

On-Board-Diagnose (OBD)

**Analyse der OBD in Bezug
auf zukünftig verfügbare
Emissionsdaten für die
Periodische Technische
Inspektion (PTI)**

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 152

bast

On-Board-Diagnose (OBD)

Analyse der OBD in Bezug auf zukünftig verfügbare Emissionsdaten für die Periodische Technische Inspektion (PTI)

von

Stefan Hausberger
Claus Matzer
Silke Lipp

Forschungsgesellschaft für
Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH
Graz

Jürgen Blassnegger

Technisches Büro Blassnegger
Wolfsberg

Thomas Hametner
Andrej Prosenc

Österreichischer Automobil-, Motorrad-
und Touringclub (ÖAMTC)
Wien

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 152

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 Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, 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 Kommunikation.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 84.0536

On-Board-Diagnose (OBD): Analyse der OBD in Bezug auf zukünftig verfügbare Emissionsdaten für die Periodische Technische Inspektion (PTI)

Fachbetreuung

Sigrid Limbeck

Referat

Emissionen im Kraftfahrzeugbereich

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
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 978-3-95606-761-7

Bergisch Gladbach, Oktober 2023

Kurzfassung – Abstract

On-Board-Diagnose (OBD) – Analyse der OBD in Bezug auf zukünftig verfügbare Emissionsdaten für die Periodische Technische Inspektion (PTI)

Im Rahmen dieser Studie wurde zuerst der IST-Zustand zur OBD-Gesetzeslage detailliert dargestellt. Eine folgende umfangreiche Befragung der Prüforganisationen sowie des KBA zu emissionsrelevanten OBD-Themen erfolgte unter Zuhilfenahme des ÖAMTC-Abfrageportals. Die Befragung ergab unter anderem, dass ein erweiterter Bedarf an OBD-Informationen zur Beurteilung emissionsrelevanter Systeme für die PTI vorwiegend bei NO_x-Sensoren, Differenzdruckdaten des Partikelfilters, der Abgastemperatur, den Informationen zu Reagenzien und Abgasrückführung erforderlich sind.

Im Weiteren wurde exemplarisch an drei Fahrzeugen untersucht, welche Daten aktuell über die OBD-Schnittstelle ausgelesen werden können, und ob bei emissionsrelevanten Bauteilen Diagnosejobs, wie zum Beispiel Aktuatorensteuerung aktiv eingeleitet werden können. Die Untersuchung ergab ein sehr unterschiedliches Bild über die verfügbaren Daten und Möglichkeiten.

Anschließend wurden im Rahmen dieser Arbeit diverse Sensoren, wie z.B. NO_x-Sensoren, NH₃-Sensoren und PM-/PN-Sensoren, hinsichtlich ihrer Eignung für OBD- und PTI-Aufgaben analysiert. Die Sensoranalyse erfolgte anhand von Datenblättern sowie Befragung der Sensorhersteller. Der NO_x-Sensor wurde in der Bewertung als tauglichster Sensor für eine weiterführende Untersuchung ermittelt und kommt zudem bereits seit einigen Jahren serienmäßig in Diesel-Fahrzeugen zum Einsatz. Daher eignet sich dieser Sensor gut, um zukünftig die NO_x-Emissionen im realen Betrieb zu überwachen und wurde deshalb auch für die detaillierte messtechnische Untersuchung ausgewählt.

Die detaillierte messtechnische Untersuchung wurde mit einem modernen Diesel-Pkw der Abgasnorm Euro 6d durchgeführt. Mit dem Versuchsfahrzeug wurden Messungen am Pkw-Rollenprüfstand sowie auf der Straße durchgeführt. Auch Fahrten mit speziell erzeugten fehlerhaften Abgasnachbehandlungssystemen sind aufgezeichnet worden. Insgesamt wurden etwa 4.500 Fahrzeugkilometer an Messdaten mit verschiedenen Fahrsituationen ge-

sammelt, welche mit einem Datenlogger aufgezeichnet und folgend für die Methodenentwicklung herangezogen wurden.

Bei der Entwicklung der Methode für eine zukünftige NO_x-Überwachung im realen Fahrzeugbetrieb wurde darauf Rücksicht genommen, dass höhere NO_x-Emissionen in bestimmten Fahrsituationen, welche für das Abgasnachbehandlungssystem herausfordernd sind, nicht als Fehler identifiziert werden, sofern das Abgasnachbehandlungssystem ordnungsgemäß arbeitet. Die erarbeitete Methode beurteilt die Funktionalität der NO_x-Abgasnachbehandlungssysteme durch das Verhältnis g_{NO_x}/kg-Kraftstoff. Die NO_x-Sensor- und Kraftstoffverbrauchssignale konnten beim Versuchsfahrzeug über die OBD-Schnittstelle abgerufen werden. Es wird davon ausgegangen, dass auch in modernen Pkw anderer Hersteller diese Signale verfügbar sind. Liegt das ermittelte Verhältnis über einem Schwellenwert, so liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Fehler des NO_x-Abgasnachbehandlungssystems vor, liegt das Verhältnis unter dem Schwellenwert, so kann davon ausgegangen werden, dass kein Fehler vorliegt. Das g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}-Verhältnis könnte bei einem errechneten Wert oberhalb des Schwellenwertes zu einer anlassbezogenen PTI führen oder als Fehler mit der MIL im Display angezeigt werden oder im Zuge der regulären PTI ausgelesen werden. Derzeit wird im Rahmen der Arbeiten zu Euro 7 diskutiert, ob Fahrzeuge bei der geplanten Euro 7 Gesetzgebung NO_x-Grenzwerte betriebswarm unter jeglichen Fahrsituationen einhalten müssen. Gegebenenfalls könnte dann eine Überwachung im realen Betrieb auch über g/km erfolgen. Die Anwendung der erarbeiteten Methode mit g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff} wäre aber weiterhin möglich. Es wird daher empfohlen, nach Fixierung der relevanten Details der Euro 7 Gesetzgebung die vorgeschlagene Methode mit g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff} zu validieren und zu optimieren.

On-board diagnostics (OBD) – Analysis of the OBD with regard to emission data available in future for the Periodic Technical Inspection (PTI)

Within this study, the current state of OBD legislation was first investigated in detail. A subsequent comprehensive survey of the experience of testing

organizations and the KBA on emission-relevant OBD topics was conducted using the ÖAMTC query portal. The survey revealed that an extended need for OBD information for the assessment of emission-relevant systems for the PTI is required for NO_x sensors, for differential pressure data of the particulate filter, for exhaust gas temperature, for information on reagents and for exhaust gas recirculation.

In addition, three vehicles were used as examples to investigate which data can currently be read out via the OBD interface and whether diagnostic jobs, such as actuator control, can be actively initiated for emission-relevant components. The investigation showed a very varied picture of the available data and possibilities.

Subsequently, different sensors, such as NO_x sensors, NH₃ sensors and PM/PN sensors, were analysed within the scope of this work with regard to their suitability for OBD and PTI tasks. The sensor analysis was based on data sheets and interviews with sensor manufacturers. The NO_x sensor was identified in the evaluation as the most suitable sensor for further investigation and has also been used as standard in diesel vehicles for several years. This sensor is therefore well suited to monitoring NO_x emissions in real operation in the future and was therefore also selected for the detailed investigation.

The detailed investigation was carried out with a modern Euro 6d diesel passenger car. Tests were performed on the chassis dynamometer as well as on the road. Tests with specially generated faulty exhaust aftertreatment systems have also been recorded. A total of around 4,500 vehicle kilometres of measurement data were collected with various driving situations, which were recorded with a data logger and subsequently used for method development.

In developing the method for future NO_x monitoring in real vehicle operation, consideration was given to the fact that higher NO_x emissions in certain driving situations, which are challenging for the exhaust aftertreatment system, are not identified as a fault, provided that the exhaust aftertreatment system is working properly. The developed method assesses the functionality of NO_x exhaust aftertreatment systems by the ratio $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Fuel}}$. The NO_x sensor and fuel consumption signals could be retrieved from the OBD interface on the test vehicle. It is

assumed that these signals are also available in modern passenger cars from other manufacturers. If the determined ratio is above a threshold value, there is a high probability that there is a fault in the NO_x exhaust aftertreatment system. If the ratio is below the threshold value, it can be assumed that there is no fault. The $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Fuel}}$ ratio, if calculated above the threshold, could lead to an occasion-based PTI or be indicated as a fault with the MIL in the driver information display or be read out during the regular PTI. As part of the work on Euro 7, it is currently being discussed whether vehicles will have to comply with NO_x limits at operating points under almost any driving situations in the planned Euro 7 legislation. Monitoring in real operation could then also be carried out via g/km as alternative. However, the application of the developed method with $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Fuel}}$ would still be possible. It is therefore recommended to validate and optimize the most suitable method with $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Fuel}}$ after the boundary condition of the Euro 7 RDE test conditions are defined.

Summary

On-board diagnostics (OBD) – Analysis of the OBD with regard to emission data available in future for the Periodic Technical Inspection (PTI)

Within the scope of the project “Analysis of OBD in relation to emission data available in future for the Periodic Technical Inspection (PTI)”, work was carried out on the following points:

1. Research on the state of the art of the on-board diagnostic (OBD) legal situation.
2. Survey on the experiences of testing organizations and KBA on the OBD subjects
3. Exemplary examination, which data can be read out via OBD interface of vehicles
4. Analysis of different sensors, e.g. with regard to their suitability for OBD and PTI tasks
5. Method development of a future NO_x monitoring in real vehicle operation
6. Investigation of a modern test vehicle and application of the proposed methodology

These points are briefly described below.

1. At the beginning of the work, the current status of OBD legislation was presented. In the research on the current legal situation, regulations that are in force, have EU-wide validity, are available in German and have the subject reference on-board diagnosis of emission data in relation to vehicle type approval and periodic technical inspection were analysed. In addition, the regulations had to concern the vehicle classes M1 vehicles up to 3,500 kg gross weight and N1 vehicles. In total, 23 publications were identified during the search, nine of which met the inclusion criteria described above. These are:

- Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr, mit den Bestimmungen über die Durchführung der besonderen Überprüfung und wiederkehrenden Begutachtung von Fahrzeugen
- VERORDNUNG (EU) Nr. 461/2010 DER KOMMISSION
- DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/621 DER KOMMISSION

- RICHTLINIE 2014/45/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
 - VERORDNUNG (EU) 2018/858 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
 - DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/621 DER KOMMISSION
 - Mängelkatalog der Bundesinnung der Fahrzeugtechnik für alle Fahrzeugklassen
 - UNECE (2013): Regelung Nr. 49
 - UNECE (2018): Regelung Nr. 83
2. 12 testing organizations were selected for interviews. Ten were from German-speaking countries (7 Germany, 3 Austria). In addition, the Dutch and Danish traffic authorities were included in the survey. The questionnaire was developed in close cooperation between the entire project team and BAST. In the survey, the participants gave their views on the assessment of the OBD data that can currently be read out, on the additional need for OBD information for the assessment of emission-relevant systems in the course of the PTI, on current and future desired diagnostic jobs, on experiences with reading out the on-board fuel consumption monitoring data (OBFCM data), on future emission legislation and on general comments and additions to the topic of OBD. Following the survey of the monitoring facilities, the KBA was contacted. It was asked whether the KBA had any additional requirements for the OBD system that would be helpful for type approval or market surveillance. The survey revealed that an extended need for OBD information for the assessment of emission-relevant systems for the PTI is required for NO_x sensors, differential pressure data of the particulate filter, exhaust gas temperature, information on reagents and exhaust gas recirculation.
 3. The project also examined which data can currently be read out via the OBD interface and which diagnostic jobs (e.g. actuator control) can be actively initiated for emission-relevant components. For this purpose, three Euro 6 vehicles were tested with the BOSCH KTS 560. All three vehicles meet the requirements for the data to be made available, but in some cases with very different formats and interpretations of

the obligations. For Euro 7, it would be helpful to define more precisely the data to be made available for PTI at the OBD (or on-board monitoring) interface.

4. Furthermore, different sensors, such as NO_x sensors, NH₃ sensors and PM/PN sensors, were analysed within the scope of this work with regard to their suitability for OBD and PTI tasks. The sensor analysis was based on data sheets as well as interviews with sensor manufacturers. A total of 16 sensors were analysed. Each sensor was evaluated according to the following criteria:
 - a) The suitability of the sensor to enhance or improve PTI in the future.
 - b) Development work still required for the sensor to be used in series production.
 - c) Cost of installing the sensor in a vehicle.
 - d) Effort for data acquisition/evaluation.
 - e) Cost of the sensor for series use, taking into account a long service life.

In the evaluation, the NO_x sensor was found to be the most suitable sensor for further investigation. In addition, it has already been installed as standard in diesel vehicles for several years. This sensor is therefore well suited to monitoring NO_x emissions in real-world operation in the future and was selected for the detailed investigation. The standard NO_x sensors are currently undergoing continuous further development. For example, new generations of NO_x sensors under development have a faster response in the cold-start phase and better accuracy at low concentrations. In the course of this project, the current sensor generation could be used without restriction, since the NO_x emissions are to be monitored over longer driving distances and thus the cold-start behaviour of the vehicle is not decisive, as well as faults in the exhaust gas aftertreatment lead to very high NO_x emissions, for which the difference in accuracy is not decisive.

- 5 + 6. The detailed investigation was carried out with a modern Euro 6d diesel passenger car. The exhaust gas aftertreatment system of the test vehicle consists of exhaust gas recirculation, an oxidation catalytic converter, a particulate filter and two SCR catalytic converters including ammonium slip catalyst. Three NO_x sensors are also installed in the test vehicle as standard.

One NO_x sensor is installed at the end of the exhaust line and can therefore detect whether the NO_x exhaust aftertreatment system is working properly. Measurements were carried out with the test vehicle on the chassis dynamometer and on the road. A total of around 4,500 vehicle kilometres of measurement data were collected and recorded using a data logger. For the most part, the data includes conventional driving on the road (approx. 3,500 vehicle kilometres). However, it also includes measurement data in which the exhaust aftertreatment system was modified (a total of approx. 450 vehicle kilometres) in order to be able to test the method for future NO_x monitoring. For this purpose, the following modifications were made to simulate a defect exhaust aftertreatment system:

- AdBlue feed lines to the dosing valves disconnected and AdBlue fed into collection tank
- AdBlue tank emptied
- AdBlue tank filled with distilled water
- Exhaust gas recirculation valve unplugged

Measurement data was also collected for driving situations that are challenging for the exhaust aftertreatment system (approx. 250 vehicle kilometre). Driving uphill and downhill with and without a load as well as long traffic jams were classified as challenging driving situations. Figure 1 shows the NO_x emissions of the NO_x sensor installed by the vehicle manufacturer (OEM NO_x sensor) end-of-tailpipe of the individual tests, which are sorted in ascending order in the figure. The NO_x measurement data for the 110 tests range from 1 mg/km to 150 mg/km. The data also includes tests where periodic particle filter regenerations happened, which can lead to higher NO_x emissions. Changes to the exhaust aftertreatment system and challenging driving situations also lead to higher NO_x emissions. The tests were carried out between -15°C and 35°C ambient temperature. The average speed of the tests or drives was 58 km/h, the maximum speed was 170 km/h.

All measurement data were used for development of the method. The following boundary conditions were taken into account when developing the method for future NO_x monitoring in real vehicle operation:

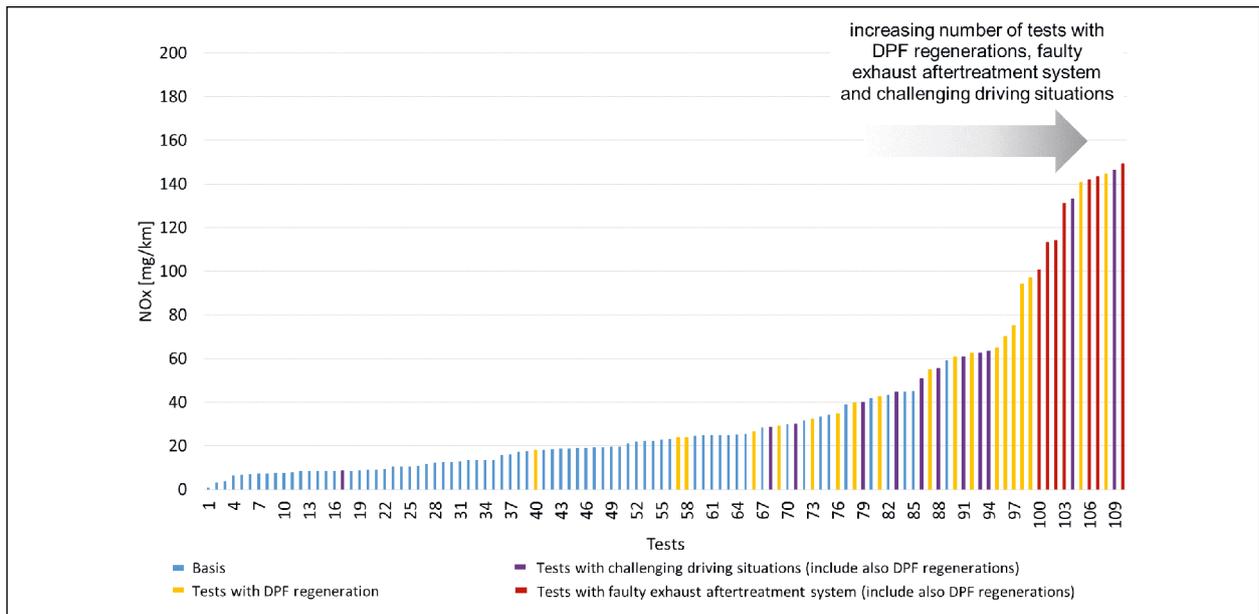


Fig. 1: NO_x measurement data of the test vehicle of the individual tests arranged in ascending order (measurement data from each point in time from which the OEM NO_x sensor was active)

- The method should be able to detect faults in the NO_x exhaust aftertreatment system. For this purpose, signals can be used which are already available in modern passenger cars with sufficient accuracy via the OBD interface of the vehicle.
- The application of the method should be possible for diesel as well as gasoline passenger cars. In the course of this project, the focus was on diesel passenger cars.
- It should be taken into account that higher NO_x emissions in certain driving situations, which are challenging for the exhaust aftertreatment system, shall not be identified as a fault, provided that the exhaust aftertreatment system is working properly.

When developing the method, a reference of the NO_x emissions to the kilometres driven [g/km] did not appear to be useful, since driving situations (e.g. with very high engine power) can lead to higher NO_x emissions in g/km, even if there is no fault in the exhaust aftertreatment system. A reference of NO_x emissions to engine power therefore seems to be more appropriate. In many cases engine power is not available as a standard signal or is not available with sufficient accuracy via the OBD interface. However, since engine power is directly related to fuel mass flow (the relationship is also known as the Willans line), fuel consumption can also be used as a reference. The NO_x sensor and fuel consumption

signal could be retrieved from the test vehicle via the OBD interface. It is assumed that these signals are also available in modern passenger cars from other manufacturers. If necessary, the relevant OBD signals should then also be checked for function and accuracy in the course of vehicle RDE tests in the future to ensure the validity of these OBD signals. The following method proposal was derived from these considerations:

- Assessment of NO_x exhaust aftertreatment systems by the ratio g_{NO_x}/kg_{Fuel} . If the calculated ratio is above a threshold, there could be a fault in the NO_x exhaust aftertreatment system. The g_{NO_x}/kg_{Fuel} ratio, if above the threshold, could lead to an "occasion-based" PTI or be indicated as a fault with the MIL in the driver information display or be read out during the regular PTI. It would then make sense for the OBD system to also be able to define a source of error to enable efficient repairs.

The method was applied to the measured data. In a first step, the ratio g_{NO_x}/kg_{Fuel} was calculated for each trip from which OEM NO_x sensor data were available at end-of-tailpipe. Figure 2 shows the result for the individual tests with the test vehicle plotted over the fuel consumption in l/100 km. Each data point represents the average value of a trip, calculated from the time when the OEM NO_x sensor was active. Data points outlined in red are those tests in which the exhaust aftertreatment system

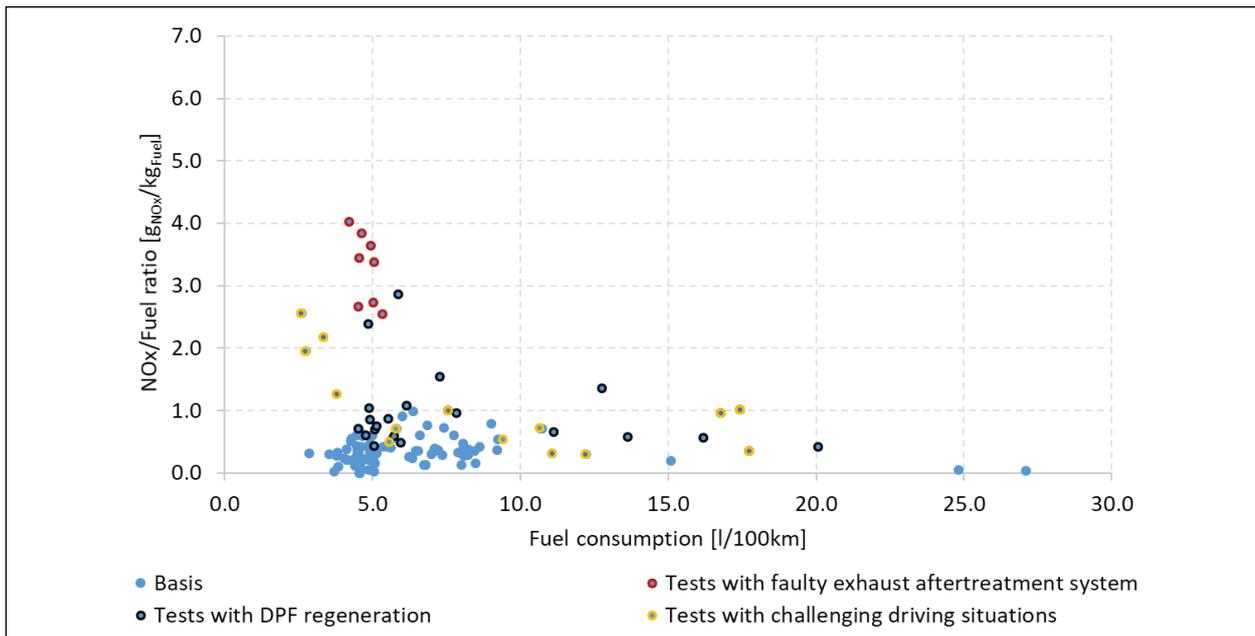


Fig. 2: Application of the proposed method to the measurement data of the test vehicle

was modified. Data points that are outlined in black are those tests in which diesel particulate filter regeneration (DPF regeneration) took place during the test. Tests with driving situations that are challenging for the exhaust aftertreatment system are outlined in yellow. It can be clearly seen that tests with a faulty exhaust aftertreatment system have a higher g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio than normal tests without DPF regeneration. It can also be seen that tests with DPF regeneration and tests with challenging driving situations can have higher g_{NOx}/kg_{Fuel} ratios. The challenging driving situations included several uphill and downhill trips. During the uphill runs, high NO_x emissions but also high fuel consumption were present, which is why the g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio can again be classified as non-critical. During downhill runs, fuel consumption can be very low due to the longer drag phases, so that even with low NO_x emissions per kilometre, the g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio can be in the range of a faulty exhaust gas aftertreatment system (e.g. the three data points outlined in yellow shown in the left area in Figure 2).

The application of the method to longer distances is intended to compensate for possible uncertainties that may lead to higher g_{NOx}/kg_{Fuel} ratios for short tests, but where there is no fault in the exhaust gas aftertreatment. The investigations were carried out for 100 km sections. For this purpose, the measurement data of the test vehicle, which were recorded from the OEM NO_x sensor on the road, were strung together and evaluations were performed over 100 km sections. Figure 3 shows

the calculated ratios plotted against l/100km fuel consumption. Each data point represents the ratio over a 100 km section. In the course of the evaluation, it was found that tests with DPF regeneration phases can still lie in those areas where trips with faulty exhaust aftertreatment systems lie. Therefore, route sections with DPF regeneration phases were filtered out before calculating the g_{NOx}/kg_{Fuel} ratios on 100 km sections. It can be clearly seen that the tests made with properly working exhaust gas aftertreatment system and without DPF regeneration phases are below a g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio of 1. This also includes tests with challenging driving situations, such as uphill and downhill driving. In contrast to Figure 2, the challenging driving situations do not show conspicuous emission levels, since the downhill tests compensate with other tests over 100 km sections. However, should a downhill drive over 100 km take place, the g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio could lie in a range in which values from faulty exhaust gas aftertreatment systems also lie. To prevent this, a corresponding filter was also developed as part of this project. In summary, it can be recommended that the g_{NOx}/kg_{Fuel} ratios should not be considered on a cycle-specific basis, but rather over 100 km sections.

Based on the measurement data of the test vehicle, a possible threshold value was also derived and plotted in Figure 3. Below this threshold value, a properly working exhaust gas aftertreatment system can be assumed, at least for this test vehicle. If the

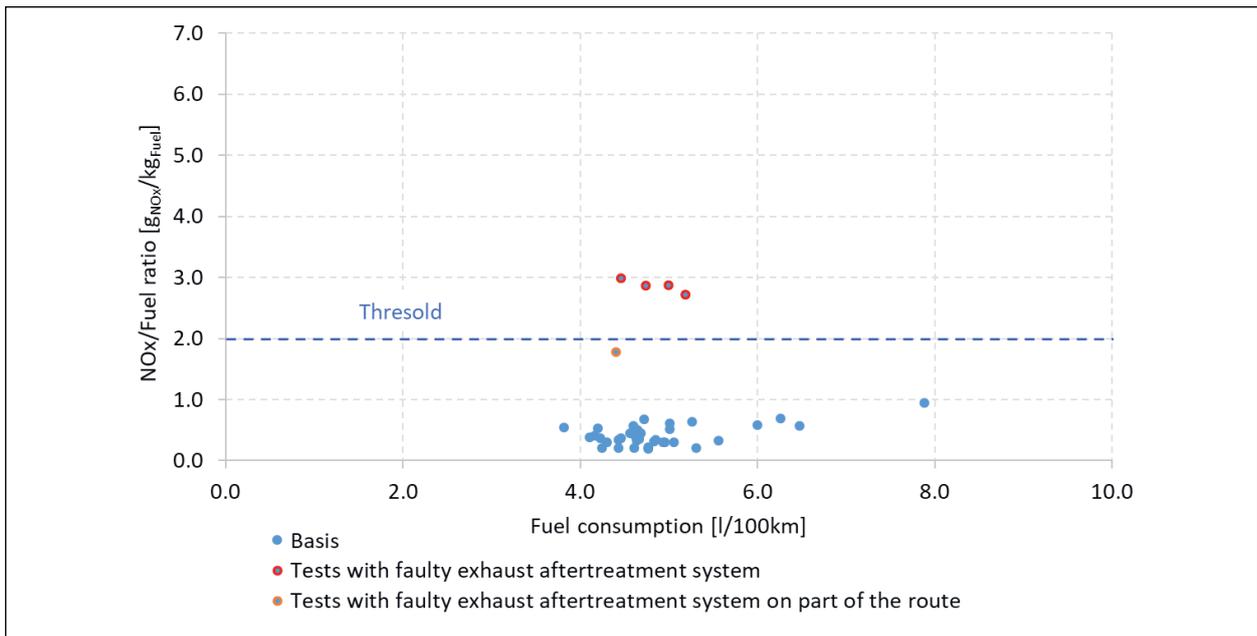


Fig. 3: Possible threshold for distinguishing a faulty and properly working exhaust aftertreatment system

g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio is above the threshold value, a fault in the exhaust emission control system can be assumed. A g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio of 2 was derived as the threshold value. The data point at which the error first occurred during the 100 km interval would not yet be detected with a g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio of just under two, but if the error persisted, the error would become visible in the next 100 km interval. With a faulty exhaust gas aftertreatment system over 100 km, the g_{NOx}/kg_{Fuel} ratio for this test vehicle is around 3, meaning that clear identification is possible. The extent to which this threshold value is also valid for other vehicle models would still have to be validated with measurement data from other vehicle models.

As part of the elaboration of the Euro 7 implementing acts, discussions are currently underway as to whether vehicles will have to comply with NO_x limits at operating points under most driving situations in the planned Euro 7 legislation. Such a proposal was published by the EU Commission during the work on this project. This means that NO_x emissions would no longer be dependent on engine power, or only to a limited extent, which is why NO_x emissions in real-world operation could also be monitored via g/km. Just a filter for the valid temperature and altitude ranges for Euro 7 RDE tests would be needed. The NO_x emission limit in mg/km with a safety margin for NO_x sensor uncertainty could then be used as the threshold value. However, the application of the developed method with g_{NOx}/kg_{Fuel} would of course

still be possible. It is therefore recommended to validate the proposed method with g_{NOx}/kg_{Fuel} after the relevant boundary conditions of the Euro 7 legislation are decided and to optimize the best fitting method if necessary.

Inhalt

Abkürzungen	12	5.5	Methodenvorschlag für zukünftige NO _x -Überwachung.....	38
1 Ausgangslage und Stand der Wissenschaft und Technik	14	5.6	Anwendung des Methodenvorschlags auf zyklusspezifische Messdaten.....	39
2 Aufgabenstellung und Zielsetzung	14	5.7	Anwendung des Methodenvorschlags auf längere Streckenabschnitte	41
3 AP I – Ermittlung aktueller und gewünschter zukünftiger OBD- Anforderungen	15	5.8	Mögliche Selektionsfilter bei der Anwendung des Methodenvorschlags	43
3.1 Darstellung des aktuellen Stands der Gesetzeslage	15	5.9	Möglicher Schwellenwert bei der Anwendung des Methodenvorschlags	44
3.1.1 Verordnung 2010/461	16	6 Zusammenfassung und Ausblick		45
3.1.2 Verordnung 2018/858	16	Literatur		47
3.1.3 Regelung UN R83.....	16	Bilder		48
3.1.4 Regelung UN R49.....	20	Tabellen		48
3.1.5 Richtlinie 2014/45	21	Anhang		49
3.1.6 Weitere relevante Verordnungen	22	Anhang A: Detaillierte Darstellung der Umfrageergebnisse		49
3.2 Umfrage – Ermittlung aktueller Erfordernisse und zusätzlich erforderliche Informationen für eine umfangreiche Beurteilung emissionsrelevanter Bauteile	22	Themenbereich 1: Beurteilung der aktuell auslesbaren OBD-Daten		49
3.2.1 Zusammenfassung der Umfrageergebnisse.....	23	Themenbereich 2: Zusätzlicher Bedarf an OBD-Informationen zur Beurteilung emissionsrelevanter Systeme im Zuge der PTI.....		51
3.3 Test an drei Euro 6 Fahrzeugen mit beim ÖAMTC eingesetzten Testgeräten.....	25	Themenbereich 3: Diagnosejobs.....		54
3.4 Abstimmung KBA/BASt/Auftragnehmer	26	Themenbereich 4: Erfahrung beim Auslesen der On-Board Fuel Consumption Monitoring (OBFCM) Daten		54
4 AP II – Sensorik	26	Themenbereich 5: Zukünftige Emissionsge- setzgebung mit neuer Limitierung der Partikel (PN ₁₀ statt PN ₂₃) und weiterer gasförmiger Schadstoffe (z. B. NH ₃ , N ₂ O)		55
4.1 Sensoranalyse	27	Themenbereich 6: Weitere Hinweise/ Ergänzungen zum Themenkomplex OBD		56
4.2 Sensorauswahl für die messtechnische Untersuchung.....	30			
5 AP III – Messtechnische Untersuchung sowie Methodenentwicklung für zukünftige NO_x-Überwachung	32			
5.1 Versuchsfahrzeug	32			
5.2 Messprogramm	33			
5.3 Eingesetzte Messtechnik und Auswertesoftware	35			
5.4 Messergebnisse.....	35			

Abkürzungen

AG	Abgas	HC	Kohlenwasserstoffe
AGN	Abgasnachbehandlung	HU	Hauptuntersuchung
AGR	Abgasrückführung	HV	Hochvolt
AP	Arbeitspaket	i. O.	in Ordnung
a _{pos}	Positive Beschleunigung	inkl.	inklusive
ARBÖ	Auto-, Motor- und Radfahrerbund Österreichs	ISC	In-Service Conformity
AU	Abgasuntersuchung	IUPR	Betriebsleistungskoeffizient
AVL	Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List	KBA	Krafftahrt-Bundesamt
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen	Kfz	Kraftfahrzeug
BEV	Battery Electric Vehicle	KÜS	Kraftfahrzeug-Überwachungsorganisation freiberuflicher Kfz-Sachverständiger e. V.
Bj.	Baujahr	LNf	Leichtes Nutzfahrzeug
BOVAG	Verband Niederländisches Kraftfahrzeuggewerbe	LNT	Lean NO _x Trap
CAN	Controller Area Network	MaS	Market Surveillance
CITA	International Motor Vehicle Inspection Committee	Max.	Maximal
CNG	Compressed Natural Gas	MIL	Malfunction Indicator Lamp
CO	Kohlenmonoxid	Min.	Minimal
CO ₂	Kohlendioxid	MS	Microsoft
CVN	Calibration Verification Number	MÜ	Marktüberwachung
CVS	Constant Volume Sampling	N ₂ O	Lachgas
DBEFA	Datenbank für Emissionsfaktoren	NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
DOC	Dieseloxidationskatalysator	NGK/NTK	Nippon Tokushu Tōgyō K.K.
DPF	Dieselpartikelfilter	NH ₃	Ammoniak
DTC	Diagnostic Trouble Code	NO _x	Stickoxide
ECM	Engine Control and Monitoring	O ₂	Sauerstoff
E-Fahrzeug	Elektrofahrzeug	ÖAMTC	Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club
ERMES	European Research on Mobile Emission Sources	OBD	On-Board-Diagnose
EU	Europa	OBFCM	On-Board Fuel Consumption Monitoring
exkl.	exklusive	OBM	On-Board-Monitoring
F.S.	Full Scale	OEM	Original Equipment Manufacturer
FIN	Fahrzeug-Identifizierungsnummer	PBStV	Prüf- und Begutachtungsstellenverordnung
FVT	Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH	PEMS	Portable Emission Measurement System
Fzg	Fahrzeug	Pkw	Personenkraftwagen
ggf.	gegebenenfalls	PM	Partikelmasse
GTÜ	Gesellschaft für technische Überwachung mbH	PN	Partikelanzahl
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs	PTI	Periodical Technical Inspection
		RDE	Real Driving Emissions
		RDW	Niederländische Verkehrsbehörde
		REES	Rechargeable Energy Storage
		Reg.	Regeneration

RPA	Relative Positive Acceleration
SCR	Selective Catalytic Reduction
SCU	Sensor Control Unit
SENT	Single Edge Nibble Transmission
SoC	State of Charge
SoH	State of Health
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs- Ordnung
TBB	Technisches Büro Blassnegger
TDI	Turbocharged Direct Injection
TG-R	Typgenehmigung-Rahmenverordnung
TL	Turbolader
TÜV	Technischer Überwachungsverein
u. a.	unter anderem
U/R/M	Urban/Rural/Motorway
v	Geschwindigkeit
VCDS	Vag Com Diagnose System
VW	Volkswagen
WLTC	Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle
ZDK	Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e. V.
zul.	zulässig

1 Ausgangslage und Stand der Wissenschaft und Technik

Die Anforderungen an Fahrzeugmotoren und Abgasnachbehandlungssysteme haben in den letzten Jahren stark zugenommen. Immer geringere Kraftstoffverbräuche sollen mit immer niedrigeren Emissionsniveaus einhergehen. Mit der in Ausarbeitung befindlichen Abgasgesetzgebung Euro 7 wird eine weitere Reduktion der Schadstoffemissionen erwartet. Zusätzlich sollen noch weitere Emissionskomponenten, wie z. B. Harnstoff (NH_3), neu in die Gesetzgebung aufgenommen werden (SAMARAS 2022). Die geplante Einhaltung aller Grenzwerte in allen relevanten Betriebszuständen erfordert immer komplexere technische Lösungen der Abgasnachbehandlung. Gleichzeitig steigen damit auch die Anforderungen an die Abgasuntersuchung (AU) im Zuge der periodischen technischen Inspektion (PTI) und an die Marktüberwachung (MÜ).

Um die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte sicherstellen zu können, müssen im Betrieb einerseits die Verbrennungssteuerung und andererseits die Funktionen der Abgasnachbehandlungssysteme permanent überprüft werden. Dies geschieht über eine On-Board Diagnostik (OBD). Dabei werden Sensorsignale Plausibilitätsanalysen unterworfen, die mit dem Diagnosejob validiert werden. Da die Abgasnachbehandlungsanlagen immer komplexer werden und die OBD tendenziell nur Fehler ausweist, welche laut geltender Gesetzgebung erkannt werden müssen, bzw. Diagnosejobs nur in Fahrsituationen, welche dem Typprüfzyklus entsprechen, durchgeführt werden, können komplexe reale Situationen unter Umständen zeitweise nicht geprüft werden.

Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die im Fahrzeug verbaute Sensorik sowie an Messeinrichtungen. Neben Verbesserungen etablierter Sensoren, wie z. B. Temperatur, Druck, Luftmassenstrom etc. zur indirekten Überwachung emissionsrelevanter Funktionen, wird intensiv an der Entwicklung von Sensoren zur direkten Messung von Schadstoffkonzentrationen im Abgas gearbeitet. Stickoxid-Sensoren (NO_x -Sensoren) haben sich bereits in der Serie gut bewährt. Mittels intelligenter, modellgestützter Nutzung von Signalen mehrerer Sensoren kann die Genauigkeit und Treffsicherheit der Überwachung gesteigert werden. Ein politisches Ziel für Euro 7 ist ein On-Board Monitoring einzuführen, bei dem sich die Kraftfahrzeuge praktisch

selbst durch Abgasmessungen laufend überprüfen sollen. Diese Entwicklungen können auch für die AU und die MÜ genutzt werden, wenn dazu rechtzeitig die erforderlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden.

Ein weiterer Punkt, welcher die AU und die MÜ betrifft, ist die aktuell immer häufiger anzutreffende Manipulation von Abgasnachbehandlungssystemen. Sowohl im Bereich der Pkw und leichter Nutzfahrzeuge (LNf) als auch bei schweren Nutzfahrzeugen (SNf) sind Anbieter am Markt, welche Produkte und Dienstleistungen, die eine teilweise oder gänzliche Abschaltung bzw. Entfernung von Abgasnachbehandlungseinheiten anbieten, wie z. B. DPF, SCR, AGR. Die Motivationen dahinter sind vielfältig und liegen im Pkw-Bereich vor allem bei der Leistungssteigerung des Motors, im Bereich der SNf bei der Einsparung von Betriebsmitteln, wie z. B. Harnstoff. Diese Produkte sind teilweise so ausgereift, dass Signale von Überwachungssensoren ebenfalls manipuliert werden, sodass das OBD-System die Manipulation nicht erkennen kann.

In einer diesem Projekt vorgelagerten Studie, die die FVT durchgeführt hat (BLASSNEGGER 2019), wurde auf diese Problematiken und auf mögliche Anforderungen einer zukünftigen AU und MÜ bereits näher eingegangen. Daraus ergab sich, dass eine Anpassung des aktuellen OBD-Standes und eine Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung erforderlich sind.

In einem aktuellen vom ÖAMTC injizierten Forschungskonzept wird eine Methodik entwickelt, wie NO_x -Emissionen im realen Betrieb dauerhaft untersucht und bewertet werden können, und wie diese „real world“-Überwachung mit der PTI verknüpft werden kann. Die bisher getätigten Arbeiten sind im Bericht (BLASSNEGGER, LIPP 2021) zusammengefasst.

2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Der zukünftig erweiterte, über die OBD-Schnittstelle abrufbare Informationsbedarf für PTI soll in Arbeitspaket I mittels einer Umfrage ermittelt und ausgewertet werden. Es soll erfragt werden, welche Informationen und Diagnosejobs aktuell abrufbar sind und welche zukünftig unter Einbindung neuer Sensorik, benötigt werden. Dies erfolgt mit Hilfe einer

Befragung von Überwachungseinrichtungen und des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA).

Verschiedene Sensoren der Abgastechnik, sowohl mit Serienreife als auch aus der Entwicklung, sollen hinsichtlich ihrer Eignung für eine OBD-Anwendung in einem weiteren Arbeitspaket II beurteilt werden. Aus dieser Beurteilung wird in Abstimmung mit dem Auftraggeber ein Sensor ausgewählt, in einem Fahrzeug verbaut, auf dem Rollenprüfstand und mittels mobilem Abgasmesssystem in Arbeitspaket III intensiv getestet. Ein Straßentest von einem halben Jahr mit Fahrten unter realen Bedingungen soll weitere Messdaten liefern. Abschließend sollen Aussagen über die PTI-Eignung der Messdaten des untersuchten Sensors getroffen werden.

Die erlangten Erkenntnisse aus der vorgelagerten Recherche, der Sensorbestimmung und dem umfangreichen Messprogramm, inklusive der Auswertung der Messergebnisse, werden in einem wissenschaftlichen Endbericht zusammengefasst. Der Bericht soll den zukünftig benötigten, zusätzlichen Informationsbedarf, der über OBD zur Verfügung gestellt werden soll, beschreiben sowie einen Lösungsansatz für eine mögliche Erweiterung der AU aufzeigen. Er soll Anhaltspunkte liefern, die für die Weiterentwicklung der AU in der PTI und für die Marktüberwachung verwertbar sein können.

3 AP I – Ermittlung aktueller und gewünschter zukünftiger OBD-Anforderungen

3.1 Darstellung des aktuellen Stands der Gesetzeslage

Unter einem OBD-System versteht man allgemein ein System zur Fahrzeugdiagnose. Während des Fahrbetriebes werden dadurch unter anderem alle emissionsrelevanten Systeme überwacht. Tritt ein definierter emissionsrelevanter Fehler auf, wird eine Kontrollleuchte, die Malfunction Indicator Lamp (MIL), aktiviert. Zusätzlich werden zur Störung zugeordnete Fehlercodes im Fehlerspeicher abgelegt. Diese können über eine genormte Schnittstelle und mit der geeigneten Hard- und Software aus diesem Speicher ausgelesen werden.

Ursprünglich wurden die Daten von den jeweiligen Herstellern nach unterschiedlichen Prinzipien erfasst und ausgewertet. Diese Phase wird heute

rückblickend als OBD-1 (auch OBD I) bezeichnet, während man nach der Normierung von OBD-2 (auch OBD II) spricht. Seit OBD-2 sind der Aufbau und die Bedeutung der Fehlercodes (DTC – Diagnostic Trouble Code) in den Normen SAE J2012 bzw. ISO 15031-6 festgelegt.

Gesetzlich sind OBD-Systeme im Allgemeinen, und die erforderlichen Funktionen im Speziellen, in mehreren gesetzlichen Vorgaben verankert.

In diesem Arbeitsschritt wird der aktuelle Stand der gesetzlichen Vorgaben für OBD, ihre Anwendung im Bereich der Typgenehmigungsprüfung von Fahrzeugen und die Anwendung im Bereich der regelmäßigen Überwachung von emissionsrelevanten Fahrzeugbauteilen übersichtsmäßig dargestellt.

Die Recherche der relevanten rechtlichen Vorgaben erfolgte mithilfe folgender Sammelwerke und Einrichtungen zur elektronischen Bereitstellung gesetzlicher Regelungen:

- <https://eur-lex.europa.eu>
- <https://unece.org/trans/main/wp29/wp29regs>
- <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/un-ece-regelungen.html>
- <https://www.ris.bka.gv.at/>
- <https://www.gesetze-im-internet.de/>
- <https://www.kfzgewerbe.de>
- <https://www.umwelt-online.de>
- Sammelwerk zur Fahrzeugtechnik (FEE – Fahrzeugtechnik); Kirschbaum Verlag
- Mängelkatalog für Begutachtungen gemäß §57a KFG
- <https://www.verkehrsblatt.de/>

Einschlusskriterien:

Aktualität:	Die Regelungen müssen in Kraft sein oder in Zukunft in Kraft treten
Region:	EU-weit gültige Regelungen
Sprache:	Deutsch
Themenbezug:	On-Board-Diagnose von Emissionsdaten in Bezug auf Fahrzeug-Typengenehmigung und auf die periodische technische Inspektion

Fahrzeugklasse: M1 < 3.500 kg, N1

Ausschlusskriterien:

Titel oder Abstract: Bei fehlender Relevanz.

Aktualität: Es liegen aktuellere Regelungen zum gleichen Thema vor.

Im Rahmen der Recherche wurden 23 Publikationen gefunden und in die Bewertung einbezogen. 10 Publikationen erfüllten die zuvor festgelegten Kriterien und werden im Zuge der Studie herangezogen. Die Inhalte der ausgewählten relevanten Verordnungen sind in den folgenden Kapiteln zusammengefasst.

3.1.1 Verordnung 2010/461

Die Verordnung 2010/461 der Europäischen Union (EU-KOMMISSION 2010) umfasst vertikale Vereinbarungen über den Bezug, den Verkauf oder den Weiterverkauf neuer Kraftfahrzeuge, vertikale Vereinbarungen über den Bezug, Verkauf oder Weiterverkauf von Kraftfahrzeugersatzteilen und vertikale Vereinbarungen über die Erbringung von Instandsetzungs- und Wartungsdienstleistungen für Kraftfahrzeuge, die zwischen nicht miteinander im Wettbewerb stehenden Unternehmen, zwischen bestimmten Wettbewerbern oder von bestimmten Vereinigungen des Einzelhandels oder von Werkstätten geschlossen werden.

Diese Verordnung stellt somit die Urverordnung dar, auf welche aufbauend die Zurverfügungstellung von Daten (z. B. für den Typisierungsprozess, den Prozess der technischen Überwachung, oder der Überwachung der Marktkonformität) festgelegt ist.

3.1.2 Verordnung 2018/858

Die Verordnung 2018/858 (EU-PARLAMENT 2018) ist die sogenannte Typengenehmigung-Rahmenverordnung (TG-R). Diese regelt die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge. Die Hersteller haben in Bezug auf das OBD-System gemäß dieser Verordnung die erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, dass die notwendigen Informationen unter Verwendung eines standardisierten Formats leicht und unverzüglich zugänglich sind. Die Einhaltung dieser Vorgaben ist Teil des Typgenehmigungsverfahrens. Die Genehmigungsbehörde erteilt erst dann die Typgenehmigung, wenn der Hersteller eine Bescheinigung über den Datenzugang vorlegen kann.

Die Form dieser Bescheinigung ist ebenfalls in der TG-R geregelt.

In Kapitel XIV der Verordnung ist der Zugang zu Fahrzeug OBD-Informationen und zu Fahrzeugreparatur- und Wartungsinformationen definiert. Artikel 61 enthält allgemein beschrieben die Pflichten des Herstellers zur Bereitstellung dieser Daten. Dies betrifft den Datenumfang und die zeitliche Verfügbarkeit der Daten. Dafür dürfen Hersteller laut Verordnungstext angemessene und verhältnismäßige Gebühren erheben. Für nationale Behörden, die Kommission und technische Dienste ist der Zugang unentgeltlich zur Verfügung zu stellen.

Der Anhang X enthält dabei die allgemeinen technischen Vorschriften für den Zugang zu OBD-, sowie Fahrzeugreparatur- und Wartungsinformationen von Fahrzeugen, sowie die Anforderungen für die Typengenehmigung.

Die Verordnung verweist auf die Regelungen UN R83 (UNECE 2018) und UN R49 (UNECE 2013). Beide beinhalten detailliertere technische Definitionen, welche in den Kapiteln 3.1.3 und 3.1.4 zusammengefasst sind.

3.1.3 Regelung UN R83

Die Regelung UN R83 definiert einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen (Pkw und LNF) hinsichtlich der Emission von Schadstoffen und gibt hinsichtlich OBD detailliert Inhalte wieder, auf welche in der Verordnung 2017/1151 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 Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen verwiesen wird.

Funktionsmerkmale des On-Board-Diagnosesystems

In Anhang 11 der UN R83 sind die Funktionsmerkmale des OBD-Systems zur Emissionsbegrenzung bei Kraftfahrzeugen beschrieben. Die allgemeine Begriffsbestimmung sagt, dass das OBD-System ein in das Fahrzeug eingebautes Diagnosesystem zur Emissionsbegrenzung darstellt, das Fehler erkennt und über Fehlercodes im Rechnerspeicher beschreibt, in welchem Bereich wahrscheinlich eine Fehlfunktion aufgetreten ist.

Es wird zwischen Fahrzeugtypen und Fahrzeugfamilien unterschieden:

- **Fahrzeugtyp:**
Eine Kategorie von Kraftfahrzeugen, die sich in wichtigen Merkmalen des Motors und des OBD-Systems nicht voneinander unterscheiden.
- **Fahrzeugfamilie:**
Eine Gruppe von Fahrzeugen eines Herstellers, bei denen aufgrund ihrer Auslegung davon ausgegangen wird, dass die Abgasemissionen und die Merkmale des OBD-Systems vergleichbar sind.

Das Diagnosesystem zur Emissionsbegrenzung überwacht die sogenannten verbauten Emissionsminderungssysteme.

Diese sind in der UN R83 folgend definiert:

„Das Emissionsminderungssystem stellen das elektronische Motorsteuergerät und jedes abgasrelevante Bauteil in der Auspuffanlage oder in der Anlage zur Begrenzung der Verdunstungsemissionen, das diesem Steuergerät ein Eingangssignal übermittelt, oder von diesem ein Ausgangssignal erhält dar.“

Es werden also nicht expliziert spezielle Systemkomponenten genannt, sondern pauschal alle emissionsmindernden Komponenten, welche mit dem Steuergerät kommunizieren, als „mit OBD zu überprüfen“ definiert.

Fehlfunktionen in diesem System sind mit dem Malfunction Indicator, einem optischen oder akustischen Anzeiger, eindeutig anzuzeigen.

Fehlfunktionen sind im Weiteren als ein Ausfall oder das fehlerhafte Arbeiten eines emissionsrelevanten Bauteils oder Systems, der bzw. das ein Überschreiten der Emissionsgrenzwerte zur Folge hätte, definiert. Des Weiteren hat das MIL-System eine Meldung zu generieren, wenn das OBD-System nicht in der Lage ist, die grundlegenden Funktionsanforderungen zu erfüllen.

Der Datenzugriff ist über eine serielle Schnittstelle für den Standard-Diagnoseanschluss zur Verfügung zu stellen. Dieser Anschluss ist in der Norm ISO DIS 15765-4:2011 „Straßenfahrzeuge – Diagnosekommunikation über CAN“ definiert.

Zusätzlich ist festgelegt, dass die Dateninformationen einschließlich aller verwendeten Fehlercodes,

nur in Übereinstimmung mit Industrienormen zu erzeugen sind.

Die dafür einzusetzenden Normen sind:

- ISO 15031-5 „Road vehicles - communication between vehicles and external test equipment for emissions-related diagnostics — Part 5: Emissions-related diagnostic services“ vom 1. April 2011 oder SAE J1979 vom 23. Februar 2012
- ISO 15031-4 „Road vehicles — Communication between vehicle and external test equipment for emissions related diagnostics — Part 4: External test equipment“ vom 1. Juni 2005 oder SAE J1978 vom 30. April 2002
- ISO 15031-3 „Road vehicles — Communication between vehicle and external test equipment for emissions related diagnostics Part 3: Diagnostic connector and related electrical circuits: specification and use“ vom 1. Juli 2004 oder SAE J1962 vom 26. Juli 2012
- ISO 15031-6 „Road vehicles — Communication between vehicle and external test equipment for emissions related diagnostics — Part 6: Diagnostic trouble code definitions“ vom 13. August 2010 oder SAE J2012 vom 7. März 2013

Anstelle der ISO 15031-5 können ab 2019 folgende Normen verwendet werden:

- ISO 27145 „Road vehicles — Implementation of World-Wide Harmonized On-Board Diagnostics (WWH- OBD)“ vom 15. August 2012 (nur Absatz 6.5.3.1 Buchstabe a darf für die Datenverbindung verwendet werden)
- ISO 14229:2013 „Road vehicles — Unified diagnostic services (UDS)“ (nur Absatz 6.5.3.1 Buchstabe a darf für die Datenverbindung verwendet werden).

Als Beispiel ist in die Zusammensetzung eines Fehlercodes gemäß SAE J12012 DA bzw. gemäß ISO 15031-6 dargestellt.

Der Fehlercode besteht aus fünf Stellen:

- Dem eigentlichen, dem Element zugeordneten Fehlercode
- Einer Baugruppen definierenden Zahl
- Einem Code der zwischen herstellerspezifischen und allgemeinen Codes unterscheidet

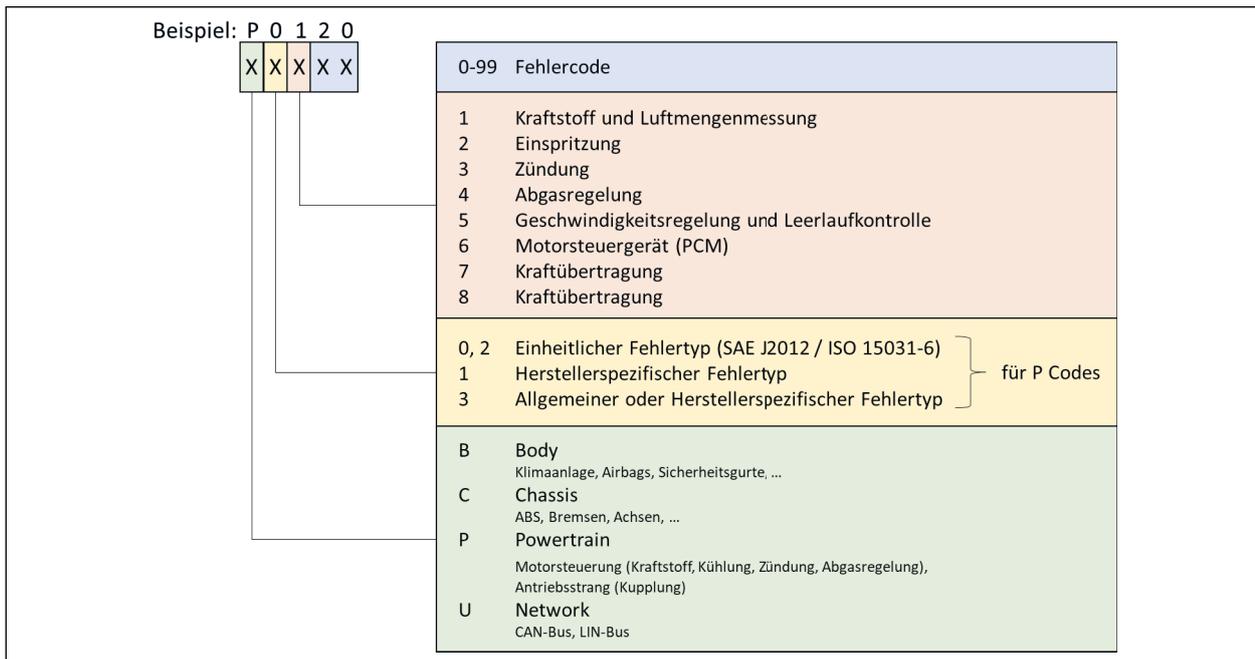


Bild 3-1: Zusammensetzung der Fehlercodes nach SAE J2012 DA bzw. ISO 15031-6

- Einem Kennbuchstaben, der eine Fehlerzuordnung zu den Bereichen Karosserie, Chassis, Powertrain und Network vornimmt.

Leistungsfähigkeit des On-Board-Diagnosesystems

Die Leistungsfähigkeit des OBD-Systems stellt die Verfügbarkeit der Überwachungsfunktionen im geforderten Umfang sicher.

Die Überwachungsfunktionen des OBD-Systems sind mindestens einmal in jedem Fahrzyklus, in dem die Voraussetzungen dafür erreicht werden, auszulösen. Die Voraussetzungen sind dahingehend definiert, dass das Fahrzeug so betrieben wird, dass die betreffende Überwachungsfunktion eine Fehlfunktion erkennen kann.

Im Betrieb wird die Leistungsfähigkeit des OBD-Systems durch den Betriebsleistungskoeffizienten ($IUPR_m$) definiert.

Dieser wird mittels der Formel

$$IUPR_m = \frac{ZÄHLER_m}{NENNER_m}$$

errechnet. Dieser Quotient gibt an, wie oft eine bestimmte Überwachungsfunktion bezogen auf den Fahrzeugbetrieb aktiv war.

Die Minimalanforderung an das System wird durch den minimalen $IUPR$ definiert. Der Wert dieser $IUPR_{min}$ beträgt

- 0,260 bei der Überwachung des Sekundärluftsystems und anderen auf den Kaltstart bezogenen Überwachungsfunktionen,
- 0,520 bei der Überwachung der Be-/ Entlüftung des Systems zur Begrenzung der Verdunstungsemissionen,
- und 0,336 bei allen anderen Überwachungsfunktionen.

Der Betriebsleistungskoeffizient $IUPR_m$ einer Überwachungsfunktion m des OBD-Systems muss stets größer oder gleich dem minimalen Betriebsleistungskoeffizienten $IUPR_{min}$ sein.

Der Nenner m zeigt die Zahl an Fahrzyklen eines Fahrzeugs an, die von Bedeutung für diese bestimmte Überwachungsfunktion sind, oder in denen Ereignisse auftreten, die von Bedeutung für diese Überwachungsfunktion sind.

Zusätzlich ist ein allgemeiner Nenner definiert. Dieser gibt an, wie oft ein Fahrzeug in Betrieb war. Er wird innerhalb von 10 Sekunden nach dem Start einzig und allein unter der Voraussetzung erhöht, dass in einem einzigen Fahrzyklus folgende Kriterien erfüllt sind:

- Seit Anlassen des Motors sind zusammenge-rechnet mindestens 600 Sekunden oder mehr vergangen, die Höhe über dem Meeresspiegel beträgt weniger als 2.440 m und die Umgebungstemperatur beträgt mindestens -7°C .

- Das Fahrzeug wird zusammengerechnet mindestens 300 Sekunden lang bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h oder mehr betrieben, die Höhe über dem Meeresspiegel beträgt weniger als 2.440 m und die Umgebungstemperatur beträgt mindestens $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Das Fahrzeug wird ununterbrochen mindestens 30 Sekunden lang im Leerlauf betrieben (d. h. das Gaspedal wird vom Fahrer losgelassen und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs beträgt höchstens 1,6 km/h), die Höhe über dem Meeresspiegel beträgt weniger als 2.440 m und die Umgebungstemperatur beträgt mindestens $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Der Zähler m ist der Zähler einer bestimmten Überwachungsfunktion m. Er erfasst, wie oft ein Fahrzeug so betrieben wurde, dass alle vorgesehenen Überwachungsbedingungen auftraten, die dafür erforderlich sind, dass die betreffende Überwachungsfunktion eine Fehlfunktion erkennt.

Das OBD-System meldet gemäß der Norm ISO 15031-5 den Zählerstand für den Zündzyklus und den allgemeinen Nenner, sowie die separaten Zähler und Nenner von Überwachungsfunktionen, wenn die entsprechenden Komponenten am Fahrzeug verbaut sind.

Durch diese Vorgabe sind neben der allgemeinen Formulierung, dass alle Komponenten, welche mit dem Steuergerät kommunizieren, zu überwachen sind, auch einzelne Bauteile/Baugruppen expliziert anzuführen. Nach dieser Definition kommt es bei folgenden Bauteilen zu einer Erhöhung von Zähler und Nenner, wenn die Überwachungsbedingungen erfüllt sind:

- Katalysatoren (getrennte Meldung für jede einzelne Abgasbank)
- Sauerstoff-/Abgassonden, einschließlich Sekundärsauerstoffsonden (getrennte Meldung für jede einzelne Sonde)
- System zur Verminderung der Verdunstungsemissionen
- Abgasrückführungssystem
- Variables Ventilsteuersystem
- Sekundärluftsystem
- Partikelfilter
- NO_x -Nachbehandlungssystem

- System zur Ladedruckregelung

Readiness-Code

Der Readiness-Code stellt eine Kontrolle dar, die aussagt, ob Diagnosen durchgeführt wurden. Der Code besteht aus zwei binären 12-stelligen Zahlenreihen.

Die erste Zahlenreihe gibt an, ob ein bestimmtes Bauteil oder eine bestimmte Funktion geprüft wurde. Die Stellen werden dabei mit 0 (Bauteil nicht vorhanden oder nicht im Prüfumfang) oder 1 (Bauteil vorhanden und im Prüfumfang) belegt.

Die zweite Zahlenreihe zeigt den Status der durchgeführten Tests an. Jede Stelle mit 0 zeigt an, dass eine Diagnose durchgeführt wurde. Stellen mit 1 zeigen an, dass eine Diagnose nicht durchgeführt werden konnte oder abgebrochen wurde.

Nachfolgend zeigt eine Übersicht welche Baugruppen in den Readiness-Code eingebunden sind:

Ottomotoren:

Byte B:

- Aussetzererkennung (Erkennung von Zündaussetzern, Fehlzündungen in den Zylindern)
- Kraftstoffsystem
- übrige Systeme

Bytes C+D:

- Katalysator(en)
- beheizte Katalysator(en)/Katalysatorheizung(en)
- Tankentlüftungssystem/Kraftstoffverdunstungssystem
- Sekundärluftsystem(e)
- Klimaanlage
- Lambdasonde(n)
- Lambdasondenheizung(en)
- Abgasrückführung(en) und Ventilverstellung(en)

Dieselmotor:

Byte B:

- Aussetzererkennung (Erkennung von Fehlzündungen in den Zylindern)

- Kraftstoffsystem
- übrige Systeme

Bytes C+D:

- Oxidations-Katalysator(en)
- Stickoxid-Abgasnachbehandlung(en) - NO_x-Speicherkatalysator oder SCR-System
- Ladedrucksystem(e)
- Abgassensoren
- Dieselpartikelfilter
- Abgasrückführung(en) und Ventilverstellung(en)

Der Readiness-Code kann mit einem geeigneten Diagnose-Gerät ausgelesen werden und dient dazu, zu erkennen, ob alle Routinen der Überwachung der abgasrelevanten Komponenten des Fahrzeuges im Rahmen der OBD durchgelaufen sind und damit bereits die Chance hatten, Fehlercodes gemäß Bild 3-1 zu setzen.

Im Zuge der periodischen technischen Überwachung ist die Abfrage des Readiness-Codes Bestandteil der Untersuchung des Motormanagements und Abgasreinigungssystems an einem Fahrzeug mit OBD. Danach folgt zwingend die Abfrage der DTCs als Ergebnisse dieser On-Board-Überwachungsroutinen.

Homologation des On-Board-Diagnosesystems

Im Zuge der Fahrzeughomologation wird auch das OBD-System einer Prüfung unterzogen. Dies geschieht am Pkw-Rollenprüfstand im Zuge einer Typ I Prüfung. Dabei handelt es sich um eine Prüfung im WLTC Fahrzyklus nach Kaltstart.

Die Prüfung setzt sich aus folgenden Phasen zusammen:

- Simulation der Fehlfunktion eines Bauteils des Motormanagement- oder Emissionsbegrenzungssystems.
- Vorkonditionierung des Fahrzeugs mit einer simulierten Fehlfunktion während der Vorkonditionierung.
- Fahren des Fahrzeugs mit einer simulierten Fehlfunktion während des Fahrzyklus der Typ I Prüfung und Messung der Fahrzeugemissionen.
- Prüfung im Hinblick darauf, ob das OBD-System auf die simulierte Fehlfunktion reagiert und die

Fehlfunktion auf geeignete Weise angezeigt wird.

Die zu simulierenden Fehlfunktionen sind dabei, nach Fremdzündungsmotoren und Selbstzündungsmotoren unterteilt, vorgegeben.

Bei Fremdzündungsmotoren zählen dazu zum Beispiel das Ersetzen des Katalysators, das Herbeiführen von Fehlzündungen, das Ersetzen der Sauerstoffsonde oder das Abtrennen eines emissionsrelevanten Bauteils vom Steuergerät.

Zu simulierende Fehler bei Selbstzündungsmotoren sind unter anderen der Ausbau des Partikelfilters, der Ausbau des Oxidationskatalysators oder die Deaktivierung des SCR-Systems. Zusätzlich muss das OBD-System die Deaktivierung des AGR-Systems bzw. eine falsche AGR-Rate erkennen können.

3.1.4 Regelung UN R49

Die UN R49 definiert im Gegensatz zur UN R83, welche sich auf die Typisierung bezieht, die einheitlichen Bestimmungen hinsichtlich Maßnahmen gegen die Emission von gas- und partikelförmigen Schadstoffen bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren.

Definition der zu überwachenden emissionsrelevanten Systeme

In dieser Regelung wird umfangreich die Übereinstimmung mit der Produktion und dabei auch jene für das OBD-System definiert. Zusätzlich ist festgelegt, dass das OBD-System nicht nur emissionsrelevante Bauteile zu überprüfen hat, sondern auch die OBD eigenen Komponenten zu überwachen hat.

In Anlage 3 der Regelung 49 sind alle emissionsrelevanten Systeme und Bauteile, welche zu überwachen sind, definiert:

- Überwachung elektronische/elektrische Bauteile
- DPF-System
 - Vorhandensein DPF-Substrat
 - DPF-Leistung (Verstopfung)
 - DPF-Filterleistung – finden eine Filterung und kontinuierliche Regeneration im Wechsel statt
- Überwachung der selektiven katalytischen Reduktion (SCR)

- aktives Reagenzmittel-Einspritzsystem
- aktives Reagenzmittel (Verfügbarkeit und ordnungsgemäßer Verbrauch, Qualität)
- SCR-Katalysator Umwandlungseffizienz
- Mager-NO_x Falle/LNT
 - Fähigkeit NO_x-Speicherung
- Überwachung Oxidationskatalysator
 - Grad HC-Umwandlung
- Überwachung der Abgasrückführung
 - Richtiger AGR-Durchfluss
 - Ansprechverhalten
 - Kühlleistung des AGR-Kühlers
- Überwachung der Kraftstoffanlage
 - Kraftstoffdruck und Einspritzzeitpunkte
 - Aufrechterhaltung des richtigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis
- System zur Steuerung der Luftaufbereitung und des Turbolader-Ladedrucks
- Variable Ventilsteuerzeiten
- Überwachung von Zündaussetzer
- Überwachung Kurbelgehäuseentlüftung
- Überwachung Motorkühlanlage
- Überwachung Leerlaufsteuereinrichtung
- Überwachung 3-Wegekatalysator
 - Wirkungsgrad des 3-Weg Katalysators

Definition der Fehlerklassen

In einem weiteren Punkt der Regelung sind die Funktionsstörungen (Fehler) klassifiziert. Man unterscheidet dabei zwischen Fehler der Klassen A, B1, B2 und C, wobei A die schwerste Fehlerklasse darstellt.

Eine Funktionsstörung der Klasse A liegt vor, wenn der Fehler vermutlich zu einer Überschreitung der OBD-Schwellenwerte führt.

Eine Funktionsstörung der Klasse B1 liegt vor, wenn der Fehler zu einer Überschreitung der Schwellenwerte führen kann, der Einfluss des Fehlers auf die Emissionen jedoch nicht genau bestimmbar ist. Dadurch können die Emissionen tatsächlich über oder unter dem Schwellenwert liegen. So eine Funkti-

onsstörung liegt beispielsweise vor, wenn sie auf Grundlage von Signalen von Sensoren erkannt wird, oder die Diagnosefunktion eingeschränkt ist.

Eine Funktionsstörung der Klasse B2 liegt vor, wenn anzunehmen ist, dass der Fehler die Emissionen beeinflusst, es jedoch zu keiner Überschreitung der Schwellenwerte kommen wird.

Funktionsstörungen der Klasse C liegen vor, wenn im Falle einer Überwachung anzunehmen wäre, dass die Störung die Emissionen beeinflusst, dadurch die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte jedoch sicher nicht überschritten werden.

Die Überwachungshäufigkeit ist in UN R43 so definiert, dass die Überwachungseinheiten kontinuierlich arbeiten müssen. Das heißt immer dann, wenn die Bedingungen für die Überwachung erfüllt sind, einmal je Betriebszyklus und unter der Berücksichtigung, dass dabei der minimale Betriebsleistungskoeffizient erreicht wird.

Wenn eine Funktionsstörung erkannt wurde, so ist diese bis zur Bestätigung des Fehlers als „potenzielle Störung“ zu führen und es ist ein vorläufiger DTC zu speichern. Das Überwachungssystem muss vor Ende des auf die erste Störungserkennung folgenden Betriebszyklus erkennen, ob die Störung beim darauffolgenden Zyklus weiterhin besteht. Wenn dies der Fall ist, ist der entsprechende Fehlercode als bestätigter und aktiver DTC zu speichern. Das Warnsystem ist dann zu aktivieren.

Wird eine Funktionsstörung mit dem Status „bestätigt und aktiv“ über einen vollständigen Betriebszyklus vom System nicht mehr erkannt, ist sie zu Beginn des nächsten Betriebszyklus in den Status „früher aktiv“ zu versetzen. Die Funktionsstörung verbleibt in diesem Status, bis sie durch ein Diagnosetool gelöscht wird oder durch das OBD-System aus dem Rechnerspeicher entfernt wird.

Eine solche Entfernung darf vom OBD-System dann vorgenommen werden, wenn der Fehler über mindestens 40 Aufwärmzyklen oder 200 Motorbetriebsstunden im Status „früher aktiv“ war. Durch ein Diagnosetool kann die Löschung jederzeit vorgenommen werden.

3.1.5 Richtlinie 2014/45

Die Richtlinie 2014/45 (EU-PARLAMENT 2014) regelt die periodische technische Inspektion von Fahrzeugen in Europa, inklusive der Prüfung ihrer Um-

weltbelastung. Das Ziel ist es, Fahrzeuge, welche die Umwelt durch übermäßigen Ausstoß von Schadstoffen belasten, zu erkennen und die Behebung von Mängeln, welche diesen übermäßigen Ausstoß von Schadstoffen verursachen, zu erwirken. In dieser Richtlinie wird die Nutzung von OBD bei der PTI beschrieben und gleichzeitig ein Ausblick auf zukünftige Abgasuntersuchungen gegeben.

Es wird erläutert, dass die Emissionsmessungen durch bordeigene Diagnosesysteme immer effektiver werden, sodass der Einsatz dieser Systeme als gleichwertiger Ersatz für Standard-Emissionsprüfungen im Sinne der technischen Überwachung gerechtfertigt ist.

Bei Fahrzeugen ab der Emissionsklasse Euro 5 ist folgender Ablauf bei der Abgasuntersuchung im Zuge der PTI vorgegeben:

- Messung der gasförmigen Emissionen und der Abgastrübung,
- oder Auslesen des OBD.

Grundsätzlich erfolgt die Abgasprüfung anhand der Kontrolle der Auspuffabgase. Die Mitgliedstaaten können auf der Grundlage einer Gleichwertigkeitsbewertung die Verwendung des OBD zulassen.

Die Vorkonditionierung des Motors und der Abgasnachbehandlung ist in dieser Verordnung wie folgend beschrieben:

„Der Motor hat die volle Betriebstemperatur erreicht, d. h. mit einem Fühler im Messstabrohr wird eine Motoröltemperatur von mindestens 80 °C oder die übliche Betriebstemperatur, sofern diese niedriger ist, gemessen, oder die durch Messung der Infrarotstrahlung ermittelte Motorblocktemperatur ist mindestens ebenso hoch. Ist diese Messung aufgrund der Fahrzeugkonfiguration nicht durchführbar, so kann die normale Betriebstemperatur des Motors auf andere Weise, z. B. durch die Inbetriebsetzung des Motorgebläses, ermittelt werden.“

Das Abgassystem wird bei Dieselmotoren zusätzlich mit mindestens drei lastfreien Beschleunigungszyklen von der Leerlaufdrehzahl bis zur Abregeldrehzahl oder mit einem gleichwertigen Verfahren durchgespült.

Auch auf zukünftige Anforderungen an die Abgasuntersuchung wird in der Richtlinie eingegangen:

In den letzten 20 Jahren wurden die Anforderungen für die Typgenehmigung im Bereich der Fahrzeugemissionen kontinuierlich verschärft. Vor allem auf die beim Dieselmotor kritischen Abgaskomponenten NO_x und Partikel wurde dabei verstärkt Augenmerk gelegt.

3.1.6 Weitere relevante Verordnungen

Bei der Durchführungsverordnung (EU) 2019/621 (EU-KOMMISSION 2019) handelt es sich um eine Ergänzung zur Richtlinie 2014/45/EU, welche die Rahmenbedingungen zur Lieferung und Benutzung von OBD relevanten Daten und Funktionen zwischen den Fahrzeugherstellern und den Prüfstellen für die periodische technische Inspektion definiert.

Die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (Bundesamt für Justiz 2012) beinhaltet Vorgaben zur Genehmigung und Zulassung, sowie zur periodischen technischen Inspektion von Fahrzeugen in Deutschland und stellt dabei den Bezug zu den Inhalten der Verordnung (EU) 2018/858 über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen, wie auch zur Richtlinie 2014/45/EU über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen her.

Eine Zusammenfassung aller Regeln gemäß Anlage VIIIa StVZO stellt die Richtlinie für die Durchführung der Untersuchung der Abgase von Kraftfahrzeugen dar. Darin ist der Ablauf der Abgasuntersuchung im Rahmen der PTI genau geschildert.

3.2 Umfrage – Ermittlung aktueller Erfordernisse und zusätzlich erforderliche Informationen für eine umfangreiche Beurteilung emissionsrelevanter Bauteile

Ein wesentlicher Schritt bei der Definition von aktuellen und zukünftigen Anforderungen bei der OBD-Überprüfung von emissionsrelevanten Komponenten bei der Abgasuntersuchung war die Befragung von Überwachungsorganisationen, Technischen Prüfstellen und Vertretern von anerkannten AU-Werkstätten.

Mit dieser Umfrage sollen die aktuellen Erfordernisse dargestellt und jene zusätzlich erforderlichen Informationen definiert werden, die notwendig sind, um eine umfangreiche Beurteilung emissionsrelevanter Bauteile vornehmen zu können.

Insgesamt wurden zwölf Einrichtungen dazu befragt. Zehn davon stammten aus dem deutschsprachigen Raum (7 Deutschland, 3 Österreich). Zusätzlich wurden der Verband des Niederländischen Kraftfahrzeuggewerbes und die dänische Verkehrsbehörde in die Befragung mit eingebunden. Der Verband des Niederländischen Kraftfahrzeuggewerbes schlug bei der Vorstellung des Fragebogens vor, die Niederländische Verkehrsbehörde (RDW) zur Beantwortung der Fragen hinzuzuholen. Der Vorschlag wurde angenommen.

Umfrageteilnehmer:

- TÜV Süd
(Technischer Überwachungsverein - Süd)
- TÜV Nord
(Technischer Überwachungsverein - Nord)
- TÜV Rheinland
(Technischer Überwachungsverein - Rheinland)
- DEKRA
(Deutscher Kraftfahrzeug Überwachungsverein)
- GTÜ
(Gesellschaft für technische Überwachung)
- ZDK
(Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe)
- KÜS
(Kraftfahrzeug-Überwachungsorganisation freiberuflicher Kfz-Sachverständiger)
- ARBÖ
(Auto-, Motor- und Radfahrerbund Österreichs)
- ÖAMTC
(Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club)
- Bundesinnung der Fahrzeugtechnik Österreich
- BOVAG
(Verband Niederländisches Kraftfahrzeuggewerbe) gemeinsam mit RDW (Niederländischer Verkehrsbehörde)
- Færdselsstyrelsen
(dänische Verkehrsbehörde)

Die Umfrage fand in elektronischer Form mit Hilfe eines ÖAMTC eigenen Umfragetools im Zeitraum zwischen dem 28. März und dem 26. April 2022 statt.

Der dabei abzuarbeitende Fragenkatalog wurde in enger Abstimmung zwischen dem gesamten Projektteam und dem Auftraggeber erstellt und umfasste die sechs Themenbereiche:

1. Beurteilung der aktuell auslesbaren OBD-Daten
2. Zusätzlicher Bedarf an OBD-Informationen zur Beurteilung emissionsrelevanter Systeme im Zuge der PTI
3. Diagnosejobs
4. Erfahrungen beim Auslesen der On-Board Fuel Consumption Monitoring (OBFCM) Daten
5. Zukünftige Emissionsgesetzgebung mit neuer Limitierung der Partikel (PN₁₀ statt PN₂₃) und weiterer gasförmiger Schadstoffe (z. B. NH₃, N₂O)
6. Weitere Hinweise/Ergänzungen zum Themenkomplex OBD

3.2.1 Zusammenfassung der Umfrageergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung aller zwölf Teilnehmer nach den sechs Themenbereichen gegliedert zusammenfassend dargestellt. Eine detaillierte Auswertung ist in Anhang A verfügbar.

1. Beurteilung der aktuell auslesbaren OBD-Daten

Die Mehrheit der Teilnehmer an der Umfrage sah die auszulesende Datenlage für die aktuelle AU-Richtlinie als ausreichend an. Für eine Beurteilung aller emissionsrelevanten Teile hingegen reichen die auszulesenden Daten nicht aus.

Aus Anwendersicht wurde berichtet, dass Probleme bei der Verbindung des OBD-SCAN Tools mit Steuergeräten auftraten, welche jedoch in der Regel behoben werden können. Besteht die Verbindung, ist die Stabilität dieser weitgehend gegeben. Hinsichtlich der Lesbarkeit der Daten liegen keine Probleme vor. Vereinzelt traten Probleme mit nicht interpretierbaren, herstellereigenen Codes und software-spezifische Probleme bei der Bewertung auf.

Die Auswirkungen der Einschränkungen durch die Installation des Security Gateway sind bekannt. Aufgrund der geringen Anzahl an Fahrzeugen, bei denen die Security Gateways bereits installiert wurden, konnte eine umfassende Beurteilung noch nicht durchgeführt werden. Grundsätzlich wird das

Security Gateway bei schreibenden Funktionen aktiv.

2. Zusätzlicher Bedarf an OBD-Informationen zur Beurteilung emissionsrelevanter Systeme im Zuge der PTI

Bei den Anforderungen an den OBD-Datenzugang der Zukunft wird die Verfügbarkeit von Emissions-sensordaten als unabdingbar angesehen. Es wurden vorwiegend die NO_x-Sensoren und die Differenzdruckdaten des Partikelfilters, aber auch Abgastemperatur, Informationen zu Reagenzmitteln und zum AGR genannt. Sensordaten zu weiteren Emissionskomponenten wie NH₃ sollten, sobald diese in OBD eingebunden sind, auch für die PTI zur Verfügung stehen.

In Bezug auf Fehlerspeichereinträge wird gewünscht, dass Informationen, wann dieser zuletzt gelöscht wurde, vorliegen. Ein Abgleich der Softwareversion, der Prüfnummer und der Kalibrier-nummer ist zur Erkennung von nicht genehmigten Änderungen in der Software erforderlich. Dazu müssen originale Softwarenummern usw. bekannt sein. Idealerweise wären diese Informationen in einer zentralen Datenbank abzurufen. Unter den Befragungsteilnehmern wird dabei ein europäisch einheitliches Vorgehen gewünscht. Vor allem die Abfrage des Softwarestands sollte schnell, unkompliziert und standardisiert möglich sein, ebenfalls der Abgleich mit den Sollwerten.

Bei E-Fahrzeugen wurde eine Einbeziehung in die Prüfung und Beurteilung dahingehend vorgeschlagen, dass E-Fahrzeuge zukünftig mit in die Untersuchung der Umweltverträglichkeit von Kraftfahrzeugen einbezogen werden sollten.

Für Hybrid- und BEV-Fahrzeuge wurde die Definition und Einbeziehung einer einheitlichen Methode zur Bewertung der Alterung der Batterie gefordert, die sogenannten „state of health“ Bewertungen. Zukünftig sollte so eine Bewertung in eine AU-OBD eingebunden werden.

3. Diagnosejobs

Die Antworten zu den Diagnosejobs hinsichtlich ihrer Anzahl und der dazugehörigen Randbedingungen sind sehr unterschiedlich und lassen keine einheitliche Tendenz erkennen.

Die Möglichkeit Aktuatoren anzusteuern, wird als hilfreich angesehen. Zusätzlich sollten Referenzwerte für die Beurteilung von Bauteilen oder Systeme-

men von den Fahrzeugherstellern zur Verfügung gestellt werden, um eventuelle Manipulationen zu erkennen.

4. Erfahrungen beim Auslesen der On-Board Fuel Consumption Monitoring (OBFCM) Daten.

Das Auslesen von OBFCM-Daten ist grundsätzlich möglich. Die Daten sind aber zum Teil noch fehlerbehaftet. Aktuell liegen zeitlich begründet auch noch sehr wenige Erfahrungswerte vor, da der Großteil der Fahrzeuge, für welche diese Daten zwingend auslesbar sein müssen, noch zu keiner PTI vorgeführt werden musste.

5. Zukünftige Emissionsgesetzgebung mit neuer Limitierung der Partikel (PN₁₀ statt PN₂₃) und weiterer gasförmiger Schadstoffe (z. B. NH₃, N₂O)

Von den Teilnehmern der Befragung wurde begrüßt, dass im Rahmen einer Anpassung der Typgenehmigungsvorschriften eine weitere Begrenzung von Partikeln bzw. von neuen gasförmigen Schadstoffen für Neufahrzeuge erfolgen soll. In diesem Zusammenhang müsse aber auch die Möglichkeit mitbetrachtet werden, dass diese neuen Emissionen zukünftig im Rahmen einer periodischen Abgasuntersuchung auf einfache Weise mit überprüft werden können. Bei den dafür benötigten Messgeräten äußern sich die Umfrageteilnehmer zum Teil kritisch, da befürchtet wird, dass die notwendige Messtechnik im Einsatz, der Vorbereitung zur Messung und der Wartung, aufwändig werden wird. Zusätzlich werden hohe Einsatzkosten solcher Messgeräte befürchtet.

6. Weitere Hinweise/Ergänzungen zum Themenkomplex OBD

Im Zuge der Entwicklung der neuen Abgasgesetzgebung Euro 7 wurde von den Teilnehmern der Befragung gewünscht, dass durch eine softwaretechnische Weiterentwicklung der OBD-Auslese diese ein zuverlässiger Partner für die Fahrzeugüberprüfung bleibt.

Die OBD-Funktionalitäten sollten im Rahmen der Typprüfung umfassend geprüft werden.

Eine ausschließliche Selbstüberwachung der Fahrzeuge durch On-Board-Monitoring (OBM) sollte durch eine Kontrolle des Systems im Zuge der PTI realisiert werden. Die dafür erforderliche Kontrolle könnte durch eine Endrohrmessung im Rahmen der PTI erfolgen. Die OBM in Kombination mit einer periodischen AU, bestehend in diesem

Fall aus einer Endrohrmessung und einer OBD-Funktionsprüfung, würde die Funktionalität des OBM validieren.

3.3 Test an drei Euro 6 Fahrzeugen mit beim ÖAMTC eingesetzten Testgeräten

Mit einem Test wurde an drei Euro 6 Fahrzeugen mit dem beim ÖAMTC eingesetzten Testgerät BOSCH KTS 560 überprüft, welche Daten aktuell über die OBD-Schnittstelle ausgelesen werden können, und ob, wie etwa bei sicherheitsrelevanten Bauteilen, auch bei emissionsrelevanten Bauteilen Diagnosejobs (z. B. Aktuatorensteuerung) aktiv eingeleitet werden können.

Bei den getesteten Euro 6 Fahrzeugen handelte es sich um:

- SEAT Leon Sportstourer mit DLA Motor, Otto, Bj. 2021
- VW Caddy mit DTRE Motor, Diesel, Bj. 2021
- Toyota Corolla Hybrid (EZE1), 1.8 VVT-i-HSD mit 2ZRFXE Motor, Otto-Hybrid, Bj. 2022

Die vorliegenden auslesbaren Daten waren in Anzahl und Bezeichnung sehr unterschiedlich und sind folgend je Fahrzeug aufgelistet. Die Bezeichnungen sind zum Teil sehr frei gewählt und irreführend. Sie werden folgend zitiert.

SEAT Leon (Otto):

- Aschegehalt Partikelfilter in %
- Aschebelastung Partikelfilter in %
- Partikelfilter Wasserbelastung in %
- Rußbelastung Partikelfilter in %
- Abgasdurchflussmenge in kg/h

Keine Stellgliedsteuerung möglich.

VW Caddy (Diesel):

- NO_x-Konzentration für Sensor 1 (erscheint erst bei Betriebstemperatur) in ppm
- NO_x-Konzentration für Sensor 2 (erscheint erst bei Betriebstemperatur) in ppm
- Rußmasse gemessen in g
- Rußmasse berechnet in g

Stellglieder, welche zur Funktionskontrolle angesteuert werden konnten:

- Abgasklappensteller
- Abgasrückführungs-Stellmotor 1+2

Toyota Corolla (Otto-Hybrid):

- Luftmassenmesser/Luftdurchsatz
- Saugrohrdruck/Ansaugtemperatur
- Einspritzmenge
- Abgasgegendruck
- Differenzdruck Partikelfilter
- Lambdasonde
- IST-Position AGR-Ventil
- Abgasdurchsatz

Stellglieder, welche zur Funktionskontrolle angesteuert werden konnten:

- AGR-Ventil
- Einspritzmenge lässt sich erhöhen (+) oder verringern (-) oder das jeweilige Einspritzventil abschalten

Der Umfang der auszulesenden emissionsrelevanten Daten war bei den einzelnen Fahrzeugen sehr unterschiedlich.

Bei den Fahrzeugen mit Ottomotorisierung konnten beim reinen Verbrennerfahrzeug Daten ausgelesen werden, welche auf die direkte Partikelbelastung im Filter schließen lassen. Das Hybridfahrzeug, welches ebenfalls mit einem Ottomotor ausgestattet war, lieferte den Differenzdruck über den Filter und zusätzlich Betriebsdaten. Beim Dieselfahrzeug wurden ebenfalls Daten, welche emissionsrelevant sind, ausgelesen. Es konnten also bei allen Fahrzeugen über die OBD-Schnittstelle emissionsrelevante Daten ausgelesen werden, die Art der Daten war jedoch unterschiedlich.

Bei allen Stellgliedern konnte lediglich festgestellt werden, dass eine Verstellung möglich war. Rückschlüsse über die Richtigkeit der Verstellwege können daraus nicht geschlossen werden. Beim Fahrzeug mit der reinen Ottomotorisierung war keine Stellgliedsteuerung möglich.

3.4 Abstimmung KBA/BASt/ Auftragnehmer

Im Anschluss an die Befragung der Überwachungseinrichtungen wurde das deutsche Kraffahrt-Bundesamt (KBA) kontaktiert. Im Zuge dessen wurde abgeklärt, ob von Seiten des KBA zusätzliche Anforderungen an das OBD-System gestellt werden, welche bei der Typgenehmigung oder der Marktüberwachung hilfreich wären.

Die Fragestellung dabei lautete:

- Benötigt das KBA Daten aus der On-Board-Diagnose, um z. B. in der Marktüberwachung gezielter tätig sein zu können?

Das KBA beantwortete die Frage zweigeteilt. Einerseits wurden Angaben zu den für die aktuelle Marktüberwachung gewünschten Daten gemacht, andererseits wurden die für eine zukünftige Marktüberwachung benötigten Daten genannt.

Die gesamten Antworten auf die Fragen erfolgten tabellarisch und sind in den Tabellen 3-1 und 3-2 dargestellt.

4 AP II – Sensorik

In diesem Arbeitspaket sollen mindestens 9 Sensoren, die gesetzlich limitierte Emissionen in den aktuellen und zukünftigen Richtlinien im Bereich der Abgasnachbehandlung messen können, hinsichtlich ihrer Eignung für OBD- und PTI-Aufgaben analysiert werden. Zusätzlich soll im Arbeitspaket II ein Sensor für die messtechnische Untersuchung im Arbeitspaket III zusammen mit der BASt ausgewählt werden. Folgende Sensortypen wurden in diesem Arbeitspaket analysiert:

- NO_x-Sensoren
- NH₃-Sensoren
- PM- und PN-Sensoren
- CO₂- und CO-Sensor
- Lambda-Sonden
- Sensoren für indirekte Emissionsüberwachung, wie z. B. Druck und Temperatur

Die Sensoranalyse erfolgte anhand von Datenblättern sowie Befragung der Sensorhersteller. Insgesamt wurde bei neun Herstellern angefragt. Zusätz-

Wünschenswerte Signale für aktuelle Messungen
Temperaturwerte in AGR-Strecken (berechnete/modellierte Werte aus der Motorsteuerung)
AGR-Rate (Ist/Soll)
Temperatur AGR-Kühler
AGR-Kühlerbypassstellung
Temperatur Ladeluftkühler
durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch
Ganginformation
Kat-Temperatur (modelliert)
AGR-Ventilstellungen
Abgasmassenstrom
Abgasklappenstellung
NO _x -Sonden-PPM-Werte
NH ₃ -Dosiermenge (Ist/Soll)
NH ₃ -/AdBlue-Temperatur
aktueller SCR-Wirkungsgrad
NH ₃ -Langzeitverbrauch
DPF-Beladung
Strecke seit letzter DPF-Regeneration
Lambda
Ladelufttemperatur
Einspritzmenge (pro Hub)
Kraftstoffdruck
Ladedruck
Abgastemperatur
Saugrohrdruck

Tab. 3-1: Gewünschte Daten aus der On-Board-Diagnose für die aktuelle Marktüberwachung

Benötigte Signale für zukünftige Messungen
HV-Spannung
HV-Strom
HV-Batterieladezustand
Status Charge/Recharge
Energy Consumption
SoC Energiespeicher (REES)
SoH Energiespeicher (REES)
HV Batteriediagnosen
HV Batteriekapazität
HV Kühlmitteltemperatur
Energy Consumption (Antrieb)
Energy Consumption (Klimatisierung)
Energy Consumption (Kaltstart/Konditionierung)
Rekuperation Status

Tab. 3-2: Benötigte Daten aus der On-Board-Diagnose für die zukünftige Marktüberwachung

Hersteller bzw. Institution	Rückmeldung erhalten (Ja/Nein)	Sensoren im Portfolio	Anmerkung
Bosch	Ja	Lambda-Sonde (Sprung sowie Breitband), NO _x -Sensor, Differenzdrucksensor, PM-Sensor	-
CITA	Ja (von Capelec, Sensors und Airliquide)	Keine Fahrzeugsensoren im Portfolio	-
Continental	Ja	Keine Fahrzeugsensoren mehr im Portfolio	Auf Tochtergesellschaft Vitesco verwiesen
Delphi	Nein	Keine Informationen verfügbar	Auch auf Nachfrage keine Rückmeldung erhalten
Denso	Ja	Keine Informationen verfügbar	-
ECM	Ja	Lambda-Sonde (Breitband), NO _x -Sensor, NH ₃ -Sensor, CO ₂ -Sensor, CO-Sensor, PM-Sensor, Temperatursensoren	Nicht als serienmäßige Fahrzeugsensoren eingesetzt
Emisense	Ja	PM-Sensor als Vorserie	-
NGK/NTK	Ja	Keine Informationen verfügbar	Auf Partner Bosch verwiesen
Stoneridge	Ja	Temperatursensoren	-
Vitesco	Ja	NO _x -Sensor, Differenzdrucksensor	-

Tab. 4-1: Übersicht der befragten Unternehmen und Institutionen bzgl. Sensoren

lich wurde in Zusammenarbeit mit TBB und ÖAMTC auch das International Motor Vehicle Inspection Committee (CITA) befragt. Tabelle 4-1 zeigt eine Übersicht der befragten Hersteller bzw. Institution. Insgesamt haben wir elf Rückmeldung erhalten, fünf davon haben entsprechende Sensoren im Portfolio. Die verfügbaren Sensoren sind in der nachfolgenden Tabelle angeführt. Dazu sei erwähnt, dass Sensoren von Bosch, Vitesco und Stoneridge bereits serienmäßig in Fahrzeugen verbaut werden. Den Sensor von Emisense gibt es derzeit als Vorserienprodukt, ein serienmäßiger Einsatz in Fahrzeugen ist laut Emisense das Entwicklungsziel. Die Sensoren von ECM werden derzeit als Sensoren für einen vielfältigen Einsatz angeboten. Ob ein serienmäßiger Einsatz in Fahrzeugen mit entsprechender Lebensdauer und niedrigen Herstellungskosten möglich wäre, müsste separat untersucht werden. Die Erkenntnisse der Literaturstudie sowie der Befragungen sind in Kapitel 4.1 beschrieben.

4.1 Sensoranalyse

Die Analyse der Sensoren enthält, sofern die Informationen verfügbar waren, folgende Eigenschaften:

- Sensorverfügbarkeit und -entwicklungsstand (Serie, Vor-Serie, Demonstrator, Konzept)
- Sensorgenauigkeit (Messbereich, Genauigkeit, Querempfindlichkeiten)

- Praxistauglichkeit des Sensors (Haltbarkeit, Kosten, Platzverbrauch)
- Messbeginn des Sensors nach Kaltstart
- Anwendbarkeit des Sensors für PTI (technisch machbar/ sinnvoll) mit Möglichkeiten der Datenerfassung

Da im Rahmen des Arbeitspakets III ein Sensor in einem Pkw messtechnisch untersucht werden soll, wurden primär Sensoren untersucht, die für den Pkw-Bereich ausgelegt sind. Der Großteil der analysierten Sensoren kann aber auch für schwere Nutzfahrzeuge eingesetzt werden, ggf. mit entsprechenden Modifikationen seitens des Sensorherstellers für den jeweiligen Einsatzbereich.

Alle analysierten Sensoren haben eine kleine Baugröße. Bei den Sensoren mit CAN-Anbindung ist zusätzlich zum Sensor auch noch eine Sensor Control Unit (SCU) erforderlich, die u. a. das Sensorsignal in ein CAN-Signal verarbeitet. Auch in diesem Fall ist für alle untersuchten Sensoren mit SCU nur ein geringer Platzbedarf für die Installation in einem Kfz erforderlich. Zu den Eigenschaften Sensordrift und Kalibriermöglichkeiten konnten keine sensor-spezifischen Daten ermittelt werden. Es wird daher vorgeschlagen, zumindest den Sensordrift bei dem ausgewählten Sensor im Arbeitspaket III zu untersuchen. Die weiteren Eigenschaften werden je Sensor im Detail in den nachfolgenden Tabellen beschrieben. Insgesamt wurden 16 Sensoren analysiert. Zusätzlich wurde am Ende jeder Tabelle auch

eine Gesamtbeurteilung des jeweiligen Sensors durchgeführt. Die Gesamtbeurteilung erfolgte anhand der Einschätzungen für:

- a) die Eignung des Sensors um PTI zukünftig zu erweitern bzw. zu verbessern (u. a. basierend auf den Erkenntnissen aus Arbeitspaket I),
- b) noch erforderliche Entwicklungsarbeiten für den serienmäßigen Einsatz des Sensors,
- c) Einbauaufwand des Sensors in ein Kfz,
- d) Aufwand für Datenerfassung/-auswertung und
- e) die Kosten des Sensors für den serienmäßigen Einsatz unter Berücksichtigung einer hohen Lebensdauer.

Die Einzelbeurteilung erfolgte nach Vergabe von Noten von 1 bis 3, wobei Note 1 die beste Bewertung und Note 3 die schlechteste Bewertung darstellt. Von den fünf Einzelbeurteilungen zu den o. a. Punkten a) bis e) wurde der arithmetische Mittelwert gebildet, um eine Gesamtnote zu erhalten. D. h.

jede Einzelnote beeinflusst die Gesamtnote zu 20 %. Konnten die Kosten des Sensors aufgrund fehlender Informationen nicht bewertet werden, wurde die Gesamtnote ohne die Kostenbewertung berechnet. Je besser die Gesamtnote, desto besser eignet sich der Sensor für die messtechnische Untersuchung im Arbeitspaket III.

Tabelle 4-2 zeigt die Eigenschaften von serienmäßigen NO_x-Sensoren von Bosch, ECM sowie Vitesco. Sowohl Genauigkeit bei geringeren NO_x-Konzentrationen als auch Messbeginn nach Kaltstartphase sind beim Bosch-Sensor, der gerade für Euro 7 entwickelt wird, noch besser bzw. kürzer als beim derzeitigen am Markt verfügbaren Bosch-Sensor EGS-NX2.1. Die Sensordaten aller hier gelisteten NO_x-Sensoren können über CAN-Schnittstelle abgegriffen werden. Eine Anwendbarkeit für PTI ist zwar vom konkreten Anwendungsfall abhängig, ist aber unserer Einschätzung nach technisch mit dem Sensor von Bosch sowie Vitesco möglich. Dies zeigt

	NO _x -Sensoren										Geplanter NO _x -Sensor für Euro 7				
	Bosch		ECM		Vitesco		Bosch								
Hersteller	Bosch		ECM		Vitesco		Bosch								
Modell	EGS-NX2.1		NOxCANT		keine Info verfügbar		EGS-NX3								
Messprinzip	amperometrisch		amperometrisch		amperometrisch		amperometrisch								
Entwicklungsstand	Serie		Serie		Serie		In Entwicklung								
Messbereich	0 - 3000 ppm		0 – 5.000 ppm		keine Info verfügbar		0 - 3000 ppm								
Genauigkeit	±10 ppm NO _x bei <100 ppm (4sigma & gealtert); ±10% bei >100 ppm (4sigma)		± 5 ppm (0 to 200 ppm), ± 20 ppm (200 to 1000 ppm), sonst ± 2.0%		± 10 ppm für NO < 100 ppm (± 10% über 100 ppm)		±5 ppm NO _x bei <100 ppm (target, 4sigma & gealtert); ±10% bei >100 ppm (4sigma & gealtert)								
Haltbarkeit	300.000 km		laut ECM sehr hohe Lebensdauer		keine Info verfügbar		300.000 km								
Kosten ^{a)}	~ 400.- € ^{b)}		keine Info verfügbar		~ 400.- €		keine Info verfügbar								
Messbeginn nach Kaltstart	<80 s nach Taupunktfreigabe ^{c)}		60 s		keine Info verfügbar		<45 s (mit reduzierter Genauigkeit) bis <60 s (voller Genauigkeit) von Motorstart (nach Taupunktfreigabe) ^{c)}								
Datenschnittstelle	CAN		CAN		CAN oder SAE-J-1939		CAN								
Anwendbarkeit für PTI	Machbarkeit vom konkreten Anwendungsfall abhängig														
Anmerkung	für Diesel-Pkw		für Diesel- und Otto-Pkw		für Diesel-Pkw		für Diesel-Pkw ^{d)}								
Einzelbeurteilung	1 ¹⁾	2 ²⁾	3 ³⁾	4 ⁴⁾	5 ⁵⁾	1 ¹⁾	2 ²⁾	3 ³⁾	4 ⁴⁾	5 ⁵⁾	1 ¹⁾	2 ²⁾	3 ³⁾	4 ⁴⁾	5 ⁵⁾
Gesamtbeurteilung	1,0⁶⁾		1,5⁶⁾ (exkl. Kostenbewertung)		1,0⁶⁾		1,25⁶⁾ (exkl. Kostenbewertung)								

a) Die Kosten beziehen sich auf Einzelstücke. Bei Abnahme einer höheren Stückzahl sind die Kosten vermutlich geringer.
 b) Internetrecherche (durchgeführt im April 2022), c) bei Nominalspannung, d) Für Otto-Pkw EGS-NX-SI geplant, der ähnliche Eigenschaften wie der EGS-NX3 hat.
 Notenbewertung:
 1) Eignung für PTI, 2) Entwicklungsstand für PTI, 3) Einbau, 4) Datenerfassung/-auswertung, 5) Kosten, 6) Gesamtbeurteilung

Tab. 4-2: Eigenschaften der NO_x-Sensoren

	NH ₃ -Sensor					PM-Sensor														
Hersteller	ECM					Bosch					Emisense					ECM				
Modell	NH3CAN					EGS-PM					ePM					pmCAN				
Messprinzip	Mixed Potential					resistiv					elektrostatisch					elektrostatisch				
Entwicklungsstand	Serie					Serie					Vorserie					Serie				
Messbereich	0 – 2.000 ppm (nur für $\lambda > 1$)					Integralbildung					$\leq 25 \text{ mg/m}^3$					0,05 - 200 mg/m^3				
Genauigkeit	$\pm 5 \text{ ppm}$ (0 - 200 ppm)					$\pm 0,5 \text{ mg/m}^3$ [$\text{@}3 \text{ mg/m}^3$] im Betriebspunkt					+/- 0,5 mg/m^3 @ $\leq 5 \text{ mg/m}^3$; +/- 10 % @ $> 5 \text{ mg/m}^3$					+/- 10 %				
Haltbarkeit	laut ECM sehr hohe Lebensdauer					300.000 km					3.000 h					laut ECM sehr hohe Lebensdauer				
Kosten ^{a)}	~ 3.600.- €					~ 300.- € ^{b)}					~ 1.950.- \$					~ 6.000.- €				
Messbeginn nach Kaltstart	60 s					nach Taupunktfreigabe ^{c)}					nach ~400 s					30 s				
Datenschnittstelle	CAN					CAN					CAN					CAN				
Anwendbarkeit für PTI	Machbarkeit vom konkretem Anwendungsfall abhängig																			
Anmerkung	nur für Fahrzeuge mit Magerbetrieb					für Diesel-Pkw					für Diesel- und Otto-Pkw					für Diesel- und Otto-Pkw				
Einzelbeurteilung	1 ¹⁾	2 ²⁾	3 ³⁾	4 ⁴⁾	5 ⁵⁾	2 ¹⁾	3 ²⁾	1 ³⁾	4 ⁴⁾	5 ⁵⁾	1 ¹⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	1 ⁴⁾	3 ⁵⁾	1 ¹⁾	2 ²⁾	2 ³⁾	1 ⁴⁾	3 ⁵⁾
Gesamtbeurteilung	1,8⁶⁾					1,6⁶⁾					1,6⁶⁾					1,8⁶⁾				
^{a)} Die Kosten beziehen sich auf Einzelstücke. Bei Abnahme einer höheren Stückzahl sind die Kosten vermutlich geringer. ^{b)} Internetrecherche (durchgeführt im April 2022), ^{c)} bei Nominalspannung Notenbewertung: 1) Eignung für PTI, 2) Entwicklungsstand für PTI, 3) Einbau, 4) Datenerfassung/-auswertung, 5) Kosten, 6) Gesamtbeurteilung																				

Tab. 4-3: Eigenschaften der NH₃- und PM-Sensoren

auch die Gesamtbeurteilung mit Noten zwischen 1,0 und 1,25. Der NO_x-Sensor von ECM wird als universeller Sensor angeboten, ein Einsatz im Fahrzeug mit entsprechender Lebensdauer und niedrigen Herstellungskosten müsste erst untersucht werden.

An PM-, PN- und NH₃-Sensoren wird derzeit gerade geforscht. Einige Hersteller haben die Forschungsarbeiten dazu auch wieder eingestellt. Herausforderungen sind Dauerhaltbarkeit, Kondensation von Wasser auf der Sensoroberfläche, die zu Messfehler und Sensorzerstörung führen, sowie auftretende Verschmutzungen während des Betriebs. Das Unternehmen ECM bietet z. B. einen NH₃-Sensor an, dessen Eigenschaften in Tabelle 4-3 zusammengefasst sind. Mit 3.600.- Euro sind die Sensorkosten allerdings hoch. Des Weiteren sind in Tabelle 4-3 auch die Eigenschaften von PM-Sensoren beschrieben. Sowohl der NH₃-Sensor als auch der PM-Sensor von ECM wird für einen vielfältigen Einsatz angeboten, ein serienmäßiger Einsatz im Fahrzeug müsste untersucht werden. Emisense bietet einen PM-Sensor derzeit nur als Vorserienprodukt

an. Die PM-Sensoren von ECM und Emisense arbeiten elektrostatisch, die höhere Partikelmassen durch einen Fehler in der Abgasnachbehandlung (z. B. gebrochener Partikelfilter) vermutlich schneller detektieren, als der PM-Sensor von Bosch, der resistiv arbeitet. Vergleicht man die Kosten unter den PM-Sensoren, so ist der Sensor von Bosch am billigsten. Die Gesamtbeurteilung liefert für den PM-Sensor von Bosch sowie Emisense jeweils die Note 1,6, für den PM-Sensor von ECM 1,8. Eine Anwendbarkeit für PTI ist unserer Einschätzung nach technisch machbar, sinnvoll nur, wenn die Kosten der Sensoren von ECM und Emisense gesenkt werden können.

In Tabelle 4-4 sind die Eigenschaften des CO₂/CO-Sensors sowie der Lambda-Sonden beschrieben. Der Hersteller ECM bietet den CO₂/CO-Sensor bzw. die Lambda-Sonden für einen vielfältigen Einsatz an. Inwieweit diese Sensoren dann serienmäßig im Fahrzeug eingesetzt werden könnten, müsste untersucht werden. Die Sensoren der Firma Bosch werden hingegen bereits seit längerem serienmäßig in Fahrzeugen eingesetzt. Die Gesamtbe-

	CO ₂ /CO-Sensor					Lambda-Sonde														
Hersteller	ECM					Bosch					Bosch					ECM				
Modell	COCO2CAN					LSF6					LSU5.2					LambdaCANp (Breitband)				
Messprinzip	O ₂ pumping					potentiometrisch					amperometrisch					amperometrisch				
Entwicklungsstand	Serie					Serie					Serie					Serie				
Messbereich	0 - 20 % CO, CO ₂ 0 - 25 % O ₂					$\lambda=0,98-1,02$					$\lambda=0,8 - \lambda=air$					0,40 - 25				
Genauigkeit	+0,15 % CO, CO ₂ absolut +0,1 % O ₂ absolut					λ static 1,0000 ± 0,0005					λ static λ -Signal bei $\lambda=1,0$: 1,015 ± 0,008 λ -Signal bei $\lambda=1,7$: 1,70 ± 0,132					± 0,6 % (@ $\lambda = 1$), ± 0,9 % (Durchschnitt, $\lambda < > 1$)				
Haltbarkeit	laut ECM sehr hohe Lebensdauer					300.000 km					300.000 km					laut ECM sehr hohe Lebensdauer				
Kosten ^{a)}	keine Info verfügbar					~ 100.- € ^{b)}					~ 100.- € ^{b)}					keine Info verfügbar				
Messbeginn nach Kaltstart	60 s					< 10 s ^{c)}					<= 7 s ^{c)}					60 s				
Datenschnittstelle	CAN					mit Motorsteuergerät verbunden					mit Motorsteuergerät verbunden					CAN				
Anwendbarkeit für PTI	Machbarkeit vom konkreten Anwendungsfall abhängig																			
Anmerkung	Diesel: CO ₂ , O ₂ Gasoline: CO ₂ , CO, O ₂					für Otto/CNG-Pkw					für Diesel- und CNG-Pkw					für Diesel- und Otto-Pkw				
Einzelbeurteilung	2 ¹⁾	2 ²⁾	2 ³⁾	1 ⁴⁾	..5)	2 ¹⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	3 ⁴⁾	1 ⁵⁾	2 ¹⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	3 ⁴⁾	1 ⁵⁾	2 ¹⁾	2 ²⁾	2 ³⁾	1 ⁴⁾	..5)
Gesamtbeurteilung	1,75⁶⁾ (exkl. Kostenbewertung)					1,8⁶⁾					1,8⁶⁾					1,75⁶⁾ (exkl. Kostenbewertung)				

a) Die Kosten beziehen sich auf Einzelstücke. Bei Abnahme einer höheren Stückzahl sind die Kosten vermutlich geringer.
b) Internetrecherche (durchgeführt im April 2022), c) bei Nominalspannung
Notenbewertung:
1) Eignung für PTI, 2) Entwicklungsstand für PTI, 3) Einbau, 4) Datenerfassung/-auswertung, 5) Kosten, 6) Gesamtbeurteilung

Tab. 4-4: Eigenschaften des CO₂/CO-Sensors und der Lambda-Sonden

urteilung wurde beim CO₂/CO-Sensor sowie bei der Lambda-Sonde von ECM ohne Kostenbewertung durchgeführt, da diese nicht verfügbar war. Deshalb sind die Gesamtbeurteilungen auch nur bedingt miteinander vergleichbar. Beim CO₂/CO-Sensor gibt es derzeit noch keine Erfahrungswerte. Der Einsatz im Rahmen der PTI ist prinzipiell vorstellbar, allerdings müsste der serienmäßige Einsatz im Fahrzeug mit entsprechender Lebensdauer möglich und die Sensorkosten entsprechend niedrig sein. Lambda-Sonden werden hingegen bei den Fahrzeugen schon für Systemüberwachungen benutzt.

Differenzdruck- und Temperatursensoren werden ebenfalls schon seit längerem in Fahrzeugen verbaut. Tabelle 4-5 zeigt die Eigenschaften recherchierter Differenzdruck- und Temperatursensoren. Informationen zu Temperatursensoren sind von den Herstellern Stoneridge sowie ECM verfügbar, Informationen zu Differenzdrucksensoren von den Herstellern Bosch und Vitesco. Eine Anwendung der Temperatursensoren zur Fehlerdetektion im Rah-

men der PTI ist als schwierig einzustufen. Die Differenzdrucksensoren kommen bereits zur Überwachung des Partikelfilters zur Anwendung, können aber defekte Partikelfilter in vielen Fällen nur schwer bzw. gar nicht detektieren. Die ermittelten Gesamtbeurteilungen liegen zwischen 1,8 und 2,0, wobei bei den Temperatursensoren sowie beim Differenzdrucksensor von Vitesco keine Kosteninformationen verfügbar waren.

4.2 Sensorauswahl für die messtechnische Untersuchung

Für das Arbeitspaket III soll ein Sensortyp aus Kapitel 4.1 für die detaillierte messtechnische Untersuchung ausgewählt werden. Die nachfolgenden Sensorempfehlungen wurden anhand der von der BAST definierten Kriterien erarbeitet. Mit den Erkenntnissen der Rechercharbeiten aus Kapitel 4.1 und der durchgeführten Gesamtbeurteilungen wird einer

	Temperatursensor					Differenzdrucksensor														
Hersteller	Stoneridge		ECM			Bosch		Vitesco												
Modell	High Temperature Sensor		FastTemp			PS-4		keine Info verfügbar												
Messprinzip	Widerstandsänderung		Widerstandsänderung			piezoresistiv		keine Info verfügbar												
Entwicklungsstand	Serie		Serie			Serie		Serie												
Messbereich	-40 - 900 °C (1.000 °C 10min)		-60 – 1.370 °C			0 bis 100 kPa		-50 kPa - 100 kPa												
Genauigkeit	-40 - 300 °C: +/-2,5 °C 301 - 900 °C: +/- 1,0%		± 1 °C			0,6 % F.S. (für 100 kPa)		1% F.S (10 bis 85 °C)												
Haltbarkeit	15 Jahre bzw. 250.000 Meilen		laut ECM sehr hohe Lebensdauer			300.000 km		keine Info verfügbar												
Kosten ^{a)}	keine Info verfügbar		keine Info verfügbar			~ 50.- € ^{b)}		keine Info verfügbar												
Messbeginn nach Kaltstart	keine Info verfügbar		keine Info verfügbar			4,4 ms ^{c)}		keine Info verfügbar												
Datenschnittstelle	analog		analog			SENT		Analog oder SENT												
Anwendbarkeit für PTI	nicht empfohlen					Machbarkeit vom konkreten Anwendungsfall abhängig														
Anmerkung	für Diesel- und Otto-Pkw		für Diesel- und Otto-Pkw			für Diesel- und Otto-Pkw		für Diesel- und Otto-Pkw												
Einzelbeurteilung	3 ¹⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	2 ⁴⁾	-5 ⁵⁾	3 ¹⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	2 ⁴⁾	-5 ⁵⁾	2 ¹⁾	2 ²⁾	2 ³⁾	2 ⁴⁾	1 ⁵⁾	2 ¹⁾	2 ²⁾	2 ³⁾	2 ⁴⁾	-5 ⁵⁾
Gesamtbeurteilung	2,0⁶⁾ (exkl. Kostenbewertung)					2,0⁶⁾ (exkl. Kostenbewertung)					1,8⁶⁾					2,0⁶⁾ (exkl. Kostenbewertung)				
^{a)} Die Kosten beziehen sich auf Einzelstücke. Bei Abnahme einer höheren Stückzahl sind die Kosten vermutlich geringer. ^{b)} Internetrecherche (durchgeführt im April 2022), ^{c)} bei Nominalspannung Notenbewertung: ¹⁾ Eignung für PTI, ²⁾ Entwicklungsstand für PTI, ³⁾ Einbau, ⁴⁾ Datenerfassung/-auswertung, ⁵⁾ Kosten, ⁶⁾ Gesamtbeurteilung																				

Tab. 4-5: Eigenschaften der Temperatur- und Differenzdrucksensoren

der folgenden Sensoren für die detaillierte messtechnische Untersuchung empfohlen:

- Der NO_x-Sensor erfüllt alle erforderlichen Kriterien, die Gesamtbeurteilung erreichte bei den NO_x-Sensoren von Bosch sowie Vitesco, die derzeit serienmäßig am Markt verfügbar sind, jeweils die Note 1,0. Der NO_x-Sensor kommt bereits seit einigen Jahren serienmäßig in Dieselfahrzeugen zum Einsatz, weshalb diese Sensortechnologie hinsichtlich Lebensdauer, Genauigkeit und Herstellungskosten als schon gut entwickelt einzuschätzen ist. Daher würde sich dieser Sensor gut eignen, um die PTI zukünftig zu erweitern bzw. zu verbessern. Neue in Entwicklung befindliche NO_x-Sensorgenerationen haben ein schnelleres Ansprechverhalten in der Kaltstartphase sowie bessere Genauigkeit bei geringen Konzentrationen und können durch die CAN-Schnittstelle in das Fahrzeugsystem eingebunden werden. Da im Zuge dieses Projektes auch ein Vorschlag erarbeitet werden soll, wie eine Beurteilung des Abgassystems hinsichtlich NO_x im Zuge einer PTI zukünftig erfolgen könnte, ist der Mehrwert dieser neuen Sensorgeneration für die Anwendung in diesem Projekt eher gering, da die repräsentative Betrachtung für PTI über einen längeren Abschnitt erfolgen soll, sowie Fehler in der Abgasmachbehandlung zu sehr viel höheren NO_x-Emissionen führen, bei denen der Genauigkeitsunterschied nicht ausschlaggebend ist. Des Weiteren wird sich eine Fehlerbeurteilung eher auf die betriebswarme Phase beziehen, da das Emissionsniveau im Kaltstart auch ohne Fehler hoch ist. Damit ist eine kürzere Aufwärmphase der neuesten Sensorgeneration im Projekt auch nicht relevant. Deshalb sollte auf den serienmäßig verbauten NO_x-Sensor des Versuchsfahrzeugs zugegriffen werden.
- Der PM-Sensor, basierend auf Detektion der Partikelladung wird ebenfalls als möglicher Testsensor angesehen. Solche PM-Sensoren werden von der Firma Emisense bzw. ECM angeboten. Mit diesen PM-Sensoren könnten defekte Partikelfilter im Rahmen der PTI besser und früher erkannt werden, als mit einem PM-Sensor

basierend auf resistiven Messprinzip. Den PM-Sensor von Emisense gibt es derzeit nur als Vorserienprodukt, die Kosten für einen Sensor sind mit rund 1.950.- \$ hoch, jedoch immer noch günstiger als der PM-Sensor von ECM (rund 6.000.- €). Da in Deutschland im Zuge der PTI bereits eine Partikelanzahlüberprüfung mit einem Werkstatttester zukünftig vorgeschrieben wird, ist der Nutzen eines PM-Sensors nur in der vorzeitigen Veranlassung einer anwendungsbezogenen PTI zu sehen.

3. Ebenfalls von Interesse stufen wir einen NH₃-Sensor ein. NH₃ soll zukünftig im Rahmen der Pkw-Fahrzeugtypisierung auch begrenzt werden, weshalb vor allem bei Diesel-Fahrzeugen eine Überwachung im realen Betrieb des Fahrzeuges von Interesse ist. Durch Überdosierung von AdBlue kann es zu NH₃-Schlupf am Auspuff kommen. Derzeitige NO_x-Sensoren sind zudem auf NH₃ querempfindlich. Beim Otto-Pkw wird NH₃ ggf. im 3-Wegekatalysator bei fettem Motorbetrieb erzeugt. Der Motorbetrieb sollte aber durch Lambda-Sonde auf stöchiometrischen Betrieb geregelt werden, deshalb ist der Bedarf beim Otto-Pkw für zukünftige PTI-Anwendungen geringer. Ein NH₃-Sensor wird z. B. von der Firma ECM zum Einsatz angeboten. Ob ein serienmäßiger Einsatz im Fahrzeug möglich ist, müsste erst durch den Hersteller untersucht werden. Ein NH₃-Sensor von ECM kostet rund 3.600.- €. Da die Gesamtbeurteilung des NH₃-Sensors bei 1,8 liegt, wird empfohlen, den NO_x-Sensor dem NH₃-Sensor für die messtechnische Untersuchung vorzuziehen.

Nach Präsentation und Diskussion der Sensoranalysen mit der BASt, wurde der NO_x-Sensor für die messtechnische Untersuchung im Arbeitspaket III ausgewählt. Arbeitspaket III umfasst auch die Ausarbeitung einer Methode, um zukünftig NO_x-Emissionen im realen Fahrzeugbetrieb analysieren und bewerten zu können.

5 AP III – Messtechnische Untersuchung sowie Methodenentwicklung für zukünftige NO_x-Überwachung

In diesem Arbeitspaket erfolgte die messtechnische Untersuchung des in Kapitel 4 ausgewählten NO_x-

Sensors, der serienmäßig im Fahrzeug verbaut ist. Dafür wurde ein modernes Versuchsfahrzeug organisiert. Mit dem Versuchsfahrzeug wurden Messungen am Pkw-Rollenprüfstand sowie auf der Straße durchgeführt. Parallel zu den Messungen wurde auch eine Methode erarbeitet, wie zukünftig die NO_x-Emissionen von Pkw überwacht werden können. Die Methode wurde anhand der Messdaten getestet und soll die Machbarkeit eines sensorbasierten On-Board Monitorings zeigen.

Nachfolgend werden das Versuchsfahrzeug, die eingesetzte Messtechnik sowie bereits durchgeführte Messungen beschrieben. Des Weiteren wird auf den Methodenvorschlag und auf die Ergebnisse eingegangen.

5.1 Versuchsfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug kam ein moderner Diesel-Pkw der Abgasnorm Euro 6d zum Einsatz. Tabelle 5-1 zeigt die wichtigsten Fahrzeugdaten, Bild 5-1 das Fahrzeug am Pkw-Rollenprüfstand.

Im Bild 5-2 ist das Abgasnachbehandlungssystem des Versuchsfahrzeugs schematisch dargestellt. Das Abgasnachbehandlungssystem besteht aus Abgasrückführung (Hochdruck sowie Niederdruck), Oxidationskatalysator sowie Partikelfilter und zwei SCR-Katalysatoren mit NH₃-Sperrkatalysator. Ein SCR-Katalysator ist dabei motornah verbaut, der zweite SCR-Katalysator im Unterboden. Serienmäßige

Hersteller und Modell	VW Passat
VIN	WVWZZZ3CZME085318
Baujahr	2021
Abgasnorm	2018/1832 AP
Motor	2.0 TDI Evo
Nennleistung	110 kW
Nenndrehzahl	3000 U/min
Tatsächliche Masse des Fahrzeugs	1671 kg
Zul. Gesamtmasse	2200 kg
Kilometerstand am Beginn der Messungen	13.400 km
Bereifung	Sommerreifen: Pirelli Cinturato P7 215/55 R17 Winterreifen: Continental ContiContact 215/60 R16
Abgasnachbehandlungssystem	AGR, DOC, DPF, 2x SCR
CO ₂ im NEFZ bzw. WLTC	110 g/km bzw. 134 g/km

Tab. 5-1: Fahrzeugdaten

ßig sind im Versuchsfahrzeug auch drei NO_x -Sensoren verbaut. Der NO_x -Sensor Nr. 1 (hier als NO_{x1} bezeichnet) befindet sich vor dem ersten SCR-Katalysator, der NO_x -Sensor Nr. 2 (NO_{x2}) zwischen dem ersten und zweiten SCR-Katalysator und der NO_x -Sensor Nr. 3 (NO_{x3}) am Ende des Abgasstrangs. Der NO_x -Sensor Nr. 3 ist für dieses Projekt auch der relevante Sensor, da dieser am Ende des Abgasstrangs sitzt und damit detektiert werden kann, ob die NO_x -Abgasnachbehandlungssysteme ordnungsgemäß funktionieren. Beim NO_x -Sensor Nr. 3 handelt es sich um einen NO_x -Sensor von Denso mit der Bezeichnung $\text{NO}_{x\text{D1 ND9}}$. Nähere Details zum NO_x -Sensor waren nicht bekannt. Es wird aber davon ausgegangen, dass es sich dabei um einen NO_x -Sensor mit amperometrischen Messprinzip handelt. Ebenfalls kann man in Bild 5-2 erkennen, dass insgesamt vier Abgastemperatursensoren (T1, T2, T3 und T4) sowie eine Lambda-Sonde und ein Partikelmassesensor verbaut sind.

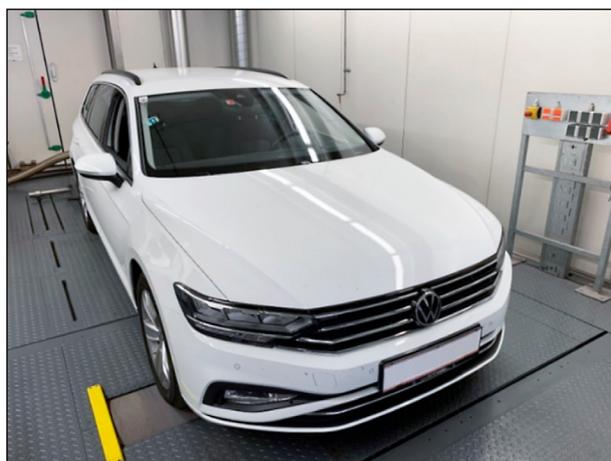


Bild 5-1: Versuchsfahrzeug am Pkw-Rollenprüfstand

5.2 Messprogramm

Am Beginn der messtechnischen Untersuchung wurde das Versuchsfahrzeug am Pkw-Rollenprüfstand vermessen. Dadurch konnte ein Abgleich zwischen dem im Fahrzeug verbauten NO_x -Sensor Nr. 3 und der Messtechnik am Pkw-Rollenprüfstand durchgeführt werden. Mit dem Abgleich kann einerseits die Genauigkeit des verbauten Sensors über einen großen Messbereich (von Kaltstart in der Stadt bis Hochlast auf der Autobahn) festgestellt werden. Andererseits sind die Messungen am Rollenprüfstand hinsichtlich Umgebungsbedingungen und den Fahrwiderständen reproduzierbar. D. h. die gleichen Zyklen wurden am Ende des Messprogramms wiederholt, um z. B. Alterungseffekte oder Drifterscheinungen des verbauten Sensors zu untersuchen. Des Weiteren hat die Messtechnik am Prüfstand eine höhere Genauigkeit als PEMS-Systeme, so dass Abweichungen und Drifts von Sensoren am Prüfstand besser bestimmt werden können.

Nach den ersten Messungen am Pkw-Rollenprüfstand wurde das Versuchsfahrzeug im realen Betrieb auf der Straße untersucht. Um bei den Fahrten im realen Betrieb eine Abgleichmöglichkeit des Sensors zu haben, wurde bei ausgewählten Straßenfahrten zusätzlich ein zertifiziertes mobiles Abgasmesssystem am Fahrzeug montiert. Das mobile Abgasmesssystem wurde vor den Messfahrten auf der Straße ebenfalls am Pkw-Rollenprüfstand abgeglichen, um den Aufbau nach Verordnung (EU) 2017/1151 und 2018/1154 auf Funktionsfähigkeit zu überprüfen. Durch einen Vergleich der Messdaten des Sensors mit den Messdaten des mobilen Abgasmesssystems, welches in Kapitel 5.3 näher beschrieben wird, können etwaige dynamische Ein-

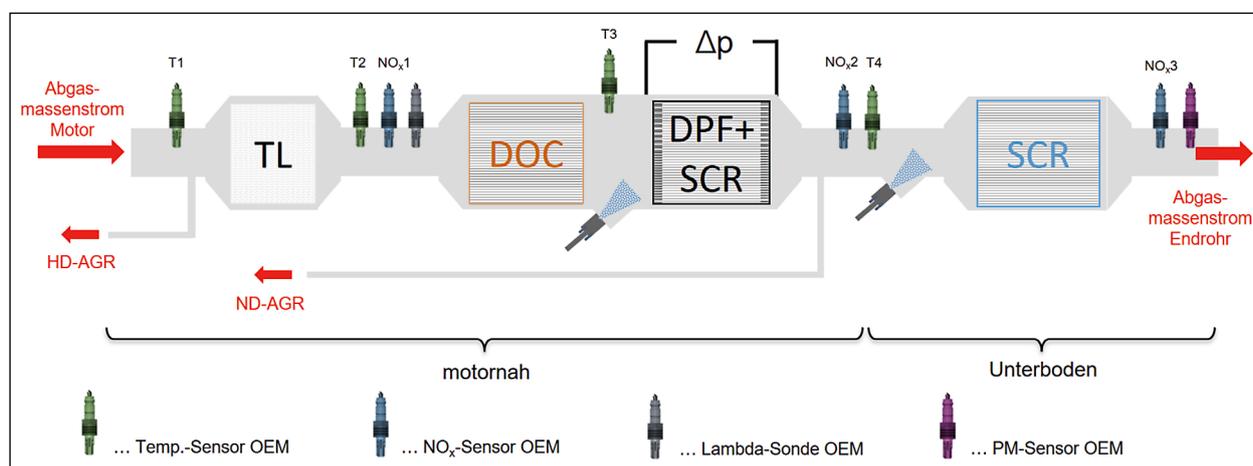


Bild 5-2: Schematische Darstellung des Abgasnachbehandlungssystems

flüsse auf die Messgenauigkeit des Sensors im realen Betrieb ermittelt werden.

Die Messdaten enthalten auch Tests auf der Straße, bei denen bewusste Veränderungen am Abgasnachbehandlungssystem durchgeführt wurden, um die Methode für zukünftige NO_x-On-Board-Überwachung dahingehend testen zu können. Nach Abschluss der Tests mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem wurden die Veränderungen rückgebaut und mittels Vergleich mit Referenzmessungen sowie Auslesen des Fehlerspeichers sichergestellt, dass das Abgasnachbehandlungssystem wieder ordnungsgemäß funktionierte. Folgende Veränderungen am Abgasnachbehandlungssystem wurden nacheinander einzeln untersucht:

Die AdBlue-Zufuhr wurde unterbrochen, indem

- die AdBlue-Zuleitungen zu den Eindosierventilen abgesteckt und AdBlue in Auffangbehälter geleitet,
- oder der AdBlue-Tank entleert
- oder der AdBlue-Tank mit destilliertem Wasser aufgefüllt wurden.

Die Verbrennungskomponenten wurden verändert, indem

- das AGR-Ventil abgesteckt wurde.

Danach wurden Messdaten des NO_x-Sensors im realen Betrieb durch einen Datenlogger aufgezeichnet (Monitoring-Phase), um Messdaten von einer Vielzahl an Fahrsituationen bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen zu erhalten und für die Analyse verwenden zu können. Insgesamt betrug die Monitoring-Phase etwa ein halbes Jahr und wurde im Januar 2023 abgeschlossen. Während der Monitoring-Phase wurden auch bewusst für das Abgasnachbehandlungssystem herausfordernde Fahrsituationen ohne Manipulation des Abgassystems getestet, um aus den Messdaten etwaige Filter für die Methode für zukünftige NO_x-Überwachung ableiten zu können, damit solche Fahrsituationen nicht als Fehler der Abgasnachbehandlung detektiert werden. Folgende herausfordernde Fahrsituationen wurden untersucht:

- Stausituationen bei 23 °C sowie bei -15 °C Umgebungstemperatur am Pkw-Rollenprüfstand
- ERMES V9 (Test mit Stadt-, Überland- und Autobahnanteil) bei -15 °C Umgebungstemperatur am Pkw-Rollenprüfstand

- Berg- und Talfahrten mit unterschiedlicher Beladung im realen Betrieb

Nach Abschluss der Monitoring-Phase wurden die am Beginn der Messserie gemessenen Zyklen am Pkw-Rollenprüfstand erneut gemessen. Damit wurde ein etwaiges Driftverhalten des NO_x-Sensors Nr. 3 untersucht.

Nachfolgend sind die durchgeführten Messungen zusammengefasst. Tabelle 5-2 zeigt die zugehörige tabellarische Übersicht.

- i. 2x WLTC. Der WLTC ist der aktuelle Typprüfzyklus für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge und besteht aus vier Phasen, die Stadt, Überland und Autobahn bis etwa 130 km/h abdecken. Der WLTC wird oft als Referenzzyklus verwendet, wenn ein Abgleich zwischen zwei Messsystemen durchgeführt werden soll. Der WLTC wurde 1x am Beginn und 1x am Ende der Messserie bei 23 °C Umgebungstemperatur gemessen.
- ii. 2x ERMES V9 Zyklus. Der ERMES V9 deckt ebenfalls Stadt, Überland sowie Autobahn bis etwa 160 km/h Maximalgeschwindigkeit ab. Da dieser Zyklus dynamischer als der WLTC ist, deckt er einen größeren Lastbereich, inklusive Vollast, des Motors ab. Wie der WLTC wurde der ERMES V9 1x am Beginn und 1x am Ende der Messserie bei 23 °C Umgebungstemperatur gemessen.
- iii. 2x Straßenfahrt mit PEMS, angelehnt an die RDE-Verordnung (EU) 2018/1832 mit Stadt-, Überland- und Autobahnanteil.
- iv. 1x Straßenfahrt mit PEMS, analog zu iii., allerdings mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem.
- v. Weitere Straßenfahrten mit OBD-Datenlogger und verändertem Abgasnachbehandlungssystem.
- vi. Durchführung der Monitoring-Phase des Fahrzeugs. Bei der Monitoring-Phase des Fahrzeugs wurden Messdaten über ein halbes Jahr im realen Betrieb aufgezeichnet.
- vii. Untersuchung von herausfordernden Fahrsituationen. Dabei wurden im realen Betrieb Berg- und Talfahrten mit und ohne Beladung durchgeführt, sowie Stausituationen untersucht. Um die Tests der Stausituationen miteinander vergleichen zu können, sowie die Umgebungstempera-

	Fahrten bzw. Tests mit unverändertem Abgasnachbehandlungssystem	Fahrten bzw. Tests mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem	Fahrten bzw. Tests mit herausfordernde Fahrsituationen
Messungen am Pkw-Rollenprüfstand	<ul style="list-style-type: none"> • 2x WLTC @23°C • 2x ERMES V9 @23°C 	-	<ul style="list-style-type: none"> • 1x Stauzyklus @-15°C • 1x ERMES V9 @-15°C • 1x Stauzyklus @23°C
Messungen auf der Straße	<ul style="list-style-type: none"> • 2x mit PEMS • Monitoring-Phase 	<ul style="list-style-type: none"> • 1x mit PEMS • Monitoring-Phase 	<ul style="list-style-type: none"> • Berg- und Talfahrten

Tab. 5-2: Übersicht der durchgeführten Messungen



Bild 5-3: VCDS (links) und CSS CANedge (rechts), verbunden mit der OBD-Schnittstelle des Fahrzeugs

tur variieren zu können, wurde für diese Tests ein Stauzyklus am Pkw-Rollenprüfstand 1x bei 23 °C sowie 1x bei -15 °C gemessen. Zusätzlich wurde 1x der ERMES V9 Zyklus bei -15 °C gemessen, um auch das Emissionsverhalten bei tiefen Temperaturen für Stadt-, Überland- und Autobahnphasen untersuchen zu können.

Alle gewonnenen Messdaten fließen in die Erarbeitung der Methode ein, wie zukünftig die NO_x-Emissionen überwacht werden könnten.

5.3 Eingesetzte Messtechnik und Auswertesoftware

Als Messtechnik kam ein Pkw-Rollenprüfstand mit CVS-Anlage zum Einsatz, bei dem die Emissionskonzentrationen über die Abgasanalytoren der AMA i60 von der Firma AVL gemessen werden. Damit können sowohl Beuteldaten als auch modale Daten aufgezeichnet werden.

Als portables Emissionsmessgerät wurde ein AVL MOVE verwendet. Es besteht aus einem sogenannten GAS-PEMS für die Messung der gasförmigen Komponenten CO₂, CO, NO und NO₂, einem PN-PEMS und dem Exhaust Flow Meter (EFM) zur Messung des Abgasmassenstroms. Neben den Emissionen können auch eine Vielzahl an weiteren

Parametern, wie z. B. Umgebungstemperatur, Luftfeuchte und -druck aufgezeichnet werden.

Für die Monitoring-Phase kam ein VCDS von Ross-Tech sowie der CANedge1 von CSS als OBD-Datenlogger zum Einsatz (Bild 5-3).

Die Auswertung der Pkw-Rollenprüfstandsdaten sowie auch der PEMS-Messdaten erfolgt mit dem ERMES-Tool. Dieses rechnet aus den gemessenen Konzentrationen in Volumenprozent und dem gemessenen Massenstrom die Massenemissionen unter Berücksichtigung der Gaslaufzeit vom Motor bis hin zur Emissionsmessstelle aus. Die Ausgabe der Emissionen erfolgt modal sowie auch als Zyklusmittelwert in g/h bzw. g/km.

Daten, die mit den OBD-Datenloggern aufgezeichnet wurden, werden aufgrund der unterschiedlichen Datenstruktur und der großen Datenmenge mittels MS Excel bzw. mit Python-Skripten ausgewertet.

5.4 Messergebnisse

In diesem Kapitel werden die Messergebnisse präsentiert. Wie in Kapitel 5.2 erwähnt, wurden Messungen am Pkw-Rollenprüfstand sowie auf der Straße mit PEMS durchgeführt. Des Weiteren wurde eine Monitoring-Phase auf der Straße mit OBD-

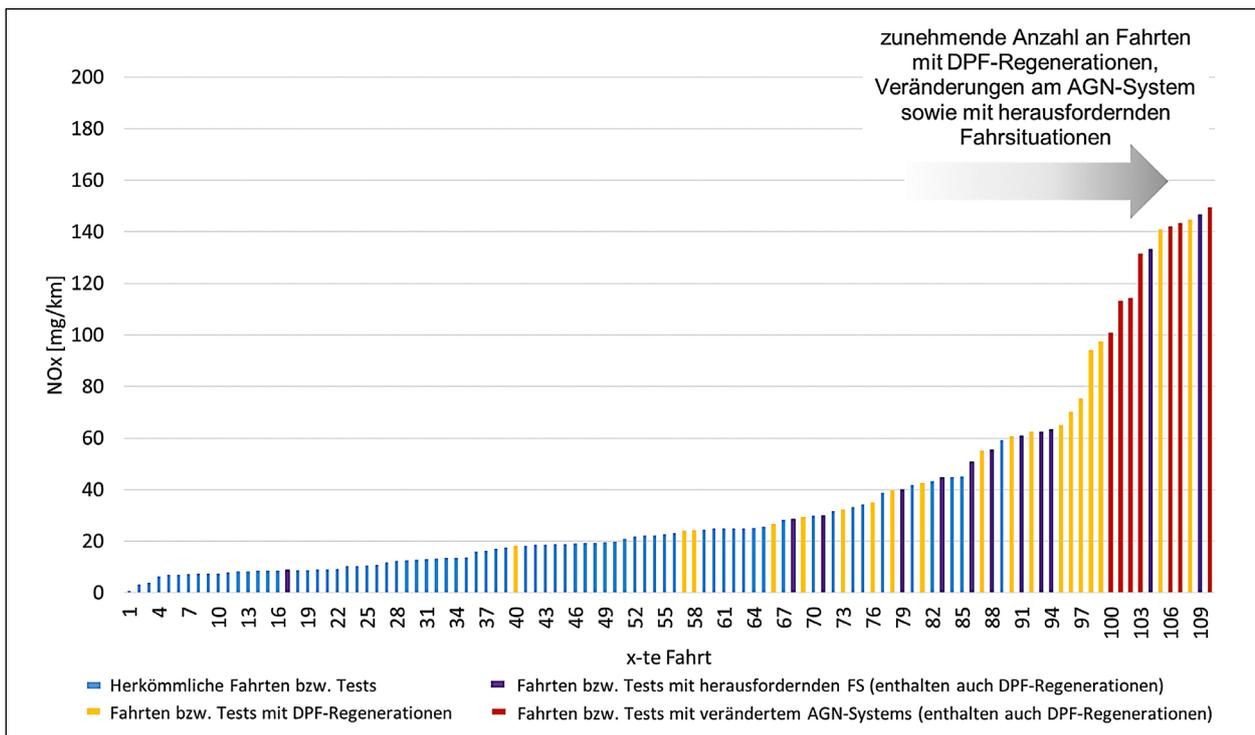


Bild 5-4: NO_x-Messdaten des Versuchsfahrzeugs der einzelnen Tests bzw. Fahrten aufsteigend angeordnet (Messdaten ab jenem Zeitpunkt, ab dem der OEM NO_x-Sensor Nr. 3 aktiv war)

Datenlogger durchgeführt. Da NO_x-Sensoren prinzipiell aufgeheizt werden müssen und bei einem Kaltstart somit nicht sofort betriebsbereit sind, sind NO_x-Sensordaten sofern diese nicht vorgeheizt werden, was bei einem Fahrzeugsensor nicht der Fall ist, immer am Beginn einer Messung mit Kaltstart nicht verfügbar (in der Regel fehlen die ersten 300 bis 600 Sekunden). Hingegen kann das Messsystem vom Pkw-Prüfstand sowie auch das PEMS-Messsystem die Kaltstartemissionen aufzeichnen. Um nun aber die NO_x-Sensordaten des im Fahrzeug verbauten NO_x-Sensors Nr. 3, welcher am Auspuffende verbaut ist, mit dem Messsystem vom Prüfstand sowie auch mit PEMS korrekt miteinander vergleichen zu können, wurde bei allen Messdaten jener Bereich entfernt, bei dem der im Fahrzeug verbaute NO_x-Sensor Nr. 3 noch nicht betriebsbereit war und daher keine Messdaten lieferte.

Bild 5-4 zeigt die NO_x-Emissionen des Fahrzeugsensors NO_x Nr. 3 der einzelnen Tests bzw. Fahrten, die im Bild aufsteigend sortiert sind. Die NO_x-Messdaten der 110 Tests bzw. Fahrten, welche insgesamt ca. 4.500 Fahrzeugkilometern entsprechen, liegen zwischen 1 mg/km und 150 mg/km. Alle dargestellten Daten enthalten auch die periodischen Partikelfilterregenerationen, die zu höheren NO_x-Emissionen führen können. Veränderungen am Ab-

gasnachbehandlungssystem und herausfordernde Fahrtsituationen führten ebenfalls zu höheren NO_x-Emissionen. Die Tests bzw. Fahrten wurden zwischen -15 °C und 35 °C Umgebungstemperatur durchgeführt. Die mittlere Geschwindigkeit der Tests bzw. Fahrten lag bei 58 km/h, die maximale Geschwindigkeit bei 170 km/h.

Um eine Gegenüberstellung von Pkw-Prüfstandsdaten, PEMS-Messdaten sowie Monitoring-Daten darzustellen, wurden alle aufgezeichneten Messdaten der Monitoring-Phase im Bild 5-5 als Durchschnittswerte dargestellt. Hier wird unterschieden in Monitoring-Daten, bei denen Veränderungen am Abgasnachbehandlungssystem durchgeführt wurden (insgesamt ca. 450 Fahrzeugkilometer), Monitoring-Daten, bei denen keine Veränderungen am Abgasnachbehandlungssystem durchgeführt wurden mit normalen Fahrzuständen (ca. 3.500 Fahrzeugkilometer) sowie mit herausfordernden Fahrtsituationen (ca. 250 Fahrzeugkilometer). Die Werte für WLTC und ERMES V9 zeigen ebenfalls die Durchschnittswerte aus den Messungen am Beginn und Ende der Messserie bei jeweils 23 °C Umgebungstemperatur. Zusätzlich ist der ERMES V9, gemessen bei -15 °C Umgebungstemperatur, sowie der Stauzyklus bei 23 °C und -15 °C Umgebungstemperatur abgebildet. Da der Fahrzeugsensor NO_x Nr. 3 während des gesamten Stauzyklus aufgrund

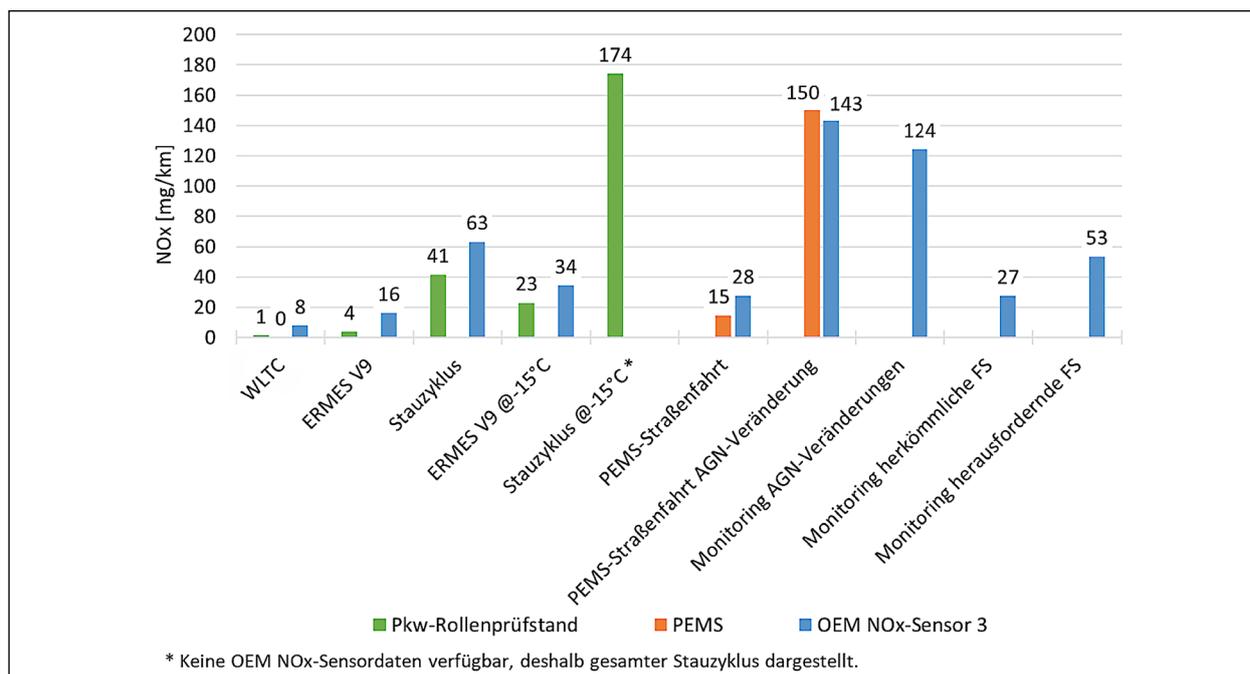


Bild 5-5: Übersicht der NO_x-Messdaten des Versuchsfahrzeugs (Messdaten ab jenem Zeitpunkt, ab dem der OEM NO_x-Sensor Nr. 3 aktiv war)

der niedrigen Umgebungstemperaturen keine Daten lieferte, zeigt der im Bild 5-5 dargestellte Wert nur das Messergebnis des Analysators vom Rollenprüfstand für den gesamten Zyklus inklusive Kaltstartphase.

Vergleicht man die Messwerte im WLTC, so sind die NO_x-Emissionen ab dem Zeitpunkt, ab dem der OEM NO_x-Sensor Nr. 3 aktiv ist, an der unteren Detektionsgrenze der Rollenprüfstands- und PEMS-Messtechnik. Der NO_x-Sensor Nr. 3 gibt für den WLTC einen durchschnittlichen Konzentrationswert von rund 3 ppm aus. Rechnet man mit dem Abgasmassenstrom die NO_x-Massenemissionen aus, so ergeben sich 8 mg/km im WLTC. Die genauen Sensorspezifikationen des im Versuchsfahrzeug verbauten NO_x-Sensors waren nicht bekannt, bezieht man sich allerdings auf derzeit am Markt verfügbare NO_x-Sensoren, so liegen Toleranzen im Bereich von +/- 10 bis 12 ppm NO_x < 100 ppm NO_x vor. Dies erklärt die Abweichungen im WLTC sowie bei den anderen Zyklen. Die größten Abweichungen liegen bei 22 mg/km.

Vergleicht man im Bild 5-5 alle Balken miteinander, so kann man trotz der vorher genannten Toleranzen der NO_x-Sensoren eindeutig jene Fahrten erkennen, bei denen Veränderungen am Abgasnachbehandlungssystem vorgenommen wurden. Hier liegen NO_x-Emissionen über 120 mg/km vor. NO_x-Emissionen von Fahrten mit normalen Fahrsituatio-

nen liegen bei diesem Versuchsfahrzeug unter 30 mg/km. Fahrten mit herausfordernden Fahrsituationen, wie z. B. Berg- und Talfahrten, zeigen im Durchschnitt NO_x-Emissionen von 53 mg/km. Der höchste gemessene NO_x-Wert mit 174 mg/km lag im Stauzyklus bei -15 °C Umgebungstemperatur vor, beinhaltet aber auch Kaltstartemissionen. Der verbaute OEM NO_x-Sensor eignet sich daher, die in Kapitel 6.5 erarbeitete Methode für die zukünftige NO_x-Überwachung zu testen, da die Unterschiede der Emissionsniveaus mit funktionierender Abgaskontrolle gegenüber denen mit manipulierten Systemen deutlich höher als die Messunsicherheit sind. Für Fahrsituationen, die auch bei funktionierender Abgaskontrolle zu hohen Emissionen führen, müssen allerdings passende Selektionsfilter verwendet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch der Sensor drift des getesteten Fahrzeugsensors über rund 6 Monate im realen Betrieb untersucht. Dazu wurde der WLTC sowie der ERMES V9 am Beginn und am Ende der Messserie gemessen. Die Durchschnittswerte wurden bereits im Bild 5-5 gezeigt. Die durchschnittlichen NO_x-Konzentrationen im WLTC lagen bei 2,6 ppm am Beginn der Messserie bzw. bei 3,5 ppm am Ende der Messserie. Im ERMES V9 lagen die NO_x-Konzentrationen am Beginn der Messserie bei 4,1 ppm und am Ende der Messserie bei 9 ppm, wobei die stationäre Prüfstandmesstechnik auch höhere Emissionen am Ende der Messserie

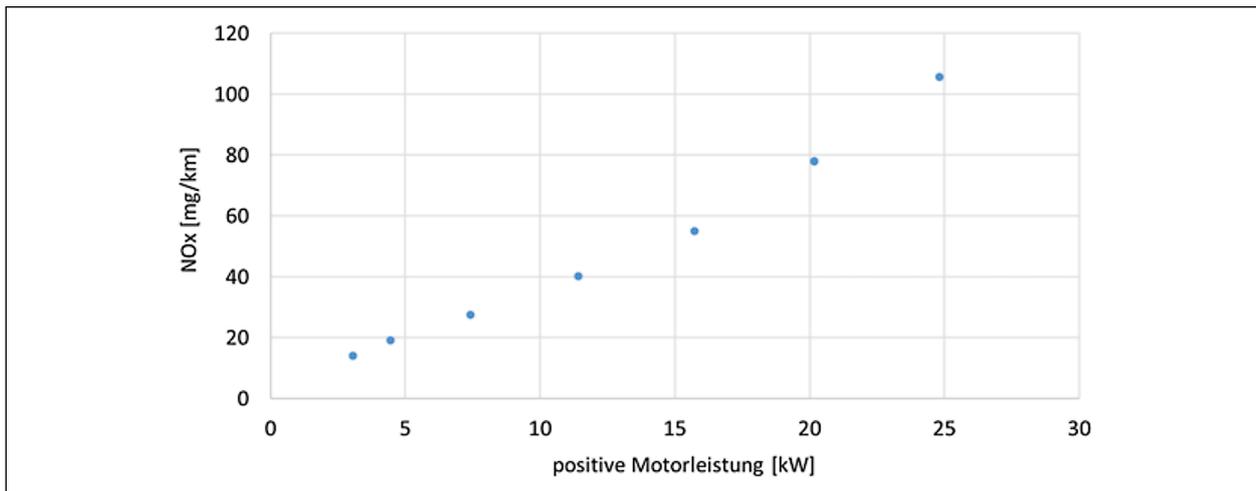


Bild 5-6: NO_x-Emissionen über der positiven Motorleistung (HBEFA 2022)

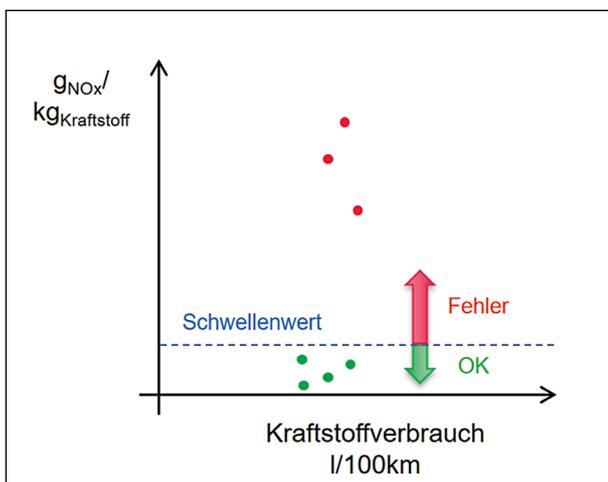


Bild 5-7: Illustrative Abbildung des Methodenvorschlags

gemessen hat (6 mg/km im Vergleich zu 1 mg/km im EMRES V9). Anhand dieser Messdaten und unter Berücksichtigung der Sensortoleranz kann davon ausgegangen werden, dass kein signifikanter Sensordrift vorlag.

5.5 Methodenvorschlag für zukünftige NO_x-Überwachung

Ein Ziel dieses Projektes war, eine Methode zu erarbeiten, um zukünftig NO_x-Emissionen im realen Fahrzeugbetrieb analysieren und bewerten zu können. Bei der Erarbeitung der Methode wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Die Methode soll Fehler des NO_x-Abgasnachbehandlungssystems detektieren können. Dazu können Signale verwendet werden, die in modernen Pkw bereits in ausreichender Genauig-

keit über die OBD-Schnittstelle des Fahrzeugs verfügbar sind.

- Die Anwendung der Methode soll für Diesel- sowie auch für Benzin-Pkw möglich sein. Im Zuge dieses Projekts wurde der Fokus allerdings auf Diesel-Pkw gelegt.
- Es soll berücksichtigt werden, dass höhere NO_x-Emissionen in bestimmten Fahrsituationen, welche für das Abgasnachbehandlungssystem herausfordernd sind, nicht als Fehler identifiziert werden, sofern das Abgasnachbehandlungssystem ordnungsgemäß arbeitet.

Bei der Erarbeitung der Methode erschien daher ein Bezug der NO_x-Emissionen auf die in der Abgasgesetzgebung gängige Streckenlänge nicht sinnvoll, da entsprechenden Fahrsituationen mit hohen Motorleistungen ebenfalls zu höheren NO_x-Emissionen in g/km führen können, auch wenn kein Defekt des Abgasnachbehandlungssystems vorliegt. Auch die HBEFA-Emissionsfaktoren zeigen, dass NO_x-Emissionen mit steigender Motorleistung steigen können. HBEFA ist das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs und wird als anerkanntes Emissionsmodell in vielen Ländern Europas verwendet. In Bild 5-6 ist für einen modernen Diesel-Pkw ersichtlich, wie sich deren NO_x-Emissionen als Funktion der Motorleistung verändern (HBEFA 2022). Bei den abgebildeten HBEFA-Datenpunkten handelt es sich um Zyklen mit gleichem Geschwindigkeitsprofil aber unterschiedlicher Steigung. Jener Zyklus mit der größten Steigung hat auch den höchsten NO_x-Wert mit über 100 mg/km. Ein Bezug der NO_x-Emissionen auf die Motorleistung scheint daher besser geeignet zu sein.

Die Motorleistung ist in vielen Fällen aber nicht standardmäßig als Signal bzw. nicht in ausreichender Genauigkeit über die OBD-Schnittstelle verfügbar. Da allerdings die Motorleistung direkt mit dem Kraftstoffverbrauch zusammenhängt (der Zusammenhang ist auch als Willans-Linie bekannt), kann auch der Kraftstoffverbrauch als Bezugsgröße verwendet werden. Das NO_x-Sensor- und Kraftstoffverbrauchssignal konnten beim Versuchsfahrzeug über die OBD-Schnittstelle abgerufen werden. Es wird davon ausgegangen, dass auch in modernen Pkw anderer Hersteller diese Signale verfügbar sind. Gegebenenfalls sollten dann in Zukunft die relevanten OBD-Signale im Zuge der Fahrzeugtypisierung zusätzlich auch auf Funktion und Genauigkeit überprüft werden, um die Validität dieser OBD-Signale sicherzustellen. Aus den Überlegungen leitet sich nun der Vorschlag für folgende Methode ab:

- Beurteilung der NO_x-Abgasnachbehandlungssysteme durch das Verhältnis $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$. Bild 5-7 zeigt eine illustrative Abbildung, wie eine Bewertung erfolgen könnte. Das Verhältnis $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ ist dabei über Kraftstoffverbrauch in l/100 km aufgetragen. Liegt das ermittelte Verhältnis über einem Schwellenwert, so könnte ein Fehler des NO_x-Abgasnachbehandlungssystems vorliegen, liegt das Verhältnis unter dem Schwellenwert, so kann davon ausgegangen werden, dass kein Fehler vorliegt. Für die Ermittlung eines Schwellenwerts wird empfohlen, weitere Messdaten einfließen zu lassen, die die europäische Fahrzeugflotte ausreichend repräsentieren. Es sollten auch die kommenden Euro 7 Emissionsgrenzwerte und die Unsicherheit der nächsten NO_x-Sensorgeneration berücksichtigt werden, sofern die Methode mit oder nach Euro 7 eingeführt werden soll. Dieser Punkt wird später genauer behandelt. Das $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis kann dann z. B. bei der PTI ausgelesen werden. Sollte ein Fehler des Abgasnachbehandlungssystems aus zu hohen Emissionswerte detektiert werden, so könnte auch unmittelbar der Fehler im Fahrerinformationsdisplay angezeigt werden. Sinnvollerweise sollte das OBD-System dann auch eine Fehlerquelle definieren können, um effiziente Reparaturen zu ermöglichen.

Derzeit wird im Rahmen der Arbeiten zu Euro 7 diskutiert, ob Fahrzeuge bei der geplanten Euro 7 Gesetzgebung NO_x-Grenzwerte betriebswarm unter jeglichen Fahrsituationen einhalten müssen. Ein solcher Vorschlag wurde von der EU-Kommission während der Arbeiten zu diesem Projekt veröffent-

licht (EU-KOMMISSION 2022). D. h. eine Abhängigkeit der NO_x-Emissionen von der Motorleistung wäre dann nicht mehr oder nur mehr im geringen Ausmaß gegeben, weshalb eine Überwachung der NO_x-Emissionen im realen Betrieb auch über g/km erfolgen könnte. Als Schwellenwert könnte dann der gesetzliche NO_x-Emissionsgrenzwert der Typgenehmigung mit einem Aufschlag für OEM NO_x-Sensorunsicherheit herangezogen werden. Die Anwendung der erarbeiteten Methode mit $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ stünde nicht im Widerspruch zu den gesetzlichen Regelungen. Es wird daher empfohlen, nach Fixierung der relevanten Details der Euro 7 Gesetzgebung die vorgeschlagene Methode mit $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ zu verifizieren und gegebenenfalls zu optimieren. Das untersuchte moderne Versuchsfahrzeug würde die angedachten Randbedingungen zu Euro 7, die NO_x-Grenzwerte in jeder Fahrsituation einzuhalten, zumindest noch nicht erfüllen, weshalb auch der Methodenvorschlag mit $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ weiter verfolgt wurde.

5.6 Anwendung des Methodenvorschlags auf zyklusspezifische Messdaten

Die in Kapitel 5.5 vorgeschlagene Methode zur zukünftigen NO_x-Überwachung soll in diesem Kapitel anhand verfügbarer Messdaten getestet werden. Dabei wurde in einem ersten Schritt für jede Fahrt, von der OEM NO_x-Sensordaten verfügbar waren, das Verhältnis $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ berechnet und über den Kraftstoffverbrauch in l/100 km dargestellt. Die Berechnung des Verhältnisses $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ für längere Streckenabschnitte erfolgt in Kapitel 5.7. Damit sollen mögliche Unsicherheiten, die eventuell bei kurzen Fahrten zu höheren $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnissen führen, bei denen aber kein Fehler in der Abgasnachbehandlung vorliegt, kompensiert werden.

Bild 5-8 zeigt das Ergebnis für die einzelnen Fahrten mit dem Versuchsfahrzeug. Jeder Datenpunkt repräsentiert dabei den Durchschnittswert einer Fahrt, berechnet ab jenem Zeitpunkt, bei dem der OEM NO_x-Sensor Nr. 3 aktiv war. Datenpunkte die rot umrandet sind, sind dabei jene Tests, bei denen das Abgasnachbehandlungssystem verändert wurde. Datenpunkte, die schwarz umrandet sind, sind jene Fahrten, bei denen während der Fahrt eine DPF-Regeneration stattgefunden hat. Die Regeneration trat im Durchschnitt ca. alle 300 km auf. Fahr-

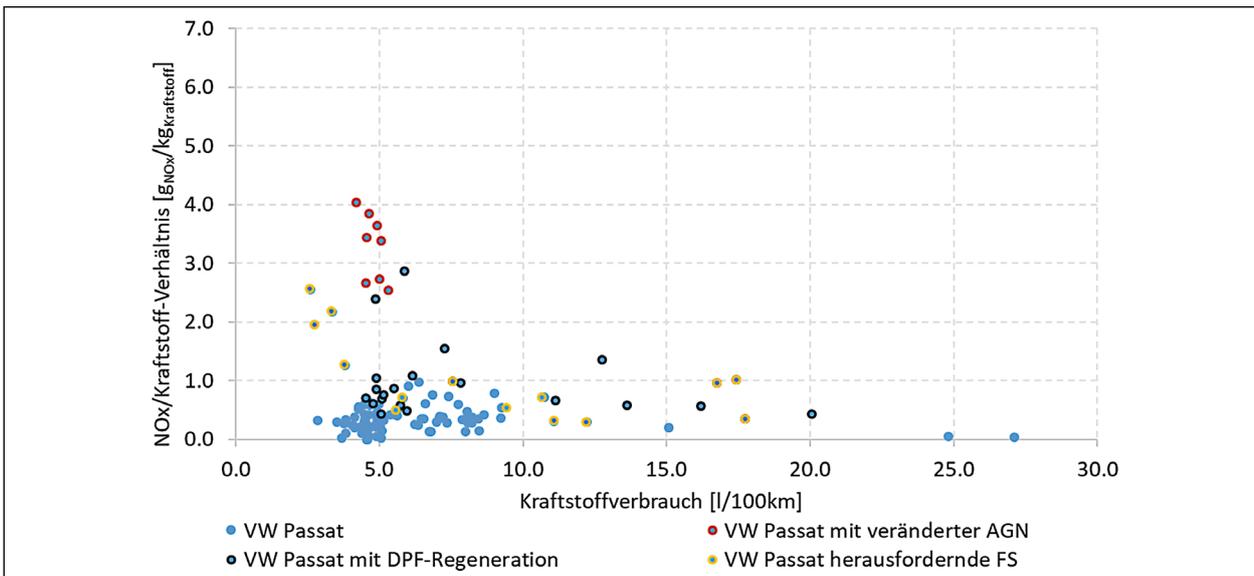


Bild 5-8: Anwendung des Methodenvorschlags auf die Messdaten des Versuchsfahrzeugs

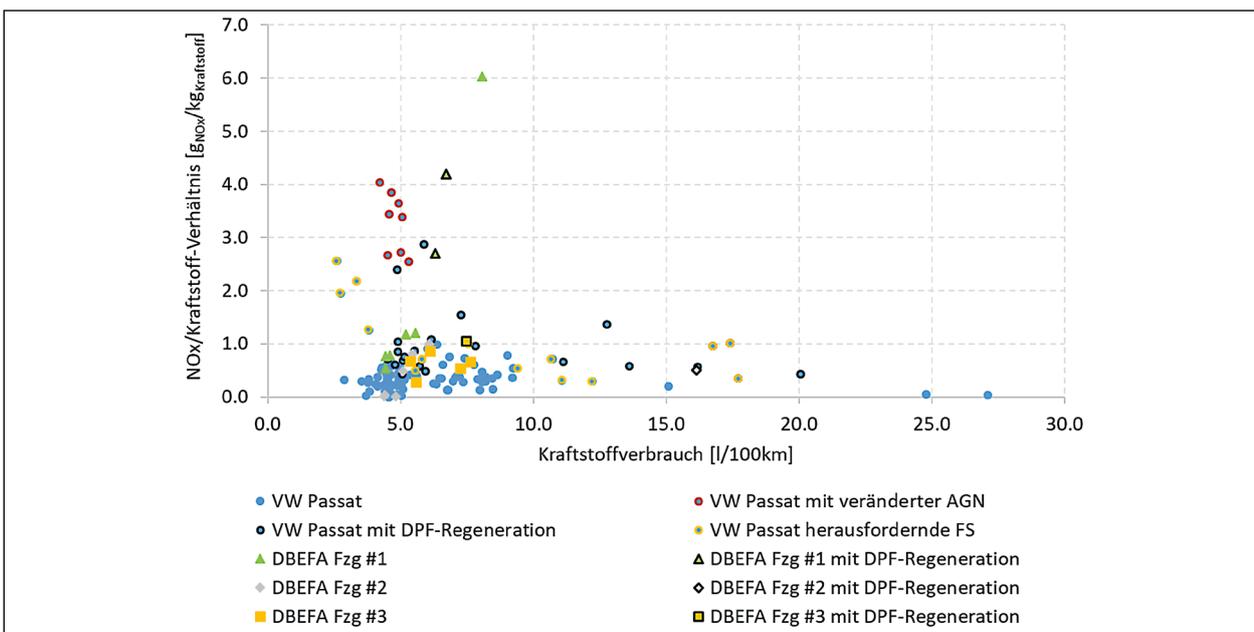


Bild 5-9: Anwendung des Methodenvorschlags auf die Messdaten des Versuchsfahrzeugs sowie auf Messdaten aus der DBEFA

ten mit für das Abgasnachbehandlungssystem herausfordernden Fahrsituationen sind gelb umrandet.

Es ist deutlich zu erkennen, dass Fahrten mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem ein höheres $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ Verhältnis haben, als normale Fahrten ohne DPF-Regeneration. Ebenfalls ist zu erkennen, dass Fahrten mit DPF-Regeneration sowie Fahrten mit herausfordernden Fahrsituationen höhere $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ Verhältnisse haben können. Die herausfordernden Fahrsituationen umfassten dabei mehrere Berg- und Talfahrten. Bei den Bergfahrten lagen hohe NO_x -Emissionen hohe Kraftstoffverbräuche vor, weshalb das $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$

Verhältnis wieder als unkritisch einzustufen ist. Bei den Talfahrten kann der Kraftstoffverbrauch durch die längeren Schubphasen sehr gering sein, sodass selbst bei geringen NO_x -Emissionen das $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis Werte annehmen kann, die im Bereich einer Veränderung des Abgasnachbehandlungssystems liegen. Dieses ist im Bild 5-8 durch die drei Datenpunkte mit gelber Umrandung im linken Bereich erkennbar. Ob solche Fahrsituationen auch bei der Betrachtung von längeren Streckenabschnitten zu höheren $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnissen führen, soll im Kapitel 5.7 untersucht werden. Gegebenenfalls soll ein Filter erarbeitet werden, um solche herausfordernde Fahrsituationen nicht mit in

die Berechnung des $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnisses einfließen zu lassen. Ebenfalls soll in Kapitel 5.7 untersucht werden, ob DPF-Regenerationen herausgefiltert werden sollen.

Im Bild 5-8 ist die Messung des Stauzyklus bei -15 °C Umgebungstemperatur nicht abgebildet, da der OEM NO_x -Sensor Nr. 3 während des gesamten Zyklus aufgrund der niedrigen Umgebungstemperatur nicht auf Betriebstemperatur war. Mit den Messdaten des Messsystems vom Pkw-Prüfstand ergibt sich für diesen Stauzyklus ein $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis von 1,5 inklusive Kaltstartphase. Dieser Test wäre somit von den Tests bzw. Fahrten mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem unterscheidbar.

Um die Methode noch bei weiteren Euro 6d Pkw zu testen, wurden Messdaten aus der DBEFA herangezogen. Die DBEFA ist eine Datenbank, die Messdaten enthält, die für die Erstellung von HBEFA-Emissionsfaktoren verwendet werden. In der DBEFA waren Messdaten von drei weiteren Euro 6d Diesel-Pkw verfügbar. Für diese drei Pkw wurde ebenfalls die vorher beschriebene Methode angewendet. Die Datenpunkte sind im Bild 5-9 zusätzlich zu den Datenpunkten des Versuchsfahrzeugs eingezeichnet. Die Datenpunkte von Fahrten ohne DPF-Regeneration ordnen sich in jenem Bereich ein, der beim Versuchsfahrzeug vorliegt. Ebenfalls ist erkennbar, dass Tests mit DPF-Regeneration auch in Bereichen vorliegen können, in denen Punkte mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem liegen. Des Weiteren ist bei DBEFA Fzg #1 erkennbar, dass bei einem Test ein $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis von etwa 6 vorliegt, obwohl keine DPF-Regeneration stattgefunden hat. In diesem Fall handelt es sich um einen Stauzyklus, der über 45 Minuten am Pkw-Rollenprüfstand gemessen wurde. Bei diesem Zyklus mit niedrigen Abgasmassenströmen dürfte das Abgasnachbehandlungssystem ausgekühlt sein, sodass auch die NO_x -Konvertierung abnahm. Mit dem Versuchsfahrzeug wurde der gleiche Stauzyklus am Pkw-Rollenprüfstand bei 23 °C sowie bei -15 °C gemessen. Die $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnisse dieser Tests waren nicht auffällig, weshalb davon ausgegangen wird, dass es sich bei dem DBEFA-Fahrzeug um ein Modell handelt, welches das aktive Heizen des Abgasnachbehandlungssystems im Niederlastbereich noch nicht oder noch nicht ausreichend unterstützt. Zukünftige Fahrzeuge sollten ein besseres oder zumindest ähnliches Emissionsverhalten wie das moderne Versuchsfahrzeug haben, sodass solche Fahrsitua-

tionen für die Berechnung des $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis von modernen Fahrzeugen nach derzeitigem Stand berücksichtigt werden können. An dieser Stelle wird aber auch empfohlen, das Emissionsverhalten von zukünftigen Fahrzeugen im Niederlastbereich noch zu untersuchen, ob die getroffene Annahme stimmt. Von den DBEFA-Fahrzeugen waren keine Messungen verfügbar, bei denen Veränderungen am Abgasnachbehandlungssystem vorlagen.

5.7 Anwendung des Methodenvorschlags auf längere Streckenabschnitte

In diesem Kapitel wird die Berechnung des $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnisses für längere Streckenabschnitte beschrieben. Mit Anwendung der Methode auf längere Streckenabschnitte sollen mögliche Unsicherheiten, die eventuell bei kurzen Fahrten zu höheren $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnissen führen, aber kein Fehler in der Abgasnachbehandlung vorliegt, kompensiert werden. Die Untersuchungen erfolgten für 100 km-Streckenabschnitte. Dafür wurden die Messdaten des Versuchsfahrzeugs, die auf der Straße aufgezeichnet wurden und ab dem der OEM NO_x -Sensor 3 betriebsbereit war, aneinandergereiht und Auswertungen über 100 km-Abschnitte durchgeführt.

Messdaten von den Fahrzeugen, die aus der DBEFA entnommen wurden, wurden aufgrund der geringen Anzahl an gemessenen Fahrzeugkilometern nicht berücksichtigt. Folgende Auswertungen der Messdaten des Versuchsfahrzeugs wurden für 100 km-Abschnitte durchgeführt:

- Auswertung aller Monitoring-Daten mit herausfordernden Fahrsituationen, Veränderungen am Abgasnachbehandlungssystem aber ohne jene Phasen, in denen eine DPF-Regeneration stattgefunden hat.
- Auswertung aller Monitoring-Daten mit herausfordernden Fahrsituationen, Veränderungen am Abgasnachbehandlungssystem sowie DPF-Regenerationen.

Damit soll u. a. gezeigt werden, ob DPF-Regenerationen kritisch für das $g_{\text{NO}_x}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis sind und es einer Filterung bedarf. Zusätzlich wurde untersucht, wie sich die durchgeführten herausfor-

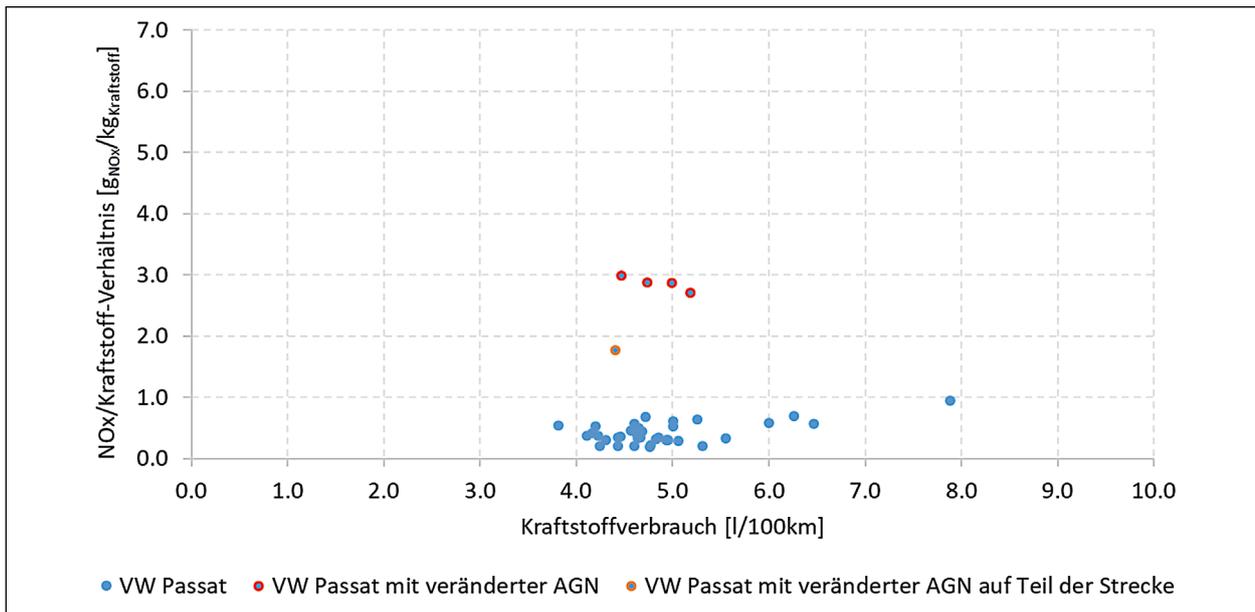


Bild 5-10: Anwendung des Methodenvorschlags auf die Messdaten (ohne DPF-Regenerationen) des Versuchsfahrzeugs für 100 km-Abschnitte

dernden Fahrsituationen über längere Strecken auf das $g_{\text{NOx}}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis auswirken.

Bild 5-10 zeigt die Auswertung der Daten für 100 km-Abschnitte ohne jene Phasen, in denen eine DPF-Regeneration stattgefunden hat. Jeder Datenpunkt repräsentiert im Bild einen 100 km-Abschnitt. Gut zu erkennen ist, dass die durchgeführten Fahrten vom Versuchsfahrzeug mit funktionierendem Abgasnachbehandlungssystem unter einem $g_{\text{NOx}}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis von 1 liegen. Darin enthalten sind auch Fahrten mit herausfordernden Fahrsituationen, wie z. B. Berg- und Talfahrten. Im Gegensatz zum Bild 5-8 zeigen die herausfordernden Fahrsituationen hier keine Auffälligkeiten, da sich über 100 km-Abschnitte die Talfahren mit anderen Fahrten kompensieren. Sollte allerdings eine Talfahrt über 100 km stattfinden, könnte das $g_{\text{NOx}}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis in einem Bereich liegen, in dem auch Werte von fehlerhaften Abgasnachbehandlungssystemen liegen. Um dem vorzubeugen, wurde ein entsprechender Filter erarbeitet, der in Kapitel 5.8 beschrieben wird. Im Bild 5-10 gibt es auch vier Datenpunkte, die Messdaten repräsentieren, die über 100 km eine Veränderung des Abgasnachbehandlungssystems enthalten. Dies führt zu Verhältnissen von rund 3 (Datenpunkte rot umrandet) und können somit eindeutig von den restlichen Datenpunkten unterschieden werden. Beim Datenpunkt, der bei einem $g_{\text{NOx}}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis von rund 2 (Datenpunkt orange umrandet) liegt, handelt es sich um Messdaten, bei denen nur bei einem Teil der 100 km ein verändertes Abgasnachbehand-

lungssystem vorlag. Der Datenpunkt zeigt sozusagen den Übergang von einem funktionierenden zu einem fehlerhaften Abgasnachbehandlungssystem. Eine Mittelwertbildung über 100 km führt also noch immer zu einem frühen Erkennen von Fehlern.

Im Bild 5-11 wurden Messdaten auch mit jenen Phasen ausgewertet, in denen eine DPF-Regeneration vorlag. Generell verschiebt sich das Niveau der Fahrten mit funktionierendem Abgasnachbehandlungssystem leicht nach oben (bis zu einem $g_{\text{NOx}}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnis von etwas über 1). Zusätzlich ist zu erkennen, dass es einen Datenpunkt bei einem Verhältnis von rund 2,6 gibt, der einen 100 km-Abschnitt repräsentiert, in dem eine Partikelfilterregeneration auf der Autobahn über eine längere Strecke vorlag. Mit Berücksichtigung der DPF-Regeneration sind solche Fahrten nicht mehr eindeutig von jenen Fahrten unterscheidbar, bei denen eine Veränderung des Abgasnachbehandlungssystems vorlag. Für dieses Versuchsfahrzeug sollten daher Phasen mit DPF-Regenerationen für die Berechnung des $g_{\text{NOx}}/\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}$ -Verhältnisses nicht berücksichtigt werden. Um eine Filterung durchführen zu können, wurde über die OBD-Schnittstelle zusätzlich das Signal des DPF-Regenerationsstatus abgerufen. Da in Euro 7 allerdings RDE-Fahrten mit DPF-Regeneration immer als gültige Tests gelten sollen und dann, gewichtet mit normalen Tests, den Grenzwert einhalten müssen, könnten die regenerationsbedingte Mehrmissionen in Zukunft eher niedriger ausfallen als bei Euro 6. Daher sollte mit Messdaten von zukünftigen

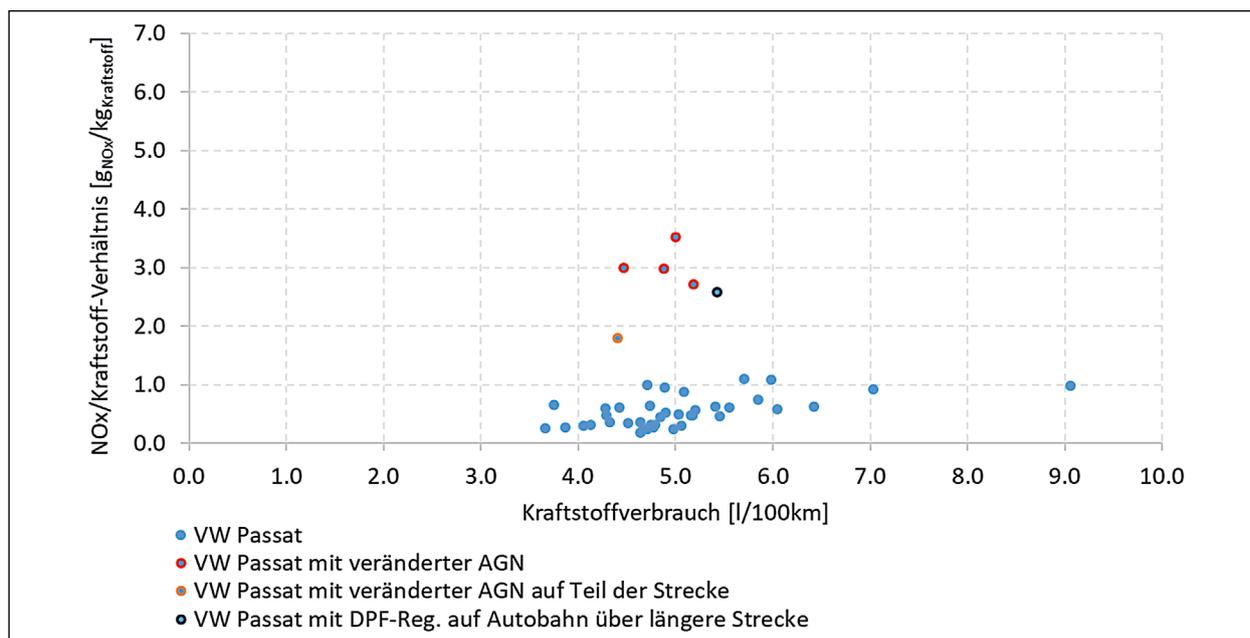


Bild 5-11: Anwendung des Methodenvorschlags auf die Messdaten (mit DPF-Regenerationen) des Versuchsfahrzeugs für 100 km-Abschnitte

Euro 7 Fahrzeugen erneut untersucht werden, ob Phasen mit DPF-Regenerationen für die Berechnung des $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis berücksichtigt werden sollen.

5.8 Mögliche Selektionsfilter bei der Anwendung des Methodenvorschlags

Wird die Methode auf die Messdaten des Versuchsfahrzeugs auf 100 km-Abschnitte angewendet, so zeigen Bild 5-10 und Bild 5-11, dass für den bestehenden Datensatz des Versuchsfahrzeugs eine Filterung von Phasen mit DPF-Regenerationen notwendig sind.

Zyklusspezifische Messdaten haben ebenfalls gezeigt, dass bei Talfahrten $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnisse vorliegen können, die in einem $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ Bereich mit fehlerhaften Abgasnachbehandlungssystem liegen. Würden solche Fahrsituationen über einen längeren Streckenabschnitt auftreten, so könnten diese selbst bei der Anwendung der Methode auf 100 km-Abschnitte zu höheren $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnissen führen. Lange durchgehende Talfahrten werden zwar sehr selten auftreten, dennoch wurde dafür auch ein Filter entwickelt, um solche Fahrsituationen nicht in die Berechnung des $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnisses einfließen zu lassen. Dafür wurden die Schubphasen, also jene Phasen in denen kein bzw. nahezu kein Kraftstoff in den

Verbrennungsmotor eingespritzt wird, und die Motordrehzahl ungleich null ist, analysiert. Durch die Einbeziehung der Motordrehzahl wird verhindert, dass z. B. Fahrten mit entsprechendem hohen Start-Stop-Anteil (z. B. Fahrten in der Stadt mit Stehzeiten, bei denen der Motor ausgeschaltet wird) automatisch ausgeschlossen werden, da diese auch nicht auffällig waren. Die beschriebenen Schubphasen liegen großteils während Talfahrten vor. Von den bestehenden Messdaten wurden die Anteile der Schubphasen, bezogen auf die gesamte Fahrtdauer, berechnet. Bei den betroffenen Talfahrten mit den hohen $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnissen machten die Schubphasen rund 38 % und mehr aus. 97 % aller Fahrten lagen unter 26 % Schubanteil. Mit den Messdaten des Versuchsfahrzeugs wurde daher abgeleitet, dass Fahrten mit einem Schubanteil über 30 % nicht in die Berechnung des $g_{NOx}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnisses herangezogen werden sollen. So wäre sichergestellt, dass zwar die meisten Fahrten für die Berechnung des Verhältnisses herangezogen werden könnten, das Risiko einer fälschlichen Identifikation eines fehlerhaften Abgasnachbehandlungssystems aber minimiert wird. Inwiefern das vorgeschlagene Limit von 30 % Schubanteil auch für andere Fahrzeugmodelle gilt, müsste mit weiteren Messdaten überprüft werden.

Da die NO_x -Überwachung für zukünftige Fahrzeuge angewendet werden soll, könnten auch Randbedingungen für gültige RDE-Tests von der zukünftigen Euro 7 Gesetzgebung als mögliche Filter übernom-

men werden. An der Gesetzgebung zu Euro 7 wird derzeit aber noch gearbeitet. Die erarbeitete Methode mit $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ könnte dann auf jene Daten angewendet werden, die innerhalb von gültigen Bereichen nach Euro 7 liegen. Tabelle 5-3 zeigt einen Auszug an diskutierten Euro 7 Randbedingungen, die im Laufe dieses Projekts von der EU-Kommission veröffentlicht wurden. Der Vorschlag zu den Euro 7 Randbedingungen zeigt auch, dass nach derzeitigem Stand beliebige Fahrsituationen mit betriebswarmem Motor bei der Typisierung von zukünftigen Fahrzeugen auf der Straße erlaubt wären. D. h. das Fahrzeug müsste gesetzliche Emissionsgrenzwerte für beliebige Fahrsituationen einhalten. Das wiederum würde bedeuten, dass auch bei extremen Motorleistungen die Euro 7 Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen. In so einem Fall könnte dann die zukünftige NO_x -Überwachung im realen Betrieb auch über g/km erfolgen (wie bereits in Kapitel 5.5 erläutert). Das im Rahmen dieser Arbeit untersuchte moderne Versuchsfahrzeug erfüllt die derzeit diskutierten Randbedingungen zu Euro 7 aber noch nicht. Sobald die Euro 7 Gesetzgebung beschlossen ist, wird daher empfohlen, die Methode mit $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ zu verifizieren und gegebenenfalls zu überarbeiten, zumindest wenn die Methode offiziell vorgeschlagen werden sollte.

5.9 Möglicher Schwellenwert bei der Anwendung des Methodenvorschlags

Basierend auf den Messdaten des Versuchsfahrzeugs ohne DPF-Regenerationsphasen wurde ein möglicher Schwellenwert abgeleitet. Unter diesem Schwellenwert kann, zumindest für dieses Versuchsfahrzeug, von einem funktionierenden Abgasnachbehandlungssystem ausgegangen werden. Liegt das $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis über den Schwellenwert, so kann von einem Fehler des Abgasnachbehandlungssystems ausgegangen werden. Als Schwellenwert wurde ein $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis von 2 abgeleitet. Jener Datenpunkt, bei dem erst während des 100 km Intervalls der Fehler auftrat, würde mit einem $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis von knapp unter zwei zwar noch nicht detektiert werden, bei weiterbestehendem Fehler, würde der Fehler aber im nächsten 100 km Intervall sichtbar. Bei einem veränderten Abgasnachbehandlungssystem über 100 km liegt das $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis bei diesem Versuchsfahrzeug bei rund 3, eine eindeutige Identifikation ist somit gegeben. Inwiefern dieser Schwellenwert auch für andere Fahrzeugmodelle gültig ist, müsste noch mit Messdaten von weiteren Fahrzeugmodellen validiert werden. Der Schwellenwert kann auch mit den aktuellen Grenzwerten bestätigt werden. Bei 80 mg_{NO_x}/km und einem Verbrauch von ca. 6 l/100 km ergeben sich 1,6 $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$. Mit einem Aufschlag für die

Parameter	Derzeit gültige Parameter für Euro 6d	Diskutierte Euro 7 Parameter (normal conditions)	Diskutierte Euro 7 Parameter (extended conditions)
Umgebungstemperaturbereich	moderat: 0 – 30 °C erweitert: -7 – 0 °C & 30 – 35 °C	0 – 35 °C	-10 – 45 °C
Max. Seehöhe	moderat: 0 – 700 m erweitert: 700 – 1300 m	700 m	1800 m
Max. Fahrzeugkilometer	ISC: 100.000 km MaS: 160.000 km	160.000 km	200.000 km
Min. Fahrzeugkilometer	15.000 km (ISC)	10.000 km	3.000 – 10.000 km
Max. Geschwindigkeit	145 (bis 160 kurzfristig) km/h	145 km/h	160 km/h
Streckenlänge	U/R/M jeweils >16 km	Budget = 10 km	Budget = 10 km
Strecken-zusammensetzung	U/R/M jeweils 33 %	beliebig	beliebig
$v \times a_{pos}$ [95 th]	Limits Funktion der Geschwindigkeit	beliebig	beliebig
RPA	Limits Funktion der Geschwindigkeit	beliebig	beliebig
Positive zurückgelegte Höhenmeter	Total: <1200 [m/100 km] Urban: <1200 [m/100 km]	beliebig	beliebig

Tab. 5-3: Auszug an diskutierten Euro 7 Randbedingungen (EU-KOMMISSION 2022)

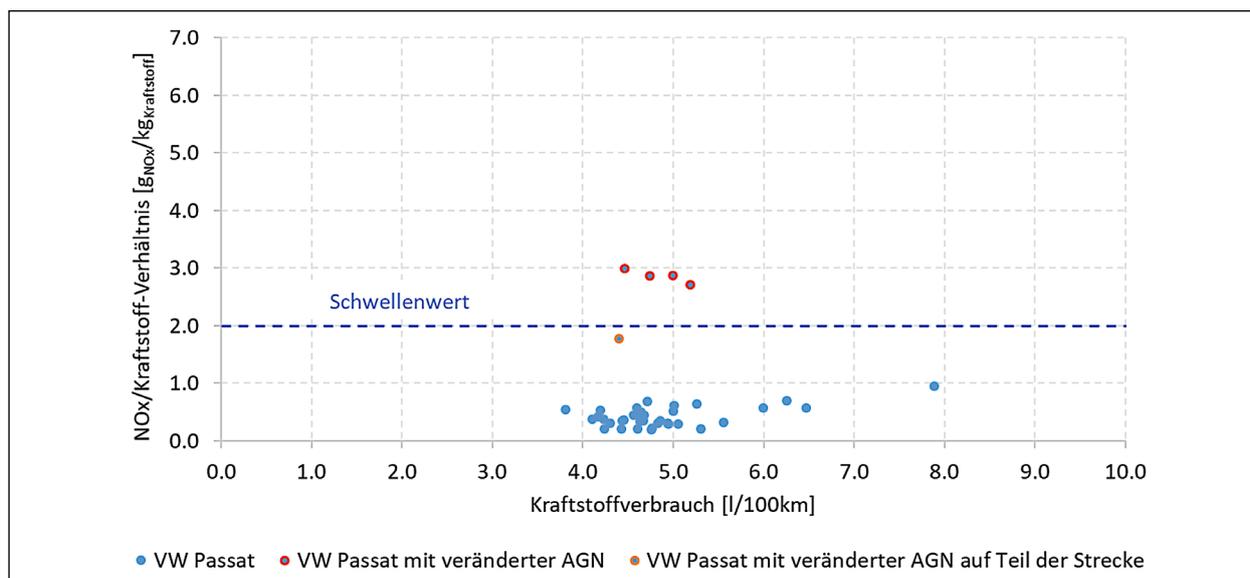


Bild 5-12: Möglicher Schwellenwert für Unterscheidung eines fehlerhaften und funktionierenden Abgasnachbehandlungssystems

Sensorunsicherheit und die Variabilität der Verbrauchswerte ergibt sich dann der Faktor 2.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der IST-Zustand zur OBD-Gesetzeslage dargestellt und eine Befragung der Prüforganisationen sowie des Kraftfahrt-Bundesamtes zur Thematik durchgeführt. Des Weiteren wurden drei Euro 6 Fahrzeuge mit sogenannten Werkstätten-Diagnosegeräten untersucht. Bei der Recherche zur aktuellen Gesetzeslage wurden Regelungen, die in Kraft sind, EU-weite Gültigkeit besitzen, in deutscher Sprache vorliegen und den Themenbezug On-Board-Diagnose von Emissionsdaten in Bezug auf Fahrzeug-Typgenehmigung und periodische technische Inspektion besitzen, analysiert. Die Regelungen mussten zudem die Fahrzeugklassen M1-Fahrzeuge bis 3500 kg Gesamtgewicht und N1-Fahrzeuge betreffen. In Summe wurden bei der Recherche 23 Publikationen ausgemacht, von denen neun die zuvor geschilderten Einschlusskriterien erfüllten. Dabei handelt es sich um:

- Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr, mit den Bestimmungen über die Durchführung der besonderen Überprüfung und wiederkehrenden Begutachtung von Fahrzeugen

- VERORDNUNG (EU) Nr. 461/2010 DER KOMMISSION
- DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/621 DER KOMMISSION
- RICHTLINIE 2014/45/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
- VERORDNUNG (EU) 2018/858 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
- DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/621 DER KOMMISSION
- Mängelkatalog der Bundesinnung der Fahrzeugtechnik für alle Fahrzeugklassen
- UNECE (2013): Regelung Nr. 49
- UNECE (2018): Regelung Nr. 83

Bei der Befragung der Überwachungseinheiten wurden zwölf Einrichtungen zur Befragung ausgewählt. Zehn stammten aus dem deutschsprachigen Raum (7 Deutschland, 3 Österreich). Zusätzlich wurden die niederländische Verkehrsbehörde und die dänische Verkehrsbehörde in die Befragung mit eingebunden. Die Umfrage fand in elektronischer Form mit Hilfe eines ÖAMTC eigenen Umfragetools im Zeitraum zwischen 28. März und 26. April 2022 statt. Der dabei abzuarbeitende Fragenkatalog wurde in enger Abstimmung zwischen dem gesamten Projektteam und dem Auftraggeber erstellt. Bei der Befragung teilten die Teilnehmer ihre Erfahrungen zu den aktuell auslesbaren OBD-Daten, zum zusätzlichen Bedarf an OBD-Informationen zur Beur-

teilung emissionsrelevanter Systeme im Zuge der PTI, zu aktuellen und zukünftig gewünschten Diagnosejobs, zur Erfahrungen beim Auslesen der On-Board Fuel Consumption Monitoring Daten, zur zukünftige Emissionsgesetzgebung und zu allgemeinen Hinweisen und Ergänzungen zum Themenkomplex OBD mit. Im Anschluss an die Befragung der Überwachungseinrichtungen wurde noch das deutsche Kraftfahrt-Bundesamt kontaktiert. Im Zuge dessen wurde abgeklärt, ob von Seiten des KBA zusätzliche Anforderungen an das OBD-System gestellt werden, welche bei der Typgenehmigung oder der Marktüberwachung hilfreich wären.

Beim Test an drei Euro 6 Fahrzeugen wurden diese mit dem beim ÖAMTC eingesetzten Testgerät BOSCH KTS 560 überprüft. Dabei wurde untersucht, welche Daten aktuell über die OBD-Schnittstelle ausgelesen werden können, und ob, wie etwa bei sicherheitsrelevanten Bauteilen, auch bei emissionsrelevanten Bauteilen Diagnosejobs (z. B. Aktuatorenansteuerung) aktiv eingeleitet werden können. Die Fahrzeuge erfüllen den Gesetzestext zu den zur Verfügung zu stellenden Daten, allerdings mit teilweise sehr unterschiedlichen Formaten und Interpretationen der Verpflichtungen. Generell kann gesagt werden, dass die für die AU erforderlichen OBD-Daten heute bereits in Fahrzeugen vorhanden sind, aber noch miteinander verknüpft werden müssen, um eine zuverlässige interne Überwachung zu gewährleisten. Bei einer verbesserten internen Überwachung der Abgasnachbehandlungssysteme stellt OBD eine geeignete Prüfmethode im Rahmen der AU dar. Für Euro 7 sollten die für PTI an der OBD (oder OBM) Schnittstelle zur Verfügung zu stellenden Daten genauer definiert werden. Dabei muss auch sichergestellt sein, dass die Daten am OBD-Port bereitgestellt werden.

Des Weiteren wurden im Rahmen dieser Arbeit diverse Sensoren, wie z. B. NO_x-Sensoren, NH₃-Sensoren, und PM-/ PN-Sensoren, hinsichtlich ihrer Eignung für OBD- und PTI-Aufgaben analysiert. Die Sensoranalyse erfolgte anhand von Datenblättern sowie Befragung der Sensorhersteller. Insgesamt wurden 16 Sensoren analysiert. Jeder Sensor wurde auch nach definierten Kriterien, wie z. B. Eignung des Sensors um PTI zukünftig zu erweitern, Einbauaufwand des Sensors in ein Kfz, oder Kosten des Sensors, beurteilt. Der NO_x-Sensor erfüllte alle erforderlichen Kriterien und kommt zudem bereits seit einigen Jahren serienmäßig in Diesel-Fahrzeugen zum Einsatz. Daher würde sich dieser Sensor gut eignen, um zukünftig die NO_x-Emissio-

nen im realen Betrieb zu überwachen und wurde deshalb für die detaillierte messtechnische Untersuchung ausgewählt. Die serienmäßigen NO_x-Sensoren werden auch ständig weiterentwickelt. So haben neue in Entwicklung befindliche NO_x-Sensorgenerationen ein schnelleres Ansprechverhalten in der Kaltstartphase sowie bessere Genauigkeit bei geringen Konzentrationen. Im Zuge dieses Projekts konnte aber auch die aktuelle Sensorgeneration ohne Einschränkung verwendet werden, da die Überwachung der NO_x-Emissionen über einen längeren Abschnitt erfolgen soll, sowie Fehler in der Abgasnachbehandlung zu sehr viel höheren NO_x-Emissionen führen, bei denen der Genauigkeitsunterschied nicht ausschlaggebend ist.

Die detaillierte messtechnische Untersuchung, mit dem Ziel einer Methodenentwicklung zur Beurteilung der Stickoxidemissionen bei der PTI, wurde mit einem modernen Diesel-Pkw der Abgasnorm Euro 6d durchgeführt. Das Abgasnachbehandlungssystem des Versuchsfahrzeugs besteht aus Abgasrückführung, Oxidationskatalysator sowie Partikelfilter und zwei SCR-Katalysatoren. Serienmäßig sind im Versuchsfahrzeug auch drei NO_x-Sensoren verbaut. Ein NO_x-Sensor ist am Ende des Abgasstrangs verbaut und kann somit detektieren, ob das NO_x-Abgasnachbehandlungssystem ordnungsgemäß funktioniert. Mit dem Versuchsfahrzeug wurden Messungen am Pkw-Rollenprüfstand sowie auf der Straße durchgeführt. Insgesamt wurden etwa 4500 Fahrzeugkilometer an Messdaten gesammelt, die mit einem Datenlogger aufgezeichnet wurden. Großteils enthalten die Daten herkömmliches Fahren auf der Straße. Enthalten sind aber auch Messdaten, bei denen das Abgasnachbehandlungssystem verändert wurde, um die Methode für zukünftige NO_x-Überwachung testen zu können. Dafür wurden z. B. Veränderungen am Ad-Blue-System vorgenommen. Ebenfalls wurden Messdaten mit für das Abgasnachbehandlungssystem herausfordernden Fahrsituationen gesammelt. Als herausfordernde Fahrsituationen werden Berg- und Talfahrten mit und ohne Beladung sowie lange Stausituationen eingestuft. Alle Messdaten flossen in die Methodenentwicklung ein.

Bei der Entwicklung des Konzepts für die Machbarkeitsuntersuchung einer zukünftigen NO_x-Überwachung im realen Fahrzeugbetrieb wurde darauf Rücksicht genommen, dass höhere NO_x-Emissionen in bestimmten Fahrsituationen, welche für das Abgasnachbehandlungssystem herausfordernd sind, nicht als Fehler identifiziert wer-

den, sofern das Abgasnachbehandlungssystem ordnungsgemäß arbeitet. Dazu können Signale als Eingabedaten verwendet werden, die in modernen Pkw bereits über die OBD-Schnittstelle des Fahrzeugs verfügbar sind. Im Zuge der Fahrzeugtypisierung könnten solche Signale auch noch auf Funktion und Genauigkeit überprüft werden, um die Validität dieser Signale sicherzustellen. Die Anwendung der Methode soll für Diesel- sowie auch für Benzin-Pkw möglich sein. Im Zuge dieses Projekts wurde der Fokus auf Diesel-Pkw gelegt. Die erarbeitete Methode beurteilt die Funktionalität der NO_x-Abgasnachbehandlungssysteme durch das Verhältnis $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$. Liegt das ermittelte Verhältnis über einem Schwellenwert, so könnte ein Fehler des NO_x-Abgasnachbehandlungssystems vorliegen, liegt das Verhältnis unter dem Schwellenwert, so kann davon ausgegangen werden, dass kein Fehler vorliegt. Das $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis könnte bei einem errechneten Wert oberhalb des Schwellenwertes zu einer anlassbezogenen PTI führen oder als Fehler mit der MIL im Display angezeigt werden oder im Zuge der regulären PTI ausgelesen werden.

Angewendet auf die Messdaten des Versuchsfahrzeugs zeigte die Methode, dass zwischen Fahrten mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem und Fahrten mit funktionierendem Abgasnachbehandlungssystem gut unterschieden werden kann. Fahrten mit DPF-Regenerationen können allerdings auch in jenen Bereichen liegen, in denen Fahrten mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem liegen. Bei der Betrachtung von 100 km-Abschnitten wurde deshalb ein Selektionsfilter angewendet, der Messdaten von DPF-Regenerationsphasen nicht berücksichtigt. Dafür wurde über die OBD-Schnittstelle der DPF-Regenerationsstatus ausgelesen. Mit diesem Filter können Fahrten des Versuchsfahrzeugs mit verändertem Abgasnachbehandlungssystem eindeutig identifiziert werden. Ein weiterer Filter wurde erarbeitet, um lange Talfahrten, die zu einem höheren $g_{NO_x}/kg_{Kraftstoff}$ -Verhältnis führen könnten, filtern zu können. Zusätzlich wurde auch auf Filter hingewiesen, die von Randbedingungen der zukünftigen Euro 7 Gesetzgebung abgeleitet werden könnten. Auf EU-Ebene wird derzeit diskutiert, ob bei der zukünftigen Typgenehmigung von Fahrzeugen nach Euro 7 Gesetzgebung die Emissionsgrenzwerte unter jeglichen Fahrbedingungen eingehalten werden müssen. Sollte dies so beschlossen werden, so könnte eine Überwachung der NO_x-Emissionen im realen Betrieb ohne Bezug

zu der Motorleistung mit fortlaufendem Bezug zu den gefahrenen Kilometern erfolgen. Die NO_x-Emissionsgrenzwerte der Typgenehmigung müssten folgend bei allen Motorleistungen eingehalten werden und müssten dann bei allen Fahrten unterhalb des Grenzwertes der Typgenehmigung, der durch mg/km vorgeschrieben ist, liegen. Sobald die Euro 7 Gesetzgebung beschlossen ist, könnte die Methode gegebenenfalls zielführend überarbeitet und optimiert werden.

Literatur

- BLASSNEGGER, J. (2019): FE 84.0528/2017 „Au-DieO – zukünftige Konzepte für Abgasuntersuchungen von Diesel- und Ottofahrzeugen“, FVT-018/19/JBlass EM 2017_30, Graz 2019
- BLASSNEGGER, J. und LIPP, S. (2021): New procedure of NO_x emission test (AU) in a future Periodic Technical Inspection (PTI), ÖAMTC_T-2021-01 bzw. FVT-015/21/SL EM 20/11/6790, Graz/Wien 2021
- Bundesamt für Justiz (2012): Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vom 26. April 2012 (BGBl. I S. 679), die zuletzt durch Artikel 8 der Verordnung vom 20. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 199) geändert worden ist.
- EU-KOMMISSION (2010): VERORDNUNG (EU) Nr. 461/2010 DER KOMMISSION.
- EU-KOMMISSION (2019): DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/621 DER KOMMISSION vom 17. April 2019 über die für die technische Überwachung in Bezug auf die zu prüfenden Positionen erforderlichen technischen Angaben sowie zur Anwendung der empfohlenen Prüfmethode und zur Festlegung detaillierter Regelungen hinsichtlich des Datenformats und der Verfahren für den Zugang zu den einschlägigen technischen Angaben.
- EU-KOMMISSION (2022): Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council on type approval of motor vehicles and engines and of systems, components and separate technical units for such vehicles with respect to their emissions and battery durability (Euro 7); COM (2022) 586final; Brussels, 10.11.2022.

EU-PARLAMENT (2014): RICHTLINIE 2014/45/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 3. April 2014 über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/40/EG.

EU-PARLAMENT (2018): VERORDNUNG (EU) 2018/858 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten.

HBEFA (2022): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, in der Version 4.2.

SAMARAS, Z. et al. (2022): Study on post-Euro 6/VI emission standards in Europe - PART A and B; Final report for the European Commission; Veröffentlichung durch EU in 2022 angekündigt.

UNECE (2013): Regelung Nr. 49 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) - Einheitliche Bestimmungen hinsichtlich der Maßnahmen, die gegen die Emission von gas- und partikelförmigen Schadstoffen aus Selbstzündungs- und aus Fremdzündungsmotoren.

UNECE (2018): Regelung Nr. 83 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Emission von Schadstoffen aus dem Motor entsprechend den Kraftstoffanforderungen des Motors.

Bild 5-4: OEM NO_x-Messdaten des Versuchsfahrzeugs der einzelnen Tests bzw. Fahrten aufsteigend angeordnet (Messdaten ab jenem Zeitpunkt, ab dem der OEM NO_x-Sensor Nr. 3 aktiv war)

Bild 5-5: Übersicht der NO_x-Messdaten des Versuchsfahrzeugs (Messdaten ab jenem Zeitpunkt, ab dem der OEM NO_x-Sensor Nr. 3 aktiv war)

Bild 5-6: NO_x-Emissionen über der positiven Motorleistung (HBEFA 2022)

Bild 5-7: Illustrative Abbildung des Methodenvorschlags

Bild 5-8: Anwendung des Methodenvorschlags auf die Messdaten des Versuchsfahrzeugs

Bild 5-9: Anwendung des Methodenvorschlags auf die Messdaten des Versuchsfahrzeugs sowie auf Messdaten aus der DBEFA

Bild 5-10: Anwendung des Methodenvorschlags auf die Messdaten (ohne DPF-Regenerationen) des Versuchsfahrzeugs für 100 km-Abschnitte

Bild 5-11: Anwendung des Methodenvorschlags auf die Messdaten (mit DPF-Regenerationen) des Versuchsfahrzeugs für 100 km-Abschnitte

Bild 5-12: Möglicher Schwellenwert für Unterscheidung eines fehlerhaften und funktionierenden Abgasnachbehandlungssystems

Bild 01: Beurteilung der aktuell auslesbaren OBD-Daten zur Überwachung der emissionsrelevanten Bauteile

Bilder

Bild 3-1: Zusammensetzung der Fehlercodes nach SAE J2012 DA bzw. ISO 15031-6

Bild 5-1: Versuchsfahrzeug am Pkw-Rollenprüfstand

Bild 5-2: Schematische Darstellung des Abgasnachbehandlungssystems

Bild 5-3: VCDS (links) und CSS CANedge (rechts), verbunden mit der OBD-Schnittstelle des Fahrzeugs

Tabellen

Tab. 3-1: Gewünschte Daten aus der On-Board-Diagnose für die aktuelle Marktüberwachung

Tab. 3-2: Benötigte Daten aus der On-Board-Diagnose für die zukünftige Marktüberwachung

- Tab. 4-1: Übersicht der befragten Unternehmen und Institutionen bzgl. Sensoren
- Tab. 4-2: Eigenschaften der NO_x-Sensoren
- Tab. 4-3: Eigenschaften der NH₃- und PM-Sensoren
- Tab. 4-4: Eigenschaften des CO₂/CO-Sensors und der Lambda-Sonden
- Tab. 4-5: Eigenschaften der Temperatur- und Differenzdrucksensoren
- Tab. 5-1: Fahrzeugdaten
- Tab. 5-2: Übersicht der durchgeführten Messungen
- Tab. 5-3: Auszug an diskutierten Euro 7 Randbedingungen (EU-KOMMISSION 2022)

- Für die aktuelle AU-Durchführungsrichtlinie werden die Angaben als ausreichend erachtet.

Die nachfolgenden Anmerkungen wiederholen sich im Themenbereich 2, wurden aber bei Themenbereich 1 ebenfalls genannt.

- Für die zukünftige AU werden auf jeden Fall erweiterte Angaben zum Partikelfilter- und zum SCR-System erwartet. Zusätzlich sollen für die dazugehörige Sensorik Istwerte ausgelesen werden können. Auf Betriebspunkte, bei denen dies der Fall sein soll, wurde in den Antworten nicht eingegangen.
- Zusätzlich wurde angemerkt, dass Sensordaten zu NO_x-Konzentrationen, Abgastemperaturen, Daten zur AdBlue-Einspritzung, AGR-Status zwar vorhanden sind, für die Diagnose jedoch noch nicht zur Verfügung stehen, was für eine zukünftige AU gefordert wird.
- Des Weiteren wurde kritisiert, dass Sensordaten zum Teil nur unter bestimmten Fahrbedingungen freigegeben werden. Dies ist in der aktuellen Gesetzgebung dementsprechend geregelt und daher den Vorschriften entsprechend.
- Zwei Teilnehmer merkten an, dass die Informationen im Hinblick auf NO_x-Nachbehandlung nicht bei allen Fahrzeugen verfügbar sind, bzw. dass keine Informationen, wann die letzte Regeneration des NO_x-Speicherkatalysators ausgeführt wurde, ausgelesen werden konnten.

Anhang

Anhang A: Detaillierte Darstellung der Umfrageergebnisse

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Befragung aller zwölf Teilnehmer aus dem Raum Deutschland zusammen mit Österreich für jede Fragestellung einzeln angeführt. Bei Fragen, welche aus mehreren Unterfragen bestanden, wurden die Antworten zusammengefasst. Dies ist im laufenden Text vermerkt.

Die Auswertung der Befragung der Teilnehmer aus den Niederlanden und Dänemark ist im Anschluss an jeden Punkt angeführt.

Themenbereich 1: Beurteilung der aktuell auslesbaren OBD-Daten

Können Sie alle für die Beurteilung emissionsrelevanter Systeme benötigten Daten auslesen?

Sieben Umfrageteilnehmer sahen die auszulesende Datenlage als nicht ausreichend an. Drei Teilnehmer meinten, dass die vorhandenen Daten für eine Beurteilung der emissionsrelevanten Teile ausreichend seien.

Bei der Zusatzfrage nach der Nennung fehlender Daten wurden folgende Angaben getätigt:

Niederlande, Dänemark:

BOVAG/RDW Niederlande gab an, dass das vollständig notwendige Auslesen möglich ist, bei der dänischen Verkehrsbehörde war dies nicht der Fall, gleichzeitig verwies sie darauf, dass ab 2023 OBD als eigener, zu nutzender Bereich bei der PTI in Dänemark definiert wird.

Gibt es technische Probleme beim Verbindungsaufbau?

Vier Umfrageteilnehmer gaben an, keine Probleme beim Verbindungsaufbau zu haben, bei den sechs restlichen Umfrageteilnehmern wurden immer wieder oder gelegentlich auftretende Probleme angeführt.

- Vereinzelt kommt es vor, dass bei der OBD-Prüfung von Kraftfahrzeugen (Pkw, Nutzfahrzeuge) grundsätzlich kein Verbindungsaufbau mit einem Scan-Tool über die OBD-Schnittstelle mög-

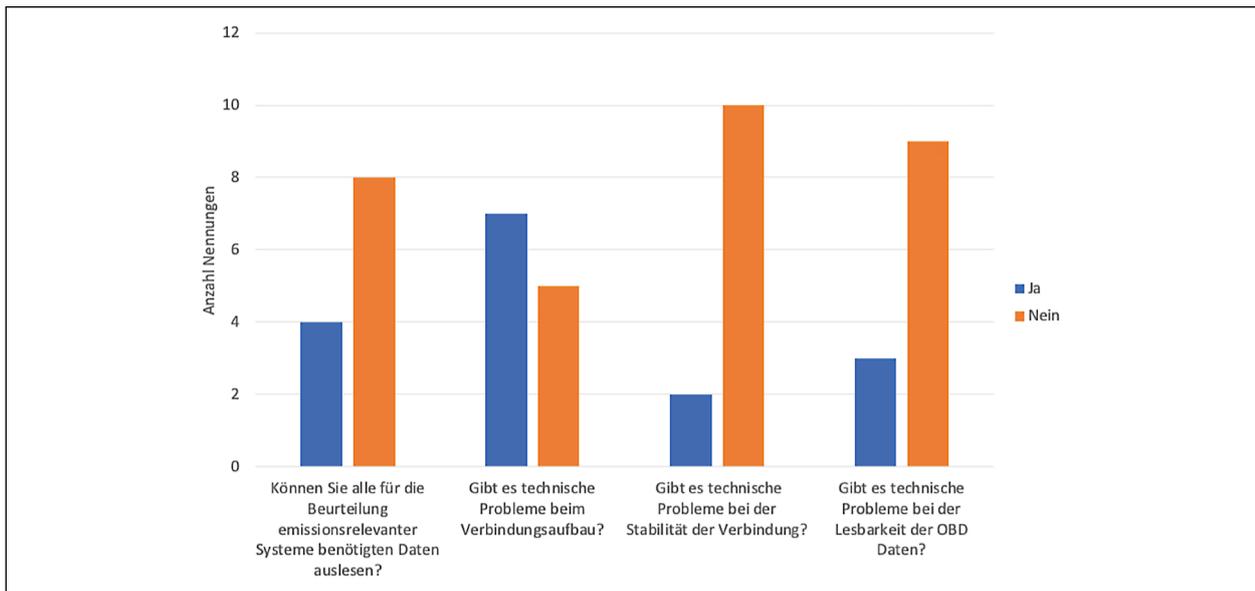


Bild 0-1: Beurteilung der aktuell auslesbaren OBD-Daten zur Überwachung der emissionsrelevanten Bauteile

lich ist. Als Fehlerquellen dafür wurden angegeben:

1. Fahrzeugseitiger Fehler
2. OBD-Schnittstelle nicht belegt
3. Verbindungsaufbau möglich, aber einzelne Datensätze wie z. B. Temperatur, Drehzahl fehlen
4. Unterschiedliche Protokolle und/oder kein Verbindungsaufbau zu Steuergerät bzw. nur mit Abbrüchen

Niederlande, Dänemark:

Niederlande vermeldete Probleme, Dänemark nicht.

Gibt es technische Probleme bei der Stabilität der Verbindung?

Hier wurde festgestellt, dass, wenn der Verbindungsaufbau erfolgt ist, keine Probleme bei der Stabilität der Verbindung auftreten. Dies gilt sowohl für hardwaremäßige Verbindungen zwischen den Schnittstellen als auch für Over-The-Air Verbindungen der Diagnosegeräte.

Niederlande, Dänemark:

Wie bei den vorgelagerten Fragen gab die BOVAG/RDW Niederlande hier Probleme an, die dänische Verkehrsbehörde nicht.

Gibt es Probleme bei der technischen Lesbarkeit der OBD-Daten?

Sieben der zehn Teilnehmer gaben an, dass es aktuell keine Probleme bei der technischen Lesbarkeit der OBD-Daten gibt. In zwei Fällen wurden konkrete Problemfälle genannt. Diese betrafen Hersteller-codes, welche nicht eindeutig zu interpretieren waren. Außerdem kam es bei wenigen Fahrzeugmodellen zu Bewertungsproblemen - obwohl bekannt war, dass keine Fehlerlöschung vorgenommen wurde, und alle Systemchecks abgeschlossen werden konnten, wurde die automatisierte Bewertung „nicht bewertet“ vom System ausgegeben.

Niederlande, Dänemark:

Bei der Lesbarkeit traten in den Niederlanden Probleme auf, in Dänemark war dies laut Fragebogen nicht der Fall. Die dänische Verkehrsbehörde führte an, dass das Auslesen an sich kein Problem darstellt, sehr wohl aber die richtige Dateninterpretation.

In Bild 0-1 ist die quantitative Auswertung der ersten vier Fragen zum Themenbereich 1 veranschaulicht.

Gibt es Einschränkungen bei bestimmten Daten oder Funktionen (Stichwort Security Gateway)?

Vor allem die Frage nach Security Gateways ist zum derzeitigen Zeitpunkt noch schwer zu beantworten gewesen. Der Grund liegt darin, dass aktuell noch zu wenige Fahrzeuge mit diesen Systemen die technische Überprüfung durchführen müssen. Das wird sich jedoch zeitlich bedingt zukünftig rasch

ändern. Aktuell sind daher noch relativ wenige Erfahrungswerte bekannt.

- Unter den Befragten wurde festgestellt, dass bis auf die gesetzlich geforderten abgasrelevanten Informationen/Daten die Fahrzeughersteller die Diagnosezugänge zu den in den Kraftfahrzeugen verbauten Steuergeräten blockiert haben. Es wurde gefordert, dass der bestehende Zugang auch für die Zukunft offenbleiben muss.
- Security Gateway wird zurzeit bei schreibenden Funktionen (Fehlercodes löschen, Aktuatoren ansteuern, Software-Updates) aktiv. Solange keine Ansteuerung von Aktuatoren im Rahmen von PTI vorgesehen ist, fällt die Einschränkung durch Security Gateway nicht auf. Durch die Ansteuerung von Aktuatoren bei der Abgasuntersuchung kann einfach und schnell die Funktion einzelner Bauteile geprüft werden, Security Gateway würde diese Prüfweise erschweren.
- Grundsätzlich wurde angemerkt, dass Datenzugriffprobleme auf Grund von Security Gateway zunehmen. Das betrifft einerseits den Bereich der HU, als auch über diesen Projektinhalt hinaus, Reparatur, Wartung andere technische Prüfungen und die Pannenhilfe.

Niederlande, Dänemark:

Das Security Gateway führte bei BOVAG/RDW Niederlande zu Problemen. Allerdings wird bei der detaillierten Beschreibung darauf hingewiesen, dass beim Auslesen der Daten keine Probleme auftraten, sondern bei der Verbindung mit einer zentralen Datenbankanwendung. Es ist daher anzunehmen, dass das Security Gateway bisher beim Datenauslesen in den Niederlanden ebenfalls noch keine Probleme verursacht hat. Bei der dänischen Verkehrsbehörde waren keine Probleme im Zuge der PTI bekannt.

Der Grund kann in der Tatsache liegen, dass aktuell noch zu wenige Fahrzeuge, welche mit Security Gateway ausgestattet sind, zur Untersuchung durchgeführt wurden.

Welche Hinweise/Ergänzungen möchten Sie noch zum Themenkomplex „Beurteilung der aktuell auslesbaren OBD-Daten im Zuge der PTI“ geben?

- Hier wurde wieder darauf hingewiesen, dass im OBD-System neben den heute verfügbaren und über die OBD-Schnittstelle mit einem Scan-Tool auslesbaren Informationen/Daten weitere nutz-

bare abgasrelevante Informationen verfügbar sind, welche nach Meinung der Befragten zukünftig nutzbar gemacht werden müssen.

- Zusätzlich wurde bemängelt, dass für Plug-In Hybridfahrzeuge die verfügbaren OBD-Daten unzureichend sind.

Die Erweiterung von On-Board-Monitoring, und der Zugang zu diesen Daten wird als wichtig angesehen. Zwei Teilnehmer arbeiten aktuell an der Entwicklung eines Modells zur Überwachung und Bewertung der NO_x-Emissionen im realen Betrieb (QNO_x-Modell), und einer Systemkontrolle im Zuge der HU.

Niederlande, Dänemark:

Die dänische Verkehrsbehörde merkte an, dass ein europäischer Standard dafür, wo sich die unterschiedlichen Informationen zu allen PTI-relevanten Parametern im OBD-Protokoll befinden, hilfreich wäre.

Themenbereich 2: Zusätzlicher Bedarf an OBD-Informationen zur Beurteilung emissionsrelevanter Systeme im Zuge der PTI

Die nachfolgenden Antworten beziehen sich auf eine geschlossene Fragestellung, welche um drei Unterfragestellungen erweitert wurde, um zusätzlich zu den Entscheidungsantworten (ja/nein) weitere Informationen zu erhalten. Hier ist diese gesamte Fragestellung inhaltlich zusammengefasst.

Welche zusätzlichen Informationen benötigen Sie von Abgassensoren und sonstigen Sensoren und/oder Aktuatoren zur Beurteilung der Funktion emissionsrelevanter Bauteile?

Von neun der zehn Teilnehmer kam die Forderung, dass Werte der NO_x-Sensoren auf jeden Fall ausgelesen werden sollten.

- Dummy-Sensoren, welche gegen die ursprünglichen Sensoren getauscht wurden, um ein verfälschtes Signal zu liefern, können so erkannt werden.
- NO_x-Sensoren, welche am Ende der Abgasnachbehandlung verbaut werden, können für die Beurteilung des Abgasnachbehandlungssystems herangezogen werden.
- Zusätzlich könnten solche Sensoren mit einer Endrohrmessung im Zuge der Hauptuntersuchung (HU) validiert werden.

- Für eine Überwachung der NO_x-Emissionen mittels Daten aus dem laufenden Betrieb ist ein Zugriff auf Messdaten der NO_x-Sensoren unbedingt erforderlich.

Bei den Partikelemissionen wurde die Forderung nach Differenzdruckdaten des Partikelfilters genannt¹, um über den Beladungszustand des Systems Informationen zu erhalten.

- Mit diesen Daten könnten Rückschlüsse gezogen werden, ob eine Filterregeneration ansteht.
- Bei unplausiblen Differenzdruckdaten könnte zudem auf eine Monolith-Beschädigung oder Entfernung geschlossen werden.

Grundsätzlich wären PN-Sensordaten wünschenswert. Auf die alternativ eingesetzten On-Board-Partikelmassensensoren wurde in den Antworten nicht eingegangen.

Bei der Frage nach weiteren zusätzlichen Daten und Informationen wurden folgende Punkte genannt:

- Sensordaten von weiteren Emissionskomponenten wie NH₃ sollen, sobald diese in OBD eingebunden sind, auch lesbar sein. Auf die Messmethodik (Lastzustand, Temperaturen, usw.) wurde dabei nicht eingegangen.
- Die Verfügbarkeit von Abgastemperaturdaten wurde gefordert, um Rückschlüsse auf die Betriebstemperatur der Abgasnachbehandlung zu bekommen.
- Informationen zur AdBlue/Reagenzmittel-Einspritzung und/oder Ansteuerung dieser und
- der AGR-Ansteuerung(en) von Hochdruck-/Niederdruck-AG wurden genannt.
- Zusätzlich sollen Referenzwerte für die Beurteilung von den Fahrzeugherstellern zur Verfügung gestellt werden.
- Ein Teilnehmer hat hier darauf verwiesen, dass, wenn von der Gesetzgebung neue Anforderungen gestellt werden, auch zusätzliche Informationen als notwendig erachtet werden. Diese Sichtweise betraf den Bereich NO_x und Partikelemissionen
- Ein weiterer Wunsch betraf die Ausgabe eines Wirkungsgrades der NO_x-Reduktion und der

PN-Reduktion sowie die grundsätzliche Information, ob die Einrichtungen in Betrieb sind. Dies würde die Beurteilung, ob Teile der Abgasnachbehandlung deaktiviert wurden, erleichtern.

Niederlande, Dänemark:

In den Niederlanden ist die NO_x-Messung aktuell kein Thema. Dänemark verweist darauf, dass auf NO_x-Sensordaten im OBD-System zugegriffen werden kann. Auf weiteren Bedarf wurde nicht eingegangen.

Ab Juli 2022 erfolgt die Emissionsmessung bei Diesel-Fahrzeugen mit Partikelfilter in den Niederlanden im Zuge der HU durch eine Partikelzählung. Weitere Details zu dieser Vermessung können auf <https://www.deeltjestest.nl/> nachgelesen werden. Von Seiten der dänischen Verkehrsbehörde wurde angemerkt, dass der Differenzdruck aktuell gemessen wird. Ob dies bei der HU erfolgt, wenn ja warum oder ob damit lediglich auf vorhandene OBD-Daten verwiesen wurde, ist aus den Antworten nicht ersichtlich.

Benötigen Sie Informationen für die Beurteilung der Integrität der emissionsrelevanten Software (z. B. Softwareversion, Prüfnummer, Kalibriernummer (CVN – Calibration Verification Number), Kalibrierungs-Identifikation (CAL.ID, ...)?

Diese Frage wurde von allen Teilnehmern bejaht. Es besteht die Ansicht, dass die Systeme grundsätzlich gegen unbefugte Eingriffe und Manipulationen, wie z. B. Emulatoren viel besser abgesichert sein müssten.

- Die Möglichkeit die Softwareversionsnummer, die Kalibriernummer und Prüfnummer mittels Scan-Tool auszulesen, wäre wünschenswert. Allerdings müssten diese Daten auch mit einer zentralen Datenbank abgeglichen werden können. Dadurch ist zu erkennen, welche Software gerade aktuell ist.
- Ob CAL.ID und CVN im Klartext oder nur mit einer verschlüsselten Liste, die der Hersteller einer zentralen Stelle zur Verfügung stellt, abgeglichen wird und dann das Ergebnis nur mit „i. O.“ oder „nicht i. O.“ angezeigt wird, müsste diskutiert werden. Wird das Ergebnis CAL.ID und CVN tatsächlich angezeigt, sind die Werte auch

¹ Wir interpretieren das so, dass auch Daten zu der vom Motorsteuergerät berechneten Filterbeladung gewünscht sind. Diese werden zusätzlich zum Differenzdruck mittels simulierten Partikelemissions-, Filtrations- und Abbrandwerten berechnet.

schnell so manipuliert, dass die falschen Werte nicht erscheinen.

- Ein noch ausstehendes Update darf dabei eine positive Begutachtung nicht verhindern. Bei den Prüfnummern sollte das Verfahren der Prüfsummenbildung offengelegt werden.

Niederlande, Dänemark:

Beide Befragungsteilnehmer äußerten sich nicht eindeutig. Auf den IST-Zustand bezogen kam die Anmerkung, dass aktuell das Auslesen dieser Daten nicht möglich sei.

Benötigen Sie Informationen zum Erkennen von Manipulationen an emissionsmindernden Einrichtungen? (z. B. Originalprüfsummen, Unique Identifier, Deaktivierung oder Verschluss der Abgasrückführung, Ausbau von Katalysatoren oder Filtern, Deaktivierung der Zuführung von Reagenzmittel, Leistungssteigerung ...)?

Diese Frage wurde von allen Teilnehmern mit ja beantwortet.

- Es sollten dabei auch die Hersteller in die Pflicht genommen werden. Manipulationen solcher Art müssen vom Fahrzeug selbstständig erkannt werden. Wird die Software ebenfalls manipuliert, sollte dies mit den in der vorherigen Frage angeführten Methoden zweifelsfrei erkennbar sein. Dafür müssen die Fahrzeughersteller Sorge tragen, nicht die Prüforganisationen.
- Die Soll-Werte müssen bekannt sein. Ein Abgleich der Softwareversion, Prüfnummer und der Kalibriernummer mit den in einer zentralen Datenbank hinterlegten aktuellen Informationen gemäß Vorgabe der Fahrzeughersteller wäre ein weiteres Werkzeug zur Erkennung von Manipulationen.
- Weitere noch zu definierende Informationen aus dem OBD-System wären zur Manipulationserkennung hilfreich.
- Originale Prüfsummen wären zur Erkennung von Chip-Tuning hilfreich und zur Erkennung von Manipulation von emissionsrelevanten Teilen per OBD sinnvoll. Eingetragene Leistungssteigerungen mit Änderungen der Steuergeräte-Software müssten immer auch bei der PTI bekannt sein.

Welche Hinweise/Ergänzungen möchten Sie noch zum Themenkomplex „Zusätzlicher Bedarf

an OBD-Informationen zur Beurteilung emissionsrelevanter Systeme im Zuge der PTI“ geben?

- Es ist von den Befragungsteilnehmern gewünscht, dass jedenfalls eine EU einheitliche Vorgangsweise zur Anwendung kommt. Nationale Alleingänge werden als nicht zielführend angesehen. Vor allem die Abfrage des Softwarestands sollte schnell, unkompliziert und standardisiert möglich sein, ebenfalls der Abgleich mit den Solldaten.
- Eine weitere Benennung/Definition von abgasrelevanten Daten/Informationen in den entsprechenden Typpenehmigungsvorschriften, die genormt über die OBD-Schnittstelle zur Beurteilung des Abgasnachbehandlungssystems bei der AU herangezogen werden können, wird angeregt. Detaillierte Angaben zu den Daten und Informationen wurden nicht getätigt.
- Bei E-Fahrzeugen wurde eine Einbeziehung in die Prüfung und Beurteilung emissionsrelevanter Komponenten dahingehend vorgeschlagen, dass E-Fahrzeuge zukünftig mit in die Untersuchung der Umweltverträglichkeit von Kraftfahrzeugen einbezogen (Anlage VIII Nummer 1.2.1 der StVZO) werden sollten, und somit über die periodische AU durch berechnete Untersuchungsstellen (Prüfstellen der Überwachungsorganisationen, anerkannte AU-Werkstätten) geprüft werden. Dabei werden jedenfalls der Betriebszustand, State of Health (SoH) der Batterie, bzw. der Verbrauch als relevant angesehen.
- In Bezug auf Fehlerspeichereinträge wird gewünscht, dass Informationen, wann dieser zuletzt gelöscht wurde, vorliegen.
- Ein On-Board-Monitoring von emissionsrelevanten Daten ist sinnvoll. D. h. das Aufzeichnen und Speichern emissionsrelevanter Daten sowie Verbrauchs- und Leistungsdaten. Somit können die Abgaswerte der Abgassensoren (NO_x) in Bezug auf CO₂ normiert und bewertet werden.
- Die Funktion der OBD sollte zudem im Rahmen der Typprüfung umfassender überprüft werden. Eine definierte OBD für elektrische Fahrzeuge ist aktuell sehr eingeschränkt vorhanden.

Niederlande, Dänemark:

Aus den Niederlanden wird angemerkt, dass, wenn eine erweiterte OBD Teil der PTI sein soll, die Entwicklung einer einheitlichen Methodik für die Überprüfung notwendig ist.

Themenbereich 3: Diagnosejobs

Sollten weitere Bauteile durch zusätzliche Diagnosejobs überprüft werden?

- Ein Teilnehmer sprach sich gegen eine Erweiterung der Diagnosejobs aus.
- Ein weiterer Teilnehmer nannte bei dieser Fragestellung „Diagnosejobs bei denen die AGR-Rate, der AdBlue-Verbrauch und die Kontrolle der Luftmasse stattfinden“.
- Es wären Diagnosejobs, welche eine aktive Ansteuerung von emissionsrelevanten Bauteilen beinhalten, kombiniert mit einer Erfassung von Reaktionen an den relevanten Sensoren, wünschenswert, wurde einmalig erwähnt.
- Für Hybrid- und BEV-Fahrzeuge wird die Definition und Einbeziehung einer einheitlichen Methode zur Bewertung der Effizienz der Batterie von einem Teilnehmer gefordert, da dies CO₂-relevant ist.
- Diese sogenannten „state of health“ Bewertungen stellen jedoch keinen Diagnosejob im eigentlichen Sinn dar. Aktuell sind dazu eigens durchgeführte Messfahrten notwendig. Zukünftig könnte so eine Bewertung in eine OBD eingebunden werden.

Niederlande, Dänemark:

In den Niederlanden sind keine Diagnosejobs im Zuge der PTI vorgesehen und werden nicht als erforderlich erachtet. Aus Dänemark kamen Anmerkungen zu Bremssystemen und Geschwindigkeitsbegrenzer, welche aber nicht emissionsrelevanten Bereichen zuzuordnen sind.

Sollten die Randbedingungen (z. B. Temperatur, Motordrehzahl ...) der Diagnosejobs mittels OBD genauer identifizierbar sein?

Hier lagen die Antworten inhaltlich sehr weit auseinander.

Drei der Teilnehmer sah keine Notwendigkeit solche Randbedingungen zu erfassen, fünf Teilnehmer forderten, dass alle verbauten Temperatursensoren im Abgasnachbehandlungssystem für die Beurteilung des Abgasnachbehandlungssystems über OBD auslesbar sein müssen.

Niederlande, Dänemark:

BOVAG/RDW Niederlande merkte an, dass über OBD aktuell keine Daten zu den Randbedingungen

ausgelesen werden, und dies zukünftig auch nicht geplant ist.

Die dänische Verkehrsbehörde liest aktuell, wenn möglich, die Abgastemperatur und die Drehzahl aus, gab aber nicht an, wie diese Daten weiterverarbeitet werden.

Welche Hinweise/Ergänzungen möchten Sie noch zum Themenkomplex Diagnosejobs geben?

- Über weitere wissenschaftliche Untersuchungen sollte geprüft werden, ob weitere OBD-Informationen zur Beurteilung eines Abgasnachbehandlungssystems für die AU herangezogen werden könnten.
- Ein Statement lautete, dass im Rahmen der Typprüfung laut Verordnung nur vier Fehlersimulationen durchgeführt werden, was zu wenig sei. Dieser Einwand betrifft jedoch die Thematik PTI nicht unmittelbar.

Themenbereich 4: Erfahrung beim Auslesen der On-Board Fuel Consumption Monitoring (OBFCM) Daten

War das Auslesen der OBFCM-Daten bei allen Fahrzeugen, welche über dieses System verfügen müssen, möglich, waren die Daten vollständig und nachvollziehbar, und welche Ergänzungen möchten sie abgeben?

Drei Befragte gaben an, dass das Auslesen von OBFCM Daten möglich war. Die Daten waren aber bei in zwei Fällen nicht vollständig und daher nicht zu 100 % nachvollziehbar. Dies betraf die ausgelesene Streckenlänge, welche mit Ersatzdaten datiert war.

Bei einem Teilnehmer war ein Auslesen der OBFCM Daten mit Einschränkungen möglich, da unterschiedliche Testgeräte dabei eingesetzt wurden und zum Teil vorab Updates bei der Software vorgenommen werden mussten. Bei Fahrzeugen, welche die Daten zur Verfügung stellen mussten, war der Zugriff dann auch möglich. Zudem wurde eine Überprüfung der Daten mit Hilfe einer PEMS-Messfahrt vorgenommen. Dabei konnte eine gute Korrelation erzielt werden.

- Ergänzend wurde ein Datenschutzproblem angeführt. In Deutschland ist das Auslesen der relevanten FIN-bezogenen OBFCM-Daten, zum Zeitpunkt der technischen Fahrzeugüberwa-

chung, für Fahrzeuge, welche diese Daten zur Verfügung stellen müssen, vorgeschrieben. Eine Erhebung der Daten darf aber nicht erfolgen, sofern der Fahrzeughalter sich ausdrücklich weigert, diese Daten zur Verfügung zu stellen. Sollten die OBFCEM-Daten nicht ausgelesen werden können, bzw. der Fahrzeughalter das Auslesen ablehnen, erfolgt für diese Einzelfälle dennoch eine Dokumentation über einen sogenannten OBFCEM-Ausdruck (OBFCEM-Datensatz) mit einer Leermeldung. Diese Erklärung kann ebenfalls an die EU-Kommission gemeldet werden.

- Des Weiteren wurde angemerkt, dass nicht sichergestellt ist, dass alle Fahrzeuge, die aktuell OBFCEM-Daten zur Verfügung stellen müssen, gelistet sind, und diese Listung am aktuellen Stand gehalten wird.

Niederland, Dänemark:

Es wurden dazu keine Rückmeldungen abgegeben.

Themenbereich 5: Zukünftige Emissionsgesetzgebung mit neuer Limitierung der Partikel (PN₁₀ statt PN₂₃) und weiterer gasförmiger Schadstoffe (z. B. NH₃, N₂O)

Dieser Themenbereich bestand aus drei Unterfragen. Da die ersten zwei Fragen inhaltlich sehr ähnlich beantwortet wurden, wurden diese bei der Auswertung zu einer Frage zusammengefasst. Die dritte Frage wurde einzeln behandelt.

Welche Möglichkeiten für eine OBD-Kontrolle der entsprechenden emissionsmindernden Einrichtungen erwarten Sie, und welche Informationen wünschen Sie von dem für EURO 7 diskutierten On-Board Monitoring von Schadstoffemissionen?

Sieben Teilnehmer gaben an, dass eine reine Selbstüberwachung der Fahrzeuge nur durch eine Kontrolle des Systems im Zuge der PTI funktionieren kann. Eine Endrohrmessung kann dadurch erforderlich sein. Aus diesem Grund soll eine unabhängige und regelmäßige Abgasuntersuchung auch für Fahrzeuge mit einem OBM durchgeführt werden. Die OBM in Kombination mit einer periodischen AU, bestehend in diesem Fall aus einer Endrohrmessung und einer OBD-Funktionsprüfung soll die Funktionalität des OBM validieren.

Es wurde zusätzlich angemerkt, dass eine messtechnische Erfassung und Bewertung weiterer gasförmiger Schadstoffe über entsprechende Messge-

räte und anhand klar definierter Vorgaben bzw. Prüfabläufe möglich sein sollten. Das gleiche gilt auch für entsprechende, erweiterte Abfragen von Steuergeräten, Sensoren und Aktuatoren über das OBD-System. Umfassende Informationen zum aktuellen Ist-Zustand, z. B. aktuelle Temperaturen, Ad-Blue-Dosierung, Filter-Regeneration und auch die Einbeziehung von Elektrofahrzeugen, wurden dabei genannt.

- Dazu müssten aber schon in den Typprovorschriften entsprechende Regularien verankert werden, damit diese bei der AU allen berechtigten Untersuchungsstellen zur Verfügung stehen.
- Die Angabe von Istwerten und vom Wirkungsgrad der Minderungs-systeme wurden ebenfalls angeführt.
- Gegebenenfalls sollen solche Daten auch während der Fahrt ermittelt und in temporäre Speicher abgelegt werden. Diese Daten sollen auch bei Schwerpunktkontrollen der Polizei oder diese begleitenden Stellen zur Verfügung stehen.
- Weitere Anmerkungen betrafen die Messungen von Partikelemissionen und die Reglementierung von weiteren Schadstoffen, jedoch ohne weitere Angaben von Betriebszuständen (real world, PTI) oder sonstigen ergänzenden Informationen.
- Abschließend wurde von einem Teilnehmer angemerkt, dass zukünftig alle Daten, welche von emissionsmindernden Bauteilen stammen, einer zentralen Stelle bekannt sein sollen. Damit einhergehend könne dann eine automatische Überprüfung auf Vorschriftsmäßigkeit erfolgen. Welche Daten tatsächlich zukünftig für eine PTI genutzt werden, müsste in einer Abstimmung mit den beteiligten Gremien entschieden werden.

Ein Befragungsteilnehmer führte an, dass durch eine softwaretechnische Weiterentwicklung der OBD-Auslese diese ein zuverlässiger Partner für die Fahrzeugüberprüfung bleibt, und daher eine Endrohrmessung überflüssig macht.

- Zusätzlich wurde angemerkt, dass, wenn ein Fahrzeug im genehmigten Zustand nicht den Genehmigungsgrundlagen entspricht, dies (vorbehaltlich Manipulation) eine Sache zwischen Hersteller und Gesetzgeber und nicht zwischen Prüforganisation und Endkunden sei.

Niederlande, Dänemark:

In den Niederlanden wird eine Datenerweiterung nicht direkt zur Sprache gebracht. NO_x ist jedoch in der Diskussion. Es wurde von der befragten Stelle auch angemerkt, dass grundsätzlich über Euro 7 noch zu wendige Informationen vorlägen.

Von der dänischen Verkehrsbehörde kam die Anmerkung, dass ein Sensor, der alle regulierten Komponenten erfasst „nett wäre“.

Welche Hinweise/Ergänzungen möchten Sie noch zum Themenkomplex „Zukünftige Emissionsgesetzgebung mit neuer Limitierung der Partikel (PN_{10} statt PN_{23}) und weiterer gasförmiger Schadstoffe (z. B. NH_3 , N_2O)“ geben?

Von einem Umfrageteilnehmer wurde nochmals darauf hingewiesen, dass bei einer verbesserten OBD-Überwachung von Systemfunktionen auf eine Endrohrmessung und auf die Einführung der Überwachung von emissionsmindernden Einrichtungen weiterer Emissionskomponenten im Zuge der PTI verzichtet werden kann.

Von drei Umfrageteilnehmern wurde begrüßt, dass im Rahmen einer Anpassung der Typpenehmigungsvorschriften eine weitere Begrenzung von Partikeln bzw. von gasförmigen Schadstoffen für Neufahrzeuge stattfindet.

- In diesem Zusammenhang müsse aber auch die Möglichkeit mitbetrachtet werden, dass diese „neuen“ Emissionen zukünftig im Rahmen einer periodischen Abgasuntersuchung auf einfache Weise mit überprüft werden können. Dazu sollten schon im Rahmen der Typpenehmigung fahrzeugspezifische Grenzwerte für eine Abgasuntersuchung definiert werden.
- Weiterhin müssen Informationen zu Sensoren der Abgasnachbehandlung wie z. B. Temperatursensoren, Drucksensoren, NO_x -Sensoren und Lambda-Sonden, zur letzten Partikelfilterregeneration, zum NH_3 -Beladungsgrad eines SCR-Katalysators oder zur Harnstoffeinspritzung in standardisierter Form über die OBD-Schnittstelle bei der AU auslesbar sein.
- Es wäre zudem sinnvoll, dass Testverfahren für die PTI im Vorfeld und gemeinsam mit der sich ändernden Gesetzgebung angepasst werden.
- Eine Erfassung von PN_{10} wird im Zuge der PTI als messtechnisch schwierig angesehen.
- Bezüglich zukünftig einzusetzender Messtechnik wurde angemerkt, dass neue Messgrößen

auch neue Messgeräte bedeuten. Es wird befürchtet, dass hier teilweise hohe Investitionen auf die Überwachungseinrichtungen zukommen könnten. Des Weiteren muss angemerkt werden, dass auch der Betrieb solcher Messeinrichtungen kostenintensiv sein kann.

- Ein Teilnehmer merkte an, dass sich der Markt verändert. Daher sollten die Maßnahmen für Euro 7 so früh wie möglich eingeführt werden, dafür ggf. etwas weniger aufwändig. Dies hätte einen großen (positiven) Einfluss auf die Umwelt. Gegebenenfalls deutlich größer als eine relativ aufwändige Euro 7 Gesetzgebung, welche aber erst spät eingeführt werden kann.

Niederlande, Dänemark:

Keine Anmerkungen.

Themenbereich 6: Weitere Hinweise/Ergänzungen zum Themenkomplex OBD

Hier wurden folgende Abschlussstatements abgegeben:

- Es sollten vor allem Softwaremanipulationen und damit verbundene Umgehung von Sensordaten besser überwacht und kontrolliert werden. Dadurch können zielgerichtet potenziell umweltschädliche Fahrzeuge besser erkannt werden.
- Hersteller müssen die Kommunikation zur OBD-Schnittstelle verfügbar und allgemein lesbar machen. Die Inanspruchnahme von Ersatzverfahren oder Verweise auf herstellerspezifische Schnittstellen darf keine Option sein.
- OBD muss sinnvoll weiterentwickelt werden. Hin zu OBM. Ein ganz wichtiger Themenpunkt ist der gesicherte und freie Zugang zu den OBD-Daten durch unabhängige, neutrale Institutionen im Rahmen der PTI, von Unterwegs-Kontrollen, der Typprüfung, usw.
- OBD-Funktionalitäten sollten im Rahmen der Typprüfung umfassend geprüft werden.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2016

F 112: Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach,
Frey, Gail, Lotz-Keens € 17,50

F 112b: Final Report Camera-Monitor-Systems as a Replacement for Exterior Mirrors in Cars and Trucks

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 113: Erweiterung der Software TREMOD um zukünftige Fahrzeugkonzepte, Antriebe und Kraftstoffe

Bergk, Heidt, Knörr, Keller € 15,50

F 114: Barrierefreiheit bei Fernlinienbussen

Oehme, Berberich, Maier, Böhm € 17,50

F 115: Statischer und dynamischer Fahrsimulator im Vergleich – Wahrnehmung von Abstand und Geschwindigkeit

Frey
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2017

F 116: Lang-Lkw – Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt

Süßmann, Förg, Wenzelis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 117: 7th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference 2016 at Hannover Medical School

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 118: Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen

Voß, Schwalm € 16,50

F 119: Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw

Förg, Süßmann, Wenzelis, Schmeiler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 120: Emissionen von über 30 Jahre alten Fahrzeugen

Steven, Schulte, Hammer, Lessmann, Pomsel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 121: Laufleistungsabhängige Veränderungen der CO₂-Emissionen von neuen Pkw

Pellmann, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

F 122: Revision der Emissionsmodellierung für leichte Nutzfahrzeuge – Bedarfsanalyse auf Basis einer Vorstudie

Auf der Maur, Strassburg, Knörr, Heidt, Wuethrich
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 123: Motorradschutzhelme – Identifizierung ihres Verbesserungspotenzials unter Berücksichtigung des Motorradunfallgeschehens

Pollak, Schueler, Bourdet, Deck, Willinger € 19,50

F 124: Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste

Heinrich, Pollesch, Schober, Stamatakis, Grzebellus, Radike, Schneider, Stapelfeld, Huber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 125: Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

Bierbach, Adolph, Frey, Kollmus, Bartels, Hoffmann, Halbach € 19,50

2019

F 126: Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung auf Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb

Weißgerber, Grattenthaler, Hoffmann € 15,50

F 127: Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer durch Verbesserung ihrer visuellen Aufmerksamkeit mittels „Sehfeldassistent“

Kupschick, Bürglen, Jürgensohn € 16,50

F 128: Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung

Rösener, Sauerbier, Zlocki, Eckstein, Hennecke, Kemper, Oeser
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 129: Anforderungen an die dynamische Leuchtweitenregulierung zur Vermeidung der Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer

Kosmas, Kobbert, Khanh € 15,50

F 130: Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens – Grundlagenprojekt

Dierkes, Friedrich, Heinrich, Hoffmann, Maurer, Reschka, Schendzielorz, Ungureanu, Vogt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 131: Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme (FAS/FIS) – Personale Voraussetzungen ihres Erwerbs und Nutzung durch ältere Kraftfahrerinnen und -fahrer

Hargutt, Kenntner-Mabiala, Kauschner, Neukum
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020

F 132: Handbuch Barrierefreiheit im Fernbuslinienverkehr

Boenke, Grossmann, Nass, Schäfer € 17,50

F 133: Lkw-Notbremsassistentensysteme

Seiniger, Heini, Bühne, Gail € 15,50

F 134: Stationär-Geräusch von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen

Altinsoy, Lachmann, Rosenkranz, Steinbach € 19,00

F 135: Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen

Voß, Schwalm € 18,00

2021

F 136: **Kamera-Monitor-Systeme als Fahrerinformationsquelle**
Leitner, Oehme, de Silva, Blum, Berberich, Böhm
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 137: **Konzept für die Erzeugung eines ISO-konformen UML-Modells und Generierung eines GML-Applikationsschemas für DATEX II zur Verbesserung der Interoperabilität**
Lauber, Steiger, Kopka, Lapolla, Freudenstein, Kaltwasser
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 138: **Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern**
Schaarschmidt, Yen, Bosch, Zwicket, Schade, Petzold € 16,50

F 139: **Einfluss von Notbremssystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen**
Straßgütl, Sander € 14,50

F 140: **Reibwertprognose als Assistenzsystem**
Leschik, Sieron, Gregull, Müller, Trapp, Brandenburg, Haalman, Terpstra
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 141: **Methoden für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion beim teilautomatisierten Fahren**
Schömig, Wiedemann, Julier, Neukum, Wiggerich, Hoffmann € 18,00

F 142: **Schräglagenangst**
Scherer, Winner, Pleß, Will, Neukum, Stanglmayr, Bäumler, Siebke, Prokop € 14,50

2022

F 143: **Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbags**
Holtz, Heidt, Müller, Johannsen, Jänsch, Hammer, Büchner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 144: **Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indikators aus der Bewertung von Euro NCAP**
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 145: **Regeneration von Partikelfiltern bei Benzin- und Dieselmotorkraftfahrzeugen**
Langwald
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 146: **Analysis of options for the creation of safety-related traffic information based on vehicle-generated data**
Margalith, Sickenberger, Wohak
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 147: **Automatische Notbremssysteme für Motorräder**
Merkel, Pleß, Winner, Hammer, Schneider, Will
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 148: **Analyse glättebedingter Unfälle von Güterkraftfahrzeugen mit mehr als 12 t zulässigem Gesamtgewicht**
Müller, Thüring, Jänsch, Epple, Kretschmer, Gottwald, Oehring, Winkenbach
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 149: Evidenzorientierte Ableitung von sicherheitsrelevanten Grundszenarien für die Fahrdomäne Bundesautobahn

Weber, Eckstein, Tenbrock, König, Bock, Zlocki
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2023

F 150: Fahrerassistenzsysteme für die Geschwindigkeitsreduzierung bei schlechten Bedingungen

Pohle, Günther, Schütze, Trautmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 151: Integration von öffentlichem und privatem Parkraummanagement

Höpping, Jonas, Becker, Krüger, Freudenstein, Krampe, Godschachner, Inninger, Scholz, Hüttner, Grötsch, Stjepanovic
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 152: On-Board-Diagnose (OBD) – Analyse der OBD in Bezug auf zukünftig verfügbare Emissionsdaten für die Periodische Technische Inspektion (PTI)

Hausberger, Matzer, Lipp, Blassnegger, Hametner, Prosenec
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.