



EUROPÄISCHE
KOMMISSION

Brüssel, den 20.3.2023
C(2023) 1796 final

EMPFEHLUNG DER KOMMISSION

vom 20.3.2023

**über die Messung der Partikelzahl bei der regelmäßigen technischen Prüfung von
Fahrzeugen mit Selbstzündungsmotor**

EMPFEHLUNG DER KOMMISSION

vom 20.3.2023

über die Messung der Partikelzahl bei der regelmäßigen technischen Prüfung von Fahrzeugen mit Selbstzündungsmotor

DIE EUROPÄISCHE KOMMISSION —

gestützt auf den Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union, insbesondere auf Artikel 292,

in Erwägung nachstehender Gründe:

- (1) Im Interesse der öffentlichen Gesundheit, des Umweltschutzes und des fairen Wettbewerbs ist es wichtig zu gewährleisten, dass in Betrieb befindliche Fahrzeuge ordnungsgemäß instand gehalten und geprüft werden, um ihre durch die Typgenehmigung garantierte Funktionstüchtigkeit während ihrer Lebensdauer ohne übermäßige Beeinträchtigung zu wahren.
- (2) Die in der Richtlinie 2014/45/EU des Europäischen Parlaments und des Rates¹ vorgeschriebenen Prüfverfahren hinsichtlich der Auspuffemissionen von Kraftfahrzeugen, insbesondere die für Selbstzündungsmotoren geltende Prüfung der Abgastrübung, sind nicht an neuere, mit Partikelfiltern ausgestattete Fahrzeuge angepasst. Laborprüfungen zeigen, dass selbst Fahrzeuge mit defekten oder manipulierten Dieselpartikelfiltern (DPF) die Trübungsprüfung bestehen können, ohne dass die Funktionsstörung festgestellt wird.
- (3) Um diese Fahrzeuge mit defektem Dieselpartikelfilter erkennen zu können, haben einige Mitgliedstaaten im Rahmen ihrer regelmäßigen technischen Prüfung von Fahrzeugen mit Selbstzündungsmotor Verfahren für die Messung der Partikelzahl (PN) eingeführt oder werden sie demnächst einführen. Diese Verfahren sind zwar ähnlich, unterscheiden sich aber in bestimmten Aspekten. Anstelle der Einführung verschiedener Messverfahren in der Union sollten gemeinsame Mindestanforderungen für die PN-Messung auf der Grundlage von Leitlinien eingeführt werden.
- (4) Die von einigen Mitgliedstaaten entwickelten Verfahren, die Ergebnisse der von der Gemeinsamen Forschungsstelle der Kommission durchgeführten Laborprüfungen² sowie die Ergebnisse der Konsultation der Sachverständigengruppe für Verkehrssicherheit wurden bei der Ausarbeitung der Leitlinien gebührend berücksichtigt.
- (5) Da die Anwendbarkeit solcher Leitlinien nicht für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor geprüft wurde, sollte der Anwendungsbereich der Leitlinien auf

¹ Richtlinie 2014/45/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. April 2014 über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/40/EG (ABl. L 127 vom 29.4.2014, S. 51).

² Comparisons of Laboratory and On-Road Type-Approval Cycles with Idling Emissions. Implications for Periodical Technical Inspection (PTI) Sensors, doi.org/10.3390/s20205790 and Evaluation of Measurement Procedures for Solid Particle Number (SPN) Measurements during the Periodic Technical Inspection (PTI) of Vehicles, doi.org/10.3390/ijerph19137602.

die Fahrzeuge mit Selbstzündungsmotoren beschränkt werden, für die bei ihrer Typgenehmigung ein Grenzwert für die Anzahl der Feststoffpartikel gilt, d. h. leichte Dieselnutzfahrzeuge, die ab dem 1. Januar 2013 erstmals zugelassen wurden (Euro 5b und neuer)³ und schwere Dieselnutzfahrzeuge, die ab dem 1. Januar 2014 erstmals zugelassen wurden (Euro VI und neuer)⁴. Sobald in Bezug auf ein Verfahren zur PN-Messung, das für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor gilt, dasselbe Konfidenzniveau erreicht ist, sollten entsprechende Leitlinien ausgearbeitet werden.

- (6) Um wirksam zu sein, sollten die Leitlinien Anforderungen in Bezug auf die Messgeräte, die messtechnischen Prüfungen, das Messverfahren, messtechnische und technische Anforderungen sowie einen Grenzwert für „bestanden/nicht bestanden“ enthalten.
- (7) Diese Empfehlung ist ein erster Schritt auf dem Weg zu einer harmonisierten PN-Messung während der technischen Überwachung in der Union —

HAT FOLGENDE EMPFEHLUNG ABGEGEBEN:

Die Mitgliedstaaten sollten bei der regelmäßigen technischen Prüfung von Fahrzeugen mit Selbstzündungsmotoren und Dieselpartikelfiltern die Partikelzahl gemäß den Leitlinien im Anhang messen.

Brüssel, den 20.3.2023

Für die Kommission

Mitglied der Kommission

³ Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge (ABl. L 171 vom 29.6.2007, S. 1).

⁴ Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 und der Richtlinie 2007/46/EG sowie zur Aufhebung der Richtlinien 80/1269/EWG, 2005/55/EG und 2005/78/EG (ABl. L 188 vom 18.7.2009, S. 1).



EUROPÄISCHE
KOMMISSION

Brüssel, den 20.3.2023
C(2023) 1796 final

ANNEX

ANHANG

der

Empfehlung der Kommission

**über die Messung der Partikelzahl bei der regelmäßigen technischen Prüfung von
Fahrzeugen mit Selbstzündungsmotor**

ANHANG
Inhaltsverzeichnis

1.	Geltungsbereich.....	2
2.	Begriffsbestimmungen	2
3.	Beschreibung des Geräts und der Aufschrift	4
3.1.	Beschreibung des PN-PTI-Geräts	4
3.2.	Aufschrift	5
3.3.	Bedienungsanleitung	5
4.	Messtechnische Anforderungen	6
4.1.	Anzeige des Messergebnisses	6
4.2.	Messbereich.....	6
4.3.	Auflösung des Anzeigegeräts (nur bei digitalen Anzeigeeinstrumenten).....	6
4.4.	Ansprechzeit.....	8
4.5.	Warmlaufzeit.....	8
4.6.	Fehlergrenze (MPE)	8
4.7.	Anforderungen an den Wirkungsgrad.....	8
4.8.	Linearitätsanforderungen	9
4.9.	Nullwert.....	10
4.10.	Abscheideeffizienz in Bezug auf flüchtige Partikel.....	10
4.11.	Stabilität im Zeitverlauf oder Drift	10
4.12.	Wiederholbarkeit.....	11
4.13.	Einflussgrößen.....	11
4.14.	Störungen	12
5.	Technische Anforderungen	14
5.1.	Konstruktion.....	14
5.2.	Voraussetzungen für die Gewährleistung eines ordnungsgemäßen Betriebs	15
6.	Messtechnische Kontrollen	16
6.1.	Baumusterprüfung.....	17
6.2.	Erstverifizierung.....	17
6.3.	Nachverifizierung.....	18
7.	Messverfahren	19
8.	PN-PTI-Grenzwert	21
9.	Liste der Quellen	21

Leitlinien für die Partikelzahlmessung

1. GELTUNGSBEREICH

Dieses Dokument enthält Leitlinien für die Prüfung der Partikelzahl (particle number, PN) während der regelmäßigen technischen Prüfung (periodic technical inspection, PTI). Die Messungen der PN-Konzentration während der PTI können bei allen Fahrzeugen der Klassen M und N durchgeführt werden, die mit Selbstzündungsmotoren und Dieselpartikelfiltern ausgestattet sind. Diese Leitlinien sollten auf leichte Nutzfahrzeuge mit Erstzulassung ab dem 1. Januar 2013 (Euro 5b und neuer) und auf schwere Nutzfahrzeuge mit Erstzulassung ab dem 1. Januar 2014 (Euro VI und neuer) angewendet werden.

2. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

Justierung: Reihe von Tätigkeiten, die an einem Messsystem ausgeführt werden, sodass dieses festgelegte Anzeigen liefert, die Werten einer zu messenden Größe entsprechen (VIM 3.11)

Zählwirkungsgrad: Das Verhältnis zwischen dem Messwert des PN-PTI-Geräts und dem Messwert eines rückführbaren Referenzinstruments oder -Messgeräts

Korrektur: Kompensation eines geschätzten systematischen Effekts (VIM 2.53)

Störung: Einflussgröße, deren Wert innerhalb der in diesen Richtlinien festgelegten Grenzen, aber außerhalb der Nenn-Betriebsbedingungen des Messgeräts liegt (OIML D 11)

Erweiterte Messunsicherheit: Produkt aus einer Standardmessunsicherheit, die man erhält, indem man die einzelnen Standardmessunsicherheiten verwendet, die den Eingangsgrößen des Modells der Messung beigeordnet werden, und einem Faktor, der größer als eins ist (VIM 2.35 und VIM 2.31)

HEPA-Filter (Hochleistungsschwebstofffilter): Ein Produkt, das Partikel mit einer Effizienz von mehr als 99,95 % aus der Luft entfernt (d. h. Klasse H13 oder höher gemäß EN 1822-1:2019)

Anzeige: Von einem Messgerät oder Messsystem gelieferter Größenwert (VIM 4.1)

Einflussgröße: Größe, die sich bei einer direkten Messung nicht auf die Größe auswirkt, die gerade gemessen wird, aber die Beziehung zwischen der Anzeige und dem Messergebnis beeinflusst (VIM 2.52)

Rechtlich relevante Software: Jeder Teil der Software, einschließlich gespeicherter Parameter, der einen Einfluss auf das berechnete, angezeigte, übertragene oder gespeicherte Messergebnis hat (OIML R 99)

Instandhaltung: Genau definierte periodische Wartungs- und periodische Justierungsarbeiten, um ein Messgerät in einem betriebsbereiten Zustand zu halten

Fehlergrenze (MPE): Extremwert einer Messabweichung in Bezug auf einen bekannten Referenzwert, durch Spezifikationen oder Vorschriften zugelassen für eine Messung, ein Messgerät oder ein Messsystem (VIM 4.26)

Messabweichung: Messwert minus einem Referenzwert (VIM 2.16)

Messergebnis: Menge von Größenwerten, die einer Messgröße zugewiesen sind, zusammen mit jeglicher verfügbarer relevanter Information (VIM 2.9)

Messbereich: Menge von Werten von Größen derselben Art, die unter bestimmten Bedingungen gemessen werden können, und zwar mit einem speziellen Messgerät oder Messsystem mit einer vorgegebenen Gerätemessunsicherheit (VIM 4.7)

Nationales Metrologieinstitut (NMI): Das für die Baumusterprüfung von PN-PTI-Geräten zuständige Metrologieinstitut eines Mitgliedstaats

Partikeldetektor: Vorrichtung oder Gerät, die bzw. das das Vorhandensein von Partikeln anzeigt, wenn ein Schwellenwert der PN-Konzentration überschritten wird

Partikel: Feste (thermisch stabile) Partikel mit einer Größe zwischen 23 nm und mindestens 200 nm, die vom Fahrzeug emittiert und in der Luftphase nach den in diesen Leitlinien beschriebenen Verfahren gemessen werden

– **Monodisperse Partikel:** Partikel mit einer sehr engen Verteilung um eine Partikelgröße

– **Polydisperse Partikel:** Partikel mit vielen verschiedenen Partikelgrößen

Partikelgröße: Mobilitätsdurchmesser, d. h. der Durchmesser einer Kugel mit der gleichen Wanderungsgeschwindigkeit in einem konstanten elektrischen Feld wie das betreffende Partikel

PN-PTI-Gerät: Gerät zur Messung der PN-Konzentration im Abgas von Verbrennungsmotoren, das während der PTI im Auspuffrohr eines Fahrzeugs entnommen wird

PN-PTI-Gerätetyp: Alle Geräte vom gleichen Hersteller mit dem gleichen Arbeitsprinzip, der gleichen Hard- und Software und den gleichen Berechnungs- und Korrekturalgorithmen

Bemessungsbetriebsbedingungen: Betriebsbedingungen, die während einer Messung erfüllt sein sollten, damit ein Messgerät oder Messsystem bestimmungsgemäß funktioniert (VIM 4.9)

Referenzbetriebsbedingung: Betriebsbedingung, die vorgeschrieben ist, um die Leistungsfähigkeit eines Messgeräts oder Messsystems zu bewerten oder um Messergebnisse zu vergleichen (VIM 4.11)

Auflösung eines visuell anzeigenden Messgeräts: Kleinste Differenz zwischen den Anzeigen, die sinnvoll unterschieden werden können (VIM 4.15)

Einstelldauer: Dauer zwischen dem Zeitpunkt, zu dem der Eingangsgrößenwert eines Messgeräts oder eines Messsystems einer abrupten Änderung zwischen zwei festgelegten konstanten Größenwerten unterworfen wird, und dem Zeitpunkt, an dem eine entsprechende Anzeige sich innerhalb festgelegter Grenzen auf ihren Beharrungswert einstellt (VIM 4.23, siehe OIML V 2-200 (2012), Internationales Wörterbuch der Metrologie. Grundlegende und allgemeine Begriffe und zugeordnete Benennungen im Quellenverzeichnis am Ende dieser Leitlinien)

Gerät zur Vorkonditionierung von Proben: Gerät zum Verdünnen und/oder Entfernen flüchtiger Partikel

Probenahmesonde: Rohr, das in das Auspuffrohr eines Fahrzeugs eingeführt wird, um Gasproben zu entnehmen (OIML R 99)

Erheblicher Fehler: Fehler, der größer ist als der Grenzwert der Messabweichung (MPE) bei der Erstverifizierung (OIML R 99)

Prüfungsergebnisse: Das endgültige Messergebnis für ein Fahrzeug, das mit dem in Abschnitt 7 beschriebenen PN-PTI-Messverfahren geprüft wurde

Rückführbar: Metrologische Rückführbarkeit, d. h. die Eigenschaft eines Messergebnisses, wobei das Ergebnis durch eine dokumentierte, ununterbrochene Kette von Kalibrierungen, von denen jede zur Messunsicherheit beiträgt, auf eine Referenz bezogen werden kann (VIM 2.41)

Verifizierung: Erbringung eines objektiven Nachweises, dass eine Betrachtungseinheit die spezifizierten Anforderungen erfüllt, im Rahmen der Prüfung und Kennzeichnung und/oder der Ausstellung eines Verifizierungszertifikats für ein Messsystem oder ein Messgerät (VIM 2.44)

Warmlaufzeit: Zeitspanne zwischen dem Anlegen der Spannung an ein Gerät und dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät die messtechnischen Anforderungen erfüllen kann (OIML R 99)

Einrichtung oder Verfahren zur Nullstellung: Einrichtung oder Verfahren, um die Anzeige des Geräts auf null zu setzen (OIML R 99)

3. BESCHREIBUNG DES GERÄTS UND DER AUFSCHRIFT

3.1. Beschreibung des PN-PTI-Geräts

Die wichtigsten Komponenten des PN-PTI-Geräts sollten sein:

- eine Probenahmesonde, die in das Auspuffrohr eines in Betrieb befindlichen Fahrzeugs eingeführt wird, um die Abgasprobe zu entnehmen;
- eine Probenahmeleitung für den Transport der Probe zum Gerät (optional);
- eine Probevorbehandlungsvorrichtung zum Verdünnen hoher Partikelkonzentrationen mit einem konstanten Verdünnungsfaktor und/oder zum Entfernen flüchtiger Partikel aus der Probe (optional);
- Detektionsgerät(e) zur Messung der PN-Konzentration der Gasprobe; eine Vorkonditionierung des Gases durch den Partikeldetektor ist zulässig;
- Gerät(e) zur Beförderung der Gase durch das Gerät. Falls die Partikel das/die Filter vor dem Detektionsgerät passieren, sollten die Kriterien für den Zählwirkungsgrad gemäß diesen Richtlinien dennoch erfüllt werden;
- Gerät(e) zur Vermeidung von Kondenswasserbildung in der Probenahmeleitung und im Gerät. Alternativ kann dies auch durch Erwärmen auf eine höhere Temperatur und/oder Verdünnen der Probe oder Oxidieren der (halb-)flüchtigen Bestandteile erreicht werden;
- Filter zum Entfernen von Partikeln, die eine Verunreinigung verschiedener empfindlicher Teile des PN-PTI-Geräts verursachen könnten. Falls die Partikel (ein) solche(s) Filter vor dem Detektionsgerät passieren, sollten die Kriterien für den Zählwirkungsgrad (siehe Abschnitt 4.7 gemäß diesen Richtlinien dennoch erfüllt werden);
- HEPA-Filter, um saubere Luft für den Nullwert und ggf. die NullwertEinstellung zu gewährleisten (in beiden Fällen optional);
- Anschlüsse für die Verifizierung vor Ort zur Einführung von Umgebungsluft- und Referenzpartikelproben, sofern dies für die verwendete Technologie erforderlich ist;
- eine Software zur Verarbeitung des Signals mit einer Anzeigevorrichtung zur Darstellung der Messergebnisse und eine Protokollierungsvorrichtung zur Erfassung und Speicherung von Daten;

- eine Kontrollvorrichtung zur Einleitung und Überprüfung des Gerätebetriebs und eine halbautomatische oder automatische Justierungsvorrichtung zur Einstellung der Gerätebetriebsparameter innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen.

3.2. Aufschrift

Wie in Anhang I der Richtlinie 2014/32/EU des Europäischen Parlaments und des Rates¹ vorgeschrieben, sollte das PN-PTI-Gerät mit (einem) dauerhaften, nicht übertragbaren und leicht lesbaren Etikett/Etiketten versehen sein. Für das Etikett bzw. die Etiketten gilt, dass sie die folgenden Informationen enthalten müssen:

- (1) Name des Herstellers, eingetragener Handelsname oder eingetragene Handelsmarke
- (2) Baujahr
- (3) Nummer der Baumusterprüfungsbescheinigung
- (4) Identitätskennzeichnung
- (5) Angaben zur elektrischen Leistung:
 - a) Im Falle von Netzstrom: die erforderliche Nenn-Netzspannung, -Frequenz und -Leistung
 - b) Im Falle der Stromversorgung durch eine Straßenfahrzeugbatterie: die Nennspannung der Batterie und die erforderliche Leistung
 - c) Im Falle einer internen herausnehmbaren Batterie: den Typ und die Nennspannung der Batterie
- (6) Die minimale und (falls zutreffend) die Nenn-Durchflussrate
- (7) Messbereich
- (8) Betriebsbereich für Temperatur, Druck und Feuchtigkeit.

Wenn aufgrund der Abmessungen des Geräts nicht alle Aufschriften angebracht werden können, sollten diese in die Bedienungsanleitung des Geräts aufgenommen werden. Es wird außerdem empfohlen, den Bereich der Lagerbedingungen (Temperatur, Druck, Feuchtigkeit) anzugeben.

Auf einem zusätzlichen Etikett sollte das Datum der letzten Überprüfung des PN-PTI-Geräts angegeben werden.

Bei PN-PTI-Geräten mit softwaregesteuerten messtechnischen Funktionen sollte die Kennzeichnung der rechtlich relevanten Software entweder auf dem Etikett enthalten sein oder auf dem Anzeigegerät angezeigt werden können.

3.3. Bedienungsanleitung

Der Hersteller sollte für jedes Gerät eine Bedienungsanleitung in der/den Sprache(n) des Landes bereitstellen, in dem es verwendet werden soll. Die Betriebsanleitung sollte Folgendes enthalten:

- eindeutige Anweisungen für Installation, Wartung, Reparaturen und zulässige Justierungen;

¹ Richtlinie 2014/32/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt (ABl. L 96 vom 29.3.2014, S. 149).

- die Zeitintervalle und die Verfahren für Wartung, Justierung und Verifizierung, die zur Einhaltung der Fehlergrenzen eingehalten werden;
- eine Beschreibung des Verfahrens für die Reinluft- und/oder Dichtheitsprüfung;
- falls zutreffend, das Verfahren der „Nullstellung“;
- Messverfahren für Umgebungsluft oder hohe PN-Konzentration (optional);
- die maximale und minimale Lagertemperatur;
- eine Erklärung zu den Nenn-Betriebsbedingungen (aufgeführt in Abschnitt 4.13) und anderen relevanten mechanischen und elektromagnetischen Umgebungsbedingungen;
- den Bereich der Betriebsumgebungstemperaturen, wenn er den unter den Nenn-Betriebsbedingungen (Abschnitt 4.13) angegebenen Bereich überschreitet;
- gegebenenfalls Angaben zur Kompatibilität mit Zusatzgeräten;
- besondere Betriebsbedingungen, z. B. eine Begrenzung der Länge des Signals oder der Daten oder besondere Bereiche für die Umgebungstemperatur und den atmosphärischen Druck;
- falls zutreffend, die technischen Daten der Batterie;
- eine Liste von Fehlermeldungen mit Erläuterungen.

4. MESSTECHNISCHE ANFORDERUNGEN

4.1. Anzeige des Messergebnisses

Das Gerät sollte Folgendes gewährleisten:

- Die PN pro Volumen wird als Anzahl der Partikel pro cm^3 ausgedrückt.
- Die Aufschriften für diese Einheit sind eindeutig der Anzeige zuzuordnen; zulässig sind „#/cm³“, „cm⁻³“, „Partikel/cm³“ und „1/cm³“.

4.2. Messbereich

Das Gerät sollte Folgendes gewährleisten:

- Der Mindestmessbereich – der unterteilt werden kann – reicht von 5000 $1/\text{cm}^3$ (Höchstwert für den unteren Bereich) bis zum doppelten PN-PTI-Grenzwert (Mindestwert für den oberen Bereich).
- Eine Überschreitung des Bereichs wird vom Gerät sichtbar angezeigt (z. B. Warnmeldung oder blinkende Zahl).
- Der Messbereich wird vom Hersteller des PN-PTI-Geräts angegeben und entspricht dem in diesem Abschnitt festgelegten Mindestbereich. Es wird empfohlen, dass der Anzeigebereich des PN-PTI-Geräts größer ist als der Messbereich und von null bis mindestens zum Fünffachen des PN-PTI-Grenzwerts reicht.

4.3. Auflösung des Anzeigegeräts (nur bei digitalen Anzeigeinstrumenten)

Das Gerät sollte Folgendes gewährleisten:

- PN-Konzentrationen als Messergebnisse werden leserlich, klar und eindeutig mit ihrer Einheit angezeigt.
- Die digitalen Zahlen sind mindestens 5 mm hoch.

- Die Anzeige bietet eine Mindestauflösung von 1000 l/cm^3 . Falls vom NMI gefordert, ist während der Baumusterprüfung/Erstverifizierung/Nachverifizierung Zugang zu einer Mindestauflösung von 100 l/cm^3 zwischen null und $50\,000 \text{ l/cm}^3$ möglich.

4.4. Ansprechzeit

Das Gerät sollte Folgendes gewährleisten:

- Zur Messung der PN-Konzentration zeigt das PN-PTI-Gerät einschließlich der Probenahmeleitung und der Probenvorbereitungsvorrichtung (falls vorhanden) innerhalb von 15 s nach dem Wechsel von HEPA-gefilterter Luft oder Umgebungsluft 95 % des Endwerts einer PN-Referenzprobe an.
- Optional kann dieser Test mit zwei verschiedenen PN-Konzentrationen durchgeführt werden.
- Das PN-PTI-Gerät kann mit einem Aufzeichnungsgerät versehen werden, um diese Anforderung zu überprüfen.

4.5. Warmlaufzeit

Das Gerät sollte Folgendes gewährleisten:

- Das PN-PTI-Gerät zeigt während der Warmlaufzeit keinen Messwert für die PN-Konzentration an.
- Nach der Warmlaufzeit erfüllt das PN-PTI-Gerät die in diesem Abschnitt genannten messtechnischen Anforderungen.

4.6. Fehlergrenze (MPE)

Die MPE bezieht sich auf den tatsächlichen Konzentrationswert (MPE_{rel}) oder einen absoluten Konzentrationswert (MPE_{abs}), je nachdem, welcher Wert größer ist.

- Referenzbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt 4.13): MPE_{rel} ist 25 % der tatsächlichen Konzentration, aber nicht niedriger als MPE_{abs}
- Bemessungsbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt 4.13): MPE_{rel} ist 50 % der tatsächlichen Konzentration, aber nicht niedriger als MPE_{abs}
- Störungen (siehe Abschnitt 4.14): MPE_{rel} ist 50 % der tatsächlichen Konzentration, aber nicht niedriger als MPE_{abs}

Es wird empfohlen, dass der MPE_{abs} kleiner oder gleich 25 000 1/cm³ ist.

4.7. Anforderungen an den Wirkungsgrad

Die Anforderungen an den Zählwirkungsgrad sind wie folgt:

	Partikelgröße oder geometrischer mittlerer Durchmesser [nm]	Zählwirkungsgrad [-]
Erforderlich	23 ±5 %	0,2–0,6
Optional	30 ±5 %	0,3–1,2
Erforderlich	50 ±5 %	0,6–1,3
Erforderlich	70 oder 80 ±5 %	0,7–1,3
Optional	100 ±5 %	0,7–1,3
Optional	200 ±10 %	0,5–3,0

- Der Zählwirkungsgrad wird mit monodispersen Partikeln der in diesem Abschnitt definierten Größen oder mit polydispersen Partikeln der in diesem Abschnitt definierten geometrischen mittleren Durchmesser (GMD) und einer geometrischen Standardabweichung (GSD) von höchstens 1,6 bestimmt.
- Die für die Wirkungsgradprüfungen verwendete Mindestkonzentration sollte höher sein als der untere Wert des Messbereichs des PN-PTI-Geräts, dividiert durch den in diesem Abschnitt für jede Partikelgröße festgelegten unteren Zählwirkungsgrad. Beispielsweise sollte bei einem unteren Wert des Messbereichs von 5000 1/cm³ bei 23 nm die vom Referenzsystem gemessene Konzentration der Partikel mindestens 25 000 1/cm³ betragen.
- Prüfungen des Zählwirkungsgrads werden unter Referenzbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt 4.13) mit thermisch stabilen und rußähnlichen Partikeln durchgeführt. Falls erforderlich, erfolgt eine Neutralisierung und/oder Trocknung der erzeugten Partikel vor dem Splitter zu den Referenz- und Prüfgeräten. Bei der Prüfung monodisperser Partikel beträgt die Korrektur für mehrfach geladene Partikel nicht mehr als 10 % (und wird angegeben).
- Das Referenzgerät ist ein rückführbares Faraday-Cup-Electrometer oder ein rückführbarer Partikelzähler mit einem Zählwirkungsgrad von > 0,5 bei 10 nm (bei polydispersen Partikeln gegebenenfalls in Kombination mit einem rückführbaren Partikelanzahlverdünner). Die erweiterte Messunsicherheit des Referenzsystems, gegebenenfalls einschließlich des Verdünners, beträgt weniger als 12,5 %, vorzugsweise aber höchstens ein Drittel der MPE bei Referenzbetriebsbedingungen.
- Wenn das PN-PTI-Gerät einen internen Justierungsfaktor enthält, sollte dieser für alle in diesem Abschnitt beschriebenen Prüfungen unverändert (fest) bleiben.
- Das gesamte PN-PTI-Gerät (d. h. einschließlich der Probenahmesonde und der Probenahmeleitung, sofern vorhanden) sollte die Anforderungen an den Zählwirkungsgrad erfüllen. Auf Antrag des Herstellers kann der Zählwirkungsgrad des PN-PTI-Geräts in getrennten Teilen unter repräsentativen Bedingungen im Gerät selbst geprüft werden. In diesem Fall erfüllt der Wirkungsgrad des gesamten PN-PTI-Geräts (d. h. die Multiplikation der Wirkungsgrade aller Teile) die Anforderungen an den Zählwirkungsgrad.

4.8. Linearitätsanforderungen

Die Linearitätsprüfung sollte Folgendes sicherstellen:

- Das gesamte PN-PTI-Gerät wird auf seine Linearität mit thermisch stabilen, polydispersen rußähnlichen Partikeln mit einem GMD von 70 ±10 nm und einer GSD von höchstens 1,6 geprüft.
- Das Referenzgerät ist ein rückführbarer Partikelzähler mit einem Zählwirkungsgrad von > 0,5 bei 10 nm. Das Referenzgerät kann um einen rückführbaren Verdünner ergänzt werden, um hohe Konzentrationen zu messen, aber die erweiterte Messunsicherheit des gesamten Referenzsystems (Partikelanzahlverdünner + Partikelzähler) bleibt unter 12,5 %, vorzugsweise aber höchstens ein Drittel der MPE bei Referenzbetriebsbedingungen.
- Die Linearitätsprüfungen werden mit mindestens neun verschiedenen Konzentrationen innerhalb des Messbereichs durchgeführt, wobei die Fehlergrenzen bei Referenzbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt 4.6) eingehalten werden müssen.

- Es wird empfohlen, bei den Prüfkonzentrationen den unteren Wert des Messbereichs, den geltenden PN-PTI-Grenzwert ($\pm 10\%$), den doppelten PN-PTI-Grenzwert ($\pm 10\%$) und den PN-PTI-Grenzwert mal 0,2 zu berücksichtigen. Mindestens eine Konzentration sollte zwischen dem PN-PTI-Grenzwert und dem höheren Wert des Messbereichs liegen, und mindestens drei Konzentrationen sollten gleichmäßig zwischen dem Punkt, an dem die Fehlergrenze von absolut zu relativ wechselt, und dem PN-PTI-Grenzwert verteilt sein.
- Wird das Gerät in Teilen geprüft, so kann die Linearitätsprüfung auf den Partikeldetektor beschränkt werden, jedoch sollten dann bei der Fehlerberechnung die Wirkungsgrade der übrigen Teile berücksichtigt werden.

Die Linearitätsanforderungen sind im Folgenden zusammengefasst:

Ort der Kontrolle	Referenz	Mindestanzahl der geprüften Konzentrationen	Fehlergrenze
NMI	Rückführbarer Partikelzähler mit rückführbarem Partikelanzahlverdünner	9	Referenzbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt 4.6)

4.9. Nullwert

Der Nullpunkt wird mit einem HEPA-Filter geprüft. Der Nullwert ist das durchschnittliche Signal des PN-PTI-Geräts mit einem HEPA-Filter am Eingang über einen Zeitraum von mindestens 15 s nach einer Stabilisierungszeit von mindestens 15 s. Der maximal zulässige Nullwert beträgt 5000 l/cm^3 .

4.10. Abscheideeffizienz in Bezug auf flüchtige Partikel

Die Prüfung der Abscheideeffizienz in Bezug auf flüchtige Partikel sollte sicherstellen, dass das System eine Abscheideeffizienz von $> 95\%$ für Tetracontan ($\text{C}_{40}\text{H}_{82}$) mit einem Mobilitätsdurchmesser von $30 \text{ nm} \pm 5\%$ und einer Konzentration zwischen $10\,000$ und $30\,000 \text{ l/cm}^3$ erreicht. Falls erforderlich, werden die Tetracontanpartikel vor dem Splitter zu den Referenz- und Prüfgeräten neutralisiert. Alternativ können auch polydisperse Tetracontanpartikel mit einem GMD zwischen 30 und 35 nm und einer Gesamtkonzentration zwischen $50\,000$ und $150\,000 \text{ l/cm}^3$ verwendet werden. In beiden Fällen (Prüfung mit monodispersen oder polydispersen Tetracontanpartikeln) gelten für das Referenzsystem die gleichen Anforderungen wie in Abschnitt 4.8 beschrieben.

Tests zur Abscheideeffizienz in Bezug auf flüchtige Partikel mit einer höheren Tetracontanpartikelgröße (monodispers) oder größerem GMD (polydispers) und/oder höheren Tetracontankonzentrationen als in diesem Abschnitt beschrieben können nur dann akzeptiert werden, wenn das PN-PTI-Gerät den Test besteht ($> 95\%$ ige Abscheideeffizienz).

4.11. Stabilität im Zeitverlauf oder Drift

Für die Stabilitätsprüfung wird das PN-PTI-Gerät gemäß der Bedienungsanleitung des Herstellers verwendet. Bei der Stabilitätsprüfung des Geräts ist sicherzustellen, dass die vom PN-PTI-Gerät unter stabilen Umgebungsbedingungen durchgeführten Messungen bei

Referenzbetriebsbedingungen innerhalb der Fehlergrenzen bleiben (siehe Abschnitt 4.6). Bei laufender Stabilitätsprüfung kann keine Justierung des PN-PTI-Geräts vorgenommen werden.

Ist das Gerät mit einer Einrichtung zum Driftausgleich ausgestattet, wie z. B. einem automatischen Nullabgleich oder einer automatischen internen Justierung, so dürfen diese Justierungen nicht zu einer Anzeige führen, die mit einer Messung eines externen Gases verwechselt werden kann. Die Stabilitätsmessungen werden über mindestens 12 Stunden (nicht notwendigerweise kontinuierlich) bei einer Nennkonzentration von mindestens 100 000 1/cm³ durchgeführt. Der Vergleich mit einem Referenzgerät (dieselben Anforderungen wie an das in Abschnitt 4.8 beschriebene Referenzsystem) wird mindestens stündlich durchgeführt. Eine beschleunigte Stabilitätsprüfung von 3 Stunden bei einer Nennkonzentration von mindestens 10 000 000 1/cm³ ist zulässig. In diesem Fall wird der Vergleich mit dem Referenzgerät stündlich durchgeführt, jedoch mit einer Nennkonzentration von 100 000 1/cm³.

4.12. Wiederholbarkeit

Die Wiederholbarkeitsprüfung sollte sicherstellen, dass bei 20 aufeinanderfolgenden Messungen derselben PN-Referenzprobe, die von derselben Person mit demselben Gerät in relativ kurzen Zeitabständen durchgeführt wurden, die experimentelle Standardabweichung der 20 Ergebnisse nicht mehr als ein Drittel der Fehlergrenzen (Referenzbetriebsbedingungen) für die betreffende Probe beträgt. Die Wiederholbarkeit wird mit einer Nennkonzentration von mindestens 100 000 1/cm³ geprüft. Zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Messungen wird dem PN-PTI-Gerät ein HEPA-gefilterter Luftstrom oder ein Umgebungsluftstrom zugeführt.

4.13. Einflussgrößen

- Im Folgenden werden die Referenzbetriebsbedingungen dargestellt. Es gilt die für „Referenzbetriebsbedingungen“ angegebene Fehlergrenze (siehe Abschnitt 4.6)

Umgebungstemperatur	20 °C ±2 °C
Relative Feuchtigkeit	50 % ±20 %
Luftdruck	Stabile Umgebung (±10 hPa)
Netzspannung	Nennspannung ±5 %
Netzfrequenz	Nennfrequenz ±1 %
Schwingen	Keine/vernachlässigbar
Spannung der Batterie	Nennspannung der Batterie

- Die Mindestanforderungen für die Prüfung unter Bemessungsbetriebsbedingungen sind nachstehend aufgeführt. Es gilt die für „Nenn-Betriebsbedingungen“ angegebene Fehlergrenze (siehe Abschnitt 4.6).

Umgebungstemperatur (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2, IEC 60068-3-1)	Von +5 °C (Messpegelindex 2 nach OIML D 11) (oder weniger, wenn vom Hersteller angegeben) bis +40 °C (Messpegelindex 1 nach OIML D 11) (oder mehr, wenn vom Hersteller angegeben). Wenn kritische interne Temperaturen des PN-PTI-Geräts außerhalb des Bereichs
---	---

	liegen, zeigt das Gerät den Messwert nicht an, und eine Warnung wird ausgegeben.
Relative Feuchtigkeit (IEC 60068-2-78, IEC 60068-3-4, IEC 60068-2-30)	Bis zu 85 %, keine Kondensation (Messpegelindex 1 nach OIML D 11) (bei Verwendung im Innenbereich) Bis zu 95 % kondensierend (bei Verwendung im Freien)
Luftdruck	860 hPa bis 1060 hPa
Netzspannung (IEC 61000-2-1, IEC 61000-4-1)	-15 % bis +10 % der Nennspannung (Messpegelindex 1 nach OIML D 11)
Netzfrequenz (IEC 61000-2-1, IEC 61000-2-2, IEC 61000-4-1)	±2 % der Nennfrequenz (Messpegelindex 1 nach OIML D 11)
Spannung der Batterie des Straßenfahrzeugs (ISO 16750-2)	12-V-Batterie: 9 V bis 16 V; 24-V-Batterie: 16 V bis 32 V
Spannung der internen Batterie	Niederspannung, wie vom Hersteller angegeben, bis zur Spannung einer neuen oder vollständig geladenen Batterie des angegebenen Typs

4.14. Störungen

Erhebliche Fehler, wie sie in den Fehlergrenzen für Störungen (siehe Abschnitt 4.6) spezifiziert sind, sollten entweder nicht auftreten oder mithilfe von Prüfeinrichtungen erkannt und beseitigt werden, wenn die unten beschriebenen Mindestkriterien für Störungen erfüllt sind.

Mechanische Stöße (IEC 60068-2-31)	Handgerät: 1 Fall aus 1 m Höhe an jeder Unterkante Tragbar: 1 Fall aus 25 mm Höhe an jeder Unterkante (Messpegelindex 1 nach OIML D 11)
Schwingen nur bei handgehaltenen Geräten (IEC 60068-2-47, IEC 60068-2-64, IEC 60068-3-8)	10 Hz bis 150 Hz, $1,6 \text{ ms}^{-2}$, $0,05 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$, -3 dB/Oktave (Messpegelindex 1 nach OIML D 11)
Wechselspannungseinbrüche, kurze Unterbrechungen und Reduzierungen (IEC 61000-4-11, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2)	0,5 Zyklen – Reduzierung auf 0 % 1 Zyklus – Reduzierung auf 0 % 25/30 ^(*) Zyklen – Reduzierung auf 70 % 250/300 ^(*) Zyklen – Reduzierung auf 0 % (*) Für 50 Hz bzw. 60 Hz (Messpegelindex 1 nach OIML D 11)

Burst (Transienten) im Wechselstromnetz (IEC 61000-4-4)	Amplitude 2 kV Wiederholffrequenz 5 kHz (Messpegelindex 3 nach OIML D 11)
Burst (Transienten) auf Signal-, Daten- und Steuerleitungen (IEC 61000-4-4)	Amplitude 1 kV Wiederholffrequenz 5 kHz (Messpegelindex 3 nach OIML D 11)
Überspannungen auf AC-Netzleitungen (IEC 61000-4-5)	Leitung zu Leitung 1,0 kV Leitung gegen Erde 2,0 kV (Messpegelindex 3 nach OIML D 11)
Überspannungen auf Signal-, Daten- und Steuerleitungen (IEC 61000-4-5)	Leitung zu Leitung 1,0 kV Leitung gegen Erde 2,0 kV (Messpegelindex 3 nach OIML D 11)
Elektrostatische Entladungen (IEC 61000-4-2)	6 kV Kontaktentladung 8 kV Luftentladung (Messpegelindex 3 nach OIML D 11)
Abgestrahlte, hochfrequente, elektromagnetische Felder (IEC 61000-4-3, IEC 61000-4-20)	80 (26*) MHz bis 6 GHz, 10 V/m (Messpegelindex 3 nach OIML D 11) * Für ein zu prüfendes Gerät ohne Verkabelung zur Durchführung der Prüfung beträgt die untere Grenzfrequenz 26 MHz.
Leitungsgebundene hochfrequente Felder (IEC 61000-4-6)	0,15 bis 80 MHz, 10 V (Leerlauf) (Messpegelindex 3 nach OIML D 11)
Netzfrequenz für Magnetfelder (IEC 61000-4-8)	Kontinuierlich 100 A/m Kurzzeitig 1000 A/m für 1 s (Messpegelindex 5 nach OIML D 11)
Für Geräte, die mit einer Fahrzeugbatterie betrieben werden:	
Elektrische, leitungsgeführte Störungen auf Versorgungsleitungen	Pulse 2a, 2b, 3a, 3b, Prüfstufe IV (ISO 7637-2)
Elektrische, leitungsgeführte Störungen auf anderen als Versorgungsleitungen	Pulse a und b, Prüfstufe IV (ISO 7637-3)
Lastabfall	Prüfung B (ISO 16750-2)

5. TECHNISCHE ANFORDERUNGEN

5.1. Konstruktion

Das Gerät sollte die folgenden Spezifikationen erfüllen:

- Alle Teile vom Abgasrohr bis zum Partikeldetektor, die mit Roh- und verdünntem Abgas in Berührung kommen, sind aus korrosionsbeständigem Material gefertigt und beeinflussen die Zusammensetzung der Gasprobe nicht. Das Material der Probenahmesonde hält der Abgastemperatur stand.
- Für das PN-PTI-Gerät wurden gute Verfahrensweisen zur Partikelentnahme angewandt, um die Partikelverluste zu minimieren.
- Die Probenahmesonde ist so konstruiert, dass sie mindestens 0,2 m (mindesten 0,05 m in begründeten Ausnahmefällen) in das Auspuffendrohr des Fahrzeugs eingeführt werden kann und unabhängig von der Einführtiefe und Form, Größe und Wandstärke des Auspuffrohrs durch eine Haltevorrichtung sicher fixiert wird. Die Bauweise der Probenahmesonde ermöglicht eine Probenahme am Einlass der Probenahmesonde, ohne dass die Wand des Auspuffendrohrs berührt wird.
- Das Gerät enthält entweder eine Vorrichtung, die die Bildung von Kondenswasser in der Probenahme- und der Messkomponente verhindert, oder einen Detektor, der einen Alarm auslöst und verhindert, dass ein Messergebnis angezeigt wird. Beispiele für Geräte oder Techniken, die die Kondensation von Wasser verhindern können, sind die Beheizung der Probenahmeleitung oder die Verdünnung mit Umgebungsluft in der Nähe der Probenahmesonde.
- Wenn aufgrund der Messtechnik eine Justierungsreferenz erforderlich ist, kann das Gerät auf einfache Weise eine solche Probenahme ermöglichen (z. B. einen Proben-/Justierungs-/Verifizierungsanschluss).
- Wenn das PN-PTI-Gerät mit einer Verdünnungseinheit ausgestattet ist, bleibt der Verdünnungsfaktor während einer Messung konstant.
- Das Gerät, das die Abgase führt, ist so angebracht, dass seine Vibrationen die Messungen nicht beeinträchtigen. Es kann vom Benutzer getrennt von den anderen Gerätekomponenten ein- und ausgeschaltet werden. Bei ausgeschaltetem Gerät kann jedoch keine Messung durchgeführt werden. Das Gaszuführungssystem sollte automatisch mit Umgebungsluft gespült werden, bevor das Gerät, das die Abgase führt, abgeschaltet wird.
- Das Gerät ist mit einer Vorrichtung ausgestattet, die anzeigt, wenn der Gasdurchfluss unter dem Mindestdurchfluss liegt und somit der Durchfluss auf ein Niveau sinkt, das dazu führen würde, dass die Erkennung entweder die Ansprechzeit oder die Fehlergrenze bei Referenzbetriebsbedingungen überschreitet (siehe 4.f). Darüber hinaus ist der Partikeldetektor je nach verwendeter Technologie mit Temperatur-, Strom-, Spannungs- oder anderen relevanten Sensoren ausgestattet, die kritische Parameter für den Betrieb des PN-PTI-Geräts überwachen, um die in diesen Leitlinien festgelegten Fehlergrenzen einzuhalten.
- Das Probenvorbereitungsgerät (sofern vorhanden) muss so luftdicht sein, dass der Einfluss der Verdünnungsluft auf die Messergebnisse nicht mehr als 5000 l/cm^3 beträgt.
- Das Gerät kann mit einer Schnittstelle ausgestattet sein, die den Anschluss an beliebige Peripheriegeräte oder andere Geräte ermöglicht, sofern die

messtechnischen Funktionen des/der Geräte(s) oder seine/ihre Messdaten nicht durch die Peripheriegeräte, durch andere miteinander verbundene Geräte oder durch auf die Schnittstelle einwirkende Störungen beeinflusst werden. Funktionen, die über eine Schnittstelle ausgeführt oder initiiert werden, erfüllen die entsprechenden Anforderungen und Bedingungen. Ist das Gerät an einen Datendrucker oder einen externen Datenspeicher angeschlossen, so ist die Datenübertragung vom Gerät zum Drucker so gestaltet, dass die Ergebnisse nicht verfälscht werden können. Es ist nicht möglich, ein Dokument auszudrucken oder die Messdaten in einem externen Gerät zu speichern (aus rechtlichen Gründen), wenn die Prüfeinrichtung(en) des Geräts einen erheblichen Fehler oder eine Störung feststellt/feststellen. Die PN-PTI-Geräteschnittstelle erfüllt die Anforderungen von OIML D 11 und OIML D 31.

- Das PN-PTI-Gerät hat eine Meldefrequenz von 1 Hz oder mehr.
- Das Gerät wurde nach den anerkannten Regeln der Technik entwickelt, um sicherzustellen, dass der Zählwirkungsgrad während des gesamten Tests stabil ist.
- Das PN-PTI-Gerät oder das Gerät mit der entsprechenden Software erlaubt die durch das in Abschnitt 7 beschriebene Messverfahren festgelegte Erfassungszeit und meldet die Messung und das Prüfungsergebnis entsprechend dem Messverfahren.
- Das PN-PTI-Gerät oder das Gerät mit der entsprechenden Software führt den Benutzer durch die Schritte, die in dem in Abschnitt 7 beschriebenen Messverfahren aufgeführt sind.
- Optional kann das PN-PTI-Gerät oder das Gerät mit der entsprechenden Software die Betriebsstunden im Messmodus zählen.

5.2. Voraussetzungen für die Gewährleistung eines ordnungsgemäßen Betriebs

- Wenn die Erkennung einer oder mehrerer Störungen durch den Einsatz automatischer Selbstprüfungseinrichtungen erfolgt, sollte es möglich sein, das ordnungsgemäße Funktionieren dieser Einrichtungen zu überprüfen.
- Das Gerät wird von einer automatischen Kontrolleinrichtung gesteuert, die so arbeitet, dass vor der Anzeige oder dem Ausdruck einer Messung alle Justierungen und alle anderen Parameter der Kontrolleinrichtung auf korrekte Werte oder einen korrekten Status (d. h. innerhalb der Grenzwerte) überprüft werden.
- Die folgenden Kontrollen sind integriert:
 - (1) Das PN-PTI-Gerät überwacht automatisch und kontinuierlich relevante Parameter, die einen wesentlichen Einfluss auf das verwendete Messprinzip haben (z. B. Probenvolumenstrom, Detektortemperatur). Treten unzulässige Abweichungen auf, wird kein Messwert angezeigt. Wenn das PN-PTI eine Arbeitsflüssigkeit benötigt, sind keine Messungen möglich, wenn der Füllstand nicht ausreichend ist.
 - (2) Speichertest mit eindeutiger Verifizierung der Software und Funktion der wichtigsten Baugruppen (automatisch nach jedem Einschalten, dann spätestens nach jedem Tageswechsel).
 - (3) Ein Reinluft- oder Dichtheitsprüfverfahren zur Ermittlung der spezifischen maximalen Undichtigkeit (mindestens bei jedem Selbsttest, empfohlen vor jeder Messung). Wenn der gemessene Wert größer als 5000 l/cm^3 ist, erlaubt das Gerät dem Benutzer keine Fortsetzung der Messung.

- (4) Wenn es das Messprinzip erfordert, ein Nullabgleich mit einem HEPA-Filter am Eingang des PN-PTI-Geräts (mindestens bei jedem Selbsttest, empfohlen vor jeder Messung).
- Optional kann in das PN-PTI-Gerät eine Prüfung der Umgebungsluft oder der hohen PN-Konzentration integriert sein, die vor dem Reinluft- oder Dichtheitsprüfverfahren durchgeführt wird und bei der das PN-PTI-Gerät eine über eine vordefinierte PN-Konzentration hinausgehende Partikelmenge feststellt.
 - Bei Geräten mit automatischer oder halbautomatischer Justierungsfunktion kann der Benutzer erst dann eine Messung durchführen, wenn die Justierung korrekt abgeschlossen ist.
 - Bei Geräten mit halbautomatischer Justierungsfunktion kann der Benutzer keine Messung vornehmen, wenn eine Justierung erforderlich ist.
 - Sowohl bei automatischer als auch halbautomatischer Justierungsfunktion kann eine Warnfunktion bezüglich einer erforderlichen Justierung vorgesehen werden.
 - An allen Teilen des Geräts, die nicht auf andere Weise gegen Eingriffe, die die Genauigkeit oder Unversehrtheit des Geräts beeinträchtigen könnten, geschützt sind, sind wirksame Versiegelungsvorrichtungen vorhanden. Dies gilt insbesondere für: a) Justierungsvorrichtungen, b) Softwareintegrität (siehe auch OIML D 31, normaler Risikograd, oder WELMEC 7.2, Anforderungen Risikoklasse C).
 - Die rechtlich relevante Software ist eindeutig identifiziert. Die Kennung wird angezeigt oder ausgedruckt: a) auf Befehl und b) während des Betriebs und c) beim Einschalten bei einem Messgerät, das aus- und wieder eingeschaltet werden kann. Es gelten alle einschlägigen Bestimmungen der normaler Risikograd OIML D 31 oder der Risikoklasse C WELMEC 7.2.
 - Die Software ist so geschützt, dass jeder Eingriff (z. B. Software-Updates, Parameteränderungen) nachweisbar ist. Es gelten alle einschlägigen Bestimmungen der normaler Risikograd OIML D 31 oder der Risikoklasse C WELMEC 7.2.
 - Die messtechnischen Eigenschaften eines Geräts werden weder durch das Anschließen an ein anderes Gerät noch durch ein Merkmal des angeschlossenen Geräts selbst noch durch ein entferntes Gerät, das mit dem Messgerät kommuniziert, in unzulässiger Weise beeinflusst (Anhang I der Richtlinie 2014/32/EU).
 - Ein batteriebetriebenes Gerät funktioniert mit neuen oder voll aufgeladenen Batterien des angegebenen Typs einwandfrei und funktioniert entweder weiterhin einwandfrei oder zeigt keine Werte an, wenn die Spannung unter dem vom Hersteller angegebenen Wert liegt. Für Straßenfahrzeugbatterien sind unter Bemessungsbetriebsbedingungen bestimmte Spannungsgrenzen vorgeschrieben (siehe Abschnitt 4.13).

6. MESSTECHNISCHE KONTROLLEN

Die messtechnischen Anforderungen werden in drei verschiedenen Stufen geprüft:

- Baumusterprüfung
- Erstverifizierung
- Nachverifizierung

6.1. Baumusterprüfung

Die Prüfung der Einhaltung der messtechnischen Anforderungen gemäß Abschnitt 4 und der technischen Anforderungen gemäß Abschnitt 5 wird für mindestens ein PN-PTI-Gerät durchgeführt, das den endgültigen Gerätetyp darstellt. Die Tests werden von einem NMI durchgeführt.

6.2. Erstverifizierung

Für jedes hergestellte PN-PTI-Gerät nimmt der Gerätehersteller oder eine von ihm gewählte benannte Stelle eine Erstverifizierung vor.

Die Erstverifizierung umfasst eine Linearitätsprüfung mit polydispersen Partikeln mit monomodaler Größenverteilung, GMD 70 ± 20 nm und GSD kleiner oder gleich 2,1. Die Linearitätsprüfung wird mit 5 PN-Referenzproben durchgeführt. Es gilt die Fehlergrenze bei Referenzbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt 4.6). Die Konzentration der fünf PN-Referenzproben reicht von einem Fünftel des PN-PTI-Grenzwerts bis zum Zweifachen des PN-PTI-Grenzwerts (einschließlich dieser beiden Konzentrationen, ± 10 %) und umfasst auch den PN-PTI-Grenzwert (± 10 %).

Das Referenzsystem besteht aus einem rückführbaren Partikelzähler mit einem Zählwirkungsgrad bei 23 nm, der größer oder gleich 0,5 ist oder die Anforderungen von Abschnitt 4.7 erfüllt. Mit dem Partikelzähler kann ein rückführbarer Verdüner verwendet werden. Die erweiterte Messunsicherheit des gesamten Referenzsystems bleibt unter als 12,5 %, beträgt vorzugsweise aber höchstens ein Drittel der MPE bei Referenzbetriebsbedingungen.

Das für die Ersteinrichtung verwendete Material ist thermisch stabil und rußähnlich. Es können auch andere Materialien (z. B. Salzpartikel) verwendet werden.

Die gesamte Versuchseinrichtung, die für die Erstverifizierung verwendet wird (Partikelgenerator, PN-PTI-Gerät und Referenzsystem), wird vom zuständigen NMI geprüft (vorzugsweise im Rahmen der Baumusterprüfung des PN-PTI-Geräts), und für die Baumusterprüfung des NMI wird ein Einrichtungskorrekturfaktor festgelegt. Der Einrichtungskorrekturfaktor berücksichtigt Unterschiede zwischen Baumusterprüfung und Erstverifizierung, die sich z. B. aus dem Partikelmaterial und der Partikelgrößenverteilung sowie den unterschiedlichen Referenzgeräten ergeben. Der Einrichtungskorrekturfaktor sollte über den genannten Konzentrationsbereich konstant sein (Variationskoeffizient kleiner als 10 %) und liegt vorzugsweise im Bereich zwischen 0,65 und 1,5. Bei einem Wechsel des Referenzsystems oder des Partikelgenerators wird die Versuchseinrichtung für die Erstverifizierung vom zuständigen NMI erneut überprüft.

Die Linearitätsanforderungen an die Erstverifizierung sind im Folgenden zusammengefasst:

Ort der Kontrolle	Referenz-Messgerät	Mindestanzahl von Konzentrationen	Fehlergrenze
Hersteller oder eine vom Hersteller gewählte notifizierte Stelle	Rückführbarer Partikelzähler (optional mit rückführbarem Verdüner)	5	Referenzbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt 4.6)

Zusätzliche Tests während der Erstverifizierung umfassen:

- eine Sichtprüfung zur Feststellung der Übereinstimmung mit dem zugelassenen PN-PTI-Gerätetyp,
- eine Überprüfung des Versorgungsspannungs- und -frequenzwerts am Einsatzort, um die Übereinstimmung mit den Angaben auf dem Etikett des Messgeräts festzustellen,
- eine Reinluft- oder Dichtheitsprüfung (wie in der Betriebsanleitung beschrieben),
- eine Nullwertprüfung (wie in Abschnitt 4.9 beschrieben), wenn sie von der Reinluft- oder Dichtheitsprüfung abweicht,
- eine Überprüfung bei niedrigem Gasdurchfluss durch Drosselung des Gaszuflusses zur Probenahmesonde,
- eine Überprüfung der Ansprechzeit.

Optional können Tests für hohe PN-Konzentration, Zählwirkungsgrad und Wiederholbarkeit durchgeführt werden.

6.3. Nachverifizierung

Eine Nachverifizierung der Genauigkeit des PN-PTI-Geräts sollte immer dann erfolgen, wenn der Gerätehersteller dies verlangt, spätestens jedoch ein Jahr nach der letzten Verifizierung. Die Nachverifizierung ist eine Prüfung, die bei drei verschiedenen Konzentrationen mit polydispersen Partikeln mit monomodaler Größenverteilung, GMD 70 ± 20 nm und GSD kleiner oder gleich 2,1 durchgeführt wird. Es gilt die Fehlergrenze bei Nenn-Betriebsbedingungen. Die für den Test verwendeten Konzentrationen betragen ein Fünftel des PN-PTI-Grenzwerts, den PN-PTI-Grenzwert und den doppelten PN-PTI-Grenzwert (Konzentrationen innerhalb von 20 %).

Die Nachverifizierung kann entweder (i) in den Räumlichkeiten des Herstellers oder einer vom Hersteller gewählten notifizierten Stelle oder (ii) am Einsatzort des PN-PTI-Geräts durchgeführt werden.

Wird die Nachverifizierung in den Räumlichkeiten des Herstellers oder einer vom Hersteller gewählten notifizierten Stelle unter Verwendung derselben genehmigten Einrichtung wie bei der Erstverifizierung durchgeführt, gilt der gleiche Einrichtungskorrekturfaktor.

Wenn die Nachverifizierung am Einsatzort des PN-PTI-Geräts durchgeführt wird, umfasst die tragbare Einrichtung einen tragbaren Partikelgenerator und ein tragbares Referenzsystem (rückführbarer Partikelzähler und optional ein rückführbarer Partikelanzahlverdünner).

Für die vom tragbaren Partikelgenerator gelieferte Partikelgrößenverteilung gilt die Anforderung, dass sie die/den in Abschnitt 6.2 definierte(n) GMD und GSD für insgesamt mindestens drei Stunden an drei verschiedenen Tagen unter denselben Bedingungen erfüllt, wie sie auch vor Ort herrschen werden. Für diese Prüfung gilt die Anforderung, dass sie mindestens einmal jährlich wiederholt wird.

Das tragbare Referenzsystem erfüllt dieselben Anforderungen wie die Referenzsysteme, die für die Linearitätsprüfungen bei der Erstverifizierung verwendet werden (siehe Abschnitt 6.2), aber seine erweiterte Messunsicherheit bei Nenn-Betriebsbedingungen bleibt unter 20 %, beträgt vorzugsweise aber höchstens ein Drittel der MPE bei Nenn-Betriebsbedingungen.

Die gesamte tragbare Versuchseinrichtung, die für die Nachverifizierung verwendet wird (tragbarer Partikelgenerator, PN-PTI-Gerät und Referenzsystem), wird vom zuständigen NMI geprüft, und für die Baumusterprüfung des NMI wird ein Einrichtungskorrekturfaktor festgelegt. Der Einrichtungskorrekturfaktor berücksichtigt Unterschiede zwischen

Baumusterprüfung und Nachverifizierung, die sich z. B. aus dem Partikelmaterial und der Partikelgrößenverteilung sowie den unterschiedlichen Referenzgeräten ergeben. Der Einrichtungskorrekturfaktor sollte über den genannten Konzentrationsbereich der Nachverifizierungsprüfung konstant sein (Variationskoeffizient kleiner als 10 %) und liegt vorzugsweise im Bereich zwischen 0,65 und 1,5. Bei einem Wechsel des tragbaren Referenzsystems oder des tragbaren Partikelgenerators ist eine neue Genehmigung durch das NMI erforderlich.

Die Linearitätsanforderungen an die Nachverifizierung sind im Folgenden zusammengefasst:

Ort der Kontrolle	Referenz-Messgerät	Mindestanzahl von Konzentrationen	Fehlergrenze
Hersteller oder Einrichtungen der notifizierten Stelle oder vor Ort	Rückführbarer Partikelzähler (optional mit rückführbarem Verdüner)	3	Bemessungsbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt 4.6)

Weitere Prüfungen während der Nachverifizierung umfassen:

- eine Sichtprüfung, um die Gültigkeit der vorherigen Verifizierung und das Vorhandensein aller erforderlichen Stempel, Siegel und Dokumente festzustellen,
- eine Reinluft- oder Dichtheitsprüfung (wie in der Betriebsanleitung beschrieben),
- eine Nullwertprüfung (wie in Abschnitt 4.9 beschrieben), wenn sie von der Reinluft- oder Leckageprüfung abweicht,
- eine Überprüfung bei niedrigem Gasdurchfluss durch Drosselung des Gaszuflusses zur Probenahmesonde,
- eine Überprüfung der Ansprechzeit,
- eine Prüfung auf hohe PN-Konzentration (optional).

7. MESSVERFAHREN

Die PN-Konzentrationsprüfung wird auf die in Abschnitt 1 beschriebenen Fahrzeuge angewandt und bestimmt die Partikel pro Kubikzentimeter in den Abgasen eines stehenden Fahrzeugs bei niedrigem Leerlaufbetrieb des Motors. Die Prüfung wird nicht während der Regeneration des DPF des Fahrzeugs durchgeführt.

Vorbereitung des Fahrzeugs

Zu Beginn der Prüfung sollte das Fahrzeug:

- warm sein, d. h. die Temperatur des Motorkühlmittels liegt bei $> 60\text{ °C}$, aber vorzugsweise bei $> 70\text{ °C}$;
- konditioniert sein, indem es eine Zeit lang im niedrigen Leerlauf betrieben wird und/oder im Stand auf eine Motordrehzahl von maximal 2000 U/min beschleunigt wird oder indem es gefahren wird. Die Konditionierung wird durchgeführt, um sicherzustellen, dass der DPF-Wirkungsgrad nicht durch eine kürzlich durchgeführte Regeneration beeinflusst wird. Als Konditionierungszeit gilt der Zeitraum, in dem der Motor eingeschaltet ist, einschließlich der Vorprüfungsphasen (z. B. Stabilisierungsphase). Die empfohlene Gesamt-Konditionierungszeit beträgt 300 s.

Ein Schnelltest ist bei einer Kühlmitteltemperatur von $< 60\text{ °C}$ möglich. Wenn das Fahrzeug die Prüfung jedoch nicht besteht, wird die Prüfung wiederholt, und das Fahrzeug sollte die Anforderungen an die Kühlmitteltemperatur und die Konditionierung erfüllen.

PN-PTI-Gerätevorbereitung

- Das PN-PTI-Gerät ist mindestens für die Dauer der vom Hersteller angegebenen Warmlaufzeit eingeschaltet.
- Die in Abschnitt 5 definierten Selbstprüfungen des Geräts überwachen die ordnungsgemäße Funktion des Geräts während des Betriebs und lösen im Falle einer Störung eine Warnung oder Meldung aus.

Vor jeder Prüfung wird der einwandfreie Zustand des Probenahmesystems überprüft, einschließlich der Kontrolle des Probenahmeschlauchs und der Sonde auf Beschädigungen.

Prüfverfahren

- Vor Beginn einer Messung werden die folgenden Daten aufgezeichnet:
 - a) amtliches Kennzeichen des Fahrzeugs,
 - b) Fahrzeug-Identifizierungsnummer,
 - c) Emissionsstufe gemäß Typgenehmigung (Emissionsnorm).
- Die Software des Partikelzählers führt den Bediener des Geräts automatisch durch den Prüfvorgang.
- Die Sonde wird mindestens 0,20 m in die Austrittsöffnung des Auspuffsystems eingeführt. In begründeten Ausnahmefällen, in denen eine Probenahme in dieser Tiefe nicht möglich ist, wird die Sonde mindestens 0,05 m tief eingeführt. Die Probenahmesonde berührt nicht die Wände des Auspuffrohrs.
- Hat das Auspuffsystem mehr als eine Austrittsöffnung, wird die Prüfung an allen Austrittsöffnungen durchgeführt, und der jeweilige PN-PTI-Grenzwert wird bei allen Prüfungen eingehalten. In diesem Fall gilt die höchste gemessene PN-Konzentration, die an den verschiedenen Austrittsöffnungen des Auspuffsystems gemessen wurde, als PN-Konzentration des Fahrzeugs.
- Das Fahrzeug läuft im niedrigen Leerlauf. Wenn der Motor eines Fahrzeugs nicht im Stand eingeschaltet wird, wird das Start-Stopp-System vom Prüfer deaktiviert. Für Hybrid- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge gilt die Anforderung, dass der Verbrennungsmotor eingeschaltet wird (z. B. durch Einschalten der Klimaanlage bei Hybriden oder durch Auswahl des Batterielademodus bei Plug-in-Hybriden).

- Nachdem die Sonde in das Auspuffrohr eingeführt wurde, werden für die PN-PTI-Prüfung die folgenden Schritte durchgeführt:
 - a) eine Stabilisierungsphase von mindestens 15 Sekunden bei Leerlaufdrehzahl des Motors. Optional können vor der Stabilisierungsphase 2 bis 3 Beschleunigungen bis zu einer maximalen Motordrehzahl von 2000 U/min durchgeführt werden;
 - b) nach der Stabilisierungsphase werden die PN-Emissionen gemessen. Die Dauer der Prüfung beträgt mindestens 15 s (Gesamtmessdauer). Das Prüfungsergebnis ist die durchschnittliche PN-Konzentration während der Messdauer. Beträgt die gemessene PN-Konzentration mehr als das Doppelte des PN-PTI-Grenzwerts, kann die Messung sofort abgebrochen werden, bevor 15 s abgewartet werden und das Prüfungsergebnis gemeldet wird.

Nach Abschluss des Prüfverfahrens meldet (und speichert oder druckt) das PN-PTI-Gerät die durchschnittliche PN-Konzentration des Fahrzeugs sowie die Meldung „BESTANDEN“ oder „NICHT BESTANDEN“.

- Ist das Prüfungsergebnis kleiner oder gleich dem PN-PTI-Grenzwert, meldet das Gerät „BESTANDEN“, und die Prüfung wurde bestanden.
- Ist das Prüfungsergebnis größer als der PN-PTI-Grenzwert, meldet das Gerät „NICHT BESTANDEN“, und die Prüfung wurde nicht bestanden.

8. PN-PTI-GRENZWERT

Fahrzeuge, die der in Abschnitt 1 beschriebenen PN-Konzentrationsprüfung unterzogen werden, sollten den PN-PTI-Grenzwert von 250 000 (1/cm³) einhalten, nachdem sie mit einem PN-PTI-Gerät, das die in diesen Richtlinien festgelegten Anforderungen erfüllt, und nach dem in Abschnitt 7 beschriebenen Messverfahren geprüft wurden.

Diese Richtlinien können auf einen einzelnen PN-PTI-Grenzwert von 250 000 (1/cm³) bis 1 000 000 (1/cm³) angewendet werden.

9. LISTE DER QUELLEN

ISO-Normen

ISO 16750-2 Ausg. 4.0 (2012), Straßenfahrzeuge - Umgebungsbedingungen und Prüfungen für elektrische und elektronische Ausrüstungen - Teil 2: Elektrische Beanspruchungen

ISO 7637-2 (2011) Straßenfahrzeuge - Elektrische, leitungsgeführte und gekoppelte Störungen - Teil 2: Elektrische, leitungsgeführte Störungen auf Versorgungsleitungen

ISO 7637-3 (2007) Straßenfahrzeuge - Elektrische Störungen durch Leitung und Kopplung - Teil 3: Fahrzeuge mit 12 V oder 24 V Bordnetz-Nennspannung; Übertragung von impulsförmigen elektrischen Störgrößen durch kapazitive und induktive Kopplung auf Leitungen, die keine Versorgungsleitungen sind

IEC-Normen

IEC 60068-2-1 Ausg. 6.0 (2007-03), *Grundlegende Umweltprüfverfahren* - Teil 2: *Prüfungen* – Abschnitt 1: Prüfgruppe A: *Kalt*

IEC 60068-2-2 Ausg. 5.0 (2007-07), *Umgebungseinflüsse* - Teil 2: *Prüfungen* – Abschnitt 1: *Prüfung B: Trockene Wärme*

IEC 60068-3-1 Ausg. 2.0 (2011-08), Umgebungseinflüsse – Teil 3: Unterstützende Dokumentation und Leitfaden – Abschnitt 1: Prüfverfahren Kälte und trockene Wärme

IEC 60068-2-78 Ausg. 2.0 (2012-10), *Umgebungseinflüsse* – Teil 2: *Prüfverfahren* – Abschnitt 78: Prüfung Cab: *Feuchte Wärme, konstant*

IEC 60068-2-30 Ausg. 3.0 (2005-08), Umgebungseinflüsse – Teil 2: Prüfverfahren – Abschnitt 30: Prüfung Db: Feuchte Wärme, zyklisch (12 + 12 Stunden)

IEC 60068-3-4 Ausg. 1.0 (2001-08), Umweltprüfungen – Teil 3: Unterstützende Dokumentation und Leitfaden – Abschnitt 4: Prüfungen mit feuchter Wärme

IEC 61000-2-1 Ausg. 1.0 (1990-05), Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2: Umgebung – Abschnitt 1: Beschreibung der Umgebung – Elektromagnetische Umgebung für niederfrequente leitungsgebundene Störungen und Signalisierung in öffentlichen Stromversorgungssystemen

IEC 61000-4-1 Ausg. 3.0 (2006-10), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 1: Übersicht über die Reihe IEC 61000-4

IEC 61000-2-2 Ausg. 1.0 (1990-05), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)* – Teil 2: *Umgebungsbedingungen* - Abschnitt 2: Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen

IEC 60068-2-31 Ausg. 2.0 (2008-05), Umgebungseinflüsse – Teil 2: Prüfverfahren - Abschnitt 31: Prüfung Ec: Schocks durch raue Handhabung, vornehmlich für Geräte

IEC 60068-2-47 Ausg. 3.0 (2005-4), Umgebungseinflüsse – Teil 2: Prüfverfahren – Abschnitt 47: Befestigung von Prüflingen für Schwing-, Stoß- und ähnliche dynamische Prüfungen

IEC 60068-2-64 Ausg. 2.0 (2008-04), Umgebungseinflüsse – Teil 2: Prüfverfahren – Abschnitt 64: Prüfung Fh: Schwingen, Breitbandrauschen (digital geregelt) und Leitfaden

IEC 60068-3-4 Ausg. 1.0 (2003-08), Umgebungseinflüsse – Teil 3: Unterstützende Dokumentation und Leitfaden – Abschnitt 8: Auswahl von Schwingprüfungen

IEC 61000-4-11 Ausg. 2.0 (2004-03), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 11: Prüfungen der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen

IEC 61000-6-1 Ausg. 2.0 (2005-3), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6: Fachgrundnormen – Abschnitt 1: Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe

IEC 61000-6-2 Ausg. 2.0 (2005-01), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6: Fachgrundnormen – Abschnitt 2: Störfestigkeit für Industriebereiche

IEC 61000-4-4 Ausg. 3.0 (2012-04), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 4: Prüfung der Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen/Burst

IEC 61000-4-5 Ausg. 2.0 (2005-11), Berichtigung 1 zu Ausg. 2.0 (2009-10) Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 5: Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen

IEC 61000-4-2 Ausg. 2.0 (2008-12), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 2: Prüfung der Störfestigkeit gegen elektrostatische Entladung

IEC 61000-4-3 Ausg. 3.2 (2010-04), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 3: Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder

IEC 61000-4-20 Ausg. 2.0 (2010-08), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 20: Messung der Störaussendung und Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-)Wellenleitern

IEC 61000-4-6 Ausg. 4.0 (2013-10), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 6: Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder

IEC 61000-4-8 Ausg. 2.0 (2009-09), Grundlegende EMV-Veröffentlichung – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Abschnitt 8: Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen

Europäische Normen

DIN-EN 1822-1:2019-10, Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) - Teil 1 Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung

OIML-Veröffentlichungen

OIML R 99-1 & 2 (2008), Instruments for measuring vehicle exhaust emissions

OIML V 2-200 (2012), Internationales Wörterbuch der Metrologie. Grundlegende und allgemeine Begriffe und zugeordnete Benennungen (VIM)

OIML D 11 (2013), General requirements for measuring instruments – Environmental conditions