	0,60	1,0	1,0	1,0
25 % Last 1.260 min ⁻¹	-	-	-	-	-	-
50 % Last 1.260 min ⁻¹	0,57	0,72	0,74	9,0	12,0	12,0
75 % Last 1.260 min ⁻¹	0,20	0,08	0,15	0,05	0,90	0,09

	LII [mg/m³]			Partikel AVL Smart Sampler [g/h] (Labormessanlage für die Typprüfung)		
	Anlie-ferung	Lade-druck	Kühl-mittel	Anlie-ferung	Lade-druck	Kühl-mittel
Leerlauf	-	-	-	1,345	2,322	1,199
erh. Leerlauf 1.200 min ⁻¹	-	-	-	-	-	-
25 % Last 1.260 min ⁻¹	10,4	13,7	13,3	6,065	4,598	4,960
50 % Last 1.260 min ⁻¹	16,7	15,9	15,9	6,968	5,788	6,851
75 % Last 1.260 min ⁻¹	-	-	-	11,895	7,684	9,722

Freie Beschleunigung

		1	2	3
Sensors	LCS			
Modus A	m ⁻¹	1,89	4,87	1,80
Modus B	m ⁻¹	1,16	2,86	1,12
Integral	m ⁻¹	1,46	4,37	1,41
RTT 110	m ⁻¹	0,68	1,63	0,64
CELESCO	%	13,6	41,2	13,6
	m ⁻¹	1,58	6,60	1,41

- 1 Anlieferungszustand
- 2 Ladedrucksensor
- 3 Kühlmitteltemperatursensor

Volllast

		2.100 min ⁻¹			1.260 min ⁻¹		
		1	2	3	1	2	3
CO	g/h	365,0	183,3	252,4	173,7	74,2	132,8
HC	g/h	90,7	69,7	78,6	48,2	38,0	42,5
NO _x	g/h	1011,5	993,4	1081,9	1035,0	866,2	969,1
PM	g/h	77,0	43,1	52,7	22,0	11,2	17,4

- 1 Anlieferungszustand
- 2 Ladedrucksensor
- 3 Kühlwassertemperatursensor

AVL GEB200 Labormessanlage für die Typprüfung gemäß Richtlinie 88/77/EWG

In den Bildern 8.15 bis 8.18 sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst. Dabei werden die Messwerte auf die Messung im Ausgangszustand bezogen. Im 13-Stufentest führten beide Fehler zu einer Senkung der Partikelemissionen und der Kohlenmonoxidemissionen. Während der Fehler

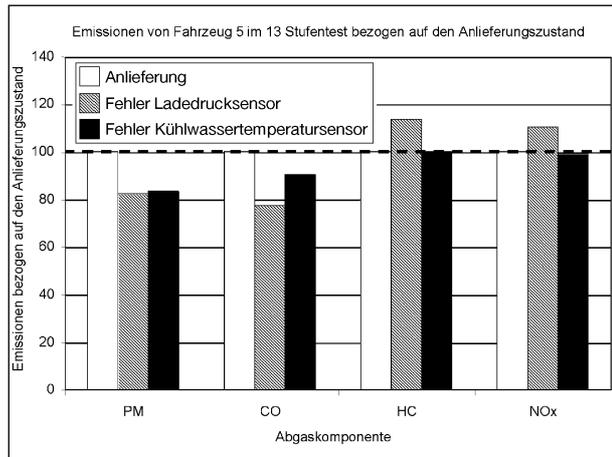


Bild 15: Emissionen von Fahrzeug 5 im 13-Stufentest

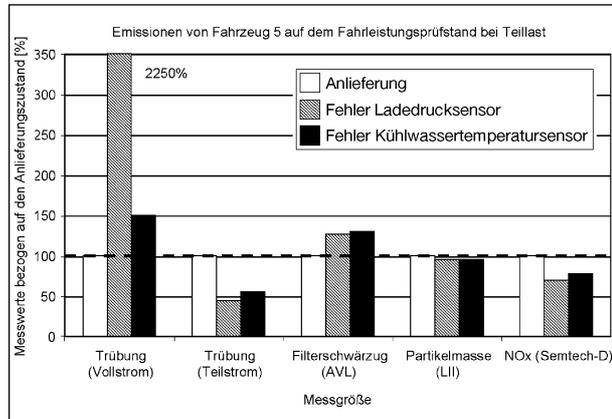


Bild 16: Messung von Fahrzeug 5 bei Teillast (50 % Last, 1.260 1/min)

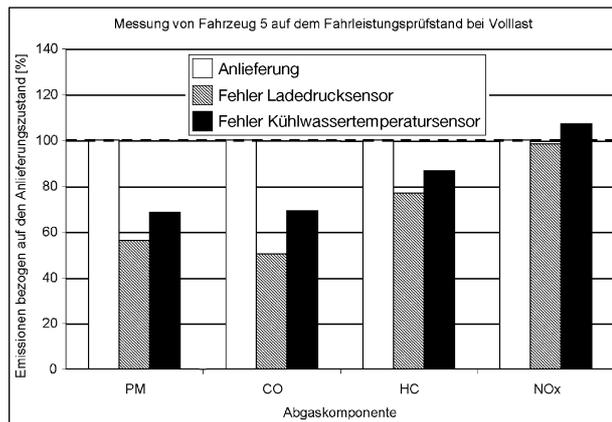


Bild 17: Messung von Fahrzeug 5 bei Volllast (2.100 1/min)

am Ladedrucksensor einen Anstieg der Kohlenwasserstoff- und der Stickoxidemissionen verursachte, führte der Fehler am Kühlwassertemperatursensor zu keiner nennenswerten Änderung der Kohlenwasserstoff- und der Stickoxidemissionen. Beide simulierten Defekte führten zum Setzen eines Fehlers im herstellereigenen Eigendiagnosesystem.

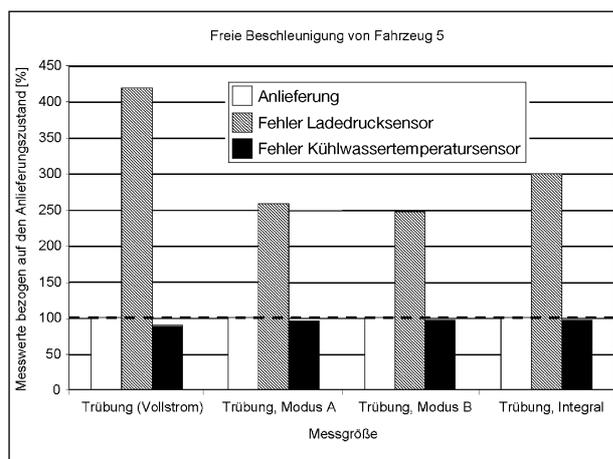


Bild 18: Freie Beschleunigung bei Fahrzeug 5

8.6 Zusammenfassung der Ergebnisse bei der praktischen Untersuchung zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen

Die auf der Basis der theoretischen Studie ausgewählten Prüfverfahren (siehe Abschnitt 6.5) wurden in praktischen Versuchen im Hinblick auf ihre Wirksamkeit und Praxistauglichkeit untersucht. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Kategorie der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge gelegt.

Es wurden Messungen an 4 Personenkraftwagen und einem Nutzfahrzeug durchgeführt. Alle Fahrzeuge waren mit einem herstellerspezifischen Eigendiagnosesystem ausgerüstet. An diesen 5 Fahrzeugen wurden insgesamt 12 abgasrelevante Fehler simuliert. Bei einem Teil der eingesetzten Messgeräte hat es sich um Prototypen in einem frühen Entwicklungsstadium gehandelt, die nicht für den gesamten Zeitraum der Messungen zur Verfügung standen. Dadurch konnte nicht jedes Fahrzeug mit allen Prüfverfahren untersucht werden.

Unterschiedliche Defekte haben verschiedene Änderungen des Abgasverhaltens zur Folge. Charakteristische Kenngrößen für das Abgasemissionsverhalten von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotoren sind die Partikelemissionen und die Stickoxidemissionen. Das spiegelt sich bei der Fehlersimulation wider. Ein Teil der simulierten Defekte verursachte im Zulassungstest einen Anstieg der Stickoxidemissionen bei gleich bleibenden

oder sogar verringerten Partikelemissionen. Bei anderen Fehlersimulationen wurde im Zertifizierungstest ein Anstieg der Partikelemissionen bei gleich bleibenden oder verringerten Stickoxidemissionen gemessen. Außerdem wurde bei der Fehlersimulation zwischen Defekten unterschieden, die von dem herstellerspezifischen Eigendiagnosesystem erkannt wurden (Fahrzeug 1, 2 und 5) und die vom Eigendiagnosesystem nicht erkannt wurden (Fahrzeug 3 und 4).

Aufgrund der unterschiedlichen Auswirkungen der simulierten Fehler auf das Abgasverhalten konnten mit keinem untersuchten Prüfverfahren alle Defekte aufgrund eines signifikanten Anstiegs der jeweiligen Messgröße erkannt werden. Defekte, die mit einem Anstieg der Partikelemissionen im Zertifizierungstest verbunden waren, waren in der Regel nur mit Prüfverfahren zu erkennen, deren Messgröße sich auf die Partikel beziehen (Abgastrübung, Filterschwärzung, Partikelmasse oder -Anzahl). Mit Hilfe dieser Prüfverfahren waren jedoch in vielen Fällen nicht die Fehler zu erkennen, die einen Anstieg der Stickoxidemissionen im Zertifizierungstest hervorriefen. Die Art der Motorbelastung beeinflusst zwar die Größe des durch einen Fehler verursachten Anstieges einer Messgröße, ändert jedoch nichts an dieser grundsätzlichen Problematik.

Um alle simulierten abgasrelevanten Defekte identifizieren zu können, war eine Kombination verschiedener Prüfverfahren nötig. Durch eine Einbindung der Daten aus den Eigendiagnosesystemen ließ sich die Aussagefähigkeit der Messungen erhöhen. So ließen sich bei einer Messung der Abgastrübung bei der freien Beschleunigung oder bei einer Beschleunigung von Teillast auf Vollast auf einem Rollenprüfstand in Verbindung mit dem Auslesen der Daten der Eigendiagnose alle simulierten Fehler erkennen. Bei den Fahrzeugen 1, 2 und 5 wurden die simulierten Fehler durch das Eigendiagnosesystem detektiert. Bei den Fahrzeugen 3 und 4 wurden die simulierten Fehler nicht vom Eigendiagnosesystem erkannt, führten jedoch zu einer Erhöhung der gemessenen Abgastrübung bei der freien Beschleunigung oder bei einer Beschleunigung von Teillast auf Vollast auf einem Rollenprüfstand.

9 Bewertung der Ergebnisse der praktischen Untersuchung zur Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen

In den folgenden Abschnitten sind die mit verschiedenen Arten der Motorbelastung und unterschiedlichen Messgeräten erzielten Ergebnisse zusammenfassend bewertet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei einem Teil der eingesetzten Messgeräte um Prototypen in einem frühen Entwicklungsstadium gehandelt hat, die nicht für den gesamten Zeitraum der Messungen zur Verfügung standen. Dadurch konnte nicht jedes Fahrzeug mit allen Prüfverfahren untersucht werden.

Das gilt zum Beispiel für den Rußsensor der Universität Erlangen, der aufgrund eines technischen Defektes ausgefallen und für einen Teil der Messungen nicht einsatzbereit war. Dadurch konnten nicht alle angestrebten Messungen zur Erfassung der Partikelanzahl und -größe wie geplant durchgeführt werden.

Das Gerät Semtech-D zur Bestimmung gasförmiger Schadstoffemissionen von Kompressionszündungsmotoren und das Laser-Streulicht-Messgerät zur Bestimmung von Partikelanzahl und -größenverteilung der Firma Sensors wurde in einem frühen Prototypenstadium im Verlauf des Vorhabens zur Verfügung gestellt, nachdem die Messungen an einem Teil der Fahrzeuge bereits abgeschlossen waren. Bei einem Teil der dann mit diesen Geräten durchgeführten Messungen traten unplausible Ergebnisse auf (z. B. negative Stickoxidemissionen), die im Rahmen dieses Berichtes nicht wiedergegeben werden. Daher wurden diese Geräte überarbeitet und standen im Verlauf des Vorhabens nicht mehr zur Verfügung. Dadurch können nur für Fahrzeug 2 Messergebnisse weitergegeben werden, die mit diesen Geräten erzielt wurden.

9.1 Konstantfahrt bei Teillast auf einem Fahrleistungsprüfstand

Bei allen vermessenen Pkw sind die Einflüsse der simulierten Fehler nicht eindeutig bei Belastung durch konstante Teillast nachweisbar. Dies ist insbesondere bei der Verwendung von Teilstromopazimetern (Bosch RTT 110, AVL 465, Sensors LCS) deutlich.

Die Messergebnisse aus den Versuchen mit dem Nutzfahrzeug lassen zwar eine Tendenz erkennen (Partikelmasse mg/m^3), jedoch ist der Unterschied nicht gravierend. Die übrigen Messverfahren erlauben ebenfalls keine weitergehenden Aussagen. Die Erfassung der gasförmigen Emissionen zeigt ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bei den Teillastversuchen. Zu erklären ist dies u. a. durch die verminderte Leistung generell, die durch die simulierten Fehler maximal erreicht wurde.

Die Messungen mit dem Teilstromopazimeter am Nutzfahrzeug zeigte ebenfalls keine eindeutige Zuordnung zwischen I.O.-Zustand und der Fehlersimulation.

9.2 Beschleunigung von Teillast auf Volllast auf einem Fahrleistungsprüfstand

Bei dieser Belastungsmethode ist ein Unterschied bezüglich der Auffälligkeit zwischen den verschiedenen Fahrzeugen und auch durch die Fehlersimulation erkennbar. Grundsätzlich ist mit dieser Belastungsart eine Anreicherung der Einspritzmenge verbunden. Im Falle der Fahrzeuge 1 und 2 sowie beim Nutzfahrzeug ist der Fehler nicht eindeutig zu erkennen, da die Einspritzmenge durch die Fehlersimulation über das Motormanagement teilweise reduziert wurde. Lediglich bei der Messung der Abgastrübung kann bei dem Nutzfahrzeug mit dem simulierten Fehler am Ladedrucksensor eine Tendenz zu höheren Trübungszahlen erkannt werden.

Die Fahrzeuge 3 und 4 zeigen jedoch bei der Belastung durch Teillast und anschließenden Beschleunigung auf Volllast (Stufentest) deutliche Steigerungen bezüglich der Trübungswerte, sowohl bei den k-Werten als auch bei der Filterschwärzung. Beide Fehler würden bei diesem Verfahren deutlich und sicher erkannt. Die Ergebnisse aus den Eingangstests sowie den Zwischentests bestätigen die festgestellten hohen Abgaswerte.

9.3 Volllastmessungen auf Rollenprüfstand

Eine Volllastmessung auf dem Rollenprüfstand konnte aufgrund der Prüfstandsauslegung in den an den Messungen beteiligten Stellen nur bei den Fahrzeugen 3, 4 und 5 durchgeführt werden. Die Messung der Abgastrübung zeigte keinen signifikanten Einfluss der simulierten Fehler. Dies ist u. a.

auf die bereits bemerkte Reduzierung der Einspritzmenge und damit auch der absoluten Leistung zurückzuführen. Die bei Fahrzeug 3 und 4 gemessenen Trübungswerte bei Vollast lassen keine eindeutige Erkennung der Fehler zu.

9.4 Freie Beschleunigung

Die Messungen der freien Beschleunigung, wie derzeit bei der Abgasuntersuchung vorgeschrieben, zeigen teilweise signifikante Unterschiede zwischen dem I.O.-Zustand und dem Zustand bei den simulierten Fehlern (Fahrzeug 3 und 4). Die Messungen im Modus A zeigen, wie erwartet, stärkere Unterschiede zwischen den untersuchten Systemzuständen als im Modus B (stärkere Filterung). Die Messung der Filterschwärzung zeigt ebenfalls deutlich ansteigende Werte bei den simulierten Fehlerzuständen. Insgesamt ist in jedem Fall die Tendenz zu höheren Messwerten bei dem Verfahren der freien Beschleunigung erkennbar. Bei den Fahrzeugen 1, 2 und 5 ist bedingt durch die simulierten Fehler diese Tendenz nicht so ausgeprägt, da insgesamt die Einspritzmenge reduziert wurde und der Motor in einem Notlaufprogramm betrieben wurde.

Bei einigen schweren Nutzfahrzeugen lässt die elektronisch geregelte Einspritzung eine Beschleunigung ohne Last im normalen Betrieb nicht zu. Bei diesen Fahrzeugtypen ist die Durchführung der freien Beschleunigung jedoch in einem Wartungsmodus möglich, der sich ohne Zusatzgeräte auswählen lässt.

9.5 Eigendiagnose

Die Eigendiagnose des Motormanagements der untersuchten Fahrzeuge wurde im Rahmen der Messungen hinsichtlich der Möglichkeiten der Fehlererkennung sowie der zur Verfügung stehenden Systemparameter untersucht, die die Aussagequalität der bestehenden Abgasuntersuchung verbessern können.

Die an den Fahrzeugen simulierten Fehler führten bei der Messung im jeweiligen Typprüfverfahren zu einem Anstieg der Emissionen einzelner Abgasbestandteile. So wurde, abhängig von der Art der Fehlersimulation, z. B. ein Anstieg der Partikelemissionen bei gleichzeitig niedrigeren Stickoxidemissionen ermittelt, oder ein Anstieg der Stickoxidemissionen war verbunden mit gleich bleibenden

oder niedrigeren Partikelemissionen. Bei den Fahrzeugen 1, 2 und 5 wurden die simulierten Fehler vom System erkannt, abgespeichert und konnten mit den Herstellertools ausgelesen werden. Bei den Fahrzeugen 3 und 4 wurde, wie bereits erläutert, die Fehlersimulation nicht durch das Abziehen der Sensorkabel erreicht, sondern eine Verstärkung der Signale durch feste Widerstände erzeugt. Diese Fehler wurden in dem betrachteten Bereich der Simulation nicht vom System erkannt, da offensichtlich die Schwellwerte noch nicht erreicht wurden. Wie die Ergebnisse im Einzelnen in Kapitel 8 zeigen, wurden die Abgaswerte im Zulassungstest teilweise deutlich durch die Fehler erhöht.

Durch eine Einbindung bestimmter Funktionen einer künftigen, noch genau zu definierenden genormten OBD für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor könnte die Aussage der bestehenden Abgasuntersuchung deutlich erweitert werden. So wäre die Nutzung des Drehzahlsignals und der Motortemperatur wünschenswert. Durch eine Bewertung von Steuergeräteparametern, die über die Diagnoseschnittstelle bereitgestellt werden, könnte es möglich sein, Defekte zu erkennen und genauer zu lokalisieren. Die Nutzung der Daten eines genormten OBD-Systems würde die Erkennung von Depositeffekten und unzureichender Konditionierung erleichtern.

Auf der Basis der im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführten Untersuchungen soll am Beispiel des VW Passat mit PD-Motor aufgezeigt werden, wie eine Nutzung von Funktionen einer künftigen genormten OBD bei der Abgasuntersuchung von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor aussehen könnte. Durch den Abgleich der gemessenen Abgastrübung mit den aus der OBD gewonnenen Daten könnte die Aussagekraft der AU deutlich erhöht werden. So könnte man mit Hilfe der OBD-Daten abschätzen, ob eine erhöhte Abgastrübung bei der freien Beschleunigung aufgrund einer unzureichenden Fahrzeugkonditionierung oder aufgrund eines Defekts am Fahrzeug aufgetreten ist.

1. Ansatz

In Messwertblock 8 (Tabelle 7.2) werden Grenzen für die Einspritzmenge übertragen. Dabei wird die Begrenzungsmenge aufgrund der Rauchgastrübung und der Drehmomentbegrenzung bereitgestellt. In Block 1 kann die Motordrehzahl und die aktuelle Einspritzmenge ausgelesen werden. Denk-

bar wäre nun, bei einer freien Beschleunigung diese Parameter aufzuzeichnen und die jeweilig korrespondierenden Grenzwerte mit dem Istwert zu vergleichen, also die aktuelle Einspritzmenge mit der Begrenzungsmenge für die Rauchgrenze.

Folgende Bewertungen sind denkbar:

- a) Liegt die aktuelle Einspritzmenge unter der Begrenzungsmenge und unterschreitet die Trübung gleichzeitig einen entsprechenden Grenzwert, ist das Fahrzeug in Ordnung.
- b) Ist die Einspritzmenge unterhalb der Begrenzungsmenge, aber die Abgastrübung zu hoch, muss entweder von Depositeffekten ausgegangen werden und das Fahrzeug erneut konditioniert werden, oder es handelt sich um einen Defekt im Abgassystem. Um das Abgassystem als defekt deklarieren zu können, muss die Konditionierung definiert werden, oder, wie bereits gehandhabt, die Zeitspanne, in der die Abgasuntersuchung abgeschlossen werden muss.
- c) Übersteigt die Einspritzmenge die Begrenzungsmenge, muss von einem Software- oder Steuergerätefehler ausgegangen werden.
- d) Sind sowohl die Trübung als auch die Einspritzmenge über den Grenzwerten, so liegt ein größerer Defekt im Fahrzeug vor und es sollte unbedingt in Stand gesetzt werden.

Zu diesen Bewertungskriterien kommt noch die Bewertung der Fehlfunktionsanzeige, MIL, und der Inhalt des Fehlerspeichers, wie bei der G-Kat-AU an OBD-Fahrzeugen.

2. Ansatz

Wie bereits erwähnt, können über Messwertblock 1 die aktuelle Einspritzmenge, aktuell angesaugte Luftmasse (Messwertblock 3) und die Drehzahl abgefragt werden. Wird noch aus Messwertblock 20 das errechnete Drehmoment mit erfasst, kann mit Hilfe des Motorkennfeldes geprüft werden, ob die maximale Einspritzmenge für den erfassten Drehmomentverlauf erreicht wurde beziehungsweise wieder die Rauchgrenze nicht überschritten wird (im AU-Gerät berechnet). Diese Parameter werden wiederum während einer freien Beschleunigung zusammen mit der Abgastrübung gemessen und dokumentiert.

Dabei ergibt sich allerdings eine Schwierigkeit: Durch die Korrekturfaktoren der Motorsteuerung

kann die Ist-Einspritzmenge wesentlich geringer sein als die im Kennfeld errechnete. Diese aktuellen Korrekturfaktoren sind allerdings nicht bekannt, da sie beispielsweise vom Umgebungsdruck, der Kraftstofftemperatur, Kühlmitteltemperatur und anderem abhängen.

Die Bewertung erfolgt wie für den ersten Ansatz, wobei die Rauchgrenze aus dem Motorkennfeld errechnet wird.

3. Ansatz

Als dritter Ansatz wäre auch denkbar, dem Fahrzeughersteller freizustellen, welche Parameter bei einer freien Beschleunigung erfasst werden sollen, die anzeigen, ob sein Einspritz- und Abgassystem noch in Ordnung ist. Diese Parameter müssen dann zusammen mit dem Trübungsgrenzwert und anderen Solldaten mit angegeben werden.

Auch hier erfolgt die Bewertung ähnlich der im ersten Ansatz, wobei die herstellereigenen Kriterien erfüllt sein müssen.

Es liegt auf der Hand, dass jeder genannte Ansatz seine Vor- und Nachteile hat. Aus der Sicht der Überwachungsorganisationen geben sich für jeden Ansatz die folgenden Vorteile:

1. Ansatz

- Alle notwendigen Daten werden durch die Schnittstelle übertragen, wodurch die Solldaten verringert werden.
- Messung ist nahezu betriebspunktunabhängig, da die Rauchgrenze über ein Kennfeld für den ganzen Motorbetriebsbereich festgelegt ist.

2. Ansatz

- Betriebszustand wird genauer erfasst.
- Messung ist nahezu betriebspunktunabhängig, wie bei Ansatz 1.

3. Ansatz

- Funktionsumfang der Prüfausrüstung muss größer gewählt werden (evtl. mehr Einsatzmöglichkeiten).

Die Vorteile eines Verfahrens sind teilweise die Nachteile des anderen Verfahrens. Darüber hinaus zeigt sich noch, dass bei Ansatz 2 und 3 die Soll-

datensmenge erheblich vergrößert wird. Prinzipiell lässt sich Folgendes festhalten:

Für die Abgastrübung ist die Einspritzmenge maßgeblich verantwortlich, genauer, das Verhältnis aus angesaugter Luft zu Kraftstoffmenge. Deswegen muss es das Ziel aller sein, dieses Verhältnis genau zu überwachen und die Einspritzung möglichst präzise zu halten, über die Fahrzeuglebensdauer.

Zusätzliche Daten, die den Betriebspunkt kennzeichnen, bei dem gemessen wurde, machen die Messung nachvollziehbarer und sollten bei allen Ansätzen mitberücksichtigt und erfasst werden.

Ferner sollte in diesem Zusammenhang zu einem späteren Zeitpunkt ein Fahrzeug mit Katalysatorüberwachung und OBD (momentan noch nicht verfügbar) analysiert werden. Es ist durchaus denkbar, dass im Rahmen der Abgasuntersuchung weitere Parameter über die OBD-Schnittstelle ausgelesen werden müssen.

Berechnung der Rauchgrenze

Nachfolgend soll der rechnerische Weg aufgezeigt werden, wie aus gemessenen Motordaten auf die maximale Einspritzmenge geschlossen werden kann, bei der die Rauchgrenze erreicht wird.

Es gilt für das Luft-Kraftstoffverhältnis die folgende bekannte Beziehung:

$$\lambda = \frac{m_L}{m_B \cdot L_{St}}$$

- λ Luftverhältnis
- m_L Luftmasse [mg/H]
- m_B Eingespritzte Kraftstoffmenge [mg/H]
- L_{St} Luftbedarf für stöchiometrische Verbrennung [kg/kg]

Für Dieseldieselkraftstoff kann der Luftbedarf mit ca. 14,5 kg/kg angenommen werden. Die beiden Massen sind jeweils in mg umzurechnen und auf einen Saughub zu normieren, falls die Motorsteuerung dies nicht schon durchführt.

Wird nun davon ausgegangen, dass die Rauchgrenze für Dieselmotoren im Allgemeinen bei $\lambda = 1,3$ bis 1,4 liegt kann aus obiger Beziehung die Einspritzmenge zur Rauchbegrenzung errechnet werden:

$$m_B = \frac{m_L}{\lambda \cdot L_{St}}$$

Mit den oben genannten Werten ($\lambda = 1,3$ $L_{St} = 14,5$) ergibt sich dann die Zahlenwertgleichung:

$$m_{BGrenz} = \frac{m_L}{18,85}$$

Die Luftmasse wird, wie bereits erwähnt, über die Diagnoseschnittstelle ausgelesen. Nachteil dieser Methode ist jedoch der, dass sie einem Motor mit Rauchgrenze unter $\lambda = 1,3$ nicht gerecht wird. Dieser Motor würde die AU nicht bestehen.

Kann die Luftmasse nicht gemessen werden, muss aus dem Saugrohrdruck und weiteren Größen die Luftmasse errechnet werden. Dazu kann die nachfolgende Beziehung angewandt werden:

$$m_L = V_H \cdot \frac{T \cdot p_Z}{T_Z \cdot p} \cdot \rho_{LZ} \cdot \frac{1}{Zyl}$$

- V_H Hubvolumen des Motors [m³]
- T Temperatur Außenluft
- T_Z Temperatur im Zylinder (näherungsweise Saugrohrtemperatur)
- p_Z Druck im Zylinder (näherungsweise Saugrohrdruck)
- p Umgebungsdruck
- ρ_{LZ} Luftdichte im Zylinder [mg/m³] (näherungsweise Luftdichte im Saugrohr)
- Zyl Zylinderzahl

Da in obiger Gleichung viele Größen nicht messbar sind, muss mit den Näherungswerten gerechnet werden. Hier wird unter Umständen zu Gunsten des Motors gerechnet, da zum Beispiel die Temperatur im Zylinder höher anzunehmen ist, als im Saugrohr.

Prinzipiell sind noch weitere Rechenansätze denkbar, die hier nicht aufgeführt sind. Deutlich wird jedoch, dass durch das aufgeführte Vorgehen die Funktionsweise des Steuergerätes im Fahrzeug nachvollzogen werden kann und damit eine aussagefähige Befundung bei der AU möglich ist.

Weitere Denkansätze

Wie bereits beschrieben, stellt die Bewertung der Beschleunigungszeit bei der Abgasuntersuchung mit freier Beschleunigung ein wesentliches Problem dar. Andererseits muss jedoch sichergestellt werden, dass die Messungen möglichst vergleich-

bar und reproduzierbar sind. Dies ist nur dann möglich, wenn der Messfehler bekannt und klein ist beziehungsweise einen konstanten Wert annimmt.

Durch die Ist-Werte, die von der Fahrzeugeigendiagnose bereitgestellt werden, könnte dieses Problem gelöst werden.

Wie bereits dargestellt, überträgt die Motorsteuerung unter anderem die Fahrerwunschmenge, Einspritzmenge, Pedalwert, Motormoment. Aus diesen Größen kann im Zusammenspiel mit vorzugebenden Schwellwerten sichergestellt werden, dass eine gewisse Motorbelastung erreicht wurde, für die der festgelegte Trübungsgrenzwert gilt. An einem Beispiel (VW Passat 1,9 l TDI) soll dieser Ansatz klar gemacht werden.

Es wurden einige Abgasuntersuchungen durchgeführt, bei denen jeweils 4 Steuergeräteparameter mit Hilfe eines Diagnosegerätes mitgeschrieben wurden. Das AU-Gerät wurde im Messmodus A betrieben, wodurch keine Filterung des Messwertes vorgenommen wird.

Die gemessenen k-Spitzenwerte wurden sodann in Relation zu den erfassten Steuergeräteparametern gebracht, zusammen mit den Beschleunigungszeiten. Das Ergebnis ist in Tabelle 9.1 dargestellt.

Zusätzlich erfolgte noch eine grafische Auswertung der Messwerte, die ebenfalls für einen Steuergeräteparameter dargestellt wird. Aus der Tabelle 9.1 wird erkennbar, dass zwischen den ausgewählten Steuergeräteparametern, dem Trübungswert und der Beschleunigungszeit ein Zusammenhang besteht. Wird die t_B -Zeit verlängert, verringert sich der k-Wert, wie bereits ausführlich dargestellt. Gleichzeitig werden die vorgesteuerte Einspritzmenge, Motormoment und Ladedruck deutlich geringer. Daraus lässt sich ableiten, dass für einen ordnungsgemäße Freie Beschleunigung zum Beispiel eine Mindesteinspritzmenge erreicht werden muss. Diese typspezifische Mindestanforderungen sind in der Tabelle unter der Spalte Grenzwerte zu finden.

Eine der Ausnahmen bildet die angesaugte Luftmasse. Sicherlich ist auch hier der oben beschriebene Umstand durchaus erkennbar, allerdings sind die Messwertschwankungen ebenfalls recht groß, so dass kein abgesicherter Grenzwert angegeben werden kann.

Die grafische Auswertung bestätigt noch einmal das Ergebnis der numerischen Auswertung

Motormoment [Nm]	k-Wert	t_B -Zeit	Möglicher Grenzwert
200	0,95	1,24	Motormoment > 175 Nm
125	0,20	3,35	
181	1,00	1,27	
Einspritzmenge [mg/H]			
26,3	0,84	1,32	Einspritzmenge > 22 mg/H
17,5	0,23	3,95	
24,9	0,94	1,21	
Fahrerwunschmenge [mg/H]			
29,9	0,98	1,27	Fahrerwunschmenge > 25 mg/H
18,6	0,38	1,53	
28,8	0,88	1,28	
Luftmasse (Ist) [mg/H]			
681	0,78	1,3	keine Grenzwertangabe möglich
563	0,28	2,87	
622	0,79	1,22	
Ladedruck [mbar]			
1.795	0,82	1,31	Ladedruck > 1.700 mbar
1.417	0,17	2,13	
1.825	0,79	1,27	

Tab. 9.1: Kombination von Daten aus dem Eigendiagnosesystem und der Abgastrübung bei der freien Beschleunigung

(Bild 9.1). Bei Messung zwei wurde die Beschleunigungszeit mit ca. 2 Sekunden gewählt, mit der entsprechenden Auswirkung auf die Abgastrübung. Zu beachten ist dabei die Skalierung der Abgastrübung: Messung zwei hat als höchsten Skalenswert 0,67 [1/m], wohingegen die beiden anderen Messungen bei 1,6 [1/m] als höchsten Skalenswert liegen.

Es ist auch deutlich, dass bei Messung 2 die Spitze im k-Wert bei der Beschleunigungsphase wegfällt. Gleichzeitig ist der Ladedruck wesentlich geringer als bei richtiger Durchführung der Abgasuntersuchung.

9.6 Neue Messverfahren

Die im Rahmen der Untersuchung vorgestellten Messsysteme für die Partikelmessung und die Erfassung der gasförmigen Schadstoffe befinden sich zur Zeit noch im Entwicklungsstadium. Bei

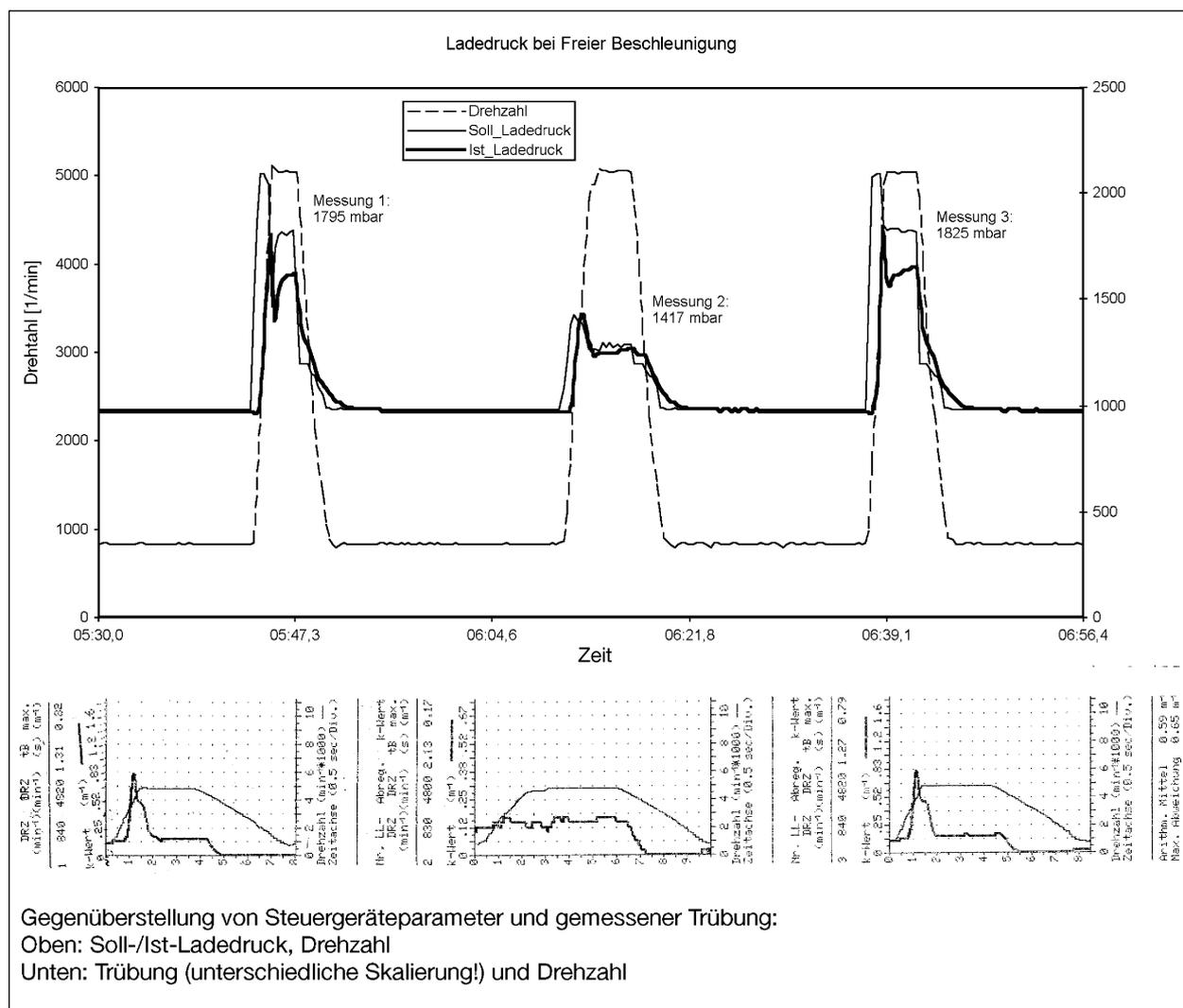


Bild 9.1: Gegenüberstellung von Steuergeräteparametern und gemessener Abgastrübung

einem Teil der für die Messungen eingesetzten Messgeräte handelte es sich um Prototypen, die von den Herstellern in einem frühen Entwicklungsstadium zur Verfügung gestellt wurden und nicht für den gesamten Zeitraum der Untersuchung zur Verfügung standen. Dadurch konnte nicht jedes Fahrzeug mit allen Prüfverfahren untersucht werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Partikelmessung und die Erfassung gasförmiger Emissionen langfristig interessante und viel versprechende Ansätze zur Erkennung emissionsauffälliger Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor bei einer zukünftigen periodischen Abgasuntersuchung darstellen könnten. Die Ergebnisse dieses Vorhabens lassen eine abschließende Bewertung dieser neuen Messverfahren jedoch nicht zu. Es muss festgestellt werden, dass mit einer Tauglichkeit derartiger Systeme für den Einsatz unter Pra-

xisbedingungen nicht in den nächsten Jahren zu rechnen ist. Bei der Partikelmessung trifft dies noch deutlicher zu als bei der Erfassung der gasförmigen Abgaskomponenten, die messtechnisch eher zu serienreifem Zustand zu entwickeln ist. So war bei dem Gerät der Universität Erlangen zur Erfassung der Partikelemissionen keine Kalibriermöglichkeit gegeben. Zudem sind die vorgestellten Verfahren nur in Verbindung mit höheren Lastzuständen des Motors sinnvoll einsetzbar.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass für neuartige Messverfahren zunächst keine Anhaltswerte für die Bestimmung von Grenzwerten zu Verfügung stehen. Zur Zeit werden im Rahmen der Typprüfung keine Messwerte erfasst, die zur späteren periodischen Überwachung als Grenzwerte herangezogen werden können. Dies gilt insbesondere für die Partikelmessung. Bei den Partikelmesssystemen ist zur Zeit keine Kalibrierung möglich, d. h., alle

Messwerte der unterschiedlichen Systeme sind nicht mit einander vergleichbar. Es fehlt derzeit ein Referenzsystem.

Das Potenzial der Partikelmessung und der Erfassung gasförmiger Emissionen zur Erkennung emissionsauffälliger Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor kann nicht erschöpfend im Rahmen dieser Untersuchung abgeschätzt werden. Speziell die Fragen zur Partikelmasse, Partikelanzahl und -größenverteilung können auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse und der unterschiedlichen Auswerteverfahren nicht eindeutig beantwortet werden.

Zur Zeit werden im Rahmen der periodischen Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor Messgeräte zur Erfassung von gasförmigen Emissionen eingesetzt. Diese Geräte müssen an die speziellen Anforderung bei Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor angepasst werden. Demgegenüber befinden sich die Messverfahren zur Erfassung der Partikelemissionen in einem frühen Entwicklungsstadium. Daher ist mit praxistauglichen Geräten für die Messung gasförmiger Emissionen an Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor im Rahmen der periodischen Überwachung früher zu rechnen als mit Geräten zur Erfassung von Partikelemissionen.

10 Zusammenfassung

Seit dem 01.12.1993 ist für im Verkehr befindliche Fahrzeuge mit Dieselmotor eine periodische Abgasuntersuchung vorgeschrieben. Bei der Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Dieselmotor erfolgt die Bewertung des Abgasverhaltens durch die Messung der Abgastrübung bei der freien Beschleunigung. Dieses Messverfahren ist in der Ratsrichtlinie 96/96/EG verankert und basiert auf der Ratsrichtlinie 72/306/EWG und der ECE-Regelung Nr. 24 über die Prüfung sichtbarer luftverunreinigender Stoffe aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen. Die im Rahmen von Phase I und II dieses Forschungsvorhabens erarbeiteten Erkenntnisse zeigen, dass insbesondere aufgrund des starken Einflusses der Fahrzeugkonditionierung und der nicht begrenzten Beschleunigungszeit auf das Ergebnis der Trübungsmessung eine Hochrechnung des Abgasminderungspotenzials der bestehenden Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Dieselmotor nicht möglich ist. Daher wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens Vor-

schläge zur Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor und zur Anpassung der Untersuchungsmethode an die Anforderungen durch künftige Fahrzeuggenerationen erarbeitet.

Erhöhung der Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung

Während des Betriebs von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor lagern sich in der Schalldämpferanlage Rußpartikel ab. Bei der Durchführung der freien Beschleunigung an einem unzureichend konditionierten Fahrzeug können sich derartige Rußpartikel lösen und zu einer Erhöhung der gemessenen Abgastrübung führen. Dieser Deposit-Effekt kann dazu führen, dass Fahrzeuge ohne technischen Defekt bei der Abgasuntersuchung beanstandet werden (Error of Commission).

Neben der Fahrzeugkonditionierung hat die Beschleunigungszeit bei der freien Beschleunigung einen entscheidenden Einfluss auf die gemessene Abgastrübung. Bei der freien Beschleunigung wird der Motor gegen seine Massenträgheit von der Leerlaufdrehzahl auf die Abregeldrehzahl beschleunigt. Entscheidend für die Aussagefähigkeit dieser Messung ist eine schnelle und stoßfreie Beschleunigung, so dass die größtmögliche Einspritzmenge innerhalb kürzester Zeit erreicht wird. Bei einer langsamen Beschleunigung wird nicht die volle Einspritzmenge erreicht, die aufgebrachte Motorlast ist geringer und es wird eine niedrigere Abgastrübung gemessen. Das kann dazu führen, dass defekte Fahrzeuge bei langsamer Beschleunigung als in Ordnung bewertet werden (Error of Omission).

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden an 20 Fahrzeugen umfangreiche Untersuchungen angestellt, um Möglichkeiten aufzuzeigen, wie die Aussagequalität der Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor erhöht werden kann. Dabei wurden folgende Vorschläge erarbeitet:

1. eine allgemein gültige Festlegung der Konditionierungsverfahren, d. h. mindestens 8 freie Beschleunigungen bei sonst betriebswarmem Motor.
2. eine Begrenzung der Beschleunigungszeit auf max. 1,5 sec., wobei in besonderen Fällen größere Werte zulässig sind, wenn dies der Hersteller technisch begründet.

Durch diese Maßnahmen kann die Aussagekraft der bestehenden Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor verbessert werden. Die Voraussetzungen zur Umsetzung dieser Vorschläge sind technisch bereits vorhanden, es sind lediglich Programmänderungen in den bestehenden AU-Geräten erforderlich, die eine automatische Bewertung der Beschleunigungszeiten sicherstellen.

Das Thema Konditionierung ist gemeinsam mit Herstellervertretern zu behandeln. Vor dem Hintergrund einer verbesserten Fahrzeugkonditionierung und einer dadurch verringerten Gefahr für einen Error of Commission ist die Möglichkeit einer Absenkung der Grenzwerte für moderne Fahrzeugkonzepte zu diskutieren. Teilweise sind die Herstellerangaben schon jetzt deutlich niedriger als die in der Richtlinie 96/96/EG angegebenen generellen Grenzwerte von 2,5 bzw. 3,5 m⁻¹.

Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen

Neue Fahrzeugkonzepte mit deutlich abgesenkten Abgasemissionen sowohl im Pkw-Bereich als auch im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge stellen in Zukunft erhöhte Anforderungen an das Prüfverfahren und die eingesetzte Messtechnik einer periodischen Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollten daher verschiedene Ansätze für eine Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung aufgezeigt werden. Dies schließt die Simulation des Fahrwiderstandes, die Messung der relevanten Abgaswerte und die Möglichkeiten eines künftigen On-Board-Diagnose-Systems für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor ein.

Nach einer eingehenden theoretischen Studie zu diesem Thema wurden in Abstimmung mit den Mitgliedern des forschungsbegleitenden Ausschusses folgende Prüfverfahren für weitergehende Untersuchungen ausgewählt:

- Konstantfahrt bei Teillast, Beschleunigung auf Vollast, Vollast auf einem Fahrleistungsprüfstand; dabei Messung der Abgastrübung, der Partikel und der gasförmigen Emissionen mit separater Ergebnisbetrachtung.
- Freie Beschleunigung; dabei Messung der Abgastrübung mit Hilfe von einem Teilstrom-Opazimeter (Modus A, Modus B und Integral) und mit Hilfe eines Vollstrom-Opazimeters.

- On-Board-Diagnose bzw. herstellerspezifisches Eigendiagnosesystem mit den im Moment verfügbaren Funktionen.

Die ausgewählten Prüfverfahren wurden in praktischen Versuchen im Hinblick auf ihre Wirksamkeit und Praxistauglichkeit untersucht. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Kategorie der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge gelegt. Im Zuge der durchgeführten Messungen wurden weitere Messgeräte mit in die Untersuchung einbezogen, soweit dies praktisch ohne Mehraufwand darstellbar war, damit die Aussagebreite erweitert werden konnte.

Bei einem Teil der eingesetzten Messgeräte handelte es sich um Prototypen in einem frühen Entwicklungsstadium, die nicht für den gesamten Zeitraum der Messungen zur Verfügung standen. Das gilt insbesondere für die Geräte zur Bestimmung der Partikelanzahl und -größenverteilung sowie der gasförmigen Bestandteile im Dieselaabgas. So war für ein Gerät zur Erfassung der Partikelemissionen keine Kalibriermöglichkeit gegeben. Ein Gerät zur Bestimmung gasförmiger Schadstoffemissionen von Kompressionszündungsmotoren und das Laser-Streulicht-Messgerät zur Bestimmung von Partikelanzahl und -größenverteilung wurden im Verlauf des Vorhabens zur Verfügung gestellt, nachdem die Messungen an einem Teil der Fahrzeuge bereits abgeschlossen waren. Bei einem Teil der dann mit diesen Geräten durchgeführten Messungen traten unplausible Ergebnisse auf (z. B. negative Stickoxidemissionen) die im Rahmen dieses Berichtes nicht wiedergegeben werden. Daher wurden diese Geräte überarbeitet und standen im Verlauf des Vorhabens nicht mehr zur Verfügung.

Es wurden Messungen an 4 Personenkraftwagen und einem Nutzfahrzeug durchgeführt. Da noch keine Dieselfahrzeuge mit einem genormten OBD-System am Markt vorhanden waren, wurde auf Fahrzeuge zurückgegriffen, die mit einem herstellerspezifischen Eigendiagnosesystem ausgerüstet waren. An diesen 5 Fahrzeugen wurden insgesamt 12 abgasrelevante Fehler simuliert.

Bei der Erkennung von hoch emittierenden Fahrzeugen ist nicht der absolut niedrige Messwert im i.O.-Zustand das Kriterium, sondern die Differenz zwischen dem Fehlerfall und einem Fahrzeug, das in Ordnung ist. Betrachtet man die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Belastungsmethoden und dem Einsatz der teilweise sehr aufwändigen Abgasanalytik, kann Folgendes festgestellt werden:

1. Teillastmessungen sowie Vollastmessungen der Abgasemissionen zeigen zwar teilweise Korrelationen zu den simulierten Fehlerzuständen, sind jedoch nicht so aussagekräftig, wie in Anbetracht der Kosten, die mit diesen Belastungsmethoden verbunden sind, zu erwarten wäre. Jede extern aufzubringende Last ist, außer der bei der Durchführung im Fahrversuch, mit hohen Kosten für Rollenprüfstände verbunden. Dabei ist nicht nur der Prüfstand an sich zu betrachten, sondern auch die erforderliche gebäudetechnische Ausstattung der Prüfstellen führt zu einer zusätzlichen Investition in erheblichem Umfang. Daher ist die Anschaffung einer derartigen Messtechnik nur für Stellen mit einem großen Prüfaufkommen rentabel.
 2. Der Einsatz neuer Messgeräte zur Erfassung von gasförmigen Abgaskomponenten ist im Hinblick auf die Aussagequalität durchaus denkbar. Die Messgeräte werden wahrscheinlich in relativ kurzer Zeit praxistauglich verfügbar. Diese Messsysteme setzen für einen sinnvollen Einsatz eine konstante externe Belastung des Motors voraus, da die Stickoxide, die für die Bewertung der Abgasemissionen von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor besonders interessant sind, nur unter Motorlast entstehen. Damit ist, wie bereits unter 1. ausgeführt, eine hohe gerätetechnische Investition erforderlich.
 3. Das Potenzial der Partikelmessung zur Erkennung emissionsauffälliger Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor kann nicht erschöpfend im Rahmen dieser Untersuchung abgeschätzt werden. Es muss jedoch festgestellt werden, dass mit einer Tauglichkeit derartiger Systeme für den Einsatz unter Praxisbedingungen nicht in den nächsten Jahren zu rechnen ist. Bei den Partikelmesssystemen ist zur Zeit keine Kalibrierung möglich, d. h., alle Messwerte der unterschiedlichen Systeme sind nicht miteinander vergleichbar. Es fehlt derzeit ein Referenzsystem. Zudem sind die vorgestellten Verfahren nur in Verbindung mit höheren Lastzuständen des Motors sinnvoll einsetzbar, was hohe gerätetechnische Investitionen erforderlich macht. Die Durchführbarkeit der freien Beschleunigung bei modernen Motorkonzepten mit elektronisch geregelter Einspritzung kann durch die Anwahl eines Wartungsmodus sichergestellt werden, der die Beschleunigung ohne Last zulässt.
 4. Das Verfahren der freien Beschleunigung hat sich im Rahmen der durchgeführten Messungen als zuverlässiges Verfahren erwiesen, wenn die Probleme der Konditionierung und Beschleunigungszeit gelöst sind. Sowohl bei den zu erwartenden neuen Fahrzeugen als auch bei den teilweise im Rahmen der Untersuchung vermessenen Fahrzeugen bewegen sich die Trübungswerte insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau.
 5. Mit Hilfe der herstellereigenspezifischen Eigendiagnose konnten nicht alle simulierten Defekte erkannt werden. Ein interessantes Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass die simulierten Defekte entweder zu einer erhöhten Abgastrübung bei der freien Beschleunigung oder zu einer Fehlererkennung durch das herstellereigenspezifische Eigendiagnosesystem geführt haben. Symptomatisch ist dabei der Vergleich der Ergebnisse der Fahrzeuge 1, 2, und 5 mit denen der Fahrzeuge 3 und 4. Bei den Fahrzeugen 1, 2, 5 wurden teilweise keine erhöhten Trübungswerte gemessen, jedoch wurde durch das herstellereigenspezifische Eigendiagnosesystem in jedem Fall der Fehler erkannt. Bei den Fahrzeugen 3 und 4 wurden die Fehler nicht vom Diagnosesystem, jedoch durch die Trübungsmessung bei der freien Beschleunigung deutlich erkannt.
- Aufgrund der unterschiedlichen Auswirkungen der simulierten Fehler auf das Abgasverhalten konnten mit keinem untersuchten Prüfverfahren alle Defekte aufgrund eines signifikanten Anstiegs der jeweiligen Messgröße erkannt werden. Defekte, die mit einem Anstieg der Partikelemissionen verbunden waren, waren nur mit Prüfverfahren zu erkennen, deren Messgröße sich auf die Partikel beziehen (Abgastrübung, Filterschwärzung, Partikelmasse oder -anzahl). Mit Hilfe dieser Prüfverfahren waren jedoch nicht die Fehler zu erkennen, die einen Anstieg der Stickoxidemissionen hervorriefen. Die Art der Motorbelastung beeinflusst zwar die Größe des durch einen Fehler verursachten Anstieges einer Messgröße, ändert jedoch nichts an dieser grundsätzlichen Problematik. Um alle simulierten abgasrelevanten Defekte identifizieren zu können, war eine Kombination verschiedener Prüfverfahren nötig. Nur bei einer Messung der Abgastrübung bei der freien Beschleunigung oder bei einer Beschleunigung von Teillast auf Vollast auf einem Rollenprüfstand in Verbindung mit dem Auslesen der Daten der Eigendiagnose ließen sich alle simulierten Fehler erkennen.

Die Kombination der Trübungsmessung bei einer freien Beschleunigung mit den Funktionen einer künftigen genormten Diesel-OBD scheint eine aussagefähige Lösung darzustellen, die allen diskutierten Problemen gerecht werden könnte. Da eine nach der Richtlinie 98/69/EG zugelassene OBD für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor noch nicht in Serienfahrzeugen im Einsatz ist, können die vorstehend dargestellten Ansätze nur mögliche Kombinationen darstellen, die mit den, in naher Zukunft, zu erwartenden OBD-Lösungen abgeglichen werden müssen. Da nicht unbedingt mit gänzlich neuen Ansätzen bezüglich der Diagnose an Dieselmotoren zu rechnen ist (verfügbare Istwerte, Inhalt Fehlerspeicher), sondern im Wesentlichen die Abgasnachbehandlung bei den OBD-Dieselfahrzeugen zusätzlich in die Diagnose einbezogen wird, ist dieser Ausblick durchaus realistisch.

Die Einbeziehung der Informationen eines genormten OBD-Systems in die Abgasuntersuchung für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor lässt sich durch eine Anbindung eines Scantools und eine Anpassung der Software mit den bereits vorhandenen Abgasmessgeräten verwirklichen. Mit der Einführung der AU für Fahrzeuge mit G-Kat und OBD werden die erforderlichen Auslesegeräte bei einem großen Teil der Kombi-Geräte ab dem Jahr 2002 im Feld vorhanden sein. Durch flankierende Maßnahmen, wie eine einheitliche Fahrzeugkonditionierung und eine Beschränkung der Beschleunigungszeit, kann so das Ziel der Verbesserung der vorhandenen Diesel-Abgasuntersuchung unter realistischen Rahmenbedingungen erreicht werden. Bei einigen wenigen schweren Nutzfahrzeugen lässt die elektronisch geregelte Einspritzung eine Beschleunigung ohne Last im normalen Betrieb nicht zu. Bei diesen Fahrzeugtypen ist die Durchführung der freien Beschleunigung jedoch in einem Wartungsmodus möglich, der sich ohne Zusatzgeräte anwählen lässt.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens zeigen, dass es im Hinblick auf die Anpassung der Abgasuntersuchung an künftige Fahrzeuggenerationen noch erheblichen Forschungsbedarf gibt. Es konnten verschiedene Ansätze vorgestellt werden. Die Kombination einer künftigen genormten OBD für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor mit der Messung der Abgastrübung könnte eine sinnvolle Überprüfung des Abgasverhaltens von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen darstellen. Aufgrund der geringen Anzahl von un-

tersuchten Fahrzeugen und der Tatsache, dass zur Zeit keine Dieselfahrzeuge mit einem nach der Richtlinie 98/69/EG zugelassenen OBD-System erhältlich sind, sollten für die Erarbeitung eines diskussionsfähigen Vorschlags zur Einbindung der Diesel-OBD in die AU weitere Untersuchungen erfolgen.

11 Messgeräte zur Bestimmung von Abgaskomponenten/Partikel im Abgas von Dieselmotoren

Messgerät:	Series 5100 (1)
Hersteller:	Rupprecht & Patashnick Co., Inc. 25 Corporate Circle Albany; NY 12203 USA Tel. 518/452-0065
Messverfahren:	Automatisiertes gravimetrisches Messverfahren. Partikel werden auf einem Filter gesammelt und danach erhitzt. Im Probenraum wird der CO ₂ -Gehalt gemessen. Über den Anstieg des CO ₂ -Gehalts wird der Massenverlust der Filterprobe bestimmt.
Messergebnis:	Partikelmassenkonzentration (mg/m ³) Bestimmung der flüchtigen Anteile in der Probe (ΔM ; T)
Bemerkungen:	Hoher Zeitbedarf. Analyse und Probenahme können parallel durchgeführt werden. In verdünntem und unverdünntem Abgas einsetzbar.

Messgerät:	TEOM Series 1105 (2)
Hersteller:	Rupprecht & Patashnick Co., Inc. 25 Corporate Circle Albany; NY 12203 USA Tel. 518/452-0065
Messverfahren:	Ein Filter ist mit einer oszillierenden Röhre verbunden. Mit zunehmender Filterbeladung nimmt die Eigenfrequenz dieses Systems ab. Mit der Frequenzänderung werden Partikelmasse, die Massenzunahme und die Gesamtmasse berechnet.
Messergebnis:	Partikelmassenkonzentration (mg/m ³)
Bemerkungen:	Verdünntes Abgas erforderlich. Beheizte Abgasführung erforderlich. Verdünntes oder unverdünntes Abgas möglich.

Messgerät:	WIZARD-DQ (3)
Hersteller:	WIZARD Zahoransky KG Schwarzwaldstr. 3 79674 Todtnau Tel. 07671/9233
Messverfahren:	Opto-elektronisches Partikelanalyse- system basierend auf dem Disper- sionsquotienten- bzw. Multi-Wellenlän- gen-Extinktionsverfahren. Es werden drei Laserdioden mit unter- schiedlicher Wellenlänge verwendet (Opazimeter). Durch die unterschiedliche Abschwächung der drei Lichtwellen lassen sich die wichtigsten Aerosol- parameter ermitteln.
Messergebnis:	Mittlerer Partikeldurchmesser (nm) Größenverteilung Partikelvolumenkonzentration (mm ³ /m ³)
Bemerkungen:	Hoher Geräteaufwand. Vergleichbarkeit mit anderen Messme- thoden und die Gültigkeit der verwen- deten Beziehungen muss noch über- prüft werden.

Messgerät:	LI ² SA, Laser Induced Incandescence Soot Analyser (4)
Hersteller:	ESYTEC Energie- und Systemtechnik GmbH Am Weichselgarten 6 91058 Erlangen Tel. 09131/693952
Messverfahren:	Die Teilchen werden mit einem gepul- stem Laser aufgeheizt. Der Temperatur- verlust der Teilchen ist abhängig von ihrer Größe. Dieser Temperaturverlust wird über der Zeit gemessen und da- raus ergeben sich direkt die Primärteil- chengröße und die Volumenkonzentra- tion.
Messergebnis:	Primärteilchengröße (nm) Rußmassenkonzentration (mg/m ³)
Bemerkungen:	Verdampfung, Wärmeleitung und Wär- mestrahlung werden durch berechnete Abkühlkurven berücksichtigt. Kein Verdünnungstunnel oder Absau- gung erforderlich. Keine Kalibrierung erforderlich. Bislang keine Aussage über die Grö- ßenverteilung der Teilchen möglich, System wird noch weiterentwickelt.

Megaton:	Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) System (5)
Hersteller:	Firma TSI
Messverfahren:	Elektrisch aufgeladene Partikel bewe- gen sich unterschiedlich schnell durch die Luft. Über den Luftwiderstand lässt sich mit guter Näherung auf die Größe schließen.
Messergebnis:	Anzahlverteilung über dem Mobilitäts- durchmesser
Bemerkungen:	Aufwändiges Messverfahren für den Prüfstandsbetrieb. Zur Bestimmung der Masse der Teilchen wird das Abgas durch mehrere Messkaskaden (Impaktor) umgeleitet (Messung Fraun- hofer Institut Hannover/Auto Motor Sport).

Messgerät:	LQ1-DC (6)
Hersteller:	Matter Engineering AG Bremgarterstr. 62 CH 5610 Wohlen Tel. +41 56 618 6639
Messverfahren:	Durch eine elektrische Entladung wer- den gleich polige Ionen produziert, die sich an der Oberfläche der Partikel anlagern. Diese Anlagerung ist abhän- gig von der Größe der Partikel. Die Par- tikel werden in einem elektrisch isolier- ten Filter gesammelt. Die gemessene elektrische Stromstärke ist dann ein Maß für die so genannte „Fuchs Ober- fläche“.
Messergebnis:	„Fuchs-Oberfläche“ (cm ² /m ³)
Bemerkungen:	Keine Aussage über die Zusammen- setzung der Partikel möglich. Messgerät sollte mit anderen Prüf- geräten zusammen verwendet werden.

Messgerät:	SENSORS DIM 2000 (7)
Hersteller:	SENSORS TESTSYSTEME GMBH D-40882 Ratingen
Messverfahren:	Ein Teilstrom der Abgasemissionen wird mit Hilfe eines beheizten Proben- nahmesystems entnommen. Sauer- stoff und Stickoxide werden mit Hilfe elektrochemischer Sensoren gemes- sen. Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe werden mit Hilfe des NDIR-Verfahrens erfasst.
Messergebnis:	O ₂ , CO, CO ₂ , HC, No _x in % Vol. bzw. ppm Vol.
Bemerkungen:	Zur Zeit nur als Prototyp verfügbar.

Messgerät:	AccuScan, Remote Vehicle Emissions Testing System (8)
Hersteller:	ESP, Environmental Systems Products, Inc. 11 Kripes Road East Granby, CT 06026-9720 USA Tel. 800 446 4708/860 653 0081
Messverfahren:	Während des normalen Betriebes auf der Straße werden die Fahrzeuge untersucht. Die Abgaskomponenten werden durch die Absorption von infrarotem und ultraviolettem Licht bestimmt. Zusätzlich werden mit Sensoren die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Fahrzeuges erfasst. Mit einer Videokamera wird das Kennzeichen erfasst.
Messergebnis:	Konzentration von CO, CO ₂ , HC, und NO _x in der Abgasfahne Beschleunigung und Geschwindigkeit des Fahrzeuges Kennzeichen des Fahrzeuges
Bemerkungen:	Mobiler Einsatz möglich (Überwachung). Bei jedem Wetter einsetzbar. Nur unter bestimmten Bedingungen (eine Fahrbahn, Wind) einsetzbar. Vergleichbarkeit der Ergebnisse schwierig.

Messgerät:	Rußpartikel-Sensor (9)
Hersteller:	LOGISTIKZENTRUM Karl-Scharfenberg-Str. 55-57 38229 Salzgitter Tel. 05341/875 420
Messverfahren:	Im Abgasstrom werden eine Hochspannungs- und eine Messelektrode angebracht. Dadurch wird ein starkes, statisches elektrisches Feld erzeugt. Beim Durchströmen werden die Partikel elektrisch geladen. Die geladenen Partikel transportieren elektrische Energie aus dem Kondensator ab. Da die Hochspannung konstant ist, entsteht ein Ladestrom, der das Defizit wieder ausgleicht. Daraus ergibt sich ein Spannungsabfall am Eingangswiderstand, der das Messsignal liefert.
Messergebnis:	Rußemission (V)
Bemerkungen:	Einsatz im Fahrzeug zur Überwachung und Steuerung von Abgasnachbehandlungssystemen gedacht (OBD). Befindet sich zur Zeit noch im Entwicklungsstadium.

Messgerät:	z. Zeit nur Vorhabensskizze (10)
Hersteller:	Fraunhofer Institut Freiburg Hr. Seibert Tel. 0761/8857125
Messverfahren:	Messdaten sollen im Fahrbetrieb aufgenommen werden. Für die Bestimmung der Motorkenngrößen sind entsprechende Verfahren vorhanden. Die Abgaswerte sollen mit Sensoren erfasst werden, die aus heutigen Sensoren für den mobilen Einsatz weiterentwickelt werden.
Messergebnis:	Analog zur bisherigen AU
Bemerkungen:	Wenig konkret bezüglich der Messgeräte. Umsetzung problematisch bezüglich der Anbringung der Messgeräte für unterschiedliche Fahrzeuge. Problematisch bezüglich der Fahrprobe.

Messgerät:	Microsysteme zur Gaskomponentenmessung (11)
Hersteller:	IMSAS Institute for Microsensors, -Actuators and -Systems Tel. 0421/218 4698
Messverfahren:	Bisher nur eine experimentelle elektromagnetische Membranpumpe entwickelt.
Messergebnis:	-
Bemerkungen:	Nicht für Analyse von Abgas aus Fahrzeugen konzipiert. Noch im Entwicklungsstadium.

12 Literatur

- [1.1] ARGE BAST: Abschlussbericht: AU-Erfolgskontrolle Diesel Phase I
- [1.2] ARGE BAST: Abschlussbericht: AU-Erfolgskontrolle Diesel Phase II
- [2.1] ALBUS, C., BRÜHL, G.: Die Abgasuntersuchung in Deutschland – erste Ergebnisse, CAR 1995, Essen, 1995
- [3.1] Europäische Union: Richtlinie 98/69/EG des europäischen Parlaments und des Rates über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen. Änderung der Richtlinie 70/220/EWG

- [3.2] Europäische Union: Ratsrichtlinie 1999/96/EC. Änderung der Richtlinie 88/77/EWG
- [6.1] Europäische Union: Ratsrichtlinie 96/96/EG
- [6.2] LAT, University Thessaloniki, Greece; INRETS, France; TNO, The Netherlands; TÜV Rheinland, Germany; TRL, UK: The Inspection of In-Use Cars in Order to Attain Minimum Emissions of Pollutants and Optimum Energy Efficiency. Project funded by the European Commission, DG for Environment (XI), Transport (VII) and Energy (XVII), May 1998
- [6.3] VOSS et al.: Periodic Inspection of Exhaust Emissions from Low Pollutive Otto Engine Vehicles and Diesel Engine Vehicles. SAE Paper 871084, 1987b
- [6.4] TNO Automotive: Manual for the database concerning the Dutch in-use compliance tests, September 1999
- [6.5] TÜV Rheinland: The Inspection of In-Use Cars in Order to Attain Minimum Emissions of Pollutants and Optimum Energy Efficiency, Detailed Report 4 – Technical Specifications for Transient Short Tests. Project funded by the European Commission, DG for Environment (XI), Transport (VII) and Energy (XVII), Cologne, March 1998
- [6.6] TNO: The Inspection of In-Use Cars in Order to Attain Minimum Emissions of Pollutants and Optimum Energy Efficiency, Detailed Report 7 – Cost-effectiveness of I/M. Project funded by the European Commission, DG for Environment (XI), Transport (VII) and Energy (XVII), Delft, April 1998
- [7.1] MELTON, L. A.: Soot diagnostics based on laser heating, *Appl. Opt.* 23, 2201-2208 (1984)
- [7.2] WILL, S., SCHRAML, S. and LEIPERTZ, A.: Two-dimensional soot-particle sizing by time-resolved laser-induced incandescence, *Opt. Lett.* 20, 2342-2344 (1995)
- [7.3] WILL, S., SCHRAML, S. and LEIPERTZ, A.: Comprehensive Two-Dimensional Soot Diagnostics, Based on Laser-Induced Incandescence, in: Twenty-Sixth Symposium (International) on Combustion (The Combustion Institute, Pittsburgh, Pa. (1996), pp. 2277-2284
- [7.4] WILL, S., SCHRAML, S., BADER, K. and LEIPERTZ, A.: Performance Characteristics of Soot Primary Particle Sizes Measurements by Time-Resolved Laser-Induced Incandescence, *Appl. Opt.* 37, 5647-5658 (1998)
- [7.5] WILL, S., SCHRAML, S. and LEIPERTZ, A.: Comprehensive Two-Dimensional Soot Diagnostics, Based on Laser-Induced Incandescence, in: Twenty-Sixth Symposium (International) on Combustion (The Combustion Institute, Pittsburgh, Pa. (1996), pp. 2277-2284
- [7.6] HOFELDT, D. L.: Real-Time Soot Concentration Measurement Technique for Engine Exhaust Streams, SAE-Paper 930079 (Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa. (1993)
- [7.7] SCHRAML, S., WILL, S., and LEIPERTZ, A.: Simultaneous Measurement of Soot Mass Concentration and Primary Particle Size in the Exhaust of a DI Diesel Engine by Time-Resolved Laser-Induced Incandescence (TIRE-LII), SAE-Paper 1999-01-0146 (Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa. (1999)
- [7.8] SCHRAML, S., WILL, S., and LEIPERTZ, A.: Performance Characteristics of TIRE-LII Soot Diagnostics in Exhaust Gases of Diesel Engines, SAE-Paper 2000-01-2002 (Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa. (2000)
- [7.9] SCHRAML, S., HEIMGÄRTNER, C., WILL, S., HEMM, A. and LEIPERTZ, A.: Application of a New Soot Sensor for Exhaust Emission Control Based on Time Resolved Laser Induced Incandescence (TIRE-LII), SAE-Paper 2000-01-2864 (Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa. (2000)

Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen**

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw**
E. Faerber, G.-D. Wobben
88 Seiten, 1993 € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen**
W. König, H. Werner, E. Schuller, G. Beier, W. Spann
80 Seiten, 1993 € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen**
H. Zellmer
52 Seiten, 1993 € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung**
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren
A. Richter, G. Michelmann
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator
Chr. Albus
80 Seiten, 1993 € 13,50
- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz**
R. Bamberg, H. Zellmer
56 Seiten, 1994 € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport**
G.-D. Wobben, H. Zahn
64 Seiten, 1994 € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben**
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe
P. Junge
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe
M. Chmielarz, B. Siegl
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie -
H. Derkum
88 Seiten, 1994 € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen**
D. Otte, G. Schroeder, J. Eidam, B. Kraemer
32 Seiten, 1994 € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen**
M. Schmieder, D. Bley, M. Spickermann, V. von Zettelmann
40 Seiten, 1994 € 11,00
- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern**
J. Damasky
52 Seiten, 1995 € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays**
H. Mutschler
124 Seiten, 1995 € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen**
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
H. Zellmer, M. Schmid
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
H. Zellmer
44 Seiten, 1995 € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen**
K. Sander
40 Seiten, 1995 € 11,50
- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall**
Entwicklung eines Prüfverfahrens
K.-P. Glaeser
100 Seiten, 1996 € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern**
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern
C. Heinrich, E. von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
F. Nicklisch
220 Seiten, 1996 € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen**
R. Sagerer, K. Wartenberg, D. Schmidt
52 Seiten, 1996 € 12,50

- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen**
- Problemanalyse und Verfahrenskonzept
D. Grunow, G. Heuser, H.J. Krüger, Chr. Zange-
meister
136 Seiten, 1996 € 7,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS**
J. Präckel
84 Seiten, 1996 € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung**
E. Pullwitt
44 Seiten, 1996 € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand**
K. Sander
60 Seiten, 1996 € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe**
M. Fach
80 Seiten, 1996 € 14,00
- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung**
B. Bugsel, Chr. Albus, W. Sievert
24 Seiten, 1997 € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase**
F. A. Berg, U. Mayer
171 Seiten, 1997 € 19,50
- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes**
I. Kalliske, Ch. Albus, E. Faerber
44 Seiten, 1998 € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern**
I. Kalliske, D. Wobben, M. Nee
39 Seiten, 1998 € 11,50
- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme**
T. F. Schweers
74 Seiten, 1999 € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern**
M. Vötter, E. Groß, St. Esser, A. Born, M. Flamm, D. Rieck
22 Seiten, 1999 € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen**
R. Kohlstruck, H. Wallentowitz
59 Seiten, 1999 € 13,00
- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen**
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
K.-P. Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Th. Aubel
54 Seiten, 2000 € 13,00
- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen**
A. Faber
44 Seiten, 2000 € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen**
D. Otte
43 Seiten, 2000 € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BASt**
Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach
63 Seiten, 2000 € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen**
W. Gaupp, D. Wobben, M. Horn, M. Seemann
116 Seiten, 2000 € 17,00
- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug**
K. Sander, B. Bugsel, W. Sievert, Ch. Albus
22 Seiten, 2001 € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren**
H. Wallentowitz, D. Ehmanns, D. Neunzig, M. Weilkes, B. Steinauer, F. Bölling, A. Richter, W. Gaupp
147 Seiten, 2001 € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Kraft-rädern**
A. van de Sand, H. Wallentowitz, Th. Schrüllkamp
64 Seiten, 2001 € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat**
G. Afflerbach, D. Hassel, H. Schmidt, K.-S. Sonnborn, F.-J. Weber
32 Seiten, 2001 € 11,50

F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes

F. Friesen, H. Wallentowitz, M. Philipps

44 Seiten, 2001 € 12,50

F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung

J. Gail, M. Lorig, Chr. Gelau, D. Heuzeroth, W. Sievert

27 Seiten, 2002 € 9,50

F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen

Chr. Domsch, D. Sandkühler, H. Wallentowitz

104 Seiten, 2002 € 16,50

F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge

G. Afflerbach, D. Hassel, H. J. Mäurer, H. Schmidt, F.-J. Weber

63 Seiten, 2003 € 14,00

Zu beziehen durch:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

