

Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissi- onsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalysatoren

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 106



bast

Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissi- onsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalysatoren

von

Helge Schmidt
Ralf Johannsen

TÜV Nord Mobilität
Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität
Hannover

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 106

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, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 86.0066/2009:
Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen - Austauschкатаlysatoren

Fachbetreuung:
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
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53 · Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-175-2

Bergisch Gladbach, Juni 2015

Kurzfassung – Abstract

Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalysatoren

Die verschärften Anforderungen an das Emissionsverhalten von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen haben aufwändige Technologien erforderlich gemacht. Ein wesentlicher Bestandteil aktueller Abgasnachbehandlungssysteme ist der Katalysator. Wenn ein Katalysator beschädigt wird oder seine Wirksamkeit nachlässt, kann er durch einen Austauschkatalysator ersetzt werden.

Austauschkatalysatoren, die im Zubehörmarkt angeboten werden, werden auf Basis der Regelung Nr. 103 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE – United Nations Economic Commission for Europe) genehmigt. Entsprechend dieser Regelung muss der Austausch-katalysator so beschaffen sein und so eingebaut werden können, dass das Fahrzeug den Vorschriften der Regelungen entspricht, die bei seiner Typprüfung zugrunde gelegt worden sind. Außerdem müssen die Schadstoffemissionen während der gesamten normalen Lebensdauer des Fahrzeuges unter normalen Betriebsbedingungen wirksam begrenzt werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die Dauerhaltbarkeit von Austauschkatalysatoren untersucht. Als Testfahrzeug wurde ein VW Golf der Abgasstufe Euro 4 mit einem 1.4-l-Benzinmotor (55 kW) ausgewählt. Bei Beginn der Untersuchungen wies das Fahrzeug eine Laufleistung von 75.500 km auf. Das ausgewählte Fahrzeug war regelmäßig entsprechend den Herstellervorgaben gewartet worden. Im OBD-System waren keine abgasrelevanten Fehler abgelegt. Bei der Eingangsmessung des Fahrzeuges im Anlieferungszustand mit dem ursprünglich verbauten Katalysator wurden die anzuwendenden Euro-4-Grenzwerte deutlich unterschritten.

Anschließend wurden ein Original-Austauschkatalysator, der in einer markengebundenen Fachwerkstatt und 4 Katalysatoren, die verdeckt im freien Teilemarkt beschafft worden waren, untersucht. Die Austauschkatalysatoren wurden entsprechend den Vorgaben der ECE-Regelung Nr. 103 konditioniert und dann im Neuzustand vermessen.

Anschließend wurden die Katalysatoren auf einem Brennerprüfstand gealtert. Dabei wurde eine Laufleistung von insgesamt 80.000 km simuliert. Nach 10.000 km und 40.000 km wurde die Alterung unterbrochen und die Abgasemissionen des Testfahrzeugs wurden mit den gealterten Katalysatoren gemessen. Sobald bei einem Katalysator eine Grenzwertüberschreitung festgestellt wurde, wurde die Untersuchung beendet.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass bei im freien Teilemarkt erhältlichen Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung erhebliche Qualitätsunterschiede auftreten können. Nur mit dem Original-Austauschkatalysator und mit einem Austausch-katalysator, der im freien Markt beschafft worden war, konnten auch nach einer Alterung über 80.000 km die Euro-4-Grenzwerte eingehalten werden. Bei einem Austausch-katalysator wurden bereits im Neuzustand die Euro-4-Grenzwerte überschritten. Bei einem anderen Austausch-katalysator wurde die Untersuchung nach 10.000 km Alterung und bei einem weiteren Katalysator nach 40.000 km Alterung aufgrund einer Überschreitung der Euro-4-Grenzwerte abgebrochen.

Die ECE-Regelung Nr. 103 sieht eine Prüfung der Dauerhaltbarkeit derartiger Systeme über 80.000 km vor, ermöglicht jedoch alternativ die Verwendung von festen Verschlechterungsfaktoren. In der Praxis wird die Dauerhaltbarkeit der Austauschsysteme zur Abgasnachbehandlung von ihren Herstellern garantiert, eine Überprüfung findet im Rahmen der Genehmigung jedoch in den seltensten Fällen statt. Eine Feldüberwachung für Austauschsysteme zur Abgasnachbehandlung ist in den entsprechenden Vorschriften nicht vorgesehen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen darauf hin, dass die Anforderungen in der ECE-Regelung Nr. 103 nicht ausreichen, um die Dauerhaltbarkeit von Austausch-katalysatoren sicherzustellen.

Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters

High demands on exhaust emissions of passenger cars and light commercial vehicles require complex technologies. The three-way catalytic converter is an essential part of state of the art emission control systems. If a catalytic converter is damaged or its effectiveness deteriorates, it can be replaced by a replacement converter.

Replacement catalytic converters from the aftermarket are approved on the basis of Regulation No 103 of the UNECE – United Nations Economic Commission for Europe. According to this regulation the replacement catalytic converter shall be designed, constructed and capable of being mounted so as to enable the vehicle to comply with the provisions taken as a basis for its type approval. Furthermore the pollution emissions must be effectively limited throughout the entire normal service life of the vehicle under normal operating conditions.

In the context of the research project, the durability of replacement catalytic converters was examined. A VW Golf with emission standard Euro 4, 1.4 l petrol engine (55 kW) was selected as a test vehicle. At the start of the examinations, the vehicle showed a mileage of 75,000 km. The selected vehicle was regularly serviced in accordance with the manufacturer's specifications. No emission-relevant faults were recorded by the OBD system. The initial control measurement of the vehicle in as-delivered condition with the originally installed catalytic converter showed that the corresponding emissions of the regulated pollutants were considerably below the Euro 4 emission limits to be applied.

Subsequently, an original replacement catalytic converter, which was purchased from an authorised dealer, and 4 catalytic converters purchased in the independent aftermarket, were examined. The replacement catalytic converters were conditioned according to the specifications of ECE Regulation No 103 and then measured in new condition. The catalytic converters were then aged on a burner test rig. Here a total mileage of 80,000 km was simulated. After 10,000 km and 40,000 km, the ageing was interrupted and the exhaust gas emissions of the test vehicle with the aged catalytic

converters were measured. The examination was ended as soon as a limit value had been exceeded.

The results of the project indicate that with the replacement systems for the after-treatment of exhaust gases available in the independent aftermarket, considerable quality differences can occur. At the end of the ageing over a distance of 80,000 km only the original replacement catalytic converter and one replacement catalytic converter from the independent aftermarket complied with the Euro 4 emission limits. With one replacement catalytic converter, the Euro 4 emission limits were already exceeded in new condition. With another replacement catalytic converter, the examination was aborted after 10,000 km ageing and with a further catalytic converter after 40,000 km ageing due to the Euro 4 emission limits being exceeded.

The ECE Regulation No 103 provides for a test of durability of such systems over 80,000 km, but also alternatively enables the use of fixed deterioration factors. In practice, the durability of the replacement systems for the after-treatment of exhaust gases is guaranteed by their manufacturers. However, replacement catalytic converters are rarely inspected as part of the approval. In-use compliance provisions for replacement systems for the after-treatment of exhaust gases are not mentioned in the corresponding specifications. The results of this study indicate that the requirements in the ECE Regulation No 103 are not adequate to ensure the durability of replacement catalytic converters.

Inhalt

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Einleitung | 7 |
| 2 | Ausgangslage/Erkenntnisstand | 7 |
| 3 | Projektentwicklung | 8 |
| 3.1 | Gesetzliche Grundlagen | 8 |
| 3.2 | Untersuchungsprogramm | 10 |
| 3.3 | Auswahl des Testfahrzeugs und der Austauschkatalysatoren | 10 |
| 3.4 | Messungen der Abgasemissionen | 12 |
| 3.5 | Katalysatoralterung auf dem Brennerprüfstand | 13 |
| 4 | Ergebnisse | 16 |
| 4.1 | Abgasemissionen im Anlieferungszustand mit dem ursprünglich verbauten Katalysator | 16 |
| 4.2 | Abgasemissionen mit dem Original-Austauschkatalysator | 17 |
| 4.3 | Abgasemissionen mit Austausch- katalysatoren aus dem freien Teile- markt im Neuzustand | 17 |
| 4.4 | Abgasemissionen mit Austausch- katalysatoren nach Alterung | 18 |
| 4.5 | Bewertung der Abgasemissionen nach ECE-R 103. | 20 |
| 5 | Zusammenfassung | 21 |
| 6 | Literatur | 21 |

Abkürzungen

| | |
|-----------------|--|
| ADAC | Allgemeiner Deutscher Automobil Club |
| AECC | Association for Emissions Control by Catalyst |
| AU | periodische Abgasuntersuchung |
| BAT | Bench Aging Time Calculator; Programm zur Berechnung der Anzahl der zu fahrenden Alterungszyklen; Environmental Protection Agency |
| CAP | Compliance Assurance Program; Programm zur Überprüfung der Dauerhaltbarkeit; EPA |
| CO | Kohlenmonoxid |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| EUDC | Extra Urban Driving Cycle |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| Euro 4 | Typprüfung gemäß Richtlinie 98/69/EG, verschärfte Anforderungen gegenüber Euro 3 (u. a. niedrigere Grenzwerte im Fahrzyklus, -7°C-Test für Pkw mit Fremdzündungsmotor) |
| IUC | In-Use Compliance |
| HC | Kohlenwasserstoffe |
| KBA | Kraftfahrt-Bundesamt |
| NEFZ | Neuer Europäischer Fahrzyklus gemäß Richtlinie 98/69/EG |
| NO _x | Stickoxide |
| OBD | On Board Diagnose |
| OEM | Original Equipment Manufacturer |
| SBC | Standard Bench Cycle = SPZ Standardprüfstandzyklus |
| SRC | Standard Road Cycle = SSZ Standardstraßenfahrzyklus |
| TÜV NORD | TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG |
| UBA | Umweltbundesamt |
| UDC | Urban Driving Cycle |
| UNECE | United Nations Economic Commission for Europe – Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa |
| ZDK | Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e. V. |

1 Einleitung

Zur Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffbelastung der Luft wurde ein umfangreiches Maßnahmenpaket geschaffen. Es beinhaltet neben der Typprüfung für neue Fahrzeugtypen die Prüfung der Übereinstimmung der Produktion an Neufahrzeugen, die Prüfung der Konformität von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen (Feldüberwachung), ein On-Board-Diagnose-System, die periodische Überwachung aller im Verkehr befindlichen Fahrzeuge sowie erhöhte Anforderungen an die Kraftstoffqualität. Neben den Abgasemissionen von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen im Originalzustand hat die Dauerhaltbarkeit von Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung einen Einfluss auf die durch den Straßenverkehr verursachte Umweltbelastung.

Die verschärften Anforderungen an das Emissionsverhalten haben aufwändige Fahrzeugtechnologien erforderlich gemacht. Ein wesentlicher Bestandteil aktueller Abgasnachbehandlungssysteme ist der Katalysator. Er dient der chemischen Umwandlung der in Verbrennungsmotoren entstehenden Schadstoffe. Im Drei-Wege-Katalysator werden unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid und Wasser oxidiert und Stickoxide werden zu Stickstoff reduziert. Bei optimalen Betriebsbedingungen werden Konvertierungsraten nahe von 100 % erreicht.

Wenn ein Katalysator beschädigt wird oder seine Wirksamkeit nachlässt, kann er durch einen Austauschkatalysator ersetzt werden. Grundsätzlich kann man zwischen Original-Austauschkatalysatoren, die im Zusammenhang mit der Fahrzeugtypgenehmigung zugelassen sind und in der Regel in markengebundenen Werkstätten eingebaut werden, und Austauschkatalysatoren, die im freien Teilemarkt angeboten werden, unterscheiden.

Austauschkatalysatoren, die im Zubehörmarkt angeboten werden, werden auf Basis der Regelung Nr. 103 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE – United Nations Economic Commission for Europe) genehmigt. Entsprechend dieser Regelung muss der Austausch-katalysator so beschaffen sein und so eingebaut werden können, dass das Fahrzeug den Vorschriften der Regelungen entspricht, die bei seiner Typprüfung zugrunde gelegt worden sind. Außerdem müssen die Schadstoffemissionen während der gesamten normalen Lebensdauer des Fahrzeuges

unter normalen Betriebsbedingungen wirksam begrenzt werden. Die ECE-Regelung Nr. 103 sieht eine Prüfung der Dauerhaltbarkeit derartiger Systeme über 80.000 km vor, ermöglicht jedoch alternativ die Verwendung von festen Verschlechtefaktoren. In der Praxis wird die Dauerhaltbarkeit der Austauschsysteme zur Abgasnachbehandlung von ihren Herstellern garantiert, eine Überprüfung findet im Rahmen der Genehmigung jedoch in den seltensten Fällen statt. Eine Feldüberwachung für Austauschsysteme zur Abgasnachbehandlung ist in den entsprechenden Vorschriften nicht vorgesehen.

Dem Kraftfahrt-Bundesamt liegen keine Bestandsdaten von Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung vor. Daher ist nicht bekannt, in welchem Umfang und in welchen Ausführungen diese Abgasnachbehandlungssysteme im Feld vertreten sind und welche Wirksamkeit diese Systeme im Straßenverkehr tatsächlich haben. Es gibt jedoch Hinweise auf erhebliche Qualitätsunterschiede bei Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung, durch die die Dauerhaltbarkeit derartiger Systeme im realen Straßenverkehr beeinträchtigt werden kann. Daher ist eine Untersuchung der Altersbeständigkeit von Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung dringend erforderlich.

Im Rahmen dieses Vorhabens wird die Dauerhaltbarkeit von verschiedenen Austausch-katalysatoren für ein Fahrzeug mit Fremdzündungsmotor untersucht. Zu diesem Zweck werden Abgasnachbehandlungssysteme im Neuzustand vermessen, anschließend gealtert und im gealterten Zustand überprüft. Für die Überprüfung wird ein geeignetes Prüffahrzeug ausgewählt. Wesentliches Ziel dieses Vorhabens ist es, einen Überblick über die aktuelle Situation zu gewinnen und nicht eine Bewertung der einzelnen Austausch-katalysatoren vorzunehmen [1].

2 Ausgangslage/Erkenntnisstand

Um abzuschätzen, in welchem Umfang und in welchen Ausführungen Austauschsysteme zur Abgasnachbehandlung im Bestand vertreten sind, wurden zahlreiche Gespräche mit Fahrzeugherstellern, Katalysatorherstellern, Behörden und Verbänden geführt, Genehmigungen gemäß ECE-Regelung Nr. 103 beim KBA analysiert und Internet-Recherchen durchgeführt.

Über die in Deutschland verkauften Austauschkatalysatoren und die Marktanteile der verschiedenen Katalysatorhersteller gibt es keine genauen Zahlen. Man kann davon ausgehen, dass Katalysatoren aufgrund von mechanischen Beschädigungen oder nach Auffälligkeiten bei der periodischen Abgasuntersuchung (AU) ausgetauscht werden. Über die Verbreitung von Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung liegen dem Kraftfahrt-Bundesamt jedoch keine Bestandsdaten vor. Weder der ADAC noch der Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe haben statistische Daten zu Verkaufszahlen von Austauschkatalysatoren. Auch die Association for Emissions Control by Catalyst (AECC) kann keine Angaben über die Verkaufszahlen und Marktanteile der verschiedenen Hersteller von Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung in Deutschland machen, auch deswegen, weil nicht alle Hersteller von Austauschkatalysatoren Mitglied des AECC sind.

Über die Verkaufszahlen von Austauschkatalysatoren und die Marktanteile der verschiedenen Anbieter gibt es Abschätzungen durch einzelne Katalysatorhersteller. Sie geben jedoch nur einen groben Überblick über die Marktsituation. Der Gesamtmarkt für Austauschkatalysatoren in Deutschland wird auf ca. 300.000 pro Jahr geschätzt. Man kann davon ausgehen, dass etwa die Hälfte davon Originalersatzteile sind, die in markengebundenen Werkstätten eingebaut werden. Demnach werden schätzungsweise etwa 140.000 bis 160.000 Austauschkatalysatoren am freien Markt verkauft. Für die Marktanteile bei Austauschkatalysatoren für einzelne Fahrzeugtypen liegen keine Zahlen vor. Es ist aber davon auszugehen, dass der Anteil der OEM Austauschkatalysatoren bei hochwertigen Fahrzeugen höher ist als bei preisgünstigen Fahrzeugen.

In der aktuellen Version der ECE-Regelung Nr. 103 gibt es kein verpflichtendes Verfahren zur Überprüfung der Dauerhaltbarkeit von Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung, was zu Wettbewerbsverzerrungen und Nachteilen für seriöse Hersteller führen kann. Es gibt Anzeichen dafür, dass in den vergangenen Jahren der Marktanteil der Qualitätsanbieter aufgrund der aggressiven Preispolitik einiger Wettbewerber zurückgegangen ist. So genannte Universalkats werden zu Preisen ab 50 € angeboten. Darüber hinaus werden über das Internet Katalysatoren ohne Angabe des Herstellers vertrieben. Einige Katalysatoren weisen keine Genehmigungsnummer auf, andere

werden mit Aussagen wie „sehr gute Durchlasswerte (...) für mehr Leistung am Fahrzeug“ angepriesen.

3 Projektabwicklung

3.1 Gesetzliche Grundlagen

Grundlage für die Genehmigung von Austauschkatalysatoren ist die Regelung Nr. 103 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE – United Nations Economic Commission for Europe), in der „Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung von Austauschkatalysatoren für Kraftfahrzeuge“ festgelegt sind. Diese Regelung gilt für die Typgenehmigung von Katalysatoren als selbstständige technische Einheiten zum Einbau in Fahrzeuge der Klassen M1 und N1. In dieser Regelung werden „Katalysatoren für die Erstausrüstung“, „Austauschkatalysatoren“ und „Original-Austauschkatalysatoren“ unterschieden:

- Als „Katalysator für die Erstausrüstung“ wird ein Katalysator oder eine Gruppe von Katalysatoren definiert, die in die Typgenehmigung für das Fahrzeug einbezogen sind und deren Typen in den Unterlagen zu Anhang 2 der ECE-Regelung Nr. 83 angegeben sind.
- Ein Katalysator oder eine Gruppe von Katalysatoren, werden als „Austauschkatalysator“ bezeichnet, wenn dafür eine Genehmigung nach der ECE-Regelung Nr. 103 erteilt werden kann und die nicht „Katalysatoren für die Erstausrüstung“ sind.
- Als „Original-Austauschkatalysator“ wird ein Katalysator oder eine Gruppe von Katalysatoren definiert, deren Typen in den Unterlagen zu Anhang 2 der Regelung Nr. 83 angegeben sind, die jedoch vom Inhaber der Fahrzeug-Typgenehmigung als selbstständige technische Einheiten auf dem Markt angeboten werden.

Für die Prüfung eines Austauschkatalysators nach ECE-Regelung Nr. 103 wird das Testfahrzeug zunächst mit einem neuen Katalysator für die Erstausrüstung ausgestattet, der mit zwölf außerstädtischen Fahrzyklen eingefahren sein muss (Prüfung Typ I, Teil 2). Nach dieser Vorkonditionierung muss das Fahrzeug in einem Raum abgestellt werden, in dem die Temperatur zwischen 293 K und 303 K (20 °C und 30 °C) verhältnismäßig konstant bleibt.

Die Konditionierung muss mindestens sechs Stunden dauern und so lange fortgesetzt werden, bis die Temperatur des Motoröls und die des etwaigen Kühlmittels die Raumtemperatur ± 2 K erreicht haben. Anschließend sind drei Abgasprüfungen Typ I durchzuführen. Bei dem Prüffahrzeug mit dem Katalysator für die Erstausrüstung müssen die in der Typgenehmigung des Fahrzeuges angegebenen Grenzwerte eingehalten sein, bei denen gegebenenfalls die bei der Typgenehmigung des Fahrzeuges (der Fahrzeuge) angewandten Verschlechterungsfaktoren berücksichtigt werden.

Anschließend wird der Katalysator für die Erstausrüstung in dem Prüffahrzeug durch den Austausch-katalysator ersetzt, der mit zwölf außerstädtischen Fahrzyklen eingefahren sein muss (Prüfung Typ I, Teil 2) und die oben beschriebene Prüfprozedur wiederholt.

Gemäß Kapitel 5.2.3 der ECE-Regelung Nr. 103 gelten die Vorschriften über die Emissionen des Fahrzeuges mit Austausch-katalysator als eingehalten, wenn die Ergebnisse bei jedem limitierten Schadstoff (CO, HC, NO_x und Partikel) den folgenden Bedingungen entsprechen:

- 1. $M \leq 0,85S + 0,4G$,
- 2. $M \leq G$.

Dabei sind:

- M: der Mittelwert der Emissionen eines Schadstoffes (CO, HC, NO_x oder Partikel) oder der Summe zweier Schadstoffe (HC + NO_x), den man bei den drei Prüfungen Typ I mit dem Austausch-katalysator erhält.
- S: der Mittelwert der Emissionen eines Schadstoffes (CO, HC, NO_x oder Partikel) oder der Summe zweier Schadstoffe (HC + NO_x), den man bei den drei Prüfungen Typ I mit dem Katalysator für die Erstausrüstung erhält.
- G: der Grenzwert der Emissionen eines Schadstoffes (CO, HC, NO_x oder Partikel) oder der Summe zweier Schadstoffe (HC + NO_x), der der

Typgenehmigung des Fahrzeuges (der Fahrzeuge) entspricht und gegebenenfalls durch Verschlechterungsfaktoren dividiert worden ist.

Das wesentliche Kriterium bei der Genehmigung von Austausch-katalysatoren ist demnach die Einhaltung der relevanten Grenzwerte in der Prüfung Typ I.

Um die Dauerhaltbarkeit der Austausch-katalysatoren sicherzustellen, werden so genannte Verschlechterungsfaktoren angewendet. Durch diese Faktoren soll die Alterung des Katalysators über eine bestimmte Laufstrecke (z. B. 80.000 km bei der Grenzwertstufe Euro 4) und eine damit verbundene Verschlechterung der Abgasemissionen berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse der Prüfung im Neuzustand des Katalysators mit den entsprechenden Verschlechterungsfaktoren (DF) multipliziert. Die resultierenden Massen der gasförmigen Emissionen und – bei Fahrzeugen mit Selbstzündungsmotor zusätzlich die Partikelmasse – müssen dabei unter den Grenzwerten liegen. Die festgelegten Grenzwerte müssen demnach auch von einem Katalysator eingehalten werden, der über die mit den Anforderungen für die Dauerhaltbarkeit festgelegte Laufstrecke gealtert worden ist. Ein neuer Katalysator muss daher einen ausreichend großen Abstand zu den Grenzwerten einhalten, d. h. die im Neuzustand ermittelten Emissionen der limitierten Schadstoffe müssen kleiner sein als die entsprechenden Grenzwerte einschließlich angewandter Verschlechterungsfaktoren.

Die Verschlechterungsfaktoren können mithilfe einer Alterungsprüfung über 80.000 km nach dem in der ECE-Regelung Nr. 83 beschriebenen Verfahren auf einer Prüfstrecke, auf der Straße oder auf einem Prüfstand ermittelt werden. Als Alternative zu einer Alterungsprüfung können die oben beschriebenen Verschlechterungsfaktoren angewendet werden, die in der ECE-Regelung Nr. 103 festgelegt und in Tabelle 3.1 dargestellt sind. Bei den bis zur Abgasnorm Euro 4 gültigen Tabellenwerten wird davon ausgegangen, dass sich die Schadstoffemissionen CO, HC und NO_x bei Fahrzeugen mit

| Motorart | Verschlechterungsfaktoren | | | | |
|---------------------|---------------------------|-----|-----------------|----------------------|----------|
| | CO | HC | NO _x | HC + NO _x | Partikel |
| Fremdzündungsmotor | 1,2 | 1,2 | 1,2 | - | - |
| Selbstzündungsmotor | 1,1 | - | 1 | 1 | 1,2 |

Tab. 3.1: Verschlechterungsfaktoren nach ECE-Regelung Nr. 103

Fremdzündungsmotor über eine Laufleistung von 80.000 km um 20 % gegenüber dem Neuzustand verschlechtern.

In der Praxis werden in der Regel die Tabellenwerte angewendet, die Dauerhaltbarkeit der Austauschsysteme zur Abgasnachbehandlung wird von ihren Herstellern garantiert, eine Überprüfung findet im Rahmen der Genehmigung jedoch in den seltensten Fällen statt.

3.2 Untersuchungsprogramm

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde die Dauerhaltbarkeit von verschiedenen Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung untersucht. Zu diesem Zweck wurde zunächst ein geeignetes Testfahrzeug ausgewählt und beschafft. Um sicherzustellen, dass sich das Testfahrzeug bezüglich der Abgasemissionen in einem ordnungsgemäßen Zustand befindet, wurden die Abgasemissionen im Anlieferungszustand, d. h. mit ursprünglich verbauten Abgasnachbehandlungssystem im Neuen Europäischen Fahrzyklus (Typ-I-Test, Bild 3.2) gemessen.

Anschließend wurden für das Testfahrzeug ein Original-Austauschkatalysator bei einer markengebundenen Werkstatt und 4 verschiedene für dieses Fahrzeug nach ECE-Regelung Nr. 103 genehmigte Austausch-katalysatoren im Handel verdeckt beschafft. Die Abgasnachbehandlungssysteme wurden anschließend nacheinander in das Testfahrzeug eingebaut und entsprechend Kapitel 5.2.2 der ECE-Regelung Nr. 103 mit zwölf außerstädtischen Zyklen eingefahren.

Nach der Konditionierung wurde mit den Austausch-katalysatoren eine Eingangsmessung durchgeführt, bei der die Abgasemissionen im Neuen Europäischen Fahrzyklus (Typ-I-Test) ermittelt wurden. Wurden bereits bei der Eingangsmessung, d. h. im Neuzustand eines Abgasnachbehandlungssystems, Emissionsauffälligkeiten festgestellt (Überschreitung eines oder mehrerer Grenzwerte), wurde die Untersuchung des betroffenen Systems beendet und als nicht bestanden bewertet.

Wenn bei der Eingangsmessung keine Emissionsauffälligkeiten festgestellt wurden, wurden die zu untersuchenden Abgasnachbehandlungssysteme aus dem Testfahrzeug ausgebaut und auf einem

Brennerprüfstand einer Alterung unterzogen. Die Vorgehensweise bei der Brenneralterung ist in Kapitel 3.5 detailliert dargestellt.

Insgesamt wurde eine Alterung der Austausch-Abgasnachbehandlungssysteme über 80.000 km simuliert. Um die Wirksamkeit der Austausch-katalysatoren während des Alterungsprozesses zu überprüfen, wurde die Brenneralterung nach 10.000 km und 40.000 km unterbrochen und Zwischenmessungen durchgeführt. Dazu wurden die gealterten Katalysatoren erneut in das Testfahrzeug eingebaut und die Abgasemissionen im Typ-I-Test gemessen.

Bei Überschreitung eines oder mehrerer Grenzwerte wurde die Untersuchung beendet. Traten bei der Zwischenmessung keine Emissionsauffälligkeiten auf, wurde das Abgasnachbehandlungssystem wieder aus dem Testfahrzeug ausgebaut und die Brenneralterung in der oben beschriebenen Weise fortgesetzt. Nach 80.000 km Brenneralterung wurde eine abschließende Messung im NEFZ durchgeführt. Wenn dabei keine Emissionsauffälligkeiten festgestellt wurden, wurde die Untersuchung beendet und als bestanden bewertet.

Im letzten Schritt wurden die Emissionen des Testfahrzeugs im Originalzustand, d. h. mit dem ursprünglich verbauten Katalysator im NEFZ (Typ-I-Test) gemessen, um zu überprüfen, ob eine Verschlechterung des Emissionsverhaltens des Testfahrzeugs während der Versuchsdurchführung stattgefunden hat, bzw. um eine Beeinträchtigung der Untersuchungsergebnisse durch das Fahrzeug ausschließen zu können.

Das Untersuchungsprogramm ist in Bild 3.1 schematisch dargestellt.

3.3 Auswahl des Testfahrzeugs und der Austausch-katalysatoren

Für die Untersuchung sollte ein repräsentatives Fahrzeug ausgewählt werden, das bei der Typprüfung entsprechend der Grenzwertstufe Euro 4 eingestuft worden ist. Ein weiteres Kriterium bei der Auswahl war, dass eine ausreichende Anzahl verschiedener Austausch-katalysatoren für das Testfahrzeug angeboten werden. Bei der Auswahl des Testfahrzeugs wurden die Bestandsdaten des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) zugrunde gelegt.

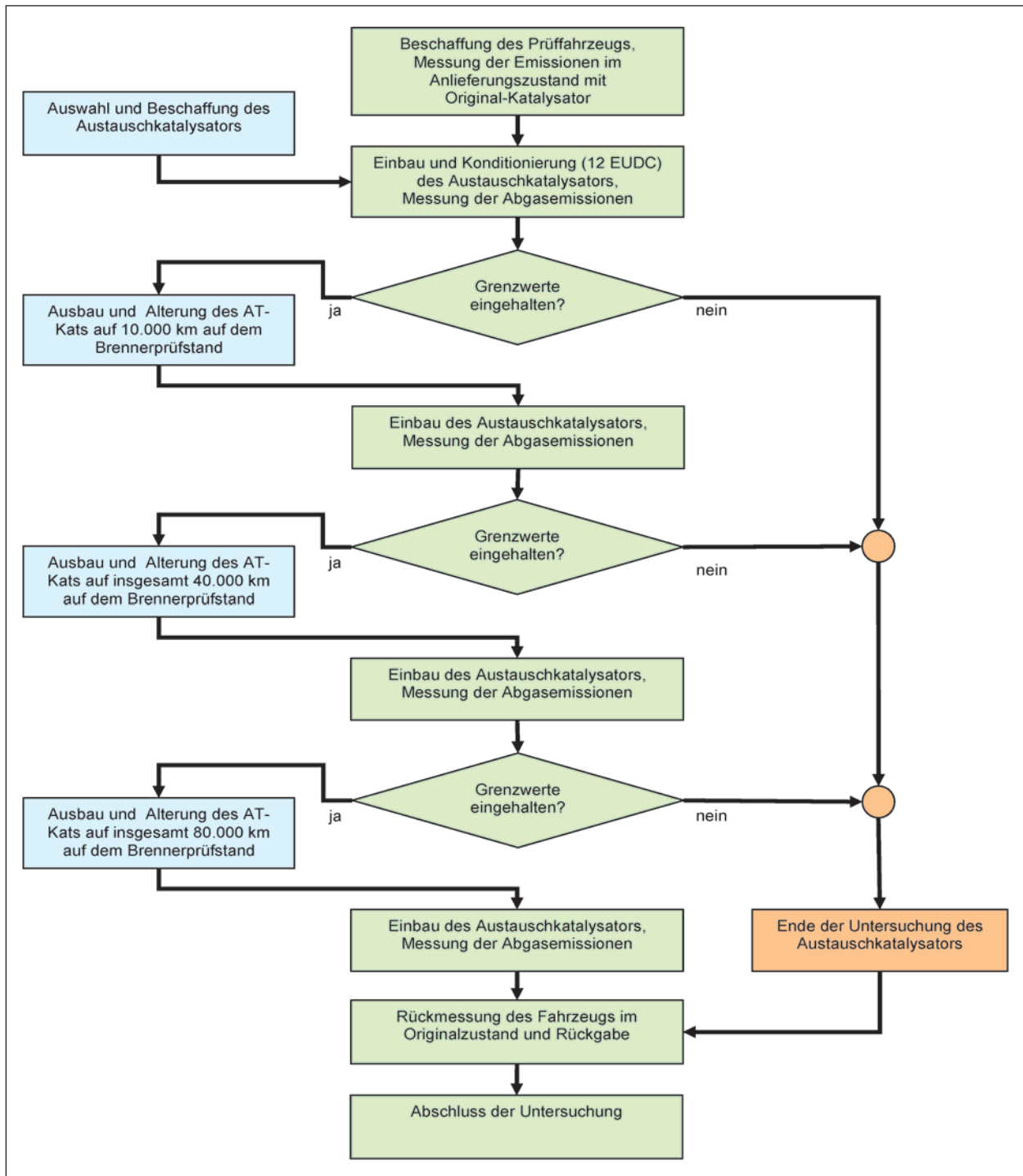


Bild 3.1: Schematische Darstellung des Untersuchungsprogramms

Für die Untersuchung der Dauerhaltbarkeit von Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung wurde ein VW Golf der Abgasstufe Euro 4 mit einem 1.4-l-Benzinmotor (55 kW) ausgewählt. Der Volkswagen Golf 1J mit 1.4-l-Motor ist mit über 400.000 Fahrzeugen in Deutschland sehr häufig vertreten und wies zum Zeitpunkt der Untersuchung die absolut höchsten Bestandszahlen auf [2]. Die Fahrzeugdaten sind in Tabelle 3.2 zusammengefasst.

Das Testfahrzeug wies bei Beginn der Untersuchungen eine Laufleistung von 75.500 km auf. Nach Eingang des Testfahrzeugs wurden die Einhaltung der vorgeschriebenen Wartungsintervalle und der ordnungsgemäße Zustand des Fahrzeugs überprüft. Bei der Eingangsprüfung wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Das ausgewählte Fahrzeug ist regelmäßig entsprechend den Herstellervorgaben gewartet worden. Der Nachweis wurde durch die

Inspektionshandbücher erbracht. Im OBD-System waren keine abgasrelevanten Fehler abgeleitet.

Für die Messungen wurde zunächst ein Original-Austauschkatalysator in einer markengebundenen Werkstatt für ca. 850 € beschafft. Im Rahmen dieses Forschungsprogrammes wurden 4 Austausch-katalysatoren unterschiedlicher Hersteller untersucht. Dabei wurden nur Austausch-katalysatoren berücksichtigt, für die eine Genehmigung nach ECE-Regelung Nr. 103 erteilt worden ist. Für das ausgewählte Testfahrzeug wurden Austausch-katalysatoren mit entsprechender Genehmigung zu Preisen von ca. 150 € bis zu ca. 550 € angeboten.

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Fahrzeughersteller: | VOLKSWAGEN |
| Hersteller-Schlüsselnummer: | 0603 |
| Typ: | 1J |
| Handelsbezeichnung: | Golf IV |
| Typ-Schlüsselnummer: | 419 |
| Motortyp: | BCA |
| Arbeitsprinzip: | Fremdzündung |
| Hubraum: | 1.390 cm ³ |
| Motorleistung: | 55 kW |
| Stand der Abgasgenehmigung: | Euro 4 |
| Erstzulassung: | 27.11.2002 |
| Tachostand bei Beginn der Messungen: | 75.500 km |

Tab. 3.2: Fahrzeugdaten

Katalysatoren ohne Genehmigungsnummer, die teilweise für 50 € für das Testfahrzeug im Internet angeboten werden, wurden nicht berücksichtigt. Für die Untersuchungen wurden Austausch-katalysatoren für ca. 250 €, ca. 300 € und zwei Katalysatoren für ca. 450 € ausgewählt und verdeckt im freien Teilehandel beschafft. Alle genannten Kosten sind inklusive Umsatzsteuer angegeben.

3.4 Messungen der Abgasemissionen

Als Basis für die Genehmigung von Austausch-katalysatoren im Rahmen der ECE-Regelung Nr. 103 dient der Neue Europäische Fahrzyklus (NEFZ).

Dieser Fahrzyklus ist für die Typgenehmigung neuer Fahrzeugtypen in Europa und auch für die Genehmigung von Austausch-katalysatoren entsprechend ECE-Regelung Nr. 103 vorgeschrieben. Der Fahrzyklus ist in der ECE-Regelung Nr. 83 beschrieben. Der NEFZ besteht aus zwei Teilzyklen, einem städtischen Teil (Teil Eins oder Urban Driving Cycle, UDC) und einem außerstädtischen Teil (Teil Zwei oder Extra Urban Driving Cycle, EUDC), wobei sich der Stadtfahrzyklus aus 4 hintereinander gefahrenen Grundstadtfahrzyklen zusammensetzt. Insgesamt wird in 1.180 Sekunden eine Strecke von etwa 11 km zurückgelegt. Bild 3.2 zeigt das Geschwindigkeitsprofil des NEFZ [3].

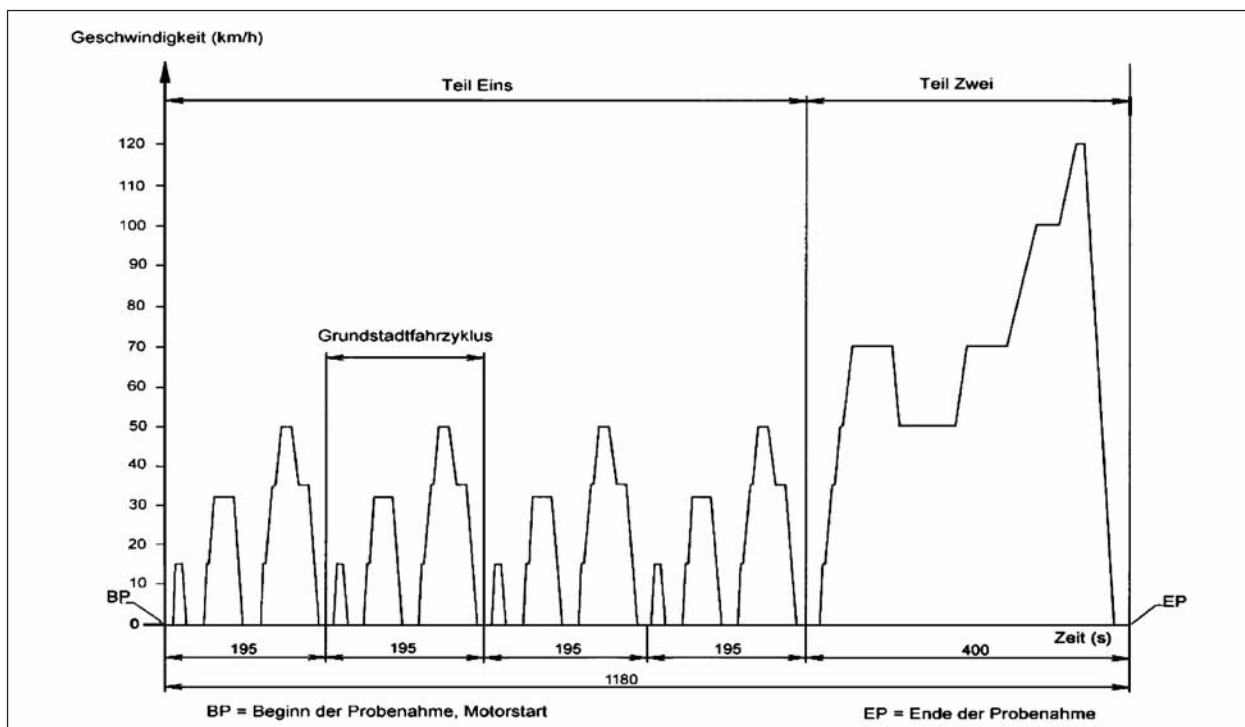


Bild 3.2: Fahrkurve des NEFZ [6]

Während der Messungen auf dem Abgasrollenprüfstand wurden die limitierten Emissionen Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO_x) ermittelt. Außerdem wurden die Kohlendioxidemissionen (CO₂) gemessen, um die Plausibilität und die Vergleichbarkeit der Messungen überprüfen zu können. Bei der Lasteinstellung des Abgasrollenprüfstands wurden die gleichen Werte verwendet wie bei der Typprüfung des Testfahrzeugs.

3.5 Katalysatoralterung auf dem Brennerprüfstand

Für Austausch-Drei-Wege-Katalysatoren, die in Euro-4-Fahrzeugen mit Ottomotor verwendet werden, sollte eine Alterung über 80.000 Kilometer im realen Fahrzeugbetrieb (Dauerlauf) simuliert werden. Für die Alterung von Abgasnachbehandlungssystemen gibt es kein standardisiertes Verfahren, sondern es stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Die Fahrzeughersteller haben unterschiedliche Spezifikationen für derartige Tests. Die Zulieferer von Original-Ersatzteilen müssen die Anforderungen der Fahrzeughersteller erfüllen und führen die Prüfungen zur Dauerhaltbarkeit nach deren Vorgaben durch.

Eine Möglichkeit zur Alterung von Austausch-katalysatoren stellt die Durchführung eines Dauerlaufs in einem realen Fahrzeug dar. Dabei kann jedoch nur ein System je Fahrzeug gealtert werden, was diesen Ansatz aufwändig und teuer macht. Außerdem ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Systeme bei der Alterung in verschiedenen Fahrzeugen nicht unbedingt gegeben. Zusätzlich muss geprüft werden, ob eine Verschlechterung des Abgasverhaltens nur auf das Abgasnachbehandlungssystem oder auch auf eine Veränderung des Fahrzeugs zurückzuführen ist.

Eine übliche Art der Alterung sowohl bei den OEMs als auch bei den Herstellern von Austausch-katalysatoren ist die thermische Alterung im Ofen. In einigen Fällen wird zusätzlich zu der Ofenalterung an einem zweiten Katalysator ein Hot-Shake-Test zur Überprüfung der mechanischen Belastbarkeit durchgeführt. Die Kombination aus Ofenalterung und Hot-Shake-Test ist eine praktikable und relativ kostengünstige Methode, um Aussagen für eine Abschätzung der Dauerhaltbarkeit von Austausch-kats treffen zu können. Das Temperaturprofil bei der Ofenalterung muss an die Anforderungen der zu

Grunde gelegten Prüffahrzeuge angepasst werden. Hier ist ein direkter Kontakt zu dem jeweiligen Fahrzeughersteller wichtig. Allerdings lassen sich bestimmte Alterungsprozesse, wie die Korrosion des Gehäuses oder die thermische Belastung beim Kaltstart bei Alterungen auf einem Prüfstand nur begrenzt oder gar nicht simulieren.

Eine weitere Alternative stellt die Alterung der Abgasnachbehandlungssysteme auf einem Brennerprüfstand dar. Bei der Brenneralterung werden die Abgasnachbehandlungssysteme mit Abgasen beaufschlagt, die in einem Brenner erzeugt werden und die den im tatsächlichen Fahrbetrieb auftretenden Abgasen entsprechen sollen. Bei diesem Verfahren werden die Abgasnachbehandlungssysteme sowohl thermisch als auch chemisch beansprucht.

Im Jahr 2005 wurde von der US EPA im Rahmen des Compliance Assurance Program (CAP 2000) ein Standardverfahren zum Nachweis der Dauerhaltbarkeit von emissionsmindernden Einrichtungen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen eingeführt. Wesentliche Bestandteile dieses Verfahrens sind der Standard Road Cycle (SRC) und der Standard Bench Cycle (SBC). Bei dem Standard Road Cycle (SRC) wird das komplette Fahrzeug durch Fahren eines vorgegebenen Geschwindigkeitsprofils gealtert. Als Alternative zum SRC kann mithilfe des Standard Bench Cycles (SBC) eine beschleunigte Alterung der emissionsrelevanten Bauteile auf einem Prüfstand erfolgen. Dabei wird das zu prüfende Abgasnachbehandlungssystem auf einem Prüfstand mit Abgas beaufschlagt, das mit einem Motor oder mit einem Brenner erzeugt wird. Der SBC wurde insbesondere zur Alterung von Katalysatoren und Lambdasonden konzipiert. Die Anzahl der zu fahrenden SBC wird basierend auf den im SRC und im SBC ermittelten Temperaturprofilen des Katalysators mithilfe einer von der EPA vorgegebenen Formel berechnet. Dieses Verfahren hat sich bewährt und wurde mit der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 für die Durchführung der Alterungsprüfung (Typ 5 Test) bei Abgasnachbehandlungssystemen von Benzinmotoren in die europäische Abgasgesetzgebung übernommen (Anhang 7, Abschnitt 1.3, 2.2 und der Anlage 1) [4, 5, 6].

Mit dem Auftraggeber und der forschungsbegleitenden Lenkungsgruppe wurde vereinbart, im Rahmen dieses Projektes die Brenneralterung für die Untersuchung der Dauerhaltbarkeit von Austausch-kata-

lysatoren zu nutzen. Dieses Verfahren bietet aussagefähige und belastbare Messergebnisse. Die Alterung der Austauschkatalysatoren wurde von der FEV GmbH im Standard Bench Cycle durchgeführt. Der FEV Brennerprüfstand wurde bereits im Rahmen der Typprüfung von mehreren namhaften Fahrzeugherstellern genutzt. Das Alterungsverfahren ist nachfolgend erläutert.

- Ausrüstung eines Original-Austauschkatalysators mit Messtechnik zur Datenerfassung im SRC,
- Einbau des Original-Austauschkatalysators mit Messtechnik in das Testfahrzeug,
- Erfassung des Katalysatortemperaturverlaufs im SRC auf einem Fahrzeugrollenprüfstand,
- Ausbau des Katalysators aus dem Fahrzeug,
- Aufbau des Original-Austauschkatalysators mit Messtechnik auf dem Brennerprüfstand,
- Erfassung des Katalysatortemperaturverlaufs im SBC auf dem Brennerprüfstand,
- Auswertung der Daten und Festlegung der Alterungsdauer für den SBC anhand der Katalysatortemperaturverläufe im SRC und im SBC,
- Ausrüstung der zu alternden Katalysatoren mit Messtechnik,
- Durchführung der SBC Alterung auf dem Brennerprüfstand in mehreren Schritten,

- nach jedem Schritt wird ein Emissionstest gefahren und ausgewertet.

Für die Erfassung der Temperaturen im SRC und die Einstellung des Brennerprüfstandes wurde ein zusätzlicher Original-Austauschkatalysator verwendet.

Standard Road Cycle (SRC)

Der SRC ist ein Laufleistungsakkumulationszyklus, der auf einer Teststrecke oder auf einem Fahrzeugrollenprüfstand gefahren werden kann. Der Zyklus besteht aus 7 Abschnitten von jeweils 6 km. Dieser Zyklus muss dann so oft wiederholt werden, bis die gewünschte Laufleistung erreicht ist. In Bild 3.3 ist ein kompletter SRC Durchlauf zu sehen, dessen Fahrstrecke insgesamt 42 km beträgt.

In Bild 3.4 ist der mit dem Testfahrzeug gefahrene SRC zu sehen. Hierbei wird die Sollgeschwindigkeit (schwarz), die tatsächliche Geschwindigkeit des Testfahrzeugs (rot) und die höchste Temperatur im Katalysator (blau) dargestellt.

Standard Bench Cycle (SBC)

Der SBC wurde konzipiert, um eine Dauerhaltbarkeitsprüfung von emissionsmindernden Einrichtungen auf einem Alterungsprüfstand durchführen zu können. Im SBC wird nicht das gesamte Fahrzeug sondern nur die Abgasanlage gealtert. Für die Alterungsprüfung entsprechend den SBC Spezifikationen wird der Katalysator mit den Lambdasonden auf einem Motor- oder Brennerprüfstand aufgebaut

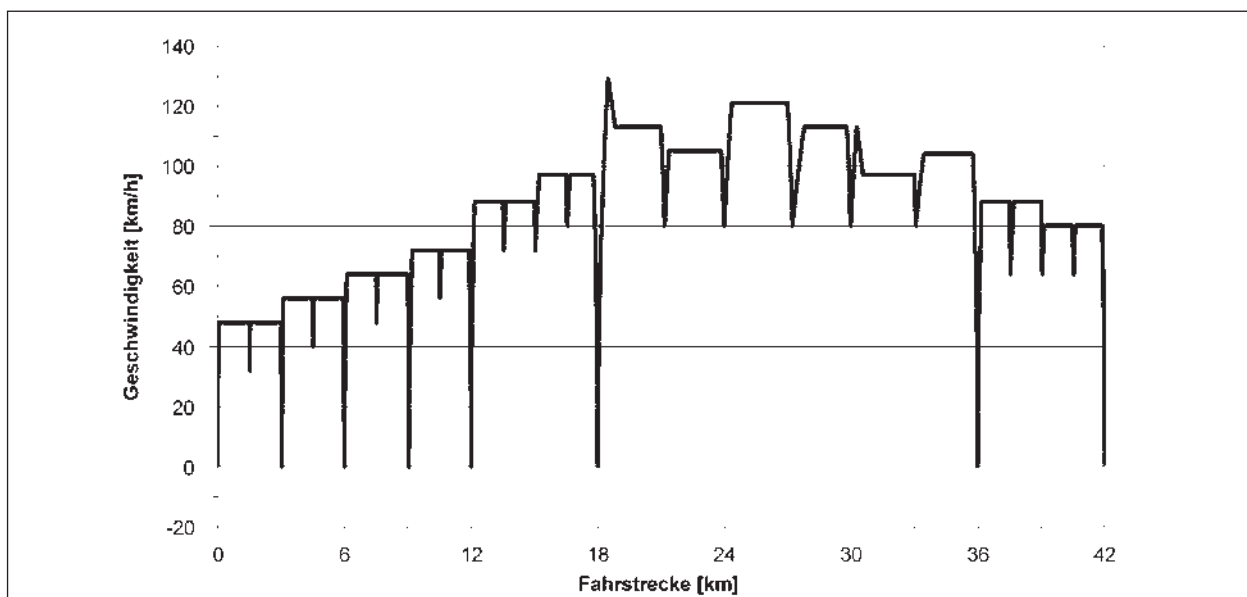


Bild 3.3: Fahrkurve des Standard Road Cycle (SRC)

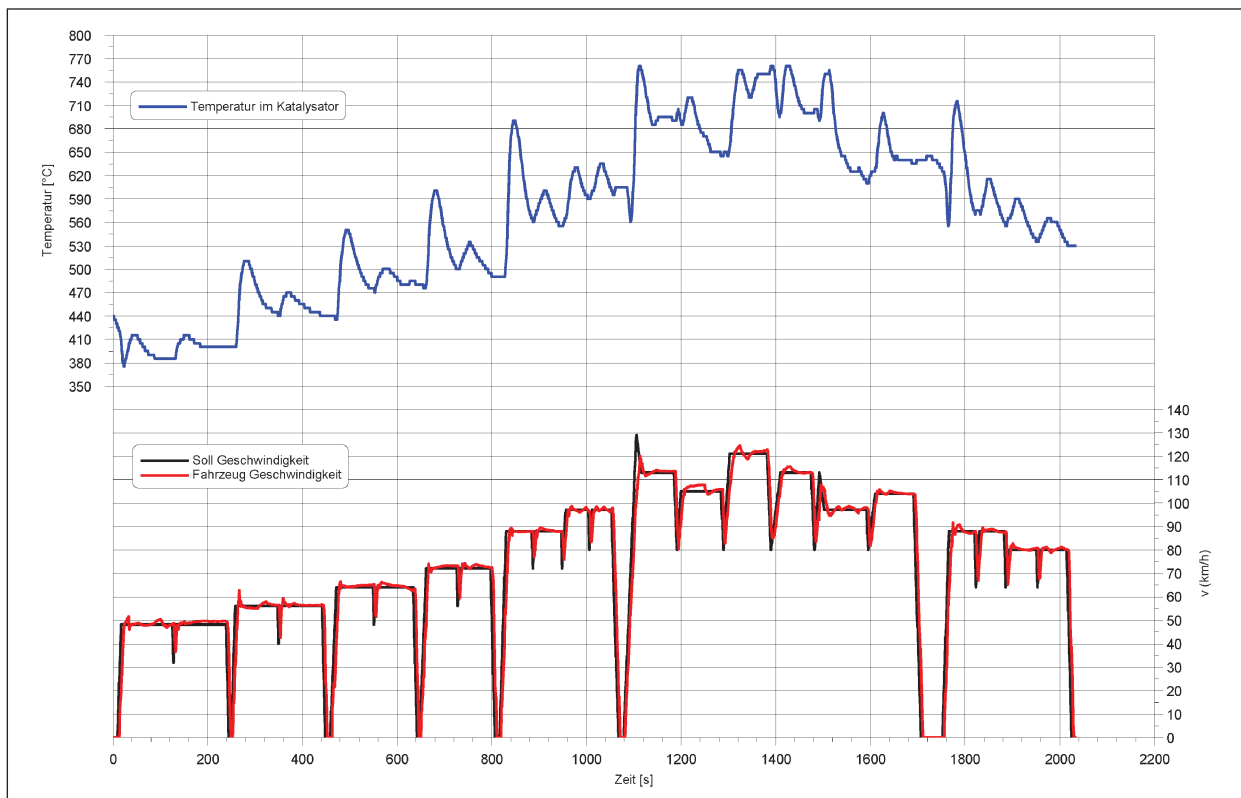


Bild 3.4: Geschwindigkeit und maximale Katalysatortemperatur im SRC

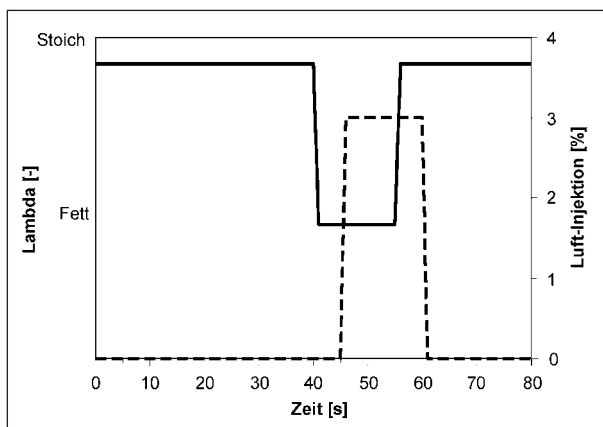


Bild 3.5: Standard Bench Cycle (SBC)

und mit Abgas beaufschlagt. Die wichtigsten Regelgrößen sind dabei die Temperatur im Katalysator und Lambda. Die gesamte Dauer von einem SBC Durchlauf beträgt 60 Sekunden. In den ersten 40 Sekunden wird der Prüfling bei 800 °C und Lambda 1 betrieben. Danach wird auf Lambda kleiner 1 geregelt und nach weiteren 5 Sekunden findet eine Sekundärluft Eindosierung statt. Der Luftstrom wird so eingestellt, dass 3% Sauerstoff im stabilen stöchiometrischen Gemisch erzeugt werden. Durch diese Luft-Injektion findet eine exotherme Reaktion statt, bei der die Temperatur im Prüfling bis 890 °C ansteigt. Die maximale Temperatur kann man durch

Anpassen des Kraftstoff-Luftverhältnisses variieren. Die gesamte Periode bei der Lambda kleiner 1 ist dauert 15 Sekunden, danach liefert der Brenner wieder ein stöchiometrisches Gemisch. Bei 60 Sekunden wird dann auch die Sekundärluft Eindosierung beendet und ein Zyklus ist zu Ende. In Bild 3.5 ist Lambda und die Sekundärluft-Injektion im SBC zu sehen.

In Bild 3.6 ist ein Ausschnitt aus der Alterung des Original-Austauschkatalysators zu sehen. Ein Zyklusprung fängt bei Sekunde 51.507 an, hier wird Lambda (grüne und rote Linie) auf 0,94 geändert. In diesem Punkt wird der Sauerstoff aus dem Monolithen ausgetragen und der Monolith mit HC-Molekülen geflutet. Bei Sekunde 51.513 wird Sekundärluft direkt vor dem Monolithen eindosiert. Die nicht verbrannten HC-Moleküle reagieren mit dem überschüssigen Sauerstoff, wodurch eine exotherme Reaktion im Monolithen stattfindet und die Temperatur bis 890 °C ansteigt. Bei Sekunde 51.523 steigt das Lambda vor Katalysator wieder Richtung eins an, und die Temperatur beginnt wieder auf 800 °C zu sinken. Nach weiteren 5 Sekunden wird die Sekundärluft ausgeschaltet.

Mit dem SBC soll das zu prüfende System so gealtert werden, dass die Alterung einer vorgegebenen

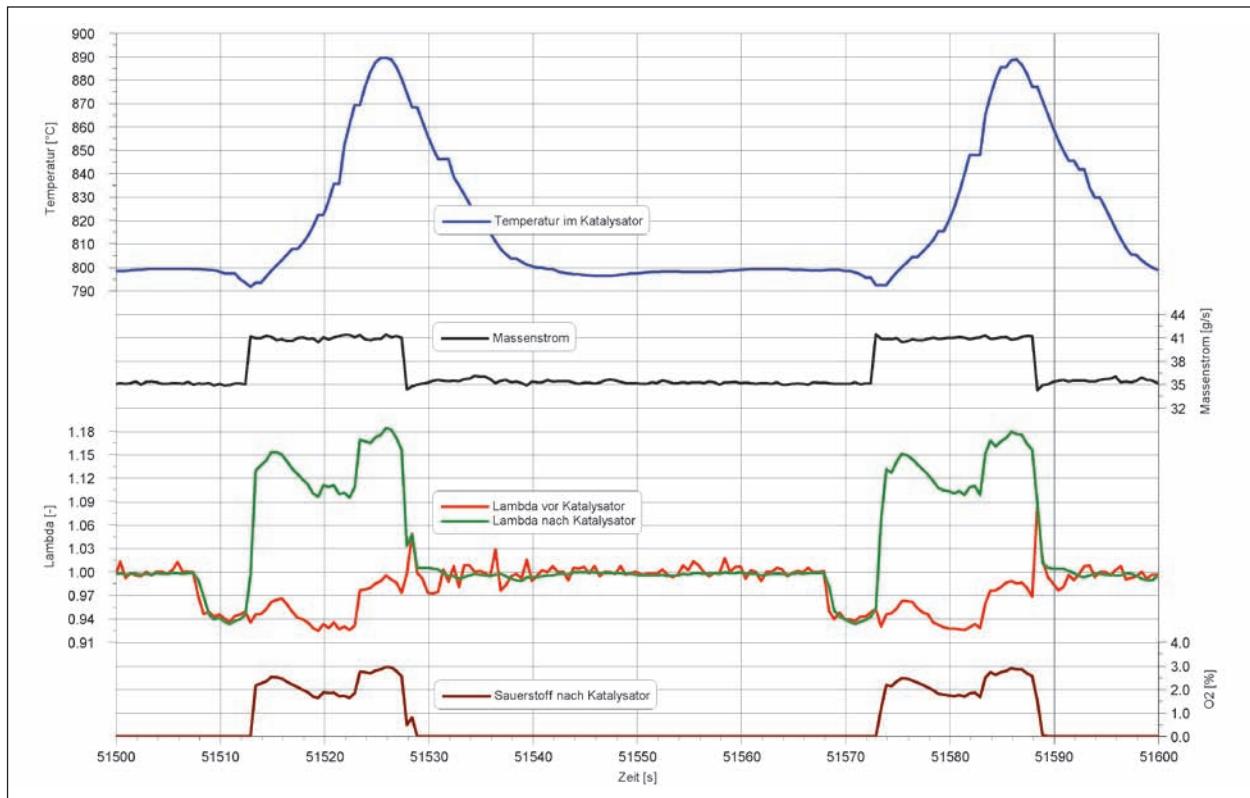


Bild 3.6: Ausschnitt SBC-Alterung VW Katalysator (Kat 83)



Bild 3.7: Prüfling mit Temperatur-Messstellen auf dem Brennerprüfstand

Strecke im SRC entspricht. Als Bezugsgröße dient dabei die Katalysatortemperatur. Das Katalysatortemperaturprofil wird zunächst in einem Testfahrzeug auf einem Rollenprüfstand bestimmt. Durch einen SRC-Durchlauf und Aufzeichnung aller Temperaturen im Prüfling ist zu sehen, wie der Katalysator sich im Fahrzeug verhält. Die Temperaturen werden mit einer Abtastrate von mindestens einem Hertz im SRC gemessen, um das Temperaturprofil zu erstellen. Danach wird die Abgasanlage auf einen Prüfstand montiert und im SBC betrieben. Auch da-

bei wird die Temperatur im Katalysator mit einer Abtastrate von mindestens einem Hertz aufgezeichnet. Anhand der Katalysatortemperaturverläufe im SBC und im SRC wird mithilfe eines von der EPA bereitgestellten Berechnungsprogramms die Anzahl der SBC bestimmt, die gefahren werden müssen um die vorgegebene Fahrstrecke zu simulieren. In Bild 3.7 ist der Brennerprüfstand abgebildet [7].

4 Ergebnisse

4.1 Abgasemissionen im Anlieferungszustand mit dem ursprünglich verbauten Katalysator

Das Testfahrzeug wurde mit einem Kilometerstand von 75.500 km angeliefert. Um die Eignung des Fahrzeuges für die weiteren Untersuchungen zu überprüfen, wurden die Abgasemissionen im Anlieferungszustand im NEFZ gemessen. Die Abgasemissionen des Testfahrzeugs mit dem ursprünglich verbauten Katalysator im Neuen Europäischen Fahrzyklus sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Die Messungen des Testfahrzeugs im Anlieferungszustand mit dem ursprünglich verbauten Katalysa-

tor zeigten sehr gute Ergebnisse, die deutlich unter den Euro-4-Grenzwerten liegen und das Niveau der Typprüfwerte erreichen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Fahrzeug für eine Prüfung von Austauschkatalysatoren nach ECE-Regelung Nr. 103 geeignet ist. Über die gesamte Dauer des Untersuchungsprogramms wurden die Emissionen des Testfahrzeugs regelmäßig mit dem Original-Katalysator überprüft, um sicherzustellen, dass sich das Fahrzeug in einwandfreiem Zustand befand.

| Abgasemissionen im NEFZ | Limitierte Abgasemissionen | | |
|--|----------------------------|------------|------------------------|
| | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] |
| Testfahrzeug im Anlieferungszustand mit Original-Katalysator | 0,271 | 0,040 | 0,049 |
| Typprüfwert für das Testfahrzeug | 0,172 | 0,066 | 0,055 |
| Abgasgrenzwert Euro 4 | 1,0 | 0,1 | 0,08 |

Tab. 4.1: Abgasemissionen des Testfahrzeugs im Anlieferungszustand mit dem ursprünglich verbauten Katalysator

| Abgasemissionen im NEFZ | Limitierte Abgasemissionen | | |
|--|----------------------------|------------|------------------------|
| | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] |
| Testfahrzeug im Anlieferungszustand mit Original-Katalysator | 0,271 | 0,040 | 0,049 |
| Testfahrzeug mit dem Original-Austauschkatalysator | 0,119 | 0,035 | 0,029 |
| Typprüfwert für das Testfahrzeug | 0,172 | 0,066 | 0,055 |
| Abgasgrenzwert Euro 4 | 1,0 | 0,1 | 0,08 |

Tab. 4.2: Abgasemissionen mit OEM-Austauschkatalysator im Neuzustand

| Abgasemissionen im NEFZ | Limitierte Abgasemissionen | | |
|--|----------------------------|------------|------------------------|
| | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] |
| Testfahrzeug im Anlieferungszustand mit Original-Katalysator | 0,271 | 0,040 | 0,049 |
| Testfahrzeug mit dem Original-Austauschkatalysator | 0,119 | 0,035 | 0,029 |
| Testfahrzeug mit Austausch-katalysator 1 | 0,323 | 0,072 | 0,070 |
| Testfahrzeug mit Austausch-katalysator 2 | 0,135 | 0,058 | 0,046 |
| Testfahrzeug mit Austausch-katalysator 3 | 0,230 | 0,056 | 0,039 |
| Testfahrzeug mit Austausch-katalysator 4 | 0,234 | 0,112 | 0,057 |
| Typprüfwert für das Testfahrzeug | 0,172 | 0,066 | 0,055 |
| Abgasgrenzwert Euro 4 | 1,0 | 0,1 | 0,08 |

Tab. 4.3: Mittelwerte der Abgasemissionen mit Austausch-katalysatoren aus dem freien Teilemarkt im Neuzustand

4.2 Abgasemissionen mit dem Original-Austauschkatalysator

Für das Testfahrzeug wurde ein Original-Austauschkatalysator bei einer markengebundenen Werkstatt beschafft. Nach der Eingangsmessung des Testfahrzeugs mit dem ursprünglich verbauten Originalkatalysator wurde dieser Katalysator in das Testfahrzeug eingebaut und entsprechend ECE-Regelung Nr. 103 konditioniert. Anschließend wurden mit dem konditionierten Original-Austauschkat die Abgasemissionen in 3 Messungen im NEFZ ermittelt. Die Mittelwerte der Messergebnisse aus diesen Messungen sind in Tabelle 4.2 dargestellt.

Die Messungen mit dem konditionierten OEM-Austauschkatalysator zeigen hervorragende Ergebnisse. Die Werte bei den Messungen mit dem neuen Original-Austauschkatalysator liegen sogar unter den Typprüfwerten.

4.3 Abgasemissionen mit Austausch-katalysatoren aus dem freien Teilemarkt im Neuzustand

Im Teilehandel wurden 4 Austausch-katalysatoren verschiedener Hersteller für das Testfahrzeug verdeckt beschafft, nach den Herstellervorgaben in das Fahrzeug eingebaut und entsprechend ECE-Regelung Nr. 103 konditioniert. Die Abgasemissionen mit den verschiedenen Austausch-katalysatoren im Neuzustand wurden jeweils dreimal im NEFZ gemessen. Die Mittelwerte der Messergebnisse sind in Tabelle 4.3 dargestellt.

Bei den Messungen im Neuzustand wurden von 3 Austausch-katalysatoren die Euro-4-Grenzwerte

eingehalten. Bei Austauschkatalysator 4 wurde der Grenzwert für die Kohlenwasserstoffe (HC) überschritten.

4.4 Abgasemissionen mit Austausch-katalysatoren nach Alterung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Katalysatoralterung auf dem Brennerprüfstand dargestellt. In Tabelle 4.4 sind die Ergebnisse der Emissionsmessungen (Typ-I-Test) im Neuzustand der Systeme sowie nach 10.000 km, 40.000 km und 80.000 km Brenneralterung aufgelistet. Die Messungen bzw. Prüfungen wurden nach den Vorgaben des in Kapitel 3.2. beschriebenen Untersuchungsprogramms durchgeführt.

Bei den Abgasmessungen im Neuzustand wurde mit dem Austauschkatalysator 4 der Euro-4-Grenzwert für Kohlenwasserstoffemissionen überschritten. Daher wurde die Untersuchung abgebrochen und keine Alterung auf dem Brennerprüfstand und keine weiteren Prüfungen an diesem System mehr vorgenommen. Bei dem Original-Austauschkatalysator und den Austauschkatalysatoren 1, 2 und 3 wurde eine Alterung auf dem Brennerprüfstand durchgeführt.

In den Bildern 4.1 bis 4.5 sind die auf den Euro-4-Grenzwert bezogenen Abgasemissionen über der Alterungsdauer für die verschiedenen Katalysatoren schematisch dargestellt.

In Tabelle 4.5 und Bild 4.1 wird deutlich, dass bei dem Original-Austauschkatalysator nach 80.000 km Alterung ein leichter Anstieg der Emissionen aller limitierten Abgaskomponenten auf-

treten ist. Die Emissionen lagen aber auch nach dem Dauerlauf weit unter den jeweiligen Euro-4-Grenzwerten.

In Bild 4.2 wird deutlich, dass bei Austauschkatalysator 1 bereits nach 10.000 km Alterung eine deutliche Überschreitung des Stickoxidgrenzwertes festgestellt wurde. Daraufhin wurde die Untersuchung abgebrochen.

In Bild 4.3 sind die mit Austauschkatalysator 2 gemessenen Abgasemissionen dargestellt. Während der Alterung ist ein Anstieg der Emissionen aller limitierten Schadstoffkomponenten erkennbar. Nach 40.000 km wurde der Grenzwert für die Stickoxidemissionen überschritten. Daraufhin wurde die Untersuchung an diesem Katalysator beendet.

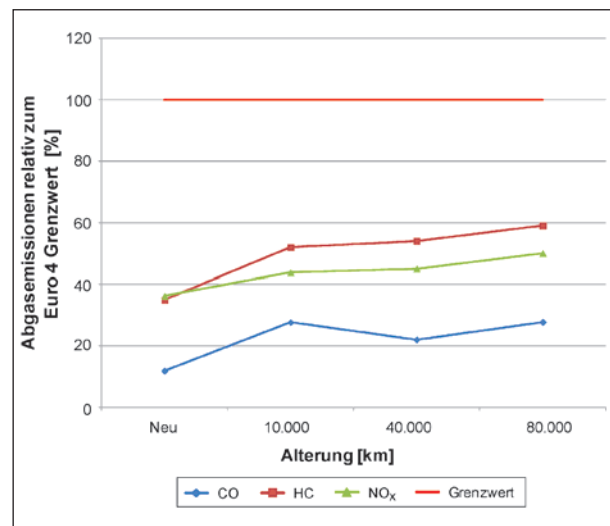


Bild 4.1: Abgasemissionen relativ zum Euro-4-Grenzwert während der Alterung für den Original-Austauschkatalysator

| Abgasemissionen im NEFZ | Original-Austauschkatalysator | | | Austauschkatalysator 1 | | | Austauschkatalysator 2 | | | Austauschkatalysator 3 | | | Austauschkatalysator 4 | | |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|
| | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] |
| Neu, nach Konditionierung | 0,119 | 0,035 | 0,029 | 0,323 | 0,072 | 0,070 | 0,135 | 0,058 | 0,046 | 0,230 | 0,056 | 0,039 | 0,234 | 0,112 | 0,057 |
| Nach 10.000 km Brenneralterung | 0,277 | 0,052 | 0,035 | 0,694 | 0,082 | 0,205 | 0,283 | 0,074 | 0,070 | 0,356 | 0,065 | 0,035 | nicht durchgeführt | | |
| Nach 40.000 km Brenneralterung | 0,221 | 0,054 | 0,036 | nicht durchgeführt | | | 0,439 | 0,082 | 0,089 | 0,341 | 0,063 | 0,036 | nicht durchgeführt | | |
| Nach 80.000 km Brenneralterung | 0,278 | 0,059 | 0,040 | nicht durchgeführt | | | nicht durchgeführt | | | 0,291 | 0,066 | 0,041 | nicht durchgeführt | | |
| Grenzwert Euro 4 | 1,00 | 0,10 | 0,08 | 1,00 | 0,10 | 0,08 | 1,00 | 0,10 | 0,08 | 1,00 | 0,10 | 0,08 | 1,00 | 0,10 | 0,08 |

Tab. 4.4: Mittelwerte der Abgasemissionen mit gealterten Austausch-katalysatoren

Bild 4.4 zeigt die Abgasemissionen, die mit Austauschkatalysator 3 im Neuen Europäischen Fahrzyklus gemessen worden sind in Relation zu den jeweiligen Grenzwerten. Die Abgaswerte mit diesem System waren über die gesamte Alterung stabil und lagen auch in der abschließenden Messung nach 80.000 km weit unter den Euro-4-Grenzwerten. Mit dem Austauschkatalysator 3 wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt, wie mit dem Original-Austauschkatalysator.

In Bild 4.5 sind die mit Austauschkatalysator 4 gemessenen Abgasemissionen relativ zu den Grenzwerten dargestellt. Da bereits im Anlieferungszustand eine Grenzwertüberschreitung festgestellt wurde, wurde keine Alterung durchgeführt. Die in dem Diagramm dargestellten Messpunkte stellen

die Werte für die Eingangsmessung nach der Konditionierung dar.

Bei Austauschkatalysator 1 trat schon nach 10.000 km Brenneralterung eine Überschreitung des Euro-4-Grenzwertes für Stickoxidemissionen auf. Daher wurde die Untersuchung abgebrochen. Bei Austauschkatalysator 2 wurde nach 40.000 km Brenneralterung die Untersuchung aufgrund der Überschreitung des Euro-4-Grenzwertes für NO_x -Emissionen abgebrochen. Lediglich Austauschkatalysator 3 aus dem freien Markt sowie der Original-Austauschkatalysator des OEM konnten auch nach einer Brenneralterung über 80.000 km alle Euro-4-Grenzwerte einhalten. Bei dem Austauschkatalysator 4 wurde bereits im Neuzustand ein Euro-4-Grenzwert überschritten.

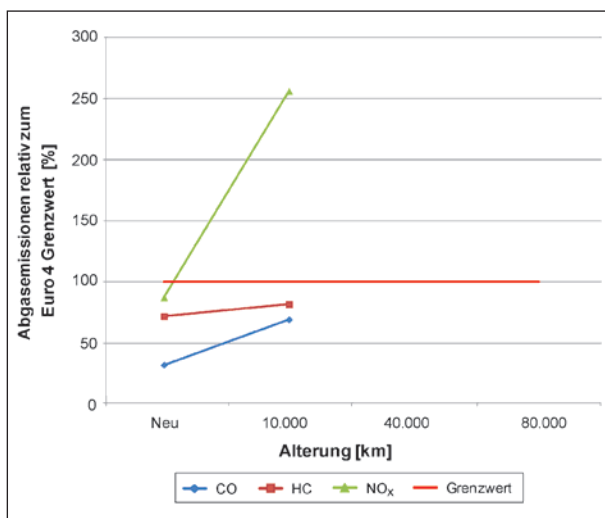


Bild 4.2: Abgasemissionen relativ zum Euro-4-Grenzwert während der Alterung für Austauschkatalysator 1

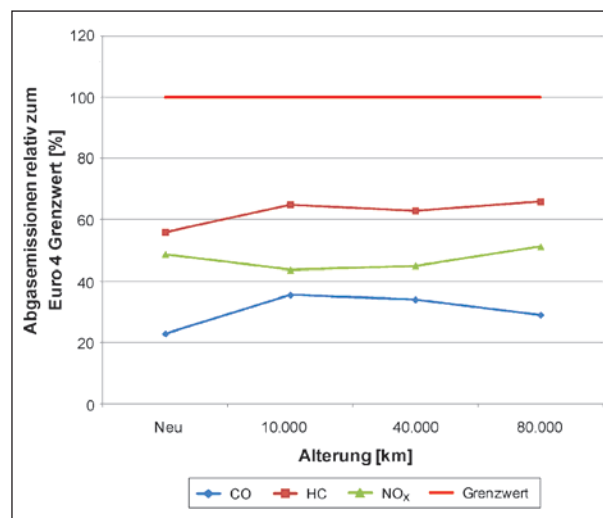


Bild 4.4: Abgasemissionen relativ zum Euro-4-Grenzwert während der Alterung für Austauschkatalysator 3

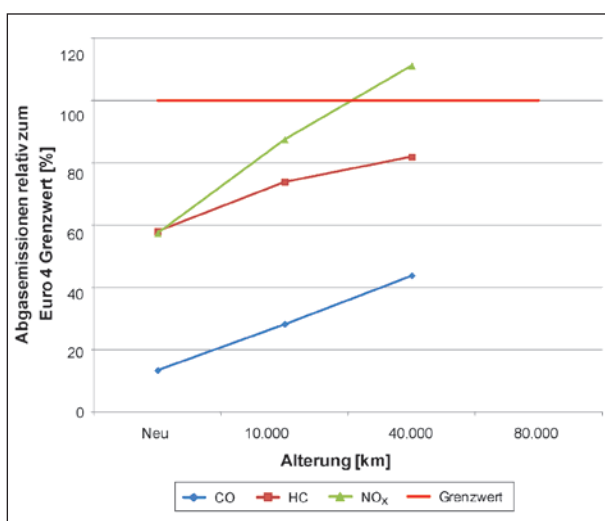


Bild 4.3: Abgasemissionen relativ zum Euro-4-Grenzwert während der Alterung für Austauschkatalysator 2

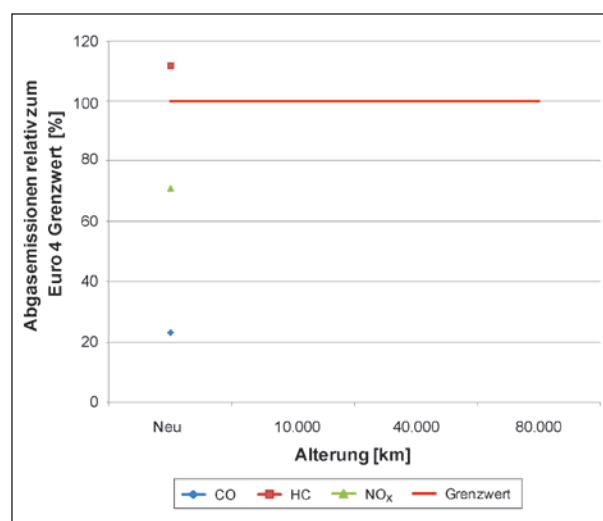


Bild 4.5: Abgasemissionen relativ zum Euro-4-Grenzwert während der Alterung für Austauschkatalysator 4

4.5 Bewertung der Abgasemissionen nach ECE-R 103

Die Genehmigung von Austauschkatalysatoren erfolgt nach den Vorgaben der ECE-Regelung Nr. 103. Dabei werden die zu prüfenden neuen Austauschkatalysatoren entsprechend der Regelung konditioniert und in ein geeignetes Testfahrzeug eingebaut. Die Abgasemissionen des Testfahrzeugs mit dem zu untersuchenden Austauschkatalysator müssen den dargestellten Kriterien (siehe Kapitel 3.1) genügen. In der ECE-Regelung Nr. 103 ist die Anwendung von Verschlechterungsfaktoren vorgesehen, um die Dauerhaltbarkeit der Austauschkatalysatoren sicherzustellen.

In Tabelle 4.5 sind die mit dem Original (OEM) Austauschkatalysator und mit 4 Austauschkatalysatoren aus dem freien Teilemarkt im Neuzustand im Testfahrzeug gemessenen Abgasemissionen sowohl den (relevanten) Euro-4-Grenzwerten als auch den Anforderungen gemäß Kapitel 5.2.3 der ECE-Regelung Nr. 103 gegenübergestellt.

Für die Messung mit dem ursprünglich verbauten Original-Katalysator ist eine Berücksichtigung der Verschlechterungsfaktoren nicht relevant, da dieses System bereits eine Laufleistung von

75.500 km erreicht hatte. Dennoch wurden von diesem Fahrzeug bzw. dem verbauten originären Katalysatorsystem im Anlieferungszustand (d. h. mit einer Laufleistung von 75.500 km) die relevanten Kriterien der ECE-Regelung erfüllt, da die Prüfergebnisse – d. h. die konkret gemessenen Emissionswerte multipliziert mit den entsprechenden Verschlechterungsfaktoren – die jeweiligen Grenzwerte unterschreiten.

Die Werte in Tabelle 4.5 zeigen, dass bei im freien Teilemarkt erhältlichen Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung erhebliche Qualitätsunterschiede auftreten können.

Bei Berücksichtigung der Verschlechterungsfaktoren wurde bei Austauschkatalysator 1 im Neuzustand der Euro-4-Grenzwert für die Stickoxidemissionen überschritten. Darüber hinaus genügt Austauschkatalysator 1 in Bezug auf die HC-Emissionen und im Hinblick auf die Stickoxidemissionen nicht den Bedingungen $M \leq (0,85 \times S + 0,4 \times G)$. Bei den Austauschkatalysatoren 2 und 3 wurden im Neuzustand alle Kriterien erfüllt. Die mit Austauschkatalysator 4 gemessenen Kohlenwasserstoffemissionen überschritten nicht nur den Euro-4-Grenzwert sondern auch den entsprechenden Grenzwert mit Verschlechterungsfaktor. Darüber

| Abgasemissionen im NEFZ | Limitierte Abgasemissionen | | |
|---|----------------------------|---------------|------------------------|
| | CO [g/km] | HC [g/km] | NO _x [g/km] |
| Testfahrzeug im Anlieferungszustand mit Original- Katalysator | 0,271 | 0,040 | 0,049 |
| Testfahrzeug mit dem Original-Austauschkatalysator (S) | 0,119 | 0,035 | 0,029 |
| Testfahrzeug mit Austauschkatalysator 1 (M) | 0,323 | 0,072 | 0,070 |
| Testfahrzeug mit Austauschkatalysator 2 (M) | 0,135 | 0,058 | 0,046 |
| Testfahrzeug mit Austauschkatalysator 3 (M) | 0,230 | 0,056 | 0,039 |
| Testfahrzeug mit Austauschkatalysator 4 (M) | 0,234 | 0,112 | 0,057 |
| Abgasgrenzwert Euro 4 | 1,0 | 0,1 | 0,08 |
| Verschlechterungsfaktor | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Abgasgrenzwert Euro 4 einschließlich Verschlechterungsfaktor (G) | 0,833 | 0,0833 | 0,067 |
| 0,85 x S + 0,4 x G | 0,434 | 0,063 | 0,051 |

Tab. 4.5: Abgasemissionen mit Austauschkatalysatoren im Neuzustand verglichen mit den Anforderungen der ECE-R 103

hinaus genügt Austauschkatalysator 4 in Bezug auf die Kohlenwasserstoffemissionen und im Hinblick auf die Stickoxidemissionen nicht den Bedingungen $M \leq (0,85 \times S + 0,4 \times G)$. Demnach haben neben dem Original Austauschkatalysator nur zwei der vier untersuchten Austauschkatalysatoren die Anforderungen der ECE-Regelung Nr. 103 im Neuzustand erfüllt.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die Dauerhaltbarkeit von Austauschkatalysatoren untersucht. Als Testfahrzeug wurde ein VW Golf mit 1.4-l-Benzinmotor ausgewählt. Zu Beginn der Untersuchungen wies das Fahrzeug eine Laufleistung von 75.500 km auf. Das ausgewählte Fahrzeug war regelmäßig entsprechend den Herstellervorgaben gewartet worden. Im OBD-System waren keine abgasrelevanten Fehler abgelegt. Bei der Eingangsmessung des Fahrzeuges im Anlieferungszustand mit dem ursprünglich verbauten Katalysator wurden die anzuwendenden Euro-4-Grenzwerte deutlich unterschritten.

Anschließend wurde ein Original-Austauschkatalysator, der in einer markengebundenen Fachwerkstatt, und 4 Katalysatoren, die verdeckt im freien Teilemarkt beschafft worden waren, untersucht. Die Austauschkatalysatoren wurden entsprechend den Vorgaben der ECE-Regelung Nr. 103 konditioniert und dann im Neuzustand vermessen. Anschließend wurden die Katalysatoren auf einem Brennerprüfstand gealtert. Dabei wurde eine Laufleistung von insgesamt 80.000 km simuliert. Nach 10.000 km und 40.000 km wurde die Alterung unterbrochen und die Abgasemissionen des Testfahrzeugs mit den gealterten Katalysatoren gemessen. Sobald bei einem Katalysator eine Grenzwertüberschreitung festgestellt wurde, wurde die Untersuchung beendet.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass bei im freien Teilemarkt erhältlichen Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung erhebliche Qualitätsunterschiede auftreten können. Nur mit dem Original-Austauschkatalysator und mit einem Austauschkatalysator, der im freien Markt beschafft worden war, konnten auch nach einer Alterung über 80.000 km die Euro-4-Grenzwerte eingehalten werden. Bei einem Austauschkatalysator wurden bereits im Neuzustand die Euro-4-Grenzwerte über-

schritten. Bei einem anderen Austauschkatalysator wurde die Untersuchung nach 10.000 km Alterung und bei einem weiteren Katalysator nach 40.000 km Alterung aufgrund einer Überschreitung der Euro-4-Grenzwerte abgebrochen.

Austauschkatalysatoren, die im Zubehörmarkt angeboten werden, werden auf Basis der ECE-Regelung Nr. 103 genehmigt. Diese Regelung sieht eine Prüfung der Dauerhaltbarkeit derartiger Systeme über 80.000 km vor, ermöglicht jedoch alternativ die Verwendung von festen Verschlechterungsfaktoren. In der Praxis wird die Dauerhaltbarkeit der Austauschsysteme zur Abgasnachbehandlung von ihren Herstellern garantiert, eine Überprüfung findet im Rahmen der Genehmigung jedoch in den seltensten Fällen statt. Eine Feldüberwachung für Austauschsysteme zur Abgasnachbehandlung ist in den entsprechenden Vorschriften nicht vorgesehen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen darauf hin, dass die derzeitigen Anforderungen in der ECE-Regelung Nr. 103 noch nicht ausreichen, um die Dauerhaltbarkeit von Austauschkatalysatoren sicherzustellen.

6 Literatur

- [1] Amtsblatt der Europäischen Union: Regelung Nr. 103 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (United Nations Economic Commission for Europe – UNECE) „Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung von Austauschkatalysatoren für Kraftfahrzeuge“
- [2] Kraftfahrt-Bundesamt: Fahrzeugzulassungen, Bestand, Emissionen, Kraftstoffe, 1. Januar 2009
- [3] Amtsblatt der Europäischen Union: Regelung Nr. 83 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Emission von Schadstoffen aus dem Motor entsprechend den Kraftstoffanforderungen des Motors“, Amtsblatt der Europäischen Union
- [4] Amtsblatt der Europäischen Union: Verordnung (EG) Nr. 715/2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und

über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge, Amtsblatt der Europäischen Union, 2007

- [5] Amtsblatt der Europäischen Union: Verordnung (EG) Nr.692/2008 der Kommission vom 18. Juli 2008 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge, Amtsblatt der Europäischen Union, 2008
- [6] Federal Register: Emission Durability Procedures for New Light-Duty Vehicles, Light-Duty Trucks and Heavy-Duty Vehicles; Environmental protection agency, 40 CFR Part 86; Federal Register/Vol. 71, No. 10/Tuesday, January 17, 2006/Rules and Regulations
- [7] Environmental protection agency: Bench Aging Time Calculator (BAT); <http://www.epa.gov/otaq/regs/ld-hwy/durability/index.htm#bat>, Stand 2013

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2005

F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00

F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00

F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren
Steven, Kleinebrahm € 15,50

F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50

F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit
Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

2007

F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50

F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbelastung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

2008

F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen
Jebas, Schellinger, Klinger, Manz, Kooß € 15,50

F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw
Weber € 20,00

F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00

F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland
Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00

F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen
Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggers, Lerner, Ellmers € 13,50

2009

F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild
Bartels, Sander € 13,50

F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th / 6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50

F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern
Seiniger, Winner € 16,50

2010

F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten
Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50

F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen
Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

2011

F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen
Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50

F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und IST-Architekturen im Straßenverkehr
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands
Eichinger € 15,00

F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50

F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011
Lotz, Luks € 17,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

2012

F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe
Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50

F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00

F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock,
Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes
Gehring, Zander € 14,00

F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit
Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50

F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit
Nuß, Eckstein, Berger € 17,90

F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik
Kroen € 17,00

F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung
Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren
Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw
Schönemann, Henze € 15,50

F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr
Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic
Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung
Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires
Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen
Süßmann, Lienkamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eine Testverfahrens
Schreck, Seiniger € 14,50

F 105: Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung
Schmidt, Georges € 14,50

F 105b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity
Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 106: Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalsatoren
Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters
Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.