

**Fachveröffentlichung der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**bast**

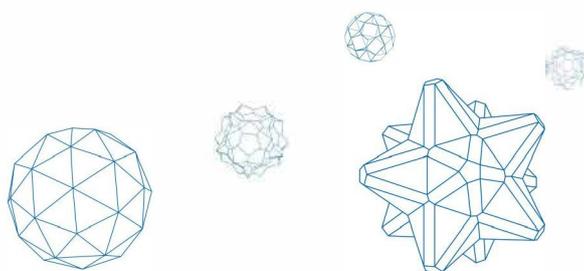
# Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

**VdTÜV**

„Monitoring nach neu  
entwickelter Messprozedur“  
Abschlussbericht

**TÜV Hessen**

Prüfbericht/Test Report  
Nr./No.: TÜH TB 2018 -  
042.00



**Frank Schneider**  
Verband der TÜV e. V., Berlin

**Harald Hahn**  
ASA-Verband, Vaterstetten

**Helge Schmidt, Mario Kuhls**  
TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG,  
Essen

**Fabian Langwald, Manfred Wecking**  
TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH, Köln

**Gerhard Müller, Simon Kleemann**  
TÜV SÜD Auto Service GmbH, München

**Thomas Ost**  
DEKRA SE, Stuttgart

**Karsten Mathies**  
TÜV Technische Überwachung Hessen  
GmbH, Pfungstadt



## Kurzfassung

### Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

#### „Monitoring nach neu entwickelter Messprozedur“ und „Prüfbericht Nr. TÜH TB 2018 – 042.00“

Schäden, Verschleiß oder Manipulationen an Dieselpartikelfiltern (DPF) können mit dem aktuellen Prüfverfahren (Trübungsmessung) im Rahmen der periodischen Abgasuntersuchung (AU) nur bedingt festgestellt werden. Die Überprüfung der Partikelanzahlemissionen (PN) erhöht die Aussagekraft über die Funktion des DPF deutlich. Deshalb wurde im Rahmen einer Änderung der Richtlinie zur Durchführung der Untersuchung der Abgase (AU-Rili) von Kraftfahrzeugen nach Nummer 6.8.2 der Anlage VIIIa StVZO, Verkehrsblatt 19 des Jahres 2017, eine Partikelanzahlmessung für Kompressionszündungsmotoren im Rahmen der AU zum 01.01.2021 angekündigt. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017). Eine Messprozedur wurde im Zuge dieser Ankündigung noch nicht festgelegt. Die Messprozedur, sowie weitere Randbedingungen wie z.B. die Anforderungen an die PN-Messgeräte und deren Rückführbarkeit sind aktuell in der Entwicklung.

Eine Messprozedur zum Erfassen der PN-Emissionen des zu prüfenden Fahrzeuges wurde in einer ersten Studie vom TÜV Hessen erarbeitet. In der folgenden Studie wird die entwickelte und angepasste Messprozedur an 450 PKW und 50 LKW bzw. schweren Nutzfahrzeugen (SNF), auf Durchführbarkeit in Prüfstellen und Werkstätten validiert. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als Vorlage und Entscheidungshilfe für die Änderung der AU-Richtlinie dienen, in der die Messprozedur gesetzlich vorgeschrieben wird.

Die in der ersten Studie erarbeitete Messprozedur sieht eine PN-Messung im Leerlauf vor. Die Messzeit im Leerlauf besteht aus 3 Phasen über je 35 Sekunden, aus welchen jeweils der PN-Mittelwert gebildet wird. Die Messzeit wurde nach einer Umfrage des Auftraggebers bei verschiedenen Institutionen auf je 60 Sekunden geändert. Der vorgeschlagene Grenzwert beträgt für diese Messprozedur  $250.000 \text{ \#}/\text{cm}^3$ . Die Messung der Partikelanzahl mit der vorgegebenen Messprozedur wird mit dem Ziel durchgeführt, die Anwendbarkeit in Werkstätten und Prüfstellen zu beurteilen und zu validieren.

Die Partikelanzahl-Messgeräte wurden vom Auftraggeber vorab benannt. Es werden Geräte verwendet, welche nach dem Kondensationsverfahren (CPC) arbeiten und ein Gerät das nach dem Diffusion Charging (DC) Prinzip arbeitet.

Die Messungen dieser Monitoringstudie bestätigen die Anwendbarkeit der Messprozedur im Leerlauf mit einer vorgelagerten Drehzahlanhebung. Anpassungspotential gibt es bei den vorgegebenen Zeiten der einzelnen Phasen der Messprozedur. So kann die Messzeit verkürzt werden, ohne dass die Aussagekraft der Ergebnisse verringert wird. Zudem ist ein „Fast Pass“ sinnvoll um Fahrzeuge mit geringen PN-Emissionen schneller prüfen zu können.

## Inhalt

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Ausgangssituation</b> .....	<b>3</b>
1.1. Hintergrund.....	3
1.2. Zielsetzung des Projektes .....	3
<b>2. Messprozedur</b> .....	<b>5</b>
2.1. Ablauf.....	5
2.2. PN-Messtechnik .....	7
2.2.1. TSI-NPET (CPC-Verfahren).....	8
2.2.2. Testo-NanoMet3 (DC Verfahren).....	10
2.2.3. AVL DiTEST Partikelzähler (Prototyp, DC-Verfahren).....	13
2.2.4. On-Board-Diagnose (OBD).....	15
2.3. Messdurchführung bei LKW.....	16
<b>3. Statistik</b> .....	<b>19</b>
3.1. Opazimetermessung/PN-Messung .....	22
3.2. Einfluss der Kilometerleistung.....	24
3.3. Einfluss der zeitlichen Alterung (Erstzulassung).....	26
3.4. Erkenntnisse mit unterschiedlichen Motoren.....	29
3.5. Erkenntnisse mit unterschiedlichen Fahrzeugherstellern .....	32
3.6. Emissionscode .....	34
<b>4. Auswertung</b> .....	<b>36</b>
4.1. Charakteristischer Verlauf des PN-Wert über der Zeit.....	36
4.2. Dynamik des PN-Wert über der Zeit .....	43
4.3. Auswertezeiten.....	45
4.4. LKW-Messungen.....	46
4.5. Messgeräte.....	48
4.5.1. TSI-NPET.....	48
4.5.2. Testo-NanoMet3.....	50
4.6. Regeneration des Partikelfilters.....	54
<b>5. Empfehlungen und Fazit</b> .....	<b>55</b>
5.1. Konditionierung .....	55
5.2. Stabilisierungsphase .....	55
5.3. Drehzahlanhebung.....	55
5.4. Beruhigungsphase.....	56
5.5. Messzeit.....	56
5.6. Grenzwert.....	56
5.7. Plausibilitätsmessungen.....	56
5.8. Zusammenfassung der Messprozedur .....	57
5.9. Fazit .....	59
<b>Literatur</b> .....	<b>60</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>61</b>

# 1. Ausgangssituation

## 1.1. Hintergrund

Die Luftqualität in deutschen Städten und Metropolen steht wegen hoher Belastung mit Luftschadstoffen in der öffentlichen Diskussion. Feinstaub ist neben Stickoxiden ein Schadstoff mit hoher Umwelt- und Gesundheitsbelastung. Feinstaub wird u.a. von Kraftfahrzeugen durch Abgase und Abrieb erzeugt. Bei Kraftfahrzeugen (KFZ) können durch Schäden, Verschleiß oder Manipulationen an Dieselpartikelfiltern (DPF) erhöhte Partikelemissionen auftreten. Mit den aktuellen Prüfverfahren (Trübungsmessung) im Rahmen der periodischen Abgasuntersuchung (AU) können diese nur bedingt festgestellt werden. Die Überprüfung der Partikelanzahlmissionen (PN) würde die Aussagekraft über die Funktion des DPF deutlich erhöhen. Deshalb wurde im Rahmen einer Änderung der Richtlinie zur Durchführung der Untersuchung der Abgase (AU-Rili) von Kraftfahrzeugen nach Nummer 6.8.2 der Anlage VIIIa StVZO, Verkehrsblatt 19 des Jahres 2017, eine Partikelanzahlmessung für Kompressionszündungsmotoren im Rahmen der AU zum 01.01.2021 angekündigt (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017). Eine Messprozedur wurde im Zuge dieser Ankündigung noch nicht festgelegt. Die Messprozedur, sowie weitere Randbedingungen, wie z.B. die Anforderungen an die PN-Messgeräte und deren Rückführbarkeit sind aktuell in der Entwicklung.

Eine Messprozedur zur Ermittlung der PN-Emissionen sowie ein Vorschlag für einen Grenzwert des zu prüfenden Fahrzeuges wurden in der ersten Studie zu dem Thema vom TÜV Hessen erarbeitet.

Auf europäischer Ebene gibt es derzeit noch keine Ankündigungen zur verpflichtenden Einführung einer PN-Messung für die Mitgliedsstaaten. Nach der EG Richtlinie 2014/45/EU ist für Fahrzeuge mit Selbstzündungsmotoren ab der Emissionsklasse Euro 6 nur die Messung der Abgastrübung oder das Auslesen des OBD-Systems vorgeschrieben. Dennoch sind neben Deutschland auch andere europäische Staaten, wie z.B. die Niederlande, Belgien, Schweiz, Spanien, UK, und Frankreich in unterschiedlichen Stadien zur Einführung einer Partikelanzahlmessung im Rahmen der PTI (Periodisch Technischen Inspektion).

## 1.2. Zielsetzung des Projektes

Die Validierung einer neuen Messprozedur zur Messung der Partikelanzahl im Rahmen einer Abgasuntersuchung ist das Ziel dieser Studie. Die Einordnung eines möglichen Grenzwertes und die Geräteanwendung der verwendeten PN-Messgeräte werden als Nebenziele betrachtet.

Für dieses Projekt wird die PN-Messung im Rahmen einer AU zusätzlich zu der erforderlichen Opazimetermessung erfolgen, um auch einen Vergleich PN-Messung zu aktueller Opazimetermessung zu erhalten.

Dazu wurden eine Messprozedur, die Anzahl der zu testenden Fahrzeuge inklusive Fahrzeugkategorien sowie die bei der Messung zu verwendenden Messgeräte vom Auftraggeber vorgegeben.

Die Grundlage der vorgegebenen Messprozedur ist die entwickelte Prozedur des TÜV Hessens, welche sich aus vier Phasen zusammensetzt. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der ersten Studie (Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00) werden in diesem Bericht verwendet. An den entsprechenden Stellen wird auf diesen Bericht verwiesen. Die Messprozedur wurde nach einer Umfrage des Auftraggebers bei verschiedenen Institutionen geändert. Anpassungen gab es nur bei den Zeiten der vier Testphasen. Die erarbeitete Messprozedur sieht eine PN-Messung im Leerlauf vor. Die Messzeit im Leerlauf besteht aus 3 Messperioden, aus welchen jeweils der PN-Mittelwert gebildet wird. Für diese Studie wurde die Dauer der Messperioden von ursprünglich 35 Sekunden auf je 60 Sekunden erhöht, um die Dynamik des PN-Verlaufes besser bewerten zu können. Die Messprozedur wird weiter unten detailliert beschrieben. Der vorgeschlagene Grenzwert beträgt für diese Messprozedur  $250.000 \text{ \#cm}^3$ .

Durch eine Messung von 500 Testfahrzeugen, 450 PKW und 50 LKW bzw. schweren Nutzfahrzeugen (SNF), soll die Anwendbarkeit der PN-Messung in Werkstätten und Prüfstellen beurteilt und validiert

werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als Vorlage für die Änderung der AU-Richtlinie dienen, in der die Messprozedur gesetzlich vorgeschrieben wird.

## 2. Messprozedur

Folgend wird die vom TÜV Hessen entwickelte Messprozedur mit den geänderten Phasenzeiten verwendet. (Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00).

### 2.1. Ablauf

Der erarbeitete Ablauf, welcher in den Zeiten modifiziert und präzisiert wurde, sieht Schritte, wie in Tabelle 2-1 beschrieben, vor. Die Messung der Umgebungsluft und die HEPA Filter Messung sind nicht Bestandteil der Messprozedur. Sie dienen der Überprüfung des Messgerätes.

	Messschritt	Zeit
	HEPA-Filter Messung vor Messprozedur	10 s
	Umgebungsluft Messung vor Messprozedur	10 s
1	Stabilisierungsphase (Leerlauf)	60 s
2	Drehzahlanhebung auf $n_{\text{Mot}} = 1000 \text{ min}^{-1}$ bis $1500 \text{ min}^{-1}$ über Leerlauf	$\approx 10 \text{ s}$
3	Beruhigungsphase (Leerlauf)	30 s
4	Messphase (Mittelwert aus je 3x 60 Sekunden im Leerlauf)	$3 * 60 \text{ s} = 180 \text{ s}$
	Umgebungsluft Messung nach Messprozedur	10 s
	HEPA-Filter Messung nach Messprozedur	10 s

Tabelle 2-1

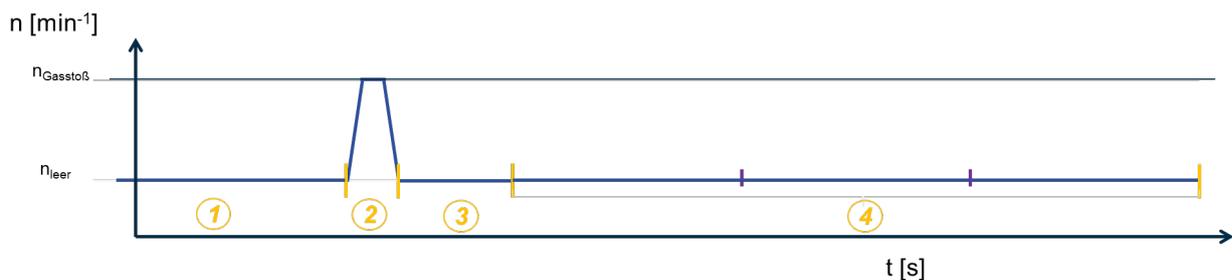


Abbildung 2-1

### Messung mit HEPA-Filter und Umgebungsluft

Bei den Messungen der ersten Studie hat sich herausgestellt, dass die emittierte Partikelanzahl bei Fahrzeugen mit intaktem Dieselpartikelfilter (DPF) unter den Werten der Umgebungsluft liegen kann. Zum Teil liegt der PN-Messwert des Fahrzeuges unter dem Messbereich des Gerätes.

Zur Überprüfung des PN-Messgerätes wird jeweils vor und nach der eigentlichen Messprozedur mit einem HEPA-Filter gefilterte Umgebungsluft gemessen. Bei aufgestecktem HEPA-Filter muss der gemessene PN-Wert nahe null liegen.

Zusätzlich wird die Umgebungsluft gemessen. Der Wert in der Umgebungsluft liegt zwischen  $1000$ - $10.000 \text{ \#}/\text{cm}^3$ . Diese Messungen dienen der Plausibilisierung der Messwerte. Diese Arbeitsschritte müssen bei den Messungen der in diesem Projekt verwendeten PN-Geräte manuell durchgeführt werden. Dazu wird der Anschlusschlauch des HEPA-Filters über die Messsonde geschoben und luftdicht verbunden (siehe Abbildung 2-2). Im späteren Einsatz während der regulären Abgasuntersuchung muss dieser Abgleich automatisch erfolgen.

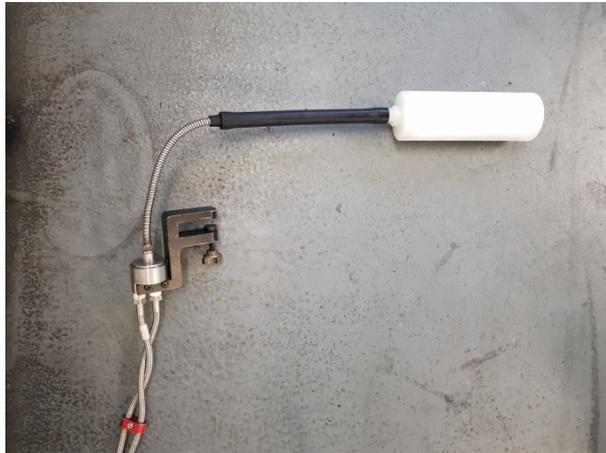


Abbildung 2-2

## Temperaturkonditionierung des Fahrzeuges

Bevor der erste Schritt der Messprozedur beginnt, muss das Fahrzeug eine Kühlmitteltemperatur von mindestens 70°C erreichen. Dies soll sicherstellen, dass der Motor und die Abgasnachbehandlung jeweils ihre Betriebstemperatur erreicht haben. Darüber hinaus soll der Anteil der volatilen Partikel mit dieser Maßnahme möglichst gering gehalten werden (vgl. Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00).

Die Temperatur wird über die OBD-Schnittstelle mittels OBD Scan Tool und Kabel- oder Bluetooth-Verbindung ausgelesen.

### 1. Stabilisierungsphase (Leerlauf)

Die Stabilisierungsphase ist erforderlich, damit sich das Fahrzeug und die Messtechnik in einem eingeschwungenen, definierten Zustand befinden (vgl. Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00).

Voraussetzung zum Start der Stabilisierungsphase ist eine Motorkühlmitteltemperatur von mindestens 70°C. Darüber hinaus muss die Messsonde nach der Umgebungsluftmessung und vor dem Beginn der Stabilisierungsphase ins Endrohr des Abgasstrangs eingeführt werden.

Im Anschluss wird die Messung manuell gestartet. Über den Zeitraum von 60 Sekunden wird der PN-Wert aufgezeichnet. Die Messwerte werden bei der Beurteilung des Abgases nicht berücksichtigt. Sie dienen bei der Auswertung dazu Rückschlüsse auf eine Regelung des AGR-Ventils ziehen zu können.

### 2. Drehzulanhebung auf $n_{Mot} = 1000 \text{ min}^{-1}$ bis $1500 \text{ min}^{-1}$ über Leerlauf

Die Drehzulanhebung ist erforderlich, um Messungen mit einem geschlossenen Abgasrückführventil zu vermeiden (Taximode). Einige Motoren sind so ausgelegt, dass bei längerer Zeit im Leerlauf das AGR-Ventil schließt, um eine Versottung der Bauteile zu vermeiden. Durch die Schließung des AGR-Ventils erhöht sich aufgrund des höheren Sauerstoffanteils im Brennraum die Stickoxidkonzentration und die Partikelemissionen werden abgesenkt.

In der ersten Studie vom TÜV Hessen konnte der Zusammenhang einer solchen AGR-Applikation und den damit abgesenkten PN-Emissionen nachgewiesen werden. (Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00).

Die PN-Bewertung soll möglichst einheitlich bei geöffnetem AGR-Ventil durchgeführt werden. Durch die Drehzulanhebung wird bei einem Großteil der Fahrzeuge das AGR-Ventil geöffnet und somit ein einheitlicher Betriebszustand aller vermessenen Fahrzeuge hergestellt. Der Einfluss der AGR-Rate auf die Partikelemissionen wird weiter unten näher beschrieben.

### 3. Beruhigungsphase im Leerlauf

Nach der definierten Drehzalanhebung müssen sich die Systeme „Fahrzeug“ und „Messtechnik“ zunächst einschwingen.

Durch die Drehzalanhebung ändern sich sowohl die Partikelgrößenverteilung als auch die Partikelanzahl. Die Beruhigungsphase dient dazu, dass sich die Partikelmerkmale für den stationären Leerlauf einstellen und transiente Effekte ausgeschlossen werden (vgl. Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00).

Des Weiteren muss sichergestellt werden, dass das Messgas, welches dem Leerlauf zugeordnet wird, auch diesem Betriebspunkt entspricht. Es existiert ein Zeitversatz von der Entstehung der Partikel im Brennraum bis zur Zählung im Messgerät. Die Partikel strömen aus dem Brennraum durch das Abgasnachbehandlungssystem bis zum Endrohr. Von hier werden Sie in den Messgeräten verdünnt, entsprechend des Messprinzips (CPC/DC) aufbereitet und im Anschluss gezählt. Bei den Messgeräten wird eine  $t_{95}$  Zeit von 15 Sekunden angestrebt. Die gewählten 30 Sekunden Beruhigungszeit berücksichtigen die Partikelgrößen und –anzahländerungen aufgrund der Drehzalanhebung, den Zeitversatz aufgrund der Partikelstrecke vom Brennraum zum Endrohr und die Trägheit des Messsystems. Somit ist sichergestellt, dass nach der Beruhigungsphase die Partikelanzahl im Leerlauf in einem definierten, eingeschwungenen Zustand gemessen wird.

### 4. Messphase (Mittelwert aus je 3x 60 Sekunden im Leerlauf)

Während der Messphase im Leerlauf wird der PN-Wert aufgezeichnet. In der Monitoringstudie dauerte die Messphase insgesamt 180 Sekunden. Das PN-Messergebnis ergibt sich aus dem Mittelwert der mit 1 Hz aufgezeichneten Daten über der gesamten Messzeit. Die Messphase wird zusätzlich in drei Abschnitte (Messperioden) von je 60 Sekunden unterteilt. Für die einzelnen Abschnitte wird der Mittelwert gebildet. Dies soll insbesondere Schwankungen aufdecken, bei denen aufgrund der Schließung des AGR-Ventils das PN-Niveau über den Messzeitraum stark variiert.

Die Messphase wurde bewusst mit 3 \* 60 Sekunden lang gewählt, um eine sichere Grundlage für die Beurteilung der Messphase zu haben. Im Zuge der Auswertung wurden verschiedene unterschiedlich stark verkürzte Messzeiten ausgewertet und mit den Ergebnissen über die 180 Sekunden verglichen. Dieser Vergleich ermöglicht die umfangreiche Beurteilung verschiedener Messzeiten und damit einer u. U. möglichen verbundenen Reduzierung der Messphase für die endgültige Messprozedur.

## 2.2. PN-Messtechnik

Für den Einsatz von PN-Messgeräten im Rahmen der PTI eignen sich aus heutiger Sicht zwei unterschiedliche Messtechnologien. Einige Hersteller von PN-Messgeräte entwickeln derzeit Geräte, welche nach dem DC-Verfahren (Diffusion Charging) die Partikelanzahl ermitteln, während andere Hersteller auf das CPC-Verfahren (Condensation Particle Counting) setzen.

Eine detaillierte Beschreibung der beiden Messverfahren ist im ersten Bericht (Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00) zu finden.

Beide Messtechnologien haben durch das Messprinzip bedingt unterschiedliche Stärken und Schwächen. Um diese im Zusammenspiel mit der Messprozedur aufdecken zu können, wurden die Messungen mit verschiedenen Gerätetypen von unterschiedlichen Herstellern mit beiden unterschiedlichen Messtechnologien durchgeführt (siehe Tabelle 2-2). Die Auswahl PN-Geräte wurde vom Auftraggeber vorgegeben.

Hersteller	Modell	Messtechnologie	Geräte im Einsatz
TSI	Nanopartikel-Emissionstester (NPET) 3795	CPC	3 Stk (Serial No. 3795150506) (Serial No. 3795192201) (Serial No. 3795152804)
Testo	NanoMet3	DC	1 Stk (Serial No. 101878)
AVL*	AVL DTEST Counter	DC	1 Stk - Prototyp Nr. 4

Tabelle 2-2

### 2.2.1. TSI-NPET (CPC-Verfahren)

Der TSI Nanopartikel-Emissionstester (NPET) Modell 3795 ist ein tragbares Instrument, das die Anzahlkonzentration der festen (nicht-flüchtigen) Partikel aus Verbrennungsquellen misst, siehe Abbildung 2-3. Es besitzt eine Probenahmesonde mit integrierter Verdünnung von 1:10. Zur Probenahme führen deshalb zwei Leitungen zur Entnahme. Die Probenahmeleitung ist auch für Nutzfahrzeugmessungen ausreichend lang. Die Verdünnungsluftkonditionierung erfolgt mittels Wasserabscheider, Siliziumdioxid-Trockner und HEPA-Filtern. Ein eingebauter katalytischer Stripper, der bei einer Temperatur von 350 °C arbeitet, dient zur Entfernung von volatilen Partikeln. Die Stromversorgung erfolgt aus dem Netz mit 220 V. Vor allem wegen der Heizung liegt die elektrische Leistung bei 100 bis 200W. Vor dem Gerät sitzt ein 1µm Zyklon als Vorkonditionierer mit integrierter Wasserfalle. Die Partikelanzahlkonzentration wird mit einem mit Isopropanol betriebenen CPC gemessen. Der PN-Messbereich des Gerätes liegt zwischen 1.000 #/cm<sup>3</sup> und 5.000.000 #/cm<sup>3</sup>. Das Messgerät kann bei Umgebungsbedingungen von -10°C bis 40°C und bei Höhen von 0 - 3000 m betrieben werden. (Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00)

Die Aufwärmzeit für den katalytischen Stripper beträgt nach dem Einschalten des Gerätes ca. 5 bis 10 Minuten. Im Einsatz an der Prüfstelle zeigte sich, dass das Gerät bei Temperaturen um ca. 5°C Außentemperatur Probleme mit dem Aufheizen einzelner Komponenten aufweist.

Vor den Messungen muss der Wechseldocht mit Isopropanol (einwertiger Alkohol) getränkt werden, siehe Abbildung 2-4. Nach Einbau des Dochts ist das Gerät für etwa 4 Stunden betriebsbereit. Dies ist gleichzeitig ein wesentlicher Nachteil des Gerätes. Das Handling mit Flüssigkeiten aus offenen Behältern, wie Isopropanol alle 4 Stunden wird von den AU-Experten der Prüforganisationen abgelehnt. Für mobilen Einsatz müsste ebenso flüssiges Isopropanol in Behältern transportiert werden. Der Kontakt verursacht Reizungen der Augen und der Schleimhäute. Für das Tränken des Dochts müssten Sicherheitsbrillen, Handschuhe als Ausrüstung bereitgestellt werden, sowie Betriebsanweisungen etc. für die Verwendung von Chemikalien auch an Kundenprüferten erstellt werden. Die Verwendung von Flüssigkeiten aus offenen Behältern mit Umschütten ist für eine AU ungeeignet. Deshalb sollte die Verbrauchsflüssigkeit in Wechselkartuschen enthalten sein, wie beim Handling von Tintenpatronen bei Druckern. Das Wechselintervall sollte für stationäre Geräte nicht unter einer Woche liegen. Der Hersteller verweist darauf, dass für das endgültige Gerät eine Lösung implementiert werden soll, die diesen Arbeitsschritt einfacher gestalten soll.

Das Gerät darf maximal um 15° geneigt werden. Mobile Geräte sollten später in beliebiger Lage transportiert werden können.

Das TSI-NPET 3795 hat eine METAS-Zulassung für den Einsatz amtlicher PN-Messungen an Baumaschinen in der Schweiz. Aufgrund der Zulassung dieses Gerätes für eine amtliche Prüfung wurde dieses Gerät für das Monitoring ausgewählt. Es sind aktuell keine anderen Geräte mit einer amtlichen Zulassung am Markt verfügbar.

Das Messgerät mit der Serien-Nr. 3795150506 wurde bereits in der ersten Studie verwendet und dort mit einem PMP-konformen Gerät verglichen. Die beiden anderen Geräte sind entsprechend baugleich.

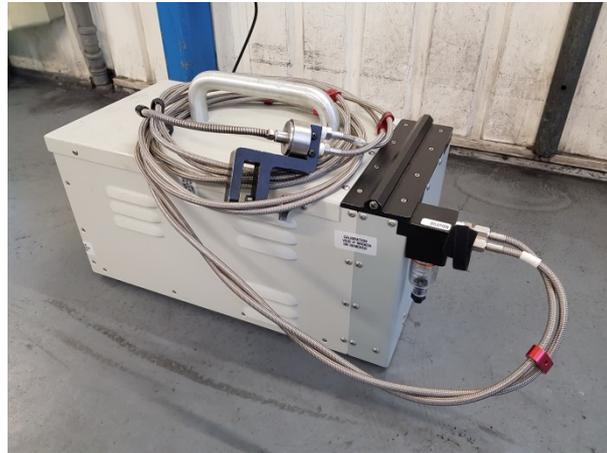


Abbildung 2-3



Abbildung 2-4

Die Messgeräte werden jeweils mit einem mitgelieferten Tablet gesteuert. Die Software wurde von dem Gerätehersteller für diese Studie überarbeitet, um einen für alle Messungen einheitlichen, bedienergeführten Messablauf zu ermöglichen. Vor dem Beginn der Messprozedur wird der Benutzer aufgefordert Identifikationsdaten des zu prüfenden Fahrzeuges einzugeben.

Die eingegebenen Daten dienen der Auswertung und Zuordnung der aufgezeichneten Messwerte. Bis auf den Kilometerstand werden diese Daten aus der Zulassungsbescheinigung Teil 1 entnommen.

- Emissionsschlüsselnummer (Feld 14.1)
- HSN (Feld 2.1)
- TSN (Feld 2.2)
- Fahrzeughersteller (Feld D.1)
- Typ (Feld D2)
- Kilometerstand
- Erstzulassungsdatum (Feld B)

NPET		07.08.2019 10:55:52		NPET		07.08.2019 10:56:48	
Measure	Emission Key Number (Field 14.1)	14.1	Measure	Odometer	9999		
Test Cycle	Vehicle Manufacturer (Field 2)	2	Test Cycle	Date of First Registration (Field B)	03/12/2015		
	Key Number for Field 2 (Field 2.1)	2.1		Ambient Temperature (°C)	21.0		
Diagnostics	Type and Version/Type (Field D.2)	D.2	Diagnostics	Ambient Pressure (hPa)	99		
	Key Number for Field 3 (Field 2.2)	2.2		Relative Humidity (%)	21		
Settings			Settings				
Data			Data				
		CONTINUE	ABORT			CONTINUE	ABORT

Abbildung 2-5

Bei jeder Messung wurde eine csv-Datei mit einer Schrittweite von 1 Hz aufgezeichnet, welcher die PN-Werte, Drehzahl, Kühlmitteltemperatur sowie weitere Parameter des Messgerätes zu entnehmen sind. Eine zweite csv-Datei beinhaltet die eingegebenen Daten aus der Zulassungsbescheinigung, sowie den Kilometerstand und die PN-Mittelwerte über die Messzeit.

### 2.2.2. Testo-NanoMet3 (DC Verfahren)

Das Messgerät des Herstellers Testo basiert auf dem sog. Diffusion Charging Verfahren und unterscheidet sich von den Messgeräten aus der ersten Studie.



Abbildung 2-6

Das Testo NanoMet3 wird in einem großen Kunststoffkoffer transportiert, in dem sich auch das benötigte Zubehör, ein beheizter Schlauch, ein Netzteil und HEPA-Filter befinden. Der für die Prozedur benötigte Computer bzw. auch der eventuelle Anschluss eines externen Bildschirms an das Messgerät müssen separat mitgeführt werden.

Aufgrund des Gewichts und der Dimensionen ist das Gerät nur bedingt für einen mobilen Einsatz geeignet (s. Abbildung 2-6). Nachdem ein geeigneter Platz für das NanoMet gefunden wurde, muss der beheizte Schlauch vorne am Gerät an einen Schnellkupplungsanschluss angeschlossen werden. Des Weiteren müssen die zwei Versorgungsleitungen für die Stromversorgung der Schlauchheizung an der Vorderseite mit dem Messgerät verbunden werden. Für die Probenentnahme kommt bei diesem Gerät ein Heizschlauch zum Einsatz, welcher auf 115°C erhitzt wird, um Kondensationsbildung an der Schlauchwand zu vermeiden. Der maximale Biegeradius von 30 cm darf laut Hersteller nicht unterschritten werden. Die Verdünnung des entnommenen Abgases geschieht hier erst innerhalb des Geräts. Die Verdünnung lag bei den Messungen bei 1:12. Auch die Verdünnungsluft wird nochmal zusätzlich auf 115°C erhitzt. Im weiteren Verlauf wird das verdünnte Probengas durch eine sog. „Evaporation Tube“ geleitet, welche die noch gasförmigen Partikel (wie unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Wasserdampf, usw.) ver-

dampfen soll. Dies ist erforderlich, um die tatsächliche Anzahl der Feststoffpartikel bestimmen zu können. Mit einer Temperatur von 200°C passiert das Gas als letzte Station den „Diffusion Size Classifier“ (DiSC). Über die elektrische Aufladung und dem nachfolgenden Messen der Ladung der Partikel wird die Partikelanzahl und die durchschnittliche Partikelgröße bestimmt.



Abbildung 2-7

Für die Hauptstromversorgung des Messgeräts wird ein einfaches Kaltgerätekabel direkt am Gerät angeschlossen. Als letzter Schritt wird der Computer per Ethernet-Kabel mit dem Messgerät verbunden. Zu erwähnen ist, dass optional ein externer Bildschirm am Messgerät über VGA angeschlossen werden kann. Dies wurde auch immer durchgeführt, da sich auf dem Gerät selbst eine Software mit graphischer Benutzeroberfläche befindet (s. Abbildung 2-7). Diese erlaubt es, gewisse Geräteparameter, wie z. B. Temperaturen interner Komponenten und Partikelkonzentrationen in Echtzeit graphisch zu verfolgen. Dies war für die Messungen insofern wichtig, um Unstimmigkeiten während der Messung sofort zu erkennen und gegebenenfalls erforderliche Maßnahmen einzuleiten.

testo KFZ-Analyseassistent

### Dateneingabe für neue Messung

**Fahrzeugdaten**

Emissionsschlüsselnummer (Feld 14.1): 36W0

Fahrzeughersteller (Feld 2): VW

Herstellernummer (Feld 2.1): 0603

Variant/Ausführung (Feld D.2): AU

Variantennummer (Feld 2.2): BKN0001

Mileage/Wegstreckenzähler [km]: 65000

Erstzulassung (Feld B): 06.06.2016

**Umgebungsdaten**

Umgebungstemperatur [°C]: 20,0

Umgebungsdruck [hPa]: 1020

Luftfeuchte [%]: 50

Cancel Ok

Abbildung 2-8

Zum Starten des Geräts muss hierfür vorne die „Power“-Taste gedrückt werden, womit die Aufwärmphase beginnt. Nachdem das Gerät seine Betriebstemperatur erreicht hat, kann mit dem Messen begonnen werden. Als Eingabegerät für die Fahrzeugdaten und die Aufzeichnung der gemessenen PN-Werte bzw. OBD-Daten dient ein handelsüblicher Windows Computer. Die Software wurde eigens vom Hersteller für dieses Projekt entwickelt und führt mithilfe eines bedienergeführten Messablaufs durch die Prozedur (s. Abbildung 2-8). Die Ausgabe der Messwerte erfolgt bei erfolgreich durchgeführter Messung über zwei csv-Dateien. Die erste enthält die eingegebenen Fahrzeugdaten sowie PN-Mittelwerte zu den einzelnen Messschritten. Die zweite Datei ist die reine Messwertdatei, welche neben den PN-Werten auch die OBD-Daten enthält. Die Messfrequenz liegt bei 1 Hz. Im nächsten Schritt muss eine Verbindung mit dem Bluetooth OBD-Modul und dem Messgerät selbst aufgebaut werden. Die Verbindung zum Gerät, als auch ein folgender Nullabgleich werden automatisch durchgeführt. Allerdings muss das Bluetooth OBD-Modul manuell über ein spezielles Fenster im Programm gesucht und ausgewählt werden. Nachdem die Software einen erfolgreichen Verbindungsaufbau signalisiert, kann mit der Messung begonnen werden.

Der Hersteller empfiehlt das Messgerät bei Umgebungstemperaturen von +5°C bis +35°C und bei einer maximalen Luftfeuchte von 80% zu betreiben. Der gesamte PN-Messbereich liegt zwischen 1.000 #/cm<sup>3</sup> und 300.000.000 #/cm<sup>3</sup> (je nach Verdünnungsgrad). Bei der verwendeten Verdünnung von 1:12 lag dieser bei 12.000 – 12.000.000 #/cm<sup>3</sup>.

Das Testo NanoMet3 wird bereits seit 2018 bei der periodischen Fahrzeugüberwachung in Mexiko eingesetzt. Aufgrund der dortigen erfolgreichen Applikation entschied man sich für die Verwendung dieses Geräts bei den Messungen der Studie.

Da das Messgerät relativ schwer und groß ist, muss für das Aufstellen und die Installation ein geeigneter Platz gefunden werden. Leider kann aus diesen genannten Gründen das Gerät im Nachgang nicht mehr ohne erhöhten Aufwand bewegt werden (s. Abbildung 2-9 links). Unter Umständen könnte das Gerät auf einem Rollwagen platziert werden, jedoch bringt dies nur bedingt Verbesserung. Zusätzlich muss unbedingt auch der mobile Einsatz der Prüferingenieure berücksichtigt werden, welche diese Gerätschaften i. d. R. im Auto transportieren und beim Kunden vor Ort individuell aufstellen müssen. Für den mobilen Einsatz stellt sich dieses Messgerät als äußerst unpraktikabel heraus. Das Gerät wurde für die Messungen der Studie ausschließlich auf der linken Seite einer Prüfgasse positioniert, da auf dieser Seite die meisten Auspuffrohre münden. Hat sich dieser Auslass aber auf der rechten Seite eines Fahrzeugs befunden, mussten erhebliche Aufwände unternommen werden, um ein solches Fahrzeug messen zu können (z. B. Fahrzeug in Prüfgasse über Ausgang einfahren). Dies war sehr oft an unterschiedlichen Prüfstellen nicht realisierbar. Des Weiteren konnten manche Fahrzeuge aufgrund der geometrischen Form der

Entnahmesonde nur erschwert oder gar nicht vermessen werden (s. Abbildung 2-9 rechts). Hier sollte unbedingt nachgearbeitet werden. Darüber hinaus muss auch über größere Nutzfahrzeuge nachgedacht werden. Ein LKW mit einem Endrohr über dem Dach, kann mit diesem Gerät nicht vermessen werden.



Abbildung 2-9

Im Hinblick auf die Aufwärmphase stellte sich heraus, dass je nach Umgebungs-/Gerätetemperatur diese viel zu lang dauert. Die Aufwärmphase betrug z.B. annähernd 45 Minuten, nachdem sich das Messgerät über Nacht im Freien (Umgebungstemperatur ca. 3°C) parkenden Auto befunden hatte. Dies ist für einen praktischen Einsatz ungenügend.

Die Messsoftware stellte sich an manchen Stellen als sehr fehleranfällig heraus. Allerdings konnten aufgrund kurzer Kommunikationswege mit Testo Auffälligkeiten/Fehlfunktionen bereits innerhalb kürzester Zeit ausgebessert werden. Ungeachtet dessen, gab es immer wieder Situationen, welche für zusätzlichen Aufwand sorgten. Der Verbindungsaufbau mit dem Bluetooth-OBDM-Modul funktionierte nur teilweise und es musste des Öfteren der Computer neugestartet werden, um sich wieder verbinden zu können. Weiterhin war eine erfolgreiche OBD-Verbindung nicht mit allen Fahrzeugen möglich (z.B.: keine akkurate Drehzahlerfassung). So konnte ein Fahrzeug nicht gemessen werden, da weder ein manuelles Überspringen des Messschrittes noch eine manuelle Eingabe der Daten möglich sind. Außerdem waren die OBD-Messdaten leider bei vielen Fahrzeugmodellen sehr rudimentär und enthielten nicht mehr als Motordrehzahl & -temperatur.

### 2.2.3. AVL DiTEST Partikelzähler (Prototyp, DC-Verfahren)

Bei den LKW-Messungen kam aufgrund der Thematik WWH-OBDM ein Prototyp eines Partikelzählers von AVL DiTEST zum Einsatz. Dieses Gerät arbeitet nach dem DC-Verfahren mit einem gepulsten Ionenabscheider. Der Vorteil dieses Advanced DC Verfahrens liegt in einer verbesserten Zähleffizienz-Kurve, sowie in der Unempfindlichkeit gegenüber Driftverhalten, da als Auswertesignal kein Gleichstrom, sondern Wechselstrom ausgewertet wird. Das Gerät ist tragbar, die Probenahme erfolgt über eine Sonde mit Verdünnungseinheit, die unmittelbar nach dem Sondengriff angeordnet ist (Verdünnung 1:4). Der Probenahmeschlauch besteht deshalb aus zwei getrennten Schläuchen (gefilterte Frischluft, Abgas verdünnt, Stromversorgung für Verdünnungseinheit).

Die Messprozedur dieser Studie wurde aus einem bestehenden AU-Ablauf appliziert. Dadurch war die volle Funktionalität des bei der AU eingesetzten OBD-Tools (VCI 1000) mit allen Protokollen möglich.

Die Aufzeichnung erfolgt mit einer Messsequenz von 1 sec und wird in einem Log File abgespeichert. Neben der Partikelanzahlkonzentration werden auch alle Daten aus der OBD-Kommunikation aufgezeichnet (soweit verfügbar).

Im Folgenden sind die Technischen Daten, sowie das Messprinzip des AVL DiTEST Partikelzähler aufgeführt:

#### Technische Daten:

- Messprinzip: Gepulster Diffusion Charger
- Messgröße: Partikelanzahlkonzentration ( $\#/cm^3$ )
- Messbereich:  $3 \times 10^3 - 5 \times 10^7 - 15 \text{ nm} - 300 \text{ nm}$
- Messzeit: 1 Sekunde
- Anstiegszeit ( $t_{95}$ ):  $< 15 \text{ sec}$
- Gewicht: ca. 7 kg
- Sondenprobe: Verdünnungsrate 1:4
- Volatile Partikel: Über Evaporation Tube
- Leistungsaufnahme: ca. 60 Watt

#### Korona Aufladung:

- Ionisierung des Trägergases durch Hochspannung, (0–5 kV) an einem dünnen Koronadraht
- Mixen der Partikel und Ionen  $\rightarrow$  Diffusion Charging (DC)

#### Gepulster Abscheider

- Gepulste Abscheidung von Partikeln durch ein elektr. Feld (0 – 2 kV)

#### Faradayscher Käfig

- Messung des Wechselstromes als Ursache der gepulsten Ladungsmodulation über einen Faradayschen Käfig (Elektrometerverstärker)
- Der Strom im Elektrometerverstärker ist ein Maß für die Partikelanzahlkonzentration.

#### Darstellung des Messprinzips:

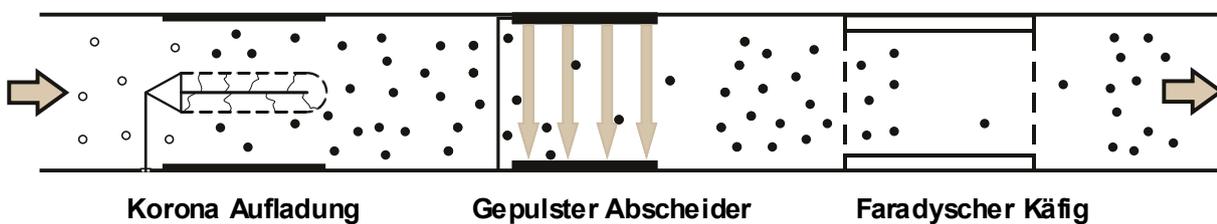


Abbildung 2-10



Abbildung 2-11

#### 2.2.4. On-Board-Diagnose (OBD)

Ein OBD-Dongle (Interface-Stecker) wurde mit der OBD-Schnittstelle des Fahrzeuges verbunden. Die Übertragung der ausgelesenen OBD-Daten an die Software wurde über den Bluetooth-Standard oder eine USB-Verbindung realisiert. Motordrehzahl und Motorkühlmitteltemperatur wurden bei beiden verwendeten Messgerätetypen über die OBD-Schnittstelle aufgezeichnet. Weitere Messwerte konnten während der Messung mit den Messgeräten nicht interpretierbar ausgelesen werden.



Abbildung 2-12

### 2.3. Messdurchführung bei LKW

LKW der Schadstoffnorm Euro VI haben als OBD System World-Wide-Harmonised-OBD, auch WWH-OBD genannt. Dieser Standard konnte von den OBD-Tools der beiden ausgewählten Firmen TSI und TESTO nicht umgesetzt bzw. abgedeckt werden. Als Ersatzlösung wurde zusammen mit den Projektteilnehmern und in Abstimmung mit der BAST der Vorschlag ausgewählt, einen Partikelzähler von AVL DiTEST einzusetzen, bei dem der BAST-konforme Ablauf der Messprozedur bereits implementiert war. Das OBD-Modul dieses Gerätes ist WWH-OBD tauglich. Parallel zum AVL Gerät wurde die Partikelanzahl mit dem NPET von TSI aufgezeichnet (beide Sonden im Auspuff). Beide Aufzeichnungen (TSI und AVL) wurden nach der Konversion in eine Datei überführt, so dass die Partikelanzahl aus dem TSI NPET verwendet werden konnte. Bei 10 LKW-Messungen mussten aufgrund von Problemen mit dem TSI Gerät die PN-Werte des AVL Gerätes verwendet werden. (Siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 4.4)



Abbildung 2-13

Um neben den üblichen Daten wie Temperatur und Drehzahl weitere Informationen aus dem Fahrzeug aufnehmen zu können, wurden im AVL OBD-Tool zusätzlich Abfragen an normierte Adressen (PID - Parameter Identification) implementiert. Eine Auflistung dieser PID's ist im Anhang zu finden. Diese relativ neuen PID's geben nicht zwangsweise bei allen Fahrzeugen Daten aus. Dort wo diese verfügbar waren, wurden sie mit ausgelesen und in der log-Datei abgespeichert.

Insbesondere bei LKW eines Herstellers wurde beim anschließen des OBD-Tools eine Meldung im Fahrzeugdisplay angezeigt, dass ein OBD-Tester angeschlossen ist (siehe Abbildung 2-14).



Abbildung 2-14



Abbildung 2-15

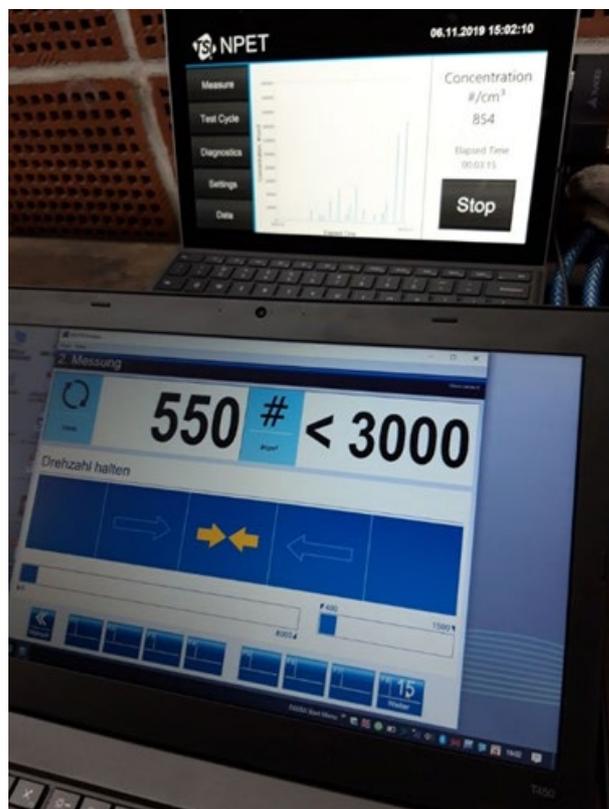


Abbildung 2-16

### 3. Statistik

Zur Bewertung der Messergebnisse muss zunächst ein Wert definiert werden, bei dessen Überschreitung auf ein nicht ordnungsgemäß funktionierendes Partikelminderungssystem geschlossen werden kann. Im Folgenden werden zwei Untersuchungen vorgestellt, die zu dem vorläufigen Grenzwert von 250.000  $\#/cm^3$  führen.

TNO forscht seit 2012 an einem Testverfahren zur Erkennung von DPF Fehlfunktionen. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass eine gute Korrelation zwischen den PN Emissionen im Leerlauf und im NEDC Fahrzyklus besteht (vgl. Abbildung 3-1 (Kadijk, Elstgeest, Ligterink, & van der Mark, 2017)- Kadijk, Elstgeest, Ligterink, & van der Mark, 2017). Dabei wurden drei Fahrzeuge im NEDC Zyklus vermessen. Eines der Fahrzeuge wurde mit einer einstellbaren Bypassleitung um den DPF ausgestattet, sodass hier ein fehlerhafter Partikelfilter simuliert werden konnte. Die Partikelanzahlwerte aus den NEDC Messungen wurden den Messungen bei Leerlaufdrehzahl gegenübergestellt. Dabei ist ein linearer Zusammenhang dieser Messungen zu erkennen.

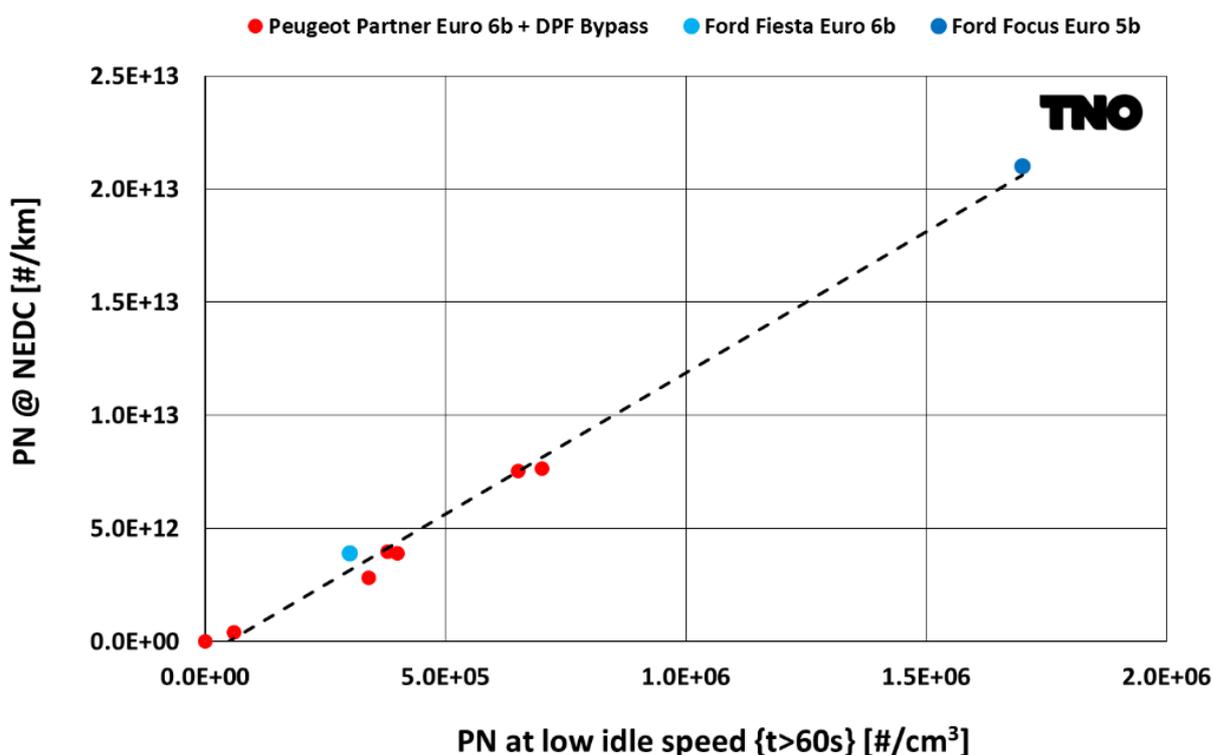


Abbildung 3-1 (Kadijk, Elstgeest, Ligterink, & van der Mark, 2017)

Für eine Abschätzung der Größenordnung zu einem möglichen Grenzwert bei der AU wurde von Fahrzeugen, welche im NEDC Zyklus nahe am jeweiligen PN Grenzwert lagen, der Messwert bei den Leerlaufmessungen herangezogen. Beim hier zitierten TNO Versuchsaufbau kamen 4 unterschiedliche Messgerätetypen von TESTO und TSI zum Einsatz. Aus den Messungen von drei Fahrzeugen in der Studie, lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten:

50.000  $\#/cm^3$   $\sim 6 \cdot 10^{11}$   $\#/km$  (Grenzwert Partikelanzahl Euro 6 Dieselfahrzeuge)

250.000  $\#/cm^3$   $\sim 2$  mg PM/km (Grenzwert Partikelmasse 4,5 mg/km für Euro 5 und Euro 6 Dieselfahrzeuge)

Die Untersuchungen der ersten Studie des Projektes haben ebenso ergeben, dass Fahrzeuge mit Partikelanzahlkonzentrationen, die in allen Zuständen weniger als  $50.000 \text{ #/cm}^3$  betragen, den PN Grenzwert von  $6 \cdot 10^{11} \text{ #/km}$  im WLTP unterschreiten (vgl. Abbildung 3-2).

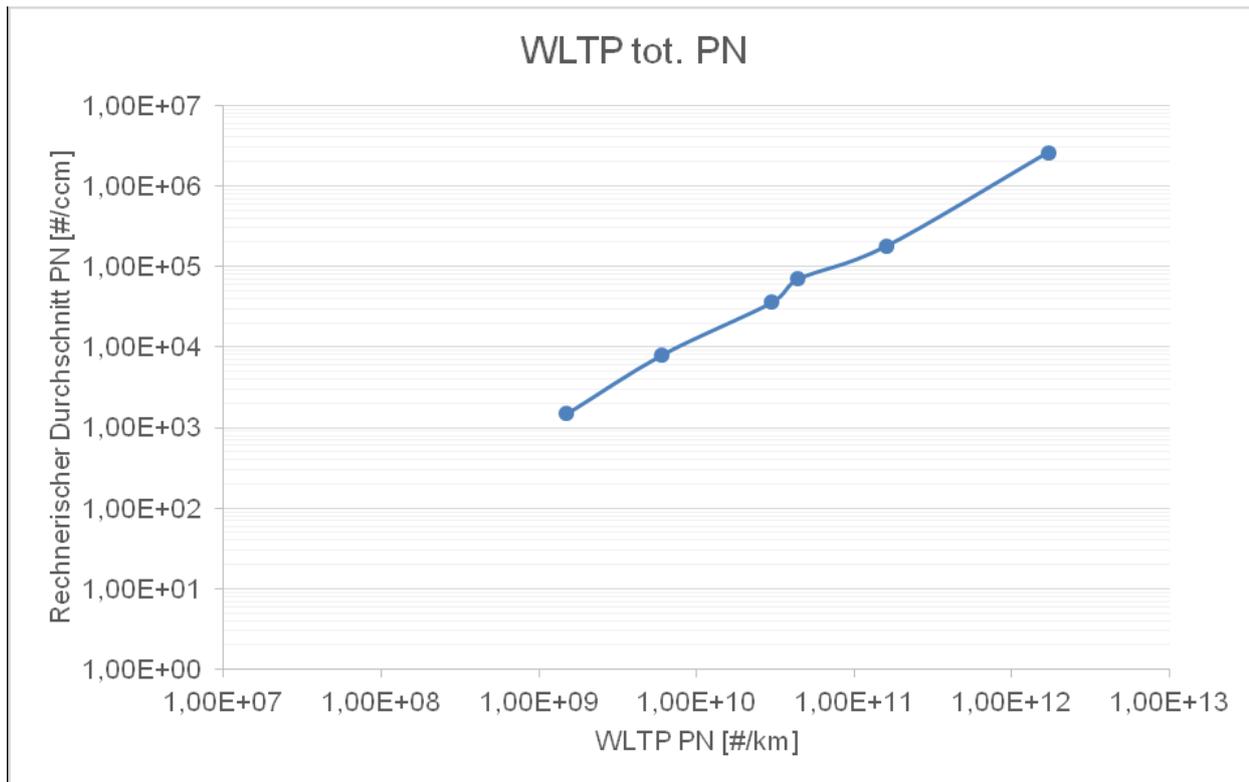


Abbildung 3-2 (Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00)

Die PN-Rohemissionen bei Dieselmotoren liegen in einem Bereich von bis zu  $10.000.000 \text{ #/cm}^3$ . Im ersten Teil des Projektes zeigte sich, dass die DPF-Abscheiderate im originalen Zustand  $99,997 \%$  beträgt und mit einer Beschädigung von lediglich  $0,39 \%$  der Kanäle auf  $98,6\%$  sinkt. Bei einer Beschädigung von  $0,62 \%$  der DPF-Kanäle sinkt die Effektivität des Filters auf  $97,9 \%$ , was einer Partikelanzahl von ca.  $230.000 \text{ #/cm}^3$  entspricht. Eine Beschädigung von weniger als  $1 \%$  der Partikelfilterkanäle führt dazu, dass die PN-Emissionen von einem Filterwirkungsgrad nahe  $100 \%$  auf einen Wert ansteigt, welcher die Grenzwerte der Typprüfung überschreitet. Diese Beobachtung zeigt, dass ein erhöhter PN-Wert mit großer Wahrscheinlichkeit auf einen Defekt am Partikelfilter zurückzuführen ist.

Der Wert von  $100.000 \text{ #/cm}^3$  wurde für diese Monitoringstudie als Grenze festgelegt, ab der die Partikelanzahlemissionen des KFZ als auffällig einzustufen sind. Damit werden Messunsicherheiten sowie die Alterung der Systeme berücksichtigt um sicherzustellen, dass nur tatsächlich defekte DPF als auffällig identifiziert werden. Bei Fahrzeugen, die in dieser Studie als auffällig gelten bzw. bei denen die PN-Messung als n.i.O. eingestuft wird, liegen die PN-Emissionen im Mittel der 180 Sekunden Messzeit über  $100.000 \text{ #/cm}^3$ . Der aus der ersten Studie vorgeschlagene Grenzwert von  $250.000 \text{ #/cm}^3$  wird ebenfalls als Kriterium zur Beurteilung der untersuchten Fahrzeuge herangezogen.

Es ist bei der Interpretation aller folgenden Zusammenhänge zu beachten, dass statistisch nur eine geringe Stückzahl an Messungen im Umfang dieser Studie durchgeführt und ausgewertet wurde.

Es wurden insgesamt 451 PKW und 52 LKW/SNF vermessen. Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Fahrzeugbeschaffung und unerwarteten Problemen mit den Messgeräten konnten 421 von den 451 PKW

in die Statistik und Auswertung aufgenommen werden. Die 52 LKW/SNF-Messungen konnten vollständig verwendet werden.

Von den 421 vermessenen PKW lagen 14 PKW (3,3 %) über dem Auffälligkeitswert von 100.000  $\#/cm^3$  und davon 10 PKW (2,4 %) über dem vorgeschlagenen Grenzwert von 250.000  $\#/cm^3$ . Die weiteren Ergebnisse der PN-Klassierungen sind Tabelle 3-1 sowie Abbildung 3-3 zu entnehmen.

PN-Mittelwert über 180 s	Anzahl PKW-Messungen	Anzahl Prozent
> 250.000 $PN/cm^3$	10	2,4 %
100.000 bis 250.000 $PN/cm^3$	4	1,0 %
50.000. bis 100.000 $PN/cm^3$	7	1,6 %
< 50.000 $PN/cm^3$	400	95,0 %
< 20.000 $PN/cm^3$	395	93,8 %
< 10.000 $PN/cm^3$	376	89,3 %

Tabelle 3-1

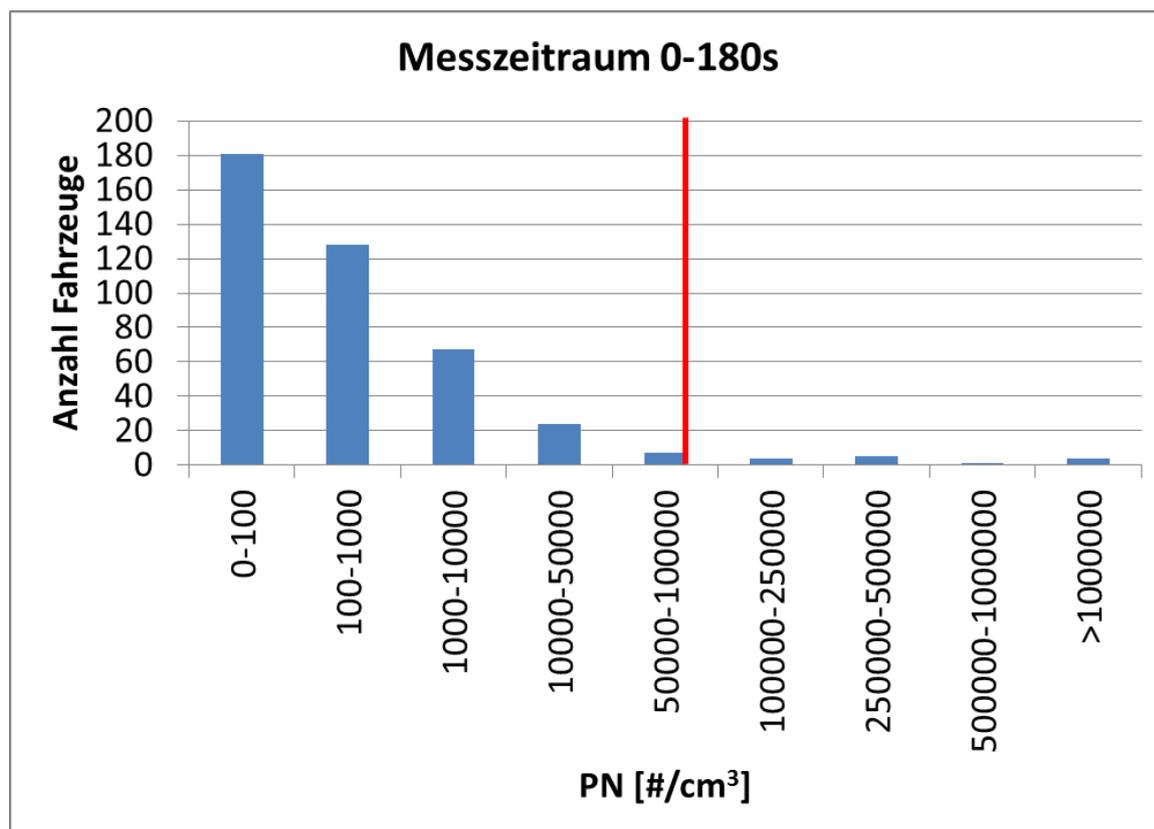


Abbildung 3-3

Es ist zu erkennen, dass 95 % der vermessenen PKW, einen Wert von unter 50.000  $\#/cm^3$  aufwiesen. 89,3 % der PKW sind mit einem Wert von unter 10.000  $\#/cm^3$  und somit am unteren Ende des Messbereiches der Partikelzähler gemessen worden. Es wird dadurch die Erkenntnis aus der ersten Studie bestätigt, dass die PN-Emissionen von Fahrzeugen bei denen möglicherweise ein Problem des Partikelminderungssystems vorhanden ist, um einige Größenordnungen höher sind, als bei intaktem System. Die entwickelte Messprozedur ist in der Lage einen deutlichen Unterschied zwischen Fahrzeugen bei der Messung der Partikelanzahl zu quantifizieren. Dieses ermöglicht eine Erkennung von n.i.O. und i.O Fahrzeugen.

Von den 52 vermessenen LKW lag kein LKW über dem Auffälligkeitswert von 100.000 #/cm<sup>3</sup>. 92,3 % der LKW-Messungen liegen in einem PN-Bereich von unter 10.000 #/cm<sup>3</sup> (siehe Tabelle 3-2).

PN-Mittelwert über 180 s	Anzahl LKW-Messungen	Anzahl Prozent
< 20.000 PN/cm <sup>3</sup>	52	100 %
< 10.000 PN/cm <sup>3</sup>	48	92,3 %

Tabelle 3-2

Aufgrund der nicht auffälligen Ergebnisse der LKW bezieht sich die weitere Auswertung primär auf die PKW.

### 3.1. Opazimetermessung/PN-Messung

Aktuell wird bei Dieselfahrzeugen im Rahmen der Abgasuntersuchung (AU) die Abgastrübung (Schwarzrauchbildung) gemessen. Dies kann als Maß für den Partikelgehalt des Abgases herangezogen werden. Die Messung erfolgt mit einem Rauchgas-Trübungsmesser (Opazimeter). Über eine Abgasentnahmesonde wird ein Teilstrom der Abgase in die Messkammer geleitet. Die Messkammer befindet sich zwischen Lichtquelle und Lichtsensor. In Abhängigkeit der Trübung (Lichtdurchlässigkeit) der Abgasmenge empfängt der Lichtsensor einen Lichtwert der Lichtquelle. Als Messgröße der Trübungsmessung hat der Gesetzgeber den Trübungskoeffizienten (k-Wert) festgelegt. Der k-Wert beschreibt die Lichtabsorption des Rauchgases pro Meter Messkammerlänge. Hierbei entspricht ein k-Wert von 0,0 m<sup>-1</sup> einer Trübung von 0 % (= saubere Umgebungsluft), ein k-Wert von 10 m<sup>-1</sup> hingegen einer Trübung von 100 %.

Bei kleinsten Partikeln (< 80 nm) ist die Lichtabsorption so gering, dass diese mit den bei der AU eingesetzten Opazimetern messtechnisch kaum erfasst werden können. Die Sensibilität der eingesetzten Opazimeter ist für diese Größenordnung von Partikeln zu gering. Allerdings sind Partikel in der Größenordnung < 80 nm in hoher Anzahl im Abgas enthalten (Baldauf, et al., 2016). Deshalb ist es aus messtechnischer Sicht nicht möglich einen direkten Zusammenhang zwischen der Opazimetermessung und der PN-Messung zu bilden.

Alle vermessenen LKW bestanden die Trübungsmessung ohne Auffälligkeiten.

Von den bei der PN-Messung auffälligen PKW bestanden sieben Fahrzeuge die Trübungsmessung, während drei Fahrzeuge den vorgeschriebenen Grenzwert für Euro 6 Fahrzeuge von 0,25 m<sup>-1</sup> überschritten. (vgl. Tabelle 3-3).

PN-Messung < 100.000 #/cm <sup>3</sup>	Trübungsmessung < 0,25 m <sup>-1</sup>	Anzahl PKW	Anzahl Prozent
i.O.	i.O.	321	76,2 %
n.i.O.	i.O.	7	1,7 %
n.i.O.	n.i.O.	3	0,7 %
i.O.	n.i.O.	1	0,25 %
i.O.	Kein Wert	85	20,2 %
n.i.O.	Kein Wert	4	0,95 %

Tabelle 3-3

Bei den drei Fahrzeugen, welche sowohl bei der PN-Messung auffällig waren als auch die Trübungsmessung nicht bestanden haben, war immer der gleiche Motor von einem Hersteller, allerdings mit unterschiedlichen Modellen verbaut. Die Eckdaten dieser Messungen sind in Tabelle 3-4 dargestellt. Bei diesen Messungen wurden extrem hohe PN-Werte zwischen 2 bis 9 Millionen Partikeln pro Kubikzentimeter gemessen. Bei diesen Fahrzeugen wurde kein abgasrelevanter Fehler aus dem OBD-System ausgelesen. Die MIL leuchtete bei diesen Fahrzeugen entsprechend nicht.

Hersteller	Modell	Abgas-norm	Kilometerstand	Erstzulassung	PN-Wert	Trübung
6	1	Euro 6b	44.504 km	06/2016	2.054.618 #/cm <sup>3</sup>	1,37 m <sup>-1</sup>
6	2	Euro 6b	127.339 km	07/2016	3.627.996 #/cm <sup>3</sup>	0,80 m <sup>-1</sup>
6	3	Euro 6b	133.269 km	02/2016	9.391.898 #/cm <sup>3</sup>	0,39 m <sup>-1</sup>

Tabelle 3-4

Die Fahrzeuge, welche einen PN-Wert über 100.000 #/cm<sup>3</sup> aufwiesen und die Trübungsmessung bestanden haben, lagen in einem PN-Wertebereich von ca. 150.000 – 650.000 #/cm<sup>3</sup> (vgl. Tabelle 3-5).

Hersteller	Modell	Abgas-norm	Kilometerstand	Erstzulassung	PN-Wert	Trübung
4	1	Euro 6b	71.590 km	06/2015	642.654 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
7	2	Euro 6b	37.870 km	06/2016	382.990 #/cm <sup>3</sup>	0,01 m <sup>-1</sup>
6	3	Euro 6b	107.263 km	06/2015	400.476 #/cm <sup>3</sup>	0,01 m <sup>-1</sup>
1	4	Euro 6b	103.895 km	03/2015	148.122 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
6	3	Euro 6b	129.697 km	06/2015	359.109 #/cm <sup>3</sup>	0,17 m <sup>-1</sup>
1	3	Euro 6b	88.830 km	09/2014	243.000 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
1	3	Euro 6b	96.616 km	11/2014	177.502 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>

Tabelle 3-5

Die auffälligen Messungen, bei denen keine Trübungsmessung vorliegt sind in Tabelle 3-6 dargestellt.

Hersteller	Modell	Abgas-norm	Kilometerstand	Erstzulassung	PN-Wert	Trübung
4	1	Euro 6b	k.A.	k.A.	443.898 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
6	2	Euro 6b	150.096 km	06/2015	3.345.529 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
6	3	Euro 6b	115.070 km	06/2016	252.360 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
4	4	Euro 6b	k.A.	k.A.	103.962 #/cm <sup>3</sup>	k.A.

Tabelle 3-6

Zusammenfassend kann aus diesen Messergebnissen abgeleitet werden, dass ein erhöhter Trübungswert der herkömmlichen Opazimetermessung in der Partikelanzahlmessung sehr deutlich sichtbar wird.

Die Partikelanzahl liegt bei Fahrzeugen, welche die Opazimetermessung nicht bestanden haben, bei Werten von deutlich über 1.000.000 #/cm<sup>3</sup>. Ein defekter DPF wird somit in dieser Studie mit der aktuellen Trübungsmessung nur detektiert, wenn der Wirkungsgrad deutlich unter 90 % gesunken ist.

Bei PKW, welche die Trübungsmessung in dieser Studie bestehen, wurden Partikelanzahlemissionen von bis zu 1.000.000 #/cm<sup>3</sup> gemessen. Diese Fahrzeuge bestehen trotz des hohen PN-Wertes die AU aktuell ohne Beanstandungen. Über die PN-Messung mit der vorgeschlagenen Messprozedur können diese Fahrzeuge mit einem offensichtlich nicht intakten Partikelminderungssystem detektiert werden, während dies die Opazitätsmessung nicht abbilden kann.

Aus den insgesamt 421 PKW Messungen wurde bei sechs PKW (1,4 %) ein PN-Wert zwischen 250.000 #/cm<sup>3</sup> und 1.000.000 #/cm<sup>3</sup> gemessen, welche alle die Trübungsmessung bestanden haben. Bezogen auf die PN-Emissionen machen diese sechs PKW 10,8 % der gesamten PKW-PN-Emissionen dieser Studie aus (vgl. Tabelle 3-7).

Tabelle 3-7 und Abbildung 3-4 zeigen deutlich den großen Einfluss auf die gesamten PN-Emissionen der so genannten Gross-Polluter. Somit verursachen die vier (1,0 %) PKW mit PN-Werten über 1.000.000

#/cm<sup>3</sup> 80,4 % der gesamten PKW-PN-Emissionen dieser Studie. Der Anteil der 10 PKW (2,4 %) mit PN-Messwerten über 250.000 #/cm<sup>3</sup> beträgt 91,2 % der PN-Emissionen.

Dies zeigt, dass die Luftverschmutzung durch Abgaspartikel durch wenige auffällige Fahrzeuge erfolgt, und dass insbesondere Gross-Polluter mit der PN-Messung identifiziert werden sollten, deren erhöhte PN-Emissionen nicht immer mit der aktuellen Trübungsmessung ermittelt werden kann.

PN-Mittelwert über 180 s	Anzahl PKW-Messungen	Anzahl der Messungen in Prozent	Anzahl der gesamten PKW PN-Emissionen (Aufsummiert)	Anteil an den gesamten PKW-PN-Emissionen
> 1.000.000 #/cm <sup>3</sup>	4	1,0 %	18.420.041 #/cm <sup>3</sup>	80,4 %
250.000 bis 1.000.000 #/cm <sup>3</sup>	6	1,4 %	2.481.487 #/cm <sup>3</sup>	10,8 %
100.000 bis 250.000 #/cm <sup>3</sup>	4	1,0 %	672.585 #/cm <sup>3</sup>	2,9 %
<100.000 #/cm <sup>3</sup>	407	96,7 %	1.326.141 #/cm <sup>3</sup>	5,8 %
Gesamt	421	100 %	22.900.254 #/cm <sup>3</sup>	100 %

Tabelle 3-7

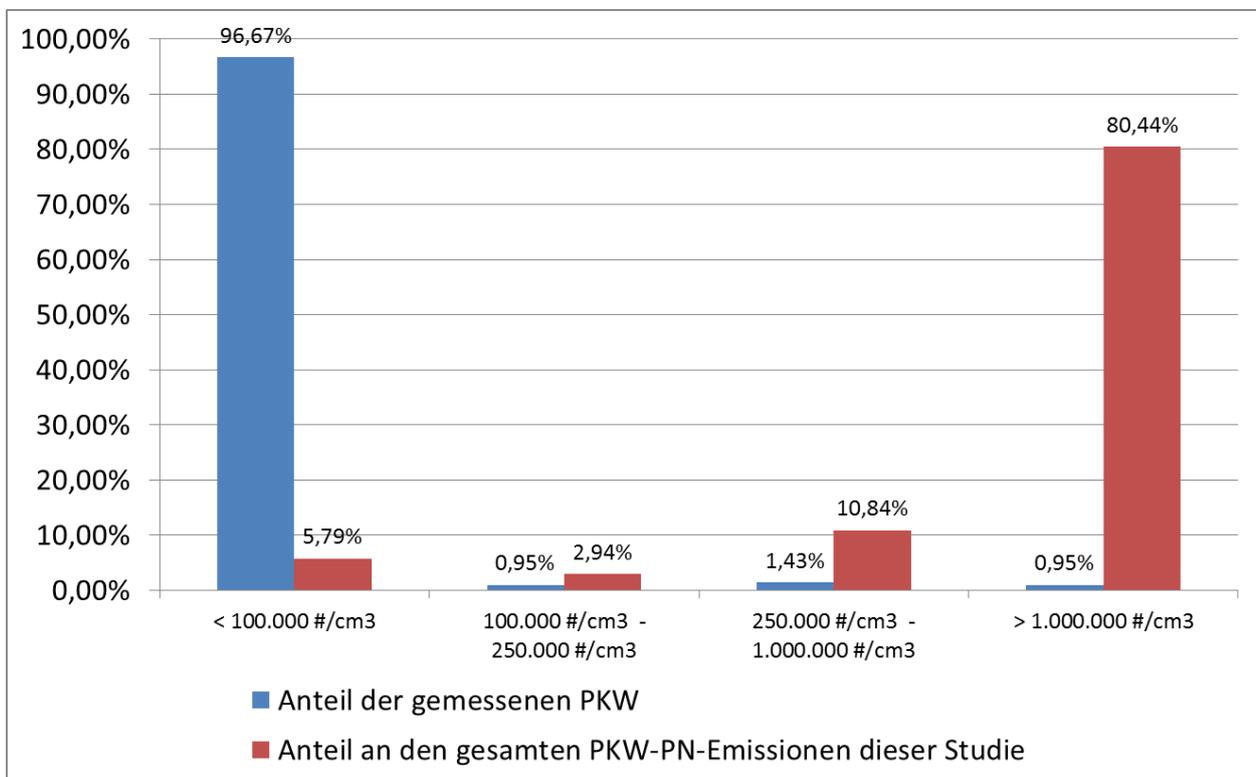


Abbildung 3-4

### 3.2. Einfluss der Kilometerleistung

Um die Kilometerleistung der vermessenen PKW zu bewerten, wurden Klassen für die Fahrleistung gebildet. Es wurde die Gesamtanzahl der vermessenen PKW in der jeweiligen Klasse und die Anzahl der auffälligen PKW in der entsprechende Klasse ins Verhältnis gesetzt, um eine nommierte Auffälligkeitsquote für einen bestimmten Fahrleistungsbereich zu ermitteln (siehe Tabelle 3-8).

Die Auffälligkeitsquote steigt insbesondere ab 80.000 Kilometern auf 4 % an und erreicht bei PKW bis 150.000 Kilometern ihr Maximum von 6,5 %. Bei PKW mit einer Fahrleistung bis 200.000 Kilometern sinkt die Auffälligkeitsquote wieder auf 4 %. Es wurden 3 PKW mit einer Fahrleistung von mehr als 200.000 Kilometern vermessen, deren PN-Werte allesamt unauffällig waren. Dem gegenüber stehen 2 von 93 PKW mit einer Fahrleistung zwischen 20.000 – 50.000 Kilometern welche erhöhte PN-Werte aufwiesen.

Es zeigt sich eine Tendenz, dass bei PKW ab 80.000 Kilometern ein erhöhter PN-Wert zu erwarten ist.

Die vermessenen LKW haben einsatzbedingt eine höhere Laufleistung als die PKW. Dennoch war hier kein LKW auffällig (siehe Abbildung 3-6).

Bei der Betrachtung der Kilometerleistung ist zu beachten, dass die Historie der Fahrzeuge nicht bekannt ist. Es wird nicht berücksichtigt, ob ggf. Reparaturen an der Abgasanlage durchgeführt wurden.

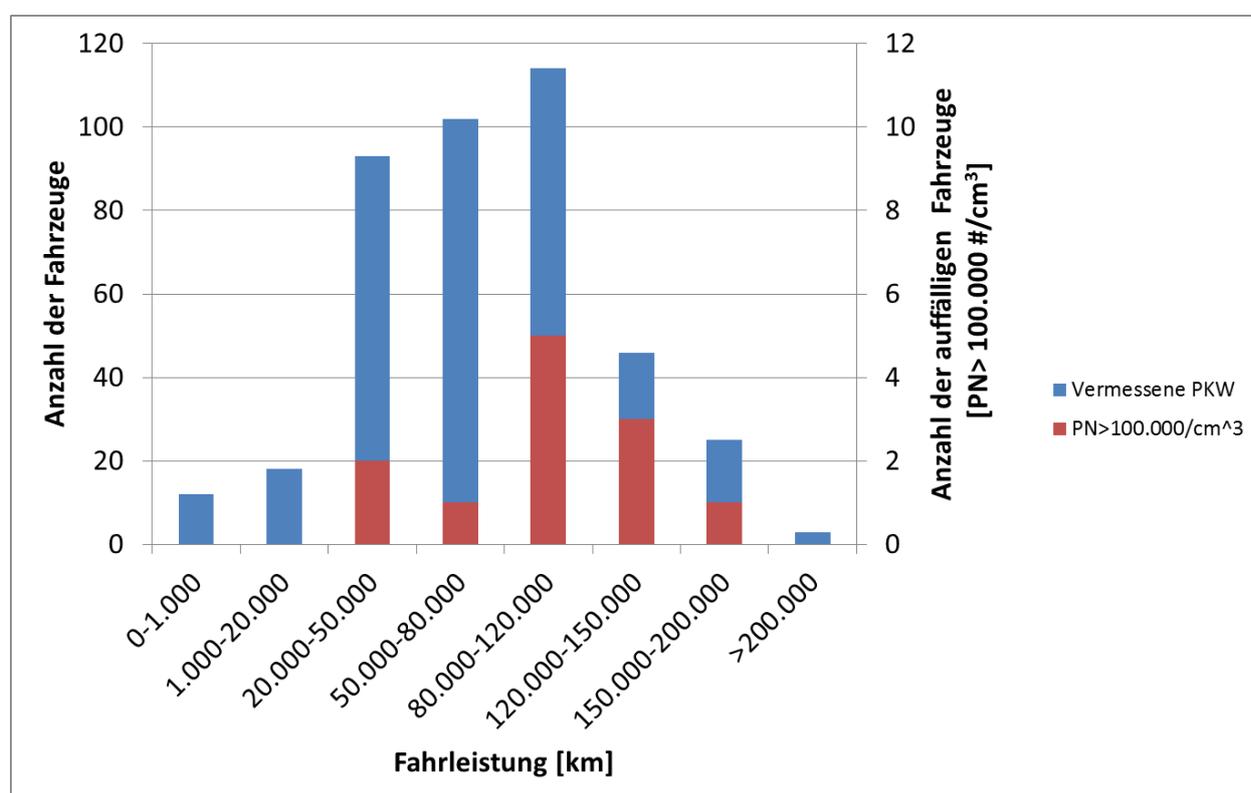


Abbildung 3-5

Fahrleistung [km]	Anzahl PKW	Anzahl auffällige PKW (PN > 100.000 #/cm³)	Normierte Auffälligkeitsquote
0 - 1.000	12	-	0 %
1.000 – 20.000	18	-	0 %
20.000 – 50.000	93	2	2,1 %
50.000 – 80.000	102	1	1 %
80.000 – 120.000	114	5	4,4 %
120.000 – 150.000	46	3	6,5 %
150.000 – 200.000	25	1	4 %
>200.000	3	-	0 %
Gesamt (bei 8 PKW wurde kein	413	12	2,9 %

Kilometerstand erfasst)			
-------------------------	--	--	--

Tabelle 3-8

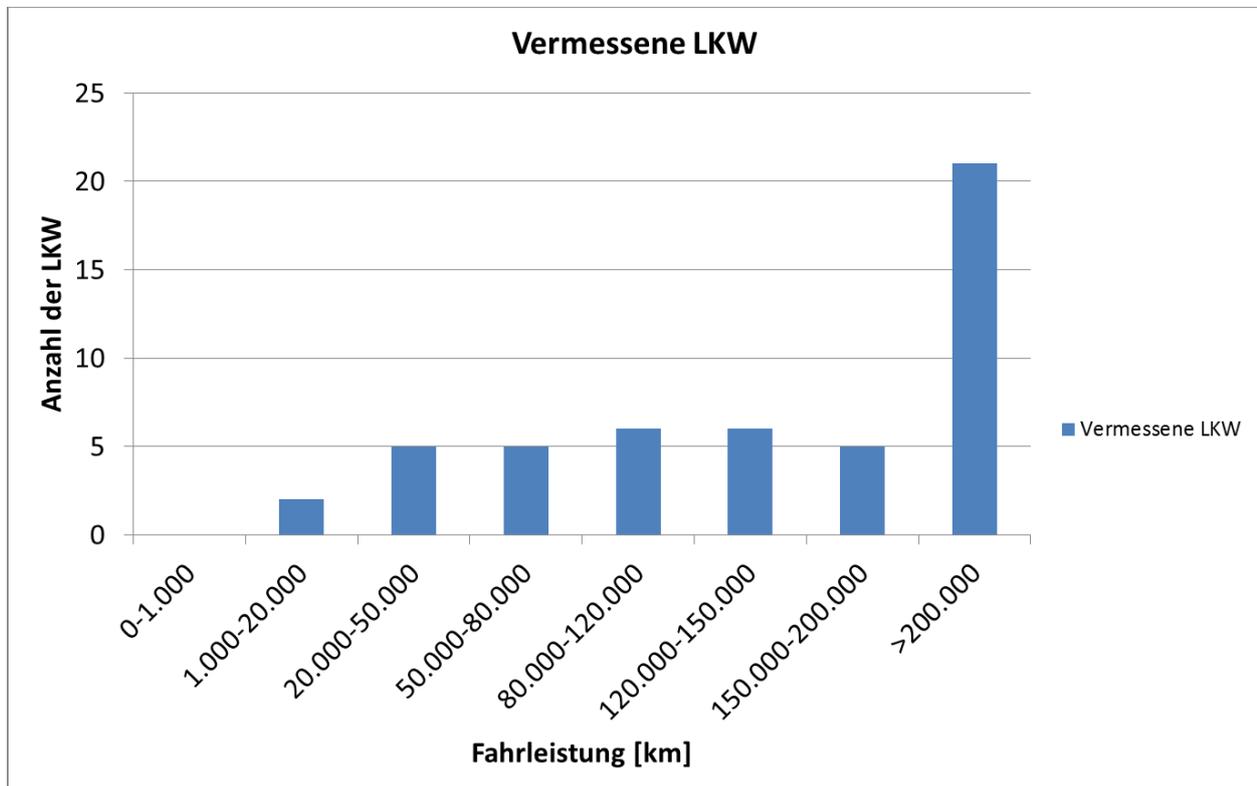


Abbildung 3-6

### 3.3. Einfluss der zeitlichen Alterung (Erstzulassung)

Zur Bestimmung des Fahrzeugalters wurde das Erstzulassungsdatum herangezogen. Bei der Auswertung ist ein Zusammenhang zwischen dem Fahrzeugalter in Jahren und der Auffälligkeitsquote zu erkennen. Von den Fahrzeugen, welche maximal 2 Jahre alt sind, gab es keine auffälligen Messwerte. Die Fahrzeuge mit einem PN-Wert von über  $100.000 \text{ \#/cm}^3$  sind zwischen September 2014 und Juli 2016 erstzulassen worden (bei zwei auffälligen PKW wurde kein EZ-Datum erfasst). Die Auffälligkeitsquote steigt von 3 Jahre alten Fahrzeugen (3,4 %) bis 5 Jahre alten Fahrzeugen (6,9 %) kontinuierlich an.

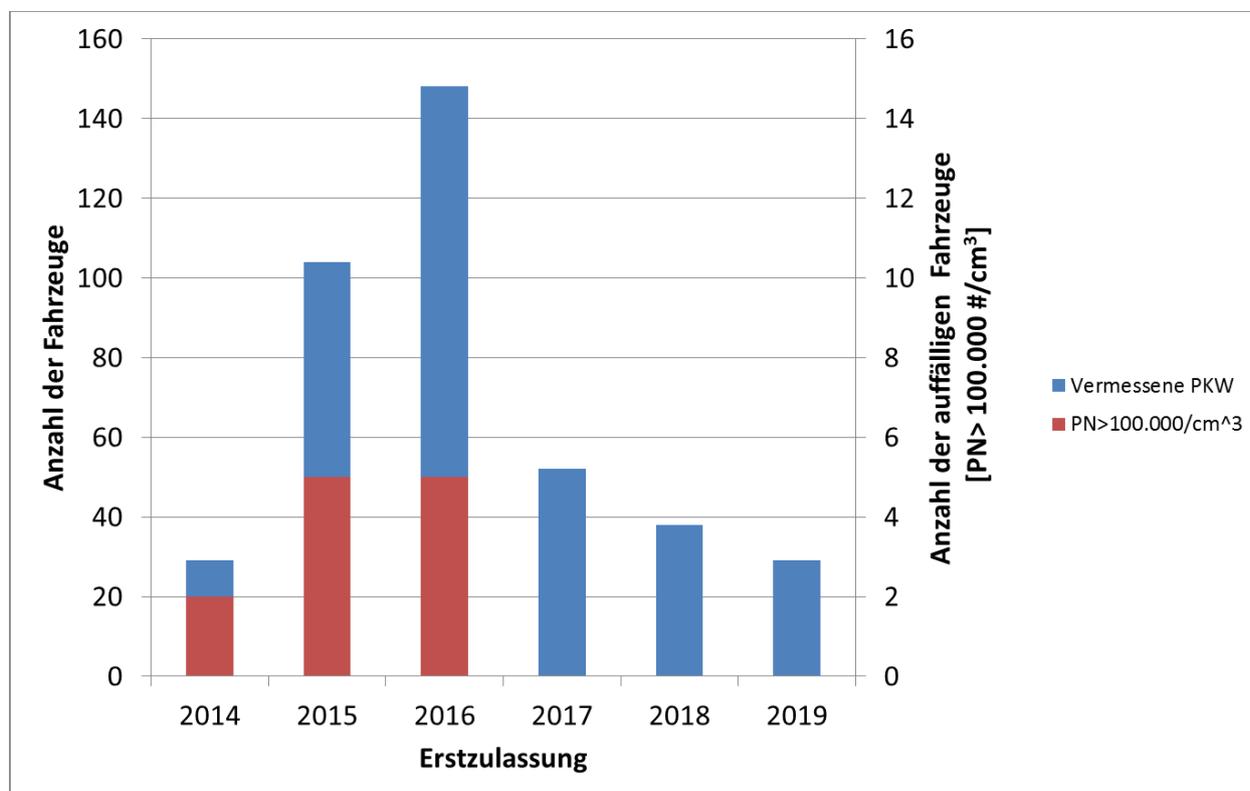


Abbildung 3-7

EZ-Datum [Jahr]	Anzahl PKW	Anzahl auffällige PKW (PN > 100.000 #/cm <sup>3</sup> )	Normierte Auffälligkeitsquote
2014 (5 Jahre)	29	2	6,9 %
2015 (4 Jahre)	104	5	4,8 %
2016 (3 Jahre)	148	5	3,4 %
2017 (2 Jahre)	52	-	0 %
2018 (1 Jahr)	38	-	0 %
2019	29	-	0 %
Gesamt (bei 21 PKW wurde kein EZ-Datum erfasst)	400	12	3,0 %

Tabelle 3-9

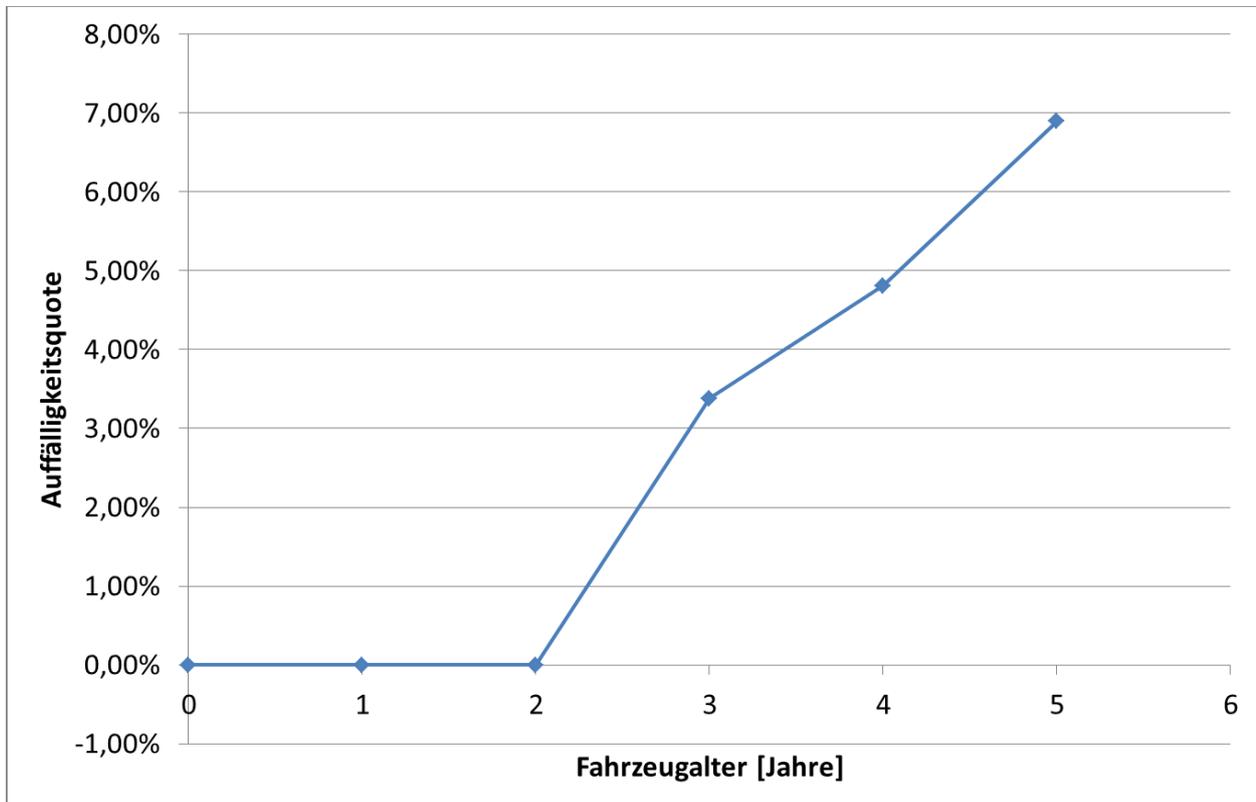


Abbildung 3-8

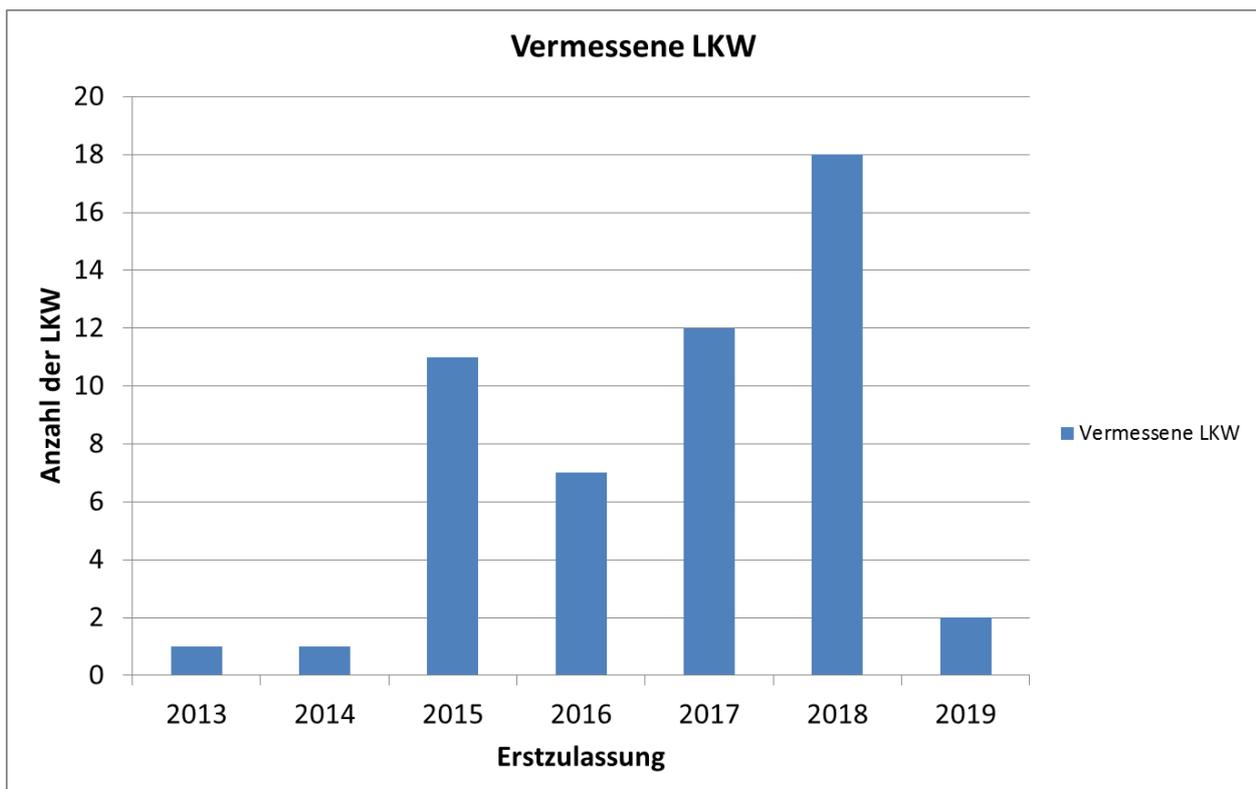


Abbildung 3-9

### 3.4. Erkenntnisse mit unterschiedlichen Motoren

Bei den 421 PKW wurden alle gängigen Hubraumgrößen berücksichtigt. Für einen Überblick der Verteilung wurde bei 414 Fahrzeugen der Hubraum erfasst (siehe Tabelle 3-10). Darin sind 13 der 14 auffälligen PKW enthalten.

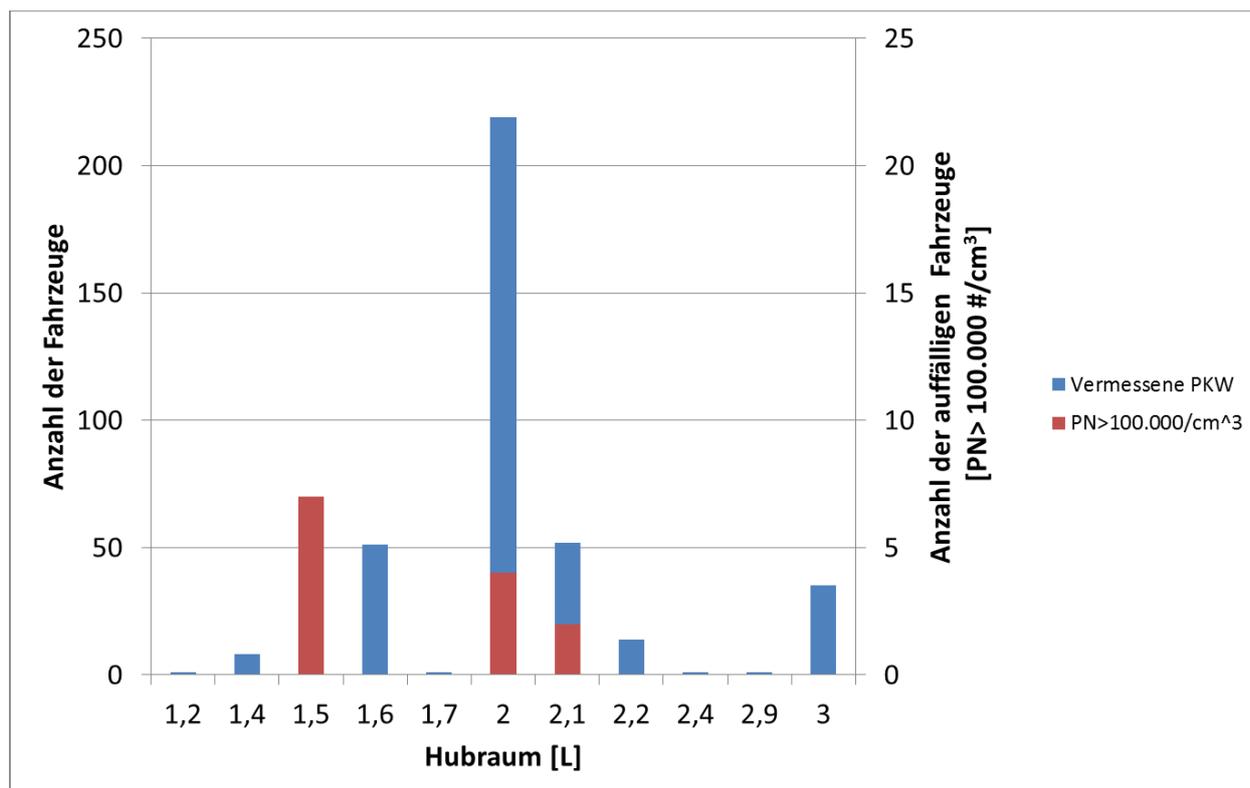


Abbildung 3-10

Hubraum (cm <sup>3</sup> )	Anzahl PKW	Anzahl auffällige PKW (PN > 100.000 #/cm <sup>3</sup> )	Normierte Auffälligkeitsquote
1200	1	-	0 %
1400	8	-	0 %
1500	31	7	22,6 %
1600	51	-	0 %
1700	1	-	0 %
2000	219	4	1,8 %
2100	52	2	3,85 %
2200	14	-	0 %
2400	1	-	0 %
2900	1	-	0 %
3000	35	-	0 %
Gesamt (bei 414 PKW wurde der Hubraum erfasst)	414	13	3,1 %

Tabelle 3-10

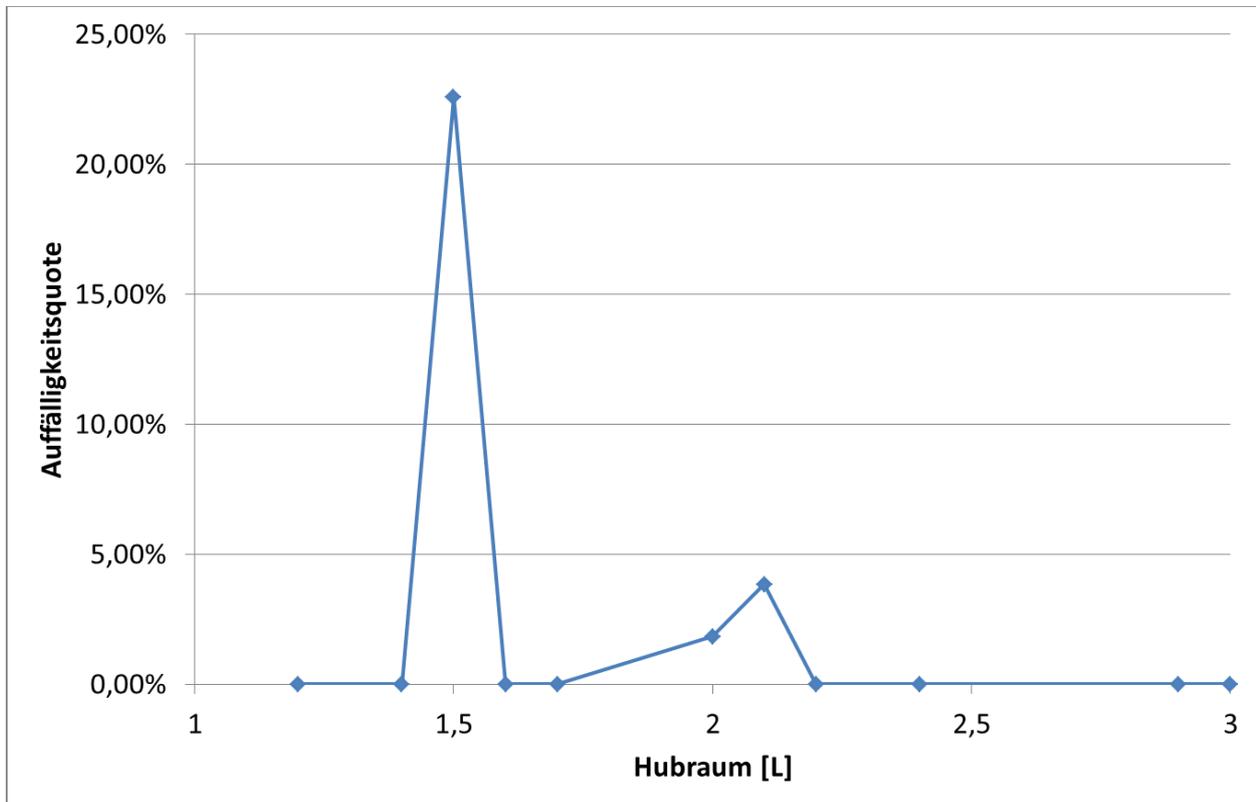


Tabelle 3-11

Mit dieser Übersicht können Motoren identifiziert werden, bei denen auffallend oft ein erhöhter PN-Wert gemessen wurde.

### 1,5 Liter-Motor

Es fällt auf, dass insbesondere der Motor mit 1500 cm<sup>3</sup> eine deutlich erhöhte Auffälligkeitsquote aufweist.

Die sieben PKW mit dem 1,5 Liter Motor mit erhöhten PN-Emissionen sind einem Hersteller zuzuordnen. Sie sind in verschiedenen Leistungsstufen und in unterschiedlichen Modellen verbaut. Dieser Motor wurde in der Messkampagne insgesamt 20-mal vermessen, davon sieben auffällige Messungen. Dies entspricht einer Auffälligkeitsquote für diesen Motor von 35 %. In Tabelle 3-12 sind Messungen mit diesem Motor zusammengefasst. Bei zwei der sieben auffälligen Fahrzeuge wurde mit einem Diagnosegerät die Beladung des Partikelfilters ausgelesen. Mit 32 %, sowie 24 % Beladung lagen diese Werte in einem Bereich, bei dem nicht auf einen Einfluss einer Regeneration geschlossen werden kann. Auch waren in beiden Fällen keine Fehler im Fehlerspeicher hinterlegt.

Es ist kein eindeutiger Zusammenhang zur Fahrleistung oder dem Fahrzeugalter zu erkennen. Die durchschnittliche Fahrleistung bei Messungen mit diesem Motor beträgt 100.193 km, die der auffälligen Fahrzeuge mit diesem Motor 115.319 km. Das durchschnittliche Erstzulassungsdatum liegt bei 05/2016 (Gesamt) zu 12/2015 (auffällig). Ein solches Ergebnis deutet auf ein Problem dieses Motors und dessen Abgasnachbehandlung der Partikel hin.

Hersteller	Modell	Hubraum	Abgasnom	Kilometerstand	Erstzulassung	PN-Wert	Trübung
6	1	1,5 L	Euro 6b	105.689 km	12.05.2016	72.432 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
6	2	1,5 L	Euro 6b	150.096 km	09.05.2015	3.345.529 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
6	3	1,5 L	Euro 6b	115.070 km	02.06.2016	252.360 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
6	3	1,5 L	Euro 6b	80.822 km	18.06.2015	0 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
6	3	1,5 L	Euro 6b	65.163 km	24.10.2017	27.937 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
6	4	1,5 L	Euro 6b	44.504 km	08.06.2016	2.054.618 #/cm <sup>3</sup>	1,37 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	116.005 km	29.09.2015	0 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	157.563 km	10.05.2016	1 #/cm <sup>3</sup>	0,04 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	124.272 km	13.05.2016	191 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	115.519 km	13.05.2016	56.030 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	127.339 km	06.07.2016	3.627.996 #/cm <sup>3</sup>	0,80 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	107.263 km	16.06.2015	400.476 #/cm <sup>3</sup>	0,01 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	56.347 km	24.10.2017	1.415 #/cm <sup>3</sup>	0,05 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	68.855 km	02.03.2015	35.834 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
6	5	1,5 L	Euro 6b	133.269 km	02.02.2016	9.391.898 #/cm <sup>3</sup>	0,39 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	64.662 km	27.11.2017	5.936 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	97.095 km	19.10.2015	1.145 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	129.697 km	01.06.2015	359.109 #/cm <sup>3</sup>	0,17 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	85.454 km	22.06.2017	13.799 #/cm <sup>3</sup>	0,01 m <sup>-1</sup>
6	3	1,5 L	Euro 6b	59.181 km	27.11.2017	27.752 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>

Tabelle 3-12

## 2,0 Liter-Motor

Von den vier auffälligen PKW mit 2 Liter Motor waren drei auffällige Messungen eines bestimmten Motors von einem Hersteller in einem Modell (siehe Tabelle 3-13). Dieser Motor in dem Modell wurde insgesamt in 10 PKW vermessen. Dies entspricht einer Auffälligkeitsquote für diesen Motor von 30 %. Auch hier kann kein Zusammenhang zur Fahrleistung oder dem Erstzulassungsdatum gezeigt werden.

Hersteller	Modell	Hubraum	Abgasnom	Kilometerstand	Erstzulassung	PN-Wert	Trübung
1	1	2,0 L	Euro 6b	78.377 km	27.05.2015	29.639 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
1	1	2,0 L	Euro 6b	154.287 km	18.05.2015	0 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
1	1	2,0 L	Euro 6b	115.773 km	14.09.2015	123 #/cm <sup>3</sup>	k.A.
1	1	2,0 L	Euro 6b	109.097 km	01.06.2015	987 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
1	1	2,0 L	Euro 6b	100.221 km	14.07.2015	3.059 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
1	1	2,0 L	Euro 6b	117.057 km	15.01.2016	411 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
1	1	2,0 L	Euro 6b	103.895 km	10.03.2015	148.122 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
1	1	2,0 L	Euro 6b	95.422 km	21.11.2014	2.810 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
1	1	2,0 L	Euro 6b	88.830 km	30.09.2014	243.000 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>
1	1	2,0 L	Euro 6b	96.616 km	18.11.2014	177.502 #/cm <sup>3</sup>	0,00 m <sup>-1</sup>

Tabelle 3-13

## Zusammenfassung Motoren

10 von den 13 auffälligen Messungen, bei denen der Motor zugeordnet werden konnte, sind an PKW gemessen worden, deren Motor im Rahmen der Studie mehrfach als auffällig eingestuft wurde. Dies deutet darauf hin, dass insbesondere bestimmte Fahrzeugmodelle mit bestimmten Motoren/Abgassystemen häufiger Probleme bei den Partikelemissionen aufweisen als andere.

### LKW Motoren

Bei 16 LKW wurde der Hubraum erfasst. Die Verteilung ist in Tabelle 3-14 dargestellt.

Hubraum (cm <sup>3</sup> )	Anzahl LKW	Anzahl auffällige PKW (PN > 100.000 #/cm <sup>3</sup> )	Normierte Auffälligkeitsquote
5.100	1	-	0 %
10.700	4	-	0 %
12.800	11	-	0 %
Gesamt (bei 16 LKW wurde der Hubraum erfasst)	16	-	0 %

Tabelle 3-14

### 3.5. Erkenntnisse mit unterschiedlichen Fahrzeugherstellern

Im Rahmen des Monitorings wurden PKW von 17 verschiedenen Herstellern vermessen. Auffällige PN-Werte sind an Fahrzeugen von 4 unterschiedlichen Herstellern gemessen worden. Bei Fahrzeugen der auffälligen Hersteller sind immer mehr als ein auffälliges Fahrzeug gemessen worden (wenn von diesem Hersteller mehr als ein Fahrzeug vermessen wurde). Dies ist bereits in Kapitel 3.4 beschrieben worden. Betrifft solch ein Motor/Abgassystem den entsprechenden Hersteller, zeigt sich dies auch in der Herstelleranalyse (vgl. Abbildung 3-11 und Tabelle 3-15).

Bei den LKW wurden vier verschiedene Hersteller vermessen (vgl. Abbildung 3-12).

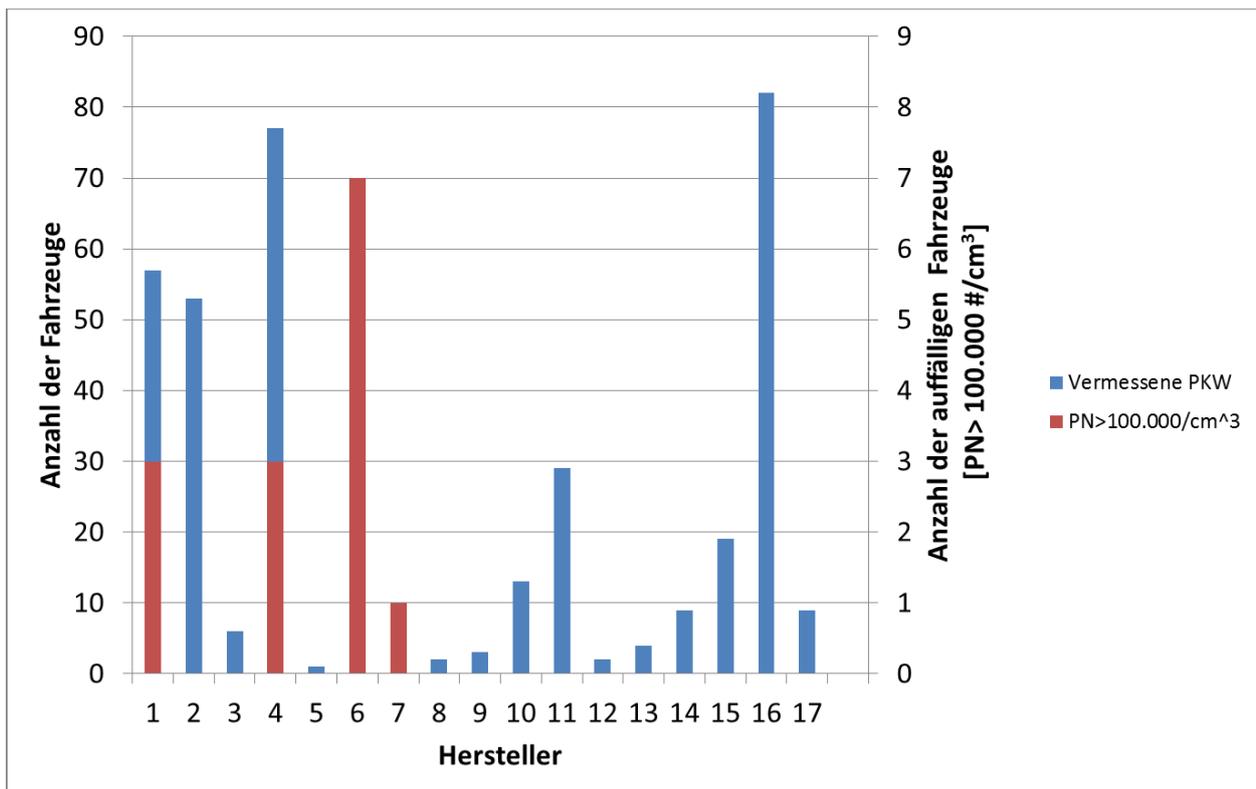


Abbildung 3-11

Hersteller	Anzahl PKW	Anzahl auffällige PKW (PN > 100.000 #/cm <sup>3</sup> )	Normierte Auffälligkeitsquote
1	57	3	5,3 %
2	53	-	0 %
3	6	-	0 %
4	77	3	3,9 %
5	1	-	0 %
6	54	7	13,0 %
7	1	1	100 %
8	2	-	0 %
9	3	-	0 %
10	13	-	0 %
11	29	-	0 %
12	2	-	0 %
13	4	-	0 %
14	9	-	0 %
15	19	-	0 %
16	82	-	0 %
17	9	-	0 %
Gesamt	421	14	3,3 %

Tabelle 3-15

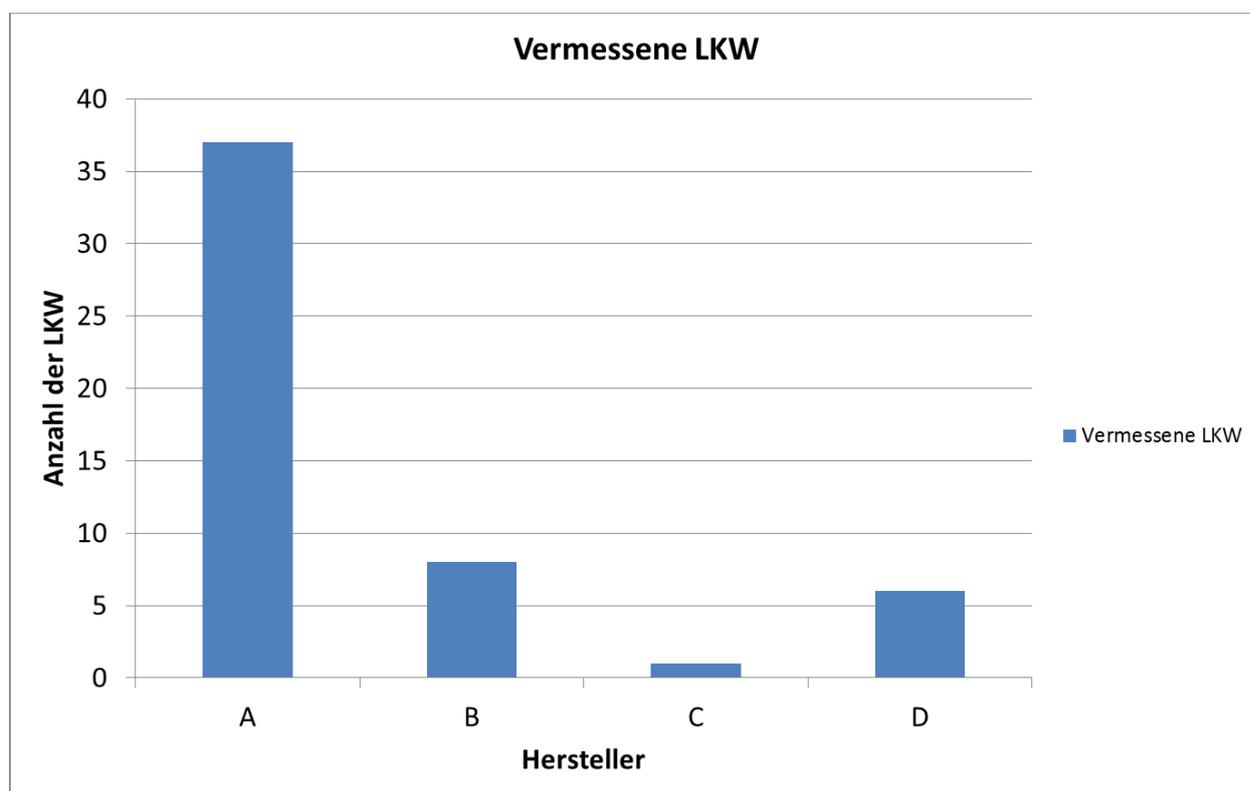


Abbildung 3-12

### 3.6. Emissionscode

Es wurden Dieselfahrzeuge mit Emissionscode vermessen, welche die Anforderungen der Abgasnorm „Euro 6“ bei PKW und „Euro VI“ bei LKW erfüllen und entsprechend typgenehmigt sind. Bei PKW werden bei der Euro 6 Abgasnormung weitere „Unterstufen“ differenziert. Die Abgasstufen Euro 6b bis Euro 6d weisen dabei in allen Differenzierungsstufen die gleichen Schadstoffgrenzwerte auf. Es unterscheiden sich aber die Prüfverfahren zur Ermittlung der Abgaswerte. Bei der Euro 6b Abgasstufe wurden die Werte auf dem Prüfstand im NEFZ-Zyklus ermittelt. Ab Euro 6c wurde auf den WLTC Zyklus umgestellt, welcher neben höheren fahrdynamischen Anforderungen auch den Einfluss von Sonderausstattungen berücksichtigt, um Messwerte zu erhalten, welche näher an den Werten im realen Fahrbetrieb liegen (vgl. Tabelle 3-17).

Messwert	WLTP Klasse 3	NEDC
Starttemperatur 25°C	Kaltstart	Kaltstart (ab Euro 3) / Kaltstart nach 40 s (bis Euro 2)
Zykluszeit	30 min	20 min
Standzeitanteil	13 %	25 %
Zykluslänge	23.250 m	11.000 m
Geschwindigkeit mittel	46,6 km/h	34 km/h
Höchstgeschwindigkeit	131 km/h	120 km/h
Maximale Beschleunigung	1,7 m/s <sup>2</sup>	1,04 m/s <sup>2</sup>
Einfluss von Sonderausstattung und Klimatisierung	Keine Klimaanlage. Sonderausstattungen für Gewicht, Aerodynamik und Bordnetzbedarf (Ruhestrom) werden berücksichtigt	Keine Berücksichtigung

Tabelle 3-16

Der WLTC bildet den Realbetrieb der Fahrzeuge besser ab als der NEDC, bleibt aber trotzdem ein Prüfstandzyklus und kann viele Effekte und Toleranzen des Fahrers und des Umfeldes nicht nachbilden, die im Realfahrbetrieb auftreten. Aus diesem Grund ist ab der Emissionsstufe Euro 6d-Temp die Typ 1A Prüfung für eine zusätzliche reale Emissionsmessung mithilfe eines portablen Emissionsmesssystems (PEMS) implementiert worden. Die sogenannten Realfahrmissionen (engl. Real Driving Emissions – RDE) werden mit Hilfe von mobilen Abgasmesssystemen (engl. Portable Emission Measurement Systems – PEMS) auf der Straße unter variierenden Umgebungsbedingungen ermittelt. Das erklärte Ziel ist es, die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte im realen Fahrbetrieb auf der Straße zu erreichen. Da die Umweltbedingungen und die Fahrzeugparameter bei jedem Test unterschiedlich ausfallen können und die Beschleunigung und daraus resultierende Emissionen zusätzlich fahrerabhängig sind, kann es zu höheren Emissionen und höheren Verbräuchen kommen als bei einem Testzyklus auf dem Rollenprüfstand. Dies wird in VO (EU) 2017/1151 Anhang IIIA Absatz 2.1 mit einem Korrelationsfaktor (Conformity Factor, CF) berücksichtigt. Somit darf bei der Euro 6d-Temp Norm bei der RDE-Fahrt der NO<sub>x</sub>-Grenzwert von 80 mg/km um Faktor 2,1 und der PN-Grenzwert um Faktor 1,5 überschritten werden (vgl. Abbildung 4-4).

Norm	Euro 6b	Euro 6c	Euro 6d-Temp	Euro 6d
Einführungszeitpunkt neue Typen (Typgenehmigung)	01.09.14	01.09.17		01.01.20
Einführungszeitpunkt Neufahrzeuge (Erstzulassung)	01.09.15	01.09.18	01.09.19	01.01.21
Testzyklus/Prüfverfahren	NEFZ	WLTP		
RDE (Konformitätsfaktor) NO <sub>x</sub>	–	2,1		1,5
RDE (Konformitätsfaktor) PN	–	1,5		
CO	500 mg/km			
(HC + NO <sub>x</sub> )	170 mg/km			
NO <sub>x</sub>	80 mg/km			
PM	4,5 mg/km			
PN	6·10 <sup>11</sup> #/km			

Tabelle 3-17 [ (VO (EG) 715/2007)]

Wird der verpflichtende Einführungszeitpunkt für Euro 6 Fahrzeuge betrachtet, ist zu sehen, dass Fahrzeuge, die nach dem 01.09.2015 erstzugelassen wurden, mindestens die Abgasnorm Euro 6b erfüllen mussten. Diese Fahrzeuge wurden insbesondere in dem Zeitraum vom 01.09.2015 bis zum 31.08.2018 erstzugelassen. Unter Berücksichtigung des Zeitraumes von drei Jahren zur Fälligkeit der ersten Haupt-/Abgasuntersuchung wurden in dieser Studie überwiegend Euro 6b Fahrzeuge vermessen.

Alle auffälligen PN-Messungen wurden an Fahrzeugen mit der Abgasnorm Euro 6b festgestellt.

Abgasnorm	Anzahl PKW	Anzahl auffällige PKW (PN > 100.000 #/cm <sup>3</sup> )	Normierte Auffälligkeitsquote
Euro 6b	381	14	3,7 %
Euro 6c	16	-	0 %
Euro 6d-Temp	24	-	0 %
Gesamt	421	14	3,3 %

Tabelle 3-18

## 4. Auswertung

### 4.1. Charakteristischer Verlauf des PN-Wert über der Zeit

Zur Auswertung der PN-Verläufe wurden ausschließlich die Messungen mit dem TSI-Gerät herangezogen. Zu Messungen mit TSI-Gerät liegen alle PN-Verläufe grafisch aufbereitet vor. Der PN-Verlauf der Messungen wurde über der Zeit analysiert. Dabei konnte beobachtet werden, dass es vier typische Verläufe der gemessenen PN-Emissionen für die Messprozedur gibt.

**Verlauf 0:** Der Verlauf 0 bezeichnet einen PN-Verlauf, indem der PN-Wert nach Einführen der Sonde in das Endrohr einen Wert von  $< 1.000 \text{ \#/cm}^3$  anzeigt. Dies ist unter dem Messbereich der Messtechnik und der PN-Wert somit nahe Null. Abbildung 4-1 zeigt ein Modell des Verlaufes und Abbildung 4-2 eine Messung, die diesen Verlauf aufweist (ML131). Im Verlauf der Messung ist zu sehen, dass die Drehzahlanhebung in diesem Fall (bei vollständig intaktem DPF) keine Auswirkungen auf die gemessenen PN-Emissionen hat. Der erhöhte Wert von ca.  $6000 \text{ \#/cm}^3$  am Ende der Messung, bildet die Messung der Umgebungsluft ab. Der anschließende Abfall auf 0 zeigt den Nullabgleich mit aufgestecktem HEPA-Filter.

Bei Messungen, die diesen Verlauf aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass der Partikelfilter vollständig in Ordnung und funktionstüchtig ist.



Abbildung 4-1

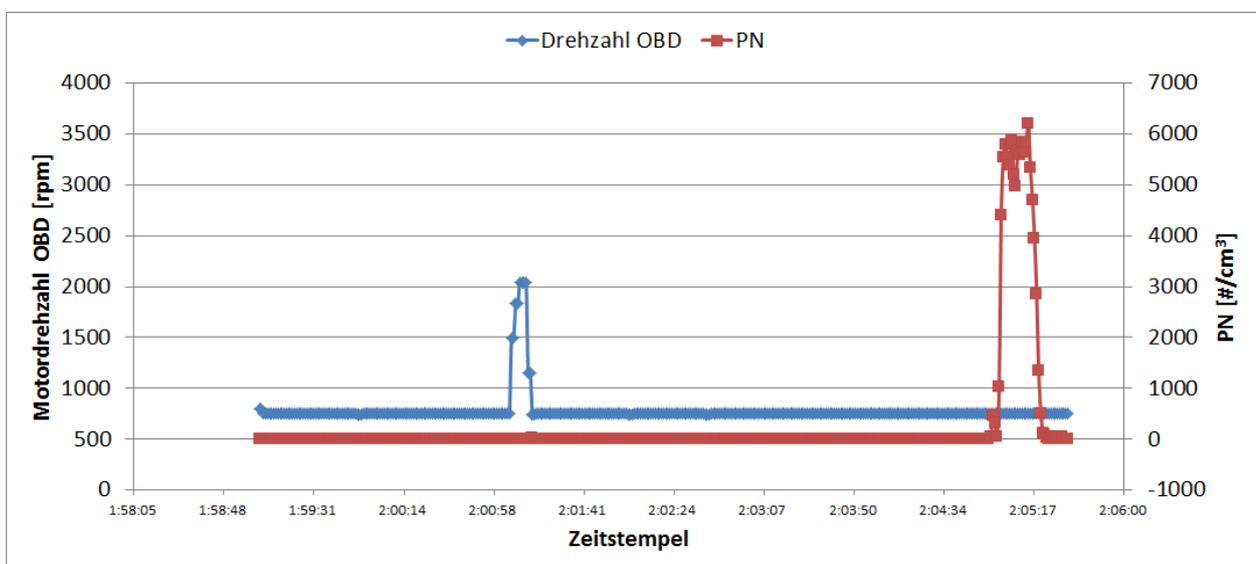


Abbildung 4-2

**Verlauf 1:** Verlauf 1 bezeichnet einen PN-Verlauf, bei dem nach der Drehzahlanhebung ein höherer PN-Wert gemessen wird als vorher. Abbildung 4-3 zeigt ein Modell des Verlaufes und Abbildung 4-4, sowie Abbildung 4-5 eine Messung, die diesen Verlauf aufweist (ML24, ML22).

Bei einigen Fahrzeugen ist der sogenannte „Taximode“ appliziert. Der „Taximode“ schließt das AGR-Ventil nach einer definierten Zeit im Leerlauf, um eine Verkokung der Bauteile zu vermeiden. Die Abgasrückführung senkt im Brennraum das Sauerstoffangebot. Dadurch sinken die  $\text{NO}_x$ -Emissionen ab.

Die Herabsetzung der reaktiven Komponenten im Brennraum führt dabei aber zu einem Anstieg der Partikelemission, wodurch der rückführbare Abgasanteil begrenzt wird. AGR-Verträglichkeit bedeutet, dass eine höhere AGR-Rate eingestellt werden kann, ohne dass die Partikelemission zu groß wird. Je höher der Kraftstoffeinspritzdruck ist, desto höher ist die AGR-Verträglichkeit.

Da ein geschlossenes AGR-Ventil also die PN-Rohemissionen senkt, würde eine Messung mit geschlossenem AGR-Ventil geringere PN-Werte messen, als im tatsächlichen Betrieb. Deshalb sollte das AGR-Ventil während der Messung geöffnet sein. Da dies nicht, oder nur mit speziellen herstellerspezifischen Diagnosegeräten zu überwachen ist, wurde die Drehzahlanhebung in die Messprozedur integriert. Die AGR-Steuerung ist bei den meisten Fahrzeugen so appliziert, dass das AGR-Ventil bei einer Drehzahlanhebung öffnet und den „Taximode“ beendet.

Bei Fahrzeugen, die Verlauf 1 aufwiesen, kann in den meisten Fällen auf diesen Effekt geschlossen werden.

Der Anstieg der PN-Emissionen entspricht in diesem Fall einem PN Anstieg zwischen 10 % und 20 % unabhängig von der absoluten PN-Anzahl. Dies zeigt die Notwendigkeit der Drehzahlanhebung zur Öffnung des AGR-Ventils, um alle Fahrzeuge in diesem definierten Zustand mit „AGR-auf“ zu messen.

Der Abfall am Ende der Messung in Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5 zeigt die PN-Werte der Umgebungsluft und den Null-Abgleich.

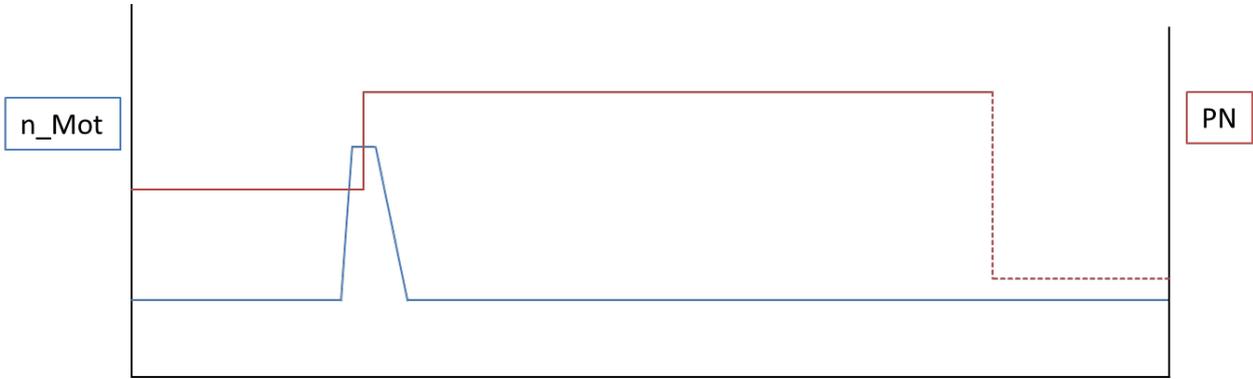


Abbildung 4-3

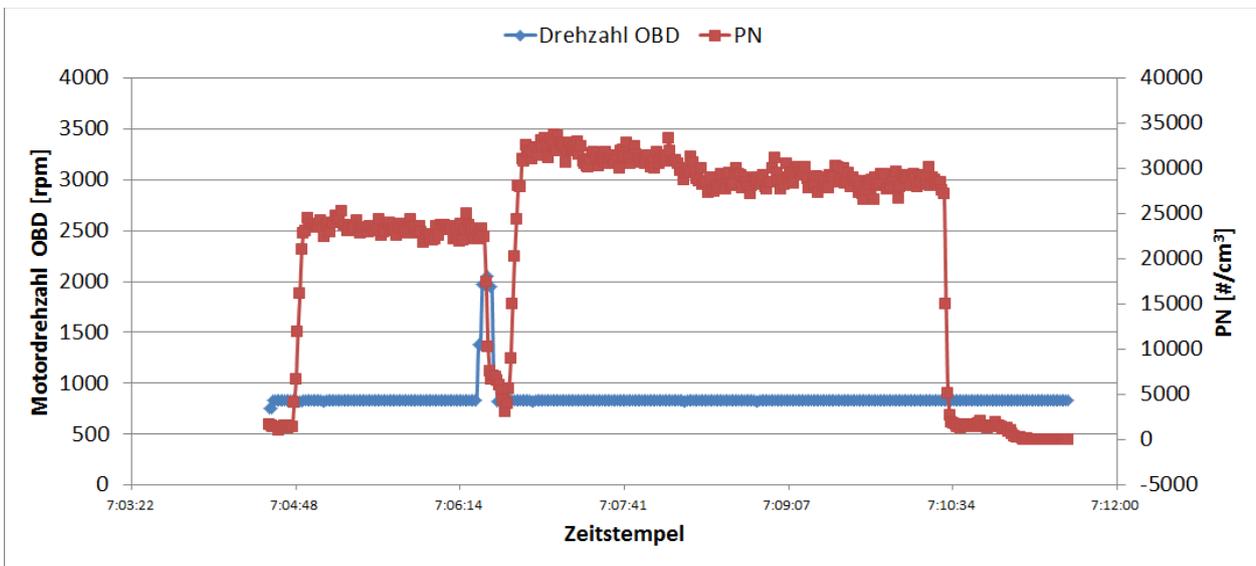


Abbildung 4-4

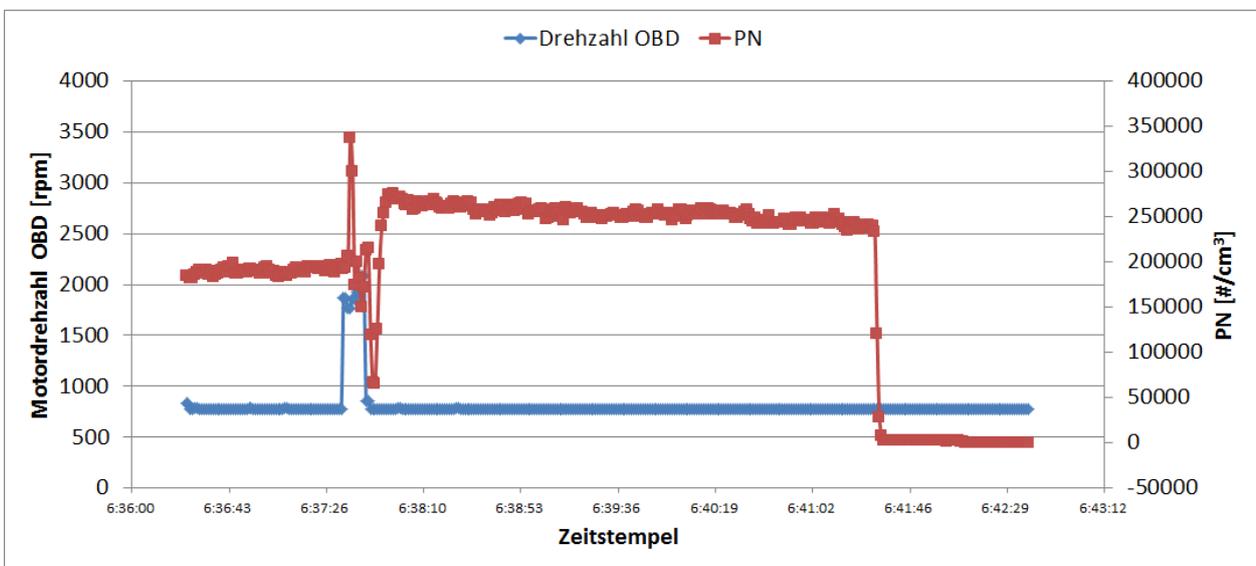


Abbildung 4-5

Ebenso wie der Einfluss der Öffnung des AGR-Ventils, ist auch dessen Schließung in einigen Messungen sichtbar. In Abbildung 4-6 (ML305) ist zu erkennen, dass gegen Ende der Stabilisierungsphase vor der Drehzalanhebung die PN-Emissionen aufgrund der Schließung des AGR-Ventils sprunghaft sinken. Nach der Drehzalanhebung ist das AGR-Ventil wieder geöffnet und die PN-Emissionen sind auf dem Niveau der Stabilisierungsphase. Nach ca. zwei Minuten (applizierte Zeit um in den „Taximode“ zu schalten) schließt das AGR-Ventil erneut. Eine kurze Messzeit wäre eine Möglichkeit solche Effekte während der PN-Messung nicht zu berücksichtigen.

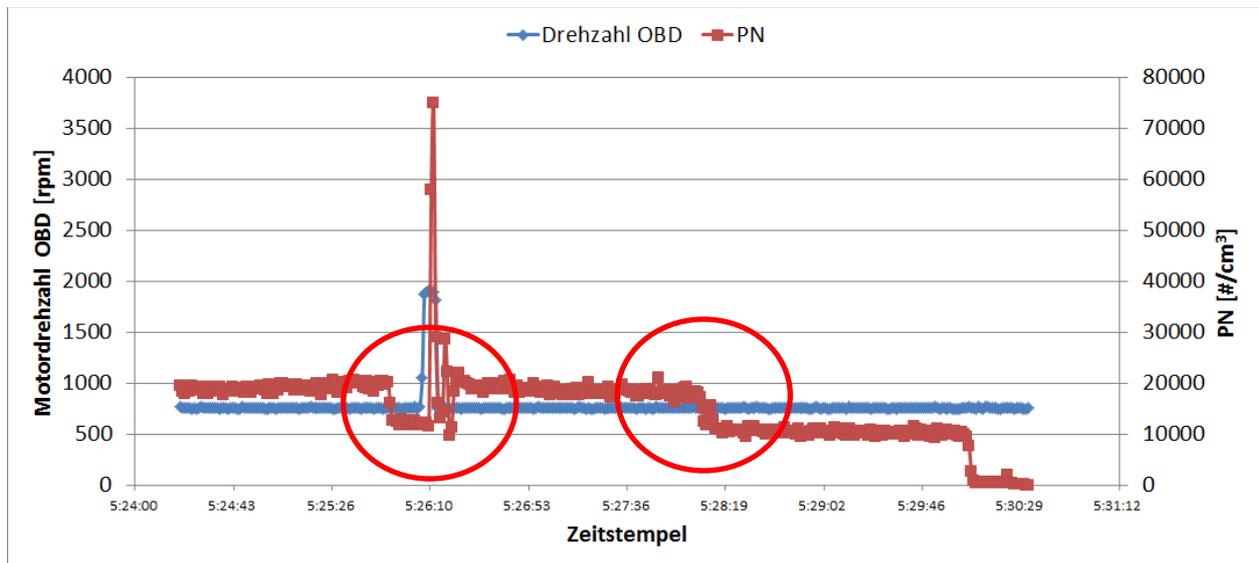


Abbildung 4-6

**Verlauf 2:** Verlauf 2 bezeichnet einen Verlauf, bei dem die PN-Werte vor und nach der Drehzahlanhebung auf demselben Niveau liegen. Abbildung 4-7 zeigt ein Modell des Verlaufes und Abbildung 4-8 eine Messung, die diesen Verlauf aufweist (ML216). Bei diesen Messungen kann von einem stabilen Zustand des AGR-Ventils ausgegangen werden.



Abbildung 4-7

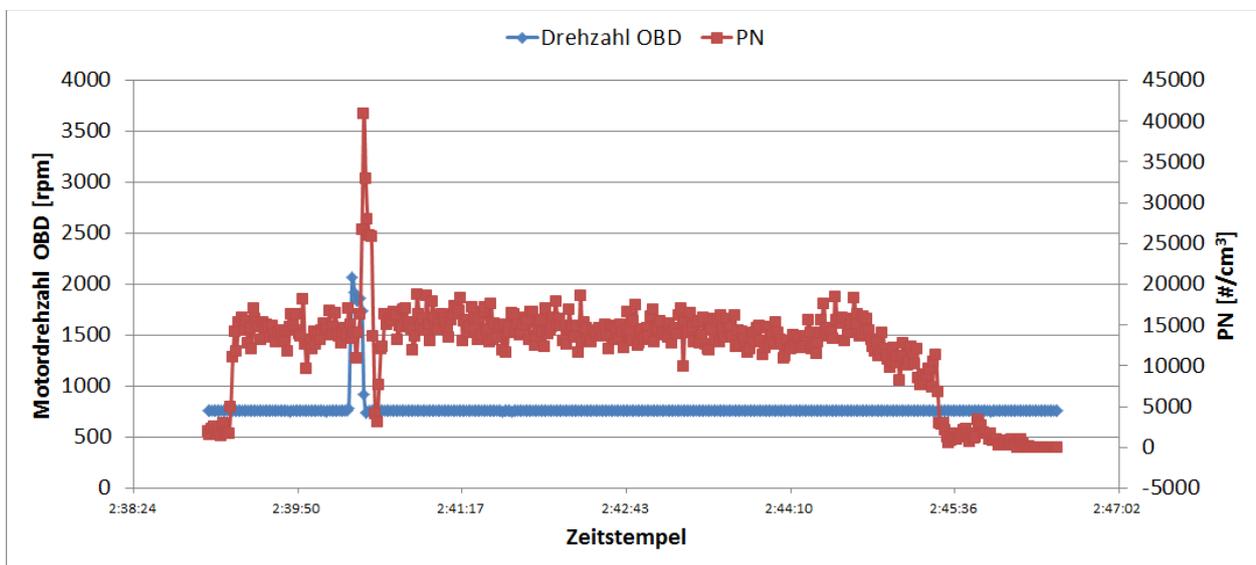


Abbildung 4-8

**Verlauf 3:** Verlauf 3 bezeichnet einen Verlauf, bei dem die PN-Werte nach der Drehzahlanhebung geringer sind als vor der Drehzahlanhebung. Abbildung 4-7 zeigt ein Modell des Verlaufes und Abbildung 4-8 eine Messung, die diesen Verlauf aufweist (ML157). Solch ein Verlauf ist sehr selten und nur bei hohen PN-Werten zu beobachten.

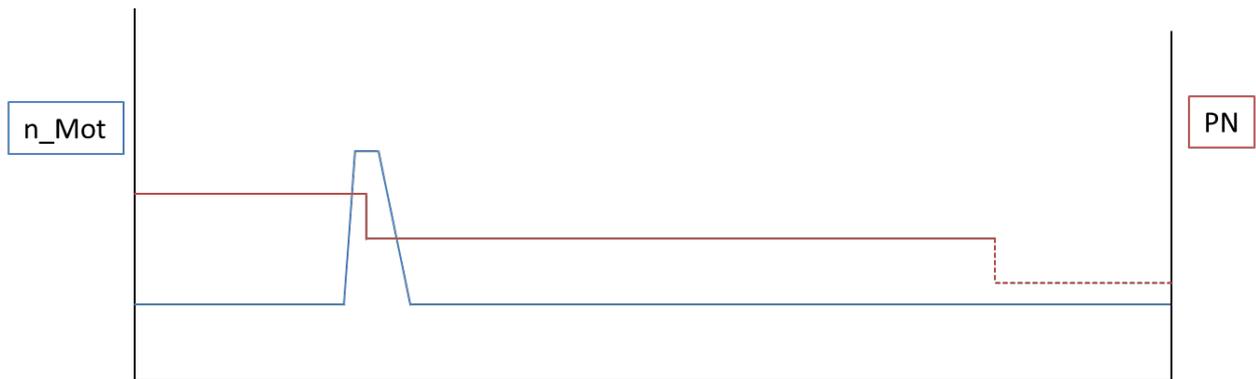


Abbildung 4-9

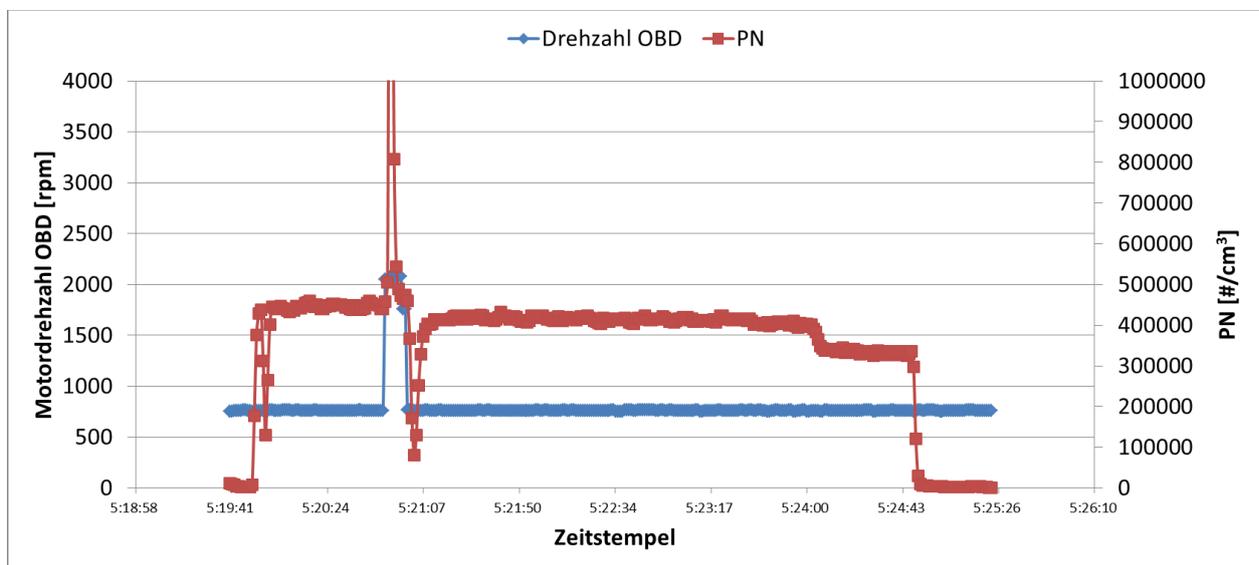


Abbildung 4-10

**Ohne charakteristischen Verlauf:** Es sind auch PN-Verläufe gemessen worden, die keinem direkten Verlauf zugeordnet werden konnten. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 4-11 zu sehen (ML036). Der gleiche Fahrzeugtyp wurde in dieser Studie zwei weitere Male vermessen, bei denen der Verlauf jeweils konstant gemessen wurde.

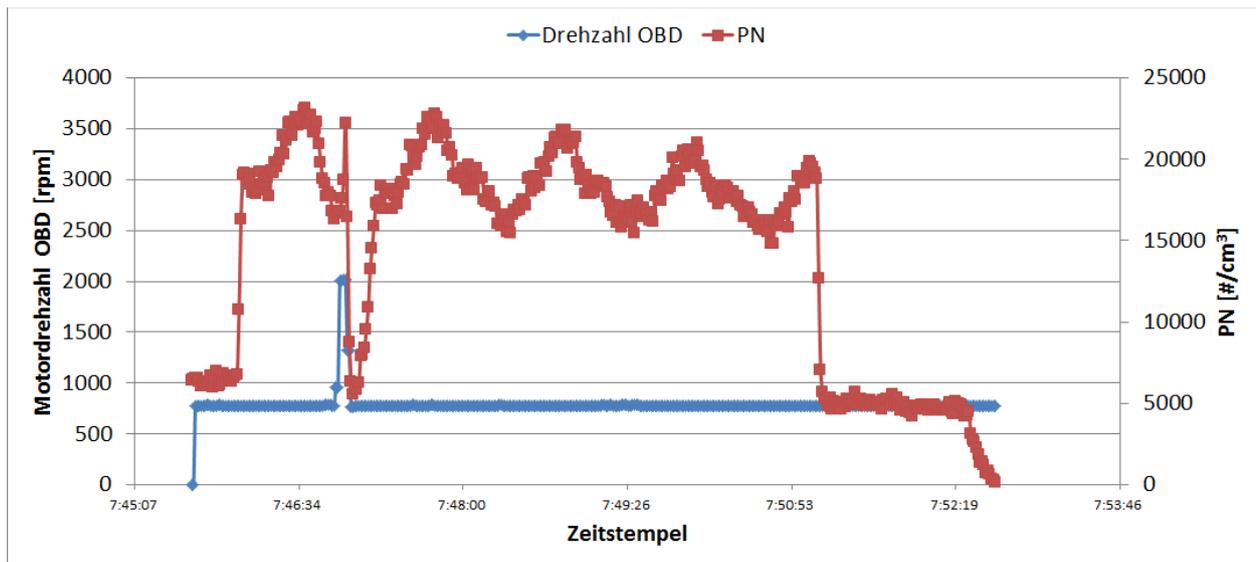


Abbildung 4-11

**Übersicht der Verläufe:** In Tabelle 4-1 ist dargestellt, wie oft die beschriebenen Verläufe gemessen worden sind. In die Statistik gehen nur die Messung mit dem TSI-Gerät ein, da zu diesen Messungen alle PN-Verläufe vollständig ausgegeben wurden. Zudem konnte mit dem Testo Gerät keine Differenzierung des Verlaufs 0 stattfinden, da der untere Messbereich dieses Gerätes bei 12.000 #/cm<sup>3</sup> liegt.

Der Verlauf 0 ist der am häufigsten gemessenen Fall mit 74,1 % der 329 gemessenen PKW mit dem TSI Gerät. Dies bedeutet, dass ca. 75 % der vermessenen Fahrzeuge PN-Emissionen aufweisen, welche unterhalb des Messbereichs des TSI Gerätes, nahe Null liegen. Diese PN-Emissionen liegen somit auch unterhalb derer in der Umgebungsluft von ca. 1.000 – 10.000 #/cm<sup>3</sup>.

Für eine differenziertere Analyse konnten nur die Verläufe 1, 2 und 3 herangezogen werden, weil nur bei diesen Verläufen relevante PN-Anzahlen zu sehen sind. Bezogen auf die 329 TSI-Messungen war bei 8,5 % (28 PKW) der Fall, dass sich das PN-Niveau nicht änderte und somit kein „Taximode“ zu erkennen war (Verlauf 2). Bei 4,3 % (14 PKW) wurde der „Taximode“ durch eine sprunghafte Anhebung der PN-Emissionen erkannt. Ein schließendes AGR-Ventil wurde bei insgesamt 16 Fahrzeugen erkannt. Geringere PN-Emissionen nach der Drehzahlanhebung (Verlauf 3) wurden bei lediglich zwei Fahrzeugen identifiziert.

Auffällige Fahrzeuge wurden mit Verlauf 1, Verlauf 2 und Verlauf 3 gemessen. Ebenso wurde bei auffälligen Fahrzeugen zum Teil eine AGR-Schließung beobachtet. Es kann anhand der Verlaufskategorie nicht die Höhe der PN-Emission abgeleitet werden. Eine Ausnahme bildet der Verlauf\_0 mit einem PN-Wert < 1000 #/cm<sup>3</sup>.

PN Verlauf	Messungen mit Verlauf	Messungen mit TSI Gerät	Anzahl in %
Verlauf 0	244	329	74,1 %
Verlauf 1	14	329	4,3 %
Verlauf 2	28	329	8,5 %
Verlauf 3	2	329	0,6 %
AGR-Ventil schließt	16	329	4,9 %

Tabelle 4-1

Bei den LKW zeichnete sich bei der Verteilung ein ähnliches Bild ab. Auch hier weisen ca. 75 % einen Verlauf\_0 auf (vgl. Tabelle 4-2).

PN Verlauf	Messungen mit Verlauf	Messungen mit TSI Gerät	Anzahl in %
Verlauf 0	33	42	78,6 %
Verlauf 1	1	42	2,4 %
Verlauf 2	7	42	16,7 %
Verlauf 3	0	42	0 %
AGR-Ventil schließt	1	42	2,4 %

Tabelle 4-2

## 4.2. Dynamik des PN-Wert über der Zeit

Neben der Charakterisierung des PN-Niveaus kann auch die Dynamik des PN-Wertes während der Messzeit klassiert werden in konstant, abfallend und ansteigend.

**Konstant:** Bei konstanten Messwerten liegt der PN-Mittelwert die ganze Messzeit über auf einem annähernd gleichen Niveau. In Kapitel 4.1 zeigt Abbildung 4-8 eine Messung, die diesen Verlauf aufweist (ML216).

**Abfallend:** Abbildung 4-12 zeigt eine Messung, welche einen abfallenden Verlauf aufweist (ML244). An dem Punkt, an dem das Drehzahl signal Null ausgibt, ist die Messzeit von 180 Sekunden vorüber. Dort wurde der OBD-Dongle von dem OBD-Stecker getrennt. Parallel wurde die Messsonde aus dem Endrohr entfernt. Es ist zu erkennen wie der PN-Wert in der Umgebungsluft auf ca. 2.000  $\#/cm^3$  steigt.

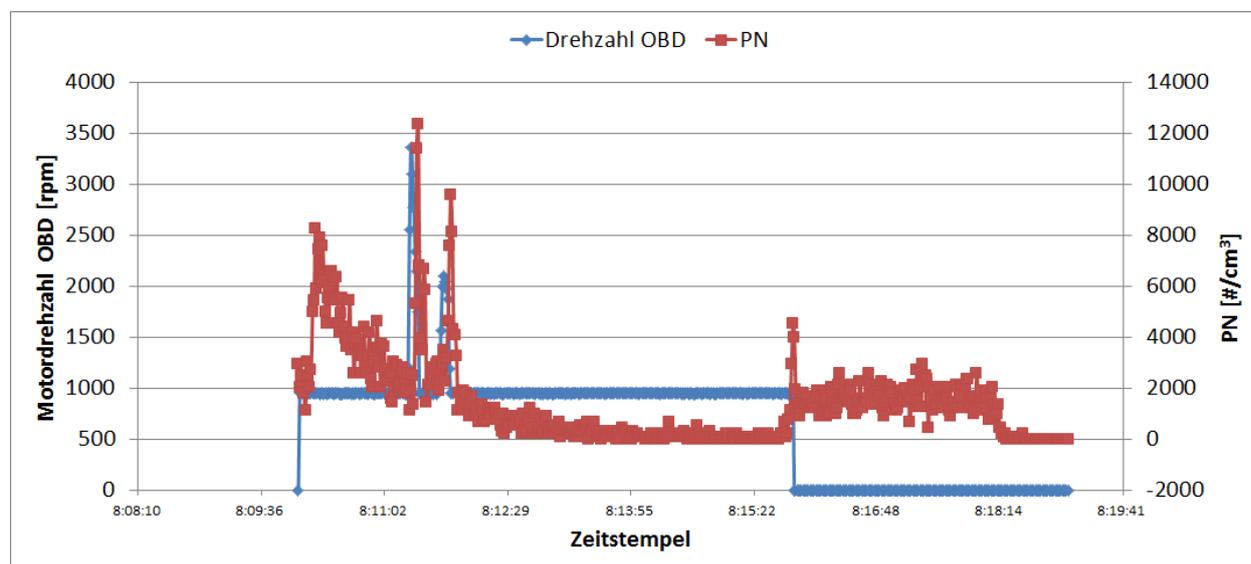


Abbildung 4-12

**Ansteigend:** Abbildung 4-13 zeigt eine Messung welche einen ansteigenden Verlauf aufweist (ML137). Diese Messung zeigt sehr hohe PN-Werte. In der Beispielmessung wurde die Messsonde erst nach der Drehzahlanhebung in das Endrohr eingeführt. Es ist deutlich der Zeitraum zu erkennen, in dem die Messsonde im Endrohr eingeführt war.

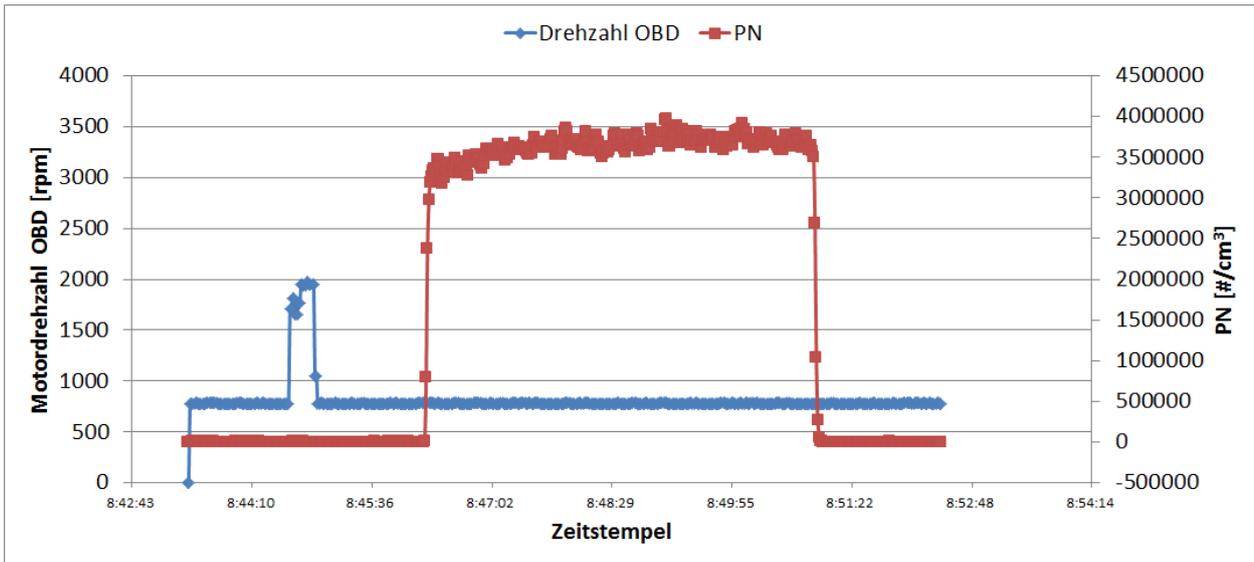


Abbildung 4-13

**Übersicht der Dynamik der Verläufe:**

Für die Bewertung der Dynamik konnten nur TSI-Messungen herangezogen werden, bei denen kein Verlauf\_0 gemessen wurde. Diese Kriterien wurden bei 82 Messungen erfüllt. In Tabelle 4-3 ist ersichtlich, dass der überwiegende Teil (62,2 %) der Messungen konstant verläuft. Bei 34,2 % der 82 bewertbaren Messungen ist der PN-Wert abfallend. Der Anteil der ansteigenden PN-Verläufe ist mit drei Messungen sehr gering.

Auffällige Fahrzeuge wurden mit konstantem, abfallendem und ansteigendem PN-Verlauf gemessen.

PN Verlauf	Messungen mit Verlauf	Messungen die für den Verlauf Bewertet werden konnten	Anzahl in % (bez. auf die bewertbare Anzahl )	Bemerkung
Konstant	51	82	62,2 %	Bewertung bei 82 TSI-Messungen möglich bei denen kein Verlauf-0 vorliegt
Abfallend	28	82	34,2 %	
Ansteigend	3	82	3,7 %	

Tabelle 4-3

Bei den LKW-Messungen wurden fünf abfallende Verläufe erkannt (vgl. Tabelle 4-4). Hier ist die bewertbare Anzahl der Messungen mit 9 LKW sehr gering.

PN Verlauf	Messungen mit Verlauf	Messungen die für den Verlauf Bewertet werden konnten	Anzahl in % (bez. auf die bewertbare Anzahl )	Bemerkung
Konstant	1	9	11,1 %	Bewertung bei 9 TSI-LKW-Messungen möglich bei denen
Abfallend	5	9	55,5 %	

Ansteigend	0	9	0 %	kein Verlauf-0 vorliegt
------------	---	---	-----	-------------------------

Tabelle 4-4

### 4.3. Auswertezeiten

Die in Kapitel 2.1 dargestellte Messprozedur sieht eine Messzeit von 180 Sekunden vor. Tabelle 4-3 in Kapitel 4.2 zeigt, dass der überwiegende Teil der Messungen einen konstanten PN-Verlauf aufweist. Daher wird eine Verkürzung der Messzeit untersucht. Tabelle 4-5 zeigt zum Vergleich die Klassierung der PN-Werte bei einer Mittelwertbildung über 45 Sekunden bzw. 30 Sekunden. Die 15 Sekunden zeigen Werte für einen möglichen „Fast Pass“, der weiter unten behandelt wird.

Die Auswertung dieser Tabelle zeigt, dass bei einer verkürzten Messzeit, über welcher der PN-Mittelwert gebildet wird, Messergebnisse in denselben PN-Klassen erzielt werden.

Lediglich zwei Messungen liefen aufgrund eines dynamischen PN-Verlaufes im Bereich der Klassierungsgrenzen 100.000 #/cm<sup>3</sup> und 250.000 #/cm<sup>3</sup> in eine andere PN-Klasse über. Die Anzahl der als auffällig eingestuften Fahrzeuge lag bei allen Auswertezeiten von 45 – 180 Sekunden bei 14 PKW.

PN-Klasse	Mittelw. 180 s (Anzahl der PKW)	Mittelw. 90 s (Anzahl der PKW)	Mittelw. 45 s (Anzahl der PKW)	Mittelw. 15 s (Anzahl der PKW) (Fast Pass)
Auffälligkeitsquote	3,4 %	3,4 %	3,4 %	2,9 %
> 250.000 PN/cm <sup>3</sup>	10	11	11	11
100.000 bis 250.000 PN/cm <sup>3</sup>	4	3	3	1
50.000. bis 100.000 PN/cm <sup>3</sup>	7	9	9	10
< 50.000 PN/cm <sup>3</sup>	387	385	385	386
< 20.000 PN/cm <sup>3</sup>	373	375	376	375
< 10.000 PN/cm <sup>3</sup>	364	364	364	365
Gesamt Messungen (Die verkürzte Auswertung konnte bei 408 Messungen angewendet werden)	408	408	408	408

Tabelle 4-5

Es ist zu erkennen, dass je länger die Messzeit ist, die Fahrzeuge in eine geringere PN-Klasse fallen. Dies liegt an dem PN-Verlauf über der Zeit, welcher in 28 von 82 auswertbaren Fällen abfallend ist (vgl. Kapitel 4.2.)

Auf eine Auswertung der LKW-Messungen wurde bzgl. der Auswertezeit verzichtet, da alle LKW unter 20.000 #/cm<sup>3</sup> lagen, davon über 90 % unter 10.000 #/cm<sup>3</sup>.

#### Fast Pass:

Alle 386 PKW, die in den ersten 15 Sekunden einen Wert von unter 50.000 #/cm<sup>3</sup> aufwiesen, lagen auch in den Auswertungen über 45, 90 und 180 Sekunden unter 50.000 #/cm<sup>3</sup>. Diese Erkenntnis spricht für einen „Fast Pass“. Wenn in den ersten 15 Sekunden der Messung ein Wert von unter 50.000 #/cm<sup>3</sup> gemessen wird, kann davon ausgegangen werden, dass der Wert nicht mehr auf über 100.000 #/cm<sup>3</sup> ansteigt und das Fahrzeug somit unauffällig ist.

Alle auffälligen Fahrzeuge wiesen bereits in den ersten 15 Sekunden Werte von über 50.000 #/cm<sup>3</sup> auf (siehe Tabelle 4-6 - Die Ausnahme bei „Fahrzeug Nr. 14“ ist auf den Fehler des „unerwarteten Null-Resets“ im Testo-Messgerät zurückzuführen. Dieser Fehler wird in Kapitel 4.5 beschrieben und die Messung von „Fzg. Nr. 14“ dort in Abbildung 4-24 dargestellt.)

Die in Tabelle 4-6 rot hinterlegten Fahrzeuge weisen einen Wert über 250.000  $\#/cm^3$  auf. Bei „Fahrzeug 13“ liegt die Messung vor, in welcher der PN-Mittelwert nur bei einer Auswertung über 180 Sekunden auf unter 250.000  $\#/cm^3$  fällt.

Fahrzeug	Mittelw. 180 s [ $\#/cm^3$ ]	Mittelw. 90 s [ $\#/cm^3$ ]	Mittelw. 45 s [ $\#/cm^3$ ]	Mittelw. 15 s (Fast Pass) [ $\#/cm^3$ ]
1	443.898 $\#/cm^3$	487.576 $\#/cm^3$	485.950 $\#/cm^3$	480.147 $\#/cm^3$
2	3.345.529 $\#/cm^3$	3.377.353 $\#/cm^3$	3.445.288 $\#/cm^3$	3.484.234 $\#/cm^3$
3	252.360 $\#/cm^3$	255.705 $\#/cm^3$	259.058 $\#/cm^3$	261.569 $\#/cm^3$
4	2.054.618 $\#/cm^3$	2.154.746 $\#/cm^3$	2.180.464 $\#/cm^3$	2.189.036 $\#/cm^3$
5	642.654 $\#/cm^3$	659.904 $\#/cm^3$	670.206 $\#/cm^3$	674.883 $\#/cm^3$
6	103.962 $\#/cm^3$	101.126 $\#/cm^3$	99.429 $\#/cm^3$	96.833 $\#/cm^3$
7	382.990 $\#/cm^3$	390.482 $\#/cm^3$	392.212 $\#/cm^3$	391.451 $\#/cm^3$
8	3.627.996 $\#/cm^3$	3.563.545 $\#/cm^3$	3.481.857 $\#/cm^3$	3.389.082 $\#/cm^3$
9	400.476 $\#/cm^3$	415.076 $\#/cm^3$	416.421 $\#/cm^3$	418.375 $\#/cm^3$
10	148.122 $\#/cm^3$	156.000 $\#/cm^3$	158.965 $\#/cm^3$	159.395 $\#/cm^3$
11	9.391.898 $\#/cm^3$	10.486.184 $\#/cm^3$	10.567.208 $\#/cm^3$	10.518.128 $\#/cm^3$
12	359.109 $\#/cm^3$	366.100 $\#/cm^3$	366.468 $\#/cm^3$	362.876 $\#/cm^3$
13	243.000 $\#/cm^3$	250.111 $\#/cm^3$	257.555 $\#/cm^3$	259.333 $\#/cm^3$
14	177.502 $\#/cm^3$	170.227 $\#/cm^3$	144.898 $\#/cm^3$	30 $\#/cm^3$

Tabelle 4-6

Eine Messzeit zur Mittelwertbildung von drei mal 15 Sekunden und somit 45 Sekunden insgesamt reicht aus, um eine Bewertung der PN-Emissionen erhalten zu können. Es wird ein „Fast Pass“ nach 15 Sekunden empfohlen, wenn der PN-Wert bis dahin unter 50.000  $\#/cm^3$  liegt.

#### 4.4. LKW-Messungen

Die 42 LKW Messungen beim TÜV NORD verliefen problemlos. Überschreitungen im Leerlauf waren bei keinem LKW feststellbar. Bei zwei LKW traten während der Drehzahlanhebung stark erhöhte Partikelwerte von 400.000  $\#/cm^3$  und 180.000  $\#/cm^3$  auf, in der anschließenden Leerlaufphase waren die Fahrzeuge nicht auffällig (17.000  $\#/cm^3$  bzw. 13.000  $\#/cm^3$ ) (vgl. Abbildung 4-14 - ML\_2).

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, konnten bei den LKW-Messungen teilweise zusätzliche Informationen aus dem OBD-System ausgelesen werden. So ist in Abbildung 4-14 zusätzlich zu der Drehzahl und dem PN-Wert die Stellung des AGR-Ventils mit aufgetragen. Es ist dort zu erkennen, dass das AGR-Ventil während der Drehzahlanhebung schließt. Das Signal des AGR-Ventil wird erst nach ca. 140 Sekunden erkannt, deshalb wird bis dahin der Wert 0 ausgegeben.

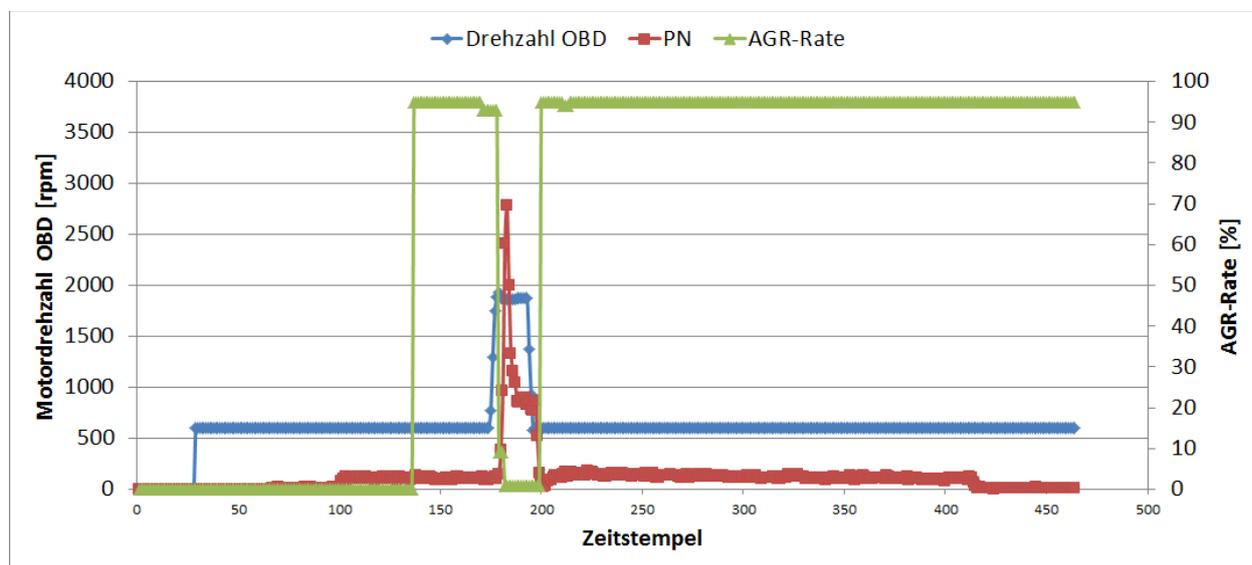


Abbildung 4-14

Bei den 10 Messungen, welche die DEKRA in gleicher Weise durchgeführt hat wie der TÜV NORD, hat die Auswertung der aufgezeichneten Daten ergeben, dass ein hoher Prozentanteil der Messwerte den Fehler „Height Pulse“ aufweist (bis zu 30 % der Messwerte in einer Messreihe), sodass diese Werte aufgrund der starken Schwankungen (Peaks zwischen einigen 100 und 400.000) nicht herangezogen werden konnten. Diese Peaks des TSI NPET werden in Kapitel 4.5 näher erläutert.

Die Messwerte des parallel messenden AVL DiTEST Gerätes lagen bei den Messungen des TÜV NORD um Faktor 2 bis 3 über den Messwerten des TSI NPET. Aufgrund eines Programmierfehlers waren die Kalibrierparameter nicht korrekt eingestellt.

Bei den 10 LKW-Messungen, welche bei der DEKRA durchgeführt wurden und die Messwerte des AVL-Gerätes herangezogen werden mussten, war bereits ein angepasstes Kalibrier-Setup implementiert. Damit sind die PN-Messergebnisse beider Geräte vergleichbar, wie die im Anschluss durchgeführten Vergleichsmessungen in Abbildung 4-15 zeigen.

Die Messwerte aus dem AVL Gerät sind plausibel, die PN-Werte liegen bei allen 10 Messungen im Bereich 100 bis max. 15.000 #/cm<sup>3</sup>, sodass für diese 10 Fahrzeuge die Messwerte des AVL Gerätes herangezogen wurden.

Messgerät	Anzahl LKW	Anzahl auffällige LKW (PN > 100.000 #/cm <sup>3</sup> )
TSI	42	0
AVL	10	0
Gesamt	52	0

Tabelle 4-7

## Mittelwerte AVL vs. TSI

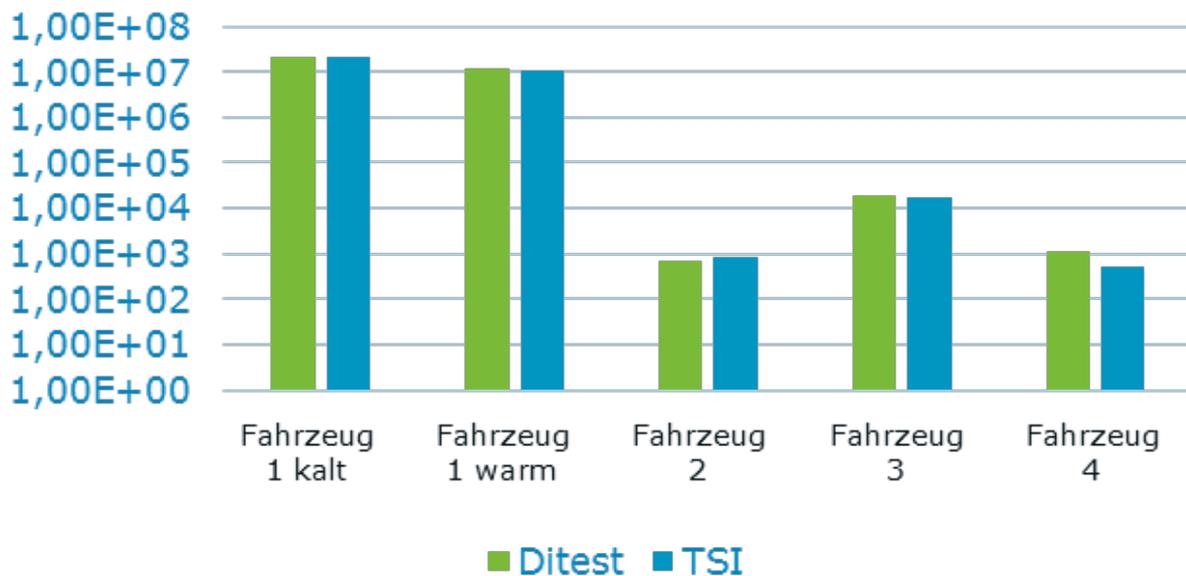


Abbildung 4-15

### 4.5. Messgeräte

Aufgrund von drei verfügbaren TSI Messgeräten und einem verfügbaren Testo-Gerät ist die Anzahl der Messungen mit den Gerätetypen entsprechend inhomogen (siehe Tabelle 4-8).

Messgerät	Anzahl PKW	Anzahl auffällige PKW (PN > 100.000 #/cm <sup>3</sup> )
TSI	329	12
Testo	92	2
Gesamt	421	14

Tabelle 4-8

#### 4.5.1. TSI-NPET

Der PN-Verlauf der Messungen des TSI-Gerätes ist in den meisten Fällen plausibel und lässt eine Auswertung des PN-Emissionsverlaufes zu. Daher konnten diese Messungen zur Analyse der Dynamik und des grundsätzlichen Verlaufes in Kapitel 4 gut herangezogen werden. Es gab in unregelmäßigen Abständen in den PN-Verläufen deutliche Peaks an allen drei verwendeten TSI NPET Geräten. Abbildung 4-16 zeigt ein Modell des Verlaufes mit Peaks und Abbildung 4-17 eine Messung die diese Peaks aufweist (ML326). Diese Peaks traten bei 26,1 % der PKW-Messungen mit dem TSI Gerät auf (vgl. Tabelle 4-9).

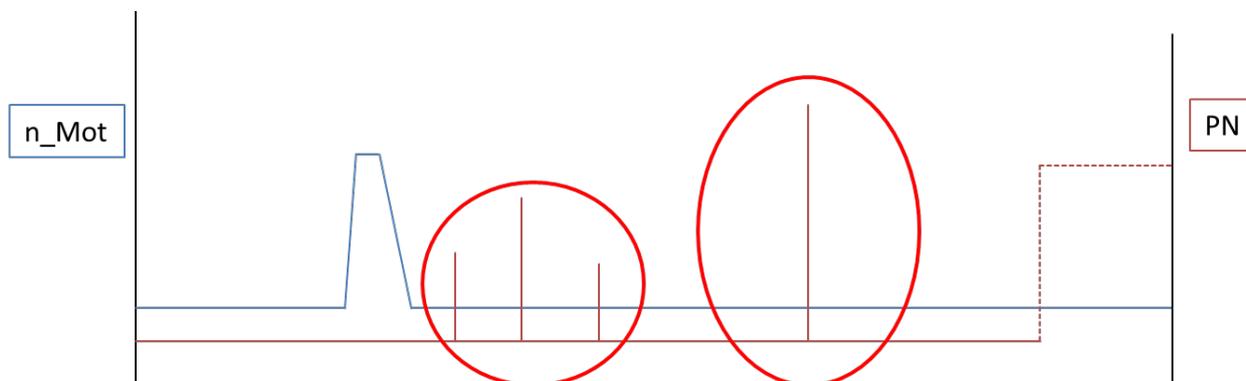


Abbildung 4-16

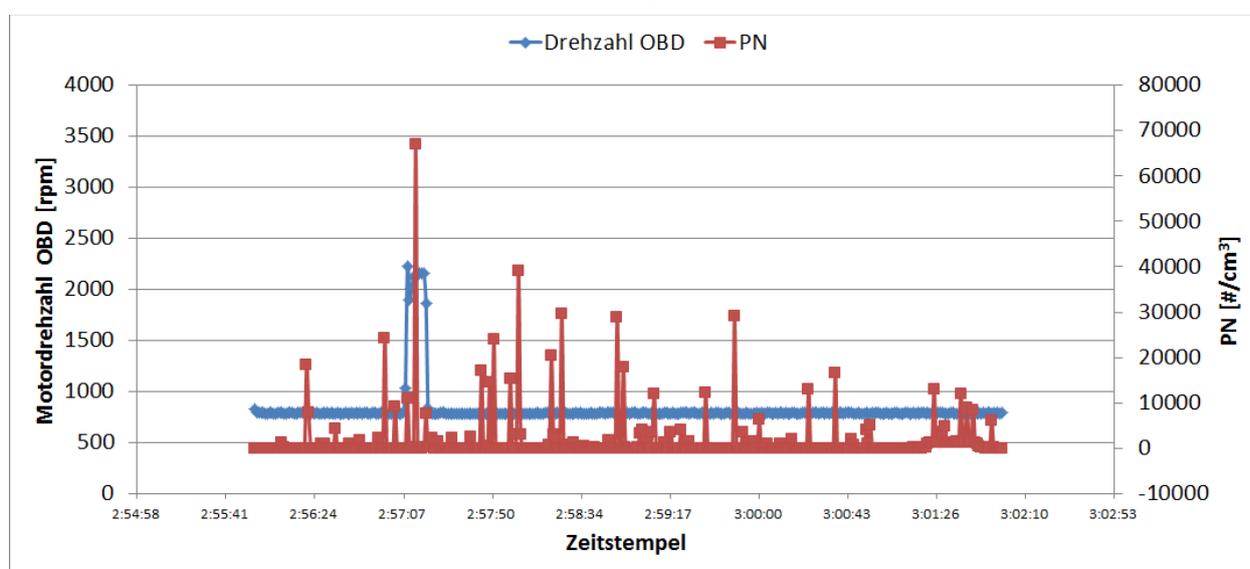


Abbildung 4-17

PKW-Messungen mit Peaks	PKW-Messungen mit TSI Gerät	Anzahl in %
86	329	26,1 %

Tabelle 4-9

Es gibt folgende Hinweise, dass diese Peaks nicht tatsächliche Messwerte sind, sondern durch einen Fehler des Gerätes hervorgerufen werden.

- Das Gerät gibt bei jedem Peak den Fehler „256 – Pulse Height – Impulshöhenfehler“ in der log-Datei aus (siehe Abbildung 4-18).
- Die Peaks treten auch bei Messungen zum Nullabgleich mit HEPA-Filter auf.
- Diese Peaks treten überwiegend bei geringen PN-Werten auf
- Werden die Peaks herausgefiltert ergibt sich ein charakteristischer Verlauf der Kategorie „Verlauf\_0“.

Error Integer	Total Concentration	Dil
0	0	
0	0	
0	29031,8	
256	0	
0	13	
0	0	
0	3542,2	
256	0	
0	0	
0	1076,8	
256	0	
0	1525,3	
256	0	
0	0	
0	6304,7	
256	12,6	
0	0	
0	0	
256	920,2	
0	0	

Abbildung 4-18

Die auftretenden Peaks können auch einzeln auftreten und sehr hoch ausfallen (siehe Abbildung 4-19 ML175). Zur Abhilfe des Impulshöhenfehlers rät der Hersteller zu einem Austausch oder einem erneuten Tränken des Doctes mit Isopropanol. Diese Schritte brachten keine direkt nachvollziehbare Verbesserung, jedoch konnte das Gerät häufig am folgenden Tag wieder ohne Fehler betrieben werden.

Die Klassierung der PN-Werte wurde bei den PKW-Messungen dadurch nicht beeinträchtigt. Da die Peaks einzelne erhöhte Werte sind, ist die Auswirkung auf den Gesamtmittelwert gering. Da die Werte überwiegend bei einem Verlauf\_0 auftraten, sind die auffälligen Messungen von diesen Peaks nicht betroffen.

Bei den letzten 10 LKW-Messungen traten diese Peaks allerdings derart häufig auf, dass diese Messwerte nicht für die Auswertung herangezogen werden konnten.

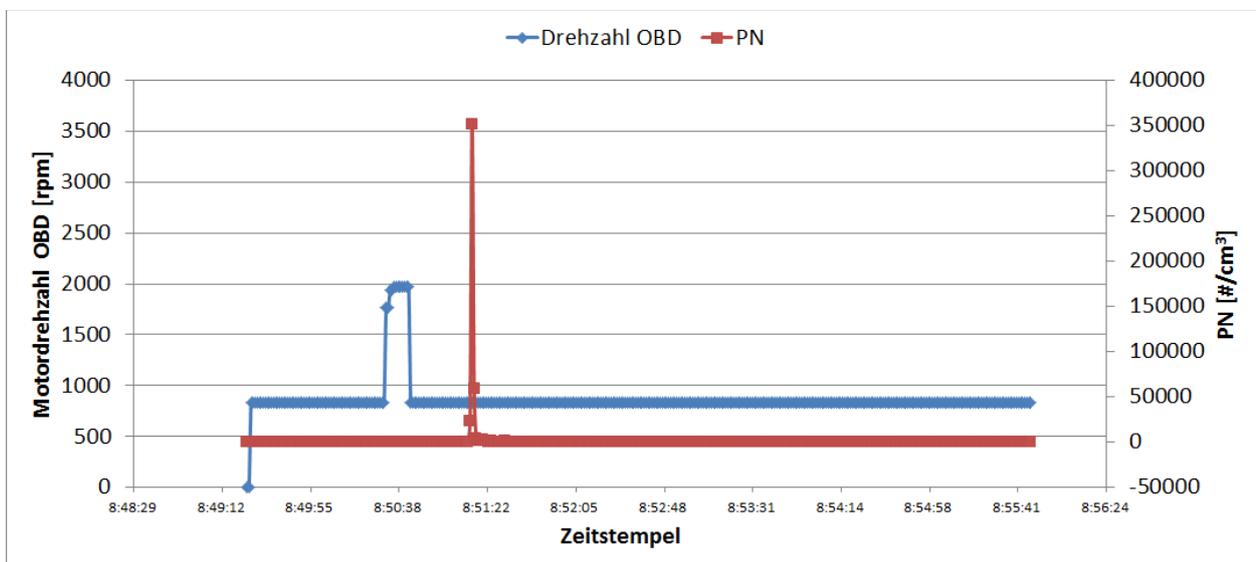


Abbildung 4-19

#### 4.5.2 Testo-NanoMet3

Der untere Messbereich des Testo-Gerätes liegt bei  $12.000 \text{ #/cm}^3$ . In Messungen, in denen die PN-Emissionen des Fahrzeuges nahe Null liegen, sind die Messverläufe daher weniger aussagekräftig als

bei Messungen mit Fahrzeugen, welche PN-Emissionen aufweisen, die im Messbereich des Messgerätes liegen. Dennoch kann bei diesen Messungen die Aussage getroffen werden, dass sich der PN-Wert sehr deutlich unter  $100.000 \text{ \#/cm}^3$  befindet und somit als unauffällig gilt.

Eine Messung der Umgebungsluft und mit HEPA-Filter wurde zum Test des Gerätes durchgeführt, da das Gerät auch Werte  $< 12.000 \text{ \#/cm}^3$  anzeigebare kann.

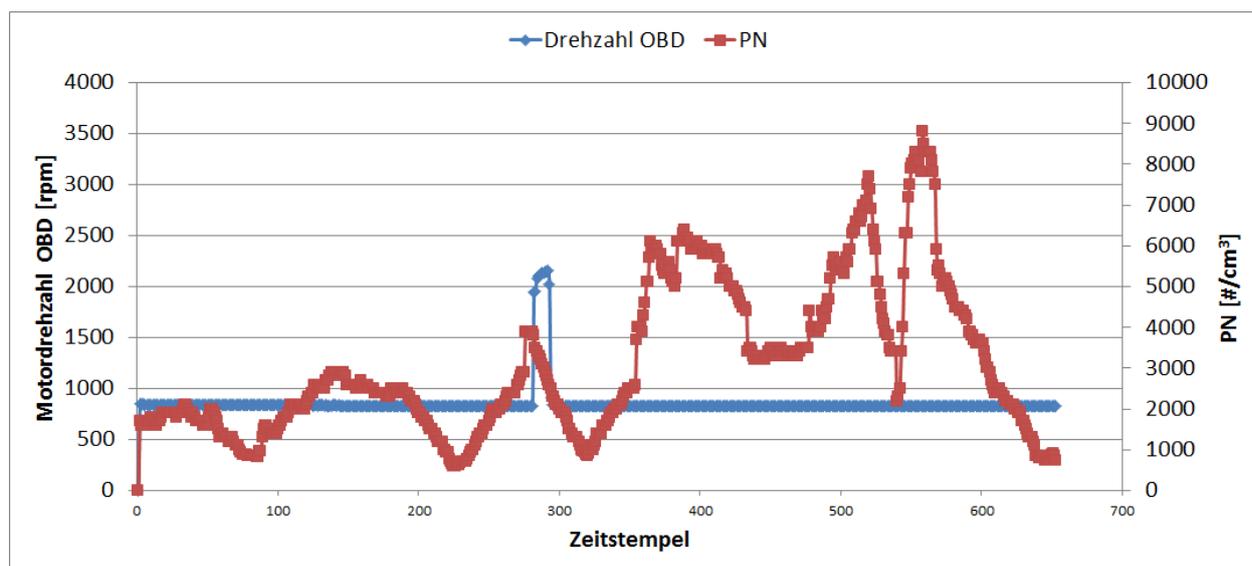


Abbildung 4-20

Ein weiterer auffälliger Punkt war die Trägheit des Gerätes. Als Beispiel kann hier der Wechsel von HEPA-Messung in die Umgebungsluftmessung genommen werden (s. Abbildung 4-21). Nachdem der HEPA-Filter entfernt wurde, betrug hier die Zeit bis zur Messung realer PN-Werte der Umgebungsluft fast 20 s. Weiter wurde festgestellt, dass diese Zeitdauer je nach Umgebungstemperatur und Abgastemperatur unterschiedlich lang ist. Dieser Effekt tritt natürlich auch beim Einführen bzw. Entfernen der Sonde in das Endrohr auf. Es sollte hier seitens des Herstellers zwingend nachgearbeitet werden, um nicht falsche Messwerte zu erhalten bzw. um auch die gesamte Messzeit zu verkürzen.

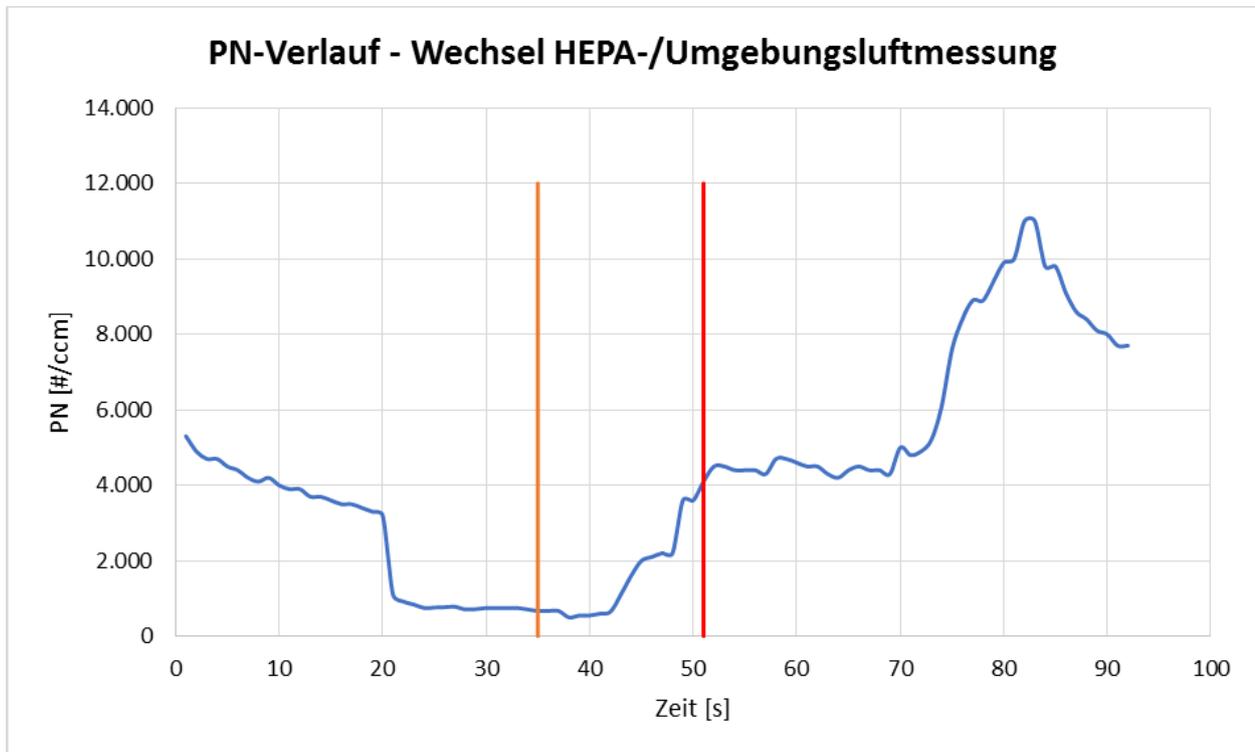


Abbildung 4-21

Unübersehbar waren auch die sporadisch vorkommenden PN-Peaks während der Messung. Diese traten völlig unerwartet und unvermittelt auf (s. Abbildung 4-22) und erreichten meistens Werte im  $10^7$ -Bereich. Ein eindeutiger Grund für diese Sprünge konnte nicht ermittelt werden, auch der Gerätehersteller konnte bisher keine Erklärung dafür finden. Was noch erschwerend hinzukam, war die Trägheit des Gerätes, welche die Peaks erst langsam wieder glättete (s. Abbildung 4-23). Dieser Mangel ist für eine zukünftige Abgasuntersuchung nicht akzeptabel, da die Prüfungsergebnisse verfälscht würden.

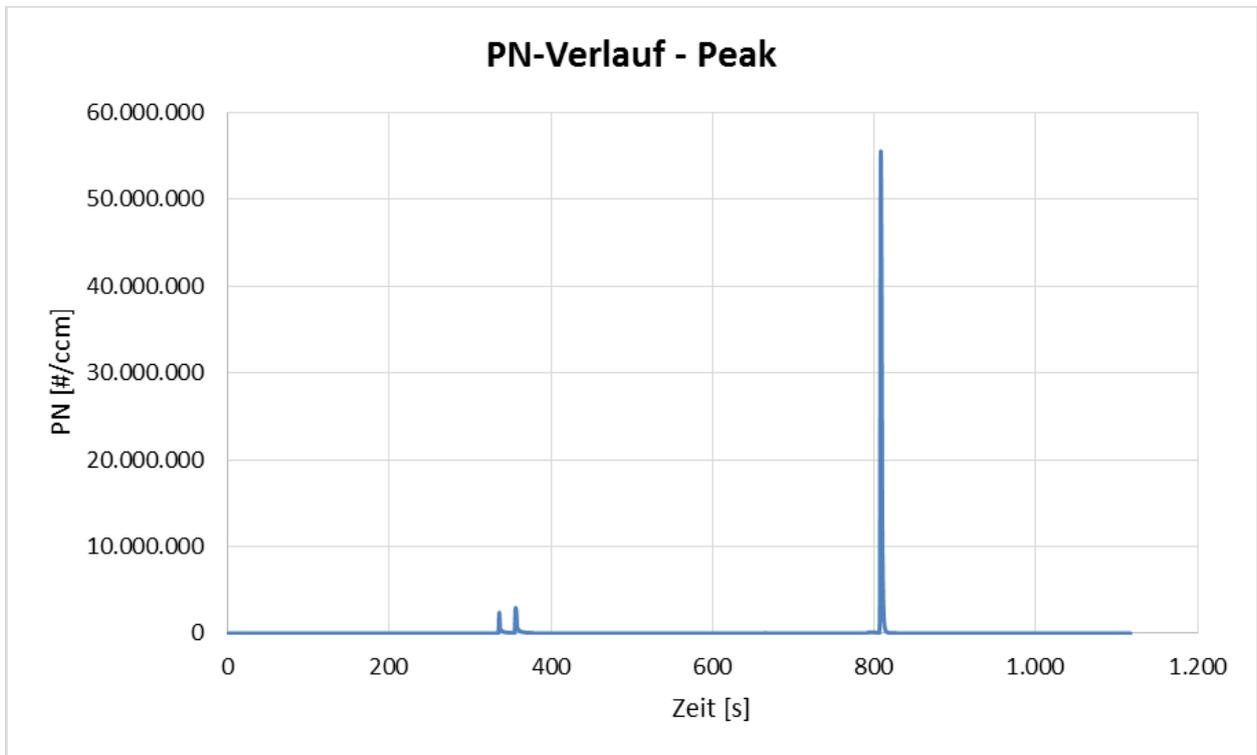


Abbildung 4-22

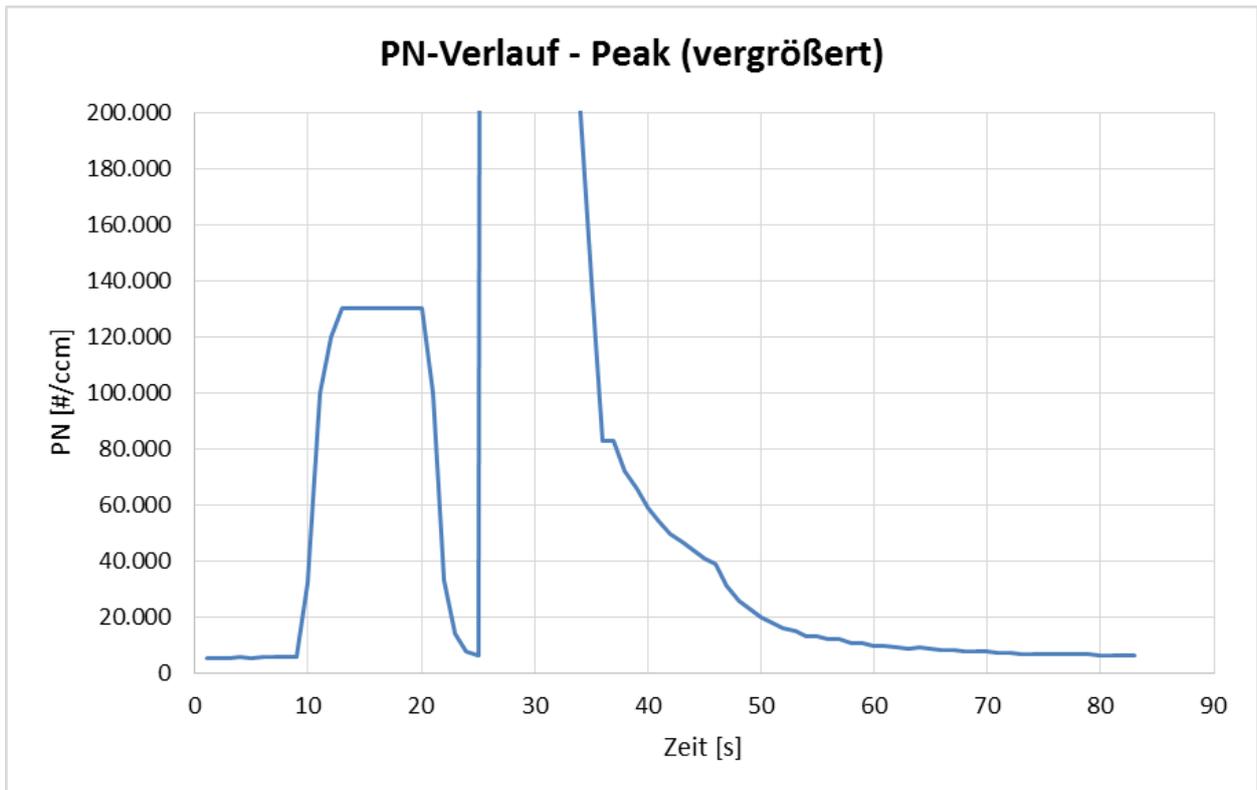


Abbildung 4-23

Eine letzte erwähnenswerte Auffälligkeit waren unerwartete „Null-Resets“ bei den PN-Werten. Diese traten immer während der 30s-Stabilisierungsphase nach der erhöhten Drehzahl auf. Dieser Reset kann, wie in Abbildung 4-24 zu sehen, sogar bis in die Hauptmessung hineinreichen, welche einen Teil der Er-

gebnisse verfälschen würde. Auch hierfür konnte kein logischer Grund gefunden werden. Unter Umständen wird während dieser Stabilisierungsphase automatisch im Hintergrund ein Null Abgleich durch die Software durchgeführt.

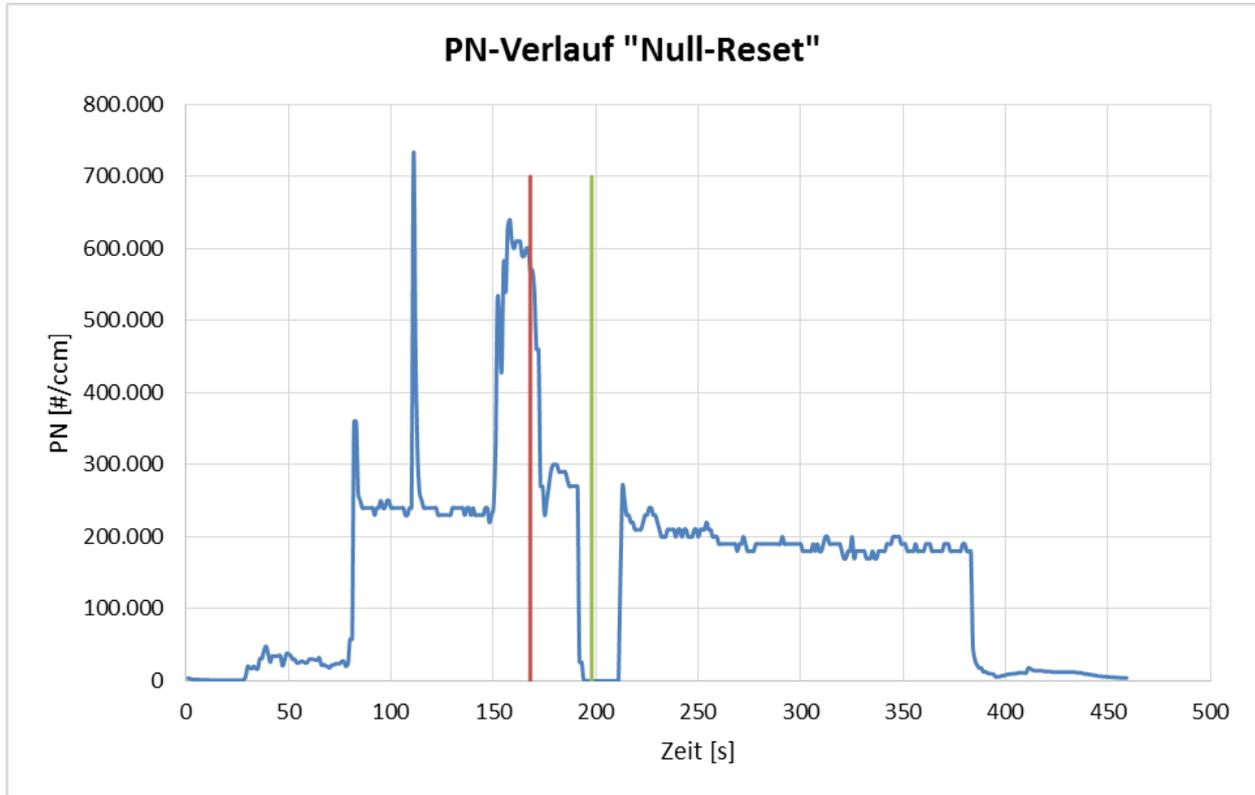


Abbildung 4-24

#### 4.6. Regeneration des Partikelfilters

Bei zunehmender Beladung des Partikelfilters mit Ruß bildet sich auch auf den Oberflächen der Kanalwände eine Rußschicht (Filterkuchen), welche zunächst eine sehr effiziente Oberflächenfilterung für die folgende Betriebsphase bewirkt.

Durch die anwachsende Rußbeladung des Filters steigt der Abgasgedruck stetig an. Wird der stetig überwachte Differenzdruck vor und nach dem Partikelfilter zu groß, muss eine Regenerierung des Filters eingeleitet werden. Die Regenerierung erfolgt durch Abbrennen des gesammelten Rußes im Filter und dauert ca. 10 bis 15 Minuten. Der Kohlenstoffanteil der Partikel kann mit dem im Abgas stets vorhandenen Sauerstoff oberhalb von ca. 600 °C zu CO<sub>2</sub> oxidiert werden. Mit NO<sub>2</sub> als Oxidationsmittel kann Ruß bereits bei 250 °C bis 450 °C oxidiert werden (Continuously Regenerating Trap - CRT).

Zur Einleitung einer aktiven Regeneration werden motorische Maßnahmen ergriffen, um das notwendige Temperaturniveau zum Rußabbrand einzustellen. Zur Erhöhung der Abgastemperatur sind die frühe und späte Nacheinspritzung sowie die Spätverschiebung der Haupteinspritzung zu nennen. Die Abgasrückführung wird während der Regenerationsphase abgeschaltet, um eine höhere Abgastemperatur zu erreichen.

Dass eine Regeneration während der Leerlaufphase eingeleitet wird, ist nahezu ausgeschlossen, da im Leerlauf nicht die zur Regeneration benötigten Abgastemperaturen erreicht werden können. Es gab innerhalb der Messungen dieser Studie keine Auffälligkeiten, die auf eine Regeneration deuten.

## 5. Empfehlungen und Fazit

### 5.1. Konditionierung

Vor Beginn der Messung muss sichergestellt werden, dass der Motor des Fahrzeuges auf Betriebstemperatur ist. Es wird eine Vorgabe der Motorkonditionierung nach Herstellerangabe vorgeschlagen. Bei Fahrzeugen ohne Herstellervorgabe wird eine Kühlmitteltemperatur von mindestens 70°C empfohlen. Durch die 70°C Kühlmitteltemperatur können Kaltstarteffekte, wie eine erhöhte Anzahl an volatilen Partikeln ausgeschlossen werden. Bei Fahrzeugen, die diese Temperatur im Leerlauf nicht halten können, wie z. T. die vermessenen LKW, kann bei der Herstellervorgabe entsprechend ein geringerer Wert als die 70°C Kühlmitteltemperatur verwendet werden.

In den Solldaten könnte ebenfalls eine Vorgabe für das Erreichen der 70°C angegeben werden. Im aktuellen Leitfaden gibt es bereits die Möglichkeit, dass in den Solldaten eine Anzahl von Gasstößen und eine Mindestdrehzahl angegeben werden. Diese Konditionierung wird dann vom Gerät überwacht. Alternativ könnte das Anfahren einer konstanten erhöhten Drehzahl angewendet werden.

### 5.2. Stabilisierungsphase

Die Stabilisierungsphase wird angewendet, damit sich das Fahrzeug und die Messtechnik in einem eingeschwungenen, definierten Zustand befinden (vgl. Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00).

Die Stabilisierungsphase ist in der Messprozedur dieser Monitoringstudie auf 60 Sekunden festgelegt worden. Damit konnte ein Unterschied der PN-Emissionen vor und nach der Drehzulanhebung ermittelt werden, um auf eine Regelung des AGR-Ventils schließen zu können.

In der Messprozedur der Abgasuntersuchung reichen für die Stabilisierung der Partikelmerkmale des stationären Leerlaufs 15 Sekunden aus. Das PN-Verhalten während der Stabilisierungsphase war weitestgehend ähnlich zu dem während der Messzeit. Bei der aktuellen Trübungsmessung sind während der AU ebenfalls 15 Sekunden Leerlaufverweilzeit zwischen den Gasstößen vorgeschrieben.

Darüber hinaus wird vor der „Funktionsprüfung Abgas“ die „Funktionsprüfung OBD-System“ durchgeführt. Während dieser Zeit sollte der Motor bereits im Leerlauf laufen. In dieser Zeit stabilisieren sich die Parameter des Motomanagement und somit der Motorleerlauf und dessen Partikelemissionen bereits.

Die 15 Sekunden sind dazu notwendig, um vor der Drehzulanhebung einen definierten Motorzustand vorzugeben. Während dieser Zeit kann die Leerlaufdrehzahl ermittelt werden. Die Messsonde muss vor der Stabilisierungsphase ins Endrohr eingeführt werden

### 5.3. Drehzulanhebung

Die Drehzulanhebung auf eine Drehzahl von 1000 min<sup>-1</sup> – 1500 min<sup>-1</sup> über der Leerlaufdrehzahl konnte bei den vermessenen Fahrzeugen durchgeführt werden. Ziel der Drehzulanhebung ist das Öffnen des AGR-Ventils bei ggf. appliziertem „Taximode“. Der sprunghafte Anstieg der PN-Werte nach der Drehzulanhebung wurde bei einigen Fahrzeugen nachgemessen.

Die obere Begrenzung von 1500 min<sup>-1</sup> kann entfallen, da diese aus technischer Sicht nicht zwingend erforderlich ist und somit der Ablauf nicht durch das Anfahren eines kleinen Drehzahlfensters von 500 min<sup>-1</sup> erschwert wird.

Der Drehzulanstieg sollte innerhalb von fünf Sekunden durchgeführt werden und die erhöhte Leerlaufdrehzahl für drei Sekunden gehalten werden. Wird die Drehzulanhebung fehlerhaft ausgeführt, beginnen die 15 Sekunden der Stabilisierungsphase erneut, bevor die nächste Drehzulanhebung durchgeführt werden kann. Damit wird der einheitliche Motorzustand vor der korrekt durchgeführten Drehzulanhebung sichergestellt.

## 5.4. Beruhigungsphase

Als Beruhigungsphase konnten 30 Sekunden bestätigt werden (vgl. Kapitel 2.1). Die Beruhigungsphase beginnt nach der erfolgreich durchgeführten Drehzahlanhebung.

Der Start der 30 Sekunden muss automatisch von der Software gestartet werden, nachdem im Anschluss an die Drehzahlanhebung die Leerlaufdrehzahl erreicht ist. Zudem muss von der Software überwacht werden, dass sich die Leerlaufdrehzahl nicht mehr ändert, um eine weitere Betätigung des Fahrpedals ausschließen zu können.

Für die Zulassung der PN- Messgeräte wird derzeit eine  $t_{95}$  Zeit von 15 Sekunden angestrebt. Das bedeutet, dass das Messgerät nach 15 Sekunden mindestens 95 % des tatsächlichen Wertes als Sprungantwort ausgibt. Bei dem DC-Messgerät wurde eine Trägheit des Messgerätes zum Teil von über 20 Sekunden festgestellt.

Um einen eingeschwungenen Zustand des Messgerätes sowie die charakteristischen Partikelmerkmale des stationären Leerlaufs zu gewährleisten, werden 30 Sekunden Beruhigungszeit nach der Drehzahlanhebung empfohlen.

## 5.5. Messzeit

Eine Messzeit zur Mittelwertbildung von drei mal 15 Sekunden und somit 45 Sekunden insgesamt reicht aus, um eine Bewertung der PN-Emissionen geben zu können. Es wird ein „Fast Pass“ nach 15 Sekunden empfohlen, wenn der PN-Wert bis dahin unter  $50.000 \text{ \#/cm}^3$  liegt.

Während der gesamten Messzeit muss die Leerlaufdrehzahl automatisch überwacht werden, um eine Betätigung des Fahrpedals ausschließen zu können.

## 5.6. Grenzwert

Nach den Ergebnissen dieser Monitoringstudie sowie den Ergebnissen der ersten Studie weist ein intakter Partikelfilter PN-Werte von weniger als  $50.000 \text{ \#/cm}^3$  auf. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Typgenehmigungswert von  $6 \cdot 10^{11} \text{ \#/km}$ .

Unter Berücksichtigung von Alterungseffekten, Messtoleranzen sowie der Rückführbarkeitskette wird ein Grenzwert von  $250.000 \text{ \#/cm}^3$  vorgeschlagen.

Die  $100.000 \text{ \#/cm}^3$ , welche in dieser Studie als „auffällig“ definiert wurden, könnten zu einem späteren Zeitpunkt oder für zukünftig in den Verkehr gebrachte Fahrzeuge herangezogen werden, falls die oben genannten Aspekte dies zulassen.

Um die PN-Emissionen eines Fahrzeuges sicher als „zu hoch“ einzustufen, ist der vorgeschlagene Grenzwert von  $250.000 \text{ \#/cm}^3$  geeignet. Es wurde festgestellt, dass defekte DPF häufig PN-Emissionen aufweisen, welche deutlich über diesem vorgeschlagenen Grenzwert liegen, während Fahrzeuge mit intaktem DPF deutlich geringere PN-Emissionen aufweisen.

## 5.7. Plausibilitätsmessungen

Die Messung mit HEPA-Filter und die Umgebungsluftmessung wurden in der Studie jeweils vor und nach der Messprozedur durchgeführt. Diese Plausibilitätsmessungen dienen in dieser Studie dazu, die Messergebnisse sicherer bewerten sowie eventuelle Fehlmessungen aufgrund von Messfehlern des Gerätes identifizieren zu können.

Für die PN-Messung im Rahmen der AU reichen diese Plausibilitätsmessungen jeweils einmalig, vor der Messprozedur aus. Es wird vorgeschlagen, diese Messungen nicht als Teil der Messprozedur zu verstehen, sondern als vorgelagerten Punkt, welcher von der Messtechnik als Selbsttest bestanden werden muss, um mit der eigentlichen Messprozedur starten zu können. Dabei müssen bei Messung mit HEPA-

Filter Werte nahe Null angezeigt werden und bei der Messung der Umgebungsluft Werte zwischen 1.000 – 10.000  $\#/cm^3$ . Die Prüfung dieses Selbsttestes muss bei der Bauartzulassung durchgeführt werden.

Bei Geräten mit dem DC-Messverfahren ist eine Umgebungsluft-/HEPA-Filtermessung nur bedingt zu empfehlen, da die gemessenen PN-Werte unterhalb des Messbereiches dieser Messtechnik liegen. Hier muss der vorgelagerte Selbsttest des Gerätes entweder anders erfolgen, oder die Verdünnung in einer Art „Plausibilitätsmodus“ so verändert werden, dass der untere Messbereich auf ca. 1.000  $\#/cm^3$  absinkt.

## 5.8. Zusammenfassung der Messprozedur

Der vorgeschlagene Ablauf nach der Monitoringphase sieht die Schritte in Tabelle 5-1 vor. Der Zeitaufwand für den Teil der PN-Messung beläuft sich hierbei auf ca. 2,5 Minuten. Hinzu kommt noch der Zeitaufwand, der an die „Funktionsprüfung Abgas“, aber nicht speziell an die PN-Messung geknüpft ist. Dies ist z.B. das Anlegen des Fahrzeuges im AU-Programm, die Suche nach den passenden Solldaten oder das Positionieren der Abgasabsaugereinrichtung. Die Eingliederung der PN-Messung in den AU-Messablauf ist im Flussdiagramm in Abbildung 5-2 dargestellt.

	Messschritt	Zeit
	Selbsttest des Messgerätes (HEPA-Filter/Umgebungsluft Messung vor Messprozedur)	Max. 30 s
	Messsonde ins Endrohr einführen	10 s
1	Stabilisierungsphase (Leerlauf)	15 s
2	Drehzahlanhebung auf $n_{Mot} = 1000 \text{ min}^{-1}$ über Leerlauf innerhalb von 5 s	$\approx 10 \text{ s}$
3	Beruhigungsphase (Leerlauf)	30 s
4	Messphase (Mittelwert aus je 3 x 15 Sekunden im Leerlauf) Oder „Fast Pass“ nach 15 s wenn $PN < 50.000 \text{ \#/cm}^3$	$3 * 15 \text{ s} = 45 \text{ s}$

Tabelle 5-1

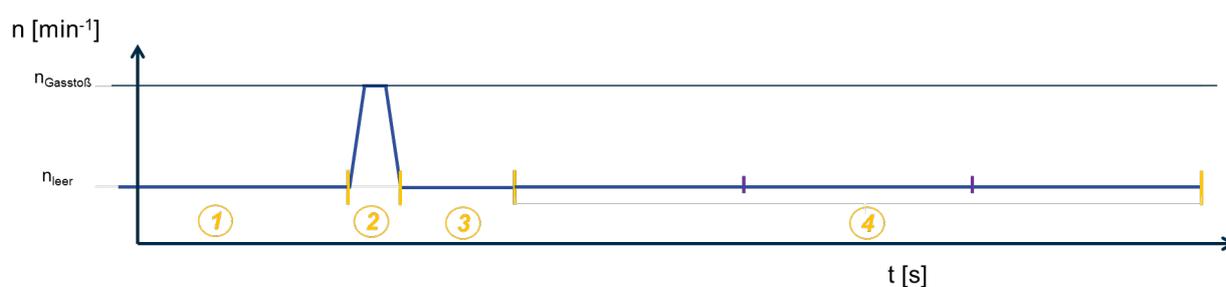


Abbildung 5-1

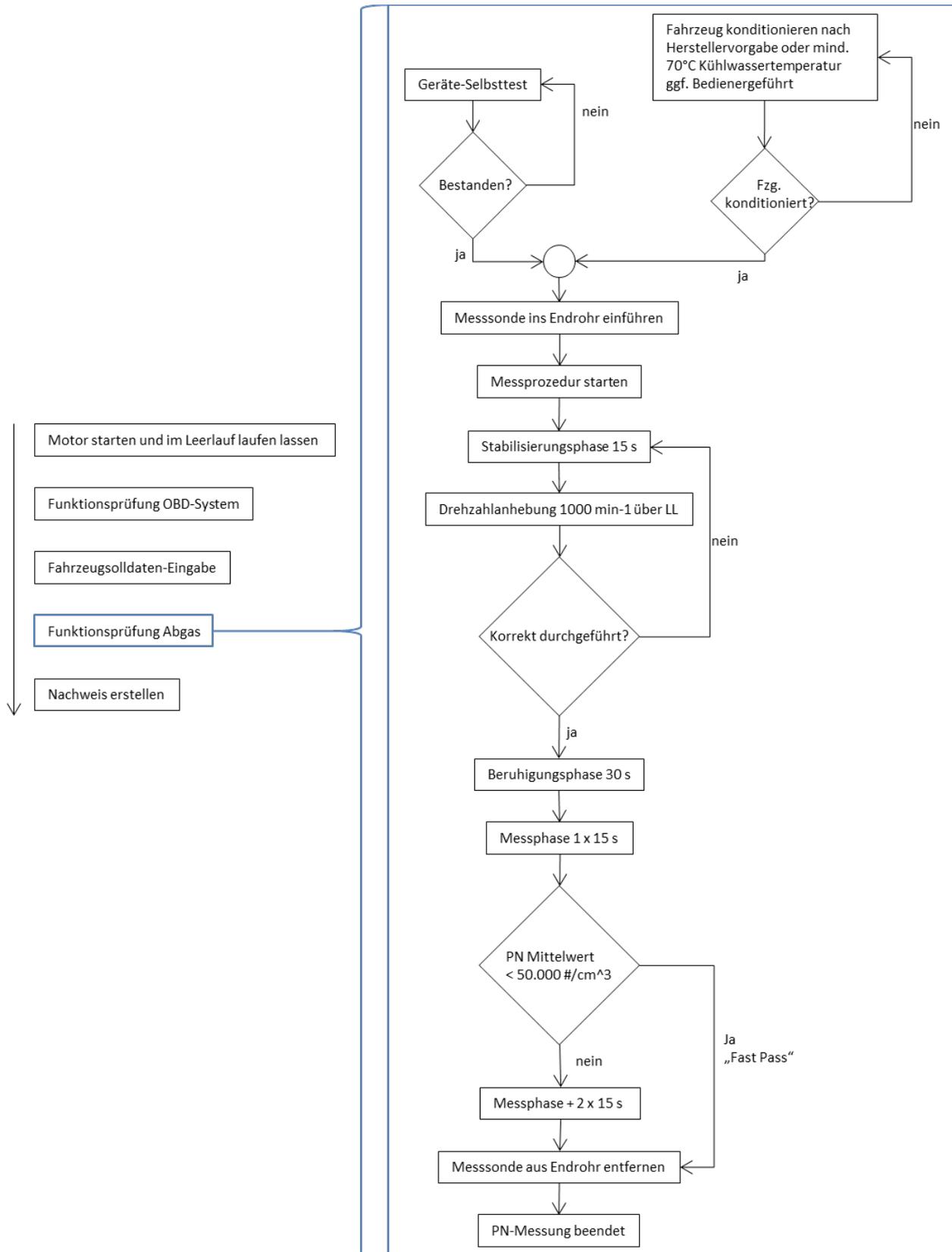


Abbildung 5-2

## 5.9. Fazit

Die Monitoring Studie zu dem Thema Partikelanzahlmessung in einer zukünftigen Abgasuntersuchung zeigte durch umfangreiche Messungen die im Folgenden dargestellten Ergebnisse.

Die getestete Messprozedur mit einer Leerlaufmessung und einer vorgelagerten Drehzahlanhebung kann durch die Messung von 421 PKW und 52 LKW als zielführend zur Ermittlung von Fahrzeugen mit defekten Abgassystemen in Bezug auf Partikelemissionen betrachtet werden. Die Durchführung der Messung mit der vorgelagerten Drehzahlanhebung ist für Prüfstellen und Werkstätten praktikabel. Die erwarteten Anpassungen gibt es bei den vorgegebenen Zeiten der einzelnen Phasen der Messprozedur. So kann die Messzeit von 180 Sekunden auf 45 Sekunden verkürzt werden, ohne die Aussagekraft der Ergebnisse zu verändern. Zudem ist ein „Fast Pass“ sinnvoll, um Fahrzeuge mit geringen PN-Emissionen schneller prüfen zu können. Die Stabilisierungsphase kann auf 15 Sekunden verkürzt werden und die Drehzahlanhebung innerhalb von 5 Sekunden auf 1000 min<sup>-1</sup> über der Leerlaufdrehzahl definiert werden. Die vorgegebene Stabilisierungszeit ist mit 30 Sekunden bestätigt worden.

Die Plausibilitätsmessungen, Umgebungsluft und Null-Test, sollten als Selbsttest vor der Messprozedur vom Gerät selbstständig durchgeführt und bestanden werden.

Das Fahrzeug muss zu Beginn der Messprozedur auf eine Kühlmitteltemperatur von mindestens 70 °C konditioniert werden. Die Konditionierung kann vom Hersteller vorgegeben werden, ebenso wie ggf. eine abweichende Kühlmitteltemperatur. Mit einer Regeneration des Partikelfilters während der Messung ist nicht zu rechnen.

Der Vergleich der PN-Messung zur Opazimetermessung hat gezeigt, dass drei Fahrzeuge mit einer Partikelemission von 100.000 #/cm<sup>3</sup> bis zu 250.000 #/cm<sup>3</sup> und vier Fahrzeuge mit einer Partikelemission zwischen 250.000 #/cm<sup>3</sup> und 1.000.000 #/cm<sup>3</sup> mit der aktuellen Trübungsmessung die Abgasuntersuchung ohne Auffälligkeit bestehen. Da es derzeit keinen OBD-Schwellenwert für die Partikelanzahl gibt, ist auch kein Eintrag im Fehlerspeicher des Fahrzeugs hinterlegt. Um hohe Partikelanzahlen zu identifizieren ist also eine PN-Messung notwendig, da auch kein PN-Wert in den OBD-Daten gegen einen Schwellenwert geprüft wird.

Herauszustellen ist, dass von den 14 Fahrzeugen mit Werten über 100.000 #/cm<sup>3</sup> sieben Mal der gleiche Motortyp auffällig war. Auch die anderen auffälligen Fahrzeuge wurden, wenn mehrfach gemessen, wiederholt mit hohen PN-Werten identifiziert. Dies zeigt, dass bestimmte Motoren/Fahrzeugtypen eher hohe PN-Emissionen aufweisen als andere.

Bemerkenswert ist, dass bei ca. 75 % der PKW und auch der LKW ein PN-Wert nahe Null gemessen wurde. Somit sind bei 75 % der vermessenen Fahrzeuge im Leerlauf die Partikelanzahlemmissionen im Abgas geringer als in der Umgebungsluft. Bei 2,4 % (10 PKW von 421 PKW) der vermessenen PKW wurden bei der Messprozedur der vorgeschlagene Grenzwert von 250.000 #/cm<sup>3</sup> überschritten. Diese 2,4 % der PKW verursachen 91,2 % der PN-Emissionen, welche bei PKW in dieser Studie gemessen wurden.

Es ist bei der Interpretation aller Zusammenhänge, die auf Messwerten beruhen, zu beachten, dass im Vergleich zur Fahrzeugpopulation in Deutschland im Rahmen dieses Messprogramms nur eine vergleichsweise geringe Stückzahl untersucht wurde und somit eine statistische Absicherung der Ergebnisse nicht gegeben ist. Die statistische Absicherung der Ergebnisse war nicht Gegenstand der Untersuchung.

Die größte Herausforderung der Studie war die aktuell verfügbare Messtechnik, welche noch nicht für den Einsatz bei einer AU vorgesehen/vorbereitet sind. Hier zeigten sich Hardware-Probleme, die für die Hersteller der DC- als auch der CPC- Messgeräte zum Teil neu waren. Hinzu kamen Softwareprobleme im Messablauf und OBD-Verbindungsprobleme zwischen der Messsoftware und dem Fahrzeug. An dieser Stelle ist noch großes Potential für die Geräteentwicklung erkennbar.

Vor dem Hintergrund der Einführung einer komplett neuen Messtechnik bei Prüforganisationen und Werkstätten weisen wir darauf hin, dass es noch keine baumustergeprüften Messgeräte und keine akkreditierten Kalibrierlabore für diese Messtechnik gibt.

## Literatur

- Baldauf, R., Devin, R., Gehr, P., Giannelli, R., Hassett-Sipple, B., Jung, H., et al. (2016). *Ultrafine Particle Metrics and Research Considerations: Review of the 2015 UFP Workshop*. [https://www.researchgate.net/publication/309541409\\_Ultrafine\\_Particle\\_Metrics\\_and\\_Research\\_Considerations\\_Review\\_of\\_the\\_2015\\_UFP\\_Workshop](https://www.researchgate.net/publication/309541409_Ultrafine_Particle_Metrics_and_Research_Considerations_Review_of_the_2015_UFP_Workshop): International Journal of Environmental Research and Public Health.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2017). *Verkehrsblatt 19/2017*.
- EG Vorschriften. (2012). *VO (EG) 715/2007*.
- Kadijk, G., Elstgeest, M., Ligterink, N., & van der Mark, P. (2017). *Investigation into a Periodic Technical Inspection (PTI) test*. TNO report TNO 2017 R10530.
- Nummer 6.8.2 der Anlage VIIIa StVZO (AU-Richtlinie). (kein Datum).
- TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH. (2019). *Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung - Berichtsnr. TÜH TB 2018 – 042.00*. im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

## Anhang

**OBD-Parameter-ID's welche mit dem AVL-OBD-Tool in der WWH-OBD abgefragt werden:**

**PID 69/2C/2D** Commanded EGR (EGR rate)

**PID 68/78/79** Exhaust Gas Temperature (EGT) Bank 1/2

**PID 0F/7A/7B** Diesel Particulate Filter Pressure (DPF) Bank 1/2

**PID 7C** Diesel Particulate Filter Temperature (DPF)

**PID 7D** NOx NTE control area status

**PID 7E** PM NTE control area status

**PID 83** NOx Sensor (supported and concentration)

**PID 85** NOx Control System (Information about Reagent)

**PID 86** Particulate Matter Sensor (PM)

**PID 88** SCR inducement system actual state

**PID 8B** Diesel Aftertreatment System

**PID 8F** Particulate Matter Sensor Output



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

## **Prüfbericht** **Test Report**

### **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**

**Für den Auftraggeber:**

**Referat F3 – Emissionen im Kraftfahrzeugbereich**  
**Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)**  
**Brüderstraße 53**  
**51427 Bergisch Gladbach**



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	3
2. Messgeräte .....	4
2.1 Referenzgerät AVL 489.....	4
2.2 Sensors APA.....	6
2.3 testo PEPA.....	13
2.4 TSI NPET.....	20
3. Gerätekalibrierung.....	24
4. Effizienz der Partikelzählung.....	25
5. Partikelanzahlmessung bei Pkw.....	26
5.1 Übersicht.....	26
5.2 Testfahrzeug Skoda Superb .....	27
5.3 Testfahrzeug VW Golf Sportsvan .....	32
5.4 Testfahrzeug Opel Zafira Tourer.....	42
5.5 Testfahrzeug VW Caravelle .....	50
5.6 Testfahrzeug VW California.....	56
5.7 Testfahrzeug Opel Crossland X (Peugeot).....	60
5.8 Testfahrzeug Opel Insignia.....	63
6. Pkw Untersuchung. Partikelanzahlmessung mit defektem DPF, Testfahrzeug BMW 520dA .....	74
7. Untersuchung schwerer Nutzfahrzeuge.....	86
7.1 Testfahrzeug Isuzu F11 21.....	86
7.2 Testfahrzeuge DAF XF, Unimog U527, Scania P410.....	95
7.3 Testfahrzeug VW Crafter EEV mit DPF .....	106
7.3.1 Testfahrzeug VW Crafter, Validierung testo PEPA.....	106
7.4 Testfahrzeug VW Crafter, Untersuchung volatiler Partikel, Sensors APA.....	113
8. Zusammenfassung.....	116
8.1 Gedanken für eine Grenzwertfestsetzung.....	116
8.2 Zusammenfassung der Messergebnisse.....	118
8.3 Ergebnis und Ausblick.....	121
9. Allgemeine Angaben.....	122
10. Schlussbescheinigung.....	123
Anlage 1 Kalibrierprotokolle, -dokumente, -konzepte.....	124
Anlage 2 Literaturverzeichnis.....	139
Anlage 3 Vorschlag zur Änderung des Abgasuntersuchungs-Berichts .....	141
Anlage 4 Glossar.....	142



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

## **1. Einleitung**

Der TÜV Hessen wurde von der Bundesanstalt für Strassenwesen (BAST) beauftragt Messungen für eine Studie zur Partikelanzahlmessung im Rahmen der Hauptuntersuchung (Periodisch Technischen Inspektion, PTI) für Dieselfahrzeuge durchzuführen. Der Auftrag inklusive einer Erweiterung umfasste vier Arbeitspakete.

1. Es sollten am Markt verfügbare Partikelanzahlmessgeräte untersucht werden, welche eine Messung im Rahmen einer PTI ermöglichen.

Zur Untersuchung wurden folgende Geräte beauftragt :

- testo PEPA
- TSI NPET
- Sensors APA

Die Geräte bilden zwei Messmethoden, das Kondensations Partikel Zählverfahren (CPC-Verfahren) und das Diffusion Charger Verfahren (DC-Verfahren) ab. Es sind Geräte mit und ohne Partikelabscheider für flüchtige Stoffe (Volatile Particle Remover, VPR) enthalten. Die Geräte sollten parallel mit einem PMP-konformen Messgerät getestet und nach verschiedenen Kriterien bewertet werden.

2. Eine neue Testprozedur für Dieselfahrzeuge, die im Rahmen der AU durchgeführt werden kann, soll entwickelt werden. Dazu wurden Testvorgaben für Messungen hinsichtlich der Drehzahl sowie der PKW Anzahl min. 6 Pkw und der Schadstoffklasse Euro 5b und Euro 6b gemacht.
3. Zur Ermittlung eines möglichen Grenzwertes sollte an einem Fahrzeug ein stufenweise vergrößerter Defekt des DPF erzeugt werden, um zu untersuchen, ab welcher Schädigung ein signifikanter Anstieg der Partikelanzahlkonzentration zu verzeichnen ist. Die Schädigung sollte prozentual zur Eintrittsfläche erzeugt werden.
4. Min. vier Nutzfahrzeuge der Schadstoffklassen V und VI sollten im Rahmen der ab 2018 wieder eingeführten Endrohrmessung mit einem PN-Messgerät getestet werden. Diese Tests umfassten nur Betriebszustände der zur Zeit gültigen Testprozedur.

Im Laufe des Projektes wurden drei Geräte an acht PKWs der Schadstoffklassen Euro 5b und 6b und fünf schweren Nutzfahrzeugen der Schadstoffklassen Euro V, EEV und VI untersucht. Der Bericht beinhaltet ausschließlich Messergebnisse für Fahrzeuge mit Dieselmotoren. Die Messungen wurden im Pkw- Bereich mit mindestens zwei oder drei PN-Geräten parallel durchgeführt. Die Nutzfahrzeuge wurden mit max. zwei Geräten parallel gemessen.

Zusätzlich wurden Messungen durchgeführt, die das Vorhandensein von volatilen Partikel belegen und Überlegungen zur Eichung/Kalibrierung der Messgeräte dokumentiert.

Nachfolgend wird die Abgasuntersuchung, welche neu als „Motomanagement- und Abgasreinigungssystem ,UMA“ bezeichnet wird, weiterhin mit AU bezeichnet, da sich die Bezeichnung im Sprachgebrauch noch nicht durchgesetzt hat. Im Prüfbericht finden sich weiterhin die Begriffe: „Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung“ und „Abgasuntersuchung“.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

2 Messgeräte  
2.1 Referenzgerät AVL 489

Die Partikelanzahl wird mit einem Partikelzähler der Fa. AVL, Typ 489 Advanced, Seriennummer 515 aus dem Rohgas bestimmt. Die Entnahme erfolgt hier über die Hochdruckoption, die eine Entnahme auch vor DPF bei höheren Drücken und Temperaturen zulässt, siehe Abbildung 2.1



Abbildung 2.1: Referenzzähler AVL 489, beheizte Entnahmesonde, Vorverdünner und Hochdruckoption

Der Partikelzähler wurde vor der Messkampagne bei AVL kalibriert. Der Partikelzähler enthält einen CPC der Fa. TSI des Typs „3792“ mit der Seriennummer: 3792130703. Das Kalibrierprotokoll dieses Partikelzählers ist in Anlage 1 dargestellt, siehe Abbildung A1.8 bis A1.10.

Die Zähleffizienz für Partikel wird gemäss dem PMP Protokoll der europäischen Abgasrichtlinien /2/ und /18/ für zwei Punkte bestimmt und liegt bei 23 nm Grösse bei 0.578, und für 41 nm bei 0.912. Die Überprüfung erfolgt mit „Emery Oil“ Partikeln, siehe Abbildung in der Anlage 1, A1.9.

Benutzt werden hierzu ein elektrostatischer Klassierer der Reihe 3080 von TSI, der hochgradig monodisperse Aerosole erzeugt. Bei dem Modell 3085 handelt es sich um einen differenziellen Mobilitätsanalysator (DMA), der für den Einsatz mit elektrostatischen Klassierern der Reihe 3080 entwickelt wurde, siehe Abbildung A1.8 der Anlage 1.

Der Referenz CPC ist ein TSI 3772, siehe Tabelle A1.8. Die Einstellung der zu messenden Partikelgrösse erfolgt mit einem TSI Particle Size Selector 376060, bei dem scheibenförmige „Diffusion Screens“ gewechselt werden.

Auch das Kalibrierbeispiel in Abbildung A1.1 der Anlage 1, benutzt diesen Referenz Kondensationspartikelzähler.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Zur Bedienung dient ein PC, der über ein LAN Kabel angeschlossen wird. Die Bedienung erfolgt über die „DUI“ Device User Interface Software auf dem Partikelzähler, in die man sich per IP Adresse einloggt.

Die Messdaten werden als .csv Datei abgespeichert.

Vor jeder Testkampagne wurde mit dem Referenzgerät ein Selbsttest durchgeführt, siehe Abbildung 2.2.

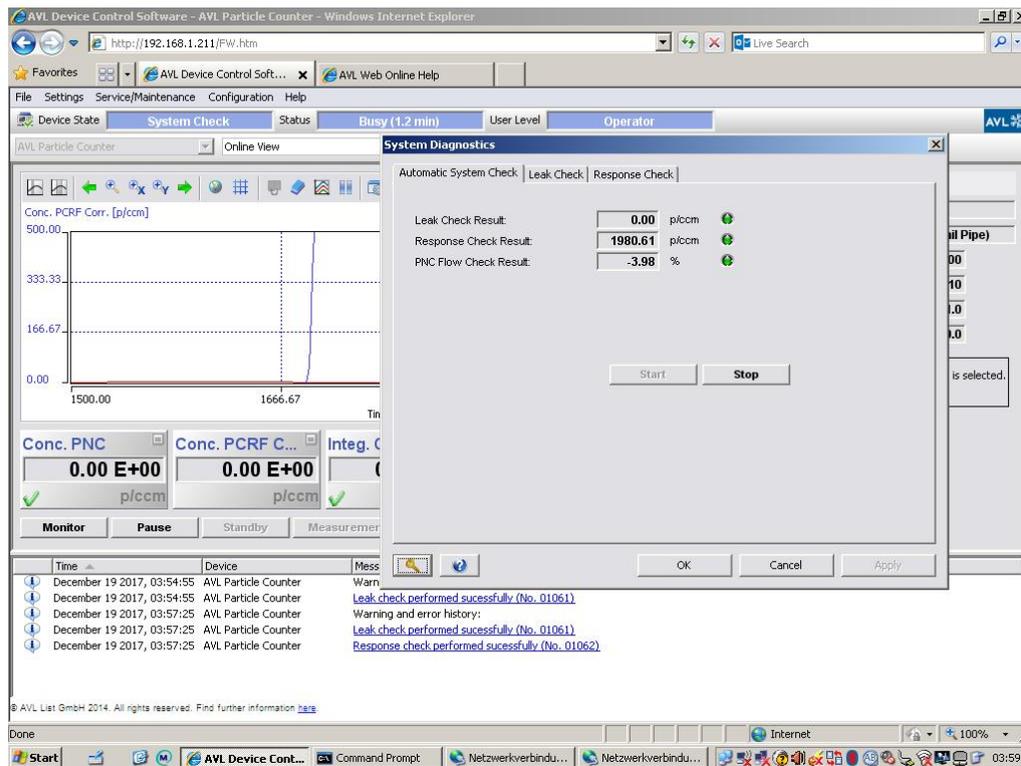


Abbildung 2.2: Lecktest, Response Check und PNC Flow check Ergebnisanzeige vor Test

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

2 Messgeräte  
2.2 Sensors APA

Dieser Abschnitt beinhaltet eine Beschreibung der Automotive Particle Bench (APB, zum Patent angemeldet) und des Automotive Particle Analyzers (APA) der Firma Sensors, welche speziell für die Endrohrmessung von Partikelanzahlkonzentration (PN) im Rahmen der periodischen Abgasuntersuchung von Pkw und schweren Nutzfahrzeugen entwickelt wurden. /12/



Abbildung 2.2.1: Sensors Automotive Particle Analyzer APA (Version 1 rechts, Version 2 links)

Am Gerät befindet sich ein Wasserabscheider, der bei kalter Witterung und je nach Fahrzeug in Abständen entleert werden sollte, siehe Abbildung 2.2.2.



Abbildung 2.2.2: Wasserabscheider, Sensors APA

Der vollintegrierte Sensors Automotive Particle Analyzer (APA) ist mit einem dem neuesten Stand der Technik entsprechenden Kondensationskernpartikelzähler (engl.: Condensation Particle Counter, CPC) ausgestattet, welcher mit einer Probenahmesonde für das Endrohr und einer der Sonde nachgeschalteten Probenaufbereitung verbunden ist. Die derart aufgebaute Einheit ist für die Bestimmung von „Pass/Fail“-Resultaten von PN PTI Tests bei Motorleerlauf vorkonfiguriert, bei dem nach initialer freier Beschleunigung drei einminütige Messintervalle erfolgen, über welche jeweils das arithmetische Mittel gebildet wird. /12/

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

Anschließend wird das Gesamtergebnis gegen einen (vorgeschlagenen) Grenzwert von 250.000 #/cm<sup>3</sup> geprüft. Eine im Messgerät integrierte Bluetooth-OBDSchnittstelle dient u.a. dem Auslesen der Kühlmitteltemperatur, damit sichergestellt werden kann, dass der Test mit aufgewärmten Motor erfolgt. Während des Tests werden sowohl die PN-Konzentration als auch OBD-Daten (Motordrehzahl, Kühlmitteltemperatur, angesaugte Luftmasse) sekundlich aufgezeichnet, um zusätzliche Datenauswertungen und die Ausgabe eines „Pass/Fail“-Resultats zu ermöglichen, siehe Abbildung 2.2.3.



Abbildung 2.2.3: OBD Adapter mit Bluetooth Übertragung links (Version 1 mit Kabel rechts)

Der Automotive Particle Analyzer besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Sensors' Automotive Particle Bench (APB)

Die wichtigste Komponente der Sensors APB ist ein Mixing-Type-CPC für die Messung der Partikelanzahlkonzentration in der Partikelgrößenordnung von 10 bis 200 nm. Dieses Modul ist leicht in Werkstatttestsysteme von Drittanbietern (OEM's: Original Equipment Manufacturers) integrierbar und wird für diese verfügbar sein.

Im Gegensatz zu Full-Flow-CPCs, in welchen die Partikel beinhaltende Probe an einem mit dem Betriebsmedium (üblicherweise Butanol oder Isopropanol) getränkten, beheizten Docht entlanggeführt wird, um mit dem Betriebsmedium gesättigt zu werden, wird bei einem Mixing-Type-CPC der Probenstrom vom Strom der mit dem Betriebsmedium gesättigten Luft, welche frei von Partikeln ist, separiert. Anschließend wird die gesättigte, partikelfreie Luft in einer Mischkammer mit der Probe vermischt und gelangt dann in den Kondensator. Wie bei einem Full-Flow-CPC kondensiert dort anschließend der mit dem Betriebsmedium übersättigte Dampf auf die Partikel in der Probe und vergrößert sie auf 5-10 µm messende Tröpfchen. Diese Tröpfchen werden von einer Düse in einen schmalen Strahl ausgerichtet durch einen Laserstrahl geleitet, wo sie ein Streulicht erzeugen, das von einer Photodiode gemessen und elektronisch in ein Rechtecksignal umgewandelt wird.

Die APB wird mit Isopropanol (IPA, Reinheit >99%) betrieben. Sie besteht des Weiteren aus einer Peristaltikpumpe, mit der das Füllmanagement des Saturatorblocks (10 ml Füllvolumen) realisiert wird, indem von einem separaten, in dem APA integrierten IPA-Tank (Füllvolumen 60 ml) automatisiert IPA in den Saturatorblock nachgefördert wird. Unter normalen Betriebsbedingungen beträgt der Verbrauch des Betriebsmediums IPA ca. 1-2 ml/h. Somit kann das System für lange Zeit betrieben werden, ohne dass ein Nachfüllen des Tanks erforderlich ist. Ausgehend von einer Testlänge von fünf Minuten für einen PTI-Test resultiert dies in eine 40-stündige kontinuierliche Messung oder 400-500 PTI-Tests. /12/

Der Aufbau der APB wird in nachfolgender Abbildung 2.2.4 gezeigt.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

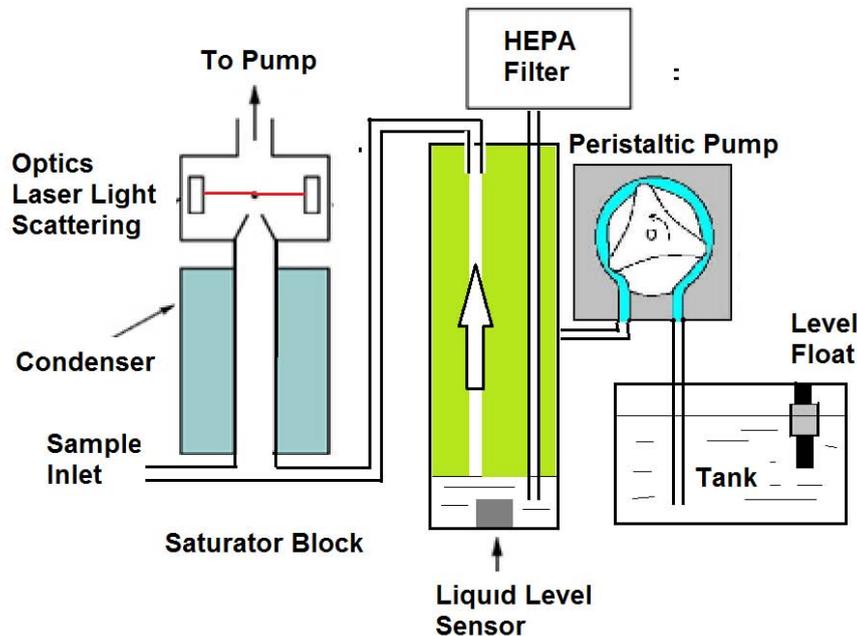


Abbildung 2.2.4: Aufbau des Sensors' Kondensationspartikelzählers

Die kleinste Partikelgröße, welche von einem CPC erfasst werden kann, wird durch die Übersättigung festgelegt, welche wiederum vom Temperaturunterschied zwischen Saturator und Kondensator abhängig ist. In der Praxis erfahren nicht alle Partikel dieselbe Übersättigung. Somit nimmt die Zähleffizienz eines CPC bei kleineren Partikelgrößen graduell ab. Die untere Grenze der Zähleffizienz eines CPC wird durch die Partikelgröße charakterisiert, bei welcher ein CPC 50% der vorhandenen Partikel zählt (engl.: lower cut-off size,  $d_{50}$ ). Üblicherweise liegt diese bei ungefähr 15 nm. Ein Beispielkalibrierzertifikat wird in Anlage 1 gezeigt. Da ein  $d_{50}$  von 15 nm kleiner ist als der im „Particulate Measurement Programme“ (PMP) angewendete Standard für die Typprüfung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen, werden dem CPC des APA „Diffusion Screens“ vorgeschaltet, welche den  $d_{50}$  auf den dem etablierten Standard PMP entsprechenden Wert von 23 nm vergrößern, siehe roter Pfeil in Abbildung 2.2.1. /12/ Als Hinweis entspricht dies dem Verfahren bei der Messung bei der Kalibrierung mit dem TSI 3772, wie in Anlage 1 näher beschrieben.

Der CPC von Sensors korrigiert automatisch die gemessene Partikelanzahlkonzentration bei hohen Konzentrationen, um dem unter diesem Umstand auftretenden Phänomen der Koinzidenz gerecht zu werden. Hierdurch wird der Tatsache Rechnung getragen, dass bei hohen Konzentrationen eine Wahrscheinlichkeit besteht, dass mehr als ein Partikel zur gleichen Zeit im Bereich des Laserstrahls vorhanden sein kann (Koinzidenzkorrektur). Diese Koinzidenzkorrektur ermöglicht dem CPC eine Messung von bis zu 30.000 #/cm<sup>3</sup> bei exzellenter Linearität ( $R^2 > 0.99$ ) und einem maximalen Koinzidenzkorrekturfaktor von unter 15%.

Aus Gründen der Robustheit und einer einfachen Anwendung wurde ein Mixing-Type-CPC gewählt, da dieses Funktionsprinzip einige wichtige Vorzüge mit sich bringt:



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**

Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

- Keine Abnahme der Leistungsfähigkeit des Zählers aufgrund des Saturators/Dochtmaterials, während es bei Full-Flow-CPCs dort zu einer Kontamination mit Abgas/Partikeln kommt, welche nach einer gewissen Zeit zu niedrigeren Übersättigungsverhältnissen führt
- Der Saturator kann mechanisch vom Kondensator und der Messoptik entkoppelt werden. Dies resultiert in gesteigerter Zuverlässigkeit und im Besonderen zu einer bedeutend niedrigeren Empfindlichkeit für eine Kontamination der Messoptik mit dem Betriebsmedium durch Vibration oder Kippen des Zählers, um dem Werkstattalltag Rechnung zu tragen.
- Der CPC kann für eine Reaktionszeit  $t_{10-t_{90}}$  von unter 3 s konfiguriert werden, so dass auch transiente Phasen messtechnisch begleitet werden können.
- Verschlechterungsfaktoren im Betrieb befindlicher CPCs sind sehr gut erforscht und sind für gut entwickelte CPCs kaum existent. Dieses spiegelt sich in der ISO 27891 festgelegten Kalibriermethodik und den Ein-Jahres-Kalibrierintervallen wider. /12/

Die Automotive Particle Bench von Sensors ist mit einem integrierten Ejektor-Verdünner ausgestattet (nominell 20:1 Verdünnungsverhältnis), um zu gewährleisten, dass der Einzelzählmodus (eng.: Single Count Mode) bei am Endrohr zu messenden Konzentrationen von bis zu 600.000 #/cm<sup>3</sup> eingehalten wird. Der CPC selbst ist bis zu einer Konzentration von 30.000 #/cm<sup>3</sup> im Single Count Mode kalibriert/validiert. Der eingebaute Ejektor-Verdünner verhindert ebenfalls Feuchteprobleme bei der Vermessung von Fahrzeugen, welche mit Ottomotoren ausgestattet sind.

Für die Messung von Konzentrationen oberhalb der Grenze von 600.000 #/cm<sup>3</sup> kann ein zusätzlicher Verdünner (Verdünnungsverhältnis 10:1) vorgeschaltet werden. Alle kritischen Drücke und Durchflüsse für beide Verdüner werden von der APB-Elektronik permanent überwacht und kontrolliert. /12/

Die APB beinhaltet einen Mikroprozessor für die Steuerung des CPC (mit RS232 Interface für direkte Integration), einen Mikrocomputer auf Linux-Plattform für Datenspeicherung, drahtlose Kommunikation (WiFi), Bluetooth-Kommunikation zu einem OBD-Adapter und HTML-basierter Bedienoberfläche (engl.: Graphical User Interface, GUI), siehe Abbildung 2.2.5. /12/

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

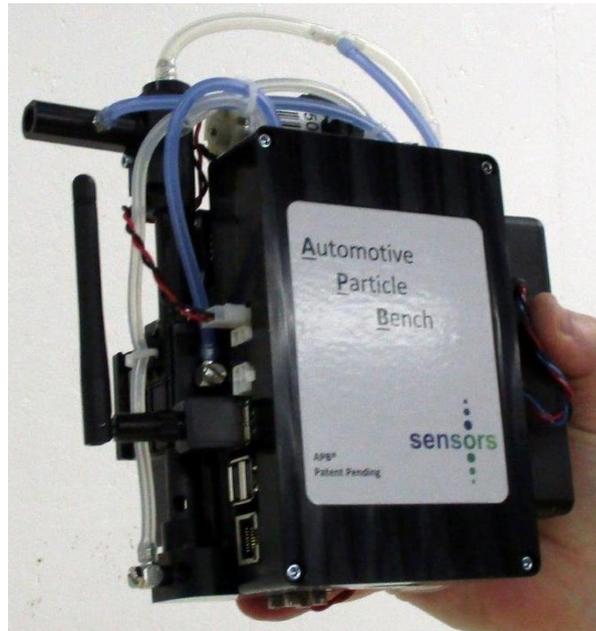


Abbildung 2.2.5: Sensors Kondensationspartikelzähleinheit APB

#### Automotive Particle Analyzer APA

Die APB ist im Sensors APA vollständig integriert. Der APA ist ein vollständig gebrauchsfertiger, leicht zu bedienender PTI-PN-Analysator.

Zusätzlich zum APB-Modul besteht der APA aus HEPA-Filtern für Verdünnungsluft und Luftversorgung für den Saturator, einen von der APB separaten IPA-Tank (60 ml), mikroprozessorgesteuerte Pumpen, Diffusion Screen zur Vergrößerung des  $d_{50}$  auf 23 nm, Probenahmenleitung- und Sonde. Der APA kann problemlos mit einem zweiten Verdünnner versehen werden, um den Messbereichsendwert auf 6.000.000 #/cm<sup>3</sup> zu erweitern, obwohl Konzentrationen über 250.000 #/cm<sup>3</sup> voraussichtlich bereits einen verlässlichen Indikator für einen defekten Diesel- oder Ottopartikelfilter liefern.

Für zukünftige Messungen wurde von Sensors eine Erweiterung bereits angekündigt:

Ein Verdampferrohr (engl.: Evaporator Tube) für das Entfernen von semivolatilen Partikeln ist ebenso Bestandteil des Messgeräteaufbaus. Dieses einfach aufgebaute Evaporator Tube wird bei einer Temperatur von nominell 300°C betrieben und hat eine Tetracontan Abscheiderate von >90%. Das installierte Evaporator Tube kann für den Messbetrieb ein- oder ausgeschaltet werden./12/

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Dieses erleichtert Untersuchungen bezüglich der Notwendigkeit der Entfernung von semivolatilen Bestandteilen im Fahrzeugabgas, deren zeitweises Vorhandensein falsche „Fail“-Resultate begünstigen kann. Es wird erwartet, dass ein mit zwei Verdünnern und Evaporator Tube ausgestatteter APA den Leistungskriterien der schweizerischen PTI-Geräteanforderungen gemäß VAMV entspricht. /12/

Insgesamt wurden drei Software Versionen eingesetzt. Die Version 1 speicherte Daten in einem speziellen Format ab, das jedesmal mit durch einen Postprozessor erst in .csv Daten umgewandelt werden musste. Die Bildschirmanzeige von Version 1 zeigt Abbildung 2.2.6.

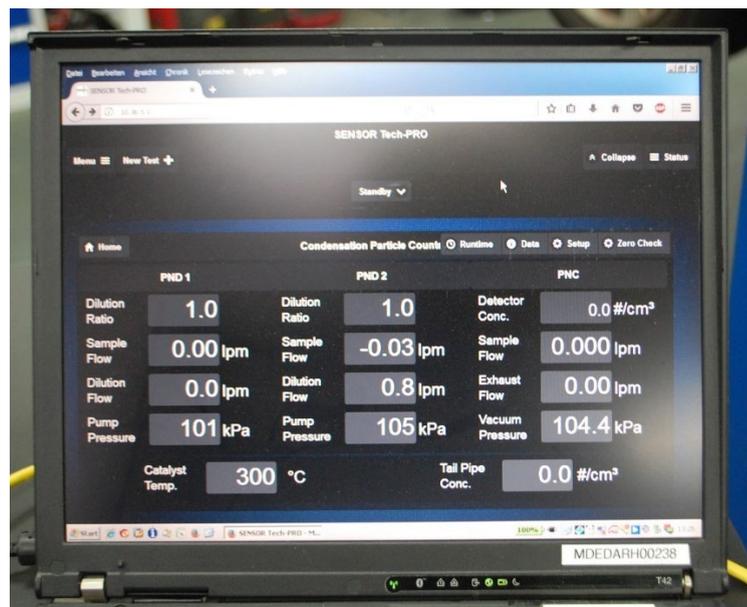


Abbildung 2.2.6: Bildschirmanzeige Sensors APA Version 1

Durch Weiterentwicklung, die innerhalb des Messzeitraumes der Studie durchgeführt wurde, wurde das Gerät durch Version 2 ersetzt, in Abschnitt 5.5 ist die Bildschirmanzeige von der zugehörigen Version 2 dargestellt. Diese Version beinhaltet eine erheblich störende Autozero-Funktion, die in regelmässigen Abständen keine Messwertanzeige erlaubte, auch in aktiven Messungen.

Deshalb wurde eine weitere Softwareversion eingesetzt, die nun auch Messergebnisse ähnlich einem Ablauf in /9/ auf dem Bildschirm darstellt. Die Messungen werden direkt in einem .csv file gespeichert. Die Eingabe auch von Fahrzeugdaten ist hier möglich.

Die abgespeicherten Daten weisen Fehler im Zeitstempel auf: Die Messwerte sind nicht mit konstanter Abtastrate aufgezeichnet. Die Reihenfolge der Messdaten stimmt im Einzelfall nicht, auch kommen mehrfache Datensätze mit gleichen Zeitstempel vor. Die Auswertung gestaltete sich deshalb erheblich aufwändig, da alle Daten auf eine „elapsed time“ umgerechnet werden mussten.

Diese Bildschirmanzeige ist in Abbildung 2.2.7 dargestellt.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

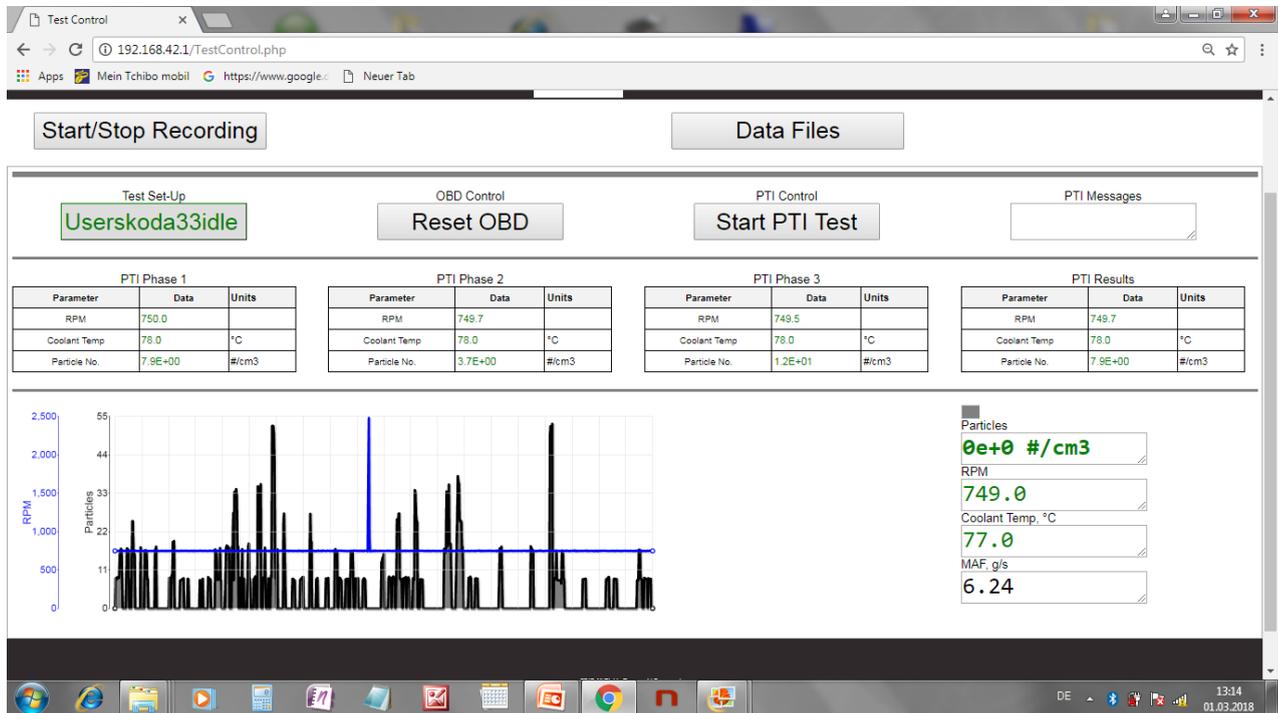


Abbildung 2.2.7: Bildschirmanzeige Sensors APA Version 3

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

2 Messgeräte  
2.3 testo PEPA

“testo PEPA Demonstrator” Serien-Nr.: 2PT01

Das testo PEPA besteht aus zwei Kunststoffkoffern und ist somit für einen einfachen Transport gut geeignet. Ein Koffer enthält lediglich das Netzteil und die Abgassonde, siehe Abbildung 2.3.1.



Abbildung 2.3.1: “testo PEPA Demonstrator” Serien-Nr.: 2PT01

Nach Anstecken von zwei Schnellverschlüssen am Messkoffer für die Entnahme und der Verdünnungsleitung sowie nach Anschluss des Netzteils kann der Deckel des Messkoffers geöffnet werden. Zum Einschalten dient ein Hauptschalter sowie ein EIN-Taster am Gerät. Das Gerät beginnt danach mit dem Aufwärmen. In der Aufwärmphase wird die Temperatur des "Evaporation Tubes" "ET" also des Heizrohrs zum Abscheiden der volatilen Partikel angezeigt, siehe Bild 2.3.2.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen



Abbildung 2.3.2: testo PEPA Aufwärmen

Nach dem Aufwärmen, welches etwa 10 Minuten dauert, wurde mit der Entnahmesonde in der Umgebungsluft eine "Offset-Messung" durchgeführt, siehe Abbildung 2.3.3. Dieser Abgleich dauert etwa 1 Minute. Beobachtet wurden gute Ergebnisse für die nachfolgende Messung von Umgebungsluft bei einem Diffusion Stage Offset von -1,7.



Abbildung 2.3.3: testo PEPA "Sensor Offsets Measurement"

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Zur Kontrolle des Geräts wurde anschliessend stets eine Partikelmessung der Umgebungsluft vorgenommen, und diese mit dem PMP-Referenz Partikelzähler verglichen, siehe Abbildung 2.3.4.



Abbildung 2.3.4: Messung der Partikelanzahlkonzentration der Umgebungsluft

Die Partikelanzahlkonzentrationsmessungen werden nach Anhang X, der Schweizer Luftreinhaltungsrichtlinie /9/ gemessen. Die Werte werden nur auf dem Bildschirm angezeigt, nach der Schweizer Verordnung über Abgasmessmittel VAMV /8/ werden die Messwerte aber nur als <50.000 #/ccm abgespeichert. Um eine Übereinstimmung mit dem PMP-Referenzzähler für Umgebungsluft zu erreichen waren eins bis drei Offset-Abgleiche notwendig. Diese manuellen Vergleiche und Abstimmungen sind für Prototyp Geräte zulässig, für AU Geräte jedoch nicht. Ein AU Gerät muss selbsttätig diese Selbstüberprüfungen durchführen. Ohne eine Freigabe dieser Selbsttests sind alle Messungen zu sperren. Die testo AG wurde über diesen Umstand informiert, und verwies auf den Prototyp Status des Geräts und nahm dies in die Liste der Änderungen auf.

Das Gerät hat weder Tastatur noch Maus, so dass keine formalen Daten wie z.B. Fahrzeugdaten eingegeben werden können. Die Daten werden auf einer handelsüblichen SD-Karte als .csv Daten gespeichert. Der Dateiname wird automatisch vergeben, so dass auch hier keine Verknüpfung mit dem vermessenen Fahrzeug hergestellt werden kann.

Abgespeichert werden im "Testmodus" Daten nach VAMV, im "continuous mode" Daten mit Zeitstempel sowie Messwerte von Partikelanzahl und Partikelgröße.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Die Reihenfolge der abgespeicherten Messdaten stimmt im Einzelfall nicht. Die Auswertung gestaltete sich deshalb erheblich aufwändig, da alle Daten auf eine „elapsed time“ umgerechnet werden mussten.

Der Touch-Screen hat eine Bildschirmschonerfunktion, die das Display auch bei einer aktiven Messung ausschaltet. Das Wiedereinschalten des Bildschirms birgt die Gefahr, dass mit einem Klick die aktive Messung beendet, da man die Bedienfelder nicht sehen kann. Die aufgezeichneten Messwerte haben einen Zeitstempel, wobei die Werte in der Reihenfolge auch in der Zeit zurückspringen und keine fixierte Abtastrate haben. Dies macht die Auswertung und den Datenvergleich für die Auswertung sehr aufwändig. Das Gerät weist im vorhandenen Zustand keinen Anschluss an das Fahrzeug OBD System auf und auch keine Kontrollmöglichkeit auf, dass die Abgassonde im Endrohr des zu prüfenden Fahrzeugs angebracht ist.

Für die Bedienung des Geräts wurde ein elektronisches Dokument als Bedienungsanleitung mitgeliefert.

Alle diese Eigenschaften zeigen, dass es sich hier nur um einen Demonstrator eines Partikelanzahlmessgeräts handelt. Die testo AG bestätigte diese Defizite und übernahm die angemarkten Punkte in die Liste der Veränderungen für das finale Gerät auf.

In der Präsentation /17/ der Firma testo ist ein Beispiel eines Kalibrierzertifikats dargestellt, siehe Anlage 1.

Die gesamte Messzeit ist auf maximal 1 Stunde laut Herstellervorgabe begrenzt. Die Herstellung der originären Messbereitschaft ist vom Betreiber herzustellen. Auch dieser Zustand ist nicht für finale Geräte akzeptabel.

Für ein finales deutsches AU Gerät wird empfohlen, die Verwendung der eingebauten 1:10 Verdünnungsstufe zu überprüfen, da nach Studien in der Schweiz und in den Niederlanden /5/ und /7/ erwartet wird, dass die Mehrzahl der Fahrzeuge PN Werte unter 5E4 #/ccm haben werden.

Das Gerät 2PT01 wurde bei der METAS in der Schweiz geprüft: Nach der Schweizer Richtlinie /8/ ist der Messbereich nach unten auf minimal 5E4 #/ccm begrenzt, und wurde deshalb bei den METAS Prüfungen unterhalb der Grenze nicht untersucht. Die Abscheidung der volatilen Partikel wurde mit 99,5% gemessen.

Die verwendete Software besitzt die Versionsnummer 058.140.012.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Das Messprinzip des testo PEPA

Bei dem Messgerät handelt es sich um ein Gerät mit DC Diffusion Size Classifier (DiSC) zur Bestimmung der Partikelanzahl mit einer Grösse von 10...300 nm. Einzelheiten zum Analysator sowie zur Bestimmung der in den Ergebnissen enthaltenen Grössen der Partikelgrösse sind in einem wissenschaftlichen Fachartikel /14/ enthalten. Andere angekündigte Werte ausser Partikelanzahl und -grösse sind leider nicht enthalten. Abbildung 2.3.5 zeigt den Aufbau des Partikelsensors DiSC. /15/

Die Entnahmeleitung ist nicht beheizt, die Verdünnung erfolgt direkt an der Entnahmestelle.

Der folgende komplexe Passus zum Messprinzip des testo PEPA entstammt einem Dokument der Firma testo /15/ und existiert nur in Englisch und wurde deshalb im Original übernommen:

„Unipolar diffusion chargers are instruments which have the potential to be sensitive, robust and portable. They are based on the electrical charging of particles by a corona discharge. The Diffusion Size Classifier – DiSC sensor (Abbildung 2.2.x) charges the aerosol in a unipolar diffusion charger [5]. After charging, excess ions are removed in an ion trap. The charged aerosol passes through a diffusion stage where particles are deposited by diffusion and detected as an electrical current  $D=I_{diff}$ . The remaining particles end up in a second stage, the filter stage, and the current is also measured  $F=I_{filt}$ . The ratio of these two currents is a measure of the average particle size and is determined during the instrument calibration  $FD = I_{filt} / I_{diff}$  yields  $\rightarrow d_{gm}$ . Additionally, diffusion charger DC signal  $(F+D) = (I_{filt} + I_{diff})$  correlates well with lung-deposited (alveolar or tracheobronchial) surface area:  $LDSA = k_0 \cdot (F+D)$ . Because the charge per particle is a function of particle diameter  $qp \propto d_{gm}^X$ , once this is known, the particle number concentration can be computed from the total current and flow rate  $qp(d_{gm})$ ,  $LDSA$ ,  $\emptyset \rightarrow N$ .“ /15/

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

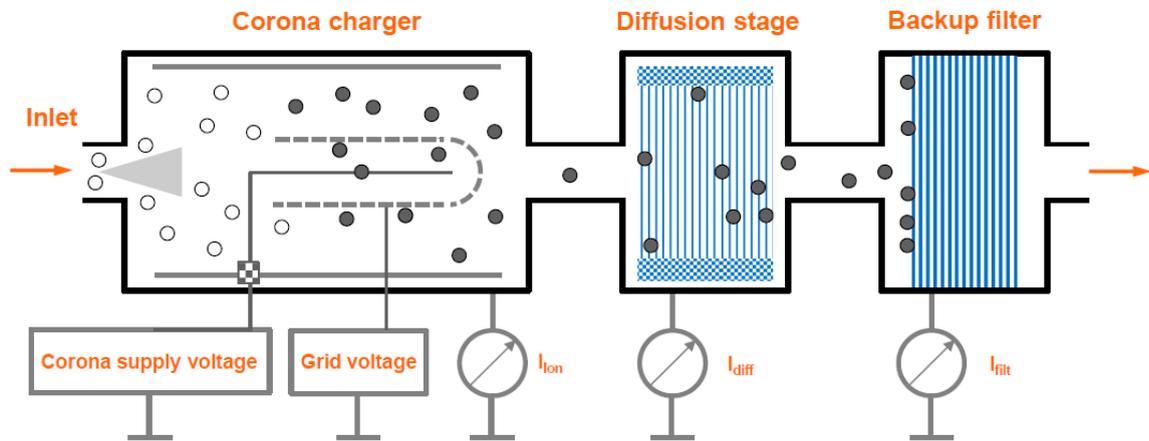


Abbildung 2.3.5: Aufbau des Partikelsensors DiSC /15/

Die Probengasaufbereitung erfolgt in zwei Stufen. In der ersten Stufe wird das Abgas direkt an der Spitze der Probenahmesonde mit einem festen Faktor von 1:10 verdünnt, um Thermophoreseverluste zu vermeiden. Deshalb sind an der testo PEPA Entnahmesonde zwei unbeheizte Probenahmeschläuche vorhanden. In der zweiten Stufe werden volatile Partikel in einem beheizten Rohr (engl.: evaporation tube) verdampft, hier beträgt die Temperatur 250°C. In der Abkühlzone findet keine Wiederkondensation der Tröpfchen statt, wenn das Messgas nach der Verdünnung sich unter dem Taupunkt befindet, siehe Abbildung 2.3.6. (Übersetzt nach) /15/.

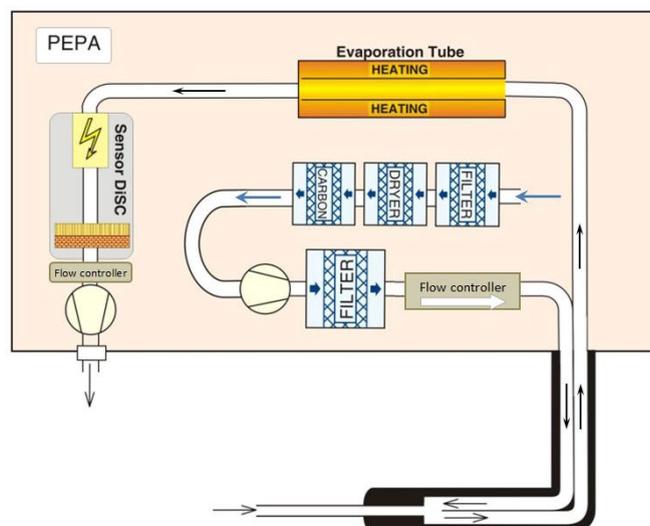


Abbildung 2.3.6: Aufbau des testo PEPA

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

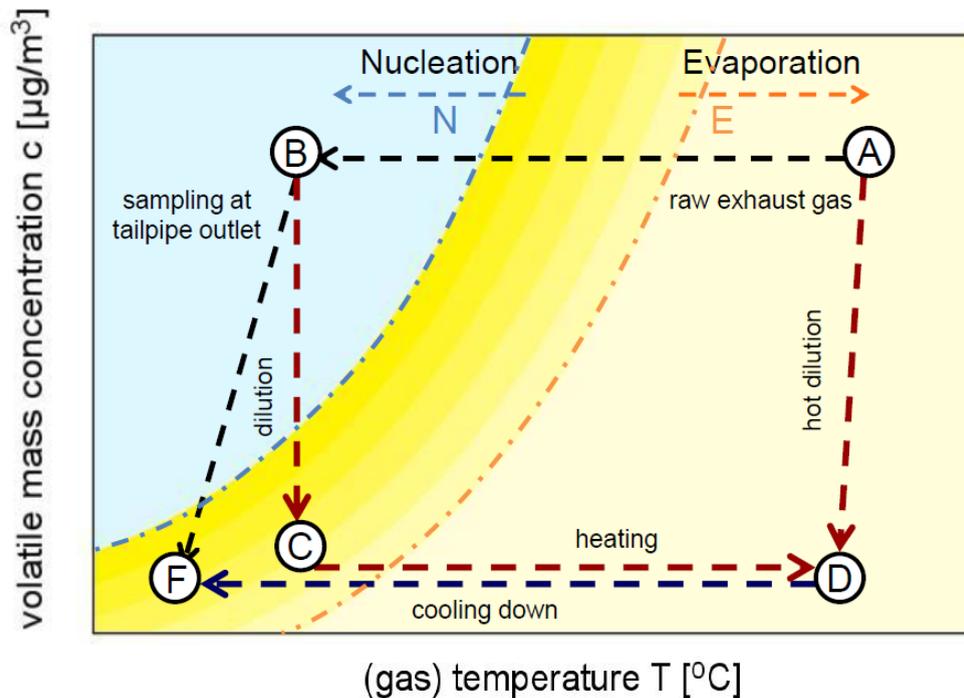


Abbildung 2.3.16: Diagramm zur Massenkonzentration volatiler Partikel

Der folgende komplexe Passus zur Probengasaufbereitung des testo PEPA aus /15/ existiert nur in Englisch und wurde deshalb im Original übernommen:

„Figure 2.3.16 is a schematic plot of the mass concentration of a volatile compound against the temperature of the surrounding gas [7]. In the tailpipe, the temperature of the raw exhaust gas is reduced (path A → B). During this cooling-down, the compound passes its dew point and nucleates into nanodroplets (curve N). Subsequent dilution (B → F) would reduce the number concentration of the droplets, but is unable to evaporate them, because of a hysteresis effect between nucleation and evaporation.

A strategy to avoid the mere formation of nanodroplets is direct sampling the hot exhaust in combination with hot dilution (A → D). Given a sufficient dilution factor, the volatiles will not nucleate during subsequent cooling (D → F) even though the same final state is assumed as through direct sampling and dilution (A → B → F). However, in some applications direct sampling of hot exhaust gas is not possible, and nanodroplets already exist in the gas sample at the tailpipe outlet (B). In those cases, the diluted gas sample (C) has to be heated above the evaporation point of the compound (C → D, crossing curve E). Like with hot dilution, the compound remains in vapor phase upon subsequent cooling (D → F). The combination of diluter and heater (B → C → D → F) for the volatile particle removal in the testo PEPA is known as Post-Dilution Thermo-Conditioner and is fully compliant with PMP requirements.“ /15/

Dieser Absatz begründet die Verwendung einer unbeheizten Probenahmeleitung.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

**2** Messgeräte  
**2.4** TSI NPET

Emissionstester FÜR NANOPARTIKEL 3795, TSI NPET, SERIAL NO.: 3795150506

Der tragbare TSI Nanopartikel-Emissionstester (NPET) Modell 3795 ist ein tragbares Instrument, das die Anzahlkonzentration der festen (nicht-flüchtigen) Partikel aus Verbrennungsquellen misst, siehe Abbildung 2.4.1. Es besitzt eine Probenahmesonde mit integrierter Verdünnung von 1:10. Zur Probenahme führen deshalb zwei Leitungen zur Entnahme. Die Probenahmeleitung ist auch für Nutzfahrzeugmessungen ausreichend lang.

Die Verdünnungsluftkonditionierung erfolgt mittels Wasserabscheider, Siliziumdioxid-Trockner und HEPA-Filtern. Ein eingebauter katalytischer Stripper, der bei einer Temperatur von 350 °C arbeitet, dient zur Entfernung von volatilen Partikeln. Die Stromversorgung erfolgt aus dem Netz mit 220 V. Vor allem wegen der Heizung liegt die elektrische Leistung bei 100 bis 200W. Vor dem Gerät sitzt ein 1µm Zyklon als Vorkonditionierer mit integrierter Wasserfalle. Die Partikelanzahlkonzentration wird mit einem mit Isopropanol betriebenen CPC gemessen. Das Messgerät kann bei Umgebungsbedingungen von -10°C bis 40°C und bei Höhen von 0 - 3000 m betrieben werden. Das Gerät ist als einziges der getesteten Geräte bereits auf dem Markt erhältlich. Durch die geringe Anzahl bisher gebauter Geräte ist der Preis für ein zukünftiges AU Gerät eher über einem vorstellbaren Kostrahmen. Für höhere Stückzahlen können keine Aussagen gemacht werden./16/

Vor den Messungen muss der Wechseldocht mit Isopropanol getränkt werden, siehe Abbildung 2.4.1. Nach Einbau des Dochts ist das Gerät für etwa 4 Stunden betriebsbereit. Dies ist gleichzeitig ein wesentlicher Nachteil des Geräts: das Handling mit Flüssigkeiten aus offenen Behältern, wie Isopropanol alle 4 Stunden wird von AU-Experten den TÜV abgelehnt. Für mobilen Einsatz müsste ebenso flüssiges Isopropanol in Behältern transportiert werden. Für das Tränken des Dochts müssten Sicherheitsbrillen, Handschuhe als Ausrüstung bereitgestellt werden sowie Betriebsanweisungen etc. für die Verwendung von Chemikalien auch an Kundenprüforten erstellt werden. Die Verwendung von Flüssigkeiten aus offenen Behältern mit Umschütten ist für eine AU ungeeignet.

Als Hinweis, was für den TÜV akzeptabel ist, sei gesagt, dass der TÜV sich nicht gegen Isopropanol als Mittel beim Einsatz von CPC's grundsätzlich sperrt, sondern gegen das Handling und Füllen aus offenen Flaschen. Deshalb sollte die Verbrauchsflüssigkeit in Wechselkartuschen enthalten sein, wie beim Handling von Tintenpatronen bei Druckern. Das Wechselintervall sollte für stationäre Geräte nicht unter einer Woche liegen. Bei mobilen Geräten sollte beachtet werden, dass die Geräte auch auf dem „Kopf“ stehend, oder in beliebiger Lage im Auto transportiert werden.

Das Messgerät wird mit einem mitgelieferten Tablet gesteuert, welches für den rauen Dauereinsatz nicht passend erscheint. Das Tablet mit dem Anzeigebildschirm zeigt Abbildung 2.4.3. Der Betrieb kann aber auch über einen geeigneten PC erfolgen.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Für eine Messung nach VAMV 941.242 erzeugt das NPET als einziges Gerät einen druckbaren Testreport. Der Testreport ist ein pdf-Dokument, welches passwortgeschützt gegen Änderung ist. Im Testreport sind auch formale Daten wie Name des Prüfers sowie vier Daten zum Fahrzeug und Motor enthalten, sowie Daten zu Umgebungsbedingungen, wie Temperatur, Druck und Feuchte.

Der Testreport müsste für die deutsche AU angepasst werden. Gemäss VAMV 941.242 in /8/ wird die Messung in gesamt 40 Sekunden durchgeführt. Als einziges Gerät werden hier 10 Hz Daten zur Mittelwertbildung herangezogen, welches der richtige Ansatz hierfür ist. Im Aufzeichnungsmodus beträgt die Aufzeichnungsrate 1 Hz, was die Untersuchung des Geräts erschwert, da 10 Hz Messdaten unzugänglich sind. Die Daten werden in einem .txt Fileformat abgespeichert. Die Messdaten enthalten keinen Zeitstempel.

Das TSI NPET kann Konzentrationen bis zu 5.000.000 #/ccm messen. Es weist zwei Messmethoden auf. Eine allgemeine mit Datenprotokollierung in Echtzeit und eine Offizielle mit Zertifizierung nach Schweizer Verordnung SR 941.242 (Abgasprüfung für Baumaschinen). Weitere Daten sind in Tabelle A1.11 in Anlage 1 enthalten. Partikel werden bis zu einer Grösse von 1µm gemessen./16/

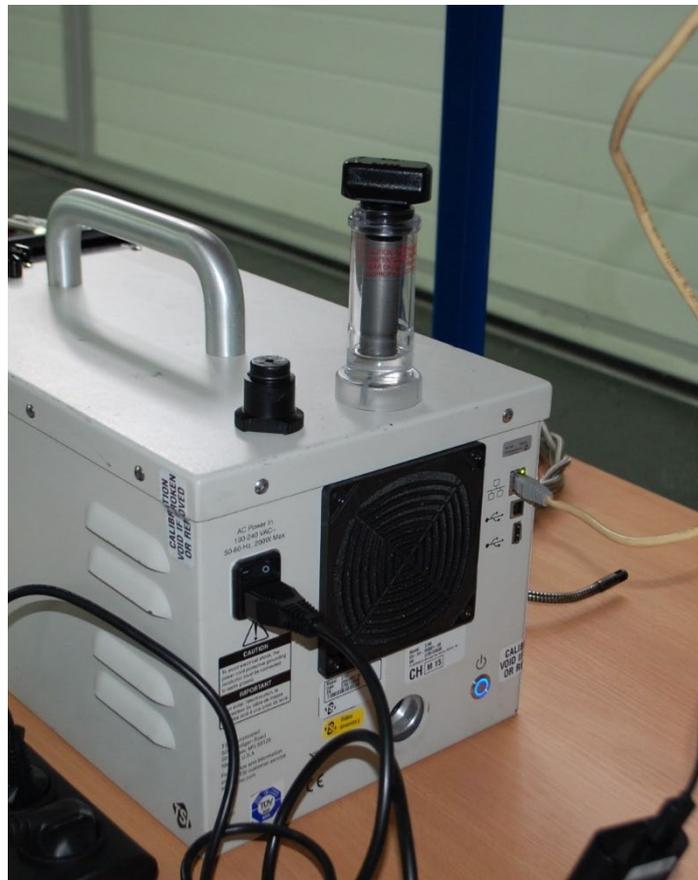


Abbildung 2.4.1: TSI NPET Gerät und das Tränken des Dochts

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen



Abbildung 2.4.2: Montage des getränkten Dochts, TSI NPET



Abbildung 2.4.3: Anzeige- und Bedienbildschirm, TSI NPET

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

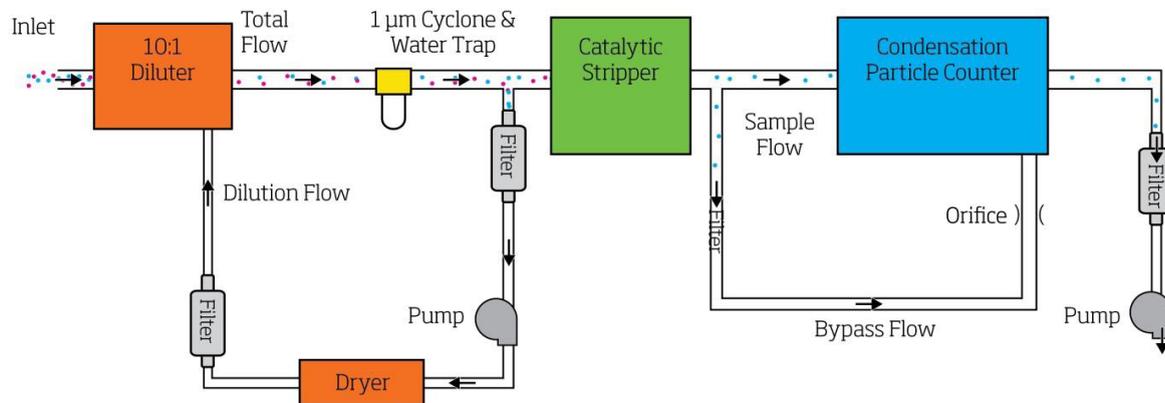


Abbildung 2.4.4: Aufbau des TSI NPET nach /16/

		2017-02-23 01:43:30 PM	
<b>Model:</b>	3795	<b>Manufacturer:</b>	TSI Inc.
<b>Serial:</b>	3795150506	<b>Last Calibration:</b>	2017-02-07
<b>Firmware Version:</b>	1.1.1	<b>Application Version:</b>	1.1.0.0
<b>Application Key:</b>	3D3E-0DAD-B1C4-110F-7252-C1EA-191A-09EB		
tsi			
500			
123			
<b>OFFICIAL MEASUREMENT</b>			
<b>Date/Time:</b>	2017-02-23, 12:42:21	<b>Mean #1 (1/cm³):</b>	5.53E4
<b>Duration:</b>	00:00:40	<b>Mean #2 (1/cm³):</b>	5.24E4
<b>Operator:</b>	mathies lille	<b>Mean #3 (1/cm³):</b>	5.02E4
<b>Machine Make:</b>	meriva	<b>Overall Mean (1/cm³):</b>	5.26E4
<b>Machine Model:</b>	test leerlauf	<b>Limit (1/cm³):</b>	2.5E5
<b>Machine Id:</b>	.	<b>Result:</b>	<b>PASS</b>
<b>Engine Id:</b>	.		
<b>Ambient Conditions:</b> 13.4 °C, 99.2 kPa, 58 %RH			
<b>SIGNATURE:</b>			

Abbildung 2.4.5: Druckprotokoll des TSI NPET



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

### **3 Gerätekalibrierung**

Für die bisher bei der HU und Abgasuntersuchung verwendeten Geräte gibt es je nach Messgerät und Fahrzeugsystem unterschiedliche Ansätze für die Kalibrierung. Ein Teil der Geräte wird durch Eichung von Eichämtern überprüft, für andere Geräte kann die Kalibrierung durch akkreditierte Labore erfolgen.

Da für die Partikelanzahlmessung allein in Deutschland mit über 20.000 Geräten gerechnet werden muss, ist bei jährlicher Überprüfung ein Prüfvolumen abzusehen, das bisher nicht existent ist. Für dieses Prüfvolumen müssen Kapazitäten aufgebaut werden, die es auch erlauben höhere Stückzahlen in kurzen Zeiträumen zu bearbeiten.

Für Partikelzähler, die in der Zertifizierung verwendet werden, sind Konzepte zur Rückführbarkeit sowie ISO Normen erarbeitet worden, wie in einer Präsentation der Firma TSI auf einem PMP Meeting dargestellt /4/.

Für die Definition der Eigenschaften der Effizienz der Partikelzählung sind Ausführungen in Abschnitt 3 enthalten, die ebenso auf dem Umfang und Inhalt der Kalibrierung einen Einfluss haben.

Für Partikelzähler der zukünftigen Abgasuntersuchung sind Vorschläge für eine vereinfachte Kalibrierung und den Nachweis der Rückführbarkeit in Anhang 1 enthalten.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

#### **4 Effizienz der Partikelzählung**

In den europäischen Emissionsrichtlinien /2/ für Pkw und /18/ für Motoren von schweren Nutzfahrzeugen ist eine Zähleffizienz für Partikelzähler bei 23 und 41 nm festgelegt. Ebenso ist ein Kondensationspartikelzähler als Messprinzip festgelegt. Im RDE Paket 3 /1/ wurde für die Definition einer PN-PEMS für PKW Untersuchungen die Festlegung auf das Messprinzip aufgehoben, dafür aber eine Zähleffizienzkurve mit sechs Stützstellen festgelegt. Die Unterschiede, auch in der Bedeutung für die Kalibrierung sind in einer Präsentation auf einem PMP-Meeting in /3/ enthalten. Für Überwachungsanwendung wurde in der VAMV in der Schweiz in /8/ eine Kurve mit vier Stützstellen eingeführt und in einer Präsentation der FOEN (Federal Office for the Environment) /7/ eine Änderung auf nur drei Stützstellen bei 23, 80 und 200 nm vorgestellt. Hierbei wird bei 80 nm eine Zähleffizienz von 70 bis 130 % vorgeschlagen. In /7/ wird für die PN PTI in den Niederlanden aber auch zur Anwendung international nur noch eine Stützstelle der Zähleffizienz bei 70 nm von nominal 100% vorgeschlagen. Es fehlt hier jedoch die Angabe einer Toleranz um den Nominalwert.

Im Vorgriff auf Messungen in Abschnitt 5.8 kann für Leerlaufmessungen oder Messungen in Leerlaufnähe die Festlegung einer Zähleffizienz bei 70 nm von 70 bis 130 % in vereinfachter Natur nur eines Punktes damit begründet werden. Die Festlegung hat auch Einfluss auf die Realisierung der reihenweisen Überprüfung der zukünftigen AU Partikelanzahlmessgeräte. Siehe auch hierzu die Hinweise in Anhang 1.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

**5 Partikelanzahlmessungen bei Pkw**  
**5.1 Übersicht**

In diesem Abschnitt 5 sowie auch im Abschnitt 6 sind die Partikelanzahlmessungen bei Pkw dargestellt. In der Übersicht wurden folgende Fahrzeuge untersucht:

- Skoda Superb
- VW Golf Sportsvan
- Opel Zafira Tourer
- VW Caravelle
- VW California Beach
- Opel Crossland X (Peugeot)
- Opel Insignia
- BMW 520 A

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**5 Partikelanzahlmessungen bei Pkw**  
**5.2 Testfahrzeug Skoda Superb**

Bei dem Testfahrzeug Skoda Superb handelt es sich um einen etwa eineinhalb Jahre alten Dienstwagen mit etwa 30.000 Kilometer Jahresfahrleistung der Stufe Euro 6b, siehe Abbildung 5.2.2. Die Daten des Fahrzeugs sind in Tabelle 5.2.1 dargestellt.

Hersteller	[-]	SKODA
Typ	[-]	3T
Karosserieform	[-]	Limousine
Fahrzeugkategorie	[-]	M1
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	CRL
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	1968
Motorleistung	[KW]	110
Euro Stufe	[-]	6 (W)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Vereinigtes Königreich
Typgenehmigungsnummer	[-]	e11*2001/116*0326*40
Leergewicht	[kg]	1500
CO2-Emissionen	[g/km]	119
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	47,137
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	21-09-2016

Tabelle 5.2.1: Daten des Testfahrzeug Skoda Superb



Abbildung 5.2.2: Testfahrzeug Skoda Superb

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Abbildung 5.2.3 zeigt hier exemplarisch das Auslesen des Fehlerspeichers des Fahrzeugs, sowie Daten zum DPF Zustand.

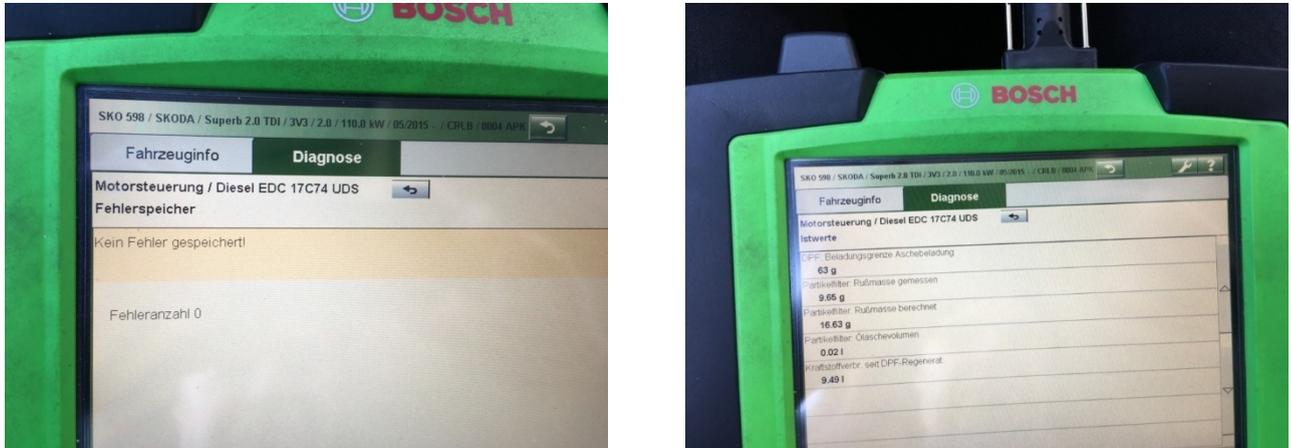


Abbildung 5.2.3: Fehlerspeicheranzeige und Anzeige von DPF Daten

Die Leerlaufdrehzahl beträgt 750 Umdrehungen. Die Abregeldrehzahl ist im Stand auf 2500 Umdrehungen begrenzt. Die Messungen erfolgten gleichzeitig mit den Messgeräten von Sensors und testo im Vergleich zum Referenzgerät von AVL. Der Test erfolgte bei  $-2^{\circ}\text{C}$ , und das Fahrzeug war nicht kritisch für Halten der Kühlmitteltemperatur. Abbildung 5.2.4 zeigt den Verlauf der Kühlmitteltemperatur bei einem PN PTI Leerlaufstest mit nachfolgenden freien Beschleunigungen.

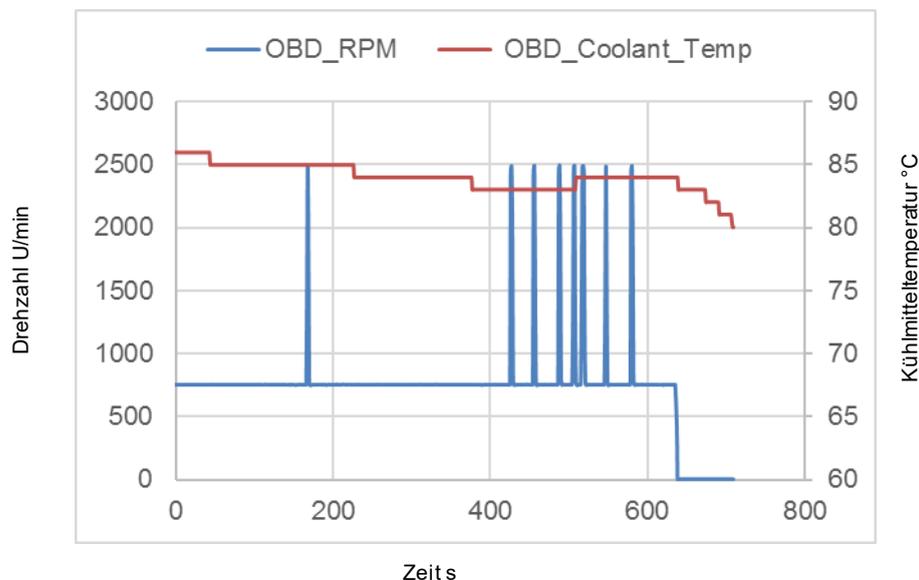


Abbildung 5.2.4: Drehzahl und Kühlmitteltemperatur bei einem PN PTI Test mit anschließenden freien Beschleunigungen am Test Fahrzeug Skoda Superb



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN testo PEPA
1	Leerlauf 750	3,3E1	3,2E0	2,9E2
2	750	2,6E1	5,8E0	7,5E2
3	750	3,1E1	9,0E0	4,4E2
		Mittelwert 3E1	Mittelwert 6E0	Mittelwert 4,9E2

Tabelle 5.2.5: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf, Skoda Superb

Im Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen in den Leerlaufmessungen am Skoda Superb, Tabelle 5.2.5, liegen die Mittelwerte zwar alle um eine Zehnerpotenz auseinander, sind aber alle auf niedrigstem Niveau und weit von einem gedachten Grenzwert. Auch diese Messung unterstützt den Ansatz von /x/, die Messwerte unter 50.000 #/ccm zu unterdrücken, und eine AU als „Bestanden“ zu werten.

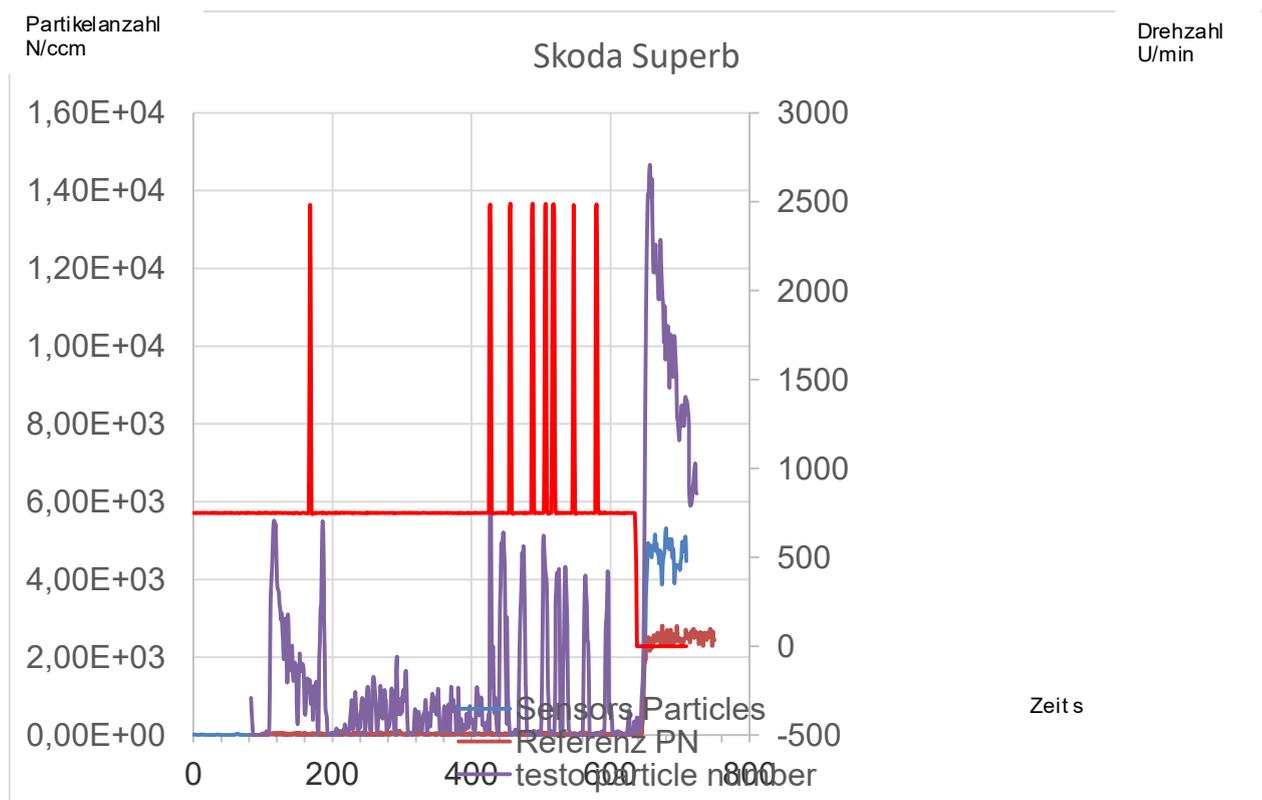


Abbildung 5.2.6: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen AVL, Sensors, testo; Skoda Superb



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Abbildung 5.2.6 zeigt einen Vergleich der Verläufe der Partikelanzahlkonzentrationen bei diesem Leerlauftest mit anschließenden freien Beschleunigungen. Geräte mit Diffusion Charger DC Messprinzip, wie das testo PEPA, zeigen mehr Rauschen und Messungenauigkeiten bei niedrigen Werten um und unter Werten von 3000 #/ccm. Vermutlich auch wegen Partikelgrösseneffekten, zeigt das testo PEPA als einziges Gerät ein deutliches Ansprechen auf die freien Beschleunigungen. Um für ein Diagramm eine Zeitverschiebung vorzunehmen, wurde am Testende bei etwa 650 Sekunden der Motor abgestellt, damit diese Anstiege übereinandergelegt werden können. Dieser Anstieg auf die Partikelanzahl der Umgebungsluft ist für den Zeitabgleich gut zu verwenden. In der Präsentation /7/ ist zu erkennen, dass man diesen Sprung am Ende auf Umgebungsluft beim Motor abstellen für die Plausibilisierung einer jeden AU nutzen kann. Genauso ist natürlich der Effekt zu erzielen, in dem man die Sonden aus dem Endrohr entfernt. Validieren kann man sowohl den Sprung der Partikelanzahl, als auch den Messwert der Umgebungsluft. Dieser Ansatz ist nachvollziehbarer, als im Messgerät eingebaute Testroutinen, die natürlich weiterhin bestehen bleiben müssen.

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN PTI Testo PEPA
1	2485	2,7E1	8,7E0	5,2E3
2	2488	6,2E1	1,8E1	4,8E3
3	2490	4,2E1	0E0	5,1E3
4	2487	4,8E1	8,4E0	4,2E3
5	2487	4,1E1	8,9E0	4,3E3
6	2482	4,9E1	9E0	4,1E3
7	2486	3,5E1	0E0	4,2E3

Tabelle 5.2.7: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen bei der freien Beschleunigung, Skoda Superb

Auch bei den Partikelanzahlspitzenwerten der freien Beschleunigung liegen die Werte um Zehnerpotenzen auseinander, insgesamt auf niedrigstem Niveau. Für die Geräte mit CPC ist beinahe kein Zusammenhang der Werte der Partikelanzahl zu einer Drehzahl oder Drehzahländerung zu erkennen. Dies Verhalten zeigt die Anzeige des Sensors Geräts in Abbildung 5.2.8.

Der Effekt ist hier so extrem, dass man schnell die Messung anzweifeln kann. Man kann auch nicht entscheiden, ob das Messgerät möglicherweise eingefroren ist, oder durch einen Defekt verursacht nur Nullwerte ausgibt. Durch den Motorstop am Ende kann man aber wieder Messwerte erkennen und so die Messung als in Ordnung bewerten.

Die Partikelanzahlkonzentrationen bei Prüfungen bei 2000 und 2500 Umdrehungen sind in Tabellen 5.2.9 zur Übersicht dargestellt.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

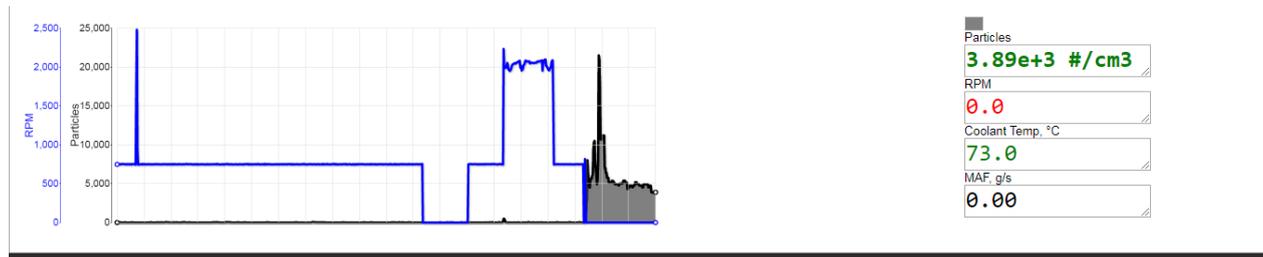


Abbildung 5.2.8: Anzeige des Sensors Geräts bei Messungen am Skoda Superb

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	2023	74,6	7.5E1	
2	2054	77,5	6.7E0	
3	2039	80,1	2,7E0	
Mittelwert	2039	77,4	3,4E0	„PTI PASS“

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	2498	78,6	3,7E1	
2	2495	83,7	1,4E1	
3	2498	87,6	1,6E1	
Mittelwert	2497	83,3	2.2E1	„PTI PASS“

Tabellen 5.2.9 Partikelanzahlkonzentrationen bei 2000 und 2500 Umdrehungen, Skoda Superb

Ergebnisbetrachtung Messungen Skoda Superb:

- Die Partikelanzahlkonzentrationen liegen für die Messungen mit allen Messgeräten in weitem Abstand unter einem gedachten Grenzwert und unter Umgebungsluftkonzentration. Die DPF Filterwirkung ist hervorragend.
- Die Partikelanzahl bei diesem Fahrzeug ist weitgehend unabhängig von jeglicher Prüfdrehzahl oder Drehzahländerung
- Am Ende der zukünftigen AU Prozedur für PN sollte der Motor Stop oder die Entnahme der Sonden bezüglich der Partikelanzahl mitgemessen werden. Der Sprung und der Messwert der Umgebungsluft sollte für die Bewertung der Gültigkeit der Messung mit einbezogen werden

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**5** Partikelanzahlmessungen bei Pkw  
**5.3** Testfahrzeug VW Golf Sportsvan

Bei dem Testfahrzeug VW Golf Sportsvan handelt es sich um einen etwa eineinhalb Jahre alten Wagen aus einem Fuhrpark mit etwa 20.000 Kilometer Jahresfahrleistung der Stufe Euro 6b, siehe Abbildung 5.3.2. Die Daten des Fahrzeugs sind in Tabelle 5.3.1 dargestellt.

Hersteller	[-]	VW
Typ	[-]	AUV
Karosserieform	[-]	Kombilimousine
Fahrzeugkategorie	[-]	M1
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	CXX
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	1598
Motorleistung	[KW]	81
Euro Stufe	[-]	6 (W)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Deutschland
Typgenehmigungsnummer	[-]	e1*2007/46*0627*16
Leergewicht	[kg]	1436
CO2-Emissionen	[g/km]	104
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	30,026
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	28-09-2016

Tabelle 5.3.1: Daten des Testfahrzeug VW Golf Sportsvan



Abbildung 5.3.2: Testfahrzeug VW Golf Sportsvan und Messaufbau

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Abbildung 5.3.3 zeigt hier exemplarisch das Auslesen des Fehlerspeichers des Fahrzeugs, sowie Daten zum DPF Zustand.

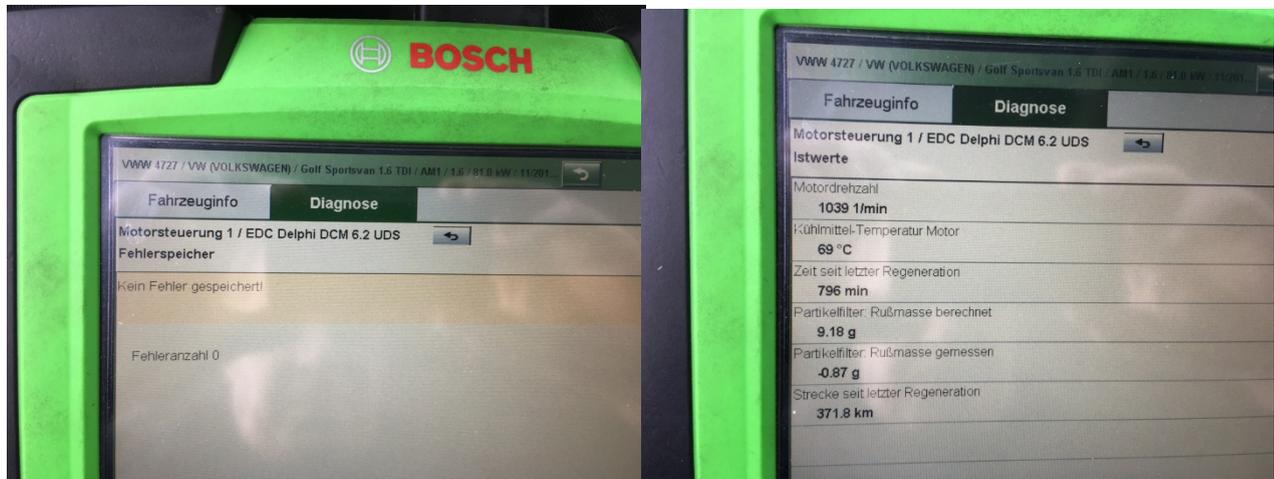


Abbildung 5.3.3: Fehlerspeicheranzeige und Anzeige von DPF Daten

Die Leerlaufdrehzahl beträgt 1073 Umdrehungen. Die Abregeldrehzahl ist im Stand auf 2500 Umdrehungen begrenzt. Die Messungen erfolgten gleichzeitig mit den Messgeräten von Sensors und testo im Vergleich zum Referenzgerät von AVL. Der Test erfolgte bei -6°C, und das Fahrzeug war nicht kritisch für Halten der Kühlmitteltemperatur. Eine Testdrehzahl von 2000 Umdrehungen ist schwierig zu dosieren, da der Motor dabei ständige Regelbewegungen ausführt.

Messpunkt Endrohr	Kühlmittel -temperatur	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN testo PEPA	
1	73	1073,4	8,8E1	4,7E1	2,9E2	Sensors elapsed 1281
2	73	1073,4	8,5E1	5,7E1	1,0E2	1342
3	73	1073,5	7,9E1	5,5E1	1,4E2	1401
Mittelwert	73	1073,4	8,4E1	5,3E1	1,8E2	„PTI PASS“

Tabelle 5.3.4: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf, VW Golf Sportsvan

Im Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen in den Leerlaufmessungen am VW Golf Sportsvan, Tabelle 5.3.4, liegen die Mittelwerte alle auf niedrigstem Niveau und weit von einem gedachten Grenzwert.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

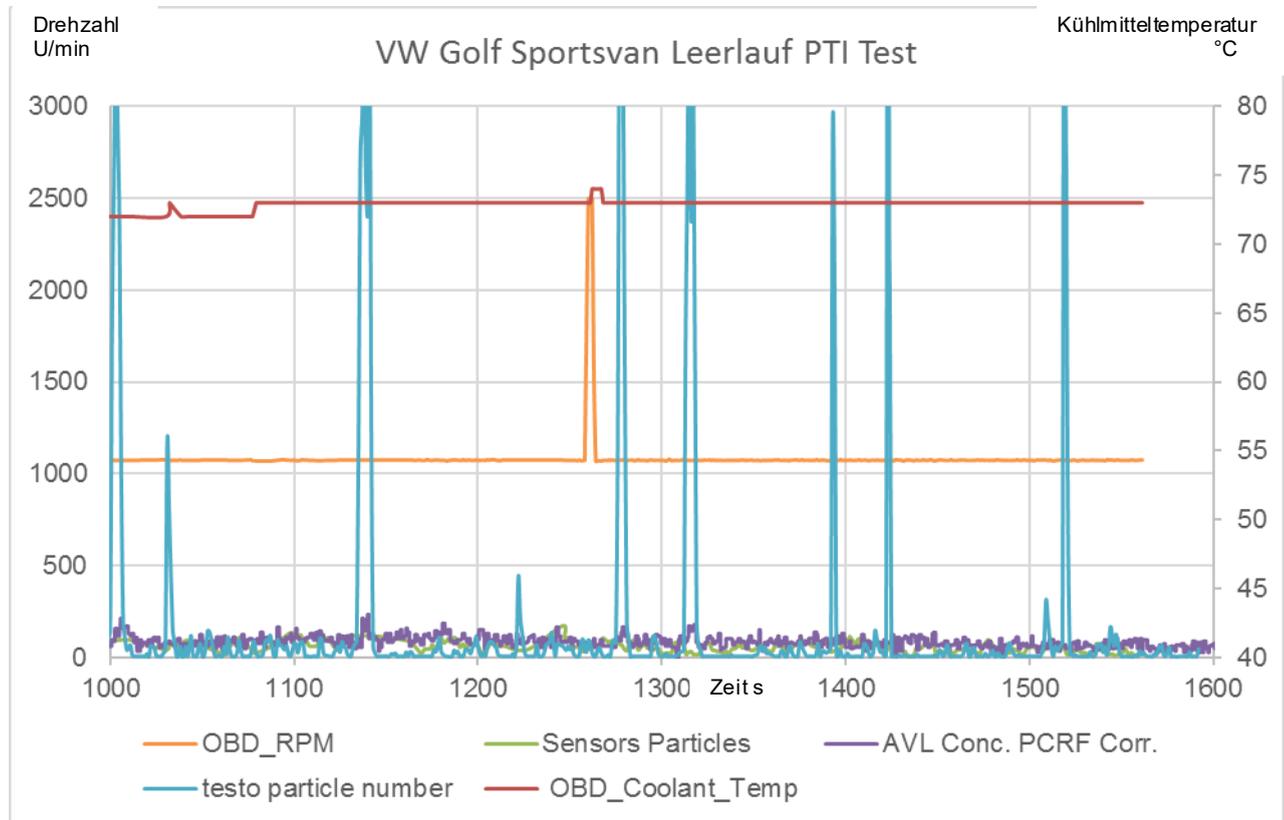


Abbildung 5.3.5: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen bei Leerlauf, VW Golf Sportsvan

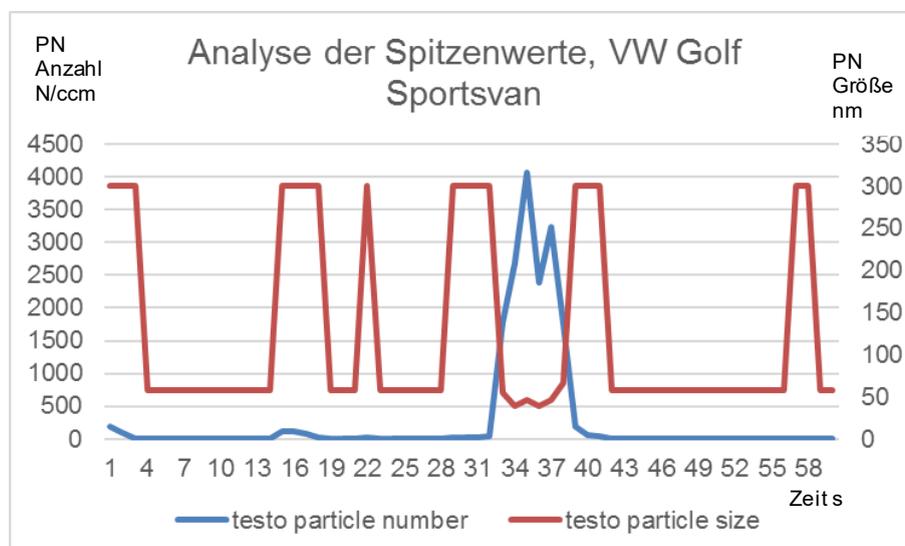


Abbildung 5.3.6: Anlyse der „Peaks“, Leerlaufmessung VW Golf Sportsvan, testo PEPA



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**

Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

Bei Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf bei der Messung des VW Golf Sportsvan zu den anderen Fahrzeugen fällt das um eine Zehnerpotenz höhere Ergebnis auf. Zur Analyse sind in Abbildung 5.3.5 im Vergleich die Verläufe der Partikelanzahlkonzentrationen aufgetragen. Auffallend sind kurze „Peaks“, also Spitzenwerte von etwa  $4E3 \text{ \#/ccm}$ , wobei diese sehr hohen Spitzen nur beim testo PEPA zu verzeichnen sind. Auch bei den anderen Geräten sieht man leichte Anstiege, allerdings auf sehr geringem Niveau. Die Verläufe ohne diese Peaks stimmen gut überein.

Zur Analyse dieser Spitzen ist in Abbildung 5.3.6 beispielhaft eine dieser Partikelanzahlkonzentrationsspitzen aufgetragen, gemeinsam mit der Partikelgrösse nach /14/. Bei diesem Dieselpartikelfilter erkennt man eine stark schwankende Partikelgrösse im Leerlauf. Teilweise sind kleinere Partikel bis zu 39 nm im Abgas, die dann wegen der Grössenabhängigkeit einen Partikelkonzentrationsausschlag von bis zu  $4E3 \text{ \#/ccm}$  hervorrufen. Teilweise sind auch Partikelgrössen von bis zu 300 nm zu beobachten, wie auch typische Werte von 60 nm (siehe zum Vergleich Abbildung 7.3.16).

Insgesamt liegt die Partikelemission aber auf sehr niedrigen Niveau, weitab von jedem gedachten Grenzwert.

Wichtig ist diese Analyse jedoch, um einen Defekt am Gerät wie z.B. teilweise Leckage auszuschliessen.

Tabelle 5.3.7 zeigt die Partikelanzahlkonzentrationen als Mittelwerte bei 2000 Umdrehungen bei der Messung am VW Golf Sportsvan. Hier zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung aller Geräte. Abbildung 5.3.8 zeigt die Verläufe der Partikelanzahlkonzentrationen hierzu.

Das testo PEPA zeigt hier keine Peaks, es sind auch keine Partikel unter den nach /14/ berechneten 60 nm enthalten, siehe auch Abbildung 5.3.13.

Abbildung 5.3.8 zeigt auch, dass durch die Regelfunktion des Motors. Es schwierig ist, eine Drehzahl von konstant 2000 Umdrehungen einzustellen. Die Kühlmitteltemperaturen bewegen sich in dem Prüfpunkt bei 77 bis 78 °C.

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN PTI Testo PEPA	Bemerkung
1	2011	76,8	5,3E1	3,0E1	3,1E1	Sensors elapsed: 129
2	2033	77,9	5,0E1	2,7E1	2,1E1	190
3	2060	78,8	5,4E1	2,9E1	2,2E1	249
Mittelwert	2035	77,8	5,2E1	2,9E1	2,5E1	„PASS“

Tabelle 5.3.7: Partikelanzahlkonzentration bei 2000 Umdrehungen, VW Golf Sportsvan

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

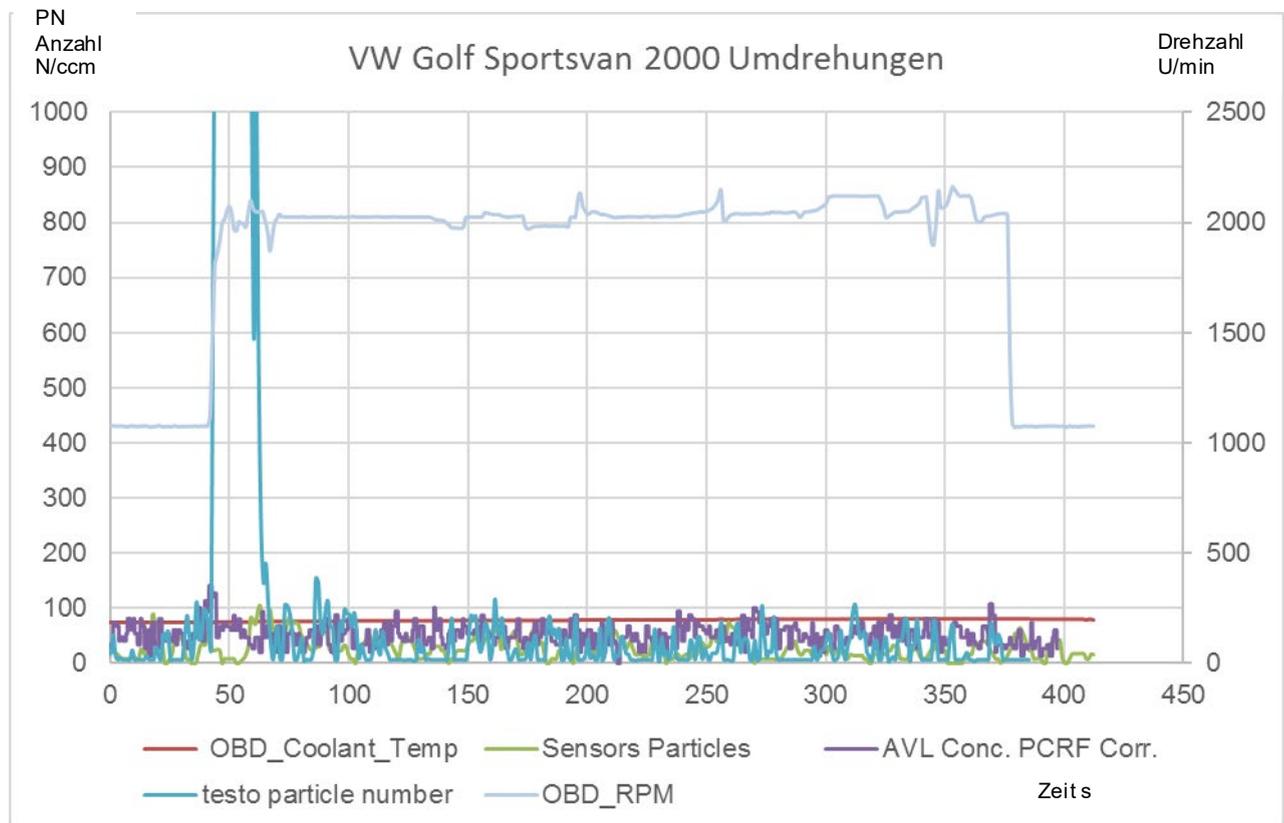


Abbildung 5.3.8: Verläufe der Partikelanzahlkonzentration bei 2000 Umdrehungen, VW Golf Sportsvan

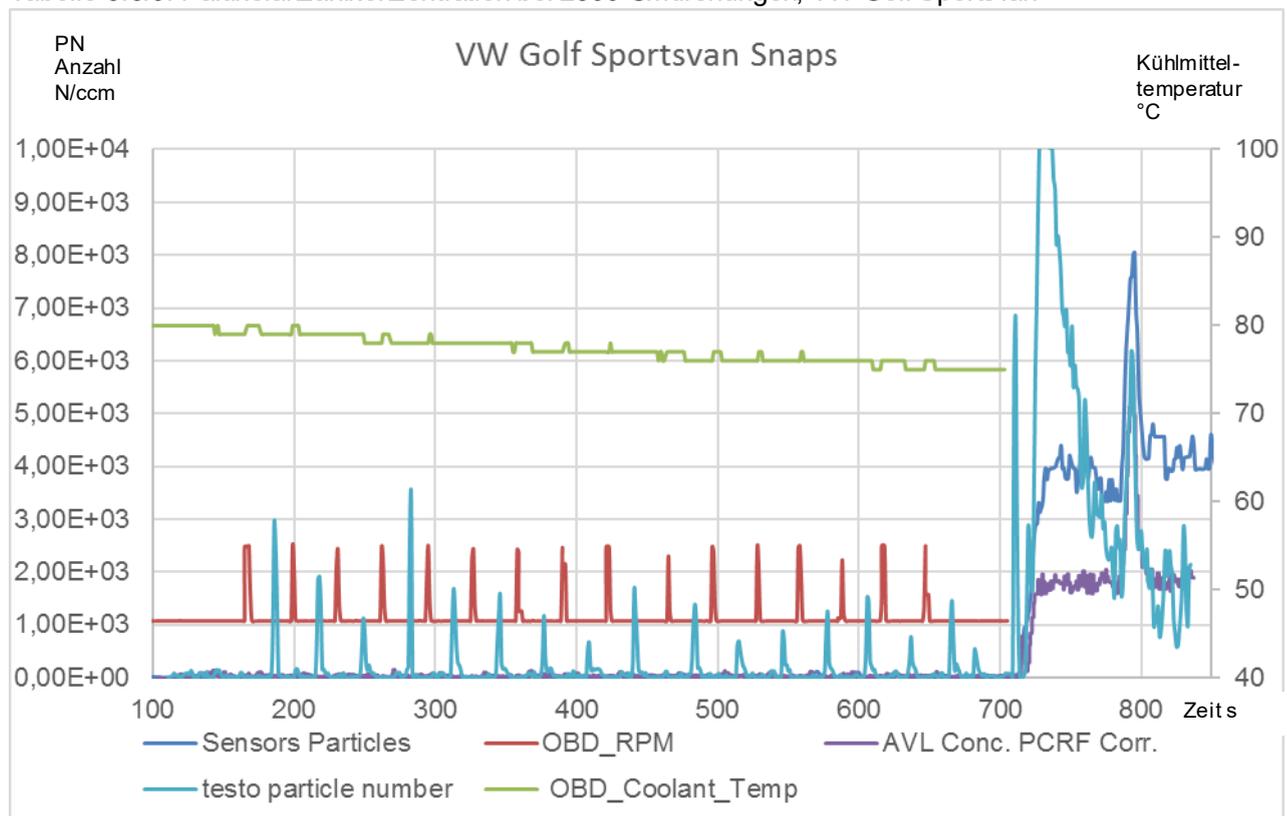
Tabelle 5.3.9 zeigt die Partikelanzahlkonzentrationen als Mittelwerte bei 2500 Umdrehungen bei der Messung am VW Golf Sportsvan. Auch hier zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung aller Geräte. Abbildung 5.3.10 zeigt die Verläufe der Partikelanzahlkonzentrationen hierzu. Der Motor ist im Stand auf 2500 Umdrehungen begrenzt, deshalb gelingt hier eine gute Dosierung der Drehzahl. Die Kühlmitteltemperatur erreicht in diesem Prüfpunkt auch Werte über 80 °C.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN PTI Testo PEPA	Bemerkung
1	2497,5	78	6,1E1	4,1E1	2,4E1	Sensors elapsed: 214
2	2492,2	80,5	6,0E1	3,8E1	3,7E1	235
3	2497,6	82,7	5,3E1	4,1E1	3,6E1	334
Mittelwert	2497,4	80,4	5,8E1	4,0E1	3,2E1	„PASS“

Tabelle 5.3.9: Partikelanzahlkonzentration bei 2500 Umdrehungen, VW Golf Sportsvan





Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

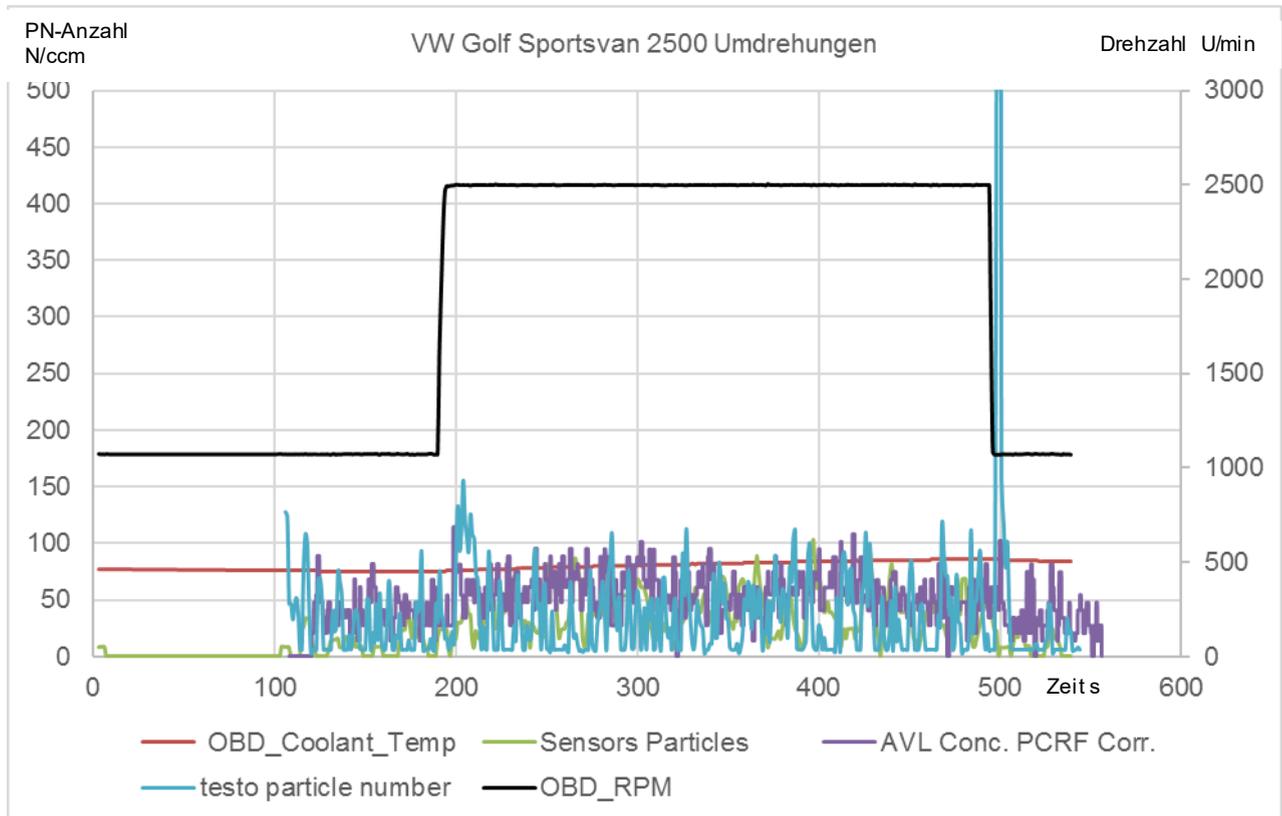


Abbildung 5.3.10: Verläufe der Partikelanzahlkonzentration bei 2500 Umdrehungen, VW Golf Sportsvan



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Tabelle 5.3.11 zeigt die Partikelanzahlkonzentrationen als Spitzenwerte bei der freien Beschleunigung der Messung am VW Golf Sportsvan. Einzig das testo PEPA zeigt Spitzenwerte in zeitlichem Zusammenhang zur Drehzahl.

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	Kühlmittel- temperatur	PN Referenz*	PN PTI Sensors*	PN PTI Testo PEPA	Bemerkungen
1	2497	80	3,4E1	3,4E1	2,9E3	testo elapsed: 186
2	2497	79	2,0E1	0E0	1,9E3	218
3	2428	79	4,1E1	6,1E1	1,1E3	249
4	2468	78	2,0E1	0E0	3,5E3	282
5	2498	78	1,3E1	2,7E1	1,7E3	313
6	2431	78	2,7E1	9,3E0	1,6E3	346
7	2422	78	6,8E1	8,6E0	1,2E3	377
8	2434	77	2,7E1	0E0	6,7E2	409
9	2475	77	2,7E1	3,3E1	1,7E3	441
10	2301	77	4,8E1	8,2E0	1,4E3	484

Tabelle 5.3.11: Partikelanzahlkonzentrationen bei der freien Beschleunigung, VW Golf Sportsvan

\*Kein zeitlicher Zusammenhang

Abbildung 5.3.12 zeigt die Verläufe der Partikelanzahlkonzentrationen hierzu. Es zeigt sich, dass selbst bei freien Beschleunigungen in regelmässigen Abständen eine Kühlmitteltemperatur von 80 °C nicht gehalten werden kann. Gegen Ende der Prüfung wurde der Motor abgeschaltet, um einen Anstieg der Partikelanzahlkonzentration auf Werte der Umgebungsluft mit aufzuzeichnen. Da für die CPC Partikelzähler kein Ausschlag der Messwerte auch bei freier Beschleunigung zu erkennen ist, dient dieser Anstieg auf Umgebungsluft als zeitliche Referenz, um die Messdaten mit Zeitabgleich übereinander zu legen.

Ebenso handelt es sich um eine gute Plausibilisierung der Messung, wenn man nachweisen kann, dass die Messwerte im Endrohr bei Abschalten des Motors ansteigen. Gezeigt wird damit, dass das Messgerät wirklich im Messzustand ist, und eine Abgasuntersuchung als „Bestanden“ zu werten, wenn Werte nach Abschalten des Motors auf höhere Werte ansteigen. Die Übernahme dieses Mitmessens nach Abschalten des Motors wird für den Ablauf der zukünftigen Untersuchung mit Partikelanzahl empfohlen.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

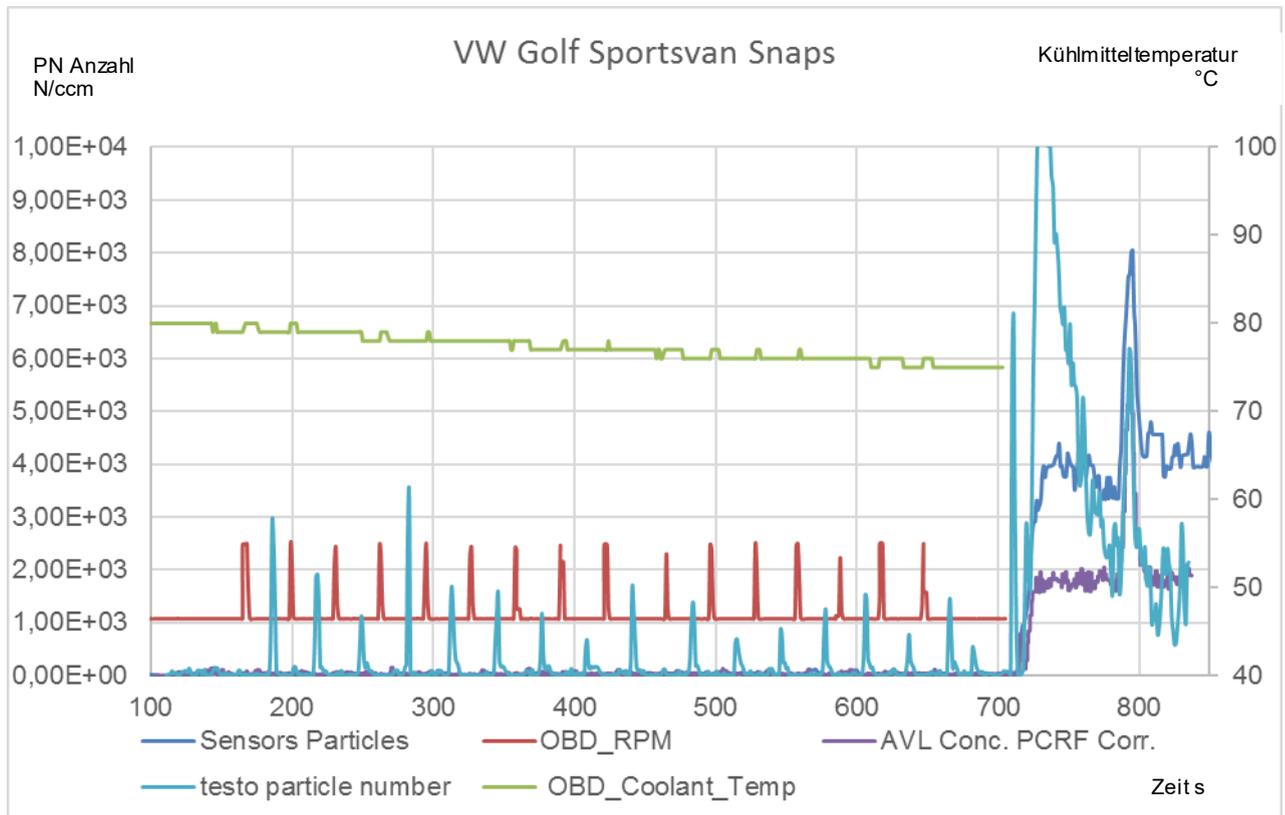


Abbildung 5.3.12: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen AVL, Sensors, testo, freie Beschleunigung, VW Golf Sportsvan

Der Effekt aus Abbildung 5.3.6, also das Auftreten kleiner Partikel bei freier Beschleunigung erklärt auch die höheren Messwerte des testo PEPA.

In Abbildung 5.3.13 ist der Verlauf der Partikelanzahlkonzentration und der -größe dargestellt, gemessen mit dem testo PEPA bei dem Drehzahlstoss vor der Messung bei 2000 Umdrehungen am VW Golf Sportsvan. Man erkennt das Absenken der Partikelgröße bei der freien Beschleunigung.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

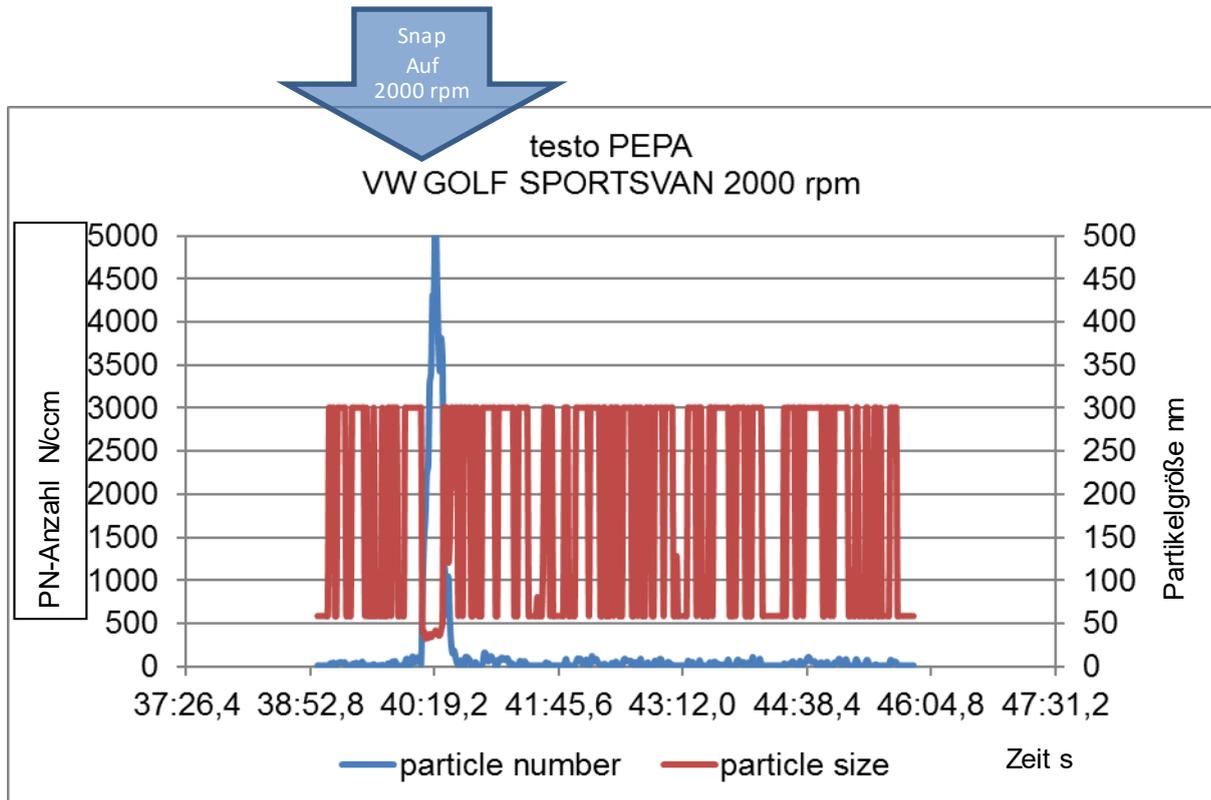


Abbildung 5.3.13: Partikelanzahlkonzentration und Partikelgröße, testo PEPA, VW Golf Sportsvan

Weitere Gründe die freie Beschleunigung nicht für die direkte AU Messung heranzuziehen:

- Die Partikelgröße nimmt ab zu sehr kleinen Partikeln: siehe testo Messkanal
- Die Partikel während der freien Beschleunigung mit kleinen Grössen bewegen sich in der Effizienzkurve zur Erkennung kleiner Partikel, deshalb können sich die Geräteunterschiede in der Toleranzkurve bei kleinen Partikeln auch auf das Ergebnis auswirken: deshalb ist eine stationäre Messung bei Partikelgrößen, die nicht in der Effizienzkurve liegen, robuster und besser geeignet
- Die Streubreite bei den kleinen Partikeln ist grösser
- Die t90 Zeit und Ansprechzeiten spielen eine grosse Rolle bei der Partikelmessung bei der freien Beschleunigung, sowie auch der Partikelgradient durch die Entnahmeleitung der bei abrupten Änderungen sich verflacht. /8/ stellt keine hohen Anforderungen an transiente Messungen.
- Auch die Abtastrate hat einen Einfluss auf die PN Emission bei der freien Beschleunigung
- Mögliche Erzeugung von volatilen Partikeln bei freier Beschleunigung
- In Summe sind die nachteiligen Effekte bei der transienten Partikelmessung so überlagernd, um sie für eine nachweisbare, einklagbare und gerichtsfeste Messung auszuschliessen.
- Einzig die Erhöhung gegenüber dem Stationärwert ist ein Mass für den Filtereffekt, der im Umfeld des stationären Grenzwerts für eine weitere Bewertung ein Mass für den DPF Defekt ist

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**5 Partikelanzahlmessungen bei Pkw**  
**5.4 Testfahrzeug Opel Zafira Tourer**

Bei dem Testfahrzeug Opel Zafira Tourer handelt es sich um einen etwa zweieinhalb Jahre alten Dienstwagen mit etwa 40.000 Kilometer Jahresfahrleistung der Stufe Euro 6b, siehe Abbildung 5.4.2. Die Daten des Fahrzeugs sind in Tabelle 5.4.1 dargestellt.

Hersteller	[-]	Opel
Typ	[-]	P-J/SW
Karosserieform	[-]	Fz. Z.Pers.bef.b. 8 Spl. Mehrzweckfahrzeug
Fahrzeugkategorie	[-]	M1
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	B20DTH ww. LFS
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	1956
Motorleistung	[KW]	125
Euro Stufe	[-]	6b (W)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Niederlande
Typgenehmigungsnummer	[-]	E4*2007/46*0204*20
Leergewicht	[kg]	1953
CO2-Emissionen	[g/km]	137
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	100,756
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	17-07-2015

Tabelle 5.4.1: Daten des Testfahrzeug Opel Zafira Tourer



Abbildung 5.4.2: Testfahrzeug Opel Zafira Tourer und Messaufbau

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Abbildung 5.4.3 zeigt das Protokoll mit „Fehleranzahl 0“ des Fehlerspeichers der Motorsteuerung. Daten zum DPF oder der Regenerationszustand konnten nicht gefunden werden. Das Fahrzeug weist keine Taxifunktion auf.

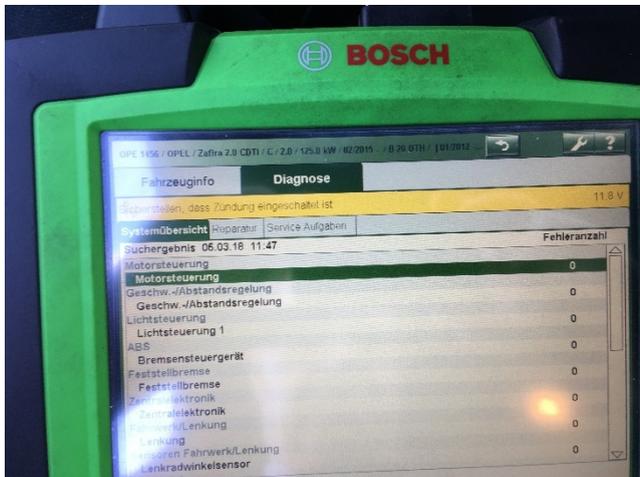


Abbildung 5.4.3: Fehlerspeicheranzeige



Abbildung 5.4.4 Messaufbau

Die Leerlaufdrehzahl beträgt 750 Umdrehungen, in der freien Beschleunigung erreicht der Motor 5000 Umdrehungen (!). Das Fahrzeug hat keine Probleme, eine hohe Kühlmitteltemperatur zu erreichen und zu halten. Die Messungen erfolgten gleichzeitig mit den Messgeräten von Sensors und testo im Vergleich zum Referenzgerät von AVL, sowie getrennt im Vergleich des TSI NPET zum Referenzgerät.

Im Test wies die OBD Datenübertragung Aussetzer auf, deshalb fehlen Teile des Drehzahlsignals in den folgenden Diagrammen. Der Messaufbau ist in Abbildung 5.4.4 dargestellt.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN PTI Testo PEPA	Bemerkung
1	Leerlauf 749 (725*)	6,2E1	3,9E0	2,1E3	
2	750 (712*)	6,7E1	3,3E0	1,9E3	
3	750 (708*= 715*)	5,5E1	5,7E0	2,0E3	
	Mittelwert 750 (715*)	Mittelwert 6,1E1	Mittelwert 4,3E0	Mittelwert 2,0E3	Kühlmitteltemperatur: 95°C Ergebnis: „PASS“

Tabelle 5.4.5: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf, Opel Zafira Tourer

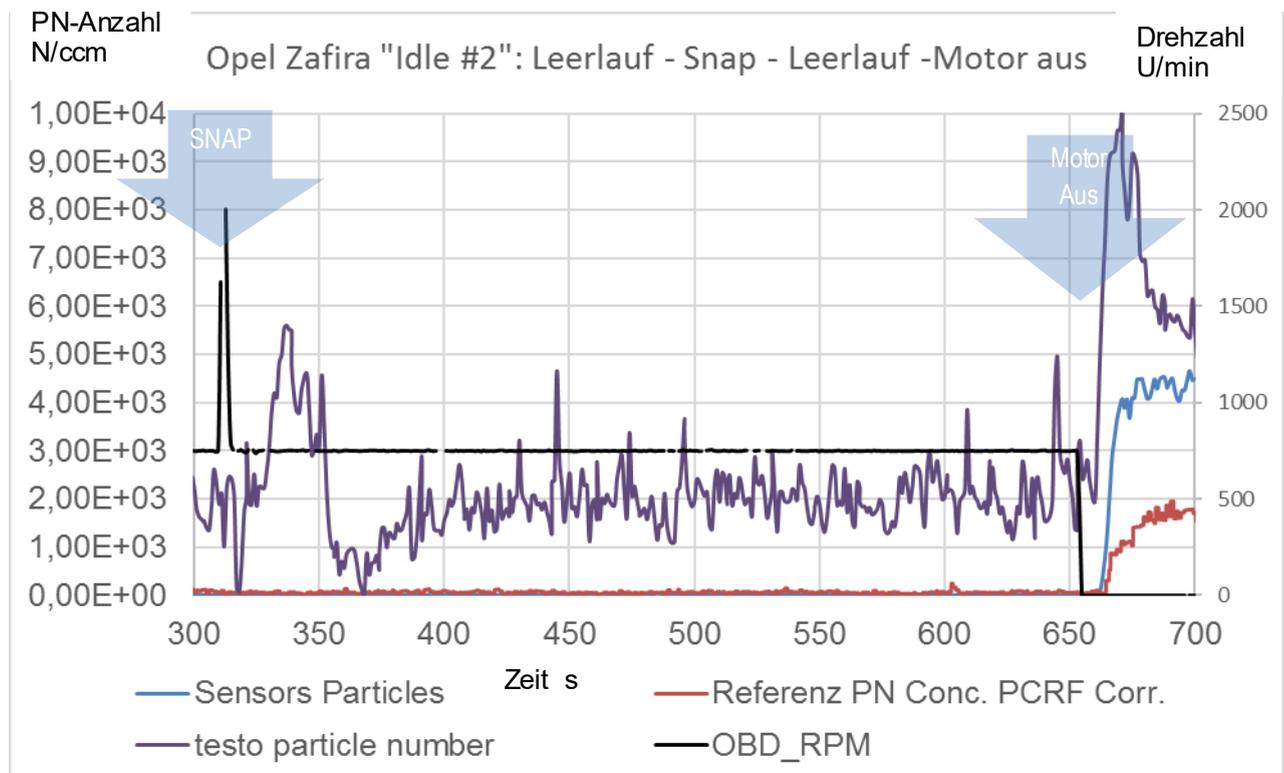


Abbildung 5.4.6: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen AVL, Sensors, testo, Opel Zafira Tourer



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
 Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI TSI NPET	Bemerkung
1	750	7,2E0	8,1E0	

Tabelle 5.4.7: Partikelanzahlkonzentration bei Leerlauf, Opel Zafira Tourer

Die Tabellen 5.4.5 und 5.4.7 zeigen die Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf bei Messungen am Opel Zafira. Alle Messwerte liegen unter den Werten der Umgebungsluft, und weit entfernt von einem vorgeschlagenen Grenzwert. Die Zeitverläufe in Abbildung 5.4.6 zeigen, dass die Geräte mit CPC bei dieser Messung nicht auf den Drehzahlsprung vor der Messung reagieren. Einzig nach Abstellen des Motors zeigt sich ein Anstieg auf Werte der Umgebungsluft. Dieser Anstieg wird als Marke für die zeitliche Ausrichtung der Messkanäle benutzt.

Einzig das testo PEPA zeigt leicht höhere Werte für die Leerlaufmessung an.

Die Werte für die Messungen bei 2000 und 3000 Umdrehungen sind in den Tabellen 5.4.8 bzw 5.4.9 und 5.4.10 bzw. 5.4.12 enthalten.

Da die Messungen für das TSI NPET zu einem anderen Zeitpunkt durchgeführt wurden, erkennt man einen leichten Unterschied im Gesamtniveau, wahrscheinlich abhängig von der DPF Beladung.

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	1998	3,3E1	
2	2000 (1568*)	6,2E0	
3	1884	4,3E0	
	Mittelwert 2000 (1883*)	Mittelwert 1,4E1	Kühlmitteltemperatur: 100°C Ergebnis: „PASS“

Tabelle 5.4.8: Partikelanzahlkonzentration bei 2000 Umdrehungen, Opel Zafira Tourer

Messpunkt	Drehzahl	PN	PN PTI	Bemerkung
-----------	----------	----	--------	-----------



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Endrohr		Referenz	TSI NPET	
1	2000	1E0	8,2E0	
2	2000	1E0	0E0	

Tabelle 5.4.9: Partikelanzahlkonzentration bei 2000 Umdrehungen, Opel Zafira Tourer

In Abbildung 5.4.11 ist der Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen bei der Messung am Opel Zafira im Betriebspunkt bei 3000 Umdrehungen dargestellt. Die Messungen wurden auf „elapsed time“ für den Zeitstempel umgerechnet. Trotzdem erkennt man beim testo PEPA und der Sensors APA, dass beide Messgeräte Fehler im Zeitsignal aufweisen. Das Zeitsignal ist teilweise schneller und auch langsamer, und auch in Summe der Länge der Messung fehlerhaft. Von beiden Herstellern wurde das mit dem „Prototypstatus“ der Geräte begründet.

Messpunkt Endrohr	Drehzahl [rpm]	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN PTI testo PEPA	Bemerkung
1	2811	5,2E2	4,1E1	1,4E3	
2	2960	5,7E2	8,2E0	1,8E3	
3	2922	6,3E2	1,5E0	1,4E3	
Ergebnis	Mittelwert 2898	Mittelwert 5,7E2	Mittelwert 1,7E1	Mittelwert 1,6E3	Kühlmitteltemperatur: 95°C Ergebnis: „PASS“

Tabelle 5.4.10: Partikelanzahlkonzentration bei 3000 Umdrehungen, Opel Zafira Tourer

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

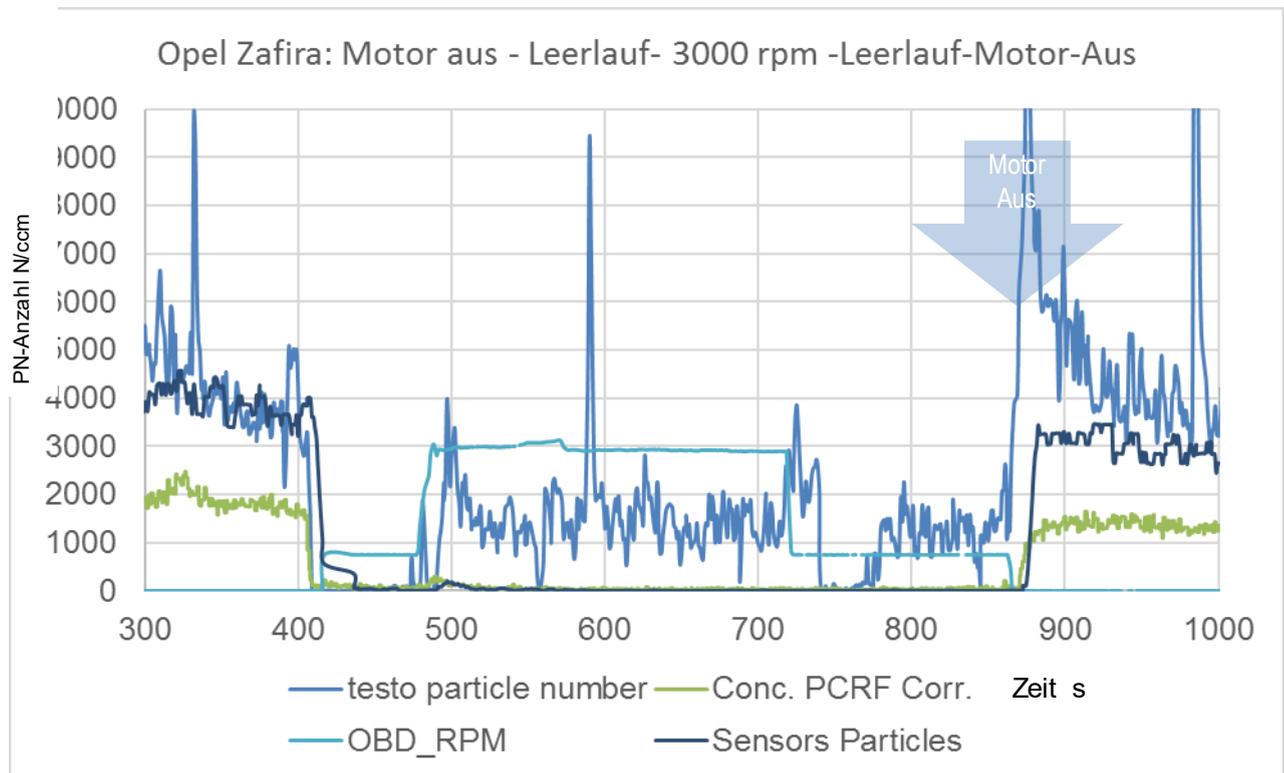


Abbildung 5.4.11: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen AVL, Sensors, testo, Opel Zafira Tourer  
Problem: „elapsed time“



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**

Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI TSI NPET	Bemerkung
1	3000	0E0	3E0	
2	3000	0E0	0E0	

Tabelle 5.4.12: Partikelanzahlkonzentration bei 3000 Umdrehungen, Opel Zafira Tourer

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI TSI NPET	Bemerkung
1	4990	5,67E2	3,85E3	
2	4990	4,99E2	1,42E3	
3	4990	3,26E2	1,81E3	
4	4990	2,57E2	1,60E3	

Tabelle 5.4.13: Partikelanzahlkonzentration bei freier Beschleunigung, Opel Zafira Tourer

In den Tabellen 5.4.13 und 5.4.14 sind die Maximalwerte der Partikelanzahlkonzentrationen beim Opel Zafira und freier Beschleunigung dargestellt. Sowohl das TSI NPET als auch das testo PEPA zeigen hier höhere Werte als das Referenzgerät und die Sensors APA an. Gründe hierfür sind am Ende von Abschnitt 5.3 aufgezählt worden.

Die Werte in Abbildung 5.4.15 wurden anhand des Anstiegs der Werte nach Abschalten des Motors zeitlich verschoben. Auch die Partikelemissionen des Opel Zafira liegen bei freier Beschleunigung unter denen der Umgebungsluft.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN PTI Testo PEPA
1	4990	6,4E2	1,3E2	4,4E3
2	4999	5,6E2	4,8E1	3,5E3
3	4837	4,8E2	9,5E1	4,0E3
4	4854	8,6E2	2,4E2	3,3E3
5	4992	5,3E2	9,5E1	5,0E3

Tabelle 5.4.14: Partikelanzahlkonzentration bei der freien Beschleunigung, Opel Zafira Tourer

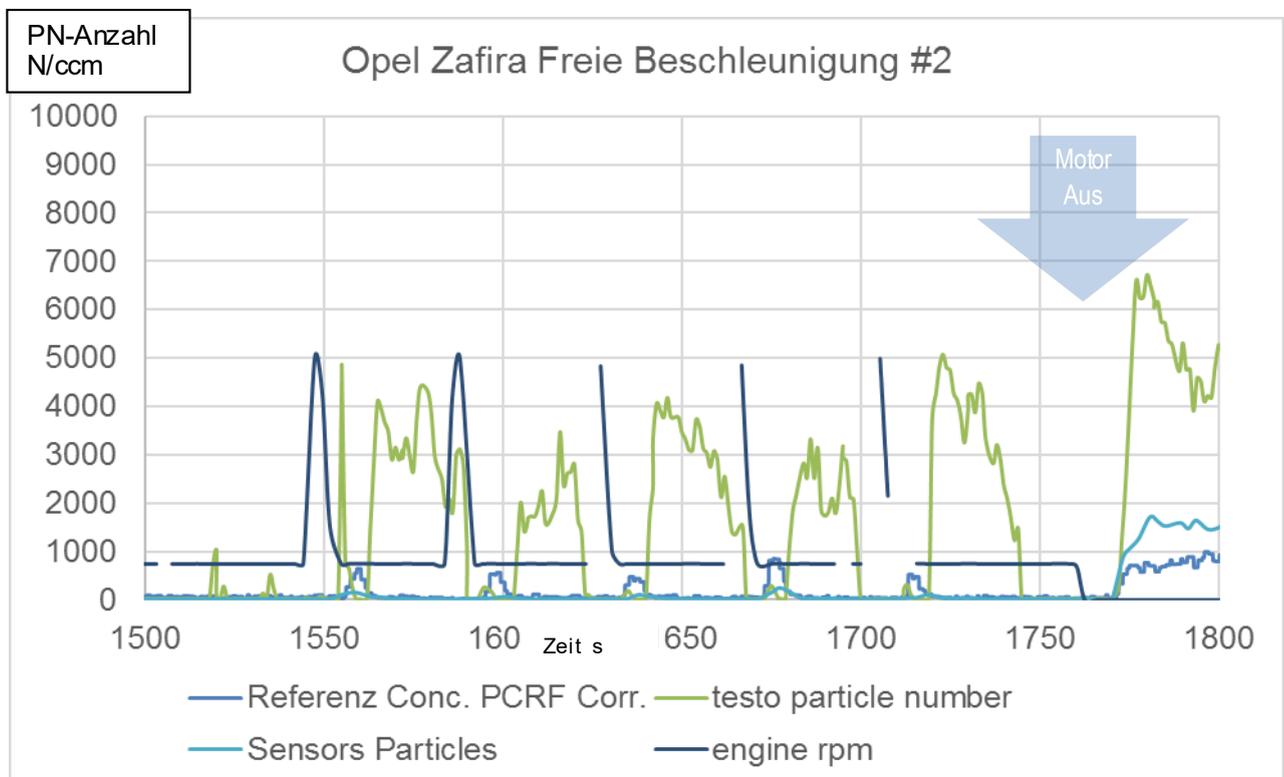


Abbildung 5.4.15: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen AVL, Sensors, testo, Opel Zafira Tourer

Ergebnisbetrachtung Messungen Opel Zafira:

- DAS TSI NPET zeigt gute Übereinstimmung der Messwerte bei stationären Drehzahlen
- Das TSI NPET weist wie das testo PEPA Abweichungen bei freier Beschleunigung auf, wobei bei diesem Fahrzeug maximal 5000 Umdrehungen erreicht werden, was eine wesentliche Änderung der Partikelgröße mit sich bringt; ebenso Effekte bei der Auslegung des Messgeräts nach /8/.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**5 Partikelanzahlmessungen bei Pkw**  
**5.5 Testfahrzeug VW Caravelle**

Bei dem Testfahrzeug VW Caravelle handelt es sich um ein etwa dreieinhalb Jahre altes Firmenvertreterfahrzeug mit etwa 40.000 Kilometer Jahresfahrleistung der Stufe Euro 5b, siehe Abbildung 5.5.2. Die Daten des Fahrzeugs sind in Tabelle 5.5.1 dargestellt.

Hersteller	[-]	Volkswagen
Typ	[-]	7HC
Karosserieform	[-]	Bus
Fahrzeugkategorie	[-]	M1sozE
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	CFC
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	1968
Motorleistung	[KW]	132
Euro Stufe	[-]	5b (K)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Deutschland
Typgenehmigungsnummer	[-]	e1*2001/116*0220*34
Leergewicht	[kg]	2076
CO2-Emissionen	[g/km]	214
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	131,000
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	22-10-14

Tabelle 5.5.1: Daten des Testfahrzeug VW Caravelle



Abbildung 5.5.2: Testfahrzeug VW Caravelle



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	Leerlauf 860	9,2E5	
2	860	8,9E5	
3	860	8,4E5	
	860	Mittelwert 8,8E5	Ergebnis: „FAIL“

Tabelle 5.5.3: Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf, VW Caravelle

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	Leerlauf 860	2,2E5	
2	860	2,3E5	
3	860	2,2E5	
	860	Mittelwert 2,2E5	Ergebnis: „PASS“

Tabelle 5.5.4: Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf, VW Caravelle

Ergebnisse einer ersten Messung der Partikelanzahl im Leerlauf zeigt Tabelle 5.5.3. Auffällig sind die hohen Werte, und dass diese Werte über vorgeschlagenen Grenzwerten liegen. Eine Wiederholung der Messung, siehe Tabelle 5.5.4 kann dies Ergebnis nicht bestätigen.

Eine Überprüfung der Messgeräte ergab keinen Messgerätefehler. Zur weiteren Untersuchung, ob es sich um einen Defekt am DPF handeln könnte, und um weitere Analyse zu betreiben, wurde für eine Messung der Partikelanzahlkonzentration während der Fahrt durchgeführt. Das Sensors APA war dazu im Fahrzeug integriert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.5.5 enthalten. Bei Geschwindigkeiten in der Stadt emittiert das Fahrzeug Partikel mit einer Konzentration von durchschnittlich über 1E6 #/ccm. Hieraus kann man zweifelsfrei auf einen Defekt am DPF schliessen (siehe auch Abbildung 8.0). Weiterhin ist erkennbar, dass aber auch Betriebszustände existieren, in denen die Partikelanzahlkonzentration weit niedrigere Werte aufweisen kann.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

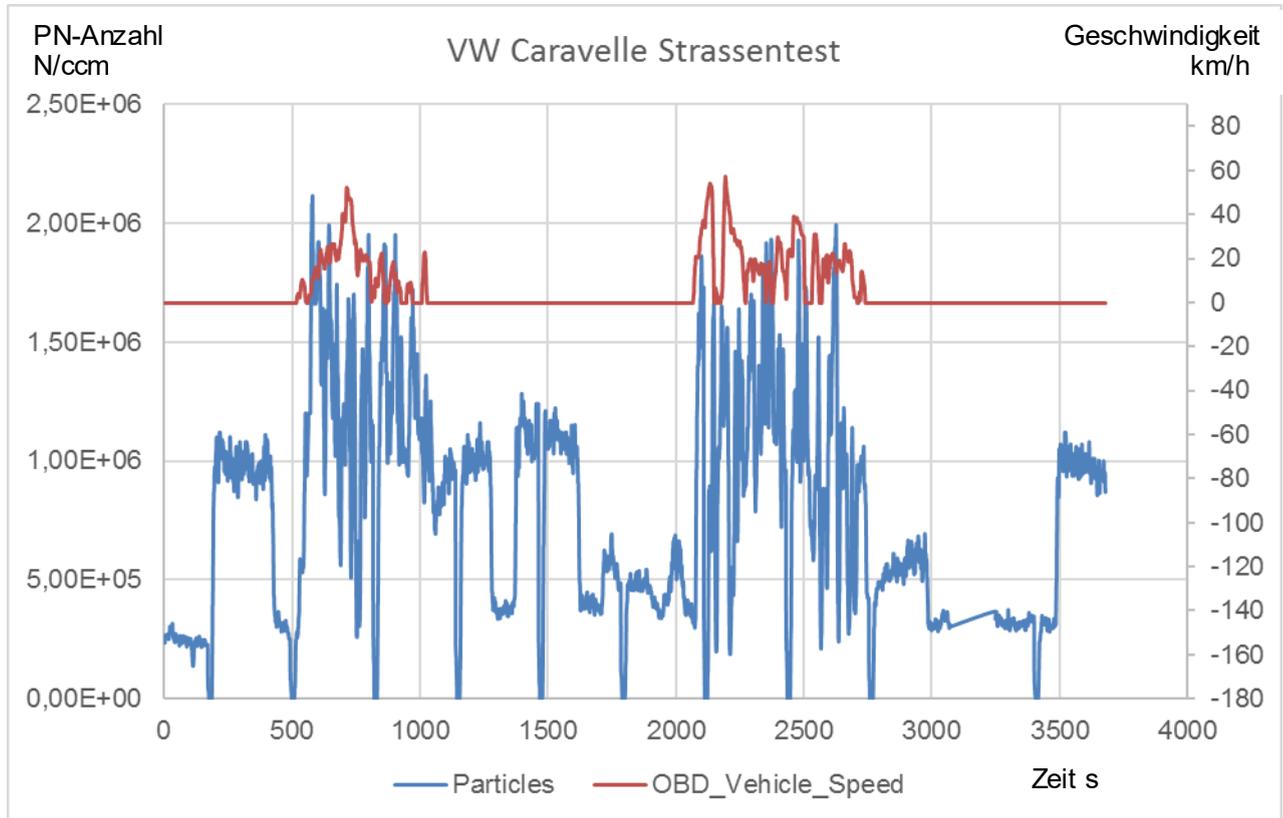


Abbildung 5.5.5: Partikelanzahlkonzentration bei Strassenfahrt, VW Caravelle, Sensors APA

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Nachweis der Taxifunktion

Auf Anregung des Auftraggebers wurde das Phänomen der schwankenden Partikelanzahlmissionen vor und auch nach DPF intensiver untersucht

Die Abbildung 5.5.6 zeigt den Effekt der als „Taxifunktion“ bekannten Motorregelmaßnahme. Die „Taxifunktion“ soll die Versottung des Motors durch Abgasrückführung vermindern, sowie ebenfalls den Kraftstoffverbrauch im Leerlauf absenken.

Die Messung am VW Caravelle Diesel zeigt ab etwa X-Achsen Wert 1600, dass die AGR Rate zeitabhängig von allein auf 0% fällt, der Luftmassendurchsatz ansteigt, und die Partikelemission von etwa 7E5 auf 1,7E5 #/ccm absinkt. Der DPF ist in diesem Fahrzeug mit hoher Wahrscheinlichkeit defekt.

Die „Taxifunktion“ kann durch einen leichten Gasstoss wie bei X-Achsen Wert etwa von 400 und 2000 beendet werden.

Für die Einführung der PN PTI muss deshalb ein Gasstoss vor einer mehrmaligen Mittelwertbildung erfolgen, damit in der Messung repräsentative Werte vorhanden sind.

Hier an dem Beispiel erkennt man, das nur durch den Gasstoss die Grenze von „pass“ zu „fail“ in der Leerlaufprüfung überschritten wird. Der Effekt ist reproduzierbar.

Der Effekt ist mit zunehmender DPF Schädigung auch bei der Endrohrmessung sichtbar

Aus diesem Grund ist die Aufzeichnung von OBD Kanälen wie „EGR\_PCT“ und oder „MAF“ sowie mindestens der Drehzahl und der Kühlmitteltemperatur notwendig und sinnvoll.

Das Argument, dass eine PN Endrohrmessung durch den Anschluss von OBD Geräten manipuliert werden kann zählt hier nicht, da diese PN Messung klar den Defekt belegt.

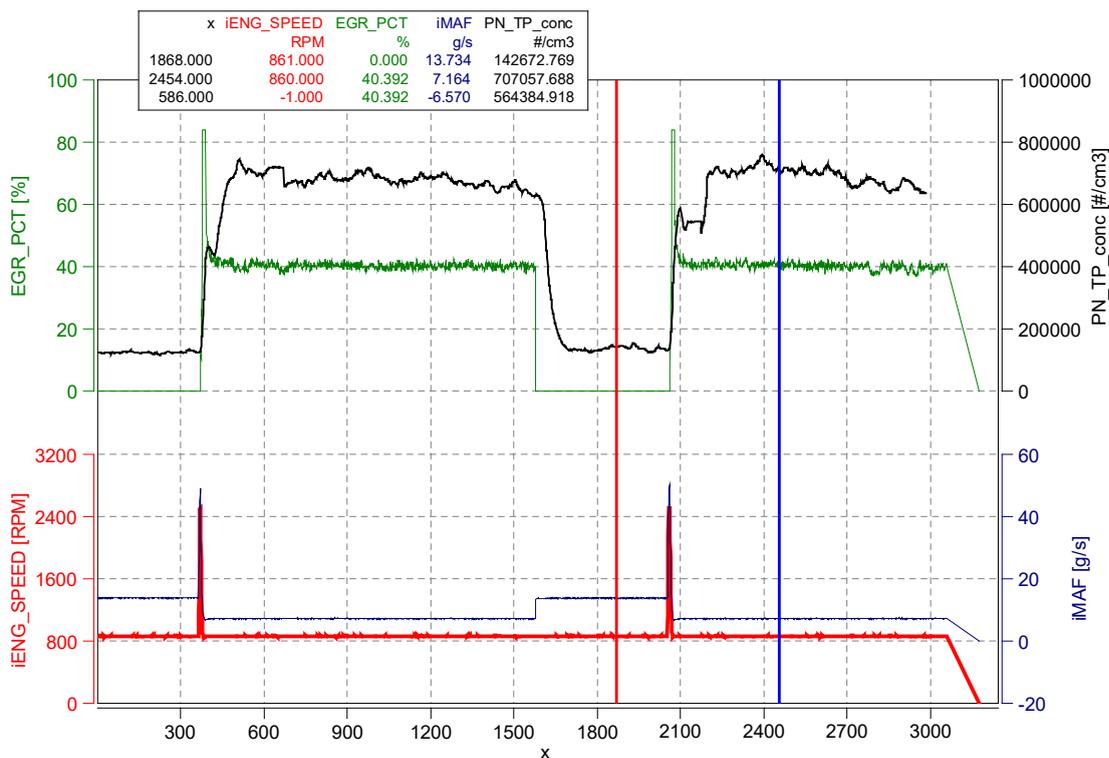


Abbildung 5.5.6: Taxifunktion“ im Leerlauf 2: Endrohrmessung, VW Caravelle, Sensors APA

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Taxifunktion : Sensors APA Gerät

In Abbildung 5.5.7 ist der Ablauf einer PN PTI Untersuchung nach neu vorgeschlagenem Ablauf enthalten. Gezeigt wird der Bildschirm des Sensors APA Geräts bei einer Messung des VW Caravelle.

Ein Überschreiten des vorgeschlagenen PN AU Limits von 250.000 #/ccm wird in rot angezeigt.

Der Zeitschrieb in blau zeigt einen leichten Gasstoss im blau um die Taxifunktion zu beenden und die PN Emission auf Normalniveau anzuheben.

Im Anschluss erfolgt eine dreimalige Mittelungsmessung von je 60 Sekunden, mit den Mittelwerten im Fenster rechts, bei Leerlaufdrehzahl) Das Ergebnis der VW Caravelle ist „fail“ ( mit ca. 9E5)

Die zwei Graphen unten sind zum Nachweis der Motortemperatur sowie zur Taxifunktion.

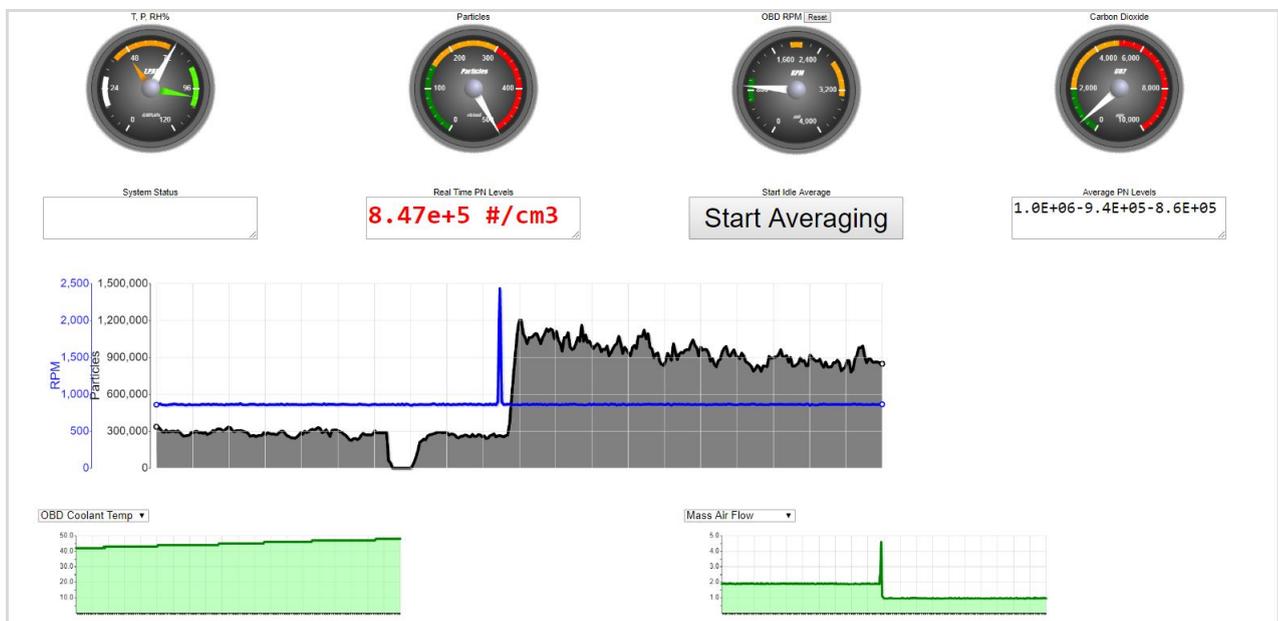


Abbildung 5.5.7: Taxifunktion: PN PTI Ablauf Sensors APA: VW Caravelle

Die Abbildung 5.5.7 zeigt eindrücklich auch den Anstieg der Partikelanzahlkonzentration auf Werte, die auch bei der Fahrt auf der Strasse nachgewiesen werden konnten.

Tabelle 5.5.8 zeigt die Mittelwerte der Partikelanzahlkonzentrationsmessung im Leerlauf, die einen höchstwahrscheinlichen Defekt am DPF nachweisen, und sicher über einem vorgeschlagenen Grenzwert liegen, und als Ergebnis ein „Nicht bestanden“ einer zukünftigen Abgasuntersuchung mit Partikelanzahlmessung liefern, im Ablauf der Messung nach Abbildung 5.5.7.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	Leerlauf 860	1,06E6	
2	860	9,4E5	
3	860	8,6E5	
	860	Mittelwert 9,5E5	Ergebnis: „FAIL“

Tabelle 5.5.8: Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf, VW Caravelle

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**5 Partikelanzahlmessungen bei Pkw**  
**5.6 Testfahrzeug VW California**

Bei dem Testfahrzeug California Beach handelt es sich um ein etwa dreieinhalb Jahre altes gepflegtes Privatfahrzeug mit etwa 18.000 Kilometer Jahresfahrleistung der Stufe Euro 5b, siehe Abbildung 5.6.2. Die Daten des Fahrzeugs sind in Tabelle 5.6.1 dargestellt.

Hersteller	[-]	Volkswagen
Typ	[-]	7HC
Karosserieform	[-]	Bus
Fahrzeugkategorie	[-]	M1sozE
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	CFC
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	1968
Motorleistung	[KW]	132
Euro Stufe	[-]	5b (K)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Deutschland
Typgenehmigungsnummer	[-]	e1*2001/116*0220*34
Leergewicht	[kg]	2288
CO <sub>2</sub> -Emissionen	[g/km]	232
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	63,000
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	14-10-14

Tabelle 5.6.1: Daten des Testfahrzeug VW California



Abbildung 5.6.2: Testfahrzeug VW California Beach



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Der VW California wurde beschafft, um weiter zu klären, ob es sich bei den erhöhten Partikelanzahlwerten in den Messungen am VW Caravelle (in Abschnitt 5.5) um einen Defekt am DPF, oder um einen DPF mit niedriger Abscheiderate in der Auslegung handelt. Beide Fahrzeuge haben den gleichen Motortyp 2,0 L mit 132 kW Leistung und liegen im Zulassungsdatum zufällig nur um eine Woche auseinander.

In den Tabellen 5.6.3 sind die Mittelwerte der Partikelanzahlkonzentrationen der Messungen an dem VW California Beach enthalten. Deutlich erkennbar sind im Vergleich zum VW Caravelle die Partikelkonzentrationen um 3 Zehnerpotenzen niedriger. Deshalb liegt für den konkreten VW Caravelle aus Abschnitt 5.5 mit höchster Wahrscheinlichkeit ein Defekt am DPF vor.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	Leerlauf	70	2,0E2	15.02; Idle_1-2
2		70	3,3E2	0:7-09
3		70	2,0E2	
Mittelwert		70	2,4E2	„PASS“

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	Leerlauf	70	2,2E2	Idle_3
2		70	2,0E2	
3		70	1,7E2	
Mittelwert		70	2,0E2	„PASS“

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	2000	72	3,9E2	
2	2000	73	3,1E2	
3	2000	75	3,3E2	
Mittelwert	2000	73	3,4E2	„PASS“

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	2000	74	2,1E2	2_2000
2	2000	74	2,5E2	
3	2000	75	2,1E2	
Mittelwert	2000	74	2,2E2	„PASS“

Tabellen 5.6.3: Partikelanzahlkonzentrationen bei Leerlauf und 2000 Umdrehungen, VW California Beach

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Abbildung 5.6.4 zeigt die Partikelanzahlverläufe bei freier Beschleunigung bei Messungen am VW California Beach. Im Unterschied zu Abbildung 5.5.5, wo das Fahrzeug schon bei geringeren transienten Drehzahlen Spitzen bis über  $2E6$  #/ccm erzeugt, reagiert der VW California Beach auf transiente Drehzahlen mit Emissionen von etwa  $4E2$  #/ccm. Im Verhalten mit DPF zeigt der VW California Beach Partikelanzahlemissionen, die im Bereich von etwa  $4E2$  #/ccm unabhängig von Motordrehzahl und -last sind.

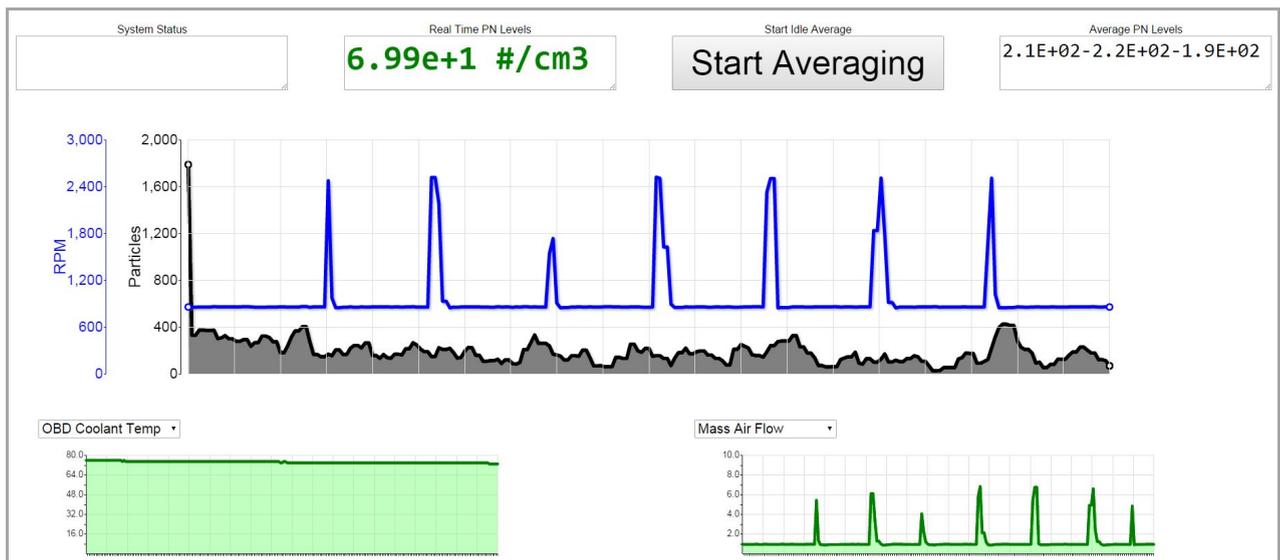


Abbildung 5.6.4: Partikelanzahlkonzentration bei freier Beschleunigung, VW California, Sensors APA

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**5 Partikelanzahlmessungen bei Pkw**  
**5.7 Testfahrzeug Opel Crossland X**

Bei dem Testfahrzeug Opel Crossland X handelt es sich um ein Fahrzeug aus einer Gemeinschaftsproduktion mit dem Hersteller Peugeot, und bei dem der Motor, die Abgasnachbehandlung und deren Strategie von Peugeot stammt. Das Fahrzeug entspricht der Stufe Euro 6b und weist geringe Laufeistung auf, siehe Abbildung 5.7.2. Die Daten des Fahrzeugs sind in Tabelle 5.7.1 dargestellt.

Hersteller	[-]	Opel
Typ	[-]	B-CUV
Karosserieform	[-]	Kombi
Fahrzeugkategorie	[-]	M1
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	Peugeot DV6
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	1599
Motorleistung	[KW]	88
Euro Stufe	[-]	6b (W)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	EBE
Typgenehmigungsnummer	[-]	-
Leergewicht	[kg]	1232
CO2-Emissionen	[g/km]	98
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	1,520
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	19-01-2017

Tabelle 5.7.1: Daten des Testfahrzeug Opel Crossland X



Abbildung 5.7.2: Testfahrzeug Opel Crossland X



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Die Tabellen 5.7.3 enthalten die Partikelanzahlkonzentrationen gemessen am Opel Crossland X bei Leerlauf, bei nominal 2000 und 3000 Umdrehungen. Die gemessenen Werte liegen dabei weit unter der Umgebungsluft und auch unter jedem denkbaren Grenzwert. Die Messgeräte zeigen gute Übereinstimmung.

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	753,9	75,9	9,2E1	2,2E0	22.2: 10:50; AVL ab 660
2	755,0	75,0	6,0E1	2,8E1	
3	755,2	74,4	7,5E1	1,2E1	
Mittelwert	754,7	75,1	7,6E1	2,1E1	„PASS“

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	2065,5	72,2	6,9E1	2,50E0	
2	2062,7	74,4	6,7E1	4,6E0	
3	2062,2	76,1	8,1E1	1,9E1	
Mittelwert	2063,5	74,2	7,2E1	8,7E0	„PASS“

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	2998,8	73,0	7,6E1	1,4E0	Ab 2677elapsed
2	2988,3	75,6	8,4E1	1,2E1	
3	2999,3	78,2	7,7E1	2,1E0	
Mittelwert	2999,2	75,6	7,9E1	5,2E0	„PASS“

Tabellen 5.7.3: Partikelanzahlkonzentrationen bei Leerlauf, 2000 und 3000 Umdrehungen, Opel Crossland X



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
 Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

Tabelle 5.7.4 zeigt die Werte der Partikelanzahlkonzentration bei freier Beschleunigung, gemessen am Opel Crossland X. Die Maximaldrehzahl beträgt 4500 Umdrehungen im Test. Hierbei kann kein wirklicher Zusammenhang zur Drehzahl erkannt werden. Das Signal ist im wesentlichen ein Rauschen.

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	Kühlmittel- temperatur	PN Referenz*	PN PTI Sensors*	Bemerkungen
1	4415	70	1,2E2	2,3E1	1833
2	4173	70	1,3E2	8,1E0	1863
3	3851	71	6,1E1	0E0	1893
4	3623	71	7,5E1	0E0	1923
5	3588	71	1,3E2	8,4E0	1953
6	4391	71	7,5E1	0E0	1983
7	4266	71	4,1E1	2,8E1	2013
8	3821	71	6,8E1	9E0	2041
9	4415	71	8,9E1	0E0	2072
10	4041	71	7,5E1	1,6E1	2103

Tabellen 5.7.4: Partikelanzahlkonzentrationen bei der freien Beschleunigung, Opel Crossland X

Unabhängig von allen Drehzahlen und -lasten emittiert das Fahrzeug eine Partikelanzahlkonzentration von unter 1,5E2 #/ccm mit dem Charakter von einem Rauschsignal. Auf weitere Auswertung wurde deshalb verzichtet.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**5 Partikelanzahlmessungen bei Pkw**  
**5.8 Testfahrzeug Opel Insignia**

Bei dem Testfahrzeug Opel Insignia handelt es sich um einen knapp 4 Jahre alten Firmenwagen mit etwa 25.000 Kilometer Jahresfahrleistung der Stufe Euro 5b, siehe Abbildung 5.8.2. Die Daten des Fahrzeugs sind in Tabelle 5.8.1 dargestellt.

Hersteller	[-]	Opel
Typ	[-]	0G-A
Karosserieform	[-]	Schräghecklimousine
Fahrzeugkategorie	[-]	M1
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	ADTH
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	1956
Motorleistung	[KW]	120
Euro Stufe	[-]	5b (J)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Deutschland
Typgenehmigungsnummer	[-]	e1*2007/46*0374*13
Leergewicht	[kg]	1733
CO2-Emissionen	[g/km]	140
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	98,000
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	02-05-2014

Tabelle 5.8.1: Daten des Testfahrzeug Opel Insignia



Abbildung 5.8.2: Testfahrzeug Opel Insignia



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Der Motorbetrieb des Insignia ist im Stand nicht gesondert drehzahlbegrenzt. Der Motor erreicht bei der freien Beschleunigung 5000 Umdrehungen. Die Leerlaufdrehzahl beträgt 850 Umdrehungen. Die OBD Signale werden nur mit langen Aussetzperioden übermittelt. Deshalb können daraus keine Mittelwerte gebildet werden. Die Kühlmitteltemperaturen lagen bei allen Tests über 80 °C. Die Messungen fanden bei etwa 0 °C Aussentemperatur statt.

Messpunkt Endrohr	Kühlmitteltemperatur	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN testo PEPA	
1	85	850	4,39E3	3,57E3	5,06E3	Sensors elapsed 1000
2	85	850	4,36E3	3,63E3	4,91E3	
3	85	850	4,16E3	3,56E3	5,10E3	
Mittelwert	85	850	4,30E3	3,59E3	5,02E3	

Messpunkt Endrohr	Kühlmitteltemperatur	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN testo PEPA	
1	85	850	5,50E3	5,15E3	6,47E3	Sensors elapsed 1560
2	85	850	5,58E3	4,9E3	6,60E3	
3	85	850	6,96E3	4,94E3	6,21E3	
Mittelwert	85	850	6,01E3	5,00E3	6,42E3	

Tabelle 5.8.3: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf, Opel Insignia

Die Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf des Opel Insignia, dargestellt in Tabelle 5.8.3, weisen Werte über alle Messpunkte und Geräte von etwa 3500 bis 6600 Partikel/ccm auf. Die Messwerte der Geräte zeigen geringe Abweichung voneinander auf, hier auf dem Niveau etwa der Umgebungsluftpartikelanzahlkonzentration von etwa 4 bis 7E3 #/ccm.

Da die Werte des Fahrzeugs im Leerlauf sehr stabil sind, eignen sich die Werte für eine beispielhafte Analyse der Mittelungsdauer. Die Mittelungsdauer für diese Kampagne wurde mit 3 mal eine Minute eher lang gewählt. Da in der Präsentation /7/ eine Messdauer von 5 Sekunden und in der Vorschrift /9/ eine Messdauer von 3 mal 5 Sekunden festgeschrieben ist, wurde für die stabile Leerlaufmessung des testo PEPA die Erreichung des Endmittelwerts über der Messdauer aufgezeichnet, siehe Abbildung 5.8.4.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

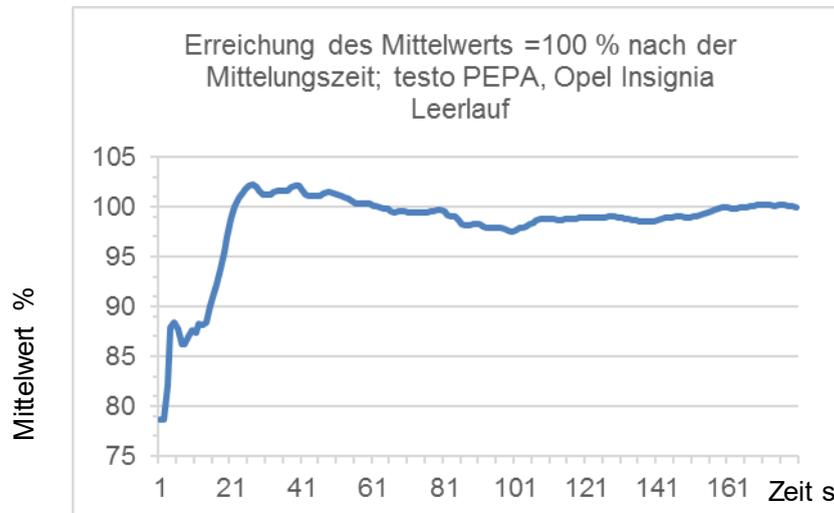


Abbildung 5.8.4: Erreichung des 180 Sekunden Mittelwerts über der Messdauer

Nach 20 Sekunden werden 97 Prozent des 180 Sekunden Mittelwerts erreicht, nach 103 Sekunden 98% und nach 150 Sekunden 99%. Vorgeschlagen wird eine absolute Mittelungsdaueruntergrenze von 105 Sekunden, also eine Messdauer von 3 mal 35 Sekunden. 5 Sekunden Messdauer sind zu kurz. Zur weiteren Analyse und Begründung der Mittelwertbildung ist der Messwert und verschiedene Mittelwerte aufgetragen. Es zeigt sich, dass geometrischer Mittelwert und Median keinen Zusatznutzen bedeuten.

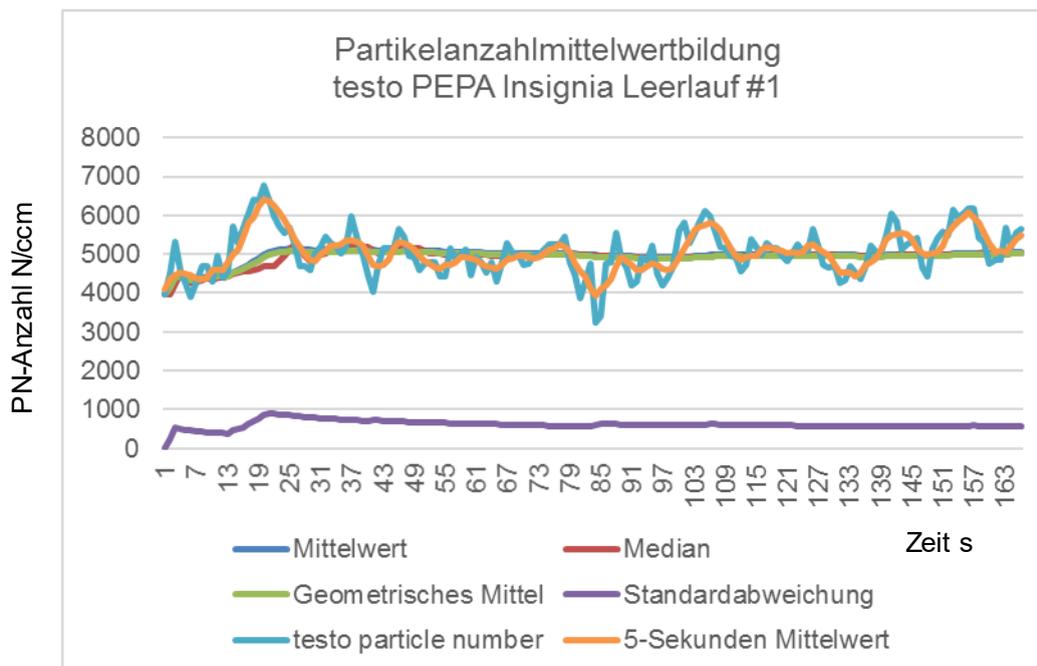


Abbildung 5.8.4.b: Partikelanzahlmittelwertbildung, Messwerte zu Abbildung 5.8.4

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Das jedoch die 5 Sekunden Messmittelwerte entsprechend der % Sekunden Mittelwerte gefiltert sind, aber weiterhin gegen längeren Mittelwert grössere Schwankung bedeuten. Weiter zeigt sich, dass die Standardabweichung nach einiger Zeit sich auf einen Wert einpendelt. Das Verhalten der Standardabweichung sollte in einem Monitoring einer grösseren Anzahl von Fahrzeugen noch einmal untersucht werden.

Neben der Angabe des Gesamtmittelwerts für das Ergebnis der Untersuchung bleibt aber eine Angabe der gedrittelten Einzelmittelwerte ein kostenlose Zusatzinformation, mit der sofort auf das Verhalten der Partikelanzahlkonzentration während der Messung geschlossen werden kann. Konstanz, Anstieg oder Variation geben auf den ersten Blick Auskunft über das Verhalten in der Messung.

Um die Abklingzeit der Partikelanzahlkonzentrationsänderung nach einem Drehzahlssprung zu untersuchen, eignet sich dieses Fahrzeug ebenfalls, da der Motor bis 5000 Umdrehungen im Stand erreichen kann. Hierbei werden längere Beschleunigungszeiten und auch höhere Lasten erreicht. Unter diesem Lasten verringert sich die Partikelgrösse (siehe auch Abbildung 5.8.13). In der Schubphase wird die Verbrennung abgeschaltet, es entstehen hierbei grosse Partikel, erreicht der Motor Leerlauf, beginnt mit der Verbrennung die Erzeugung typischer Leerlaufpartikel. Abbildung 5.8.5 zeigt das Einpendeln der Partikelanzahlkonzentration nach einer Drehzahländerung.

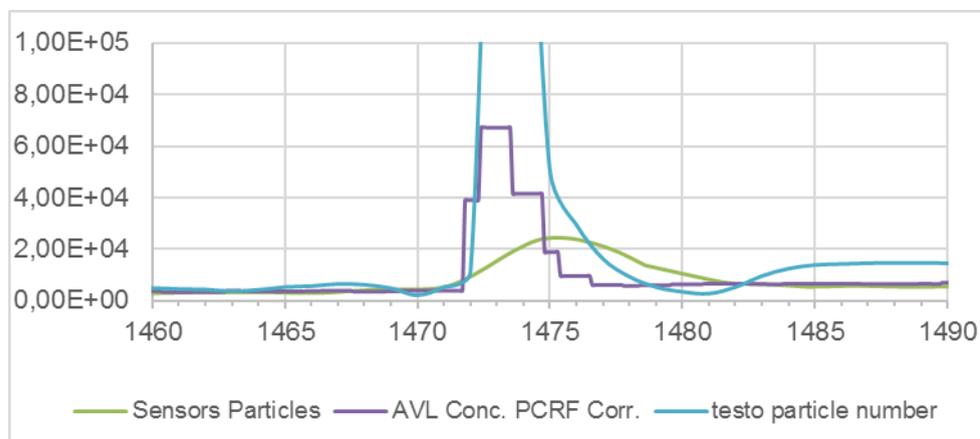


Abbildung 5.8.5: Einschwingen der Partikelanzahlkonzentration auf Leerlaufwerte, Opel Insignia



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Nach dem Peak der Partikelanzahlkonzentration sollte etwa etwa (12 bis) 15 Sekunden gewartet werden, bevor die Mittellungsmessungen gestartet werden. Dazu kommt noch die Voreilung des OBD Signals für Drehzahl von etwa der gleichen Größenordnung von bis zu 15 Sekunden. Für die AU Ablauf wird deshalb eine Einschwingzeit von 30 Sekunden nach jeglicher Drehzahländerung vorgeschlagen. Die Kontrolle sollte über die Drehzahl erfolgen.

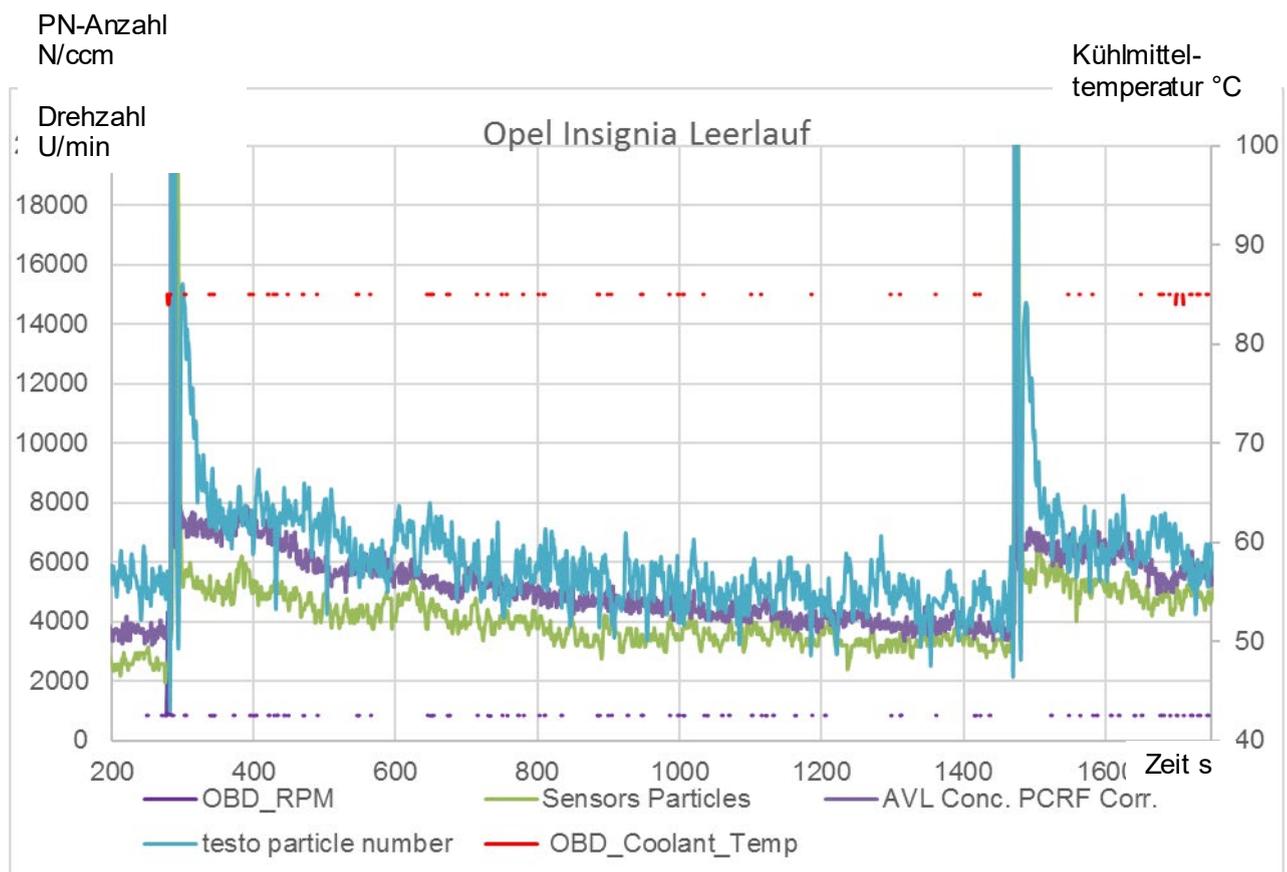


Abbildung 5.8.6: Vergleich der Verläufe der Partikelanzahlkonzentrationen, Leerlaufmessung Opel Insignia



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**

Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

Abbildung 5.8.6 zeigt die Verläufe der Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf. Die Messergebnisse liegen für alle Geräte gut beieinander weit unter jedem vorgeschlagenen Grenzwert. Es ist ein leichter Effekt einer Taxifunktion enthalten, der nach dem Drehzahlsprung leicht erhöhte Werte der Partikelanzahlkonzentration ergibt. In den OBD Signalen sind aber keine Sprünge enthalten, man erkennt aber Änderungen der Werte stetiger Natur.

Die Tabelle 5.8.7 zeigt im Vergleich die Partikelanzahlkonzentrationen bei 2000 Umdrehungen.

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN PTI Testo PEPA	Bemerkung
1	2000	87	7,51E3	1,57E4	1,09E4	Sensors elapsed time: 1800
2	2000	87	6.83E3	1,39E4	9,46E3	
3	2000	87	6.67E3	1,58E4	8,96E3	
Mittelwert	2000	87	7,00E3	1,51E4	9,77E3	„PASS“

Tabelle 5.8.7: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen bei 2000 Umdrehungen, Opel Insignia

Auf den ersten Blick könnten die Unterschiede auf Partikelanzahlübliche Streuung der Messwerte hindeuten. Nach Ansicht der Gesamtverläufe der Partikelanzahlkonzentrationen in Abbildung 5.8.8 kann aber der Beweis des Vorhandenseins von volatilen Partikeln bei PKW's im Stand schon bei 2000 Umdrehungen bei einer Kühlwassertemperatur von 87 °C erbracht werden. Das Sensors Gerät hat eine Abscheiderate der volatilen Partikel von 0% und zeigt deshalb höhere Werte an. Noch deutlicher ist der Effekt bei 3000 Umdrehungen. Bei 2000 Umdrehungen kann man aus den Gesamtmittelwerten einen volatilen Anteil von 8,1E3 mit der 99 prozentigen Abscheidung des AVL Geräts berechnen. Die Messwerte der testo Partikelgröße liegen bei 51nm für 2000 und 3000 Umdrehungen und etwa bei 80 nm für den Leerlauf.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

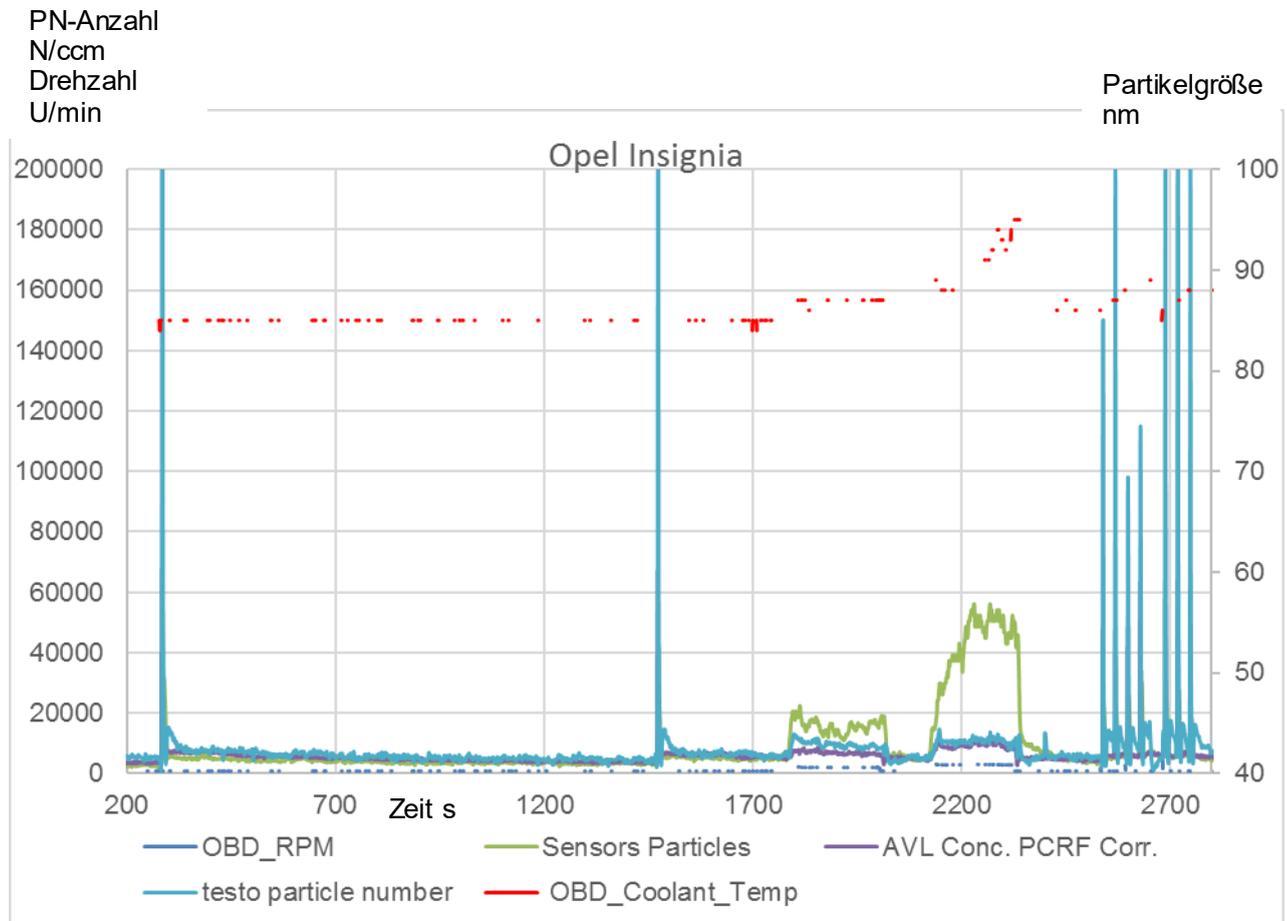


Abbildung 5.8.8: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen in der Gesamtmessung, Opel Insignia

Tabelle 5.8.9 stellt die Mittelwerte der Partikelanzahlkonzentrationen bei 3000 Umdrehungen der Messungen an dem Opel Insignia dar. Die Geräte mit Abscheidung der volatilen Partikel: das AVL Referenzgerät und das testo PEPA liegen nahezu deckungsgleich bei etwa  $1E4$  #/ccm, während das Sensors Gerät etwa  $3E4$  #/ccm Partikel mehr anzeigt. Bei 3000 Umdrehungen werden noch mehr volatile Partikel erzeugt als bei 2000 Umdrehungen Motorbetrieb, siehe Abbildung 5.8.10, wobei über die erste Hälfte der Messzeit noch ein Anstieg der volatilen Partikel verzeichnet wird. Die volatilen Partikel werden auch bei 88 Grad Kühlmitteltemperatur erreicht. Die Kühlmitteltemperatur ist hier nur eine einfach zu bestimmende Hilfsgröße, die nicht bedeutet, dass man nicht doch Katalysatorheizeffekte bei der Prüfung hat.

Diese beiden Messpunkte zeigen, dass ein Abscheider der volatilen Partikel, mindestens in der gleichwertigen Anforderung von /8/ auch für ein zukünftiges AU-Gerät zu fordern ist.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt	Drehzahl	Kühlmitteltemperatur	PN Referenz	PN PTI Sensors	PN PTI Testo PEPA	Bemerkung
1	3000	88	8,66E3	2,76E4	1,01E4	Sensors elapsed: 2126
2	3000	88	9,68E3	4,65E4	1,08E4	
3	3000	88	9,92E3	5,03E4	1,13E4	
Mittelwert	3000	88	9,42E3	4,15E4	1,07E4	„PASS“

Tabelle 5.8.9: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen bei 3000 Umdrehungen, Opel Insignia

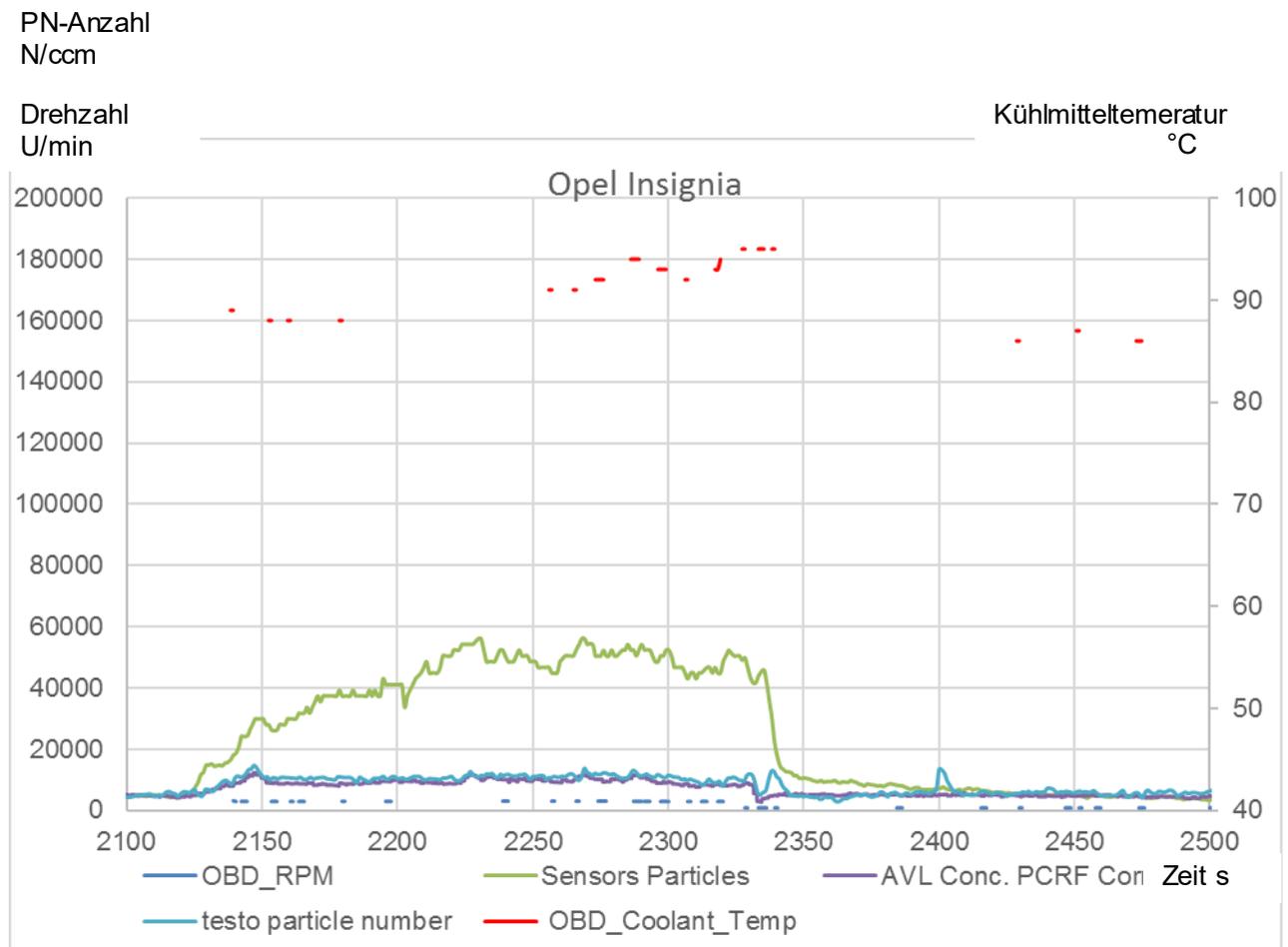


Abbildung 5.8.10: Partikelanzahlkonzentrationen bei 3000 Umdrehungen, Opel Insignia



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**

Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

Die Partikelanzahlspitzenwerte bei der freien Beschleunigung des Opel Insignia sind in Tabelle 5.8.11 enthalten.

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	Kühlmittel- temperatur	PN Referenz*	PN PTI Sensors*	PN PTI Testo PEPA	Bemerkungen
1	5000	87	4,76E4	2,20E4	1,50E5	Sensors elapsed: 2540
2	5000	87	4,69E4	2,03E4	2,03E5	2570
3	5000	89	4,83E4	2,38E4	9,68E4	2600
4	5000	88	6,35E4	3,04E4	1,13E5	2630
5	5000	87	5,76E4	2,78E4	2,61E5	2688
6	5000	87	6,38E4	2,76E4	3,17E5	2720
7	5000	88	4,94E4	1,86E4	2,13E5	2748

Tabelle 5.8.11: Partikelanzahlkonzentrationen bei der freien Beschleunigung, Opel Insignia

Bei den Maximalwerten fallen die im Vergleich hohen Werte bei der freien Beschleunigung bis auf 5000 Umdrehungen auf, die mit dem testo PEPA gemessen worden, siehe Abbildung 5.8.12. Im Vergleich zu Fahrzeugen, bei denen im Stand die Maximaldrehzahl beschränkt ist, werden hier höhere Leistungen erzeugt und auch die Schubphase ohne Verbrennung ist länger.

Die Verläufe der Geräte mit CPC, Referenzgerät AVL und Sensors zeigen Unterschiede, die an mehreren Parametern wie z.B. Ansprechzeiten, Leitungslängen, Durchflussmengen, t90-Zeiten, Vermischungseffekten, Abtastraten, etc. liegen können. Ausserdem beruht die in diesem Bericht verwendete Auswertung auf dem Maximalwert, also nur einem Wert ohne jegliche Mittelung. Der Ansatz der AU-Kandidatengeräte war aber eher die Anwendung bei konstanter Drehzahl.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

PN-Anzahl  
N/ccm

Kühlmittel-  
temperatur  
°C

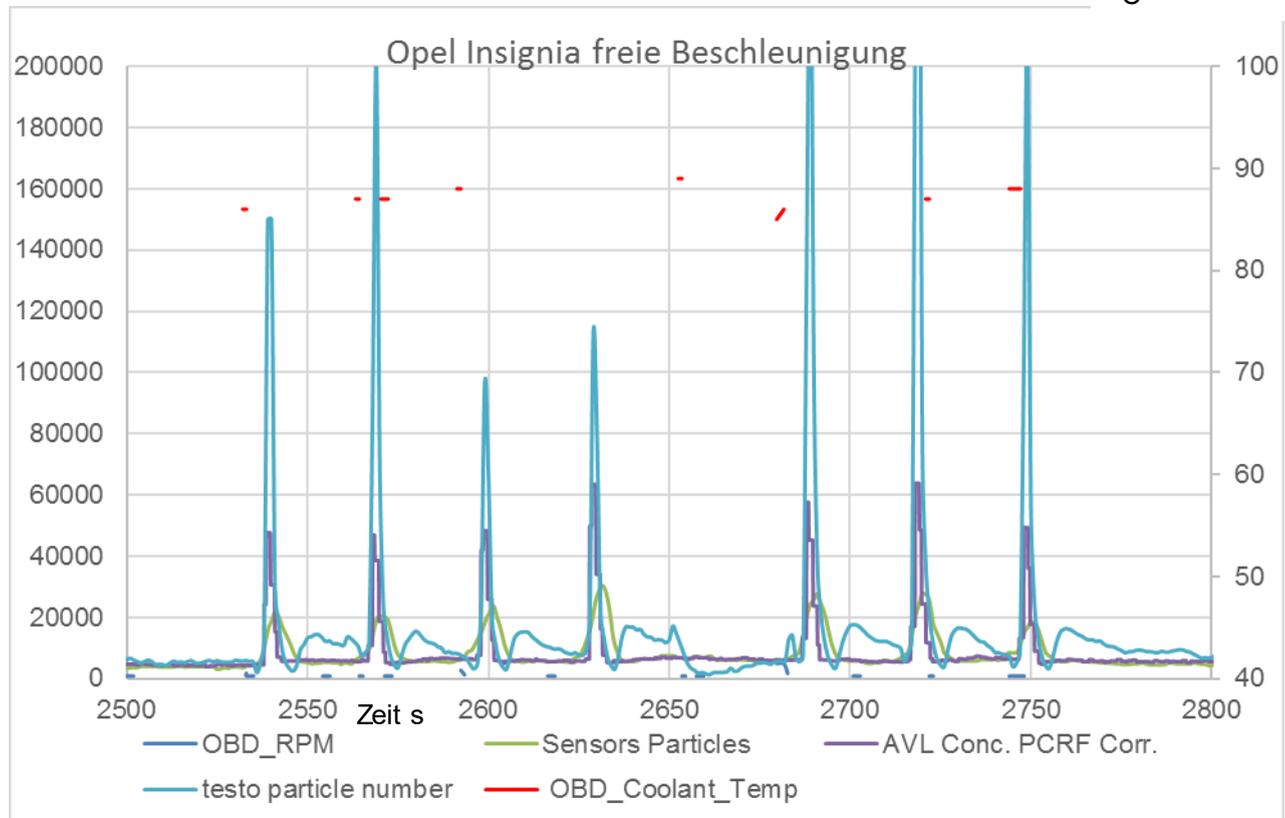


Abbildung 5.8.12: Partikelanzahlkonzentrationen bei der freien Beschleunigung, Opel Insignia

Zur Analyse der Partikelanzahlmessung bei der freien Beschleunigung des Opel Insignia, sind die Werte der Partikelanzahl und der Partikelgröße aus dem testo PEPA in Abbildung 5.8.13 dargestellt. Bei der freien Beschleunigung sinkt die Partikelgröße nach /14/ bei der ersten freien Beschleunigung auf 18 nm und der zweiten auf sogar 17,5 nm ab. Die bei DC Diffusion Charger Messgeräten vorhandene Nichtlinearität bezüglich der Partikelgröße lässt hier bei sehr kleinen Partikeln den Messwert deutlich gegenüber CPC's ansteigen. In der sofort anschließenden Schubphase werden vom Motor dann sehr grosse Partikel erzeugt, um dann bei Einsetzen der Verbrennung wieder Partikel in der Größe von etwa 60 nm bei Leerlauf zu erzeugen.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

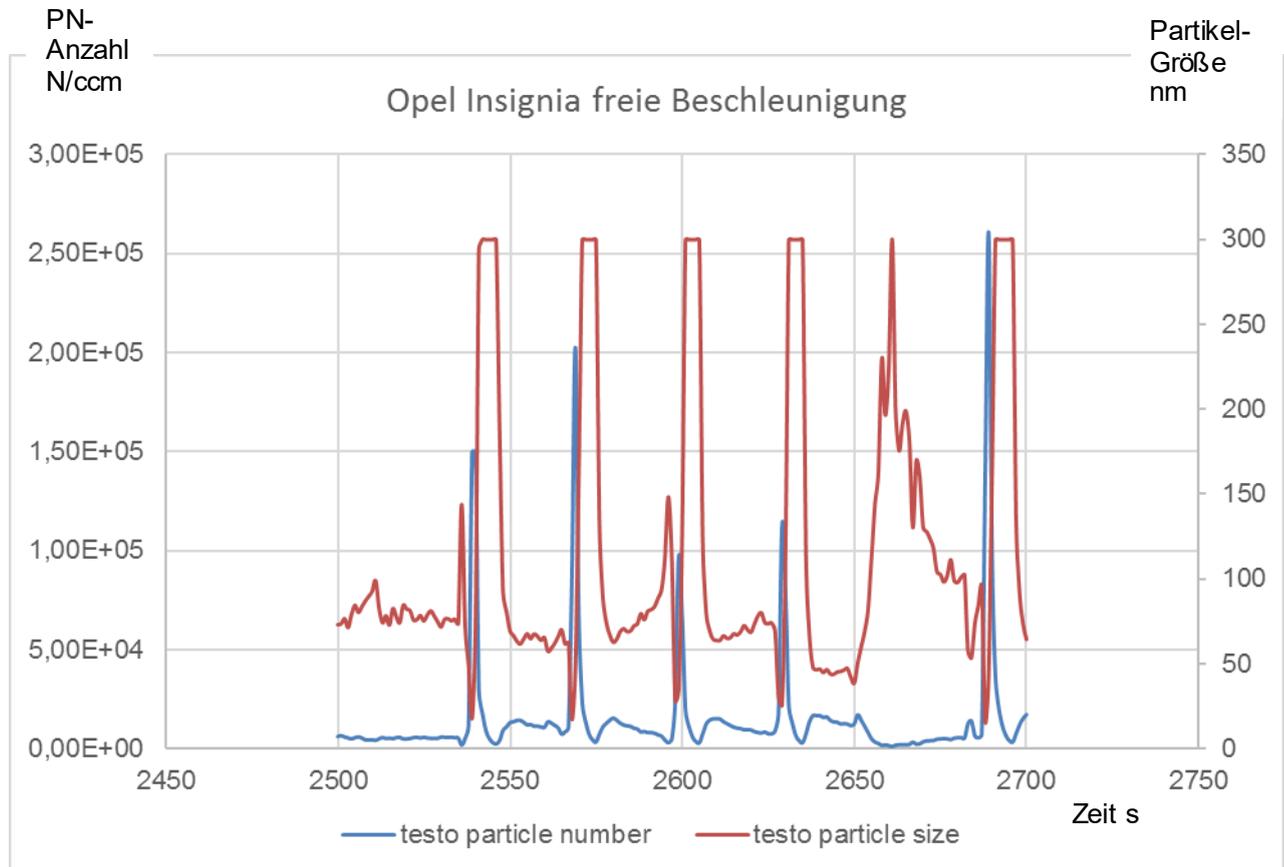


Abbildung 5.8.13: Partikelanzahlkonzentration und -größe in [nm], testo PEPA, freie Beschleunigung Opel Insignia

#### Ergebnisbetrachtung Opel Insignia:

- Im Bereich der Partikelanzahlkonzentration im Leerlauf von etwa 4 bis 7E3 #/ccm zeigen die Messgeräte eine gute Übereinstimmung.
- Um einen sicheren Mittelwert bei konstanten Drehzahlen zu Ermitteln sollte die Messzeit mindestens 3 mal 35 Sekunden betragen.
- Nach einer Drehzahländerung sollte die Messzeit frühestens nach 30 Sekunden beginnen.
- Auch bei 2000 Umdrehungen und 87 Grad Kühlmitteltemperatur können volatile Partikel bei Pkw's entstehen. Ein Abscheider volatiler Partikel gleichwertig zu VAMV ist bei dem AU Gerät vorzusehen.
- Die freie Beschleunigung ist nicht geeignet als Betriebsmodus des Motors bei einer AU, wegen starker Schwankung der Partikelgrößen im Verlauf, und mangelnder rein transientser Gerätedefinition, und wegen der fehlenden Mittelwertbildung über längere Messzeit.



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**

Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

**6 Pkw Untersuchung: Partikelanzahlmessungen mit defektem DPF, Testfahrzeug BMW 520dA**

Um den Zusammenhang zwischen Partikelanzahlmessungen für eine geplante AU für ein Fahrzeug mit intaktem DPF und verschiedenen bekannten Beschädigungen eines DPF darzustellen, erfolgten die in diesem Abschnitt dargestellten Untersuchungen. Für die Messungen wurde ein BMW 520dA Kombi mit einer Laufleistung von etwa 100.000 Kilometern ausgewählt. Für das Fahrzeug lagen bereits Erfahrungen zum Ein- und Ausbau, bzw. zur Präparierung des DPF vor. Die Fahrzeugdaten sind in Tabelle 6.1 enthalten, das Fahrzeug ist in Abbildung 6.2 dargestellt.

Hersteller	[-]	BMW
Typ	[-]	5K
Karosserieform	[-]	Kombi
Fahrzeugkategorie	[-]	M1
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	N47020C
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	1995
Motorleistung	[KW]	135
Euro Stufe	[-]	5b (F)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Deutschland
Typgenehmigungsnummer	[-]	e1*2007/46*0455*03
Leergewicht	[kg]	1790
CO2-Emissionen	[g/km]	129
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	101,000
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	31-10-11

Tabelle 6.1: Daten des Testfahrzeugs BMW 520 dA

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen



Abbildung 6.2: Testfahrzeug BMW 520 dA

Das DPF System mit Vorkatalysator ist nach Abnahme der Unterbodenverkleidung zugänglich, siehe Abbildung 6.3. An einem neuen DPF System wurde ein Flanschsystem zwischen Vorkatalysator und DPF eingefügt.

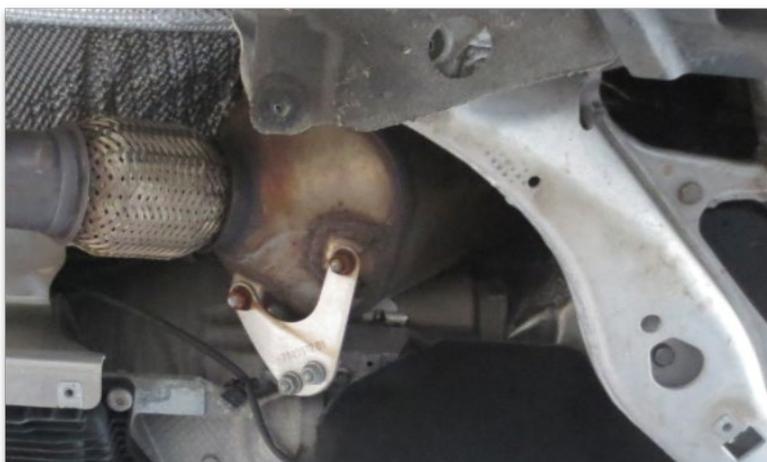


Abbildung 6.3: DPF: Einbaulage, Bauteil und Änderung auf Flanschsystem

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

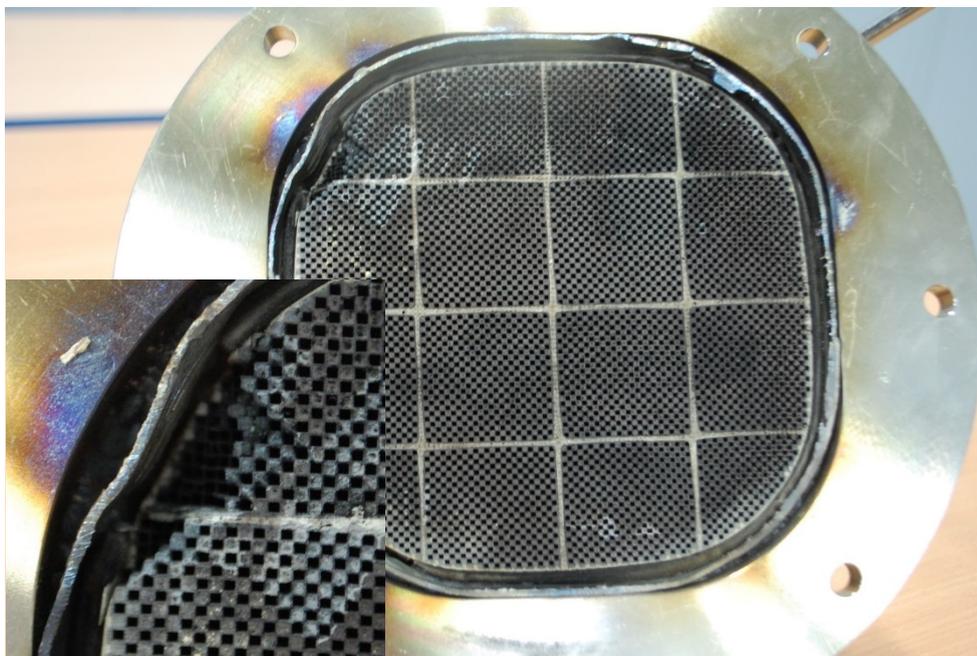


Abbildung 6.4: Beschädigung des DPF Stufe 1

Der DPF im Gehäuse bei abgenommenem Vorkatalysator mit Beschädigung der Stufe 1 zeigt Abbildung 6.4. Der DPF besteht aus 16 Einzelmodulen, die im Canning zusammengefügt sind. Insgesamt sind 6624 wechselseitig verschlossene Kanäle vorhanden. Im Randbereich wurden hierbei in der ersten Stufe 0,39% hiervon beschädigt. Die Kanäle haben hierbei offenen Durchgang.

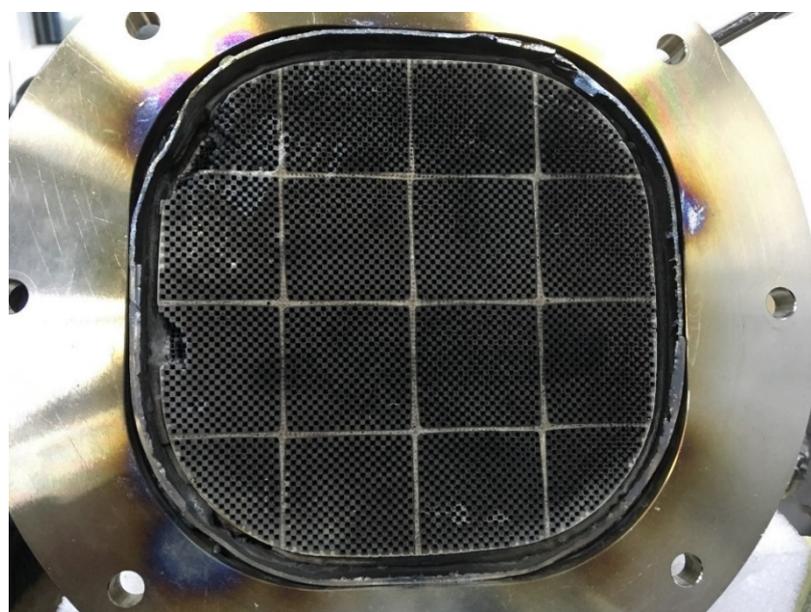


Abbildung 6.5: Beschädigung des DPF Stufe 2

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

In der zweiten Stufe der Beschädigung, siehe Abbildung 6.5, wurden die Kanalverschlüsse einer zweiten Zone beschädigt. Insgesamt beträgt die Schädigung nun 0,62% der Kanäle. Ziel der Beschädigungen war es, einen Durchbruch bei der Partikelanzahlkonzentrationsmessung zu Erzeugen.



Abbildung 6.6: Partikelanzahlmessung, BMW 520 dA mit DPF „intakt“

Die Messung der Partikelanzahlen erfolgen mit dem Gerät von Sensors und dem Referenzzähler von AVL parallel, siehe Abbildung 6.6. Die Messungen am Fahrzeug mit beschädigtem DPF erfolgten auf der Hebebühne, da die DPF Position im Fahrzeug wegen des Flanschsystems leicht geändert werden musste, siehe Abbildung 6.7.



Abbildung 6.7: Partikelanzahlmessungen mit beschädigtem DPF



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkung DPF „intakt“
1	Leerlauf 780	3,1E1	5,3E1	200..500
2	780	1,5E2	9,1E1	924..1224
3	780	2,8E2	1,2E2	1576..1874
Mittelwert	780	1,5E2	8,8E1	

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkung DPF Defekt Stufe 1
1	Leerlauf 780	1,3E5	7,8E4	4914..5213
2	780	9,8E4	5,9E4	6527max
3	780	1,5E5	8,8E4	2379..2678 Messung 2-2
Mittelwert	780	1,3E5	7,5E4	

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN PTI Sensors	Bemerkung DPF Defekt Stufe 2
1	Leerlauf 780	2,3E5	
2	780	2,2E5	
3	780	2,2E5	
Mittelwert	780	2,2E5	

Messpunkt Vor DPF	Drehzahl	PN Referenz		Bemerkung Rohabgas
1	Leerlauf 780	1,04417E7		

Tabellen 6.8: Partikelanzahlmesswerte im Leerlauf, BMW 520dA

In den Tabellen 6.8 sind die Partikelanzahlkonzentrationen in #/ccm für die Messungen im Leerlauf enthalten. Zusätzlich zu den Messungen am Endrohr wurde eine Messung vor DPF durchgeführt, um im Leerlauf DPF Wirkungsgrade zu berechnen: Die Abscheiderate im originalen Zustand beträgt 99,997 % und sinkt mit Beschädigung Stufe 1 auf 98,6% und mit Stufe 2 auf 97,9%. Mit Beschädigung der Stufe 1 ist



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
 Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

sofort ein Durchbruch der Partikelanzahlkonzentration mit Anstieg um mehrere Zehnerpotenzen zu erkennen. Die Messwerte sind jeweils über 60 Sekunden gemittelte Werte bei betriebswarmem Motor.

Messpunkt	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkungen DPF „intakt“
1	2000 (1977)	6,1E1	5,2E1	607...906
2	2000 (1955)	1,1E2	1,3E2	1888...2187

Messpunkt	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkungen DPF Defekt Stufe 1
1	2000	8,9E4	5,0E4	1900..2199 2_2
2	2000 (2028)	2,2E5	1,2E5	3053...3352 2_1
3	2000 (1915)	2,0E5	1,1E5	2413..2712 2_1
Mittelwert	2000	1,7E5	9,3E4	„PASS“

Messpunkt	Drehzahl	PN PTI Sensors	Bemerkungen DPF Defekt Stufe 2
1	2000	3,1E5	
2	2000	3,1E5	
3	2000	3,1E5	
Mittelwert	2000	3,1E5	„FAIL“

Tabellen 6.9: Partikelanzahlmesswerte bei 2000 Umdrehungen, BMW 520dA

In den Tabellen 6.9 sind die Partikelanzahlkonzentrationen in #/ccm für die Messungen bei 2000 Umdrehungen enthalten. Auch bei 2000 Umdrehungen ist die Schädigung des DPF sofort im Anstieg der Partikelanzahlkonzentration sichtbar. Mit Stufe 2 wird ein vorgeschlagener Grenzwert von 2,5E5 #/ccm überschritten.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkungen DPF „intakt“
1	3000 (2882)	1,5E2	1,5E2	1266...1565
2	3000 (2918)	9,4E1	1.8E2	2533...2832
				„PASS“

Messpunkt	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	Bemerkungen DPF Defekt Stufe 1
1	3000 (2826)	7,3E4	5,0E4	Ab 862 2_2
2	3000 (2855)	7,0E4	5,7E4	Ab 2791 2_2
3	3000 (2875)	7,4E4	5,3E4	4730...5029 2_1
Mittelwert	3000 (2852)	7,2E4	5,3E4	„PASS“

Messpunkt	Drehzahl	PN PTI Sensors	Bemerkungen
1	3000	2,4E5	
2	3000	2,5E5	
3	3000	2,5E5	
Mittelwert	3000	2,5E5	„FAIL“

Tabellen 6.10: Partikelanzahlmesswerte bei 3000 Umdrehungen, BMW 520dA

In den Tabellen 6.10 sind die Partikelanzahlkonzentrationen in #ccm für die Messungen bei 3000 Umdrehungen enthalten. Auch hier ist die Schädigung des DPF sofort im Anstieg der Partikelanzahlkonzentration ab Stufe 1 sichtbar.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

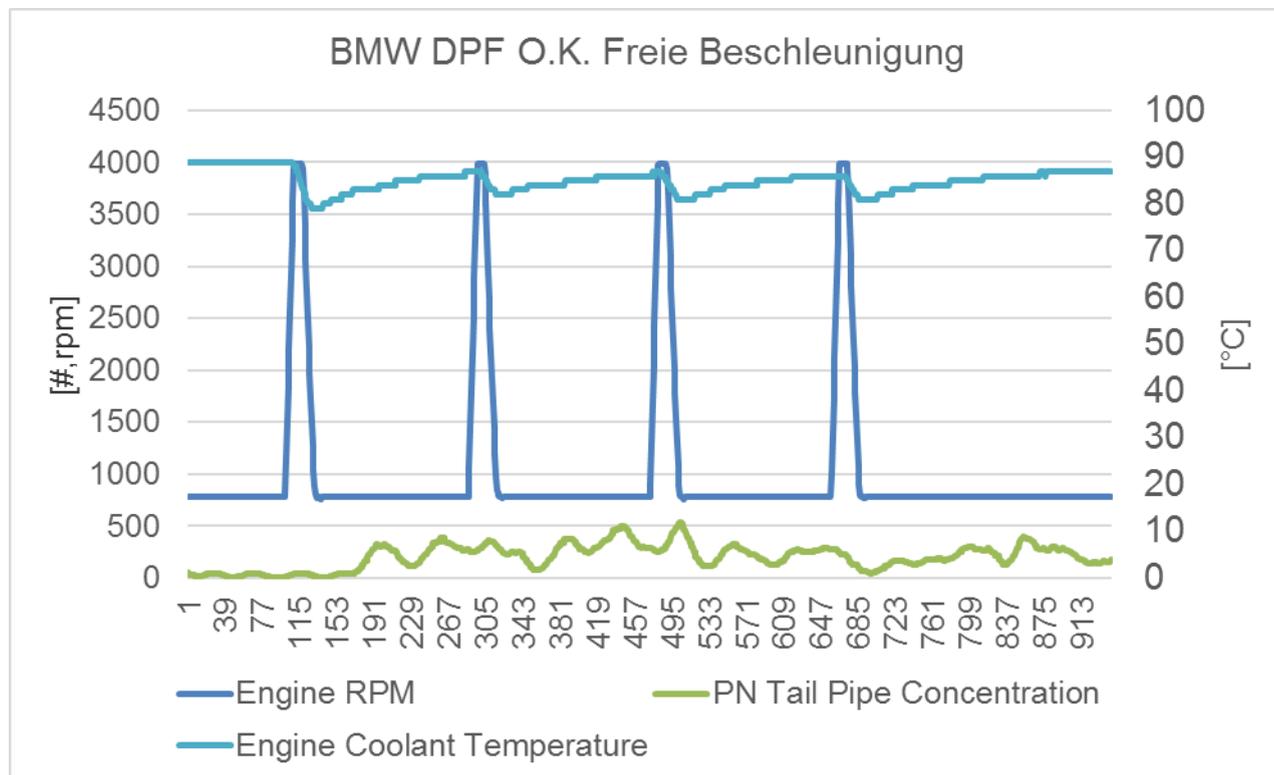


Abbildung 6.11: Partikelanzahlmesswerte bei der freien Beschleunigung, BMW 520dA DPF „intakt“, Sensors APA

Abbildung 6.11 zeigt die Partikelanzahlkonzentration bei freier Beschleunigung und intaktem DPF: hier ist kein wirklicher Zusammenhang zur Drehzahl sichtbar, Werte bewegen sich unter 5E2 #/ccm. Im Gegensatz dazu zeigt Abbildung 6.12 Werte um 7E5 #/ccm für jede freie Beschleunigung beim Defekt der Stufe 2.

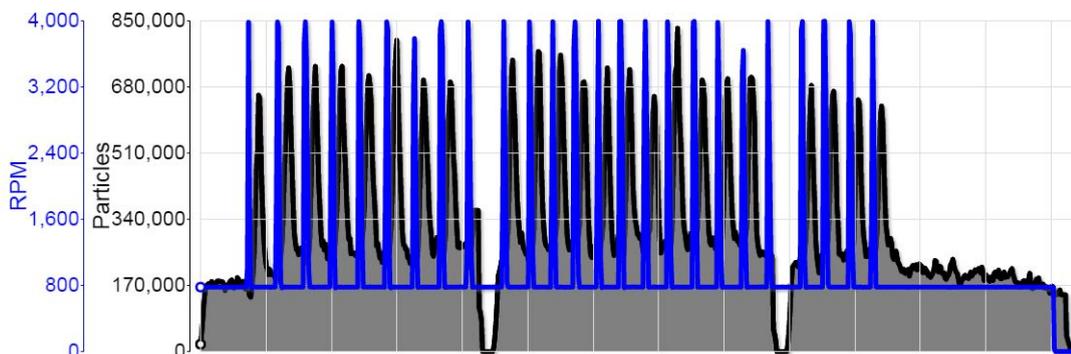


Abbildung 6.12: Partikelanzahlmesswerte bei der freien Beschleunigung, BMW 520dA DPF Defekt Stufe 2, Sensors APA



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
 Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

In Abbildung 6.11 ist zu erkennen, dass das Fahrzeug bei freier Beschleunigung eine Kühlmitteltemperatur von über 80 °C erreicht. Ab einer Temperatur von 100°C für das Kühlmittel im Stand sperrte das Fahrzeug die erreichbare Drehzahl von 4000 Umdrehungen im Stand.

Die Maximalwerte für die Partikelanzahlkonzentration bei freier Beschleunigung des BMW 520 dA mit Defekt der Stufe 1 und 2 sind in Tabellen 6.13 dargestellt.

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	DPF Defekt Stufe 1
1	3979	5,9E5	2,9E5	
2	3980	3,3E5	2,1E5	
3	3981	4,9E5	2,1E5	
4	3981	4,5E5	1,8E5	
5	3977	4,5E5	1,5E5	„FAIL“

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI Sensors	DPF Defekt Stufe 2
1	3984	2,0E6	6,59E5	
2	3987	1,05E6	7,29E5	
3	3989	1,21E6	7,33E5	
4	3987	1,06E6	7,33E5	„FAIL“

Tabellen 6.13:  
 Partikelanzahlmesswerte bei der freien Beschleunigung,  
 BMW 520dA mit Defekt Stufe 1 und 2



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

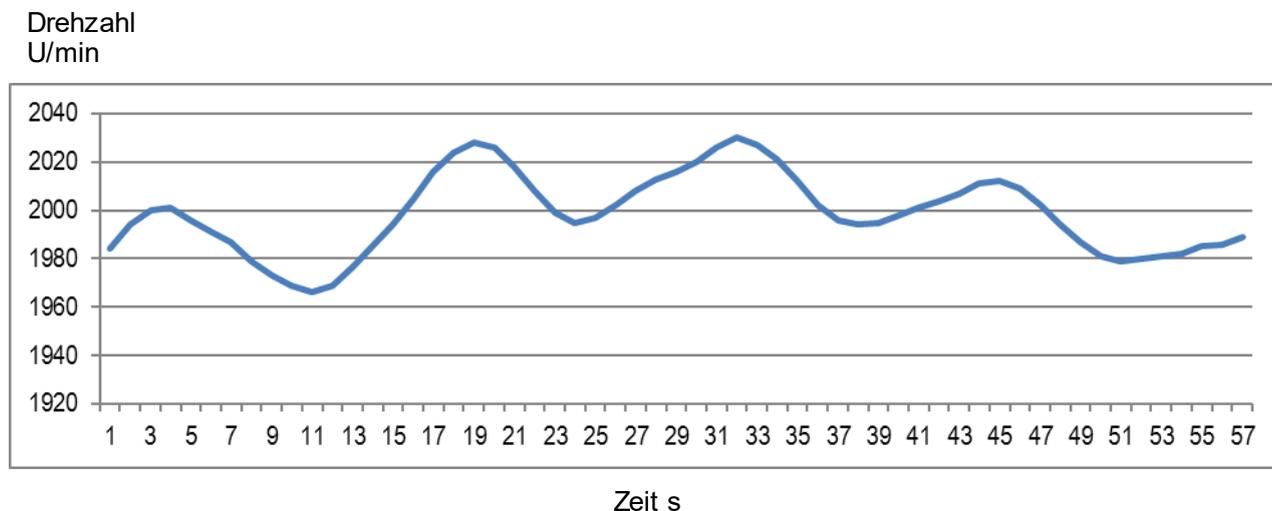
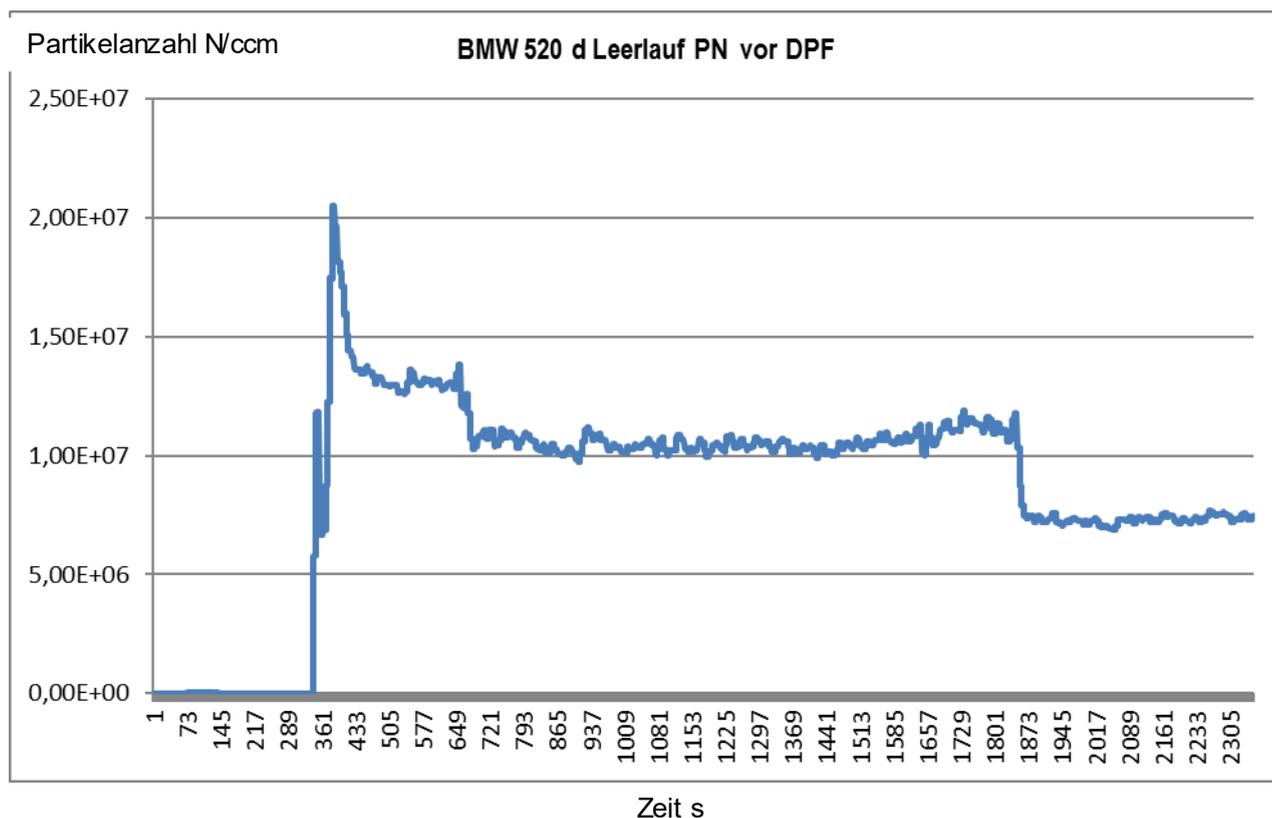


Abbildung 6.14: Drehzahlregelungen des Motors beim Einstellen einer Prüfdrehzahl von 2000 Umdrehungen

Bei dem Versuch die Drehzahl auf 2000 rpm ohne Last einzustellen reagiert der Motor mit ständigem Regelverhalten auf die Drehzahl, siehe Abbildung 6.14.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Abbildung 6.15: Partikelanzahlmessung vor DPF mit Referenzgerät AVL, BMW 520dA, Leerlauf

Selbst bei warmen Motor erfolgen auch bei stabilem Leerlauf Regelvorgänge, die auch das Partikelanzahl Rohemissionsniveau beeinflussen (ca. 300 Sekunden nach Start sowie auch später). Dieses Verhalten wird auch in einer Studie aus den Niederlanden /10/ in „Figure 34“ beschrieben.

Nach den Untersuchungen in Abschnitt 5.5 wurde das Fahrzeug nochmals in Hinblick auf eine Taxifunktion untersucht. Nachdem mit intaktem DPF kein Einfluss nach DPF sichtbar ist, gelingt der Nachweis mit defektem DPF der Stufe 2.

Nach Abbildung 6.15 sollte eine PN PTI Prozedur frühestens nach etwa 360 Sekunden nach Start des Motors beginnen. Impliziert wird dies durch eine Kühlmitteltemperatur von über 70 Grad vor einem Partikelanzahltest.

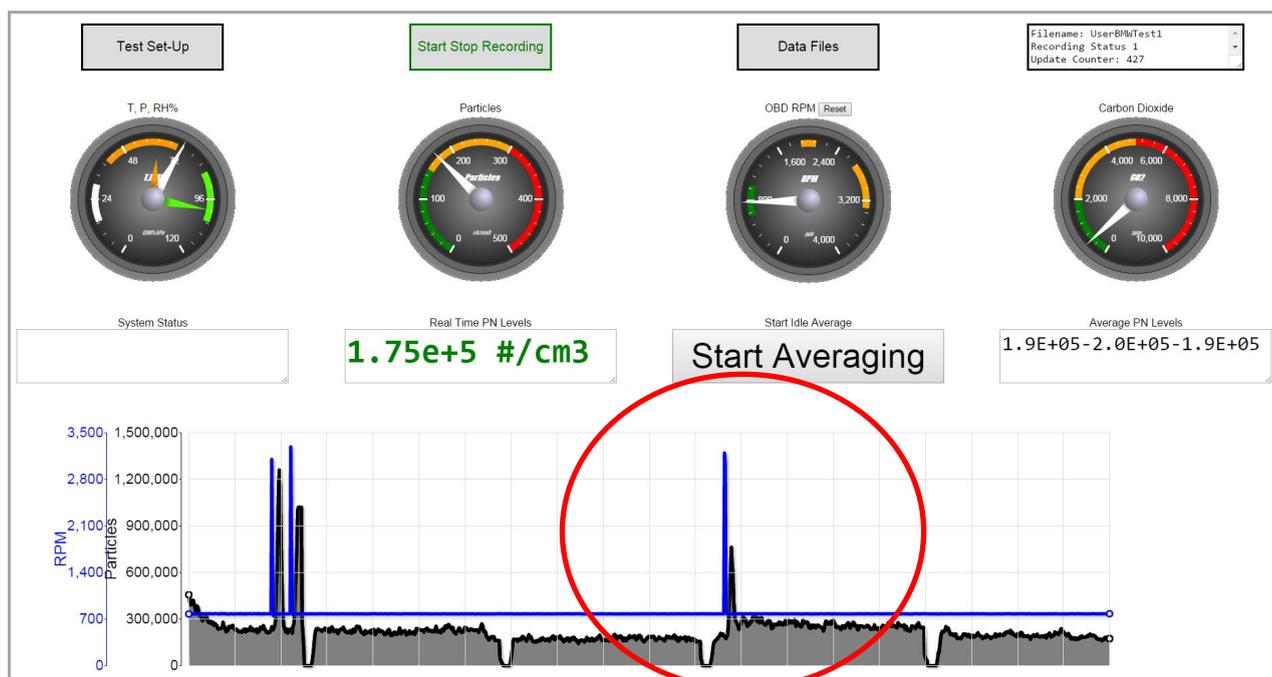


Abbildung 6.16: Nachweis der Taxifunktion beim BMW 520 dA mit DPF Defekt Stufe 2 im Leerlauf, Messbildschirm des Sensors Geräts

In Abbildung 6.16 ist der Taxieffekt beim BMW 520d mit maximal defektem DPF dargestellt. Die Messung erfolgt mit Sensors APA. Im Bereich eines möglichen Grenzwerts von 250.000 #/ccm ist der Effekt bei PN auch im Endrohr nachweisbar.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

(Die in regelmässigen Abständen auftauchenden Nullwerte der PN Emission sind einer eingebauten AUTO ZERO Gerätefunktion zuzuordnen, und sind als Messwerte nicht zu betrachten. Dies ist auf den Prototypstatus des Geräts zurückzuführen, und wurde mit Softwareversion 2 des Sensors APA ausgeschlossen.)

Für die PN PTI Deutschland Prozedur muss eine geringe Zeit nach dem Gasstoss abgewartet werden, bis die dreimaligen Mittelungszeiten starten, um den möglichen unmittelbaren Peak danach zu vermeiden. Die dreimalige Mittelung ist ebenso zu verwenden, um einen Messwert nachweisen, der nicht Werte mit und ohne Taxifunktion enthält.

Ergebnisbetrachtung Messungen BMW 520 dA:

- Mit 0,39% Schädigung der DPF Kanäle ist ein Anstieg der Partikelanzahlkonzentration um mehrere Zehnerpotenzen zu beobachten.
- Mit einer Schädigung von 0,62% der Kanäle wird eine Leerlaufpartikelanzahlkonzentration von etwa des vorgeschlagenen Grenzwerts von  $2,5E5 \text{ \#/ccm}$  erreicht. Dies entspricht einem verbleibenden DPF Wirkungsgrad von 97,9%.
- Mit zunehmender Schädigung kann auch bei den Endrohremissionen eine Taxifunktion nachgewiesen werden.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**7 Untersuchung schwerer Nutzfahrzeuge  
 Übersicht**

Die Untersuchung der Partikelanzahl erfolgte auch im Bereich schwerer Nutzfahrzeuge der Emissionsstufen: V, EEV und VI. Untersucht wurden folgende Fahrzeuge:

- Isuzu F11 210 EURO VI
- DAF XF EURO V ohne DPF
- Unimog U 527 EURO VI c
- Scania P410 EURO VI
- Volkswagen Crafter EEV mit DPF

**7**

**7.1 Testfahrzeug Isuzu F11 210, Messung mit Sensors ( 3. te Stufe)**

Die Daten des Nutzfahrzeugs 1 sind in Tabelle 7.1.1 enthalten. Der Motor weist als Besonderheit bereits einen PM OBd Sensor auf.

Hersteller	[-]	Isuzu
Typ	[-]	F2R
Karosserieform	[-]	Lkw offener Kasten
Fahrzeugkategorie	[-]	N2
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	4HK1
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	5193
Motorleistung	[KW]	154
Euro Stufe	[-]	VI d
Typgenehmigungsbehörde	[-]	EBE
Typgenehmigungsnummer	[-]	-
Leergewicht	[kg]	4220 (11to zGG)
CO2-Emissionen	[g/km]	n/a
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	7860
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	13-06-2016

Tabelle 7.1.1: Daten des Nutzfahrzeugs 1: Isuzu „F11 210“

---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Die Messungen fanden im Aussenbereich bei einer Temperatur von  $-1^{\circ}\text{C}$  statt, mit einem Kaltstart aus Umgebungstemperatur. Abbildung 7.1.2 zeigt das Fahrzeug und den Messaufbau.

Zur Untersuchung der Betriebsbedingungen bei einer Abgasuntersuchung wurde die Motordrehzahl und die Kühlmitteltemperatur aus dem Steuergerät aufgezeichnet. Die Daten sind in Abbildung 7.1.3 enthalten. Der Motorstart erfolgte bei 120 Sekunden. Messdaten aus dem Steuergerät liegen erst ab 1450 Sekunden vor. Die Messdauer betrug etwa 108 Minuten. Im Standbetrieb mit wechselnden Drehzahlen wurde nach einer Stunde eine maximale Temperatur von  $82^{\circ}\text{C}$  erreicht. Wegen der grossen Kühlleistung dieser Motore kühlen die Fahrzeuge im Leerlauf schnell ab und fallen auch unter  $60^{\circ}\text{C}$ . Bei einer realen Abgasuntersuchung treten in der Praxis auch Wartezeiten auf. Dass eine

Abgasuntersuchung sofort immer als erstes direkt im Anschluss an eine längere Fahrt stattfindet, ist in der Praxis nicht immer möglich. Ein Motorbetrieb bei etwa  $88$  bis  $90^{\circ}\text{C}$  ist realistisch bei einer Messung im Stillstand nicht zu erreichen.



Abbildung 7.1.2: Messungen am Nutzfahrzeug 1

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

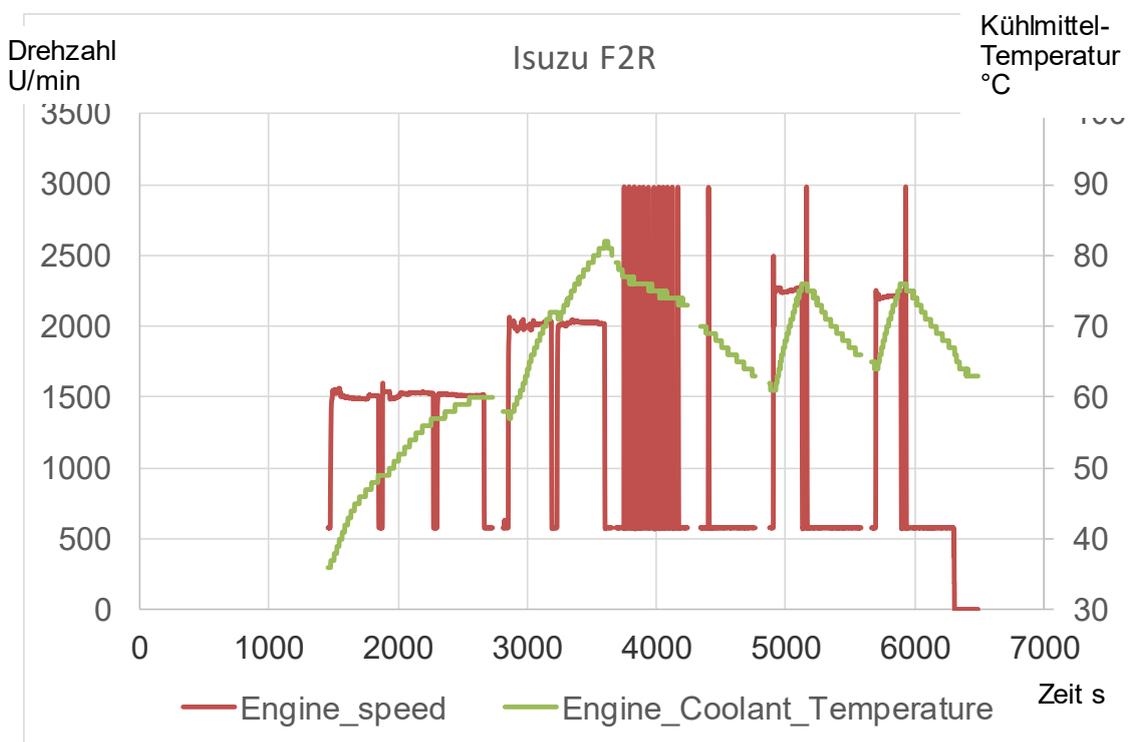


Abbildung 7.1.3: Drehzahl und Kühlmitteltemperaturmessung im Stand

Auch bei zwölf aufeinanderfolgenden freien Beschleunigungen fällt die Kühlmitteltemperatur weiter ab. Nach den freien Beschleunigungen folgen drei Abgasmessungen nach Vorschlag dieses Berichts, jeweils mit einem Drehzahlsprung und anschliessendem Leerlauf mit drei Messungen über jeweils eine Minute.

Da realistisch keine 80 bis 90 °C Kühlmitteltemperatur erreicht werden kann, wird anstatt eine Mindesttemperatur von 70 °C vorgeschlagen. Diese lässt sich mit gleichartigen Temperaturanforderungen für Messungen der Realemissionen mit PEMS auf der Strasse bei Pkw und auch bei leichten und schweren Nutzfahrzeugen untermauern. /1/ und /18/. Diese Bedingungen für Kühlmitteltemperatur sind im Gerät von Sensors eingebaut.

Die erste Messung unterschreitet die 70°C Mindesttemperatur. Bei der zweiten und dritten Messung wurde jeweils mit drei Minuten Betrieb bei 2250 Umdrehungen der Motor aufgewärmt. Anschliessend eine kurze Leerlaufphase, dann wurde mit dem Drehzahlsprung jeweils die Messung gestartet.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

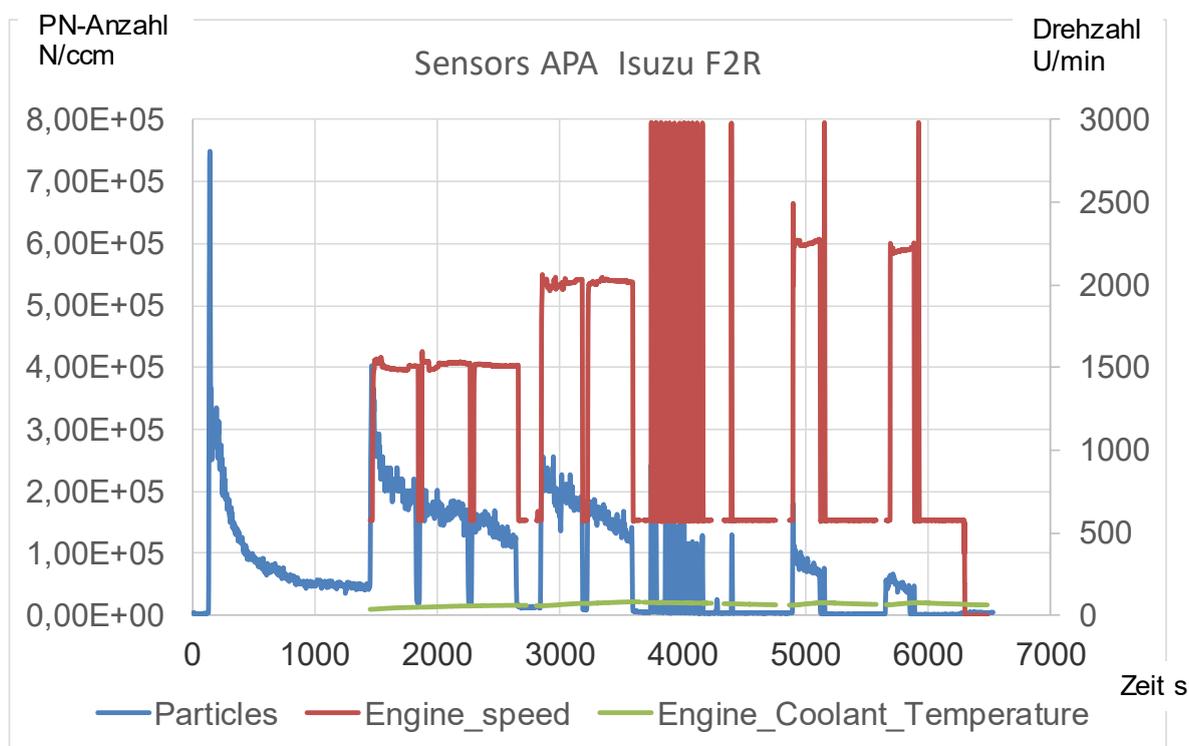


Abbildung 7.1.4: Partikelanzahlmessung mit Sensors APA

Abbildung 7.1.4 zeigt die Partikelanzahlmessung mit dem Sensors Gerät, sowie die Drehzahl und die Kühlmitteltemperatur für den gesamten Test.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

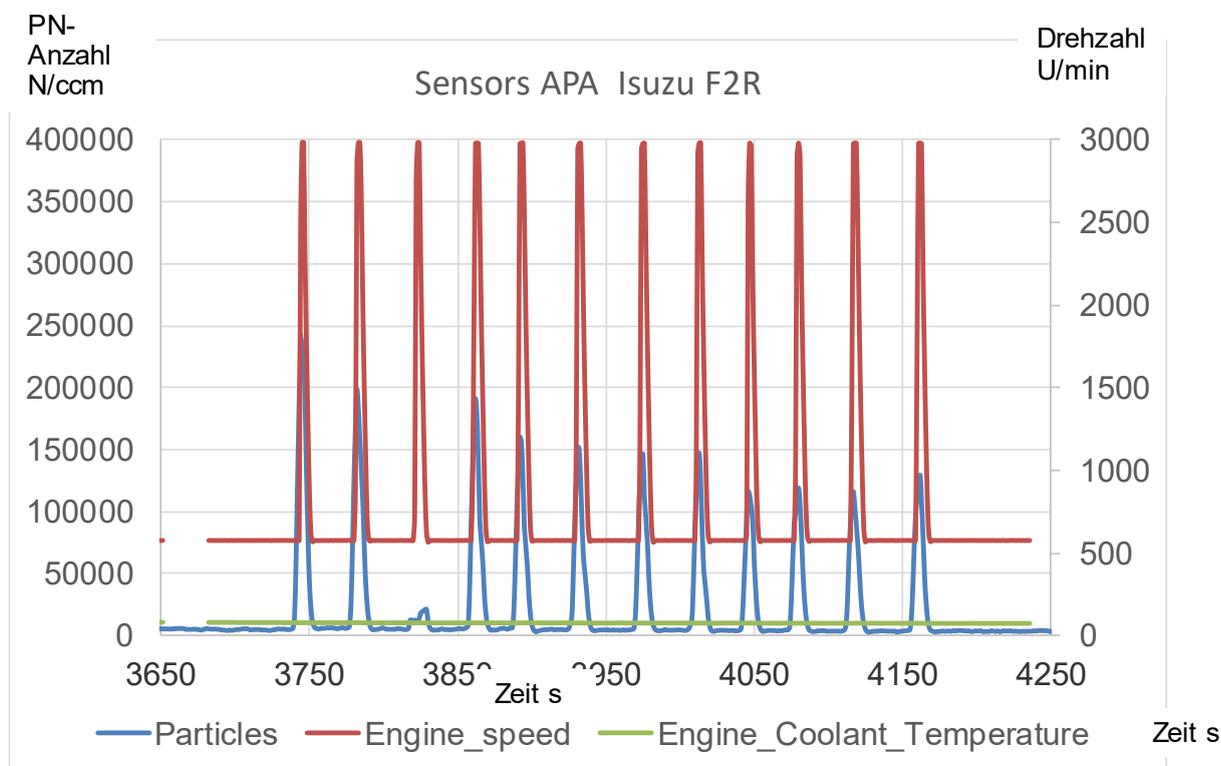


Abbildung 7.1.5: Partikelanzahl bei der freien Beschleunigung, Nutzfahrzeug Isuzu F2R

Abbildung 7.1.5 zeigt die Partikelanzahlen bei der freien Beschleunigung. Erreicht wird hier eine maximale Drehzahl von 3000 Umdrehungen. Nach etwa zehn Messungen ist der Wert um die Hälfte gesunken.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl [min <sup>-1</sup> ]	Kühlmittel- Temperatur [°C]	PN PTI Sensors
1	2984	77	2,43E5
2	2984	77	1,98E5
3	2984	76	2,11E4
4	2981	76	1,91E5
5	2982	76	1,60E5
6	2981	76	1,52E5
7	2980	75	1,46E5
8	2982	75	1,47E5
9	2981	75	1,13E5
10	2982	74	1,19E5
11	2982	74	1,16E5
12	2981	74	1,29E5

Tabelle 7.1.6 Messdaten der freien Beschleunigung, Isuzu F11 210

Für die Leerlaufmessungen in Abbildung 7.1.7 werden im Vergleich zur freien Beschleunigung sehr niedrige Partikelanzahlkonzentrationen unter 3E3 #/ccm erreicht, siehe auch Tabelle 7.1.7. Nach Abschalten des Motors erkennt man gut den Anstieg auf Werte der Umgebungsluft. Man erkennt auch, dass es gerade gelingt, die Kühlmitteltemperatur im Leerlaufbetrieb knapp über 70 °C zu halten.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

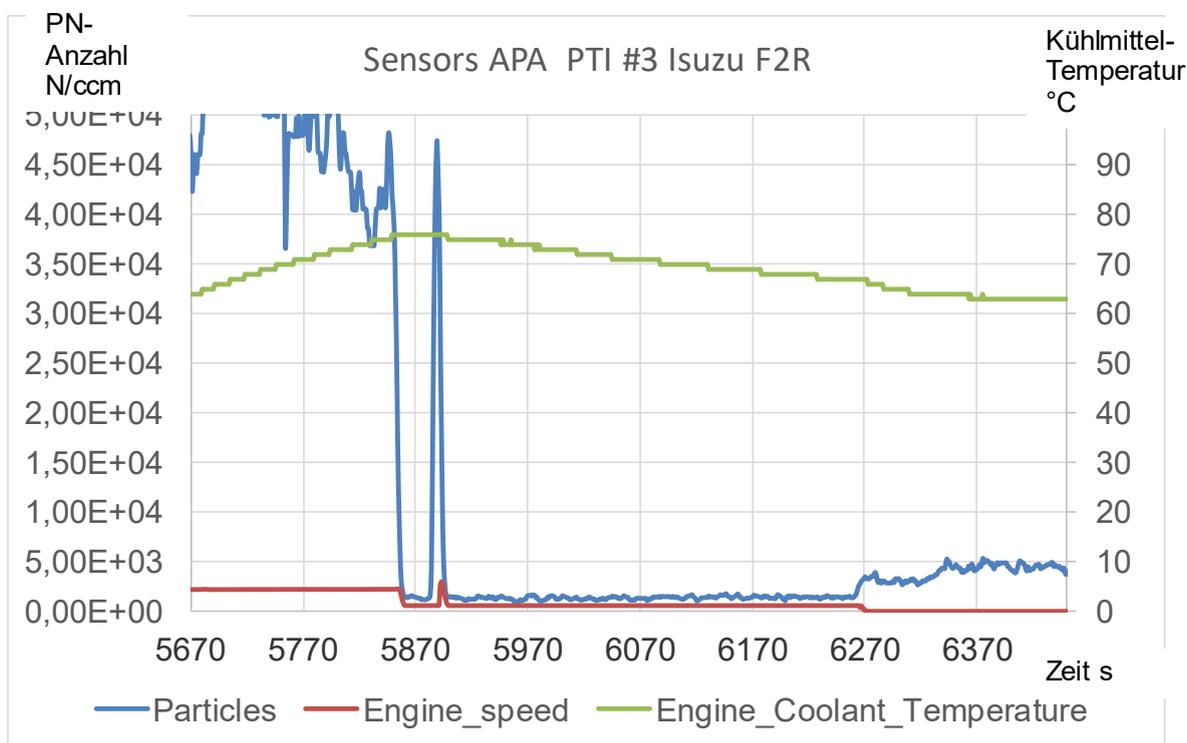


Abbildung 7.1.7 PN PTI AU 3 Messung bei Nutzfahrzeug Isuzu F2R

Messpunkt Endrohr	Drehzahl [min <sup>-1</sup> ]	Kühlmittel-Temperatur [°C]	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	Leerlauf 575	75	1,90E3	Ab 5165
2	575	73	1,88E3	
3	575	71	1,89E3	
			Mittelwert 1,89E3	Pass

Tabelle 7.1.8 PTI AU #2 Messung bei Nutzfahrzeug Isuzu F2R



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Endrohr	Drehzahl [min <sup>-1</sup> ]	Kühlmittel-Temperatur [°C]	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	Leerlauf 575	75	1,31E3	Ab 5934
2	575	73	1,30E3	
3	575	71	1,36E3	
			Mittelwert 1,32E3	Pass

Tabelle 7.1.9 PTI AU #3 Messung, Isuzu F2R

Die Wiederholung der Leerlaufmessung mit den dargestellten Werten in Tabelle 7.1.9 bestätigt das sehr niedrige Niveau der Partikelanzahlkonzentration im Leerlauf. Für 2000 Umdrehungen zeigen sich jedoch höhere Werte der Partikelanzahlkonzentration um 1.9E5 #/ccm.

Messpunkt Endrohr	Drehzahl [min <sup>-1</sup> ]	Kühlmittel-Temperatur [°C]	PN PTI Sensors	Bemerkung
1	2010	72,5	1,70E5	
2	2029	75	1,66E5	
3	2029	77	1,54E5	
			Mittelwert 1,89E5	Pass

Tabelle 7.1.10: Partikelanzahlmessung bei 2000 Umdrehungen, Isuzu F2R



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Ergebnisbetrachtung Isuzu F2R:

- Winterliche Bedingungen in Kombination mit realen Wartezeiten von der Anmeldung, über Wartezeiten bis zur Durchführung der AU im Stand ermöglichen keine Kühlmitteltemperatur von 85 oder gar 90 Grad. Deshalb wird eine Kühlmitteltemperatur von minimal 70 °C für eine PN AU vorgeschlagen. Wichtig ist ebenso eine Katalysator/DPF Temperatur, die hier nicht ermittelt wurde. Die Bauteile stellen bei schweren Nutzfahrzeugen eine erhebliche träge Masse mit Wärmespeichereffekten dar.
- Es entstehen erhebliche Anteile volatiler Partikel bei tiefen Kat/DPF Temperaturen und vor allem bei hohen Drehzahlen. Besonders bei höheren konstanten Drehzahlen sind Änderungen der Partikelanzahl zu beobachten. Bei höheren Drehzahlen ist nur die Drehzahl konstant: Motorparameter wie KAT/DPF Temperatur sind transient.
- Bei einem AU Leerlauftest in warmen Motorzustand stellen sich mit etwa 1,3 bis 1,9E3 #ccm sehr konstante und niedrige Werte ein, die auch zu den Werten der Pkw's passen.
- Werden für die AU höhere Drehzahlen vorgesehen, darf der Grenzwert für ein Gerät selbst mit Abscheidung der volatilen Partikel nicht unter 250.000 #ccm liegen.

---

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

---

**7**                    **Untersuchung schwerer Nutzfahrzeuge**  
**7.2**                  **Testfahrzeuge DAF, Unimog, Scania mit testo PEPA parallel zur AU**

Der Praxistest des testo PEPA erfolgte parallel mit der realen Abgasuntersuchung an einer HU-Prüfstelle. Ein Sachverständiger mit mehrjähriger Erfahrung im Bereich Abgasuntersuchung als auch in den Bereichen Homologation und Abgaslabor wurde etwa einen halben Tag an dem Gerät eingewiesen. Die Prüfung fand ohne Begleitung von Messtechnik- und Partikelanzahlmessungsspezialisten statt. Das Gerät wurde im Kofferraum eines Fahrzeugs transportiert und an der Prüfstelle aufgebaut, eingeschaltet und in Betrieb genommen. Das testo PEPA wurde auf Antrieb in der Nutzung akzeptiert. Die Ergebnisse wurden auch von Messtechnik Spezialisten respektiert. Es wurden drei schwere Nutzfahrzeuge vermessen. Das erste Testfahrzeug, eine DAF XF Sattelzugmaschine ist in Abbildung 7.2.1 dargestellt.



Abbildung 7.2.1: Testfahrzeug DAF XF

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Hersteller	[-]	DAF
Typ	[-]	H4E N3
Karosserieform	[-]	Lkw SZM
Fahrzeugkategorie	[-]	N3
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	DAF 12.91.
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	12902
Motorleistung	[KW]	?
Euro Stufe	[-]	V
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Niederlande
Typgenehmigungsnummer	[-]	e4*2007*46*0001
Leergewicht	[kg]	?
CO2-Emissionen	[g/km]	N/A
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	536.617
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	08-01-14

Tabelle 7.2.2: Daten des Nutzfahrzeugs 2: DAF XF

Der DAF XF ist ein Lkw der Stufe EURO V ohne DPF, die Daten sind in Tabelle 7.2.2 enthalten. Die Leerlaufdrehzahl beträgt 550 Umdrehungen, und die Abregeldrehzahl 2200 Umdrehungen. Parallel wurde eine herkömmliche Abgasuntersuchung durchgeführt, Abbildung 7.2.3.



Abbildung 7.2.3: Partikelanzahlmessung und Abgasuntersuchung



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

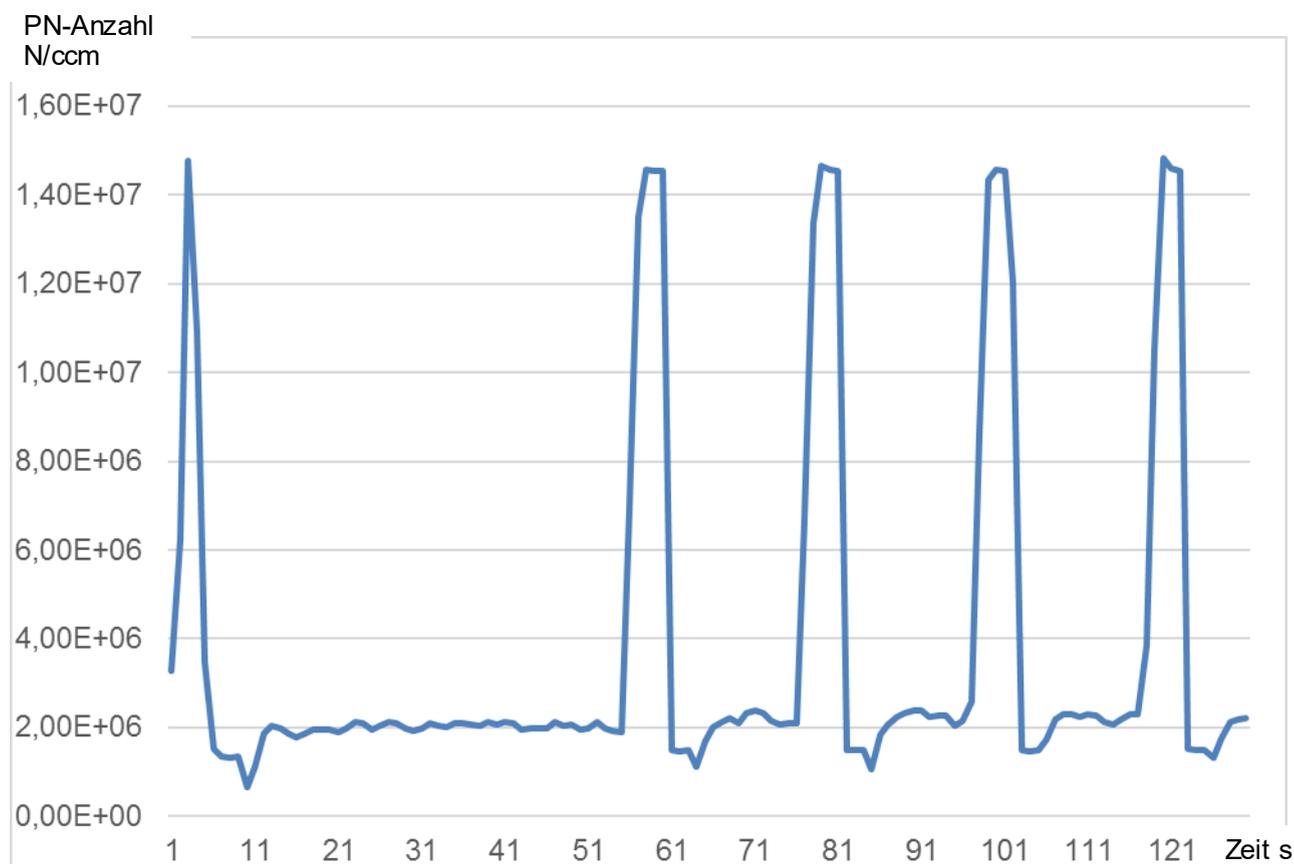


Abbildung 7.2.4: Partikelanzahl bei der freien Beschleunigung der AU, DAF XF EURO V

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	PN PTI testo PEPA
1	2185	1,46E7
2	2185	1,47E7
3	2185	1,46E7
4	2185	1,48E7

Tabelle 7.2.5: Partikelanzahl bei der freien Beschleunigung der AU, DAF XF EURO V

Abbildung 7.2.4 zeigt den Partikelanzahlverlauf und Tabelle 7.2.5 die Partikelanzahlwerte bei der freien Beschleunigung der AU. Zu erkennen sind sehr hohe Partikelanzahlkonzentrationen. Die maximalwerte sind ausserhalb des Gerätemessbereiches. Die parallele AU wurde bestanden mit niedrigen Trübungswerten.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN PTI Testo PEPA	Bemerkung
1	550 Leerlauf	2,0E6	

Tabelle 7.2.6: Partikelanzahl bei Leerlauf, DAF XF EURO V

Ergebnisbetrachtung DAX XF EURO V:

- Das transiente EURO V ETC Grenzwert für Partikelmasse PM begrenzt keine PN Emissionen im Feld.
- Am Beispiel kann kein Unterschied zu PN Rohemissionen auch von noch älteren EURO Stufen erkannt werden.
- Für EURO V ist keine Ableitung eines PN Grenzwerts aus dem PM Zertifizierungslimits erkennbar.
- Ohne weitere Motorprüfstandsversuche keine Ableitung eines Testverfahrens möglich.
- EURO V Lkw aus Europa ohne DPF!, Beispiel LKW EURO V aus Japan: Isuzu Lkw mit DPF
- PM Limit Nachweis für Lkw aus Europa nur bei Homologation, Trade-off :PM an der Grenze im Neuzustand für Nox-Kontrolle durch SCR
- Im Feld versagt EURO V inklusive EEV bei PN, siehe DAF XF Beispiel bei 500.000 km
- Empfehlung 1: keine PN Messung bei EURO V gegen Grenzwert, nur Monitoring
- Empfehlung 2: weitere Motorprüfstandsversuche EURO V (gebraucht) mit PN

Abbildung 7.2.7 zeigt das nächste Testfahrzeug, einen Unimog U 527 der Stufe EURO Vc mit sehr geringer Laufleistung, siehe Daten in Tabelle 7.2.8.



Abbildung 7.2.7: Testfahrzeug Unimog U 527

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Hersteller	[-]	Mercedes-Benz
Typ	[-]	NKS-L-UGZ-453
Karosserieform	[-]	Lkw
Fahrzeugkategorie	[-]	N3G
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	OM 936LA6-9
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	7698
Motorleistung	[KW]	200
Euro Stufe	[-]	VI c
Typgenehmigungsbehörde	[-]	-
Typgenehmigungsnummer	[-]	EBE auf Basis e1*NKS*0038*00
Leergewicht	[kg]	7250
CO2-Emissionen	[g/km]	N/A
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	525
Tag der Erzulassung	[dd-mm-yy]	01-09-2017

Tabelle 7.2.8: Daten des Nutzfahrzeugs: Unimog U527



Abbildung 7.2.9: testo PEPA Messung der Partikelanzahlkonzentration



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN PTI Testo PEPA	Bemerkung
1	700	1E1	„PASS“

Tabelle 7.2.10: Partikelanzahl bei Leerlauf, Unimog U527

Messpunkt Freie Beschleunigung	Drehzahl	PN PTI Testo Pepa
1	2750	8,7E2
2	2750	9,1E2
3	2750	1,0E3
Mittelwert	2750	9,3E2 „PASS“

Tabelle 7.2.11: Partikelanzahl bei der freien Beschleunigung, Unimog U 527

Die Messungen sind in Abbildung 7.2.9 dargestellt und die Messergebnisse der Partikelanzahl in den Tabellen 7.2.10 für den Leerlauf und in 7.2.11 für die freie Beschleunigung. Das Fahrzeug zeigt im Gegensatz zu dem EURO V Beispiel hier als EURO Vc eine vorbildliche Filterfunktion für die Partikelanzahlemission. Das Fahrzeug emittiert etwa nur 10 Partikel pro Kubikzentimeter und bei der freien Beschleunigung im Mittel 930 Partikel pro Kubikzentimeter.

Das Ergebnis der Leerlaufmessung des testo PEPA für den Unimog U 527 wurde wie in Abbildung 7.2.12 dargestellt abgespeichert.

offizielle Messung  
 measurement time 40 seconds  
 End of Measurement 14.02.18 10:33:13  
 average measurement point 1 value < 50000  
 average measurement point 2 value < 50000  
 average measurement point 3 value < 50000  
 average all measurement points value < 50000

Abbildung 7.2.12: Abgespeichertes Messergebnis der PNPTI Leerlaufmessung, testo PEPA

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Der Messablauf und das Protokoll des testo PEPA entspricht VAMV 941.242 /8/: Der Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Verbrennungsmotoren 941.242, (VAMV) vom 19. März 2006 (Stand am 1. Januar 2015), des Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartements (EJPD).  
Dieses beschreibt folgenden Ablauf:

- Diese Verordnung beschreibt drei gleichartige aufeinanderfolgende stationäre Messungen, aus denen abschliessend ein Mittelwert gebildet wird.
- Werte unter 5E4 und Werte über 5E6 werden nur als solche dargestellt. Wobei automatisch Werte <5E4 als „pass“ und Werte >5E6 als „fail“ gewertet werden.
- Dieser Ablauf ist im Testo PEPA eingebaut und auswählbar.

Ergebnisbetrachtung Unimog U527 mit testo PEPA:

- EURO V Nutzfahrzeuge können selbst ab 500 Kilometer Laufleistung bezüglich PN eine sehr gute Filterleistung aufweisen. Das Fahrzeug emittiert Partikelanzahlkonzentrationen die in beliebigen Betriebszuständen immer weit unter 5E4 #ccm liegen.
- Bei niedrigen PN Emissionen ist es für eine Abgasuntersuchung unerheblich, ob Messwerte von 5, 50, 500, 5000 oder 50.000 Partikel pro Kubikzentimeter emittiert werden.
- Die Unterdrückung der Messwerte für Werte <5E4 und auch >5E6 kann auch für eine deutsche AU empfohlen werden. Werte unter 5E4 sollten dabei als „bestanden“ und Werte über 5E6 als „nicht bestanden“ gewertet werden.

Abbildung 7.2.13 zeigt Nutzfahrzeug 3, einen Scania P410 EURO VI. Das Fahrzeug hat als typisches N3 Nutzfahrzeug eine Laufleistung von etwa 300.000 Kilometer in zwei Jahren erreicht. Die Daten des Fahrzeuges sind in Tabelle 7.2.14 enthalten.

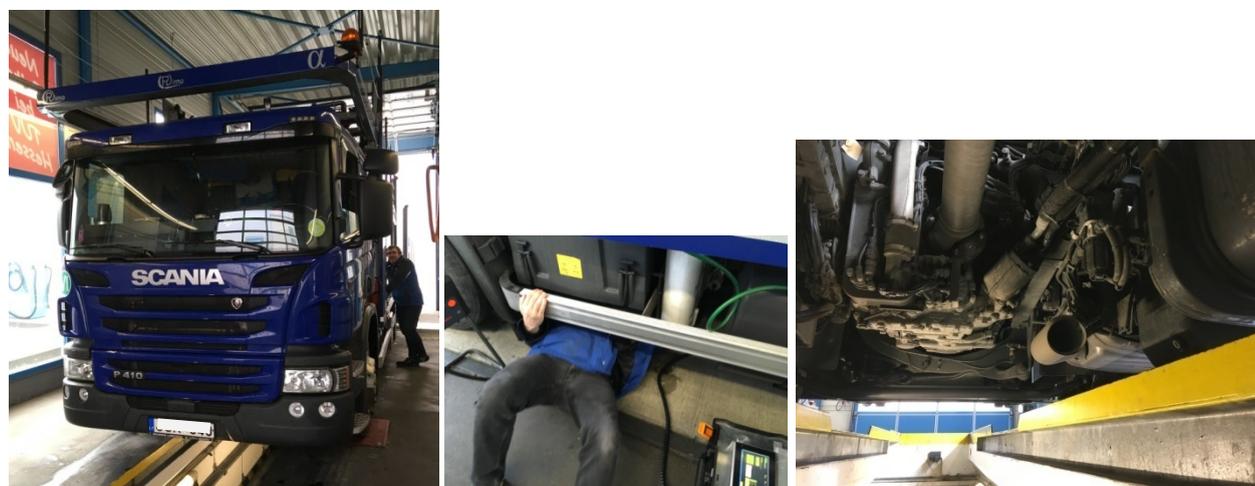


Abbildung 7.2.13: Nutzfahrzeug 3: Scania P410 EURO VI



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Hersteller	[-]	Scania
Typ	[-]	N321
Karosserieform	[-]	Lkw
Fahrzeugkategorie	[-]	N3
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	DC13
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	13000
Motorleistung	[KW]	300
Euro Stufe	[-]	VI
Typgenehmigungsbehörde	[-]	N/A
Typgenehmigungsnummer	[-]	N/A
Leergewicht	[kg]	N/A
CO2-Emissionen	[g/km]	N/A
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	298,807
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	27-01-2016

Tabelle 7.2.14: Daten des Nutzfahrzeugs 3: Scania P410 EURO VI

Messpunkt	Drehzahl	PN PTI testo PEPA	Bemerkungen
1	2380	4,2E3	
2	2380	5,5E3	
3	2380	2,5E3	
4	2380	2,3E3	
5	2380	1,4E3	PTI: „PASS“

Tabelle 7.2.15: Ergebnisse der Partikelanzahl bei der freien Beschleunigung der AU, Scania P410



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Die Messergebnisse für die Partikelanzahl bei der freien Beschleunigung der AU sind in Abbildung 7.2.16 und in Tabelle 7.2.15 enthalten. Aus dieses EURO VI Nutzfahrzeug zeigt eine sehr gute DPF Filterwirkung. Höchster Messwert ist 5500 Partikel/ccm bei einer freien Beschleunigung.

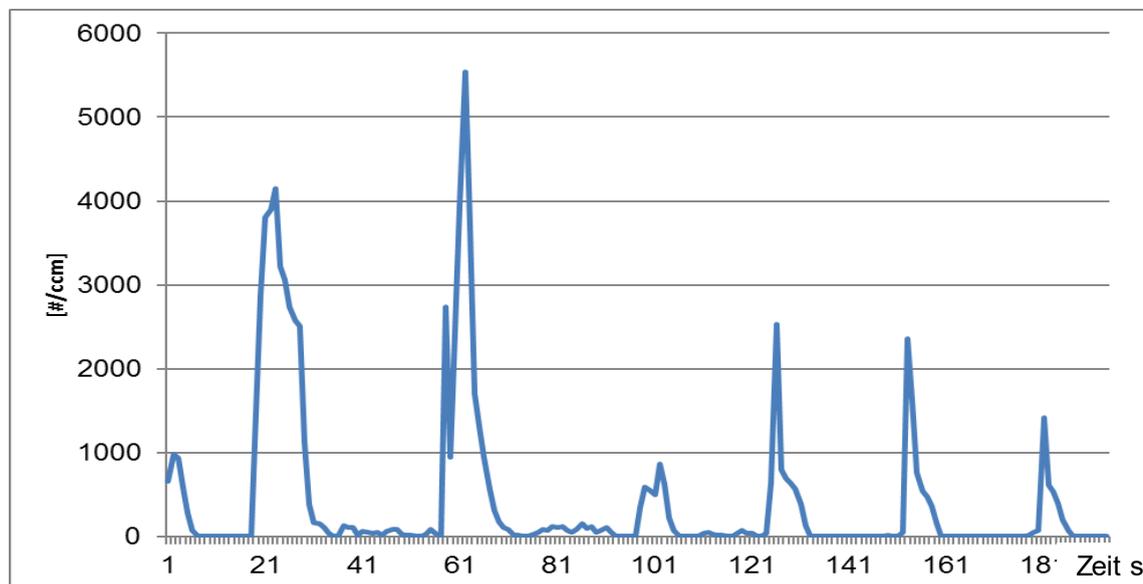


Abbildung 7.2.16: Partikelanzahl bei der freien Beschleunigung der AU: Scania P 410 EURO VI

Messpunkt	Drehzahl	PN PTI testo PEPA	Bemerkungen
1	500	4E1	
2	500	6E0	
3	500	6E0 Mittelwert 1,7E1	PTI: „PASS“

Tabelle 7.2.17 Partikelanzahlkonzentration im Leerlauf, Scania P 410, EURO VI

Die in Tabelle 7.2.17 enthaltenen Partikelanzahlemissionen im Leerlauf beim Scania P 410 erreichen sehr niedrige Werte.

Die parallele AU wurde bestanden. Der arithmetische Mittelwert der Trübung k betrug 0,03 1/m.

Ergebnisbetrachtung Scania EURO VI mit testo PEPA:

Auch Nutzfahrzeuge aus dem Feld mit typischer Fahrleistung von 150.000 Kilometern pro Jahr der Stufe EURO VI können sehr geringe Partikelanzahlemissionen aufweisen. Eine Messung auch dieser niedrigen Konzentration ist möglich.

Die Messung wurde von einem TÜV Prüfenieur durchgeführt.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

7 Untersuchung schwerer Nutzfahrzeuge  
 7.3 Testfahrzeug VW Crafter EEV mit DPF

Während die meisten schweren N3 Nutzfahrzeuge der Abgasstufen EURO V und EEV Dieselmotoren mit SCR ohne DPF aufweisen, gibt es im Bereich kleinerer Nutzfahrzeuge mit Zertifizierung auf dem Motorprüfstand doch Fahrzeuge mit DPF: Zu nennen ist hier neben Isuzu N2 Nutzfahrzeugen auch der Transporterbereich. Zu diesen Fahrzeugen gehört das nächste Testfahrzeug, ein VW Crafter mit DPF und Motorprüfstandshomologation der Abgasstufe EEV, siehe Abbildung 7.3.2. Die Daten des Fahrzeugs sind in Tabelle 7.3.1 enthalten.

Hersteller	[-]	Volkswagen
Typ	[-]	2EKE2
Karosserieform	[-]	LKW GESCHL: KASTEN
Fahrzeugkategorie	[-]	N1
Kraftstoff	[-]	Diesel
Motorcode	[-]	BJL
Hubraum	[cm <sup>3</sup> ]	2461
Motorleistung	[KW]	100
Euro Stufe	[-]	EEV (2006/51 C)
Typgenehmigungsbehörde	[-]	Deutschland
Typgenehmigungsnummer	[-]	L770*03
Leergewicht	[kg]	2199-2644
CO2-Emissionen	[g/km]	N/A
VIN	[-]	
Kilometerstand	[KM]	92,249
Tag der Erstzulassung	[dd-mm-yy]	10-01-08

Tabelle 7.3.1: Daten des Testfahrzeugs VW Crafter EEV

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen



Abbildung 7.3.2: VW Crafter 3,5to EEV

Der Motor wurde auf dem Motorprüfstand nur im warmem Zustand im ETC und im ESC Zyklus homologiert, und hatte dabei noch keinen PN Grenzwert. Die Abgasstufe EEV hatte dabei gegenüber der Stufe V einen verringerten Trübungswert im ELR Zyklus von 0,15 1/m.

Das Fahrzeug hat eine Wartungshistorie, und wurde von wechselnden Fahrern als Poolfahrzeug genutzt. Der DPF ist vorhanden und ohne defekt.

Wie bei allen Fahrzeugen wurde der Fehlerspeicher ausgelesen, dies ist hier beispielhaft dargestellt, siehe Abbildung 7.3.3. Benutzt wurde ein Bosch Servicetester des Typs KTS 340.

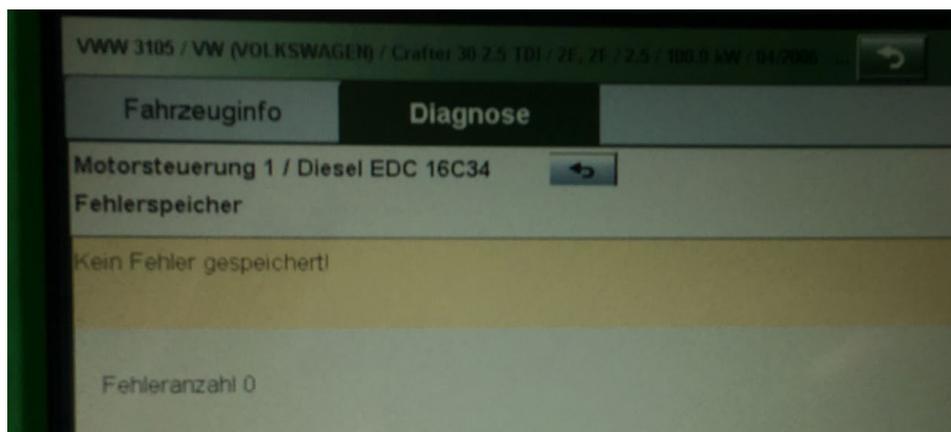


Abbildung 7.3.3: Auslesen des Fehlerspeichers mit Bosch KTS 340 am VW Crafter.

Zusätzlich wurde versucht, zusätzliche Daten über das DPF System zu gewinnen. Ein Ausdruck ist in Abbildung 7.3.4 dargestellt.

Auslesbar ist hier ein Gesamtaschegehalt von 49 Gramm und eine Partikelfilterbeladung von 8,7%, sowie eine Distanz von 70 Kilometer seit der DPF Regeneration. Bei anderen Fahrzeugmodellen waren im Einzelfall jedoch keine Daten zum DPF System zu erhalten.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

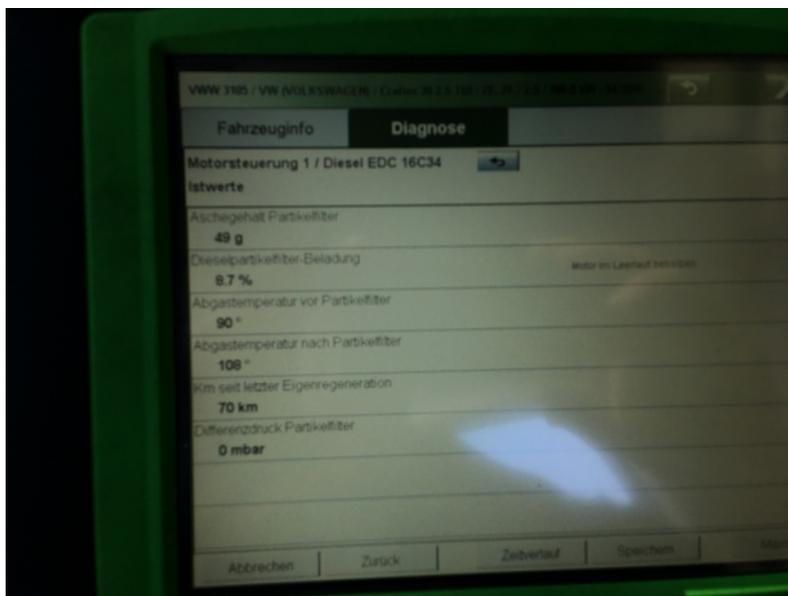


Abbildung 7.3.4: Auslesen von Daten des DPF Systems mit Bosch KTS 340 am VW Crafter

An dem Fahrzeug wurden verschiedene Messreihen durchgeführt.

**7 Untersuchung schwerer Nutzfahrzeuge**  
**7.3 Testfahrzeug VW Crafter EEV mit DPF**  
**7.3.1 Validierung des testo PEPA für die Messkampagne parallel zur AU**



Abbildung 7.3.1.1: testo PEPA Validierung gegen PN Referenz AVL 489

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

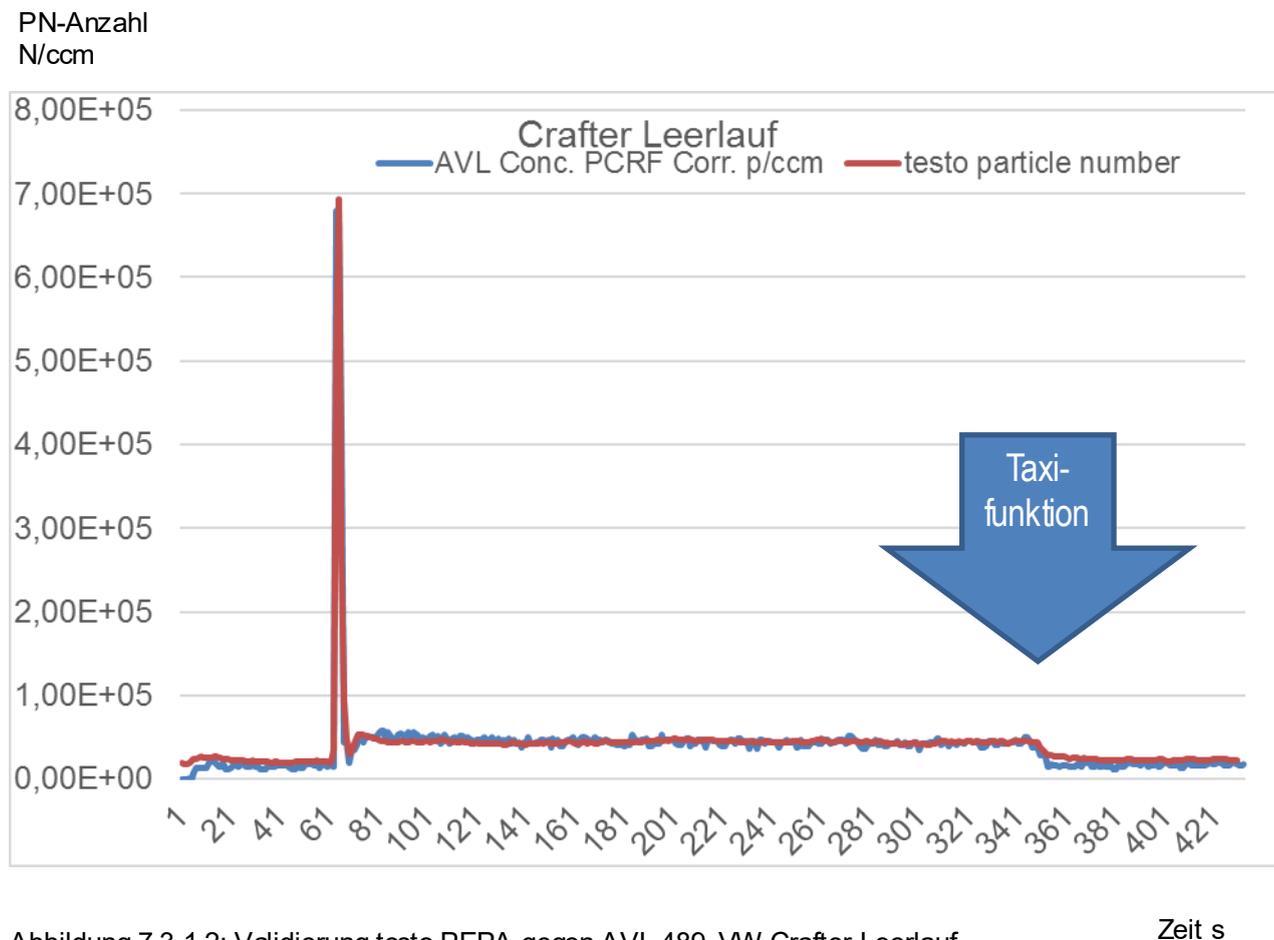


Abbildung 7.3.1.2: Validierung testo PEPA gegen AVL 489, VW Crafter Leerlauf

Abbildung 7.3.1.2 zeigt die Partikelanzahlkonzentration von dem testo PEPA gegen das AVL Referenzgerät bei Leerlaufmessungen am VW Crafter. Zu beobachten ist auch hier eine „Taxifunktion“, Die Partikelanzahlemission lässt sich durch einen leichten Gasstoss auf ein höheres konstantes Niveau bringen. Rein zeitabhängig sinkt die Partikelanzahlemission nach etwa 3 Minuten auf niedrigeres konstantes Niveau.

Ausgewählt wurde der Crafter für die Validierung wegen der etwas höheren Partikelanzahlkonzentrationen im Abgas im Bereich 4E4 bis 2E5 #/ccm.

In der Leerlaufmessung zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Messwerte.

In Tabelle 7.3.1.2 sind die Messwerte der Leerlaufmessung nach Abb. 7.3.1.2 enthalten.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt Endrohr	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI testo PEPA	Bemerkung
1	Leerlauf 750	4,8E4	4,4E4	
2	750	4,4E4	4,3E4	
3	750	4,4E4	4,5E4	
		Mittelwert 4,5E4	Mittelwert 4,4E4	PTI: "PASS"

Tabelle 7.3.1.2: Vergleich der Partikelanzahl im Leerlauf, VW Crafter EEV

Abbildung 7.3.1.3 enthält der Vergleich der Partikelanzahlwerte bei 2000 Umdrehungen, und Tabelle 7.3.1.4 die zugehörigen Mittelwerte. Auch bei 2000 Umdrehungen zeigt sich eine gute Übereinstimmung.

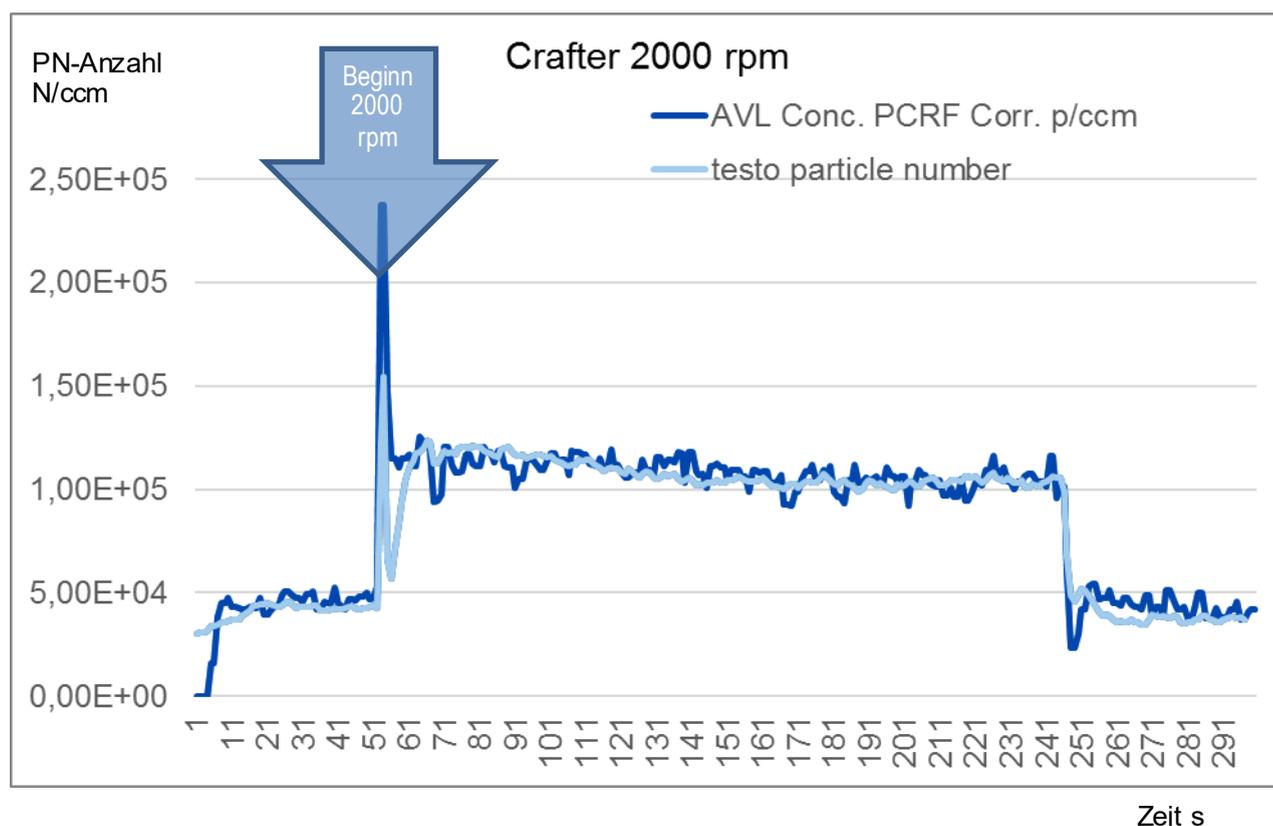


Abbildung 7.3.1.3: Vergleich der Partikelanzahl bei 2000rpm, VW Crafter EEV



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Messpunkt	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI testo PEPA	Bemerkungen
1	2000	1,13E5	1,15E5	
2	2000	1,07E5	1,04E5	
3	2000	1,04E5	1,03E5	
		Mittelwert 1,08E5	Mittelwert 1,07E5	PTI: „PASS“

Tabelle 7.3.1.4: Partikelanzahlwerte bei 2000 Umdrehungen, VW Crafter

Abbildung 7.3.1.5 zeigt den Vergleich der Partikelanzahlverläufe bei 3000 Umdrehungen.

PN-Anzahl N/ccm

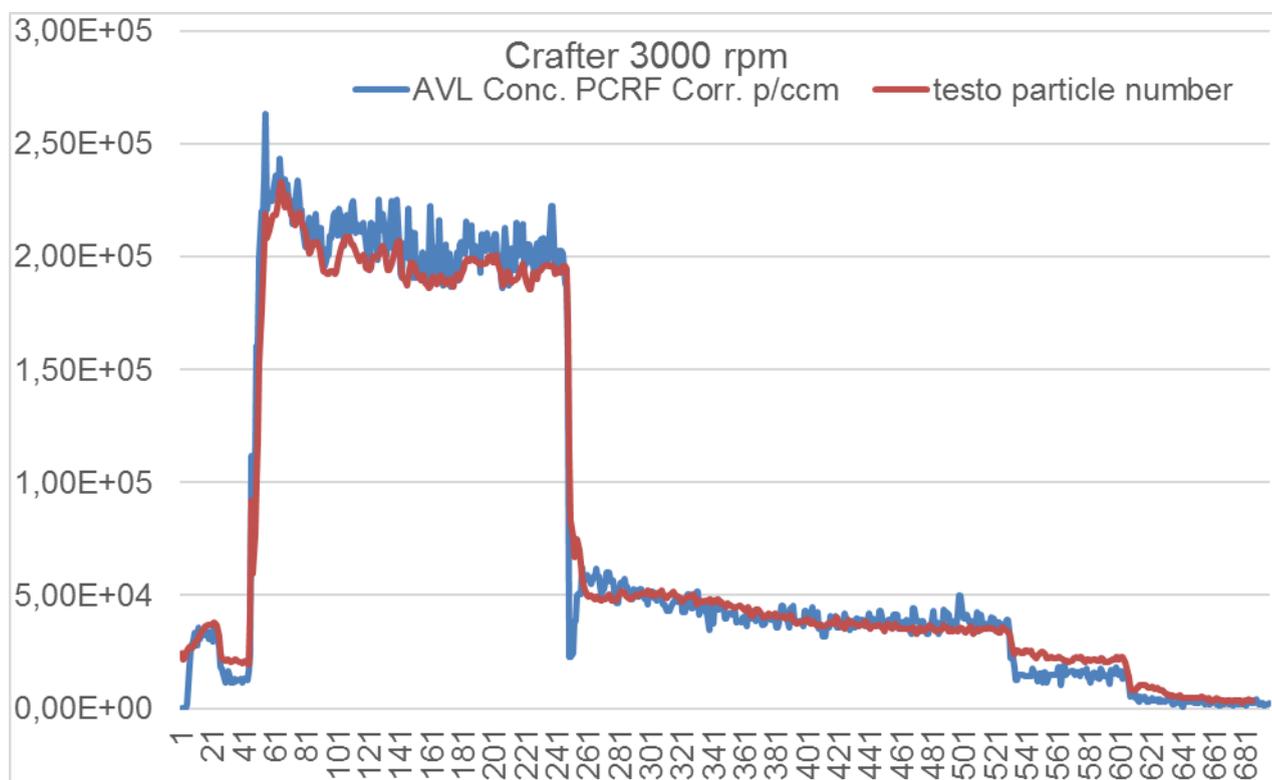


Abbildung 7.3.1.5 Partikelanzahlmessung bei 3000 Umdrehungen

Zeit s

Nachdem die Übereinstimmung bei Leerlauf und bei 2000 Umdrehungen der Partikelanzahl nahezu perfekt ist, zeigt sich bei 3000 Umdrehungen ab etwa 41 Sekunden bis etwa 241 Sekunden eine leichte Abweichung, danach bis etwa 541 Sekunden im Leerlauf zeigt sich wieder perfekte Übereinstimmung, um bei der folgenden Taxifunktion wieder eine Abweichung zu zeigen.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Die Abweichungen sind gering, aber sichtbar. Eine weitere Abspeichergrosse des testo PEPA ist die Partikelgrösse. Die Beschreibung des Parameters und die Berechnung ist in /14/ enthalten. Für die Messung bei 3000 Umdrehungen ist diese Partikelgrösse eingetragen, gemeinsam mit der Partikelanzahl. Erkennbar ist, dass bei einer freien Beschleunigung die Partikelgrösse sich verkleinert. Ebenso bei Abschalten der Abgasrückführung bei der Taxifunktion bei etwa 540 Sekunden. Das testo PEPA hat zwar einen Abscheider volatiler Partikel, aber gemäss VAMV ist die geforderte Abscheiderate geringer. Die Verringerung der Partikelgrösse bei 3000 Umdrehungen im Stand lässt auf Katalysatorheizfunktionen schliessen, die auch volatile Partikel erzeugen. Dies lässt sich durch vermehrten Geruch des Abgases untermauern. Ob der Einfluss sinkender Partikelgrösse oder der Anteil volatiler Partikel diese Abweichung einzeln oder in Summe erzeugen, lässt sich so weiter nicht belegen. Erkennbar ist jedoch, dass bei höheren Drehzahlen im Stand vermehrt Katalysatorheizfunktionen aktiviert werden, deren volatile Partikel das Messergebnis beeinflussen.

Nun zu der Frage, ob nicht volatile Partikel mitgemessen werden sollten. Im Sinne einer Emission ultrafeiner Partikel ist dem generell nicht entgegenzustehen. Für eine Abgasuntersuchung UMA ist jedoch das Ziel: Defekte am DPF zu ermitteln und Defekte sind nur an der Emission fester Partikel zu entscheiden.

Um volatile Partikel gar nicht erst entstehen zu lassen, sollte die UMA Prüfung eher bei niedrigeren Drehzahlen bis max. 2000 Umdrehungen durchgeführt werden.

Auch um Abweichungen durch kleinere Partikelgrössen bei der Messungen zu vermeiden, zeigt sich hier die Tendenz, die Prüfung eher bei Drehzahlen unter 3000 Umdrehungen durchzuführen.

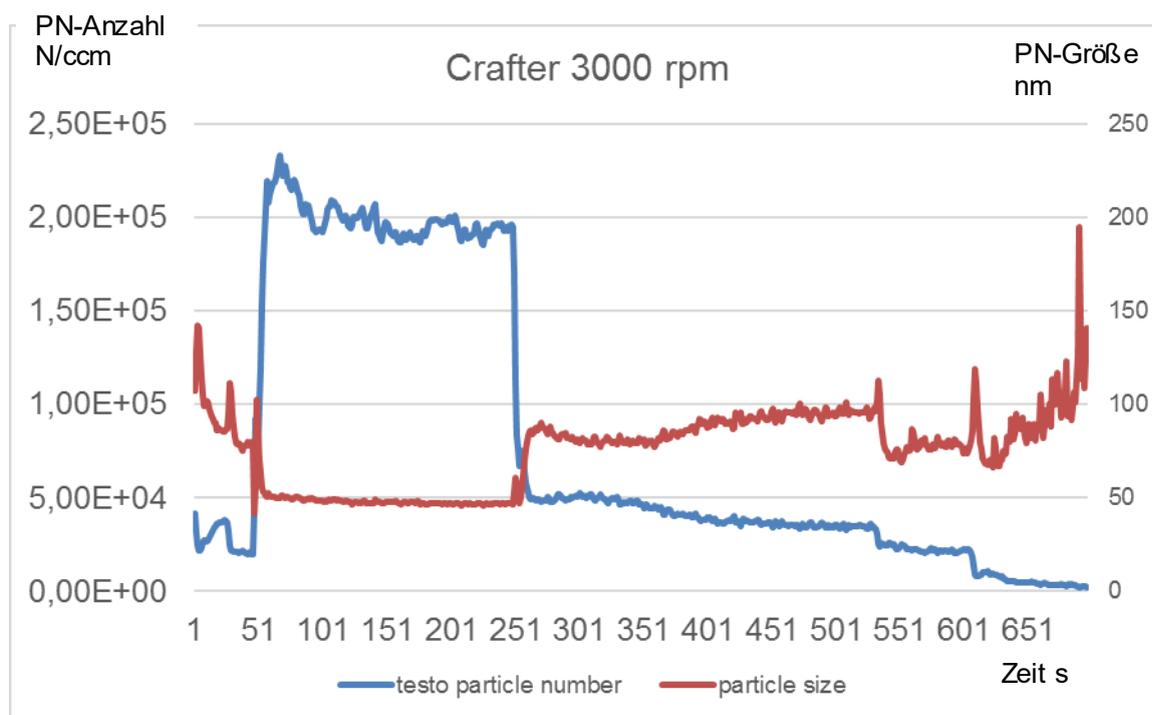


Abbildung 7.3.1.6: Verlauf von Partikelanzahl und Partikelgrösse aus testo PEPA, VW Crafter 3000 rpm



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Die Werte der Partikelanzahlmittelwerte für die Messungen bei 3000 Umdrehungen sind in Tabelle 7.3.1.7 enthalten.

Messpunkt	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI testo PEPA	Bemerkungen
1	3000	2,17E5	2,08E5	
2	3000	2,03E5	1,94E5	
3	3000	2,02E5	1,94E5	
		Mittelwert 2,07E5	Mittelwert 1.99E5	PTI: „PASS“

Tabelle 7.3.1.7: Partikelanzahlvergleich bei 3000 Umdrehungen, VW Crafter

Abbildung 7.3.1.8 zeigt den Vergleich der Partikelanzahlwerte bei der freien Beschleunigung, die Werte sind in Tabelle 7.3.1.9 enthalten.

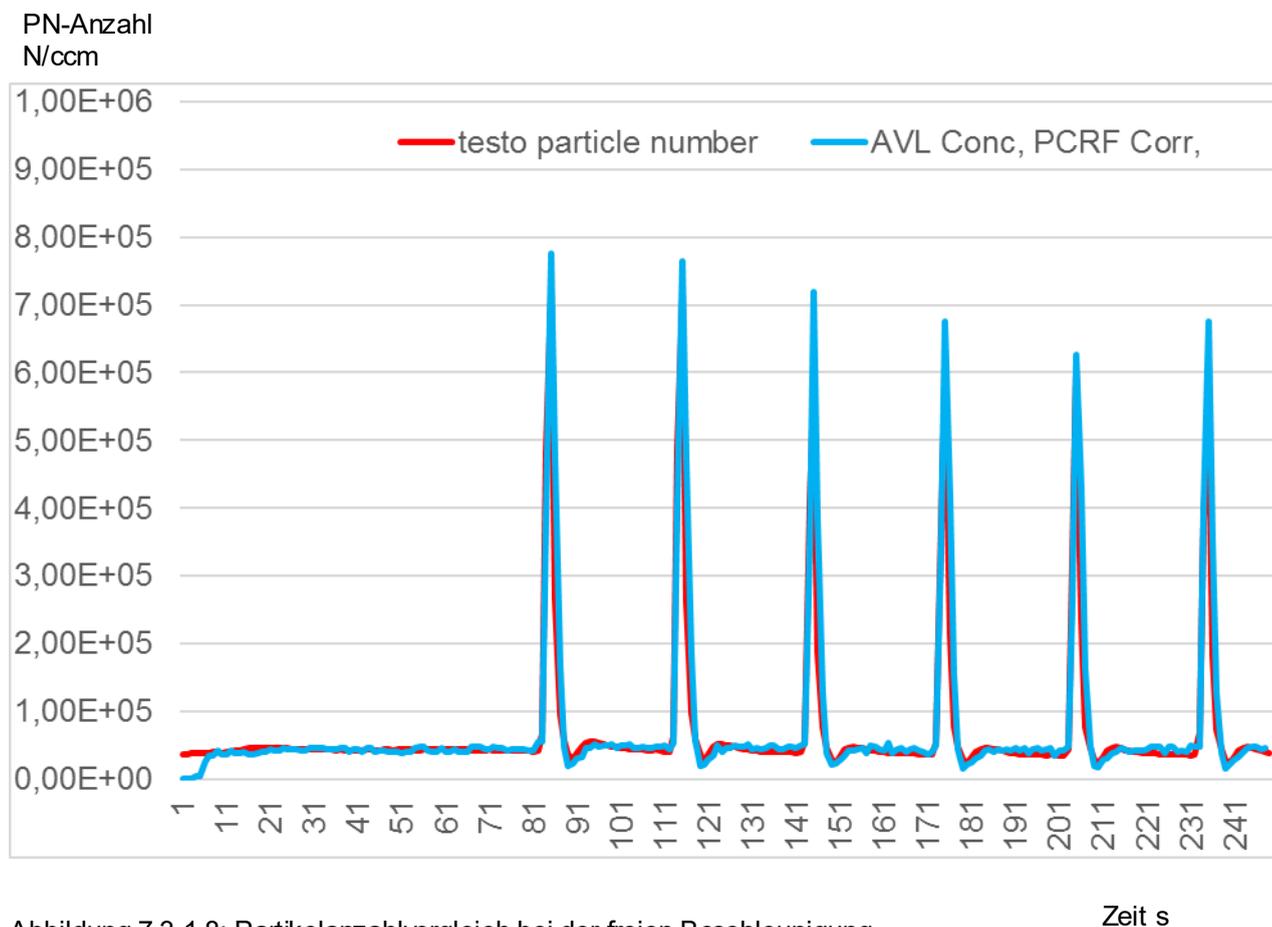


Abbildung 7.3.1.8: Partikelanzahlvergleich bei der freien Beschleunigung



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

Messpunkt	Drehzahl	PN Referenz	PN PTI testo PEPA	Bemerkungen
1	4200	7,8E5	7,2E5	
2	4200	7,7E5	7,1E5	
3	4200	7,2E5	5,8E5	
4	4200	6,8E5	5,9E5	
5	4200	6,3E5	6,0E5	
6	4200	6,8E5	5,4E5	

Tabelle 7.3.1.9: Partikelanzahlvergleich: Werte bei freier Beschleunigung

Die Partikelanzahlwerte bei der freien Beschleunigung zeigen gegenüber Fahrzeugen, die für einen PN-Grenzwert entwickelt wurden, erhöhte Maximalwerte auf, etwa im Bereich 5 bis 8E5 #/ccm. Im Vergleich des testo PEPA mit dem AVL Referenzgerät zeigt sich auch hier eine gute Übereinstimmung. Die Werte liegen aber über einem gedachten Grenzwert von 2,5E5 #/ccm, hier für EEV Nutzfahrzeuge mit DPF.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

7 Untersuchung schwerer Nutzfahrzeuge  
 7.4 Testfahrzeug VW Crafter EEV mit DPF: Untersuchung volatiler Partikel

Abbildung 7.4.1 zeigt den Verlauf der Kühlwassertemperatur und der Drehzahl des VW Crafter beim Test zur Untersuchung des Einflusses der volatilen Partikel. Der Test fand im freien unter winterlichen Bedingungen im Stand statt, bei einer Umgebungstemperatur von etwa 2 ° C.

Der Test beginnt nach kurzem Leerlauf mit einem Aufwärmen des Motors bei etwa 3500 Umdrehungen. Es wird ein kurzes Maximum von 84 °C Kühlmitteltemperatur erreicht. In den Daten sind teilweise Lücken enthalten, da die OBD Daten teilweise Lücken in der Übertragung aufweisen.

Nach Aufwärmen des Motors folgen zehn AU Prozeduren im Leerlauf, jeweils durch einen kurze Drehzahlrampe zum Ausschalten der Taxifunktion gestartet. Die Kühlmitteltemperatur fällt im Leerlauf stark ab, so das ersten zwei Prozeduren knapp über der vorgeschlagenen Mindesttemperatur von 70°C liegen.

Die Kühlmitteltemperatur fällt im Leerlauf sogar unter 55 °C. Anschliessend erfolgt eine Phase mit angehobener Drehzahl von 2500 Umdrehungen. Nach Rückkehren in den Leerlauf folgt später eine Phase mit abgestelltem Motor.

Die Daten wurden etwa ab etwa 4200 Sekunden aus zwei Datenfiles zusammengesetzt.

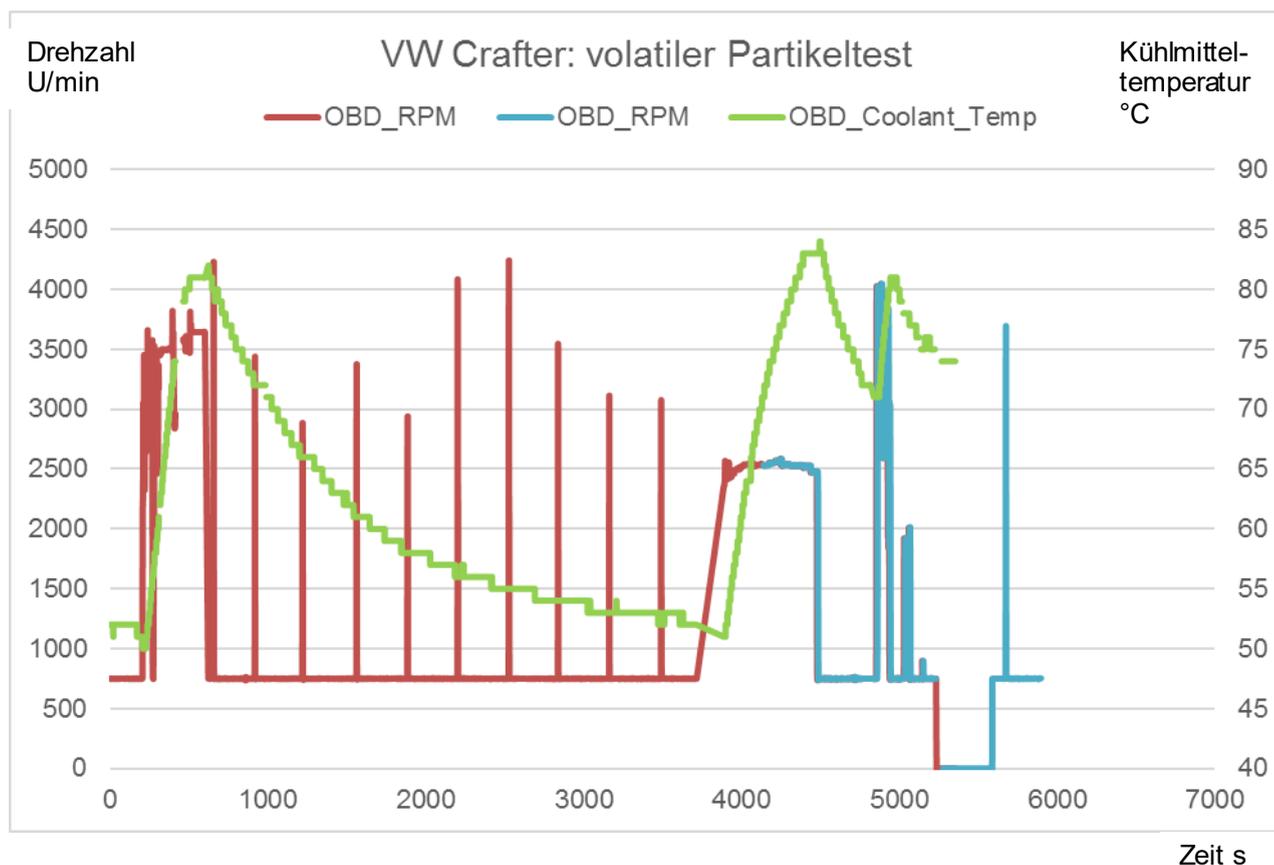


Abbildung 7.4.1: Drehzahl und Kühlwassertemperatur beim Test volatiler Partikel



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Abbildung 7.4.2 zeigt den Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen des AVL Referenzzählers zu dem Sensors Partikelzähler für den Test zum Einfluss der volatilen Partikel. Das AVL Gerät weist eine Abscheidung der volatilen Partikel von 99% auf, das Gerät von Sensors hat im geprüften Zustand keinen Abscheider volatiler Partikel.

Man erkennt im ersten Leerlauf noch eine Übereinstimmung des Sensors Geräts mit der AVL Referenz bei einer Partikelanzahlkonzentration von etwa  $8E4$  Partikel pro Kubikzentimeter. Danach steigt die gemessene Partikelanzahlkonzentration des Sensors Geräts auf Werte von etwa  $5E5$  #/ccm. Mit fallender Kühlmitteltemperatur und somit auch Katalysatortemperatur entstehen also etwa um den Faktor fünf mehr volatile als feste Partikel.

Um zu beweisen, dass es sich nicht um einen Drift des Analysators handelt, zeigt sich nach Abstellen des Motors wieder eine gute Übereinstimmung bei Messung der Partikelanzahl in der Umgebungsluft.

Die Fa. Sensors hat zugesagt, für Ihr Gerät einen Abscheider volatiler Partikel zu entwickeln.

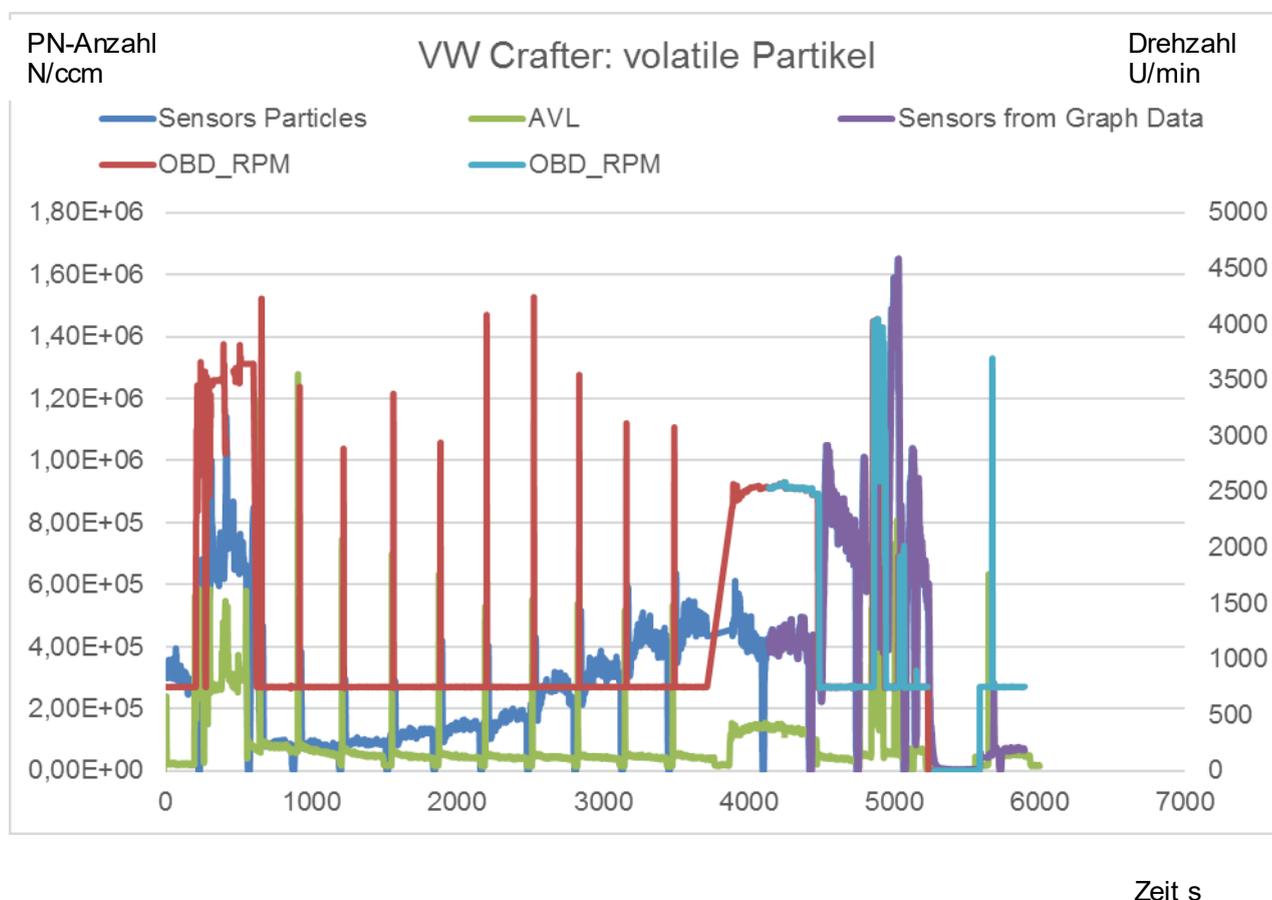


Abbildung 7.4.2: Vergleich der Partikelanzahl zwischen dem AVL Referenzgerät und dem Sensors APA



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Ergebnisbetrachtung VW Crafter EEV mit Sensors APA:

- Bei dem Testfahrzeug Isuzu F2R ist es schwierig unter winterlichen Bedingungen eine Kühlwassertemperatur von über 70 ° für eine AU sicherzustellen. Der erforderliche Motorbetrieb von etwa 5 Minuten bei 3500 Umdrehungen ist notwendig um aus etwa 50° C Kühlmitteltemperatur etwa 80° C zu erreichen. Die Kühlmitteltemperatur fällt im Anschluss bei Leerlauf stark ab. Eine Messung der Kühlmitteltemperatur muss im Prozess enthalten sein, und darf erst bei Erreichen von 70 °C den Testablauf starten.
- Da dies nur ein Beispielfahrzeug ist, sollte zur Sicherheit eine Abscheidung volatiler Partikel bei den PN AU Geräten enthalten sein.
- Volatile Partikel können im Einzelfall bis zu fünf mal mehr im Abgas enthalten sein als feste Partikel.
- Auch der AU Ablauf und die Prüfdrehzahl kann das Entstehen volatiler Partikel vermeiden: siehe die Übereinstimmung der Partikelanzahlwerte beim ersten Leerlauftest in Abbildung 7.4.2. Hierfür ist der Leerlauftest am besten geeignet.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

8 Zusammenfassung  
8.1 Gedanken für eine Grenzwertfestlegung

In einer Studie aus den Niederlanden /10/ sind verschiedene Ansätze zur Begründung eines Partikelanzahlgrenzwerts für eine zukünftige Abgasuntersuchung auf der Basis des Verhaltens der Fahrzeuge in NEFZ enthalten. Neue Fahrzeuge kommen aber in Zukunft nach der EU Norm 2017/1151 /2/ in Verkehr und werden im WLTP geprüft. Aus zufällig gewählten beim TÜV Hessen auf dem Rollenprüfstand vermessenen EURO 6 Fahrzeugen, die bis auf das Fahrzeug mit der höchsten Emission dieser Richtlinie entsprechen, wurden die durchschnittlichen Partikelanzahlkonzentrationen in  $\#/ccm$  über den PN Emissionswerten im WLTP in  $\#/km$  in Abbildung 8.0 aufgetragen. Insgesamt sind Daten von sechs Fahrzeugen im Diagramm enthalten.

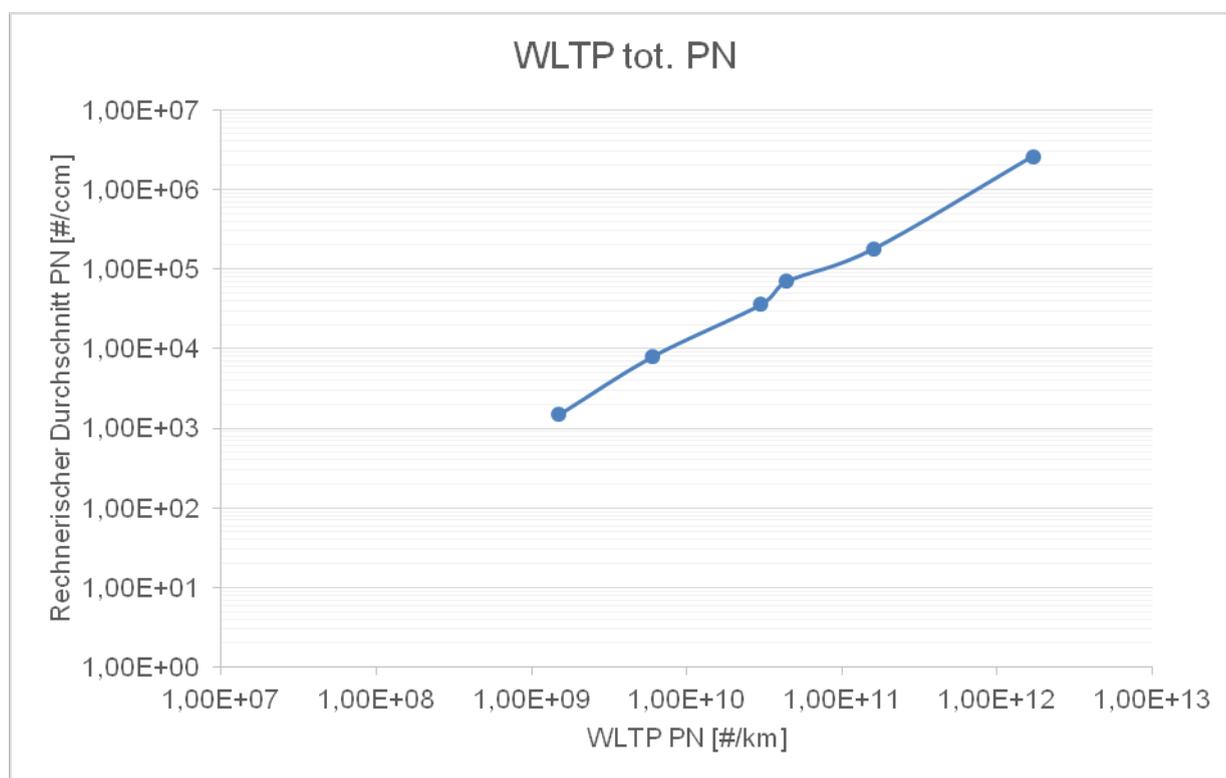


Abbildung 8.0: Rechnerische mittlere Partikelanzahlkonzentration im WLTP für verschiedene Fahrzeuge

Wie in diesem Bericht gezeigt, weisen Fahrzeuge mit Partikelanzahlkonzentrationen um etwa  $3E3 \#/ccm$  stabile PN Emissionen auf, ohne dass sich ein Einfluss von Last und Drehzahl zeigt. Deshalb kann in diesem Bereich wahrscheinlich auf einen sehr stabil vorhandenen Durchschnittswert der PN Emission in  $\#/ccm$  geschlossen werden und damit wahrscheinlich ebenfalls auf PN Emissionen im WLTP zwischen  $1E9$  und  $1E10 \#/km$ .

Fahrzeuge mit Partikelanzahlkonzentrationen, die in allen Zuständen  $< 5E4 \#/ccm$  aufweisen, liegen aller Voraussicht nach unter  $1E11 \#/km$  im WLTP. Eine Unterdrückung der Ausgabe der Zahlenwerte für Werte  $< 5E4$  kann deshalb mit dieser Abbildung begründet werden.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Ebenso kann bei Werten über längere Mittelungszeiten von über 5E6 davon ausgegangen werden, dass das für RDE Bedingungen erlaubte Grenzwert von 6E11 #/km \* CF=1,5 = 9E11 #/km mit Sicherheit überschritten werden, und deshalb auf einen Anzeigewert verzichtet werden kann.

Für den Bereich 6 bis 9E11 #/km ist der Bereich für einen Durchschnittswert im WLTP erkennbar. Aus der Untersuchung der zwei Fahrzeuge mit defektem DPF ist erkennbar, dass die PN Emissionen von Last und Drehzahl abhängig sind, und deshalb transiente Verläufe mit hohen Spitzen im WLTP mit zugleich niedrigeren PN Emissionen über längere Zeit aufweisen, und deshalb die Limitierung mit den Prüfbedingungen in Zusammenhang erfolgen muss. Der Untersuchung des BMW mit defektem DPF Stufe 2 in Abschnitt 6 gibt dazu Anhaltswerte.

Zugleich muss die von den Gesetzgebern als Voraussetzung für die Gestaltung der Gesetzgebung beabsichtigte DPF Filterwirkungsgrad betrachtet werden, der in der ausgeführten EU Gesetzgebung aber nicht mehr genannt wird. Nach PMP Empfehlung /11/ wird hier 98% Wirkungsgrad genannt. Nach der Schweizer LRV sind es 97% für einen Filter im Neuzustand. Die Ergebnisse des DPF Defekt Stufe 2 repräsentieren dieses Niveau mit nur geringer Abweichung. Der DPF ist in diesem Zustand zweifelsohne defekt.

Ein Grenzwert von 2,5E5 #/ccm, wie in der Schweiz für Motoren mit Grenzwerten in #/Kwh vorgeschlagen, kann hiermit punktgenau auch für eine Leerlaufprüfung bei Pkw bestätigt werden. Der Verfasser würde dies aufgrund der Erarbeitung der Zahlen unterstützen. AU-Experten des TÜV Hessen sehen den Grenzwert bei etwas höheren Partikelanzahlkonzentrationen. Der VW Caravelle mit z.B. 8.5E5 #/ccm im Leerlauf ist aber als „klares nicht Bestanden“ auszuschliessen. Basierend auf typischen Rohemissionen von 7E6 bis 1E7 #/ccm ergibt sich für dieses Fahrzeug ein Rest-DPF-Wirkungsgrad von etwa 78 bis 85%.

Insgesamt sieht der TÜV die Festlegung des Grenzwerts beim Verordnungsgeber. Unter Berücksichtigung der Messungen bei schweren Lkw und der Testbedingungen auch bei 2000 Umdrehungen sollte ein Grenzwert nicht unter bei 2,5E5 #/ccm liegen. Für getrennte Grenzwerte von Lkw und Pkw könnte der Pkw Grenzwert auch niedriger liegen. Die Grenzwertfestlegung kann nicht völlig von der Anwendung auf Fahrzeugarten, wie Pkw, schwere Nutzfahrzeuge und Hybride Antriebe und von den Prüfdrehzahlen getrennt betrachtet werden.

Für die Schweiz in der Präsentation von März diesen Jahres /6/ wurde vorgeschlagen die Messung bei Fahrzeugen und Geräten bei Abregeldrehzahl durchzuführen. Das kann bei Motoren deren Abregeldrehzahl unter 3000 Umdrehungen liegt, durchaus geschehen. Dies trifft auf Motoren ab einem Hubraum von etwa 5 Litern zu. Für vorwiegend Motoren mit kleinerem Hubraum wegen der Gefahr der Verringerung der Partikelgröße und dem entstehen volatiler Partikel ist eine Prüfung bei Abregeldrehzahlen von über 3000 Umdrehungen zu vermeiden.

Im Pkw Bereich ist ein echter Motorleerlauf bei warmem Motor in Zukunft bei Prüfungen im WLTP durch Start/Stoppsysteme nicht mehr vorhanden. Der Leerlauf bei warmen Motor ist dann eher bei RDE, also den Prüfungen der Realemissionen auf der Strasse zu finden, da Sicherheitssysteme wie der Bremskraftverstärker oder Komfortfunktionen wie die Klimaanlage Motorantrieb erfordern.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

**8 Zusammenfassung**  
**8.2 Ergebnisse aus Messungen**

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Messungen der Partikelanzahlkonzentration bei Pkw und schweren Nutzfahrzeugen nur mit Dieselmotoren der EURO Stufen 5 und 6 sowie V, EEV und VI für die Einführung einer zukünftigen Abgasuntersuchung in Deutschland mit drei Kandidatenpartikelzählgeräten im Vergleich zu einem Gerät, das bei der Zertifizierung verwendet wird, durchgeführt.

Ein Gerät entspricht, und zwei Geräte orientieren sich dabei an der Schweizer Richtlinienkombination VAMV 941.242 und der Baurichtlinie Luft /8/und /9/, welche eine Gerätedefinition und eine erste Definition einer Mittelwertbildung aus drei Messungen bei einer stationären Drehzahl beschreibt, allerdings für Dieselmotoren von mobilen Maschinen und Geräten.

Die Abgasuntersuchung mit der Messung der Partikelanzahlkonzentration in #/ccm soll als Ziel Fahrzeuge identifizieren, die einen Defekt am Dieselpartikelfilter aufweisen, und deshalb eine hohe Anzahl von ultrafeinen Partikeln emittieren. Es wurde deshalb anhand der Messungen herausgearbeitet, das zur Beurteilung des Zustands der Dieselpartikelfilter die Anzahlkonzentration fester Partikel vorrangig erfolgen muss. Die Messungen zeigten, dass auch bei 88 °C Kühlwassertemperatur und 2000 Umdrehungen bei Pkw, als auch bei einem Lkw Beispiel unter ähnlichen Bedingungen mehr volatile als feste Partikel im Abgassystem entstehen können. Zwei von drei Kandidatenmessgeräten weisen eine Einrichtung auf, die die volatilen Partikel mit hohem Wirkungsgrad nicht mitmessen. Am Gerät, dass diese Einrichtung nicht hat, konnte der Effekt im Vergleich nachgewiesen werden. Der Hersteller des Geräts hat sofort mit der Nachentwicklung begonnen, und die Einführung eines VPR bestätigt.

Weiterer Hintergrund hierzu ist, dass Pkw Motoren für die WLTP Gesetzgebung mit Einsatz von Start/Stop-Systemen einen Motorleerlauf nicht mehr aufweisen. Um eine zukunftsfähige Abgasuntersuchung sicherzustellen, ist vorzusehen, dass auch Fahrzeuge geprüft werden müssen, die keinen herkömmlichen Leerlauf mehr besitzen, und deshalb bei Drehzahlen wie etwa bei 2000 Umdrehungen Motorbetrieb geprüft werden müssten. (Ein Hybridkonzept wie z.B.: ein Toyota Prius mit theoretischem Dieselmotor wäre als Gedankenexperiment so ein Fall).

Ein Pkw wies sehr stark schwankende Partikelanzahlkonzentrationen im Leerlauf auf, wobei wesentlich über dem in der Schweiz vorgesehenen Grenzwert von 2,5E5 /ccm Werte auf unter diesen Grenzwert absanken. Hier wurde dann der Ansatz verlassen, nur Messwerte gemäss des vereinbarten Umfangs zu liefern, die mehr Fragen als Antworten produziert hätten. In der Analyse konnte eine „Taxifunktion“ nachgewiesen werden, die im Einzelfall nach 300 Sekunden im Leerlauf die Abgasrückführung abschaltet, und so die Partikelanzahlkonzentration im Leerlauf absenkt.

Durch vorgenannten Effekt wurde bei dem einzigen Gerät, dass diesen Effekt durch Nachweis der OBD-Signale nachweisen konnte, ein Software Update zur Implementierung eines Gasstosses vor der Mittelungsmessung vorgenommen. Ausserdem kann hieraus geschlossen werden, das weitere Hilfsgrößen bei der Abgasuntersuchung wie Drehzahl und Kühlmitteltemperatur ermittelt werden müssen.

Zur Konkretisierung des Prüfablaufs wurde diese Einführung eines Drehzahlsprungs „Snap“ vor einer dreimaligen Mittelungsmessung untersucht und für repräsentable Werte untersucht und als geeignet bewertet.

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Die dreimalige Mittelung wurde als geeigneter Ansatz betätigt, jedoch die Messdauer in Abbildung 5.8.5 als zu kurz nachgewiesen. Diese Messzeit sollte 3 mal 35 also 105 Sekunden insgesamt betragen. Die Startbedingung für die Mittelung nach einem Drehzahlsprung nach Abbildung 5.8.6 wurde auf 30 Sekunden definiert.

Bei gesicherter Erkennung zu hoher  $>5E6$  #/ccm und sehr niedriger Werte  $<5E4$  #/ccm kann sicher von Bestehen / Nichtbestehen ausgegangen werden, so dass auf eine Darstellung von konkreten Messergebnissen verzichtet werden kann. Dies kann z.B. mit Tabelle 5.2.5 bestätigt werden.

Eine Kühlmitteltemperatur von über  $70^{\circ}C$  kann für eine Abgasuntersuchung mit Partikelanzahl als Hilfsgröße vorgesehen werden. Bei Lkw kann im Winter für die AU Praxis eine höhere Temperatur sicher nicht erreicht werden. Auch höhere Temperaturen sind über alle Fahrzeuge nicht hinreichend zur Vermeidung von der Entstehung erhöhter volatiler Partikel. Den Fahrzeugherstellern sollte jedoch zugestanden werden, auch niedrigere Motortemperaturen für eine gültige Prüfung zuzulassen, oder auch höhere Prüfdrehzahlen.

Zum Ende der Messung sollte der Motor ausgestellt werden, um nachzuweisen, dass ein Sprung der Abgaspartikelkonzentration vorhanden ist, wobei in zufälligen Fällen dies keinen Unterschied verursachen könnte, das ist uns bewusst. Nach einer Präsentation von TNO [7] wird dieser Teil der Messung der Umgebungsluft an den Anfang gestellt, vorgeschlagen wird, diesen Teil ans Ende zu stellen, wie in Abbildung 5.4.5 dargestellt.

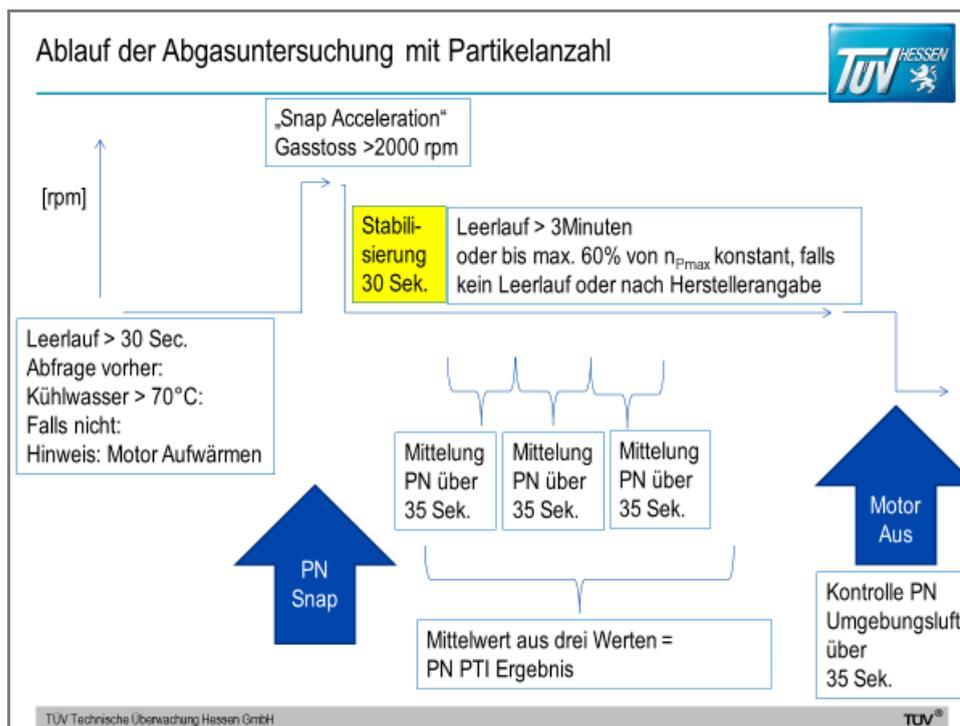


Abbildung 8.1: Prozessablauf nach Ergebnissen dieser Untersuchung für die Abgasuntersuchung mit Partikelzählung



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Für LKW Euro V und EEV sowie Pkw der Stufe 5a ohne DPF mit Rohemissionen kann keine Limitierung der Partikelanzahlkonzentration erfolgen. Nach einer Studie in der Schweiz /5/ kann jedoch empfohlen werden, diese Fahrzeuge mitzumessen, und bei Messergebnissen  $<3E5 \text{ \#/ccm}$  das Vorhandensein eines DPF vorauszusetzen. Bei Werten unter  $2,5E5 \text{ \#/ccm}$  spricht im Prinzip auch nichts dagegen, die geringen Partikelanzahlkonzentrationen im Prüfnachweis zu bestätigen. Nach /5/ werden die Werte der Fahrzeuge ohne DPF nur zur Dokumentation in die Datenbank aufgenommen.

Prüfungen bei Drehzahlen über 3000 Umdrehungen sowie bei freier Beschleunigung würden weitere Anforderungen an transientes Verhalten der Geräte erfordern und die Robustheit der Prüfung sogar eher Absenken, und sind auch weniger geeignet für eine Prüfung.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

**8 Zusammenfassung**  
**8.3 Ergebnis und Ausblick**

Die drei untersuchten Partikelanzahlmessgeräte eignen sich generell für eine Messung der Anzahlkonzentration ultrafeiner Partikel bei Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor für die geplante Abgasuntersuchung mit Messung der Partikelanzahl.

Die Geräte sollen eine Zähleffizienz für ultrafeine Partikel von nominell 100% in den Grenzen von 70 bis 130% bei einer Partikelgrösse von 70 nm aufweisen und eine Abscheiderate von 95% der volatilen Partikel aufweisen.

Die geprüften Geräte haben in Mehrheit Prototypenstatus und sind im Hinblick auf die Nutzung in Werkstätten und TÜV Prüfanlagen noch nicht geeignet. Im Wesentlichen fehlen eine geführte Ablaufsteuerung, eine Erfassung und Protokollierung der Fahrzeugdaten, und Ablaufsteuerungen für Freischaltung der Messung nach Warmlauf, sowie Selbsttestfunktionen. Hier muss eine Integration in stationäre AU-Komplettstationen erfolgen.

Das Endergebnis der Partikelanzahlkonzentration soll aus dem Mittelwert von 3 Messungen mit je 35 Sekunden Länge im Leerlauf oder leicht erhöhter konstanter Drehzahl berechnet werden. Die Prozedur wird um leichten Gasstoss vor der Messung nach Erreichen einer Motortemperatur von über 70°C sowie durch eine Messung der Konzentration der Umgebungsluft nach Abstellen des Motors ergänzt. Die Untersuchungen in diesem Bericht belegen, dass diese Vorkonditionierungen zur Herstellung repräsentativer Bedingungen notwendig sind.

Die Praxis der bisherigen Messung und Prüfung von Drehzahl und Motortemperatur bei der Abgasuntersuchung müssen beibehalten werden, die Notwendigkeit wurde in diesem Bericht dargestellt.

Insgesamt ist aus dieser Untersuchung das Konzept der Abgasuntersuchung mit Partikelanzahl gut zu erkennen. Die neuen Erkenntnisse der Untersuchung sollten in die europäischen Arbeitskreise zur PN PTI einfließen.

Wegen noch zu geringer Datenbasis wird eine Einführung der Abgasuntersuchung mit Partikelanzahlmessung mit scharfem Grenzwert erst nach einer mehrmonatigen Monitoringphase mit Messungen zur Datengewinnung sehr empfohlen.



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

**9 Allgemeine Angaben**  
***Other information***

**9.1** Ort der Prüfung : TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH  
*Place of testing* Technologie- und Umweltzentrum  
Werner-von-Siemens-Strasse 35  
64319 Pfungstadt

TSC Darmstadt  
Rüdesheimer Strasse 119  
64285 Darmstadt

**9.2** Datum der Prüfung : **Dezember bis März 2018**  
*Date of testing*

**9.3. Sonstige Bemerkungen, bzw. : -**  
**Testanforderungen**  
*Other Remarks, or Test requirements*



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

**10 Schlussbescheinigung**  
**Statement of conformity**

Dieser Prüfbericht umfasst die Seiten 1 bis 129.  
*This report includes pages 1 to 129.*

**PRÜFLABORATORIUM**  
**TEST LABORATORY**

**Technologie- und Umweltzentrum**

**der / of**

**TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH**

Akkreditiertes Prüflaboratorium nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Für Emissionsprüfungen an Motoren/Fahrzeugen der

Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH,

Unterzeichnerin der multilateralen Abkommen von EA, ILAC und IAF zur gegenseitigen  
Anerkennung, Registriernummer der Urkunde: D-PL-14137-03-00

Technischer Dienst benannt von der Benennungsstelle des Kraftfahrt-Bundesamtes,  
*Technical Service designated by the designation authority of Kraftfahrt-Bundesamt,*  
Bundesrepublik Deutschland  
*Federal Republic of Germany*

Pfungstadt, **17.5.2018**

43264611

E-mail: [karsten.mathies@tuevhessen.de](mailto:karsten.mathies@tuevhessen.de)

Tel.: 06157-9875-252

Fax: 06157-9875-100



Dipl.-Ing. Karsten Mathies  
Projektingenieur

**Anlagen: Seiten**

**Anlage 1: 15 Seiten**

**Anlage 2: 2 Seiten**

**Anlage 3: 1 Seite**

**Anlage 4: 1 Seite**



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

## **Anlage 1**

Kalibrierprotokolle, Kalibrierdokumente und  
Aussagen zum Thema Kalibrierung



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

In /12/ ist folgende Passage zur Kalibrierung inklusive der nachfolgenden Kalibrierdokumente als Beispiel in den Abbildungen A1.1 bis A1.4 enthalten:

„Die APA/APB kann gemäß der in ISO 27891:2015 definierten Messgenauigkeit kalibriert werden (siehe Beispielzertifikat in Anhang A). Jedoch kann durch die der CPC-Technologie inhärenten Linearität und Berechenbarkeit der Messgenauigkeit eine in ihrem Umfang stark reduzierte Kalibriemethodik angewendet werden (mit nur sehr kleinem oder gar nicht vorhandenem nachteiligen Effekt), die mit einer signifikanten Kostenreduktion einhergeht. Es wird angenommen, dass eine rückführbare und international anerkannte Kalibrierung für weniger als 100 Euro pro Analysator durch Kalibrierung zu einem Referenzgerät implementiert werden kann.“ /12/



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

CERTIFICATE OF CALIBRATION			
ISSUED BY Ricardo-AFA Ltd trading as Ricardo Energy & Environment			
DATE OF ISSUE	13/02/2018	CERTIFICATE NUMBER	PMC337
Ricardo Energy & Environment Particle Measurement Centre Unit 2 Ludbridge Mill Reading Road, East Hendred Wantage, Oxfordshire OX12 8LN, UK		Page 1 of 4 pages Approved Signatory Name Mr. Jason Southgate Dr. Ian Marshall Signature <input checked="" type="checkbox"/>	
Telephone: 01235 861343		Email: PMC.EE@Ricardo.com	
Web: ee.Ricardo.com			
Customer :	To: Sensors Inc	On behalf of : Sensors Europe GmbH	
Address :	Sensors, Inc. 6812 State Road, Saline, Michigan, 48176		
Instrument :	Automotive Particle Bench	Customer Client Contact:	Dr David Booker
Serial No :	K17502235	Customer address:	Sensors Europe GmbH, Feldheider Str. 60, 40699, Erkrath, Germany
Software version:	1018	Calibration date :	15 January 2018
		Calibration engineer :	Mr Jason Southgate
<b>Method:</b>			
The Particle Number Counter (PNC) was calibrated according to the principles of ISO 27891:2015 using the methods described in Ricardo Energy & Environment Procedure WI/46.02-PNC. The PNC calibration was carried out with 70 and 23nm nominal diameter carbonaceous particles. The efficiency of the Particle Number analyser (PN analyser) was determined using 100, 70, 50, 41, 30, 23 and 15 nm nominal diameter carbonaceous particles. Calibrations marked 'Not UKAS Accredited' in this certificate have been included for completeness.			
<b>Equipment used</b>			
Equipment	Serial number	Certificate reference	Date
CPC (TSI Model 3772)	3772162803	NPLCPC_CAL_246	01/09/2017
EC-Xray (TSI Model 3082)	3082001610001	NPLSMPS_CAL_120917	12/09/2017
Flowmeter (Defender 510)	151513	K39520F	26/09/2017
Aerosol Generator (miniCAST)	3203B-106	N/A	N/A
<b>Uncertainties</b>			
The reported expanded uncertainty of measurement is 7.4% for counting efficiency of the PNC. It is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k = 2$ , providing a coverage probability of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements.			
<b>International Laboratory Accreditation Co-operation</b>			
The United Kingdom Accreditation Service (UKAS) is one of the signatories to the International Laboratory Accreditation Co-operation (ILAC) Arrangement for the mutual recognition of test reports, calibration certificates & inspection reports.			
This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service. It provides traceability of measurement to the SI system of units of measurement realised at the National Physical Laboratory or other recognised national metrology institutes. This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory.			

Abbildung A1.1: Example Calibration Certificate by Ricardo-AEA Ltd (UK)



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

<b>CERTIFICATE OF CALIBRATION</b>	Certificate Number    PMC337				
Page 2 of 4 pages					
<b>PNC Status</b>					
<b>Instrument on Test Details:</b>					
Make:	Automotive Particle Bench	Previous Calibration Certificate Ref:	New Unit		
Model:	CPC_V1	Previous Calibration Date:	N/A		
Serial Number:	Unknown	Previous Calibration Aerosol Used:	N/A		
Firmware Version	1052				
<b>PNC Temperatures and Pressures</b>					
	<b>Measurement</b>	<b>Units</b>	<b>Expected</b>	<b>Status</b>	
	As Found	As Left	Low Limit	High Limit	
Saturator Temperature	33.3	33.9	31.5	33.5	OK
Condenser Temperature	15.0	14.9	14.5	15.5	OK
Sample Flowrate	0.012	0.012	-	-	-
<b>Mean Instrument Zero Reading:</b>					
	<b>Units</b>	<b>Expected</b>	<b>Status</b>		
<i>Average particle concentration detected over 5 minute sampling period.</i>		Low Limit	High Limit		
	0.110	p/cc	0	1.0	OK
<b>Particle Number Counter (PNC) Detection Efficiency</b>					
<b>Description of calibration method for detection efficiency</b>					
<p>Detection efficiency of the PNC on test is calibrated by measuring its performance against a transfer standard PNC in single particle count mode. Both the instrument on test and the transfer standard PNC are challenged with a size and charged-defined particle sample of a well-controlled thermally pre-treated monodispersed soot aerosol which is size determined by a traceably verified scanning mobility particle sizer. The aerosol counting efficiency at a defined particle size, is measured over a concentration range from zero to no more than 10,000 particles cm<sup>-3</sup> in single count mode. the PNC on test detection efficiency is determined from the reciprocal of the gradient averages at the particle sizes measured (1/gradient) .</p>					
<b>Range of Calibration</b>	Up to 10 000 cm <sup>-3</sup> (Calibration Determined for Stated Calibration Range to Convert Measured PNC Concentration to the Reference concentration)				

Abbildung A1.2: Example Calibration Certificate by Ricardo-AEA Ltd (UK)



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

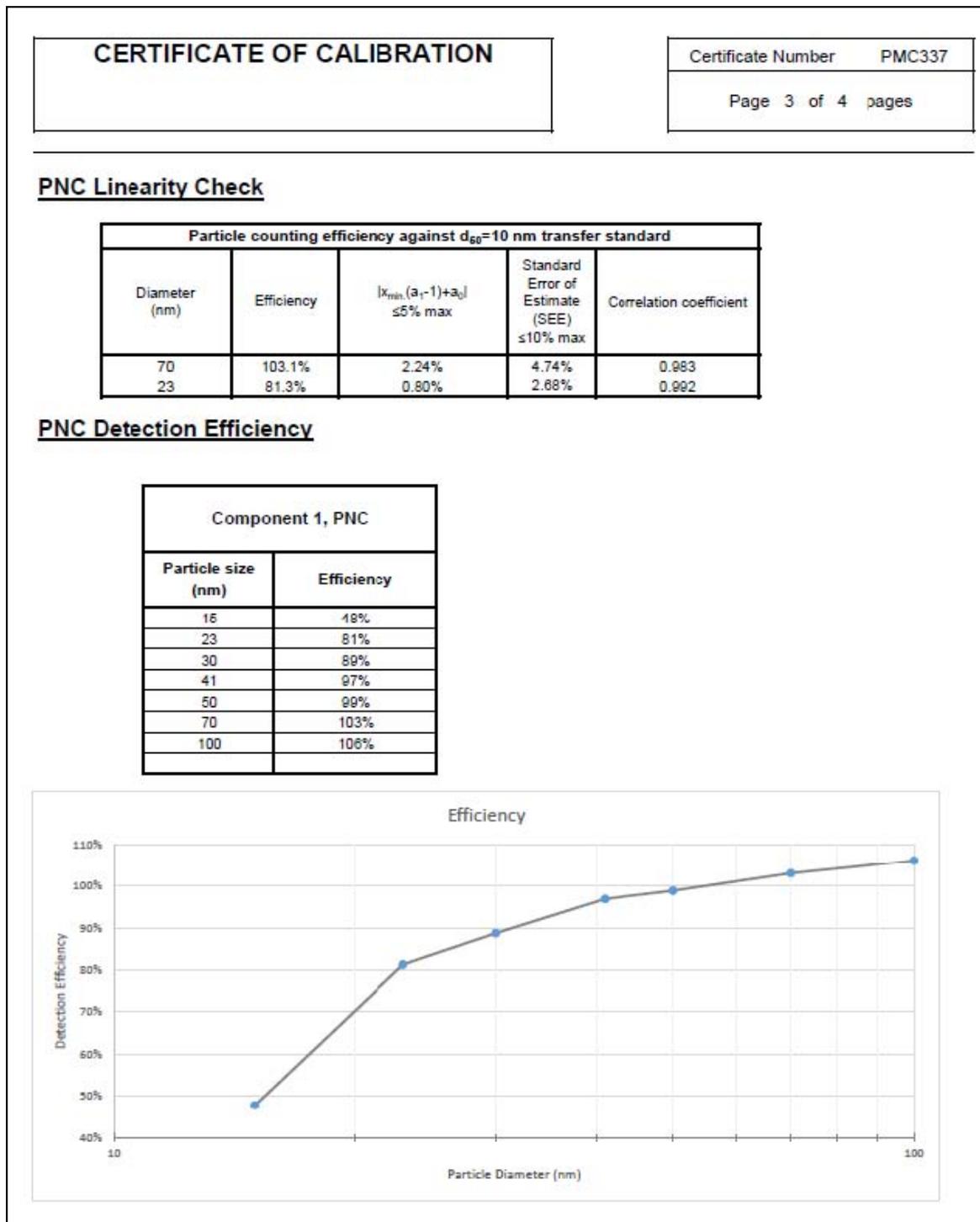


Abbildung A1.3: Example Calibration Certificate by Ricardo-AEA Ltd (UK)



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

<b>CERTIFICATE OF CALIBRATION</b>		Certificate Number	PMC337				
		Page 4 of 4 pages					
<b><u>Additional Information Not UKAS Accredited</u></b>							
<b><u>Environmental Conditions:</u></b>							
<table border="1"><tr><td>Barometer kPa</td><td>Temperature °C</td></tr><tr><td>98.0</td><td>23.8</td></tr></table>		Barometer kPa	Temperature °C	98.0	23.8		
Barometer kPa	Temperature °C						
98.0	23.8						
<b><u>Comments</u></b>							
PNC component evaluated only, PND1+Line still to be evaluated							
<hr/> <b>End of certificate</b>							

Abbildung A1.4: Example Calibration Certificate by Ricardo-AEA Ltd (UK)

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

In der Präsentation der Firma testo /13/ sind folgende Abbildungen A1.5 bis A1.7 zum Aufbau und den Ergebnissen der Validierung, sowie Ergebnisse der Ermittlung der Zähleffizienz bei verschiedenen Partikelgrößen enthalten. Die entspricht einer Kalibrierprüfung der Zähler.

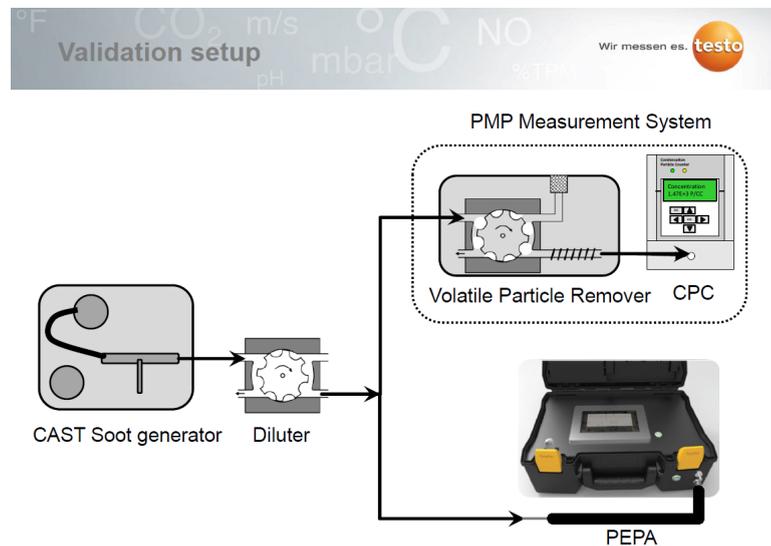


Abbildung A1.5: Validierungsaufbau testo PEPA

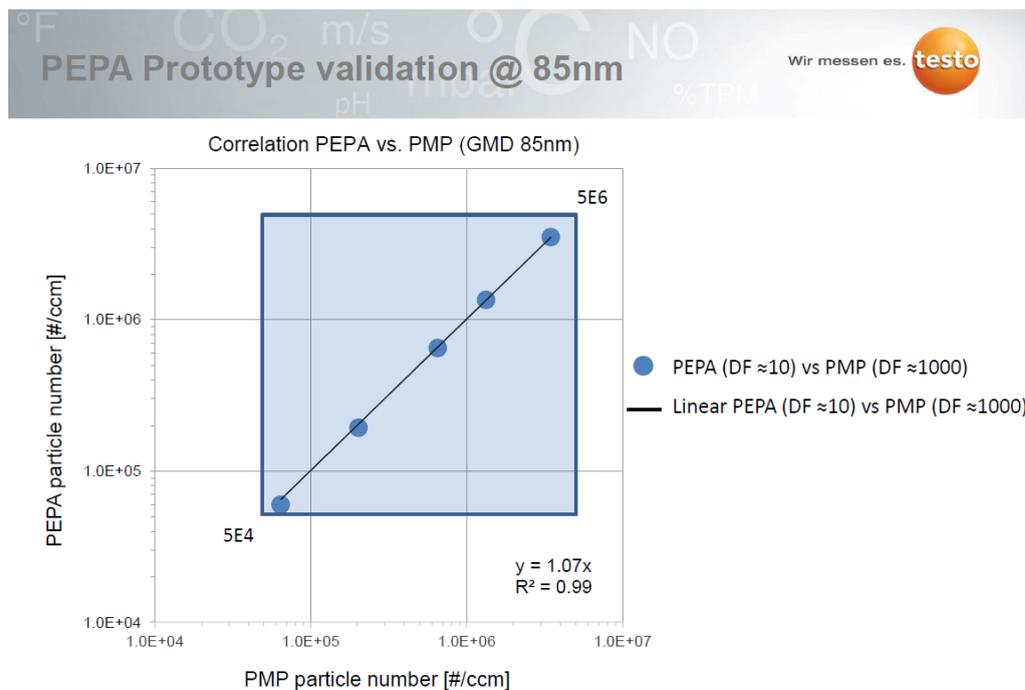


Abbildung A1.5a: Validierung testo PEPA

Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

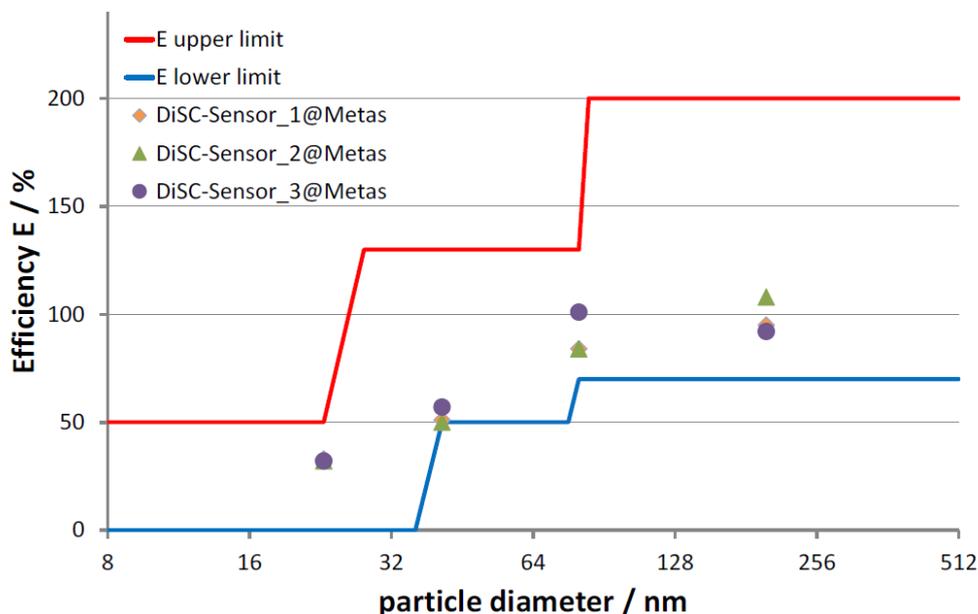


Abbildung A1.6: Ergebnisse der Ermittlung der Zähleffizienz bei verschiedenen Partikelgrößen, testo PEPA



➤ Average particle number concentration at the official measurement

$5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$	Referent value: $2,5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$	$5 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$
$< 5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$	Measuring Range: xxx $\text{cm}^{-3}$	$> 5 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$

Mobility diameter	Limits of efficiency
23 nm nanoparticles	$E < 50 \%$
41 nm nanoparticles	$50 \% < E$
80 nm nanoparticles	$70 \% < E < 130 \%$
200 nm nanoparticles	$E < 200 \%$
30 nm droplets of tetracontane (number concentration up to $10^5 \text{ cm}^{-3}$ )	$E < 5 \%$



Abbildung A1.7: Spezifikation der Abscheidung volatiler Partikel, testo PEPA



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

Die folgenden Vorschläge zur Kalibrierung und Rückführbarkeit entstammen /17/, die auf Anfrage entstanden ist, siehe Abbildung A1.7a und A1.7b.

„Vorschlag zur Kalibrierung in der Serie

Prüfaerosol:

Die Kalibrierung sollte an einem applikationsnahem Prüfaerosol durchgeführt werden. Hierzu zählen insbesondere folgende Eigenschaften:

- Partikelmaterial: Ruß
- Fraktale Partikelmorphologie
- Polydisperse Partikelgrößenanzahlverteilung (lognormal, unimodal)
- Verteilungsparameter: Geom. Mittlerer Durchmesser (GMD) ca. 70 nm, geom. Standardabweichung (GSD) ca. 1,6

Wir sehen hierfür Rußaerosol eines Diffusion Flame Generators als geeignetes Modellsystem, aufgrund hoher Übereinstimmung der produzierten Nanopartikel in Partikelgrößenanzahlverteilung, Morphologie, Material und Oberflächenmodifikation z.B. mit volatilen Bestandteilen (falls gewünscht). Zudem können solche Generatoren (z.B. testo REXS) sehr stabile und reproduzierbare Partikelgrößenverteilungen und Anzahlkonzentrationen über einen weiten Parameterbereich erzeugen.

Rückführbarkeit (vgl. Abbildung A1.7b):

Wir schlagen eine Rückführung der Messgröße „Partikelanzahlkonzentration“ durch Vergleich mit entsprechenden Arbeitsnormalen (z.B. CPC) vor, die wiederum mit geeigneten metrologischen Mitteln auf nationale Standards zurückgeführt wurden. Durch Verwendung konsistenter Prüfaerosole sollte auch eine Weitergabe eines solcherart rückgeführten Werksstandards auf in der Produktion verwendete Arbeitsnormale möglich sein.“ /17/



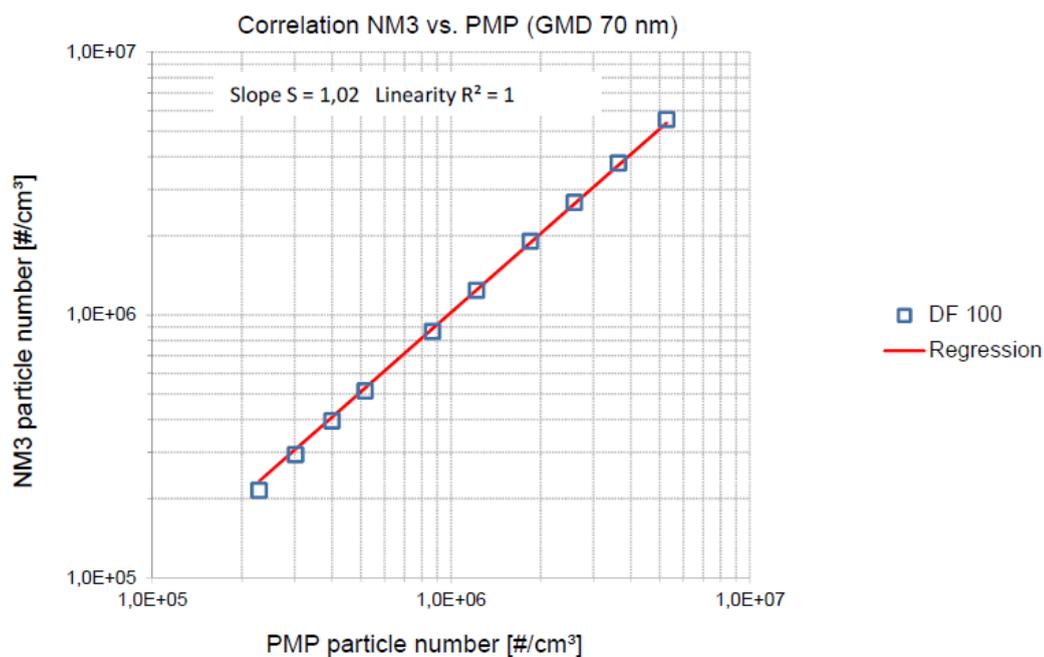
Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**NanoMet3 vs. PMP Calibration Certificate**

Device under Test	
Model	PEPA
Serial number	
DiSC sensor	DiSC
Sensor SN	

Aerosol	
Composition	soot
CAST S/N	100907
Aerosol type	polydisperse
Size (GMD)	65,6
Width (GSD)	1,67

Reference instruments	
Model CPC	TSI 3790
S/N CPC	70725185
CU-2	101165
S/N MD19-3E	101715
S/N ASET15-1	101726



**Engineer**  
 Katalin Bükki

**Signature**

**Calibration Date**  
 15 March 2018

Abbildung A1.7a: Kalibrierzertifikat, Beispiel testo PEPA



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

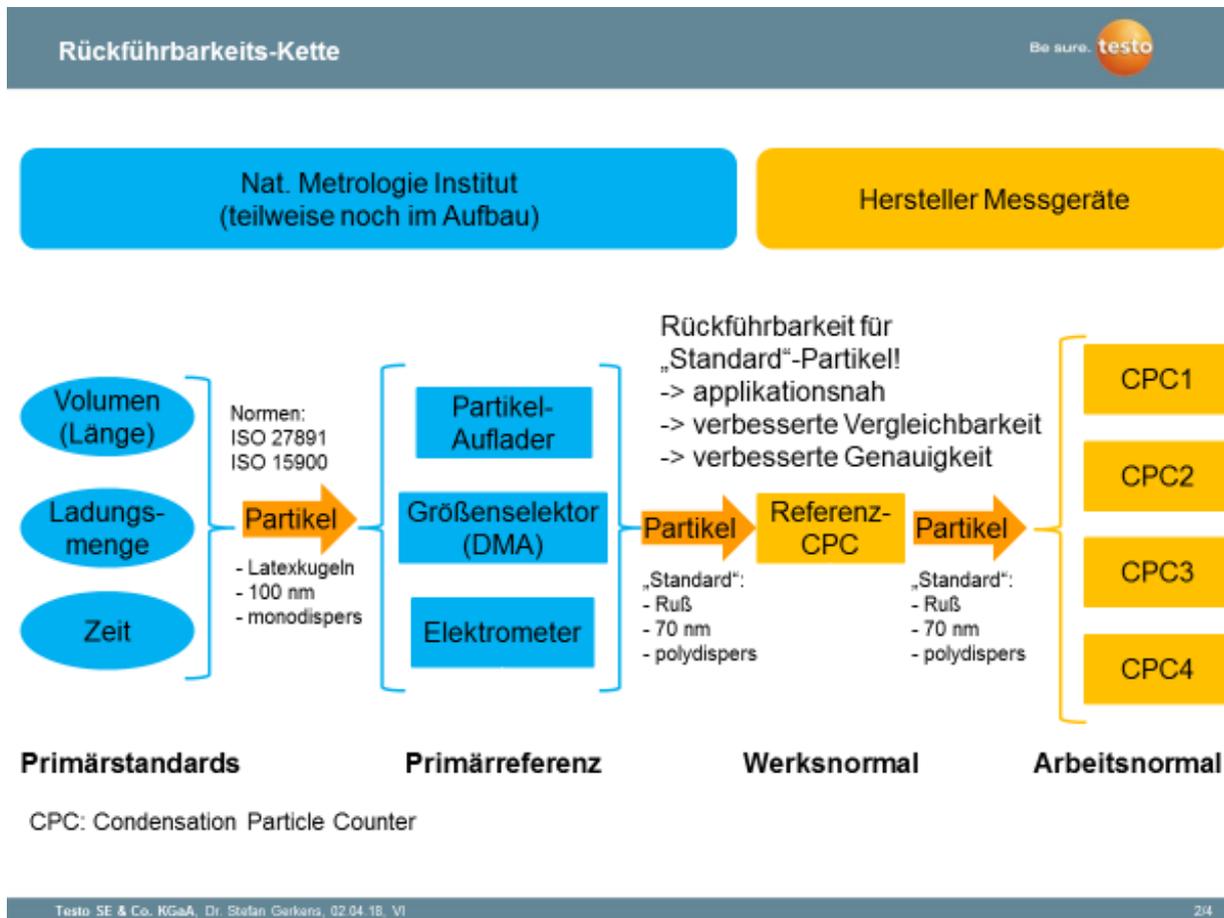


Abbildung A1.7b: Rückführbarkeitskette für Partikelanzahlkonzentration



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

Die nachfolgenden Kalibrierprotokolle zeigen zum Vergleich die Kalibrierung eines CPC der Fa. TSI, Modell 3792 aus dem PMP-konformen Referenzpartikelzähler AVL 489, siehe Abbildungen A1.7 bis A1.9.



CERTIFICATE OF CALIBRATION AND TESTING

TSI GMBH, Neuköllner Strasse 4, 52068 Aachen, Germany  
 Tel: 1-800-874-2811 1-651-490-2811 Fax: 1-654-490-3824 http://www.tsi.com

Unit Under Test (CPC)	
Manufacturer	TSI Inc. (USA)
Model	3792
Serial Number	3792130703

ENVIRONMENTAL CONDITIONS		
Temperature	21.0	°C
Relative Humidity	38.8%	%RH
Atmospheric Pressure	98.2	kPa

<input checked="" type="checkbox"/>	As Left	<input checked="" type="checkbox"/>	In Tolerance
<input type="checkbox"/>	As Found	<input type="checkbox"/>	Out of Tolerance

REFERENCE EQUIPMENT			
Reference Device	System ID	Last Cal	Cal Due
Gilibrator	AA6344-S	5 April 2017	5 April 2018
Barometric Pressure Meter	AA71231036	9 May 2017	9 Mai 2018
Classifier Flow Meter	AA41410050001	3 May 2017	3 Mai 2018
High Voltage Divider	AA7SI001	27 January 2017	27 Januar 2019
Temperature Measurement	AAQ231307	25 October 2017	25 Oktober 2018
Ambient Temp/RH Probe	AA7575X1705004	21 February 2017	21 Februar 2018
Voltage Measurement	AA5461032	19 January 2017	19 Januar 2018
3080 Classifier	AA71216127	4 May 2017	4 Mai 2018
3085 DMA	AA3085122301	4 May 2017	4 Mai 2018
Manifold Manometer	AA466163	4 August 2016	4 August 2020
Flow Splitter	AA3708122405	17 February 2017	17 Februar 2018
TSI 3772 CPC SN: 3772150401	AA3772150401	10 August 2017	10 August 2018
Certificate: AA20170810-3772150401AL			

FLOW VERIFICATION, Unit: L/min			
Parameter	Measured	Allowable Range <sup>1</sup>	Uncertainty <sup>4</sup>
Measured Inlet Flow	0.990	0.95 ~ 1.05	0.0075
Calculated Flow <sup>2</sup>	0.949	N/A <sup>8</sup>	N/A <sup>8</sup>

TEMPERATURE AND PRESSURE CHECK			
Parameter	Units	Value	Allowable Range <sup>1</sup>
Saturator Temperature	°C	38.3	38.0 ~ 38.7
Condenser Temperature	°C	31.7	31.0 ~ 32.5
Optics Temperature	°C	40.0	39.8 ~ 40.2
Cabinet Temperature	°C	28.6	20.0 ~ 45.0
Pressure Drop Across Orifice	kPa	85.08	70.0 ~ 88.0
Pressure Drop Across Nozzle	kPa	2.94	1.9 ~ 3.4

LASER POWER CHECK, Units: mW		
Parameter	Value	Allowable Range <sup>1</sup>
Power (Measured)	17.0	14 ~ 20

OPTICS CHECK			
Parameter	Units	Value	Allowable Range <sup>1</sup>
Laser Current Reading	mA	43	≥ 12
Minimum Pulse Height	V	2.0	1.00 ~ 3.65
Minimum Pulse Width	ns	240	≥ 110
Maximum Pulse Height	V	3.0	2.00 ~ 3.65
Maximum Pulse Width	ns	320	≤ 450

ZERO COUNT TEST, Units: cm <sup>-3</sup>		
Parameter	Value	Allowable Range <sup>1</sup>
Concentration Average Over 12 Hours	0.0001	0.0000 ~ 0.0010

Certificate Reference: AA20171129-3792130703AL  
 Date of Issue: 30 November 2017  
 Checked by:

Page 1 of 3

Abbildung A1.8: Kalibrierprotokoll des TSI Partikelzählers 3792 aus dem Referenzgerät AVL 489



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

TSI GMBH, Neuköllner Strasse 4, 52068 Aachen, Germany  
 Continuation Sheet

CALIBRATION AEROSOL	
Particle Material	Emery Oil
Gas	Air and CO <sub>2</sub> (Air Flow Rate: 1.5 L/min; CO <sub>2</sub> Flow Rate: 0.1 L/min)
Generator	Electrospray Aerosol Generator (TSI Model 3480, ID AA3480122801, Cal. Due 00/dd/yyyy)

COUNTING EFFICIENCY VERIFICATION					
Size [nm]	Reference [cm <sup>-3</sup> ]	Measured [cm <sup>-3</sup> ]	Detection Efficiency [-]	Allowable Range <sup>3</sup> [-]	Eff. Uncert. <sup>4</sup> [-]
23	5275.4	3047.1	0.578	0.38 ~ 0.62	0.0236
41	5867.8	5349.9	0.912	> 0.90	0.0363

CONCENTRATION LINEARITY VERIFICATION					
Size [nm]	55				
Nominal [cm <sup>-3</sup> ]	Reference [cm <sup>-3</sup> ]	Measured [cm <sup>-3</sup> ]	Efficiency [-]	Allowable Range <sup>5</sup> [-]	Efficiency Uncertainty <sup>4</sup> [-]
0	0.0	0.0	N/A <sup>8</sup>	N/A <sup>8</sup>	N/A <sup>8</sup>
300	283.3	262.5	0.927	0.90 ~ 1.10	0.0385
600	652.8	607.5	0.931	0.90 ~ 1.10	0.0373
1000	1064.9	990.4	0.930	0.90 ~ 1.10	0.0372
6000	6289.3	5889.6	0.936	0.90 ~ 1.10	0.0373
10000	12218.2	11517.0	0.943	0.90 ~ 1.10	0.0376
Parameter <sup>6</sup>	Units	Value	Allowable Range <sup>3</sup>		
Slope	- - -	0.9412	0.90 ~ 1.10		
R <sup>2</sup> (squared)	N/A <sup>8</sup>	0.9999902	> 0.97		
K-Factor	N/A <sup>8</sup>	1.062			
Residual Regression Results <sup>7</sup>					
Nominal [cm <sup>-3</sup> ]	Calculated [cm <sup>-3</sup> ]	Normalized Residual [%]			
0	0.0	N/A <sup>8</sup>			
300	266.6	-1.6%			
600	614.5	-1.1%			
1000	1002.3	-1.2%			
6000	5919.6	-0.5%			
10000	11500.0	0.1%			

<sup>1</sup> Allowable range per manufacturer's specifications

<sup>2</sup> Standard Conditions: 20 °C, 101.325 kPa

<sup>3</sup> Allowable range per UN/ECE Regulation 83, Appendix 5, 1.3.4.8

<sup>4</sup> Reported expanded uncertainty is based on standard uncertainty multiplied by a coverage factor k=2, providing a level of confidence of approximately 95 %.

<sup>5</sup> Allowable range per UN/ECE Regulation 83 (PMP), Appendix 5, 2.1.3

<sup>6</sup> Calculated from Linearity Verification data (nominal diameter of 55 nm and concentrations from 0 to 10000 cm<sup>-3</sup>)

<sup>7</sup> Calculated = Reference Concentration \* Slope; Normalized Residual = ( Measured Concentration - Calculated ) / Calculated

<sup>8</sup> No applicable value, range, or uncertainty

Certificate Reference: AA20171129-3792130703AL

Page 2 of 3

Date of Issue: 30 November 2017

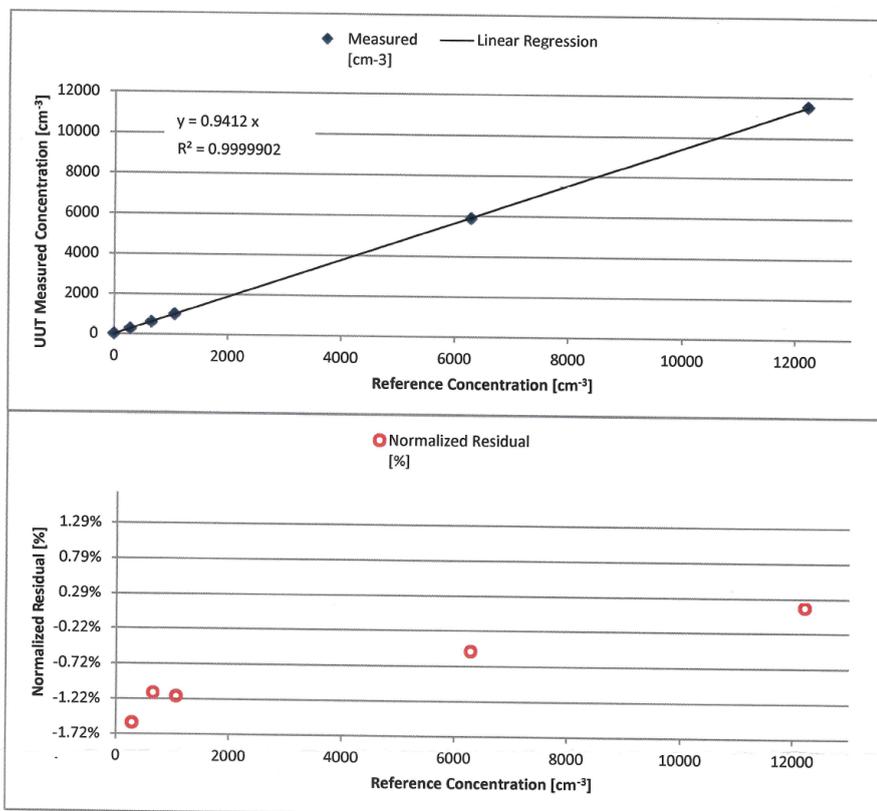
Checked by:

Abbildung A1.9: Kalibrierprotokoll des TSI Partikelzählers 3792 aus dem Referenzgerät AVL 489



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

TSI GMBH, Neuköllner Strasse 4, 52068 Aachen, Germany  
 Continuation Sheet



*TSI Incorporated does hereby certify that the above described instrument conforms to the original manufacturer's specifications. The instrument has been calibrated using standards whose accuracies are traceable to National Standards and Metrology Institutes (NIST and NPL UK). TSI's Quality/Calibration system meets ISO-9001:2008, Requirements for measurement processes and measuring equipment. This unit's calibration meets requirements defined by ISO27891:2015 (Aerosol particle number concentration - Calibration of condensation particle counters) and UN/ECE Regulation 83. This report may not be reproduced, except in full, unless permission for the publication of an approved abstract is obtained in writing from the calibration organization issuing this report.*

Reference Calibration Document: TSI Doc. No. PRD10000032552, Rev. C  
 Calibrated by: Bernd Raspe  
 Date of calibration: 29 November 2017  
 Certificate expiry date: 29 November 2018  
Certificate expiry date as set by UN/ECE Regulation 83, Appendix 5, 2.1.1

Certificate Reference: AA20171129-3792130703AL  
 Date of Issue: 30 November 2017  
 Checked by:

Page 3 of 3

Abbildung A1.10: Kalibrierprotokoll des TSI Partikelzählers 3792 aus dem Referenzgerät AVL 489



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

In der Broschüre /16/ der Firma TSI sind die Daten für die Zähleffizienz bei verschiedenen Partikelgrößen sowie Daten zur Abscheidung volatiler Partikel des TSI NPET unter anderem enthalten.

Partikelgrößenbereich	
Detektionseffizienz	< 50% bei 23 nm > 50% bei 41 nm
Max. erfassbare Partikelgröße	1 µm, begrenzt durch einlassseitigen Zyklon
Partikelkonzentrationsbereich	
Einzelpartikelzählung (Nennverdünnung 10:1)	1,000 bis 5 x 10 <sup>6</sup> Partikel/cm <sup>3</sup>
Partikelkonzentrationsgenauigkeit	
Referenzwert ± 10%	
Reaktionszeit	
T <sub>10%-90%</sub> und T <sub>90%-10%</sub>	4 s ± 0,5 s
T <sub>70%-90%</sub>	8 s ± 0,5 s
Volumenstrom	
Probenahme-Volumenstrom	0,7 l/min (nominal)
CPC-Messvolumenstrom	0,1 l/min (nominal)
CPC-Nebenstrom	0,6 l/min (nominal)
Flüssigkeitssystem	
Arbeitsflüssigkeit	Isopropanol (Reinheit besser als 99,5 %)
Befüllung	Wechseldocht, nachfüllbar
Messzeit pro Füllung	4 Stunden
Katalytischer Stripper	
Temperatur	350 °C
Abscheidung flüchtiger Partikel	> 99% für polydisperse C <sub>40</sub> H <sub>82</sub> -Partikel mit 30 nm mittlerem Durchmesser
Abgaszustand	
Geeignet zur Probenahme in heißen (bis zu 300 °C) und korrosiven (NO <sub>x</sub> , HC, H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) Motorabgasen.	
Umgebungsbedingungen im Betrieb	
Temperatur	-10 bis +40 °C
Druck	70 bis 106 kPa
Stromversorgung	
100 - 240 V AC, 50/60 Hz, 100 W (Nennleistung), 200 W (Spitzenleistung)	
Datenkommunikation	
Ethernet	8-Pin RJ-45-Buchse, 10/100 BASE-T, TCP/IP

Software	
Nanopartikel-Emissionstester-Software von TSI für Microsoft® Windows® 7 oder 8 (32 / 64 Bit); optimiert für Windows® 8 mit Touchscreen-Bedienung.	
Probenahmefrequenz	
Offizielle Messung	10 Hz
Generelle Messung	1 Hz
Kalibrierungs-/Wartungsintervall	
jährlich (empfohlen)	
Hardware	
Frontseite	Wasserabscheider mit Zyklon, Sondenanschlüsse (Probeneinlass und Verdünnungsluftauslass)
Rückseite	Netzstecker, Ethernet-Anschluss, Dochthalter
Abmessungen (H x B x T)	
26 cm x 33 cm x 57 cm	
Gewicht	
13,1 kg	
Betriebsstoffe	
HEPA-Filter (2x), Trockenmittelkartusche (kobaltfreies Siliziumdioxid), Isopropanol (Reinheit > 99,5%)	
Optionales Zubehör	
3795-Tab	Windows® 8-Tablet mit Schutzgehäuse und Ethernet-Dongle
1602051	HEPA-Filter
3795200	Trockenmittelkartusche
8016	16 Flaschen Isopropanol, je 30 ml

Tabelle A1.11: Zähleffizienz bei verschiedenen Partikelgrößen, TSI NPET



Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

## **Anlage 2: Literaturverzeichnis**

/1/ VERORDNUNG (EU) 2017/1154 DER KOMMISSION vom 7. Juni 2017 zur Änderung der Verordnung (EU) 2017/1151 der Kommission zur Ergänzung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typp Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge, zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission und der Verordnung (EU) Nr. 1230/2012 der Kommission sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 und der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf Emissionen leichter Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge im praktischen Fahrbetrieb (Euro 6), auch bezeichnet als RDE Paket „3“

/2/ VERORDNUNG (EU) 2017/1151 DER KOMMISSION vom 1. Juni 2017 zur Ergänzung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typp Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen, zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission sowie der Verordnung (EU) Nr. 1230/2012 der Kommission und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission, auch bezeichnet als WLTP Paket „1“

/3/ PN-Calibration Issues, Stefan Carli, Volkswagen Technische Entwicklung, Präsentation auf dem 41.ten PMP-Meeting, Genf, 12.10.2016

/4/ CPC Calibration – SI Traceability, Hans-Georg Horn, TSI GmbH, Aachen, Präsentation auf dem 35.ten PMP-Meeting, Genf ( Erläuterungen zu ISO 27891 und ISO15900 )

/5/ Survey about functional efficiency of DPF during PTI in Zürich, Beat Gloor, Kanton Zürich Baudirektion, AWEL Abteilung Luft, Präsentation, VERT-Forum 2018.March 15th, 2018.Dübendorf, Switzerland

/6/ PTI by PN for Construction Machinery, Präsentation, VERT-Forum, 15.3.2018, Simone Krähenbühl, Federal Office for the Environment FOEN, Schweiz, Präsentation, VERT-Forum 2018.March 15th, 2018.Dübendorf, Switzerland

/7/ NEW PTI TEST PROCEDURES ARE NEEDED TO CHECK EMISSIONS OF SOOT PARTICULATES, Gerrit Kadijk, Präsentation, VERT-Forum 2018.March 15th, 2018.Dübendorf, Switzerland

/8/ 941.242, Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Verbrennungsmotoren, (VAMV) vom 19. März 2006 (Stand am 1. Januar 2015), Das Eidgenössische Justiz- und Polizeidepartement (EJPD) (Anmerkung: der Schweiz), gestützt auf die Artikel 5 Absatz 2, 8 Absatz 2, 11 Absatz 2, 16 Absatz 2, 17 Absatz 2, 24 Absatz 3 und 33 der Messmittelverordnung vom 15. Februar 2006 (Messmittelverordnung): Anhang 4, (Art. 9a und 9c) Spezifische Anforderungen an Messmittel für Nanopartikel aus Verbrennungsmotoren



---

Prüfung : **Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung**  
Auftraggeber : **Bundesanstalt für Strassenwesen**

---

/9/ BAFU (Hrsg.) 2016: Luftreinhaltung auf Baustellen. Richtlinie über betriebliche und technische Massnahmen zur Begrenzung der Luftschadstoff-Emissionen von Baustellen (Baurichtlinie Luft). Ergänzte Ausgabe, Februar 2016; Erstausgabe 2009. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 0901: 32 S.

/10/ TNO 2017 R10530 | 1.0, Investigation into a Periodic Technical Inspection (PTI) test method to check for presence and proper functioning of Diesel Particulate Filters in light-duty diesel vehicles – part 2, 1 May 2017, G. Kadijk, M. Elstgeest, N.E. Ligterink, P.J. van der Mark, Copy no 2017-STL-RAP-0100305111, 85 pages (incl. appendices)

/11/ History and Future of Particle Number Legislation in Europe, The Particle Measurement Programme (PMP) Jon Andersson, Giorgio Martini, Andreas Mayer, 19th ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles , ETH Zentrum, Zürich, Switzerland. July 1<sup>st</sup>, 2015

/12/ Sensors' Automotive Particle Analyzer für die periodische technische Überwachung , pdf-Dokument: „Sensors Inc\_APA.de“, 28.3.2018

/13/ Real world PN by METAS-conform PEPA portable instrument, Luis Cachón, Präsentation VERT-Forum 2015, Dübendorf 20.03.2015

/14/ M. Fierz , C. Houle , P. Steigmeier & H. Burtscher (2011) Design, Calibration, and Field Performance of a Miniature Diffusion Size Classifier, Aerosol Science and Technology, 45:1, 1-10, DOI: 0.1080/02786826.2010.516283

/15/ Testo PEPA operating principle 2018, pdf Dokument, 8.2.2018, Luis Cachon, testo AG

/16/ TSI pdf Broschüre: Nanopartikel-Emissionstester Modell 3795, #50001650 Rev D (DE)

/17/ Messgröße Partikelanzahlkonzentration, Rückführbarkeits-Kette, Präsentation Dr. Gerkens, 2.4.18, testo AG

/18/ Verordnung (EU) Nr. 582/2011 der Kommission vom 25. Mai 2011 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI) und zur Änderung der Anhänge I und III der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (2.6.1 von Anhang II)



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
 Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

**Anlage 3 Vorschlag zur Änderung des Abgasuntersuchungs-Berichts für Messung der Partikelanzahl**

**Konditionierung**

	Einheit	Min.	Max.	Fzg. Istdaten	Ergebnis
Motortemp.	°C	70		88	i.O.
Leerlaufdrehzahl	1/min	700	800	750	i.O.
Gasstoß	1/min	1800		2497	i.O.

**Partikelanzahlmessung**

Arithm. Mittelwert der Drehzahl	1/min	700	800	751	i.O.
Arithm. Mittelwert der Motortemp.	°C	70		87	i.O.
Arithm. Mittelwert der Partikelanzahlkonzentration	#/ccm		2,5E5	<5E4	i.O.
Überprüfung Umgebungsluft	#/ccm	5E2		-	i.O.

Teilmessung	Partikelanzahl	Drehzahl	Motortemp.	Messdauer	
	#/ccm	1/min	°C	s	
1	<5E4	751	88	35	i.O.
2	<5E4	751	87	35	i.O.
3	<5E4	750	86	35	i.O.

**Gesamtergebnis der Abgasuntersuchung**

**Bestanden**

Abbildung A3: Vorschlag zur Änderung des Prüfnachweis über die Durchführung der Abgasuntersuchung mit Partikelanzahl

Der derzeitige Berichtsmittelteil über die Messergebnisse der Rauchgastrübung entfällt und soll durch den Vorschlag ersetzt werden.

Alle weiteren Bestandteile des Prüfnachweises bleiben bestehen.



Prüfung : Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung  
Auftraggeber : Bundesanstalt für Strassenwesen

## Anlage 4

### Glossar

CPC	:	Kondensationspartikelzähler, Englisch: Condensation Particle Counter
DC	:	Partikelzähler der die elektrische Ladung der Partikel detektiert, Englisch: Diffusion Charger
DMA	:	differenzielle Mobilitätsanalysator, Gerät in der Analyse ultrafeiner Partikel
DPF	:	Dieselpartikelfilter
DUI	:	Englisch: Device Use Interface
EBE	:	Einzelbetriebserlaubnis
ELR	:	Englisch: European Load Response (Test), Testzyklus für Rauchgastrübung für Motoren von schweren Nutzfahrzeugen bis Stufe EEV, EURO V
ET	:	Englisch: Evaporation Tube, beheiztes Rohr, dass das Entstehen volatiler Partikel vermeidet
ETC	:	Englisch: European Transient Cycle, Testzyklus für Emissionen von Motoren von schweren Nutzfahrzeugen bis Stufe EEV, EURO V
FOEN	:	Federal Office for the Environment, Schweiz
IP	:	Adresse in Computernetzen
IPA	:	Isopropanol
NEFZ	:	Neuer Europäischer Fahrzyklus für Pkw, nicht mehr für neue Typen
OEM	:	Englisch: Original Equipment Manufacturer
PMP	:	Englisch: Particle Measurement Program, Arbeitsgruppe bei der UNECE in Genf
PN	:	Englisch: Particle Number
PTI	:	Periodische Technische Inspektion
RDE	:	Englisch: Real Driving Emissions
UMA	:	Untersuchung des Motomanagement- und Abgasreinigungssystems: Nachfolger der AU
VPR	:	Einrichtung zur Abscheidung volatiler (flüchtiger) Partikel, Englisch: Volatile Particle Remover
WHTC	:	Englisch: Worldwide Harmonized Transient Cycle, Testzyklus für Emissionen (PN) von Motoren von schweren Nutzfahrzeugen ab Stufe EURO VI
WLTP	:	Englisch: Worldwide Light Duty Testing Procedure, Testzyklus für Emissionen von Pkw (PN)
WWH OBD	:	Bei Lkw: Worldwide harmonized OBD