

II

(Rechtsakte ohne Gesetzescharakter)

RECHTSAKTE VON GREMIEN, DIE IM RAHMEN INTERNATIONALER ÜBEREINKÜNFTE EINGESETZT WURDEN

Nur die von der UN/ECE verabschiedeten Originalfassungen sind international rechtsverbindlich. Der Status dieser Regelung und das Datum ihres Inkrafttretens sind der neuesten Fassung des UN/ECE-Statusdokuments TRANS/WP.29/343 zu entnehmen, das von folgender Website abgerufen werden kann:

<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>

Regelung Nr. 96 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Motoren mit Selbstzündung für land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen und nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, hinsichtlich der Emissionen von Schadstoffen aus dem Motor

Einschließlich des gesamten gültigen Textes bis:

Änderungsserie 04 – Tag des Inkrafttretens: 13. Februar 2014

INHALTSVERZEICHNIS

1. Anwendungsbereich
2. Begriffsbestimmungen und Abkürzungen
3. Antrag auf Genehmigung
4. Genehmigung
5. Vorschriften und Prüfungen
6. Einbau in das Fahrzeug
7. Übereinstimmung der Produktion
8. Maßnahmen bei Abweichungen in der Produktion
9. Änderung des genehmigten Typs und Erweiterung der Genehmigung
10. Endgültige Einstellung der Produktion
11. Übergangsbestimmungen
12. Namen und Anschriften der Technischen Dienste, die die Prüfungen für die Genehmigung durchführen, und der Typgenehmigungsbehörden

ANHÄNGE

- 1A Beschreibungsbogen Nr. ... zur Typgenehmigung betreffend Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Verbrennungsmotoren zum Einbau in nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte
 - Anlage 1 — Hauptmerkmale des (Stamm-)Motors
 - Anlage 2 — Hauptmerkmale der Motorenfamilie
 - Anlage 3 — Hauptmerkmale von Motortypen innerhalb der Motorenfamilie
- 1 B Merkmale der Motorenfamilie und Wahl des Stammmotors
- 2 Mitteilung
 - Anlage 1 — Ergebnisse der Prüfung
- 3 Anordnungen der Genehmigungszeichen

- 4A Methode zur Bestimmung der Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln
- Anlage 1 — Mess- und Probenahmeverfahren (NRSC, NRTC)
 - Anlage 2 — Kalibrierungsverfahren (NRSC, NRTC)
 - Anlage 3 — Datenauswertung und Berechnung
 - Anlage 4 — Analyse- und Probenahmesystem
- 4B Prüfverfahren für Selbstzündungsmotoren für land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen und mobile Maschinen und Geräte, die nicht für den Straßenverkehr bestimmt sind, hinsichtlich der Emissionen von Schadstoffen aus dem Motor
- Anlage A.1 (freigelassen)
 - Anlage A.2 — Statistiken
 - Anlage A.3 — Internationale Schwereformel von 1980
 - Anlage A.4 — Prüfung des Kohlenstoffdurchsatzes
 - Anlage A.5 (freigelassen)
 - Anlage A.6 (freigelassen)
 - Anlage A.7 — Berechnung der Emissionen in Mol
 - Anlage A.7.1 — Kalibrierung des Durchsatzes des verdünnten Abgases (CVS)
 - Anlage A.7.2 — Driftkorrektur
 - Anlage A.8 — Berechnung der Emissionen aufgrund der Masse
 - Anlage A.8.1 — Kalibrierung des Durchsatzes des verdünnten Abgases (CVS)
 - Anlage A.8.2 — Driftkorrektur
- 5 Prüfzyklen
- 6 Technische Daten des Bezugskraftstoffs für die Genehmigungsprüfungen und für die Kontrolle der Übereinstimmung der Produktion
- 7 Einbauvorschriften für Ausrüstung und Hilfseinrichtungen
- 8 Dauerhaltbarkeitsanforderungen
- 9 Vorschriften zur Gewährleistung des ordnungsgemäßen Arbeitens von Einrichtungen zur Begrenzung der NO_x-Emissionen
- Anlage 1 — Nachweisanforderungen
 - Anlage 2 — Beschreibung der Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen des Warnsystems und des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal
 - Anlage 3 — Nachweis der minimal akzeptablen Reagenskonzentration CD_{min}
- 10 Bestimmung von CO₂-Emissionen
- Anlage 1 — Bestimmung der CO₂-Emissionen für Motoren der Leistungsbereiche bis P
 - Anlage 2 — Bestimmung der CO₂-Emissionen für die Leistungsbereiche Q und R
1. ANWENDUNGSBEREICH
- Diese Regelung gilt für die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Motoren mit Selbstzündung,
- 1.1. die in Fahrzeugen der Klasse T⁽¹⁾ verwendet werden und im eingebauten Zustand eine Nettoleistung von mehr als 18 kW, aber nicht mehr als 560 kW haben,
 - 1.2. die in mobilen Maschinen und Geräten⁽¹⁾, die nicht für den Straßenverkehr bestimmt sind, verwendet werden und im eingebauten Zustand im Betrieb mit veränderlicher Drehzahl eine Nettoleistung von mehr als 18 kW, aber nicht mehr als 560 kW haben,
 - 1.3. die in mobilen Maschinen und Geräten⁽¹⁾, die nicht für den Straßenverkehr bestimmt sind, verwendet werden und im eingebauten Zustand im Betrieb mit fester Drehzahl eine Nettoleistung von mehr als 18 kW, aber nicht mehr als 560 kW haben.

⁽¹⁾ Entsprechend der Definition in der Gesamtresolution über Fahrzeugtechnik (R.E.3) (ECE/TRANS/WP.29/78/Rev. 2, Absatz 2) - www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29resolutions.html

2. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND ABKÜRZUNGEN
 - 2.1. Im Sinne dieser Regelung ist (sind)
 - 2.1.1. „Anpassungsfaktoren“ bei der periodischen (oder sporadischen) Regenerierung zu berücksichtigende Werte, die addiert werden (Anpassung nach oben und Anpassung nach unten) oder mit denen multipliziert wird;
 - 2.1.2. „Alterungszyklus“ der in der Phase der Betriebsstundenakkumulierung durchzuführende Betrieb der Maschine oder des Motors (Drehzahl, Last, Leistung);
 - 2.1.3. „Anwendbarer Emissionsgrenzwert“ ein für den Motor geltender Emissionsgrenzwert;
 - 2.1.4. „Genehmigung eines Motors“ die Genehmigung eines Motortyps oder einer Motorenfamilie hinsichtlich der Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus dem Motor;
 - 2.1.5. „Wasserkondensierung“ der Niederschlag wasserhaltiger Bestandteile aus der gasförmigen in die flüssige Phase. Die Wasserkondensierung ist abhängig von der Feuchtigkeit, dem Druck, der Temperatur und den Konzentrationen anderer Bestandteile, etwa der Schwefelsäure. Diese Parameter ändern sich in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit der Motor-Ansaugluft, der Feuchtigkeit der Verdünnungsluft, dem Verhältnis Luft zu Kraftstoff des Motors und der Kraftstoffzusammensetzung – einschließlich der im Kraftstoff enthaltenen Mengen von Wasserstoff und Schwefel;
 - 2.1.6. „Luftdruck“ der nasse, absolute, atmosphärische statische Druck. Wird der Luftdruck in einer Leitung gemessen, ist zu beachten, dass sichergestellt wird, dass die Druckverluste zwischen der Atmosphäre und der Messstelle vernachlässigbar sind, und die vom Durchfluss verursachten Änderungen des statischen Drucks in der Leitung sind zu berücksichtigen;
 - 2.1.7. „Kalibrierung“ der Vorgang, bei dem das Ansprechverhalten eines Messsystems so eingestellt wird, dass seine Messergebnisse innerhalb einer Spanne von Bezugssignalen liegen. Unterscheide hiervon „Überprüfung“;
 - 2.1.8. „Kalibriergas“ ein gereinigtes Gasgemisch, das zum Kalibrieren von Gasanalysatoren dient. Kalibriergase müssen die Anforderungen von Anhang 4B Absatz 9.5.1 erfüllen. Hinweis: Kalibriergase und Justiergase sind qualitativ dasselbe, unterscheiden sich aber hinsichtlich ihrer Hauptfunktion. In verschiedenen Prüfungen zur Überprüfung von Gasanalysatoren und Komponenten zur Probenbehandlung wird entweder auf Kalibriergase oder auf Justiergase Bezug genommen,
 - 2.1.9. „Motor mit Selbstzündung (Dieselmotor)“ ein Motor, der nach dem Prinzip der Selbstzündung arbeitet;
 - 2.1.10 „bestätigter und aktiver Diagnose-Fehlercode (DTC)“ ein DTC, der gespeichert wird, während das NCD-System feststellt, dass eine Funktionsstörung vorliegt;
 - 2.1.11. „Motor mit fester Drehzahl“ ein Motor, dessen Typgenehmigung oder Zertifizierung auf den Betrieb mit fester Drehzahl beschränkt ist. Motoren, bei denen der Festdrehzahlregler entfernt oder außer Betrieb gesetzt worden ist, gelten nicht mehr als Motoren mit fester Drehzahl;
 - 2.1.12. „Betrieb mit fester Drehzahl“ der Betrieb des Motors mittels eines Reglers, der die Bedieneingabe automatisch so steuert, dass die Drehzahl auch bei Veränderungen der Last gleich bleibt. Die Regler halten die feste Drehzahl nicht immer genau ein. Üblicherweise kann die Drehzahl (um 0,1 %-10 %) unter die Drehzahl ohne Last abfallen, so dass sich die Mindestdrehzahl in der Nähe des Punktes einstellt, an dem der Motor die größte Leistung abgibt;
 - 2.1.13. „laufende Regenerierung“ der Regenerierungsprozess eines Abgasnachbehandlungssystems, der entweder andauernd oder wenigstens einmal während des anwendbaren Zyklus der dynamischen Prüfung oder der abgestuften Phasenprüfung durchgeführt wird; das Gegenteil ist die periodische (oder sporadische) Regenerierung;
 - 2.1.14. „Umwandlungseffizienz des Nichtmethan-Cutters (NMC) E“ die Umwandlungseffizienz eines NMC, mit dem aus dem Stichprobengas außer dem Methan alle Kohlenwasserstoffe durch Oxidation entfernt werden. Im Idealfall beträgt die Umwandlung bei Methan 0 % ($E_{\text{CH}_4} = 0$) und bei den anderen Kohlenwasserstoffen, repräsentiert durch Ethan, 100 % ($E_{\text{C}_2\text{H}_6} = 100$ %). Um eine genaue Messung der NMHC zu ermöglichen, sind die beiden Wirkungsgrade zu bestimmen und zur Berechnung des Massendurchsatzes der NMHC-Emissionen für Methan und Ethan heranzuziehen. Unterscheide hiervon „Durchlassanteil“;
 - 2.1.15 „kritische emissionserhebliche Bauteile“ die Bauteile, die vorrangig für die Emissionsbegrenzung ausgelegt sind, nämlich alle Abgasnachbehandlungsanlagen, die elektronische Motorsteuereinheit mit den zugehörigen Sensoren und Aktoren sowie die AGR-Anlage einschließlich aller mit ihr zusammenhängenden Filter, Kühler, Steuerventile und Rohrleitungen;

- 2.1.16. „kritische emissionserhebliche Wartung“ die an den kritischen emissionserheblichen Bauteilen durchzuführende Wartung;
- 2.1.17. „Ansprechverzögerung“ der Zeitunterschied zwischen der Änderung der am Bezugspunkt zu messenden Komponente und der Systemantwort von 10 % der Endablesung (t_{10}), wobei die Probenahmesonde als Bezugspunkt gilt. Bei gasförmigen Bestandteilen ist dies die Verlagerungszeit der gemessenen Komponente von der Probenahmesonde zum Detektor (siehe Abbildung 3.1).
- 2.1.18. „DeNO_x-System“ ein Abgasnachbehandlungssystem zur Verringerung der Emission von Stickstoffoxiden (NO_x) (z. B. passive und aktive Mager-NO_x-Katalysatoren, NO_x-Adsorber und Systeme zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR));
- 2.1.19. „Taupunkt“ ein Maß der Feuchtigkeit; es wird angegeben als die Gleichgewichtstemperatur, bei der Wasser bei einem bestimmten Druck aus feuchter Luft mit einer bestimmten Feuchtigkeit kondensiert. Der Taupunkt wird als Temperatur in °C oder K angegeben und ist nur für den Druck gültig, bei dem er gemessen worden ist;
- 2.1.20. „Diagnose-Fehlercode“ die numerische oder alphanumerische Kennung zur Kennzeichnung oder Etikettierung einer Funktionsstörung der NO_x-Begrenzung;
- 2.1.21. „Einzelmodus“ eine Abart der stationären Prüfung mit Einzelprüfungen, wie in Anhang 4B Absatz 7.4.1.1 und Anhang 5 beschrieben.
- 2.1.22. „Drift“ die Abweichung zwischen einem Null- oder Kalibrierungssignal und dem jeweiligen, von einem Messinstrument unmittelbar nach seiner Verwendung in einer Emissionsprüfung ausgegebenen Wert, sofern das Messinstrument vor der Prüfung genullt und justiert worden ist;
- 2.1.23. „elektronisches Steuergerät“ eine elektronische Vorrichtung des Motors zur Steuerung von Motorparametern anhand von Daten, die die Motorsensoren liefern;
- 2.1.24. „Emissionsminderungssystem“ jedes Gerät, System oder Konstruktionsmerkmal, mit dem die Emissionen von geregelten Schadstoffen aus dem Motor gesteuert oder vermindert werden;
- 2.1.25. „Emissionsminderungsstrategie“ eine Kombination aus einem Emissionsminderungssystem mit einer Standard-Emissionsminderungsstrategie und einer Reihe von zusätzlichen Emissionsminderungsstrategien, die innerhalb des Gesamtkonzepts von Motoren oder nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten, in die ein Motor eingebaut ist, festgelegt werden;
- 2.1.26. „Dauerhaltbarkeitsperiode“ die Zahl der Stunden, die in Anhang 8 für die Ermittlung der Verschlechterungsfaktoren angegeben ist;
- 2.1.27. „emissionserhebliche Wartung“ die Wartung, die die Emissionen erheblich beeinflusst oder wahrscheinlich die Verschlechterung der Emissionsleistung des Fahrzeugs oder des Motors während des normalen Betriebs beeinflusst;
- 2.1.28. „Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie“ eine herstellereigene Einteilung der Motoren, die der Definition der Motorenfamilie entspricht, aber weiter unterteilt ist in Motorenfamilien, die ein ähnliches Abgasnachbehandlungssystem nutzen;
- 2.1.29. „Motorenfamilie“ eine vom Hersteller vorgenommene Klassifizierung von Motoren, bei denen aufgrund ihrer Bauart mit vergleichbaren Abgaswerten zu rechnen ist und die den Vorschriften des Absatzes 7 dieser Regelung entsprechen;
- 2.1.30. „geregelte Motordrehzahl“ die Betriebsdrehzahl des Motors, wenn sie vom eingebauten Regler gesteuert wird;
- 2.1.31. „Motorsystem“ der Motor, das Emissionsminderungssystem und die Kommunikationsschnittstellen (Hardware und Meldungen) zwischen dem (den) elektronischen Motorsteuergerät(en) und anderen Antriebs- oder Fahrzeugsteuergeräten;
- 2.1.32. „Motortyp“ eine Kategorie von Motoren, die sich in Anhang 1A Anlage 3 Absätze 1 bis 4 dieser Regelung festgelegten Hauptmerkmalen nicht voneinander unterscheiden;
- 2.1.33. „Abgasnachbehandlungssystem“ ein Katalysator, ein Partikelfilter, ein DeNO_x-System, eine DeNO_x-Partikelfilter-Kombination oder jede andere auf der Abgasseite des Motors installierte emissionsmindernde Vorrichtung. Die Abgasrückführung und Turbolader gelten nicht als Abgasnachbehandlungssystem, sondern als Bestandteil des Motors;

- 2.1.34. „Abgasrückführung“ eine Technik zur Emissionsminderung, bei der aus dem Brennraum/den Brennräumen ausgestoßenes Abgas zum Motor zurückgeleitet wird, wo es vor oder während der Verbrennung mit Ansaugluft vermischt wird. Die Erhöhung der Menge des Restabgases im Brennraum/in den Brennräumen, das vor oder während der Verbrennung mit Ansaugluft vermischt wird, durch entsprechende Ventilsteuerzeiten gilt nicht als Abgasrückführung im Sinne dieser Regelung;
- 2.1.35. „Vollstromverdünnung“ die Vermischung des gesamten Abgasstroms mit Verdünnungsluft vor Abtrennung eines Teils des verdünnten Abgases zur Analyse;
- 2.1.36. „gasförmige Schadstoffe“ Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe (unter Annahme eines Verhältnisses von $C_1H_{1,85}$) und Stickoxide, ausgedrückt als Stickstoffdioxid (NO_2)-Gleichwert.
- 2.1.37. „bestes fachliches Ermessen“ Entscheidungen, die im Einklang mit allgemein anerkannten wissenschaftlichen und technischen Grundsätzen sowie verfügbaren einschlägigen Informationen getroffen werden;
- 2.1.38. „HEPA-Filter“ Hochleistungsschwebstoff-Filter, die ihrer Einstufung zufolge gemäß der Norm ASTM F 1471-93 oder einer gleichwertigen Norm bei der Abscheidung von Partikeln einen anfänglichen Wirkungsgrad von 99,97 % erreichen;
- 2.1.39. „Kohlenwasserstoffe (HC)“ je nach Sachlage sämtliche Kohlenwasserstoffe (THC) oder Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMHC). Unter Kohlenwasserstoffen ist generell die Kohlenwasserstoffgruppe zu verstehen, auf der die Emissionsnormen für die jeweilige Art von Kraftstoff und Motor basieren;
- 2.1.40. „hohe Drehzahl (n_{hi})“ die höchste Motordrehzahl, bei der sich 70 % der Nennleistung (Anhang 4A) oder der Höchstleistung (Anhang 4B) einstellen;
- 2.1.41. „Leerlaufdrehzahl“ die niedrigste Motordrehzahl bei kleinster Last (größer oder gleich Last null), bei der die Motordrehzahl durch eine Motorreglerfunktion gesteuert wird. Bei Motoren ohne Reglerfunktionen zur Steuerung der Leerlaufdrehzahl gilt als Leerlaufdrehzahl der Wert, den der Hersteller für die geringstmögliche Drehzahl bei kleinster Last angibt. Achtung: Die Warmleerlaufdrehzahl ist die Leerlaufdrehzahl des warmgefahrenen Motors;
- 2.1.42. „Zwischendrehzahl“ die Motordrehzahl, die eine der folgenden Bedingungen erfüllt:
- a) Bei Motoren, die für den Betrieb in einem bestimmten Drehzahlbereich auf einer Vollast-Drehmomentkurve ausgelegt sind, ist die Zwischendrehzahl die Drehzahl beim angegebenen maximalen Drehmoment, wenn diese innerhalb eines Bereichs von 60 bis 75 % der Nenndrehzahl liegt.
 - b) Wenn die angegebene Drehzahl bei maximalem Drehmoment weniger als 60 % der Nenndrehzahl beträgt, beträgt die Zwischendrehzahl 60 % der Nenndrehzahl;
 - c) Wenn die angegebene Drehzahl bei maximalem Drehmoment mehr als 75 % der Nenndrehzahl beträgt, beträgt die Zwischendrehzahl 75 % der Nenndrehzahl,
- 2.1.43. „Linearität“ das Maß, in dem Messwerte mit den jeweiligen Bezugswerten übereinstimmen. Die Quantifizierung der Linearität erfolgt mittels einer linearen Regression von Paaren von Messwerten und Bezugswerten über eine Spanne erwarteter oder während der Prüfung beobachteter Werte;
- 2.1.44. „niedrige Drehzahl (n_{lo})“ die niedrigste Motordrehzahl, bei der sich 50 % der Nennleistung (Anhang 4A) oder der Höchstleistung (Anhang 4B) einstellen;
- 2.1.45. „Maximalleistung (P_{max})“ die vom Hersteller in kW angegebene Maximalleistung;
- 2.1.46. „Drehzahl des maximalen Drehmoments“ die Motordrehzahl, bei der nach Angabe des Herstellers das höchste Drehmoment zur Verfügung steht;
- 2.1.47. „Mittelwert einer Menge“ auf der Grundlage mit dem Durchschnitt gewichteter Mittelwerte der Mittelwert einer Menge nach proportionaler Wichtung entsprechend der jeweiligen Durchsatzrate;
- 2.1.48. „NCD-Motorenfamilie“ eine herstellereigene Einteilung von Motorsystemen, die dieselben Methoden zur Überwachung/Erkennung von NCM verwenden;
- 2.1.49. „Nettoleistung“ die Leistung in „ECE-Kilowatt“, die auf dem Prüfstand am Ende der Kurbelwelle oder einem entsprechenden Bauteil abgenommen und nach dem in Regelung Nr. 120 beschriebenen ECE-Verfahren zur Messung der Nettoleistung, des Nettodrehmoments und des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren für land- oder forstwirtschaftliche Zugmaschinen und geländegängige mobile Arbeitsmaschinen ermittelt wird;

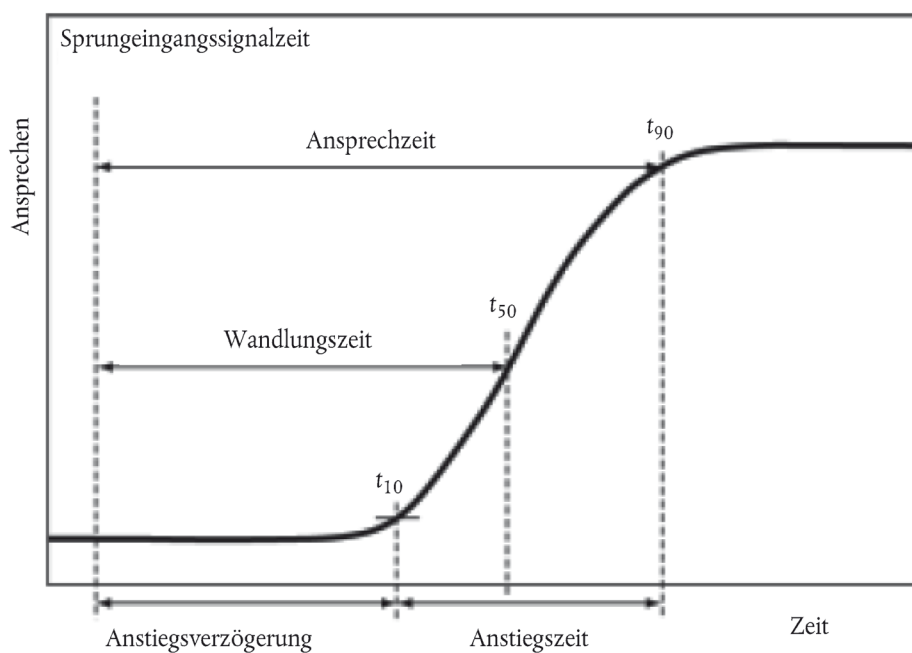
- 2.1.50. „emissionsunerhebliche Wartung“ die Wartung, die die Emissionen nicht erheblich beeinflusst und die Verschlechterung der Emissionsleistung des Fahrzeugs oder des Motors während des normalen Betriebs nicht dauerhaft beeinflusst, nachdem die Wartung durchgeführt worden ist;
- 2.1.51. „Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)“ die Summe aller Arten von Kohlenwasserstoffen mit Ausnahme des Methans;
- 2.1.52. „Diagnosesystem zur NO_x-Begrenzung (NCD)“ ein zum Motor gehörendes System mit der Fähigkeit,
- a) eine Funktionsstörung der NO_x-Begrenzung zu entdecken;
 - b) die wahrscheinliche Ursache von Funktionsstörungen der NO_x-Begrenzung anhand von im Computerspeicher gespeicherten Daten zu erkennen und/oder diese aus dem Fahrzeug hinaus zu übertragen;
- 2.1.53. „Funktionsstörung der NO_x-Begrenzung (NCM)“ ein Versuch eines unbefugten Eingriffs in das NO_x-Begrenzungssystem eines Motors oder eine dieses System beeinträchtigende und möglicherweise durch einen unbefugten Eingriff verursachte Funktionsstörung, die im Sinne dieser Regelung nach ihrer Entdeckung die Ausgabe einer Warnung oder die Einschaltung eines Aufforderungssystems erfordert;
- 2.1.54. „Emissionen aus dem offenen Kurbelgehäuse“ jeder beliebige Strom, der aus dem Kurbelgehäuse eines Motors unmittelbar in die Umwelt gelangt;
- 2.1.55. „Bedieneingabe“ die Eingabe zur Steuerung des Motors. Diese kann durch eine Bedienperson erfolgen (d. h. manuell) oder durch eine Steuervorrichtung (d. h. automatisch), wobei eine mechanische oder elektronische Stellgröße die Motorleistung anfordert. Die Eingabe kann erfolgen: über ein Gaspedal, einen Signalgeber, einen Drosselklappen-Hebel oder ein Drosselklappen-Steuersignal, einen Kraftstoff-Einstellhebel oder ein Kraftstoff-Einstellsignal, einen Drehzahl-Einstellhebel oder ein Drehzahl-Einstellsignal oder mittels der Einstellung oder der Signalgabe eines Motorreglers;
- 2.1.56. „Stickoxide“ Verbindungen, die bei Messungen nach den in dieser Regelung vorgeschriebenen Verfahren lediglich Stickstoff und Sauerstoff enthalten. Die Menge von Stickoxiden wird so angegeben, als ob alle Stickoxide in Form von NO₂ vorlägen; folglich wird für alle Stickstoffoxide als Molmasse der NO₂-Gleichwert verwendet.
- 2.1.57. „Stammmotor“ ein Motor, der aus einer Motorenfamilie so ausgewählt wird, dass seine Emissionen für diese Motorenfamilie repräsentativ sind und er den Vorschriften des Anhangs 1B dieser Regelung entspricht;
- 2.1.58. „Partialdruck“ der Druck p , der einem einzelnen Gas in einem Gasgemisch zuzuordnen ist. Für ein ideales Gas ist der Partialdruck geteilt durch den Gesamtdruck gleich der Stoffmengenkonzentration x des Bestandteils;
- 2.1.59. „Partikelnachbehandlungsvorrichtung“ ein Abgasnachbehandlungssystem zur Verringerung partikelförmiger Verunreinigungen mittels mechanischer, aerodynamischer, Diffusions- oder Trägheitsabscheidung;
- 2.1.60. „Teilstromverdünnung“ die Abtrennung eines Teils des Gesamtabgasstroms und die Vermischung dieses Teils mit einer ausreichenden Menge Verdünnungsluft vor dem Eintritt in den Partikel-Probenahmefilter;
- 2.1.61. „Partikelmaterie“ Stoffe, die nach Verdünnung der Dieselabgase mit gefilterter reiner Luft zur Herabsetzung der Temperatur auf höchstens 325 K (52 °C) an einem angegebenen Filtermaterial abgeschieden werden;
- 2.1.62. „Durchlassanteil“ die Abweichung von der idealen Arbeitsweise eines Nichtmethan-Cutters (siehe Umwandlungseffizienz des Nichtmethan-Cutters (NMC) E). Ein idealer Nichtmethan-Cutter würde für Methan einen Durchlassanteil PF_{CH_4} (*penetration fraction*) von 1,000 haben (d. h. eine auf Methan bezogene Umwandlungseffizienz E_{CH_4} von 0) und für alle anderen Kohlenwasserstoffe einen Durchlassanteil von 0,000, ausgedrückt als $PF_{C_2H_6}$ (d. h. eine auf Ethan bezogene Umwandlungseffizienz $E_{C_2H_6}$ von 1). Es gilt folgende Beziehung:
- $$PF_{CH_4} = 1 - E_{CH_4} \text{ und } PF_{C_2H_6} = 1 - E_{C_2H_6};$$
- 2.1.63. „Teillastverhältnis“ der prozentuale Anteil des höchsten zur Verfügung stehenden Drehmoments bei einer bestimmten Motordrehzahl;
- 2.1.64. „Sporadische (oder periodische) Regenerierung“ bedeutet die periodisch, typischerweise innerhalb von weniger als 100 Stunden normalen Motorbetriebs stattfindende Regenerierung eines Abgasnachbehandlungssystems. Während der Zyklen, in denen eine Regenerierung erfolgt, können die Emissionsgrenzwerte überschritten werden;

- 2.1.65. „Inverkehrbringen“ die Tätigkeit der entgeltlichen oder unentgeltlichen Bereitstellung eines unter diese Regelung fallenden Produkts auf dem Markt eines diese Regelung anwendenden Landes mit der Absicht der Verbreitung und/oder der Benutzung in dem Land;
- 2.1.66. „Sonde“ der erste Abschnitt der Leitung, durch die die Probe zum nächsten Bestandteil des Probenahmesystems befördert wird;
- 2.1.67. „PTFE“ Polytetrafluoroethylen, allgemein bekannt als Teflon™;
- 2.1.68. „gestufter stationärer Mehrphasenprüfzyklus“ eine Abfolge stationärer Prüfbedingungen des Motors mit für jede Stufe definierten Drehzahl- und Drehmomentvorgaben sowie mit definierten Drehzahl- und Drehmomentanstiegen zwischen den Prüfbedingungen;
- 2.1.69. „Nenn Drehzahl“ die vom Hersteller festgelegte Motordrehzahl, bei der bei Volllast abgeregelt wird, oder, wenn kein Drehzahlbegrenzer vorhanden ist, die Drehzahl, bei der die vom Hersteller festgelegte Höchstleistung des Motors erreicht wird;
- 2.1.70. „Reagens“ jedes sich verbrauchende oder nicht rückgewinnbare Medium, das für das ordnungsgemäße Arbeiten des Abgasnachbehandlungssystems erforderlich ist und entsprechend verwendet wird;
- 2.1.71. „Regeneration“ ein Ereignis, während dessen sich die Emissionspegel ändern, während die Nachbehandlungsleistung absichtlich wiederhergestellt wird. Die Regeneration kann zwei Formen annehmen: die laufende Regenerierung (siehe Anhang 4B Absatz 6.6.1) und die sporadische (periodische) Regenerierung (siehe Anhang 4B Absatz 6.6.2);
- 2.1.72. „Ansprechzeit“ der Zeitunterschied zwischen der Änderung der am Bezugspunkt zu messenden Komponente und der Systemantwort von 90 % der Endablesung (t_{90}), wobei die Probenahmesonde als Bezugspunkt gilt; dabei beträgt die Änderung der zu messenden Komponente wenigstens 60 % des Skalenendwerts und die Gasumschalteneinrichtungen müssen die Umschaltung in weniger als 0,1 s bewerkstelligen. Die Systemansprechzeit besteht aus der Ansprechverzögerung zum System und der Anstiegszeit des Systems;
- 2.1.73. „Anstiegszeit“ die Zeit für den Anstieg des angezeigten Messwertes von 10 % auf 90 % des Endwertes ($t_{90} - t_{10}$);
- 2.1.74. „Lesegerät“ ein externes Prüfgerät zur Kommunikation von außen mit dem NCD-System;
- 2.1.75. „Betriebsstundenkumulierungsplan“ der Alterungszyklus und die Betriebsstundenkumulierungsphase zur Bestimmung der Verschlechterungsfaktoren für die Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie;
- 2.1.76. „gemeinsames Luftdruckmessgerät“ ein Luftdruckmessgerät, dessen Ergebnis eine ganze Prüfeinrichtung mit mehr als einem Leistungsprüfstand als Luftdruckangabe nutzt;
- 2.1.77. „gemeinsame Luftfeuchtigkeitsmessung“ eine Luftfeuchtigkeitsmessung, die eine ganze Prüfeinrichtung mit mehr als einem Leistungsprüfstand als Luftfeuchtigkeitsangabe nutzt;
- 2.1.78. „justieren“ die Anpassung eines Messgerät, so dass es ein sachgerechtes Ergebnis für ein Kalibrierungsnorm liefert, das zwischen 75 % und 100 % des Höchstwerts des Messbereichs oder des voraussichtlich genutzten Bereichs darstellt;
- 2.1.79. „Justiergas“ ein gereinigtes Gasgemisch, dass zum Justieren von Gasanalysatoren dient. Justiergase müssen die Anforderungen von Absatz 9.5.1 erfüllen. Hinweis: Kalibriergase und Justiergase sind qualitativ dasselbe, unterscheiden sich aber hinsichtlich ihrer Hauptfunktion. Bei verschiedenen Überprüfungen der Leistung von Gasanalysatoren und Probebehandlungseinrichtungen wird unter Umständen entweder auf Kalibriergase oder auf Justiergase Bezug genommen;
- 2.1.80. „spezifische Emissionen“ als Masse in g/kWh ausgedrückte Emissionen;
- 2.1.81. „selbständig“ etwas, das keinen Abhängigkeiten unterliegt; es ist in der Lage, „selbst zu stehen“;
- 2.1.82. „stationär“ Emissionsprüfungen, bei denen Motordrehzahl und Last auf eine Anzahl nominell fester Werte beschränkt werden. Prüfungen im Einzelmodus oder abgestufte Prüfungen sind stationäre Prüfungen;
- 2.1.83. „Stöchiometrisch“ das besondere Verhältnis von Luft zu Kraftstoff, bei dem weder Kraftstoff noch Sauerstoff übrig bliebe, wenn der Kraftstoff vollständig oxidiert würde;

- 2.1.84. „Speichermedium“ ein besonderer Filter, Probenahmebeutel oder jede sonstige Aufbewahrungsvorrichtung, die für Losprüfungen verwendet wird;
- 2.1.85. „Prüfzyklus“ eine Abfolge von Prüfphasen mit jeweils einer bestimmten Drehzahl und einem bestimmten Drehmoment, die der Motor unter stationären bzw. dynamischen Bedingungen durchlaufen muss. Die Lastzyklen sind in Anhang 5 angegeben. Ein einzelner Lastzyklus kann aus einem Prüfintervall oder aus mehreren bestehen;
- 2.1.86. „Prüfintervall“ die Zeitspanne, in der die spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb ermittelt werden. In Fällen mit mehreren Prüfintervallen im Verlauf eines Lastzyklus können in der Regelung zusätzliche Berechnungen vorgeschrieben sein, mit denen Ergebnisse so gewichtet und zusammengestellt werden, dass sich für den Vergleich mit den anwendbaren Emissionsgrenzwerten zusammengesetzte Werte ergeben;
- 2.1.87. „Toleranz“ die Spanne, innerhalb deren 95 % der aufgezeichneten Werte einer bestimmten Menge liegen, während die übrigen 5 % der aufgezeichneten Werte außerhalb der Toleranz liegen. Die angegebenen Aufzeichnungshäufigkeiten und -zeitspannen sind zu benutzen, um zu ermitteln, ob eine Menge innerhalb der anwendbaren Toleranz liegt;
- 2.1.88. „sämtliche Kohlenwasserstoffe (THC)“ die Gesamtmasse der organischen Verbindungen, gemessen mit dem zur Messung sämtlicher Kohlenwasserstoffe angegebenen Verfahren und ausgedrückt als Kohlenwasserstoffe mit einem Wasserstoff-zu-Kohlenstoff-Massenverhältnis von 1,85:1;
- 2.1.89. „Wandlungszeit“ der Zeitunterschied zwischen der Änderung der Messgröße am Referenzpunkt und der Reaktion des Systems mit 50 % der Endablesung (t_{50}), wobei die Probenahmesonde als Referenzpunkt definiert ist. Die Wandlungszeit wird für den Signalabgleich verschiedener Messinstrumente verwendet. Siehe Abbildung 3.1;
- 2.1.90. „dynamischer Prüfzyklus“ ein Prüfzyklus, bei dem normierte Drehzahl- und Drehmomentwerte in relativ rascher Folge wechseln (NRTC).
- 2.1.91. „Typgenehmigung“ die Genehmigung eines Motortyps hinsichtlich seiner Emissionen, die gemäß den in dieser Regelung angegebenen Verfahren gemessen worden sind;
- 2.1.92. „Aktualisierungsrate“ die Häufigkeit, mit der das Analysegerät neue, aktuelle Werte liefert;
- 2.1.93. „Lebensdauer“ die Kilometerzahl und/oder die Zeitdauer, für die die einschlägigen Grenzwerte von Gas- und Partikelemissionen eingehalten werden müssen;
- 2.1.94. „Motor mit veränderlicher Drehzahl“ ein Motor, der kein Motor mit fester Drehzahl ist;
- 2.1.95. „Überprüfung“ die Bewertung, ob die Ergebnisse eines Messsystems einer Spanne angewandter Bezugssignale innerhalb einer oder mehrerer zuvor festgelegter Anerkennungsschwellen entsprechen. Unterscheide hiervon „Kalibrierung“;
- 2.1.96. „nullen“ die Anpassung eines Messgeräts mit dem Ziel, dass es für ein Null-Kalibrierungsnormal, etwa gereinigten Stickstoff oder gereinigte Luft zur Messung der Konzentration von Emissionsbestandteilen, ein Null-Ergebnis liefert;
- 2.1.97. „Nullgas“ ein Gas, das in einem Analysegerät ein Null-Ergebnis liefert. Dabei kann es sich um gereinigten Stickstoff, gereinigte Luft oder ein Gemisch aus gereinigter Luft und gereinigtem Stickstoff handeln.

Abbildung 1

Begriffe des Systemansprechverhaltens: Ansprechverzögerung (Absatz 2.1.17), Ansprechzeit (Absatz 2.1.72), Anstiegszeit (Absatz 2.1.73) und Wandlungszeit (Absatz 2.1.89)



2.2. Symbole und Abkürzungen

2.2.1. Symbole

Die Symbole sind in Anhang 4A Absatz 1.4 bzw. in Anhang 4B Absatz 3.2 erläutert.

2.2.2. Symbole und Abkürzungen für chemische Bestandteile

Ar: Argon

C₁: C₁-äquivalenter Kohlenwasserstoff

CH₄: Methan

C₂H₆: Ethan

C₃H₈: Propan

CO: Kohlenmonoxid

CO₂: Kohlendioxid

DOP: Dioctylphthalat

H: atomarer Wasserstoff

H₂: molekularer Wasserstoff

HC: Kohlenwasserstoff

H₂O: Wasser

He: Helium

N₂: molekularer Stickstoff

NMHC: Nichtmethan-Kohlenwasserstoff

NO_x: Stickoxide

NO: Stickoxid

NO ₂ :	Stickstoffdioxid
O ₂ :	Sauerstoff
PM:	Partikelmaterie
PTFE:	Polytetrafluorethylen
S:	Schwefel
THC:	Kohlenwasserstoffe insgesamt

2.2.3. Abkürzungen

ASTM:	American Society for Testing and Materials
BMD:	Beutel-Kleinverdünner
BSFC:	Kraftstoffverbrauch im Bremsbetrieb
CFV:	Venturirohr mit kritischer Strömung
CI:	Selbstzündung
CLD:	Chemilumineszenzdetektor
CVS:	Entnahmesystem mit konstantem Volumen
DeNO _x :	NO _x -Nachbehandlungssystem
DF:	Verschlechterungsfaktor
ECM:	Elektronisches Steuergerät
EFC:	elektronischer Durchsatzmesser
AGR:	(Abgasrückführung) Abgasrückführung
FID:	Flammenionisationsdetektor
GC:	Gaschromatograf
HCLD:	beheizter Chemilumineszenzanalysator
HFID:	beheizter Flammenionisationsdetektor
IBP:	Siedebeginn
ISO:	International Organization for Standardization
LPG:	Flüssiggas
NDIR:	nichtdispersives Infrarot (Analysator)
NDUV:	nichtdispersives Ultraviolett (Analysator)
NIST:	US National Institute for Standards and Technology
NMC:	Nichtmethan-Cutter
PDP:	Verdrängerpumpe
%FS:	% vom Skalenendwert
PFD:	Teilstrom-Verdünnung
PFS:	Teilstromsystem
PTFE:	Polytetrafluorethylen (allgemein bekannt als Teflon™)
RMC:	gestufter Mehrphasenzyklus
RMS:	Effektivwert
RTD:	Widerstandsthermometer
SAE:	Society of Automotive Engineers
SSV:	Venturirohr mit subsonischer Strömung

UCL: obere Vertrauensgrenze

UFM: Ultraschall-Durchflussmesser

3. ANTRAG AUF GENEHMIGUNG

3.1. Antrag auf Genehmigung eines Motors als selbständige technische Einheit

3.1.1. Der Antrag auf Erteilung einer Genehmigung für einen Motor oder eine Motorenfamilie hinsichtlich der Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel ist vom Motorhersteller oder seinem ordentlich bevollmächtigten Vertreter einzureichen.

3.1.2. Dem Antrag ist in dreifacher Ausfertigung Folgendes beizufügen:

Eine Beschreibung des Motortyps mit den Angaben nach Anhang 1A dieser Regelung und gegebenenfalls den Angaben zur Motorenfamilie nach Anhang 1B dieser Regelung.

3.1.3. Ein Motor mit den Motortypmerkmalen nach Anhang 1A ist dem Technischen Dienst, der die Prüfungen für die Genehmigung nach Absatz 5 durchführt, zur Verfügung zu stellen. Wenn der Technische Dienst feststellt, dass der zur Verfügung gestellte Motor der in Anhang 1A Anlage 2 beschriebenen Motorenfamilie nicht ganz entspricht, ist ein Alternativmotor und gegebenenfalls ein zusätzlicher Motor für die Prüfung nach Absatz 5 zur Verfügung zu stellen.

4. GENEHMIGUNG

4.1. Entspricht der zur Genehmigung nach Absatz 3.1 dieser Regelung vorgeführte Motor den Vorschriften des Absatzes 5.2, so ist die Genehmigung für diesen Motortyp oder diese Motorenfamilie zu erteilen.

4.2. Jede Genehmigung eines Motortyps oder einer Motorenfamilie umfasst die Zuteilung einer Genehmigungsnummer. Ihre ersten beiden Ziffern bezeichnen die Änderungsserie mit den neuesten, wichtigsten technischen Änderungen, die zum Zeitpunkt der Erteilung der Genehmigung in die Regelung aufgenommen sind. Dieselbe Vertragspartei darf diese Nummer weder einem anderen Motortyp noch einer anderen Motorenfamilie zuteilen.

4.3. Über die Erteilung oder Erweiterung oder Versagung einer Genehmigung für einen Motortyp oder eine Motorenfamilie nach dieser Regelung sind die Vertragsparteien des Übereinkommens von 1958, die diese Regelung anwenden, mit einem Mitteilungsblatt zu unterrichten, das gegebenenfalls dem Muster in Anhang 2 dieser Regelung entspricht. Die während der Typprüfung gemessenen Werte sind ebenfalls anzugeben.

4.4. An jedem Motor, der einem Motortyp oder einer Motorenfamilie entspricht, die nach dieser Regelung genehmigt worden ist, ist sichtbar und an gut zugänglicher Stelle ein internationales Genehmigungszeichen anzubringen, bestehend aus

4.4.1. einem Kreis, in dem sich der Buchstabe „E“ und die Kennzahl des Landes befinden, das die Genehmigung erteilt hat ⁽¹⁾;

4.4.2. der Nummer dieser Regelung mit dem nachgestellten Buchstaben „R“, einem Bindestrich und der Genehmigungsnummer rechts neben dem in Absatz 4.4.1 beschriebenen Kreis

4.4.3. und einem zusätzlichen Zeichen in Form zweier Buchstaben, deren erster einer der Buchstaben von D bis R ist und zur Angabe des Emissionspegels dient (Absatz 5.2.1), der bei der Genehmigung der Motorenfamilie berücksichtigt wurde, und deren zweiter entweder der Buchstabe A ist, wenn die Motorenfamilie für den Betrieb mit veränderlichen Drehzahlen zertifiziert ist, oder B, wenn die Motorenfamilie für den Betrieb mit fester Drehzahl zertifiziert ist.

4.5. Entspricht der Motor einem Motortyp oder einer Motorenfamilie, die auch nach einer oder mehreren anderen Regelungen zum Übereinkommen in dem Land genehmigt wurde, das die Genehmigung nach dieser Regelung erteilt hat, so braucht das vorgeschriebene Zeichen nicht wiederholt zu werden; in diesem Fall sind die Regelungs- und Genehmigungsnummern und die zusätzlichen Zeichen aller Regelungen, aufgrund deren die Genehmigung in dem Land erteilt wurde, das die Genehmigung nach dieser Regelung erteilt hat, untereinander rechts neben dem Zeichen nach Absatz 4.4.2 anzuordnen.

⁽¹⁾ Die Kennzahlen der Vertragsparteien des Übereinkommens von 1958 finden sich in Anhang 3 der Gesamtresolution über Fahrzeugtechnik (R.E.3), Dokument TRANS/WP.29/78/Rev.2/Amend.1 – ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.2/Amend.1 – www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29resolutions.html

- 4.6. Das Genehmigungszeichen ist in der Nähe des vom Hersteller an dem Motor des genehmigten Typs angebrachten Typschilds oder auf diesem selbst anzugeben.
- 4.7. Anhang 3 zeigt Beispiele der Anordnung der Genehmigungszeichen.
- 4.8. Der als selbständige technische Einheit zugelassene Motor muss außer dem Genehmigungszeichen folgende Angaben tragen:
- 4.8.1. die Fabrik- oder Handelsmarke des Motorenherstellers,
- 4.8.2. die vom Hersteller vergebene Motornummer.
- 4.9. Diese Aufschriften müssen deutlich lesbar und dauerhaft sein.

5. VORSCHRIFTEN UND PRÜFUNGEN

5.1. Allgemein

Die Teile, die einen Einfluss auf die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel haben können, müssen so beschaffen, gebaut und montiert sein, dass der Motor bei betriebsüblicher Beanspruchung trotz der dabei möglicherweise auftretenden Erschütterungen den Vorschriften dieser Regelung entspricht.

- 5.1.1. Der Hersteller muss technische Vorkehrungen treffen, um die wirksame Begrenzung der genannten Emissionen während der üblichen Nutzlebensdauer des Motors und unter normalen Betriebsbedingungen gemäß dieser Regelung zu gewährleisten. Diese Vorschriften gelten als erfüllt,
- a) wenn die Vorschriften der Absätze 5.2.1 bzw. 7.2.2.1 erfüllt sind und
- b) wenn zusätzlich für Motoren der Leistungsbereiche L und darüber die Vorschriften des Absatzes 5.3 erfüllt sind.
- 5.1.2. Für Motoren der Leistungsbereiche H und darüber muss der Hersteller die Lebensdauer des Motors und der Abgasnachbehandlungsvorrichtung ggf. gemäß Anhang 8 nachweisen.
- 5.1.3. Eine planmäßige Auswechslung emissionsrelevanter Teile nach einer bestimmten Betriebszeit des Motors ist zulässig. Jede in regelmäßigen Abständen erfolgende Einstellung, Reparatur, Demontage, Reinigung oder Auswechslung der Motorbauteile oder Systeme mit dem Ziel, eine Funktionsstörung des Motors zu verhindern, darf nur in dem Umfang durchgeführt werden, der technisch erforderlich ist, um eine ordnungsgemäße Funktion des Emissionsbegrenzungssystems zu gewährleisten. Dementsprechend sind Vorschriften über die regelmäßige Wartung in die für den Kunden bestimmte Betriebsanleitung aufzunehmen und vor Erteilung der Genehmigung zu genehmigen. Für Motoren der Leistungsbereiche L und darüber sind weitere Angaben gemäß den Vorschriften des Absatzes 5.3.3 aufzunehmen.
- 5.1.4. Der entsprechende Auszug aus dem Handbuch, der sich auf die Wartung/den Austausch der Nachbehandlungseinrichtung(en) bezieht, muss in dem Formblatt wiedergegeben sein, das den Anlagen zu Anhang 1A dieser Regelung entspricht.

5.2. Vorschriften hinsichtlich der Schadstoffemissionen

Die gasförmigen und Partikelbestandteile, die der zu prüfende Motor ausstößt, werden für die Leistungsbereiche bis einschließlich P nach den in Anhang 4A beschriebenen Methoden und für die Leistungsbereiche Q und R nach den Methoden in Anhang 4B gemessen. Auf Antrag des Herstellers und mit Genehmigung der Typgenehmigungsbehörde können die in Anhang 4B beschriebenen Methoden für die Leistungsbereiche bis einschließlich P verwendet werden.

- 5.2.1. Die jeweils ermittelten Kohlenmonoxid-, Kohlenwasserstoff-, Stickoxid- und Partikelemissionen dürfen die in der nachstehenden Tabelle angegebenen Werte nicht übersteigen:

Leistungs- bereich	Nettoleistung (P) (kW)	Kohlenmonoxid (CO) (g/kWh)	Kohlenwasserstoffe (HC) (g/kWh)	Stickoxide (NOx) (g/kWh)	Partikelmaterie (PM) (g/kWh)
E	$130 \leq P \leq 560$	3,5	1,0	6,0	0,2
F	$75 \leq P < 130$	5,0	1,0	6,0	0,3
G	$37 \leq P < 75$	5,0	1,3	7,0	0,4
D	$18 \leq P < 37$	5,5	1,5	8,0	0,8

Leistungsbereich	Nettoleistung (P) (kW)	Kohlenmonoxid (CO) (g/kWh)	Kohlenwasserstoffe (HC) (g/kWh)	Stickoxide (NOx) (g/kWh)	Partikelmaterie (PM) (g/kWh)
	Nettoleistung (P) (kW)	Kohlenmonoxid (CO) (g/kWh)	Summe der Kohlenwasserstoffe und Stickoxide (HC + NOx) (g/kWh)		Partikelmaterie (PM) (g/kWh)
H	$130 \leq P \leq 560$	3,5	4,0		0,2
I	$75 \leq P < 130$	5,0	4,0		0,3
J	$37 \leq P < 75$	5,0	4,7		0,4
K	$19 \leq P < 37$	5,5	7,5		0,6
	Nettoleistung (P) (kW)	Kohlenmonoxid (CO) (g/kWh)	Kohlenwasserstoffe (HC) (g/kWh)	Stickoxide (NOx) (g/kWh)	Partikelmaterie (PM) (g/kWh)
L	$130 \leq P \leq 560$	3,5	0,19	2,0	0,025
M	$75 \leq P < 130$	5,0	0,19	3,3	0,025
N	$56 \leq P < 75$	5,0	0,19	3,3	0,025
			Summe der Kohlenwasserstoffe und Stickoxide (HC + NOx) (g/kWh)		
P	$37 \leq P < 56$	5,0		4,7	0,025
	Nettoleistung (P) (kW)	Kohlenmonoxid (CO) (g/kWh)	Kohlenwasserstoffe (HC) (g/kWh)	Stickoxide (NOx) (g/kWh)	Partikelmaterie (PM) (g/kWh)
Q	$130 \leq P \leq 560$	3,5	0,19	0,4	0,025
R	$56 \leq P < 130$	5,0	0,19	0,4	0,025

Die Grenzwerte für die Leistungsbereiche H bis R beinhalten die gemäß Anhang 8 berechneten Verschlechterungsfaktoren.

- 5.2.2. Umfasst eine nach Anhang 1B festgelegte Motorenfamilie mehr als einen Leistungsbereich, so müssen die Emissionswerte des Stammotors (Typgenehmigung) und aller Motortypen innerhalb dieser Familie (Übereinstimmung der Produktion) den strengeren Vorschriften für den höheren Leistungsbereich entsprechen.
- 5.2.3. Zusätzlich gelten folgende Anforderungen:
- a) Dauerhaltbarkeitsanforderungen gemäß Anhang 8 dieser Regelung;
 - b) Bestimmungen über den Motorsteuerbereich gemäß Absatz 5.3.5 dieser Regelung für Prüfungen von Motoren nur der Leistungsbereiche Q bis R;
 - c) Anforderungen an die Berichterstattung über CO₂ gemäß Anhang 10 Anlage 1 für Prüfungen nach Anhang 4A oder gemäß Anhang 10 Anlage 2 für Prüfungen nach Anhang 4B dieser Regelung;
 - d) die Anforderungen des Absatzes 5.3 für elektronisch gesteuerte Motoren der Leistungsbereiche L bis R.
- 5.3. Typgenehmigungsanforderungen für die Leistungsbereiche L bis R
- 5.3.1. Dieser Absatz gilt für die Typgenehmigung elektronisch gesteuerter Motoren, bei denen sowohl die Menge des eingespritzten Kraftstoffs als auch der Zeitpunkt der Einspritzung elektronisch gesteuert wird (nachfolgend „Motoren“ genannt). Dieser Absatz gilt ungeachtet der Technik, die bei solchen Motoren zum Einsatz kommt, um die Emissionsgrenzwerte nach Absatz 5.2.1 dieser Regelung einzuhalten.

5.3.2. Allgemeine Anforderungen

5.3.2.1. Anforderungen an die Standard-Emissionsminderungsstrategie

5.3.2.1.1. Die Standard-Emissionsminderungsstrategie, die über den gesamten Drehzahl- und Lastbereich des Motors aktiviert ist, muss so gestaltet sein, dass der Motor die Anforderungen dieser Regelung erfüllt.

5.3.2.1.2. Eine Standard-Emissionsminderungsstrategie, die beim Motorbetrieb zwischen einem genormten Prüfzyklus für die Typgenehmigung und anderen Betriebsbedingungen unterscheiden kann und die zu einer geringeren Emissionsminderungsleistung führt, wenn sie nicht unter den im Typgenehmigungsverfahren vorgesehenen Bedingungen arbeitet, ist unzulässig.

5.3.2.2. Anforderungen an die zusätzliche Emissionsminderungsstrategie

5.3.2.2.1. Eine zusätzliche Emissionsminderungsstrategie kann für Motoren oder mobile Maschinen oder Geräte angewendet werden, wenn sie nach ihrer Aktivierung die Standard-Emissionsminderungsstrategie in Abhängigkeit von spezifischen Umgebungs- oder Betriebsdaten ändert, aber die Wirkung der emissionsmindernden Einrichtung nicht dauerhaft mindert.

- a) Wird die zusätzliche Emissionsminderungsstrategie während der Typgenehmigungsprüfung aktiviert, so gelten die Absätze 5.3.2.2.2 und 5.3.2.2.3 nicht.
- b) Wird die zusätzliche Emissionsminderungsstrategie während der Typgenehmigungsprüfung nicht aktiviert, so muss nachgewiesen werden, dass sie nur so lange aktiv ist, wie dies für die in Abschnitt 5.3.2.2.3 genannten Zwecke erforderlich ist.

5.3.2.2.2. Für die Leistungsbereiche L bis P sowie Q bis R gelten folgende Bedingungen:

a) Steuerbedingungen für Motoren der Leistungsbereiche L bis P:

- i) Höhe nicht mehr als 1 000 m über NN (oder Luftdruck nicht unter 90 kPa);
- ii) Umgebungstemperatur zwischen 275 K und 303 K (2 °C bis 30 °C),
- iii) Motorkühlmitteltemperatur über 343 K (70 °C).

Wenn der Motor innerhalb der in den Ziffern i, ii, und iii genannten Bedingungen betrieben wird, darf die zusätzliche Emissionsminderungsstrategie nur in Ausnahmefällen aktiviert werden.

b) Steuerbedingungen für Motoren der Leistungsbereiche Q bis R:

- i) Luftdruck mindestens 82,5 kPa;
- ii) Umgebungstemperatur im folgenden Bereich:
 - mindestens 266 K (-7 °C);
 - höchstens gleich der Temperatur, die beim angegebenen Luftdruck mit folgender Gleichung bestimmt wird: $T_c = -0,4514 \cdot (101,3 - p_b) + 311$; dabei ist T_c die berechnete Umgebungslufttemperatur in K und p_b der Luftdruck in kPa.
- iii) Kühlmitteltemperatur über 343 K (70 °C).

Wird der Motor unter den in den Ziffern i, ii und iii festgelegten Bedingungen betrieben, darf die Hilfsstrategie zur Begrenzung der Emissionen nur aktiviert werden, wenn nachgewiesen wird, dass dies für die in Absatz 5.3.2.2.3 festgelegten Zwecke erforderlich ist und von der Typgenehmigungsbehörde genehmigt wurde.

c) Betrieb bei niedriger Temperatur

Abweichend von den Anforderungen des Buchstaben b kann bei Motoren der Leistungsbereiche Q bis R, die mit Abgasrückführung (AGR) ausgestattet sind, eine Hilfsstrategie zur Emissionsbegrenzung zum Einsatz kommen, wenn die Umgebungstemperatur weniger als 175 K (2 °C) beträgt und eines der beiden folgenden Kriterien erfüllt ist:

- i) Temperatur im Ansaugkrümmer höchstens gleich der durch folgende Gleichung festgelegten Temperatur: $IMT_c = PIM/15,75 + 304,4$, wobei IMT_c die berechnete Temperatur im Ansaugkrümmer in K und PIM der absolute Druck im Ansaugkrümmer in kPa ist;

- ii) Kühlmitteltemperatur höchstens gleich der mit folgender Gleichung bestimmten Temperatur: $ECT_c = PIM/14,004 + 325,8$, wobei ECT_c die berechnete Kühlmitteltemperatur in K und PIM der absolute Druck im Ansaugkrümmer in kPa ist.

5.3.2.2.3. Eine zusätzliche Emissionsminderungsstrategie kann insbesondere für folgende Zwecke aktiviert werden:

- a) durch fahrzeuginterne Signale zum Schutz des Motors (einschließlich der Einrichtungen zur Steuerung des Luftstroms) oder der mobilen Maschine bzw. des mobilen Geräts, in die bzw. das der Motor eingebaut ist, vor Schaden;
- b) aus Gründen der Betriebssicherheit;
- c) zur Vermeidung übermäßiger Emissionen beim Kaltstart, beim Warmlaufen oder beim Abschalten;
- d) um unter bestimmten Umgebungs- oder Betriebsbedingungen erhöhte Emissionen eines regulierten Schadstoffes zuzulassen, damit die Emissionen aller anderen regulierten Schadstoffe innerhalb der für den jeweiligen Motor geltenden Grenzen bleiben. Damit sollen natürliche Erscheinungen so kompensiert werden, dass die Emissionen aller Schadstoffe innerhalb annehmbarer Grenzen bleiben.

5.3.2.2.4. Der Hersteller muss dem technischen Dienst bei der Typgenehmigungsprüfung nachweisen, dass der Betrieb aller etwaigen zusätzlichen Emissionsminderungsstrategien den Anforderungen von Absatz 5.3.2.2 entspricht. Dieser Nachweis besteht in einer Auswertung der in Absatz 5.3.2.3 genannten Dokumentation.

5.3.2.2.5. Der Betrieb von zusätzlichen Emissionsminderungsstrategien, die nicht Absatz 5.3.2.2 entsprechen, ist untersagt.

5.3.2.3. Anforderungen an die Dokumentation

5.3.2.3.1. Der Hersteller übergibt dem technischen Dienst bei der Vorführung zur Typgenehmigungsprüfung eine Beschreibungsmappe, die Aufschluss über alle Konstruktionsmerkmale und die Emissionsminderungsstrategie gibt sowie über die Art und Weise, wie Ausgangsgrößen direkt oder indirekt durch die zusätzliche Strategie gesteuert werden. Diese Beschreibungsmappe ist in zwei Teile zu gliedern:

- a) Die Dokumentation, die dem Antrag auf Typgenehmigung beigelegt ist, muss einen vollständigen Überblick über die Emissionsminderungsstrategie enthalten. Es ist der Nachweis zu erbringen, dass alle Ausgangsgrößen berücksichtigt sind, die sich aus jeder möglichen Konstellation der verschiedenen Eingangsgrößen ergeben können. Dieser Nachweis ist der Beschreibungsmappe nach Anhang 1A beizufügen.
- b) Die zusätzlichen Unterlagen, die dem technischen Dienst vorgelegt, aber nicht dem Antrag auf Typgenehmigung beigelegt werden, müssen über alle von einer eventuell vorhandenen zusätzlichen Emissionsminderungsstrategie geänderten Parameter und über die Grenzen, innerhalb deren diese Strategie arbeitet, Aufschluss geben, insbesondere durch Folgendes:
 - i) Angaben zur Logik des Kraftstoffregelsystems, zu den Steuerzeitenstrategien und zu den Schaltpunkten des Kraftstoff- und anderer wesentlicher Systeme bei allen Betriebszuständen, die zu einer wirksamen Emissionsminderung führen (z. B. Abgasrückführung (AGR) oder Reagenszufuhr);
 - ii) eine Begründung der eventuellen Verwendung einer zusätzlichen Emissionsminderungsstrategie für den Motor, einschließlich Material und Prüfergebnissen, aus denen die Wirkung auf die Abgasemissionen ersichtlich wird. Diese Begründung kann auf Prüfdaten, eine eingehende technische Analyse oder eine Kombination aus beidem gestützt werden;
 - iii) eine ausführliche Beschreibung der Algorithmen oder der gegebenenfalls vorhandenen Sensoren für die Ermittlung, Analyse oder Diagnose eines nicht ordnungsgemäßen Arbeitens des Systems zur NO_x -Minderung;
 - iv) die für die Erfüllung der Anforderungen von Abschnitt 5.3.3.7.2 unabhängig von den verwendeten Mitteln geltende Toleranz.

- 5.3.2.3.2. Die in Absatz 5.3.2.3.1 Unterabsatz b genannten zusätzlichen Unterlagen sind streng vertraulich zu behandeln. Sie sind der Typgenehmigungsbehörde auf Verlangen vorzulegen. Die Typgenehmigungsbehörde behandelt diese Unterlagen vertraulich.
- 5.3.3. Anforderungen an Vorkehrungen zur Begrenzung der NO_x-Emissionen für Motoren der Leistungsbereiche L bis P.
- 5.3.3.1. Der Hersteller muss mithilfe der Unterlagen in Anhang IA Anlage 1 Absatz 2 und in Anhang IA Anlage 3 Absatz 2 dieser Richtlinie vollständige Angaben über die Funktions- und Betriebsmerkmale der Vorkehrungen zur Begrenzung der NO_x-Emissionen machen.
- 5.3.3.2. Arbeitet die Emissionsverminderungseinrichtung mit einem Reagens, so müssen die Eigenschaften dieses Reagens (Art, Konzentration in Lösung, Betriebstemperatur, Verweise auf internationale Normen für die Zusammensetzung und Qualität) vom Hersteller in Anhang IA Anlage 1 Absatz 2.2.1.13 sowie Anhang IA Anlage 3 Absatz 3.2.1.13 angegeben werden.
- 5.3.3.3. Die Emissionsminderungsstrategie des Motors muss unter allen auf dem Gebiet der Vertragsparteien regelmäßig anzutreffenden Umgebungsbedingungen und insbesondere bei niedrigen Umgebungstemperaturen funktionieren.
- 5.3.3.4. Der Hersteller muss nachweisen, dass die Ammoniakemission während des für das Typgenehmigungsverfahren jeweils vorgeschriebenen Emissionsprüfzyklus bei Verwendung eines Reagens einen Mittelwert von 25 ppm nicht überschreitet.
- 5.3.3.5. Sind getrennte Reagensbehälter an eine mobile Maschine bzw. ein mobiles Gerät angebaut oder an diese angeschlossen, muss eine Einrichtung vorhanden sein, die das Entnehmen von Reagensproben in den Behältern ermöglicht. Die Probenahmereinrichtung muss leicht und ohne Spezialwerkzeug zugänglich sein.
- 5.3.3.6. Anforderungen an Betrieb und Wartung
- 5.3.3.6.1. Voraussetzung für die Typgenehmigung gemäß Absatz 5.1.3 ist, dass jedem Bediener von mobilen Geräten und Maschinen schriftliche Anweisungen bereitgestellt werden, die Folgendes enthalten:
- a) ausführliche Warnhinweise zu möglichen Fehlfunktionen durch unsachgemäßen Betrieb, Verwendung oder Wartung des eingebauten Motors sowie die jeweiligen Abhilfemaßnahmen;
 - b) ausführliche Warnhinweise zu möglichen Fehlfunktionen des eingebauten Motors durch unsachgemäße Benutzung der Maschine/des Geräts sowie die jeweiligen Abhilfemaßnahmen;
 - c) Hinweise zur ordnungsgemäßen Verwendung des Reagens mit Anleitung zum Nachfüllen des Reagens zwischen den planmäßigen Wartungen;
 - d) einen deutlichen Warnhinweis, dass die Typgenehmigungsbescheinigung für den betreffenden Motortyp nur dann gültig ist, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:
 - i) der Motor wird entsprechend den beigefügten Anweisungen betrieben, verwendet und gewartet;
 - ii) bei unsachgemäßem Betrieb, Verwendung oder Wartung sind umgehend Abhilfemaßnahmen im Sinne der Unterabsätze a und b ergriffen worden;
 - iii) der Motor ist nicht vorsätzlich unsachgemäß verwendet worden, insbesondere durch Deaktivierung oder unterlassene Wartung eines AGR oder eines Reagens-Dosiersystems.
- Die Anweisungen müssen deutlich und in einer für Laien verständlichen Sprache verfasst sein, wobei dieselben Begriffe wie im Bedienungshandbuch für die mobile Maschine/das mobile Gerät oder den Motor verwendet werden müssen.
- 5.3.3.7. Reagens-Füllstandsanzeiger (falls zutreffend)
- 5.3.3.7.1. Voraussetzung für die Typgenehmigung gemäß Absatz 6.1 ist, dass – je nach Auslegung der mobilen Geräte und Maschinen – der Bediener durch Anzeiger oder sonstige geeignete Mittel über Folgendes informiert wird:
- a) den Füllstand im Reagensbehälter, wobei ein zusätzliches spezielles Signal ausgegeben werden muss, wenn der Füllstand unter 10 % der Behälterkapazität sinkt;
 - b) wenn der Reagensbehälter leer oder fast leer ist;

- c) wenn das Reagens im Behälter nach den eingebauten Analyseinstrumenten nicht die vom Hersteller angegebenen und in Anhang IA Anlage 1 Absatz 2.2.1.13 und in Anhang IA Anlage 3 Absatz 2.2.1.13 aufgeführten Eigenschaften aufweist;
 - d) wenn die Reagenszufuhr bei Motorbetriebsbedingungen, bei denen keine Zufuhr erforderlich ist, unterbrochen wird, ohne dass dies vom Motorsteuergerät oder der Dosiersteuerung veranlasst wird; diese Betriebsbedingungen müssen der Typgenehmigungsbehörde genannt werden.
- 5.3.3.7.2. Der Hersteller kann auf eine der folgenden Arten nachweisen, dass das Reagens den angegebenen Eigenschaften und der dazu gehörenden Toleranz für die NO_x-Emission entspricht:
 - a) direkt, z. B. durch Verwendung eines Sensors für die Reagensqualität;
 - b) indirekt, z. B. durch den Einsatz eines NO_x-Sensors im Auspuff, mit dem die Wirksamkeit des Reagens beurteilt werden kann;
 - c) durch eine beliebige andere Methode, vorausgesetzt, dass sie mindestens ebenso wirksam wie die in den Unterabsätzen a und b genannten Verfahren ist und die wichtigsten Anforderungen dieses Abschnitts eingehalten werden.
- 5.3.4. Anforderungen an Vorkehrungen zur NO_x-Begrenzung für Motoren der Leistungsbereiche Q bis R
- 5.3.4.1. Der Hersteller muss mithilfe der Unterlagen in Anhang 1A Anlage 1 Absatz 2 und Anlage 3 Absatz 2 ausführliche Angaben über die Funktions- und Betriebsmerkmale der Vorkehrungen zur Begrenzung der NO_x-Emissionen machen.
- 5.3.4.2. Die Strategie zur Begrenzung der Motoremissionen muss unter allen auf dem Gebiet der Vertragsparteien regelmäßig herrschenden Umweltbedingungen funktionieren, insbesondere bei niedrigen Umgebungstemperaturen. Diese Anforderung ist nicht auf die Bedingungen beschränkt, unter denen eine Basisstrategie zur Emissionsbegrenzung gemäß Absatz 5.3.2.2.2 einzusetzen ist.
- 5.3.4.3. Wird ein Reagens verwendet, so weist der Hersteller nach, dass bei dem Typgenehmigungsverfahren der Ausstoß an Ammoniak im Verlauf der Warmstartprüfung im NRTC oder NRSC einen Mittelwert von 10 ppm nicht übersteigt.
- 5.3.4.4. Sind in einer nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine Reagensbehälter eingebaut oder sind sie mit ihr verbunden, so muss eine Vorrichtung zur Beprobung des Reagens in den Behältern vorhanden sein. Der Punkt, an dem die Proben entnommen werden, muss ohne Verwendung von Spezialwerkzeug oder -vorrichtungen leicht zugänglich sein.
- 5.3.4.5. Die Typgenehmigung ist gemäß Absatz 6.1 von folgenden Bedingungen abhängig zu machen:
 - a) Jedem Führer einer für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschine sind schriftliche Wartungsanweisungen nach Anhang 9 dieser Regelung bereitzustellen;
 - b) dem Originalgerätehersteller sind Unterlagen über den Einbau des Motors, einschließlich des Emissionsbegrenzungssystems, das zum genehmigten Motortyp gehört, bereitzustellen;
 - c) dem Originalgerätehersteller sind Anweisungen für das System zur Warnung des Führers, ein Aufforderungssystem und (gegebenenfalls) einen Frostschutz für das Reagens bereitzustellen;
 - d) die in Anhang 9 dieser Regelung aufgeführten Bestimmungen über die Unterweisung des Führers, die Einbauunterlagen, das System zur Warnung des Führers, das Aufforderungssystem für den Führer und den Frostschutz für das Reagens sind anzuwenden.
- 5.3.5. Steuerbereich für die Leistungsbereiche Q bis R

Bei Motoren der Leistungsbereiche Q bis R dürfen die innerhalb des Steuerbereichs nach Absatz 5.3.5 durch Proben gesammelten Emissionen die Emissionsgrenzwerte in Absatz 5.2.1 dieser Regelung um höchstens 100 % überschreiten.
- 5.3.5.1. Anforderungen an den Nachweis

Der technische Dienst wählt nach dem Zufallsprinzip zu Prüfzwecken innerhalb des Steuerbereichs bis zu drei Last- und Drehzahlpunkte aus. Ferner legt der technische Dienst eine zufällige Ablaufreihenfolge dieser Prüfpunkte fest. Die Prüfung wird gemäß den Grundanforderungen des NRSC durchgeführt, wobei aber jeder Prüfpunkt gesondert ausgewertet wird. Für jede Prüfung müssen die in Absatz 5.3.5 festgelegten Grenzwerte eingehalten werden.

5.3.5.2. Prüfungsanforderungen

Die Prüfung wird wie folgt durchgeführt:

- a) Die Prüfung wird unmittelbar nach den Einzelphasen-Testzyklen gemäß der Beschreibung in Anhang 4B Absatz 7.8.1.2 Buchstaben a bis e durchgeführt, jedoch vor den Verfahren nach der Prüfung (f) oder wahlweise nach der Prüfung mit dem gestuften Mehrphasen-Zyklus (RMC) nach Anhang 4B Absatz 7.8.2.2 Buchstaben a bis d dieser Regelung, jedoch gegebenenfalls vor den Verfahren nach der Prüfung (e);
- b) die Prüfungen werden nach den Vorschriften des Anhangs 4B Absatz 7.8.1.2 Buchstaben b bis e dieser Regelung mit der Mehrfiltermethode (ein Filter für jeden Prüfpunkt) für jeden der drei ausgewählten Prüfpunkte durchgeführt;
- c) für jeden Prüfpunkt wird ein eigener Emissionswert (in g/kWh) berechnet;
- d) die Emissionswerte können auf Molbasis nach Anhang 4B Anlage A.7 oder auf Massebasis nach Anhang 4B Anlage A.8 berechnet werden, müssen aber mit der Methode vereinbar sein, die für die Einzelphasenprüfung oder die RCM-Prüfung verwendet wird;
- e) für Berechnungen zur Bestimmung der Gassummen wird Nmode auf 1 gesetzt und der Wichtungsfaktor 1 verwendet;
- f) für Berechnungen im Zusammenhang mit Partikeln wird die Mehrfiltermethode verwendet und für Summenberechnungen wird Nmode auf 1 gesetzt und der Wichtungsfaktor 1 verwendet.

5.3.5.3. Anforderungen an den Steuerbereich

5.3.5.3.1. Motorsteuerbereich

Der Steuerbereich (siehe Abbildung 2) ist wie folgt festgelegt:

Drehzahlbereich: Drehzahl A bis hohe Drehzahl;

wobei:

$\text{Drehzahl A} = \text{niedrige Drehzahl} + 15 \% (\text{hohe Drehzahl} - \text{niedrige Drehzahl})$.

Zu verwenden sind die in Anhang 4B dieser Regelung festgelegte hohe und niedrige Drehzahl.

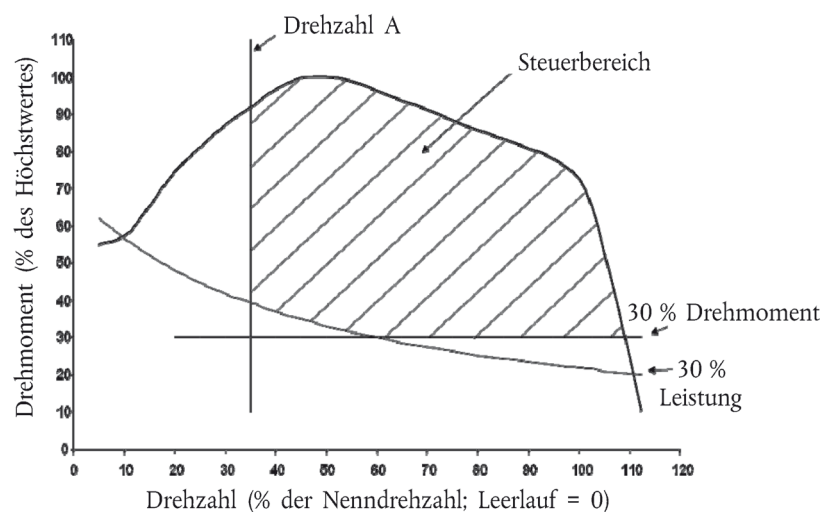
Liegt die gemessene Motordrehzahl A innerhalb eines Bereichs von $\pm 3 \%$ um die vom Hersteller angegebene Motordrehzahl, werden die angegebenen Motordrehzahlen verwendet. Liegen sie für nur einen Prüfpunkt außerhalb des Toleranzbereichs, werden die gemessenen Drehzahlen verwendet.

5.3.5.3.2. Die folgenden Motorbetriebsbedingungen werden bei der Prüfung nicht berücksichtigt:

- a) Punkte unterhalb 30 % des Höchstdrehmoments;
- b) Punkte unterhalb 30 % der Höchstleistung.

Der Hersteller kann beantragen, dass der technische Dienst während der Zertifizierung/Typgenehmigung aus dem gemäß den Absätzen 5.5.1 und 5.5.2 festgelegten Steuerbereich Betriebspunkte ausschließt. Der technische Dienst kann diesem Antrag stattgeben, wenn der Hersteller nachweisen kann, dass der Motor in Kombination mit gleich welcher Maschine solche Punkte niemals erreichen kann.

Abbildung 2

Steuerbereich

- 5.3.6. Prüfung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse bei Motoren der Leistungsbereiche Q bis R
- 5.3.6.1. Emissionen aus dem Kurbelgehäuse direkt in die Umgebungsluft sind nicht zulässig, abgesehen von der Ausnahme in Absatz 5.3.6.3.
- 5.3.6.2. Motoren dürfen Kurbelgehäuseemissionen während des gesamten Betriebs vor Durchströmen einer beliebigen Abgasnachbehandlungseinrichtung in das Abgas leiten.
- 5.3.6.3. Motoren mit Torbolader, Pumpen, Gebläse oder Auflader für die Luftansaugung dürfen Kurbelgehäuseemissionen in die Umgebungsluft freigeben. In einem solchen Fall sind die Kurbelgehäuseemissionen den Auspuffemissionen (physikalisch oder rechnerisch) während der gesamten Dauer der Emissionsprüfung gemäß Anhang 4B Absatz 6.10 hinzuzufügen.
- 5.4. Auswahl der Motorenleistungskategorie
- 5.4.1. Für die Feststellung der Konformität von Motoren mit veränderlicher Drehzahl gemäß den Absätzen 1.1 und 1.2 mit den in Absatz 5.2.1 genannten Emissionsgrenzwerten müssen diese Motoren ausgehend vom Höchstwert der gemäß Absatz 2.1.49 gemessenen Nutzleistung Leistungsbereichen zugeteilt werden.
- 5.4.2. Bei anderen Motorentypen ist der Nennwert der Nutzleistung zu verwenden.
6. EINBAU IN DAS FAHRZEUG
- 6.1. Beim Einbau des Motors in Fahrzeuge müssen folgende Anforderungen erfüllt werden, die auch bei der Genehmigung des Motors erfüllt wurden.
- 6.1.1. Der Ansaugunterdruck darf den in Anhang 1A Anlage 1 bzw. Anlage 3 für den genehmigten Motor angegebenen Wert nicht überschreiten.
- 6.1.2. Der Abgasgegendruck darf den in Anhang 1A Anlage 1 bzw. Anlage 3 für den genehmigten Motor angegebenen Wert nicht überschreiten.
- 6.1.3. Der Bediener ist ggf. ist über die Reagenskontrolle gemäß Absatz 5.3.3.7.1 oder Anhang 9 dieser Regelung zu unterrichten.
- 6.1.4. Dem Originalgerätehersteller sind gegebenenfalls die Einbauunterlagen und -anweisungen gemäß Absatz 5.3.4.5 bereitzustellen.
7. ÜBEREINSTIMMUNG DER PRODUKTION
- 7.1. Die Verfahren zur Kontrolle der Übereinstimmung der Produktion müssen den in Anlage 2 zum Übereinkommen (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2) beschriebenen Verfahren entsprechen, wobei folgende Vorschriften eingehalten sein müssen:

- 7.2. Die Behörde, die die Typgenehmigung erteilt hat, kann die in den einzelnen Produktionsstätten angewandten Verfahren zur Kontrolle der Übereinstimmung jederzeit überprüfen.
- 7.2.1. Bei jeder Inspektion werden dem Prüfbeamten die Prüf- und Herstellungsunterlagen zur Verfügung gestellt.
- 7.2.2. Erscheint die Qualität der Prüfungen als nicht zufriedenstellend oder erscheint es angebracht, die Gültigkeit der aufgrund von Absatz 5.2 vorgelegten Angaben zu überprüfen, ist folgendes Verfahren anzuwenden:
- 7.2.2.1. Ein Motor wird der Serie entnommen und der Prüfung nach Anhang 4A oder Anhang 4B gemäß Absatz 5.2 unterzogen. Die ermittelten Emissionen von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Partikeln dürfen entsprechend den Vorschriften des Absatzes 5.2.2 die in der Tabelle in Absatz 5.2.1 angegebenen Werte nicht überschreiten.
- 7.2.2.2. Erfüllt ein der Serie entnommener Motor nicht die Anforderungen nach Absatz 7.2.2.1, so kann der Hersteller Stichprobenmessungen an einigen der Serie entnommenen Motoren gleicher Bauart verlangen, wobei die Stichprobe den ursprünglich entnommenen Motor enthalten muss. Der Hersteller bestimmt den Umfang n der Stichprobe nach Absprache mit dem Technischen Dienst. Mit Ausnahme des ursprünglich entnommenen Motors sind die Motoren einer Prüfung zu unterziehen. Das arithmetische Mittel ($\bar{x}$) der mit der Stichprobe ermittelten Ergebnisse muss dann für jeden Schadstoff bestimmt werden. Die Serienproduktion gilt als vorschriftsmäßig, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\bar{x} + kS \leq 1$$

Dabei ist:

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

wobei

x ein beliebiges mit der Stichprobe n erzieltetes Einzelergebnis ist;

l der Grenzwert nach Absatz 5.2.1 für jeden untersuchten Schadstoff;

k ein statistischen Faktor, der von n abhängt und in der nachstehenden Tabelle angegeben ist:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	0,973	0,613	0,489	0,421	0,376	0,342	0,317	0,296	0,279
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19
k	0,265	0,253	0,242	0,233	0,224	0,216	0,210	0,203	0,198

$$\text{für } n \geq 20, k = \frac{0,860}{\sqrt{n}}$$

- 7.2.3. Der zur Feststellung der Übereinstimmung der Fertigung befugte technische Dienst führt diese Prüfungen an Motoren durch, die gemäß den Angaben des Herstellers teilweise oder vollständig eingelaufen sind.
- 7.2.4. Normalerweise genehmigt die Typgenehmigungsbehörde eine Überprüfung im Jahr. Sind die Vorschriften des Absatzes 7.2.2.1 nicht eingehalten, so hat die Typgenehmigungsbehörde sicherzustellen, dass alle erforderlichen Maßnahmen getroffen werden, damit die Übereinstimmung der Produktion so schnell wie möglich wiederhergestellt wird.
8. MASSNAHMEN BEI ABWEICHUNGEN IN DER PRODUKTION
- 8.1. Die für einen Motortyp oder eine Motorenfamilie nach dieser Regelung erteilte Genehmigung kann zurückgenommen werden, wenn die Vorschriften des Absatzes 7.2 nicht eingehalten sind oder der entnommene Motor (die entnommenen Motoren) die Prüfungen nach Absatz 7.2.2.1 nicht bestanden hat (haben).
- 8.2. Nimmt eine Vertragspartei des Übereinkommens, die diese Regelung anwendet, eine von ihr erteilte Genehmigung zurück, so hat sie unverzüglich die anderen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, hierüber mit einem Mitteilungsblatt zu unterrichten, das dem Muster in Anhang 2 dieser Regelung entspricht.

9. ÄNDERUNG DES GENEHMIGTEN TYP UND ERWEITERUNG DER GENEHMIGUNG
- 9.1. Jede Änderung des genehmigten Typs des Motors oder der Motorenfamilie ist der Typgenehmigungsbehörde mitzuteilen, die die Genehmigung für den Typ erteilt hat. Die Typgenehmigungsbehörde kann dann
 - 9.1.1. entweder die Auffassung vertreten, dass von den Änderungen keine nennenswerten nachteiligen Wirkungen ausgehen und der geänderte Typ in jedem Fall noch den Vorschriften entspricht, oder
 - 9.1.2. ein weiteres Gutachten von dem Technischen Dienst, der die Prüfungen durchführt, anfordern.
- 9.2. Die Bestätigung oder Versagung der Genehmigung ist den Vertragsparteien des Übereinkommens, die diese Regelung anwenden, unter Angabe der Änderungen nach dem vorgeschriebenen Verfahren mitzuteilen.
- 9.3. Die Typgenehmigungsbehörde, die die Erweiterung der Genehmigung bescheinigt, teilt einer solchen Erweiterung eine laufende Nummer zu und unterrichtet hierüber die anderen Vertragsparteien des Übereinkommens von 1958, die diese Regelung anwenden, mit einem Mitteilungsblatt, das dem Muster in Anhang 2 dieser Regelung entspricht.
10. ENDGÜLTIGE EINSTELLUNG DER PRODUKTION

Stellt der Inhaber einer Genehmigung die Produktion eines nach dieser Regelung genehmigten Typs bzw. einer solchen Familie endgültig ein, so hat er die Behörde, die die Genehmigung erteilt hat, hiervon zu verständigen. Nach Erhalt der entsprechenden Mitteilung hat diese Behörde die anderen Vertragsparteien des Übereinkommens, die diese Regelung anwenden, hierüber mit einem Mitteilungsblatt zu unterrichten, das dem Muster in Anhang 2 dieser Regelung entspricht.
11. ÜBERGANGSBESTIMMUNGEN
- 11.1. Vom offiziellen Datum des Inkrafttretens der Änderungsserie 02 an darf keine Vertragspartei, die diese Regelung anwendet, die Erteilung von Genehmigungen nach dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 02 geänderten Fassung verweigern.
- 11.2. Ab dem Tag des Inkrafttretens der Änderungsserie 02 dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen für Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl der Leistungsbereiche H, I, J und K versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 02 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.3. Ab dem Tag des Inkrafttretens der Änderungsserie 02 dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl der Leistungsbereiche H, I, J und K versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 02 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.4. Vom 1. Januar 2010 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen von Motoren oder Familien von Motoren mit fester Drehzahl der Leistungsbereiche H, I und K versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 02 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.5. Vom 1. Januar 2011 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen von Motoren oder Familien von Motoren mit fester Drehzahl des Leistungsbereichs J versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 02 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.6. Vom 1. Januar 2011 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von Motoren oder Familien von Motoren mit fester Drehzahl der Leistungsbereiche H, I und K versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 02 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.7. Vom 1. Januar 2012 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von Motoren oder Familien von Motoren mit fester Drehzahl des Leistungsbereichs J versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 02 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.8. Abweichend von den Vorschriften der Absätze 11.3, 11.6 und 11.7 dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die in den vorstehenden Absätzen genannten Fristen bei Motoren, die vor den angegebenen Daten hergestellt wurden, um jeweils zwei Jahre verlängern.

- 11.9. Abweichend von den Vorschriften der Absätze 11.3., 11.6. und 11.7 dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von Motoren, die nach einer vorhergehenden technischen Norm genehmigt worden sind, weiterhin gestatten, sofern die Motoren als Austauschmotoren in Fahrzeuge eingebaut werden sollen, die sich Gebrauch befinden, und die Einhaltung der neuen Vorschriften der Änderungsserie 02 bei diesen Motoren technisch nicht machbar wäre.
- 11.10. Vom offiziellen Datum des Inkrafttretens der Änderungsserie 03 an darf keine Vertragspartei, die diese Regelung anwendet, die Erteilung von Genehmigungen nach dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung verweigern.
- 11.11. Vom Tag des Inkrafttretens der Änderungsserie 03 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen für Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl der Leistungsbereiche L, M, N und P versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.12. Vom 1. Januar 2013 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen für Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs Q versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.13. Vom 1. Oktober 2013 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen von Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs R versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.14. Ab dem Tag des Inkrafttretens der Änderungsserie 03 dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl der Leistungsbereiche L, M, N und P versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.15. Vom 1. Januar 2014 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs Q versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.16. Vom 1. Oktober 2014 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs R versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.17. Abweichend von den Vorschriften der Absätze 11.14 bis 11.16 verlängern Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die in den vorstehenden Absätzen genannten Fristen bei Motoren, die vor den angegebenen Daten hergestellt wurden, um jeweils zwei Jahre.
- 11.18. Abweichend von den Vorschriften der Absätze 11.14., 11.15. und 11.16 dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von Motoren, die nach einer vorhergehenden technischen Norm genehmigt worden sind, weiterhin gestatten, sofern die Motoren als Austauschmotoren in Fahrzeuge eingebaut werden sollen, die sich in Gebrauch befinden, und die Einhaltung der neuen Vorschriften der Änderungsserie 03 bei diesen Motoren technisch nicht machbar wäre.
- 11.19. Abweichend von den Vorschriften der Absätze 11.11. bis 11.16 gelten die folgenden zusätzlichen Übergangsbestimmungen der Absätze 11.20 bis 11.29 für Fahrzeuge der Klasse T mit folgenden besonderen Merkmalen:
- a) Zugmaschinen mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 40 km/h, einer Mindestspurweite von weniger als 1,150 mm, einer Leermasse in fahrbereitem Zustand von mehr als 600 kg und einer Bodenfreiheit bis 600 mm. Beträgt der Quotient aus der Höhe des Schwerpunkts der Zugmaschine ⁽¹⁾ über dem Boden und der mittleren Mindestspurweite jeder Achse jedoch mehr als 0,90, so ist die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h begrenzt;
 - b) Zugmaschinen, die für den Einsatz in hohen Reihenkulturen, z. B. Rebkulturen, konzipiert sind. Sie verfügen über ein überhöhtes Fahrgestell oder einen überhöhten Fahrgestellteil, mit dem sie parallel zu den Pflanzenreihen über diese hinweg fahren und dabei eine oder mehrere Reihen zwischen ihre Räder nehmen können. Sie sind zur Beförderung oder zum Antrieb von

⁽¹⁾ Schwerpunkt der Zugmaschine gemäß der Norm ISO 789-6: 1982.

Geräten konzipiert, die vorn, zwischen den Achsen, hinten oder auf einer Plattform angebracht sind. Befindet sich die Zugmaschine in Arbeitsposition, ist die Bodenfreiheit, gemessen in der Vertikalen der Pflanzenreihen, größer als 1 000 mm. Beträgt der Quotient aus der Höhe des Schwerpunkts der Zugmaschine über dem Boden ⁽¹⁾ (bei normaler Bereifung) und der mittleren Mindestspurweite der Achsen mehr als 0,90, so ist die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h begrenzt.

- 11.20. Vom 1. Januar 2013 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen für zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmte Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs L versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.21. Vom 1. Januar 2014 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen für zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmte Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl der Leistungsbereiche M und N versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.22. Vom 1. Januar 2015 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen für zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmte Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs P versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.23. Vom 1. Januar 2016 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen für zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmte Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs Q versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.24. Vom 1. Oktober 2016 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die Erteilung von Genehmigungen für zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmte Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs R versagen, die den Vorschriften dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung nicht entsprechen.
- 11.25. Vom 1. Januar 2014 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmte Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs L versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.26. Vom 1. Januar 2015 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmten Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl der Leistungsbereiche M und N versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.27. Vom 1. Januar 2016 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmten Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs P versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.28. Vom 1. Januar 2017 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmten Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs Q versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.29. Vom 1. Oktober 2017 an dürfen Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, das Inverkehrbringen von zum Einbau in Fahrzeuge nach Absatz 11.19 bestimmten Motoren oder Familien von Motoren mit veränderlicher Drehzahl des Leistungsbereichs R versagen, die nicht gemäß dieser Regelung in ihrer durch die Änderungsserie 03 geänderten Fassung genehmigt worden sind.
- 11.30. Abweichend von den Vorschriften der Absätze 11.25 bis 11.29 verlängern Vertragsparteien, die diese Regelung anwenden, die in den vorstehenden Absätzen genannten Fristen bei Motoren, die vor den angegebenen Daten hergestellt wurden, um jeweils zwei Jahre.

12. NAMEN UND ANSCHRIFTEN DER TECHNISCHEN DIENSTE, DIE DIE PRÜFUNGEN FÜR DIE GENEHMIGUNG DURCHFÜHREN, UND DER TYPGENEHMIGUNGSBEHÖRDEN

Die Vertragsparteien des Übereinkommens von 1958, die diese Regelung anwenden, übermitteln dem Sekretariat der Vereinten Nationen die Namen und Anschriften der Technischen Dienste, die die Prüfungen für die Genehmigung durchführen, und der Typgenehmigungsbehörden, die die Genehmigung erteilen und denen die in den anderen Ländern ausgestellten Formblätter über die Erteilung, die Versagung oder den Entzug der Genehmigung zu übersenden sind.

ANHANG 1A

Beschreibungsbogen Nr. ... zur Typgenehmigung, betreffend Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Verbrennungsmotoren, die zum Einbau in nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte bestimmt sindStammmotor/Motortyp ⁽¹⁾:

1. Allgemein

1.1. Marke (Name des Unternehmens):

1.2. Typ und allgemeine Handelsbezeichnung des/der Stamm- und (falls zutreffend) des/der Familienmotors/-motoren:

1.3. Vom Hersteller vergebener Code für den Motortyp entsprechend der Angabe am Motor (an den Motoren):

1.4. Angabe der Maschinen bzw. Geräte, die durch den Motor angetrieben werden sollen: ⁽²⁾:

1.5. Name und Anschrift des Herstellers:

Gegebenenfalls Name und Anschrift des bevollmächtigten Vertreters des Herstellers:

1.6. Anbringungsstelle, Kodierung und Art der Anbringung der Motorkennzeichnung:

1.7. Anbringungsstelle und Art der Anbringung des Genehmigungszeichens:

1.8. Anschrift(en) des Montagewerks (der Montagewerke):

Anlagen:

1.1. Wesentliche Merkmale des (Stamm-)Motors/der (Stamm-)Motoren (siehe Anlage 1)

1.2. Hauptmerkmale der Motorenfamilie (siehe Anlage 2)

1.3. Hauptmerkmale der Motortypen innerhalb der Motorenfamilie (siehe Anlage 3)

2. Merkmale der Teile der mobilen Maschinen/Geräte, die in Verbindung mit dem Motor arbeiten (falls zutreffend)

3. Fotografien des Stammmotors

4. Sonstige Anlagen (führen Sie hier gegebenenfalls weitere Anlagen auf)

Datum, Datei

⁽¹⁾ Nichtzutreffendes streichen.⁽²⁾ Einschließlich Toleranzangabe.

Anlage 1

Wesentliche Merkmale des (Stamm-)Motors

1. Beschreibung des Motors
- 1.1. Hersteller:
- 1.2. Baumusterbezeichnung des Herstellers:
- 1.3. Arbeitsweise: Viertakt/Zweitakt ⁽¹⁾
- 1.4. Bohrung: mm
- 1.5. Hub: mm
- 1.6. Anzahl und Anordnung der Zylinder:
- 1.7. Hubraum: cm³
- 1.8. Nenndrehzahl:
- 1.9. Drehzahl bei maximalem Drehmoment:
- 1.10. Volumetrisches Verdichtungsverhältnis ⁽²⁾:
- 1.11. Beschreibung des Verbrennungssystems:
- 1.12. Zeichnung(en) des Brennraums und des Kolbenbodens:
- 1.13. Mindestquerschnitt der Einlass- und Auslasskanäle:
- 1.14. Kühlsystem
 - 1.14.1. Flüssigkeitskühlung
 - 1.14.1.1. Art der Flüssigkeit:
 - 1.14.1.2. Umwälzpumpe(n): ja/nein ⁽¹⁾
 - 1.14.1.3. Kenndaten oder Marke(n) und Typ(en) (falls zutreffend):
 - 1.14.1.4. Übersetzungsverhältnis(se) des Antriebs (falls zutreffend):
 - 1.14.2. Luft
 - 1.14.2.1. Gebläse: ja/nein ⁽¹⁾
 - 1.14.2.2. Kenndaten oder Marke(n) und Typ(en) (falls zutreffend):
 - 1.14.2.3. Übersetzungsverhältnis(se) des Antriebs (falls zutreffend):
- 1.15. Vom Hersteller zugelassene Temperatur
 - 1.15.1. Flüssigkeitskühlung: Höchste Temperatur am Motorausstritt: K
 - 1.15.2. Luftkühlung: Bezugspunkt:
Höchste Temperatur am Bezugspunkt: K
 - 1.15.3. Höchste Ladelufttemperatur am Austritt des Zwischenkühlers (falls zutreffend): K

⁽¹⁾ Nichtzutreffendes streichen.⁽²⁾ Einschließlich Toleranzangabe.

- 1.15.4. Höchste Abgastemperatur am Austrittsflansch des (der) Auspuffkrümmer(s): K
- 1.15.5. Kraftstofftemperatur: mindestens: K
höchstens: K
- 1.15.6. Schmiermitteltemperatur: mindestens: K
höchstens: K
- 1.16. Lader: ja/nein ⁽¹⁾
- 1.16.1. Fabrikmarke:.....
- 1.16.2. Art:.....
- 1.16.3. Beschreibung des Systems (z. B. maximaler Ladedruck, Druckablassventil (falls zutreffend)):.....
- 1.16.4. Ladeluftkühler: ja/nein ⁽¹⁾
- 1.17. Ansaugsystem: höchstzulässiger Ansaugunterdruck bei Motornenndrehzahl und bei Volllast: kPa
- 1.18. Auspuffanlage: höchstzulässiger Abgasgegendruck bei Motornenndrehzahl und bei Volllast: kPa
2. Maßnahmen gegen Luftverunreinigung
- 2.1. Einrichtung zur Rückführung der Kurbelgehäusegase: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2. Zusätzliche Einrichtungen gegen Luftverschmutzung (falls vorhanden und nicht in einem anderen Abschnitt aufgeführt)
- 2.2.1. Katalysator: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.1.1. Marke(n):
- 2.2.1.2. Typ(en):.....
- 2.2.1.3. Zahl der Katalysatoren und Elemente
- 2.2.1.4. Abmessungen und Volumen des Katalysators (der Katalysatoren):.....
- 2.2.1.5. Art der katalytischen Reaktion:
- 2.2.1.6. Gesamtbeschichtung mit Edelmetall:.....
- 2.2.1.7. Relative Konzentration:.....
- 2.2.1.8. Trägerkörper (Aufbau und Werkstoff):.....
- 2.2.1.9. Zellendichte:.....
- 2.2.1.10. Art des Katalysatorgehäuses:.....
- 2.2.1.11. Lage des Katalysators (der Katalysatoren) (Ort und Höchst-/Mindestentfernung vom Motor):.....
- 2.2.1.12. Normaler Betriebstemperaturbereich (K):
- 2.2.1.13. Gegebenenfalls erforderliches Reagens:.....
- 2.2.1.13.1. Art und Konzentration des für die katalytische Reaktion erforderlichen Reagens:
- 2.2.1.13.2. Normaler Betriebstemperaturbereich des Reagens:

- 2.2.1.13.3. Gegebenenfalls geltende internationale Norm:
- 2.2.1.14. NO_x-Sensor: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.2. Sauerstoffsonde: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.2.1. Marke(n):
- 2.2.2.2. Typ:
- 2.2.2.3. Ort:
- 2.2.3. Lufterblasung: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.3.1. Art (Selbstansaugung, Luftpumpe usw.):
- 2.2.4. AGR (Abgasrückführung): ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.4.1. Eigenschaften (gekühlt/nicht gekühlt, Hochdruck/Niederdruck usw.):
- 2.2.5. Partikelfilter: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.5.1. Abmessungen und Volumen des Partikelfilters:
- 2.2.5.2. Typ und Aufbau des Partikelfilters:
- 2.2.5.3. Lage (Ort und Höchst-/Mindestentfernung vom Motor):
- 2.2.5.4. Verfahren oder Einrichtung zur Regenerierung, Beschreibung und/oder Zeichnung:
- 2.2.5.5. Normaler Betriebstemperaturbereich (K) und Betriebsdruckbereich (kPa):
- 2.2.6. Andere Einrichtungen: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.6.1. Beschreibung und Arbeitsweise:
3. Kraftstoffzufuhr
- 3.1. Förderpumpe
- Druck ⁽²⁾ oder Kennlinie: kPa
- 3.2. Einspritzsystem
- 3.2.1. Pumpe
- 3.2.1.1. Marke(n):
- 3.2.1.2. Typ(en):
- 3.2.1.3. Fördermenge: mm³ je Hub ⁽²⁾ oder Umdrehung bei einer Pumpendrehzahl von: min⁻¹ bei Volleinspritzung, oder Kennlinie
- Angabe des angewandten Verfahrens: am Motor/auf dem Pumpenprüfstand ⁽¹⁾
- 3.2.1.4. Früheinspritzung
- 3.2.1.4.1. Verstellkurve des Spritzverstellers ⁽²⁾:
- 3.2.1.4.2. Einspritzzeitpunkte ⁽²⁾:
- 3.2.2. Einspritzleitung
- 3.2.2.1. Länge: mm
- 3.2.2.2. Innendurchmesser: mm

- 3.2.3. Einspritzventil(e)
- 3.2.3.1. Marke(n):
- 3.2.3.2. Typ(en):.....
- 3.2.3.3. Öffnungsdruck ⁽²⁾ oder Kennlinie: kPa
- 3.2.4. Regler
- 3.2.4.1. Marke(n):
- 3.2.4.2. Typ(en):.....
- 3.2.4.3. Abregeldrehzahl bei Vollast ⁽²⁾: min⁻¹
- 3.2.4.4. Höchste Drehzahl ohne Last ⁽²⁾: min⁻¹
- 3.2.4.5. Leerlaufdrehzahl ⁽²⁾: min⁻¹
- 3.3. Kaltstarteinrichtung
- 3.3.1. Marke(n):
- 3.3.2. Typ(en):.....
- 3.3.3. Beschreibung:.....
4. Freigehalten
5. Ventilsteuerzeiten
- 5.1. Maximale Ventilhübe und Öffnungs- sowie Schließwinkel, bezogen auf die Totpunkte, oder entsprechende Angaben:
- 5.2. Bezugsgrößen- und/oder Einstellbereiche ⁽¹⁾
- 5.3. Variable Ventilsteuerung (falls zutreffend, wo: Einlass und/oder Auslass) ⁽¹⁾
- 5.3.1. Typ: Kontinuierlich oder ein/aus ⁽¹⁾
- 5.3.2. Nockenverstellwinkel:.....
6. Freigehalten
7. Freigehalten
-

Anlage 2

Wesentliche Merkmale der Motorenfamilie

1. Gemeinsame Kenndaten ⁽¹⁾
 - 1.1. Arbeitsweise:
 - 1.2. Kühlmittel:
 - 1.3. Luftansaugverfahren:
 - 1.4. Art/Ausführung des Brennraums:
 - 1.5. Ventil- oder Schlitzanordnung 3/4 – Anordnung, Größe und Anzahl:
 - 1.6. Kraftstoffsystem:
 - 1.7. Motormanagementsysteme
 - Nachweis der Identität gemäß Zeichnung(en) Nr.
 - 1.7.1. Ladeluftkühlung:
 - 1.7.2. Abgasrückführung ⁽²⁾:
 - 1.7.3. Wassereinspritzung/-emulsion ⁽²⁾:
 - 1.7.4. Luftereinblasung ⁽²⁾:
 - 1.8. Abgasnachbehandlungssystem ⁽³⁾:
 - Nachweis des gleichen (oder beim Stammmotor des niedrigsten) Verhältnisses: Systemkapazität/Kraftstoff-Fördermenge je Hub gemäß Zeichnung(en):
2. Aufstellung der Motorenfamilie
 - 2.1. Name der Motorenfamilie:
 - 2.2. Spezifikation von Motoren innerhalb dieser Motorenfamilie:

	Stammmotor (*)	Motoren innerhalb der Motorenfamilie (**)			
Motortyp					
Zylinderzahl					
Nenndrehzahl (min ⁻¹)					
Kraftstoffförderung pro Takt (mm ³) beim Nennwert der Nutzleistung					
Nennwert der Nutzleistung (kW)					
Drehzahl bei maximaler Leistung (min ⁻¹)					
Höchstwert der Nutzleistung (kW)					
Drehzahl bei maximalem Drehmoment (min ⁻¹)					
Kraftstoffförderung pro Takt (mm ³) bei maximalem Drehmoment					
Maximales Drehmoment (Nm)					

⁽¹⁾ Nichtzutreffendes streichen.⁽²⁾ Einschließlich Toleranzangabe.⁽³⁾ Falls nicht zutreffend, „n. z.“ eintragen

	Stammmotor (*)	Motoren innerhalb der Motorenfamilie (**)			
Niedrige Leerlaufdrehzahl (min^{-1})					
Zylinderhubraum (% des Stammmotors)	100				

(*) Genaue Einzelheiten siehe Anlage 1.

(**) Genaue Einzelheiten siehe Anlage 3.

- 2.3. Außerdem sind der Typgenehmigungsbehörde für jeden Motortyp der Motorenfamilie die in Anhang 1B – Anlage 3 vorgeschriebenen Angaben vorzulegen.

Anlage 3

Hauptmerkmale von Motortypen innerhalb der Motorenfamilie

1. Beschreibung des Motors
- 1.1. Hersteller:
- 1.2. Baumusterbezeichnung des Herstellers:
- 1.3. Arbeitsweise: Viertakt/Zweitakt ⁽¹⁾
- 1.4. Bohrung: mm
- 1.5. Hub: mm
- 1.6. Anzahl und Anordnung der Zylinder:
- 1.7. Hubraum: cm³
- 1.8. Nenndrehzahl:
- 1.9. Drehzahl bei maximalem Drehmoment:
- 1.10. Volumetrisches Verdichtungsverhältnis ⁽²⁾:
- 1.11. Beschreibung des Verbrennungssystems:
- 1.12. Zeichnung(en) des Brennraums und des Kolbenbodens
- 1.13. Mindestquerschnittsfläche der Einlass- und Auslasskanäle:
- 1.14. Kühlsystem
- 1.14.1. Flüssigkeitskühlung
- 1.14.1.1. Art der Flüssigkeit:
- 1.14.1.2. Umwälzpumpe(n): ja/nein ⁽¹⁾
- 1.14.1.3. Kenndaten oder Marke(n) und Typ(en) (falls zutreffend):
- 1.14.1.4. Übersetzungsverhältnis(se) des Antriebs (falls zutreffend):
- 1.14.2. Luft
- 1.14.2.1. Gebläse: ja/nein ⁽¹⁾
- 1.14.2.2. Kenndaten oder Marke(n) und Typ(en) (falls zutreffend):
- 1.14.2.3. Übersetzungsverhältnis(se) des Antriebs (falls zutreffend):
- 1.15. Vom Hersteller zugelassene Temperatur
- 1.15.1. Flüssigkeitskühlung: Höchste Temperatur am Motoraustritt: K
- 1.15.2. Luftkühlung: Bezugspunkt:
- Höchste Temperatur am Bezugspunkt: K
- 1.15.3. Höchste Ladelufttemperatur am Austritt des Zwischenkühlers (falls zutreffend): K
- 1.15.4. Höchste Abgastemperatur am Austrittsflansch des (der) Auspuffkrümmer(s): K
- 1.15.5. Kraftstofftemperatur: mindestens: K
- höchstens: K
- 1.15.6. Schmiermitteltemperatur: mindestens: K
- höchstens: K

⁽¹⁾ Nichtzutreffendes streichen.⁽²⁾ Einschließlich Toleranzangabe.

- 1.16. Lader: ja/nein ⁽¹⁾
- 1.16.1. Fabrikmarke:.....
- 1.16.2. Art:.....
- 1.16.3. Beschreibung des Systems (z. B. maximaler Ladedruck, Druckablassventil (falls zutreffend)):.....
- 1.16.4. Ladeluftkühler: ja/nein ⁽¹⁾
- 1.17. Ansaugsystem: höchstzulässiger Ansaugunterdruck bei Motornenndrehzahl und bei Volllast: kPa
- 1.18. Auspuffanlage: höchstzulässiger Abgasgegendruck bei Motornenndrehzahl und bei Volllast: kPa
2. Maßnahmen gegen Luftverunreinigung
- 2.1. Einrichtung zur Rückführung der Kurbelgehäusegase: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2. Zusätzliche Einrichtungen gegen Luftverunreinigung (falls vorhanden und nicht in einem anderen Abschnitt aufgeführt)
- 2.2.1. Katalysator: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.1.1. Marke(n):
- 2.2.1.2. Typ(en):.....
- 2.2.1.3. Zahl der Katalysatoren und Elemente:
- 2.2.1.4. Abmessungen und Volumen des Katalysators (der Katalysatoren):.....
- 2.2.1.5. Art der katalytischen Reaktion:
- 2.2.1.6. Gesamtbeschichtung mit Edelmetall:.....
- 2.2.1.7. Relative Konzentration:.....
- 2.2.1.8. Trägerkörper (Aufbau und Werkstoff):.....
- 2.2.1.9. Zellendichte:.....
- 2.2.1.10. Art des Katalysatorgehäuses:.....
- 2.2.1.11. Lage des Katalysators (der Katalysatoren) (Ort und Höchst-/Mindestentfernung vom Motor):.....
- 2.2.1.12. Normaler Betriebstemperaturbereich (K).....
- 2.2.1.13. Gegebenenfalls erforderliches Reagens:.....
- 2.2.1.13.1. Art und Konzentration des für die katalytische Reaktion erforderlichen Reagens:
- 2.2.1.13.2. Normaler Betriebstemperaturbereich des Reagens:
- 2.2.1.13.3. Gegebenenfalls geltende internationale Norm:.....
- 2.2.1.14. NO_x-Sonde: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.2. Sauerstoffsonde: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.2.1. Marke(n):
- 2.2.2.2. Art:.....
- 2.2.2.3. Ort:
- 2.2.3. Lufteinblasung: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.3.1. Art (Selbstansaugung, Luftpumpe usw.):.....
- 2.2.4. AGR (Abgasrückführung): ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.4.1. Eigenschaften (geköhlt/nicht geköhlt, Hochdruck/Niederdruck usw.):.....
- 2.2.5. Partikelfilter: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.5.1. Abmessungen und Volumen des Partikelfilters:
- 2.2.5.2. Typ und Aufbau des Partikelfilters:.....

- 2.2.5.3. Lage (Ort und Höchst-/Mindestentfernung vom Motor):.....
- 2.2.5.4. Verfahren oder Einrichtung zur Regenerierung, Beschreibung und/oder Zeichnung:.....
- 2.2.5.5. Normaler Betriebstemperaturbereich (K) und Betriebsdruckbereich (kPa):
- 2.2.6. Andere Einrichtungen: ja/nein ⁽¹⁾
- 2.2.6.1. Beschreibung und Arbeitsweise:.....
3. Kraftstoffzufuhr
- 3.1. Förderpumpe
- Druck ⁽²⁾ oder Kennlinie: kPa
- 3.2. Einspritzsystem
- 3.2.1. Pumpe
- 3.2.1.1. Marke(n):
- 3.2.1.2. Typ(en):.....
- 3.2.1.3. Einspritzmenge: ...mm³ je Hub ⁽²⁾ oder Umdrehung bei einer Pumpendrehzahl von: ...min⁻¹ bei Volleinspritzung, oder Kennlinie.
- Angabe des angewandten Verfahrens: am Motor/auf dem Pumpenprüfstand ⁽¹⁾
- 3.2.1.4. Einspritzzeitpunkt
- 3.2.1.4.1. Verstellkurve des Spritzverstellers ⁽²⁾:.....
- 3.2.1.4.2. Einspritzzeitpunkte ⁽²⁾:
- 3.2.2. Einspritzleitung
- 3.2.2.1. Länge: mm
- 3.2.2.2. Innendurchmesser: mm
- 3.2.3. Einspritzventil(e)
- 3.2.3.1. Marke(n):
- 3.2.3.2. Typ(en):.....
- 3.2.3.3. Öffnungsdruck ⁽²⁾ oder Kennlinie: kPa
- 3.2.4. Regler
- 3.2.4.1. Marke(n):
- 3.2.4.2. Typ(en):.....
- 3.2.4.3. Abregeldrehzahl bei Vollast ⁽²⁾: min⁻¹
- 3.2.4.4. Höchste Drehzahl ohne Last ⁽²⁾: min⁻¹
- 3.2.4.5. Leerlaufdrehzahl ⁽²⁾: min⁻¹
- 3.3. Kaltstarteinrichtung
- 3.3.1. Marke(n):
- 3.3.2. Typ(en):.....
- 3.3.3. Beschreibung:.....
4. Freigehalten
5. Ventilsteuerzeiten
- 5.1. Maximale Ventilhübe und Öffnungs- sowie Schließwinkel, bezogen auf die Totpunkte, oder entsprechende Angaben:

- 5.2. Bezugsgrößen- und/oder Einstellbereiche (¹):
 - 5.3. Variable Ventilsteuerung (falls zutreffend, wo: Einlass und/oder Auslass) (¹)
 - 5.3.1. Typ: Kontinuierlich oder ein/aus (¹)
 - 5.3.2. Nockenverstellwinkel:
 - 6. Freigehalten
 - 7. Freigehalten
-

ANHANG 1B

MERKMALE DER MOTORENFAMILIE UND WAHL DES STAMMMOTORS**1. KENNDATEN FÜR DIE FESTLEGUNG DER MOTORENFAMILIE****1.1. Allgemein**

Eine Motorenfamilie ist durch ihre Kenndaten bestimmt. Diese müssen für alle Motoren einer Familie die gleichen sein. Welche Motoren zu einer Familie gehören, kann der Hersteller nach eigenem Ermessen festlegen, solange er sich dabei an die Vorschriften des Absatzes 1.3 hält. Die Motorenfamilie ist von der Typgenehmigungsbehörde zu genehmigen. Der Hersteller muss der Typgenehmigungsbehörde die entsprechenden Daten zu den Emissionen der Motoren einer Familie zur Verfügung stellen.

1.2. Sonderfälle**1.2.1. Wechselwirkungen zwischen Kenndaten**

In einigen Fällen können Wechselwirkungen zwischen Kenndaten auftreten, wodurch sich Emissionen verändern können. Dies muss berücksichtigt werden, damit gewährleistet ist, dass einer Motorenfamilie nur Motoren mit ähnlichen Emissionseigenschaften zugeordnet werden. Diese Fälle sind vom Hersteller zu ermitteln und der Typgenehmigungsbehörde mitzuteilen. Sie werden dann bei der Festlegung einer neuern Motorenfamilie berücksichtigt.

1.2.2. Vorrichtungen oder Merkmale mit starkem Einfluss auf Emissionen

Sind Einrichtungen oder Merkmale vorhanden, die in Absatz 1.3 nicht aufgeführt sind, aber die Emissionseigenschaften stark beeinflussen, so muss sie der Hersteller nach bestem fachlichen Ermessen feststellen und der Typgenehmigungsbehörde mitteilen. Sie werden dann bei der Festlegung einer neuern Motorenfamilie berücksichtigt.

1.2.3. Zusätzliche Kriterien

Zusätzlich zu den in Absatz 1.3 aufgeführten Kenndaten kann der Hersteller weitere Merkmale für die Festlegung kleinerer Motorenfamilien einführen. Diese Parameter sind nicht unbedingt solche, die sich auf die Emissionseigenschaften auswirken.

1.3. Kenndaten für die Festlegung der Motorenfamilie**1.3.1. Arbeitsweise:**

- a) Zweitakt
- b) Viertakt
- c) Drehkolbenmotor
- d) Sonstiges

1.3.2. Anordnung der Zylinder**1.3.2.1. Lage der Zylinder im Block:**

- a) V
- b) in Reihe
- c) radial
- d) andere Anordnung Boxermotor, W-förmig usw.)

1.3.2.2. Lage der Zylinder zueinander

Motoren mit identischem Block können derselben Familie angehören, wenn sie dasselbe Zylinderstichmaß haben.

1.3.3. Hauptkühlmittel:

- a) Luft
- b) Wasser
- c) Öl

1.3.4. Hubraum der Einzelzylinder

Von 85 % bis 100 % des größten Hubraums innerhalb der Motorenfamilie für Motoren mit einem Einzelzylinderhubraum $\geq 0,75 \text{ dm}^3$.

Von 70 % bis 100 % des größten Hubraums innerhalb der Motorenfamilie für Motoren mit einem Einzelzylinderhubraum $< 0,75 \text{ dm}^3$.

1.3.5. Luftansaugverfahren:

- a) Saugmotoren
- b) aufgeladene Motoren
- c) aufgeladene Motoren mit Ladeluftkühlung

1.3.6. Art/Ausführung des Brennraums:

- a) offener Brennraum
- b) unterteilter Brennraum
- c) andere Arten

1.3.7. Ventile und Kanäle:

- a) Anordnung
- b) Zahl der Ventile je Zylinder

1.3.8. Kraftstoffsystem:

- a) Pumpe, Hochdruckleitung und Einspritzdüse
- b) Reihen- oder Verteilereinspritzpumpe
- c) Pumpe-Düse-System
- d) Common-Rail-Einspritzsystem

1.3.9. Weitere Einrichtungen:

- a) Abgasrückführung (AGR)
- b) Wassereinspritzung
- c) Luftereinblasung
- d) Sonstiges

1.3.10. Elektronische Steuerungstechnik

Das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines elektronischen Motorsteuergerätes ist ein wesentliches Kriterium für die Eingrenzung einer Motorenfamilie.

Bei elektronisch gesteuerten Motoren muss der Hersteller anhand technischer Angaben darlegen, warum er die Motoren zu einer Familie zusammenfasst, d. h. den Angaben muss zu entnehmen sein, dass die Motoren voraussichtlich dieselben Emissionsgrenzwerte einhalten.

Die elektronische Drehzahlregelung bedingt nicht die Zugehörigkeit zu einer anderen Familie als der von Motoren mit mechanischer Regelung. Die Notwendigkeit, elektronisch gesteuerte und mechanisch gesteuerte Motoren gesondert zu behandeln, erstreckt sich nur auf die Merkmale der Kraftstoffeinspritzung, z. B. auf Steuerzeiten, Druck, Einspritzratensteuerung usw.

1.3.11. Abgasnachbehandlung

Die Funktion und Kombination folgender Einrichtungen zur Abgasnachbehandlung werden als Kriterien für die Festlegung einer Motorenfamilie betrachtet:

- a) Oxidationskatalysator,
- b) DeNO_x-System mit selektiver NO_x-Reduktion (Zusatz eines Reduktionsmittels);
- c) andere DeNO_x-Systeme,
- d) Partikelfilter mit passiver Regenerierung,
- e) Partikelfilter mit aktiver Regenerierung,

- f) andere Partikelfilter,
- g) sonstige Einrichtungen.

Wird ein ohne Abgasnachbehandlungssystem zertifizierter Motor (sei es als Stammmotor oder als Angehöriger einer Motorenfamilie) nachträglich mit einem Oxidationskatalysator (nicht mit Partikelfilter) ausgerüstet, so kann er in seiner bisherigen Motorenfamilie verbleiben, sofern er nicht unterschiedliche Anforderungen an den Kraftstoff stellt.

Stellt ein Motor nach Ausrüstung mit einem Abgasnachbehandlungssystem andere Anforderungen an den Kraftstoff (z. B. Kraftstoff mit besonderen Additiven, damit der Partikelfilter sich regenerieren kann), so ist die Entscheidung über seinen Verbleib in der bisherigen Motorenfamilie auf technische Angaben des Herstellers zu gründen. Diese Angaben müssen erkennen lassen, dass der Motor mit dieser Ausrüstung voraussichtlich dieselben Emissionsgrenzwerte einhält wie ohne sie.

Wurde ein Motor mit Abgasnachbehandlungssystem als Stammmotor oder Angehöriger einer Motorenfamilie zertifiziert, deren Stammmotor mit demselben Abgasnachbehandlungssystem ausgestattet ist wie er, so kann dieser Motor ohne Abgasnachbehandlungssystem nicht derselben Motorenfamilie angehören.

2. WAHL DES STAMMMOTORS

- 2.1. Das Hauptkriterium bei der Auswahl des Stammmotors der Motorenfamilie muss die höchste Kraftstoffförderung je Hub bei der angegebenen Drehzahl bei maximalem Drehmoment sein. Stimmen zwei oder mehr Motoren in diesem Merkmal überein, so ist der Stammmotor anhand des zweiten Kriteriums zu definieren, nämlich der höchsten Kraftstoffförderung je Hub bei Nenndrehzahl. Unter bestimmten Umständen kann die Genehmigungsbehörde zu dem Schluss kommen, dass der im ungünstigsten Fall festgestellte Emissionswert der Motorenfamilie am besten durch Prüfung eines zweiten Motors ermittelt werden kann. So kann die Genehmigungsbehörde einen zusätzlichen Motor für eine Prüfung aufgrund von Eigenschaften auswählen, die darauf hindeuten, dass er die höchsten Emissionswerte der Motoren innerhalb dieser Motorenfamilie aufweist.
 - 2.2. Weisen die Motoren innerhalb einer Motorenfamilie weitere veränderliche Leistungsmerkmale auf, bei denen von einer Beeinflussung der Abgasemissionen ausgegangen werden kann, so sind diese Merkmale ebenfalls zu bestimmen und bei der Auswahl des Stammmotors zu berücksichtigen.
-

ANHANG 2

MITTEILUNG

(Größtes Format: A4 (210 x 297 mm))



ausgestellt von: Bezeichnung der Behörde:

.....

.....

.....

Über die ⁽²⁾: Erteilung der Genehmigung
 Erweiterung der Genehmigung
 Versagung der Genehmigung
 Zurücknahme der Genehmigung
 Endgültige Einstellung der Produktion

für einen Typ eines Motors mit Selbstzündung oder eine Familie von Motortypen als selbständige technische Einheiten hinsichtlich der Emission von Schadstoffen nach der Regelung Nr. 96

Nummer der Genehmigung: Nr. der Erweiterung:

1. Handelsname oder -marke des Motors:
2. Motortyp(en):
- 2.1. Motorenfamilie:
- 2.2. Leistungsbereich der Motorenfamilie:
- 2.3. Veränderliche Drehzahl/feste Drehzahl ⁽²⁾
- 2.4. Motortypen innerhalb der Motorenfamilie:
- 2.5. Geprüfter Motortyp oder repräsentativer Motor der Motorenfamilie:
3. Name und Anschrift des Herstellers:
4. Gegebenenfalls Name und Anschrift des Vertreters des Herstellers:
5. Höchster zulässiger Ansaugunterdruck: kPa
6. Maximal zulässiger Abgasgegendruck: kPa
7. (Gegebenenfalls) Beschränkungen:
8. Emissionswerte – endgültige Prüfergebnisse mit Verschlechterungsfaktor DF

	NRSC	NRTC
CO (g/kWh)		
HC (g/kWh)		
NO _x (g/kWh)		
PM (g/kWh)		

9. Motor zur Prüfung für die Genehmigung vorgeführt am:
10. Technischer Dienst, der die Prüfung durchführt:
11. Datum des Prüfberichts des Technischen Dienstes:
12. Nummer des Prüfberichts des Technischen Dienstes:
13. Stelle, an der das Genehmigungszeichen am Motor angebracht ist:
14. Ort:
15. Datum:
16. Unterschrift:
17. Dieser Mitteilung sind folgende Unterlagen, die die oben genannte Genehmigungsnummer tragen, beigelegt:
 Ein vollständig ausgefülltes Exemplar des Anhangs 1A oder des Anhangs 1B dieser Regelung zusammen mit den angegebenen Zeichnungen und Diagrammen.

⁽¹⁾ Kennzahl des Landes, das eine Genehmigung erteilt/erweitert/versagt/zurückgenommen hat (siehe die Genehmigungsvorschriften der Regelung).

⁽²⁾ Nichtzutreffendes streichen.

Anlage 1

Prüfbericht für Selbstzündungsmotoren**Prüfergebnisse ⁽¹⁾****Angaben zum Prüfmotor**

Motorentyp:

Motorkennnummer:

1. Informationen zur Durchführung der Prüfung¹

1.1. Für die Prüfung verwendeter Bezugskraftstoff

1.1.1. Cetanzahl:

1.1.2. Schwefelgehalt:

1.1.3. Dichte:

1.2. Schmiermittel

1.2.1. Marke(n):

1.2.2. Typ(en):

(Wenn das Schmiermittel dem Kraftstoff zugesetzt ist, muss der prozentuale Anteil des Öls im Gemisch angegeben werden):

1.3. Vom Motor angetriebene Einrichtungen (falls vorhanden)

1.3.1. Aufzählung und Einzelheiten:

1.3.2. Aufgenommene Leistung bei angegebenen Motorendrehzahlen (nach Angaben des Herstellers):

Leistungsaufnahme der motorgebriebenen Einrichtungen bei verschiedenen Motordrehzahlen ⁽²⁾ , ⁽³⁾ unter Berücksichtigung von Anhang 7			
Einrichtung	Zwischendrehzahl (falls zutreffend)	Drehzahl bei maximaler Leistung (falls nicht identisch mit Nenndrehzahl)	Nenndrehzahl ⁽⁴⁾
Summe:			

1.4. Motorleistung

1.4.1. Motordrehzahlen:

Leerlauf: min⁻¹Zwischendrehzahl: min⁻¹Drehzahl bei maximaler Leistung: min⁻¹Nenndrehzahl ⁽⁵⁾: min⁻¹⁽¹⁾ Im Fall mehrerer Stammmotoren für jeden einzeln anzugeben.⁽²⁾ Nichtzutreffendes streichen.⁽³⁾ Darf 10 % der während der Prüfung gemessenen Leistung nicht überschreiten.⁽⁴⁾ Werte eintragen bei Motordrehzahl, die 100 % der normierten Drehzahl entspricht, falls in der NRSC-Prüfung diese Drehzahl verwendet wird.⁽⁵⁾ Motordrehzahl, die 100 % der normierten Drehzahl entspricht, eintragen, falls in der NRSC-Prüfung diese Drehzahl verwendet wird.

1.4.2. Motorleistung ⁽⁶⁾

Prüfbedingungen	Leistung (kW) bei verschiedenen Drehzahlen		
	Zwischendrehzahl (falls zutreffend)	Drehzahl bei maximaler Leistung (falls nicht identisch mit Nennndrehzahl)	Nennndrehzahl ⁽⁷⁾
Bei der angegebenen Prüfdrehzahl gemessene maximale Leistung (kW) (a)			
aufgenommene Gesamtleistung der vom Motor angetriebenen Einrichtungen nach Absatz 1.3.2 dieser Anlage unter Berücksichtigung von Anhang 7 (kW) (b)			
Nettomotorleistung nach Absatz 2.1.49 (kW) (c)			
$c = a + b$			

2. Informationen zur Durchführung der NRSC-Prüfung:

2.1. Einstellung des Leistungsprüfstandes (kW)

Teillastverhältnis	Einstellung des Leistungsprüfstandes (kW) bei verschiedenen Motordrehzahlen	
	Zwischendrehzahl (wenn zutreffend)	Nennndrehzahl ⁽⁷⁾
10 (wenn zutreffend)		
25 (wenn zutreffend)		
50		
75		
100		

2.2. Emissionswerte des Motors/Stammotors: ⁽⁸⁾Verschlechterungsfaktor (DF): berechnet/festgesetzt ⁽⁸⁾Geben Sie die DF-Werte und die Ergebnisse der Emissionsprüfung in der nachstehenden Tabelle an ⁽⁷⁾:

NRSC-Prüfung					
DF mult/ add ⁽⁸⁾	CO	HC	NO _x	PM	
Emissionen	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)
Prüfergebnis					
Abschließendes Prüfergebnis mit DF					

⁽⁶⁾ Nichtkorrigierte Leistung gemessen nach Absatz 2.1.49.⁽⁷⁾ Durch Werte bei einer Motordrehzahl, die 100 % der normierten Drehzahl entspricht, ersetzen, falls in der NRSC-Prüfung diese Drehzahl verwendet wird.⁽⁸⁾ Nichtzutreffendes streichen.

Zusätzliche Prüfpunkte für den Steuerbereich (falls erforderlich)						
Emissionen am Prüfpunkt	Drehzahl	Last (%)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)
Prüfungsergebnis 1						
Prüfungsergebnis 2						
Prüfungsergebnis 3						

2.3. Für die NRSC-Prüfung verwendetes Probenahmesystem:

2.3.1. Abgase ⁽⁹⁾:

2.3.2. PM ⁽⁹⁾:

2.3.2.1. Methode ⁽⁸⁾: Einfach-/Mehrfachfilter

3. Informationen zur Durchführung der NRTC-Prüfung (falls erforderlich) ⁽¹⁰⁾:

3.1. Emissionswerte des Motors/Stammotors ⁽⁸⁾

Verschlechterungsfaktor (DF): berechnet/festgesetzt ⁽⁸⁾

Geben Sie die DF-Werte und die Ergebnisse der Emissionsprüfung in der nachstehenden Tabelle ⁽⁹⁾ an:

Regenerierungserhebliche Daten sind bei Motoren der Leistungsbereiche Q und R anzugeben.

NRTC-Prüfung						
DF mult/ add ⁽⁸⁾	CO	HC	NO _x		PM	
Emissionen	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	HC+NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	
Kaltstart						
Emissionen	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	HC+NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)
Warmstart ohne Regenerierung						
Warmstart mit Regenerierung ⁽⁸⁾						
$k_{r,u}$ (mult/add) ⁽⁸⁾ $k_{r,d}$ (mult/add) ⁽⁸⁾						
Gewichtetes Prüfergebnis						
Abschließendes Prüfergebnis mit DF						

Zyklusarbeit für Warmstart ohne Regenerierung kWh

3.2. Für die NRTC-Prüfung verwendetes Probenahmesystem:

Gasförmige Emissionen ⁽⁹⁾:

PM ⁽⁹⁾:

Methode ⁽⁸⁾: Einfach-/Mehrfachfilter

⁽⁹⁾ Entsprechend dem verwendeten System Nummern der Abbildungen gemäß Anhang 4A Anlage 4 bzw. Anhang 4B Absatz 9 angeben.

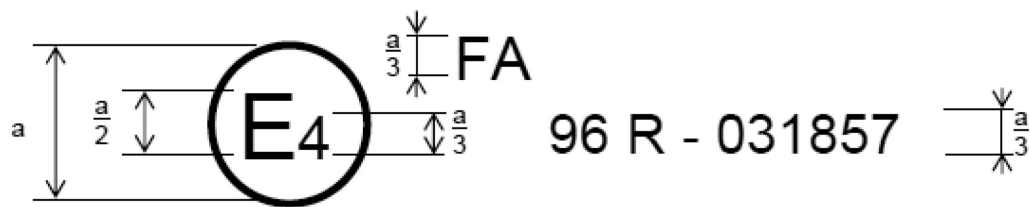
⁽¹⁰⁾ Bei mehreren Stammotoren ist jeder Stammotor anzugeben.

ANHANG 3

ANORDNUNGEN DER GENEHMIGUNGSZEICHEN

Muster A

(siehe Absatz 4.4 dieser Regelung)

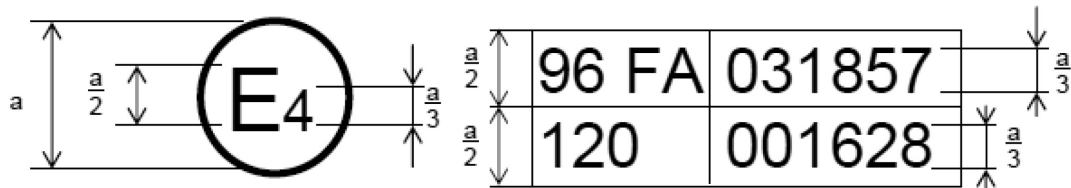


$a \geq 8 \text{ mm}$

Das oben dargestellte, an einem Motor angebrachte Genehmigungszeichen besagt, dass der betreffende Motortyp in den Niederlanden (E4) nach der Regelung Nr. 96 (entsprechend dem Emissionsniveau für den Leistungsbereich F und, wie der Buchstabe A anzeigt, als Motor mit veränderlicher Drehzahl) unter der Genehmigungsnummer 031857 genehmigt worden ist. Aus den ersten beiden Ziffern der Genehmigungsnummer geht hervor, dass die Regelung in ihrer geänderten Fassung (Änderungsserie 03) vorlag, als die Genehmigung erteilt wurde.

Muster B

(siehe Absatz 4.5 dieser Regelung)



$a \geq 8 \text{ mm}$

Das oben dargestellte, an einem Motor angebrachte Genehmigungszeichen besagt, dass der betreffende Motortyp in den Niederlanden (E4) nach den Regelungen Nr. 96 (entsprechend dem Emissionsniveau für den Leistungsbereich F und, wie der Buchstabe A anzeigt, als Motor mit veränderlicher Drehzahl) und Nr. 120 genehmigt worden ist. Aus den ersten beiden Ziffern der Genehmigungsnummer geht hervor, dass bei der Erteilung der jeweiligen Genehmigungen die Regelung Nr. 96 in ihrer geänderten Fassung (Änderungsserie 03) und die Regelung Nr. 120 in ihrer ursprünglichen Fassung vorlag.

ANHANG 4 A

METHODE ZUR BESTIMMUNG DER EMISSIONEN VON GASFÖRMIGEN SCHADSTOFFEN UND LUFTVERUNREINIGENDEN PARTIKELN**1. VORBEMERKUNG**

- 1.1. In diesem Anhang wird das Verfahren zur Messung der gasförmigen Schadstoffe und luftverunreinigenden Partikel aus den zu prüfenden Motoren beschrieben.

Folgende Prüfzyklen werden angewendet:

Der in den Absätzen 1.1 und 1.2 dieser Regelung beschriebene stationäre Prüfzyklus für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte (NRSC-Prüfzyklus) – er ist abgestellt auf die Spezifikation der zu verwendenden Einrichtungen für die Messung der Emissionen von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Partikeln für Motoren aller in den Absätzen 1.1, 1.2 und 1.3 der Regelung beschriebenen Leistungsbereiche – und der dynamische Prüfzyklus für mobile Maschinen und Geräte (NRTC-Prüfzyklus) – er ist anzuwenden für die Messung der Emissionen von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen Stickoxiden und Partikeln von Motoren der Leistungsbereiche L und darüber gemäß der Beschreibung in den Absätzen 1.1 und 1.2 dieser Regelung.

Die gasförmigen und Partikelemissionen aus dem zur Prüfung vorgeführten Motor sind nach den in Anhang 4A Anlage 4 beschriebenen Verfahren zu messen.

Andere Systeme oder Analysatoren können zugelassen werden, wenn mit ihnen gegenüber den folgenden Bezugssystemen gleichwertige Ergebnisse erzielt werden:

- a) dem in Anhang 4A Anlage 4 Abbildung 2 dargestellten System bei gasförmigen Emissionen, die im unverdünnten Abgas gemessen werden,
- b) dem in Anhang 4A Anlage 4 Abbildung 3 dargestellten System bei gasförmigen Emissionen, die im verdünnten Abgas eines Vollstrom-Verdünnungssystems gemessen werden,
- c) dem in Anhang 4A Anlage 4 Abbildung 13 dargestellte Vollstrom-Verdünnungssystem, das mit einem getrennten Filter für jeden Prüfpunkt arbeitet, bei Partikelemissionen.

Die Gleichwertigkeit des Systems ist anhand einer Korrelationsstudie mit sieben (oder mehr) Prüfzyklen zu ermitteln, die sich auf das betreffende System und eines oder mehrere der obengenannten Bezugssysteme bezieht.

Maßstab für die Gleichwertigkeit ist der Bereich von $\pm 5\%$, in dem die Mittelwerte der gewichteten Werte der Emissionen eines Zyklus übereinstimmen müssen. Der jeweils anzuwendende Zyklus muss den Angaben in Anhang 4A Absatz 3.6.1 entsprechen.

Soll ein neues System in die Regelung aufgenommen werden, so muss bei der Bestimmung der Gleichwertigkeit die Berechnung der Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit nach ISO 5725 zugrunde gelegt werden.

- 1.2. Für die Prüfung ist der Motor auf einer entsprechenden Prüfeinrichtung aufzubauen und an einen Leistungsprüfstand anzuschließen.

1.3. Messmethode:

Die zu messenden Abgase umfassen gasförmige Bestandteile (Kohlenmonoxid, sämtliche Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide) und Partikel. Zusätzlich wird Kohlendioxid häufig als Spürgas zur Bestimmung des Verdünnungsverhältnisses von Teilstrom- und Vollstromverdünnungssystemen genutzt. Nach bestem fachlichen Ermessen empfiehlt sich die generelle Messung von Kohlendioxid als besonders geeignetes Mittel zur Erkennung von Messproblemen während der Prüfung.

1.3.1. NRSC-Prüfung:

Unter einer vorgeschriebenen Abfolge von Betriebsbedingungen bei warmgefahrenem Motor sind die Mengen der vorstehend genannten Abgasemissionen durch Probenahme aus dem Rohabgas kontinuierlich zu prüfen. Der Prüfzyklus besteht aus einer Reihe von Drehzahl- und Drehmoment-(Last)prüfphasen, die den typischen Betriebsbereich von Dieselmotoren abdecken. In jeder Prüfphase sind die Konzentration jedes gasförmigen Schadstoffs, der Abgasstrom und die Leistung zu bestimmen sowie die gemessenen Werte zu gewichten (entweder mit Wichtungsfaktoren oder mit der Probenahmedauer). Die Partikelprobe ist mit konditionierter Umgebungsluft zu verdünnen. Über das gesamte Prüfverfahren ist eine Probe zu nehmen und auf geeigneten Filtern abzuscheiden.

Alternativ dazu kann bei Einzelprüfzyklen für jeden Zyklus eine Probe auf separaten Filtern genommen und die gewichteten Ergebnisse des Prüfzyklus können berechnet werden.

Die pro Kilowattstunde ausgestoßenen Gramm jedes Schadstoffs sind wie in Anlage 3 beschrieben zu berechnen.

1.3.2. NRTC-Prüfung:

Der vorgeschriebene dynamische Prüfzyklus (eng angelehnt an die Betriebsbedingungen von Dieselmotoren in nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten) wird zweimal durchgeführt:

- a) beim ersten Mal (Kaltstart), wenn der Motor auf Raumtemperatur abgekühlt ist und sich die Temperaturen von Motorkühlmittel und Motoröl, die Nachbehandlungseinrichtungen und sämtliche Motorsteuerungshilfsmittel zwischen 20 °C und 30 °C stabilisiert haben.
- b) beim zweiten Mal (Warmstart) nach Heißabstellung und 20minütiger Durchwärmung, die unmittelbar an Beendigung des Kaltstart-Zyklus anschließen.

Während dieser Prüfreihe sind die vorstehend genannten Schadstoffe zu messen. Die Prüfreihe besteht aus einem Kaltstart-Zyklus mit anschließender natürlicher oder Zwangskühlung des Motors, einer Durchwärmphase nach Heißabschaltung sowie einem Warmstart-Zyklus und wird mit einer Berechnung des Emissionsmischwertes abgeschlossen. Unter Verwendung der Motordrehmoment- und -drehzahlmesssignale des Motorleistungsprüfstands ist die Leistung entsprechend der Dauer des Prüfzyklus zu integrieren, dessen Ergebnis die Arbeit des Motors über den Zyklus ist. Die Konzentrationen der gasförmigen Bestandteile sind über den Prüfzyklus zu bestimmen, entweder im Rohabgas durch Integration des Signals des Analysegeräts gemäß Anlage 3 oder im verdünnten Abgas eines CVS-Vollstrom-Verdünnungssystems durch Integration oder durch eine Beutelprobe gemäß Anlage 3. Für Partikel ist eine verhältnismäßige Probe aus dem verdünnten Abgas auf einem besonderen Filter bei Teilstrom- oder Vollstromverdünnung zu nehmen. Je nach dem verwendeten Verfahren ist für die Berechnung der Masseemissionswerte der Schadstoffe der Durchsatz des verdünnten oder unverdünnten Abgases über den Zyklus zu bestimmen. Die Masseemissionswerte sind zur Motorarbeit in Bezug zu setzen, um den Ausstoß jedes Schadstoffs in Gramm pro Kilowattstunde angeben zu können.

Die Emissionen (g/kWh) sind sowohl während des Kaltstart- als auch des Warmstart-Zyklus zu messen. Ein gewichteter Emissionsmischwert ist zu berechnen durch Gewichtung der Kaltstartergebnisse mit 10 % und der Warmstartergebnisse mit 90 %. Der gewichtete Mischwert muss den Grenzwerten entsprechen.

1.4. Symbole für Prüfkennwerte

Symbol	Einheit	Begriff
A_p	m^2	Querschnittsfläche der isokinetischen Probenahmesonde
A_T	m^2	Querschnittsfläche des Auspuffrohrs
Durchschnitt		gewichtete Durchschnittswerte für:
	m^3/h	Volumendurchsatz
	kg/h	Massendurchsatz
	g/kWh	spezifische Emission
α	—	Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff des Kraftstoffes
C_1	—	C1-äquivalenter Kohlenwasserstoff
$conc$	ppm	Konzentration (mit nachgestellter Vol % Benennung des Bestandteils).
$conc_c$	ppm	hintergrundkorrigierte Konzentration Vol %
$conc_d$	ppm	Konzentration der Verdünnungsluft Vol %
DF	—	Verdünnungsfaktor
f_a	—	atmosphärischer Faktor im Labor
F_{FH}	—	kraftstoffspezifischer Faktor für die Berechnung der Feuchtkonzentrationen anhand des Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnisses der Trockenkonzentrationen
G_{AIRW}	kg/h	Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht
G_{AIRD}	kg/h	Massendurchsatz der Ansaugluft, trocken
G_{DILW}	kg/h	Massendurchsatz der Verdünnungsluft, feucht
G_{EDFW}	kg/h	Äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
G_{EXHW}	kg/h	Massendurchsatz des Abgases, feucht

Symbol	Einheit	Begriff
G_{FUEL}	kg/h	Kraftstoffmassendurchsatz
G_{TOTW}	kg/h	Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
H_{REF}	g/kg	Bezugswert der absoluten Luftfeuchtigkeit 10,71 g/kg für die Berechnung der Feuchtigkeitskorrekturfaktoren für NO _x und Partikel
H_a	g/kg	absolute Feuchtigkeit der Ansaugluft
H_d	g/kg	absolute Feuchtigkeit der Verdünnungsluft
i	—	Index für eine einzelne Prüfphase
K_H	—	Feuchtigkeitskorrekturfaktor für NO _x
K_p	—	Feuchtigkeitskorrekturfaktor für Partikel
$K_{W,a}$	—	Korrekturfaktor für Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand der Ansaugluft
$K_{W,d}$	—	Korrekturfaktor für Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand der Verdünnungsluft
$K_{W,e}$	—	Korrekturfaktor für die Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand des verdünnten Abgases
$K_{W,r}$	—	Korrekturfaktor für Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand des Rohabgases
L	%	Drehmomentanteil in %, bezogen auf das maximale Drehmoment bei der Prüfdrehzahl
$mass$	g/h	Index für den Schadstoffmassendurchsatz
M_{DIL}	kg	Masse der durch die Partikel-Probenahmefilter geleiteten Verdünnungsluftprobe
M_{SAM}	kg	Masse der durch die Partikel-Probenahmefilter geleiteten Probe der verdünnten Abgase
M_d	mg	abgeschiedene Partikelmasse der Verdünnungsluft
M_f	mg	abgeschiedene Partikelmasse
p_a	kPa	Sättigungsdampfdruck der Motoransaugluft (ISO 3046: $p_{sy} = \text{PSY}$ Umgebungsluft bei der Prüfung)
p_B	kPa	atmosphärischer Gesamtdruck (ISO 3046: $P_x = \text{PX}$ Gesamtumgebungsdruck am Ort $P_y = \text{PY}$ Gesamtumgebungsdruck bei der Prüfung)
p_d	kPa	Sättigungsdampfdruck der Verdünnungsluft
p_s	kPa	trockener atmosphärischer Druck
P	kW	Leistung, nicht bremsbetriebskorrigiert
P_{AE}	kW	angegebene Gesamtleistungsaufnahme durch Hilfseinrichtungen, die für die Prüfung angebracht wurden und nach Absatz 2.1.49 dieser Regelung nicht erforderlich sind
P_M	kW	Höchstleistung, die bei der Prüfdrehzahl unter Prüfbedingungen gemessen wird (siehe Anhang 1A)
P_m	kW	bei den einzelnen Prüfphasen gemessene Leistung
q	—	Verdünnungsverhältnis
r	—	Quotient der Querschnittsflächen der isokinetischen Sonde und des Auspuffrohrs
R_a	%	Relative Feuchtigkeit der Ansaugluft
R_d	%	relative Feuchtigkeit der Verdünnungsluft:
R_f	—	FID-Ansprechfaktor
S	kW	Einstellwert des Leistungsprüfstands
T_a	K	absolute Temperatur der Ansaugluft
T_{Dd}	K	absolute Taupunkttemperatur

Symbol	Einheit	Begriff
T_{SC}	K	Temperatur der zwischengekühlten Luft
T_{ref}	K	Bezugstemperatur (der Verbrennungsluft 298 K (25 °C))
T_{SCRef}	K	Bezugstemperatur der zwischengekühlten Luft
V_{AIRD}	m ³ /h	Volumendurchsatz der Ansaugluft, trocken
V_{AIRW}	m ³ /h	Volumendurchsatz der Ansaugluft, feucht
V_{DIL}	m ³	Volumen der durch die Partikel-Probenahmefilter geleiteten Verdünnungsluft
V_{DILW}	m ³ /h	Volumendurchsatz der Verdünnungsluft, feucht
V_{EDFW}	m ³ /h	äquivalenter Volumendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
V_{EXHD}	m ³ /h	Volumendurchsatz des Abgases, trocken
V_{EXHW}	m ³ /h	Volumendurchsatz des Abgases, feucht
V_{SAM}	m ³	Volumen der Probe durch Partikel-Probenahmefilter
V_{TOTW}	m ³ /h	Volumendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
WF	—	Wichtungsfaktor
WF _E	—	Effektiver Wichtungsfaktor

2. PRÜFBEDINGUNGEN

2.1. Allgemeine Anforderungen

Alle Volumen und Volumendurchsätze sind stets bezogen auf 273 K (0 °C) und 101,3 kPa anzugeben.

2.2. Bedingungen für die Prüfung des Motors

2.2.1. Die absolute Temperatur T_a (in Kelvin) der Verbrennungsluft am Einlass des Motors und der trockene atmosphärische Druck p_s (in kPa) sind zu messen, und die Kennzahl f_a ist nach folgender Formel zu berechnen:

Bei Saugmotoren und mechanisch aufgeladenen Motoren:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,7}$$

bei Motoren mit Turbolader mit oder ohne Ladeluftkühlung:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{1,5}$$

2.2.2. Gültigkeit der Prüfung

Eine Prüfung ist gültig, wenn die Kennzahl f_a innerhalb folgender Grenzen liegt:

$$0,96 \leq f_a \leq 1,06$$

2.2.3. Motoren mit Ladeluftkühlung

Die Ladelufttemperatur ist aufzuzeichnen und muss bei der angegebenen Nenndrehzahl und Volllast ± 5 K der vom Hersteller angegebenen Ladelufthöchsttemperatur betragen. Die Temperatur des Kühlmittels muss mindestens 293 K (20 °C) betragen.

Bei Verwendung einer Prüfstandanlage oder eines externen Gebläses ist die Ladelufttemperatur auf ± 5 K der vom Hersteller angegebenen Ladelufthöchsttemperatur bei der Drehzahl der angegebenen Höchstleistung und Volllast einzustellen. Kühlmitteltemperatur und Kühlmitteldurchsatz des Ladeluftkühlers am vorstehend festgesetzten Punkt dürfen während des gesamten Prüfzyklus nicht verändert werden. Das Volumen des Ladeluftkühlers muss auf bestem fachlichen Ermessen und typischen Fahrzeugen/Maschinen und Geräten basieren.

Wahlweise kann der Ladeluftkühler gemäß SAE J 1937 in der im Januar 1995 veröffentlichten Fassung eingestellt werden.

2.3. Ansaugsystem des Motors

Der zu prüfende Motor muss mit einem Ansaugsystem versehen sein, dessen Lufteinlasswiderstand innerhalb des vom Hersteller angegebenen Wertes von ± 300 Pa für einen sauberen Luftfilter bei dem Betriebszustand des Motors liegt, bei dem sich nach Angaben des Herstellers der größte Luftdurchsatz ergibt. Die Widerstände sind auf Nenndrehzahl und Volllast einzustellen. Eine Prüfstandsanlage kann verwendet werden, sofern sie die tatsächlichen Motorbetriebsbedingungen wiedergibt.

2.4. Abgasanlage des Motors

Der zu prüfende Motor muss mit einer Auspuffanlage versehen sein, deren Abgasgegendruck im Bereich von ± 650 Pa um den vom Hersteller angegebenen Wert bei den Motorbetriebsbedingungen liegt, die zur angegebenen Höchstleistung führen.

Ist der Motor mit einer Abgasnachbehandlungseinrichtung ausgerüstet, so muss der Durchmesser des Auspuffrohrs genauso groß sein wie er im normalen Einsatz für wenigstens vier Rohrdurchmesser oberhalb des Einlasses am Beginn des die Nachbehandlungseinrichtung enthaltenden Ausdehnungsabschnitts verwendet wird. Der Abstand von der Auspuffkrümmeranschlussstelle bzw. vom Turboladerauslass bis zur Abgasnachbehandlungseinrichtung muss so groß sein wie in der Maschinenkonfiguration oder in den Abstandsangaben des Herstellers angegeben. Für den Abgasgegendruck oder die Drosselung gelten die Bestimmungen der vorstehenden Absätze; sie können mithilfe eines Ventils eingestellt werden. Für Blindprüfungen und die Motorabbildung kann der Behälter der Nachbehandlungseinrichtung entfernt und durch einen gleichartigen Behälter mit inaktivem Katalysatorträger ersetzt werden.

2.5. Kühlsystem

Vom Hersteller ist ein Motorkühlsystem mit einer Leistungsfähigkeit vorzugeben, die es ermöglicht, den Motor auf den normalen Betriebstemperaturen zu halten.

2.6. Schmieröl

Die technischen Daten des bei der Prüfung verwendeten Schmieröles sind aufzuzeichnen und zusammen mit den Prüfergebnissen vorzulegen.

2.7. Prüfkraftstoff

Als Kraftstoff ist der in Anhang 6 für den jeweiligen Leistungsbereich angegebene Bezugskraftstoff zu verwenden:

Anhang 6 Tabelle 1 für die Leistungsbereiche D bis G,

Anhang 6 Tabelle 2 für die Leistungsbereiche H bis K,

Anhang 6 Tabelle 3 für die Leistungsbereiche L bis P.

Für die Leistungsbereiche H bis K kann wahlweise der in Anhang 6 Tabelle 1 angegebene Bezugskraftstoff verwendet werden.

Die Cetanzahl und der Schwefelgehalt des für die Prüfung verwendeten Bezugskraftstoffs sind in Anhang 2 Anlage 1 Absatz 1.1 aufzuzeichnen.

Die Kraftstofftemperatur am Einlass der Einspritzpumpe muss 306-316 K (33-43 °C) betragen.

3. DURCHFÜHRUNG DER PRÜFUNG (NRSC-PRÜFUNG)

3.1. Bestimmung der Einstellungen des Leistungsprüfstands

Die Grundlage der Messung der spezifischen Emissionen bildet die nichtkorrigierte Bremsleistung gemäß Regelung Nr. 120.

Bei der Prüfung sind die zum Betrieb des Motors erforderlichen Hilfseinrichtungen nach den Vorschriften von Anhang 7 anzubringen.

Wurden Hilfseinrichtungen nicht entfernt, ist zur Berechnung der Einstellungen des Leistungsprüfstands die von diesen Einrichtungen bei den Prüfdrehzahlen aufgenommene Leistung zu bestimmen; ausgenommen sind Motoren, bei denen derartige Hilfseinrichtungen einen integralen Bestandteil des Motors bilden (z. B. Kühlgebläse bei luftgekühlten Motoren).

Der Lufteinlasswiderstand und der Abgasgegendruck sind entsprechend den Absätzen 2.3 und 2.4 auf die vom Hersteller angegebenen Obergrenzen einzustellen.

Die maximalen Drehmomentwerte bei den angegebenen Prüfdrehzahlen sind experimentell zu bestimmen, damit die Drehmomentwerte für die angegebenen Prüfpunkte berechnet werden können. Bei Motoren, die nicht für den Betrieb über einen bestimmten Drehzahlbereich auf der Vollast-Drehmomentkurve ausgelegt sind, ist das maximale Drehmoment bei den jeweiligen Prüfdrehzahlen vom Hersteller anzugeben.

Die Motoreinstellung ist für jeden Prüfpunkt anhand der nachstehenden Formel zu berechnen:

$$S = \left(\left(P_M + P_{AE} \right) \cdot \frac{L}{100} \right) - P_{AE}$$

Wenn der Quotient

$$\frac{P_{AE}}{P_M} \Rightarrow 0,03$$

beträgt, kann der Wert von P_{AE} von der Typgenehmigungsbehörde nachgeprüft werden.

3.2. Vorbereitung der Probenahmefilter

Wenigstens eine Stunde vor der Prüfung ist jedes einzelne Filter(paar) in einer verschlossenen, aber nicht abgedichteten Petrischale zur Stabilisierung in eine Wägekammer zu bringen. Nach der Stabilisierungsphase ist jedes Filter(paar) zu wiegen und das Taragewicht aufzuzeichnen. Das Filter(paar) ist dann in einer verschlossenen Petrischale oder einem Filterhalter bis zur Prüfung aufzubewahren. Wird das Filter(paar) nicht binnen acht Stunden nach seiner Entnahme aus der Wägekammer verwendet, so ist es vor seiner Verwendung erneut zu wiegen.

3.3. Anbringung der Messgeräte

Die Geräte und die Probenahmesonden sind vorschriftsgemäß anzubringen. Wird zur Verdünnung der Auspuffgase ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet, so ist das Auspuffendrohr an das System anzuschließen.

3.4. Inbetriebnahme des Verdünnungssystems und des Motors

Das Verdünnungssystem und der Motor sind in Betrieb zu setzen und anzuwärmen, bis sich alle Temperaturen und Drücke bei Vollast und der Nenndrehzahl stabilisiert haben (Absatz 3.6.2).

3.5. Einstellung des Verdünnungsverhältnisses

Das Partikel-Probenahmesystem ist zu starten und bei Anwendung der Einfachfiltermethode auf Bypass zu betreiben (bei der Mehrfachfiltermethode wahlfrei). Der Partikelhintergrund der Verdünnungsluft kann bestimmt werden, indem Verdünnungsluft durch die Partikelfilter geleitet wird. Wird gefilterte Verdünnungsluft verwendet, so kann eine Messung jederzeit vor, während oder nach der Prüfung durchgeführt werden. Wird die Verdünnungsluft nicht gefiltert, so muss die Messung an einer für die Dauer der Prüfung genommenen Probe erfolgen.

Die Verdünnungsluft ist so einzustellen, dass die Filteranströmtemperatur bei jeder Prüfphase zwischen 315 K (42 °C) und 325 K (52 °C) beträgt. Das Gesamtverdünnungsverhältnis darf nicht weniger als vier betragen.

Hinweis: Bei den Leistungsbereichen bis einschließlich K und Verwendung von Einzelprüfzyklen kann anstelle der Einhaltung des Temperaturbereichs von 42 °C-52 °C die Filtertemperatur auf oder unter der Höchsttemperatur von 325 K (52°C) gehalten werden.

Bei der Einfach- und der Mehrfachfiltermethode in Vollstromsystemen muss der Probemassendurchsatz durch den Filter bei allen Prüfphasen in einem konstanten Verhältnis zum Massendurchsatz des verdünnten Abgases stehen. Dieses Masseverhältnis muss – mit Ausnahme der ersten 10 s der Prüfphase bei Systemen ohne Bypassmöglichkeit – mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ in Bezug auf den mittleren Wert der Prüfphase eingehalten werden. Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen mit Einfachfiltermethode muss der Massendurchsatz durch den Filter – mit Ausnahme der ersten 10 s jeder Prüfphase bei Systemen ohne Bypassmöglichkeit – mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ in Bezug auf den mittleren Wert der Prüfphase konstant gehalten werden.

Bei Systemen mit geregelter CO_2 - oder NO_x -Konzentration ist der CO_2 - oder NO_x -Gehalt der Verdünnungsluft am Anfang und am Ende jeder Prüfung zu messen. Die vor und nach der Prüfung gemessenen Werte der Hintergrundkonzentration der Verdünnungsluft darf beim CO_2 um höchstens 100 ppm und beim NO_x um höchstens 5 ppm von der nach der Prüfung gemessenen Konzentration abweichen.

Wird ein Analysesystem für verdünntes Abgas verwendet, so ist die entsprechende Hintergrundkonzentration zu bestimmen, indem während des gesamten Prüfablaufes Verdünnungsluft in einen Probenahmebeutel geleitet wird.

Die fortlaufende Hintergrundkonzentration kann (ohne Beutel) an mindestens drei Punkten (zu Beginn, am Ende und nahe der Zyklusmitte) bestimmt und der Durchschnitt der Werte ermittelt werden. Auf Antrag des Herstellers kann auf Hintergrundmessungen verzichtet werden.

3.6. Überprüfung der Analysatoren

Die Emissionsanalysatoren sind auf Null einzustellen und zu kalibrieren.

3.7. Prüfzyklus

3.7.1. Maschinenvorschriften gemäß den Absätzen 1.1 bis 1.3:

3.7.1.1. Vorschrift A:

Beim Betrieb des zu prüfenden Motors auf dem Leistungsprüfstand ist für die in den Absätzen 1.1 und 1.2 dieser Regelung behandelten Motoren der 8-Phasen-Einzelprüfzyklus ⁽¹⁾ nach Anhang 5 Absatz 1.1 Unterabsatz a durchzuführen.

Wahlweise kann der entsprechende gestufte 9-Phasen-Prüfzyklus in Anhang 5 Absatz 1.2 Unterabsatz a verwendet werden. In diesem Fall ist der Prüfzyklus nicht nach den Absätzen 3.7.2 bis 3.7.6 zu fahren, sondern nach Anhang 4B Absatz 7.8.2.

3.7.1.2. Vorschrift B:

Beim Betrieb des zu prüfenden Motors auf dem Leistungsprüfstand ist für die in Absatz 1.3 dieser Regelung behandelten Motoren der 5-Phasen-Einzelprüfzyklus ⁽²⁾ nach Anhang 5 Absatz 1.1 Unterabsatz b durchzuführen.

Wahlweise kann der entsprechende gestufte 5-Phasen-Prüfzyklus in Anhang 5 Absatz 1.2 Unterabsatz b verwendet werden. In diesem Fall ist der Prüfzyklus nicht nach den Absätzen 3.7.2 bis 3.7.6 zu fahren, sondern nach Anhang 4B Absatz 7.8.2.

Die Lastzahlen sind Prozentwerte des Drehmoments entsprechend der Grundleistungsangabe, die definiert wird als während einer Folge mit variabler Leistung verfügbare Höchstleistung, die pro Jahr eine unbegrenzte Anzahl von Stunden lang gefahren werden kann, und zwar zwischen angegebenen Wartungsintervallen und unter den angegebenen Umgebungsbedingungen, wenn die Wartung wie vom Hersteller vorgeschrieben durchgeführt wird.

3.7.2. Konditionierung des Motors

Der Motor und das System sind bei Höchstdrehzahl und maximalem Drehmoment warmzufahren, um die Motorkennwerte entsprechend den Empfehlungen des Herstellers zu stabilisieren.

Hinweis: Durch die Konditionierungsphase soll auch verhindert werden, dass Rückstände von früheren Prüfungen in der Auspuffanlage einen Einfluss ausüben. Außerdem ist zwischen den Prüfpunkten eine Stabilisierungsphase vorgeschrieben, die aufgenommen wurde, um Einflüsse von einem Punkt auf den anderen so gering wie möglich zu halten.

3.7.3. Prüffolge

Die Prüffolge ist zu beginnen. Die Prüfung ist in aufsteigender Reihenfolge der oben angegebenen Prüfphasen der Prüfzyklen durchzuführen.

Bei jedem Punkt des jeweiligen Prüfzyklus muss nach der Übergangsphase zu Anfang die vorgeschriebene Drehzahl mit einer Toleranz von $\pm 1\%$ der Nenndrehzahl oder $\pm 3 \text{ min}^{-1}$ eingehalten werden, wobei jeweils die größere Toleranz zu wählen ist; dies gilt nicht für die abgesenkte Leerlaufdrehzahl, die innerhalb der vom Hersteller angegebenen Toleranzen liegen muss. Das vorgeschriebene Drehmoment muss eingehalten werden, so dass der Durchschnittswert während der gesamten Dauer der Messungen dem Wert des maximalen Drehmoments bei der Prüfdrehzahl mit einer Toleranz von $\pm 2\%$ entspricht.

Für jeden Messpunkt wird eine Mindestzeit von zehn Minuten benötigt. Sind bei der Prüfung eines Motors längere Probenahmezeiten erforderlich, damit sich eine ausreichende Partikelmasse auf dem Messfilter sammelt, kann die Dauer der Prüfphase nach Bedarf verlängert werden.

Die Dauer der Prüfphasen ist aufzuzeichnen und anzugeben.

Die Konzentrationswerte der gasförmigen Emissionen sind während der letzten drei Minuten der Prüfphase zu messen und aufzuzeichnen.

Die Partikelprobenahme und die Messung der Abgasemissionen sollten nicht vor Eintritt der Motorstabilisierung gemäß den Anweisungen des Herstellers erfolgen; sie müssen gleichzeitig beendet werden.

Die Kraftstofftemperatur ist am Einlass der Einspritzpumpe oder nach Angabe des Herstellers zu messen; die Messstelle ist anzugeben.

3.7.4. Ansprechverhalten der Analysegeräte

Die Messwerte der Analysatoren sind auf einem Bandschreiber aufzuzeichnen oder mit einem gleichwertigen Datenerfassungssystem zu messen, wobei die Abgase mindestens während der letzten drei Minuten jeder Phase durch die Analysatoren fließen müssen. Wird bei der Messung von verdünntem CO und CO₂ die Probenahme mit Beuteln vorgenommen (siehe Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.4.4), so ist während der letzten drei Minuten jeder Phase eine Probe in den Beutel einzuleiten, die Probe aus dem Beutel zu analysieren und das Ergebnis aufzuzeichnen.

⁽¹⁾ Identisch mit dem Zyklus C1, wie in Absatz 8.3.1.1 der Norm ISO 8178-4: 2007 (korrigierte Fassung 2008) beschrieben.

⁽²⁾ Identisch mit dem Zyklus D2, wie in Absatz 8.4.1 der Norm ISO 8178-4: 2007 (korrigierte Fassung 2008) beschrieben.

3.7.5. Partikelprobenahme

Bei der Partikel-Probenahme kann entweder das Einfach- oder das Mehrfachfilterverfahren angewendet werden (Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.5). Da die Ergebnisse bei diesen Methoden leichte Abweichungen aufweisen können, muss zusammen mit den Ergebnissen auch die verwendete Methode angegeben werden.

Bei der Einfachfiltermethode müssen die im Prüfzyklusverfahren angegebenen Wichtungsfaktoren für die jeweiligen Prüfphasen bei der Probenahme berücksichtigt werden, indem der Probendurchsatz und/oder die Probenahmezeit entsprechend eingestellt werden/wird.

Die Probenahme muss bei jeder Prüfphase so spät wie möglich erfolgen. Die Probenahme muss bei jeder Phase mindestens 20 s beim Einfachfilterverfahren und mindestens 60 s beim Mehrfachfilterverfahren dauern. Bei Systemen ohne Bypassmöglichkeit muss die Probenahme je Prüfphase bei Einfach- und Mehrfachfiltermethode mindestens 60 s dauern.

3.7.6. Motorbedingungen

Die Motordrehzahl und -last, die Ansauglufttemperatur, der Kraftstoffdurchsatz, der Luft- oder Abgasdurchsatz sind bei jeder Phase zu messen, sobald sich die Motorkennwerte stabilisiert haben.

Ist die Messung des Abgasdurchsatzes oder die Messung der Verbrennungsluft und des Kraftstoffverbrauches nicht möglich, so können diese Werte mit Hilfe des Kohlenstoff- und Sauerstoffbilanzverfahrens berechnet werden (siehe Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.2.3).

Zusätzliche Messwerte, die für die Berechnung benötigt werden, sind aufzuzeichnen (siehe Anhang 4A Anlage 3 Absätze 1.1 und 1.2).

3.8. Erneute Überprüfung der Analysegeräte

Nach der Emissionsprüfung werden ein Nullgas und dasselbe Justiergas zur erneuten Überprüfung verwendet. Die Prüfung ist als gültig anzusehen, wenn die Differenz zwischen den beiden Messergebnissen weniger als 2 % beträgt.

4. DURCHFÜHRUNG DER PRÜFUNG (NRTC-PRÜFUNG)

4.1. Vorbemerkung

Die dynamische Prüfung für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte (NRTC) ist in Anhang 5 aufgeführt als sekundenweise wechselnde Folge normierter Drehzahl- und Drehmomentwerte, die für alle unter diese Regelung fallenden Dieselmotoren gilt. Zur Durchführung der Prüfung an einer Motorprüfzelle werden die normierten Werte auf der Grundlage der Motorabbildungskurve in die tatsächlichen Werte für den einzelnen geprüften Motor umgerechnet. Diese Umrechnung wird als Entnormierung bezeichnet, der entwickelte Prüfzyklus als Bezugsprüfzyklus des zu prüfenden Motors. Mit diesen Bezugswerten für Drehzahl und Drehmoment wird der Zyklus in der Prüfzelle durchgeführt, die Drehzahl- und Drehmomentmesswerte werden aufgezeichnet. Um den Prüflauf zu validieren, muss beim Abschluss der Prüfung eine Regressionsanalyse der Bezugswerte und der Drehzahl- und Drehmomentmesswerte Abschluss der Prüfung durchgeführt werden.

4.1.1. Die Verwendung von Abschalteinrichtungen und der Einsatz anormaler Emissionsminderungsstrategien sind untersagt.

4.2. Motorabbildungsverfahren

Zur Einrichtung des NRTC in der Prüfzelle muss der Motor vor dem Prüfzyklus abgebildet werden, um die Drehzahl-Drehmoment-Kurve zu bestimmen.

4.2.1. Bestimmung des Drehzahlbereichs der Abbildung

Die niedrigste und die höchste Abbildungsdrehzahl werden wie folgt festgelegt:

niedrigste Abbildungsdrehzahl	=	Leerlaufdrehzahl
höchste Abbildungsdrehzahl	=	$n_{hi} \times 1,02$ oder, falls niedriger, die Drehzahl, bei der das Vollast-Drehmoment auf Null sinkt (wobei n_{hi} die hohe Drehzahl ist, definiert als die höchste Drehzahl, bei der 70 % der Nennleistung geliefert werden).

4.2.2. Motorabbildungskurve

Der Motor läuft bei Höchstleistung warm, um die Motorkenndaten nach den Herstellerempfehlungen und bestem fachlichen Ermessen zu stabilisieren. Ist der Motor stabilisiert, ist wie folgt vorzugehen:

4.2.2.1. Dynamik-Abbildung

a) Der Motor wird ohne Last und bei Leerlaufdrehzahl betrieben.

b) Der Motor wird bei Vollaststellung der Einspritzpumpe mit niedrigster Abbildungsdrehzahl betrieben.

- c) Die Motordrehzahl wird mit einem Durchschnittswert von $8 \pm 1 \text{ min}^{-1}/\text{s}$ von der niedrigsten auf die höchste Abbildungsdrehzahl gesteigert. Die Motordrehzahl und das Drehmoment sind mit einer Abtastfrequenz von mindestens einem Punkt pro Sekunde aufzuzeichnen.

4.2.2.2. Schrittabbildung

- a) Der Motor wird ohne Last und bei Leerlaufdrehzahl betrieben.
- b) Der Motor ist bei Vollaststellung der Einspritzpumpe mit niedrigster Abbildungsdrehzahl zu betreiben.
- c) Bei Vollast ist die niedrigste Abbildungsdrehzahl für mindestens 15 s zu halten, und das mittlere Drehmoment der letzten 5 s ist aufzuzeichnen. Die maximale Drehmomentkurve von der niedrigsten bis zur höchsten Abbildungsdrehzahl ist mit einem Drehzahlanstieg in Schritten von nicht mehr als $100 \pm 20 \text{ min}^{-1}$ zu bestimmen. Jeder Prüfpunkt ist mindestens 15 s lang zu halten und das mittlere Drehmoment der letzten 5 s ist aufzuzeichnen.

4.2.3. Erzeugung der Abbildungskurve

Alle gemäß Abschnitt 4.2.2 aufgezeichneten Messwertpunkte sind mittels linearer Interpolation zwischen den Punkten miteinander zu verbinden. Die resultierende Drehmomentkurve ist die Abbildungskurve; ihre Verwendung erfolgt gemäß der Beschreibung in Absatz 4.3.3 für die Umrechnung der normierten Drehmomentwerte des Ablaufplans für den Motorleistungsprüfstand in Anhang 5 in tatsächliche Drehmomentwerte für den Prüfzyklus.

4.2.4. Andere Abbildungsverfahren

Ist ein Hersteller der Auffassung, dass die oben beschriebenen Abbildungsverfahren für einen bestimmten Motor nicht sicher oder repräsentativ sind, können andere Abbildungstechniken benutzt werden. Diese anderen Techniken müssen dem Zweck der beschriebenen Abbildungsverfahren genügen, der darin besteht, bei allen Motordrehzahlen, die während der Prüfzyklen auftreten, das höchste verfügbare Drehmoment zu bestimmen. Abweichungen von den in diesem Absatz beschriebenen Abbildungstechniken aufgrund sicherheitstechnischer Belange oder zugunsten einer besseren Repräsentativität müssen zusammen mit der entsprechenden Begründung von den beteiligten Parteien genehmigt werden. Auf keinen Fall jedoch darf die Drehmomentkurve für geregelte Motoren oder Turbomotoren mit sinkenden Motordrehzahlen erstellt werden.

4.2.5. Wiederholungsprüfungen

Ein Motor muss nicht vor jedem einzelnen Prüfzyklus abgebildet werden. Eine erneute Abbildung ist vor einem Prüfzyklus durchzuführen, wenn:

- a) ein nach fachlichem Ermessen unangemessen langer Zeitraum seit der letzten Abbildung vergangen ist oder
- b) am Motor mechanische Veränderungen oder Nachkalibrierungen vorgenommen wurden, die sich möglicherweise auf die Motorleistung auswirken.

4.3. Erstellung des Bezugsprüfzyklus

4.3.1. Bezugsdrehzahl:

Die Bezugsdrehzahl (n_{ref}) entspricht den im Ablaufplan für den Motorprüfstand in Anhang 5 vorgegebenen normierten 100 %-Drehzahlwerten. Der sich aus der Entnormierung der Bezugsdrehzahl ergebende tatsächliche Motorzyklus hängt weitgehend von der Wahl der geeigneten Bezugsdrehzahl ab. Die Bezugsdrehzahl wird anhand folgender Formel festgelegt:

$$n_{\text{ref}} = \text{niedrige Drehzahl} + 0,95 (\text{hohe Drehzahl} - \text{niedrige Drehzahl})$$

(Die hohe Drehzahl ist die höchste Drehzahl, bei der 70 % der Nennleistung abgegeben werden, die niedrige Drehzahl ist die niedrigste Drehzahl, bei der 50 % der Nennleistung abgegeben werden.)

Entspricht die gemessene Bezugsdrehzahl der vom Hersteller angegebenen Bezugsdrehzahl $\pm 3 \%$, darf die gemessene Bezugsdrehzahl für die Emissionsprüfung verwendet werden. Wird die Toleranz überschritten, ist die ermittelte Bezugsdrehzahl für die Emissionsprüfung zu verwenden. (Dies entspricht der ISO-Norm 8178-11:2006.)

4.3.2. Entnormierung der Motordrehzahl

Die Drehzahl ist nach folgender Gleichung zu entnormieren:

$$\text{ActualSpeed} = \frac{\% \text{speed}}{100} \cdot (\text{referencespeed} - \text{idlespeed}) + \text{idlespeed}$$

4.3.3. Entnormierung des Motordrehmoments

Die im Ablaufplan in Anhang 5 für den Motorleistungsprüfstand angegebenen Drehmomentwerte sind auf die Höchstwerte bei den jeweiligen Drehzahlen normiert. Anhand der nach Absatz 4.2.2 bestimmten Abbildungskurve sind die Drehmomentwerte des Bezugszyklus wie folgt zu entnormieren:

$$Actualtorque = \frac{\%torque}{100} \cdot max.torque$$

für die jeweilige tatsächliche Drehzahl gemäß Absatz 4.3.2.

4.3.4. Beispiel eines Entnormierungsverfahrens

Es folgt ein Beispiel, bei dem der folgende Prüfpunkt entnormiert werden soll:

% Drehzahl = 43 %

% Drehmoment = 82 %

Unter der Annahme folgender Werte:

Bezugsdrehzahl = 2 200 min⁻¹

Leerlaufdrehzahl = 600 min⁻¹

ergibt sich

$$ActualSpeed = \frac{43}{100} \cdot (2\,200 - 600) + 600 = 1\,288 \text{ min}^{-1}$$

wobei das in der Abbildungskurve beobachtete höchste Drehmoment 700 Nm bei 1 288 min⁻¹ beträgt.

$$Actualtorque = \frac{82}{100} \cdot 700 = 574 \text{ Nm}$$

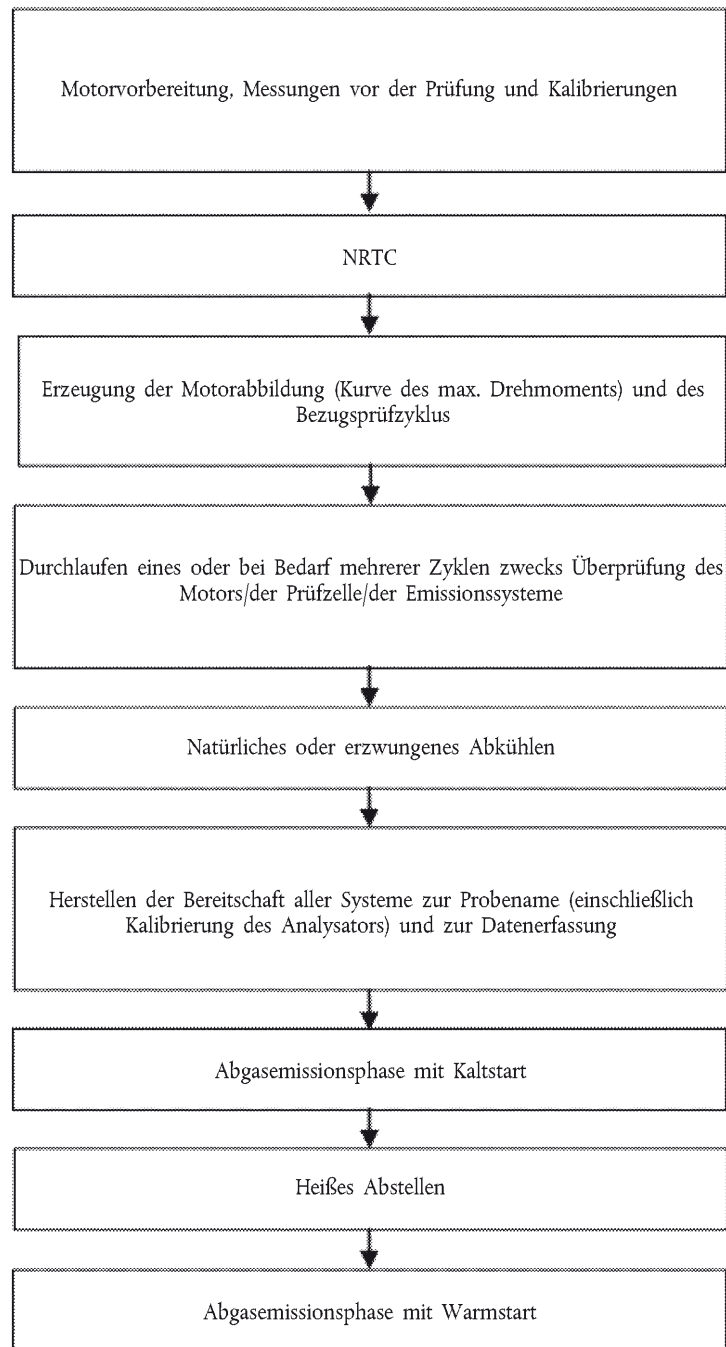
4.4. Leistungsprüfstand

4.4.1. Bei Verwendung eines Kraftaufnehmers wird das Drehmomentsignal auf die Motorachse übertragen, wobei die Trägheit des Leistungsprüfstands zu berücksichtigen ist. Tatsächliches Motordrehmoment ist das auf dem Kraftaufnehmer abgelesene Drehmoment plus das Trägheitsmoment der Bremse multipliziert mit der Winkelbeschleunigung. Das Steuerungssystem muss diese Berechnung in Echtzeit durchführen.

4.4.2. Wird der Motor mit einem Wirbelstromprüfstand geprüft, so empfiehlt es sich, dass die Zahl der Punkte, bei denen die Differenz $T_{sp} - 2 \cdot \pi \cdot \dot{n}_{sp} \cdot \Theta_D$ weniger als 5 % der Höchstdrehzahl beträgt, 30 nicht überschreitet (wobei T_{sp} die geforderte Drehzahl, n_{sp} die Ableitung der Motordrehzahl und Θ_D die Rotationsträgheit des Wirbelstromprüfstands ist).

4.5. Durchführung der Emissionsprüfung

Im folgenden Flussdiagramm wird der Prüfablauf skizziert:



Einer oder mehrere Praxiszyklen können durchgeführt werden, soweit dies vor dem Messzyklus zur Prüfung von Motor, Prüfzelle und Abgassystem erforderlich ist.

4.5.1. Vorbereitung der Probenahmefilter

Mindestens eine Stunde vor der Prüfung ist jeder einzelne Filter wenigstens eine Stunde lang in einer Petrischale, die vor Verschmutzungen durch Staub geschützt ist und Luftaustausch erlaubt, in eine Wägekammer zu bringen und dort zu stabilisieren. Nach der Stabilisierungsphase ist jeder Filter zu wägen und das Gewicht aufzuzeichnen. Dann ist der Filter in einer verschlossenen Petrischale oder einem verschlossenen Filterhalter aufzubewahren, bis es zur Messung kommt. Der Filter ist binnen acht Stunden nach seiner Entnahme aus der Wägekammer zu verwenden. Das Gewicht des unbeladenen Filters ist aufzuzeichnen.

4.5.2. Anbringung der Messgeräte

Die Geräte und die Probenahmesonden sind vorschriftsgemäß anzubringen. Wird ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet, so ist das Abgasrohr an das System anzuschließen.

4.5.3. Inbetriebnahme des Verdünnungssystems

Das Verdünnungssystem ist zu starten. Der Durchsatz des gesamten verdünnten Abgases eines Vollstrom-Verdünnungssystems oder der Durchfluss des Abgases durch ein Teilstrom-Verdünnungssystem ist so einzustellen, dass Kondenswasserbildung im System vermieden und eine Filteranströmtemperatur zwischen 315 K (42 °C) und 325 K (52 °C) erreicht wird.

4.5.4. Inbetriebnahme des Partikel-Probenahmesystems

Das Partikel-Probenahmesystem ist zu starten und auf Bypass zu betreiben. Der Partikelhintergrund der Verdünnungsluft kann bestimmt werden, indem Verdünnungsluftproben vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel genommen werden. Partikelhintergrundproben sind vorzugsweise während des dynamischen Tests zu nehmen, sofern ein anderes Partikel-Probenahmesystem verfügbar ist. Anderenfalls kann das Partikel-Probenahmesystem verwendet werden, das zur Sammlung der Partikel während der dynamischen Prüfung benutzt wird. Bei Verwendung gefilterter Verdünnungsluft kann eine Messung vor oder nach der Prüfung erfolgen. Wird die Verdünnungsluft nicht gefiltert, so sind vor Beginn und nach Ende des Prüfzyklus Messungen durchzuführen und die Durchschnittswerte zu ermitteln.

4.5.5. Überprüfung der Analysatoren

Die Emissionsanalysatoren sind auf Null einzustellen und zu justieren. Werden Probenahmebeutel verwendet, sind diese luftleer zu machen.

4.5.6. Vorschriften für die Kühlung

Der Motor kann entweder natürlich abkühlen oder zwangsgekühlt werden. Für die Zwangskühlung sind nach bestem fachlichen Ermessen Systeme zu verwenden, die den Motor mit Kühlluft anblasen, kühles Öl in den Schmierölkreislauf des Motors pumpen, dem Kühlmittel mittels des Motorkühlsystems Wärme entziehen und dem Abgasnachbehandlungssystem Wärme entziehen. Bei Zwangskühlung des Abgasnachbehandlungssystems darf Kühlluft erst eingeleitet werden, nachdem seine Temperatur unter die Aktivierungstemperatur des Katalysators gefallen ist. Kühlverfahren, die zu nicht repräsentativen Emissionswerten führen, sind unzulässig.

Die Abgasemissionsprüfung im Kaltstart-Zyklus darf nach einer Abkühlung erst dann beginnen, wenn sich die Temperaturen von Motoröl, Motorkühlmittel und Nachbehandlungseinrichtungen für mindestens fünfzehn Minuten zwischen 20 °C und 30 °C stabilisiert haben.

4.5.7. Durchführung des Prüfzyklus

4.5.7.1. Kaltstart-Zyklus

Die Prüfreihe hat nach abgeschlossener Abkühlung mit dem Kaltstart-Zyklus zu beginnen, wenn alle Voraussetzungen nach Absatz 4.5.6 gegeben sind.

Der Motor ist gemäß dem vom Hersteller im Fahrzeughandbuch empfohlenen Anlassverfahren mit Hilfe eines handelsüblichen Anlassers oder des Prüfstands zu starten.

Bei Anlaufen des Motors ist ein Leerlaufzähler zu starten. Während 23 ± 1 s den Motor ohne Last leerlaufen lassen. Der dynamische Motorzyklus ist so einzuleiten, dass die ersten Aufzeichnungen, die nicht im Leerlauf vorgenommen werden, nach 23 ± 1 s erfolgen. Die Leerlaufzeit ist in diesen 23 ± 1 s enthalten.

Die Prüfung muss gemäß dem in Anhang 5 erläuterten Bezugsprüfzyklus durchgeführt werden. Die Führungssollwerte für Motordrehzahl und -drehmoment sind mit mindestens 5 Hz (empfohlen 10 Hz) auszugeben. Die Sollwerte sind durch lineare Interpolation zwischen den mit 1 Hz angeordneten Sollwerten des Bezugszyklus zu ermitteln. Die Messwerte für Motordrehzahl und -drehmoment sind während des Prüfzyklus mindestens einmal pro Sekunde aufzuzeichnen, die Signale können elektronisch gefiltert werden.

4.5.7.2. Ansprechverhalten der Analysatoren

Beim Anlassen des Motors sind gleichzeitig folgende Messungen zu starten:

- a) Beginn des Sammelns oder Analysierens der Verdünnungsluft, sofern ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet wird,
- b) Beginn der Erfassung oder Analyse des rohen oder verdünnten Abgases, je nach gewählter Methode,
- c) Beginn der Messung der Menge von verdünntem Abgas sowie der erforderlichen Temperaturen und Drücke,
- d) Beginn der Aufzeichnung des Abgasmassendurchsatzes, wenn mit Analyse des Rohabgases gearbeitet wird,
- e) Beginn der Aufzeichnung der Messwerte von Drehzahl und Drehmoment des Leistungsprüfstandes.

Werden die Messungen im Rohabgas vorgenommen, so sind die Emissionskonzentrationen (HC, CO und NO_x) und der Abgasmassendurchsatz kontinuierlich zu messen und mit einer Frequenz von mindestens 2 Hz in einem Computersystem zu speichern. Alle anderen Daten können mit einer Abtastfrequenz von mindestens 1 Hz aufgezeichnet werden. Bei analogen Analysatoren ist das Ansprechverhalten aufzuzeichnen, die Kalibrierdaten können während der Datenauswertung online oder offline angewandt werden.

Wird ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet, sind HC und NO_x im Verdünnungstunnel kontinuierlich mit einer Frequenz von mindestens 2 Hz zu messen. Die durchschnittlichen Konzentrationen sind durch Integration der Analysatorsignale während des Fahrzyklus zu bestimmen. Die Systemansprechzeit darf nicht mehr als 20 s betragen und muss gegebenenfalls mit den CVS-Strömungsschwankungen und den Probenahmezeiten-/Prüfzyklusabweichungen abgestimmt werden. Durch Integrieren oder Analysieren der über den Zyklus im Probenahmebeutel gesammelten Konzentrationen erfolgt die Bestimmung von CO und CO₂. Die Konzentrationen der gasförmigen Schadstoffe in der Verdünnungsluft sind durch Integrieren oder Sammeln im Hintergrundbeutel zu bestimmen. Alle übrigen zu messenden Parameter sind mit mindestens einer Messung pro Sekunde (1 Hz) aufzuzeichnen.

4.5.7.3. Partikelprobenahme

Beim Anlassen des Motors ist das Partikel-Probenahmesystem von Bypass auf Partikelsammlung umzuschalten.

Bei Verwendung eines Teilstrom-Verdünnungssystems ist/sind die Probenahmepumpe(n) so einzustellen, dass der Durchsatz durch die Partikel-Probenahmesonde bzw. das Übertragungsrohr proportional zum Abgasmassendurchsatz konstant bleibt.

Wird ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet, so ist (sind) die Probenahmepumpe(n) so einzustellen, dass der Durchsatz durch die Partikel-Probenahmesonde oder das Übertragungsrohr auf $\pm 5\%$ des eingestellten Wertes konstant bleibt. Findet eine Durchflussmengenkompensation statt (d. h. eine Proportionalregelung des Probenstroms), so ist nachzuweisen, dass das Verhältnis von Haupttunnelstrom zu Partikelprobenstrom um höchstens $\pm 5\%$ seines Sollwertes schwankt (ausgenommen die ersten 10 s der Probenahme).

Hinweis: Bei Doppelverdünnungsbetrieb ist der Probenstrom die Nettodifferenz zwischen dem Probenfilter-Durchsatz und dem Sekundär-Verdünnungsluftdurchsatz.

Die Mittelwerte von Temperatur und Druck am Einlass des Gasmess- oder Durchflussmessgeräts (der Gasmess- oder Durchflussmessgeräte) sind aufzuzeichnen. Die Prüfung ist ungültig, wenn es wegen hoher Partikel-Filterbelastung nicht möglich ist, den eingestellten Durchsatz über den gesamten Zyklus hinweg mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ aufrechtzuerhalten. Die Prüfung ist mit einem geringeren Durchsatz und/oder einem Filter mit größerem Durchmesser zu wiederholen.

4.5.7.4. Abwürgen des Motors während des Kaltstart-Prüfzyklus

Wird der Motor zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Kaltstart-Prüfzyklus abgewürgt, wird der Motor vorkonditioniert und anschließend die Abkühlphase wiederholt; schließlich wird der Motor neu angelassen und die Prüfung wiederholt. Tritt während des Prüfzyklus eine Störung an gleich welcher vorgeschriebenen Prüfeinrichtung auf, ist die Prüfung ungültig.

4.5.7.5. Betrieb nach dem Kaltstart-Prüfzyklus

Bei Abschluss des Kaltstartzyklus der Prüfung ist die Messung Massendurchsatzes des Abgases sowie des Volumens des verdünnten Abgases, des Gasstroms in die Probenahmebeutel und in die Partikel-Probenahmepumpe anzuhalten. Bei integrierenden Analysesystemen ist die Probenahme fortzusetzen, bis die Systemansprechzeiten verstrichen sind.

Die Konzentrationen in den ggf. verwendeten Probenahmebeuteln sind schnellstmöglich, spätestens aber innerhalb von 20 Minuten nach Ende des Prüfzyklus, zu analysieren.

Nach der Emissionsprüfung werden ein Nullgas und dasselbe Justiergas zur erneuten Überprüfung der Analysatoren verwendet. Die Prüfung ist als gültig anzusehen, wenn die Differenz zwischen den Messergebnissen vor und nach der Prüfung weniger als 2 % des Justiergaswertes beträgt.

Die Partikelfilter sind spätestens eine Stunde nach Beendigung der Prüfung in die Wägekammer zurückzubringen. Sie sind wenigstens eine Stunde lang in einer Petrischale, die vor Verschmutzungen durch Staub geschützt ist und Luftaustausch erlaubt, zu konditionieren und anschließend zu wägen. Das Bruttogewicht der Filter ist aufzuzeichnen.

4.5.7.6. Durchwärmung nach Heißabstellen

Unmittelbar nach Ausschalten des Motors ist der (ggf. verwendete) Kühlventilator ebenso auszustellen wie das (ggf. verwendete) CVS-Gebläse (oder die Abgasanlage vom CVS-Gebläse zu trennen).

Motor 20 $\pm$ 1 Minuten lang durchwärmen lassen. Motor und Leistungsprüfstand für die Warmstartprüfung vorbereiten. Leere Probenahmebeutel an die Probenahmesysteme für verdünntes Abgas und Verdünnungsluft anschließen. CVS in Gang setzen (falls verwendet und nicht bereits eingeschaltet) oder Abgasanlage mit dem CVS verbinden (falls von diesem getrennt). Probenahmepumpen (außer der (den) Probenahmepumpe (n) für Partikel), den (die) Kühlventilator(en) und das Datenerfassungssystem in Gang setzen.

Der Wärmetauscher des (ggf. verwendeten) Probenahmesystems mit konstantem Volumen und die beheizten Bestandteile vorhandener Systeme für kontinuierliche Probenahme sind ggf. vor Beginn der Prüfung auf die vorgegebenen Betriebstemperaturen aufzuheizen.

Gewünschte Durchsatzrate für die Probenahme einstellen und die Gasdurchsatzmesseinrichtungen des CVS auf Null stellen. Die sauberen Partikelfilter sorgfältig in die einzelnen Filterhalter einbauen und die zusammengebauten Filterhalter in die Probenahmeleitung einbauen.

4.5.7.7. Warmstart-Zyklus

Bei Anlaufen des Motors ist ein Leerlaufzähler zu starten. Während 23 ± 1 s den Motor ohne Last leerlaufen lassen. Der dynamische Motorzyklus ist so einzuleiten, dass die ersten Aufzeichnungen, die nicht im Leerlauf vorgenommen werden, nach 23 ± 1 s erfolgen. Die Leerlaufzeit ist in diesen 23 ± 1 s enthalten.

Die Prüfung muss gemäß dem in Anhang 5 erläuterten Bezugsprüfzyklus durchgeführt werden. Die Führungssollwerte für Motordrehzahl und -drehmoment sind mit mindestens 5 Hz (empfohlen 10 Hz) auszugeben. Die Sollwerte sind durch lineare Interpolation zwischen den im Sekundenabstand angeordneten Sollwerten des Bezugszyklus zu ermitteln. Die Messwerte für Motordrehzahl und -drehmoment sind während des Prüfzyklus mindestens einmal pro Sekunde aufzuzeichnen, die Signale können elektronisch gefiltert werden.

Anschließend ist der in den vorstehenden Absätzen 4.5.7.2 und 4.5.7.3 beschriebene Ablauf zu wiederholen.

4.5.7.8. Abwürgen des Motors beim Warmstart-Prüfzyklus

Wird der Motor zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Warmstart-Zyklus abgewürgt, kann er ausgeschaltet werden und 20 Minuten lang abgestellt bleiben. Danach kann der Warmstart-Zyklus erneut durchgeführt werden. Das nochmalige Durchwärmen nach Heißabschaltung und der Neustart des Warmstart-Zyklus sind nur einmal zulässig.

4.5.7.9. Operationen nach dem Warmstartzyklus

Bei Abschluss des Warmstartzyklus ist die Messung Massendurchsatzes des Abgases, des Volumens des verdünnten Abgases, des Gasstroms in die Probenahmebeutel und in die Partikel-Probenahmepumpe anzuhalten. Bei integrierenden Analysesystemen ist die Probenahme fortzusetzen, bis die Systemansprechzeiten verstrichen sind.

Bei Verwendung von Probenahmebeutel sind die Konzentrationen darin schnellstmöglich, spätestens aber innerhalb von 20 Minuten nach Ende des Prüfzyklus, zu analysieren.

Nach der Emissionsprüfung werden ein Nullgas und dasselbe Justiergas zur erneuten Überprüfung verwendet. Die Prüfung ist als gültig anzusehen, wenn die Differenz zwischen den Messergebnissen vor und nach der Prüfung weniger als 2 % des Justiergaswertes beträgt.

Die Partikelfilter sind spätestens eine Stunde nach Beendigung der Prüfung in die Wägekammer zurückzubringen. Sie sind wenigstens eine Stunde lang in einer Petrischale, die vor Verschmutzungen durch Staub geschützt ist und Luftaustausch erlaubt, zu konditionieren und anschließend zu wägen. Das Bruttogewicht der Filter ist aufzuzeichnen.

4.6. Überprüfung des Prüfungsablaufs

4.6.1. Datenverschiebung

Um die verzerrende Wirkung der Zeitverzögerung zwischen den ausgegebenen Werten und den Bezugswerten zu vermindern, kann die gesamte Sequenz der Motordrehzahl- und -drehmomentmesssignale zeitlich nach vorn oder hinten (bezogen auf die Bezugssequenz der Drehzahl- und Drehmomentwerte) verschoben werden. Bei einer Verschiebung der Messsignale müssen Drehzahl und Drehmoment um denselben Betrag und in dieselbe Richtung verschoben werden.

4.6.2. Berechnung der Zyklusarbeit

Die tatsächliche Zyklusarbeit W_{act} (kWh) wird anhand jedes Paares der ausgegebenen und aufgezeichneten Werte für Drehzahl bzw. Drehmoment des Motors berechnet. Die tatsächliche Zyklusarbeit W_{act} wird für den Vergleich mit der Bezugszyklusarbeit W_{ref} und zur Berechnung der Emissionen im Bremsbetrieb verwendet. Sowohl die Bezugsleistung des Motors als auch seine tatsächliche Leistung sind nach derselben Methode zu integrieren. Sind Werte zwischen zwei benachbarten Bezugs- oder Messwerten zu bestimmen, sind sie linear zu interpolieren.

Bei der Integration der Bezugszyklusarbeit und der tatsächlichen Zyklusarbeit sind alle negativen Drehmomentwerte auf Null zu setzen und einzubeziehen. Erfolgt die Integration mit einer Frequenz von weniger als 5 Hz und wechseln die Drehmomentwerte zu einem bestimmten Zeitpunkt vom Positiven zum Negativen oder vom Negativen zum Positiven, ist der negative Anteil zu berechnen und auf Null zu setzen. Der positive Anteil ist in den integrierten Wert einzubeziehen.

W_{act} muss zwischen - 15 % und + 5 % von W_{ref} liegen.

4.6.3. Validierung der Statistiken des Prüfzyklus

Für Drehzahl, Drehmoment und Leistung sind lineare Regressionen der ausgegebenen Werte mit den Bezugswerten auszuführen. Dies darf erst nach der Verschiebung der ausgegebenen Daten erfolgen, wenn diese Möglichkeit gewählt wird. Es ist die Fehlerquadratmethode anzuwenden, mit folgender Formel für die beste Anpassung:

$$y = mx + b$$

Dabei gilt:

y = ausgegebener (tatsächlicher) Wert der Drehzahl (min^{-1}), des Drehmoments (Nm) oder der Leistung (kW)

m = Steigung der Regressionsgeraden

x = Bezugswert der Drehzahl (min^{-1}), des Drehmoments (Nm) oder der Leistung (kW)

b = y-Achsabschnitt der Regressionsgeraden

Die Standardfehler (SE) des geschätzten Verlaufs y über x und der Bestimmungskoeffizient (r^2) sind für jede einzelne Regressionsgerade zu berechnen.

Es wird empfohlen, diese Analyse mit 1 Hz durchzuführen. Für die Gültigkeit der Prüfung müssen die Kriterien von Tabelle 1 erfüllt sein.

Tabelle 1

Toleranzen der Regressionsgeraden

	Drehzahl	Drehmoment	Leistung
Standardabweichung (SEE) vom Schätzwert von y über x	Höchstzahl = 100 min^{-1}	maximal 13 % des höchsten Motordrehmoments nach der Leistungsabbildung	maximal 8 % der höchsten Motorleistung nach der Leistungsabbildung
Steigung der Regressionsgeraden, m	0,95 bis 1,03	0,83 bis 1,03	0,89 bis 1,03
Bestimmtheitskoeffizient, r^2	min. 0,9700	min. 0,8800	min. 0,9100
y-Achsabschnitt der Regressionsgeraden, b	$\pm 50 \text{ min}^{-1}$	$\pm 20 \text{ Nm}$ oder, falls größer, $\pm 2 \%$ des höchsten Drehmoments	$\pm 4 \text{ kW}$ oder, falls größer, $\pm 2 \%$ der höchsten Leistung

Ausschließlich für die Regressionsanalysen können die in Tabelle 2 genannten Punkte vor der Regressionsberechnung gestrichen werden. Für die Berechnung der Zyklusarbeit und der Emissionen dürfen sie jedoch nicht gestrichen werden. Ein Leerlaufpunkt ist definiert als ein Punkt, an dem das normierte Bezugsdrehmoment und die normierte Bezugsdrehzahl 0 % betragen. Die Punktstreichung kann auf den gesamten Zyklus oder auf jeden Teil des Zyklus angewandt werden.

Tabelle 2

Zulässige Streichungen von Punkten im Rahmen der Regressionsanalyse (die gestrichenen Punkte müssen angegeben werden)

Bedingung	Punkte für Drehzahl und/oder Drehmoment und/oder Leistung, die unter den in der linken Spalte aufgeführten Bedingungen gestrichen werden können
Erste 24 (± 1) s und letzte 25 s	Drehzahl, Drehmoment und Leistung
Vollast sowie ausgegebener Wert für Drehmoment < 95 % des Bezugsdrehmoments	Drehzahl und/oder Leistung
Vollast sowie ausgegebener Wert für Drehzahl < 95 % der Bezugsdrehzahl	Drehzahl und/oder Leistung
Drosselklappe geschlossen, ausgegebener Wert für Drehzahl > Leerlaufdrehzahl + 50 min^{-1} und ausgegebener Wert für Drehmoment > 105 % des Bezugsdrehmoments	Drehzahl und/oder Leistung
Drosselklappe geschlossen, ausgegebener Wert für Drehzahl $\leq$ Leerlaufdrehzahl + 50 min^{-1} und ausgegebener Wert für Drehmoment = vom Hersteller festgelegtes/gemessenes Leerlaufdrehmoment $\pm 2 \%$ des Höchstdrehmoments	Drehzahl und/oder Leistung
Drosselklappe geschlossen sowie ausgegebener Wert für Drehzahl > 105 % der Bezugsdrehzahl	Drehzahl und/oder Leistung

Anlage 1

Mess- und Probenahmeverfahren (NRSC, NRTC)**1. MESS- UND PROBENAHMEVERFAHREN (NRSC-PRÜFUNG)**

Die gasförmigen und Partikelemissionen aus dem zur Prüfung vorgeführten Motor sind nach dem in Anhang 4A Anlage 4 beschriebenen Verfahren zu messen. Die Beschreibung dieser Methoden in Anhang 4A Anlage 4 umfasst eine Darstellung der empfohlenen analytischen Systeme für die gasförmigen Emissionen (Absatz 1.1) und der empfohlenen Partikelverdünnungs- und -probenahmesysteme (Absatz 1.2).

Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde können die Methoden nach Anhang 4B, Absatz 9 alternativ zu denen nach Absatz 1 dieses Anhangs angewandt werden.

1.1. Vorgaben für den Leistungsprüfstand

Es ist ein Leistungsprüfstand zu verwenden, dessen Merkmale ihn für die Durchführung des Prüfzyklus in Anhang 4A Absatz 3.7.1 geeignet machen. Die Messgeräte für Drehmoment und Drehzahl müssen die Messung der Leistung innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte ermöglichen. Zusätzliche Berechnungen können erforderlich sein. Die Messgeräte müssen eine solche Messgenauigkeit aufweisen, dass die Höchsttoleranzen der in Absatz 1.3 angegebenen Werte nicht überschritten werden.

1.2. Durchsatz des Abgases

Der Abgasdurchsatz ist mit einer der in den Absätzen 1.2.1 bis 1.2.4 aufgeführten Methoden zu bestimmen.

1.2.1. Direktmessungen

Direktmessung des Abgasstroms mit einer Durchflussdüse oder einem gleichwertigen Messsystem (Einzelheiten siehe ISO 5167:2000).

Hinweis: Die direkte Messung des Gasdurchsatzes ist schwierig. Es ist dafür zu sorgen, dass Messfehler, die zu fehlerhaften Emissionswerten führen, vermieden werden.

1.2.2. Luft- und Kraftstoffmessung

Messung des Luftdurchsatzes und des Kraftstoffdurchsatzes.

Für die Messung des Luftdurchsatzes und des Kraftstoffdurchsatzes sind Messgeräte zu verwenden, die die in Absatz 1.3 angegebene Genauigkeit erreichen.

Der Abgasdurchsatz wird nach folgender Formel berechnet:

$$G_{\text{EXHW}} = G_{\text{AIRW}} + G_{\text{FUEL}} \text{ (für feuchte Abgasmasse).}$$

1.2.3. Kohlenstoffbilanzmethode

Berechnung der Abgasmasse anhand des Kraftstoffverbrauchs und der Abgaskonzentrationen mithilfe der Kohlenstoffbilanzmethode (Anhang 4A Anlage 3).

1.2.4. Messung mit Spürgas

Bei dieser Methode wird die Konzentration eines Spürgases im Abgas gemessen. Eine bekannte Menge eines Inertgases (z. B. reines Helium) wird als Spürgas (Tracer) in den Abgasstrom eingeleitet. Das Inertgas wird mit dem Abgas gemischt und dabei verdünnt, darf aber in der Abgasleitung nicht reagieren. Dann wird die Konzentration des Inertgases in der Abgasprobe gemessen.

Um die vollständige Vermischung des Spürgases sicherzustellen, ist die Abgasprobenahmesonde mindestens 1 m oder, falls größer, um das 30-Fache des Durchmessers des Auspuffrohrs strömungsabwärts hinter der Einspritzstelle des Spürgases anzubringen. Die Probenahmesonde kann näher am Einleitungspunkt liegen, wenn bei Einleitung des Spürgases auf der Ansaugseite die vollständige Vermischung durch Vergleich der Spürgaskonzentration mit dem entsprechenden Bezugswert überprüft wird.

Der Spürgasstrom ist so einzustellen, dass bei Leerlaufdrehzahl des Motors die Spürgaskonzentration nach der Vermischung kleiner ist als der Skalenendwert des Spürgasanalysators.

Der Abgasdurchsatz wird nach folgender Formel berechnet:

$$G_{\text{EXHW}} = \frac{G_T \cdot \rho_{\text{EXH}}}{60 \cdot (\text{conc}_{\text{mix}} - \text{conc}_a)}$$

Dabei gilt:

G_{EXHW} = momentaner Abgasmasseudurchsatz (kg/s)

G_T = Spürgasdurchsatz (cm³/min)

conc_{mix} = momentane Konzentration des Spürgases nach der Vermischung, (ppm)

ρ_{EXH} = Dichte des Abgases (kg/m³)

conc_a = Hintergrundkonzentration des Spürgases in der Ansaugluft (ppm)

Die Hintergrundkonzentration des Spürgases (conc_a) kann bestimmt werden, indem die unmittelbar vor und nach dem Prüfdurchlauf gemessene Hintergrundkonzentration gemittelt wird.

Beträgt die Hintergrundkonzentration weniger als 1 % der Konzentration des Spürgases nach dem Vermischen (conc_{mix}) bei maximalem Abgasdurchsatz, kann die Hintergrundkonzentration vernachlässigt werden.

Das Gesamtsystem muss die Genauigkeitsanforderungen für den Abgasdurchsatz erfüllen und ist gemäß Anlage 2 Absatz 1.11.2 zu kalibrieren.

1.2.5. Messung des Luftdurchsatzes und des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses

Bei dieser Methode wird die Abgasmasse aus dem Luftdurchsatz und dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis berechnet. Der momentane Abgasdurchsatz wird nach folgender Formel berechnet:

$$G_{\text{EXHW}} = G_{\text{AIRW}} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{\text{st}} \cdot \lambda} \right)$$

wobei $A/F_{\text{st}} = 14,5$

$$\lambda = \frac{\left(100 - \frac{\text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{2} - \text{conc}_{\text{HC}} \cdot 10^{-4} \right) + \left(0,45 \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot \text{conc}_{\text{CO}_2}}}{1 + \frac{\text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot \text{conc}_{\text{CO}_2}}} \right) \cdot (\text{conc}_{\text{CO}_2} + \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4})}{6,9078 \cdot (\text{conc}_{\text{CO}_2} + \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4} + \text{conc}_{\text{HC}} \cdot 10^{-4})}$$

Dabei gilt:

A/F_{st} = stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis (kg/kg)

λ = relatives Luft-Kraftstoff-Verhältnis

$\text{conc}_{\text{CO}_2}$ = CO₂-Konzentration im trockenen Bezugszustand (%)

conc_{CO} = CO-Konzentration im trockenen Bezugszustand (ppm)

conc_{HC} = HC-Konzentration (ppm)

Hinweis: Die Berechnung bezieht sich auf einen Dieselmotorkraftstoff mit einem Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnis gleich dem in Absatz 1.8.

Der Durchflussmesser muss die Anforderungen an die Messgenauigkeit gemäß Tabelle 3 erfüllen, das verwendete CO₂-Analysegerät muss die Anforderungen des Absatzes 1.4.1 erfüllen und das gesamte System muss den Anforderungen an die Messgenauigkeit für den Abgasdurchsatz genügen.

Wahlweise können zur Messung des relativen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auch Messeinrichtungen für das Luft-Kraftstoff-Verhältnis vom Typ Zirkonsonde eingesetzt werden, die die Anforderungen gemäß Absatz 1.4.4 erfüllen.

1.2.6. Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases

Wird ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet, ist der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases (G_{TOTW}) mit einem PDP, CFV oder SSV (Anhang 4A, Anlage 4, Absatz 1.2.1.2) zu messen. Die Genauigkeit muss die Vorgaben von Anhang 4A Anlage 2 Absatz 2.2 erfüllen.

1.3. Genauigkeit

Die Kalibrierung aller Messinstrumente muss auf nationale oder internationale Normen zurückführbar sein, und die Anforderungen in Tabelle 3 müssen erfüllt werden.

Tabelle 3

Genauigkeit der Messinstrumente

Nr.	Messinstrument	Genauigkeit
1	Motordrehzahl	$\pm 2 \%$ des Ablesewertes oder, falls größer, $\pm 1 \%$ des Höchstwertes des Motors
2	Drehmoment	$\pm 2 \%$ des Ablesewertes oder, falls größer, $\pm 1 \%$ des Höchstwertes des Motors
3	Kraftstoffverbrauch	$\pm 2 \%$ des Höchstwertes des Motors
4	Luftverbrauch	$\pm 2 \%$ des Ablesewertes oder, falls größer, $\pm 1 \%$ des Höchstwertes des Motors
5	Durchsatz des Abgases	$\pm 2,5 \%$ des Ablesewertes oder, falls größer, $\pm 1,5 \%$ des Höchstwertes des Motors
6	Temperatur ≤ 600 K	± 2 K absolut
7	Temperatur > 600 K	$\pm 1 \%$ des Ablesewertes
8	Abgasrückführung:	$\pm 0,2$ kPa absolut
9	Ansaugluftunterdruck	$\pm 0,05$ kPa absolut
10	Atmosphärischer Druck	$\pm 0,1$ kPa absolut
11	Sonstige Drücke	$\pm 0,1$ kPa absolut
12	Absolute Feuchtigkeit	$\pm 5 \%$ des Ablesewertes
13	Verdünnungsluftdurchsatz	$\pm 2 \%$ des Ablesewertes
14	Durchsatz des verdünnten Abgases	$\pm 2 \%$ des Ablesewertes

1.4. Bestimmung der gasförmigen Bestandteile

1.4.1. Allgemeine Vorschriften für Analysatoren

Die Analysatoren müssen einen Messbereich haben, der den Anforderungen an die Genauigkeit bei der Messung der Konzentrationen der Abgasbestandteile entspricht (Absatz 1.4.1.1). Es wird empfohlen, die Analysatoren so zu bedienen, dass die gemessene Konzentration zwischen 15 % und 100 % des vollen Skalenendwertes liegt.

Liegt der volle Skalenendwert bei 155 ppm (oder ppm C) oder darunter oder werden Ablesesysteme (Computer, Datenerfasser) verwendet, die unterhalb von 15 % des vollen Skalenendwertes eine ausreichende Genauigkeit und Auflösung aufweisen, sind auch Konzentrationen unter 15 % des vollen Skalenendwertes zulässig. In diesem Fall müssen zusätzliche Kalibrierungen vorgenommen werden, um die Genauigkeit der Kalibrierkurven zu gewährleisten (Anhang 4A Anlage 2 Absatz 1.5.5.2).

Die elektromagnetische Verträglichkeit der Geräte muss so hoch sein, dass zusätzliche Fehler weitestgehend ausgeschlossen sind.

1.4.1.1. Messfehler

Der Analysator darf höchstens um $\pm 2 \%$ des Ablesewerts vom Nennwert jedes Kalibrierpunktes oder, falls größer, um höchstens $\pm 0,3 \%$ vom Skalenendwert abweichen.

Hinweis: Im Sinne dieser Regelung wird Messgenauigkeit definiert als die Abweichung des Ablesewerts des Analysegeräts von den Nennwerten der Kalibrierpunkte unter Verwendung eines Kalibriergases (= tatsächlicher Wert).

1.4.1.2. Wiederholbarkeit

Die Wiederholbarkeit ist definiert als das 2,5-Fache der Standardabweichung zehn wiederholter Ansprechreaktionen auf ein bestimmtes Kalibrier- oder Justiergas; dieser Wert darf für die verwendeten Messbereiche über 155 ppm (oder ppm C) höchstens $\pm 1\%$ der Skalenendkonzentration und für die verwendeten Messbereiche unter 155 ppm (oder ppm C) höchstens $\pm 2\%$ betragen.

1.4.1.3. Rauschen

Das Peak-to-Peak-Ansprechen der Analysatoren auf Null- und Kalibriergase oder Justiergase darf in allen genutzten Messbereichen 10 Sekunden lang 2% des Skalenendwerts nicht überschreiten.

1.4.1.4. Nullpunktdrift

Die Nullpunktdrift innerhalb einer Stunde muss weniger als 2% des Skalenendwerts beim niedrigsten verwendeten Bereich betragen. Der Nullpunkt wird als mittleres Ansprechen (einschließlich Rauschen) auf ein Nullgas in einem Zeitabschnitt von 30 s definiert.

1.4.1.5. Messbereichsdrift

Die Messbereichsdrift innerhalb eines Zeitraumes von einer Stunde muss geringer als 2% des Skalenendwertes des kleinsten verwendeten Messbereiches sein. Als Messbereich wird die Differenz zwischen Messbereichsjustierausschlag und Nullpunktwert definiert. Der Messbereichsjustierausschlag wird definiert als mittlerer Ausschlag (einschließlich Rauschen) auf ein Justiergas in einem Zeitabschnitt von 30 Sekunden.

1.4.2. Gastrocknung

Das wahlweise zu verwendende Gastrocknungsgerät darf die Konzentration der gemessenen Gase so wenig wie möglich beeinflussen. Die Anwendung chemischer Trockner zur Entfernung von Wasser aus der Probe ist nicht zulässig.

1.4.3. Analysatoren

In den Absätzen 1.4.3.1 bis 1.4.3.5 dieser Anlage sind die zu beachtenden Grundsätze beschrieben. Anhang 4A Anlage 4 enthält eine ausführliche Beschreibung der Messsysteme.

Die zu messenden Gase sind mit den nachfolgend aufgeführten Geräten zu analysieren. Bei nichtlinearen Analysatoren ist die Verwendung von Linearisierungsschaltkreisen zulässig.

1.4.3.1. Kohlenmonoxid-(CO-)Analyse

Der Kohlenmonoxidanalysator muss ein nichtdispersiver Infrarot-Absorptionsanalysator (NDIR) sein.

1.4.3.2. Analyse des Kohlendioxids (CO₂)

Der Kohlendioxidanalysator muss ein nichtdispersiver Infrarot-Absorptionsanalysator (NDIR) sein.

1.4.3.3. Analyse der Kohlenwasserstoffe (HC)

Der Kohlenwasserstoffanalysator muss ein beheizter Flammenionisationsdetektor (HFID) mit Detektor, Ventilen, Rohrleitungen usw. sein, der so zu beheizen ist, dass die Gastemperatur auf 463 K (190 °C) ± 10 K gehalten wird.

1.4.3.4. Stickoxid-(NO_x-)Analyse

Der Stickoxidanalysator muss ein Chemilumineszenzanalysator (CLD) oder beheizter Chemilumineszenzanalysator (HCLA) mit einem NO₂/NO-Konverter sein, wenn die Messung im trockenen Bezugszustand erfolgt. Bei Messung im feuchten Bezugszustand ist ein auf über 328 K (55 °C) gehaltener HCLA mit Konverter zu verwenden, vorausgesetzt, die Prüfung auf Wasserdampfquerempfindlichkeit (Anhang 4A Anlage 2 Absatz 1.9.2.2) ist erfüllt.

Sowohl für CLD als auch für HCLA muss der Probenweg bis zum Konverter (bei Messung im trockenen Bezugszustand) bzw. bis zum Analysegerät (bei Messung im feuchten Bezugszustand) auf einer Wandtemperatur von über 328 bis 473 K (55 °C bis 200 °C) gehalten werden.

1.4.4. Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses

Bei der zur Bestimmung des Abgasdurchsatzes gemäß Absatz 1.2.5 verwendeten Messeinrichtung für das Luft-Kraftstoff-Verhältnis muss es sich um eine Breitband-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sonde oder eine Zirkon-Lambda-Sonde handeln.

Die Sonde ist unmittelbar am Auspuffrohr an einer Stelle anzubringen, an der die Abgastemperatur so hoch ist, dass Wasserkondensation vermieden wird.

Die Genauigkeit der Sonde mit eingebauter Elektronik muss sich in folgendem Bereich bewegen:

$\pm 3 \%$ des Ablesewertes für $\lambda < 2$

$\pm 5 \%$ des Ablesewertes für $2 \leq \lambda < 5$

$\pm 10 \%$ des Ablesewertes für $5 \leq \lambda$

Um die oben angegebene Genauigkeit zu erreichen, ist die Sonde nach Herstellerangaben zu kalibrieren.

1.4.5. Probenahme von gasförmigen Emissionen

Die Probenahmesonden für gasförmige Emissionen müssen oberhalb des Austritts der Auspuffanlage – soweit zutreffend – so angebracht sein, dass sie mindestens 0,5 m oder um das Dreifache des Durchmessers des Auspuffrohrs (es gilt der höhere Wert) von diesem entfernt sind und sich so nahe am Motor befinden, dass eine Abgastemperatur von mindestens 343 K (70 °C) an der Sonde gewährleistet ist.

Bei einem Mehrzylindermotor mit einem verzweigten Auspuffkrümmer muss der Einlass der Sonde so weit in Strömungsrichtung entfernt sein, dass die Probe für die durchschnittlichen Abgasemissionen aus allen Zylindern repräsentativ ist. Bei einem Mehrzylindermotor mit einzelnen Gruppen von Auspuffkrümmern, z. B. bei einem V-Motor, ist die Entnahme individueller Proben von jeder Gruppe und die Berechnung der durchschnittlichen Abgasemission zulässig. Es können auch andere Methoden angewandt werden, die den obigen Methoden nachweislich entsprechen. Bei der Berechnung der Abgasemissionen ist der gesamte Abgasmassendurchsatz des Motors zugrunde zu legen.

Wird zur Bestimmung der Partikel ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet, können auch die gasförmigen Emissionen im verdünnten Abgas bestimmt werden. Die Probenahmesonden müssen sich im Verdünnungstunnel in der Nähe der Sonde zur Entnahme der Partikel befinden (Anhang 4A, Anlage 4, Absatz 1.2.1.2, Verdünnungstunnel (DT) und Absatz 1.2.2, Partikel-Probenahmesonde (PSP)). CO und CO₂ können auch durch Einleitung der Stichprobe in einen Beutel und anschließende Messung der Konzentration im Beutel bestimmt werden.

1.5. Bestimmung der Partikel

Die Bestimmung der Partikel erfordert ein Verdünnungssystem. Die Verdünnung kann mit einem Teilstrom- oder Vollstrom-Verdünnungssystem erfolgen. Die Durchflussleistung des Verdünnungssystems muss so groß sein, dass keine Wasserkondensation im Verdünnungs- und Probenahmesystem auftritt und die Temperatur des verdünnten Abgases unmittelbar oberhalb der Filterhalter zwischen 315 K (42 °C) und 325 K (52 °C) gehalten werden kann. Bei hoher Luftfeuchtigkeit ist es zulässig, die Verdünnungsluft vor Eintritt in das Verdünnungssystem zu entfeuchten. Bei einer Umgebungstemperatur von weniger als 293 K (20 °C) wird ein Vorheizen der Verdünnungsluft über den Temperaturgrenzwert von 303 K (30 °C) hinaus empfohlen. Jedoch darf die Temperatur der Verdünnungsluft vor der Einleitung des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht überschreiten.

Hinweis: In den Leistungsbereichen bis einschließlich K und bei Verwendung von Einzelprüfzyklen kann anstelle der Einhaltung des Temperaturbereichs von 42 °C-52 °C die Filtertemperatur auf oder unter der Höchsttemperatur von 325 K (52 °C) gehalten werden.

Bei einem Teilstrom-Verdünnungssystem ist die Partikelnahmesonde gemäß der Definition in Absatz 4.4 und gemäß Anhang 4A Anlage 4 Absatz 1.2.1.1 Abbildung 4-12 EP und SP in der Nähe von und in Strömungsrichtung vor der Gasprobenahmesonde anzubringen.

Das Teilstrom-Verdünnungssystem muss so beschaffen sein, dass eine Teilung des Abgasstroms erfolgt, wobei der kleinere Teil mit Luft verdünnt und anschließend zur Partikelmessung verwendet wird. Deshalb ist es wesentlich, dass das Verdünnungsverhältnis sehr genau bestimmt wird. Es können verschiedene Teilungsmethoden verwendet werden, wobei die Art der Teilung wesentlichen Einfluss auf die zu verwendenden Probenahmegeräte und -verfahren hat (Anhang 4A Anlage 4 Absatz 1.2.1.1.).

Zur Bestimmung der Partikelmasse werden ein Partikel-Probenahmesystem, Partikel-Probenahmefilter, eine Mikrogramm-Waage und eine Wägekammer mit kontrollierter Temperatur und Luftfeuchtigkeit benötigt.

Für die Partikelprobenahme können zwei Methoden verwendet werden:

- a) Bei der Einzelfiltermethode wird für alle Stufen des Prüfzyklus ein Paar Filter (Absatz 1.5.1.3 dieser Anlage) verwendet. Während der Probenahmezeit ist besonders auf die Probenahmezeiten und -ströme zu achten. Jedoch wird für den gesamten Prüfzyklus nur ein Paar Filter benötigt.
- b) Bei der Mehrfiltermethode ist es unabdingbar, dass für jede einzelne Stufe des Prüfzyklus ein gesondertes Paar Filter verwendet wird (Absatz 1.5.1.3 dieser Anlage). Bei dieser Methode sind die Probenahmeverfahren weniger anspruchsvoll, es werden aber mehr Filter verbraucht.

1.5.1. Partikel-Probenahmefilter

1.5.1.1. Spezifikation der Filter

Für die Zertifizierungsprüfungen werden fluorkohlenstoffbeschichtete Glasfaserfilter oder Fluorkohlenstoffmembranfilter benötigt. Für besondere Anwendungen können andere Filtermaterialien verwendet werden. Bei allen Filtertypen muss der Abscheidegrad von 0,3 µm-DOP (Diocetylphthalat) bei einer Anströmgeschwindigkeit des Gases zwischen 35 und 100 cm/s mindestens 99 % betragen. Werden Korrelationstests zwischen Prüfstellen oder zwischen einem Hersteller und einer Genehmigungsbehörde durchgeführt, so sind Filter von gleicher Qualität zu verwenden.

1.5.1.2. Filtergröße

Die Partikelfilter müssen einen Mindestdurchmesser von 47 mm haben (37 mm wirksamer Durchmesser). Filter mit größerem Durchmesser sind zulässig (Absatz 1.5.1.5).

1.5.1.3. Haupt- und Nachfilter

Die verdünnten Abgase werden während der Prüffolge durch ein hintereinander angeordnetes Filterpaar (Hauptfilter und Nachfilter) geleitet. Der Nachfilter darf nicht weiter als 100 mm hinter dem Hauptfilter liegen und diesen nicht berühren. Die Filter können getrennt oder paarweise – die beaufschlagten Seiten einander zugekehrt – gewogen werden.

1.5.1.4. Filteranströmgeschwindigkeit

Es muss eine Gasanströmgeschwindigkeit durch den Filter von 35 bis 100 cm/s erreicht werden. Der Druckabfall darf zwischen Beginn und Ende der Prüfung um höchstens 25 kPa zunehmen.

1.5.1.5. Filterbeladung

Die empfohlenen minimalen Filterbeladungen für die gebräuchlichsten Filtergrößen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Für größere Filter beträgt die minimale Filterbeladung 0,065 mg/1 000 mm² Filterbereich.

Filterdurchmesser (mm)	Empfohlener Durchmesser des wirksamen Filterbereichs (mm)	Empfohlene minimale Filterbeladung (mg)
47	37	0,11
70	60	0,25
90	80	0,41
110	100	0,62

Bei der Mehrfiltermethode ist die empfohlene minimale Filterbeladung für die Summe aller Filter das Produkt des jeweiligen oben angegebenen Wertes und der Quadratwurzel der Gesamtanzahl von Stufen.

1.5.2. Spezifikation für die Wägekammer und die Analysenwaage

1.5.2.1. Bedingungen für die Wägekammer

Die Temperatur der Kammer (oder des Raumes), in der (dem) die Partikelfilter konditioniert und gewogen werden, ist während der gesamten Dauer des Konditionierungs- und Wägevorgangs auf 295 K (22 °C) ± 3 K zu halten. Hinsichtlich der Feuchtigkeit ist eine Taupunkttemperatur von 282,5 K (9,5 °C) ± 3 K und eine relative Feuchte von 45 % ± 8 % einzuhalten.

1.5.2.2. Wägen der Bezugsfilter

Die Luft in der Wägekammer (oder dem Wägeraum) muss frei von jeglichen Schmutzstoffen (wie Staub) sein, die sich während der Stabilisierung der Partikelfilter auf diesen absetzen können. Abweichungen von den in Absatz 1.5.2.1 für den Wägeraum vorgeschriebenen Bedingungen sind zulässig, wenn sie nicht länger als 30 Minuten eintreten. Der Wägeraum sollte den vorgeschriebenen Spezifikationen entsprechen, ehe das Personal ihn betritt. Wenigstens zwei unbenutzte Vergleichsfilter oder Vergleichsfilterpaare sind vorzugsweise gleichzeitig mit den Probenahmefiltern zu wägen, höchstens jedoch in einem Abstand von vier Stunden zu diesen. Sie müssen dieselbe Größe haben und aus demselben Material bestehen wie die Probenahmefilter.

Wenn sich das Durchschnittsgewicht der Vergleichsfilter(-paare) bei den Wägungen der Probenahmefilter um mehr als 10 µg ändert, sind alle Probenahmefilter zu entfernen, und die Abgasemissionsprüfung ist zu wiederholen.

Wenn das in Absatz 1.5.2.1 angegebene Stabilitätskriterium für den Wägeraum nicht erfüllt ist, aber bei der Wägung des Vergleichsfilters(-filterpaares) die obigen Kriterien eingehalten wurden, kann der Hersteller entweder die ermittelten Gewichte der Probenahmefilter anerkennen oder die Prüfungen für ungültig erklären, wobei das Kontrollsystem des Wägers zu justieren und die Prüfung zu wiederholen ist.

1.5.2.3. Analysenwaage

Die zur Bestimmung der Gewichte sämtlicher Filter benutzte Analysenwaage muss eine Genauigkeit (Standardabweichung) von 2 µg und eine Auflösung von 1 µg (1 Stelle = 1 µg) haben (nach Angaben des Waagenherstellers).

1.5.2.4. Ausschaltung der Einflüsse statischer Elektrizität

Zur Vermeidung elektrostatischer Reaktionen sind die Filter vor dem Wiegen zu neutralisieren, beispielsweise durch einen Poloniumneutralisator oder ein Gerät mit ähnlicher Wirkung.

1.5.3. Zusatzbestimmungen für die Partikelmessung

Alle mit dem Rohabgas oder dem verdünnten Abgas in Berührung kommenden Teile des Verdünnungssystems und des Probenahmesystems vom Auspuffrohr bis zum Filterhalter sind so zu gestalten, dass sich möglichst wenig Partikel auf ihnen ablagern und die Partikel sich möglichst wenig verändern. Alle Teile müssen aus elektrisch leitendem und mit den Bestandteilen der Abgase nicht reagierendem Material sein und zur Vermeidung elektrostatischer Effekte geerdet sein.

2. MESS- UND PROBENAHMEVERFAHREN (NRTC-PRÜFUNG)

2.1. Vorbemerkung

Die gasförmigen Emissionen und die Partikelemissionen aus dem zur Prüfung vorgeführten Motor sind nach den in Anhang 4A Anlage 4 beschriebenen Verfahren zu messen. Die Beschreibung dieser Methoden in Anhang 4A Anlage 4 umfasst auch eine Darstellung der empfohlenen Analysesysteme für die gasförmigen Emissionen (Absatz 1.1) und der empfohlenen Partikelverdünnungs- und -probenahmesysteme (Absatz 1.2).

2.2. Leistungsprüfstand und Prüfzellausstattung

Für die Emissionsprüfung der Motoren an Leistungsprüfständen ist die nachstehend beschriebene Anlage zu verwenden.

2.2.1. Motorleistungsprüfstand

Es ist ein Motorleistungsprüfstand zu verwenden, der entsprechende Eigenschaften aufweist, um den in Anlage 4 beschriebenen Prüfzyklus durchzuführen. Die Messgeräte für Drehmoment und Drehzahl müssen die Messung der Leistung innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte ermöglichen. Zusätzliche Berechnungen können erforderlich sein. Die Messgeräte müssen eine solche Messgenauigkeit aufweisen, dass die Höchsttoleranzen der in Tabelle 4 angegebenen Werte nicht überschritten werden.

2.2.2. Sonstige Instrumente

Die Messinstrumente für Kraftstoffverbrauch, Luftverbrauch, Kühl- und Schmiermitteltemperatur, Abgasgegen- und Unterdruck im Einlasskrümmer, Abgastemperatur, Ansauglufttemperatur, atmosphärischen Druck, Luftfeuchtigkeit und Kraftstofftemperatur sind nach Erfordernis zu verwenden. Diese Instrumente müssen den Anforderungen in Tabelle 4 entsprechen:

Tabelle 4

Genauigkeit der Messinstrumente

Nr.	Messinstrument	Genauigkeit
1	Motordrehzahl	± 2 % des Ablesewertes oder, falls größer, ± 1 % des Höchstwertes des Motors
2	Drehmoment	± 2 % des Ablesewertes oder, falls größer, ± 1 % des Höchstwertes des Motors
3	Kraftstoffverbrauch	± 2 % des Höchstwertes des Motors
4	Luftverbrauch	± 2 % des Ablesewertes oder, falls größer, ± 1 % des Höchstwertes des Motors
5	Abgasdurchsatz	± 2,5 % des Ablesewertes oder, falls größer, ± 1,5 % des Höchstwertes des Motors
6	Temperatur ≤ 600 K	± 2 K absolut

Nr.	Messinstrument	Genauigkeit
7	Temperatur > 600 K	± 1 % des Ablesewertes
8	Abgasdruck	± 0,2 kPa absolut
9	Ansaugluftunterdruck	± 0,05 kPa absolut
10	Atmosphärischer Druck	± 0,1 kPa absolut
11	Andere Drücke	± 0,1 kPa absolut
12	Absolute Feuchtigkeit	± 5 % des Ablesewertes
13	Verdünnungsluftdurchsatz	± 2 % des Ablesewertes
14	Durchsatz des verdünnten Abgases	± 2 % des Ablesewertes

2.2.3. Durchsatz des Rohabgases

Zur Berechnung der Emissionen im Rohabgas und zur Regelung eines Teilstrom-Verdünnungssystems muss der Abgasmassendurchsatz bekannt sein. Zur Bestimmung des Abgasmassendurchsatzes kann eines der nachstehend beschriebenen Verfahren verwendet werden.

Zur Berechnung der Emissionen darf die Ansprechzeit bei jedem der nachstehend beschriebenen Verfahren höchstens so lange dauern, wie in Anlage 2 Absatz 1.11.1 für die Analysegeräte vorgeschrieben ist.

Zur Regelung eines Teilstrom-Verdünnungssystems sind kürzere Ansprechzeiten erforderlich. Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen mit online-Regelung ist eine Ansprechzeit von $\leq 0,3$ s vorgeschrieben. Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen mit Vorausschaufunktion auf der Grundlage eines zuvor aufgezeichneten Prüflaufs ist eine Ansprechzeit des Abgasdurchsatzmesssystems von ≤ 5 s mit einer Anstiegszeit von ≤ 1 s erforderlich. Die Systemansprechzeit ist vom Hersteller des Messinstruments anzugeben. Die kombinierten Vorschriften über die Ansprechzeit für den Abgasdurchsatz und das Teilstrom-Verdünnungssystem sind in Absatz 2.4 angegeben.

Direktmessungen

Die direkte Messung des momentanen Abgasdurchsatzes kann erfolgen mit Systemen wie:

- a) Differenzdruckmessgeräten wie einer Durchflussdüse (Einzelheiten siehe ISO 5167: 2000),
- b) Ultraschall-Durchflussmessern,
- c) Wirbel- und Drall-Durchflussmessern.

Es müssen Vorkehrungen zur Vermeidung von Messfehlern getroffen werden, die Auswirkungen auf die Emissionswertfehler haben. Dazu gehört u. a. die sorgfältige Montage der Messeinrichtung im Abgassystem nach den Empfehlungen des Herstellers und den Regeln der Technik. Insbesondere darf der Einbau der Messeinrichtung die Leistung und die Emissionen des Motors nicht beeinflussen.

Die Durchflussmesser müssen die Anforderungen an die Messgenauigkeit gemäß Tabelle 3 erfüllen.

Luft- und Kraftstoffmessung

Hierzu gehören die Messung des Luftdurchsatzes und des Kraftstoffdurchsatzes mit geeigneten Durchflussmessern. Die Berechnung des momentanen Abgasdurchsatzes wird wie folgt vorgenommen: $G_{\text{EXHW}} = G_{\text{AIRW}} + G_{\text{FUEL}}$ (für die Masse des feuchten Abgases).

Die Durchflussmesser müssen die Anforderungen an die Messgenauigkeit gemäß Tabelle 3 und gleichzeitig die Anforderungen an die Messgenauigkeit für den Abgasdurchsatz erfüllen.

Messung mit Spürgas

Hierbei wird die Konzentration eines Spürgases im Abgas gemessen.

Eine bekannte Menge eines Inertgases (z. B. reines Helium) wird als Spürgas (Tracer) in den Abgasstrom eingeleitet. Das Inertgas wird mit dem Abgas gemischt und dabei verdünnt, darf aber in der Abgasleitung nicht reagieren. Dann wird die Konzentration des Inertgases in der Abgasprobe gemessen.

Um die vollständige Vermischung des Spürgases sicherzustellen, ist die Abgasprobenabnahmesonde mindestens 1 m oder, falls größer, um das 30-Fache des Durchmessers des Auspuffrohrs strömungsabwärts hinter der Einspritzstelle des Spürgases anzubringen. Die Probenabnahmesonde kann näher am Einleitungspunkt liegen, wenn die gleichmäßige Verteilung des Spürgases durch Vergleich der Spürgaskonzentration am Probenabnahmepunkt mit der Spürgaskonzentration am Einleitungspunkt überwacht wird.

Der Spürgasstrom ist so einzustellen, dass bei Leerlaufdrehzahl des Motors die Spürgaskonzentration nach der Vermischung kleiner ist als der Skalenendwert des Spürgasanalysators.

Der Abgasdurchsatz wird nach folgender Formel berechnet:

$$G_{\text{EXHW}} = G_{\text{AIRW}} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{\text{st}} \cdot \lambda} \right)$$

wobei $A/F_{\text{st}} = 14,5$

$$\lambda = \frac{\left(100 - \frac{\text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{2} - \text{conc}_{\text{HC}} \cdot 10^{-4} \right) + \left(0,45 \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot \text{conc}_{\text{CO}_2}}}{1 + \frac{\text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot \text{conc}_{\text{CO}_2}}} \right) \cdot (\text{conc}_{\text{CO}_2} + \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4})}{6,9078 \cdot (\text{conc}_{\text{CO}_2} + \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4} + \text{conc}_{\text{HC}} \cdot 10^{-4})}$$

Dabei ist:

A/F_{st} = stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis (kg/kg)

λ = relatives Luft-Kraftstoff-Verhältnis

$\text{conc}_{\text{CO}_2}$ = CO_2 -Konzentration im trockenen Bezugszustand(%)

conc_{CO} = CO-Konzentration im trockenen Bezugszustand (ppm)

conc_{HC} = HC-Konzentration (ppm)

Hinweis: Die Berechnung bezieht sich auf einen Dieseldraftstoff mit einem H/C-Verhältnis gleich 1,8.

Der Durchflussmesser muss die Anforderungen an die Messgenauigkeit gemäß Tabelle 3 erfüllen, das verwendete CO_2 -Analysegerät muss die Anforderungen des Absatzes 2.3.1 erfüllen und das gesamte System muss den Anforderungen an die Messgenauigkeit für den Abgasdurchsatz genügen.

Wahlweise können zur Messung der Luftüberschusszahl auch Messeinrichtungen für das Luft-Kraftstoff-Verhältnis vom Typ Zirkonsonde eingesetzt werden, die die Anforderungen gemäß Absatz 2.3.4 erfüllen.

2.2.4. Durchsatz des verdünnten Abgases

Zur Berechnung der Emissionen des verdünnten Abgases muss der Massendurchsatz des verdünnten Abgases bekannt sein. Der Durchsatz des gesamten verdünnten Abgases über den Zyklus (kg/Prüfung) berechnet sich aus den Messwerten über den Zyklus und den entsprechenden Kalibrierdaten des Durchsatzmessgeräts (V_0 für PDP, K_V für CFV, C_d für SSV): Es sind die in Anlage 3 Absatz 2.2.1 beschriebenen entsprechenden Verfahren anzuwenden. Überschreitet die Probengesamtmasse der Partikel und gasförmigen Schadstoffe 0,5 % des gesamten CVS-Durchsatzes, so ist der CVS-Durchsatz zu korrigieren oder der Strom der Partikelprobe ist vor der Durchflussmeseinrichtung zum CVS zurückzuführen.

2.3. Bestimmung der gasförmigen Bestandteile

2.3.1. Allgemeine Vorschriften für Analysatoren

Die Analysatoren müssen einen Messbereich haben, der den Anforderungen an die Genauigkeit bei der Messung der Konzentrationen der Abgasbestandteile entspricht (Absatz 1.4.1.1). Es wird empfohlen, die Analysatoren so zu bedienen, dass die gemessene Konzentration zwischen 15 % und 100 % des vollen Skalenendwertes liegt.

Liegt der volle Skalenendwert bei 155 ppm (oder ppm C) oder darunter oder werden Ablesesysteme (Computer, Datenerfasser) verwendet, die unterhalb von 15 % des vollen Skalenendwertes eine ausreichende Genauigkeit und Auflösung aufweisen, sind auch Konzentrationen unter 15 % des vollen Skalenendwertes zulässig. In diesem Fall müssen zusätzliche Kalibrierungen vorgenommen werden, um die Genauigkeit der Kalibrierkurven zu gewährleisten (Anhang 4A Anlage 2 Absatz 1.5.5.2).

Die elektromagnetische Verträglichkeit der Geräte muss so hoch sein, dass zusätzliche Fehler weitestgehend ausgeschlossen sind.

2.3.1.1. Messfehler

Der Analysator darf höchstens um $\pm 2\%$ des Ablesewerts vom Nennwert jedes Kalibrierpunktes oder, falls größer, um höchstens $\pm 0,3\%$ vom Skalenendwert abweichen.

Hinweis: Im Sinne dieser Regelung wird Messgenauigkeit definiert als die Abweichung des Ablesewerts des Analysegeräts von den Nennwerten der Kalibrierpunkte unter Verwendung eines Kalibriergases (= tatsächlicher Wert).

2.3.1.2. Wiederholbarkeit

Die Wiederholbarkeit ist definiert als das 2,5-Fache der Standardabweichung 10 wiederholter Ansprechreaktionen auf ein bestimmtes Kalibrier- oder Justiergas; dieser Wert darf für die verwendeten Messbereiche über 155 ppm (oder ppm C) höchstens $\pm 1\%$ der Skalenendkonzentration und für die verwendeten Messbereiche unter 155 ppm (oder ppm C) höchstens $\pm 2\%$ betragen.

2.3.1.3. Rauschen

Das Peak-to-Peak-Ansprechen der Analysatoren auf Null- und Kalibriergase darf in allen genutzten Messbereichen 10 Sekunden lang 2% des Skalenendwerts nicht überschreiten.

2.3.1.4. Nullpunktdrift

Die Nullpunktdrift während eines Zeitraums von einer Stunde muss weniger als 2% des Skalenendwerts beim niedrigsten verwendeten Bereich betragen. Der Nullpunkt wird als mittleres Ansprechen (einschließlich Rauschen) auf ein Nullgas in einem Zeitabschnitt von 30 s definiert.

2.3.1.5. Messbereichsdrift

Die Messbereichsdrift innerhalb eines Zeitraumes von einer Stunde muss geringer als 2% des Skalenendwertes des kleinsten verwendeten Messbereiches sein. Als Messbereich wird die Differenz zwischen Justierausschlag und Nullpunktwert definiert. Der Messbereichjustierausschlag wird definiert als mittlerer Ausschlag (einschließlich Rauschen) auf ein Justiergas in einem Zeitabschnitt von 30 Sekunden.

2.3.1.6. Anstiegszeit

Bei einem Rohabgasanalysesystem darf die Anstiegszeit des im Messsystem angebrachten Analysators 2,5 s nicht überschreiten.

Hinweis: Die Eignung des gesamten Systems für dynamische Prüfungen lässt sich nicht eindeutig definieren, wenn lediglich die Ansprechzeit des Analysators bewertet wird. Massen und insbesondere Totvolumen im System wirken sich nicht nur auf die Beförderungszeit von der Sonde zum Analysator, sondern auch auf die Anstiegszeit aus. Auch Beförderungszeiten innerhalb eines Analysators sind als Ansprechzeit des Analysegeräts zu definieren, wie die Konverter oder Wasserabscheider in NOx-Analysatoren. Die Bestimmung der Gesamtansprechzeit des Systems ist in Anlage 2 Absatz 1.11.1 erläutert.

2.3.2. Gastrocknung

Es gelten die gleichen Spezifikationen wie für die NRSC-Prüfung (Absatz 1.4.2) wie nachstehend beschrieben.

Das wahlweise zu verwendende Gastrocknungsgerät darf die Konzentration der gemessenen Gase so wenig wie möglich beeinflussen. Die Anwendung chemischer Trockner zur Entfernung von Wasser aus der Probe ist nicht zulässig.

2.3.3. Analysatoren

Es gelten die gleichen Spezifikationen wie für die NRSC-Prüfung (Absatz 1.4.3) wie nachstehend beschrieben.

Die zu messenden Gase sind mit den nachfolgend aufgeführten Geräten zu analysieren. Bei nichtlinearen Analysatoren ist die Verwendung von Linearisierungsschaltkreisen zulässig.

2.3.3.1. Kohlenmonoxid-(CO-)Analyse

Der Kohlenmonoxidanalysator muss ein nichtdispersiver Infrarot-Absorptionsanalysator (NDIR) sein.

2.3.3.2. Kohlendioxid-(CO₂-)Analyse

Der Kohlendioxidanalysator muss ein nichtdispersiver Infrarotabsorptionsanalysator (NDIR) sein.

2.3.3.3. Kohlenwasserstoff-(HC-)Analyse

Der Kohlenwasserstoffanalysator muss ein beheizter Flammenionisationsdetektor (HFID) mit Detektor, Ventilen, Rohrleitungen usw. sein, der so zu beheizen ist, dass die Gastemperatur auf 463 K (190 °C) $\pm$ 10 K gehalten wird.

2.3.3.4. Stickoxid-(NO_x-)Analyse

Der Stickoxidanalysator muss ein Chemilumineszenzanalysator (CLD) oder beheizter Chemilumineszenzanalysator (HCLA) mit einem NO₂/NO-Konverter sein, wenn die Messung im trockenen Bezugszustand erfolgt. Bei Messung im feuchten Bezugszustand ist ein auf über 328 K (55 °C) gehaltener HCLD mit Konverter zu verwenden, vorausgesetzt, die Prüfung auf Wasserdampfquerempfindlichkeit (Anhang 4A Anlage 2 Absatz 1.9.2.2) ist erfüllt.

Sowohl für CLD als auch für HCLD muss der Probenweg bis zum Konverter (bei Messung im trockenen Bezugszustand) bzw. bis zum Analysegerät (bei Messung im feuchten Bezugszustand) auf einer Wandtemperatur von über 328 bis 473 K (55 °C bis 200 °C) gehalten werden.

2.3.4. Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses

Bei der zur Bestimmung des Abgasdurchsatzes gemäß Absatz 2.2.3 verwendeten Messeinrichtung für das Luft-Kraftstoff-Verhältnis muss es sich um eine Breitband-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sonde oder eine Zirkon-Lambda-Sonde handeln.

Die Sonde ist unmittelbar am Auspuffrohr an einer Stelle anzubringen, an der die Abgastemperatur so hoch ist, dass Wasserkondensation vermieden wird.

Die Genauigkeit der Sonde mit eingebauter Elektronik muss sich in folgendem Bereich bewegen:

$\pm 3 \%$ des Ablesewertes für $\lambda < 2$

$\pm 5 \%$ des Ablesewertes für $2 \leq \lambda < 5$

$\pm 10 \%$ des Ablesewertes für $5 \leq \lambda$

Um die oben angegebene Genauigkeit zu erreichen, ist die Sonde nach Herstellerangaben zu kalibrieren.

2.3.5. Probenahme von gasförmigen Emissionen

2.3.5.1. Durchsatz des Rohabgases

Für die Berechnung der Emissionen im Rohabgas gelten die gleichen Spezifikationen wie für die NRSC-Prüfung (Absatz 1.4.4) wie nachstehend beschrieben.

Die Probenahmesonden für gasförmige Emissionen müssen oberhalb des Austritts der Auspuffanlage – soweit zutreffend – so angebracht sein, dass sie mindestens 0,5 m oder um das Dreifache des Durchmessers des Auspuffrohrs (es gilt der höhere Wert) von diesem entfernt sind und sich so nahe am Motor befinden, dass eine Abgastemperatur von mindestens 343 K (70 °C) an der Sonde gewährleistet ist.

Bei einem Mehrzylindermotor mit einem verzweigten Auspuffkrümmer muss der Einlass der Sonde so weit in Strömungsrichtung entfernt sein, dass die Probe für die durchschnittlichen Abgasemissionen aus allen Zylindern repräsentativ ist. Bei einem Mehrzylindermotor mit einzelnen Gruppen von Auspuffkrümmern, z. B. bei einem V-Motor, ist die Entnahme individueller Proben von jeder Gruppe und die Berechnung der durchschnittlichen Abgasemission zulässig. Es können auch andere Methoden angewandt werden, die den obigen Methoden nachweislich entsprechen. Bei der Berechnung der Abgasemissionen ist der gesamte Abgasmassendurchsatz des Motors zugrunde zu legen.

2.3.5.2. Durchsatz des verdünnten Abgases

Wird ein Vollstrom-Verdünnungssystem verwendet, gelten die folgenden Spezifikationen.

Das Auspuffrohr zwischen dem Motor und dem Vollstrom-Verdünnungssystem muss den Bestimmungen in Anhang 4A Anlage 4 entsprechen.

Die Sonde(n) für die Entnahme der gasförmigen Emissionen muss (müssen) im Verdünnungstunnel an einer Stelle angebracht sein, wo Verdünnungsluft und Abgas gut vermischt sind, und sich nahe der Partikel-Probenahmesonde befinden.

Die Probenahme kann nach zwei Methoden erfolgen:

- a) die Schadstoffproben werden über den gesamten Zyklus hinweg in einen Probenahmebeutel geleitet und nach Abschluss der Prüfung gemessen.
- b) Die Schadstoffproben werden über den gesamten Zyklus hinweg fortlaufend entnommen und integriert; für HC und NO_x ist dieses Verfahren vorgeschrieben.

Die Hintergrundkonzentrationen werden oberhalb des Verdünnungstunnels in einen Probenahmebeutel geleitet und von der Emissionskonzentration gemäß Anlage 3 Absatz 2.2.3 subtrahiert.

2.4. Bestimmung der Partikel

Die Bestimmung der Partikel erfordert ein Verdünnungssystem. Die Verdünnung kann mit einem Teilstrom- oder Vollstrom-Verdünnungssystem erfolgen. Die Durchflussleistung des Verdünnungssystems muss so groß sein, dass keine Wasserkondensation im Verdünnungs- und Probenahmesystem auftritt und dass die Temperatur des verdünnten Abgases unmittelbar oberhalb der Filterhalter zwischen 315 K (42 °C) und 325 K (52 °C) gehalten werden kann. Bei hoher Luftfeuchtigkeit ist es zulässig, die Verdünnungsluft vor Eintritt in das Verdünnungssystem zu entfeuchten. Bei einer Umgebungstemperatur von weniger als 293 K (20 °C) wird ein Vorheizen der Verdünnungsluft über den Temperaturgrenzwert von 303 K (30 °C) hinaus empfohlen. Jedoch darf die Temperatur der Verdünnungsluft vor der Einleitung des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht überschreiten.

Die Partikel-Probenahmesonde muss sich nahe der Probenahmesonde für die gasförmigen Emissionen befinden, und die Einrichtung muss den Vorschriften in Absatz 2.3.5 entsprechen.

Zur Bestimmung der Partikelmasse werden ein Partikel-Probenahmesystem, Partikel-Probenahmefilter, eine Mikrogramm-Waage und eine Wägekammer mit kontrollierter Temperatur und Luftfeuchtigkeit benötigt.

Spezifikationen für das Teilstrom-Verdünnungssystem

Das Teilstrom-Verdünnungssystem muss so beschaffen sein, dass eine Teilung des Abgasstroms erfolgt, wobei der kleinere Teil mit Luft verdünnt und anschließend zur Partikelmessung verwendet wird. Demzufolge ist eine sehr genaue Bestimmung des Verdünnungsverhältnisses erforderlich. Es können verschiedene Teilungsmethoden verwendet werden, wobei die Art der Teilung wesentlichen Einfluss auf die zu verwendenden Probenahmegeräte und -verfahren hat (Anhang 4A Anlage 4 Absatz 1.2.1.1.).

Zur Steuerung des Teilstrom-Verdünnungssystems ist ein schnelles Ansprechen des Systems erforderlich. Die Umwandlungszeit des Systems ist nach dem in Anlage 2 Absatz 1.11.1 beschriebenen Verfahren zu bestimmen.

Liegt die kombinierte Umwandlungszeit des Abgasdurchsatzmesssystems (siehe vorstehender Absatz) und des Teilstromsystems unter 0,3 s, so können online-Kontrollsysteme verwendet werden. Überschreitet die Umwandlungszeit 0,3 s, muss eine auf einem zuvor aufgezeichneten Prüflauf basierende vorausschauende Steuerung (Look-ahead-Steuerung) verwendet werden. In diesem Fall muss die Anstiegszeit ≤ 1 s und die Ansprechzeit des Gesamtsystems ≤ 10 s sein.

Die Ansprechzeit des Gesamtsystems ist so auszulegen, dass eine dem Abgasmassendurchsatz proportionale repräsentative Partikelprobe G_{SE} entnommen wird. Zur Ermittlung der Proportionalität ist eine Regressionsanalyse $G_{SE}-G_{EXHW}$ mit einer Datenerfassungsrate von mindestens 5 Hz vorzunehmen, wobei folgende Kriterien zu erfüllen sind:

- a) Der Korrelationskoeffizient r der linearen Regression zwischen G_{SE} und G_{EXHW} darf nicht geringer als 0,95 sein.
- b) Die Standardabweichung vom Schätzwert von G_{SE} über G_{EXHW} darf 5 % von G_{SE} max. nicht überschreiten.
- c) Der G_{SE} -Wert auf der Regressionsgeraden darf den Maximalwert von G_{SE} um höchstens 2 % überschreiten.

Wahlweise kann eine Vorprüfung durchgeführt werden, und der Abgasmassendurchsatzsignalgeber der Vorprüfung kann zur Steuerung des Probenstroms in das Partikelsystem verwendet werden (Vorausschaufunktion). Dieses Verfahren ist erforderlich, wenn die Umwandlungszeit des Partikelsystems $t_{50,P}$ oder/und die Umwandlungszeit des Abgasmassendurchsatzsignalgebers $t_{50,F} > 0,3$ s ist. Eine ordnungsgemäße Steuerung des Teilstrom-Verdünnungssystems erzielt man, wenn die Zeitspur von $G_{EXHW,pre}$ aus der Vorprüfung, die G_{SE} steuert, um eine „Vorausschau“-Zeit von $t_{50,P} + t_{50,F}$ verschoben wird.

Zur Ermittlung der Korrelation zwischen G_{SE} und G_{EXHW} sind die während der tatsächlichen Prüfung gesammelten Daten zu verwenden, wobei G_{EXHW} um $t_{50,F}$ bezogen auf G_{SE} zeitlich angeglichen wird (kein Einfluss von $t_{50,P}$ auf die zeitliche Angleichung). Das heißt, die Zeitverschiebung zwischen G_{EXHW} und G_{SE} ist die Differenz ihrer Wandlungszeiten, die in Anlage 2 Absatz 2.6 bestimmt wurden.

Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen ist die Genauigkeit des Probestroms G_{SE} von besonderer Bedeutung; sie wird zwar nicht direkt gemessen, aber durch Differenzdurchsatzmessung bestimmt:

$$G_{SE} = G_{TOTW} - G_{DILW}$$

In diesem Fall ist eine Genauigkeit von ± 2 % für G_{TOTW} und G_{DILW} nicht ausreichend, um eine annehmbare Genauigkeit von G_{SE} sicherzustellen. Wird der Gasdurchsatz durch Differenzdurchsatzmessung bestimmt, so darf der Fehler der Differenz höchstens so groß sein, dass die Genauigkeit von G_{SE} innerhalb einer Toleranz von ± 5 % liegt, sofern das Verdünnungsverhältnis weniger als 15 beträgt. Die Berechnung kann durch Bilden des quadratischen Mittelwerts der Fehler des jeweiligen Geräts erfolgen.

Hinreichende Genauigkeiten von G_{SE} können mit einer der folgenden Methoden erzielt werden:

- a) Die absoluten Genauigkeiten von G_{TOTW} und G_{DILW} betragen $\pm 0,2 \%$, wodurch für G_{SE} bei einem Verdünnungsverhältnis von 15 eine Genauigkeit von $\leq 5 \%$ gewährleistet wird. Allerdings treten bei höheren Verdünnungsverhältnissen größere Fehler auf.
- b) Die Kalibrierung von G_{DILW} im Verhältnis zu G_{TOTW} erfolgt so, dass die gleiche Genauigkeit für G_{SE} wie unter Buchstabe a erreicht wird. Einzelheiten dieser Kalibrierung sind Anlage 2 Absatz 2.6 zu entnehmen.
- c) Die Genauigkeit von G_{SE} wird indirekt durch die Genauigkeit des durch ein Spürgas, z. B. CO_2 , bestimmten Verdünnungsverhältnisses bestimmt. Auch hier sind für G_{SE} die gleichen Genauigkeiten wie unter Buchstabe a erforderlich.
- d) Die absoluten Genauigkeiten von G_{TOTW} und G_{DILW} betragen $\pm 2 \%$ des Skalenendwertes, der Fehler der Differenz zwischen G_{TOTW} und G_{DILW} beträgt höchstens $0,2 \%$, und der Linearitätsfehler beträgt $\pm 2 \%$ des höchsten während der Prüfung beobachteten G_{TOTW} .

2.4.1. Partikel-Probenahmefilter

2.4.1.1. Spezifikation der Filter

Für die Zertifizierungsprüfungen werden fluorkohlenstoffbeschichtete Glasfaserfilter oder Fluorkohlenstoffmembranfilter benötigt. Für besondere Anwendungen können andere Filtermaterialien verwendet werden. Bei allen Filtertypen muss der Abscheidegrad von $0,3 \mu\text{m}$ -DOP (Diocetylphthalat) bei einer Anströmgeschwindigkeit des Gases zwischen 35 und 100 cm/s mindestens 99 % betragen. Werden Korrelationstests zwischen Prüfstellen oder zwischen einem Hersteller und einer Genehmigungsbehörde durchgeführt, so sind Filter von gleicher Qualität zu verwenden.

2.4.1.2. Filtergröße

Die Partikelfilter müssen einen Minstdurchmesser von 47 mm haben (37 mm wirksamer Durchmesser). Filter mit größerem Durchmesser sind zulässig (Absatz 2.4.1.5).

2.4.1.3. Haupt- und Nachfilter

Die verdünnten Abgase werden während der Prüffolge durch ein hintereinander angeordnetes Filterpaar (Hauptfilter und Nachfilter) geleitet. Der Nachfilter darf nicht weiter als 100 mm hinter dem Hauptfilter liegen und diesen nicht berühren. Die Filter können getrennt oder paarweise – die beaufschlagten Seiten einander zugekehrt – gewogen werden.

2.4.1.4. Filteranströmgeschwindigkeit

Es muss eine Gasanströmgeschwindigkeit durch den Filter von 35 bis 100 cm/s erreicht werden. Die Steigerung des Druckabfalls zwischen Beginn und Ende der Prüfung darf 25 kPa nicht überschreiten.

2.4.1.5. Filterbeladung

Die empfohlenen minimalen Filterbeladungen für die gebräuchlichsten Filtergrößen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Für größere Filter beträgt die minimale Filterbeladung $0,065 \text{ mg}/1\,000 \text{ mm}$ Filterbereich.

Filterdurchmesser (mm)	Empfohlener Durchmesser des wirksamen Filterbereichs (mm)	Empfohlene minimale Filterbeladung (mg)
47	37	0,11
70	60	0,25
90	80	0,41
110	100	0,62

2.4.2. Spezifikation für die Wägekammer und die Analysenwaage

2.4.2.1. Bedingungen für die Wägekammer

Die Temperatur der Kammer (oder des Raumes), in der (dem) die Partikelfilter konditioniert und gewogen werden, ist während der gesamten Dauer des Konditionierungs- und Wägevorgangs auf 295 K (22°C) $\pm 3 \text{ K}$ zu halten. Hinsichtlich der Feuchtigkeit ist eine Taupunkttemperatur von $282,5 \text{ K}$ ($9,5^\circ\text{C}$) $\pm 3 \text{ K}$ und eine relative Feuchte von 45% $\pm 8 \%$ einzuhalten.

2.4.2.2. Vergleichsfilterwägung

Die Luft in der Wägekammer (oder dem Wägeraum) muss frei von jeglichen Schmutzstoffen (wie Staub) sein, die sich während der Stabilisierung der Partikelfilter auf diesen absetzen können. Abweichungen von den in Absatz 2.4.2.1 für den Wägeraum vorgeschriebenen Bedingungen sind zulässig, wenn sie nicht länger als 30 Minuten eintreten. Der Wägeraum sollte den vorgeschriebenen Spezifikationen entsprechen, ehe das Personal ihn betritt. Wenigstens zwei unbenutzte Vergleichsfilter oder Vergleichsfilterpaare sind vorzugsweise gleichzeitig mit den Probenahmefiltern zu wiegen, höchstens jedoch in einem Abstand von vier Stunden zu diesen. Sie müssen dieselbe Größe haben und aus demselben Material bestehen wie die Probenahmefilter.

Wenn sich das Durchschnittsgewicht der Vergleichsfilter(-paare) bei den Wägungen der Probenahmefilter um mehr als 10 µg ändert, sind alle Probenahmefilter zu entfernen, und die Abgasemissionsprüfung ist zu wiederholen.

Wenn die in Absatz 2.4.2.1 angegebenen Stabilitätskriterien für den Wägeraum nicht erfüllt sind, aber bei der Wägung des Vergleichsfilters (Vergleichsfilterpaares) die obigen Kriterien eingehalten wurden, kann der Hersteller entweder die ermittelten Gewichte der Probenahmefilter anerkennen oder die Prüfungen für ungültig erklären, wobei das Kontrollsystem des Wägeraums zu justieren und die Prüfung zu wiederholen ist.

2.4.2.3. Analysenwaage

Die zur Bestimmung der Gewichte sämtlicher Filter benutzte Analysenwaage muss eine Genauigkeit (Standardabweichung) von 2 µg und eine Auflösung von 1 µg (1 Stelle = 1 µg) haben (nach Angaben des Waagenherstellers).

2.4.2.4. Ausschaltung der Einflüsse statischer Elektrizität

Zur Vermeidung elektrostatischer Reaktionen sind die Filter vor dem Wiegen zu neutralisieren, so beispielsweise durch einen Poloniumneutralisator oder ein Gerät mit ähnlicher Wirkung.

2.4.3. Zusatzbestimmungen für die Partikelmessung

Alle mit dem Rohabgas oder dem verdünnten Abgas in Berührung kommenden Teile des Verdünnungssystems und des Probenahmesystems vom Auspuffrohr bis zum Filterhalter sind so zu gestalten, dass sich möglichst wenig Partikel auf ihnen ablagern und die Partikel sich möglichst wenig verändern. Alle Teile müssen aus elektrisch leitendem und mit den Bestandteilen der Abgase nicht reagierendem Material sein und zur Vermeidung elektrostatischer Effekte geerdet sein.

Anlage 2

Kalibrierverfahren (NRSC, NRTC ⁽¹⁾)

1. KALIBRIERUNG DER ANALYSEGERÄTE

1.1. Vorbemerkung

Jeder Analysator ist so oft zu kalibrieren, wie nötig ist, damit er den in dieser Regelung festgelegten Anforderungen an die Genauigkeit entspricht. Das bei den Analysatoren nach Anlage 1 Absatz 1.4.3 anzuwendende Kalibrierverfahren ist in diesem Absatz beschrieben.

Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde können die Methoden nach Anhang 4B, Absätze 8.1 und 8.2 anstatt denen nach Absatz 1 dieses Anhangs angewandt werden.

1.2. Kalibriergase

Die Haltbarkeitsdauer aller Kalibriergase ist zu beachten.

Das vom Hersteller angegebene Verfalldatum der Kalibriergase ist einzutragen.

1.2.1. Reine Gase

Die erforderliche Reinheit der Gase ergibt sich aus den unten stehenden Grenzwerten der Verunreinigung. Folgende Gase müssen zur Verfügung stehen:

a) gereinigter Stickstoff

(Verunreinigungsgrad ≤ 1 ppm C, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm CO₂, $\leq 0,1$ ppm NO)

b) gereinigter Sauerstoff

(Reinheit $> 99,5$ Volumenprozent O₂)

c) Wasserstoff-Helium-Gemisch

(40 ± 2 % Wasserstoff, Rest Helium)

(Verunreinigungsgrad ≤ 1 ppm C, ≤ 400 ppm CO₂)

d) gereinigte synthetische Luft

(Verunreinigungsgrad ≤ 1 ppm C, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm CO₂, $\leq 0,1$ ppm NO)

(Sauerstoffgehalt zwischen 18 und 21 Volumenprozent).

1.2.2. Kalibrier- und Justiergase

Es müssen Gasgemische mit folgender chemischer Zusammensetzung verfügbar sein:

a) C₃H₈ und gereinigte synthetische Luft (siehe Absatz 1.2.1.)

b) CO und gereinigter Stickstoff

c) NO und gereinigter Stickstoff (der NO₂-Anteil in diesem Kalibriergas darf 5 % des NO-Gehalts nicht überschreiten)d) O₂ und gereinigter Stickstoffe) CO₂ und gereinigter Stickstofff) CH₄ und gereinigte synthetische Luftg) C₂H₆ und gereinigte synthetische Luft

Hinweis: Andere Gaskombinationen sind zulässig, sofern die Gase nicht miteinander reagieren.

Die tatsächliche Konzentration eines Kalibrier- und Justiergases darf um höchstens ± 2 % vom Nennwert abweichen. Alle Kalibriergaskonzentrationen sind als Volumenanteil auszudrücken (Volumenprozent oder Volumen-ppm).

Die zur Kalibrierung und Justierung verwendeten Gase können auch mit Hilfe eines Gasteilers durch Zusatz von gereinigtem N₂ oder gereinigter synthetischer Luft gewonnen werden. Das Mischgerät muss so genau sein, dass die Konzentration der verdünnten Kalibriergase auf ± 2 % genau bestimmt werden kann.

⁽¹⁾ Das Kalibrierverfahren ist für die NRSC- und die NRTC-Prüfung gleich; ausgenommen sind die in den Absätzen 1.11 und 2.6 genannten Anforderungen.

Dies bedeutet, dass die zur Mischung verwendeten Primärgase auf $\pm 1\%$ genau bekannt und auf nationale oder internationale Gasnormen zurückführbar sein müssen. Die Überprüfung ist bei jeder mithilfe einer Mischvorrichtung vorgenommenen Kalibrierung bei 15 % bis 50 % des Skalenendwertes durchzuführen. Eine zusätzliche Überprüfung unter Verwendung eines anderen Kalibriergases kann durchgeführt werden, wenn die erste Überprüfung fehlgeschlagen ist.

Wahlweise kann die Mischvorrichtung mit einem Instrument überprüft werden, das dem Wesen nach linear ist, z. B. unter Verwendung von NO-Gas mit einem CLD. Der Justierwert des Instruments ist mit direkt an das Instrument angeschlossenem Justiergas einzustellen. Die Mischvorrichtung ist bei den verwendeten Einstellungen zu überprüfen, und der Nennwert ist mit der gemessenen Konzentration des Instruments zu vergleichen. Die Abweichung darf an keinem Punkt mehr als $\pm 1\%$ des Nennwertes betragen.

Andere Methoden können nach guter technischer Praxis und vorheriger Zustimmung der beteiligten Parteien verwendet werden.

Hinweis: Zur Erstellung der genauen Kalibrierkurve des Analysegeräts wird ein Präzisionsgasteiler mit einer Genauigkeit von $\pm 1\%$ empfohlen. Der Gasteiler ist vom Gerätehersteller zu kalibrieren.

1.3. Einsatz der Analyse- und Probenahmegeräte

Beim Einsatz der Analysatoren sind die Anweisungen der Gerätehersteller für die Inbetriebnahme und den Betrieb zu beachten. Die in den Absätzen 1.4 bis 1.9 genannten Mindestanforderungen müssen erfüllt sein.

1.4. Dichtheitsprüfung

Das System ist einer Dichtheitsprüfung zu unterziehen. Die Sonde ist aus der Abgasanlage zu entfernen und deren Ende ist zu verschließen. Die Pumpe des Analysators ist einzuschalten. Nach einer vorangegangenen Stabilisierungsphase müssen alle Durchflussmesser Null anzeigen. Ist dies nicht der Fall, so sind die Probenahmeleitungen zu überprüfen, und der Fehler ist zu beheben. Die maximal zulässige Leckrate auf der Unterdruckseite beträgt 0,5 % des tatsächlichen Durchsatzes für den geprüften Teil des Systems. Die Analysatoren- und Bypass-Durchsätze können zur Schätzung der tatsächlichen Durchsätze verwendet werden.

Eine weitere Methode ist die Schrittzänderung der Konzentration am Anfang der Probenahmeleitung durch Umstellung von Null- auf Justiergas.

Zeigt der Ablesewert nach einem ausreichend langen Zeitraum eine im Vergleich zur eingeführten Konzentration geringere Konzentration an, so deutet dies auf Probleme mit der Kalibrierung oder Dichtheit hin.

1.5. Kalibrierverfahren

1.5.1. Messsystem

Das Messsystem ist zu kalibrieren, und die Kalibrierkurven sind mithilfe von Kalibriergasen zu überprüfen. Der Gasdurchsatz muss der gleiche wie bei der Probenahme aus dem Abgas sein.

1.5.2. Aufheizzeit

Die Aufheizzeit richtet sich nach den Empfehlungen des Herstellers. Sind dazu keine Angaben vorhanden, so wird für das Aufheizen der Analysegeräte eine Mindestzeit von zwei Stunden empfohlen.

1.5.3. NDIR- und HFID-Analysatoren

Falls erforderlich, muss der NDIR-Analysator abgestimmt und das Brennen der Flammen des HFID-Analysators optimiert werden (Absatz 1.8.1).

1.5.4. Kalibrierung

Jeder bei normalem Betrieb verwendete Messbereich ist zu kalibrieren.

Die CO, CO₂, NO_x, HC- und O₂-Analysatoren sind unter Verwendung von gereinigter synthetischer Luft (oder Stickstoff) auf Null einzustellen.

Die entsprechenden Kalibriergase sind in die Analysatoren einzuleiten und die Werte aufzuzeichnen, und die Kalibrierkurve ist gemäß Absatz 1.5.6 zu ermitteln.

Die Nulleinstellung ist nochmals zu überprüfen und das Kalibrierverfahren erforderlichenfalls zu wiederholen.

1.5.5. Erstellung der Kalibrierkurve

1.5.5.1. Allgemeine Hinweise

Die Kalibrierkurve des Analysators wird mithilfe von mindestens sechs Kalibrierpunkten (außer Null) ermittelt, die in möglichst gleichen Abständen angeordnet sein sollen. Der Nennwert der höchsten Konzentration muss mindestens 90 % des Skalenendwertes betragen.

Die Kalibrierkurve wird nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Falls der sich ergebende Grad des Polynoms größer als 3 ist, muss die Zahl der Kalibrierpunkte (einschließlich Null) mindestens gleich diesem Grad plus 2 sein.

Die Kalibrierkurve darf höchstens um $\pm 2\%$ vom Nennwert jedes Kalibrierpunktes und höchstens um $\pm 0,3\%$ des Skalenendwerts bei Null abweichen.

Anhand der Kalibrierkurve und der Kalibrierpunkte kann festgestellt werden, ob die Kalibrierung richtig durchgeführt wurde. Es sind die verschiedenen Daten des Analysators anzugeben, und zwar vor allem

- a) Messbereich,
- b) Empfindlichkeit,
- c) Datum der Kalibrierung.

1.5.5.2. Kalibrierung bei weniger als 15 % des Skalenendwerts

Die Kalibrierkurve des Analysators wird mit Hilfe von mindestens zehn Kalibrierpunkten (außer Null) ermittelt, die so angeordnet sind, dass 50 % der Kalibrierpunkte unter dem Wert von 10 % des Skalenendwertes liegen.

Die Kalibrierkurve wird nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet.

Die Kalibrierkurve darf um höchstens $\pm 4\%$ vom Nennwert jedes Kalibrierpunktes und um höchstens $\pm 0,3\%$ des Skalenendwertes bei Null abweichen.

1.5.5.3. Andere Methoden

Wenn nachgewiesen werden kann, dass sich mit sonstiger Technik (z. B. Computer, elektronisch gesteuerter Bereichsumschalter) die gleiche Genauigkeit erreichen lässt, darf auch diese benutzt werden.

1.6. Überprüfung der Kalibrierung

Jeder bei normalem Betrieb verwendete Betriebsbereich ist vor jeder Analyse nach folgendem Verfahren zu überprüfen.

Die Kalibrierung wird unter Verwendung eines Nullgases und eines Justiergases, dessen Nennwert mehr als 80 % des Skalenendwertes des Messbereiches entspricht, überprüft.

Weicht bei den beiden untersuchten Punkten der ermittelte Wert um höchstens $\pm 4\%$ des Skalenendwerts vom angegebenen Bezugswert ab, können die Einstellparameter geändert werden. Sollte dies nicht der Fall sein, ist eine neue Kalibrierkurve nach den Vorschriften des Absatzes 1.5.4 zu ermitteln.

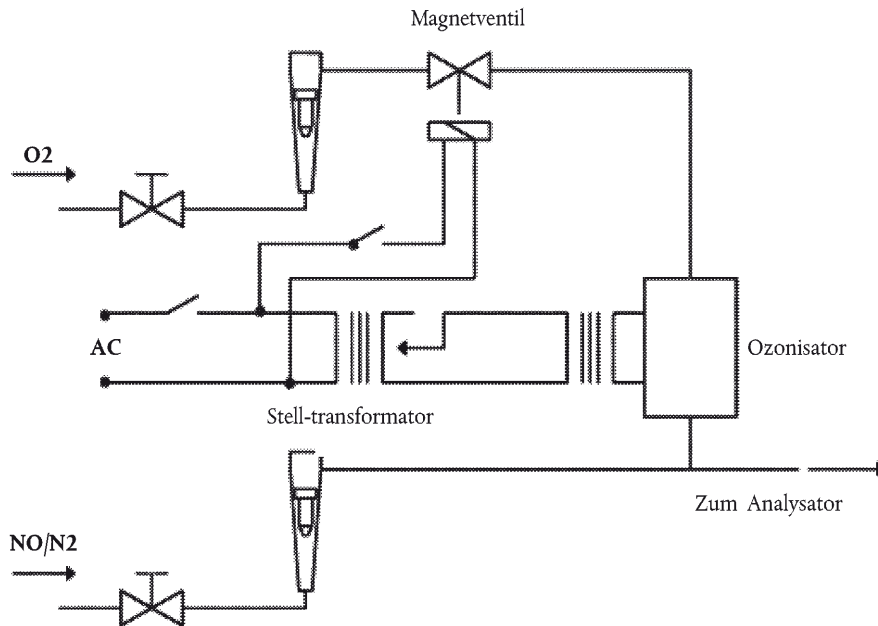
1.7. Prüfung des Wirkungsgrades des NO_x -Konverters

Die Wirksamkeit des Konverters, der zur Umwandlung von NO_2 in NO verwendet wird, wird nach den Vorschriften der Absätze 1.7.1 bis 1.7.8 geprüft (Abbildung 1).

1.7.1. Prüfanordnung

Die Wirksamkeit von Konvertern kann mit Hilfe eines Ozonisators entsprechend der in Abbildung 1 (siehe auch Anlage 1 Absatz 1.4.3.5) dargestellten Prüfanordnung nach folgendem Verfahren geprüft werden:

Abbildung 1

Schematische Darstellung des Gerätes zur Bestimmung des Wirkungsgrades des NO_x-Konverters**1.7.2. Kalibrierung**

Der CLD und der HCLD sind in dem am meisten verwendeten Betriebsbereich nach den Angaben des Herstellers unter Verwendung von Null- und Justiergas (dessen NO-Gehalt ungefähr 80 % des Betriebsbereichs entsprechen muss, während die NO₂-Konzentration des Gasgemischs weniger als 5 % der NO-Konzentration betragen muss) zu kalibrieren. Der NO_x-Analysator muss auf den NO-Betrieb eingestellt sein, so dass das Justiergas nicht durch den Konverter strömt. Die angezeigte Konzentration ist aufzuzeichnen.

1.7.3. Berechnung

Die Effizienz des NO_x-Konverters wird wie folgt berechnet:

$$\text{Efficiency (\%)} = \left(1 + \frac{a - b}{c - d} \right) \cdot 100$$

Dabei ist:

- a) = NO_x-Konzentration nach Absatz 1.7.6.
- b) = NO_x-Konzentration nach Absatz 1.7.7.
- c) = NO-Konzentration nach Absatz 1.7.4
- d) = NO-Konzentration nach Absatz 1.7.5.

1.7.4. Zusatz von Sauerstoff

Über ein T-Verbindungsstück wird dem durchströmenden Gas kontinuierlich Sauerstoff oder Nullluft zugesetzt, bis die angezeigte Konzentration ungefähr 20 % niedriger als die angezeigte Kalibrierkonzentration nach Absatz 1.7.2 ist. (Der Analysator befindet sich im NO-Betriebszustand.)

Die angezeigte Konzentration c ist aufzuzeichnen. Der Ozonisator bleibt während des gesamten Vorgangs ausgeschaltet.

1.7.5. Einschalten des Ozonisators

Anschließend wird der Ozonisator eingeschaltet, um so viel Ozon zu erzeugen, dass die NO-Konzentration auf 20 % (Mindestwert 10 %) der Kalibrierkonzentration nach Absatz 1.7.2 zurückgeht. Die angezeigte Konzentration d ist aufzuzeichnen. (Der Analysator befindet sich im NO-Betriebszustand.)

1.7.6. NO_x-Betriebszustand

Der NO-Analysator wird dann auf den NO_x-Betriebszustand umgeschaltet, wodurch das Gasgemisch (bestehend aus NO, NO₂, O₂ und N₂) nun durch den Konverter strömt. Die angezeigte Konzentration a ist aufzuzeichnen. (Der Analysator ist auf den NO_x-Betriebszustand eingestellt.)

1.7.7. Ausschalten des Ozonisators

Danach wird der Ozonisator ausgeschaltet. Das Gasgemisch nach Absatz 1.7.6 strömt durch den Konverter in den Messteil. Die angezeigte Konzentration b ist aufzuzeichnen. (Der Analysator ist auf den NO_x -Betriebszustand eingestellt.)

1.7.8. NO-Betrieb

Ist der Analysator auf den NO-Betriebszustand umgeschaltet und der Ozonisator ausgeschaltet, so wird auch der Zustrom von Sauerstoff oder synthetischer Luft abgesperrt. Der am Analysator angezeigte NO_x -Wert darf dann von dem nach Absatz 1.7.2 gemessenen Wert um höchstens $\pm 5\%$ abweichen. (Der Analysator befindet sich im NO-Betriebszustand.)

1.7.9. Prüfabstände

Die Effizienz des Konverters ist vor jeder Kalibrierung des NO_x -Analysators zu bestimmen.

1.7.10. Vorgeschriebene Effizienz

Die Effizienz des Konverters darf nicht kleiner als 90 % sein, eine Effizienz von 95 % ist jedoch anzustreben.

Hinweis: Kann bei dem am meisten verwendeten Betriebsbereich des Analysators der Ozonisator keine Verringerung der Konzentration von 80 % auf 20 % nach Absatz 1.7.5 bewirken, so ist der größte Bereich, bei dem die Verringerung erreicht wird, zu verwenden.

1.8. Einstellung des FID

1.8.1. Optimierung des Detektor-Ansprechverhaltens

Der HFID ist nach den Angaben des Geräteherstellers einzustellen. Um das Ansprechverhalten zu optimieren, sollte in dem am meisten verwendeten Betriebsbereich ein Propan-Luft-Justiergas verwendet werden.

Bei einer Einstellung des Kraftstoff- und Luftdurchsatzes nach den Empfehlungen des Herstellers ist ein Justiergas von 350 ± 75 ppm C in den Analysator einzuleiten. Das Ansprechverhalten bei einem bestimmten Kraftstoffdurchsatz ist anhand der Differenz zwischen dem Justiergas-Ansprechen und dem Nullgas-Ansprechen zu ermitteln. Der Kraftstoffdurchsatz ist schrittweise auf Werte einzustellen, die über und unter dem vom Hersteller angegebenen Wert liegen. Das Ansprechverhalten des Justier- und des Nullgases bei diesen Kraftstoffdurchsätzen ist aufzuzeichnen. Die Differenz zwischen dem Justier- und dem Nullgas-Ansprechen ist in Kurvenform aufzutragen und der Kraftstoffdurchsatz auf die fette Seite der Kurve einzustellen.

1.8.2. Ansprechfaktoren für Kohlenwasserstoffe

Der Analysator ist unter Verwendung von Propan in Luft und gereinigter synthetischer Luft nach Absatz 1.5 zu kalibrieren.

Die Ansprechfaktoren sind bei Inbetriebnahme eines Analysators und nach längeren Wartungsfristen zu bestimmen. Der Ansprechfaktor (R_f) für einen bestimmten Kohlenwasserstoff ist das Verhältnis des am FID angezeigten C1-Wertes zur Konzentration in der Gasflasche, ausgedrückt in ppm C1.

Die Konzentration des Prüfgases muss so hoch sein, dass ungefähr 80 % des Skalenendwertes angezeigt werden. Die Konzentration muss mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$, bezogen auf einen gravimetrischen Normwert, ausgedrückt als Volumen, bekannt sein. Außerdem muss die Gasflasche 24 Stunden lang bei 298 K (25°C) ± 5 K konditioniert werden.

Zu verwendende Prüfgase und empfohlene relative Ansprechfaktorenbereiche:

Methan und gereinigte synthetische Luft: $1,00 \leq R_f \leq 1,15$

Propylen und gereinigte synthetische Luft: $0,90 \leq R_f \leq 1,1$

Toluol und gereinigte synthetische Luft: $0,90 \leq R_f \leq 1,10$

bezogen auf den Ansprechfaktor (R_f) von 1,00 für Propan und gereinigte synthetische Luft.

1.8.3. Prüfung der Sauerstoffquerempfindlichkeit

Die Prüfung der Beeinflussung durch Sauerstoff ist bei Inbetriebnahme eines Analysators und nach wesentlichen Wartungsterminen vorzunehmen.

Es ist ein Bereich zu wählen, in dem die zur Prüfung der Sauerstoffquerempfindlichkeit verwendeten Gase in den oberen 50 % liegen. Zur Prüfung ist der Ofen auf die erforderliche Temperatur einzustellen.

1.8.3.1. Prüfgase für die Sauerstoffquerempfindlichkeit

Die Gase für die Prüfung der Sauerstoffquerempfindlichkeit müssen Propan mit 350 ppmC bis 75 ppmC Kohlenwasserstoff enthalten. Die Konzentration ist durch chromatografische Analyse des gesamten Kohlenwasserstoffs oder durch dynamisches Mischen mit der für Kalibrierung geltenden Toleranz zu bestimmen. Stickstoff muss der vorherrschende Verdünner mit dem Restsauerstoff sein. Für die Prüfung von Dieselmotoren sind folgende Mischungen erforderlich:

O ₂ -Konzentration	Rest
21 (20 bis 22)	Stickstoff
10 (9 bis 11)	Stickstoff
5 (4 bis 6)	Stickstoff

1.8.3.2. Verfahren

- Der Analysator ist auf Null einzustellen.
- Der Analysator ist mit der 21 %-Sauerstoffmischung zu justieren.
- Der Nullpunktwert ist erneut zu überprüfen. Hat er sich um mehr als 0,5 % des Skalenendwertes verändert, sind die Schritte a und b zu wiederholen.
- Die Prüfgase mit 5 % und 10 % Sauerstoffgehalt sind einzuleiten.
- Der Nullpunktwert ist erneut zu überprüfen. Hat er sich um mehr als 1 % des Skalenendwertes verändert, ist die Prüfung zu wiederholen.
- Für jedes Gemisch nach Buchstabe d ist die Sauerstoffquerempfindlichkeit (%O₂I) wie folgt zu berechnen:

$$\%O_2 I = \frac{(B - C)}{B} \cdot 100$$

A = Kohlenwasserstoffkonzentration (ppmC) des in Buchstabe b verwendeten Justiergases

B = Kohlenwasserstoffkonzentration (ppmC) der nach Buchstabe d zu verwendenden Prüfgase für die Sauerstoffquerempfindlichkeit

C = Ansprechen des Analysators

$$(\text{ppmC}) = \frac{A}{D}$$

D = Prozent des vollen Skalenendwertes des Ansprechens des Analysators aufgrund von A

- Die Sauerstoffquerempfindlichkeit in Prozent (% O₂I) muss vor der Prüfung für alle vorgeschriebenen Gase zum Prüfen der Sauerstoffquerempfindlichkeit weniger als ± 3,0 % betragen.
- Ist die Sauerstoffquerempfindlichkeit größer als ± 3,0 %, ist der Luftdurchsatz ober- und unterhalb der Angaben des Herstellers stufenweise anzupassen, wobei Absatz 1.8.1 für jede Einstellung des Durchsatzes zu wiederholen ist.
- Ist die Sauerstoffquerempfindlichkeit nach der Anpassung des Luftdurchsatzes größer als ± 3 %, sind der Kraftstoffdurchsatz und danach der Durchsatz der Probe zu variieren, wobei Absatz 1.8.1 für jede neue Einstellung zu wiederholen ist.
- Ist die Sauerstoffquerempfindlichkeit weiterhin größer als ± 3,0 %, müssen der Analysator, der FID-Brennstoff oder die Brennerluft vor der Prüfung repariert bzw. ausgetauscht werden. Anschließend ist dieser Absatz mit den reparierten bzw. ausgetauschten Geräten oder Gasen zu wiederholen.

1.9. Querempfindlichkeiten bei NDIR- und CLD-Analysatoren

Gase, die, außer dem gerade analysierten, im Abgas enthalten sind, können die Anzeige auf verschiedene Weise beeinflussen. Positive Querempfindlichkeit tritt bei NDIR-Analysatoren auf, wenn das beeinflussende Gas die gleiche, aber schwächere Wirkung wie das gemessene Gas hat. Negative Querempfindlichkeit tritt bei NDIR-Analysatoren als Verbreiterung des Absorptionsbereiches des gemessenen Gases durch das beeinflussende Gas und bei CLD-Analysatoren als Verminderung der Strahlung durch das beeinflussende Gas auf. Die Prüfungen der Querempfindlichkeit nach den Absätzen 1.9.1 und 1.9.2 sind vor der ersten Verwendung eines Analysators und nach längeren Nutzungspausen durchzuführen.

1.9.1. Kontrolle der Querempfindlichkeit des CO-Analysators

Wasser und CO₂ können die Leistung des CO-Analysators beeinflussen. Daher lässt man ein bei der Prüfung verwendetes CO₂-Justiergas mit einer Konzentration von 80 % bis 100 % des Skalenendwertes des bei der Prüfung verwendeten maximalen Betriebsbereichs bei Raumtemperatur durch Wasser perlen, wobei das Ansprechen des Analysators aufzuzeichnen ist. Das Ansprechen des Analysators darf bei Bereichen ab 300 ppm höchstens 1 % des Skalenendwertes und bei Bereichen unter 300 ppm höchstens 3 ppm betragen.

1.9.2. Kontrollen der NO_x-Querempfindlichkeit

Die zwei Gase, die bei CLD- (und HCLD-) Analysatoren besonderer Berücksichtigung bedürfen, sind CO₂ und Wasserdampf. Die Querempfindlichkeit auf diese Gase ist ihren Konzentrationen proportional und erfordert daher Prüftechniken zur Bestimmung der Querempfindlichkeit bei den sich während der Prüfung ergebenden Höchstkonzentrationen.

1.9.2.1. Kontrolle der CO₂-Querempfindlichkeit

Ein CO₂-Prüfgas mit einer Konzentration von 80 % bis 100 % des Skalenendwertes des größten Messbereiches ist durch den NDIR-Analysator zu leiten und der CO₂-Wert als A aufzuzeichnen. Anschließend ist es zu ungefähr 50 % mit NO-Justiergas zu verdünnen und durch den NDIR-Analysator und den (H)CLD-Analysator zu leiten, wobei die CO₂- und NO-Werte als B beziehungsweise C aufgezeichnet werden. Die Zufuhr von CO₂ ist zu unterbrechen und nur das NO-Prüfgas durch den (H)CLD-Analysator zu leiten; der NO-Wert ist als D aufzuzeichnen.

Der Querempfindlichkeitswert ist wie folgt zu berechnen:

$$\%CO_2 \text{ Quench} = \left[1 - \left(\frac{C \cdot A}{(D \cdot A) - (D \cdot B)} \right) \right] \cdot 100$$

und darf nicht mehr als 3 % des Skalenendwertes betragen.

Dabei gilt

A = die mit dem NDIR-Analysator gemessene unverdünnte CO₂-Konzentration in %

B = die mit dem NDIR-Analysator gemessene verdünnte CO₂-Konzentration in %

C = die mit dem CLD gemessene Konzentration des verdünnten NO in ppm

D = die mit dem CLD gemessene Konzentration des unverdünnten NO in ppm

1.9.2.2. Kontrolle der Wasserdampfquerempfindlichkeit

Diese Überprüfung ist nur für Messungen der Konzentration im feuchten Gas erforderlich. Bei der Berechnung der Wasserdampfquerempfindlichkeit sind die Verdünnung des NO-Justiergases mit Wasserdampf und die Skalierung der Wasserdampfkonzentration des Gemischs im Vergleich zu der während der Prüfung erwarteten Konzentration zu berücksichtigen. Ein NO-Justiergas mit einer Konzentration von 80 % bis 100 % des Skalenendwertes des üblichen Messbereiches ist durch den (H)CLD-Analysator zu leiten und der NO-Wert als D aufzuzeichnen. Dann ist das NO-Gas bei Raumtemperatur durch Wasser zu perlen und durch den (H)CLD-Analysator zu leiten; der NO-Wert ist als C aufzuzeichnen. Die Wassertemperatur ist zu bestimmen und als F aufzuzeichnen. Der Sättigungsdampfdruck des Gemisches, der entsprechend der Wassertemperatur (F) auftritt, ist zu bestimmen und als G aufzuzeichnen. Die Wasserdampfkonzentration (in %) in dem Gemisch ist wie folgt zu berechnen:

$$H = 100 \cdot \left(\frac{G}{P_B} \right)$$

und als H aufzuzeichnen. Die erwartete Konzentration des verdünnten NO-Prüfgases (in Wasserdampf) ist wie folgt zu berechnen:

$$De = D \cdot \left(1 - \frac{H}{100} \right)$$

und als Wert De aufzuzeichnen. Bei Diesellabgasen ist die maximale bei der Prüfung erwartete Wasserdampfkonzentration im Abgas (in %) anhand der maximalen CO₂-Konzentration im Abgas oder anhand der Konzentration des unverdünnten CO₂-Justiergases (A, wie nach Absatz 1.9.2.1 gemessen) – ausgehend von einem Atomverhältnis H/C des Kraftstoffs von 1,8 zu 1,0 – wie folgt zu schätzen:

$$Hm = (0,9 \cdot A)$$

und als Hm aufzuzeichnen.

Die Wasserdampfquerempfindlichkeit (H_2O Quench) ist wie folgt zu berechnen:

$$\%H_2O \text{ Quench} = 100 \cdot \left(\frac{De - C}{De} \right) \cdot \left(\frac{Hm}{H} \right)$$

und darf nicht mehr als 3 % des Skalenendwertes betragen.

De = erwartete Konzentration des verdünnten NO (ppm)

C = Konzentration des verdünnten NO (ppm)

Hm = maximale Wasserdampfkonzentration (%)

H = maximale Wasserdampfkonzentration (%)

Hinweis: Es ist wichtig, dass das NO-Justiergas für diese Prüfung eine möglichst geringe NO₂-Konzentration enthält, da die Absorption von NO₂ in Wasser bei den Berechnungen der Querempfindlichkeit nicht berücksichtigt wurde.

1.10. Häufigkeit der Kalibrierungen

Die Analysatoren sind nach den Vorschriften des Absatzes 1.5 mindestens alle drei Monate oder nach jeder Instandsetzung oder Veränderung des Systems, die die Kalibrierung beeinflussen könnte, zu kalibrieren.

1.11. Zusätzliche Kalibrierungsvorschriften für Rohabgasmessungen bei der NRTC-Prüfung

1.11.1. Überprüfung der Ansprechzeit des Analysesystems

Die Systemeinstellungen für die Bewertung der Ansprechzeit (d. h. Druck, Durchsätze, Filtereinstellungen an den Analysegeräten und alle anderen Faktoren, die die Ansprechzeit beeinflussen) müssen genau dieselben sein wie bei der Probelaufmessung. Zur Bestimmung der Ansprechzeit wird unmittelbar am Eintritt der Probenahmesonde das Gas gewechselt. Der Gaswechsel muss in weniger als 0,1 s erfolgen. Die für die Prüfung verwendeten Gase müssen eine Konzentrationsänderung von mindestens 60 % des vollen Skalenendwertes bewirken.

Die Konzentrationskurve ist für jeden einzelnen Gasbestandteil aufzuzeichnen. Die Ansprechzeit ist definiert als die zeitliche Differenz zwischen der Gasumstellung und der entsprechenden Veränderung der aufgezeichneten Konzentration. Die Systemansprechzeit (t_{90}) setzt sich zusammen aus der Ansprechverzögerung bis zum Messdetektor und der Anstiegszeit des Detektors. Die Ansprechverzögerung ist definiert als die Zeit, die vom Wechsel (t_0) bis zur Anzeige von 10 % des Endwertes (t_{10}) verstreicht. Die Anstiegszeit ist definiert als die Zeit für den Anstieg des angezeigten Messwertes von 10 % auf 90 % des Endwertes ($t_{90} - t_{10}$).

Für den Zeitabgleich der Signale des Analysators und des Abgasstroms im Fall der Messung des Rohabgases ist die Wandlungszeit definiert als der Zeitabstand vom Wechsel (t_0) bis zum Anstieg des angezeigten Messwertes auf 50 % des Endwertes (t_{50}).

Die Ansprechzeit des Systems muss für alle begrenzten Bestandteile (CO, NO_x, HC) und alle verwendeten Bereiche ≤ 10 s bei einer Anstiegszeit von $\leq 2,5$ s betragen.

1.11.2. Kalibrierung des Spürgasanalysators für die Messung des Abgasdurchsatzes

Der Analysator für die Messung der Spürgaskonzentration ist gegebenenfalls unter Verwendung des Kalibriergases zu kalibrieren.

Die Kalibrierkurve muss aus mindestens 10 Kalibrierpunkten (Nullpunkt ausgenommen) erstellt werden, die so angeordnet sein müssen, dass die Hälfte der Kalibrierpunkte zwischen 4 % und 20 % des vollen Skalenendwertes des Analysators und der Rest zwischen 20 % und 100 % des vollen Skalenendwertes liegt. Die Kalibrierkurve wird nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet.

Die Kalibrierkurve darf im Bereich von 20 % bis 100 % des vollen Skalenendwertes höchstens um ± 1 % des vollen Skalenendwertes vom Nennwert jedes Kalibrierpunktes abweichen. Sie darf außerdem im Bereich von 4 % bis 20 % des vollen Skalenendwertes nicht um mehr als ± 2 % vom Nennwert abweichen.

Vor dem Prüflauf ist der Analysator auf Null einzustellen und zu justieren; dazu ist ein Nullgas und ein Justiergas zu verwenden, dessen Nennwert mehr als 80 % des Skalenendwertes des Analysators beträgt.

2. KALIBRIERUNG DES PARTIKELMESSSYSTEMS

2.1. Vorbemerkung

Jedes Gerät ist so oft zu kalibrieren, wie nötig ist, damit es den in dieser Regelung festgelegten Anforderungen an die Genauigkeit entspricht. Das bei den Bestandteilen nach Anhang 4A, Anlage 1 Absatz 1.5 und Anlage 4 anzuwendende Kalibrierverfahren ist in diesem Absatz beschrieben.

Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde können die Methoden nach Anhang 4B, Absätze 8.1 und 8.2 alternativ zu denen nach Absatz 2 dieses Anhangs angewandt werden.

2.2. Messung des Durchsatzes

Die Kalibrierung der Gasdurchsatzmesser oder Durchflussmessgeräte muss auf nationale und/oder internationale Normen rückführbar sein.

Der Fehler des Messwertes darf höchstens $\pm 2\%$ des Ablesewertes betragen.

Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen ist die Genauigkeit des Probenstroms G_{SE} von besonderer Bedeutung; sie wird zwar nicht direkt gemessen, aber durch Differenzdruckmessung bestimmt:

$$G_{SE} = G_{TOTW} - G_{DILW}$$

In diesem Fall ist eine Genauigkeit von $\pm 2\%$ für G_{TOTW} und G_{DILW} nicht ausreichend, um eine annehmbare Genauigkeit von G_{SE} sicherzustellen. Wird der Gasdurchsatz durch Differenzdurchflussmessung bestimmt, so darf der Fehler der Differenz höchstens so groß sein, dass die Genauigkeit von G_{SE} innerhalb einer Toleranz von $\pm 5\%$ liegt, sofern das Verdünnungsverhältnis weniger als 15 beträgt. Die Berechnung kann durch Bilden des quadratischen Mittelwerts der Fehler des jeweiligen Geräts erfolgen.

2.3. Überprüfung des Verdünnungsverhältnisses

Bei Anwendung von Partikel-Probenahmesystemen ohne EGA (Anhang 4A, Anlage 4, Absatz 1.2.1.1) ist das Verdünnungsverhältnis für jede neue Motorinstallation bei laufendem Motor und unter Verwendung der Messungen der CO_2 - oder der NO_x -Konzentrationen im Rohabgas und im verdünnten Abgas zu überprüfen.

Das gemessene Verdünnungsverhältnis darf höchstens um $\pm 10\%$ von dem Verdünnungsverhältnis abweichen, das mit Hilfe der Messwerte für die CO_2 - oder die NO_x -Konzentration berechnet wurde.

2.4. Überprüfung der Teilstrombedingungen

Der Bereich der Abgasgeschwindigkeit und der Druckschwankungen ist zu überprüfen und gegebenenfalls nach den Vorschriften des Anhangs 4A Anlage 4 Absatz 1.2.1.1, EP, neu einzustellen.

2.5. Häufigkeit der Kalibrierungen

Die Durchsatzmessgeräte sind mindestens alle drei Monate oder nach jeder Veränderung des Systems, die die Kalibrierung beeinflussen könnte, zu kalibrieren.

2.6. Zusätzliche Kalibrierungsvorschriften bei Teilstrom-Verdünnungssystemen

2.6.1. Periodische Kalibrierung

Wird der Probegasstrom durch Differenzdurchsatzmessung bestimmt, so müssen der Durchsatzmesser oder das Durchsatzmessgerät nach einem der folgenden Verfahren kalibriert werden, so dass der Probenstrom G_{SE} in den Tunnel den Anforderungen an die Messgenauigkeit gemäß Anhang 4A, Anlage 1 Absatz 2.4 entspricht:

Der Durchflussmesser für G_{DILW} wird in Reihe geschaltet mit dem Durchsatzmesser für G_{TOTW} , und die Differenz zwischen den beiden Durchsatzmessern wird für mindestens 5 Sollwerte kalibriert, wobei die Durchsatzwerte äquidistant zwischen dem niedrigsten bei der Prüfung verwendeten G_{DILW} -Wert und dem bei der Prüfung verwendeten G_{TOTW} -Wert liegen. Der Verdünnungstunnel kann umgangen werden.

Ein kalibriertes Massendurchsatzmessgerät wird mit dem Durchflussmesser für G_{TOTW} in Reihe geschaltet, und die Genauigkeit des für die Prüfung verwendeten Wertes wird geprüft. Dann wird das kalibrierte Massendurchsatzmessgerät mit dem Durchsatzmesser für G_{DILW} in Reihe geschaltet, und die Genauigkeit wird für mindestens 5 dem Verdünnungsverhältnis zwischen 3 und 50 entsprechende Einstellungen (bezogen auf den bei der Prüfung verwendeten G_{TOTW}) geprüft.

Das Übertragungsrohr TT wird vom Auspuff entfernt und ein kalibriertes Durchsatzmessgerät mit einer zur Messung von G_{SE} geeigneten Reichweite wird an das Übertragungsrohr angeschlossen. Dann wird G_{TOTW} auf den bei der Prüfung verwendeten Wert eingestellt und G_{DILW} fortlaufend auf mindestens 5 den Verdünnungsverhältnissen q zwischen 3 und 50 entsprechende Werte eingestellt. Alternativ kann eine spezielle Kalibrierstrombahn bereitgestellt werden, bei der der Tunnel umgangen wird, aber die gesamte und die verdünnte Luft wie bei der tatsächlichen Prüfung durch die entsprechenden Messgeräte geleitet werden.

Ein Spürgas wird in das Übertragungsrohr TT geleitet. Dieses Spürgas kann ein Bestandteil des Abgases sein, z. B. CO_2 oder NO_x . Nach der Verdünnung im Tunnel wird der Spürgasbestandteil gemessen. Dies erfolgt bei 5 Verdünnungsverhältnissen zwischen 3 und 50. Die Genauigkeit des Probenstroms wird durch das Verdünnungsverhältnis q bestimmt:

$$G_{SE} = G_{TOTW}/q$$

Die Genauigkeit der Gasanalysegeräte ist zu berücksichtigen, damit die Genauigkeit von G_{SE} gewährleistet werden kann.

2.6.2. Prüfung des Kohlenstoffdurchsatzes

Eine Prüfung des Kohlenstoffdurchsatzes unter Verwendung tatsächlicher Abgase wird zur Aufdeckung von Mess- und Steuerungsproblemen und zur Überprüfung des ordnungsgemäßen Betriebs des Teilstrom-Verdünnungssystems nachdrücklich empfohlen. Die Kohlenstoffdurchsatzprüfung sollte zumindest dann vorgenommen werden, wenn ein neuer Motor installiert oder am Prüfstand eine wesentliche Änderung vorgenommen wurde.

Der Motor wird bei Volllastdrehmoment und -drehzahl oder in einem anderen stationären Betriebszustand gefahren, in dem mindestens 5 % CO₂ erzeugt werden. Das Teilstrom-Probenahmensystem wird mit einem Verdünnungsfaktor von etwa 15 zu 1 betrieben.

2.6.3. Vorprüfung

Eine Kontrolle vor der Prüfung ist innerhalb von 2 Stunden vor dem Prüflauf folgendermaßen durchzuführen:

Die Genauigkeit der Durchflussmesser ist nach derselben Methode zu prüfen, die für die Kalibrierung von mindestens zwei Punkten verwendet wird, einschließlich der Durchsatzwerte von G_{DILW} , die den Verdünnungsverhältnissen zwischen 5 und 15 für den in der Prüfung verwendeten G_{TOTW} -Wert entsprechen.

Falls anhand der Aufzeichnungen des vorstehend beschriebenen Kalibrierungsverfahrens bewiesen werden kann, dass die Kalibrierung des Durchflussmessers über einen längeren Zeitraum stabil ist, kann auf die Kontrolle vor der Prüfung verzichtet werden.

2.6.4. Bestimmung der Wandlungszeit

Die Systemeinstellungen für die Ermittlung der Wandlungszeit müssen genau dieselben sein wie während der Messung des Prüflaufs. Die Wandlungszeit ist mit folgender Methode zu ermitteln:

Ein unabhängiger Bezugsdurchsatzmesser mit einem für den Probenstrom geeigneten Messbereich wird in Reihe mit der Sonde angeordnet und eng mit ihr gekuppelt. Dieser Durchsatzmesser muss über eine Umwandlungszeit von unter 100 ms für die bei der Messung der Ansprechzeit verwendete Durchsatzstufengröße sowie einen Strömungswiderstand verfügen, der gering genug ist, um sich nicht auf die dynamische Leistung des Teilstrom-Verdünnungssystems auszuwirken, und der guter technischer Praxis entspricht.

Der in das Teilstrom-Verdünnungssystem eintretende Abgasstrom (oder Luftstrom, wenn der Abgasstrom errechnet wird) wird schrittweise von einem niedrigen Wert bis auf mindestens 90 % des Skalenendwertes verändert. Als Auslöser für die schrittweise Veränderung ist derselbe zu verwenden wie für den Start der vorausschauenden Steuerung bei der eigentlichen Prüfung. Der Auslöser der Veränderungsschritte des Abgasstroms und die Durchsatzmesseransprechzeit sind mit einer Häufigkeit von mindestens 10 Hz aufzuzeichnen.

Aus diesen Daten wird die Wandlungszeit für das Teilstrom-Verdünnungssystem bestimmt, das heißt die Zeit von der Auslösung des Veränderungsschritts bis zum Erreichen des 50%-Ansprechens des Durchsatzmessers. In gleicher Weise sind die Umwandlungszeiten des G_{SE} -Signals des Teilstrom-Verdünnungssystems und des G_{EXHW} -Signals des Abgasdurchsatzmessers zu bestimmen. Diese Signale werden bei den nach jeder Prüfung durchgeführten Regressionsprüfungen verwendet (Anhang 4A Anlage 1 Absatz 2.4).

Die Berechnung muss für mindestens 5 Anstiegs- und Abfallstimuli wiederholt und aus den Ergebnissen der Durchschnitte ermittelt werden. Die interne Wandlungszeit (< 100 ms) des Bezugsdurchsatzmessers ist von diesem Wert abzuziehen. Dies ist der „vorausschauende“ Wert des Teilstrom-Verdünnungssystems, der nach Anhang 4A Anlage 1 Absatz 2.4 anzuwenden ist.

3. KALIBRIERUNG DES CVS-SYSTEMS

3.1. Allgemein

Das CVS-System wird mit einem Präzisionsdurchsatzmesser kalibriert und dient zur Änderung der Betriebsbedingungen.

Der Durchfluss im System wird unter unterschiedlichen Durchsatzeinstellungen gemessen; ebenso werden die Regelkenngößen des Systems ermittelt und ins Verhältnis zu den Durchsätzen gesetzt.

Es können mehrere Typen von Durchsatzmessern verwendet werden, z. B. kalibriertes Venturi-Rohr, kalibrierter Laminardurchsatzmesser, kalibrierter Flügelraddurchsatzmesser.

Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde können die Methoden nach Anhang 4B, Absätze 8.1 und 8.2 alternativ zu denen nach Absatz 3 dieses Anhangs angewandt werden.

3.2. Kalibrierung der Verdrängerpumpe

Sämtliche Kennwerte der Pumpe werden gleichzeitig mit den Kennwerten eines Kalibrierungs-Venturirohrs gemessen, das mit der Pumpe in Reihe geschaltet ist. Danach ist die Kurve des berechneten Durchsatzes (ausgedrückt in m^3/min am Pumpeneinlass bei absolutem Druck und absoluter Temperatur) als Korrelationsfunktion aufzuzeichnen, die einer bestimmten Kombination von Pumpenkennwerten entspricht. Die lineare Gleichung, die das Verhältnis zwischen dem Pumpendurchsatz und der Korrelationsfunktion ausdrückt, wird sodann aufgestellt. Lässt sich die Pumpe des CVS-Systems mit mehreren Drehzahlen betreiben, so muss für jede verwendete Drehzahl eine Kalibrierung vorgenommen werden.

Während der Kalibrierung ist eine gleichbleibende Temperatur zu gewährleisten.

Leckverluste an allen Anschlüssen und Röhren zwischen dem Kalibrierungs-Venturirohr und der CVS-Pumpe sind unter 0,3 % des niedrigsten Durchsatzpunktes (höchste Drosselung und niedrigste PDP-Geschwindigkeit) zu halten.

3.2.1. Datenauswertung

Der Luftdurchsatz (Q_s) bei jeder Einstellung des Drosselglieds (mindestens 6 Einstellungen) wird nach der vom Hersteller vorgeschriebenen Methode aus den Messwerten des Durchsatzmessers in m^3/min ermittelt. Der Luftdurchsatz wird dann auf den Pumpendurchsatz (V_0) am Pumpeneinlass in m^3 je Umdrehung bei absoluter Temperatur und absolutem Druck umgerechnet:

$$V_0 = \frac{Q_s}{n} \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{101,3}{P_A}$$

Dabei gilt

Q_s = Luftdurchsatzmenge unter Standardbedingungen (101,3 kPa, 273 K) (m^3/s)

T = Temperatur am Pumpeneinlass (K)

P_A = absoluter Druck am Pumpeneinlass ($p_B - p_1$) (kPa)

n = Pumpengeschwindigkeit (Umdrehungen/s)

Zur Korrektur der gegenseitigen Beeinflussung der Druckschwankungen in der Pumpe und der Verlustrate der Pumpe wird die Korrelationsfunktion (X_0) zwischen der Pumpendrehzahl, der Druckdifferenz zwischen Ein- und Auslass der Pumpe und dem absoluten Druck am Pumpenauslass wie folgt berechnet:

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{P_A}}$$

Dabei gilt:

Δp_p = Druckdifferenz zwischen Pumpeneinlass und Pumpenauslass (kPa)

P_A = absoluter Druck am Pumpenauslass, kPa

Mit der Methode der kleinsten Quadrate wird eine lineare Anpassung vorgenommen, um nachstehende Kalibrierungsgleichung zu erhalten:

$$V_0 = D_0 - m \cdot (X_0)$$

D_0 und m sind die Konstanten für den Achsabschnitt und die Steigung, die die Regressionsgeraden beschreiben.

Hat das CVS-System mehrere Betriebsdrehzahlen, müssen die für die einzelnen Durchsatzbereiche der Pumpe erzielten Kalibrierkurven annähernd parallel verlaufen, und die Abschnittswerte (D_0) müssen größer werden, wenn der Durchsatzbereich der Pumpe kleiner wird.

Die mit Hilfe der Formel errechneten Werte dürfen nicht mehr als $\pm 0,5\%$ vom gemessenen Wert V_0 abweichen. Der Wert m ist je nach Pumpe verschieden. Im Laufe der Zeit bewirkt der Partikelzustrom eine Abnahme der Verlustrate der Pumpe, die sich in niedrigeren Werten für m niederschlägt. Die Kalibrierung muss daher bei Inbetriebnahme der Pumpe, nach wesentlichen Wartungsarbeiten sowie dann erfolgen, wenn bei der Überprüfung des gesamten Systems (Absatz 3.5) eine Veränderung der Verlustrate festgestellt wird.

3.3. Kalibrierung des Venturi-Rohrs mit kritischer Strömung (CFV)

Die Kalibrierung des CVF beruht auf der Durchflussgleichung für ein Venturi-Rohr mit kritischer Strömung: Wie unten dargestellt, ist die Gasdurchsatzmenge eine Funktion des Eintrittsdrucks und der Eintrittstemperatur.

$$Q_s = \frac{K_v \cdot p_A}{\sqrt{T}}$$

Dabei gilt:

K_v = Kalibrierkoeffizient

p_A = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs (kPa),

T = Temperatur am Eintritt des Venturirohrs (K)

3.3.1. Datenauswertung

Der Luftdurchsatz (Q_s) bei jeder Einstellung des Drosselglieds (mindestens 8 Einstellungen) wird nach der vom Hersteller vorgeschriebenen Methode aus den Messwerten des Durchsatzmessers in m^3/min bei Normbedingungen ermittelt. Der Kalibrierkoeffizient ist anhand der Kalibrierdaten für jede Einstellung wie folgt zu berechnen:

$$K_v = \frac{Q_s \cdot \sqrt{T}}{p_A}$$

Dabei gilt

Q_s = Luftdurchsatzmenge unter Standardbedingungen (101,3 kPa, 273 K) (m^3/s)

T = Temperatur am Eintritt des Venturi-Rohrs (K)

p_A = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs (kPa)

Zur Bestimmung des Bereichs der kritischen Strömung ist eine Kurve K_v in Abhängigkeit vom Druck am Eintritt des Venturirohrs aufzunehmen. Bei kritischer (gedrosselter) Strömung ist K_v relativ konstant. Bei abnehmendem Druck (d. h. bei zunehmendem Unterdruck) nimmt die Drosselung des Venturi-Rohrs ab und K_v ebenso, was ein Anzeichen dafür ist, dass das CFV außerhalb des zulässigen Bereichs betrieben wird.

Bei mindestens acht Drosselstellen im kritischen Bereich sind der Mittelwert von K_v und die Standardabweichung zu berechnen. Die Standardabweichung darf $\pm 0,3 \%$ des Mittelwerts von K_v nicht überschreiten.

3.4. Kalibrierung des subsonischen Venturirohrs (SSV)

Die Kalibrierung des SSV beruht auf der Durchsatzgleichung für ein Venturirohr mit subsonischer Strömung. Wie unten dargestellt, ist die Gasdurchsatzmenge eine Funktion des Eintrittsdrucks und der Temperatur sowie des Druckabfalls zwischen SSV-Eintritt und -verengung:

$$Q_{SSV} = A_0 d^2 C_d P_A \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r^{1,4286} - r^{1,7143}) \left(\frac{1}{1 - \beta^4 r^{1,4286}} \right) \right]}$$

Dabei gilt

A_0 = Sammlung von Konstanten und Einheitenumwandlungen =

$$0,006111 \text{ in SI-Einheiten} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) \left(\frac{\text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{kPa}} \right) \left(\frac{1}{\text{mm}^2} \right)$$

d = Durchmesser der SSV-Verengung (m)

C_d = Durchsatzkoeffizient des SSV

p_A = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs (kPa),

T = Temperatur am Eintritt des Venturirohrs (K)

r = Verhältnis zwischen den absoluten statischen Drücken an der Einschnürung und am Eintritt des SSV $= 1 - \frac{\Delta P}{P_A}$

β = Verhältnis zwischen den Innendurchmessern an der Einschnürung (d) und am Eintritt des SSV $= \frac{d}{D}$

3.4.1. Datenauswertung

Die Luftdurchsatzmenge (Q_{SSV}) an jeder Durchsatzstelle (mindestens 16 Stellen) wird nach der vom Hersteller vorgeschriebenen Methode aus den Messwerten des Durchsatzmessers in m^3/min bei Normbedingungen ermittelt. Der Durchsatzkoeffizient ist anhand der Kalibrierdaten für jede Stelle wie folgt zu berechnen:

$$C_d = \frac{Q_{SSV}}{A_0 d^2 P_A \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r^{1,4286} - r^{1,7143}) \left(\frac{1}{1 - \beta^4 r^{1,4286}} \right) \right]}}$$

Dabei gilt

Q_{SSV} = Luftdurchsatzmenge unter Standardbedingungen (101,3 kPa, 273 K) (m^3/s)

T = Temperatur am Eintritt des Venturi-Rohrs (K)

d = Durchmesser der SSV-Verengung (m)

r = Verhältnis zwischen den absoluten statischen Drücken an der Einschnürung und am Eintritt des SSV = $1 - \frac{\Delta P}{P_A}$

β = Verhältnis zwischen den Innendurchmessern an der Einschnürung und am Eintritt des SSV = $\frac{d}{D}$

Zur Bestimmung des Bereichs der kritisch betriebenen Strömung ist eine Kurve C_d in Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl an der SSV-Verengung aufzunehmen. Re an der SSV-Einschnürung wird nach folgender Formel berechnet:

$$Re = A_1 \frac{Q_{SSV}}{d\mu}$$

Dabei gilt

A_1 = Sammlung von Konstanten und Einheitenumwandlungen $25,55152 \left(\frac{1}{m^3}\right) \left(\frac{min}{s}\right) \left(\frac{mm}{m}\right)$

Q_{SSV} = Luftdurchsatzmenge unter Standardbedingungen (101,3 kPa, 273 K) (m^3/s)

d = Durchmesser der SSV-Verengung (m)

μ = absolute oder dynamische Viskosität des Gases, berechnet nach folgender Formel:

$$\mu = \frac{bT^{3/2}}{S + T} = \frac{bT^{1/2}}{1 + \frac{T}{S}} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

wobei

b = empirische Konstante = $1,458 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{msK}^{3/2}}$

S = empirische Konstante = 104,4 K

Da Q_{SSV} selbst in die Re -Formel eingeht, müssen die Berechnungen mit einer Schätzung für Q_{SSV} oder C_d des Kalibrierungs-Venturirohrs beginnen und so lange wiederholt werden, bis Q_{SSV} konvergiert. Die Konvergenzmethode muss eine Genauigkeit von mindestens 0,1 % erreichen.

Für mindestens 16 Punkte des subsonischen Strömungsbereichs müssen die aus der resultierenden Kalibrierungskurvengleichung für C_d sich ergebenden Rechenwerte innerhalb von $\pm 0,5$ % des Messwerts C_d für jeden Kalibrierungspunkt liegen.

3.5. Überprüfung des Gesamtsystems

Die Gesamtgenauigkeit des CVS-Entnahmesystems und des Analysesystems wird ermittelt, indem eine bekannte Menge luftverunreinigenden Gases in das System eingeleitet wird, wenn dieses normal betrieben wird. Der Schadstoff wird analysiert und die Masse nach Anhang 4A Anlage 3 Absatz 2.4.1 berechnet, allerdings ist anstelle von 0,000479 für HC bei Propan ein Faktor von 0,000472 zu verwenden. Es ist eines der folgenden zwei Verfahren anzuwenden.

3.5.1. Messung mit einer Messblende für kritische Strömung

Durch eine kalibrierte Messblende wird eine bekannte Menge reinen Gases (Propan) in das CVS-System eingeführt. Ist der Eintrittsdruck groß genug, so ist der mit der Messblende eingestellte Durchsatz unabhängig vom Austrittsdruck der Messblende (kritische Strömung). Das CVS-System ist wie bei einer normalen Prüfung der Abgasemission 5 bis 10 Minuten zu betreiben. Eine Gasprobe wird mit dem normalerweise verwendeten Gerät analysiert (Beutel oder Integrationsmethode) und die Masse des Gases berechnet. Die auf diese Weise ermittelte Masse muss ± 3 % der bekannten Masse des eingeblasenen Gases betragen.

3.5.2. Messung mit einem gravimetrischen Verfahren

Das Gewicht eines kleinen, mit Propan gefüllten Zylinders ist auf $\pm 0,01$ g genau zu bestimmen. Das CVS-System wird etwa 5 bis 10 Minuten lang wie für eine normale Prüfung zur Bestimmung der Abgasemissionen betrieben, wobei Kohlenmonoxid oder Propan in das System eingeführt wird. Die abgegebene Menge reinen Gases wird durch Messung der Massendifferenz ermittelt. Eine Gasprobe wird mit dem normalerweise verwendeten Gerät analysiert (Beutel oder Integrationsmethode) und die Masse des Gases berechnet. Die auf diese Weise ermittelte Masse muss ± 3 % der bekannten Masse des eingeblasenen Gases betragen.

Anlage 3

Auswertung der Messwerte und Berechnungen

1. AUSWERTUNG DER MESSWERTE UND BERECHNUNGEN – NRSC-PRÜFUNG

1.1. Auswertung der Messwerte bei gasförmigen Emissionen

Zur Bewertung der Emissionen gasförmiger Schadstoffe ist der Durchschnittswert aus den Aufzeichnungen der letzten 60 s jeder Prüfphase zu bilden, und die durchschnittlichen Konzentrationen ($conc$) von HC, CO, NO_x und – bei Verwendung der Kohlenstoffbilanzmethode – von CO₂ während jeder Prüfphase sind aus den Durchschnittswerten der Aufzeichnungen und den entsprechenden Kalibrierdaten zu bestimmen. Eine andere Art der Aufzeichnung kann gewählt werden, wenn sie eine gleichwertige Datenerfassung gewährleistet.

Die durchschnittlichen Hintergrundkonzentrationen ($conc_d$) können anhand der Beutelablesewerte der Verdünnungsluft oder anhand der fortlaufenden (ohne Beutel vorgenommenen) Hintergrundmessung und der entsprechenden Kalibrierdaten bestimmt werden.

Bei Verwendung der gestuften Mehrphasenprüfzyklen nach Anhang 5 Absatz 1.2 Buchstabe a beziehungsweise b gelten die Datenbewertungs- und Berechnungsverfahren nach Anhang 4B Absatz 7.8.2.2 und die einschlägigen Absätze der Absätze A.8.2, A.8.3 und A.8.4. Die abschließenden Prüfungsergebnisse sind nach den Formeln A.8-60 und A.8-61 oder A.7-49 und A.7-50 zu berechnen.

1.2. Partikelemissionen

Zur Bewertung der Partikelemissionen ist die Gesamtmasse ($M_{SAM,i}$) der durch die Filter geleiteten Proben für jede Prüfphase aufzuzeichnen. Die Filter sind wieder in die Wägekammer zu bringen und mindestens eine Stunde, jedoch nicht mehr als 80 Stunden lang zu konditionieren und dann zu wiegen. Das Bruttogewicht der Filter ist aufzuzeichnen und das Nettogewicht (siehe Anhang 4A Absatz 3.1) abzuziehen. Die Partikelmasse (M_f bei Einzelfiltermethode, $M_{f,i}$ bei Mehrfachfiltermethode) ist die Summe der auf den Haupt- und Nachfiltern gesammelten Partikelmassen. Bei Anwendung einer Hintergrundkorrektur sind die Masse (M_{DIL}) der durch die Filter geleiteten Verdünnungsluft und die Partikelmasse (M_d) aufzuzeichnen. Wurde mehr als eine Messung vorgenommen, so ist der Quotient M_d/M_{DIL} für jede einzelne Messung zu berechnen und der Durchschnitt der Werte zu bestimmen.

Bei Verwendung der gestuften Mehrphasenzyklen nach Anhang 5 Absatz 1.2 Buchstabe a beziehungsweise b gelten die Datenbewertungs- und Berechnungsverfahren nach Anhang 4B Absatz 7.8.2.2 und die einschlägigen Absätze der Absätze A.8.2, A.8.3 und A.8.4. Die abschließenden Prüfungsergebnisse sind nach der Formel 8-64 oder A.7-53 zu berechnen.

1.3. Berechnung der gasförmigen Emissionen

Die abschließend zu meldenden Prüfergebnisse sind durch die folgenden Schritte zu ermitteln:

1.3.1. Bestimmung des Abgasdurchsatzes

Die Werte des Abgasdurchsatzes ($G_{EXHW,i}$) sind für jede Prüfphase nach Anhang 4A Anlage 1 Absätze 1.2.1 bis 1.2.3 zu bestimmen.

Bei Verwendung eines Vollstrom-Verdünnungssystems ist der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases ($G_{TOTW,i}$) für jede Prüfphase nach Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.2.4 zu bestimmen.

1.3.2. Trocken-Feucht-Umrechnung

Die Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand ($G_{EXHW,i}$) ist für jede Prüfphase gemäß Anhang 4A Anlage 1 Absätze 1.2.1. bis 1.2.3. festzulegen.

Wird G_{EXHW} verwendet, ist die gemessene Konzentration nach folgender Formel in einen Wert für den feuchten Bezugszustand umzurechnen, falls die Messung nicht schon für den feuchten Bezugszustand vorgenommen wurde:

$$conc_{wet} = K_w \cdot conc_{dry}$$

für das Rohabgas gilt:

$$K_{w,r} = \left(\frac{1}{1 + 1,88 \cdot 0,005 \cdot (\%CO_{[dry]} + \%CO_2[dry])} \right) - K_{w1}$$

$$K_{w1} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + (1,608 \cdot H_a)}$$

$$H_a = \frac{6,22 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

Für das verdünnte Gas gilt:

$$K_{w,e,1} = \left(1 - \frac{1,88 \cdot CO_2\%(wet)}{200} \right) - K_{w2}$$

oder

$$K_{w,e,2} = \left(1 + \frac{1 - K_{w2}}{1 + \frac{1,88 \cdot CO_2\%(dry)}{200}} \right)$$

$$K_{w2} = \frac{1,608 \cdot [H_d \cdot (1 - 1/DF) + H_a \cdot (1/DF)]}{1\,000 + 1,608 \cdot [H_d \cdot (1 - 1/DF) + H_a \cdot (1/DF)]}$$

Für die Verdünnungsluft gilt:

$$K_{w,d} = 1 - K_{w3}$$

$$K_{w3} = \frac{1,608 \cdot H_d}{1\,000 + (1,608 \cdot H_d)}$$

$$H_d = \frac{6,22 \cdot R_d \cdot p_d}{p_B - p_d \cdot R_d \cdot 10^{-2}}$$

Für die Ansaugluft (wenn nicht mit der Verdünnungsluft identisch) gilt:

$$K_{w,a} = 1 - K_{w2}$$

$$K_{w2} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + (1,608 \cdot H_a)}$$

$$H_a = \frac{6,22 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

Dabei gilt:

H_a = absolute Feuchtigkeit der Ansaugluft (g Wasser je kg trockener Luft),

H_d = absolute Feuchtigkeit der Verdünnungsluft (g Wasser je kg trockener Luft),

R_d = relative Feuchtigkeit der Verdünnungsluft (%),

R_a = relative Feuchtigkeit der Ansaugluft (%),

p_d = Sättigungsdampfdruck der Verdünnungsluft (kPa),

p_a = Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft (kPa),

p_B = barometrischer Gesamtdruck (kPa).

Hinweis: H_a und H_d können von der vorstehend beschriebenen Messung der relativen Feuchtigkeit oder von der Messung am Taupunkt, der Messung des Dampfdrucks oder der Trocken/Feucht-Messung unter Verwendung der allgemein anerkannten Formeln abgeleitet werden.

1.3.3. Feuchtigkeitskorrektur bei NO_x

Da die NO_x-Emission von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängig ist, ist die NO_x-Konzentration unter Berücksichtigung von Temperatur und Feuchtigkeit der Umgebungsluft mithilfe des in der folgenden Formel angegebenen Faktors K_H zu korrigieren:

$$K_H = \frac{1}{1 + A(H_a - 10,71) + B(T_a - 298)}$$

Dabei gilt:

$$A = 0,309 \cdot G_{\text{Fuel}}/G_{\text{AIRD}} - 0,0266$$

$$B = -0,209 \cdot G_{\text{Fuel}}/G_{\text{AIRD}} + 0,00954$$

$$\frac{G_{\text{FUEL}}}{G_{\text{AIRD}}} = \text{Fuel air ratio (dry air basis)}$$

T_a = Lufttemperatur (in K)

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft (g Wasser je kg trockener Luft):

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

wobei

R_a = relative Feuchtigkeit der Ansaugluft (%),

p_a = Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft (kPa),

p_B = barometrischer Gesamtdruck (kPa)

Hinweis: H_a kann von der vorstehend beschriebenen Messung der relativen Feuchtigkeit oder von der Messung am Taupunkt, der Messung des Dampfdrucks oder der Trocken/Feucht-Messung unter Verwendung der allgemein anerkannten Formeln abgeleitet werden.

1.3.4. Berechnung der Emissionsmassendurchsätze

Der Massendurchsatz der Emissionen ist für jeden Prüfpunkt wie folgt zu berechnen:

a) Für das Rohabgas ⁽¹⁾:

$$Gas_{\text{mass}} = u \cdot conc \cdot G_{\text{EXHW}}$$

b) Für das verdünnte Abgas ⁽²⁾:

$$Gas_{\text{mass}} = u \cdot conc_c \cdot G_{\text{TOTW}}$$

Dabei gilt:

conc_c die um die Hintergrundkonzentration berichtigte Konzentration

$$conc_c = conc - conc_d \cdot (1 - (1/DF))$$

$$DF = 13,4 / (conc_{CO_2} + (conc_{CO} + conc_{HC}) \cdot 10^{-4})$$

oder

$$DF = 13,4 / conc_{CO_2}$$

Die Koeffizienten *u-feucht* sind entsprechend der Tabelle 5 zu verwenden:

⁽¹⁾ Im Fall von NO_x ist die NO_x-Konzentration (NO_xconc oder NO_xconc_c) mit K_{HNOx} (Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für NO_x) angegeben in Absatz 1.3.3) wie folgt zu multiplizieren: K_{HNOx} · conc oder K_{HNOx} · conc_c.

⁽²⁾ Im Fall von NO_x ist die NO_x-Konzentration (NO_xconc oder NO_xconc_c) mit K_{HNOx} (Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für NO_x) angegeben in Absatz 1.3.3) wie folgt zu multiplizieren: K_{HNOx} · conc oder K_{HNOx} · conc_c.

Tabelle 5

Werte des Koeffizienten u-feucht für verschiedene Abgasbestandteile

Gas	u	conc
NO _x	0,001587	ppm
CO	0,000966	ppm
HC	0,000479	ppm
CO ₂	15,19	%

Die Dichte von HC basiert auf einem durchschnittlichen Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis von 1:1,85.

1.3.5. Berechnung der spezifischen Emissionen

Die spezifische Emission (g/kWh) ist für alle einzelnen Bestandteile folgendermaßen zu berechnen:

$$\text{Individual gas} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{\text{as}_{\text{mass}_i}} \cdot W_{F_i}}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot W_{F_i}}$$

Dabei gilt: $P_i = P_{m, i} + P_{\text{AE}, i}$.

Die Wichtungsfaktoren und die Anzahl der Prüfpunkte (n), die bei der oben beschriebenen Berechnung verwendet werden, müssen den Angaben in Anhang 4A Absatz 3.7.1 entsprechen.

1.4. Berechnung der Partikelemission

Die Partikelemission ist wie folgt zu berechnen:

1.4.1. Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für Partikel

Da die Partikelemission der Dieselmotoren von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängig ist, muss der Massendurchsatz der Partikel unter Berücksichtigung der Feuchtigkeit der Umgebungsluft mithilfe des in der folgenden Formel angegebenen Faktors K_p korrigiert werden:

$$K_p = 1/(1 + 0,0133 \cdot (H_a - 10,71))$$

Wobei

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft (g Wasser je kg trockener Luft)

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

Dabei gilt:

R_a = relative Feuchtigkeit der Ansaugluft (%),

p_a = Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft (kPa),

p_B = barometrischer Gesamtdruck (kPa).

Hinweis: H_a kann von der vorstehend beschriebenen Messung der relativen Feuchtigkeit oder von der Messung am Taupunkt, der Messung des Dampfdrucks oder der Trocken/Feuchtmessung unter Verwendung der allgemein anerkannten Formeln abgeleitet werden.

1.4.2. Teilstrom-Verdünnungssystem

Die anzugebenden endgültigen Prüfergebnisse für die Partikelemission sind durch die folgenden Schritte zu ermitteln. Da verschiedene Arten der Kontrolle des Verdünnungsverhältnisses angewandt werden dürfen, gelten verschiedene Methoden zur Berechnung des äquivalenten Massendurchsatzes des verdünnten Abgases G_{EDF} . Alle Berechnungen müssen auf den Mittelwerten der einzelnen Prüfphasen (i) während der Probenahmedauer beruhen.

1.4.2.1. Isokinetische Systeme

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

$$q_i = \frac{G_{DILW,i} + (G_{EXHW,i} \cdot r)}{(G_{EXHW,i} \cdot r)}$$

wobei r dem Verhältnis der Querschnittsflächen der isokinetischen Sonde A_p und des Auspuffrohrs A_T entspricht:

$$r = \frac{A_p}{A_T}$$

1.4.2.2. Systeme mit Messung der CO_2 - oder NO_x -Konzentration

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

$$q_i = \frac{Conc_{E,i} - Conc_{A,i}}{Conc_{D,i} - Conc_{A,i}}$$

Dabei gilt:

$Conc_E$ = Konzentration des feuchten Spürgases im Rohabgas

$Conc_D$ = Konzentration des feuchten Spürgases im verdünnten Abgas

$Conc_A$ = Konzentration des feuchten Spürgases in der Verdünnungsluft

Die auf trockener Basis gemessenen Konzentrationen sind gemäß Absatz 1.3.2 in Feuchtwerte umzuwandeln.

1.4.2.3. Systeme mit CO_2 -Messung und Kohlenstoffbilanzmethode

$$G_{EDFW,i} = \frac{206,6 \cdot G_{FUEL,i}}{CO_{2D,i} - CO_{2A,i}}$$

Dabei gilt:

CO_{2D} = CO_2 -Konzentration des verdünnten Abgases

CO_{2A} = CO_2 -Konzentration der Verdünnungsluft.

(Konzentrationen in Volumenprozent auf der Basis des feuchten Zustandes.)

Diese Gleichung beruht auf der Annahme der Kohlenstoffbilanz (die dem Motor zugeführten Kohlenstoffatome werden als CO_2 freigesetzt) und wird in den nachstehenden Schritten ermittelt:

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

und

$$q_i = \frac{206,6 \cdot G_{FUEL,i}}{G_{EXHW,i} \cdot (CO_{2D,i} - CO_{2A,i})}$$

1.4.2.4. Systeme mit Durchsatzmessung

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

$$q_i = \frac{G_{TOTW,i}}{(G_{TOTW,i} - G_{DILW,i})}$$

1.4.3. Vollstrom-Verdünnungssystem

Die anzugebenden endgültigen Prüfergebnisse für die Partikelemission sind durch die folgenden Schritte zu ermitteln.

Alle Berechnungen müssen auf den Durchschnittswerten der einzelnen Prüfphasen (i) während der Probenahmedauer beruhen.

$$G_{EDFW,i} = G_{TOTW,i}$$

1.4.4. Berechnung des Partikelmassendurchsatzes

Der Partikelmassendurchsatz ist wie folgt zu berechnen:

bei dem Einzelfilterverfahren:

$$PT_{\text{mass}} = \frac{M_f \cdot (G_{\text{EDFW}})_{\text{aver}}}{M_{\text{SAM}} \cdot 1\,000}$$

Dabei gilt

$(G_{\text{EDFW}})_{\text{aver}}$ ist über den Prüfzyklus durch Addition der in den einzelnen Prüfphasen während der Probenahmedauer ermittelten Durchschnittswerte zu bestimmen:

$$(G_{\text{EDFW}})_{\text{aver}} = \sum_{i=1}^n G_{\text{EDFW},i} \cdot WF_i$$

$$M_{\text{SAM}} = \sum_{i=1}^n M_{\text{SAM},i}$$

wobei $i = 1, \dots, n$

beim Mehrfachfilterverfahren:

$$PT_{\text{mass},i} = \frac{M_{f,i} \cdot (G_{\text{EDFW},i})_{\text{aver}}}{M_{\text{SAM},i} \cdot 1\,000}$$

wobei $i = 1, \dots, n$

Der Partikel-Massendurchsatz kann wie folgt mit der Vorbelastung korrigiert werden:

beim Einzelfilterverfahren:

$$PT_{\text{mass}} = \left[\frac{M_f}{M_{\text{SAM}}} - \left(\frac{M_d}{M_{\text{DIL}}} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{1}{DF_i} \right) \cdot WF_i \right) \right) \right] \cdot \frac{(G_{\text{EDFW}})_{\text{aver}}}{1\,000}$$

Wird mehr als eine Messung durchgeführt, so ist (M_d/M_{DIL}) durch $(M_d/M_{\text{DIL}})_{\text{aver}}$ zu ersetzen

$$DF = \frac{13,4}{\text{conc}_{\text{CO}_2} + (\text{conc}_{\text{CO}} + \text{conc}_{\text{HC}}) \cdot 10^{-4}}$$

oder

$$DF = 13,4 / \text{conc}_{\text{CO}_2}$$

Bei der Mehrfachfiltermethode:

$$PT_{\text{mass},i} = \left[\frac{M_{f,i}}{M_{\text{SAM},i}} - \left(\frac{M_d}{M_{\text{DIL}}} \cdot \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right) \right] \cdot \left[\frac{G_{\text{EDFW},i}}{1\,000} \right]$$

Wird mehr als eine Messung durchgeführt, so ist (M_d/M_{DIL}) durch $(M_d/M_{\text{DIL}})_{\text{aver}}$ zu ersetzen.

$$DF = \frac{13,4}{\text{conc}_{\text{CO}_2} + (\text{conc}_{\text{CO}} + \text{conc}_{\text{HC}}) \cdot 10^{-4}}$$

oder

$$DF = 13,4 / \text{conc}_{\text{CO}_2}$$

1.4.5. Berechnung der spezifischen Emissionen

Die spezifischen Partikelemissionen PT (g/kWh) sind folgendermaßen zu berechnen ⁽¹⁾:

beim Einzelfilterverfahren:

$$PT = \frac{PT_{\text{mass}}}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot WF_i}$$

beim Mehrfachfilterverfahren:

$$PT = \frac{\sum_{i=1}^n PT_{\text{mass},i} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot WF_i}$$

1.4.6. Effektiver Wichtungsfaktor

Bei der Einzelfiltermethode ist der effektive Wichtungsfaktor $WF_{E,i}$ für jede Prüfphase folgendermaßen zu berechnen:

$$WF_{E,i} = \frac{M_{\text{SAM},i} \cdot (G_{\text{EDF}})_{\text{aver}}}{M_{\text{SAM}} \cdot (G_{\text{EDFW},i})}$$

wobei $i = 1, \dots, n$.

Die Werte der effektiven Wichtungsfaktoren dürfen von den in Anhang 4A Absatz 3.7.1 angegebenen Wichtungsfaktoren nicht um mehr als $\pm 0,005$ (absoluter Wert) abweichen.

2. AUSWERTUNG DER MESSWERTE UND BERECHNUNGEN (NRTC-PRÜFUNG)

In diesem Absatz werden die beiden Messgrundsätze beschrieben, die bei der Bestimmung der Schadstoffemissionen über den NRTC-Prüfzyklus hinweg angewandt werden können:

- a) Die gasförmigen Schadstoffe werden im Rohabgas und in Echtzeit gemessen, die Partikel mit einem Teilstrom-Verdünnungssystem,
- b) die gasförmigen Bestandteile und die Partikel werden mithilfe eines Vollstrom-Verdünnungssystems (CVS-System) bestimmt.

2.1. Berechnung der gasförmigen Emissionen in den Rohabgasen und der Partikelemissionen mit einem Teilstrom-Verdünnungssystem

2.1.1. Vorbemerkung

Die momentanen Konzentrationensignale der gasförmigen Bestandteile werden zur Berechnung der Masseemissionen durch Multiplikation mit dem momentanen Abgasmassendurchsatz verwendet. Der Abgasmassendurchsatz kann direkt gemessen oder anhand der in Anhang A4 Anlage 1 Absatz 2.2.3 beschriebenen Methoden berechnet werden (Messung des Ansaugluft- und des Kraftstoffstroms, Spürgasmethode, Messung der Ansaugluft und des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses). Besondere Aufmerksamkeit ist den Ansprechzeiten der einzelnen Instrumente zu widmen. Deren Differenzen sind durch zeitlichen Abgleich der Signale zu berücksichtigen.

Bei Partikeln werden die Abgasmassendurchsatz-Signale zur Regelung des Teilstrom-Verdünnungssystems verwendet, um eine zum Abgasmassendurchsatz proportionale Probe zu nehmen. Die Qualität der Proportionalität wird geprüft durch eine Regressionsanalyse zwischen Probe- und Abgasstrom, wie in Anhang 4A Anlage 1 Absatz 2.4 beschrieben.

2.1.2. Bestimmung der gasförmigen Bestandteile

2.1.2.1. Berechnung der Emissionsmasse

Die Schadstoffmasse M_{gas} (g/Prüfung) ist zu bestimmen durch Berechnung der momentanen Masseemissionen aus den Rohschadstoffkonzentrationen, den u -Werten aus Tabelle 6 (siehe auch Absatz 1.3.4) und dem Abgasmassendurchsatz, angeglichen für die Umwandlungszeit, und Integrieren der momentanen Werte über den gesamten Zyklus. Die Konzentrationen sind vorzugsweise im feuchten Bezugszustand zu messen. Wenn die Messung auf trockener Basis erfolgt, ist die nachstehend erläuterte Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand auf die momentanen Konzentrationswerte anzuwenden, bevor weitere Berechnungen vorgenommen werden.

⁽¹⁾ Der Partikelmassendurchsatz PT_{mass} ist mit K_p (Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für Partikel nach Absatz 1.4.1) zu multiplizieren.

Tabelle 6

Werte des Koeffizienten u-feucht für verschiedene Abgasbestandteile

Gas	u	conc
NO _x	0,001587	ppm
CO	0,000966	ppm
HC	0,000479	ppm
CO ₂	15,19	%

Die Dichte von HC basiert auf einem durchschnittlichen Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis von 1:1,85.

Hierzu dient die folgende Formel:

$$M_{\text{gas}} = \sum_{i=1}^n u \cdot \text{conc}_i \cdot G_{\text{EXHW},i} \cdot \frac{1}{f} \quad (\text{in g/test})$$

Dabei gilt:

u = Verhältnis von Dichte des jeweiligen Abgasbestandteils und Dichte des Abgases

conc_i = momentane Konzentration des jeweiligen Bestandteils im Rohabgas (ppm)

$G_{\text{EXHW},i}$ = momentaner Abgasmassendurchsatz (kg/s)

f = Datenauswahlsatz (Hz)

n = Zahl der Messungen

Zur Berechnung von NO_x ist der Feuchtigkeits-Korrekturfaktor k_H wie nachstehend beschrieben zu verwenden.

Die momentan gemessene Konzentration ist in einen Wert für den feuchten Bezugszustand umzurechnen, falls die Messung nicht schon für den feuchten Bezugszustand vorgenommen worden ist.

2.1.2.2. Trocken-Feucht-Umrechnung

Wenn die momentane Konzentration im trockenen Bezugszustand gemessen wird, ist sie anhand folgender Formel in den feuchten Bezugszustand umzurechnen:

$$\text{conc}_{\text{wet}} = K_W \cdot \text{conc}_{\text{dry}}$$

Dabei gilt:

$$K_{W,r} = \left(\frac{1}{1 + 1,88 \cdot 0,005 \cdot (\text{conc}_{\text{CO}} + \text{conc}_{\text{CO}_2})} \right) - K_{W2}$$

und:

$$K_{W2} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + (1,608 \cdot H_a)}$$

wobei:

$\text{conc}_{\text{CO}_2}$ = CO₂-Konzentration im trockenen Bezugszustand (%)

conc_{CO} = CO-Konzentration im trockenen Bezugszustand (%)

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft (g Wasser je kg trockener Luft)

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

wobei:

R_a = relative Feuchtigkeit der Ansaugluft (%)

p_a = Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft (kPa)

p_B = barometrischer Gesamtdruck (kPa)

Hinweis: H_a kann von der vorstehend beschriebenen Messung der relativen Feuchtigkeit oder von der Messung am Taupunkt, der Messung des Dampfdrucks oder der Trocken/Feucht-Messung unter Verwendung der allgemein anerkannten Formeln abgeleitet werden.

2.1.2.3. Korrektur der NO_x-Konzentration unter Berücksichtigung von Temperatur und Feuchtigkeit

Da die NO_x-Emission von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängig ist, ist die NO_x-Konzentration unter Berücksichtigung von Feuchtigkeit und Temperatur der Umgebungsluft mithilfe der in der folgenden Formel angegebenen Faktoren zu korrigieren:

$$k_H = \frac{1}{1 - 0,0182 \cdot (H_a - 10,71) + 0,0045 \cdot (T_a - 298)}$$

Dabei gilt:

T_a = Ansauglufttemperatur, K

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft (g Wasser je kg trockener Luft)

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

wobei:

R_a = relative Feuchtigkeit der Ansaugluft (%),

p_a = Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft (kPa)

p_B = barometrischer Gesamtdruck (kPa)

Hinweis: H_a kann von der vorstehend beschriebenen Messung der relativen Feuchtigkeit oder von der Messung am Taupunkt, der Messung des Dampfdrucks oder der Trocken/Feucht-Messung unter Verwendung der allgemein anerkannten Formeln abgeleitet werden.

2.1.2.4. Berechnung der spezifischen Emissionen

Die spezifischen Emissionen (g/kWh) sind für jeden einzelnen Bestandteil folgendermaßen zu berechnen:

$$\text{Individual Gas} = \frac{(1/10)M_{\text{gas,cold}} + (9/10)M_{\text{gas,hot}}}{(1/10)W_{\text{gas,cold}} + (9/10)W_{\text{gas,hot}}}$$

wobei:

$M_{\text{gas,cold}}$ = Gesamtmasse gasförmiger Schadstoffe über den Kaltstart-Zyklus (g)

$M_{\text{gas,hot}}$ = Gesamtmasse gasförmiger Schadstoffe über den Warmstart-Zyklus (g)

$W_{\text{act,cold}}$ = tatsächliche Arbeit über den Kaltstart-Zyklus gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 (kWh)

$W_{\text{act,hot}}$ = tatsächliche Arbeit über den Warmstart-Zyklus gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 (kWh)

2.1.3. Partikelbestimmung

2.1.3.1. Berechnung der Emissionsmasse

Die Partikelmassen $M_{\text{PT,cold}}$ und $M_{\text{PT,hot}}$ (g/Prüfung) sind mit einer der folgenden Methoden zu berechnen:

$$\text{a) } M_{\text{PT}} = \frac{M_f}{M_{\text{SAM}}} \cdot \frac{M_{\text{EDFW}}}{1\,000}$$

Dabei gilt:

M_{PT} = $M_{\text{PT,cold}}$ für den Kaltstartzyklus,

M_{PT} = $M_{\text{PT,hot}}$ für den Warmstartzyklus,

M_f = über den Zyklus abgeschiedene Partikel-Probenahmemasse (mg),

M_{EDFW} = Masse des äquivalenten verdünnten Abgases über den gesamten Zyklus (kg)

M_{SAM} = Masse des durch Partikelfilter geleiteten verdünnten Abgases (kg)

Die Gesamtmasse des äquivalenten verdünnten Abgases über den Zyklus ist wie folgt zu bestimmen:

$$M_{EDFW} = \sum_{i=1}^n G_{EDFW,i} \cdot \frac{1}{f}$$

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

$$q_i = \frac{G_{TOTW,i}}{G_{TOTW,i} - G_{DILW,i}}$$

Dabei gilt:

$G_{EDFW,i}$ = momentaner äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases (kg/s),

$G_{EXHW,i}$ = momentaner Abgasmassendurchsatz (kg/s)

q_i = momentanes Verdünnungsverhältnis

$G_{TOTW,i}$ = momentaner Massendurchsatz des verdünnten Abgases durch den Verdünnungstunnel, kg/s

$G_{DILW,i}$ = momentaner Massendurchsatz der Verdünnungsluft (kg/s)

f = Datenauswahlsatz (Hz)

n = Zahl der Messungen

$$b) M_{PT} = \frac{M_f}{r_s \cdot 1\,000}$$

Dabei gilt:

$M_{PT} = M_{PT,cold}$ für den Kaltstartzyklus,

$M_{PT} = M_{PT,hot}$ für den Warmstartzyklus,

M_f = über den Zyklus abgeschiedene Partikel-Probenahmemasse (mg),

r_s = durchschnittlicher Probenahmequotient über den Zyklus

wobei

$$r_s = \frac{M_{SE}}{M_{EXHW}} \cdot \frac{M_{SAM}}{M_{TOTW}}$$

M_{SE} = Abgasmassenproben über den gesamten Zyklus (kg)

M_{EXHW} = Gesamtabgasmassedurchsatz über den Zyklus (kg)

M_{SAM} = Masse des durch Partikelfilter geleiteten verdünnten Abgases (kg)

M_{TOTW} = Masse des durch den Verdünnungstunnel geleiteten verdünnten Abgases (kg)

Hinweis: Bei einem Gesamtprobenahmesystem sind M_{SAM} und M_{TOTW} identisch

2.1.3.2. Feuchtigkeitskorrekturfaktor für Partikel

Da die Partikelemission der Dieselmotoren von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängig ist, muss die Partikelkonzentration unter Berücksichtigung der Feuchtigkeit der Umgebungsluft mithilfe des mit der folgenden Formel ermittelten Faktors k_p korrigiert werden.

$$k_p = \frac{1}{(1 + 0,0133 \cdot (H_a - 10,71))}$$

Dabei gilt:

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft (g Wasser je kg trockene Luft)

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

wobei

R_a = relative Feuchtigkeit der Ansaugluft (%)

p_a = Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft (kPa)

p_B = barometrischer Gesamtdruck (kPa)

Hinweis: H_a kann von der vorstehend beschriebenen Messung der relativen Feuchtigkeit oder von der Messung am Taupunkt, der Messung des Dampfdrucks oder der Trocken/Feucht-Messung unter Verwendung der allgemein anerkannten Formeln abgeleitet werden.

2.1.3.3. Berechnung der spezifischen Emissionen

Die spezifischen Emissionen (g/kWh) sind folgendermaßen zu berechnen:

$$PT = \frac{(1/10)K_{p,cold} \cdot M_{PT,cold} + (9/10)K_{p,hot} \cdot M_{PT,hot}}{(1/10)W_{act,cold} + (9/10)W_{act,hot}}$$

Dabei gilt:

$M_{PT,cold}$ = Partikelmasse über den Kaltstartzyklus (g/Prüfung)

$M_{PT,hot}$ = Partikelmasse über den Warmstartzyklus (g/Prüfung)

$K_{p,cold}$ = Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für Partikel über den Kaltstart-Zyklus

$K_{p,hot}$ = Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für Partikel über den Warmstart-Zyklus

$W_{act,cold}$ = tatsächliche Arbeit über den Kaltstartzyklus gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 (kWh)

$W_{act,hot}$ = tatsächliche Arbeit über den Warmstartzyklus gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 (kWh)

2.2. Bestimmung von gasförmigen und Partikelbestandteilen mit einem Vollstrom-Verdünnungssystem

Zur Berechnung der Emissionen des verdünnten Abgases muss der Massendurchsatz des verdünnten Abgases bekannt sein. Der Durchfluss des gesamten verdünnten Abgases M_{TOTW} (kg/Prüfung) berechnet sich aus den Messwerten über den Zyklus und den entsprechenden Kalibrierdaten des Durchsatzmessgeräts (V_0 für PDP, K_v für CFV, C_d für SSV) anhand des entsprechenden in Absatz 2.2.1 beschriebenen Verfahrens. Überschreitet die Probegesamtmasse der Partikel (M_{SAM}) und gasförmigen Schadstoffe 0,5 % des gesamten CVS-Durchsatzes (M_{TOTW}), so ist der CVS-Durchsatz unter Berücksichtigung von M_{SAM} zu korrigieren oder der Strom der Partikelprobe ist vor der Durchsatzmeseinrichtung zum CVS zurückzuführen.

2.2.1. Bestimmung des Durchsatzes des verdünnten Abgases

PDP-CVS-System

Der Massendurchsatz über den gesamten Zyklus berechnet sich, wenn die Temperatur des verdünnten Abgases durch Verwendung eines Wärmeaustauschers über den Zyklus hinweg höchstens um ± 6 K schwankt, wie folgt:

$$M_{TOTW} = 1,293 \cdot V_0 \cdot N_p \cdot (p_B - p_1) \cdot 273 / (101,3 \cdot T)$$

Dabei gilt:

M_{TOTW} = Masse des verdünnten Abgases im feuchten Bezugszustand über den Zyklus

V_0 = Volumen je Pumpenumdrehung unter Prüfbedingungen (m^3 /Umdrehung)

N_p = Gesamtzahl der Pumpenumdrehungen je Prüfung

p_B = atmosphärischer Druck in der Prüfzelle (kPa)

p_1 = Absenkung des Drucks am Pumpeneinlass unter atmosphärischen Druck (kPa)

T = durchschnittliche Temperatur des verdünnten Abgases am Pumpeneinlass über den Zyklus (K)

Wird ein System mit Durchsatzmengenkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so sind die momentanen Massenemissionen zu berechnen und über den gesamten Zyklus zu integrieren. In diesem Falle lässt sich die momentane Masse des verdünnten Abgases wie folgt berechnen:

$$M_{TOTW,i} = 1,293 \cdot V_0 \cdot N_{p,i} \cdot (p_B - p_1) \cdot 273 / (101,3 \cdot T)$$

Dabei gilt:

$N_{p,i}$ = Gesamtzahl der Pumpenumdrehungen je Zeitintervall

CFV-CVS-System

Der Massendurchsatz über den gesamten Zyklus berechnet sich, wenn die Temperatur des verdünnten Abgases durch Verwendung eines Wärmeaustauschers über den Zyklus hinweg höchstens um ± 11 K schwankt, wie folgt:

$$M_{TOTW} = 1,293 \cdot t \cdot K_v \cdot p_A / T^{0,5}$$

Dabei gilt:

M_{TOTW} = Masse des verdünnten Abgases im feuchten Bezugszustand über den Zyklus

t = Zykluszeit (s)

K_V = Kalibrierkoeffizient des Venturi-Rohres mit kritischer Strömung für Normzustand

p_A = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs (kPa)

T = absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs (K)

Wird ein System mit Durchsatzmengenkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so sind die momentanen Massenemissionen zu berechnen und über den gesamten Zyklus zu integrieren. In diesem Falle lässt sich die momentane Masse des verdünnten Abgases wie folgt berechnen:

$$M_{TOTW,i} = 1,293 \cdot \Delta t_i \cdot K_V \cdot p_A / T^{0,5}$$

Dabei gilt:

Δt_i = Zeitabschnitt(e)

SSV-CVS-System

Der Massendurchsatz über den gesamten Zyklus berechnet sich, wenn die Temperatur des verdünnten Abgases durch Verwendung eines Wärmeaustauschers über den Zyklus hinweg höchstens um ± 11 K schwankt, wie folgt:

$$M_{TOTW} = 1,293 \cdot Q_{SSV} \cdot \Delta t$$

Dabei gilt:

$$Q_{SSV} = A_0 d^2 C_d P_A \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r^{1,4286} - r^{1,7143}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \beta^4 r^{1,4286}} \right) \right]}$$

A_0 = Zusammenfassung von Konstanten und Einheitenumwandlungen

$$= 0,006111 \text{ in SI-Einheiten } \left(\frac{m^3}{min} \right) \left(\frac{K^{\frac{1}{2}}}{kPa} \right) \left(\frac{1}{mm^2} \right)$$

d = Durchmesser der SSV-Verengung (m)

C_d = Durchsatzkoeffizient des SSV

p_A = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs (kPa)

T = Temperatur am Eintritt des Venturirohrs (K)

r = Verhältnis zwischen den absoluten statischen Drücken an der Einschnürung und am Eintritt des

$$SSV = 1 - \frac{\Delta P}{P_A}$$

β = Verhältnis zwischen den Innendurchmessern an der Einschnürung (d) und am Eintritt des

$$SSV = \frac{d}{D}$$

Wird ein System mit Durchsatzmengenkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so sind die momentanen Massenemissionen zu berechnen und über den gesamten Zyklus zu integrieren. In diesem Falle lässt sich die momentane Masse des verdünnten Abgases wie folgt berechnen:

$$M_{TOTW,i} = 1,293 \cdot Q_{SSV} \cdot \Delta t_i$$

Dabei gilt:

$$Q_{SSV} = A_0 d^2 C_d P_A \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r^{1,4286} - r^{1,7143}) \left(\frac{1}{1 - \beta^4 r^{1,4286}} \right) \right]}$$

Δt_i = Zeitabschnitt (e)

Die Echtzeitberechnung ist entweder mit einem realistischen Wert für C_d , etwa 0,98, oder mit einem realistischen Wert für Q_{SSV} zu starten. Wird die Berechnung mit Q_{SSV} gestartet, ist der Anfangswert von Q_{SSV} zur Bewertung von Re heranzuziehen.

Bei allen Emissionsprüfungen muss die Reynolds-Zahl an der SSV-Verengung im Bereich der Reynolds-Zahlen liegen, die zur Ableitung der in Anlage 2 Absatz 3.2 entwickelten Kalibrierkurve verwendet wurden.

2.2.2. Feuchtekorrektur der NO_x-Konzentration

Da die NO_x-Emission von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängig ist, ist die NO_x-Konzentration unter Berücksichtigung der Feuchtigkeit der Umgebungsluft mithilfe der in den folgenden Formeln angegebenen Faktoren zu korrigieren:

$$k_H = \frac{1}{1 - 0,0182 \cdot (H_a - 10,71) + 0,0045 \cdot (T_a - 298)}$$

Dabei gilt:

T_a = Lufttemperatur (K)

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft (g Wasser je kg trockene Luft).

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

wobei:

R_a = relative Feuchtigkeit der Ansaugluft (%)

p_a = Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft (kPa)

p_B = barometrischer Gesamtdruck (kPa)

Hinweis: H_a kann von der vorstehend beschriebenen Messung der relativen Feuchtigkeit oder von der Messung am Taupunkt, der Messung des Dampfdrucks oder der Trocken/Feucht-Messung unter Verwendung der allgemein anerkannten Formeln abgeleitet werden.

2.2.3. Berechnung des Emissionsmassendurchsatzes

2.2.3.1. Systeme mit konstantem Massendurchsatz

Bei Systemen mit Wärmetauscher ist die Schadstoffmasse M_{GAS} (g/Prüfung) anhand der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$M_{gas} = u \cdot conc \cdot M_{TOTW}$$

Dabei ist:

u = Verhältnis zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und der Dichte des verdünnten Abgases, wie in Absatz 2.1.2.1 Tabelle 6 angegeben

$conc$ = durchschnittliche hintergrundkorrigierte Konzentrationen über den gesamten Zyklus aus Integration (obligatorisch für NO_x und HC) oder Beutelmessung (ppm)

M_{TOTW} = Gesamtmasse des verdünnten Abgases über den gesamten Zyklus gemäß Absatz 2.2.1 (kg)

Da die NO_x-Emission von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängig ist, ist die NO_x-Konzentration unter Berücksichtigung der Feuchtigkeit der Umgebungsluft mit Hilfe des Faktors k_H , wie in Absatz 2.2.2 beschrieben, zu korrigieren.

Die auf trockener Basis gemessenen Konzentrationen sind gemäß Absatz 1.3.2 in Feuchtwerte umzuwandeln.

2.2.3.1.1. Bestimmung der hintergrundkorrigierten Konzentrationen

Um die Nettokonzentration der Schadstoffe zu bestimmen, sind die mittleren Hintergrundkonzentrationen der gasförmigen Schadstoffe in der Verdünnungsluft von den gemessenen Konzentrationen abzuziehen. Die mittleren Werte der Hintergrundkonzentrationen können mithilfe der Beutelmethode oder durch laufende Messungen mit Integration bestimmt werden. Es ist folgende Formel zu verwenden:

$$conc = conc_e - conc_d \cdot (1 - (1/DF))$$

Dabei ist:

$conc$ = Konzentration des jeweiligen Schadstoffs im verdünnten Abgas, korrigiert um die Menge des in der Verdünnungsluft enthaltenen jeweiligen Schadstoffs (ppm)

$conc_e$ = Konzentration des jeweiligen Schadstoffs, gemessen im verdünnten Abgas (ppm)

$conc_d$ = Konzentration des jeweiligen Schadstoffs, gemessen in der Verdünnungsluft, ppm

DF = Verdünnungsfaktor

Der Verdünnungsfaktor ist wie folgt zu berechnen:

$$DF = \frac{13,4}{conc_{eCO_2} + (conc_{eHC} + conc_{eCO}) \cdot 10^{-4}}$$

2.2.3.2. Systeme mit Durchsatzmengenkompensation

Bei Systemen ohne Wärmetauscher ist die Masse der Schadstoffe M_{GAS} (g/Prüfung) durch Berechnen der momentanen Masseemissionen und Integrieren der momentanen Werte über den gesamten Zyklus zu bestimmen. Darüber hinaus ist die Hintergrundkorrektur direkt auf den momentanen Konzentrationenwert anzuwenden. Hierzu dienen die folgenden Formeln:

$$M_{GAS} = \sum_{i=1}^n \left((M_{TOTW,i} \cdot conc_{e,i} \cdot u) - \left(M_{TOTW} \cdot conc_d \cdot \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \cdot u \right) \right)$$

Dabei ist:

$conc_{e,i}$ = momentane Konzentration des jeweiligen Schadstoffs, gemessen im verdünnten Abgas (ppm)

$conc_d$ = Konzentration des jeweiligen Schadstoffs, gemessen in der Verdünnungsluft (ppm)

u = Verhältnis zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und der Dichte des verdünnten Abgases, wie in Absatz 2.1.2.1 Tabelle 6 angegeben

$M_{TOTW,i}$ = momentane Masse des verdünnten Abgases (Absatz 2.2.1) (kg)

M_{TOTW} = Gesamtmasse des verdünnten Abgases über den Zyklus (Absatz 2.2.1) (kg)

DF = Verdünnungsfaktor, wie unter Absatz 2.2.3.1.1 bestimmt

Da die NO_x -Emission von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängig ist, ist die NO_x -Konzentration unter Berücksichtigung der Feuchtigkeit der Umgebungsluft mit Hilfe des Faktors k_H , wie in Absatz 2.2.2 beschrieben, zu korrigieren.

2.2.4. Berechnung der spezifischen Emissionen

Die spezifischen Emissionen (g/kWh) sind für jeden einzelnen Bestandteil folgendermaßen zu berechnen:

$$Individual\ Gas = \frac{(1/10)M_{gas,cold} + (9/10)M_{gas,hot}}{(1/10)W_{gas,cold} + (9/10)W_{gas,hot}}$$

Dabei ist:

$M_{gas,cold}$ = Gesamtmasse des gasförmigen Schadstoffs über den Kaltstart-Zyklus (g)

$M_{gas,hot}$ = Gesamtmasse des gasförmigen Schadstoffs über den Warmstart-Zyklus (g)

$W_{act,cold}$ = tatsächliche Arbeit über den Kaltstartzyklus gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 (kWh)

$W_{act,hot}$ = tatsächliche Arbeit über den Warmstartzyklus gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 (kWh)

2.2.5. Berechnung der Partikelemission

2.2.5.1. Berechnung des Massendurchsatzes

Die Partikelmassen $M_{PT,cold}$ und $M_{PT,hot}$ (g/Prüfung) errechnen sich wie folgt:

$$M_{PT} = \frac{M_f}{M_{SAM}} \cdot \frac{M_{TOTW}}{1\ 000}$$

Dabei ist:

M_{PT} = $M_{PT,cold}$ für den Kaltstartzyklus

M_{PT} = $M_{PT,hot}$ für den Warmstartzyklus

M_f = über den Zyklus abgeschiedene Partikel-Probenahmemasse (mg)

M_{TOTW} = Gesamtmasse des verdünnten Abgases über den gesamten Zyklus gemäß Absatz 2.2.1 (kg)

M_{SAM} = Masse des aus dem Verdünnungstunnel zum Abscheiden von Partikeln entnommenen verdünnten Abgases (kg)

und

$M_f = M_{f,p} + M_{f,b}$, sofern getrennt gewogen (mg)

$M_{f,p}$ = am Hauptfilter abgeschiedene Partikelmasse (mg)

$M_{f,b}$ = am Nachfilter abgeschiedene Partikelmasse (mg)

Bei Verwendung eines Doppelverdünnungssystems ist die Masse der Sekundärverdünnungsluft von der Gesamtmasse des zweifach verdünnten Abgases, das zur Probenahme durch die Partikelfilter geleitet wurde, abzuziehen.

$$M_{SAM} = M_{TOT} - M_{SEC}$$

Dabei ist:

M_{TOT} = Masse des durch Partikelfilter geleiteten doppelt verdünnten Abgases (kg)

M_{SEC} = Masse der Sekundärverdünnungsluft (kg)

Wird der Partikelhintergrund der Verdünnungsluft nach Anhang 4A Absatz 4.4.4 bestimmt, so kann die Partikelmasse hintergrundkorrigiert werden. In diesem Fall sind die Partikelmassen $M_{PT,cold}$ und $M_{PT,hot}$ (g/Prüfung) folgendermaßen zu berechnen:

$$M_{PT} = \left(\frac{M_f}{M_{SAM}} - \left(\frac{M_d}{M_{DIL}} \cdot \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right) \right) \cdot \frac{M_{TOTW}}{1\,000}$$

Dabei ist:

M_{PT} = $M_{PT,cold}$ für den Kaltstartzyklus

M_{PT} = $M_{PT,hot}$ für den Warmstartzyklus

M_f , M_{SAM} , M_{TOTW} = siehe oben

M_{DIL} = Masse der Primärverdünnungsluft, Probenahme mittels Probenentnehmer für Hintergrundpartikel (kg)

M_d = abgeschiedene Hintergrundpartikelmasse der Primärverdünnungsluft (mg)

DF = Verdünnungsfaktor, wie unter Absatz 2.2.3.1.1 bestimmt

2.2.5.2. Feuchtigkeitskorrekturfaktor für Partikel

Da die Partikelemission der Dieselmotoren von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängig ist, muss die Partikelkonzentration unter Berücksichtigung der Feuchtigkeit der Umgebungsluft mithilfe des mit der folgenden Formel ermittelten Faktors k_p korrigiert werden:

$$k_p = \frac{1}{(1 + 0,0133 \cdot (H_a - 10,71))}$$

Dabei ist:

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft (g Wasser je kg trockene Luft).

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

wobei:

R_a = relative Feuchtigkeit der Ansaugluft (%),

p_a = Sättigungsdampfdruck der Ansaugluft (kPa),

p_B = barometrischer Gesamtdruck (kPa).

Hinweis: H_a kann von der vorstehend beschriebenen Messung der relativen Feuchtigkeit oder von der Messung am Taupunkt, der Messung des Dampfdrucks oder der Trocken/Feuchtmessung unter Verwendung der allgemein anerkannten Formeln abgeleitet werden.

2.2.5.3. Berechnung der spezifischen Emissionen

Die spezifischen Emissionen (g/kWh) sind folgendermaßen zu berechnen:

$$PT = \frac{(1/10)K_{p,cold} \cdot M_{PT,cold} + (9/10)K_{p,hot} \cdot M_{PT,hot}}{(1/10)W_{act,cold} + (9/10)W_{act,hot}}$$

Dabei gilt:

$M_{PT,cold}$ = Partikelmasse über den Kaltstart-Zyklus des NRTC (g/Prüfung)

$M_{PT,hot}$ = Partikelmasse über den Warmstart-Zyklus des NRTC (g/Prüfung)

$K_{p, cold}$ = Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für Partikel über den Kaltstart-Zyklus

$K_{p, hot}$ = Feuchtigkeits-Korrekturfaktor für Partikel über den Warmstart-Zyklus

$W_{act, cold}$ = tatsächliche Arbeit über den Kaltstartzyklus gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 (kWh)

$W_{act, hot}$ = tatsächliche Arbeit über den Warmstartzyklus gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 (kWh)

Anlage 4

Analyse- und Probenahmesystem

1. GAS- UND PARTIKEL-PROBENAHMESYSTEM

Nummer der Abbildung	Beschreibung
2	Abgasanalysesystem für Rohabgas
3	Abgasanalysesystem für verdünntes Abgas
4	Teilstrom, isokinetischer Durchsatz, Ansauggebläseregelung, Teilprobenahme
5	Teilstrom, isokinetischer Durchsatz, Druckgebläseregelung, Teilprobenahme
6	Teilstrom, CO ₂ - oder NO _x -Regelung, Teilprobenahme
7	Teilstrom, CO ₂ - und Kohlenstoffbilanz, Gesamtprobenahme
8	Teilstrom, Einfach-Venturirohr und Konzentrationsmessung, Teilprobenahme
9	Teilstrom, Doppel-Venturirohr oder -Blende und Konzentrationsmessung, Teilprobenahme
10	Teilstrom, Mehrfachröhrenteilung und Konzentrationsmessung, Teilprobenahme
11	Teilstrom, Durchsatzregelung, Gesamtprobenahme
12	Teilstrom, Durchsatzregelung, Teilprobenahme
13	Vollstrom, Verdrängerpumpe oder Venturi-Rohr mit kritischer Strömung, Teilprobenahme
14	Partikel-Probenahmesystem
15	Verdünnungsanlage für Vollstromsystem

1.1. Bestimmung der gasförmigen Emissionen

Absatz 1.1.1 und die Abbildungen 2 und 3 enthalten ausführliche Angaben zu den empfohlenen Probenahme- und Analysesystemen. Da bei verschiedenen Anordnungen die gleichen Ergebnisse erzielt werden können, sind Abweichungen von der in den Abbildungen dargestellten Anordnung zulässig. Es können zusätzliche Bauteile wie Instrumente, Ventile, Elektromagnete, Pumpen und Schalter verwendet werden, um weitere Informationen zu erlangen und die Funktionen der Teilsysteme zu koordinieren. Bei einigen Systemen kann auf manche Bauteile, die für die Erzielung der Genauigkeit nicht erforderlich sind, nach bestem fachlichen Ermessen verzichtet werden.

1.1.1. Bestandteile gasförmiger Emissionen – CO, CO₂, HC, NO_x

Das beschriebene Analysesystem für die Bestimmung der gasförmigen Emissionen im Rohabgas oder im verdünnten Abgas besteht aus folgenden Geräten:

- einem HFID-Analysator für die Messung der Kohlenwasserstoffe
- NDIR-Analysatoren für die Messung von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid
- einem HCLD- oder gleichwertigen Analysator für die Messung der Stickoxide

Beim Rohabgas (Abbildung 2) kann die Probe zur Bestimmung sämtlicher Bestandteile mit einer Probenahme-sonde oder zwei nahe beieinander befindlichen Probenahmesonden entnommen und intern nach den verschiedenen Analysatoren aufgespalten werden. Es ist sorgfältig darauf zu achten, dass sich an keiner Stelle des Analysesystems Kondensate von Abgasbestandteilen (einschließlich Wasser und Schwefelsäure) bilden.

Beim verdünnten Abgas (Abbildung 3) ist die Probe zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffe mit einer anderen Probenahmesonde zu entnehmen als die Probe zur Bestimmung der anderen Bestandteile. Es ist sorgfältig darauf zu achten, dass sich an keiner Stelle des Analysesystems Kondensate von Abgasbestandteilen (einschließlich Wasser und Schwefelsäure) bilden.

Abbildung 2

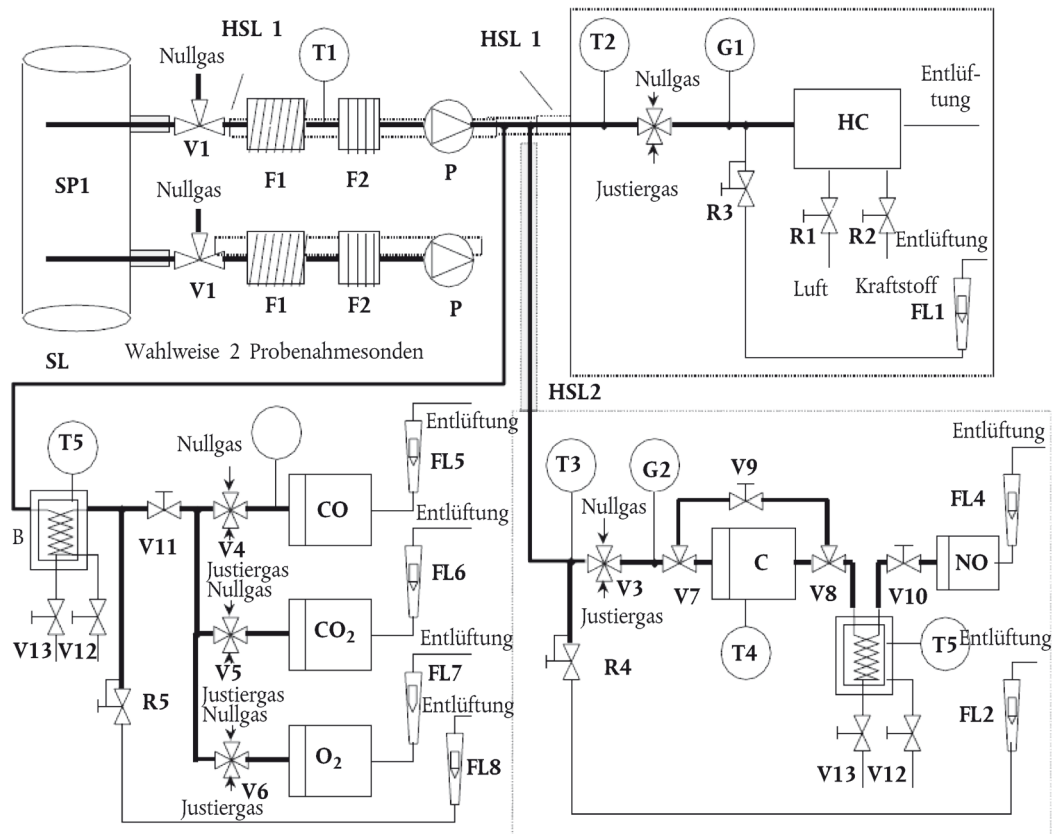
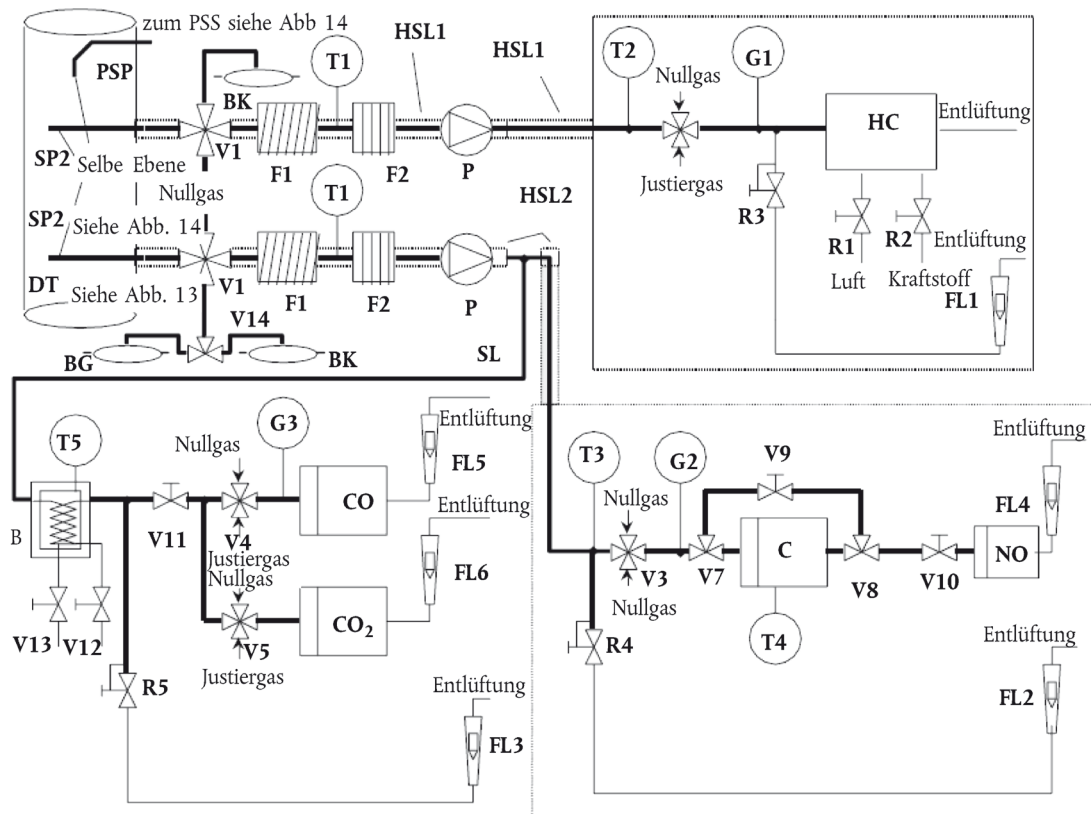
Flussdiagramm für ein Abgasanalysesystem für CO, NO_x und HC

Abbildung 3

Flussdiagramm für ein Analysesystem für CO, CO₂, NO_x und HC (verdünntes Abgas)

Beschreibung – Abbildungen 2 und 3

Allgemeine Bemerkung:

Alle Bauteile, mit denen die Gasprobe in Berührung kommt, müssen auf der für das jeweilige System vorgeschriebenen Temperatur gehalten werden.

- Sonde zur Entnahme von Proben aus dem Rohabgas (SP1, nur Abbildung 2)

Empfohlen wird eine Sonde aus rostfreiem Stahl mit geschlossenem Ende und mehreren Löchern. Der Innendurchmesser darf nicht größer sein als der Innendurchmesser der Probenahmeleitung. Die Wanddicke der Sonde darf nicht größer als 1 mm sein. Es müssen in drei verschiedenen Radialebenen mindestens drei Löcher vorhanden sein, die so dimensioniert sein müssen, dass der Durchsatz der entnommenen Probe ungefähr gleich ist. Die Sonde muss sich über mindestens 80 % des Auspuffrohr-Querschnitts erstrecken.

- Sonde zur Entnahme von HC-Proben aus dem verdünnten Abgas (SP2, nur Abbildung 3)

Die Sonde muss:

- im ersten Teil der Kohlenwasserstoff-Probenahmeleitung (HSL3) auf einer Länge von 254 mm bis 762 mm wirksam sein,
- einen Innendurchmesser von mindestens 5 mm haben,
- im Verdünnungstunnel DT (Absatz 1.2.1.2) an einer Stelle angebracht sein, wo Verdünnungsluft und Abgase gut vermischt sind (d. h. etwa 10 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt gelegen, an dem die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten),
- in ausreichender Entfernung (radial) von anderen Sonden und von der Tunnelwand angebracht sein, um eine Beeinflussung durch Wellen oder Wirbel zu vermeiden,
- so beheizt werden, dass die Temperatur des Gasstroms am Sondenauslass auf 463 K (190 °C) ± 10 K erhöht wird.

- Sonde zur Entnahme von CO-, CO₂- und NO_x-Proben aus dem verdünnten Abgas (SP3, nur Abbildung 3)

Die Sonde muss:

- auf derselben Ebene wie SP2 liegen,
- in ausreichender Entfernung (radial) von anderen Sonden und von der Tunnelwand angebracht sein, um eine Beeinflussung durch Wellen oder Wirbel zu vermeiden,
- über ihre gesamte Länge beheizt und so isoliert sein, dass die Mindesttemperatur 328 °K (55 °C) beträgt, um eine Kondenswasserbildung zu vermeiden.

- HSL1: beheizte Probenahmeleitung

Durch die Probenahmeleitung strömt die Gasprobe von einer Einzelsonde zu der (den) Abzweigstelle(n) und zum HC-Analysator.

Die Probenahmeleitung muss:

- einen Innendurchmesser von mindestens 5 mm und höchstens 13,5 mm haben
- aus rostfreiem Stahl oder Polytetrafluorethylen (PTFE) bestehen
- eine konstante Wandtemperatur von 463 K (190 °C) ± 10 K aufweisen, die in jedem beheizten Abschnitt mit getrennter Regelung gemessen wird, wenn die Temperatur des Abgases an der Probenahmesonde höchstens 463 K (190 °C) beträgt
- eine konstante Wandtemperatur von mehr als 453 K (180 °C) aufweisen, wenn die Temperatur des Abgases an der Probenahmesonde höher als 463 K (190 °C) ist
- eine konstante Gastemperatur von 463 K (190 °C) ± 10 K unmittelbar vor dem beheizten Filter (F2) und dem HFID aufweisen

- HSL2: beheizte NO_x-Probenahmeleitung

Die Probenahmeleitung muss:

- bei Verwendung eines Kühlers bis zum Konverter und ohne Verwendung eines Kühlers bis zum Analysator eine konstante Wandtemperatur von 328 K bis 473 K (55 °C bis 200 °C) aufweisen,
- aus rostfreiem Stahl oder Polytetrafluorethylen (PTFE) bestehen.

Da die Probenahmeleitung nur beheizt werden muss, um die Bildung von Kondenswasser und kondensierter Schwefelsäure zu verhindern, hängt die Temperatur der Probenahmeleitung vom Schwefelgehalt des Kraftstoffes ab.

- Probenahmeleitung für CO (CO₂)

Die Leitung muss aus PTFE oder rostfreiem Stahl bestehen. Sie kann beheizt oder unbeheizt sein.

- BK: Hintergrundbeutel (wahlweise; nur Abbildung 3)

Für die Messung der jeweiligen Vorbelastung.

- BG: Probenahmebeutel (wahlweise; Abbildung 3 nur CO und CO₂).

Für die Messung der jeweiligen Konzentration in der Probe.

- F1: beheizter Vorfilter (wahlweise)

Die Temperatur muss dieselbe wie bei HSL1 sein.

- F2: beheizter Filter

Der Filter muss Feststoffteilchen aus der Gasprobe vor dem Analysator abscheiden. Die Temperatur muss dieselbe wie bei HSL1 sein. Der Filter muss ausgetauscht werden, wenn es nötig ist.

- P: beheizte Probenahmepumpe

Die Pumpe muss so beheizt werden, dass die Temperatur der von HSL1 entspricht.

- HC

Beheizter Flammenionisationsdetektor (HFID) zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffe. Die Temperatur ist auf 453 K bis 473 K (180 °C bis 200 °C) zu halten.

- CO, CO₂

NDIR-Analysatoren für die Bestimmung von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid.

— NO₂

CLD-(HCLD-)Analysator für die Bestimmung der Stickoxide. Wird ein HCLD-Analysator verwendet, muss die Temperatur auf 328 K bis 473 K (55 °C bis 200 °C) gehalten werden.

— C: Konverter

Es ist ein Konverter zur katalytischen Reduktion von NO₂ zu NO vor der Analyse im CLD oder HCLD zu verwenden.

— B: Kühler

Zum Kühlen und Kondensieren von Wasser aus der Abgasprobe. Der Kühler ist durch Eis oder ein Kühlsystem auf einer Temperatur von 273 bis 277 K (0 °C bis 4 °C) zu halten. Seine Verwendung ist fakultativ, wenn der Analysator nicht durch Wasserdampf beeinflusst wird (siehe Anhang 4A Anlage 2 Absätze 1.9.1 und 1.9.2).

Chemische Trocknungsmittel dürfen nicht verwendet werden, um der Probe Wasser zu entziehen.

— T1, T2, T3: Temperatursensor

Zur Überwachung der Temperatur des Gasstroms

— T4: Temperatursensor

Zur Feststellung der Temperatur des NO₂-NO-Konverters

— T5: Temperatursensor

Zur Überwachung der Temperatur des Kühlers

— G1, G2, G3: Druckmesser

Zur Messung des Drucks in den Probenahmeleitungen

— R1, R2: Druckregler

Zum Regeln des jeweiligen Drucks von Luft und Kraftstoff für den HFID

— R3, R4, R5: Druckregler

Zum Regeln des Drucks in den Probenahmeleitungen und des Durchflusses zu den Analysatoren

— FL1, FL2, FL3: Durchsatzmesser

Zur Überwachung des Bypass-Durchflusses der Probe

— FL4 bis FL7: Durchflussmesser (fakultativ)

Zur Messung des Durchsatzes durch die Analysatoren

— V1 bis V6: Umschaltventil

Geeignete Ventile, um in den Kanal wahlweise die Probe, Justiergas oder Nullgas einzuleiten

— V7, V8: Magnetventil

Zur Umgehung des NO₂-NO-Konverters

— V9: Nadelventil

Zum Ausgleichen des Durchflusses durch den NO₂-NO-Konverter und die Umgehungsleitung

— V10, V11: Nadelventil

Zur Regelung des Durchflusses zu den Analysatoren

— V12, V13: Ablasshahn

Zum Ablassen des Kondensates aus dem Kühler B

— V14: Umschaltventil

Wahl des Probenahme- oder Hintergrundbeutels

1.2. Bestimmung der Partikel

Die Absätze 1.2.1 und 1.2.2 und die Beschreibungen zu den Abbildungen 4 bis 15 enthalten ausführliche Angaben zu den empfohlenen Verdünnungs- und Probenahmesystemen. Da bei verschiedenen Anordnungen die gleichen Ergebnisse erzielt werden können, sind Abweichungen von der in den Abbildungen dargestellten Anordnung zulässig. Es können zusätzliche Bauteile wie Instrumente, Ventile, Elektromagnete, Pumpen und Schalter verwendet werden, um weitere Informationen zu erlangen und die Funktionen der Teilsysteme zu koordinieren. Bei einigen Systemen kann auf manche Bauteile, die für die Aufrechterhaltung der Genauigkeit nicht erforderlich sind, verzichtet werden, wenn ihr Wegfall nach bestem fachlichen Ermessen vertretbar erscheint.

1.2.1. Verdünnungssystem

1.2.1.1. Teilstrom-Verdünnungssystem (Abbildungen 4 bis 12) ⁽¹⁾

Es wird ein Verdünnungssystem beschrieben, das auf der Verdünnung eines Teils der Auspuffabgase beruht. Die Aufteilung des Abgasstromes und der anschließende Verdünnungsvorgang können mit Hilfe unterschiedlicher Arten von Verdünnungssystemen erfolgen. Damit die Partikel später gesammelt werden können, kann entweder das gesamte verdünnte Abgas oder nur ein Teil des verdünnten Abgases zum Partikel-Probenahmesystem (Absatz 1.2.2 Abbildung 14) geleitet werden. Das erste Verfahren wird als Gesamtprobenahme und das zweite als Teilprobenahme bezeichnet.

Die Errechnung des Verdünnungsverhältnisses hängt vom Typ des angewandten Systems ab.

Folgende Arten von Systemen werden empfohlen:

— isokinetische Systeme (Abbildungen 4 und 5)

Bei diesen Systemen wird der in das Verbindungsrohr geleitete Gasstrom hinsichtlich der Gasgeschwindigkeit und/oder des Gasdruckes an den größeren Teil des Abgasstromes angeglichen, folglich muss an der Probenahmesonde ein ungestörter, gleichmäßiger Abgasstrom vorhanden sein. Dies wird im Allgemeinen dadurch erreicht, dass ein Resonator und ein gerades Rohr stromaufwärts vor der Entnahmestelle verwendet werden. Das Aufteilungsverhältnis wird dann anhand leicht zu messender Werte, zum Beispiel der Rohrdurchmesser, berechnet. Es ist zu beachten, dass das isokinetische Verfahren nur zur Angleichung der Strömungsverhältnisse und nicht zur Angleichung der Größenverteilung angewendet wird. Letzteres ist in der Regel nicht erforderlich, da die Partikel so klein sind, dass sie den Stromlinien des Abgases folgen.

— Systeme mit Durchflussregelung und Konzentrationsmessung (Abbildungen 6 bis 10)

Bei diesen Systemen wird von der Gesamtmenge des Abgasstromes eine Probe entnommen, indem der Durchsatz der Verdünnungsluft und der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases eingestellt werden. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand der Konzentrationen von Spürgasen wie CO₂ oder NO_x bestimmt, die bereits in den Motorabgasen enthalten sind. Die Konzentrationen im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft werden gemessen, während die Konzentration im Rohabgas entweder direkt gemessen oder anhand des Kraftstoffdurchsatzes und der Kohlenstoffbilanzgleichung bestimmt werden kann, wenn die Kraftstoffzusammensetzung bekannt ist. Die Systeme können auf der Grundlage des berechneten Verdünnungsverhältnisses (Abbildungen 6 und 7) oder auf der Grundlage des Durchflusses in das Übertragungsrohr (Abbildungen 8, 9 und 10) geregelt werden.

— Systeme mit Durchflussregelung und Durchflussmessung (Abbildungen 11 und 12)

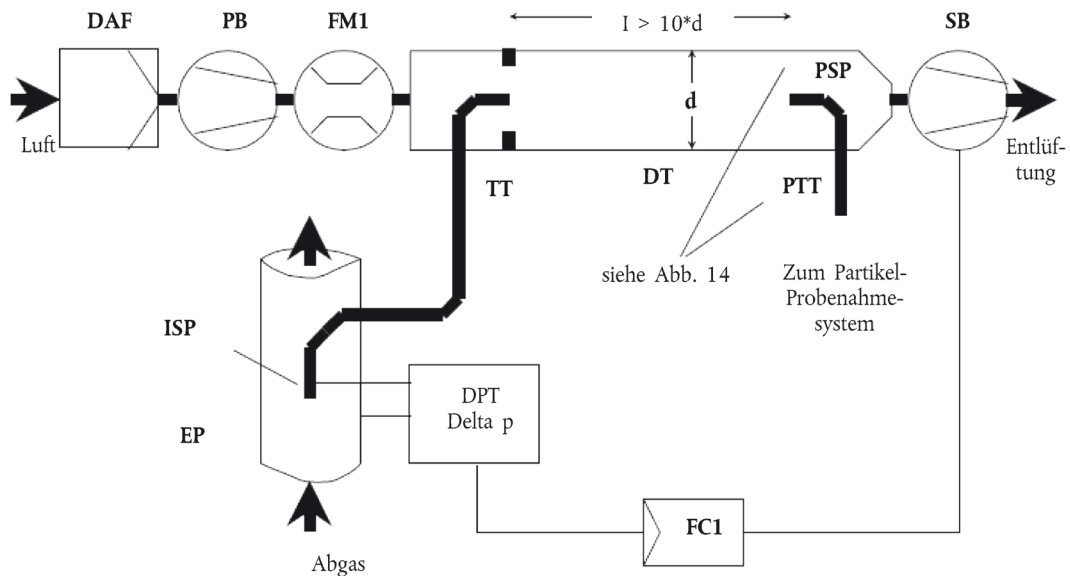
Bei diesen Systemen wird von der Gesamtmenge des Abgasstromes eine Probe entnommen, indem der Durchsatz der Verdünnungsluft und der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases eingestellt werden. Das Verdünnungsverhältnis wird aus der Differenz der beiden Durchsatzwerte bestimmt. Die Durchflussmesser müssen aufeinander bezogen präzise kalibriert sein, da die relative Größe der beiden Durchsätze bei größeren Verdünnungsverhältnissen zu bedeutenden Fehlern führen kann. Der Durchsatz kann sehr einfach geregelt werden, indem der des verdünnten Abgases konstant gehalten und der der Verdünnungsluft gegebenenfalls verändert wird.

Damit die Vorteile von Teilstrom-Verdünnungssystemen voll zum Tragen kommen, ist besondere Aufmerksamkeit auf die Vermeidung von Partikelverlusten im Übertragungsrohr, auf die Gewährleistung der Entnahme einer repräsentativen Probe aus dem Motorabgas und auf die Bestimmung des Teilungsverhältnisses zu richten.

Bei den beschriebenen Systemen werden diese kritischen Punkte berücksichtigt.

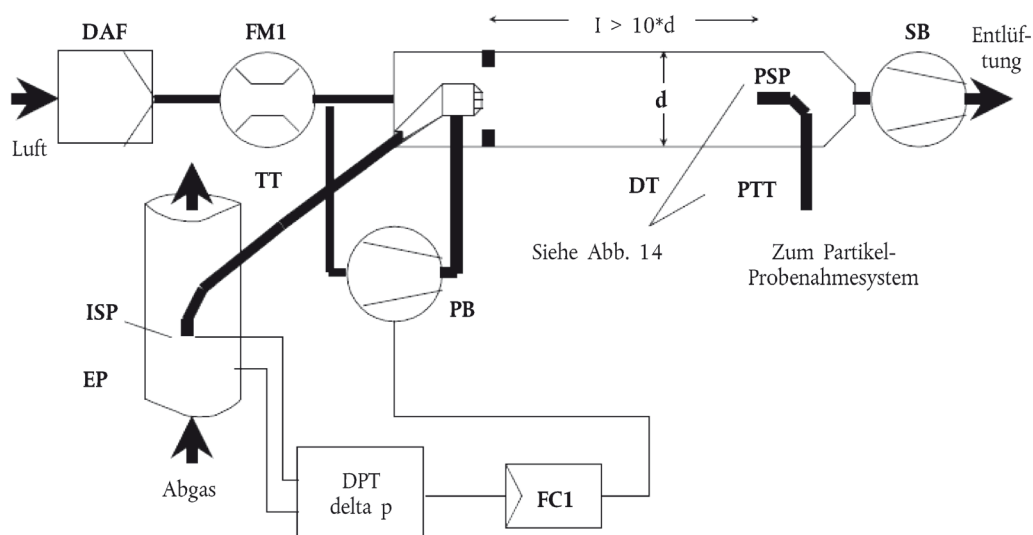
⁽¹⁾ Die Abbildungen 4 bis 12 zeigen viele Arten von Teilstrom-Verdünnungssystemen, die normalerweise für die Prüfung unter stationären Bedingungen (NRSC) angewandt werden können. Wegen der sehr strengen Beschränkungen der Prüfung unter dynamischen Bedingungen werden nur die Teilstrom-Verdünnungssysteme (Abbildungen 4 bis 12), die die Anforderungen in Anhang 4A Anlage 1 Absatz 2.4 „Spezifikationen für Teilstrom-Verdünnungssysteme“ erfüllen, für die Prüfung unter dynamischen Bedingungen (NRTC) akzeptiert.

Abbildung 4

Teilstrom-Verdünnungssystem mit isokinetischer Sonde und Teilprobenahme (PB-Regelung)

Rohabgas wird mithilfe der isokinetischen Probenahmesonde ISP aus dem Auspuffrohr EP durch das Übertragungsrohr TT zum Verdünnungstunnel DT geleitet. Der Differenzdruck des Abgases zwischen Auspuffrohr und Einlass der Sonde wird mit dem Differenzdruckmesser DPT ermittelt. Dieses Signal wird dem Durchflussregler FC1 zugeführt, der das Ansauggebläse SB so steuert, dass an der Spitze der Sonde ein Differenzdruck von Null herrscht. Unter diesen Bedingungen stimmen die Abgasgeschwindigkeiten in EP und ISP überein, und der Durchfluss durch ISP und TT ist ein konstanter Bruchteil des Abgasdurchflusses. Das Teilungsverhältnis wird anhand der Querschnittsflächen von EP und ISP bestimmt. Der Verdünnungsluftdurchsatz wird mit dem Durchflussmessgerät FM1 gemessen. Das Verdünnungsverhältnis wird aus dem Verdünnungsluftdurchsatz und dem Aufteilungsverhältnis berechnet.

Abbildung 5

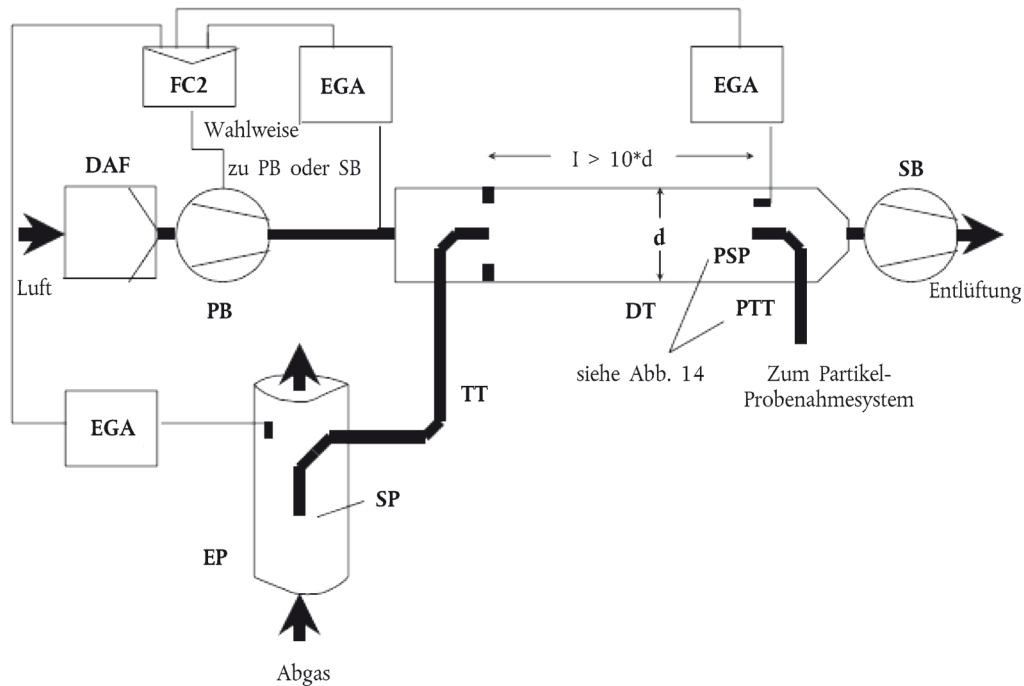
Teilstrom-Verdünnungssystem mit isokinetischer Sonde und Teilprobenahme (PB-Regelung)

Rohabgas wird mit Hilfe der isokinetischen Probenahmesonde ISP aus dem Auspuffrohr EP durch das Übertragungsrohr TT zum Verdünnungstunnel DT geleitet. Der Differenzdruck des Abgases zwischen Auspuffrohr und Einlass der Sonde wird mit dem Differenzdruckmesser DPT ermittelt. Dieses Signal wird an den Durchflussregler FC1 übermittelt, der das Druckgebläse PB so regelt, dass am Eintritt der Sonde ein Differenzdruck von Null aufrechterhalten wird. Dazu wird ein kleiner Teil der Verdünnungsluft, deren Durchsatz bereits mit dem Durchflussmessgerät FM1 gemessen wurde, entnommen und mit Hilfe einer pneumatischen Blende in das TT eingeleitet. Unter diesen Bedingungen stimmen die Abgasgeschwindigkeiten in EP und ISP überein, und

der Durchfluss durch ISP und TT ist ein konstanter Bruchteil des Abgasdurchflusses. Das Teilungsverhältnis wird anhand der Querschnittsflächen von EP und ISP bestimmt. Die Verdünnungsluft wird vom Ansauggebläse SB durch DT angesaugt, und der Durchsatz wird mit FM1 am Einlass zu DT gemessen. Das Verdünnungsverhältnis wird aus dem Verdünnungsluftdurchsatz und dem Aufteilungsverhältnis berechnet.

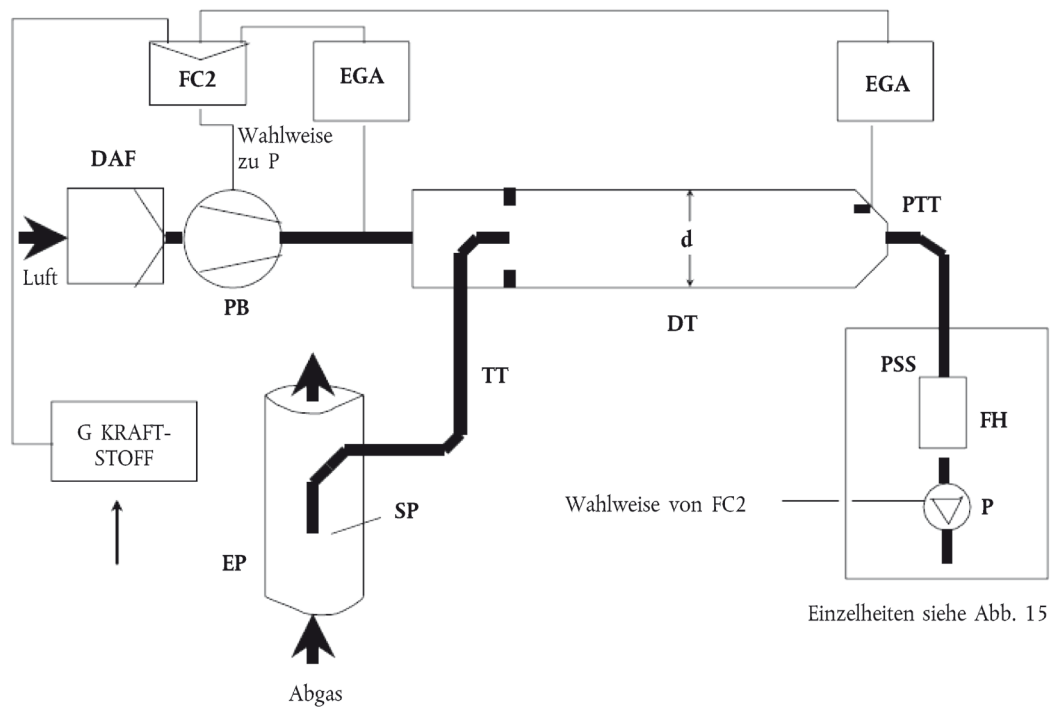
Abbildung 6

Teilstrom-Verdünnungssystem mit Messung von CO₂ oder NO_x-Konzentration und Teilprobenahme



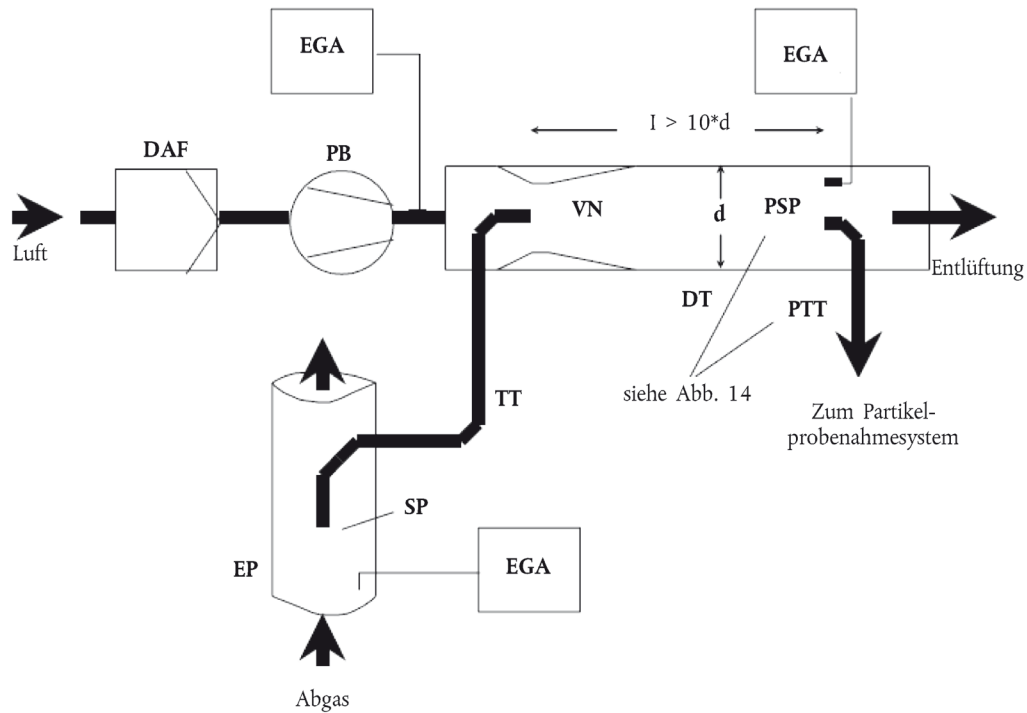
Das Rohabgas wird vom Auspuffrohr EP zum Verdünnungstunnel DT durch die Probenahmesonde SP und das Verdünnungsrohr TT geleitet. Die Konzentrationen eines Spürgases (CO_2 oder NO_x) werden im Rohabgas und im verdünnten Abgas wie auch in der Verdünnungsluft mit dem (den) Abgasanalysator(en) EGA gemessen. Diese Signale werden dem Durchsatzregler FC2 zugeführt, der entweder das Druckgebläse PB oder das Ansauggebläse SB so steuert, dass die gewünschten Werte des Abgasaufteilungsverhältnisses und des Verdünnungsverhältnisses in DT konstant bleiben. Das Verdünnungsverhältnis wird aus den Spürgaskonzentrationen im Rohabgas, im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft berechnet.

Abbildung 7

Teilstrom-Verdünnungssystem mit Messung von CO_2 -Konzentration, Kohlenstoffbilanz und Gesamtprobenahme

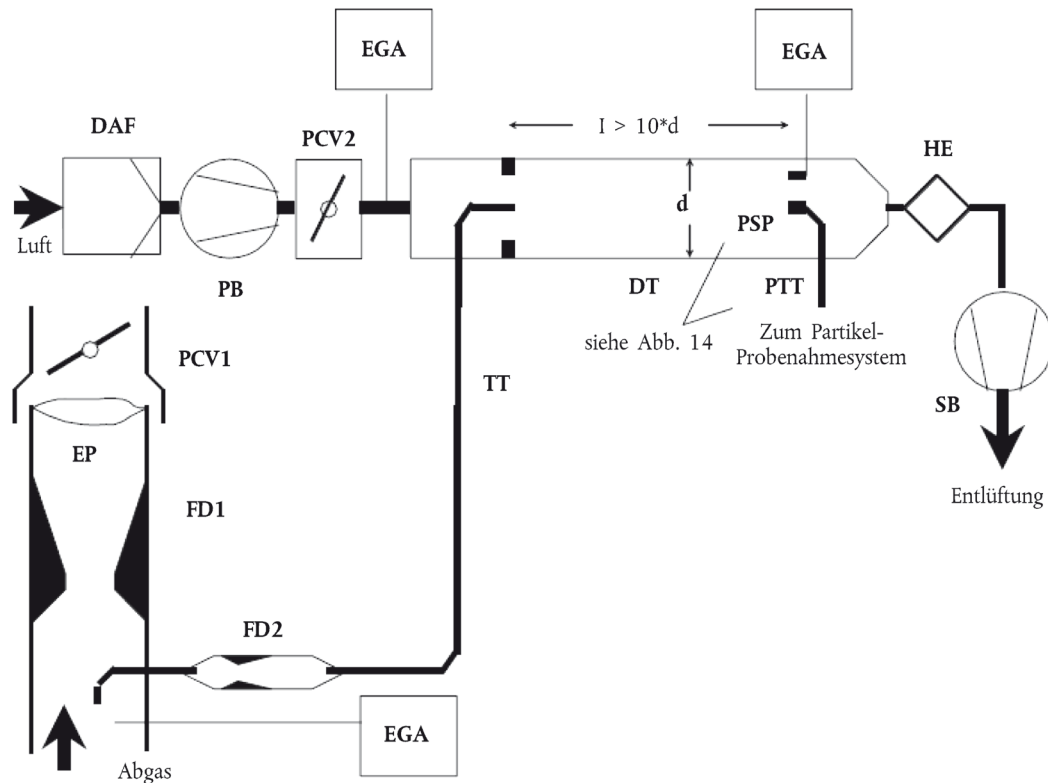
Das Rohabgas wird vom Auspuffrohr EP zum Verdünnungstunnel DT durch die Probenahmesonde SP und das Verdünnungsrohr TT geleitet. Die CO_2 -Konzentrationen werden mit dem (den) Abgasanalysator(en) EGA im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft gemessen. Die Signale über den CO_2 - und Kraftstoffdurchfluss G_{FUEL} werden entweder an den Durchflussregler FC2 oder an den Durchflussregler FC3 des Partikel-Probenahmesystems übermittelt (Abbildung 14). FC2 regelt das Druckgebläse PB und FC3 das Partikel-Probenahmesystem (Abbildung 14), wodurch die in das System eintretenden und es verlassenden Ströme so eingestellt werden, dass im DT das gewünschte Teilungs- und Verdünnungsverhältnis der Abgase aufrechterhalten wird. Das Verdünnungsverhältnis wird nach der Kohlenstoffbilanzmethode anhand der CO_2 -Konzentrationen und des Kraftstoffdurchsatzes G_{FUEL} errechnet.

Abbildung 8

Teilstrom-Verdünnungssystem mit Einfach-Venturi-Rohr, Konzentrationsmessung und Teilprobenahme

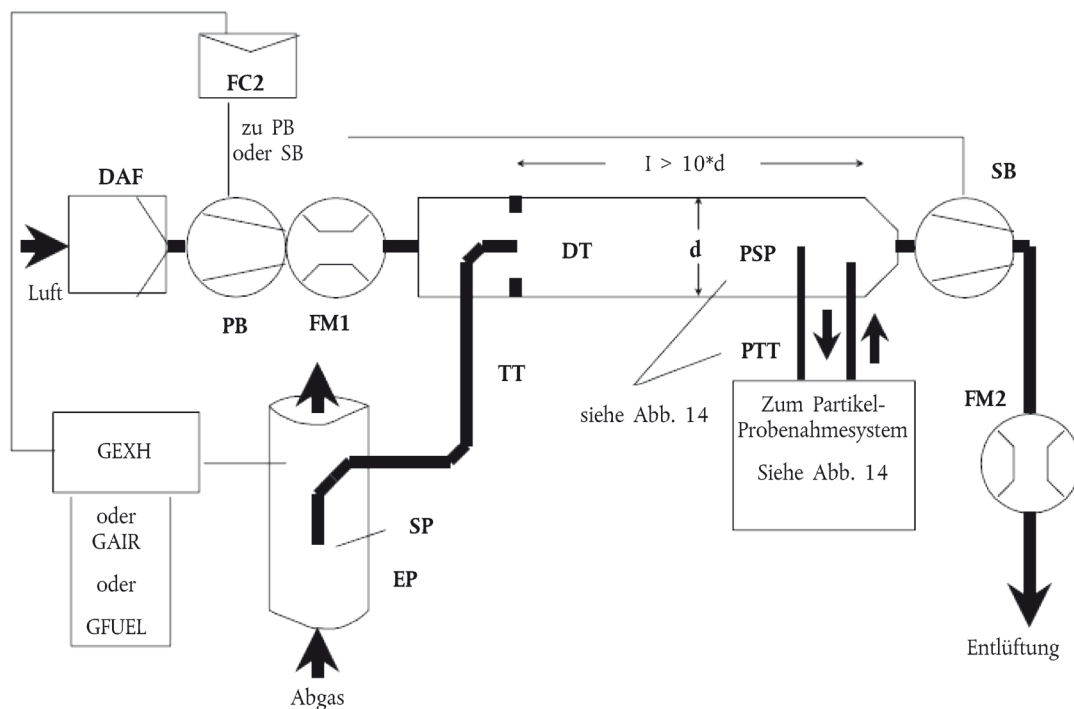
Das Rohabgas wird mit Hilfe des Unterdruckes, der durch den Venturi-Einsatz VN im Verdünnungstunnel DT erzeugt wird, durch die Probenahmesonde SP und das Verbindungsrohr TT vom Auspuffrohr EP zum Verdünnungstunnel DT geleitet. Die Gasdurchflussmenge durch TT hängt vom Austausch der kinetischen Energie im Bereich des Venturi-Einsatzes ab und wird somit durch die absolute Gastemperatur an der Austrittsöffnung von TT beeinflusst. Folglich ist die Abgasteilung bei einem bestimmten Tunneldurchsatz nicht konstant, und das Verdünnungsverhältnis ist bei geringer Last etwas kleiner als bei hoher Last. Die Konzentrationen des Spürgases (CO_2 oder NO_x) werden mit dem (den) Abgasanalysator(en) EGA im Rohabgas, im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft gemessen, und das Verdünnungsverhältnis wird anhand der gemessenen Werte errechnet.

Abbildung 9

Teilstrom-Verdünnungssystem, Doppel-Venturi-Rohr oder -Blende, Konzentrationsmessung und Teilprobenahme

Das Rohabgas wird vom Auspuffrohr EP zum Verdünnungstunnel DT durch die Probenahmesonde SP und das Verbindungsrohr TT mit Hilfe eines Mengenteilers geleitet, zu dem Blenden oder Venturi-Einsätze gehören. Der erste Mengenteiler (FD1) befindet sich im EP, der zweite (FD2) im TT. Zusätzlich sind zwei Druckregelventile (PCV1 und PCV2) erforderlich, damit durch Regelung des Gegendrucks im EP und des Drucks im DT eine konstante Abgasteilung aufrechterhalten werden kann. PCV1 befindet sich stromabwärts der SP im EP, PCV2 zwischen dem Druckgebläse PB und dem DT. Die Spürgaskonzentrationen (CO_2 oder NO_x) werden im Rohabgas, im verdünnten Abgas und in der Verdünnungsluft mit dem (den) Abgasanalysator(en) EGA gemessen. Sie werden für die Überprüfung der Abgasteilung benötigt und können bei der Einstellung von PCV1 und PCV2 für die genaue Kontrolle der Aufteilung verwendet werden. Das Verdünnungsverhältnis wird aus den Spürgaskonzentrationen berechnet.

Abbildung 12

Teilstrom-Verdünnungssystem mit Durchflussregelung und Teilprobenahme

Das Rohabgas wird vom Auspuffrohr EP zum Verdünnungstunnel DT durch die Probenahmesonde SP und das Verdünnungsrohr TT geleitet. Die Abgasteilung und der Durchfluss in den DT werden mit dem Durchflussregler FC2 geregelt, der die Durchflüsse (oder Drehzahl) des Druckgebläses PB und des Ansauggebläses SB entsprechend einstellt. Dies ist möglich, weil die mit dem Partikel-Probenahmesystem entnommene Probe in den DT zurückgeführt wird. Als Steuersignale für FC2 können G_{EXH} , G_{AIR} oder G_{FUEL} verwendet werden. Der Verdünnungsluftdurchsatz wird mit dem Durchflussmessgerät FM1, der Gesamtdurchsatz mit dem Durchflussmessgerät FM2 gemessen. Das Verdünnungsverhältnis wird aus diesen beiden Durchsätzen berechnet.

Beschreibung – Abbildungen 4 bis 12**— EP: Auspuffrohr**

Das Auspuffrohr kann mit einer Isolierung versehen sein. Zur Verringerung der Wärmeträgheit des Auspuffrohrs wird ein Verhältnis von Dicke zu Durchmesser von höchstens 0,015 empfohlen. Die Verwendung biegsamer Abschnitte ist so zu begrenzen, dass das Verhältnis von Länge zu Durchmesser höchstens 12 beträgt. Biegungen sind auf ein Mindestmaß zu begrenzen, um Trägheitsablagerungen zu verringern. Gehört zu dem System ein Prüfstand-Schalldämpfer, so kann auch dieser isoliert werden.

Bei einem isokinetischen System muss das Auspuffrohr vom Eintritt der Sonde ab stromaufwärts mindestens sechs Rohrdurchmesser und stromabwärts drei Rohrdurchmesser frei von scharfen Krümmungen, Biegungen und plötzlichen Durchmesseränderungen sein. Die Gasgeschwindigkeit im Entnahmebereich muss außer im Leerlauf höher als 10 m/s sein. Druckschwankungen der Abgase dürfen im Durchschnitt ± 500 Pa nicht übersteigen. Maßnahmen zur Dämpfung der Druckschwankungen, die über die Verwendung einer Fahrzeug-Auspuffanlage (einschließlich Schalldämpfer und Nachbehandlungsanlage) hinausgehen, dürfen die Motorleistung nicht verändern und zu keiner Partikelablagerung führen.

Für Systeme ohne isokinetische Sonden wird empfohlen, dass das Auspuffrohr auf einer Länge, die vor der Spitze der Sonde dem sechsfachen Rohrdurchmesser und dahinter, in Strömungsrichtung, dem dreifachen Rohrdurchmesser entspricht, gerade ist.

— SP: Probenahmesonde (Abbildungen 6 bis 12)

Der Innendurchmesser muss mindestens 4 mm betragen. Das Verhältnis der Durchmesser von Auspuffrohr und Sonde muss mindestens vier betragen. Die Sonde muss eine offene Röhre sein, die, der Strömungsrichtung zugewandt, in der Mittellinie des Auspuffrohrs angebracht ist, oder es muss sich um eine Mehrlochsonde – wie unter SP1 in Absatz 1.1.1 beschrieben – handeln.

- ISP: isokinetische Probenahmesonde (Abbildungen 4 und 5)

Die isokinetische Probenahmesonde ist, der Strömungsrichtung zugewandt, in der Mittellinie des Auspuffrohrs an einem Punkt anzubringen, an dem die im Abschnitt EP beschriebenen Strömungsbedingungen herrschen; sie ist so auszulegen, dass eine verhältnismäßige Probenahme aus dem Rohabgas gewährleistet ist. Der Innendurchmesser muss mindestens 12 mm betragen.

Ein Regelsystem ist erforderlich, damit durch Aufrechterhaltung eines Differenzdrucks von Null zwischen dem EP und der ISP eine isokinetische Abgasteilung erreicht wird. Unter diesen Bedingungen sind die Abgasgeschwindigkeiten im EP und in der ISP gleich, und der Massendurchfluss durch die ISP ist ein konstanter Bruchteil des Abgasstroms. Die Sonde ISP muss mit einem Differenzdruckmesser verbunden sein. Der Differenzdruck von Null zwischen EP und ISP wird durch Regelung mit Hilfe der Gebläsedrehzahl oder des Durchflussreglers erreicht.

- FD1, FD2: Mengenteiler (Abbildung 9)

Ein Paar Venturi-Rohre oder Blenden wird im Auspuffrohr EP bzw. im Übertragungsrohr TT angebracht, damit eine verhältnismäßige Probenahme aus dem Rohabgas gewährleistet ist. Das aus den beiden Druckregelventilen PCV1 und PCV2 bestehende Regelsystem wird benötigt, damit eine verhältnismäßige Aufteilung mittels Regelung der Drücke im EP und DT erfolgen kann.

- FD3: Mengenteiler (Abbildung 10)

Mehrere Rohre (Mehrröhreinheit) sind im Auspuffrohr EP zur Entnahme einer Proportionalprobe des Rohabgases angebracht. Aus einem der Rohre wird dem Verdünnungstunnel DT Abgas zugeführt, während die anderen Rohre Abgas in eine Dämpfungskammer DC leiten. Die Röhren müssen gleiche Abmessungen haben (Durchmesser, Länge, Biegunghalbmesser gleich), folglich ist die Abgasteilung von der Gesamtzahl der Röhren abhängig. Ein Regelsystem wird benötigt, damit durch Aufrechterhaltung eines Differenzdrucks von Null zwischen der Einmündung der Mehrfachröhreinheit in die DC und dem Ausgang des TT eine verhältnismäßige Aufteilung erfolgen kann. Unter diesen Bedingungen sind die Abgasgeschwindigkeiten in EP und FD3 proportional, und der Gasstrom durch TT ist ein gleichbleibender Teil des gesamten Abgasstromes. Die beiden Auslassstellen müssen mit einem Differenzdruckmesser DPT verbunden sein. Der Differenzdruck von Null wird mit Hilfe des Durchflussreglers FC1 erreicht.

- EGA: Abgasanalysator (Abbildungen 6 bis 10)

Es können CO₂ oder NO_x-Analysatoren verwendet werden (bei der Kohlenstoffbilanzmethode nur CO₂-Analysatoren). Die Analysatoren sind wie die Analysatoren für die Messung der gasförmigen Emissionen zu kalibrieren. Ein oder mehrere Analysatoren können verwendet werden, um die Differenzen zwischen den Konzentrationen zu bestimmen.

Die Messsysteme müssen eine solche Genauigkeit aufweisen, dass die Genauigkeit von $G_{EDFW, i} \pm 4 \%$ beträgt.

- TT: Übertragungsrohr (Abbildungen 4 bis 12)

Das Verbindungsrohr für die Weiterleitung der Partikelprobe muss:

- so kurz wie möglich sein (maximal zulässige Länge 5 m),
- einen Durchmesser haben, der gleich dem Durchmesser der Sonde oder größer, jedoch nicht größer als 25 mm ist,
- DEN Ausgang in der Mittellinie des Verdünnungstunnels haben und in Strömungsrichtung zeigen.

Rohre von einer Länge bis zu einem Meter sind mit einem Material zu isolieren, dessen maximale Wärmeleitfähigkeit 0,05 W/(m × K) beträgt, wobei die Stärke der Isolierschicht dem Durchmesser der Sonde entspricht. Rohre von mehr als einem Meter Länge sind zu isolieren und so zu beheizen, dass die Wandtemperatur mindestens 523 K (250 °C) beträgt.

Alternativ können die erforderlichen Wandtemperaturen des Verbindungsrohres auch mit Hilfe von Standardberechnungen der Wärmeübertragung bestimmt werden.

- DPT: Differenzdruckaufnehmer (Abbildungen 4, 5 und 10)

Der Differenzdruckaufnehmer muss einen Bereich von ± 500 Pa oder weniger aufweisen.

- FC1: Durchflussregler (Abbildungen 4, 5 und 10)

Bei isokinetischen Systemen (Abbildungen 4 und 5) ist ein Durchflussregler erforderlich, um den Differenzdruck zwischen EP und ISP auf Null zu halten. Die Einstellung kann erfolgen:

- a) durch Regelung der Drehzahl oder des Durchflusses des Ansauggebläses (SB) und Konstanthalten der Drehzahl des Druckgebläses (PB) bei jeder Prüfphase (Abbildung 4) oder
- b) durch Einstellung des Ansauggebläses (SB) auf einen konstanten Massendurchfluss des verdünnten Abgases und Regelung des Durchflusses des Druckgebläses PB, wodurch der Durchfluss der Abgasprobe in einem Bereich am Ende des Übertragungsrohrs (TT) geregelt wird (Abbildung 5).

Bei Systemen mit geregelter Druck darf der verbleibende Fehler im Regelkreis ± 3 Pa nicht übersteigen. Die Druckschwankungen im Verdünnungstunnel dürfen im Durchschnitt ± 250 Pa nicht übersteigen.

Bei einem Mehrrohrsystem (Abbildung 10) ist ein Durchflussregler für die proportionale Abgasaufteilung erforderlich, um den Differenzdruck zwischen der Auslassseite der Mehrrohrereinheit und der Austrittsöffnung von TT auf Null zu halten. Die Einstellung kann durch Regelung des Durchsatzes der Einblasluft in den DT an der Austrittsöffnung des TT erfolgen.

— PCV1, PCV2: Druckregelventile (Abbildung 9)

Zwei Druckregelventile werden für das Doppelventuri-/Doppelblendensystem benötigt, damit durch Regelung des Gegendrucks des EP und des Drucks im DT eine verhältnismäßige Stromteilung erfolgen kann. Die Ventile müssen im EP in Strömungsrichtung hinter SP und zwischen PB und DT angeordnet sein.

— DC: Dämpfungskammer (Abbildung 10)

Eine Expansionskammer muss an der Auslassseite der Mehrrohrereinheit angeordnet sein, um die Druckschwankungen im Auspuffrohr EP auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

— VN: Venturi-Rohr (Abbildung 8)

Ein Venturi-Einsatz ist im Verdünnungstunnel DT angebracht, um im Bereich der Austrittsöffnung des Verbindungsrohrs TT einen Unterdruck zu erzeugen. Der Gasdurchsatz durch das TT wird unter Berücksichtigung des Austausches der kinetischen Energie im Bereich des Venturi-Einsatzes bestimmt und ist im Grunde proportional zum Durchsatz des Druckgebläses PB, wodurch sich ein konstantes Verdünnungsverhältnis ergibt. Da der Austausch der kinetischen Energie von der Temperatur an der Austrittsöffnung des TT und der Druckdifferenz zwischen EP und DT abhängt, ist das tatsächliche Verdünnungsverhältnis bei kleiner Teillast etwas kleiner als bei großer Teillast.

— FC2: Durchflussregler (Abbildungen 6, 7, 11 und 12, wahlfrei)

Ein Durchflussregler kann zur Regelung des Durchsatzes des Druckgebläses PB und/oder des Ansauggebläses SB verwendet werden. Die Steuerung kann mit Hilfe des Abgas- oder Kraftstoffdurchflusssignals und/oder des CO₂ oder NO_x-Differentialsignals erfolgen.

Wird ein Druckluftversorgungssystem (Abbildung 11) verwendet, regelt der FC2 unmittelbar den Luftstrom.

— FM1: Durchflussmessgerät (Abbildungen 6, 7, 11 und 12)

Gasmesser oder andere Geräte zur Messung des Durchsatzes der Verdünnungsluft. FM1 ist wahlfrei, wenn das PB für die Durchflussmessung kalibriert ist.

— FM2: Durchflussmessgerät (Abbildung 12)

Gasmesser oder andere Geräte zur Messung des Durchsatzes des verdünnten Abgases. Das FM2 ist fakultativ, wenn das Ansauggebläse SB für die Durchflussmessung kalibriert ist.

— PB: Druckgebläse (Abbildungen 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 12)

Zur Regelung des Durchsatzes der Verdünnungsluft kann das PB mit den Durchsatzreglern FC1 oder FC2 verbunden sein. Das PB ist nicht erforderlich, wenn eine Klappe verwendet wird. Bei entsprechender Kalibrierung kann das PB zur Messung des Durchsatzes der Verdünnungsluft verwendet werden.

— SB: Ansauggebläse (Abbildungen 4, 5, 6, 9, 10 und 12)

Nur bei Teilprobenahmesystemen. Bei entsprechender Kalibrierung kann das SB zur Messung des Durchsatzes des verdünnten Abgases verwendet werden.

— DAF: Verdünnungsluftfilter (Abbildungen 4 bis 12)

Es wird empfohlen, die Verdünnungsluft zu filtern und mit Hilfe von Aktivkohle zu reinigen, um eine Vorbelastung durch Kohlenwasserstoffe auszuschließen. Die Verdünnungsluft muss eine Temperatur von 298 K (25 °C) ± 5 K haben.

Auf Antrag des Herstellers ist nach guter technischer Praxis eine Verdünnungsluftprobe zur Bestimmung des Raumluft-Partikelgehalts zu nehmen, der dann von den in den verdünnten Abgasen gemessenen Werten abgezogen werden kann.

- PSP: Partikel-Probenahmesonde (Abbildungen 4, 5, 6, 8, 9, 10 und 12)

Die Sonde bildet den vordersten Abschnitt des PTT und

- muss gegen den Strom gerichtet an einem Punkt angebracht sein, an dem die Verdünnungsluft und die Abgase gut vermischt sind, d. h. in der Mittellinie des Verdünnungstunnels DT ungefähr 10 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt gelegen, an dem die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten,
- muss einen Innendurchmesser von mindestens 12 mm haben,
- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt,
- kann isoliert sein.

- DT: Verdünnungstunnel (Abbildungen 4 bis 12)

Der Verdünnungstunnel

- muss so lang sein, dass sich die Abgase bei turbulenter Strömung vollständig mit der Verdünnungsluft mischen,
- muss aus nichtrostendem Stahl bestehen und
 - bei Verdünnungstunneln mit einem Innendurchmesser von mehr als 75 mm ein Verhältnis von Dicke zu Durchmesser von höchstens 0,025 und
 - bei Verdünnungstunneln mit einem Innendurchmesser von höchstens 75 mm eine Nennwanddicke von mindestens 1,5 mm aufweisen,
- muss bei einem Teilprobenahmesystem einen Durchmesser von mindestens 75 mm haben,
- sollte bei einem Gesamtprobenahmesystem möglichst einen Durchmesser von mindestens 25 mm haben,
- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt,
- kann isoliert sein.

Das Motorabgas muss gründlich mit der Verdünnungsluft gemischt werden. Bei Teilprobenahmesystemen ist die Mischqualität nach Inbetriebnahme bei laufendem Motor mittels eines CO₂-Profils des Tunnels zu überprüfen (mindestens vier gleichmäßig verteilte Messpunkte). Bei Bedarf kann eine Mischblende verwendet werden.

Hinweis: Beträgt die Umgebungstemperatur in der Nähe des Verdünnungstunnels (DT) weniger als 293 K (20 °C), so sollte für eine Vermeidung von Partikelverlusten an den kühlen Wänden des Verdünnungstunnels gesorgt werden. Daher wird eine Beheizung und/oder Isolierung des Tunnels innerhalb der oben angegebenen Grenzwerte empfohlen.

Bei hoher Motorlast kann der Tunnel durch nicht aggressive Mittel wie beispielsweise einen Umlüfter gekühlt werden, solange die Temperatur des Kühlmittels nicht weniger als 293 K (20 °C) beträgt.

- HE: Wärmeaustauscher (Abbildungen 9 und 10)

Die Leistung des Wärmeaustauschers muss ausreichend sein, damit die Temperatur am Einlass zum Ansauggebläse SB von der bei der Prüfung beobachteten durchschnittlichen Betriebstemperatur um höchstens ± 11 K abweicht.

1.2.1.2. Vollstrom-Verdünnungssystem (Abbildung 13)

Es wird ein Verdünnungssystem beschrieben, das unter Verwendung des CVS-Konzepts (*Constant Volume Sampling*) auf der Verdünnung des gesamten Abgasstroms beruht. Das Gesamtvolumen des Gemischs aus Abgas und Verdünnungsluft muss gemessen werden. Es kann entweder ein PDP- oder ein CFV- oder ein SSV-System verwendet werden.

Für die anschließende Sammlung der Partikel wird eine Probe des verdünnten Abgases durch das Partikel-Probenahmesystem geleitet (Absatz 1.2.2 Abbildungen 14 und 15). Geschieht dies direkt, so wird der Vorgang als Einfachverdünnung bezeichnet. Wird die Probe in einem Sekundärverdünnungstunnel erneut verdünnt, spricht man von Doppelverdünnung. Letztere ist dann von Nutzen, wenn die Vorschriften in Bezug auf die Filteranströmtemperatur bei Einfachverdünnung nicht eingehalten werden können. Obwohl es sich beim Doppelverdünnungssystem zum Teil um ein Verdünnungssystem handelt, wird es als Unterart eines Partikel-Probenahmesystems in Absatz 1.2.2 (Abbildung 15) beschrieben, da es die meisten typischen Bestandteile eines Partikel-Probenahmesystems aufweist.

Die gasförmigen Emissionen können ebenfalls im Verdünnungstunnel eines Vollstrom-Verdünnungssystems bestimmt werden. Daher werden die Probenahmesonden für die gasförmigen Bestandteile in Abbildung 13 dargestellt, erscheinen jedoch nicht bei den Beschreibungen. Die entsprechenden Vorschriften sind in Absatz 1.1.1 enthalten.

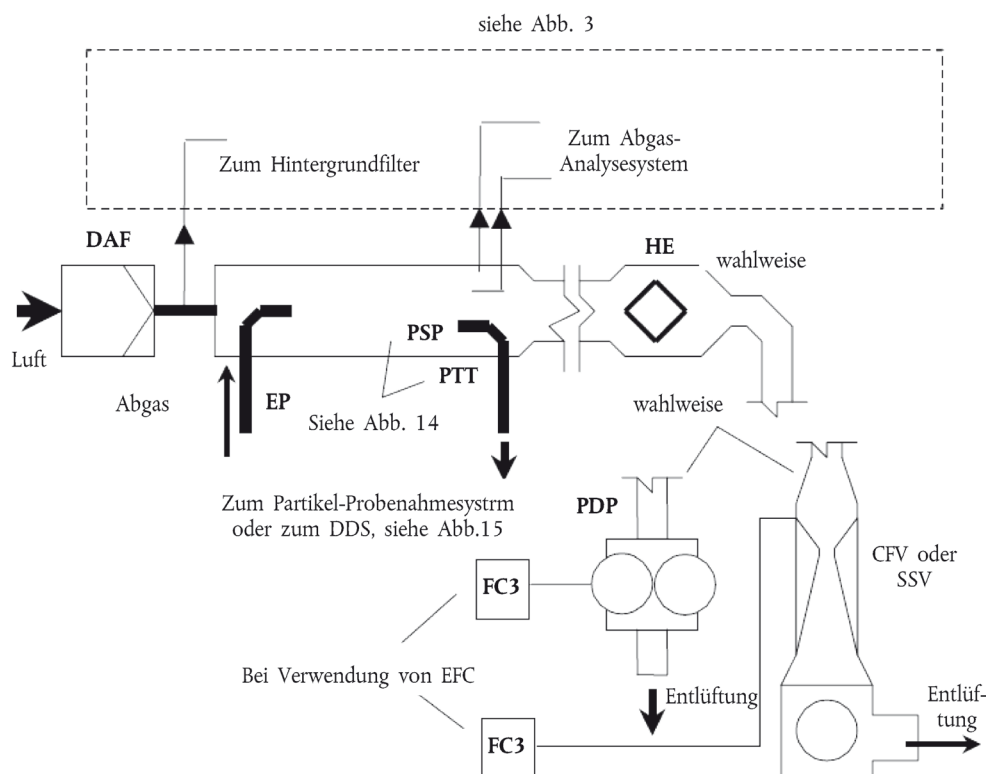
Beschreibungen (Abbildung 13)

— EP: Auspuffrohr

Die Länge des Auspuffrohrs vom Auslass des Auspuffkrümmers, des Turboladers oder der Nachbehandlungseinrichtung bis zum Verdünnungstunnel darf nicht mehr als 10 m betragen. Überschreitet die Länge des Systems 4 m, sind über diesen Grenzwert hinaus alle Rohre mit Ausnahme eines etwaigen im Auspuffsystem befindlichen Rauchmessgerätes zu isolieren. Die Stärke der Isolierschicht muss mindestens 25 mm betragen. Die Wärmeleitfähigkeit des Isoliermaterials darf, bei 673 K (400 °C) gemessen, höchstens 0,1 W/(m × K) betragen. Zur Verringerung der Wärmeträgheit des Auspuffrohrs wird ein Verhältnis von Dicke zu Durchmesser von höchstens 0,015 empfohlen. Die Verwendung biegsamer Abschnitte ist so zu begrenzen, dass das Verhältnis von Länge zu Durchmesser höchstens 12 beträgt.

Abbildung 13

Vollstrom-Verdünnungssystem



Die gesamte Menge des Rohabgases wird im Verdünnungstunnel DT mit der Verdünnungsluft gemischt. Der Durchsatz des verdünnten Abgases wird entweder mit einer Verdrängerpumpe PDP oder mit einem Venturi-Rohr mit kritischer Strömung CFV oder mit einer kritisch betriebenen Venturidüse SSV gemessen. Ein Wärmeaustauscher HE oder eine elektronische Durchsatzmengenkompensation EFC kann für eine verhältnismäßige Partikel-Probenahme und für die Durchsatzbestimmung verwendet werden. Da die Bestimmung der Partikelmasse auf dem Gesamtdurchfluss des verdünnten Abgases beruht, ist die Berechnung des Verdünnungsverhältnisses nicht erforderlich.

— PDP: Verdrängerpumpe

Die Verdrängerpumpe misst den Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases mit Hilfe der Pumpendrehzahl und der Pumpenverdrängung. Der Abgasgegendruck darf durch die PDP oder das Verdünnungslufteinlasssystem nicht künstlich gesenkt werden. Der mit laufendem CVS-System gemessene statische Abgasgegendruck muss bei einer Toleranz von $\pm 1,5$ kPa im Bereich des statischen Drucks bleiben, der bei gleicher Motordrehzahl und Belastung ohne Anschluss an das CVS gemessen wurde.

Die unmittelbar vor dem PDP gemessene Temperatur des Gasgemischs muss in einem Toleranzbereich von ± 6 K um den Durchschnittswert der während der Prüfung ermittelten Betriebstemperatur bleiben, wenn keine Durchsatzmengenkompensation erfolgt.

Eine Durchsatzmengenkompensation darf nur angewendet werden, wenn die Temperatur am Einlass der PDP 323 K (50 °C) nicht überschreitet.

— CFV: Venturi-Rohr mit kritischer Strömung

Das CFV-Rohr wird zur Messung des Gesamtdurchsatzes des verdünnten Abgases unter Sättigungsbedingungen (kritische Strömung) verwendet. Der mit dem im Betrieb befindlichen CFV-System gemessene statische Abgasgegendruck muss bei einer Toleranz von $\pm 1,5$ kPa im Bereich des statischen Drucks bleiben, der bei gleicher Motordrehzahl und Belastung ohne Anschluss an das CFV gemessen wurde. Die unmittelbar vor dem CFV gemessene Temperatur des Gasgemischs muss in einem Toleranzbereich von ± 11 K um den Durchschnittswert der während der Prüfung ermittelten Betriebstemperatur bleiben, wenn keine Durchsatzmengenkompensation erfolgt.

— SSV: kritisch betriebene Venturidüse

Das SSV wird zur Messung des Gesamtdurchsatzes des verdünnten Abgases als Funktion von Eintrittsdruck, Eintrittstemperatur und Druckabfall zwischen SSV-Eintritt und -verengung benutzt. Der mit dem im Betrieb befindlichen SSV-System gemessene statische Abgasgegendruck muss bei einer Toleranz von $\pm 1,5$ kPa im Bereich des statischen Drucks bleiben, der bei gleicher Motordrehzahl und Belastung ohne Anschluss an das SSV gemessen wurde. Die unmittelbar vor dem SSV gemessene Temperatur des Gasgemischs muss in einem Toleranzbereich von ± 11 K um den Durchschnittswert der während der Prüfung ermittelten Betriebstemperatur bleiben, wenn keine Durchsatzmengenkompensation erfolgt.

— HE: Wärmetauscher (bei Anwendung von EFC fakultativ)

Die Leistung des Wärmetauschers muss ausreichen, um die Temperatur innerhalb der obengenannten Grenzwerte zu halten.

— EFC: elektronische Durchsatzkompensation (bei Anwendung eines HE fakultativ)

Wird die Temperatur an der Einlassöffnung der PDP oder des CFV oder der SSV nicht innerhalb der genannten Grenzwerte gehalten, ist zum Zweck einer kontinuierlichen Messung der Durchflussmenge und zur Regelung der verhältnismässigen Probenahme im Partikelsystem ein Durchsatzkompensationssystem erforderlich. Hierzu werden die Signale des kontinuierlich gemessenen Durchsatzes verwendet, um den Probendurchsatz durch die Partikelfilter des Partikel-Probenahmesystems entsprechend zu korrigieren (Abbildungen 14 und 15).

— DT: Verdünnungstunnel

Der Verdünnungstunnel

— muss einen genügend kleinen Durchmesser haben, um eine turbulente Strömung zu erzeugen (Reynoldszahl größer als 4 000), und hinreichend lang sein, damit sich die Abgase mit der Verdünnungsluft vollständig vermischen. Es kann eine Mischblende verwendet werden.

— muss einen Durchmesser von mindestens 75 mm haben,

— kann isoliert sein.

Das Motorabgas muss an der Stelle, an der es in Strömungsrichtung in den Verdünnungstunnel eintritt, gut durchmischt werden.

Erfolgt eine Einfachverdünnung, so wird eine Probe aus dem Verdünnungstunnel zum Partikel-Probenahmesystem geleitet (Absatz 1.2.2 Abbildung 14). Die Durchsatzleistung der PDP oder des CFV oder des SSV muss ausreichend sein, um die Temperatur des verdünnten Abgasstroms unmittelbar von dem Primärpartikelfilter auf höchstens 325 K (52 °C) zu halten.

Erfolgt eine Zweifachverdünnung, so wird eine Probe aus dem Verdünnungstunnel zur weiteren Verdünnung in den Sekundärverdünnungstunnel und anschließend durch die Probenahmefilter geleitet (Absatz 1.2.2 Abbildung 15). Die Durchsatzleistung des PDP oder des CFV oder des SSV muss ausreichend sein, um die Temperatur des verdünnten Abgasstroms im DT im Probenahmebereich auf weniger oder gleich 464 K (191 °C) zu halten. Das Sekundärverdünnungssystem muss genug Sekundärverdünnungsluft liefern, damit der doppelt verdünnte Abgasstrom unmittelbar vor dem Primärpartikelfilter auf einer Temperatur von höchstens 325 K (52 °C) gehalten werden kann.

— DAF: Verdünnungsluftfilter

Es wird empfohlen, die Verdünnungsluft zu filtern und mit Hilfe von Aktivkohle zu reinigen, um eine Vorbelastung durch Kohlenwasserstoffe auszuschließen. Die Verdünnungsluft muss eine Temperatur von 298 K (25 °C) $\pm$ 5 K haben. Auf Antrag des Herstellers ist nach guter technischer Praxis eine Verdünnungsluftprobe zur Bestimmung des Raumluft-Partikelgehalts zu nehmen, der dann von den in den verdünnten Abgasen gemessenen Werten abgezogen werden kann.

— PSP: Partikel-Probenahmesonde

Die Sonde bildet den vordersten Abschnitt des PTT und

- muss gegen den Strom gerichtet an einem Punkt angebracht sein, wo die Verdünnungsluft und die Abgase gut vermischt sind, d. h. in der Mittellinie des Verdünnungstunnels DT ungefähr 10 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt gelegen, an dem die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten,
- muss einen Innendurchmesser von mindestens 12 mm haben,
- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt,
- kann isoliert sein.

1.2.2. Partikel-Probenahmesystem (Abbildungen 14 und 15)

Das Partikel-Probenahmesystem wird zur Sammlung der Partikel auf dem Partikelfilter benötigt. Bei dem Verfahren mit Gesamtprobenahme und Teilstromverdünnung, bei dem die gesamte Probe des verdünnten Abgases durch die Filter geleitet wird, bilden das Verdünnungssystem (Absatz 1.2.1.1 Abbildungen 7 und 11) und das Probenahmesystem gewöhnlich eine geschlossene Einheit. Im Fall von Teilstrom- oder Vollstrom-Verdünnungssystemen mit Teilprobenahme, bei denen nur ein Teil des verdünnten Abgases durch die Filter geleitet wird, sind das Verdünnungssystem (Absatz 1.2.1.1 Abbildungen 4, 5, 6, 8, 9, 10 und 12, sowie Absatz 1.2.1.2 Abbildung 13) und das Probenahmesystem in der Regel getrennte Einheiten.

In dieser Regelung gilt das Doppelverdünnungssystem DDS (Abbildung 15) eines Vollstrom-Verdünnungssystems als spezifische Unterart eines typischen Partikel-Probenahmesystems, wie es in Abbildung 14 dargestellt ist. Das Doppelverdünnungssystem enthält alle wichtigen Bestandteile eines Partikel-Probenahmesystems wie beispielsweise Filterhalter und Probenahmepumpe und darüber hinaus einige Merkmale eines Verdünnungssystems, wie beispielsweise die Verdünnungsluftzufuhr und einen Sekundär-Verdünnungstunnel.

Um eine Beeinflussung der Regelkreise zu vermeiden, wird empfohlen, die Probenahmepumpe während des gesamten Prüfverfahrens in Betrieb zu lassen. Bei der Einzelfiltermethode ist ein Bypass-System zu verwenden, um die Probe zu den gewünschten Zeitpunkten durch die Probenahmefilter zu leiten. Die Beeinflussung der Regelkreise durch den Schaltvorgang ist auf ein Mindestmaß zu begrenzen.

Beschreibungen – Abbildungen 14 und 15

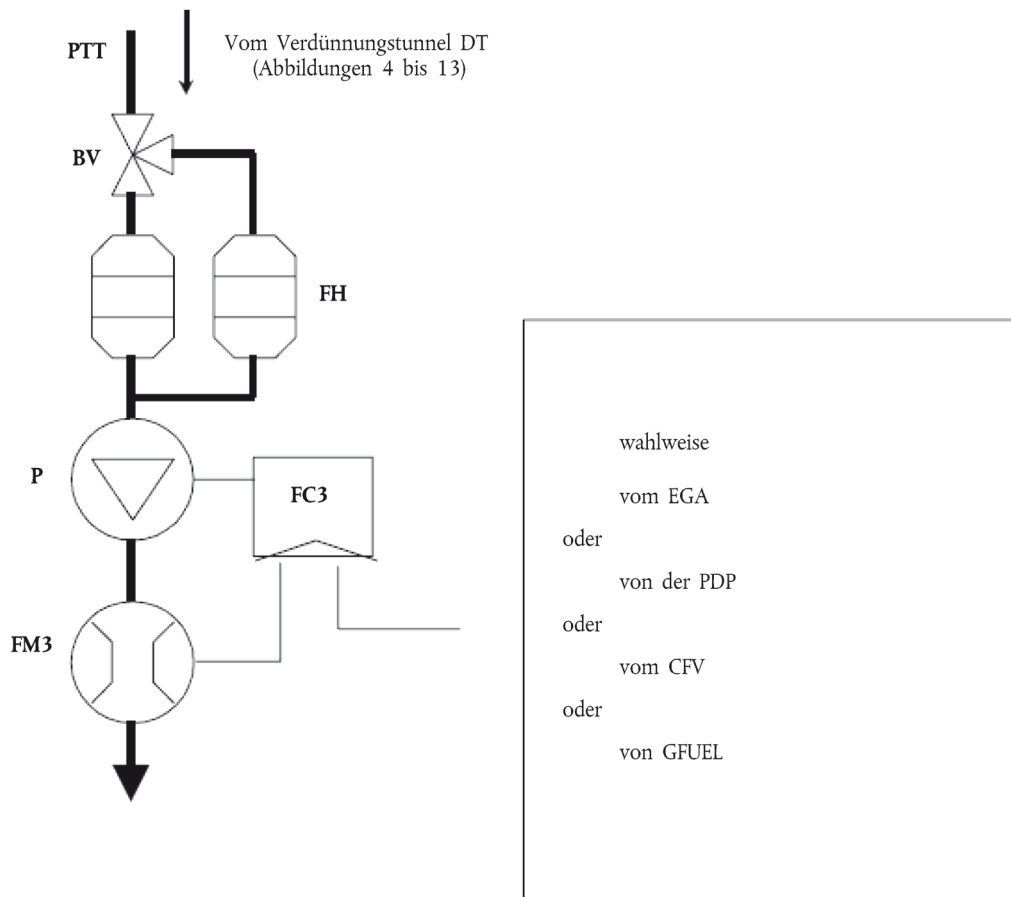
— PSP: Partikel-Probenahmesonde (Abbildungen 14 und 15)

Die in den Abbildungen dargestellte Probenahmesonde bildet den vordersten Abschnitt des Partikelübertragungsrohrs PTT. Die Sonde:

- muss gegen den Strom gerichtet an einem Punkt angebracht sein, wo die Verdünnungsluft und die Abgase gut vermischt sind, d. h. in der Mittellinie des Verdünnungstunnels DT des Verdünnungssystems (Absatz 1.2.1) ungefähr 10 Tunneldurchmesser stromabwärts von dem Punkt gelegen, an dem die Abgase in den Verdünnungstunnel eintreten;

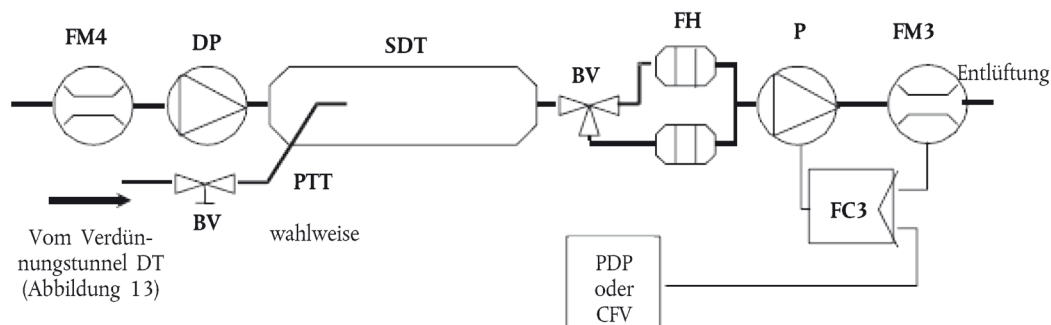
- muss einen Innendurchmesser von mindestens 12 mm haben;
- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt;
- kann isoliert sein.

Abbildung 14

Partikel-Probenahmesystem

Eine Probe des verdünnten Abgases wird mit Hilfe der Probenahmepumpe P durch die Partikel-Probenahme-sonde PSP und das Partikelübertragungsrohr PTT aus dem Verdünnungstunnel DT eines Teilstrom- oder Vollstrom-Verdünnungssystems entnommen. Die Probe wird durch den (die) Filterhalter FH mit den Partikel-Probenahmefiltern geleitet. Der Durchsatz der Probe wird durch den Durchsatzregler FC3 geregelt. Bei Verwendung der elektronischen Durchsatzmengenkompensation EFC (Abbildung 13) dient der Durchsatz des verdünnten Abgases als Steuersignal für FC3.

Abbildung 15

Verdünnungsanlage (nur für Vollstromsystem)

Eine Probe des verdünnten Abgases wird vom Verdünnungstunnel DT eines Vollstrom-Verdünnungssystems durch die Partikel-Probenahmesonde PSP und das Verbindungsrohr für Partikel PTT in den Sekundärverdünnungstunnel SDT geleitet, wo sie noch einmal verdünnt wird. Anschließend wird die Probe durch den (die) Filterhalter FH mit den Partikel-Probenahmefiltern geleitet. Der Durchsatz der Verdünnungsluft ist gewöhnlich konstant, während der Durchsatz der Probe durch den Durchflussregler FC3 geregelt wird. Bei Verwendung der elektronischen Durchflussmengenkompensation EFC (Abbildung 13) dient der Durchfluss des gesamten verdünnten Abgases als Steuersignal für FC3.

- PTT: Partikelübertragungsrohr (Abbildungen 14 und 15)

Das Partikelübertragungsrohr darf höchstens 1 020 mm lang sein; seine Länge ist so gering wie möglich zu halten.

Die Abmessungen gelten für

- das Teilstrom-Verdünnungssystem mit Teilprobenahme und das Vollstrom-Einfachverdünnungssystem von der Spitze der Sonde bis zum Filterhalter
- beim Teilstrom-Verdünnungssystem mit Gesamtprobenahme den Teil vom Ende des Verdünnungstunnels bis zum Filterhalter
- beim Vollstrom-Doppelverdünnungssystem den Teil vom Sondereintritt bis zum Sekundärverdünnungstunnel

Das Verbindungsrohr:

- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt,
- kann isoliert sein.

- SDT: Sekundärverdünnungstunnel (Abbildung 15)

Der Sekundärverdünnungstunnel sollte einen Durchmesser von mindestens 75 mm haben und so lang sein, dass die doppelt verdünnte Probe mindestens 0,25 Sekunden in ihm verweilt. Die Halterung des Hauptfilters FH darf sich in nicht mehr als 300 mm Abstand vom Ausgang des SDT befinden.

Der Sekundärverdünnungstunnel

- kann durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur vor Eintritt des Abgases in den Verdünnungstunnel 325 K (52 °C) nicht übersteigt,
- kann isoliert sein.

- FH: Filterhalter (Abbildungen 14 und 15)

Für die Haupt- und Nachfilter können entweder ein einziger Filterrahmen oder getrennte Filterrahmen verwendet werden. Die Vorschriften des Anhangs 4A Anlage 1 Absatz 1.5.1.3 müssen eingehalten sein.

Der (die) Filterhalter

- kann (können) durch Direktbeheizung oder durch Vorheizen der Verdünnungsluft bis auf eine Wandtemperatur von höchstens 325 K (52 °C) beheizt werden, vorausgesetzt, dass die Lufttemperatur 325 K (52 °C) nicht übersteigt,

- kann isoliert sein.

- P: Probenahmepumpe (Abbildungen 14 und 15)

Die Partikel-Probenahmepumpe muss genügend weit vom Tunnel entfernt sein, damit die Eintrittstemperatur des Gases konstant gehalten wird (± 3 K), wenn keine Korrektur des Durchsatzes durch FC3 erfolgt.

- DP: Verdünnungsluftpumpe (Abbildung 15) (nur bei Vollstrom-Doppelverdünnung)

Die Verdünnungsluftpumpe ist so anzuordnen, dass die sekundäre Verdünnungsluft mit einer Temperatur von 298 K (25 °C) ± 5 K zugeführt wird.

- FC3: Durchflussregler (Abbildungen 14 und 15)

Um eine Kompensation des Durchsatzes der Partikelprobe für Temperatur- und Gegendruckschwankungen im Probenweg zu erreichen, ist, falls keine anderen Mittel zur Verfügung stehen, ein Durchsatzregler zu verwenden. Bei Anwendung der elektronischen Durchsatzkompensation EFC (Abbildung 13) ist der Durchsatzregler erforderlich.

- FM3: Durchsatzmessgerät (Abbildungen 14 und 15) (Durchsatz der Partikelprobe)

Das Gas- oder Durchsatzmessgerät muss so weit von der Probenahmepumpe entfernt sein, dass die Temperatur des einströmenden Gases konstant bleibt (± 3 K), wenn keine Durchsatzkorrektur durch FC3 erfolgt.

- FM4: Durchsatzmessgerät (Abbildung 15) (Verdünnungsluft, nur Vollstrom-Doppelverdünnung)

Das Gas- oder Durchsatzmessgerät muss so angeordnet sein, dass die Temperatur des einströmenden Gases bei 298 K (25 °C) ± 5 K bleibt.

- BV: Kugelventil (fakultativ)

Der Durchmesser des Kugelventils darf nicht kleiner als der Innendurchmesser des Probenahmerohres sein, und die Schaltzeit darf höchstens 0,5 s betragen.

Hinweis: Beträgt die Umgebungstemperatur in der Nähe von PSP, PTT, SDT und FH weniger als 239 K (20 °C), so ist für eine Vermeidung von Partikelverlusten an den kühlen Wänden dieser Teile zu sorgen. Daher wird empfohlen, diese Teile innerhalb der in den jeweiligen Beschreibungen genannten Grenzwerte zu beheizen und/oder zu isolieren. Ferner wird empfohlen, die Filteranströmtemperatur während der Probenahme nicht unter 293 K (20 °C) absinken zu lassen.

Bei hoher Motorlast können die obengenannten Teile durch nichtaggressive Mittel wie beispielsweise einen Umlüfter gekühlt werden, solange die Temperatur des Kühlmittels nicht weniger als 293 K (20 °C) beträgt.

ANHANG 4 B

Prüfverfahren für Selbstzündungsmotoren für land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen und mobile Maschinen und Geräte, die nicht für den Straßenverkehr bestimmt sind, hinsichtlich der Emissionen von Schadstoffen aus dem Motor

1. FREI GELASSEN.
2. FREI GELASSEN.
3. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN, ZEICHEN UND ABKÜRZUNGEN
- 3.1. Begriffsbestimmungen
(siehe Absatz 2.1 dieser Regelung)
- 3.2. Allgemeine Symbole ⁽¹⁾

Zeichen	Einheit	Begriff
a_0	—	y-Achsabschnitt der Regressionsgeraden
a_1	—	Steigung der Regressionslinie
a_{sp}	rad/s ²	Ableitung der Motordrehzahl beim Sollwert
A/F_{st}	—	stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis
c	ppm, Volumenprozent	Konzentration (auch in $\mu\text{mol/mol} = \text{ppm}$)
D	—	Verdünnungsfaktor
d	m	Durchmesser
E	%	Umwandlungseffizienz
e	g/kWh	spezifische Grundlage für den Bremsbetrieb
e_{gas}	g/kWh	spezifische Emissionen gasförmiger Bestandteile
e_{PM}	g/kWh	spezifische Partikelemissionen
e_w	g/kWh	gewichtete spezifische Emissionen
F		Statistik der F-Prüfung
F	—	Häufigkeit der Regenerierungsvorgänge, ausgedrückt als Bruchteil der Prüfungen, bei denen Regenerierungsvorgänge anfallen.
f_a	—	atmosphärischer Faktor im Labor
k_r	—	zu multiplizierender Regenerationsfaktor
k_{Dr}	—	Faktor der Anpassung nach unten
k_{Ur}	—	Faktor der Anpassung nach oben
λ	—	Luftüberschussfaktor
L	—	Prozent Drehmoment
M_a	g/mol	Molmasse der Ansaugluft
M_e	g/mol	Molmasse des Abgases

⁽¹⁾ Besondere Zeichen finden sich in den Anhängen.

Zeichen	Einheit	Begriff
M_{gas}	g/mol	Molmasse der gasförmigen Bestandteile
m	kg	Masse
m_{gas}	g	Masse der gasförmigen Emissionen über den Zyklus
m_{PM}	g	Masse der Partikelemissionen über den Prüfzyklus
n	min ⁻¹	Motordrehzahl
n_{hi}	min ⁻¹	hohe Drehzahl
n_{lo}	min ⁻¹	niedrige Drehzahl
P	kW	Leistung
P_{max}	kW	festgestellte oder angegebene Höchstleistung bei Prüfdrehzahl unter Prüfbedingungen (Angabe des Herstellers)
P_{AUX}	kW	angegebene Gesamtleistungsaufnahme der für die Prüfung angebrachten Hilfseinrichtungen
p	kPa	Druck
p_a	kPa	trockener atmosphärischer Druck
PF	%	Durchlassanteil
q_{maw}	kg/s	Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht
q_{mdw}	kg/s	Massendurchsatz der Verdünnungsluft, feucht
q_{mdew}	kg/s	Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
q_{mew}	kg/s	Massendurchsatz des Abgases, feucht
q_{mf}	kg/s	Kraftstoffmassendurchsatz
q_{mp}	kg/s	Abgasprobenahmestrom am Eintritt des Teilstrom-Verdünnungssystems
q_V	m ³ /s	Volumendurchsatz
RF	—	Ansprechfaktor
r_d	—	Verdünnungsverhältnis
r^2	—	Bestimmungskoeffizient
ρ	kg/m ³	Dichte
σ	—	Standardabweichung
S	kW	Einstellwert des Leistungsprüfstands
SEE	—	Standardabweichung vom Schätzwert von y über x
T	°C	Temperatur
T_a	K	absolute Temperatur
T	N·m	Motordrehmoment
T_{sp}	N·m	gefordertes Drehmoment am jeweiligen Einstellpunkt
u	—	Verhältnis Dichte der Gasbestandteile/Abgasdichte

Zeichen	Einheit	Begriff
t	s	Uhrzeit
Δt	s	Zeitintervall
t_{10}	s	Zeit zwischen Sprungeingangssignal und 10 % der Endablesung
t_{50}	s	Zeit zwischen Sprungeingangssignal und 50 % der Endablesung
t_{90}	s	Zeit zwischen Sprungeingangssignal und 90 % der Endablesung
V	m ³	Volumen
W	kWh	Arbeit
y		generische Variable
$\bar{y}$		arithmetisches Mittel

3.3.

Indizes

abs	absolute Menge
act	tatsächliche Menge
air	Luftmenge
amb	umgebende Menge
atm	atmosphärische Menge
cor	berichtigte Menge
CFV	Venturi-Rohr mit kritischer Strömung
denorm	entnormierte Menge
dry	Trockenmenge
exp	erwartete Menge
filter	PM-Probenahmefilter
i	momentanes Messergebnis (z. B. 1 Hz)
i	einzelnes Exemplar aus einer Serie
idle	unter Leerlaufbedingungen
in	Eingangsmenge
leak	austretende Menge
max	Höchstwert (Spitzenwert)
meas	gemessene Menge
min	Mindestwert
mix	molare Luftmasse
out	Ausgangsmenge
PDP	Verdrängerpumpe
ref	Bezugsmenge
SSV	Venturirohr mit subsonischer Strömung
total	Gesamtmenge
uncor	unberichtigte Menge
vac	Vakuummenge
weight	Kalibrierungsgewicht
wet	Feuchtmenge

- 3.4. Zeichen und Abkürzungen für chemische Bestandteile (ebenfalls als Indizes verwendet)
(siehe Absatz 2.2.2 dieser Regelung)

- 3.5. Abkürzungen
(siehe Absatz 2.2.3 dieser Regelung)

4. ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN

Das Motorsystem muss so konstruiert, beschaffen und montiert sein, dass es den Bestimmungen dieser Regelung entspricht. Der Hersteller muss technische Vorkehrungen treffen, um die wirksame Begrenzung der genannten Emissionen gemäß dieser Regelung während der Lebensdauer des Motors und unter normalen Betriebsbedingungen zu gewährleisten. Hierzu müssen Motoren die Leistungsanforderungen des Absatzes 5 erfüllen, wenn sie unter den Bedingungen gemäß Absatz 6 und nach den Verfahren gemäß Absatz 7 geprüft werden.

5. LEISTUNGSANFORDERUNGEN

5.1. Allgemeine Anforderungen

5.1.1. Frei gelassen.⁽¹⁾

5.1.2. Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel

Schadstoffe sind:

a) Stickoxide, NO_x

b) Kohlenwasserstoffe, für die folgende Bezeichnungen verwendet werden können:

i) sämtliche Kohlenwasserstoffe, HC oder THC

ii) Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe, NMHC

c) Partikelmaterie, PM

d) Kohlenmonoxid, CO

Die gemessenen Werte für vom Motor ausgestoßene gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel beziehen sich auf die spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb in Gramm je Kilowattstunde (g/kWh). Mit geeigneter Umrechnung können auch andere Einheitensysteme verwendet werden.

Die Emissionen sind für die Arbeitszyklen (stationär und/oder dynamisch) gemäß der Beschreibung in Absatz 7 zu ermitteln. Die Messeinrichtungen müssen die mit Messgeräten nach Absatz 9 vorgenommenen Kalibrierungs- und Leistungsprüfungen nach Absatz 8 bestehen.

Andere Systeme oder Analysatoren können von der Typgenehmigungsbehörde zugelassen werden, wenn mit ihnen erwiesenermaßen gleichwertige Ergebnisse gemäß Absatz 5.1.3 erzielt werden.

5.1.3. Gleichwertigkeit

Die Gleichwertigkeit von Systemen ist durch eine einer sieben oder mehr Probenpaare umfassende Korrelationsstudie zwischen dem zu prüfenden System und einem der Bezugssysteme dieses Anhangs zu ermitteln.

„Ergebnisse“ sind hier die gewichteten Emissionswerte eines speziellen Zyklus. Die Korrelationsprüfungen sind im selben Labor, in derselben Prüfstelle, mit demselben Motor und vorzugsweise gleichzeitig durchzuführen. Die Gleichwertigkeit der Mittelwerte der Probenpaare ist, wie in Anhang 4B Anlage A.2 beschrieben, statistisch in der F-Prüfung und in der t-Prüfung zu ermitteln, wobei für den Prüfraum des Labors und den Motor die oben beschriebenen Bedingungen gelten. Ausreißer sind nach ISO 5725 festzustellen und bleiben unberücksichtigt. Die für die Korrelationsprüfungen heranzuziehenden Systeme müssen von der Typgenehmigungsbehörde genehmigt werden.

⁽¹⁾ Die Nummerierung der Absätze dieses Anhangs entspricht der der globalen technischen Regelung (GTR) 11 für mobile Maschinen und Geräte, die nicht für den Straßenverkehr bestimmt sind (NRMM). Einige Teile der GTR für NRMM werden für diesen Anhang jedoch nicht benötigt.

- 5.2. Freigelassen.
- 6. PRÜFBEDINGUNGEN
- 6.1. Laborbedingungen

Die absolute Temperatur (T_a) der Ansaugluft am Motoreinlass (in K) und der trockene atmosphärische Druck (p_s , in kPa) sind zu messen, und die Kennzahl f_a ist folgendermaßen zu bestimmen. Bei Mehrzylindermotoren mit mehreren separaten Ansaugkrümmern, z. B. bei Motoren mit V-förmiger Zylinderanordnung, ist mit der mittleren Temperatur in den Ansaugkrümmern zu rechnen. Der Parameter f_a ist zusammen mit den Prüfergebnissen festzuhalten. Zur besseren Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit wird empfohlen, den Parameter f_a in folgendem Bereich zu halten: $0,93 \leq f_a \leq 1,07$.

Saugmotoren und mechanisch aufgeladene Motoren:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \cdot \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0,7} \quad (6-1)$$

Motoren mit Turbolader, mit oder ohne Ladeluftkühlung:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T_a}{298}\right)^{1,5} \quad (6-2)$$

Die Temperatur der Ladeluft ist auf $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$, gemessen oberhalb aller Motorbauteile, zu halten.

Verwendet werden dürfen:

- a) ein gemeinsames Messgerät für den atmosphärischen Druck, sofern das Gerät zur Behandlung der Ansaugluft den Umgebungsdruck dort, wo der Motor getestet wird, mit einer Genauigkeit von ± 1 kPa auf dem Wert des gemeinsamen Luftdrucks hält;
- b) eine gemeinsame Feuchtigkeitsmessung für die Ansaugluft, sofern das Gerät zur Behandlung der Ansaugluft den Taupunkt dort, wo der Motor getestet wird, mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5^\circ\text{C}$ auf dem Wert der gemeinsamen Feuchtigkeitsmessung hält.

6.2. Motoren mit Ladeluftkühlung

- a) Es ist ein Ladeluftkühlsystem mit einer Ansaugluftkapazität zu verwenden, die repräsentativ für die Einsatzbedingungen des Serienmotors ist. Ein etwaiges Laborsystem zur Ladeluftkühlung muss für die Minimierung der Kondensatansammlung ausgelegt sein. Alle angesammelten Kondensate müssen abgeleitet werden und sämtliche Abläufe müssen vor der Emissionsprüfung vollständig geschlossen werden. Die Abläufe sind während der Emissionsprüfung geschlossen zu halten. Für das Kühlmittel sind folgende Bedingungen aufrechtzuerhalten:
 - i) Während der gesamten Prüfung ist am Einlass des Ladeluftkühlers eine Kühlmitteltemperatur von mindestens 20°C aufrechtzuerhalten.
 - ii) Bei den vom Hersteller angegebenen Betriebsbedingungen des Motors ist der Kühlmitteldurchsatz so einzustellen, dass die Lufttemperatur mit einer Genauigkeit von $\pm 5^\circ\text{C}$ dem vom Hersteller festgelegten Wert hinter dem Auslass des Ladeluftkühlers entspricht. Die Temperatur am Luftauslass ist an der vom Hersteller angegebenen Stelle zu messen. Dieser Einstellwert des Kühlmitteldurchsatzes ist bei der gesamten Prüfung zu verwenden. Falls vom Motorhersteller keine Betriebsbedingungen oder die entsprechende Temperatur am Luftauslass des Ladeluftkühlers angegeben werden, ist der Kühlmitteldurchsatz auf die Höchstleistung des Motors einzustellen, damit die Temperatur am Luftauslass des Ladeluftkühlers repräsentativ für den normalen Betrieb ist.
 - iii) Wenn der Motorhersteller Grenzwerte des Druckabfalls entlang der Ladeluftkühlung angibt, muss sichergestellt werden, dass sich der Druckabfall entlang der Ladeluftkühlung bei den vom Hersteller angegebenen Betriebsbedingungen innerhalb der vom Hersteller spezifizierten Grenze(n) befindet. Der Druckabfall ist an den vom Hersteller angegebenen Stellen zu messen.
- b) Die Ergebnisse der Emissionsprüfung sollen repräsentativ für den normalen Betrieb sein. Wenn nach bestem fachlichen Ermessen anzunehmen ist, dass die Bestimmungen dieses Abschnitts (etwa durch zu starke Kühlung der Ansaugluft) zu nicht repräsentativen Prüfungen führen würden, können komplexere Einstellungen und Steuerungen des Ladedruckabfalls, der Kühlmitteltemperatur und des Durchsatzes verwendet werden, um repräsentativere Ergebnisse zu erzielen.

- 6.3. Motorleistung
- 6.3.1. Grundlage für die Emissionsmessung
- Grundlage für die Messung der spezifischen Emissionen ist die unberichtete Leistung.
- 6.3.2. Anzubringende Hilfseinrichtungen
- Bei der Prüfung sind die zum Betrieb des Motors erforderlichen Hilfseinrichtungen nach den Vorschriften von Anhang 7 am Prüfstand anzubringen.
- 6.3.3. Auszubauende Hilfseinrichtungen
- Bestimmte Hilfseinrichtungen, die nur für den Betrieb der Maschine erforderlich sind und an den Motor angebaut werden können, sind für die Prüfung zu entfernen.
- Können Hilfseinrichtungen nicht abgebaut werden, dann kann die Leistung, die sie in unbelastetem Zustand aufnehmen, bestimmt und zu der gemessenen Motorleistung addiert werden (siehe Anmerkung g in der Tabelle in Anhang 7). Wenn dieser Wert 3 % der Maximalleistung bei Prüfdrehzahl übersteigt, kann er von der Typgenehmigungsbehörde überprüft werden. Die Leistungsaufnahme der Hilfseinrichtungen ist zur Anpassung der eingestellten Werte und zur Berechnung der vom Motor im Prüfzyklus geleisteten Arbeit heranzuziehen.
- 6.4. Ansaugluft des Motors
- 6.4.1. Vorbemerkung
- Es ist das am Motor angebrachte Ansaugsystem oder eines, das repräsentativ für eine typische Konfiguration im normalen Betrieb ist, zu verwenden. Dies schließt die Systeme zur Ladeluftkühlung und zur Abgasrückführung ein.
- 6.4.2. Ansaugdrosselung
- Es ist ein Motoransaugsystem oder ein Prüfstandsystem zu verwenden, dessen Drosselung um höchstens ± 300 Pa vom Höchstwert abweicht, den der Hersteller für einen sauberen Luftfilter bei Nenndrehzahl und Vollast angibt. Der statische Differenzialdruck der Drosselung muss an der vom Hersteller angegebenen Stelle und bei den von ihm angegebenen Drehzahl- und Drehmomenteinstellungen gemessen werden. Wird vom Hersteller keine Stelle angegeben, ist diese Druckmessung oberhalb der Verbindung eines etwaigen Turbolader- oder Abgasrückführungssystems mit dem Ansaugsystem vorzunehmen. Werden vom Hersteller keine Drehzahl- und Drehmomenteinstellungen vorgegeben, ist diese Druckmessung bei maximaler Motorleistung vorzunehmen.
- 6.5. Abgasanlage des Motors
- Es ist die am Motor angebrachte Abgasanlage oder eine, die repräsentativ für eine typische Konfiguration im normalen Betrieb ist, zu verwenden. Bei Nachbehandlungseinrichtungen ist die Drosselung vom Hersteller entsprechend der Nachbehandlungsbedingung (Fortschritt bzw. Höhe des Einlaufens/der Alterung und der Regenerierung/Beladung) festzulegen. Die Abgasanlage muss den Anforderungen für Abgasprobenahmen gemäß Absatz 9.3 genügen. Es ist eine Motor- oder Prüfstandabgasanlage zu verwenden, deren statischer Abgasgegendruck im Bereich zwischen 80 % und 100 % der maximalen Drosselung bei den vom Hersteller angegebenen Drehzahl- und Drehmomentwerten liegt. Beträgt die maximale Drosselung höchstens 5 kPa, darf der Einstellpunkt um nicht mehr als 1,0 kPa vom Maximalwert abweichen. Werden vom Hersteller keine Drehzahl- und Drehmomenteinstellungen vorgegeben, ist diese Druckmessung bei maximaler Motorleistung vorzunehmen.
- 6.6. Motor mit Abgasnachbehandlungssystem
- Ist der Motor mit einem Abgasnachbehandlungssystem ausgestattet, muss der Durchmesser des Auspuffrohrs über eine Strecke von mindestens vier Rohrdurchmessern oberhalb des Diffusors mit der Nachbehandlungseinrichtung ebenso groß sein wie am Fahrzeug. Der Abstand zwischen dem Austrittsflansch des Auspuffkrümmer oder des Turboladers und dem Abgasnachbehandlungssystem muss so groß sein wie am Fahrzeug oder muss innerhalb des vom Hersteller angegebenen Bereichs liegen. Für den Abgasgegendruck oder die Drosselung gelten die Bestimmungen der vorstehenden Absätze; sie können mithilfe eines Ventils eingestellt werden. Für Blindprüfungen und die Motorabbildung kann der Behälter der Nachbehandlungseinrichtung entfernt und durch einen gleichartigen Behälter mit inaktivem Katalysatorträger ersetzt werden.

Die über den Prüfzyklus gemessenen Emissionen müssen für die Emissionen im praktischen Betrieb repräsentativ sein. Ist der Motor mit einem Abgasnachbehandlungssystem ausgestattet, das ein sich verbrauchendes Reagens benötigt, so ist das für die Prüfungen zu verwendende Reagens vom Hersteller anzugeben.

Bei Motoren, die mit einem Abgasnachbehandlungssystem mit sporadischer (periodischer) Regenerierung nach Absatz 6.6.2 ausgestattet sind, müssen die gemessenen Emissionswerte korrigiert werden, um die Regenerierungsvorgänge zu berücksichtigen. In diesem Fall hängen die durchschnittlichen Emissionswerte von der Häufigkeit der Regenerierungsvorgänge ab, ausgedrückt als Bruchteil der Prüfungen, bei denen Regenerierungsvorgänge anfallen. Arbeitet das Abgasnachbehandlungssystem mit laufender Regenerierung nach Absatz 6.6.1, ist eine solche Korrektur nicht erforderlich.

6.6.1. Laufende Regenerierung

Arbeitet das Abgasnachbehandlungssystem mit laufender Regenerierung, so ist es vor der Messung zu stabilisieren, um gleichbleibendes Emissionsverhalten zu gewährleisten. Der Regenerierungsvorgang muss während der NRTC-Prüfung mit Warmstart oder der Prüfung im gestuften Mehrphasenzyklus (RMC-Prüfung) mindestens einmal ablaufen, und der Hersteller muss die Betriebsbedingungen angeben, die den Regenerierungsvorgang im Normalfall auslösen (Rußbelastung, Temperatur, Abgasgegendruck usw.). Um nachzuweisen, dass die Regenerierung laufend erfolgt, sind mindestens drei NRTC-Prüfungen mit Warmstart oder Prüfungen im gestuften Mehrphasenzyklus (RMC-Prüfungen) durchzuführen. Bei einer NRTC-Prüfung mit Warmstart muss der Motor gemäß Absatz 7.8.2.1 warmlaufen und gemäß Absatz 7.4.2 heiß abgestellt werden; anschließend ist die erste NRTC-Prüfung mit Warmstart durchzuführen. Vor den nachfolgenden NRTC-Prüfungen mit Warmstart muss der Motor gemäß Absatz 7.4.2 heiß ausgeschaltet werden. Während der Prüfungen sind die Abgastemperatur und der Abgasdruck (Temperatur vor und nach dem Abgasnachbehandlungssystem, Abgasgegendruck usw.) aufzuzeichnen. Das Abgasnachbehandlungssystem erfüllt die Anforderungen, wenn die vom Hersteller angegebenen Bedingungen während der Prüfung ausreichend lange herrschen und die Streuung bei den gemessenen Emissionswerten nicht größer ist als $\pm 25\%$ oder 0,005 g/kWh, je nachdem welcher Wert höher ist. Wenn das Abgasnachbehandlungssystem einen Sicherheitsmodus hat, der in einen Modus mit seltenen (periodischen) Regenerierungen schaltet, ist es gemäß Absatz 6.6.2 zu prüfen. Für diesen speziellen Fall können die geltenden Emissionsgrenzen überschritten werden und es wird keine Wichtung vorgenommen.

6.6.2. Seltene (periodische) Regenerierung

Diese Vorschrift gilt nur für Motoren, deren emissionsmindernde Einrichtungen periodisch regeneriert werden. Für Motoren, die einem Einzel-Prüfzyklus unterzogen werden, kann dieses Verfahren nicht angewandt werden.

Die Emissionen sind bei mindestens drei NRTC-Prüfungen mit Warmstart oder Prüfungen im gestuften Mehrphasenzyklus (RMC-Prüfungen), davon je eine mit und zwei ohne Regenerierung, an einem stabilisierten Nachbehandlungssystem zu messen. Der Regenerierungsvorgang muss während der NRTC- oder RMC-Prüfung mindestens einmal ablaufen. Wenn sich die Regenerierung über mehr als eine NRTC- oder RMC-Prüfung erstreckt, müssen weitere NRTC- oder RMC-Prüfungen durchgeführt und die Messung der Emissionen ohne Motorabschaltung bis zum Abschluss der Regeneration fortgesetzt werden; anschließend ist der Mittelwert der Prüfungen zu berechnen. Wenn die Regenerierung während einer Prüfung abgeschlossen wird, muss die Prüfung in ihrer vollen Länge zu Ende geführt werden. Der Motor kann mit einem Schalter ausgestattet sein, der die Regenerierung verhindert oder ermöglicht, sofern dies ohne Einfluss auf die ursprüngliche Motorkalibrierung bleibt.

Der Hersteller muss die Parameter, die den Regenerierungsvorgang im Normalfall auslösen (Rußbelastung, Temperatur, Abgasgegendruck usw.) angeben. Der Hersteller muss ferner die Häufigkeit des Regenerierungsvorgangs als Anzahl der Prüfungen, in denen eine Regenerierung erfolgt, angeben. Das genaue Verfahren für die Ermittlung dieser Häufigkeit ist von der Typgenehmigungsbehörde nach bestem fachlichen Ermessen abzustimmen.

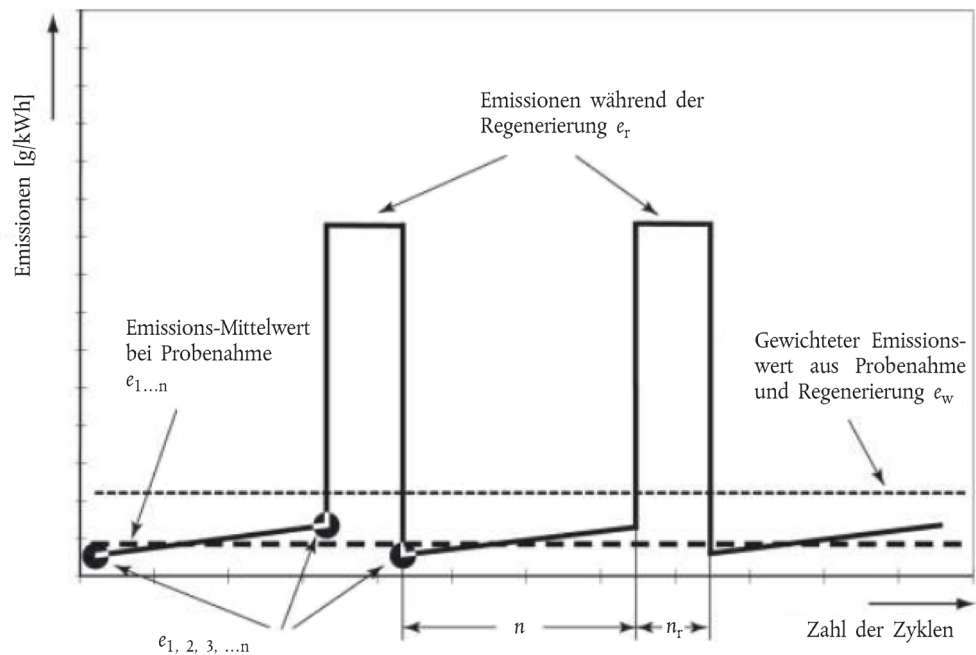
Für eine Regenerierungsprüfung muss der Hersteller ein schadstoffbeladenes Nachbehandlungssystem zur Verfügung stellen. Während der Motorkonditionierung darf keine Regenerierung stattfinden. Der Hersteller kann wahlweise aufeinanderfolgende NRTC-Prüfungen mit Warmstart oder RMC-Prüfungen durchführen, bis das Nachbehandlungssystem mit Schadstoffen beladen ist. Eine Emissionsmessung ist nicht bei allen Prüfungen erforderlich.

Die mittleren Emissionswerte zwischen zwei Regenerierungen sind das arithmetische Mittel der Ergebnisse mehrerer in annähernd gleichen Zeitabständen durchgeführter NRTC-Prüfungen mit Warmstart oder RMC-Prüfungen. Es sind mindestens eine NRTC-Prüfung mit Warmstart oder eine RMC-Prüfung möglichst kurz vor einer Regenerierungsprüfung und eine NRTC-Prüfung mit Warmstart oder RMC-Prüfung unmittelbar nach einer Regenerierungsprüfung durchzuführen.

Während der Regenerierungsprüfung sind alle zur Erkennung eines Regenerierungsvorgangs notwendigen Daten (CO- und NO_x-Emissionen, Temperatur vor und nach der Abgasnachbehandlungsanlage, Abgasgegendruck usw.) aufzuzeichnen. Während des Regenerierungsvorgangs können die geltenden Emissionsgrenzwerte überschritten werden. Das Prüfverfahren ist in Abbildung 6.1 schematisch dargestellt.

Abbildung 6.1

Schematische Darstellung der sporadischen (periodischen) Regenerierung, wobei n = Anzahl der Messungen und n_r = Anzahl der Messungen während der Regenerierung



Der durchschnittliche Emissionswert für den Warmstart $\bar{e}_w$ [g/kWh] ist wie folgt zu wichten (siehe Abbildung 6.1):

$$\bar{e}_w = \frac{n \cdot \bar{e} + n_r \cdot \bar{e}_r}{n + n_r} \quad (6-3)$$

Dabei gilt:

n = Anzahl der Prüfungen, bei denen keine Regenerierung stattfindet

n_r = Anzahl der Prüfungen, bei denen eine Regenerierung stattfindet (mindestens eine Prüfung)

$\bar{e}$ = bei einer Prüfung ohne Regenerierung ermittelter durchschnittlicher spezifischer Emissionswert [g/kWh]

$\bar{e}_r$ = bei einer Prüfung ohne Regenerierung ermittelter durchschnittlicher spezifischer Emissionswert [g/kWh]

Nach Wahl des Herstellers kann der Regenerierungsfaktor k_r , der den durchschnittlichen Emissionswert angibt, nach bestem fachlichen Ermessen entweder multiplikativ oder additiv nach folgenden Formeln ermittelt werden:

multiplikativ:

$$k_{Ur} = \frac{\bar{e}_w}{\bar{e}} \text{ (Faktor der Anpassung nach oben)} \quad (6-4a)$$

$$k_{Dr} = \frac{\bar{e}_w}{\bar{e}_r} \text{ (Faktor der Anpassung nach unten)} \quad (6-4b)$$

Additiv

$$k_{Ur} = \bar{e}_w - \bar{e} \text{ (Faktor der Anpassung nach oben)} \quad (6-5)$$

$$k_{Dr} = \bar{e}_w - \bar{e}_r \text{ (Faktor der Anpassung nach unten)} \quad (6-6)$$

Die Faktoren der Anpassung nach oben werden mit den gemessenen Emissionswerten für alle Prüfungen, bei denen keine Regeneration stattgefunden hat, multipliziert oder zu ihnen hinzuaddiert. Die Faktoren der Anpassung nach unten werden mit den gemessenen Emissionswerten für alle Prüfungen, bei denen eine Regeneration stattfindet, multipliziert oder zu ihnen hinzuaddiert. Eine erfolgte Regenerierung ist so kenntlich zu machen, dass sie während der gesamten Prüfung leicht erkennbar ist. Ist keine Regenerierung angegeben, ist der Faktor der Anpassung nach oben anzuwenden.

Gemäß Anhang 4B, Anlagen A.7-8 zur Berechnung der spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb gilt für den Regenerierungsfaktor Folgendes:

- a) Er ist auf die Ergebnisse der gewichteten NRTC-Prüfung und der RMC-Prüfungen anzuwenden.
- b) Er kann auf die gestuften Mehrphasenzyklen und die NRTC-Prüfung mit Kaltstart angewendet werden, wenn im Zyklus eine Regenerierung stattfindet.
- c) Er kann für andere Motoren derselben Familie übernommen werden.
- d) Er kann mit vorheriger Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde für andere Motorenfamilien übernommen werden, die mit demselben Abgasnachbehandlungssystem ausgerüstet sind, wenn der Hersteller anhand technischer Unterlagen nachweist, dass deren Emissionen ähnlich sind.

Folgende Optionen sind zu berücksichtigen:

- a) Ein Hersteller kann für eine oder mehrere seiner Motorenfamilien (oder Konfigurationen) auf Anpassungsfaktoren verzichten, weil die Auswirkungen der Regenerierung geringfügig sind oder aus praktischen Gründen nicht feststellbar ist, wann eine Regenerierung stattfindet. In diesen Fällen ist kein Anpassungsfaktor zu verwenden, und der Hersteller ist dafür verantwortlich, dass die Emissionsgrenzwerte bei allen Prüfungen ohne Berücksichtigung etwaiger Regenerierungen eingehalten werden.
- b) Auf Antrag des Herstellers kann die Typgenehmigungs- oder Zertifizierungsbehörde Regenerierungsvorgänge anders als gemäß Buchstabe a berücksichtigen. Dies gilt jedoch nur für Regenerierungsvorgänge, die extrem selten auftreten und mit den unter Buchstabe a beschriebenen Anpassungsfaktoren in der Praxis nicht zu erfassen sind.

6.7. Kühlsystem

Es ist ein Motorkühlsystem mit ausreichender Kapazität zu verwenden, damit bei der Temperatur der Ansaugluft, des Öls, des Kühlmittels des Motorblocks und des Zylinderkopfes die vom Hersteller vorgegebenen Werte für den normalen Betrieb des Motors eingehalten werden können. Im Labor können Hilfskühlsysteme und -ventilatoren verwendet werden.

6.8. Schmieröl

Das zu verwendende Schmieröl ist vom Hersteller zu spezifizieren und muss für handelsübliche Schmieröle repräsentativ sein. Die Kenndaten des für die Prüfung verwendeten Schmieröls sind mit den Prüfergebnissen festzuhalten und darzustellen.

6.9. Spezifikation des Bezugskraftstoffs

Der Bezugskraftstoff ist in Anhang 6 Tabelle 3 angegeben.

Die Kraftstofftemperatur richtet sich nach den Empfehlungen des Herstellers. Die Kraftstofftemperatur muss am Einlass der Kraftstoffeinspritzpumpe oder nach Vorschrift des Herstellers gemessen werden, und die Stelle der Messung ist aufzuzeichnen.

6.10. Kurbelgehäuseemissionen

Eine Kurbelgehäuseemission direkt in die Umgebungsluft ist nicht zulässig, abgesehen von folgender Ausnahme: Motoren mit Turbolader, Pumpen, Gebläse oder Auflader für die Luftansaugung dürfen Kurbelgehäuseemissionen in die Umgebungsluft freigeben, wenn diese während der gesamten Emissionsprüfung den Abgasemissionen (physisch oder rechnerisch) hinzugefügt werden. Die Hersteller, die von dieser Ausnahme Gebrauch machen wollen, müssen die Motoren so aufbauen, dass die gesamten Kurbelgehäuseemissionen in das System der Emissionsprobenahme geleitet werden können. Für die Zwecke dieses Absatzes werden Kurbelgehäuseemissionen, die während des gesamten Betriebs vor der Abgasnachbehandlung in den Auspuff geleitet werden, nicht als direkt in die Umgebungsluft geleitet betrachtet.

Emissionen aus dem offenen Kurbelgehäuse müssen für die Emissionsmessung wie folgt in das Auspuffsystem geleitet werden:

- a) Das Rohrleitungsmaterial muss glatt, elektrisch leitend und gegen Kurbelgehäuseemissionen resistent sein. Rohrlängen müssen so kurz wie möglich gehalten werden.
- b) Im Laboraufbau muss die Anzahl der Krümmungen der Rohrleitungen des Kurbelgehäuses so klein wie möglich gehalten werden und der Radius jeder unvermeidbaren Krümmung muss so groß wie möglich ausgeführt werden.
- c) Im Laboraufbau müssen die Rohrleitungen des Kurbelgehäuses den Angaben des Herstellers für den Gegendruck im Kurbelgehäuse entsprechen.
- d) Die Entlüftungsrohre des Kurbelgehäuses müssen mit dem Rohabgassystem unterhalb aller Nachbehandlungssysteme und einer etwaigen Abgasdrossel sowie hinreichend oberhalb jeder Probenahmesonde zugeleitet werden, um vor der Probenahme eine vollkommene Mischung mit den Motorabgasen zu gewährleisten. Das Abgasrohr des Kurbelgehäuses muss in den freien Strom der Abgase hineinragen, um Randschichteffekte zu vermeiden und die Vermischung zu fördern. Der Auslass des Abgasrohres des Kurbelgehäuses kann, bezogen auf die Strömungsrichtung des Rohabgases, beliebig gerichtet sein.

7. PRÜFVERFAHREN

7.1. Vorbemerkung

In diesem Absatz wird das Verfahren zur Messung der für den Bremsbetrieb spezifischen Emissionen gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus den zu prüfenden Motoren beschrieben. Beim Prüfmotor muss es sich um die Stammmotorkonfiguration für die Motorenfamilie gemäß Absatz 5.2 handeln.

Eine Emissionsprüfung im Labor besteht aus der Messung der Emissionen und anderen, in diesem Anhang aufgeführten Parametern für die Prüfzyklen. Folgende Aspekte werden (im vorliegenden Anhang 4B) behandelt:

- a) die Laboranordnungen zur Messung der spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb (Absatz 7.2)
- b) die Verfahren für die Überprüfung vor und nach der Prüfung (Absatz 7.3)
- c) die Prüfzyklen (Absatz 7.4)
- d) die allgemeine Prüffolge (Absatz 7.5)
- e) die Motorabbildung (Absatz 7.6)
- f) die Erstellung der Prüfzyklen (Absatz 7.7)
- g) das Durchführungsverfahren für die spezifischen Prüfungen (Absatz 7.8)

7.2. Prinzip der Emissionsmessung

Für die Messung der spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb muss der Motor die entsprechenden, in Absatz 7.4 definierten Prüfzyklen durchlaufen. Die Messung der bremspezifischen Emissionen erfordert die Bestimmung der Masse der im Abgas enthaltenen Bestandteile (d. h. HC, NMHC, CO, NO_x und PM) und der entsprechenden Arbeit des Motors.

7.2.1. Masse der Bestandteile

Die Gesamtmasse jedes Bestandteils ist im jeweiligen Testzyklus mithilfe folgender Methoden zu bestimmen.

7.2.1.1. Kontinuierliche Probenahme

Bei der kontinuierlichen Probenahme wird die Konzentration des Bestandteils fortlaufend im Rohabgas oder im verdünnten Abgas gemessen. Dieser Konzentrationswert wird dann mit dem an der Emissionsprobenentnahmestelle vorhandenen kontinuierlichen Durchsatz des Rohabgases oder des verdünnten Abgases multipliziert, um den Durchsatz des Bestandteils zu bestimmen. Die Emission des Bestandteils wird kontinuierlich über den Prüfabschnitt aufsummiert. Diese Summe ergibt die Gesamtmasse des emittierten Bestandteils.

7.2.1.2. Stichprobenahme

Bei der Stichprobenahme wird fortlaufend eine Stichprobe des Rohabgases oder des verdünnten Abgases entnommen und für spätere Messungen aufbewahrt. Die entnommene Probe muss proportional zum Durchsatz des Rohabgases oder des verdünnten Abgases sein. Beispiele solcher Stichprobenahmen sind das Einsammeln verdünnter gasförmiger Emissionen in einem Beutel und das Ansammeln von PM an einem Filter. Die Emissionsberechnung geschieht grundsätzlich nach folgender Methode: Die eingesammelten Konzentrationen werden mit dem Gesamtwert der Masse oder des Massedurchsatzes des Rohabgases oder des verdünnten Abgases multipliziert, aus denen sie während des Prüfzyklus entnommen worden sind. Dies ergibt die Gesamtmasse bzw. den gesamten Massendurchsatz des emittierten Bestandteils. Zur Berechnung der Feinstaubkonzentration wird die aus einem proportional entnommenen Abgas an einem Filter abgelagerte Feinstaubmasse durch die Menge des gefilterten Abgases dividiert.

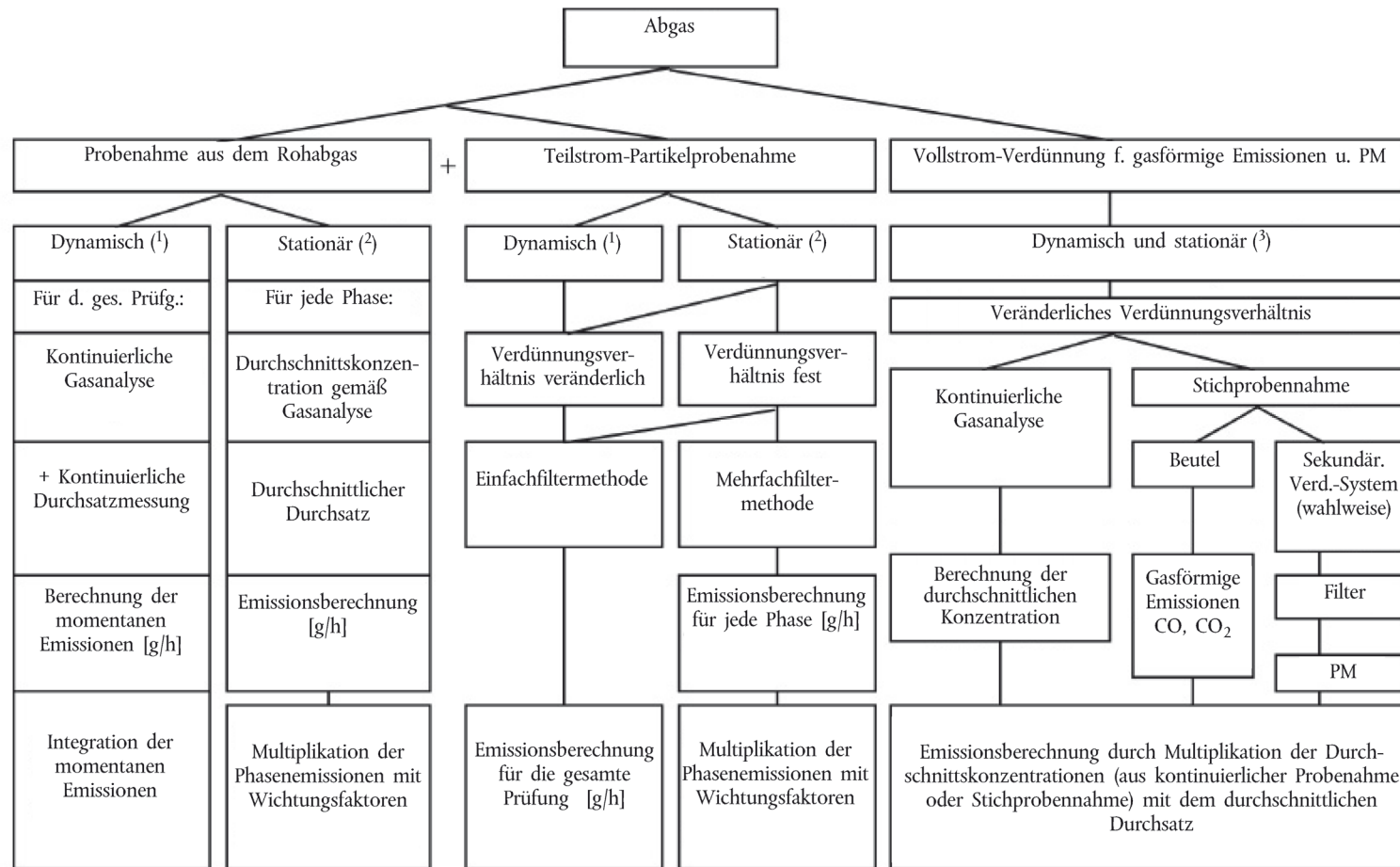
7.2.1.3. Kombinierte Probenahme

Alle Kombinationen aus kontinuierlicher Probenahme und Stichprobenahme sind zulässig (z. B. PM mittels Stichprobenahme und gasförmige Emissionen mittels kontinuierlicher Probenahme).

In der nachfolgenden Abbildung 7.1 sind die beiden Aspekte der Prüfverfahren zur Emissionsmessung, nämlich die Probenahmeleitungen im Rohabgas und im verdünnten Abgas sowie die zur Berechnung der Schadstoffemissionen in den stationären und dynamischen Prüfzyklen erforderlichen Operationen, dargestellt.

Abbildung 7.1

Prüfverfahren für die Emissionsmessung



⁽¹⁾ Dynamischer und gestufter Mehrphasenprüfzyklus.

⁽²⁾ Stationärer Prüfzyklus mit Einzelphasen.

⁽³⁾ Dynamischer Prüfzyklus, gestufter Mehrphasenprüfzyklus und stationärer Prüfzyklus mit Einzelphasen.

Anmerkung zu Abbildung 7.1: Der Begriff „Teilstrom-PM-Probenahme“ umfasst die Teilstromverdünnung, so dass nur Rohabgas mit festem oder veränderlichem Verdünnungsverhältnis entnommen wird.

7.2.2. Bestimmung der Arbeit

Die Arbeit ist über den Prüfzyklus zu bestimmen, indem durch synchrones Multiplizieren von Drehzahl und Bremsmoment Momentanwerte der Bremsleistung des Motors berechnet werden. Die Bremsleistung des Motors ist zur Ermittlung der Gesamtarbeit über den Prüfzyklus zu integrieren.

7.3. Überprüfung und Kalibrierung

7.3.1. Vor der Prüfung auszuführende Arbeiten

7.3.1.1. Konditionierung

Um stabile Bedingungen herzustellen, sind das Probenahmesystem und der Motor vor Beginn einer Prüfungsfolge nach den Absätzen 7.3 und 7.4 zu konditionieren. Auf die Konditionierung zur Abkühlung des Motors für eine dynamische Prüfung mit Kaltstart wird im Absatz 7.4.2 gesondert hingewiesen.

7.3.1.2. Überprüfung der HC-Kontaminierung

Ist eine erhebliche Kontaminierung des Abgasmesssystems mit HC zu vermuten, kann diese mit Nullgas geprüft und anschließend eine Korrektur vorgenommen werden. Soll das Ausmaß der Kontaminierung des Messsystems und des Hintergrund-HC-Systems überprüft werden, so muss dies innerhalb von 8 Stunden vor dem Beginn des jeweiligen Prüfzyklus geschehen. Die Werte sind zwecks späterer Korrektur aufzuzeichnen. Vor der Überprüfung sind die Dichtigkeitsprüfung durchzuführen und der FID-Analysator zu kalibrieren.

7.3.1.3. Vorbereiten der Messgeräte auf die Probenahmen

Folgende Schritte sind zu unternehmen, bevor die Emissionsprobenahme beginnt:

- a) Binnen 8 Stunden vor der Emissionsprobenahme muss eine Dichtigkeitsprüfung gemäß Absatz 8.1.8.7 durchgeführt werden.
- b) Für Stichprobenahmen müssen saubere Speichermittel angebracht werden, zum Beispiel luftleere Beutel oder taragewägte Filter.
- c) Alle Messgeräte müssen gemäß den Anweisungen des Herstellers und nach bestem fachlichen Ermessen in Betrieb genommen werden.
- d) Die Verdünnungssysteme, Probenahmepumpen, Kühlgebläse und Datenerfassungsgeräte müssen eingeschaltet werden.
- e) Die Probendurchsätze müssen auf die gewünschten Pegel eingestellt werden, falls erwünscht unter Einsatz von Nebenstrom.
- f) Wärmetauscher im Probenahmesystem müssen vorgewärmt oder vorgekühlt werden, um sie für die jeweilige Prüfung in ihren Betriebstemperaturbereich zu bringen.
- g) Es muss hinreichend Zeit vorgesehen werden, damit erwärmte oder gekühlte Komponenten wie Entnahmeleitungen, Filter, Kühler und Pumpen ihre Betriebstemperatur stabil erreichen.
- h) Die Strömung des Abgasverdünnungssystems muss mindestens 10 Minuten vor einer Prüfsequenz eingeschaltet werden.
- i) Die Kalibrierung der Gasanalysatoren und die Einstellung der kontinuierlichen Analysatoren auf Null sind nach dem Verfahren in Absatz 7.3.1.4 vorzunehmen.
- j) Jeder elektronische Integrator muss vor jedem Prüfabschnitt auf Null gesetzt werden.

7.3.1.4. Kalibrierung der Gasanalysatoren

Für die Gasanalysatoren sind die geeigneten Arbeitsbereiche einzustellen. Es sind Emissionsanalysatoren mit automatischer oder manueller Bereichsumschaltung zulässig. Während einer Prüfung im gestuften Mehrphasenzyklus oder einer NRTC-Prüfung sowie während der Entnahme einer Probe von gasförmigen Emissionen am Ende jeder Phase bei Prüfungen mit Einzelprüfzyklen dürfen die Emissionsanalysatoren nicht auf einen anderen Arbeitsbereich umgeschaltet werden. Auch die Verstärkungseinstellung eines oder mehrerer analoger Operationsverstärker eines Analysators darf während des Prüfzyklus nicht umgeschaltet werden.

Alle kontinuierlichen Analysatoren sind auf Null zu stellen, und der Messbereich ist einzustellen; hierfür sind auf internationale Normen zurückführbare Gase zu verwenden, die den Anforderungen von Absatz 9.5.1 genügen. Bei FID-Analysatoren ist der Messbereich auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins (C_1) einzustellen.

7.3.1.5. Vorkonditionierung und Tarawägung der PM-Filter

Für die Vorkonditionierung und Tarawägung der PM-Filter sind die Verfahren nach Absatz 8.2.3 einzuhalten.

7.3.2. Verfahren nach der Prüfung

Folgende Schritte sind nach Abschluss der Emissionsprobenahme zu unternehmen:

7.3.2.1. Überprüfung der Verhältnisgleichheit der Probenahmen

Für jede verhältnisgleiche Stichprobe wie eine Beutel- oder eine PM-Probe muss überprüft werden, dass eine verhältnisgleiche Probenahme nach Absatz 8.2.1 eingehalten worden ist. Bei der Einzelfiltermethode und der stationären Prüfung mit Einzelzyklen ist ein effektiver PM-Wichtungsfaktor zu berechnen. Jede Probe, die den Anforderungen von Absatz 8.2.1 nicht genügt, ist zu verwerfen.

7.3.2.2. Konditionieren und Wägen von Feinstaub nach der Prüfung

Benutzte PM-Filter müssen in abgedeckten oder verschlossenen Behältern aufbewahrt werden, oder die Filterträger müssen verschlossen sein, damit die Probefilter vor Kontaminierung durch die Umwelt geschützt sind. Die so geschützten beladenen Filter sind in die Konditionierungskammer oder den Konditionierungsraum für die PM-Filter zurückzubringen. Anschließend sind die PM-Filter nach Absatz 8.2.4 (Nachkonditionierung und Gesamtwägung der PM-Filter) zu konditionieren und zu wägen.

7.3.2.3. Analyse gasförmiger Stichproben

Sobald wie möglich ist Folgendes durchzuführen:

- a) Um nachzuprüfen, ob die Gasanalysatoren noch stabil sind, sind alle Gasprobenanalysatoren spätestens 30 Minuten nach Abschluss des Prüfzyklus oder, wenn möglich, während der Heißabstellphase auf Null zu stellen, und ihr Messbereich ist einzustellen.
- b) Konventionelle gasförmige Stichproben sind bis spätestens 30 Minuten nach Abschluss des Prüfzyklus mit Warmstart oder während der Heißabstellphase zu analysieren.
- c) die Hintergrundproben müssen spätestens 60 Minuten nach dem Abschluss des Prüfzyklus mit Warmstart analysiert werden.

7.3.2.4. Driftüberprüfung

Nach Quantifizierung der Abgase ist die Drift wie folgt zu überprüfen:

- a) Für Gasprobenanalysatoren und kontinuierliche Gasanalysatoren ist der mittlere Ablesewert aufzuzeichnen, nachdem der Analysator mithilfe eines Nullgases stabilisiert wurde. Die Stabilisierungszeit kann die Zeit, die vergeht, bis der Analysator völlig frei von Probegas ist, sowie die Ansprechzeit des Analysators berücksichtigen.
- b) Nach Stabilisierung des Analysators mit dem Justiergas ist der mittlere Ablesewert aufzuzeichnen. Die Stabilisierungszeit kann die Zeit, die vergeht, bis der Analysator völlig frei von Probegas ist, sowie die Ansprechzeit des Analysators berücksichtigen.
- c) Diese Daten sind zur Validierung und zur Korrektur der Drift gemäß Absatz 8.2.2. heranzuziehen.

7.4. Prüfzyklen

Folgende Prüfzyklen werden angewendet:

- a) für Motoren mit veränderlicher Drehzahl der 8-Phasen-Zyklus oder der entsprechende gestufte Mehrphasenzyklus sowie der dynamische NRTC-Zyklus gemäß Anhang 5,
- b) für Motoren mit fester Drehzahl der 5-Phasen-Zyklus oder der entsprechende gestufte Mehrphasenzyklus gemäß Anhang 5.

7.4.1. Stationäre Prüfzyklen

Die stationären Prüfzyklen sind in Anhang 5 als Liste von Einzelprüfzyklen (Betriebspunkten) dargestellt, in der jedem Betriebspunkt ein Drehzahl- und ein Drehmomentwert entspricht. Ein stationärer Prüfzyklus ist mit einem nach Herstellerangaben aufgewärmten und laufenden Motor zu messen. Ein stationärer Prüfzyklus kann, wie in den nachfolgenden Absätzen erläutert, als Prüfzyklus mit Einzelphasen oder als gestufter Mehrphasenzyklus durchgeführt werden.

7.4.1.1. Stationäre Prüfzyklen mit Einzelphasen

Der stationäre Prüfzyklus mit 8 Einzelphasen besteht aus 8 Drehzahl- und Belastungsphasen (mit dem Wichtungsfaktor für die jeweilige Phase), die den typischen Betriebsbereich von Motoren mit veränderlicher Drehzahl abdecken. Der Zyklus ist in Tabelle 5 dargestellt.

Der stationäre Prüfzyklus mit 5 Einzelphasen mit fester Drehzahl besteht aus 5 Belastungsphasen (mit dem Wichtungsfaktor für die jeweilige Phase), allesamt bei Nenndrehzahl, die den typischen Betriebsbereich von Motoren mit fester Drehzahl abdecken. Der Zyklus ist in Tabelle 5 dargestellt.

7.4.1.2. Gestufte stationäre Prüfzyklen

Die gestuften Mehrphasenprüfzyklen (RMC) werden mit warmgelaufenem Motor durchgeführt; die Emissionsmessung beginnt nach Anlassen und Warmlaufen des Motors, wenn dieser die Betriebsbedingungen nach Absatz 7.8.2.1 erreicht hat. Der Motor ist während des gesamten RMC-Prüfzyklus durch das Prüfstand-Steuergerät zu steuern. Die Messung der gasförmigen Emissionen und der Partikelemissionen sowie die Probenahme erfolgt im RMC-Prüfzyklus kontinuierlich wie in einem dynamischen Zyklus.

Bei einem 5-Phasen-Prüfzyklus besteht der RMC aus denselben Phasen in derselben Reihenfolge wie der entsprechende stationäre Einzelphasen-Prüfzyklus. Beim 8-Phasen-Prüfzyklus umfasst der RMC eine Phase mehr (geteilte Leerlaufphase) und die Phasenabfolge ist nicht dieselbe wie im entsprechenden stationären Einzelphasen-Prüfzyklus, damit es in der Nachbehandlungseinrichtung zu keinen extremen Temperaturschwankungen kommt. Die Länge der Phasen ist in Abhängigkeit von den Wichtungsfaktoren der entsprechenden stationären Einzelphasen-Prüfzyklen zu wählen. Der Wechsel der Motordrehzahl und -belastung beim Übergang von einer Phase zur anderen muss innerhalb von 20 ± 1 s linear erfolgen. Die Zeit für den Phasenwechsel ist Teil der neuen Phase (dies gilt auch für die erste Phase).

7.4.2. Dynamischer Prüfzyklus (NRTC)

Der dynamische Prüfzyklus für mobile Maschinen und Geräte ist in der Anlage 5 als eine Folge von im Sekundenabstand wechselnden normierten Drehzahl- und Drehmomentwerten dargestellt. Zur Durchführung der Prüfung in einer Prüfzelle sind die normierten Werte mithilfe der spezifischen Drehzahl- und Drehmomentwerte in der Motorabbildungskurve in die entsprechenden Bezugswerte für den zu prüfenden Motor umzurechnen. Diese Umrechnung wird als Entnormierung bezeichnet, und der so ermittelte Prüfzyklus ist der NRTC-Bezugszyklus für den zu prüfenden Motor (siehe Absatz 7.7.2).

Anhang 5 enthält eine grafische Darstellung des normierten NRTC-Ablaufplans für den Leistungsprüfstand.

Der dynamische Prüfzyklus ist zweimal durchzuführen (siehe Absatz 7.8.3.):

- a) mit Kaltstart nach natürlicher Abkühlung des Motors und der Nachbehandlungssysteme auf Raumtemperatur oder mit Kaltstart nach Zwangsabkühlung und nachdem sich die Temperatur des Motors, des Kühlmittels, des Öls, des Nachbehandlungssystems und aller Motorsteuerungseinrichtungen bei 20 °C bis 30 °C stabilisiert hat. Die Messung der Emissionen beim Kaltstart beginnt mit dem Anspringen des kalten Motors.
- b) Heißabstellphase – unmittelbar nach Abschluss der Phase mit Kaltstart ist der Motor für die Warmstartprüfung mit einer Heißabstellphase von 20 ± 1 Minute zu konditionieren.
- c) Der Warmstart beginnt unmittelbar nach der Phase mit Kaltstart mit dem Anlassen des Motors. Die Gasanalysatoren sind spätestens 10 s vor dem Ende der Heißabstellphase einzuschalten, damit Ausschläge des Signals durch die Umschaltung vermieden werden. Die Emissionsmessung muss parallel mit dem Beginn der Phase mit Warmstart einschließlich des Anlassvorgangs beginnen.

Die spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb (in g/kWh) sind mithilfe der in diesem Abschnitt festgelegten Verfahren sowohl für den Zyklus mit Kaltstart als auch für den Zyklus mit Warmstart zu bestimmen. Es ist ein gewichteter Emissionsmischwert zu berechnen, indem, wie in Anhang 4B Anlagen A.7 und A.8 ausgeführt, die Kaltstartergebnisse mit 10 % und die Warmstartergebnisse mit 90 % gewichtet werden.

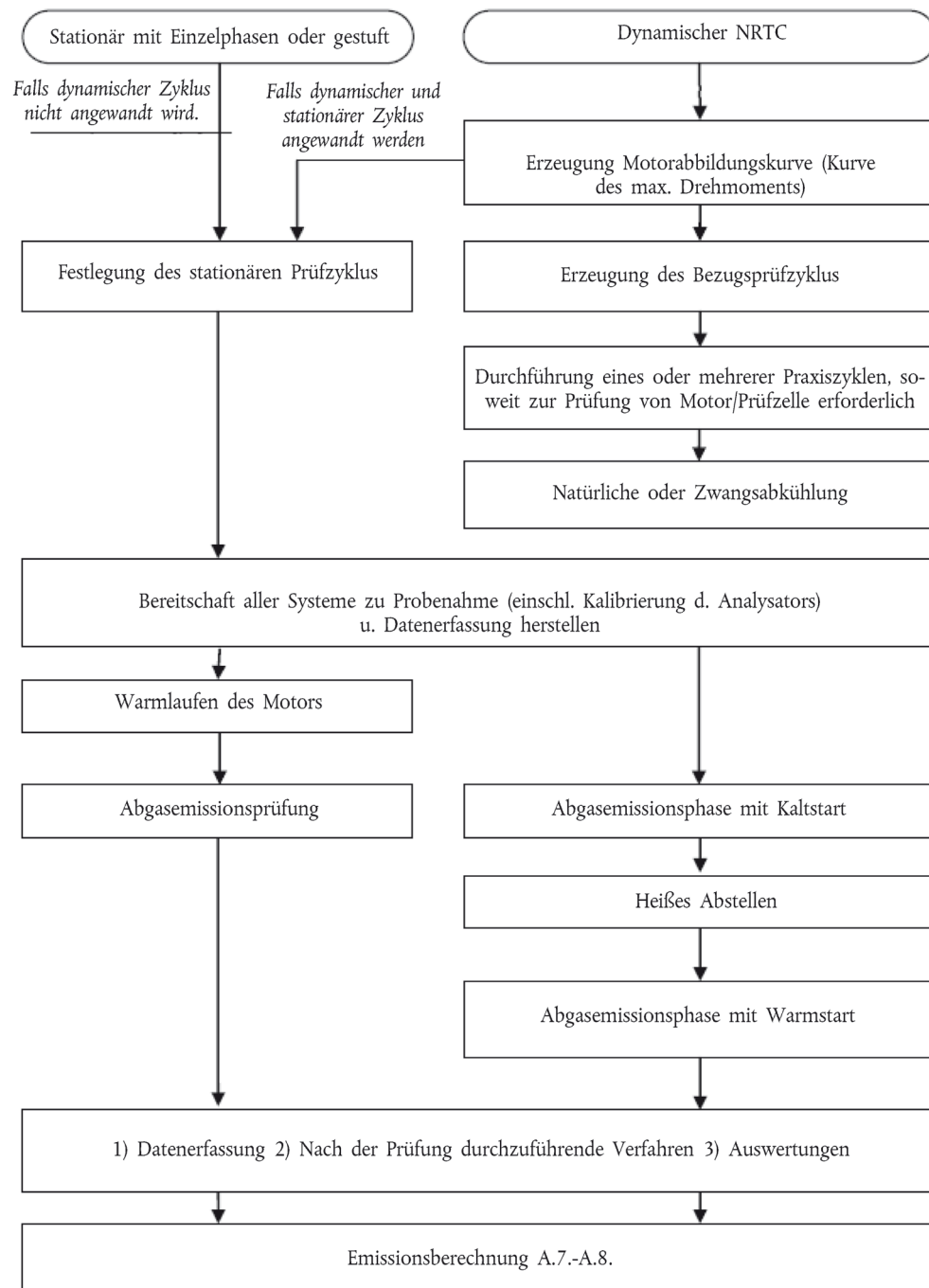
7.5. Allgemeiner Ablauf der Prüfung

Die Messung der Motoremissionen erfolgt in folgenden Schritten:

- a) Für den zu prüfenden Motor werden die Prüfdrehzahlen und -belastungen festgelegt, indem (bei Motoren mit fester Drehzahl) das maximale Drehmoment oder (bei Motoren mit veränderlicher Drehzahl) die des maximalen Drehmoments in Abhängigkeit von der Drehzahl gemessen wird.
- b) Normierte Prüfzyklen sind anhand des gemäß Buchstabe a) ermittelten Drehmomentwertes (bei Motoren mit fester Drehzahl) oder der ermittelten Drehzahl- und Drehmomentwerte (bei Motoren mit veränderlicher Drehzahl) zu entnormieren.
- c) Der Motor, die Ausrüstung sowie die Messgeräte sind vorab für die nachfolgende Emissionsprüfung oder die Serien von Emissionsprüfungen (Zyklus mit Kalt- und Warmstart) vorzubereiten.
- d) Vor der Prüfung sind bestimmte Ausrüstungsteile und Analysatoren auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen. Alle Analysatoren sind zu kalibrieren. Alle Ergebnisse sind zu dokumentieren.
- e) Zu Beginn des Prüfzyklus wird der Motor gestartet (NRTC) oder läuft weiter (stationäre Zyklen); gleichzeitig sind die Probenahmesysteme zu starten.
- f) Die Emissionen und sonstigen geforderten Parameter sind in der Probenahmezeit zu messen oder aufzuzeichnen (bei NRTC-Prüfungen oder stationären gestuften Mehrphasenzyklen über den gesamten Prüfzyklus).
- g) Nach der Prüfung sind bestimmte Ausrüstungsteile und Analysatoren auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen.
- h) Der (die) PM-Filter ist (sind) vorzukonditionieren, zu wiegen (Leergewicht), zu laden, erneut zu konditionieren und zu wiegen (Gewicht beladen); anschließend sind die Proben gemäß den vor und nach der Prüfung durchzuführenden Verfahren nach Absatz 7.3.1.5 bzw. Absatz 7.3.2.2. auszuwerten.
- i) die Ergebnisse der Emissionsprüfung sind auszuwerten.

Das nachfolgende Diagramm bietet einen Überblick über die zur Durchführung der NRMM-Prüfzyklen mit Messung der Abgasemissionen des Motors erforderlichen Verfahren.

Abbildung 7.3

Prüffolge

7.5.1. Start und Neustart des Motors

7.5.1.1. Motorstart

Der Motor ist zu starten:

- a) gemäß den Empfehlungen in der Betriebsanleitung mit einem handelsüblichen Anlasser oder einem Druckluftanlasssystem und entweder einer ausreichend geladenen Batterie bzw. einer anderen geeigneten Stromquelle oder einer geeigneten Druckluftversorgung oder

- b) indem der Motor bis zum Anspringen mit dem Leistungsprüfstand durchgedreht wird. Der Motor ist mit seiner typischen Anlassdrehzahl im normalen Betrieb $\pm 25\%$ durchzudrehen oder die Drehzahl des Leistungsprüfstandes ist linear von Null auf einen Wert von 100 min^{-1} unterhalb der abgesenkten Leerlaufdrehzahl zu steigern; dies darf jedoch nur solange geschehen, bis der Motor anspringt.

Der Anlassvorgang ist innerhalb von 1 s nach Anspringen des Motors zu beenden. Springt der Motor nicht spätestens nach 15 s Durchdrehen an, ist der Anlassvorgang abubrechen und die Ursache des Nichtanspringens zu ermitteln, sofern nicht in der Betriebsanleitung oder im Werkstatthandbuch ein längeres Durchdrehen als normal angegeben wird.

7.5.1.2. Abwürgen des Motors

- a) Wird der Motor während des NRTC-Prüfzyklus mit Kaltstart zu irgendeinem Zeitpunkt abgewürgt, ist die Prüfung ungültig.
- b) Wird der Motor während des NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart zu irgendeinem Zeitpunkt abgewürgt, ist die Prüfung ungültig. Der Motor ist dann nach Absatz 7.8.3 heiß abzustellen, und die Prüfung mit Warmstart ist zu wiederholen. Die Prüfung mit Kaltstart braucht in diesem Fall nicht wiederholt zu werden.
- c) Wird der Motor zu irgendeinem Zeitpunkt des stationären Zyklus (Einzelphasen- oder gestufter Mehrphasenzyklus) abgewürgt, ist die Prüfung ungültig und muss, beginnend mit dem Warmlaufen des Motors, wiederholt werden. Bei PM-Messungen nach der Mehrfachfiltermethode (je ein Probenahmefilter für jede Betriebsphase) ist die Prüfung fortzusetzen; hierzu wird die Motortemperatur in der vorherigen Phase stabilisiert, anschließend wird die Messung für die Phase begonnen, in der der Motor abgewürgt wurde.

7.6. Motorabbildungskurve

Bevor mit der Erstellung der Motorabbildungskurve begonnen wird, muss der Motor warmlaufen und gegen Ende des Warmlaufvorgangs mindestens 10 Minuten lang mit Höchstleistung oder gemäß den Empfehlungen des Herstellers und nach bestem fachlichen Ermessen betrieben werden, um die Temperatur des Motorkühlmittels und des Schmieröls zu stabilisieren. Wenn der Motor stabilisiert ist, wird die Motorabbildungskurve wie folgt erstellt:

Außer bei Motoren mit fester Drehzahl wird die Motorabbildungskurve mit voll geöffnetem Kraftstoff-Einstellhebel oder Kraftstoffdruckregler bei einzeln eingestellten (diskreten) Drehzahlen in aufsteigender Reihenfolge erstellt. Die niedrigste und die höchste Abbildungsdrehzahl werden wie folgt festgelegt:

niedrigste Abbildungsdrehzahl = Warmleerlaufdrehzahl

Höchste Abbildungsdrehzahl = $n_{hi} \times 1,02$ oder die Drehzahl, bei der das maximale Drehmoment gegen Null abfällt; es gilt der kleinere der beiden Werte.

Dabei ist n_{hi} die hohe Drehzahl, definiert als die höchste Motordrehzahl, bei der 70 % der maximalen Leistung abgegeben werden.

Ist die Höchstdrehzahl nicht sicher oder nicht repräsentativ (z. B. bei Motoren ohne Drehzahlregler) ist nach bestem fachlichen Ermessen bis zur höchsten sicheren oder repräsentativen Drehzahl abzubilden.

7.6.1. Erstellen der Motorabbildungskurve für den stationären 8-Phasen-Zyklus.

Beim Erstellen der Motorabbildungskurve für den stationären 8-Phasen-Zyklus (nur für Motoren, die den NRTC-Zyklus nicht durchlaufen müssen) ist nach bestem fachlichen Ermessen eine ausreichende Zahl (20 bis 30) von gleichmäßig verteilten Einstellungen zu wählen. Bei jeder Einstellung ist die Drehzahl zu stabilisieren und es sind mindestens 15 Sekunden für die Stabilisierung des Drehmoments vorzusehen. Die mittlere Drehzahl und das mittlere Drehmoment sind bei jeder Einstellung aufzuzeichnen. Wenn nötig sind die Prüfdrehzahlen und -drehmomente für den 8-Phasen-Zyklus mittels linearer Interpolation zu bestimmen. Weichen die abgeleiteten Prüfdrehzahlen und -belastungen um nicht mehr als $\pm 2,5\%$ von den entsprechenden Angaben des Herstellers ab, gelten die vom Hersteller festgelegten Drehzahl- und Belastungswerte. Bei Motoren, die auch die NRTC-Prüfung durchlaufen müssen, wird die NRTC-Motorabbildungskurve zur Bestimmung der Drehzahlen und -drehmomente für die stationäre Prüfung herangezogen.

7.6.2. Motorabbildungskurve für den NRTC-Zyklus

Die Motorabbildungskurve wird nach dem folgenden Verfahren erstellt:

- a) Der Motor wird ohne Last und bei Leerlaufdrehzahl betrieben.
- i) Bei Motoren mit Regelung der niedrigen Drehzahl ist die Bedieneingabe auf den niedrigsten Wert und der Leistungsprüfstand oder eine sonstigen Belastungseinrichtung auf ein Drehmoment von Null an der Primärtriebsschwelle des Motors einzustellen, die Regelung der Drehzahl durch den Motor ist zuzulassen. Diese Warmleerlaufdrehzahl ist zu messen.

- ii) Bei Motoren ohne Regelung der niedrigen Drehzahl ist der Leistungsprüfstand auf ein Drehmoment von Null an der Primärtriebswelle des Motors einzustellen, und die Bedieneingabe ist so einzustellen, dass die Drehzahl mit minimaler Belastung auf dem niedrigsten möglichen Wert gemäß den Angaben des Herstellers (auch als Warmleerlaufdrehzahl gemäß Herstellerangabe bezeichnet) gehalten wird.
 - iii) Das Leerlaufdrehmoment gemäß Herstellerangabe kann bei allen Motoren mit veränderlicher Drehzahl (mit und ohne Regelung der niedrigen Drehzahl) herangezogen werden, wenn ein Leerlaufdrehmoment von mehr als Null repräsentativ für den tatsächlichen Betrieb ist.
- b) Die Bedieneingabe ist auf ihren maximalen Wert einzustellen und die Drehzahl ist auf einen Wert zwischen der Warmleerlaufdrehzahl und 95 % der Warmleerlaufdrehzahl regeln. Bei Motoren, in deren Bezugsarbeitszyklen die Minstdrehzahl höher ist als die Warmleerlaufdrehzahl, kann die Erstellung der Motorabbildungskurve bei einem Wert zwischen der niedrigsten Bezugsdrehzahl und 95 % der niedrigsten Bezugsdrehzahl beginnen.
- c) Die Drehzahl wird mit einer mittleren Geschwindigkeit von $8 \pm 1 \text{ min}^{-1}/\text{s}$ gesteigert oder mit einer gleichbleibenden Rate in der Weise erhöht, dass es 4 bis 6 Minuten dauert, von der niedrigsten zur höchsten Abbildungsdrehzahl zu gelangen. Der Abbildungsdrehzahl-Bereich muss bei einem Wert zwischen der Warmleerlaufdrehzahl und 95 % der Warmleerlaufdrehzahl beginnen und bei der höchsten Drehzahl oberhalb der maximalen Leistung, bei der weniger als 70 % der maximalen Leistung abgegeben wird, enden. Ist diese Höchstdrehzahl nicht sicher oder nicht repräsentativ (z. B. bei Motoren ohne Drehzahlregler) ist nach bestem fachlichen Ermessen bis zur höchsten sicheren oder repräsentativen Drehzahl abzubilden. Die Motordrehzahl und das Drehmoment sind mit einer Abtastfrequenz von mindestens 1 Hz aufzuzeichnen.
- d) Ist ein Hersteller der Auffassung, dass die vorstehenden Abbildungsverfahren für einen bestimmten Motor nicht sicher oder repräsentativ sind, können andere Abbildungstechniken verwendet werden. Diese anderen Techniken müssen dem Zweck der beschriebenen Abbildungsverfahren genügen, der darin besteht, bei allen Motordrehzahlen, die während der Prüfzyklen auftreten, das höchste verfügbare Drehmoment zu bestimmen. Abweichungen von den in diesem Absatz beschriebenen Abbildungstechniken aufgrund sicherheitstechnischer Belange oder zugunsten einer besseren Repräsentativität müssen zusammen mit der entsprechenden Begründung von der Typgenehmigungsbehörde genehmigt werden. Auf keinen Fall jedoch darf die Drehmomentkurve für Motoren mit Drehzahlregler oder Turbolader bei sinkenden Motordrehzahlen erstellt werden.
- e) Ein Motor muss nicht vor jedem einzelnen Prüfzyklus abgebildet werden. Ein Motor ist erneut abzubilden, wenn:
- i) ein nach technischem Ermessen unangemessen langer Zeitraum seit der letzten Abbildung verstrichen ist, oder
 - ii) an dem Motor mechanische Veränderungen oder Nachkalibrierungen vorgenommen worden sind, die sich möglicherweise auf die Motorleistung auswirken, oder
 - iii) der atmosphärische Druck in der Nähe des Lufteinlasses des Motors um mehr als 5 kPa von dem Wert abweicht, der zur Zeit der Erstellung der letzten Motorabbildungskurve aufgezeichnet wurde.

7.6.3. Erstellung der Motorabbildungskurve für Motoren mit fester Drehzahl:

- a) Der Motor kann mit einem handelsüblichen Regler auf konstanter Drehzahl gehalten werden oder ein solcher Regler kann simuliert werden, indem die Drehzahl durch ein System zur Steuerung der Bedieneingabe konstant gehalten wird. Der Regler kann je nach Erfordernis isochron oder mit bleibender Drehzahlabweichung (P-Bereich) betrieben werden.
- b) Der Motor ist mindestens 15 s lang mit geregelter Drehzahl ohne Last (hohe Drehzahl, nicht abgesenkte Leerlaufdrehzahl) zu betreiben, wobei der Regler oder der simulierte Regler die Drehzahl über die Bedieneingabe steuert.
- c) Das Drehmoment ist mithilfe des Leistungsprüfstandes mit konstanter Geschwindigkeit zu steigern. Die Abbildungskurve ist so zu erstellen, dass das maximale Drehmoment ausgehend von der geregelten Drehzahl ohne Last in 2 bis 4 Minuten erreicht wird. Während der Erstellung der Motorabbildungskurve sind die tatsächlichen Drehzahl- und Drehmomentwerte mit einer Abtastfrequenz von mindestens 1 Hz aufzuzeichnen.
- d) Bei einem Motor, der in einem Stromerzeugungsaggregat zur Erzeugung von Strom mit 50 Hz und 60 Hz dient (beispielsweise $1\,500$ und $1\,800 \text{ min}^{-1}$) ist jeweils eine separate Prüfung für die beiden festen Drehzahlen durchzuführen.

Bei Motoren mit fester Drehzahl sind das maximale Drehmoment und die maximale Leistung bei der (den) festgelegten Betriebsdrehzahl(en) nach bestem fachlichen Ermessen mithilfe anderer Methoden aufzuzeichnen.

7.7. Erzeugen von Prüfzyklen

7.7.1. Erzeugung von stationären Prüfzyklen (NRSC)

7.7.1.1. Nenndrehzahl und Entnormierungsdrehzahl

Für Motoren, die sowohl mit dem NRCS als auch mit dem NRTC geprüft werden, ist die Entnormierungsdrehzahl nach dem dynamischen Verfahren (Absätze 7.6.2 und 7.7.2.1 sowie Abbildung 7.3.) zu berechnen. Beim stationären Zyklus ist anstelle der Nenndrehzahl die Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) zu verwenden.

Weicht die ermittelte Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) um nicht mehr als $\pm 2,5 \%$ von der vom Hersteller angegebenen Entnormierungsdrehzahl ab, darf die angegebene Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) für die Emissionsprüfung verwendet werden. Wird die Toleranz überschritten, ist die ermittelte Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) für die Emissionsprüfung zu verwenden. Beim stationären Zyklus wird die ermittelte Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) als Nenndrehzahl eingetragen.

Bei Motoren mit veränderlicher Drehzahl, die nicht mit dem NRTC geprüft werden, ist die Nenndrehzahl nach den Tabellen in Anhang 5 dieser Regelung für den Zyklus mit 8 Einzelphasen und den abgeleiteten gestuften Zyklus nach dem Verfahren für den stationären Zyklus (Absatz 7.6.1 und Abbildung 7.3) zu bestimmen. Die Nenndrehzahl ist in Absatz 2.1.69 definiert.

Bei Motoren mit fester Drehzahl sind als Nenndrehzahl und als vom Motor geregelte Drehzahl nach den Tabellen in Anhang 5 dieser Regelung für den Zyklus mit 5 Einzelphasen und den abgeleiteten gestuften Zyklus die in den Absätzen 2.1.30 und 2.1.69 festgelegten Werte zu verwenden.

7.7.1.2. Erzeugung von stationären 8-Phasen-Prüfzyklen (Einzelphasen und gestufte Phasen)

Die Zwischendrehzahl ist nach dem Verfahren in ihrer Definition (siehe Absatz 3.1.42) zu berechnen. In Übereinstimmung mit Absatz 7.7.1.1 ist bei Motoren, die sowohl mit dem NRSC als auch mit dem NRTC geprüft werden, zur Bestimmung der Zwischendrehzahl anstelle der Nenndrehzahl die Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) zu verwenden.

Die Motoreinstellung für jede Prüfphase ist nach folgender Formel zu berechnen:

$$S = ((P_{\text{max}} + P_{\text{AUX}}) \cdot \frac{L}{100}) - P_{\text{AUX}} \quad (7-1)$$

Dabei gilt:

S = Einstellwert des Leistungsprüfstands, kW

P_{max} = festgestellte oder erklärte Höchstleistung bei Prüfdrehzahl unter Prüfbedingungen (Angabe des Herstellers), kW,

P_{AUX} = angegebene Gesamtleistungsaufnahme der für die Prüfung angebrachten Hilfseinrichtungen (siehe Absatz 6.3) bei Prüfdrehzahl, kW,

L = % Drehmoment.

Während des Prüfzyklus ist der Motor mit der Drehzahl und dem Drehmoment gemäß Anhang 5 zu betreiben.

Die Abbildungs-Höchstwerte für das Drehmoment bei den angegebenen Prüfdrehzahlen sind aus der Motorabbildungskurve (siehe Absatz 7.6.1 oder 7.6.2) abzuleiten. „Gemessene“ Werte werden entweder während der Erstellung der Motorabbildungskurve direkt gemessen oder mithilfe der Kurve bestimmt. „Erklärte“ Werte werden vom Hersteller angegeben. Stehen sowohl gemessene als auch erklärte Werte zur Verfügung, können die erklärten Drehmomentwerte anstatt der gemessenen verwendet werden, wenn die Abweichung nicht mehr als $\pm 2,5 \%$ beträgt. Andernfalls sind die aus der Motorabbildungskurve abgeleiteten gemessenen Drehmomentwerte zu verwenden.

7.7.1.3. Erzeugung von stationären 5-Phasen-Prüfzyklen (Einzelphasen und gestufte Phasen)

Während des Prüfzyklus ist der Motor mit der Drehzahl und dem Drehmoment gemäß Anhang 5 zu betreiben.

Zur Erzeugung des 5-Phasen-Prüfzyklus sind die Abbildungs-Höchstwerte für das Drehmoment bei der angegebenen Nenndrehzahl (siehe Absatz 7.7.1.1) zu verwenden. Es kann ein Mindestdrehmoment bei warmem Motor angegeben werden, das repräsentativ für den normalen Betrieb ist. Beispielsweise kann, wenn der Motor üblicherweise an eine Maschine angeschlossen ist, die nicht unterhalb eines bestimmten Mindestdrehmoments arbeitet, dieser Drehmomentwert erklärt und zur Zykuserzeugung verwendet werden. Stehen als maximales Prüfdrehmoment zur Zykuserzeugung sowohl der gemessene als auch der erklärte Wert zur Verfügung, kann der erklärte Wert anstatt des gemessenen verwendet werden, wenn er 95 % bis 100 % des gemessenen Wertes beträgt.

Die Drehmomentwerte sind Prozentwerte des Drehmoments entsprechend der Angabe der Grundleistung⁽¹⁾. Die Grundleistung ist definiert als während einer Folge mit variabler Leistung verfügbare Höchstleistung, die pro Jahr eine unbegrenzte Anzahl von Stunden lang gefahren werden kann, und zwar zwischen angegebenen Wartungsintervallen und unter den angegebenen Umgebungsbedingungen. Die Wartung ist nach den Vorschriften des Herstellers durchzuführen.

7.7.2. Erzeugung dynamischer Prüfzyklen (NRTC-Entnormierung)

In Anhang 5 werden die anzuwendenden Prüfzyklen in normiertem Format definiert. Ein normierter Testzyklus besteht aus einer Abfolge von Paaren aus Prozentwerten für Drehzahl und Drehmoment.

Die normierten Werte für Drehzahl und Drehmoment sind nach folgenden Konventionen umzuwandeln:

- Die normierte Geschwindigkeit ist nach Absatz 7.7.2.2 in eine Abfolge von Bezugsdrehzahlen n_{ref} umzuwandeln.
- Das normierte Drehmoment wird als Prozentwert des abgebildeten Drehmoments bei der entsprechenden Bezugsdrehzahl ausgedrückt. Diese normierten Werte sind nach Absatz 7.7.2.3 in eine Abfolge von Bezugsdrehmomenten T_{ref} umzuwandeln.
- Die Bezugsdrehzahl und das Bezugsdrehmoment, jeweils ausgedrückt in kohärenten Einheiten, werden multipliziert, um die Werte der Bezugsleistungswerte zu berechnen.

7.7.2.1. Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm})

Die Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) wird als Äquivalent der im Ablaufplan für den Motorprüfstand (siehe Anlage 5) spezifizierten 100- %Drehzahlwerte ausgewählt. Der sich aus der Entnormierung zur Bezugsdrehzahl ergebende Bezugs-Motorzyklus hängt von der Wahl der ordnungsgemäßen Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) ab. Zur Berechnung der Entnormierungsdrehzahl aus der gemessenen Motorabbildungskurve (n_{denorm}) kann in Abstimmung mit den Typgenehmigungsbehörden eine der folgenden Formeln verwendet werden:

$$a) \quad n_{denorm} = n_{lo} + 0,95 \cdot (n_{hi} - n_{lo}) \quad (7-2)$$

Dabei gilt:

n_{denorm} = Entnormierungsdrehzahl

n_{hi} = hohe Drehzahl (siehe Absatz 2.1.40),

n_{lo} = niedrige Drehzahl (siehe Absatz 2.1.44).

- b) n_{denorm} entspricht dem längsten Vektor, definiert als:

$$n_{denorm} = n_i \text{ at the maximum of } (n_{normi}^2 + P_{normi}^2) \quad (7-3)$$

Dabei gilt:

i = eine Indizierungsvariable, die für einen aufgezeichneten Wert auf einer Motorabbildungskurve steht

n_{normi} = ein durch Division durch n_{pmax} normierter Drehzahlwert

P_{normi} = ein durch Division durch P_{max} normierter Motorleistungswert

Hinweis: Werden mehrere Höchstwerte festgestellt, sollte der niedrigste Drehzahlwert aller Punkte, deren maximale Quadratsumme gleich ist, als Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) herangezogen werden. Ein höherer erklärter Drehzahlwert kann verwendet werden, wenn die Länge des Vektors bei der erklärten Drehzahl von der Länge des Vektors beim gemessenen Wert um nicht mehr als 2 % abweicht.

Ein sehr steiler Verlauf des fallenden Teils der Vollastkurve kann zu Problemen beim korrekten Betrieb mit den 105 % der Drehmomente des NRTC-Prüfzyklus führen. In diesem Fall kann nach vorheriger Absprache mit den Typgenehmigungs- oder Zertifizierungsbehörden die Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) leicht (d. h. um höchstens 3 %) reduziert werden, um eine korrekte Durchführung des NRTC zu ermöglichen.

⁽¹⁾ Für ein genaueres Verständnis der Definition der Grundleistung siehe Abbildung 2 der Norm ISO 8528 1:2005.

Weicht die gemessene Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) um nicht mehr als 3 % von dem vom Hersteller erklärten Wert ab, darf die erklärte Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) für die Emissionsprüfung verwendet werden. Wird die Toleranz überschritten, ist die gemessene Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) für die Emissionsprüfung zu verwenden.

7.7.2.2. Entnormierung der Motordrehzahl

Die Drehzahl ist nach folgender Gleichung zu entnormieren:

$$n_{\text{ref}} = \frac{\%speed \cdot (n_{\text{denorm}} - n_{\text{idle}})}{100} + n_{\text{idle}} \quad (7-4)$$

Dabei gilt:

n_{ref} = Bezugsdrehzahl

n_{denorm} = Entnormierungsdrehzahl

n_{idle} = Leerlaufdrehzahl

$\%speed$ = eingetragene normierte NRTC-Drehzahl

7.7.2.3. Entnormierung des Motordrehmoments

Die Drehmomentwerte im Ablaufplan für den Motorleistungsprüfstand in Anhang 5 Absatz 1.3 werden auf das höchste Drehmoment bei der jeweiligen Drehzahl normiert. Anhand der nach Absatz 7.6.2 bestimmten Abbildungskurve sind die Drehmomentwerte des Bezugszyklus wie folgt zu entnormieren:

$$T_{\text{ref}} = \frac{\%torque \times \text{max.torque}}{100} \quad (7-5)$$

für die in Absatz 7.7.2.2 bestimmte jeweilige Bezugsdrehzahl

7.7.2.4. Beispiel eines Entnormierungsverfahrens

Es folgt ein Beispiel, bei dem der folgende Prüfpunkt entnormiert werden soll:

$\%speed$ = 43 %,

$\%torque$ = 82 %

Es gelten folgende Werte:

n_{denorm} = 2 200 min⁻¹

n_{idle} = 600 min⁻¹

Daraus folgt

$$n_{\text{ref}} = \frac{43 \cdot (2\,200 - 600)}{100} + 600 = 1\,288 \text{ min}^{-1}$$

Mit dem höchsten Drehmoment von 700 Nm aus der Abbildungskurve bei 1 288 min⁻¹ folgt

$$T_{\text{ref}} = \frac{82 \times 700}{100} = 574 \text{ Nm}$$

7.8. Spezifische Durchführungsverfahren für die Prüfzyklen

7.8.1. Emissionsprüfungsfolge für stationäre Prüfzyklen mit Einzelphasen

7.8.1.1. Warmlaufen des Motors für stationäre Prüfzyklen mit Einzelphasen

Zur Vorkonditionierung muss der Motor nach den Empfehlungen des Herstellers und bestem fachlichen Ermessen warmlaufen. Vor Beginn der Emissionsprobenahme muss der Motor entsprechend Punkt 1 laufen (100 % Drehmoment und Nenndrehzahl für den 8-Punkte-Prüfzyklus, feste Nenndrehzahl und 100 % Drehmoment für den 5-Phasen-Prüfzyklus), bis die Motortemperaturen (Kühlwasser und Schmieröl) stabilisiert sind; dies dauert normalerweise mindestens 10 Minuten. Die Messungen des Prüfzyklus beginnen unmittelbar, wenn dieser Punkt der Konditionierung erreicht ist.

Die vor der Prüfung auszuführenden Arbeiten nach Absatz 7.3.1 einschließlich der Kalibrierung der Analysatoren sind durchzuführen.

7.8.1.2. Durchführung der Prüfzyklen mit Einzelphasen

- a) Die Prüfung ist in aufsteigender Reihenfolge der für den Prüfzyklus angegebenen Prüfphasen durchzuführen (siehe Anhang 5).
- b) Jede Phase dauert mindestens 10 Minuten. In jeder Phase ist der Motor mindestens 5 Minuten lang zu stabilisieren; die Probenahme für die gasförmigen Emissionen erfolgt 13 Minuten lang am Ende jeder Phase. Um die Genauigkeit der PM-Probenahme zu erhöhen, ist eine Verlängerung der Probenahmezeit zulässig.

Die Dauer der Prüfphasen ist aufzuzeichnen und anzugeben.

- c) Die Partikel-Probenahme kann nach der Einzelfiltermethode oder nach der Mehrfachfiltermethode erfolgen. Da die Ergebnisse bei diesen Verfahren geringfügig voneinander abweichen können, ist das angewandte Verfahren zusammen mit den Ergebnissen anzugeben.

Beim Einzelfilterverfahren müssen die in dem Prüfzyklusverfahren für die einzelnen Prüfpunkte angegebenen Wichtungsfaktoren und der tatsächliche Abgasdurchsatz während der Probenahme berücksichtigt werden, indem der Durchsatz der Probe und/oder die Probenahmezeit entsprechend angepasst werden. Der effektive Wichtungsfaktor der PM-Probenahme darf um nicht mehr als 0,003 von dem Wichtungsfaktor der jeweiligen Phase abweichen.

Die Probenahme muss bei jeder Prüfphase so spät wie möglich erfolgen. Beim Einzelfilterverfahren muss das Ende der Partikel-Probenahme auf ± 5 s genau mit dem Abschluss der Messung der gasförmigen Emissionen zusammenfallen. Die Probenahme muss bei jedem Prüfpunkt beim Einzelfilterverfahren mindestens 20 s und beim Mehrfachfilterverfahren mindestens 60 s dauern. Bei Systemen ohne Umleitungsmöglichkeit muss die Probenahme bei Einfach- und Mehrfachfilterverfahren bei jedem Prüfpunkt mindestens 60 s dauern.

- d) Die Messung der Motordrehzahl und -last, der Ansauglufttemperatur, des Kraftstoffdurchsatzes sowie des Luft- oder Abgasdurchsatzes muss an jedem Prüfpunkt mit demselben Zeitabstand erfolgen wie die Messung der Konzentration der gasförmigen Emissionen.

Für die Berechnung erforderliche zusätzliche Messwerte sind aufzuzeichnen.

- e) Wird zu irgendeinem Zeitpunkt nach Beginn der Emissionsprobenahme mit dem Einzelfilterverfahren in einer diskreten Phase der Motor abgewürgt oder die Emissionsprobenahme unterbrochen, ist die Prüfung ungültig und ist beginnend mit dem Warmlaufen des Motors zu wiederholen. Bei PM-Messungen nach der Mehrfachfiltermethode (je ein Probenahmefilter für jeden Prüfpunkt) ist die Prüfung fortzusetzen; hierzu wird der Motor im Hinblick auf die Temperaturkonditionierung am vorherigen Prüfpunkt stabilisiert, anschließend wird die Messung für den Prüfpunkt begonnen, an dem der Motor abgewürgt wurde.

- f) Die nach der Prüfung auszuführenden Arbeiten nach Absatz 7.3.2 sind durchzuführen.

7.8.1.3. Validierungskriterien

An jedem Punkt des jeweiligen stationären Prüfzyklus muss nach der Übergangsphase zu Anfang die gemessene Drehzahl der Bezugsdrehzahl mit einer Toleranz von ± 1 % der Nenndrehzahl oder $\pm 3 \text{ min}^{-1}$ entsprechen, wobei jeweils die größere Toleranz zu wählen ist; dies gilt nicht für die Leerlaufdrehzahl, die innerhalb der vom Hersteller angegebenen Toleranzen liegen muss. Das gemessene Drehmoment darf von dem Bezugsdrehmoment um nicht mehr als 2 % des maximalen Drehmoments bei der Prüfdrehzahl abweichen.

7.8.2. Gestufte Mehrphasen-Prüfzyklen

7.8.2.1. Warmlaufen des Motors

Vor Beginn der stationären gestuften Mehrphasen-Prüfzyklen (RMC) muss der Motor warmlaufen und bis zur Stabilisierung der Motortemperaturen (Kühlwasser und Schmieröl) mit 50 % der Drehzahl und 50 % des Drehmoments (RMC-Prüfzyklus abgeleitet vom 8-Phasen-Prüfzyklus) oder mit Nenndrehzahl und 50 % des Drehmoments (RMC-Prüfzyklus abgeleitet vom 5-Phasen-Prüfzyklus) weiterlaufen. Im unmittelbaren Anschluss an dieses Konditionierungsverfahren sind Drehzahl und Drehmoment linear in einem 20 ± 1 s langen Übergang auf die Werte der ersten Prüfphase zu verändern. Die Messungen des Prüfzyklus muss 5 bis 10 s nach Ende des Übergangs zur Prüfstufe beginnen.

7.8.2.2. Durchführung eines gestuften Mehrphasen-Prüfzyklus

Die vom 8-Phasen- und 5-Phasen-Prüfzyklus abgeleiteten gestuften Mehrphasenzyklen sind in Anhang 5 dargestellt.

Der Motor ist in jeder Phase für die vorgeschriebene Dauer zu betreiben. Der Übergang von einer Phase zur nächsten muss linear in $20 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$ mit den Toleranzen gemäß Absatz 7.8.2.4 erfolgen (siehe Anhang 5).

Bei gestuften Mehrphasenzyklen sind die Werte für die Bezugsdrehzahl und das Bezugsdrehmoment mit einer Mindestfrequenz von 1 Hz zu erzeugen; diese Abfolge von Punkten ist zur Durchführung des Zyklus zu verwenden. Während des Übergangs zwischen den Phasen sind die entnormierte Bezugsdrehzahl und das entnormierte Bezugsdrehmoment zur Erzeugung von Bezugspunkten linear zu ändern. Die normierten Bezugsdrehmoment-Werte sind zwischen den Phasen nicht linear zu ändern und anschließend zu entnormieren. Wird ein Punkt oberhalb der Drehmomentkurve des Motors vom Drehzahl- und Drehmoment-übergang erfasst, ist dieser zur Steuerung der Bezugsdrehmomente fortzusetzen; eine Erhöhung der Bedieneingabe auf den Maximalwert ist in diesem Fall zulässig.

Über den gesamten RMC-Prüfzyklus (in jeder Phase einschließlich der Übergänge zwischen den Phasen) sind die Konzentration jedes gasförmigen Schadstoffes zu messen und PM-Probenahmen durchzuführen. Die gasförmigen Schadstoffe können im Rohabgas oder im verdünnten Abgas gemessen werden und sind laufend aufzuzeichnen; falls die Messung im verdünnten Abgas erfolgt, können sie auch in einen Probenahmebeutel geleitet werden. Die Partikelprobe ist mit konditionierter und sauberer Umgebungsluft zu verdünnen. Eine Probe ist über den gesamten Prüfzyklus zu entnehmen und an einem einzigen PM-Filter abzuschneiden.

Zur Ermittlung der spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb ist die tatsächliche Zyklusarbeit durch Integration der tatsächlichen Motorleistung über den Zyklus zu errechnen.

7.8.2.3. Ablauf der Emissionsprüfung

- Die Durchführung des RMC, die Abgas-Probenahme, die Datenaufzeichnung und die Integration der Messwerte müssen gleichzeitig beginnen.
- Drehzahl und Drehmoment sind auf die Werte der ersten Phase des Prüfzyklus zu bringen.
- Wird der Motor zu irgendeinem Zeitpunkt der Durchführung des RMC abgewürgt, ist die Prüfung ungültig. Der Motor ist vorzukonditionieren und die Prüfung zu wiederholen.
- Am Ende des RMC ist die Probenahme außer der PM-Probenahme fortzusetzen, wobei alle Systeme zu betreiben sind, damit die Ansprechzeit des Systems verstreichen kann. Anschließend sind Probenahme und Aufzeichnung einschließlich der Aufzeichnung der Hintergrundproben vollständig einzustellen. Schließlich sind alle Integratoren anzuhalten und die aufgezeichneten Daten müssen das Prüfungsende anzeigen.
- Die nach der Prüfung auszuführenden Arbeiten nach Absatz 7.4 sind durchzuführen.

7.8.2.4. Validierungskriterien

Die RMC-Prüfungen sind mittels der Regressionsanalyse gemäß den Absätzen 7.8.3.3 und 7.8.3.5 zu validieren. Die zulässigen RMC-Toleranzen sind in der nachfolgenden Tabelle 7.1 angegeben. Zu beachten ist, dass die RMC-Toleranzen sich von den NRTC-Toleranzen in Tabelle 7.2 unterscheiden.

Tabelle 7.1

Zulässige Abweichung der RMC-Regressionsgeraden

	Drehzahl	Drehmoment	Leistung
Standardabweichung (SEE) vom Schätzwert von Y über X	maximal 1 % der Nenndrehzahl	maximal 2 % des höchsten Motordrehmoments	maximal 2 % der höchsten Motorleistung
Steigung der Regressionsgeraden, a_1	0,99 bis 1,01	0,98 bis 1,02	0,98 bis 1,02
Bestimmtheitskoeffizient, r^2	min 0,990	min 0,950	min 0,950
y-Achsenabschnitt der Regressionsgeraden, a_0	$\pm 1 \%$ der Nenndrehzahl	$\pm 20 \text{ Nm}$ oder, falls größer, $\pm 2 \%$ des höchsten Drehmoments	$\pm 4 \text{ kW}$ oder, falls größer, $\pm 2 \%$ der höchsten Leistung

Falls die RMC-Prüfung nicht an einem dynamischen Prüfstand durchgeführt wird, so dass die Drehzahl- und Drehmomentwerte nicht im Sekundentakt zur Verfügung stehen, sind folgende Validierungskriterien anzuwenden.

Die Vorschriften zu den Toleranzen für Drehzahl und Drehmoment für jede Phase sind in Absatz 7.8.1.3 angegeben. Für den 20 s langen linearen Drehzahl- und Drehmomentübergang zwischen den Phasen der stationären RMC-Prüfungen (Absatz 7.4.1.2) gelten bei Drehzahl und Last folgende Toleranzen: Die Drehzahl ist linear innerhalb von $\pm 2\%$ der Nenndrehzahl zu halten. Das Drehmoment ist linear innerhalb von $\pm 5\%$ des maximalen Drehmoments bei Nenndrehzahl zu halten.

7.8.3. Dynamischer Prüfzyklus (NRTC)

Zur Durchführung des dynamischen Prüfzyklus sind die Führungssollwerte für Drehzahl und Drehmoment nacheinander auszugeben. Die Führungssollwerte für Motordrehzahl und -drehmoment sind mit mindestens 5 Hz auszugeben. Da der Bezugsprüfzyklus eine Frequenz von 1 Hz aufweist, sind die dazwischen liegenden Führungssollwerte für Drehzahl und Drehmoment linear aus den Bezugs-Drehmomentwerten aus der Zykluserzeugung zu interpolieren.

Durch geringe entnormierte Drehzahlwerte nah an der Warmleerlaufdrehzahl könnte die Regelung der niedrigen Drehzahl aktiviert werden, so dass trotz minimaler Bedieneingabe das Bezugsdrehmoment überschritten wird. In diesen Fällen wird empfohlen, den Leistungsprüfstand so zu steuern, dass vorrangig das Bezugsdrehmoment anstatt der Bezugsdrehzahl eingehalten wird und die Drehzahl durch den Motor gesteuert wird.

Bei Kaltstart kann mittels einer besonderen Vorrichtung die Leerlaufdrehzahl erhöht werden, damit der Motor samt den Nachbehandlungseinrichtungen rasch warmläuft. Unter solchen Bedingungen führen sehr niedrige normierte Drehzahlen dazu, dass die Bezugsdrehzahl unter dieser erhöhten Leerlaufdrehzahl liegen. In diesem Fall wird empfohlen, den Leistungsprüfstand so zu steuern, dass vorrangig die Bezugsdrehzahl eingehalten wird und die Drehzahl bei minimaler Bedieneingabe vom Motor geregelt wird.

Während einer Emissionsprüfung sind die Bezugswerte sowie die ausgegebenen Werte für Drehzahl und Drehmoment mit einer Frequenz von mindestens 1 Hz, bevorzugt aber mit 5 Hz oder sogar 10 Hz aufzuzeichnen. Diese höhere Aufzeichnungsfrequenz ist insofern wichtig, als sie dazu beiträgt, die verzerrende Wirkung der Zeitverzögerung zwischen den Bezugswerten und den ausgegebenen Werten für Drehzahl und Drehmoment zu vermindern.

Die Bezugswerte und die ausgegebenen Werte für Drehzahl und Drehmoment können mit einer niedrigeren Frequenz (zulässige Mindestfrequenz 1 Hz) aufgezeichnet werden, wenn die Durchschnittswerte für den Zeitraum zwischen den aufgezeichneten Werten aufgezeichnet werden. Die Durchschnittswerte sind auf der Grundlage von ausgegebenen Werten zu berechnen, welche mit einer Frequenz von mindestens 5 Hz aktualisiert werden. Diese aufgezeichneten Werte sind zur Berechnung der Validierungsstatistiken für den Zyklus und der Gesamtarbeit heranzuziehen.

7.8.3.1. Vorkonditionierung des Motors

Damit bei der nachfolgenden Emissionsprüfung stabile Bedingungen herrschen, sind das Probenahmesystem und der Motor vorzukonditionieren, indem entweder ein voller NRTC-Vorzyklus gefahren wird oder der Motor und die Messsysteme unter ähnlichen Bedingungen wie im Prüfzyklus betrieben werden. War die vorhergehende Prüfung eine NRTC-Prüfung mit Warmstart, ist keine zusätzliche Konditionierung erforderlich.

Der Motor kann entweder natürlich abkühlen oder zwangsgekühlt werden. Für die Zwangskühlung sind nach bestem fachlichen Ermessen Systeme zu verwenden, die den Motor mit Kühlluft anblasen, kühles Öl in den Schmierölkreislauf des Motors pumpen, dem Kühlmittel mittels des Motorkühlsystems Wärme entziehen und dem Abgasnachbehandlungssystem Wärme entziehen. Bei Zwangskühlung des Abgasnachbehandlungssystems darf Kühlluft erst eingeleitet werden, nachdem seine Temperatur unter die Aktivierungstemperatur des Katalysators gefallen ist. Kühlverfahren, die zu nicht repräsentativen Emissionswerten führen, sind unzulässig.

Die vor der Prüfung auszuführenden Arbeiten nach Absatz 7.3.1 einschließlich der Kalibrierung der Analysatoren sind durchzuführen.

7.8.3.2. Durchführung eines dynamischen NRTC-Prüfzyklus

Die Prüfung ist folgendermaßen zu beginnen:

Die Prüfung beginnt unmittelbar nach Starten des Motors, welcher bei einer NRTC-Prüfung mit Kaltstart zuvor abgekühlt und bei einer NRTC-Prüfung mit Warmstart zuvor heiß abgestellt wurde. Die Anweisungen (Anhang 5) sind zu befolgen.

Die Datenaufzeichnung, die Abgasprobenahmen und die Integrierung der Messwerte sind beim Start des Motors gleichzeitig einzuleiten. Der Prüfzyklus ist beim Start des Motors einzuleiten und ist nach dem Ablaufplan in Anhang 5 durchzuführen.

Am Ende des Zyklus ist die Probenahme fortzusetzen, wobei alle Systeme zu betreiben sind, damit die Ansprechzeit des Systems verstreichen kann. Anschließend sind Probenahme und Aufzeichnung einschließlich der Aufzeichnung der Hintergrundproben vollständig einzustellen. Schließlich sind alle Integratoren anzuhalten, und die aufgezeichneten Daten müssen das Prüfungsende anzeigen.

Die nach der Prüfung auszuführenden Arbeiten nach Absatz 7.3.2 sind durchzuführen.

7.8.3.3. Validierungskriterien für den dynamischen Prüfzyklus

Zur Prüfung der Validität einer Prüfung sind die Kriterien für die Zyklusvalidierung gemäß diesem Absatz auf die Bezugswerte sowie die ausgegebenen Werte für Drehzahl, Drehmoment, Leistung und Gesamtarbeit anzuwenden.

7.8.3.4. Berechnung der Zyklusarbeit

Vor der Berechnung der Zyklusarbeit sind die während des Motoranlassens aufgenommenen Messpunkte auszuscheiden. Phasen mit negativen Drehmomentwerten sind mit einer Arbeit von Null zu berücksichtigen. Die tatsächliche Zyklusarbeit W_{act} ist unter Verwendung jeweils eines Paares von ausgegebenen Motordrehzahl- und Drehmomentwerten zu berechnen. Die Bezugszyklusarbeit W_{ref} (kWh) ist anhand der Bezugswerte des Motors für Drehzahl und Drehmoment zu berechnen. Die tatsächliche Zyklusarbeit W_{act} wird für den Vergleich mit der Bezugszyklusarbeit W_{ref} und zur Berechnung der Emissionen im Bremsbetrieb verwendet (siehe Absatz 7.2).

W_{act} muss zwischen 85 % und 105 % von W_{ref} liegen.

7.8.3.5. Validierungsstatistiken (siehe Anhang 4B Anlage A2)

Für Drehzahl, Drehmoment und Leistung sind lineare Regressionen zwischen den Bezugswerten und den ausgegebenen Werten auszuführen.

Um die verzerrende Wirkung der Zeitverzögerung zwischen den Bezugswerten und den ausgegebenen Werten zu vermindern, kann die gesamte Sequenz der Motordrehzahl- und -drehmomentmesssignale zeitlich nach vorn oder hinten (bezogen auf die Bezugssequenz der Drehzahl- und Drehmomentwerte) verschoben werden. Bei einer Verschiebung der Messsignale müssen Drehzahl und Drehmoment um den gleichen Umfang und in die gleiche Richtung verschoben werden.

Es ist die Fehlerquadratmethode anzuwenden, mit folgender Formel für die beste Anpassung:

$$y = a_1x + a_0 \quad (7-6)$$

Dabei gilt:

y = ausgegebener Wert der Drehzahl (min^{-1}), des Drehmoments (Nm), oder der Leistung (kW)

a_1 = Steigung der Regressionsgeraden

x = Bezugswert der Drehzahl (min^{-1}), des Drehmoments (Nm), oder der Drehzahl (kW)

a_0 = y-Achsenabschnitt der Regressionsgeraden

Die Standardfehler (SEE) des geschätzten Verlaufs y über x und der Bestimmungskoeffizient (r^2) sind für jede einzelne Regressionsgerade (Anhang 4B Anlage A.2) zu berechnen.

Es empfiehlt sich, diese Analyse bei 1 Hz durchzuführen. Für die Gültigkeit der Prüfung müssen die Kriterien von Tabelle 7.2 erfüllt sein.

Tabelle 7.2

Toleranzen der Regressionsgeraden

	Drehzahl	Drehmoment	Leistung
Standardabweichung vom Schätzwert (SEE) von y über x	$\leq 5,0$ % der maximalen Prüfdrehzahl	$\leq 10,0$ % des höchsten abgebildeten Drehmoments	max. 2 % der höchsten abgebildeten Leistung
Steigung der Regressionsgeraden, a_1	0,95 bis 1,03	0,83 bis 1,03	0,89 bis 1,03
Bestimmungskoeffizient, r^2	min. 0,970	min. 0,850	min. 0,910
y-Abschnitt der Regressionsgeraden a_0	≤ 10 % der Leerlaufdrehzahl	± 20 Nm oder ± 2 % des höchsten Drehmoments, je nachdem, welcher Wert größer ist	± 4 kW oder ± 2 % der Höchstleistung, je nachdem, welcher Wert größer ist

Ausschließlich für die Regressionsanalysen können die in Tabelle 7.3 genannten Punkte vor der Regressionsberechnung gestrichen werden. Für die Berechnung der Zyklusarbeit und der Emissionen dürfen sie jedoch nicht gestrichen werden. Ein Leerlaufpunkt ist definiert als ein Punkt, an dem das normierte Bezugsdrehmoment und die normierte Bezugsdrehzahl 0 % betragen. Die Punktstreichung kann auf den gesamten Zyklus oder auf jeden Teil des Zyklus angewandt werden. Die Punkte, auf die die Punktstreichung angewandt wird, sind anzugeben.

Tabelle 7.3

Zulässige Punktstreichungen aus der Regressionsanalyse

Ereignis	Bedingungen (n = Drehzahl, T = Drehmoment)	Zulässige Punktstreichungen
Minimum der Bedieneingabe (Leerlauf)	$n_{\text{ref}} = n_{\text{idle}}$ und $T_{\text{ref}} = 0$ und $T_{\text{act}} > (T_{\text{ref}} - 0,02 T_{\text{maxmappedtorque}})$ und $T_{\text{act}} < (T_{\text{ref}} + 0,02 T_{\text{maxmappedtorque}})$	Drehzahl und Leistung
Minimum der Bedieneingabe	$n_{\text{act}} \leq 1,02 n_{\text{ref}}$ und $T_{\text{act}} > T_{\text{ref}}$ oder $n_{\text{act}} > n_{\text{ref}}$ und $T_{\text{act}} \leq T_{\text{ref}}$ oder $n_{\text{act}} > 1,02 n_{\text{ref}}$ und $T_{\text{ref}} < T_{\text{act}} \leq (T_{\text{ref}} + 0,02 T_{\text{maxmappedtorque}})$	Leistung und entweder Drehmoment oder Drehzahl
Maximum der Bedieneingabe	$n_{\text{act}} < n_{\text{ref}}$ und $T_{\text{act}} \geq T_{\text{ref}}$ oder $n_{\text{act}} \geq 0,98 n_{\text{ref}}$ und $T_{\text{act}} < T_{\text{ref}}$ oder $n_{\text{act}} < 0,98 n_{\text{ref}}$ und $T_{\text{ref}} > T_{\text{act}} \geq (T_{\text{ref}} - 0,02 T_{\text{maxmappedtorque}})$	Leistung und entweder Drehmoment oder Drehzahl

8. MESSVERFAHREN

8.1. Kalibrierung und Leistungsüberprüfung

8.1.1. Einführung

Dieser Absatz enthält eine Beschreibung der erforderlichen Kalibrierungen und Überprüfungen der Messsysteme. Siehe Absatz 9.4 für die Spezifikationen zu einzelnen Messgeräten.

Kalibrierungen oder Überprüfungen sind in der Regel über die gesamte Messkette durchzuführen.

Liegen für einen Teil des Messsystems keine Kalibrierungs- oder Überprüfungsspezifikationen vor, ist dieser Teil des Systems so oft wie vom Hersteller empfohlen und nach bestem fachlichen Ermessen zu kalibrieren und hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit zu überprüfen.

Zur Einhaltung der für Kalibrierungen und Überprüfungen festgelegten Toleranzen sind international anerkannte, rückverfolgbare Normen heranzuziehen.

8.1.2. Überblick über die Kalibrierungs- und Überprüfungstätigkeiten

Tabelle 8.1 enthält einen Überblick über die in Absatz 8 beschriebenen Kalibrierungs- und Überprüfungstätigkeiten sowie Angaben über den Zeitpunkt, zu dem diese Tätigkeiten durchgeführt werden müssen.

Tabelle 8.1

Überblick über die Kalibrierungs- und Überprüfungstätigkeiten

Art der Kalibrierung oder Überprüfung	Mindesthäufigkeit ^(a)
8.1.3: Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Geräuschentwicklung	Genauigkeit: Nicht erforderlich, aber bei der Erstinstallation empfohlen. Wiederholbarkeit: Nicht erforderlich, aber bei der Erstinstallation empfohlen. Geräuschentwicklung: Nicht erforderlich, aber bei der Erstinstallation empfohlen.

Art der Kalibrierung oder Überprüfung	Mindesthäufigkeit ^(a)
8.1.4: Linearität	Drehzahl: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten. Drehmoment: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten. Durchsatz von sauberem Gas und verdünntem Abgas: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten, es sei denn, der Durchsatz wird durch eine Propankontrolle oder mittels Kohlenstoff- oder Sauerstoffbilanz überprüft. Durchsatz von Rohabgas: bei der Erstinstallation, binnen 185 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten, es sei denn, der Durchsatz wird durch eine Propankontrolle oder mittels Kohlenstoff- oder Sauerstoffbilanz überprüft. Gasanalysatoren: bei der Erstinstallation, binnen 35 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten. PM-Waage: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten. Selbständiger Druck und selbständige Temperatur: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.5: Überprüfung des Ansprechverhaltens und der Aktualisierungsfunktion von kontinuierlichen Gasanalysatoren – für Gasanalysatoren, bei denen eine ständige Berichtigung um andere Gasarten vorgenommen wird	Bei der Erstinstallation oder nach Systemänderungen, die sich auf das Ansprechverhalten auswirken.
8.1.6: Überprüfung des Ansprechverhaltens und der Aktualisierungsfunktion von kontinuierlichen Gasanalysatoren – für Gasanalysatoren, die kontinuierlich für andere Gasarten kompensiert werden	Bei der Erstinstallation oder nach Systemänderungen, die sich auf das Ansprechverhalten auswirken.
8.1.7.1: Drehmoment	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.7.2: Druck, Temperatur, Taupunkt	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.8.1: Kraftstoffdurchsatz	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.8.2: Ansaugdurchsatz	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.8.3: Abgasdurchsatz	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.8.4: Durchsatzes verdünnten Abgases (CVS und PFD)	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.8.5: Überprüfung CVS/PFD und Probenentnehmer ^(b)	Bei der Erstinstallation, binnen 35 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten (Propankontrolle).
8.1.8.8: Vakuumleckage	Vor jedem Labortest gemäß Absatz 7.1.
8.1.9.1: CO ₂ -NDIR-H ₂ O-Querempfindlichkeit	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.9.2: CO-NDIR-CO ₂ - und -H ₂ O-Querempfindlichkeit	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.10.1: FID-Kalibrierung, Optimierung und Überprüfung eines THC-FID	Kalibrierung, Optimierung und Ermittlung des CH₄-Ansprechverhaltens: bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten. Überprüfung des CH₄-Ansprechverhaltens: bei der Erstinstallation, binnen 185 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.

Art der Kalibrierung oder Überprüfung	Mindesthäufigkeit ^(*)
8.1.10.2: Rohabgas-FID-O ₂ -Querempfindlichkeit	Bei allen FID-Analysatoren: bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten. Bei THC-FID-Analysatoren: bei der Erstinstallation, nach umfangreichen Wartungstätigkeiten und nach der FID-Optimierung gemäß Abschnitt 8.1.10.1.
8.1.10.3: Durchlassanteil des Nicht-methan-Cutters	Bei der Erstinstallation, binnen 185 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.11.1: CLD-CO ₂ - und H ₂ O-Querempfindlichkeit	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.11.3: NDUV-HC- und H ₂ O-Querempfindlichkeit	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.11.4: NO ₂ -Durchlassanteil Kühlbad (Kühlapparat)	Bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.11.5: Umwandlung des NO ₂ -NO-Konverters	Bei der Erstinstallation, binnen 35 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.
8.1.12.1: PM-Waage und Wägung	Unabhängige Überprüfung: bei der Erstinstallation, binnen 370 Tagen vor der Prüfung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten. Nullung, Justierung und Überprüfung von Vergleichsproben: binnen 12 Stunden vor der Wägung und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten.

(*) Kalibrierungen und Überprüfungen häufiger und gemäß Herstelleranweisung sowie nach bestem fachlichen Ermessen durchführen.

(b) Bei Systemen, die einer chemischen Kohlenstoff- oder Sauerstoffbilanz von Ansaugluft, Kraftstoff und verdünntem Abgas $\pm 2\%$ entsprechen, ist keine CVS-Überprüfung erforderlich.

8.1.3. Überprüfung von Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Geräuschentwicklung

Die in Tabelle 9.3 angegebenen Leistungswerte einzelner Geräte bilden die Grundlage zur Ermittlung der Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Geräuschentwicklung von Geräten.

Die Überprüfung der Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Geräuschentwicklung von Geräten ist nicht obligatorisch. Allerdings können derartige Überprüfungen in Betracht gezogen werden, um Spezifikationen für ein neues Gerät festzulegen, die Funktion eines neuen Geräts bei der Inbetriebnahme zu kontrollieren oder Störungen an einem vorhandenen Gerät zu beheben.

8.1.4. Linearitätsprüfung

8.1.4.1. Umfang und Häufigkeit

Für jedes in Tabelle 8.2 genannte Messsystem muss zumindest mit der dort angeführten Häufigkeit eine Linearitätsprüfung erfolgen, die den Empfehlungen des Herstellers entspricht und nach bestem fachlichen Ermessen durchgeführt wird. Mit Hilfe einer Linearitätsprüfung wird gewährleistet, dass ein Messsystem im gesamten relevanten Messbereich verhältnismäßig reagiert. Bei einer Linearitätsprüfung wird ein Messsystem anhand einer Serie von mindestens zehn Bezugswerten – sofern nichts anderes vorgeschrieben ist – überprüft. Das Messsystem quantifiziert jeden Bezugswert. Die Messwerte werden gemeinsam unter Anwendung einer linearen Regression nach der Fehlerquadratmethode und der in Tabelle 8.2 dieses Absatzes angegebenen Linearitätskriterien mit den Bezugswerten abgeglichen.

8.1.4.2. Leistungsanforderungen

Erfüllt ein Messsystem die anwendbaren Linearitätskriterien gemäß Tabelle 8.2 nicht, ist der Mangel durch Nachkalibrierung, Wartung oder den Austausch von Komponenten nach Bedarf zu beheben. Die Linearitätsprüfung ist nach der Behebung des Mangels zu wiederholen, um zu gewährleisten, dass das Messsystem den Linearitätskriterien nunmehr entspricht.

8.1.4.3. Verfahren

Bei der Prüfung ist anhand des nachstehenden Linearitätsprüfungsprotokolls vorzugehen:

- Das Messsystem ist mit den angegebenen Temperaturen, Drücken und Durchsätzen zu betreiben;

- b) das Gerät ist durch die Eingabe eines Nullsignals so zu nullen wie vor einer Emissionsprüfung. Bei Gasanalysatoren ist ein Nullgas gemäß den Spezifikationen in Absatz 9.5.1 zu verwenden, das direkt in die Eintrittsöffnung des Analysators einzuleiten ist;
- c) das Gerät ist durch die Eingabe eines Justiersignals so zu justieren wie vor einer Emissionsprüfung. Bei Gasanalysatoren ist ein Justiergas gemäß den Spezifikationen in Absatz 9.5.1 zu verwenden, das direkt in die Eintrittsöffnung des Analysators einzuleiten ist;
- d) nach der Justierung des Geräts ist die Nullung mit dem in Buchstabe b dieses Absatzes genannten Signal zu überprüfen. Auf der Basis der Nullablesung ist nach bestem fachlichen Ermessen zu entscheiden, ob das Gerät vor dem Fortfahren mit dem nächsten Schritt nachgenullt bzw. nachjustiert werden soll;
- e) für alle Messgrößen ist bei der Wahl der Bezugswerte y_{ref} , die den gesamten während der Emissionsprüfung erwarteten Wertebereich abdecken, gemäß Herstellerempfehlungen und nach bestem fachlichen Ermessen vorzugehen, damit nicht über diese Werte hinaus extrapoliert werden muss. Als einer der Bezugswerte der Linearitätsprüfung ist ein Nullbezugssignal zu wählen. Für Linearitätsprüfungen von selbständigem Druck und selbständiger Temperatur müssen mindestens drei Bezugswerte ausgewählt werden. Für alle anderen Linearitätsprüfungen müssen mindestens zehn Bezugswerte ausgewählt werden;
- f) die Wahl der Reihenfolge, in der die Serie von Bezugswerten eingeleitet wird, ist gemäß Herstellerempfehlungen und nach bestem fachlichen Ermessen zu treffen;
- g) Bezugsmengen sind wie in Absatz 8.1.4.4 beschrieben zu erzeugen und einzuleiten. Bei Gasanalysatoren sind Gaskonzentrationen zu verwenden, die bekanntermaßen den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1 entsprechen, wobei diese direkt in die Eintrittsöffnung des Analysators einzuleiten sind;
- h) für die Stabilisierung des Geräts während der Messung der Bezugswerte ist hinreichend Zeit vorzusehen;
- i) der Bezugswert ist zumindest mit der in Tabelle 9.2 angegebenen Mindestaufzeichnungsfrequenz über 30 s zu messen und der arithmetische Mittelwert der erfassten Werte $\bar{y}_i$ ist aufzuzeichnen;
- j) die in den Buchstaben g bis i dieses Absatzes genannten Schritte sind zu wiederholen, bis alle Bezugsgrößen gemessen sind;
- k) der arithmetische Mittelwert $\bar{y}_i$ und die Bezugswerte y_{ref} sind für die Berechnung der Parameter der linearen Regression nach der Fehlerquadratmethode sowie von statistischen Werten zum Abgleich mit den in Tabelle 8.2 festgelegten Mindestleistungskriterien zu verwenden. Es sind die in Anhang 4B Anlage A.2 Absatz A.2. beschriebenen Berechnungsverfahren anzuwenden.

8.1.4.4. Bezugssignale

Dieser Absatz enthält eine Beschreibung der empfohlenen Verfahren zur Erzeugung von Bezugswerten für das Linearitätsprüfungsprotokoll gemäß Absatz 8.1.4.3. Zu verwenden sind Bezugswerte, die tatsächliche Werte simulieren, oder es ist ein tatsächlicher Wert einzuleiten und mit einem Bezugsmesssystem zu messen. Im zweiten Fall ist der vom Bezugsmesssystem gemeldete Wert der Bezugswert. Bezugswerte und Bezugsmesssysteme müssen auf internationale Normen rückführbar sein.

Bei Temperaturmesssystemen mit Sensoren wie Thermoelementen, Widerstandsthermometern und Thermistoren kann der Sensor für die Linearitätsprüfung aus dem System entnommen und durch einen Simulator ersetzt werden. Zu verwenden ist ein unabhängig kalibrierter Simulator, falls erforderlich einer Kompensation der Kaltlötstellentemperatur. Die anhand der Temperatur skalierte international rückführbare Simulatorunsicherheit muss weniger als 0,5 % der maximalen Betriebstemperatur T_{max} betragen. Bei der Wahl dieser Option müssen Sensoren verwendet werden, die laut Herstellerangaben eine Genauigkeit von über 0,5 % von T_{max} bezogen auf ihre Standardkalibrierkurve aufweisen.

8.1.4.5. Messsysteme, die eine Linearitätsprüfung erfordern

Tabelle 8.2 enthält eine Aufstellung der Messsysteme, die eine Linearitätsprüfung erfordern. Für diese Tabelle gelten die nachstehenden Bestimmungen.

- a) Wenn vom Hersteller empfohlen oder nach bestem fachlichen Ermessen erforderlich, sind Linearitätsprüfungen häufiger durchzuführen;
- b) „min“ bezieht sich auf den im Zuge der Linearitätsprüfung verwendeten minimalen Bezugswert;

bei diesem Wert kann es sich in Abhängigkeit vom Signal auch um Null oder einen negativen Wert handeln;

- c) „max“ bezieht sich in der Regel auf den im Zuge der Linearitätsprüfung verwendeten maximalen Bezugswert. Beispielsweise entspricht $x_{\max}$ bei Gasteilern der ungeteilten, unverdünnten Justiergaskonzentration. Nachstehend angeführt sind Sonderfälle, bei denen sich „max“ auf einen anderen Wert bezieht:
- i) bei der Linearitätsprüfung der PM-Waage bezieht sich $m_{\max}$ auf die typische Masse eines PM-Filters;
 - ii) Bei der Linearitätsprüfung des Drehmoments bezieht sich $T_{\max}$ auf den vom Hersteller angegebenen Drehmoment-Spitzenwert des Motors, der das höchste Drehmoment der geprüften Motoren aufweist.
- d) die Bereichsangaben umfassen die oberen und unteren Grenzwerte. Beispielsweise entspricht ein angegebener Bereich von 0,98-1,02 für die Steigung a_1 $0,98 \leq a_1 \leq 1,02$;
- e) bei Systemen, die den in Absatz 8.1.8.5. für die Propankontrolle beschriebenen Kriterien zur Überprüfung des Durchsatzes von verdünntem Abgas oder einer chemischen Kohlenstoff- oder Sauerstoffbilanz von Ansaugluft, Kraftstoff und Abgas mit einer Toleranz von ± 2 Prozent entsprechen, sind keine Linearitätsprüfungen erforderlich;
- f) a_1 -Kriterien für diese Größen sind nur einzuhalten, wenn anstelle eines Signals, das nur linear verhält, ein Signal, das dem tatsächlichen Wert ist, der Absolutwert der Messgröße gefordert ist;
- g) zu den selbständigen Temperaturen zählen die zur Erzeugung oder Überprüfung von Motorbedingungen dienenden Motortemperaturen und Umgebungsbedingungen, die zur Erzeugung oder Überprüfung kritischer Bedingungen im Prüfsystem verwendeten Temperaturen sowie für Emissionsberechnungen herangezogene Temperaturen:
- i) die nachstehenden Temperatur-Linearitätsprüfungen sind obligatorisch: Luftansaugung, Nachbehandlungssystem(e) (für Motoren, die mit Nachbehandlungsgeräten in Zyklen mit Kaltstartkriterien geprüft wurden), Verdünnungsluft für PM-Probenahmesysteme (CVS-, Doppelverdünnungs- und Teilstromsysteme), PM-Proben und Kühlapparatproben (bei Systemen für gasförmige Proben, in denen Proben mit Hilfe von Kühlapparaten getrocknet werden);
 - ii) die nachstehenden Temperatur-Linearitätsprüfungen sind nur obligatorisch, wenn vom Motorhersteller gefordert: Kraftstoffzufuhr, Luftaustritt des Ladeluftkühlers der Prüfzelle (für Motoren, die auf einem Prüfstand mit einem Wärmetauscher, der einen Fahrzeug-/Motor-Ladeluftkühler simuliert, geprüft wurden), Kühlmiteleintritt des Ladeluftkühlers in der Prüfzelle (für Motoren, in einer Prüfzelle mit einem Wärmetauscher, der einen Fahrzeug-/Motor-Ladeluftkühler simuliert, geprüft wurden), Öl im Sumpf/in der Wanne und Kühlmittel vor dem Thermostat (für flüssigkeitsgekühlte Motoren);
- h) zu den selbständigen Drücken zählen die zur Erzeugung oder Überprüfung von Motorbedingungen dienenden Motordrücke und Umgebungsbedingungen, die zur Erzeugung oder Überprüfung kritischer Bedingungen im Prüfsystem verwendeten Drücke sowie für Emissionsberechnungen herangezogene Drücke:
- i) die nachstehenden Druck-Linearitätsprüfungen sind obligatorisch: Luftansaugungsdrösselung, Abgasgegendruck, Barometer, Manometerdruck am CVS-Eintritt (wenn die Messung mittels CVS erfolgt), Kühlapparatproben (bei Systemen für gasförmige Proben, in denen Proben mit Hilfe von Kühlapparaten getrocknet werden);
 - ii) die nachstehenden Druck-Linearitätsprüfungen sind nur obligatorisch, wenn vom Motorhersteller gefordert: Ladeluftkühler am Prüfstand und Druckabfall im Verbindungsrohr (für Motoren mit Turbolader, die auf einem Prüfstand mit einem Wärmetauscher, der einen Fahrzeug-/Motor-Ladeluftkühler simuliert, geprüft wurden), Kraftstoffzufuhr und Kraftstoffaustritt.

Tabelle 8.2

Messsysteme, die eine Linearitätsprüfung erfordern

Messsystem	Messgröße	Mindesthäufigkeit der Überprüfung	Linearitätskriterien			
			$ x_{\min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 $	a	SEE	r^2
Motordrehzahl	n	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 0,05 \% n_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% n_{\max}$	$\geq 0,990$
Motordrehmoment	T	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% T_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% T_{\max}$	$\geq 0,990$
Kraftstoffdurchsatz	q_m	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% q_{m,\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{m,\max}$	$\geq 0,990$

Messsystem	Messgröße	Mindesthäufigkeit der Überprüfung	Linearitätskriterien			
			$ x_{\min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 $	a	SEE	r^2
Ansaugluftdurchsatz	q_v	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% q_{v,\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v,\max}$	$\geq 0,990$
Verdünnungsluftdurchsatz	q_v	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% q_{v,\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v,\max}$	$\geq 0,990$
Durchsatz des verdünnten Abgases	q_v	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% q_{v,\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v,\max}$	$\geq 0,990$
Rohabgasdurchsatz	q_v	Binnen 185 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% q_{v,\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v,\max}$	$\geq 0,990$
Probenentnehmerdurchsatz	q_v	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% q_{v,\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v,\max}$	$\geq 0,990$
Gasteiler	x/x_{span}	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 0,5 \% x_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% x_{\max}$	$\geq 0,990$
Gasanalysatoren	x	Binnen 35 Tagen vor der Prüfung	$\leq 0,5 \% x_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% x_{\max}$	$\geq 0,998$
PM-Waage	m	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% m_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% m_{\max}$	$\geq 0,998$
Selbständige Drücke	p	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% p_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% p_{\max}$	$\geq 0,998$
Analog-Digital-Wandlung von selbständigen Temperatursignalen	T	Binnen 370 Tagen vor der Prüfung	$\leq 1 \% T_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% T_{\max}$	$\geq 0,998$

8.1.5. Überprüfung des Ansprechverhaltens und der Aktualisierungs-/ Aufzeichnungsfunktion von kontinuierlichen Gasanalysatoren

In diesem Abschnitt wird ein allgemeines Verfahren zur Überprüfung des Ansprechverhaltens und der Aktualisierungs-/ Aufzeichnungsfunktion von kontinuierlichen Gasanalysatoren beschrieben. Siehe Absatz 8.1.6 für Verfahren zur Überprüfung von Kompensationsanalysatoren.

8.1.5.1. Umfang und Häufigkeit

Diese Überprüfung ist nach der Installation oder dem Austausch eines für die kontinuierliche Probenahme verwendeten Gasanalysators durchzuführen. Diese Überprüfung muss darüber hinaus ausgeführt werden, wenn das System auf eine Art und Weise neu konfiguriert wird, die sich auf das Ansprechverhalten des Systems auswirkt. Erforderlich ist diese Überprüfung bei kontinuierlichen Gasanalysatoren, die für dynamische Prüfungen oder gestufte Mehrphasenprüfungen verwendet werden, nicht hingegen bei Gasanalysatorsystemen für Stichproben oder bei Systemen von kontinuierlichen Gasanalysatoren, die nur für Einzelprüfungen eingesetzt werden.

8.1.5.2. Messgrundsätze

Bei dieser Überprüfung wird sichergestellt, dass die Aktualisierungs- und Aufzeichnungsfrequenz dem allgemeinen Ansprechverhalten des Systems bei einer raschen Veränderung der Konzentrationswerte an der Probenahmesonde entspricht. Gasanalysatoren sind so zu optimieren, dass ihr allgemeines Ansprechverhalten bei einer raschen Veränderung der Konzentration mit angemessener Frequenz aktualisiert und aufgezeichnet wird, um Informationsverluste zu vermeiden. Im Rahmen dieser Überprüfung wird auch gewährleistet, dass kontinuierliche Gasanalysatoren eine bestimmte Mindestansprechzeit aufweisen.

Zur Bewertung der Ansprechzeit werden exakt die gleichen Systemeinstellungen (d. h. Druck, Durchsätze, Filtereinstellungen der Analysatoren und alle übrigen Einflüsse auf die Ansprechzeit) wie bei der Messung des Prüflaufs verwendet. Die Bestimmung der Ansprechzeit erfolgt durch Gasumstellung direkt am Eintritt der Probenahmesonde. Die Gaswechseleinrichtungen müssen einer Spezifikation entsprechen, die vorsieht, dass der Gaswechsel in weniger als 0,1 Sekunde erfolgt. Die für die Prüfung verwendeten Gase müssen eine Veränderung der Konzentration von mindestens 60 % des Skalenendwertes bewirken.

Die Konzentrationskurve ist für jeden einzelnen Abgasbestandteil aufzuzeichnen.

8.1.5.3. Systemanforderungen

- a) Die Systemansprechzeit muss bei einer Anstiegszeit von $\leq 2,5$ s bzw. bei einer Anstieg- und Abfallzeit von ≤ 5 s für alle gemessenen Abgasbestandteile (CO , NO_x , CO_2 und HC) und alle verwendeten Messbereiche ≤ 10 s betragen. Wird für die NMHC-Messung ein NMC verwendet, kann die Systemansprechzeit 10 s überschreiten.

Alle Daten (Konzentration, Kraftstoff- und Luftdurchsatz) sind vor der Durchführung der Emissionsberechnungen laut den Anlagen A.7 und A.8 um ihre gemessenen Ansprechzeiten zu verschieben;

- b) zum Nachweis einwandfreier Aktualisierungs- und Aufzeichnungsfunktionen im Hinblick auf das allgemeine Ansprechverhalten des Systems muss das System eines der folgenden Kriterien erfüllen:
- das Produkt aus der mittleren Anstiegszeit und der Frequenz, mit der das System eine aktualisierte Konzentration erfasst, muss mindestens 5 betragen. Die mittlere Anstiegszeit darf in keinem Fall mehr als 10 s betragen;
 - die Frequenz, mit der das System die Konzentration erfasst, muss mindestens 2 Hz betragen (siehe auch Tabelle 9.2).

8.1.5.4. Verfahren

Das nachstehende Verfahren dient zur Überprüfung des Ansprechverhaltens jedes kontinuierlichen Gasanalysators:

- a) Die Anweisungen des Herstellers zur Inbetriebnahme und zum Betrieb des Geräts sind zu beachten. Das Messsystem ist zur Leistungsoptimierung nach Bedarf zu justieren. Bei dieser Überprüfung ist der Analysator auf die gleiche Weise zu betreiben wie bei der Emissionsprüfung. Teilt der Analysator sein Probenahmesystem mit anderen Analysatoren und wirkt sich der Durchfluss des Gases zu den anderen Analysatoren auf die Ansprechzeit des Systems aus, sind die anderen Analysatoren während der Durchführung dieser Überprüfung ebenfalls einzuschalten und zu betreiben. Diese Überprüfung kann gleichzeitig für mehrere Analysatoren, die über ein gemeinsames Probenahmesystem verfügen, durchgeführt werden. Werden bei der Emissionsprüfung analoge Filter oder Echtzeit-Digitalfilter eingesetzt, müssen diese Filter bei der Überprüfung wie üblich verwendet werden;
- b) für Einrichtungen zur Validierung der Systemansprechzeit wird die Verwendung von möglichst kurzen Gasübertragungsleitungen zwischen allen Anschlüssen empfohlen, wobei eine Nullluftquelle mit einem Eintritt eines schnell schaltenden 3-Wege-Ventils (zwei Eintritte, ein Austritt) verbunden wird, um den Durchfluss von Nullgas und Justiergasgemischen in den Sondereintritt des Probenahmesystems oder ein T-Stück in der Nähe des Sondereintritts zu kontrollieren. In der Regel ist der Gasdurchsatz höher als der Probendurchsatz der Sonde und der Überschuss wird über den Sondereintritt abgeleitet. Liegt der Gasdurchsatz unterhalb des Sondereintritts, müssen die Gaskonzentrationen angepasst werden, um der Verdünnung durch in die Sonde eindringende Umgebungsluft Rechnung zu tragen. Verwendet werden können binäre oder Multigas-Justiergase. Zum Mischen der Justiergase kann eine Gasmischvorrichtung eingesetzt werden. Die Nutzung einer Gasmischvorrichtung wird empfohlen, wenn mit N_2 verdünnte Justiergase mit luftverdünnten Justiergasen vermischt werden sollen.

Mit Hilfe eines Gasteilers wird ein $\text{NO-CO-CO}_2\text{-C}_3\text{H}_8\text{-CH}_4$ -Justiergas (Rest N_2) zu gleichen Teilen mit einem NO_2 -Justiergas (Rest gereinigte synthetische Luft) vermischt. Gegebenenfalls können anstelle von vermishtem $\text{NO-CO-CO}_2\text{-C}_3\text{H}_8\text{-CH}_4$ -Justiergas (Rest N_2) auch binäre Standard-Justiergase verwendet werden. In diesem Fall sind für alle Analysatoren getrennte Prüfungen des Ansprechverhaltens durchzuführen. Der Austritt des Gasteilers ist mit dem anderen Eintritt des 3-Wege-Ventils zu verbinden. Der Ventilaustritt wird mit einem Überlauf an der Sonde des Gasanalysators oder mit einer Überlaufgarnitur zwischen der Sonde und der Übertragungsleitung zu allen zu prüfenden Analysatoren verbunden. Die Vermeidung von Druckpulsationen infolge der Unterbrechung des Durchflusses durch die Gasmischvorrichtung ist durch eine geeignete Vorrichtung zu gewährleisten. Gasbestandteile, die zur Überprüfung der Analysatoren nicht erforderlich sind, sind wegzulassen. Alternativ ist die Verwendung von Gasflaschen mit Einzelgasen und die getrennte Messung der Ansprechzeiten zulässig;

- c) bei der Datenerfassung ist folgendermaßen vorzugehen:

- das Ventil wird betätigt, um den Durchfluss von Nullgas zu aktivieren;
- die Stabilisierung ist abzuwarten, um Transportverzögerungen auszugleichen und ein volles Ansprechen des langsamsten Analysators zu erlauben;
- die Datenaufzeichnung wird mit der bei der Emissionsprüfung verwendeten Frequenz aufgenommen. Bei jedem aufgezeichneten Wert muss es sich um eine einmalige, aktualisierte, vom Analysator gemessene Konzentration handeln; aufgezeichnete Werte dürfen nicht durch Interpolation oder Filterung verändert werden;
- das Ventil wird betätigt, um die vermishten Justiergase in die Analysatoren einzuleiten. Die dafür benötigte Zeit wird als t_0 erfasst;
- es wird abgewartet, um Transportverzögerungen auszugleichen und ein volles Ansprechen des langsamsten Analysators zu erlauben;

- vi) der Durchfluss wird umgestellt, um Nullgas in den Analysator einzuleiten. Die dafür benötigte Zeit wird als t_{100} erfasst;
- vii) es wird abgewartet, um Transportverzögerungen auszugleichen und ein volles Ansprechen des langsamsten Analysators zu erlauben;
- viii) die Schritte gemäß Buchstabe c Ziffer iv bis vii dieses Absatzes werden wiederholt, bis sieben vollständige Zyklen aufgezeichnet sind; der Messzyklus endet mit der Einleitung von Nullgas in die Analysatoren;
- ix) die Aufzeichnung wird beendet.

8.1.5.5. Leistungsbeurteilung

Die Daten gemäß Absatz 8.1.5.4. Buchstabe c dienen zur Berechnung der mittleren Anstiegszeit T_{10-90} für jeden der Analysatoren.

- a) Soll die Einhaltung von Absatz 8.1.5.3. Buchstabe b Ziffer i nachgewiesen werden, ist folgendermaßen vorzugehen: Die Anstiegszeiten (in s) werden mit ihren jeweiligen Aufzeichnungsfrequenzen in Hertz (1/s) multipliziert. Das jeweilige Ergebnis muss mindestens 5 betragen. Liegt der Wert niedriger als 5, müssen die Aufzeichnungsfrequenz erhöht, die Durchsätze angepasst oder das Probenahmesystem verändert werden, um die Anstiegszeit nach Bedarf zu erhöhen. Zur Erhöhung der Anstiegszeit können auch Digitalfilter konfiguriert werden;
- b) soll die Einhaltung von Absatz 8.1.5.3. Buchstabe b Ziffer ii nachgewiesen werden, genügt es, die Erfüllung der Anforderungen gemäß Absatz 8.1.5.3. Buchstabe b Ziffer ii zu zeigen.

8.1.6. Überprüfung der Ansprechzeit von Kompensationsanalysatoren

8.1.6.1. Umfang und Häufigkeit

Diese Überprüfung dient zur Ermittlung des Ansprechverhaltens eines kontinuierlichen Gasanalysators, wenn zur Quantifizierung einer gasförmigen Emission das Ansprechverhalten eines Analysators durch das eines anderen kompensiert wird. Für die Zwecke dieser Überprüfung gilt Wasserdampf als gasförmiger Bestandteil. Erforderlich ist diese Überprüfung bei kontinuierlichen Gasanalysatoren, die für dynamische Prüfungen oder gestufte Mehrphasenprüfungen verwendet werden. Nicht erforderlich ist diese Überprüfung bei Gasanalysatoren für Stichproben oder bei kontinuierlichen Gasanalysatoren, die nur für Einzelprüfungen eingesetzt werden. Diese Überprüfung ist weder auf die Korrektur für im Rahmen der Nachbearbeitung aus der Probe entnommenes Wasser noch auf die NMHC-Bestimmung aus THC und CH_4 gemäß den Anlagen A.7 und A.8 über die Emissionsberechnungen anwendbar. Sie ist nach der Erstinstallation (d. h. der Inbetriebnahme der Prü fzelle) durchzuführen. Nach umfangreichen Wartungstätigkeiten kann gemäß Absatz 8.1.5. vorgegangen werden, um ein einheitliches Ansprechverhalten zu gewährleisten, vorausgesetzt, dass sämtliche ausgetauschten Komponenten zu irgendeinem Zeitpunkt einer Überprüfung des einheitlichen Ansprechverhaltens bei Feuchtigkeit unterzogen wurden.

8.1.6.2. Messgrundsätze

Dieses Verfahren dient zur Überprüfung des Zeitabgleichs und des einheitlichen Ansprechverhaltens kontinuierlich kombinierter Gasmessungen. Bei der Anwendung dieses Verfahrens muss sichergestellt werden, dass alle Kompensierungsalgorithmen und Feuchtigkeitskorrekturen aktiviert sind.

8.1.6.3. Systemanforderungen

Die in Absatz 8.1.5.3. Buchstabe a festgelegten Anforderungen hinsichtlich allgemeiner Ansprechzeit und Anstiegszeit gelten auch für Kompensationsanalysatoren. Wenn sich die Aufzeichnungsfrequenz von der Aktualisierungsfrequenz des kontinuierlich kombinierten/kompensierten Signals unterscheidet, ist für die gemäß Absatz 8.1.5.3. Buchstabe b Ziffer i geforderte Überprüfung die niedrigere der beiden Frequenzen zu verwenden.

8.1.6.4. Verfahren

Alle in Absatz 8.1.5.4. Buchstaben a bis c genannten Verfahren sind anzuwenden. Zudem sind auch das Ansprechverhalten und die Anstiegszeit von Wasserdampf zu messen, wenn ein Kompensierungsalgorithmus auf der Grundlage von gemessenem Wasserdampf eingesetzt wird. In diesem Fall muss zumindest eines der verwendeten Kalibrier gas e (nicht jedoch NO_2) folgendermaßen befeuchtet werden:

Nutzt das System keinen Probentrockner zum Abscheiden von Wasser aus dem Probengas, muss das Justiergas befeuchtet werden, indem das Gasgemisch durch ein abgedichtetes Gefäß mit destilliertem Wasser geleitet wird, wo das Gas auf den höchsten während der Emissionsprobenahme erwarteten Probentaupunkt

befeuchtet wird. Wird das System während der Prüfung mit einem Probentrockner betrieben, der der einschlägigen Überprüfung standgehalten hat, kann das befeuchtete Gasgemisch hinter dem Probentrockner eingeleitet werden, indem es bei $25 \pm 10^\circ\text{C}$ oder einer Temperatur oberhalb des Taupunkts in ein abgedichtetes Gefäß mit destilliertem Wasser geleitet wird. In allen Fällen ist das befeuchtete Gas nach dem Gefäß in der Leitung auf einer Temperatur von mindestens 5°C über seinem lokalen Taupunkt zu halten. Gasbestandteile, die zur Überprüfung der Analysatoren nicht erforderlich sind, können weggelassen werden. Bei Gasbestandteilen, die nicht zum Wasserausgleich neigen, kann die Überprüfung des Ansprechverhaltens dieser Analysatoren ohne Befeuchtung durchgeführt werden.

8.1.7. Messung von Motorparametern und Umgebungsbedingungen

Der Motorhersteller muss interne Qualitätssicherungsverfahren anwenden, die auf anerkannte nationale oder internationale Normen rückführbar sind. Andernfalls ist auf die nachstehenden Verfahren zurückzugreifen.

8.1.7.1. Kalibrierung des Drehmoments

8.1.7.1.1. Umfang und Häufigkeit

Alle Drehmoment-Messsysteme, einschließlich Messwertaufnehmern und Systemen für die Drehmomentmessung am Leistungsprüfstand, sind bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten u. a. mittels Bezugskraft oder Hebelarmlänge in Verbindung mit Totgewicht zu kalibrieren. Die Kalibrierung ist nach bestem fachlichen Ermessen zu wiederholen. Zur Linearisierung der Messwerte des Drehmoment-sensors sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten. Andere Kalibrierungsverfahren sind zulässig.

8.1.7.1.2. Kalibrierung mit Totgewicht

Bei diesem Verfahren wird eine bekannte Kraft angewendet, indem bekannte Gewichte in einem bekannten Abstand an einen Hebelarm gehängt werden. Dabei ist sicherzustellen, dass der Hebelarm mit den Gewichten rechtwinkelig zur Schwerkraft (also horizontal) und rechtwinkelig zur Drehachse des Leistungsprüfstands ausgerichtet ist. Für jeden benötigten Drehmoment-Messbereich sind mindestens sechs Kalibriergewichtskombinationen anzubringen, wobei die Gewichtsmengen in etwa gleichmäßig über den Bereich zu verteilen sind. Der Leistungsprüfstand ist während der Kalibrierung in Schwingung oder Drehung zu versetzen, um eine reibungsbedingte Wechselfeldhysterese zu verringern. Die Kraft jedes Gewichts wird durch die Multiplikation seiner auf internationale Normen rückführbaren Masse mit der Erdbeschleunigung des jeweiligen Ortes ermittelt.

8.1.7.1.3. Kalibrierung mit Dehnungsmessstreifen oder Ringfeder

Bei diesem Verfahren wird Kraft angewendet, indem entweder Gewichte an einen Hebelarm gehängt werden (diese Gewichte und die Hebelarmlänge werden nicht zur Ermittlung des Bezugsdrehmoments herangezogen) oder indem der Leistungsprüfstand mit unterschiedlichen Drehmomenten betrieben wird. Für jeden benötigten Drehmoment-Messbereich sind mindestens sechs Kraftkombinationen anzuwenden, wobei die Kraftmengen in etwa gleichmäßig über den Bereich zu verteilen sind. Der Leistungsprüfstand ist während der Kalibrierung in Schwingung oder Drehung zu versetzen, um eine reibungsbedingte Wechselfeldhysterese zu verringern. In diesem Fall wird das Bezugsdrehmoment ermittelt, indem die mit der Bezugsmesseinrichtung (etwa ein Dehnungsmessstreifen oder einer Ringfeder) ermittelte Kraft mit der effektiven Hebelarmlänge – gemessen von dem Punkt, an dem die Kraftmessung erfolgt, bis zur Drehachse des Leistungsprüfstandes – multipliziert wird. Dabei ist zu gewährleisten, dass diese Länge rechtwinkelig zur Messachse der Bezugsmesseinrichtung und rechtwinkelig zur Drehachse des Leistungsprüfstands gemessen wird.

8.1.7.2. Kalibrierung von Druck, Temperatur und Taupunkt

Geräte für die Messung von Druck, Temperatur und Taupunkt sind bei der Erstinstallation zu kalibrieren. Dabei sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten, und die Kalibrierung ist nach bestem fachlichen Ermessen zu wiederholen.

Für Temperaturmesssysteme mit Thermoelementen, Widerstandsthermometern oder Thermistorsensoren wird die Kalibrierung durchgeführt, wie in Absatz 8.1.4.4. für Linearitätsprüfungen beschrieben.

8.1.8. Durchsatzbezogene Messungen

8.1.8.1. Kalibrierung des Kraftstoffdurchsatzes

Geräte zur Messung des Kraftstoffdurchsatzes sind bei der Erstinstallation zu kalibrieren. Dabei sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten, und die Kalibrierung ist nach bestem fachlichen Ermessen zu wiederholen.

8.1.8.2. Kalibrierung des Ansaugluftdurchsatzes

Geräte zur Messung des Ansaugluftdurchsatzes sind bei der Erstinstallation zu kalibrieren. Dabei sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten, und die Kalibrierung ist nach bestem fachlichen Ermessen zu wiederholen.

8.1.8.3. Kalibrierung des Abgasdurchsatzes

Geräte zur Messung des Abgasdurchsatzes sind bei der Erstinstallation zu kalibrieren. Dabei sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten, und die Kalibrierung ist nach bestem fachlichen Ermessen zu wiederholen.

8.1.8.4. Kalibrierung des Durchsatzes des verdünnten Abgases (CVS)

8.1.8.4.1. Übersicht

- a) In diesem Abschnitt wird die Kalibrierung von Geräten zur Messung des Durchsatzes von CVS-Probenahmesystemen für verdünntes Abgas beschrieben;
- b) für diese Kalibrierung muss sich das Durchsatzmessgerät in seiner ständigen Position befinden. Diese Kalibrierung ist durchzuführen, wenn eine dem Durchsatzmessgerät vor- oder nachgelagerte Komponente der Durchflusskonfiguration, die sich auf die Kalibrierung des Durchsatzmessgeräts auswirken kann, verändert wurde. Zudem ist diese Kalibrierung bei der CVS-Erstinstallation und in Fällen, in denen Abhilfemaßnahmen zur Behebung von bei der Überprüfung des Durchsatzes des verdünnten Abgases (d. h. Propankontrolle) gemäß Absatz 8.1.8.5 festgestellten Mängeln versagen, erforderlich;
- c) ein CVS-Durchsatzmessgerät wird mit Hilfe eines Bezugsdurchsatzmessgeräts wie einem subsonischen Venturirohr, einer Durchflussdüse mit langem Radius, einer SAO-Düse (Smooth Approach Orifice), einem Laminardurchfluss-Element, mehrerer Venturirohre mit kritischer Strömung oder einem Ultraschalldurchsatzmessgerät kalibriert. Es ist ein Bezugsdurchsatzmessgerät zu verwenden, dessen Messungen mit $\pm 1\%$ Messunsicherheit auf internationale Normen rückführbar sind. Die Durchsatzmessung des Bezugsdurchsatzmessgeräts dient als Bezugswert für die Kalibrierung des CVS-Durchsatzmessgeräts;
- d) die Verwendung eines vorgeschalteten Siebs oder eines sonstigen Begrenzers, der sich auf den Durchsatz vor dem Bezugsdurchsatzmessgerät auswirken könnte, ist nicht zulässig, es sei denn, diese Drosselung wurde bei der Kalibrierung des Durchsatzmessgeräts berücksichtigt;
- e) der in Absatz 8.1.8.4 beschriebene Kalibrierungsablauf bezieht sich auf den molbasierten Ansatz. Für den entsprechenden Ablauf beim massenbasierten Ansatz siehe Anhang 8 Anlage 1.

8.1.8.4.2. PDP-Kalibrierung

Bei der Kalibrierung einer Verdrängerpumpe (PDP) wird eine Gleichung für das Verhältnis zwischen Durchsatz und PDP-Drehzahl ermittelt, die Durchsatzverluste an Dichtflächen in der PDP als Funktion des PDP-Eintrittsdrucks abbildet. Für jede Drehzahl, mit der die PDP betrieben wird, sind eigene Gleichungskoeffizienten zu bestimmen. Ein PDP-Durchsatzmessgerät wird folgendermaßen kalibriert:

- a) Das System ist anzuschließen, wie in Abbildung 8.1 dargestellt;
- b) Lecks zwischen dem Durchsatzmessgerät zur Kalibrierung und der PDP müssen kleiner als 0,3 % des Gesamtdurchsatzes am niedrigsten kalibrierten Durchsatzpunkt sein; beispielsweise am höchsten Drosselungs- und am niedrigsten PDP-Drehzahlpunkt;
- c) während des PDP-Betriebs muss am PDP-Eintritt eine konstante Temperatur im Bereich von $\pm 2\%$ der mittleren absoluten Eintrittstemperatur T_{in} gewahrt werden;
- d) die PDP-Drehzahl wird auf den ersten zu kalibrierenden Drehzahlpunkt eingestellt;
- e) der variable Begrenzer wird auf volle Öffnung eingestellt;
- f) die PDP wird mindestens 3 min betrieben, damit sich das System stabilisieren kann. Während die PDP kontinuierlich weiterläuft, werden die Mittelwerte von mindestens 30 s an erfassten Daten für jede der folgenden Messgrößen aufgezeichnet:
 - i) mittlerer Durchsatz des Bezugsdurchsatzmessgeräts $\bar{q}_{Vref}$;
 - ii) mittlere Temperatur am PDP-Eintritt T_{in} ;
 - iii) mittlerer statischer absoluter Druck am PDP-Eintritt p_{in} ;
 - iv) mittlerer statischer absoluter Druck am PDP-Austritt p_{out} ;
 - v) mittlere PDP-Drehzahl n_{PDP} ;
- g) das Begrenzerventil wird schrittweise geschlossen, um den absoluten Druck am PDP-Eintritt p_{in} abzusenkten;

- h) die Schritte gemäß Absatz 8.1.8.4.2. Buchstaben f und g sind zu wiederholen, um Daten an mindestens sechs Begrenzerpositionen innerhalb des gesamten verwendeten Druckbereichs am PDP-Eintritt zu erfassen;
- i) die PDP ist anhand der gesammelten Daten und der Gleichungen in den Anlagen A.7 bis A.8 zu kalibrieren;
- j) die Schritte gemäß Buchstaben f bis i dieses Abschnitts sind für jede Drehzahl, mit der die PDP betrieben wird, zu wiederholen;
- k) die Gleichungen in Anhang 4B Anlage A.7 (molbasierter Ansatz) bzw. A.8 (massenbasierter Ansatz) dienen zur Ermittlung der PDP-Durchsatzgleichung für die Emissionsprüfung;
- l) die Kalibrierung muss mit Hilfe einer CVS-Überprüfung (d. h. einer Propankontrolle) gemäß Absatz 8.1.8.5. geprüft werden;
- m) die PDP darf nicht mit einem Druck unterhalb des niedrigsten im Rahmen der Kalibrierung geprüften Eintrittsdrucks betrieben werden.

8.1.8.4.3. CFV-Kalibrierung

Bei der Kalibrierung eines Venturirohrs mit kritischer Strömung (CFV) wird sein Durchflusskoeffizient C_d beim niedrigsten erwarteten statischen Differenzdruck zwischen dem CFV-Ein- und Austritt überprüft. Ein CFV-Durchsatzmessgerät wird folgendermaßen kalibriert:

- a) Das System ist anzuschließen, wie in Abbildung 8.1 dargestellt;
- b) das Gebläse wird hinter dem CFV gestartet;
- c) während des CFV-Betriebs muss am CFV-Eintritt eine konstante Temperatur im Bereich von $\pm 2\%$ der mittleren absoluten Eintrittstemperatur T_{in} gewahrt werden;
- d) Lecks zwischen dem Durchsatzmessgerät zur Kalibrierung und dem CFV müssen weniger als 0,3 % des Gesamtdurchsatzes bei der höchsten Drosselung entsprechen;
- e) der variable Begrenzer wird auf volle Öffnung eingestellt. Anstelle eines variablen Begrenzers kann der Druck nach dem CFV auch durch die Anpassung der Gebläseleistung oder durch den Einsatz eines kontrollierten Lecks verändert werden. Für manche Gebläse gelten in unbelastetem Zustand Beschränkungen;
- f) das CFV wird mindestens 3 min betrieben, damit sich das System stabilisieren kann. Während das CFV kontinuierlich weiterläuft, werden die Mittelwerte von mindestens 30 s an erfassten Daten für jede der folgenden Messgrößen aufgezeichnet:
 - i) mittlerer Durchsatz des Bezugsdurchsatzmessgeräts $\bar{q}_{Vref}$;
 - ii) optional: mittlerer Taupunkt der Kalibrierluft T_{dew} . Siehe Anlagen A.7 und A.8 für zulässige Annahmen während der Emissionsmessung;
 - iii) mittlere Temperatur am Eintritt des Venturirohrs T_{in} ;
 - iv) mittlerer statischer absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs p_{in} ;
 - v) mittlerer statischer Differenzdruck zwischen CFV-Eintritt und CFV-Austritt Δp_{CFV} ;
- g) das Begrenzerventil wird schrittweise geschlossen, um den absoluten Druck am CFV-Eintritt p_{in} abzusenkten;
- h) die Schritte gemäß Buchstaben f und g dieses Absatzes werden wiederholt, bis Mittelwerte an mindestens zehn Begrenzerpositionen erfasst sind, so dass während der Prüfung der erwartete praktische Bereich des Werts Δp_{CFV} möglichst vollständig abgedeckt ist. Es müssen keine Kalibrierungskomponenten oder CVS-Komponenten entfernt werden, um bei geringstmöglicher Drosselung zu kalibrieren;
- i) C_d und das niedrigste zulässige Druckverhältnis r sind gemäß den Anlagen A.7 und A.8 zu ermitteln;
- j) C_d dient zur Bestimmung des CFV-Durchsatzes während einer Emissionsprüfung. Das CFV darf nicht unterhalb des niedrigsten zulässigen Werts r , der gemäß den Anlagen A.7 und A.8 ermittelt wurde, eingesetzt werden;
- k) die Kalibrierung kann mit Hilfe einer CVS-Überprüfung (d. h. einer Propankontrolle) gemäß Absatz 8.1.8.5. geprüft werden;

- l) wenn das CVS zum parallelen Betrieb von mehr als einem CFV konfiguriert ist, ist das CVS nach einem der folgenden Verfahren zu kalibrieren:
 - i) jede CFV-Kombination ist gemäß diesem Absatz und den Anlagen A.7 und A.8 zu kalibrieren. Siehe Anlagen A.7 und A.8 für Anweisungen zur Berechnung von Durchsätzen für diese Option;
 - ii) jedes CFV ist gemäß diesem Absatz und den Anlagen A.7 und A.8 zu kalibrieren. Siehe Anlagen A.7 und A.8 für Anweisungen zur Berechnung von Durchsätzen für diese Option.

8.1.8.4.4. Kalibrierung des subsonischen Venturirohrs (SSV)

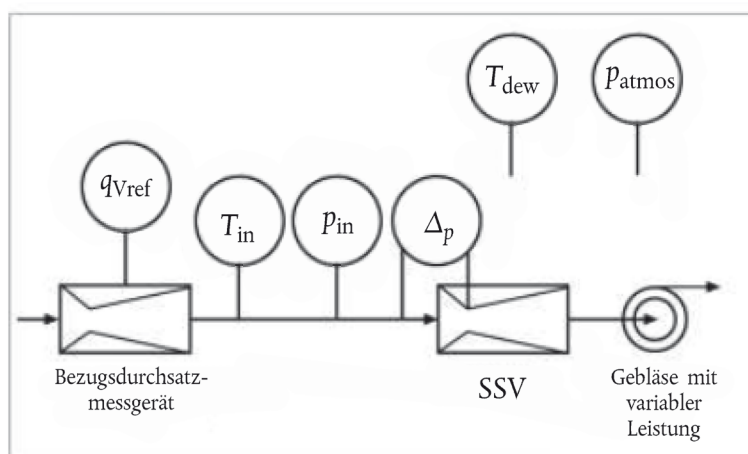
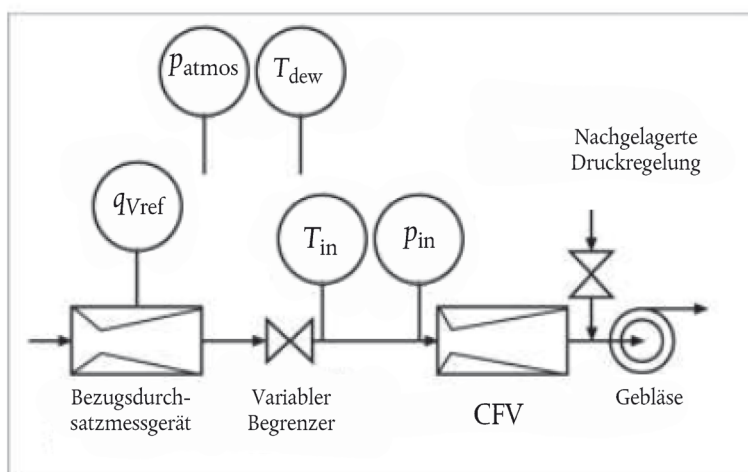
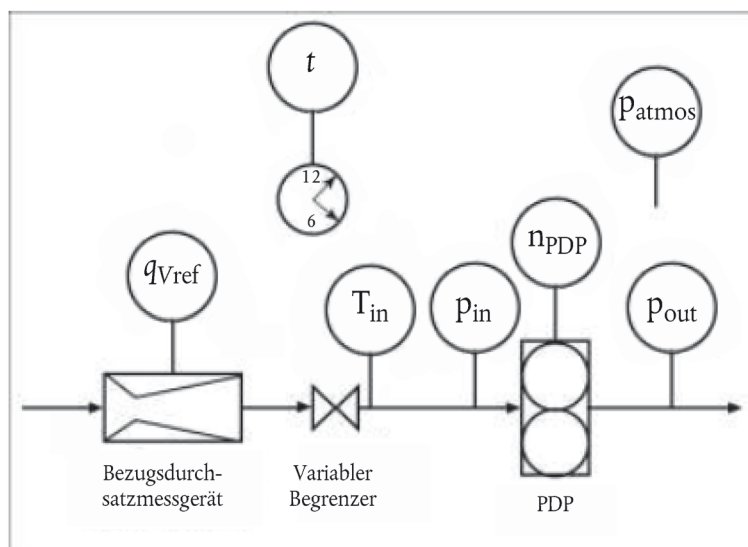
Bei der Kalibrierung eines subsonischen Venturirohrs (SSV) wird sein Kalibrierkoeffizient C_d für den erwarteten Bereich von Eintrittsdrücken ermittelt. Ein SSV-Durchsatzmessgerät wird folgendermaßen kalibriert:

- a) Das System ist anzuschließen, wie in Abbildung 8.1 dargestellt;
- b) das Gebläse wird hinter dem SSV gestartet;
- c) Lecks zwischen dem Durchsatzmessgerät zur Kalibrierung und dem SSV müssen kleiner als 0,3 % des Gesamtdurchsatzes bei der höchsten Drosselung sein;
- d) während des SSV-Betriebs muss am SSV-Eintritt eine konstante Temperatur im Bereich von ± 2 % der mittleren absoluten Eintrittstemperatur T_{in} gewahrt werden;
- e) der variable Begrenzer bzw. das Gebläse mit variabler Leistung wird auf einen Durchsatz oberhalb des höchsten während der Prüfung erwarteten Durchsatzes eingestellt. Durchsätze dürfen nicht über kalibrierte Werte hinaus extrapoliert werden. Es sollte daher sichergestellt werden, dass die Reynolds-Zahl Re an der SSV-Einschnürung beim höchsten kalibrierten Durchsatz größer ist als der höchste während der Prüfung erwartete Re -Wert;
- f) das SSV wird mindestens 3 min betrieben, damit sich das System stabilisieren kann. Während das SSV kontinuierlich weiterläuft, werden die Mittelwerte von mindestens 30 s an erfassten Daten für jede der folgenden Messgrößen aufgezeichnet:
 - i) mittlerer Durchsatz des Bezugsdurchsatzmessgeräts $\bar{q}_{Vref}$;
 - ii) optional: mittlerer Taupunkt der Kalibrierluft T_{dew} . Siehe Anlagen A.7 und A.8 für zulässige Annahmen;
 - iii) mittlere Temperatur am Eintritt des Venturirohrs T_{in} ;
 - iv) mittlerer statischer absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs p_{in} ;
 - v) statischer Differenzdruck zwischen dem statischen Druck am Venturieintritt und dem statischen Druck an der Venturieinschnürung Δp_{SSV} ;
- g) das Begrenzerventil wird schrittweise geschlossen bzw. die Gebläseleistung reduziert, um den Durchsatz zu verringern;
- h) die Schritte gemäß Buchstaben f und g dieses Absatzes werden wiederholt, bis Daten bei mindestens zehn Durchsatzwerten erfasst sind;
- i) anhand der gesammelten Daten und der Gleichungen in den Anlagen A.7 und A.8 ist eine Funktionsform von C_d bezogen auf Re zu ermitteln;
- j) die Kalibrierung kann mit Hilfe einer CVS-Überprüfung (d. h. einer Propankontrolle) gemäß Absatz 8.1.8.5. unter Anwendung der neuen Gleichung für C_d bezogen auf Re geprüft werden;
- k) das SSV darf nur zwischen den kalibrierten minimalen und maximalen Durchsatzwerten eingesetzt werden;
- l) die Gleichungen in Anhang 4B Anlage A.7 (molbasierter Ansatz) bzw. Anhang 4B Anlage A.8 (massenbasierter Ansatz) dienen zur Ermittlung des SSV-Durchsatzes während einer Emissionsprüfung.

8.1.8.4.5. Ultraschallkalibrierung (reserviert)

Abbildung 8.1

Schematische Darstellung der Kalibrierung des CVS- für den Durchsatz des verdünnten Abgases



8.1.8.5. Überprüfung von CVS und Probenentnehmer (Propankontrolle)

8.1.8.5.1. Einführung

- a) Eine Propankontrolle dient als CVS-Überprüfung, bei der festgestellt wird, ob eine Abweichung hinsichtlich der Messwerte des Durchsatzes des verdünnten Abgases besteht. Mit Hilfe einer Propankontrolle wird auch der Probenentnehmer überprüft, um Abweichungen im Probenahmesystem, das Proben aus einem CVS entnimmt, wie in Buchstabe f dieses Absatzes beschrieben, zu ermitteln. Nach bestem fachlichen Ermessen und unter Einhaltung von entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen kann für diese Kontrolle auch ein anderes Gas als Propan, z. B. CO_2 oder CO , eingesetzt werden. Bei einer Propankontrolle festgestellte Mängel können auf ein oder mehrere Probleme hindeuten, die Abhilfemaßnahmen erfordern, zum Beispiel:
- i) fehlerhafte Kalibrierung des Analysators. Der FID-Analysator muss neu kalibriert, repariert oder ausgetauscht werden;
 - ii) an Tunnel, Verbindungen und Verschlüssen des CVS und am HC-Probenahmesystem sind Leckprüfungen gemäß Absatz 8.1.8.7. durchzuführen;
 - iii) die angemessene Durchmischung ist gemäß Absatz 9.2.2. zu überprüfen;
 - iv) die Überprüfung der Verunreinigung des Probenahmesystems mit Kohlenwasserstoff erfolgt gemäß Absatz 7.3.1.2.;
 - v) Veränderung der CVS-Kalibrierung. Das CVS-Durchsatzmessgerät wird in situ gemäß Absatz 8.1.8.4. kalibriert;
 - vi) andere Probleme mit dem CVS bzw. der Hard- oder Software zur Überprüfung der Probenahme. Das CVS-System und die Hardware sowie Software zur Überprüfung des CVS werden auf Abweichungen geprüft;
- b) für eine Propankontrolle wird entweder eine Bezugsmasse oder ein Bezugsdurchsatz von C_3H_8 als Spürgas in einem CVS genutzt. Bei Verwendung eines Bezugsdurchsatzes ist jedes andere als das ideale Gasverhalten des C_3H_8 im Bezugsdurchsatzmessgerät zu berücksichtigen. Siehe die Beschreibung der Kalibrierung und Verwendung bestimmter Durchsatzmessgeräte in Anlage A.7 (molbasierter Ansatz) bzw. Anlage A.8 (massenbasierter Ansatz). In Absatz 8.1.8.5. und den Anlagen A.7 bzw. A.8 darf nicht von einem idealen Gas ausgegangen werden. Bei der Propankontrolle wird die berechnete Masse des eingeleiteten C_3H_8 mit Hilfe von HC-Messungen und CVS-Durchsatzmessungen mit dem Bezugswert abgeglichen.

8.1.8.5.2. Verfahren zur Einleitung einer bekannten Propanmenge in das CVS-System

Die Gesamtgenauigkeit des CVS-Probenahmesystems und des Analysesystems wird ermittelt, indem eine bekannte Masse luftverunreinigenden Gases in das System eingeleitet wird, wenn dieses normal betrieben wird. Das luftverunreinigende Gas wird analysiert und die Masse gemäß den Anlagen A.7 und A.8 berechnet. Es ist eines der beiden folgenden Verfahren anzuwenden:

- a) Zur Messung mit einem gravimetrischen Verfahren ist folgendermaßen vorzugehen: Die Masse eines kleinen, mit Kohlenmonoxid oder Propan gefüllten Zylinders ist auf $\pm 0,01$ g genau zu bestimmen. Danach wird das CVS-System 5 bis 10 Minuten lang wie für eine normale Emissionsprüfung betrieben, während Kohlenmonoxid oder Propan in das System eingeleitet werden. Die abgegebene Menge reinen Gases wird durch Messung der Massendifferenz ermittelt. Eine Gasprobe wird mit dem normalerweise verwendeten Gerät analysiert (Beutel oder Integrationsmethode) und die Masse des Gases berechnet;
- b) zur Messung mit einer Messblende für kritische Strömung ist folgendermaßen vorzugehen: Durch eine kalibrierte Messblende für kritische Strömung wird eine bekannte Menge reinen Gases (Kohlenmonoxid oder Propan) in das CVS-System eingeleitet. Ist der Eintrittsdruck groß genug, so ist der mit der Messblende eingestellte Durchsatz unabhängig vom Austrittsdruck der Messblende (kritische Strömung). Das CVS-System wird wie für eine normale Emissionsprüfung 5 bis 10 Minuten betrieben. Eine Gasprobe wird mit dem normalerweise verwendeten Gerät analysiert (Beutel oder Integrationsmethode) und die Masse des Gases berechnet.

8.1.8.5.3. Vorbereitung der Propankontrolle

Die Propankontrolle ist folgendermaßen vorzubereiten:

- a) Wird anstelle eines Bezugsdurchsatzes eine C_3H_8 -Bezugsmasse verwendet, ist ein mit C_3H_8 gefüllter Zylinder erforderlich. Die C_3H_8 -Masse des Bezugszylinders ist mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ % des erwarteten C_3H_8 -Verbrauchs zu bestimmen;
- b) für CVS und C_3H_8 sind angemessene Durchsätze zu wählen;

- c) im CVS ist eine Öffnung zur Einspritzung des C_3H_8 zu wählen. Die Position dieser Öffnung ist so nahe wie möglich an der Stelle, an der das Motorabgas in das CVS eingeleitet wird, zu wählen. Der C_3H_8 -Zylinder wird an das Einspritzsystem angeschlossen;
- d) das CVS wird betrieben und stabilisiert;
- e) etwaige Wärmetauscher im Probenahmesystem sind vorzuheizen bzw. vorzukühlen;
- f) es muss hinreichend Zeit vorgesehen werden, damit sich erwärmte oder gekühlte Komponenten wie Probenahmeleitungen, Filter, Kühlapparate und Pumpen auf Betriebstemperatur stabilisieren können;
- g) gegebenenfalls ist auf der Unterdruckseite des HC-Probenahmesystems eine Leckprüfung gemäß Absatz 8.1.8.7. durchzuführen.

8.1.8.5.4. Vorbereitung des HC-Probenahmesystems für die Propankontrolle

Eine Leckprüfung auf der Unterdruckseite des HC-Probenahmesystems kann gemäß Buchstabe g dieses Absatzes durchgeführt werden. Wird diese Vorgehensweise gewählt, kann auf das Verfahren zur Prüfung der Verunreinigung mit HC gemäß Absatz 7.3.1.2. zurückgegriffen werden. Wird keine Leckprüfung auf der Unterdruckseite gemäß Buchstabe g durchgeführt, ist das HC-Probenahmesystem folgendermaßen zu nullen, zu justieren und auf Verunreinigungen zu überprüfen:

- a) Es ist der niedrigste zur Messung der für das CVS und den C_3H_8 -Durchsatz erwarteten C_3H_8 -Konzentration geeignete Bereich des HC-Analysators zu wählen;
- b) der HC-Analysator wird durch die Einleitung von Nullluft an der Eintrittsöffnung genullt;
- c) der HC-Analysator wird durch die Einleitung von C_3H_8 -Justiergas an der Eintrittsöffnung justiert;
- d) die HC-Sonde oder eine Überlaufgarnitur zwischen der HC-Sonde und der Übertragungsleitung wird mit Nullluft geflutet;
- e) die stabile HC-Konzentration des HC-Probenahmesystems wird als überlaufende Nullluft gemessen. Bei der HC-Messung von Stichproben ist der Stichprobenbehälter (beispielsweise ein Beutel) zu füllen und die Überlauf-HC-Konzentration zu messen;
- f) übersteigt die HC-Überlaufkonzentration $2 \mu\text{mol/mol}$, darf das Verfahren erst fortgesetzt werden, wenn die Verunreinigung beseitigt ist. Die Quelle der Verunreinigung ist zu ermitteln und Abhilfemaßnahmen, wie eine Reinigung des Systems oder der Austausch verunreinigter Komponenten, sind zu ergreifen;
- g) bleibt die HC-Überlaufkonzentration unter $2 \mu\text{mol/mol}$, ist dieser Wert als x_{HCinit} aufzuzeichnen und zum Ausgleich der Verunreinigung mit HC, wie in Anhang 4B Anlage A.7 (molbasierter Ansatz) bzw. Anhang 4B Anlage A.8 (massenbasierter Ansatz) beschrieben, anzuwenden.

8.1.8.5.5. Durchführung der Propankontrolle

- a) Die Propankontrolle ist folgendermaßen durchzuführen:
 - i) für die Entnahme von HC-Stichproben müssen saubere Speichermittel angebracht werden, zum Beispiel luftleere Beutel;
 - ii) HC-Messgeräte sind gemäß Herstelleranweisungen zu betreiben;
 - iii) ist eine Korrektur der Verdünnungsluft in Bezug auf HC-Hintergrundkonzentrationen vorgesehen, müssen HC-Hintergrundkonzentrationen in der Verdünnungsluft gemessen und aufgezeichnet werden;
 - iv) Integratoren sind zu nullen;
 - v) mit der Probenahme wird begonnen, etwaige Durchsatzintegratoren sind zu starten;
 - vi) C_3H_8 wird in der gewählten Menge freigesetzt. Wird ein C_3H_8 -Bezugsdurchsatz verwendet, ist mit der Integration dieses Durchsatzes zu beginnen;
 - vii) C_3H_8 wird weiter freigesetzt, bis die freigesetzte Menge zumindest zur genauen Bestimmung der Menge des Bezugs- C_3H_8 und des gemessenen C_3H_8 ausreicht;
 - viii) der C_3H_8 -Zylinder wird abgesperrt und die Entnahme von Proben fortgesetzt, bis die Zeitverzögerungen infolge des Probentransports und des Ansprechverhaltens des Analysators ausgeglichen sind;
 - ix) die Entnahme von Proben wird beendet, etwaige Integratoren werden gestoppt;

b) bei der Messung mit einer Messblende für kritische Strömung kann alternativ zum in Absatz 8.1.8.5.5. Buchstabe a beschriebenen Verfahren für die Propankontrolle folgendermaßen vorgegangen werden:

- i) für die Entnahme von HC-Stichproben müssen saubere Speichermittel angebracht werden, zum Beispiel luftleere Beutel;
- ii) HC-Messgeräte sind gemäß Herstelleranweisungen zu betreiben;
- iii) ist eine Korrektur der Verdünnungsluft in Bezug auf HC-Hintergrundkonzentrationen vorgesehen, müssen HC-Hintergrundkonzentrationen in der Verdünnungsluft gemessen und aufgezeichnet werden;
- iv) Integratoren sind zu nullen;
- v) der Inhalt des C_3H_8 -Bezugszylinders wird in der gewählten Menge freigesetzt;
- vi) mit der Probenahme wird begonnen. Sobald gewährleistet ist, dass die HC-Konzentration stabil ist, können etwaige Durchsatzintegratoren gestartet werden;
- vii) der Inhalt des Zylinders wird weiter freigesetzt, bis die freigesetzte Menge zumindest zur genauen Bestimmung der Menge des Bezugs- C_3H_8 und des gemessenen C_3H_8 ausreicht;
- viii) etwaige Integratoren werden gestoppt;
- ix) der C_3H_8 -Bezugszylinder wird abgesperrt.

8.1.8.5.6. Bewertung der Propankontrolle

Nach Abschluss des Prüfverfahrens ist folgendermaßen vorzugehen:

- a) Wenn Stichproben entnommen wurden, sollten diese so bald wie möglich analysiert werden;
- b) nach der HC-Analyse müssen Korrekturen für Verunreinigungen und Hintergrundkonzentrationen vorgenommen werden;
- c) die auf den CVS- und HC-Daten basierende C_3H_8 -Gesamtmasse ist gemäß den Anlagen A.7 und A.8 unter Verwendung der Molmasse von C_3H_8 , $M_{C_3H_8}$, anstelle der effektiven Molmasse von HC, M_{HC} , zu berechnen;
- d) wird eine Bezugsmasse verwendet (gravimetrisches Verfahren), ist die Propanmasse des Zylinders auf $\pm 0,5$ % genau zu bestimmen; die C_3H_8 -Bezugsmasse wird berechnet, indem die Propanmasse des leeren Zylinders von der Propanmasse des vollen Zylinders abgezogen wird. Wird eine Messblende für kritische Strömung verwendet (Messung mit einer Messblende für kritische Strömung), muss zur Bestimmung der Propanmasse der Durchsatz mit der Prüfzeit multipliziert werden;
- e) die C_3H_8 -Bezugsmasse ist von der berechneten Masse abzuziehen. Bewegt sich die Differenz innerhalb von $\pm 3,0$ % der Bezugsmasse, hat das CVS dieser Prüfung standgehalten.

8.1.8.5.7. Überprüfung des PM-Sekundärverdünnungssystems

Wird die Propankontrolle zur Überprüfung des PM-Sekundärverdünnungssystems wiederholt, ist dabei nach dem folgenden Verfahren gemäß Buchstaben a bis d vorzugehen:

- a) Das HC-Probenahmesystem wird zur Entnahme einer Probe in der Nähe der Position des Speichermittels (z. B. PM-Filter) des Probenentnehmers konfiguriert. Ist der absolute Druck an dieser Stelle zur Entnahme einer HC-Probe zu gering, kann HC am Pumpenauspuff des Probenentnehmers entnommen werden. Bei der Entnahme von Proben am Pumpenauspuff ist jedoch Vorsicht geboten, da ein unter anderen Umständen tolerierbares Pumpenleck hinter dem Durchsatzmessgerät des Probenentnehmers zu einem fälschlich negativen Ergebnis bei der Propankontrolle führt;
- b) die Propankontrolle ist wie in diesem Absatz beschrieben zu wiederholen, wobei HC aus dem Probenentnehmer entnommen wird;
- c) die C_3H_8 -Masse wird unter Berücksichtigung einer etwaigen Sekundärverdünnung durch den Probenentnehmer berechnet;
- d) die C_3H_8 -Bezugsmasse ist von der berechneten Masse abzuziehen. Bewegt sich die Differenz innerhalb von ± 5 % der Bezugsmasse, hat der Probenentnehmer dieser Überprüfung standgehalten. Andernfalls sind Abhilfemaßnahmen zu ergreifen.

8.1.8.5.8. Überprüfung des Probentrockners

Wird ein Feuchtigkeitssensor zur kontinuierlichen Überwachung des Taupunkts am Austritt des Probentrockners eingesetzt, muss diese Überprüfung nicht durchgeführt werden, sofern sichergestellt ist, dass die Feuchtigkeit am Trockneraustritt unterhalb der bei Querempfindlichkeits- und Kompensationskontrollen anwendbaren Mindestwerte liegt.

- a) Wird ein Probentrockner, wie gemäß Absatz 9.3.2.3.1. zulässig, zum Abscheiden von Wasser aus dem Probegas verwendet, ist dessen Funktion bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten am thermischen Kühlapparat zu überprüfen. Die Funktion osmotischer Membrantrockner ist bei der Erstinstallation, nach umfangreichen Wartungstätigkeiten und binnen 35 Tagen vor der Prüfung zu überprüfen;
- b) Wasser kann die Fähigkeit des Analysators zur korrekten Messung des jeweiligen Abgasbestandteils beeinträchtigen und wird daher manchmal abgeschieden, bevor das Probegas den Analysator erreicht. Beispielsweise kann Wasser das NO_x-Ansprechverhalten eines CLD durch Stoßlöschung beeinträchtigen, so dass zu niedrige Werte gemessen werden, während es andererseits einen NDIR-Analysator stören kann, indem es ein mit CO vergleichbares Ansprechverhalten hervorruft, so dass zu hohe Werte erzielt werden;
- c) der Probentrockner muss die in Absatz 9.3.2.3.1. festgelegten Spezifikationen für den Taupunkt T_{dew} und den absoluten Druck p_{total} hinter dem osmotischen Membrantrockner oder thermischen Kühlapparat erfüllen;
- d) zur Ermittlung der Leistung des Probentrockners ist das nachstehende Prüfungsverfahren anzuwenden, oder es ist. Stattdessen ist nach bestem fachlichen Ermessen ein anderes Verfahren zu entwickeln:
 - i) zur Herstellung der benötigten Verbindungen werden Rohre aus PTFE oder rostfreiem Stahl verwendet;
 - ii) N₂ oder gereinigte Luft müssen befeuchtet werden, indem sie durch ein abgedichtetes Gefäß mit destilliertem Wasser geleitet werden, wo das Gas auf den höchsten während der Emissionsprobenahme erwarteten Probentaupunkt befeuchtet wird;
 - iii) das befeuchtete Gas wird vor dem Probentrockner eingeleitet;
 - iv) die Temperatur des befeuchteten Gases muss nach dem Gefäß bei mindestens 5 °C oberhalb des Taupunkts gehalten werden;
 - v) der Taupunkt T_{dew} und der Druck p_{total} des befeuchteten Gases sind so nahe wie möglich am Eintritt des Probentrockners zu messen, um sicherzustellen, dass es sich beim Taupunkt um den höchsten während der Emissionsprobenahme geschätzten handelt;
 - vi) der Taupunkt T_{dew} und der Druck p_{total} des befeuchteten Gases sind so nahe wie möglich am Austritt des Probentrockners zu messen;
 - vii) der Probentrockner arbeitet vorschriftsmäßig, wenn das Ergebnis der Messung nach Buchstabe d Ziffer vi dieses Absatzes unterhalb des Taupunkts gemäß der Spezifikation des Probentrockners laut Absatz 9.3.2.3.1. plus 2 °C liegt oder wenn die Molfraktion nach Buchstabe d Ziffer vi unterhalb der entsprechenden Spezifikation des Probentrockners plus 0,002 mol/mol oder 0,2 Volumenprozent liegt. Für diese Überprüfung wird der Probentaupunkt als absolute Temperatur in Kelvin angegeben.

8.1.8.6. Regelmäßige Kalibrierung von Teilstrom-Messsystemen für PM und das entsprechende Rohabgas

8.1.8.6.1. Spezifikationen für die Messung des Differenzdurchsatzes

Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen zur Entnahme einer verhältnismäßigen Rohabgasprobe ist die Genauigkeit der Messung des Probendurchsatzes q_{mp} besonders wichtig, wenn dieser nicht unmittelbar, sondern durch die Messung des Differenzdurchsatzes ermittelt wird:

$$q_{\text{mp}} = q_{\text{mdew}} - q_{\text{mdw}} \quad (8-1)$$

Dabei gilt:

q_{mp} = Massendurchsatz der in das Teilstrom-Verdünnungssystem einströmenden Abgasprobe

q_{mdw} = Massendurchsatz der Verdünnungsluft, feucht

q_{mdew} = Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht

In diesem Fall muss der größte Fehler der Differenz soweit begrenzt sein, dass die Genauigkeit von q_{mp} innerhalb von $\pm 5 \%$ liegt, wenn das Verdünnungsverhältnis kleiner als 15 ist. Die Berechnung kann durch Bilden des quadratischen Mittelwerts der Fehler des jeweiligen Geräts erfolgen.

Hinreichende Genauigkeiten von q_{mp} können mit einer der folgenden Methoden erzielt werden:

- Die absoluten Genauigkeiten von q_{mdew} und q_{mdw} betragen $\pm 0,2 \%$, wodurch für q_{mp} bei einem Verdünnungsverhältnis von 15 eine Genauigkeit von $\pm 5 \%$ gewährleistet wird. Allerdings treten bei höheren Verdünnungsverhältnissen größere Fehler auf;
- die Kalibrierung von q_{mdw} bezogen auf q_{mdew} wird so ausgeführt, dass für q_{mp} dieselben Genauigkeiten wie gemäß Buchstabe a erzielt werden. Nähere Ausführungen dazu enthält der Absatz 8.1.8.6.2;
- die Genauigkeit von q_{mp} wird unmittelbar aus der mit einem Spürgas, z. B. CO_2 , ermittelten Genauigkeit des Verdünnungsverhältnisses abgeleitet. Auch hier werden für q_{mp} die gleichen Genauigkeiten wie in Buchstabe a gefordert;
- die absolute Genauigkeit von q_{mdew} und q_{mdw} beträgt $\pm 2 \%$ des Skalenendwerts, der Höchstfehler der Differenz zwischen q_{mdew} und q_{mdw} $0,2 \%$ und der Linearitätsfehler $\pm 0,2 \%$ des höchsten während der Prüfung beobachteten Werts q_{mdew} .

8.1.8.6.2. Kalibrierung für die Messung des Differenzdurchsatzes

Das Teilstrom-Verdünnungssystem zur Entnahme einer verhältnismäßigen Rohgasprobe muss regelmäßig mit einem genauen, auf internationale und/oder nationale Normen rückführbaren Durchsatzmessgerät kalibriert werden. Das Durchsatzmessgerät bzw. die Durchsatzmesseinrichtung muss anhand eines der folgenden Verfahren kalibriert werden, damit der Probendurchsatz q_{mp} in den Tunnel die Genauigkeitsanforderungen gemäß Absatz 8.1.8.6.1 erfüllt.

- Das Durchsatzmessgerät für q_{mdw} ist an das Durchsatzmessgerät für q_{mdew} in Reihe anzuschließen und die Differenz zwischen den beiden Durchsatzmessgeräten ist für mindestens fünf Einstellwerte zu kalibrieren, wobei die Durchsatzwerte gleichmäßig auf den Abstand zwischen dem niedrigsten bei der Prüfung verwendeten Wert für q_{mdw} und dem bei der Prüfung verwendeten Wert für q_{mdew} zu verteilen sind. Der Verdünnungstunnel kann umgangen werden;
- ein kalibriertes Durchsatzmessgerät ist an das Durchsatzmessgerät für q_{mdew} in Reihe anzuschließen und die Genauigkeit des bei der Prüfung verwendeten Werts ist zu überprüfen. Anschließend ist das kalibrierte Durchsatzmessgerät in Reihe an das Durchsatzmessgerät für q_{mdw} anzuschließen und die Genauigkeit für mindestens fünf Einstellungen, die – bezogen auf den bei der Prüfung verwendeten Wert für q_{mdew} – einem Verdünnungsverhältnis zwischen 3 und 15 entsprechen, ist zu überprüfen;
- die Übertragungsleitung TL (siehe Abbildung 9.2) wird vom Auspuff getrennt und ein kalibriertes Durchsatzmessgerät mit einem zur Messung von q_{mp} geeigneten Messbereich wird an die Übertragungsleitung angeschlossen. Danach ist q_{mdew} auf den bei der Prüfung verwendeten Wert und q_{mdw} nacheinander auf mindestens fünf Werte einzustellen, die Verdünnungsverhältnissen zwischen 3 und 15 entsprechen. Stattdessen kann auch eine besondere Kalibrierstromleitung eingerichtet werden, die den Tunnel umgeht, aber der Gesamtdurchsatz und der Verdünnungsluftdurchsatz durch die entsprechenden Messgeräte müssen jenen bei der tatsächlichen Prüfung entsprechen;
- in die Abgasübertragungsleitung TL ist ein Tracergas einzuleiten. Dieses Spürgas kann ein Bestandteil des Abgases sein, zum Beispiel CO_2 oder NO_x . Nach der Verdünnung im Tunnel ist der Spürgasbestandteil zu messen. Dies muss für fünf Verdünnungsverhältnisse zwischen 3 und 15 erfolgen. Die Genauigkeit des Probendurchsatzes ist aus dem Verdünnungsverhältnis r_d zu ermitteln:

$$q_{mp} = q_{mdew}/r_d \quad (8-2)$$

Die Genauigkeiten der Gasanalysatoren sind zu berücksichtigen, um die Genauigkeit von q_{mp} sicherzustellen.

8.1.8.6.3. Spezielle Anforderungen betreffend die Messung des Differenzdurchsatzes

Es wird dringend empfohlen, den Kohlenstoffdurchsatz anhand von tatsächlichem Abgas zu überprüfen, um Mess- und Steuerprobleme festzustellen und den ordnungsgemäßen Betrieb des Teilstromsystems zu verifizieren. Die Kohlenstoffdurchsatzprüfung sollte zumindest dann vorgenommen werden, wenn ein neuer Motor eingebaut oder an der Prüfzelle eine wesentliche Änderung vorgenommen worden ist.

Der Motor wird bei Volllastdrehmoment und -drehzahl oder in einem anderen stationären Betriebszustand gefahren, in dem mindestens 5% CO_2 erzeugt werden. Das Teilstrom-Probenahmesystem wird mit einem Verdünnungsfaktor von etwa 15 zu 1 betrieben.

Bei Kohlenstoffdurchsatzprüfungen ist das in Anhang 4B Anlage A.4 angegebene Verfahren anzuwenden. Die Kohlenstoffdurchsätze werden gemäß den Gleichungen in Anhang 4B Anlage A.4 berechnet. Alle Kohlenstoffdurchsätze dürfen um nicht mehr als 5% voneinander abweichen.

8.1.8.6.3.1. Vorprüfung

Innerhalb von zwei Stunden vor der Prüfung ist eine Vorprüfung auf folgende Weise durchzuführen:

Die Genauigkeit der Durchsatzmessgeräte ist mit der Methode zu prüfen, die auch für die Kalibrierung eingesetzt wurde (siehe Absatz 8.1.8.6.2.), und zwar an wenigstens zwei Stellen, einschließlich der Durchsatzwerte von q_{mdw} , die den Verdünnungsverhältnissen zwischen 5 und 15 für den bei der Prüfung verwendeten Wert q_{mdew} entsprechen.

Lässt sich anhand der Aufzeichnungen des Kalibrierungsverfahrens nach Absatz 8.1.8.6.2. nachweisen, dass die Kalibrierung des Durchsatzmessgeräts über einen längeren Zeitraum stabil ist, kann die Vorprüfung unterbleiben.

8.1.8.6.3.2. Bestimmung der Wandlungszeit

Die Systemeinstellungen für die Bewertung der Wandlungszeit müssen dieselben sein wie während der Messung des Prüflaufs. Die Wandlungszeit, wie in Abbildung 3.1 definiert, ist mit folgender Methode zu ermitteln:

Ein unabhängiges Bezugsdurchsatzmessgerät mit einem für den Sondendurchsatz geeigneten Messbereich wird in Reihe an die Sonde angeschlossen und eng mit dieser gekoppelt. Das Durchsatzmessgerät muss eine Wandlungszeit von weniger als 100 ms für die Durchsatzstufe aufweisen, die bei der Messung der Ansprechzeit verwendet wird, wobei die Durchsatzdrosselung nach bestem fachlichen Ermessen so niedrig gewählt sein muss, dass die dynamische Leistung des Teilstrom-Verdünnungssystems nicht beeinträchtigt wird. Der Abgasdurchsatz des Teilstrom-Verdünnungssystems (oder der Luftdurchsatz, wenn der Abgasdurchsatz berechnet wird) wechselt sprunghaft von niedrigem Durchsatz bis auf mindestens 90 % des vollen Skalenendwertes. Als Auslöser für den Veränderungsschritt ist derselbe zu verwenden, der für den Start der vorausschauenden Steuerung bei der eigentlichen Prüfung verwendet wird. Das Auslösesignal des Abgasdurchsatzschritts und das Ansprechen des Durchsatzmessgeräts sind mit einer Abtastfrequenz von mindestens 10 Hz aufzuzeichnen.

Aus diesen Daten wird die Wandlungszeit für das Teilstrom-Verdünnungssystem bestimmt, das heißt die Zeit von der Auslösung des Veränderungsschritts bis zum Erreichen des fünfzigprozentigen Ansprechens des Durchsatzmessgeräts. Auf ähnliche Weise werden die Wandlungszeiten des Signals q_{mp} (d. h. Proben-durchsatz des Abgases in das Teilstrom-Verdünnungssystem) und des Signals $q_{mew,i}$ (d. h. mit dem Abgas-durchsatzmessgerät ermittelter Massendurchsatz des Abgases, feucht) bestimmt. Diese Signale werden bei den nach jeder Prüfung durchgeführten Regressionsprüfungen verwendet (siehe Absatz 8.2.1.2.).

Die Berechnung ist für mindestens fünf ansteigende und abfallende Auslöseschritte zu wiederholen, und aus den Ergebnissen ist der Durchschnitt zu mitteln. Die interne Wandlungszeit (< 100 ms) des Bezugsdurchsatzmessgeräts ist von diesem Wert abzuziehen. Wenn das System gemäß Absatz 8.2.1.2. die „Vorausschau“-Methode erfordert, ist dies der „vorausschauende“ Wert des Teilstrom-Verdünnungssystems, der nach Absatz 8.2.1.2. anzuwenden ist.

8.1.8.7. Leckprüfung auf der Unterdruckseite

8.1.8.7.1. Umfang und Häufigkeit

Bei der Erstinstallation des Probenahmesystems, nach umfangreiche Wartungstätigkeiten wie Vorfilterwechseln und binnen acht Stunden vor jeder Lastzyklus-Abfolge ist mit Hilfe einer der in diesem Abschnitt beschriebenen Leckprüfungen zu gewährleisten, dass die Unterdruckseite keine wesentlichen Lecks aufweist. Für den Vollstrom-Teil eines CVS-Verdünnungssystems muss diese Überprüfung nicht durchgeführt werden.

8.1.8.7.2. Messgrundsätze

Ein Leck kann erkannt werden, indem zu einem Zeitpunkt, zu dem ein Nulldurchsatz herrschen sollte, ein geringer Durchsatz gemessen wird, indem die Verdünnung einer bekannten Konzentration von durch die Unterdruckseite eines Probenahmesystems geleitetem Justiergas beobachtet wird oder indem der Druckanstieg in einem luftleeren System gemessen wird.

8.1.8.7.3. Leckprüfung bei niedrigem Durchsatz

Ein Probenahmesystem wird bei niedrigem Durchsatz folgendermaßen auf Lecks geprüft:

a) Das Sondenende des Systems wird durch einen der folgenden Schritte abgedichtet:

- i) das Ende der Probenahmesonde wird mit einer Kappe oder einem Stöpsel verschlossen;
- ii) die Übertragungsleitung wird an der Sonde getrennt und mit einer Kappe oder einem Stöpsel verschlossen;
- iii) ein zwischen Sonde und Übertragungsleitung in Reihe angeschlossenes leakagefreies Ventil ist zu schließen;

- b) alle Vakuumpumpen sind zu betreiben. Nach der Stabilisierung ist zu überprüfen, dass der Durchsatz auf der Unterdruckseite des Probenahmesystems weniger als 0,5 % des tatsächlichen Durchsatzes des Systems beim Gebrauch entspricht. Typische Analysator- und Umgehungsdurchsätze können näherungsweise aus den normalen Durchsätzen des Systems beim Gebrauch geschätzt werden.

8.1.8.7.4. Leckprüfung durch Messung der Verdünnung des Justiergases

Für diese Prüfung kann ein beliebiger Gasanalysator verwendet werden. Wird für diese Prüfung ein FID benutzt, ist eine etwaige Verunreinigung des Probenahmesystems mit HC gemäß den Anlagen A.7 und A.8 über HC- und NMHC-Ermittlung zu korrigieren. Irreführende Ergebnisse sind zu vermeiden, indem nur Analysatoren mit einer Wiederholbarkeit von 0,5 % oder besser zur Messung der für diese Prüfung verwendeten Justiergaskonzentration eingesetzt werden. Die Leckprüfung auf der Unterdruckseite ist folgendermaßen durchzuführen:

- a) Ein Gasanalysator wird wie für eine Emissionsprüfung vorbereitet;
- b) Justiergas wird in die Eintrittsöffnung des Analysators eingeleitet und es wird überprüft, dass die Messung der Justiergaskonzentration im Rahmen der erwarteten Messgenauigkeit und Wiederholbarkeit erfolgt;
- c) überlaufendes Justiergas wird an eine der folgenden Stellen im Probenahmesystem geleitet:
 - i) an das Ende der Probenahmesonde;
 - ii) die Übertragungsleitung wird an der Verbindung zur Sonde unterbrochen und das Justiergas läuft am offenen Ende der Übertragungsleitung über;
 - iii) zu einem in Reihe zwischen eine Sonde und ihre Übertragungsleitung geschalteten 3-Wege-Ventil;
- d) es ist sicherzustellen, dass sich die gemessene Konzentration des überlaufenden Justiergases innerhalb von $\pm 0,5$ % der Justiergaskonzentration bewegt. Wird ein unerwartet niedriger Wert gemessen, weist dies auf ein Leck hin, während ein unerwartet hoher Wert durch ein Problem mit dem Justiergas oder dem Analysator selbst verursacht werden kann. Ein unerwartet hoher Messwert deutet nicht auf ein Leck hin.

8.1.8.7.5. Leckprüfung durch Messung der Abnahme des Unterdrucks

Zur Durchführung dieser Prüfung wird im unterdruckseitigen Volumen des Probenahmesystems ein Unterdruck erzeugt und die Leckrate des Systems wird als Abnahme des erzeugten Unterdrucks beobachtet. Für diese Prüfung muss das unterdruckseitige Volumen des Probenahmesystems auf ± 10 % des tatsächlichen Volumens bekannt sein. Auch die für diese Prüfung eingesetzten Messgeräte müssen die Spezifikationen gemäß den Absätzen 8.1. und 9.4. erfüllen.

Die Leckprüfung durch Messung der Abnahme des Unterdrucks ist folgendermaßen durchzuführen:

- a) Das Sondenende des Systems wird so nahe wie möglich an der Sondenöffnung durch einen der folgenden Schritte abgedichtet:
 - i) das Ende der Probenahmesonde wird mit einer Kappe oder einem Stöpsel verschlossen;
 - ii) die Übertragungsleitung an der Sonde wird unterbrochen und mit einer Kappe oder einem Stöpsel verschlossen;
 - iii) ein zwischen Sonde und Übertragungsleitung in Reihe angeschlossenes leakagefreies Ventil wird geschlossen;
- b) alle Vakuumpumpen sind zu betreiben. Ein für normale Betriebsbedingungen repräsentativer Unterdruck wird erzeugt. Bei Probenbeuteln wird empfohlen, das übliche Evakuierungsverfahren zweimal zu wiederholen, um Volumeneinschlüsse zu minimieren;
- c) die Probenpumpen werden abgeschaltet und das System abgedichtet. Der absolute Druck des eingeschlossenen Gases und optional die absolute Temperatur des Systems sind zu messen und aufzuzeichnen. Es muss genügend Zeit zur Stabilisierung und zur Verursachung einer Druckveränderung in Höhe von mindestens des Zehnfachen der Auflösung des Druckaufnehmers durch ein Leck von 0,5 % eingeräumt werden. Der Druck und optional die Temperatur sind erneut aufzuzeichnen;
- d) der Leckdurchsatz ist auf der Grundlage eines angenommenen Nullwerts für abgepumpte Beutelvolumen sowie der bekannten Werte für das Volumen des Probenahmesystems, des Ausgangs- und Enddrucks, der optionalen Temperaturen und der abgelaufenen Zeit zu berechnen. Unter Anwendung der nachstehenden Gleichung wird überprüft, dass der Leckdurchsatz bei der Abnahme des Unterdrucks weniger als 0,5 % des tatsächlichen Durchsatzes des Systems beim Gebrauch entspricht:

$$q_{V\text{leak}} = \frac{V_{\text{vac}} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right)}{R(t_2 - t_1)} \quad (8-3)$$

Dabei gilt:

$q_{V\text{leak}}$ = Leckrate bei der Abnahme des Unterdrucks [mol/s]

V_{vac} = geometrisches Volumen der Unterdruckseite des Probenahmesystems [m³]

R = molare Gaskonstante [J/(mol·K)]

p_2 = unterdruckseitiger absoluter Druck zum Zeitpunkt t_2 [Pa]

T_2 = unterdruckseitige absolute Temperatur zum Zeitpunkt t_2 [K]

p_1 = unterdruckseitiger absoluter Druck zum Zeitpunkt t_1 [Pa]

T_1 = unterdruckseitige absolute Temperatur zum Zeitpunkt t_1 [K]

t_2 = Zeit beim Abschluss der Leckprüfung durch Messung der Abnahme des Unterdrucks [s]

t_1 = Zeit beim Beginn der Leckprüfung durch Messung der Abnahme des Unterdrucks [s]

8.1.9. CO- und CO₂-Messungen

8.1.9.1. Überprüfung der H₂O-Querempfindlichkeit von CO₂-NDIR-Analysatoren

8.1.9.1.1. Umfang und Häufigkeit

Wird CO₂ mithilfe eines NDIR-Analysators gemessen, muss die H₂O-Querempfindlichkeit nach der Erstinstallation des Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten überprüft werden.

8.1.9.1.2. Messgrundsätze

H₂O kann das Ansprechverhalten eines NDIR-Analysators auf CO₂ beeinflussen. Wenn der NDIR-Analysator zur Überprüfung der Erfüllung der Querempfindlichkeitsanforderungen Kompensierungsalgorithmen verwendet, die Messwerte anderer Gase auswerten, müssen derartige Messungen gleichzeitig durchgeführt werden, um die Kompensierungsalgorithmen während der Kontrolle der Querempfindlichkeit des Analysators zu überprüfen.

8.1.9.1.3. Systemanforderungen

Die H₂O-Querempfindlichkeit eines CO₂-NDIR-Analysators muss im Bereich von (0,0 ± 0,4) mmol/mol (der erwarteten mittleren CO₂-Konzentration) liegen.

8.1.9.1.4. Verfahren

Die Überprüfung der Querempfindlichkeit ist folgendermaßen durchzuführen:

- a) Der CO₂-NDIR-Analysator ist wie bei einer Emissionsprüfung zu starten, zu betreiben, zu nullen und zu justieren;
- b) ein befeuchtetes Prüfgas wird erzeugt, indem Nullluft, die den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1 entspricht, durch ein abgedichtetes Gefäß mit destilliertem Wasser geleitet wird. Wird die Probe nicht durch einen Trockner geleitet, muss die Gefäßtemperatur so reguliert werden, dass ein H₂O-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der während der Prüfung erwartete Höchstwert. Wird die Probe während der Prüfung durch einen Trockner geleitet, muss die Gefäßtemperatur so reguliert werden, dass ein H₂O-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der gemäß Absatz 9.3.2.3.1. ermittelte Wert;
- c) die Temperatur des befeuchteten Prüfgesetzes muss nach dem Gefäß bei mindestens 5 °C oberhalb des Taupunkts gehalten werden;
- d) das befeuchtete Prüfgas wird in das Probenahmesystem eingeleitet. Das befeuchtete Prüfgas kann hinter dem Probentrockner eingeleitet werden, sofern ein solcher bei der Prüfung verwendet wird;
- e) die Wassermolfraktion $x_{\text{H}_2\text{O}}$ des befeuchteten Prüfgesetzes wird so nahe wie möglich am Eintritt des Analysators gemessen. Beispielsweise sind zur Berechnung von $x_{\text{H}_2\text{O}}$ der Taupunkt T_{dew} und der absolute Druck p_{total} zu messen;
- f) Kondensatbildung in den Übertragungsleitungen, Verbindungsstücken oder Ventilen zwischen dem Punkt, an dem $x_{\text{H}_2\text{O}}$ gemessen wird, und dem Analysator ist nach bestem fachlichen Ermessen zu vermeiden;

- g) für die Stabilisierung des Ansprechverhaltens des Analysators ist hinreichend Zeit vorzusehen. Die Stabilisierungszeit beinhaltet die zur Spülung der Übertragungsleitung und zum Ansprechen des Analysators benötigte Zeit;
- h) während der Analysator die Probenkonzentration misst, werden mindestens 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet. Das arithmetische Mittel dieser Daten ist zu berechnen. Der Analysator hat der Überprüfung der Querempfindlichkeit standgehalten, wenn der Messwert im Bereich von $(0,0 \pm 0,4)$ mmol/mol liegt.

8.1.9.2. Überprüfung der H₂O- und CO₂-Querempfindlichkeit von CO-NDIR-Analysatoren

8.1.9.2.1. Umfang und Häufigkeit

Wird CO mit Hilfe eines NDIR-Analysators gemessen, müssen die H₂O- und die CO₂-Querempfindlichkeit nach der Erstinstallation des Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten überprüft werden.

8.1.9.2.2. Messgrundsätze

H₂O und CO₂ können den Betrieb eines NDIR-Analysators stören, indem sie ein ähnliches Ansprechverhalten hervorrufen wie CO, so dass zu hohe Werte angezeigt werden. Wenn der NDIR-Analysator zur Überprüfung der Erfüllung der Querempfindlichkeitsanforderungen Kompensierungsalgorithmen verwendet, die Messwerte anderer Gase auswerten, müssen derartige Messungen gleichzeitig durchgeführt werden, um die Kompensierungsalgorithmen während der Kontrolle der Querempfindlichkeit des Analysators zu überprüfen.

8.1.9.2.3. Systemanforderungen

Die kombinierte H₂O- und CO₂-Querempfindlichkeit eines CO-NDIR-Analysators muss im Bereich von $\pm 2\%$ der erwarteten mittleren CO-Konzentration liegen.

8.1.9.2.4. Verfahren

Die Überprüfung der Querempfindlichkeit ist folgendermaßen durchzuführen:

- a) Der CO-NDIR-Analysator ist wie bei einer Emissionsprüfung zu starten, zu betreiben, zu nullen und zu justieren;
- b) ein befeuchtetes CO₂-Prüfgas wird erzeugt, indem ein CO₂-Justiergas durch ein abgedichtetes Gefäß mit destilliertem Wasser geleitet wird. Wird die Probe nicht durch einen Trockner geleitet, muss die Gefäßtemperatur so reguliert werden, dass ein H₂O-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der während der Prüfung erwartete Höchstwert. Wird die Probe während der Prüfung durch einen Trockner geleitet, muss die Gefäßtemperatur so reguliert werden, dass ein H₂O-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der gemäß Absatz 8.1.8.5.8 ermittelte Wert. Die Konzentration des CO₂-Justiergases muss mindestens so hoch sein wie der während der Prüfung erwartete Höchstwert;
- c) das befeuchtete CO₂-Prüfgas wird in das Probenahmesystem eingeleitet. Das befeuchtete CO₂-Prüfgas kann hinter dem Probentrockner eingeleitet werden, sofern ein solcher bei der Überprüfung verwendet wird;
- d) die Wassermolfraktion $x_{\text{H}_2\text{O}}$ des befeuchteten Prüfgases wird so nahe wie möglich am Eintritt des Analysators gemessen. Beispielsweise sind zur Berechnung von $x_{\text{H}_2\text{O}}$ der Taupunkt T_{dew} und der absolute Druck p_{total} zu messen;
- e) Kondensatbildung in den Übertragungsleitungen, Verbindungsstücken oder Ventilen zwischen dem Punkt, an dem $x_{\text{H}_2\text{O}}$ gemessen wird, und dem Analysator ist nach bestem fachlichen Ermessen zu vermeiden;
- f) für die Stabilisierung des Ansprechverhaltens des Analysators ist hinreichend Zeit vorzusehen;
- g) während der Analysator die Probenkonzentration misst, werden mindestens 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet. Das arithmetische Mittel dieser Daten ist zu berechnen;
- h) der Analysator arbeitet vorschriftsmäßig, wenn das Ergebnis der Messung nach Buchstabe g dieses Abschnitts der Toleranz gemäß Absatz 8.1.9.2.3. entspricht;
- i) Querempfindlichkeitsprüfungen für CO₂ und H₂O können auch getrennt durchgeführt werden. Falls die verwendeten CO₂- und H₂O-Pegel größer sind als die während der Prüfung erwarteten Höchstwerte, ist jede beobachtete Querempfindlichkeit zu reduzieren, und zwar durch Multiplikation des beobachteten Werts mit dem Verhältnis zwischen dem erwarteten Höchstwert der Konzentration und dem bei dieser Prüfung verwendeten tatsächlichen Wert. Bei getrennten Querempfindlichkeitsprüfungen ermittelte H₂O-Konzentrationen (bis 0,025 mol/mol H₂O-Gehalt), die geringer sind als die bei der Prüfung erwarteten Höchstwerte, dürfen verwendet werden; die beobachtete H₂O-Querempfindlichkeit ist jedoch hochzurechnen, und zwar durch Multiplikation des beobachteten Werts mit dem Verhältnis zwischen dem erwarteten Höchstwert der H₂O-Konzentration und dem bei dieser Prüfung verwendeten tatsächlichen Wert. Die Summe der beiden angepassten Querempfindlichkeitswerte muss der in Absatz 8.1.9.2.3. festgelegten Toleranz entsprechen.

8.1.10. Messung von Kohlenwasserstoffen (HC)

8.1.10.1. FID-Optimierung und -Überprüfung

8.1.10.1.1. Umfang und Häufigkeit

Alle FID-Analysatoren sind bei der Erstinstallation zu kalibrieren. Die Kalibrierung ist bei Bedarf nach bestem fachlichen Ermessen zu wiederholen. Bei einem FID zur Messung von HC sind die nachstehenden Schritte durchzuführen:

- a) Das Ansprechverhalten eines FID auf verschiedene Kohlenwasserstoffe ist nach der Erstinstallation des Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten zu optimieren. Das Ansprechverhalten eines FID auf Propylen und Toluol muss, bezogen auf Propan, zwischen 0,9 und 1,1 liegen;
- b) der Ansprechfaktor eines FID auf Methan (CH_4) wird nach der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten gemäß Absatz 8.1.10.1.4. bestimmt;
- c) das Methan-Ansprechverhalten (CH_4) wird binnen 185 Tagen vor der Prüfung kontrolliert.

8.1.10.1.2. Kalibrierung

Nach bestem fachlichen Ermessen wird, etwa auf Grundlage der Anweisungen des Herstellers des FID-Analysators und der für die Kalibrierung des FID empfohlenen Häufigkeit, ein Kalibrierungsverfahren entwickelt. Ein FID zur Messung von HC ist mit C_3H_8 -Kalibriergasen gemäß Absatz 9.5.1. zu kalibrieren. Ein FID zur Messung von CH_4 ist mit CH_4 -Kalibriergasen gemäß Absatz 9.5.1. zu kalibrieren. Unabhängig von der Zusammensetzung der Kalibriergase erfolgt die Kalibrierung auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins (C_1).

8.1.10.1.3. Optimierung des Ansprechverhaltens des HC-FID

Dieses Verfahren gilt nur für FID-Analysatoren zur Messung von HC.

- a) Bei der Inbetriebsetzung des Geräts und der Vornahme der grundlegenden Einstellungen für den Betrieb mit Hilfe von FID-Brennstoff und Nullluft ist unter Beachtung der Anforderungen des Herstellers nach bestem fachlichen Ermessen vorzugehen. Bei beheizten FID ist der erforderliche Betriebstemperaturbereich zu beachten. Das FID-Ansprechverhalten ist so zu optimieren, dass die Anforderungen betreffend die Kohlenwasserstoff-Ansprechfaktoren und die Prüfung der Sauerstoffquerempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.10.1.1. Buchstabe a und Absatz 8.1.10.2 im gängigsten während der Emissionsprüfung erwarteten Analysatorbereich erfüllt werden. Auf Empfehlung des Herstellers und nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Optimierung des FID ein größerer Analysatorbereich verwendet werden, wenn der gängige Analysatorbereich geringer ist als der vom Hersteller angeführte Mindestbereich für die Optimierung;
- b) bei beheizten FID ist der erforderliche Betriebstemperaturbereich zu beachten. Das FID-Ansprechverhalten ist im gängigsten während der Emissionsprüfung erwarteten Analysatorbereich zu optimieren. Bei einer Einstellung des Kraftstoff- und Luftdurchsatzes, die den Empfehlungen des Herstellers entspricht, ist ein Justiergas in den Analysator einzuleiten;
- c) die Optimierung wird anhand der nachstehenden Schritte i bis iv oder des vom Hersteller empfohlenen Verfahrens durchgeführt. Optional können zur Optimierung auch die in dem SAE-Dokument Nr. 770141 beschriebenen Verfahren herangezogen werden;
 - i) das Ansprechverhalten bei einem bestimmten Kraftstoffdurchsatz ist anhand der Differenz zwischen dem Justiergas-Ansprechen und dem Nullgas-Ansprechen zu ermitteln;
 - ii) der Kraftstoffdurchsatz ist inkrementell ober- und unterhalb der Herstellerangabe einzustellen. Das Ansprechverhalten des Justier- und des Nullgases bei diesen Kraftstoffdurchsätzen ist aufzuzeichnen;
 - iii) die Differenz zwischen dem Justier- und dem Nullgas-Ansprechen ist in Kurvenform aufzutragen und der Kraftstoffdurchsatz auf die fette Seite der Kurve einzustellen. Dies ist die Anfangseinstellung des Durchsatzes, die eventuell entsprechend den nach Absatz 8.1.10.1.1 Buchstabe a ermittelten Kohlenwasserstoff-Ansprechfaktoren und den Ergebnissen der Prüfung auf Sauerstoffquerempfindlichkeit nach Absatz 8.1.10.2 weiter zu optimieren ist;
 - iv) entsprechen die Sauerstoffquerempfindlichkeit oder Kohlenwasserstoff-Ansprechfaktoren nicht den nachstehenden Spezifikationen, so ist der Luftdurchsatz inkrementell ober- und unterhalb der Herstellerangabe zu verstellen, und die Arbeitsgänge nach Absatz 8.1.10.1.1. Buchstabe a und Absatz 8.1.10.2. sind für jeden eingestellten Durchsatz zu wiederholen;
- d) die optimalen Durchsätze und/oder Drücke für FID-Brennstoff und -Brennerluft sind zu ermitteln, zu beproben und für die künftige Verwendung aufzuzeichnen.

8.1.10.1.4. Bestimmung des HC-FID-CH₄-Ansprechfaktors

Dieses Verfahren gilt nur für FID-Analysatoren zur Messung von HC. Da FID-Analysatoren generell unterschiedlich auf CH₄ bezogen auf C₃H₈ ansprechen, wird nach der FID-Optimierung der CH₄-Ansprechfaktor $RF_{CH_4[THC-FID]}$ jedes THC-FID-Analysators bestimmt. Der aktuellste gemäß diesem Absatz gemessene Wert $RF_{CH_4[THC-FID]}$ wird für die Berechnungen zur HC-Ermittlung nach Anhang 4B Anlage A.7 (molbasierter Ansatz) bzw. Anhang 4B Anlage A.8 (massenbasierter Ansatz) zum Ausgleich des CH₄-Ansprechverhaltens herangezogen. Der Wert $RF_{CH_4[THC-FID]}$ wird folgendermaßen ermittelt, wobei festzuhalten ist, dass $RF_{CH_4[THC-FID]}$ für FID, die unter Verwendung von CH₄ mit einem Nichtmethan-Cutter kalibriert und justiert werden, nicht bestimmt wird:

- a) Zur Justierung des Analysators vor der Emissionsprüfung wird eine Konzentration von C₃H₈-Justiergas gewählt. Nur Justiergase, die Absatz 9.5.1. entsprechen, können verwendet werden, und die C₃H₈-Konzentration des Gases ist aufzuzeichnen;
- b) ein CH₄-Justiergas, das Absatz 9.5.1. entspricht, wird ausgewählt, und die CH₄-Konzentration des Gases ist aufzuzeichnen;
- c) der FID-Analysator ist gemäß Herstelleranweisungen zu betreiben;
- d) es muss bestätigt werden, dass der FID-Analysator mit C₃H₈ kalibriert wurde. Die Kalibrierung muss auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins (C₁) erfolgen;
- e) der FID ist mit einem für die Emissionsprüfung verwendeten Nullgas zu nullen;
- f) der FID ist mit dem ausgewählten C₃H₈-Justiergas zu justieren;
- g) das gemäß Buchstabe b dieses Absatzes ausgewählte CH₄-Justiergas wird in den Probeneintritt des FID-Analysators eingeleitet;
- h) das Ansprechverhalten des Analysators wird stabilisiert. Die Stabilisierungszeit kann die zur Spülung des Analysators und zu dessen Ansprechen benötigte Zeit beinhalten;
- i) während der Analysator die CH₄-Konzentration misst, werden 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet und das arithmetische Mittel dieser Werte berechnet;
- j) die mittlere gemessene Konzentration wird durch die aufgezeichnete Justierkonzentration des CH₄-Kalibriergases dividiert. Das Ergebnis ist der Wert $RF_{CH_4[THC-FID]}$, der Ansprechfaktor des FID-Analysators für CH₄.

8.1.10.1.5. Überprüfung des HC-FID-Ansprechverhaltens auf Methan (CH₄)-

Dieses Verfahren gilt nur für FID-Analysatoren zur Messung von HC. Liegt der Wert $RF_{CH_4[THC-FID]}$ gemäß Absatz 8.1.10.1.4. im Bereich von $\pm 5,0\%$ des zuletzt bestimmten Werts, hat der HC-FID der Überprüfung des Methan-Ansprechverhaltens standgehalten.

- a) Zuerst wird kontrolliert, dass die Drücke und/oder Durchsätze von FID-Brennstoff, -Brennerluft und Probe im Bereich von $\pm 0,5\%$ der zuletzt gemäß Absatz 8.1.10.1.3 erfassten Werte liegen. Müssen diese Durchsätze angepasst werden, ist ein neuer $RF_{CH_4[THC-FID]}$ gemäß Absatz 8.1.10.1.4 zu ermitteln. Es ist sicherzustellen, dass der ermittelte Wert $RF_{CH_4[THC-FID]}$ der in diesem Absatz festgelegten Toleranz entspricht;
- b) entspricht $RF_{CH_4[THC-FID]}$ nicht der in diesem Absatz festgelegten Toleranz, muss das FID-Ansprechverhalten neuerlich gemäß Absatz 8.1.10.1.3 optimiert werden;
- c) ein neuer $RF_{CH_4[THC-FID]}$ ist gemäß Absatz 8.1.10.1.4 zu ermitteln. Dieser neue Wert $RF_{CH_4[THC-FID]}$ ist für Berechnungen zur HC-Bestimmung, wie in Anhang 4B Anlage A.7 (molbasierter Ansatz) bzw. Anhang 4B Anlage A.8 (massenbasierter Ansatz) beschrieben, heranzuziehen.

8.1.10.2. Nicht-stöchiometrische Überprüfung der Rohabgas-FID-O₂-Querempfindlichkeit

8.1.10.2.1. Umfang und Häufigkeit

Wenn FID-Analysatoren für Rohabgasmessungen eingesetzt werden, muss bei der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten die FID-O₂-Querempfindlichkeit überprüft werden.

8.1.10.2.2. Messgrundsätze

Unterschiede in der O₂-Konzentration des Rohabgases können sich durch die Veränderung der Flammentemperatur des FID auf dessen Ansprechverhalten auswirken. Für den erfolgreichen Abschluss dieser Prüfung sind FID-Brennstoff, -Brennerluft und Probendurchsatz zu optimieren. Die Leistung des FID ist anhand der Kompensationsalgorithmen für die während einer Emissionsprüfung auftretenden FID-O₂-Querempfindlichkeiten zu überprüfen.

8.1.10.2.3. Systemanforderungen

Jeder für die Emissionsprüfung verwendete FID-Analysator muss der Überprüfung der FID-O₂-Querempfindlichkeit anhand des in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahrens standhalten.

8.1.10.2.4. Verfahren

Die FID-O₂-Querempfindlichkeit ist folgendermaßen zu bestimmen, wobei ein oder mehrere Gasteiler eingesetzt werden können, um die Bezugsgaskonzentrationen zu erzeugen, die zur Durchführung dieser Überprüfung erforderlich sind:

- a) Drei Justierbezugsgase werden ausgewählt, die die Anforderungen gemäß Absatz 9.5.1. erfüllen und die die zur Justierung der Analysatoren vor der Emissionsprüfung verwendete C₃H₈-Konzentration aufweisen. Für FID, die mit einem Nichtmethan-Cutter mit CH₄ kalibriert wurden, dürfen nur CH₄-Justierbezugsgase verwendet werden, die den in Absatz 9.5.1 genannten Spezifikationen entsprechen. Die drei Ausgleichsgaskonzentrationen sind so zu wählen, dass die O₂- und N₂-Konzentrationen dem bei der Prüfung erwarteten O₂-Mindest-, -Höchst- und Zwischenwert entsprechen. Die Anforderung, dass die durchschnittliche O₂-Konzentration zu verwenden ist, muss nicht erfüllt werden, wenn der FID mit Justiergas kalibriert wird, das die durchschnittlich erwartete Sauerstoffkonzentration aufweist;
- b) es muss bestätigt werden, dass der FID-Analysator alle Spezifikationen gemäß Absatz 8.1.10.1. erfüllt;
- c) der FID-Analysator ist wie bei einer Emissionsprüfung zu starten und zu betreiben; Unabhängig von der während der Emissionsprüfung verwendeten Luftquelle des FID-Brenners ist für diese Überprüfung Nullluft als Luftquelle für den FID-Brenner zu nutzen;
- d) der Analysator ist auf Null zu stellen;
- e) der Analysator ist mit Hilfe eines während der Emissionsprüfung verwendeten Justiergases zu justieren;
- f) das Nullgasansprechen ist mit Hilfe des während der Emissionsprüfung verwendeten Nullgases zu überprüfen. Mit dem nächsten Schritt kann fortgefahren werden, wenn das mittlere Nullgasansprechen von 30 s an erfassten Daten innerhalb von $\pm 0,5\%$ des laut Buchstabe e dieses Absatzes angewendeten Justierbezugswerts liegt, andernfalls muss das Verfahren ab Buchstabe d dieses Absatzes wiederholt werden;
- g) das Ansprechverhalten des Analysators wird mit dem Justiergas überprüft, das die während der Emissionsprüfung erwartete Mindestkonzentration an O₂ aufweist. Das mittlere Ansprechverhalten von 30 s an stabilisierten Probendaten ist als $x_{O_2\min HC}$ zu erfassen;
- h) das Nullgasansprechen des FID-Analysators ist mit Hilfe des bei der Emissionsprüfung verwendeten Nullgases zu überprüfen. Mit dem nächsten Schritt kann fortgefahren werden, wenn das mittlere Nullgasansprechen von 30 s an stabilisierten Probendaten innerhalb von $\pm 0,5\%$ des laut Buchstabe e dieses Absatzes angewendeten Justierbezugswerts liegt, andernfalls muss das Verfahren ab Buchstabe d dieses Absatzes wiederholt werden;
- i) das Ansprechverhalten des Analysators wird mit dem Justiergas überprüft, das die während der Emissionsprüfung erwartete durchschnittliche Konzentration an O₂ aufweist. Das mittlere Ansprechverhalten von 30 s an stabilisierten Probendaten ist als $x_{O_2\text{avg} HC}$ zu erfassen;
- j) das Nullgasansprechen des FID-Analysators ist mit Hilfe des bei der Emissionsprüfung verwendeten Nullgases zu überprüfen. Mit dem nächsten Schritt kann fortgefahren werden, wenn das mittlere Nullgasansprechen von 30 s an stabilisierten Probendaten innerhalb von $\pm 0,5\%$ des laut Buchstabe e dieses Absatzes angewendeten Justierbezugswerts liegt, andernfalls muss das Verfahren ab Buchstabe d dieses Absatzes wiederholt werden;
- k) das Ansprechverhalten des Analysators wird mit dem Justiergas überprüft, das die während der Emissionsprüfung erwartete Höchstkonzentration an O₂ aufweist. Das mittlere Ansprechverhalten von 30 s an stabilisierten Probendaten ist als $x_{O_2\max HC}$ zu erfassen;
- l) das Nullgasansprechen des FID-Analysators ist mit Hilfe des bei der Emissionsprüfung verwendeten Nullgases zu überprüfen. Mit dem nächsten Schritt kann fortgefahren werden, wenn das mittlere Nullgasansprechen von 30 s an stabilisierten Probendaten innerhalb von $\pm 0,5\%$ des laut Buchstabe e dieses Absatzes angewendeten Justierbezugswerts liegt, andernfalls muss das Verfahren ab Buchstabe d dieses Absatzes wiederholt werden;

- m) die prozentuale Differenz zwischen dem Wert x_{O_2maxHC} und seiner Bezugsgaskonzentration ist zu berechnen. Die prozentuale Differenz zwischen dem Wert x_{O_2avgHC} und seiner Bezugsgaskonzentration ist zu berechnen. Die prozentuale Differenz zwischen dem Wert x_{O_2minHC} und seiner Bezugsgaskonzentration ist zu berechnen. Die maximale prozentuale Differenz zwischen den drei Werten ist zu berechnen. Beim Ergebnis handelt es sich um die O_2 -Querempfindlichkeit;
- n) liegt die O_2 -Querempfindlichkeit im Bereich von $\pm 3 \%$, hat der FID der Überprüfung der O_2 -Querempfindlichkeit standgehalten; andernfalls muss der Mangel mit Hilfe eines oder mehrerer der folgenden Schritte behoben werden:
 - i) die Überprüfung wird wiederholt, um festzustellen, ob ein Fehler aufgetreten ist;
 - ii) für die Emissionsprüfung werden Null- und Justiergase mit einer höheren oder niedrigeren O_2 -Konzentration gewählt und die Überprüfung wird wiederholt;
 - iii) die FID-Brennerluft, der -Brennstoff und der Probendurchsatz werden geändert. Werden diese Durchsätze bei einem THC-FID verändert, damit dieser der Überprüfung der O_2 -Querempfindlichkeit standhält, muss der Wert RF_{CH_4} für die nächste RF_{CH_4} -Überprüfung zurückgesetzt werden. Nach Änderung der Durchsätze wird die Überprüfung der O_2 -Querempfindlichkeit wiederholt und der Wert RF_{CH_4} wird ermittelt;
 - iv) der FID wird repariert oder ausgetauscht und die Überprüfung der O_2 -Querempfindlichkeit wird wiederholt.

8.1.10.3. Durchlassanteile des Nichtmethan-Cutters

8.1.10.3.1. Umfang und Häufigkeit

Werden ein FID-Analysator und ein Nichtmethan-Cutter (NMC) zur Messung von Methan (CH_4) eingesetzt, ist die Umwandlungseffizienz des Nichtmethan-Cutters für Methan E_{CH_4} und Ethan $E_{C_2H_6}$ zu ermitteln. Wie im vorliegenden Absatz ausgeführt, kann diese Umwandlungseffizienz abhängig von der speziellen Konfiguration des NMC und des FID-Analysators als Kombination aus der Umwandlungseffizienz des NMC und dem Ansprechfaktor des FID-Analysators bestimmt werden.

Diese Überprüfung ist nach der Installation des Nichtmethan-Cutters durchzuführen. Die Überprüfung ist binnen 185 Tagen vor der Prüfung zu wiederholen, um sicherzustellen, dass die katalytische Wirkung des Cutters nicht abgenommen hat.

8.1.10.3.2. Messgrundsätze

Bei einem Nichtmethan-Cutter handelt es sich um einen beheizten Katalysator, der Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe aus dem Abgasstrom abscheidet, bevor der FID-Analysator die verbleibende Kohlenwasserstoffkonzentration misst. Ein idealer Nichtmethan-Cutter hätte eine auf Methan bezogene Umwandlungseffizienz E_{CH_4} [-] von 0 (d. h. einen Methan-Durchlassanteil PF_{CH_4} von 1,000) und für alle anderen Kohlenwasserstoffe eine Umwandlungseffizienz von 1,000, ausgedrückt als eine auf Ethan bezogene Umwandlungseffizienz $E_{C_2H_6}$ [-] von 1 (d. h. einen Ethan-Durchlassanteil $PF_{C_2H_6}$ [-] von 0). In den Emissionsberechnungen gemäß Anhang 4B Anlage A.7 bzw. Anhang 4B Anlage A.8 wird mit Hilfe der gemäß dem vorliegenden Absatz erfassten Messwerte der Umwandlungseffizienz E_{CH_4} und $E_{C_2H_6}$ eine suboptimale NMC-Leistung ausgedrückt.

8.1.10.3.3. Systemanforderungen

Die Umwandlungseffizienzen eines NMC sind nicht auf einen bestimmten Bereich begrenzt. Allerdings wird empfohlen, dass zur Optimierung eines Nichtmethan-Cutters die Temperatur so eingestellt wird, dass ein gemäß Absatz 8.1.10.3.4. bestimmter Wert $E_{CH_4} < 0,15$ bzw. $E_{C_2H_6} > 0,98$ ($PF_{CH_4} > 0,85$ bzw. $PF_{C_2H_6} < 0,02$) erzielt wird. Lassen sich diese Werte durch Einstellung der Temperatur des NMC nicht erreichen, sollte der Katalysatorwerkstoff ausgetauscht werden. Zur Berechnung der HC-Emissionen gemäß den Anlagen A.7 bzw. A.8 sind die aktuellsten anhand des vorliegenden Abschnitts ermittelten Umwandlungswerte heranzuziehen.

8.1.10.3.4. Verfahren

Die Anwendung eines beliebigen der in den Absätzen 8.1.10.3.4.1., 8.1.10.3.4.2. und 8.1.10.3.4.3. beschriebenen Verfahren wird empfohlen. Alternativ kann auch nach einer vom Gerätehersteller empfohlenen Methode vorgegangen werden.

8.1.10.3.4.1. Verfahren für einen mit dem NMC kalibrierten FID

Wird ein FID immer mit dem NMC zur Messung von CH_4 kalibriert, ist der FID mit dem NMC unter Verwendung eines CH_4 -Justiergases zu justieren; das Produkt $RPF_{CH_4[NMC-FID]}$ aus dem CH_4 -Ansprechfaktor und dem CH_4 -Durchlassanteil dieses FID ist für alle Emissionsberechnungen gleich 1,0 zu setzen (d. h. die Effizienz E_{CH_4} [-] ist gleich 0 zu setzen) und der kombinierte Wert für den Ansprechfaktor und den Durchlassanteil von Ethan (C_2H_6) $RPF_{C_2H_6[NMC-FID]}$ (und die Effizienz $E_{C_2H_6}$ [-]) ist folgendermaßen zu ermitteln:

- a) Ein den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1. entsprechendes CH_4 -Gasgemisch und C_2H_6 -Analysegasgemisch werden ausgewählt. Dann werden eine CH_4 -Konzentration zur Justierung des FID während der Emissionsprüfung und eine C_2H_6 -Konzentration gewählt, die entweder für die erwartete NMHC-Spitzenkonzentration des Kohlenwasserstoff-Standardwerts typisch ist oder dem Justierwert des THC-Analysators entspricht;
- b) der Nichtmethan-Cutter ist gemäß den Herstelleranweisungen zu starten, zu betreiben und – einschließlich einer etwaigen Temperaturoptimierung – zu optimieren;
- c) es muss bestätigt werden, dass der FID-Analysator alle Spezifikationen gemäß Absatz 8.1.10.1. erfüllt;
- d) der FID-Analysator ist gemäß Herstelleranweisungen zu betreiben;
- e) zur Justierung des FID mit dem Cutter wird CH_4 -Justiergas verwendet. Der FID wird auf C_1 -Basis justiert. Wenn das Justiergas beispielsweise einen CH_4 -Bezugswert von $100 \mu\text{mol/mol}$ aufweist, entspricht das korrekte Ansprechverhalten des FID auf dieses Justiergas $100 \mu\text{mol/mol}$, da auf jedes CH_4 -Molekül ein Kohlenstoffatom entfällt;
- f) das C_2H_6 -Analysegasgemisch wird vor dem Nichtmethan-Cutter eingeleitet;
- g) das Ansprechverhalten des Analysators wird stabilisiert. Die Stabilisierungszeit kann die zur Spülung des Nichtmethan-Cutters und zum Ansprechen des Analysators benötigte Zeit beinhalten;
- h) während der Analysator eine stabile Konzentration misst, werden 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet und das arithmetische Mittel dieser Messpunkte wird berechnet;
- i) dieser Mittelwert wird durch den auf eine C_1 -Basis umgerechneten C_2H_6 -Bezugswert dividiert. Beim Ergebnis handelt es sich um den kombinierten Wert für den C_2H_6 -Ansprechfaktor und -Durchlassanteil $RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$, der $(1 - E_{\text{C}_2\text{H}_6} [-])$ entspricht. Dieser kombinierte Ansprechfaktor und Durchlassanteil und das Produkt des CH_4 -Ansprechfaktors und des CH_4 -Durchlassanteils $RFPF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$, das gleich 1,0 gesetzt wird, ist in Emissionsberechnungen gemäß Anlage A.7 bzw. A.8 anzuwenden.

8.1.10.3.4.2. Verfahren für einen unter Umgehung des NMC mit Propan kalibrierten FID

Wird ein mit einem NMC genutzter FID unter Umgehung des NMC mit Propan (C_3H_8) kalibriert, werden die Durchlassanteile $PF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ und $PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$ folgendermaßen ermittelt:

- a) Ein den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1. entsprechendes CH_4 -Gasgemisch und ein C_2H_6 -Analysegasgemisch werden ausgewählt, wobei die CH_4 -Konzentration typisch für die erwartete Spitzenkonzentration des Kohlenwasserstoff-Standardwerts und die C_2H_6 -Konzentration typisch für die erwartete THC-Spitzenkonzentration des Kohlenwasserstoff-Standardwerts oder gleich dem Justierwert des THC-Analysators sein muss;
- b) der Nichtmethan-Cutter ist gemäß den Herstelleranweisungen zu starten und – einschließlich einer etwaigen Temperaturoptimierung – zu betreiben;
- c) es muss bestätigt werden, dass der FID-Analysator alle Spezifikationen gemäß Absatz 8.1.10.1. erfüllt;
- d) der FID-Analysator ist gemäß Herstelleranweisungen zu betreiben;
- e) der FID ist wie bei einer Emissionsprüfung zu nullen und zu justieren; Der FID wird unter Umgehung des Cutters und Verwendung von C_3H_8 -Justiergas justiert. Der FID wird auf C_1 -Basis justiert;
- f) das C_2H_6 -Analysegasgemisch wird vor dem Nichtmethan-Cutter an derselben Stelle wie das Nullgas eingeleitet;
- g) für die Stabilisierung des Ansprechverhaltens des Analysators ist hinreichend Zeit vorzusehen. Die Stabilisierungszeit kann die zur Spülung des Nichtmethan-Cutters und zum Ansprechen des Analysators benötigte Zeit beinhalten;
- h) während der Analysator eine stabile Konzentration misst, werden 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet und das arithmetische Mittel dieser Messpunkte wird berechnet;
- i) der Durchfluss wird so umgeleitet, dass der Nichtmethan-Cutter umgangen wird; das C_2H_6 -Analysegasgemisch wird in die Umgehungsleitung eingeleitet und die Schritte gemäß den Buchstaben g und h dieses Absatzes werden wiederholt;

- j) die durch den Nichtmethan-Cutter gemessene mittlere C_2H_6 -Konzentration wird durch die mittlere Konzentration nach der Umgehung des Nichtmethan-Cutters dividiert. Beim Ergebnis handelt es sich um den C_2H_6 -Durchlassanteil $PF_{C_2H_6[NMC-FID]}$, der $(1 - E_{C_2H_6} [-])$ entspricht. Dieser Durchlassanteil ist gemäß Anlage A.7 bzw. A.8 anzuwenden;
- k) die Schritte gemäß Buchstaben f bis j dieses Abschnitts sind unter Verwendung des CH_4 -Analysegasgemischs anstelle von C_2H_6 zu wiederholen. Beim Ergebnis handelt es sich um den CH_4 -Durchlassanteil $PF_{CH_4[NMC-FID]}$ (der $(1 - E_{CH_4} [-])$ entspricht). Dieser Durchlassanteil ist gemäß Anlage A.7 bzw. A.8 anzuwenden.

8.1.10.3.4.3. Verfahren für einen unter Umgehung des NMC mit Methan kalibrierten FID

Wird ein mit einem NMC genutzter FID unter Umgehung des NMC mit Methan (CH_4) kalibriert, werden der kombinierte Wert für den Ansprechfaktor und den Durchlassanteil von Ethan (C_2H_6) $RFPF_{C_2H_6[NMC-FID]}$ sowie der CH_4 -Durchlassanteil $PF_{CH_4[NMC-FID]}$ folgendermaßen ermittelt:

- a) Den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1. entsprechende CH_4 - und C_2H_6 -Analysegasgemische werden ausgewählt, wobei die CH_4 -Konzentration typisch für die erwartete Spitzenkonzentration des Kohlenwasserstoff-Standardwerts und die C_2H_6 -Konzentration typisch für die erwartete THC-Spitzenkonzentration des Kohlenwasserstoff-Standardwerts oder den Justierwert des THC-Analysators sein muss;
- b) der Nichtmethan-Cutter ist gemäß den Herstelleranweisungen zu starten und – einschließlich einer etwaigen Temperaturoptimierung – zu betreiben;
- c) es muss bestätigt werden, dass der FID-Analysator alle Spezifikationen gemäß Absatz 8.1.10.1. erfüllt;
- d) der FID-Analysator ist gemäß Herstelleranweisungen zu starten und zu betreiben;
- e) der FID ist wie bei einer Emissionsprüfung zu nullen und zu justieren. Der FID wird unter Umgehung des Cutters mit CH_4 -Justiergas justiert. Der FID wird auf C_1 -Basis justiert. Wenn das Justiergas beispielsweise einen Methan-Bezugswert von $100 \mu\text{mol/mol}$ aufweist, entspricht das korrekte Ansprechverhalten des FID auf dieses Justiergas $100 \mu\text{mol/mol}$, da auf jedes CH_4 -Molekül ein Kohlenstoffatom entfällt;
- f) das C_2H_6 -Analysegasgemisch wird vor dem Nichtmethan-Cutter an derselben Stelle wie das Nullgas eingeleitet;
- g) für die Stabilisierung des Ansprechverhaltens des Analysators ist hinreichend Zeit vorzusehen. Die Stabilisierungszeit kann die zur Spülung des Nichtmethan-Cutters und zum Ansprechen des Analysators benötigte Zeit beinhalten;
- h) während der Analysator eine stabile Konzentration misst, werden 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet. Das arithmetische Mittel dieser Messpunkte ist zu berechnen;
- i) der Durchfluss wird so umgeleitet, dass der Nichtmethan-Cutter umgangen wird. Das C_2H_6 -Analysegasgemisch wird in die Umgehungsleitung eingeleitet und die Schritte laut den Buchstaben g und h dieses Absatzes werden wiederholt;
- j) die durch den Nichtmethan-Cutter gemessene mittlere C_2H_6 -Konzentration wird durch die mittlere Konzentration nach der Umgehung des Nichtmethan-Cutters dividiert. Beim Ergebnis handelt es sich um den kombinierten Wert für den C_2H_6 -Ansprechfaktor und -Durchlassanteil $RFPF_{C_2H_6[NMC-FID]}$. Dieser kombinierte Wert für den Ansprechfaktor und den Durchlassanteil ist gemäß den Anlagen A.7 bzw. A.8 anzuwenden;
- k) die Schritte gemäß Buchstaben f bis j dieses Abschnitts sind unter Verwendung des CH_4 -Analysegasgemischs anstelle von C_2H_6 zu wiederholen. Beim Ergebnis handelt es sich um den CH_4 -Durchlassanteil $PF_{CH_4[NMC-FID]}$. Dieser Durchlassanteil ist gemäß Anlage A.7 bzw. A.8 anzuwenden.

8.1.11. NO_x -Messungen

8.1.11.1. Überprüfung der CO_2 - und H_2O -Querempfindlichkeit des CLD

8.1.11.1.1. Umfang und Häufigkeit

Wird ein CLD-Analysator zur Messung von NO_x eingesetzt, müssen die H_2O - und die CO_2 -Querempfindlichkeit nach der Installation des CLD-Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten überprüft werden.

8.1.11.1.2. Messgrundsätze

H₂O und CO₂ können das NO_x-Ansprechverhalten eines CLD durch Stoßlöschung, bei der die vom CLD zur Erfassung von NO_x genutzte Chemilumineszenzreaktion gehemmt wird, stören, so dass zu niedrige Werte angezeigt werden. Dieses Verfahren und die Berechnungen nach Absatz 8.1.11.2.3 dienen zur Ermittlung der Querempfindlichkeit und zur Skalierung der Ergebnisse auf die maximale H₂O-Molfraktion und die während der Emissionsprüfung erwartete maximale CO₂-Konzentration. Wenn der CLD-Analysator Algorithmen zur Kompensierung der Querempfindlichkeit verwendet, die H₂O- und/oder CO₂-Messgeräte erfordern, müssen diese zur Ermittlung der Querempfindlichkeit eingeschaltet sein und die Kompensierungsalgorithmen müssen angewendet werden.

8.1.11.1.3. Systemanforderungen

Bei der Messung verdünnter Abgase darf ein CLD-Analysator die kombinierte H₂O- und CO₂-Querempfindlichkeit von $\pm 2\%$ nicht überschreiten. Bei der Messung von Rohabgasen darf ein CLD-Analysator die kombinierte H₂O- und CO₂-Querempfindlichkeit von $\pm 2\%$ nicht überschreiten. Bei der kombinierten Querempfindlichkeit handelt es sich um die Summe aus der gemäß Absatz 8.1.11.1.4 ermittelten CO₂-Querempfindlichkeit und der gemäß Absatz 8.1.11.1.5 ermittelten H₂O-Querempfindlichkeit. Werden diese Anforderungen nicht eingehalten, sind Abhilfemaßnahmen wie die Reparatur oder der Austausch des Analysators zu ergreifen. Vor der Durchführung von Emissionsprüfungen ist sicherzustellen, dass die ordnungsgemäße Funktion des Analysators durch die Abhilfemaßnahmen wiederhergestellt wurde.

8.1.11.1.4. Verfahren zur Überprüfung der CO₂-Querempfindlichkeit

Zur Ermittlung der CO₂-Querempfindlichkeit mit einem den Spezifikationen gemäß Absatz 9.4.5.6. entsprechenden Gasteiler zur Vermischung von binären Justiergasen mit Nullgas als Verdünnungsmittel kann das nachstehend beschriebene Verfahren oder die vom Gerätehersteller vorgeschriebene Methode verwendet werden; stattdessen kann nach bestem fachlichen Ermessen ein anderes Verfahren entwickelt werden:

- a) Zur Herstellung der benötigten Verbindungen werden Rohre aus PTFE oder rostfreiem Stahl verwendet;
- b) der Gasteiler ist so zu konfigurieren, dass annähernd gleiche Mengen von Justier- und Verdünnungsgas miteinander vermischt werden;
- c) verfügt der CLD-Analysator über einen Betriebsmodus, in dem anstelle des gesamten NO_x nur NO erfasst werden kann, ist der CLD-Analysator in diesem Modus zu verwenden;
- d) ein den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1 entsprechendes CO₂-Justiergas ist in einer Konzentration zu verwenden, die in etwa dem Doppelten der während der Emissionsprüfung erwarteten maximalen CO₂-Konzentration entspricht;
- e) ein den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1 entsprechendes NO-Justiergas ist in einer Konzentration zu verwenden, die in etwa dem Doppelten der während der Emissionsprüfung erwarteten maximalen NO-Konzentration entspricht. Auf Empfehlung des Herstellers und nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Überprüfung eine höhere Konzentration verwendet werden, wenn die erwartete NO-Konzentration geringer ist als der vom Hersteller angeführte Mindestbereich für die Überprüfung;
- f) der CLD-Analysator ist zu nullen und zu justieren. Der CLD-Analysator wird über den Gasteiler mit dem in Buchstabe e dieses Absatzes genannten NO-Justiergas justiert. Das NO-Justiergas wird mit dem Justieranschluss des Gasteilers verbunden; ein Nullgas wird mit dem Verdünnungsanschluss des Gasteilers verbunden; dasselbe Nennmischverhältnis wie in Buchstabe b dieses Absatzes wird gewählt und die dadurch erzeugte NO-Konzentration des Gasteilers dient zur Justierung des CLD-Analysators. Um eine präzise Gasteilung zu gewährleisten, sind die Gaseigenschaften bei Bedarf zu korrigieren;
- g) das CO₂-Justiergas ist mit dem Justieranschluss des Gasteilers zu verbinden;
- h) das NO-Justiergas ist mit dem Verdünnungsanschluss des Gasteilers zu verbinden;
- i) während NO und CO₂ durch den Gasteiler geleitet werden, ist das vom Gasteiler erzeugte Gemisch zu stabilisieren. Die CO₂-Konzentration des Gasteiler-Gemischs wird ermittelt; dabei sind, um eine präzise Gasteilung zu gewährleisten, die Gaseigenschaften bei Bedarf zu korrigieren. Die ermittelte Konzentration $x_{\text{CO}_2\text{act}}$ wird aufgezeichnet und für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.2.3 herangezogen. Anstelle eines Gasteilers kann auch eine andere einfache Gasmischvorrichtung verwendet werden. In diesem Fall ist mit dem Analysator die CO₂-Konzentration zu bestimmen. Wird ein NDIR-Analysator zusammen mit einer einfachen Gasmischvorrichtung benutzt, muss er den Anforderungen des vorliegenden Abschnitts entsprechen und mit dem in Buchstabe d dieses Absatzes genannten CO₂-Justiergas justiert werden. Die Linearität des NDIR-Analysators muss im Vorfeld über den gesamten Bereich kontrolliert werden, der in etwa dem Doppelten der während der Emissionsprüfung erwarteten maximalen CO₂-Konzentration entspricht;

- j) die NO-Konzentration wird hinter dem Gasteiler mit dem CLD-Analysator gemessen. Für die Stabilisierung des Ansprechverhaltens des Analysators ist hinreichend Zeit vorzusehen. Die Stabilisierungszeit kann die zur Spülung der Übertragungsleitung und zum Ansprechen des Analysators benötigte Zeit beinhalten. Während der Analysator die Probenkonzentration misst, werden 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet. Aus diesen Daten wird das arithmetische Mittel der Konzentration, der Wert x_{NOmeas} , berechnet. x_{NOmeas} wird aufgezeichnet und für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.2.3 herangezogen;
- k) die tatsächliche NO-Konzentration x_{NOact} wird am Austritt des Gasteilers auf der Grundlage der Justiergaskonzentrationen und des Werts x_{CO2act} anhand der Gleichung (8-5) berechnet. Der ermittelte Wert wird für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit anhand der Gleichung (8-4) herangezogen;
- l) die laut den Absätzen 8.1.11.1.4 und 8.1.11.1.5 aufgezeichneten Werte dienen zur Berechnung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.2.3

8.1.11.1.5. Verfahren zur Überprüfung der H₂O-Querempfindlichkeit

Zur Ermittlung der H₂O-Querempfindlichkeit kann das nachstehend beschriebene Verfahren oder die vom Gerätehersteller vorgeschriebene Methode verwendet werden; stattdessen kann nach bestem fachlichen Ermessen ein anderes Verfahren entwickelt werden:

- a) Zur Herstellung der benötigten Verbindungen werden Rohre aus PTFE oder rostfreiem Stahl verwendet;
- b) verfügt der CLD-Analysator über einen Betriebsmodus, in dem anstelle des gesamten NO_x nur NO erfasst werden kann, ist der CLD-Analysator in diesem Modus zu verwenden;
- c) ein den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1 entsprechendes NO-Justiergas ist in einer Konzentration zu verwenden, die in etwa der während der Emissionsprüfung erwarteten maximalen Konzentration entspricht. Auf Empfehlung des Herstellers und nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Überprüfung eine höhere Konzentration verwendet werden, wenn die erwartete NO-Konzentration geringer ist als der vom Hersteller angeführte Mindestbereich für die Überprüfung;
- d) der CLD-Analysator ist zu nullen und zu justieren. Der CLD-Analysator wird mit dem in Buchstabe c dieses Absatzes genannten NO-Justiergas justiert. Die Konzentration des Justiergases wird als x_{NOdry} aufgezeichnet und für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.2.3 herangezogen;
- e) das NO-Justiergas wird befeuchtet, indem es durch ein abgedichtetes Gefäß mit destilliertem Wasser geleitet wird. Wird die befeuchtete NO-Justiergasprobe für diese Überprüfung nicht durch einen Probentrockner geleitet, muss die Gefäßtemperatur so reguliert werden, dass ein H₂O-Pegel erzeugt wird, der in etwa der während der Emissionsprüfung erwarteten maximalen H₂O-Molfraktion entspricht. Wird die befeuchtete NO-Justiergasprobe nicht durch einen Probentrockner geleitet, wird die gemessene H₂O-Querempfindlichkeit im Zuge der Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.2.3 auf die maximale während der Emissionsprüfung erwartete H₂O-Molfraktion skaliert. Wird die befeuchtete NO-Justiergasprobe für diese Überprüfung durch einen Trockner geleitet, muss die Gefäßtemperatur so reguliert werden, dass ein H₂O-Pegel erzeugt wird, der mindestens so hoch ist wie der gemäß Absatz 9.3.2.3.1 ermittelte Wert. In diesem Fall wird die gemessene H₂O-Querempfindlichkeit im Zuge der Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.2.3 nicht skaliert;
- f) das befeuchtete NO-Prüfgas wird in das Probenahmesystem eingeleitet. Die Einleitung kann vor oder hinter einem während der Emissionsprüfung eingesetzten Probentrockner erfolgen. Abhängig vom Ort der Einleitung wird die entsprechende Berechnungsmethode laut Buchstabe e gewählt. Hinweis: Der Probentrockner muss der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.8.5.8. standhalten;
- g) die H₂O-Molfraktion im befeuchteten NO-Justiergas wird gemessen. Wird ein Probentrockner verwendet, ist die H₂O-Molfraktion x_{H2Omeas} des befeuchteten NO-Justiergases hinter dem Probentrockner zu messen. x_{H2Omeas} sollte so nahe wie möglich am Eintritt des CLD-Analysators gemessen werden. x_{H2Omeas} kann aus den Messungen des Taupunkts T_{dew} und des absoluten Drucks p_{total} berechnet werden;
- h) Kondensatbildung in den Übertragungsleitungen, Verbindungsstücken oder Ventilen zwischen dem Punkt, an dem x_{H2Omeas} gemessen wird, und dem Analysator ist nach bestem fachlichen Ermessen zu vermeiden. Das System sollte so konzipiert sein, dass die Wandtemperaturen in den Übertragungsleitungen, Verbindungsstücken und Ventilen zwischen dem Punkt, an dem x_{H2Omeas} gemessen wird, und dem Analysator mindestens 5 °C über dem lokalen Taupunkt des Probengases liegen;

- i) die Konzentration des befeuchteten NO-Justiergases wird mit dem CLD-Analysator gemessen. Für die Stabilisierung des Ansprechverhaltens des Analysators ist hinreichend Zeit vorzusehen. Die Stabilisierungszeit kann die zur Spülung der Übertragungsleitung und zum Ansprechen des Analysators benötigte Zeit beinhalten. Während der Analysator die Probenkonzentration misst, werden 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet. Aus diesen Daten wird das arithmetische Mittel x_{NOwet} berechnet. x_{NOwet} wird aufgezeichnet und für die Berechnungen zur Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.2.3 herangezogen.

8.1.11.2. Berechnungen zur Überprüfung der CLD-Querempfindlichkeit

Die Berechnungen zur Überprüfung der CLD-Querempfindlichkeit sind wie in diesem Absatz beschrieben durchzuführen.

8.1.11.2.1. Während der Emissionsprüfung erwartete Wassermenge

Die während der Emissionsprüfung erwartete maximale Wassermolfraktion $x_{\text{H}_2\text{Oexp}}$ wird geschätzt. Diese Schätzung ist dort vorzunehmen, wo die Einleitung des befeuchteten NO-Justiergases gemäß Absatz 8.1.11.1.5 Buchstabe f erfolgt ist. Bei der Schätzung der maximalen erwarteten Wassermolfraktion ist gegebenenfalls der maximale erwartete Wassergehalt in Verbrennungsluft, Kraftstoffverbrennungsprodukten und Verdünnungsluft zu berücksichtigen. Wird das befeuchtete NO-Justiergas bei der Überprüfung vor einem Probentrockner in das Probenahmesystem eingeleitet, muss die maximale erwartete Wassermolfraktion nicht geschätzt werden und $x_{\text{H}_2\text{Oexp}}$ wird gleich $x_{\text{H}_2\text{Omeas}}$ gesetzt.

8.1.11.2.2. Während der Emissionsprüfung erwartete CO₂-Menge

Die während der Emissionsprüfung erwartete maximale CO₂-Konzentration $x_{\text{CO}_2\text{exp}}$ wird geschätzt. Diese Schätzung ist dort vorzunehmen, wo gemäß Absatz 8.1.11.1.4 Buchstabe j die Einleitung des vermischten NO- und CO₂-Justiergases ins Probenahmesystem erfolgt. Bei der Schätzung der maximalen erwarteten CO₂-Konzentration ist der maximale erwartete CO₂-Gehalt in Kraftstoffverbrennungsprodukten und Verdünnungsluft zu berücksichtigen.

8.1.11.2.3. Berechnung der kombinierten H₂O- und CO₂-Querempfindlichkeit

Die kombinierte H₂O- und CO₂-Querempfindlichkeit ist folgendermaßen zu berechnen:

$$quench = \left[\left(\frac{x_{\text{NOwet}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Omeas}} - x_{\text{NOdry}}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{\text{H}_2\text{Oexp}}}{x_{\text{H}_2\text{Omeas}}} + \left(\frac{x_{\text{NOmeas}}}{x_{\text{NOact}}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{\text{CO}_2\text{exp}}}{x_{\text{CO}_2\text{act}}} \right] \cdot 100\% \quad (8-4)$$

Dabei gilt:

$quench$ = Wert der CLD-Querempfindlichkeit

x_{NOdry} = nach Absatz 8.1.11.1.5 Buchstabe d gemessene NO-Konzentration vor einer Waschflasche

x_{NOwet} = nach Absatz 8.1.11.1.5 Buchstabe i gemessene NO-Konzentration hinter einer Waschflasche

$x_{\text{H}_2\text{Oexp}}$ = maximale erwartete Wassermolfraktion während der Emissionsprüfung gemäß Absatz 8.1.11.2.1.

$x_{\text{H}_2\text{Omeas}}$ = gemessene Wassermolfraktion während der Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.1.5 Buchstabe g

x_{NOmeas} = gemessene NO-Konzentration bei der Mischung von NO-Justiergas mit CO₂-Justiergas gemäß Absatz 8.1.11.1.4 Buchstabe j

x_{NOact} = tatsächliche NO-Konzentration bei der Mischung von NO-Justiergas mit CO₂-Justiergas gemäß Absatz 8.1.11.1.4 Buchstabe k; Berechnung anhand der Gleichung (8-5)

$x_{\text{CO}_2\text{exp}}$ = maximale erwartete CO₂-Konzentration während der Emissionsprüfung gemäß Absatz 8.1.11.2.2.

$x_{\text{CO}_2\text{act}}$ = tatsächliche CO₂-Konzentration bei der Mischung von NO-Justiergas mit CO₂-Justiergas gemäß Absatz 8.1.11.1.4 Buchstabe i

$$x_{\text{NOact}} = \left(1 - \frac{x_{\text{CO}_2\text{act}}}{x_{\text{CO}_2\text{span}}} \right) \cdot x_{\text{NOspan}} \quad (8-5)$$

Dabei gilt:

x_{NOspan} = Konzentration des in den Gasteiler eingeleiteten NO-Justiergases gemäß Absatz 8.1.11.1.4 Buchstabe e

$x_{\text{CO}_2\text{span}}$ = Konzentration des in den Gasteiler eingeleiteten CO₂-Justiergases gemäß Absatz 8.1.11.1.4 Buchstabe d

8.1.11.3. Überprüfung der HC- und H₂O-Querempfindlichkeit des NDUV-Analysators

8.1.11.3.1. Umfang und Häufigkeit

Wird NO_x mit Hilfe eines NDUV-Analysators gemessen, muss die H₂O- und Kohlenwasserstoff-Querempfindlichkeit nach der Erstinstallation des Analysators und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten überprüft werden.

8.1.11.3.2. Messgrundsätze

Kohlenwasserstoffe und H₂O können den Betrieb eines NDUV-Analysators stören, indem sie ein ähnliches Ansprechverhalten hervorrufen wie NO_x, so dass zu hohe Werte angezeigt werden. Wenn der NDUV-Analysator zur Überprüfung der Erfüllung der Querempfindlichkeitsanforderungen Kompensierungsalgorithmen verwendet, die Messwerte anderer Gase auswerten, müssen derartige Messungen gleichzeitig durchgeführt werden, um die Algorithmen während der Kontrolle der Querempfindlichkeit des Analysators zu überprüfen.

8.1.11.3.3. Systemanforderungen

Die kombinierte H₂O- und HC-Querempfindlichkeit eines NO_x-NDUV-Analysators muss im Bereich von ± 2 % der mittleren NO_x-Konzentration liegen.

8.1.11.3.4. Verfahren

Die Überprüfung der Querempfindlichkeit ist folgendermaßen durchzuführen:

- a) Der NO_x-NDUV-Analysator ist gemäß den Anweisungen des Messgeräteherstellers zu starten, zu betreiben, zu nullen und zu justieren;
- b) für diese Überprüfung empfiehlt es sich, Motorabgase zu entnehmen. Zum Quantifizieren des NO_x-Gehalts des Abgases ist ein CLD einzusetzen, der den Spezifikationen gemäß Absatz 9.4. entspricht. Die CLD-Messung ist als Bezugswert zu verwenden. Ebenso ist mit einem FID-Analysator, der den Spezifikationen gemäß Absatz 9.4 entspricht, der HC-Gehalt des Abgases zu messen. Der FID-Messwert ist als Kohlenwasserstoff-Bezugswert zu verwenden;
- c) falls für die Prüfung ein Probentrockner eingesetzt wird, müssen die Motorabgase vor diesem in den NDUV-Analysator eingeleitet werden;
- d) für die Stabilisierung des Ansprechverhaltens des Analysators ist hinreichend Zeit vorzusehen. Die Stabilisierungszeit kann die zur Spülung der Übertragungsleitung und zum Ansprechen des Analysators benötigte Zeit beinhalten;
- e) während alle Analysatoren die Konzentration der Probe messen, werden 30 s an erfassten Daten aufgezeichnet und die arithmetischen Mittel der drei Analysatoren berechnet;
- f) der CLD-Mittelwert wird vom NDUV-Mittelwert abgezogen;
- g) die Differenz ist mit dem Verhältnis zwischen der erwarteten mittleren HC-Konzentration und der bei der Überprüfung gemessenen HC-Konzentration zu multiplizieren. Der Analysator hat der Überprüfung gemäß diesem Absatz standgehalten, wenn das Ergebnis im Bereich von ± 2 % der beim Standardwert erwarteten NO_x-Konzentration liegt:

$$|\bar{x}_{\text{NOx,CLD,meas}} - \bar{x}_{\text{NOx,NDUV,meas}}| \cdot \left(\frac{\bar{x}_{\text{HC,exp}}}{\bar{x}_{\text{HC,meas}}} \right) \leq 2\% \cdot (\bar{x}_{\text{NOx,exp}}) \quad (8-6)$$

Dabei gilt:

$\bar{x}_{\text{NOx,CLD,meas}}$ = mittlere mit dem CLD gemessene NO_x-Konzentration in [µmol/mol] oder [ppm]

$\bar{x}_{\text{NOx,NDUV,meas}}$ = mittlere mit dem NDUV-Analysator gemessene NO_x-Konzentration in [µmol/mol] oder [ppm]

$\bar{x}_{\text{HC,meas}}$ = mittlere gemessene HC-Konzentration in [µmol/mol] oder [ppm]

$\bar{x}_{\text{HC,exp}}$ = mittlere beim Standardwert erwartete HC-Konzentration in $[\mu\text{mol/mol}]$ oder $[\text{ppm}]$

$\bar{x}_{\text{NO}_x,\text{exp}}$ = mittlere beim Standardwert erwartete NO_x -Konzentration in $[\mu\text{mol/mol}]$ oder $[\text{ppm}]$

8.1.11.3.5. Anforderungen an Kühlbäder (Kühlapparate)

Es ist nachzuweisen, dass bei der höchsten erwarteten Wasserdampfkonzentration H_m die Feuchtigkeit im CLD durch Entfeuchtungsverfahren bei $\leq 5 \text{ g Wasser/kg Trockenluft}$ (oder ca. 0,8 Volumenprozent H_2O) gehalten werden kann, was 100 % relativer Luftfeuchtigkeit bei $3,9^\circ\text{C}$ und $101,3 \text{ kPa}$ entspricht. Diese Angabe entspricht auch ca. 25 % relativer Luftfeuchtigkeit bei 25°C und $101,3 \text{ kPa}$. Dazu kann die Temperatur am Austritt eines thermischen Entfeuchters oder die Feuchtigkeit an einem Punkt unmittelbar vor dem CLD gemessen werden.

8.1.11.4. NO_2 -Durchlass des Kühlbades (Kühlapparats)

8.1.11.4.1. Umfang und Häufigkeit

Wird ein Kühlbad (Kühlapparat) zur Trocknung einer Probe vor einem NO_x -Messgerät eingesetzt, vor dem Kühlbad jedoch kein NO_2 - NO -Konverter verwendet, muss diese Überprüfung des NO_2 -Durchlasses des Kühlbades erfolgen. Diese Überprüfung ist nach der Erstinstallation und nach umfangreichen Wartungstätigkeiten durchzuführen.

8.1.11.4.2. Messgrundsätze

Ein Kühlbad (Kühlapparat) scheidet Wasser, das sonst eine NO_x -Messung verfälschen könnte, ab. In einem mangelhaft konzipierten Kühlbad verbleibende Wasserflüssigkeit kann der Probe jedoch NO_2 entziehen. Wird ein Kühlbad ohne vorgelagerten NO_2 - NO -Konverter verwendet, könnte der Probe daher vor der NO_x -Messung NO_2 entzogen werden.

8.1.11.4.3. Systemanforderungen

Der Kühlapparat muss bei der maximalen erwarteten NO_2 -Konzentration die Messung von mindestens 95 % des gesamten NO_2 ermöglichen.

8.1.11.4.4. Verfahren

Das nachstehende Verfahren dient zur Überprüfung der Leistung des Kühlapparats:

- a) Inbetriebnahme des Geräts: Die Anweisungen des Herstellers zur Inbetriebnahme und zum Betrieb des Geräts sind zu beachten. Analysator und Kühlapparat sind zur Leistungsoptimierung nach Bedarf einzustellen;
- b) Einrichtung des Systems und Datenerfassung:
 - i) der/die Gasanalysator/en zur Messung der Gesamt- NO_x ist/sind wie bei einer Emissionsprüfung zu nullen und zu justieren;
 - ii) ein NO_2 -Kalibriergas (Ausgleichsgas aus Trockenluft) mit einer NO_2 -Konzentration, die in etwa dem während der Emissionsprüfung erwarteten Höchstwert entspricht, ist auszuwählen. Auf Empfehlung des Herstellers und nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Überprüfung eine höhere Konzentration verwendet werden, wenn die erwartete NO_2 -Konzentration geringer ist als der vom Hersteller angeführte Mindestbereich für die Überprüfung;
 - iii) die Sonde oder Überlaufgarnitur des Systems zur Entnahme von Gasproben wird mit diesem Kalibriergas geflutet. Für die Stabilisierung des gesamten NO_x -Ansprechverhaltens ist hinreichend Zeit vorzusehen, wobei nur Transportverzögerungen und das Ansprechverhalten des Messgeräts zu berücksichtigen sind;
 - iv) aus 30 s an erfassten Gesamt- NO_x -Daten wird ein Mittelwert berechnet und dieser Wert als $x_{\text{NO}_x\text{ref}}$ aufgezeichnet;
 - v) der Durchfluss des NO_2 -Kalibriergases wird gestoppt;
 - vi) als nächstes wird das Probenahmesystem gesättigt, indem eine Sonde oder Überlaufgarnitur des Probenahmesystems mit dem Ausstoß eines auf einen Taupunkt von 50°C eingestellten Taupunktgenerators geflutet wird. Der Ausstoß des Taupunktgenerators wird mindestens zehn Minuten lang durch das Probenahmesystem und den Kühlapparat geleitet, bis davon auszugehen ist, dass der Kühler eine konstante Wassermenge abscheidet;
 - vii) anschließend wird sofort wieder zur Flutung mit dem zur Bestimmung von $x_{\text{NO}_x\text{ref}}$ verwendeten NO_2 -Kalibriergas zurückgewechselt. Für die Stabilisierung des gesamten NO_x -Ansprechverhaltens ist hinreichend Zeit vorzusehen, wobei nur Transportverzögerungen und das Ansprechverhalten des Messgeräts zu berücksichtigen sind. Aus 30 s an erfassten Gesamt- NO_x -Daten wird ein Mittelwert berechnet und dieser Wert als $x_{\text{NO}_x\text{meas}}$ aufgezeichnet;

viii) x_{NOxmeas} wird auf der Grundlage der Wasserdampfdruckstände, die den Kühlapparat mit der Austrittstemperatur und dem Austrittsdruck des Kühlapparats durchströmt haben, zu x_{NOxdry} korrigiert;

c) Leistungsbeurteilung. Entspricht der Wert x_{NOxdry} weniger als 95 % von x_{NOxref} , muss der Kühlapparat repariert oder ausgetauscht werden.

8.1.11.5. Überprüfung der Umwandlung des NO₂-NO-Konverters

8.1.11.5.1. Umfang und Häufigkeit

Wird ein Analysator verwendet, der zur Ermittlung des NO_x nur NO misst, muss vor dem Analysator ein NO₂-NO-Konverter angebracht werden. Diese Überprüfung ist nach der Installation des Konverters, nach umfangreichen Wartungstätigkeiten und binnen 35 Tagen vor einer Emissionsprüfung durchzuführen. Die Überprüfung ist mit dieser Häufigkeit zu wiederholen um sicherzustellen, dass die katalytische Wirkung des NO₂-NO-Konverters nicht abgenommen hat.

8.1.11.5.2. Messgrundsätze

Ein NO₂-NO-Konverter erlaubt die Bestimmung der Gesamt-NO_x mit einem Analysator, der nur zur Messung von NO in der Lage ist, indem das NO₂ im Abgas in NO umgewandelt wird.

8.1.11.5.3. Systemanforderungen

Ein NO₂-NO-Konverter muss bei der maximalen erwarteten NO₂-Konzentration die Messung von mindestens 95 % des gesamten NO₂ ermöglichen.

8.1.11.5.4. Verfahren

Das nachstehende Verfahren dient zur Überprüfung der Leistung eines NO₂-NO-Konverters:

- a) Die Anweisungen der Hersteller des Analysators und des NO₂-NO-Konverters zur Inbetriebnahme und zum Betrieb der Geräte sind zu beachten. Analysator und Konverter sind zur Leistungsoptimierung nach Bedarf zu einzustellen;
- b) der Eintritt eines Ozongenerators wird mit einer Nullluft- oder Sauerstoffquelle, der Austritt mit einem Anschluss eines 3-Wege-T-Stücks verbunden. Mit dem zweiten Anschluss wird ein NO-Justiergas und mit dem dritten Anschluss der Eintritt des NO₂-NO-Konverters verbunden;
- c) zur Durchführung dieser Überprüfung sind die folgenden Schritte zu unternehmen:
 - i) die Luftzufuhr des Ozongenerators wird unterbrochen, der Ozongenerator wird ausgeschaltet und der NO₂-NO-Konverter wird in den Bypass-Modus (d. h. NO-Modus) versetzt. Für die Stabilisierung ist hinreichend Zeit vorzusehen, wobei nur Transportverzögerungen und das Ansprechverhalten des Messgeräts zu berücksichtigen sind;
 - ii) der NO- und Nullgas-Durchsatz wird so eingestellt, dass sich die NO-Konzentration am Analysator an die während der Emissionsprüfung erwartete Gesamt-NO_x-Spitzenkonzentration annähert. Der NO₂-Gehalt des Gasgemischs muss weniger als 5 % der NO-Konzentration betragen. Die NO-Konzentration wird durch Berechnung des Mittelwerts aus 30 s an vom Analysator erfassten Daten ermittelt. Dieser Wert ist als x_{NOref} aufzuzeichnen. Auf Empfehlung des Herstellers und nach bestem fachlichen Ermessen kann zur exakten Überprüfung eine höhere Konzentration verwendet werden, wenn die erwartete NO-Konzentration geringer ist als der vom Hersteller angeführte Mindestbereich für die Überprüfung;
 - iii) die O₂-Versorgung des Ozongenerators wird eingeschaltet und der O₂-Durchsatz so eingestellt, dass der vom Analysator angezeigte NO-Wert ca. 10 % niedriger ist als x_{NOref} . Die NO-Konzentration wird durch Berechnung des Mittelwerts aus 30 s an vom Analysator erfassten Daten ermittelt und als $x_{\text{NO+O2mix}}$ aufgezeichnet;
 - iv) der Ozongenerator wird eingeschaltet und die Ozonerzeugungsrate so eingestellt, dass das vom Analysator gemessene NO ca. 20 % des Werts x_{NOref} entspricht, während mindestens 10 % nicht umgesetztes NO verbleiben. Die NO-Konzentration wird durch Berechnung des Mittelwerts aus 30 s an vom Analysator erfassten Daten ermittelt und als x_{NOmeas} aufgezeichnet;
 - v) der NO_x-Analysator wird in den NO_x-Modus versetzt und die Gesamt-NO_x gemessen. Die NO_x-Konzentration wird durch Berechnung des Mittelwerts aus 30 s an vom Analysator erfassten Daten ermittelt und als x_{NOxmeas} aufgezeichnet;

- vi) der Ozongenerator wird ausgeschaltet, der Gasdurchfluss durch das System jedoch fortgesetzt. Der NO_x -Analysator misst die im Gemisch aus NO und O_2 enthaltenen NO_x . Die NO_x -Konzentration wird durch Berechnung des Mittelwerts aus 30 s an vom Analysator erfassten Daten ermittelt und als $x_{\text{NO}_x+\text{O}_2\text{mix}}$ aufgezeichnet;
- vii) die O_2 -Versorgung wird ausgeschaltet. Der NO_x -Analysator misst die im ursprünglichen NO-in-N_2 -Gemisch enthaltenen NO_x . Die NO_x -Konzentration wird durch Berechnung des Mittelwerts aus 30 s an vom Analysator erfassten Daten ermittelt und als $x_{\text{NO}_x\text{ref}}$ aufgezeichnet. Dieser Wert darf nicht mehr als 5 % über dem Wert $x_{\text{NO}_x\text{ref}}$ liegen;
- d) Leistungsbeurteilung. Die Effizienz des NO_x -Konverters wird durch Einfügen der ermittelten Konzentrationen in die nachstehende Gleichung berechnet:

$$\text{Efficiency}[\%] = \left(1 + \frac{x_{\text{NO}_x\text{meas}} - x_{\text{NO}_x+\text{O}_2\text{mix}}}{x_{\text{NO}_x+\text{O}_2\text{mix}} - x_{\text{NO}_x\text{meas}}} \cdot 100 \right) \quad (8-7)$$

- e) entspricht das Ergebnis weniger als 95 %, muss der NO_2 - NO -Konverter repariert oder ausgetauscht werden.

8.1.12. PM-Messungen

8.1.12.1. Überprüfung von PM-Waage und Wägevorgang

8.1.12.1.1. Umfang und Häufigkeit

In diesem Absatz werden drei unterschiedliche Überprüfungen beschrieben.

- a) Unabhängige Überprüfung der Leistung der PM-Waage binnen 370 Tagen vor der Wägung eines Filters;
- b) Nullung und Justierung der Waage binnen zwölf Stunden vor der Wägung eines Filters;
- c) Überprüfung, dass die Massenbestimmung der Vergleichsfilter vor und nach dem Filterwägedurchgang eine bestimmte Toleranz unterschreitet.

8.1.12.1.2. Unabhängige Überprüfung

Der Waagenhersteller (oder ein von diesem autorisierter Vertreter) überprüft die Waagenleistung binnen 370 Tagen vor der Prüfung unter Berücksichtigung interner Auditverfahren.

8.1.12.1.3. Nullung und Justierung

Die Leistung der Waage wird überprüft, indem sie mit mindestens einem Kalibriergewicht genullt und justiert wird. Für diese Überprüfung verwendete Gewichte müssen den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.2. entsprechen. Es kann ein manuelles oder ein automatisches Verfahren gewählt werden:

- a) Bei Anwendung eines manuellen Verfahrens muss die Waage mit mindestens einem Kalibriergewicht genullt und justiert werden. Wenn in der Regel Mittelwerte bestimmt werden, indem der Wägevorgang zur Erhöhung der Genauigkeit und Präzision der PM-Messungen wiederholt wird, muss bei der Überprüfung der Waagenleistung ebenso vorgegangen werden;
- b) bei Anwendung eines automatischen Verfahrens dienen interne Kalibriergewichte zur automatischen Überprüfung der Waagenleistung. Für diese Überprüfung verwendete interne Kalibriergewichte müssen den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.2. entsprechen.

8.1.12.1.4. Wägung von Vergleichsproben

Alle Massenablesungen während eines Wägedurchgangs sind durch Wägung von PM-Vergleichsmedien (z. B. Filter) vor und nach dem Durchgang zu überprüfen. Ein Wägedurchgang kann so kurz sein wie gewünscht, darf jedoch nicht länger als 80 Stunden dauern und kann sowohl Massenablesungen vor als auch nach der Prüfung beinhalten. Bei aufeinanderfolgenden Massenbestimmungen jedes PM-Vergleichsmediums muss sich derselbe Wert $\pm 10 \mu\text{g}$ oder $\pm 10 \%$ der erwarteten PM-Gesamtmasse ergeben, wobei der größere Wert gilt. Wird dieses Kriterium bei aufeinanderfolgenden Wägevorgängen von PM-Probenahmefiltern nicht erfüllt, werden alle zwischen den aufeinanderfolgenden Massenbestimmungen der Vergleichsfilter durchgeführten Massenablesungen für ungültig erklärt. Diese Filter können in einem anderen Wägedurchgang erneut gewogen werden. Wird ein Filter nach der Prüfung für ungültig erklärt, ist das Prüfintervall ungültig. Diese Überprüfung ist folgendermaßen durchzuführen:

- a) Mindestens zwei unbenutzte Exemplare von PM-Probenahmemedien sind in der PM-Stabilisierungsumgebung aufzubewahren. Diese dienen als Vergleichsproben. Als Vergleichsproben sind unbenutzte Filter aus demselben Material und in derselben Größe zu wählen;

- b) Vergleichsproben sind in der PM-Stabilisierungsumgebung zu stabilisieren. Vergleichsproben gelten als stabilisiert, wenn sie sich mindestens 30 min in der PM-Stabilisierungsumgebung befunden haben und die PM-Stabilisierungsumgebung zumindest in den vergangenen 60 min den Spezifikationen gemäß Absatz 9.3.4.4. entsprochen hat;
- c) die Waage wird mehrmals mit einer Vergleichsprobe getestet, ohne dass die Messwerte aufgezeichnet werden;
- d) die Waage wird genullt und justiert. Eine Prüfmasse (beispielsweise ein Kalibriergewicht) wird auf die Waage gelegt und wieder entfernt, um sicherzustellen, dass die Waage innerhalb der normalen Stabilisierungszeit wieder einen akzeptablen Nullwert anzeigt;
- e) jedes der Vergleichsmedien (z. B. Filter) wird gewogen und die jeweilige Masse wird aufgezeichnet. Wenn in der Regel Mittelwerte bestimmt werden, indem der Wägevorgang zur Erhöhung der Genauigkeit und Präzision der Ermittlung der Masse der Vergleichsmedien (z. B. Filter) wiederholt wird, muss bei der Ermittlung der Mittelwerte der Masse der Probenahmemedien (z. B. Filter) ebenso vorgegangen werden;
- f) Taupunkt, Umgebungstemperatur und Luftdruck in der Umgebung der Waage sind aufzuzeichnen;
- g) die aufgezeichneten Umgebungsbedingungen dienen zur Korrektur der Ergebnisse um die Auftriebskraft gemäß Absatz 8.1.12.2. Die auftriebsbereinigte Masse der Vergleichsmedien ist aufzuzeichnen;
- h) die auftriebsbereinigte Vergleichsmasse jedes Vergleichsmediums (z. B. Filter) ist von seiner zuvor gemessenen und aufgezeichneten auftriebsbereinigten Masse abzuziehen;
- i) verändert sich die ermittelte Masse eines Vergleichsfilters stärker als laut diesem Absatz zulässig, sind alle seit der letzten erfolgreichen Validierung der Masse des Vergleichsmediums (z. B. Filter) durchgeführten PM-Massenbestimmungen für ungültig zu erklären. PM-Vergleichsfilter dürfen ausgesondert werden, wenn sich nur eine der Filtermassen stärker als zulässig verändert hat und eine bestimmte Ursache für die Massenveränderung dieses Filters ausfindig gemacht werden kann, die sich auf die anderen verwendeten Filter nicht ausgewirkt hätte. Unter diesen Umständen kann die Validierung als erfolgreich gelten. Das verunreinigte Vergleichsmedium wird in diesem Fall nicht zur Ermittlung der Einhaltung der Vorgaben gemäß Buchstabe j dieses Absatzes herangezogen, sondern ausgesondert und ersetzt;
- j) verändert sich eine der Vergleichsmassen stärker als laut diesem Absatz zulässig, müssen alle zwischen den beiden Bestimmungen der Vergleichsmasse ermittelten PM-Ergebnisse für ungültig erklärt werden. Werden PM-Vergleichsmedien nach Buchstabe i dieses Absatzes ausgesondert, muss mindestens eine den Kriterien dieses Absatzes entsprechende Vergleichsmassendifferenz vorliegen. Andernfalls müssen alle zwischen den beiden Massenbestimmungen der Vergleichsmedien (z. B. Filter) ermittelten PM-Ergebnisse für ungültig erklärt werden.

8.1.12.2. Auftriebskorrektur für PM-Probenahmefilter

8.1.12.2.1. Allgemeines

PM-Probenahmefilter sind um ihren Auftrieb in der Luft zu korrigieren. Die Auftriebskorrektur ist abhängig von der Dichte des Probenahmemediums, der Dichte der Luft und der Dichte des zur Kalibrierung der Waage verwendeten Kalibriergewichts. Der Auftrieb der PM selbst wird bei dieser Auftriebskorrektur nicht berücksichtigt, da in der Regel nur (0,01 bis 0,10) % des Gesamtgewichts auf die Masse der PM entfallen. Eine Korrektur dieses geringen Massenanteils würde maximal 0,010 % ausmachen. Die auftriebsbereinigten Werte bilden die Taramasse der PM-Proben. Diese auftriebsbereinigten Werte der vor der Emissionsprüfung gewogenen Filter werden anschließend von den auftriebsbereinigten Werten der entsprechenden nach der Prüfung gewogenen Filter abgezogen, um die Masse der während der Emissionsprüfung abgegebenen PM zu bestimmen.

8.1.12.2.2. Dichte der PM-Probenahmefilter

Verschiedene PM-Probenahmefilter weisen unterschiedliche Dichtewerte auf. Zu verwenden ist die bekannte Dichte des Probenahmemediums bzw. einer der nachstehend genannten Dichtewerte einiger gängiger Probenahmemedien:

- a) Für PTFE-beschichtetes Borosilikatglas wird eine Dichte des Probenahmemediums von 2 300 kg/m³ angenommen;
- b) für PTFE-Membranmedien (Folie) mit integriertem Stützring aus Polymethylpenten, auf den 95 % der Medienmasse entfallen, wird eine Dichte des Probenahmemediums von 920 kg/m³ angenommen;
- c) für PTFE-Membranmedien (Folie) mit integriertem Stützring aus PTFE wird eine Dichte des Probenahmemediums von 2 144 kg/m³ angenommen.

8.1.12.2.3. Luftdichte

Da die Umgebung der PM-Waage streng auf die Einhaltung einer Umgebungstemperatur von $(22 \pm 1) ^\circ\text{C}$ und eines Taupunkts von $(9,5 \pm 1) ^\circ\text{C}$ zu kontrollieren ist, handelt es sich bei der Luftdichte primär um eine Funktion des Luftdrucks. Aus diesem Grund ist eine Auftriebskorrektur vorgeschrieben, die nur eine Funktion des Luftdrucks darstellt.

8.1.12.2.4. Dichte des Kalibriergewichts

Die angegebene Dichte des Materials des Metall-Kalibriergewichts ist zu verwenden.

8.1.12.2.5. Berechnung des Korrekturwerts

Die Auftriebskorrektur für den PM-Probenahmefilter erfolgt anhand der nachstehenden Gleichungen:

$$m_{\text{cor}} = m_{\text{uncor}} \cdot \left(\frac{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{weight}}}}{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{media}}}} \right) \quad (8-8)$$

Dabei gilt:

m_{cor} = um Auftrieb bereinigte Masse des PM-Probenahmefilters

m_{uncor} = Masse des PM-Probenahmefilters ohne Auftriebskorrektur

ρ_{air} = Luftdichte in der Waagenumgebung

ρ_{weight} = Dichte des zur Justierung der Waage verwendeten Kalibriergewichts

ρ_{media} = Dichte des PM-Probenahmefilters

$$\rho_{\text{air}} = \frac{p_{\text{abs}} \cdot M_{\text{mix}}}{R \cdot T_{\text{amb}}} \quad (8-9)$$

Dabei gilt:

p_{abs} = absoluter Druck in der Waagenumgebung

M_{mix} = Molmasse der Luft in der Waagenumgebung

R = molare Gaskonstante

T_{amb} = absolute Umgebungstemperatur in der Waagenumgebung

8.2. Validierung der Messgeräte vor der Emissionsprüfung

8.2.1. Validierung der verhältnisgleichen Durchsatzregelung für Stichprobenahmen und des Mindestverdünnungsverhältnisses für PM-Stichprobenahmen

8.2.1.1. Kriterien der Verhältnisleichheit für CVS

8.2.1.1.1. Verhältnisgleiche Durchsätze

Für jedes Paar von Durchsatzmessgeräten sind die aufgezeichneten Proben- und Gesamtdurchsätze oder ihr 1-Hz-Mittel für die statistischen Berechnungen gemäß Anhang 4B Anlage A.2 Absatz A.2.9. anzuwenden. Der Standardfehler des Schätzwertes (SEE) des Probendurchsatzes bezogen auf den Gesamtdurchsatz ist zu ermitteln. Für jedes Prüfintervall muss gezeigt werden, dass der SEE kleiner oder gleich 3,5 % des mittleren Probendurchsatzes war.

8.2.1.1.2. Konstante Durchsätze

Für jedes Paar von Durchsatzmessgeräten ist anhand der aufgezeichneten Proben- und Gesamtdurchsätze oder ihres 1-Hz-Mittels zu zeigen, dass sich jeder Durchsatz konstant innerhalb von $\pm 2,5 \%$ seines jeweiligen mittleren Durchsatzes oder Sollwerts bewegt hat. Anstelle der Aufzeichnung des jeweiligen Durchsatzes jedes Messgerätetyps kann auf die folgenden Optionen zurückgegriffen werden:

- a) Venturirohr mit kritischer Strömung: Für Venturirohre mit kritischer Strömung sind die aufgezeichneten Bedingungen am Venturieintritt oder ihr 1-Hz-Mittel zu verwenden. Es ist zu zeigen, dass die Durchsatzdichte am Venturieintritt während jedes Prüfintervalls konstant bei $\pm 2,5 \%$ der mittleren Dichte oder des Sollwerts lag. Für das Venturirohr mit kritischer Strömung eines CVS kann dies gezeigt werden, indem nachgewiesen wird, dass die absolute Temperatur am Venturieintritt während jedes Prüfintervalls konstant bei $\pm 4 \%$ der mittleren absoluten Temperatur oder des Sollwerts lag;

- b) Verdrängerpumpe: Die aufgezeichneten Bedingungen am Pumpeneintritt oder ihr 1-Hz-Mittel ist zu verwenden. Es ist zu zeigen, dass die Durchsatzdichte am Pumpeneintritt während jedes Prüfintervalls konstant bei $\pm 2,5\%$ der mittleren Dichte oder des Sollwerts lag. Für die Pumpe eines CVS kann dies gezeigt werden, indem nachgewiesen wird, dass die absolute Temperatur am Pumpeneintritt während jedes Prüfintervalls konstant bei $\pm 2\%$ der mittleren absoluten Temperatur oder des Sollwerts lag.

8.2.1.1.3. Nachweis der Verhältnisgleichheit der Probenahmen

Für jede verhältnisgleiche Stichprobe wie einen Beutel oder PM-Filter ist zu zeigen, dass eine verhältnisgleiche Probenahme nach einem der nachstehend beschriebenen Verfahren erfolgt ist, wobei bis zu 5 % der Gesamtmenge der Messpunkte als Ausreißer unberücksichtigt bleiben können.

Nach bestem fachlichen Ermessen ist mit Hilfe einer technischen Analyse nachzuweisen, dass das Steuerungssystem für verhältnisgleiche Durchsätze an sich unter allen während der Emissionsprüfung zu erwartenden Umständen eine Verhältnisgleichheit der Probenahmen gewährleistet. Beispielsweise können CFV sowohl für den Probendurchsatz als auch für den Gesamtdurchsatz verwendet werden, wenn gezeigt wird, dass sie immer dieselben Eintrittsdrücke und -temperaturen aufweisen und immer unter kritischen Strömungsbedingungen betrieben werden.

Gemessene oder berechnete Durchsätze und/oder Spürgaskonzentrationen (z. B. CO_2) dienen zur Ermittlung des Mindestverdünnungsverhältnisses für PM-Stichprobenahmen während des Prüfintervalls.

8.2.1.2. Validierung des Teilstrom-Verdünnungssystems

Zur Steuerung eines Teilstrom-Verdünnungssystems zur Entnahme einer verhältnisgleichen Rohabgasprobe ist ein rasches Ansprechen des Systems erforderlich; dies zeigt sich an der Schnelligkeit des Teilstrom-Verdünnungssystems. Die Wandlungszeit des Systems ist nach dem Verfahren gemäß Absatz 8.1.8.6 und der zugehörigen Abbildung 3.1 zu bestimmen. Die tatsächliche Steuerung des Teilstrom-Verdünnungssystems beruht auf den aktuell gemessenen Bedingungen. Liegt die kombinierte Wandlungszeit des Abgasdurchsatzmesssystems und des Teilstromsystems bei $\leq 0,3$ s, so sind Online-Steuerungssysteme zu verwenden. Überschreitet die Wandlungszeit 0,3 s, muss eine auf einem zuvor aufgezeichneten Prüflauf basierende vorausschauende Steuerung (Look-ahead-Steuerung) verwendet werden. In diesem Fall muss die kombinierte Anstiegszeit ≤ 1 s und die kombinierte Ansprechverzögerung ≤ 10 s sein. Die Ansprechzeit des Gesamtsystems ist so auszulegen, dass eine dem Abgasmassendurchsatz verhältnisgleiche repräsentative Partikelprobe $q_{\text{mp},i}$ (Abgasprobendurchsatz am Eintritt des Teilstrom-Verdünnungssystems) entnommen wird. Zur Ermittlung der Verhältnisgleichheit ist eine Regressionsanalyse von $q_{\text{mp},i}$ bezogen auf $q_{\text{mew},i}$ (Massendurchsatz des Abgases, feucht) mit einer Datenerfassungsrate von mindestens 5 Hz vorzunehmen, wobei folgende Kriterien zu erfüllen sind:

- a) Der Korrelationskoeffizient r^2 der linearen Regression zwischen $q_{\text{mp},i}$ und $q_{\text{mew},i}$ muss mindestens 0,95 betragen;
- b) der Standardfehler des Schätzwertes von $q_{\text{mp},i}$ bezogen auf $q_{\text{mew},i}$ darf nicht größer als 5 % des Maximalwertes von q_{mp} sein;
- c) der q_{mp} -Wert auf der Regressionsgeraden darf den Maximalwert von q_{mp} um höchstens $\pm 2\%$ überschreiten.

Eine vorausschauende Steuerung ist erforderlich, wenn die kombinierte Wandlungszeit des Partikelsystems $t_{50,p}$ und des Abgasmassendurchsatz-Signals $t_{50,F} > 0,3$ s ist. In diesem Fall muss eine Vorprüfung durchgeführt werden, und das Abgasmassendurchsatz-Signal der Vorprüfung ist zur Steuerung des Probendurchsatzes in das Partikelsystem zu verwenden. Eine korrekte Steuerung des Teilstrom-Verdünnungssystems wird erreicht, wenn der in der Vorprüfung ermittelte Zeitverlauf von $q_{\text{mew},\text{pre}}$ auf dessen Basis q_{mp} gesteuert wird, um die „vorausschauende Zeit“ $t_{50,p} + t_{50,F}$ verschoben wird.

Zur Ermittlung der Korrelation zwischen $q_{\text{mp},i}$ und $q_{\text{mew},i}$ sind die während der eigentlichen Prüfung gesammelten Daten zu verwenden, wobei $q_{\text{mew},i}$ um $t_{50,F}$ bezogen auf $q_{\text{mp},i}$ zeitlich angeglichen wird (kein Einfluss von $t_{50,p}$ auf die zeitliche Angleichung). Die Zeitverschiebung zwischen q_{mew} und q_{mp} entspricht der Differenz der in Absatz 8.1.8.6.3.2. bestimmten Wandlungszeiten.

8.2.2. Validierung des Messbereichs des Gasanalysators, Überprüfung und Korrektur der Drift

8.2.2.1. Validierung des Messbereichs

Wird ein Analysator zu einem beliebigen Zeitpunkt während der Prüfung mit mehr als 100 % seines Messbereichs betrieben, ist folgendermaßen vorzugehen:

8.2.2.1.1. Stichprobenahme

Bei der Stichprobenahme muss die Probe unter Anwendung des niedrigsten Analysatorbereichs, der zu einem maximalen Ansprechen des Messgeräts unter 100 % führt, neuerlich analysiert werden. Das Ergebnis für die gesamte Prüfung ist ausgehend vom niedrigsten Bereich unter 100 % des Bereichs, in dem der Analysator arbeitet, anzugeben.

8.2.2.1.2. Kontinuierliche Probenahme

Bei der kontinuierlichen Probenahme muss die gesamte Prüfung unter Anwendung des nächsthöheren Analysatorbereichs wiederholt werden. Arbeitet der Analysator erneut über 100 % seines Bereichs, muss die Prüfung mit dem nächsthöheren Bereich wiederholt werden. Die Prüfung wird so lange wiederholt, bis der Analysator während der gesamten Prüfung immer unter 100 % seines Bereichs arbeitet.

8.2.2.2. Validierung und Korrektur der Drift

Liegt die Drift innerhalb von $\pm 1\%$, können die Daten entweder ohne Korrektur oder nach erfolgter Korrektur akzeptiert werden. Übersteigt die Drift $\pm 1\%$, sind für jeden Schadstoff zwei Sätze von brems-spezifischen Emissionsergebnissen zu berechnen, andernfalls ist die Prüfung ungültig. Ein Satz wird anhand von Daten vor der Driftkorrektur berechnet, das andere nach der Driftkorrektur sämtlicher Daten gemäß Anhang 4B Anlagen A.7.2 bzw. A.8.2. Der Vergleich muss in % der nicht korrigierten Werte ausgedrückt werden. Die Differenz zwischen nicht korrigierten und korrigierten brems-spezifischen Emissionswerten muss innerhalb von $\pm 4\%$ der nicht korrigierten brems-spezifischen Emissionswerte liegen. Andernfalls ist die gesamte Prüfung ungültig.

8.2.3. Vorkonditionierung und Ermittlung des Taragewichts der PM-Probenahmemedien (z. B. Filter)

Vor einer Emissionsprüfung sind die PM-Probenahmemedien und die Ausrüstung für die PM-Messungen folgendermaßen vorzubereiten:

8.2.3.1. Regelmäßige Überprüfungen

Es ist sicherzustellen, dass die Waagenumgebung und die PM-Stabilisierungsumgebung den regelmäßigen Überprüfungen gemäß Absatz 8.1.12. standhalten. Der Vergleichsfilter ist unmittelbar vor den Prüffiltern zu wiegen, um einen geeigneten Bezugspunkt festzulegen (für weitere Informationen zum Verfahren siehe Absatz 8.1.12.1.). Die Überprüfung der Stabilität der Vergleichsfilter muss nach der Stabilisierungsphase im Anschluss an die Prüfung und unmittelbar vor der Wägung nach der Prüfung erfolgen.

8.2.3.2. Sichtprüfung

Der unbenutzte Probenahmefilter ist einer Sichtprüfung auf Beschädigungen zu unterziehen. Schadhafte Filter sind auszusondern.

8.2.3.3. Erdung

Zur Handhabung von PM-Filtern gemäß Absatz 9.3.4. ist eine elektrisch geerdete Pinzette oder ein Erdungsband zu verwenden.

8.2.3.4. Unbenutzte Probenahmemedien

Unbenutzte Probenahmemedien sind in einem oder mehreren offenen Behältern in der PM-Stabilisierungsumgebung aufzubewahren. Werden Filter verwendet, können diese im Unterteil einer Filterkassette aufbewahrt werden.

8.2.3.5. Stabilisierung

Probenahmemedien sind in der PM-Stabilisierungsumgebung zu stabilisieren. Ein unbenutztes Probenahmemedium gilt als stabilisiert, wenn es sich mindestens 30 min in der PM-Stabilisierungsumgebung befunden hat und diese PM-Stabilisierungsumgebung den Spezifikationen gemäß Absatz 9.3.4. entsprochen hat.

8.2.3.6. Wägung

Das Probenahmemedium wird automatisch oder manuell gewogen. Dabei ist folgendermaßen vorzugehen:

- a) Bei der automatischen Wägung sind die Anweisungen des Herstellers des Automatisierungssystems zur Vorbereitung der Proben für die Wägung zu beachten;
- b) bei der manuellen Wägung ist nach bestem fachlichen Ermessen vorzugehen;
- c) optional ist eine Substitutionswägung zulässig (siehe Absatz 8.2.3.10.);
- d) sobald ein Filter gewogen ist, wird er zurück in die Petrischale gelegt und abgedeckt.

8.2.3.7. Auftriebskorrektur

Das gemessene Gewicht ist einer Auftriebskorrektur gemäß Absatz 8.1.12.2. zu unterziehen.

8.2.3.8. Wiederholung

Die Messungen der Filtermasse können nach bestem fachlichen Ermessen zur Ermittlung der durchschnittlichen Masse des Filters und zum Ausschluss von Ausreißern bei der Durchschnittsberechnung wiederholt werden.

8.2.3.9. Ermittlung des Taragewichts

Unbenutzte Filter, deren Taragewicht ermittelt wurde, sind in saubere Filterkassetten zu stecken, die in einem zugedeckten oder verschlossenen Behälter zur Probenahme zum Prüfstand gebracht werden müssen.

8.2.3.10. Substitutionswägung

Eine Substitutionswägung ist möglich. Dabei wird vor und nach der Wägung eines PM-Probenahmemediums (z. B. Filter) ein Vergleichsgewicht gewogen. Bei der Substitutionswägung muss zwar eine höhere Anzahl an Messungen durchgeführt werden, dafür wird jedoch die Nullpunktdrift einer Waage korrigiert und Linearität ist nur innerhalb eines kleinen Bereichs erforderlich. Dieses Verfahren ist das geeignetste zur Messung von PM-Gesamtmassen, die weniger als 0,1 % der Masse des Probenahmemediums ausmachen. Es kann jedoch ungeeignet sein, wenn die PM-Gesamtmasse 1 % der Masse des Probenahmemediums überschreitet. Wird die Substitutionswägung gewählt, muss sie sowohl für die Wägung vor als auch nach der Prüfung eingesetzt werden. Für die Wägung vor und nach der Prüfung ist dasselbe Substitutionsgewicht zu verwenden. Die Masse des Substitutionsgewichts ist einer Auftriebskorrektur zu unterziehen, wenn seine Dichte weniger als 2,0 g/cm³ beträgt. Nachstehend eine beispielhafte Auflistung der Verfahrensschritte bei einer Substitutionswägung:

- a) Es ist eine elektrisch geerdete Pinzette oder ein Erdungsband gemäß Absatz 9.3.4.6. zu verwenden;
- b) zur Minimierung der elektrostatischen Ladung ist jedes Objekt, bevor es in die Waagschale gelegt wird, mit einem Elektrostatik-Neutralisator gemäß Absatz 9.3.4.6. zu neutralisieren;
- c) es ist ein Substitutionsgewicht zu verwenden, das den Spezifikationen für Kalibriergewichte gemäß Absatz 9.5.2. entspricht. Das Substitutionsgewicht muss außerdem dieselbe Dichte aufweisen wie das zur Justierung der Mikrowaage verwendete Gewicht und seine Masse muss der eines unbenutzten Probenahmemediums (z. B. Filter) entsprechen. Werden Filter verwendet, muss die Masse des Gewichts bei üblichen Filtern mit 47 mm Durchmesser ca. (80 bis 100) mg betragen;
- d) der Messwert der stabilisierten Waage wird aufgezeichnet und das Kalibriergewicht entfernt;
- e) ein unbenutztes Probenahmemedium (z. B. ein neuer Filter) wird gewogen und der Messwert der stabilisierten Waage sowie der Taupunkt, die Umgebungstemperatur und der Luftdruck in der Waageumgebung werden aufgezeichnet;
- f) das Kalibriergewicht wird erneut gewogen und der Messwert der stabilisierten Waage aufgezeichnet;
- g) das arithmetische Mittel der beiden Messwerte des Kalibriergewichts, die unmittelbar vor und nach der Wägung des unbenutzten Probenahmemediums aufgezeichnet wurden, wird berechnet. Dieser Mittelwert wird vom Messwert des unbenutzten Probenahmemediums abgezogen und anschließend wird die tatsächliche Masse des Kalibriergewichts laut der Angabe auf dem Zertifikat des Kalibriergewichts addiert. Dieses Ergebnis ist aufzuzeichnen. Dabei handelt es sich um das Taragewicht des unbenutzten Probenahmemediums ohne Auftriebskorrektur;
- h) diese Schritte zur Substitutionswägung sind für alle weiteren unbenutzten Probenahmemedien zu wiederholen;
- i) nach Abschluss der Wägung ist den Anweisungen in den Absätzen 8.2.3.7. bis 8.2.3.9. zu folgen.

8.2.4. Nachkonditionierung und Ermittlung der Gesamtmasse von PM-Proben

8.2.4.1. Regelmäßige Überprüfung

Es ist sicherzustellen, dass die Wägeumgebung und die PM-Stabilisierungsumgebung den regelmäßigen Überprüfungen gemäß Absatz 8.1.12.1. standgehalten haben. Nach Abschluss der Prüfung sind die Filter in die Wäge- und PM-Stabilisierungsumgebung zurückzubringen. Die Wäge- und PM-Stabilisierungsumgebung muss den Anforderungen an die Umgebungsbedingungen gemäß Absatz 9.3.4.4. entsprechen; andernfalls sind die Prüffilter abgedeckt zu lassen, bis die geforderten Bedingungen eingehalten werden.

8.2.4.2. Entnahme aus den verschlossenen Behältern

Die PM-Proben werden in der PM-Stabilisierungsumgebung aus den verschlossenen Behältern entnommen. Filter können vor oder nach der Stabilisierung aus ihren Kassetten entfernt werden. Zur Entnahme eines Filters aus einer Kassette wird das Oberteil der Kassette mit Hilfe eines zu diesem Zweck entwickelten Kassettentrenners vom Unterteil getrennt.

8.2.4.3. Elektrische Erdung

Zur Handhabung von PM-Proben ist eine elektrisch geerdete Pinzette oder ein Erdungsband gemäß Absatz 9.3.4.5. zu verwenden.

8.2.4.4. Sichtprüfung

Die abgeschiedenen PM-Proben und die zugehörigen Filtermedien sind einer Sichtprüfung zu unterziehen. Scheint der Zustand des Filters oder der abgeschiedenen PM-Probe beeinträchtigt oder berührt die Partikelmaterie eine andere Oberfläche als den Filter, darf die Probe nicht zur Ermittlung von Partikelemissionen verwendet werden. Bei Kontakt mit einer anderen Oberfläche muss die betreffende Oberfläche vor dem Fortfahren gereinigt werden.

8.2.4.5. Stabilisierung von PM-Proben

Zur Stabilisierung von PM-Proben werden diese in einem oder mehreren offenen Behältern in der PM-Stabilisierungsumgebung aufbewahrt, wie in Absatz 9.3.4.3. beschrieben. Eine PM-Probe ist stabilisiert, wenn sie sich während einer der nachstehend genannten Fristen in der PM-Stabilisierungsumgebung befunden hat und diese PM-Stabilisierungsumgebung den Spezifikationen gemäß Absatz 9.3.4.3. entsprochen hat:

- a) Ist davon auszugehen, dass die PM-Oberflächen-Gesamtkonzentration eines Filters bei einer Beladung von $400 \mu\text{g}$ auf einem wirksamen Filterbereich mit 38 mm Durchmesser $0,353 \mu\text{g}/\text{mm}^2$ überschreitet, muss sich der Filter vor der Wägung mindestens 60 min in der Stabilisierungsumgebung befinden;
- b) ist davon auszugehen, dass die PM-Oberflächen-Gesamtkonzentration eines Filters $0,353 \mu\text{g}/\text{mm}^2$ unterschreitet, muss sich der Filter vor der Wägung mindestens 30 min in der Stabilisierungsumgebung befinden;
- c) ist die PM-Oberflächen-Gesamtkonzentration eines Filters während der Prüfung unbekannt, muss sich der Filter vor der Wägung mindestens 60 min in der Stabilisierungs-umgebung befinden.

8.2.4.6. Ermittlung der Filtermasse nach der Prüfung

Zur Ermittlung der Filtermasse nach der Prüfung sind die Verfahren gemäß Absatz 8.2.3. (Absätze 8.2.3.6. bis 8.2.3.9.) zu wiederholen.

8.2.4.7. Gesamtmasse

Jede auftriebsbereinigte Taramasse eines Filters wird von der entsprechenden auftriebsbereinigten Filtermasse nach der Prüfung abgezogen. Das Ergebnis entspricht der Gesamtmasse m_{total} , die für die Emissionsberechnungen gemäß den Anlagen A.7 und A.8 heranzuziehen ist.

9. MESSEINRICHTUNGEN

9.1. Spezifikation des Motorleistungsprüfstands

9.1.1. Arbeit der Kurbelwelle

Der verwendete Motorprüfstand muss zur Durchführung des entsprechenden Lastzyklus geeignet sein und bestimmten Kriterien für die Validierung der Lastzyklen entsprechen. Die folgenden Prüfstände können eingesetzt werden:

- a) Prüfstände mit Wirbelstrom- oder Wasserwirbelbremsen;
- b) Prüfstände mit Wechselstrom- oder Gleichstrommotor;
- c) einer oder mehrere Prüfstände.

9.1.2. Dynamischer Fahrzyklus

Zur Messung des Drehmoments werden Kraftaufnehmer oder zwischengeschaltete Drehzahlmesser verwendet.

Bei Verwendung eines Kraftaufnehmers wird das Drehmomentsignal auf die Motorachse übertragen, wobei die Trägheit des Leistungsprüfstands zu berücksichtigen ist. Tatsächliches Motordrehmoment ist das auf dem Kraftaufnehmer abgelesene Drehmoment plus das Trägheitsmoment der Bremsen multipliziert mit der Winkelbeschleunigung. Das Kontrollsystem muss eine solche Berechnung in Echtzeit durchführen.

9.1.3. Nebenaggregate des Motors

Die Arbeit von Nebenaggregaten, die zur Kraftstoffversorgung, Schmierung oder Beheizung des Motors, zur Umwälzung der Kühlflüssigkeit für den Motor oder zum Betrieb von Nachbehandlungsanlagen erforderlich sind, ist zu berücksichtigen. Die Nebenaggregate sind gemäß Absatz 6.3. zu installieren.

9.2. Verdünnungsverfahren (wenn erforderlich)

9.2.1. Voraussetzungen für Verdünnungsgase und Hintergrundkonzentrationen

Gasförmige Bestandteile können in rohem oder verdünntem Zustand gemessen werden; für PM-Messungen ist jedoch in der Regel eine Verdünnung erforderlich. Die Verdünnung kann mit einem Vollstrom- oder Teilstrom-Verdünnungssystem erfolgen. Das Abgas kann mit Umgebungsluft, synthetischer Luft oder Stickstoff verdünnt werden. Zur Messung von gasförmigen Emissionen muss die Temperatur des Verdünnungsgases mindestens 15 °C betragen. Die Spezifikationen für die Temperatur des Verdünnungsgases zur PM-Probenahme sind für CVS in Absatz 9.2.2. bzw. für PFD mit unterschiedlichem Verdünnungsverhältnis in Absatz 9.2.3. enthalten. Die Durchflussleistung des Verdünnungssystems muss so groß sein, dass die Wasserkondensierung im Verdünnungs- und im Probenahmesystem vollständig verhindert wird. Bei hoher Luftfeuchtigkeit ist es zulässig, die Verdünnungsluft vor der Einleitung in das Verdünnungssystem zu entfeuchten. Die Wände des Verdünnungstunnels ebenso wie das Hauptstromrohr nach dem Tunnel können beheizt oder isoliert werden, um Wasserkondensierung zu vermeiden.

Vor der Vermischung eines Verdünnungsgases mit dem Abgas kann es durch Erhöhung oder Absenkung seiner Temperatur oder Feuchtigkeit vorkonditioniert werden. Aus dem Verdünnungsgas können Bestandteile abgeschieden werden, um deren Hintergrundkonzentrationen zu verringern. Zum Abscheiden von Bestandteilen bzw. zur Berücksichtigung von Hintergrundkonzentrationen gelten die folgenden Bestimmungen:

- a) Konzentrationen bestimmter Bestandteile im Verdünnungsgas können gemessen und ihre Hintergrundeffekte auf die Prüfergebnisse können kompensiert werden. Siehe Anhänge A.7 und A.8 für Berechnungen zur Kompensation von Hintergrundkonzentrationen;
- b) Hintergrund-PM können folgendermaßen berücksichtigt werden:
 - i) zum Abscheiden von Hintergrund-PM ist das Verdünnungsgas mit Hochleistungsschwebstoff-Filtern (HEPA-Filtern) mit einem anfänglichen Mindestabscheidegrad von 99,97 % zu filtern (für Verfahren im Zusammenhang mit HEPA-Filterwirkungsgraden siehe Absatz 3.1.);
 - ii) zur Bereinigung von Hintergrund-PM ohne HEPA-Filterung dürfen nicht mehr als 50 % der mit dem Probenahmefilter abgeschiedenen Netto-PM auf die Hintergrund-PM entfallen;
 - iii) Hintergrundkorrekturen der Netto-PM mittels HEPA-Filtration sind uneingeschränkt zulässig.

9.2.2. Vollstrom-Verdünnungssystem

Vollstrom-Verdünnung; Constant Volume Sampling (CVS). Der Vollstrom des Rohabgases wird in einem Verdünnungstunnel verdünnt. Ein konstanter Durchsatz kann gewährleistet werden, indem Temperatur und Druck am Durchsatzmessgerät innerhalb der Grenzwerte gehalten werden. Ein nicht konstanter Durchsatz ist unmittelbar zu messen, um eine Verhältnismöglichkeit der Probenahmen zu erlauben. Das System ist folgendermaßen auszulegen (siehe Abbildung 9.1):

- a) Die Innenflächen des verwendeten Tunnels müssen aus rostfreiem Stahl bestehen. Der gesamte Verdünnungstunnel muss elektrisch geerdet sein;
- b) der Gegendruck des Auspuffsystems darf durch das Verdünnungsluft-Einlasssystem nicht künstlich gesenkt werden. Der statische Druck an der Stelle, an der Rohabgas in den Tunnel eingeleitet wird, muss innerhalb von $\pm 1,2$ kPa des Luftdrucks gehalten werden;
- c) zur besseren Vermischung sollte das Rohabgas stromabwärts entlang der Mittellinie in den Tunnel eingeleitet werden. Eine Verdünnungsluftfraktion kann radial von der Tunnelinnenfläche aus eingeleitet werden, um die Interaktion des Abgases mit den Tunnelwänden möglichst gering zu halten;
- d) Verdünnungsgas. Zur PM-Probenahme muss die Temperatur der Verdünnungsgase (Umgebungsluft, synthetische Luft oder Stickstoff gemäß Absatz 9.2.1.) in unmittelbarer Nähe des Eintritts des Verdünnungstunnels zwischen 293 und 325 K (20 und 52 °C) gehalten werden;
- e) die Reynolds-Zahl Re für den verdünnten Abgasstrom muss mindestens 4 000 betragen, wobei Re auf dem Innendurchmesser des Verdünnungstunnels basiert. Re wird in den Anlagen A.7 und A.8 definiert. Die ordnungsgemäße Vermischung wird überprüft, indem eine Probenahmesonde vertikal und horizontal durch den Durchmesser des Tunnels geführt wird. Zeigt der Messwert des Analysators eine Abweichung von mehr als ± 2 % von der mittleren gemessenen Konzentration, muss das CVS mit einem höheren Durchsatz betrieben werden oder zur Verbesserung der Durchmischung wird eine Mischplatte bzw. -blende angebracht;

f) Vorkonditionierung für die Durchsatzmessung. Vor der Messung des Durchsatzes kann das verdünnte Abgas vorkonditioniert werden, sofern diese Konditionierung nach den beheizten HC- oder PM-Probenahmesonden erfolgt und folgendermaßen vorgegangen wird:

i) Es können Strömungsgleichrichter und/oder Pulsationsdämpfer verwendet werden;

ii) ein Filter kann verwendet werden;

iii) zur Temperaturkontrolle vor einem Durchsatzmessgerät kann ein Wärmetauscher eingesetzt werden; allerdings sind Maßnahmen zu treffen, um eine Wasserkondensierung zu vermeiden;

g) Wasserkondensierung. Um zu gewährleisten, dass ein Durchsatz gemessen wird, der einer gemessenen Konzentration entspricht, wird entweder die Wasserkondensierung zwischen der Position der Probenahmesonde und dem Eintritt des Durchsatzmessgeräts in den Verdünnungstunnel verhindert, oder die Wasserkondensierung wird zugelassen und die Feuchtigkeit am Eintritt des Durchsatzmessgeräts gemessen. Die Wände des Verdünnungstunnels oder das Hauptstromrohr nach dem Tunnel können beheizt oder isoliert werden, um eine Wasserkondensierung zu vermeiden. Eine Wasserkondensierung ist im gesamten Verdünnungstunnel zu verhindern. Bestimmte Abgasbestandteile können durch das Vorhandensein von Feuchtigkeit verdünnt oder beseitigt werden;

Bei der PM-Probenahme wird der vom CVS kommende, bereits verhältnismäßige Durchsatz (ein oder mehrmals) einer Sekundärverdünnung unterzogen, um das erforderliche Gesamtverdünnungsverhältnis zu erreichen, wie in Abbildung 9.2 dargestellt und in Absatz 9.2.3.2. ausgeführt;

h) das minimale Gesamtverdünnungsverhältnis muss im Bereich von 5:1 bis 7:1 liegen und basierend auf dem maximalen Motorabgasdurchsatz während des Prüfzyklus oder Prüfintervalls für die primäre Verdünnungsstufe mindestens 2:1 betragen;

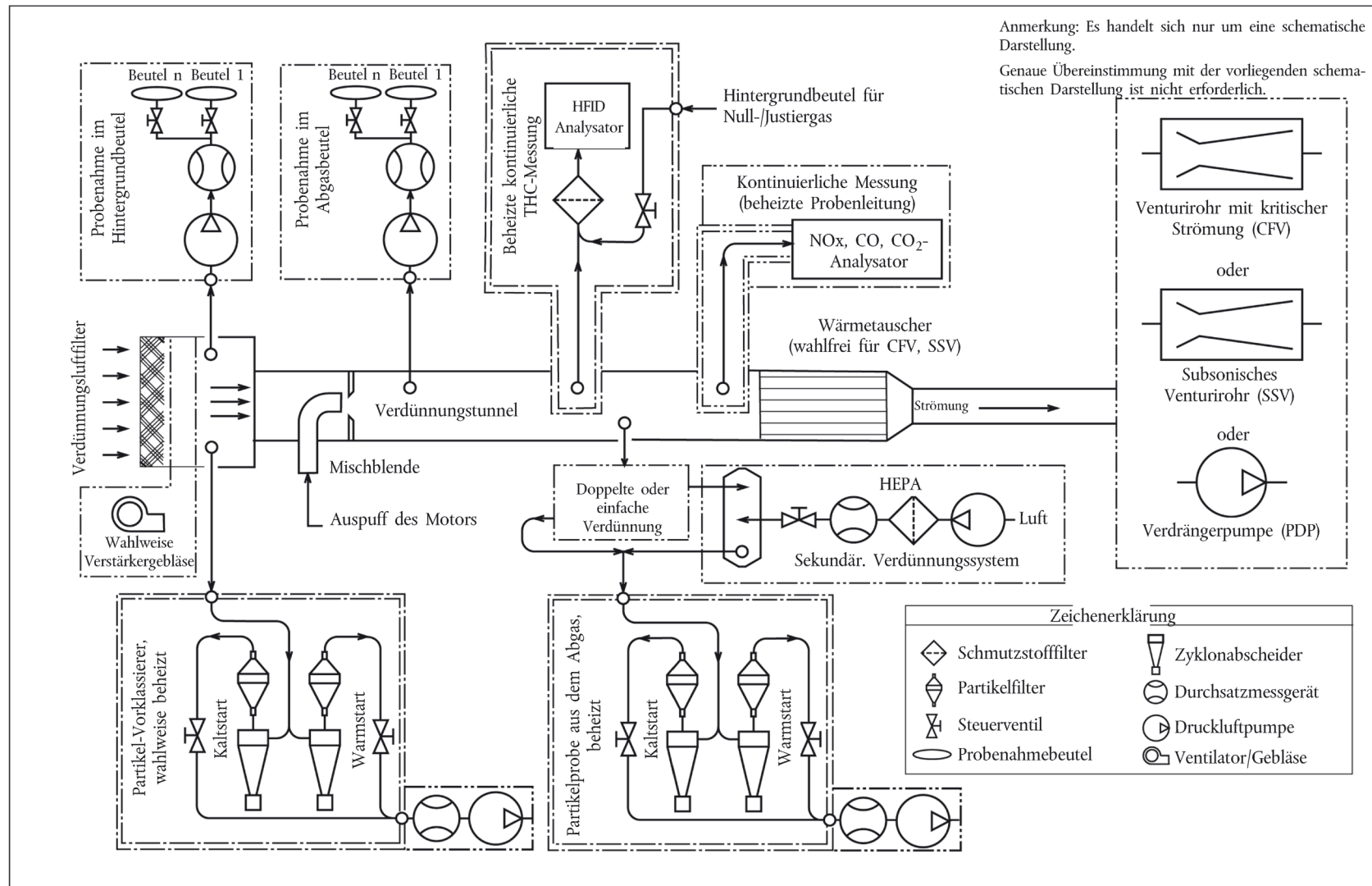
i) die Gesamtverweildauer im System muss, gemessen vom Punkt der Einleitung des Verdünnungsgases in den bzw. die Filterhalter, zwischen 0,5 und 5 s betragen;

j) die Verweildauer im Sekundärverdünnungssystem, sofern vorhanden, muss, gemessen vom Punkt der Einleitung des Sekundärverdünnungsgases in den bzw. die Filterhalter, mindestens 0,5 s betragen.

Zur Bestimmung der Partikelmasse sind ein Partikel-Probenahmesystem, ein Partikel-Probenahmefilter, eine gravimetrische Waage und eine Wägekammer mit kontrollierter Temperatur und Luftfeuchtigkeit erforderlich.

Abbildung 9.1

Beispiele für Probenahmekonfigurationen mit Vollstrom-Verdünnung



9.2.3. Teilstrom-Verdünnungssystem (PFD)

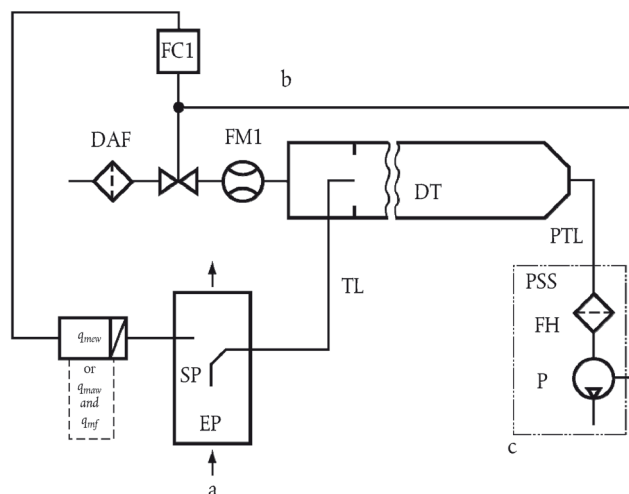
9.2.3.1. Beschreibung des Teilstromsystems

Abbildung 9.2 zeigt eine schematische Darstellung eines PFD-Systems. Der schematische Überblick bildet die Grundsätze der Probenextraktion, -verdünnung und PM-Probenahme ab. Die Darstellung ist nicht so zu verstehen, dass alle abgebildeten Komponenten für potenzielle andere zur Abscheidung von Proben geeignete Probenahmesysteme unerlässlich sind. Andere Konfigurationen, die von der Darstellung abweichen, sind unter der Voraussetzung zulässig, dass sie demselben Zweck der Abscheidung und Verdünnung von Proben und der PM-Probenahme dienen. Sie müssen zudem weiteren Kriterien, wie beispielsweise den Anforderungen gemäß Absatz 8.1.8.6. (regelmäßige Kalibrierung) und 8.2.1.2. (Validierung) für PFD mit unterschiedlicher Verdünnung sowie Absatz 8.1.4.5. und Tabelle 8.2 (Linearitätsprüfung) und Absatz 8.1.8.5.7. (Überprüfung) für PFD mit konstanter Verdünnung, entsprechen.

Wie in Abbildung 9.2 dargestellt, muss das Rohabgas oder der primärverdünnte Strom vom Auspuffrohr EP bzw. vom CVS durch die Probenahmesonde SP und die Übertragungsleitung TL in den Verdünnungstunnel DT geleitet werden. Der Gesamtdurchsatz durch den Tunnel wird mit einem Durchsatzregler und der Probenahmepumpe P des Partikel-Probenahmesystems PSS eingestellt. Zur Entnahme einer verhältnismäßigen Rohabgasprobe wird der Verdünnungsluftdurchsatz über den Durchsatzregler FC1 kontrolliert, der q_{mew} (Massendurchsatz des Abgases, feucht) oder q_{maw} (Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht) und q_{mf} (Massendurchsatz des Kraftstoffs) als Steuersignale zur Herbeiführung der gewünschten Abgasteilung verwenden kann. Der Probendurchsatz in den Verdünnungstunnel DT entspricht der Differenz aus dem Gesamtdurchsatz und dem Verdünnungsluftdurchsatz. Der Verdünnungsluftdurchsatz wird mit dem Durchsatzmessgerät FM1 und der Gesamtdurchsatz mit dem Durchsatzmessgerät des Partikel-Probenahmesystems gemessen. Das Verdünnungsverhältnis wird anhand dieser beiden Durchsätze berechnet. Bei der Probenahme mit einem konstanten Verdünnungsverhältnis zwischen rohem und verdünntem Abgas bezogen auf den Abgasdurchsatz (z. B. Sekundärverdünnung für PM-Probenahme) bleibt der Verdünnungsluftdurchsatz in der Regel konstant und wird über den Durchsatzregler FC1 oder die Verdünnungsluftpumpe kontrolliert.

Abbildung 9.2

Schematische Darstellung eines Teilstrom-Verdünnungssystems (Gesamtprobenahme)



a = Abgasstrom oder primärverdünnter Strom

b = optional

c = PM-Probenahme

Komponenten der Abbildung 9.2:

DAF = Verdünnungsluftfilter – Die Verdünnungsluft (Umgebungsluft, synthetische Luft oder Stickstoff) ist mit einem Hochleistungsschwebstoff-Filter (HEPA-Filter) zu filtern

DT = Verdünnungstunnel oder Sekundärverdünnungssystem

EP = Auspuffrohr oder Primärverdünnungssystem

FC1 = Durchsatzregler

FH = Filterhalter

FM1 = Durchsatzmessgerät zur Messung des Verdünnungsluftdurchsatzes

P = Probenahmepumpe

PSS = PM-Probenahmesystem

PTL = PM-Übertragungsleitung

SP = Probenahmesonde für Rohabgas oder verdünntes Abgas

TL = Übertragungsleitung

Massendurchsätze nur für PFD zur Entnahme einer verhältnismässigen Rohabgasprobe:

q_{mew} = Massendurchsatz des Abgases, feucht

q_{maw} = Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht

q_{mf} = Massendurchsatz des Kraftstoffs

9.2.3.2. Verdünnung

Die Temperatur der Verdünnungsgase (Umgebungsluft, synthetische Luft oder Stickstoff gemäß Absatz 9.2.1.) in unmittelbarer Nähe des Eintritts des Verdünnungstunnels muss zwischen 293 und 325 K (20 und 52 °C) gehalten werden.

Die Entfeuchtung der Verdünnungsluft vor Eintritt in das Verdünnungssystem ist zulässig. Das Teilstrom-Verdünnungssystem muss so ausgelegt sein, dass es aus dem Abgasstrom des Motors eine verhältnismässige Rohabgasprobe entnimmt und folglich Ausschläge des Abgasdurchsatzes mitvollzieht und diese Probe mit Verdünnungsluft vermischt, so dass am Prüffilter eine Temperatur gemäß Absatz 9.3.3.4.3. erreicht wird. Dafür ist es wesentlich, dass das Verdünnungsverhältnis in einer Weise bestimmt wird, welche die Genauigkeitsanforderungen gemäß Absatz 8.1.8.6.1. erfüllt.

Um zu gewährleisten, dass ein Durchsatz gemessen wird, der einer gemessenen Konzentration entspricht, wird entweder die Wasserkondensierung zwischen der Position der Probenahmesonde und dem Eintritt des Durchsatzmessgeräts in den Verdünnungstunnel verhindert, oder die Wasserkondensierung wird zugelassen und die Feuchtigkeit am Eintritt des Durchsatzmessgeräts gemessen. Das PFD-System kann beheizt oder isoliert werden, um eine Wasserkondensierung zu vermeiden. Eine Wasserkondensierung ist im gesamten Verdünnungstunnel zu verhindern.

Das minimale Verdünnungsverhältnis muss, basierend auf dem maximalen Motorabgasdurchsatz während des Prüfzyklus oder Prüfintervalls, im Bereich von 5:1 bis 7:1 liegen.

Die Verweildauer im System muss, gemessen vom Punkt der Einleitung des Verdünnungsgases in den bzw. die Filterhalter, zwischen 0,5 und 5 s betragen.

Zur Bestimmung der Partikelmasse sind ein Partikel-Probenahmesystem, ein Partikel-Probenahmefilter, eine gravimetrische Waage und eine Wägekammer mit kontrollierter Temperatur und Luftfeuchtigkeit erforderlich.

9.2.3.3. Anwendbarkeit

Ein PFD dient zur Entnahme einer verhältnismässigen Rohabgasprobe für PM-Stichproben, für die kontinuierliche PM-Probenahme oder die Probenahme von gasförmigen Emissionen in jedem dynamischen Lastzyklus, stationären Lastzyklus oder gestuften Mehrphasenlastzyklus.

Das System kann außerdem für ein zuvor verdünntes Abgas eingesetzt werden, von dem anhand eines konstanten Verdünnungsverhältnisses bereits ein verhältnismässiger Durchsatz verdünnt wird (siehe Abbildung 9.2). So kann eine Sekundärverdünnung von einem CVS-Tunnel aus durchgeführt werden, um das benötigte Gesamtverdünnungsverhältnis für die PM-Probenahme zu erzielen.

9.2.3.4. Kalibrierung

Die Kalibrierung des PFD zur Entnahme einer verhältnismässigen Rohabgasprobe ist in Absatz 8.1.8.6. beschrieben.

9.3. Probenahmeverfahren

9.3.1 Allgemeine Anforderungen an die Probenahme

9.3.1.1. Konzeption und Ausführung der Sonde

Bei einer Sonde handelt es sich um das erste Element eines Probenahmesystems. Sie ragt zur Entnahme einer Probe in einen Strom aus Rohabgas oder verdünntem Abgas. Dabei kommen ihre Innen- und Außenflächen in Kontakt mit dem Abgas. Die Probe gelangt aus der Sonde in eine Übertragungsleitung.

Die Innenflächen von Probenahmesonden werden aus rostfreiem Stahl oder, für die Probenahme bei Rohabgas, aus einem für Rohabgastemperaturen geeigneten, reaktionsunfähigen Material hergestellt. Probenahmesonden werden dort angebracht, wo Bestandteile zur Erzielung der mittleren Probenkonzentration vermischt werden und wo die Beeinflussung durch andere Sonden möglichst gering gehalten wird. Es wird empfohlen, alle Sonden außerhalb des Einflussbereichs von Randschichten, Wellen und Wirbeln zu positionieren – dies gilt insbesondere in der Nähe des Austritts eines Auspuffrohrs mit Rohabgas, wo eine unbeabsichtigte Verdünnung auftreten könnte. Das Spülen oder Rückspülen einer Sonde während der Prüfung darf sich nicht auf eine andere Sonde auswirken. Zur Entnahme einer aus mehreren Bestandteilen zusammengesetzten Probe kann eine einzige Sonde verwendet werden, sofern diese Sonde allen Spezifikationen für jeden Bestandteil entspricht.

9.3.1.2. Übertragungsleitungen

Die Länge von Übertragungsleitungen zur Beförderung einer entnommenen Probe von einer Sonde zu einem Analysator, Speichermittel oder Verdünnungssystem ist zu minimieren, indem Analysatoren, Speichermittel und Verdünnungssysteme so nahe wie möglich an den Sonden positioniert werden. Die Anzahl der Krümmungen der Übertragungsleitungen muss so gering wie möglich gehalten werden und der Radius jeder unvermeidbaren Krümmung muss so groß wie möglich ausgeführt werden.

9.3.1.3. Probenahmemethoden

Für die kontinuierliche Entnahme von Proben und die Entnahme von Stichproben gemäß Absatz 7.2. gelten die folgenden Voraussetzungen:

- a) Bei der Entnahme aus einem konstanten Durchsatz muss auch die Probe bei konstantem Durchsatz genommen werden;
- b) bei der Entnahme aus einem variablen Durchsatz muss der Probendurchsatz im Verhältnis zum variablen Durchsatz verändert werden;
- c) die verhältnismäßige Probenahme wird gemäß Absatz 8.2.1. validiert.

9.3.2. Gasprobenahme

9.3.2.1. Probenahmesonden

Zur Probenahme bei gasförmigen Emissionen werden Sonden mit einem oder mehreren Anschlüssen eingesetzt. Bezogen auf den Rohabgasstrom oder den verdünnten Abgasstrom können die Sonden beliebig ausgerichtet werden. Bei manchen Sonden muss die Probenatemperatur kontrolliert werden:

- a) bei Sonden zur Entnahme von NO_x aus verdünntem Abgas muss die Wandtemperatur der Sonde kontrolliert werden, um eine Wasserkondensierung zu vermeiden;
- b) bei Sonden zur Entnahme von Kohlenwasserstoffen aus verdünntem Abgas wird empfohlen, die Wandtemperatur der Sonde zur Minimierung von Verunreinigungen bei ca. 190 °C zu halten.

9.3.2.2. Übertragungsleitungen

Übertragungsleitungen mit Innenflächen aus rostfreiem Stahl, PTFE, Viton™ oder einem anderen Material mit günstigeren Eigenschaften für die Entnahme von Emissionsproben sind zu verwenden. Zu wählen ist ein für Abgastemperaturen geeignetes, reaktionsunfähiges Material. Zwischengeschaltete Filter können eingesetzt werden, wenn Filter und Gehäuse dieselben Temperaturanforderungen erfüllen wie die Übertragungsleitungen:

- a) Für NO_x -Übertragungsleitungen vor einem NO_2 -NO-Konverter, der den Spezifikationen gemäß Absatz 8.1.11.5. entspricht, oder einem Kühlaparat, der den Spezifikationen gemäß Absatz 8.1.11.4. entspricht, ist eine zur Verhinderung einer Wasserkondensierung geeignete Probenatemperatur einzuhalten;
- b) für THC-Übertragungsleitungen ist in der gesamten Leitung eine Wandtemperaturtoleranz von (191 ± 11) °C einzuhalten. Erfolgt die Probenahme aus dem Rohabgas, kann eine unbeheizte, isolierte Übertragungsleitung unmittelbar mit einer Sonde verbunden werden. Die Länge und Isolierung der Übertragungsleitung muss so gewählt werden, dass die höchste erwartete Rohabgastemperatur nicht unter 191 °C, gemessen am Austritt der Übertragungsleitung, fällt. Erfolgt die Probenahme aus verdünntem Abgas, ist zwischen der Sonde und der Übertragungsleitung eine Übergangszone von bis zu 0,92 m Länge zulässig, um die Wandtemperatur auf (191 ± 11) °C zu bringen.

9.3.2.3. Komponenten zur Probenkonditionierung

9.3.2.3.1. Probentrockner

9.3.2.3.1.1. Anforderungen

Das zum Abscheiden von Feuchtigkeit verwendete Gerät muss die im nachstehenden Absatz genannten Mindestanforderungen erfüllen. Der Feuchtigkeitsgehalt von 0,8 Volumenprozent H_2O wird für die Gleichung (A.8-14) benötigt.

Bei der höchsten erwarteten Wasserdampfkonzentration H_m muss die Feuchtigkeit im CLD durch das Entfeuchtungsverfahren bei ≤ 5 g Wasser/kg Trockenluft (oder ca. 0,8 Volumenprozent H_2O) gehalten werden können, was 100 % relativer Luftfeuchtigkeit bei 3,9 °C und 101,3 kPa entspricht. Diese Angabe entspricht auch ca. 25 % relativer Luftfeuchtigkeit bei 25 °C und 101,3 kPa. Dazu kann die Temperatur am Austritt eines thermischen Entfeuchters oder die Feuchtigkeit an einem Punkt unmittelbar vor dem CLD gemessen werden.

9.3.2.3.1.2. Arten von einsetzbaren Probentrocknern und Verfahren zur Schätzung des Feuchtigkeitsgehalts nach dem Trockner

Beide in diesem Absatz beschriebenen Arten von Probentrocknern zur Verringerung des Einflusses von Wasser auf die Messung gasförmiger Emissionen können verwendet werden.

- a) Wird ein osmotischer Membrantrockner vor einem Gasanalysator oder einem Speichermittel verwendet, muss er die Temperaturspezifikationen gemäß Absatz 9.3.2.2. erfüllen. Der Taupunkt T_{dew} und der absolute Druck p_{total} hinter einem osmotischen Membrantrockner sind zu überwachen. Die Wassermenge ist gemäß den Anlagen A.7 und A.8 anhand kontinuierlich aufgezeichneter Messwerte für T_{dew} und p_{total} oder ihrer während einer Prüfung beobachteten Spitzenwerte oder ihrer Alarmschwellen zu berechnen. In Ermangelung einer direkten Messung entspricht der Nennwert p_{total} dem während der Prüfung erwarteten niedrigsten absoluten Druck des Trockners;
- b) ein thermischer Kühlapparat darf nicht vor einem THC-Messsystem für Selbstzündungsmotoren eingesetzt werden. Wird ein thermischer Kühlapparat vor einem NO_2 -NO-Konverter oder in einem Probenahmesystem ohne NO_2 -NO-Konverter verwendet, muss der Kühlapparat der NO_2 -Verlust-Leistungsüberprüfung gemäß Absatz 8.1.11.4. standhalten. Der Taupunkt T_{dew} und der absolute Druck p_{total} hinter einem thermischen Kühlapparat sind zu überwachen. Die Wassermenge ist gemäß den Anlagen A.7 und A.8 anhand kontinuierlich aufgezeichneter Messwerte für T_{dew} und p_{total} oder ihrer während einer Prüfung beobachteten Spitzenwerte oder ihrer Alarmschwellen zu berechnen. In Ermangelung einer direkten Messung entspricht der Nennwert p_{total} dem während der Prüfung erwarteten niedrigsten absoluten Druck des Kühlapparats. Wenn der Sättigungsgrad im thermischen Kühlapparat angenommen werden kann, lässt sich T_{dew} auf der Grundlage des bekannten Wirkungsgrads des Kühlapparats und der kontinuierlichen Überwachung der Temperatur des Kühlapparats T_{chiller} berechnen. Werden die Werte für T_{chiller} nicht kontinuierlich aufgezeichnet, können der während einer Prüfung beobachtete Spitzenwert oder die Alarmschwelle als Konstante zur Ermittlung einer konstanten Wassermenge gemäß den Anlagen A.7 und A.8 herangezogen werden. Kann davon ausgegangen werden, dass der Wert T_{chiller} dem Wert T_{dew} entspricht, kann T_{chiller} gemäß Anlagen A.7 und A.8 anstelle von T_{dew} verwendet werden. Wenn aufgrund einer bekannten und gleichbleibenden Wiedererwärmung der Probe zwischen dem Austritt des Kühlapparats und dem Ort, an dem die Temperatur gemessen wird, von einem konstanten Temperaturunterschied zwischen T_{chiller} und T_{dew} ausgegangen werden darf, kann dieser für den Temperaturunterschied angenommene Wert in die Emissionsberechnungen miteinbezogen werden. Die Gültigkeit der laut diesem Absatz zulässigen Annahmen ist durch eine technische Analyse oder Daten zu belegen.

9.3.2.3.2. Probenpumpen

Für alle Gase sind vor einem Analysator oder Speichermittel Probenpumpen einzusetzen. Zu verwenden sind Probenpumpen mit Innenflächen aus rostfreiem Stahl, PTFE oder einem anderen Material mit günstigeren Eigenschaften für die Entnahme von Emissionsproben. Bei manchen Probenpumpen muss die Temperatur kontrolliert werden:

- a) Wird vor einem NO_2 -NO-Konverter gemäß Absatz 8.1.11.5. oder einem Kühler gemäß Absatz 8.1.11.4. eine NO_x -Probenpumpe eingesetzt, muss diese beheizt werden, um eine Wasserkondensierung zu vermeiden;
- b) wird vor einem THC-Analysator oder Speichermittel eine THC-Probenpumpe verwendet, müssen ihre Innenflächen auf einen Toleranzwert von (191 ± 11) °C beheizt werden.

9.3.2.4. Speichermittel für Proben

Bei der Beutelprobeentnahme werden Gasvolumen in hinreichend reinen Behältern gespeichert, die nur minimal ausgasen oder von Gasen durchdrungen werden können. Die Ermittlung von annehmbaren Schwellenwerten für die Reinheit und Durchdringbarkeit der Speichermittel erfolgt nach bestem fachlichen Ermessen. Zur Reinigung eines Behälters kann dieser mehrfach gespült, luftleer gemacht und eventuell erhitzt werden. Zu verwenden ist ein elastischer Behälter (wie ein Beutel) in einer temperaturgeregelten Umgebung oder ein temperaturgeregelter starrer Behälter, der zunächst luftleer gemacht wird oder ein z. B. mittels Kolben oder Zylinder verdrängbares Volumen besitzt. Geeignet sind Behälter, die den Spezifikationen der nachstehenden Tabelle 9.1 entsprechen.

Tabelle 9.1

Materialien für Behälter zur Entnahme gasförmiger Stichproben

CO, CO ₂ , O ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , NO, NO ₂ ⁽¹⁾	Polyvinylfluorid (PVF) ⁽²⁾ , zum Beispiel Tedlar™, Polyvinylidenfluorid ⁽²⁾ , zum Beispiel Kynar™, Polytetrafluorethylen ⁽³⁾ , zum Beispiel Teflon™, oder rostfreier Stahl ⁽³⁾
THC, NMHC	Polytetrafluorethylen ⁽⁴⁾ oder rostfreier Stahl ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Sofern eine Wasserkondensierung im Speicherbehälter vermieden wird.
⁽²⁾ Bis zu 40 °C.
⁽³⁾ Bis zu 202 °C.
⁽⁴⁾ Bei (191 ± 11) °C.

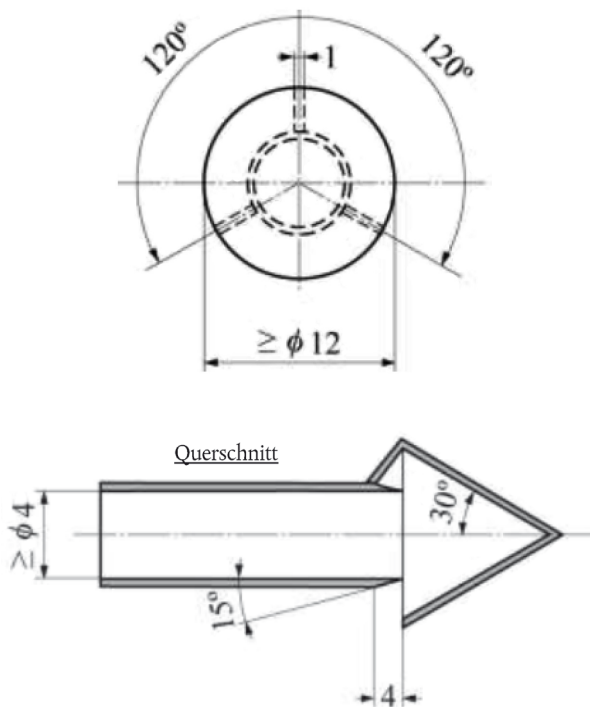
9.3.3. PM-Probenahme

9.3.3.1. Probenahmesonden

Zu verwenden sind PM-Sonden mit einer einzelnen Öffnung am Ende. PM-Sonden sind unmittelbar stromaufwärts auszurichten.

Die PM-Sonde kann mit einem Hut, der den Anforderungen gemäß Abbildung 9.3 entspricht, abgeschirmt werden. In diesem Fall darf der in Absatz 9.3.3.3. beschriebene Vorklassierer nicht verwendet werden.

Abbildung 9.3

Schematische Darstellung einer Probenahmesonde mit hutförmigem Vorklassierer

9.3.3.2. Übertragungsleitungen

Zur Minimierung von Temperaturdifferenzen zwischen Übertragungsleitungen und Abgasbestandteilen wird die Verwendung isolierter oder beheizter Übertragungsleitungen oder eines beheizten Gehäuses empfohlen. Zu verwenden sind in Bezug auf PM inerte und an den Innenflächen elektrisch leitende Übertragungsleitungen. Empfohlen wird der Einsatz von PM-Übertragungsleitungen aus rostfreiem Stahl; andere Materialien müssen bei der Probenahme dieselben Anforderungen erfüllen wie rostfreier Stahl. Die Innenfläche von PM-Übertragungsleitungen muss elektrisch geerdet sein.

9.3.3.3. Vorklassierer

Der Einsatz eines im Verdünnungssystem unmittelbar vor dem Filterhalter angebrachten PM-Vorklassierers zum Abscheiden von Partikeln mit großem Durchmesser ist zulässig. Nur ein Vorklassierer darf verwendet werden. Wird eine hutförmige Sonde benutzt (siehe Abbildung 9.3), ist der Einsatz eines Vorklassierers nicht zulässig.

Beim PM-Vorklassierer kann es sich entweder um einen Trägheits- oder um einen Zyklonabscheider handeln. Er muss aus rostfreiem Stahl bestehen. Der Vorklassierer muss im Bereich der Durchsätze, für die er verwendet wird, spezifikationsgemäß mindestens 50 % der PM mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm und maximal 1 % der PM mit einem aerodynamischen Durchmesser von 1 µm abscheiden. Der Austritt des Vorklassierers muss so konfiguriert sein, dass sich ein etwaiger PM-Probenahmefilter umgehen lässt, damit der Durchsatz des Vorklassierers vor dem Beginn einer Prüfung stabilisiert werden kann. Der PM-Probenahmefilter muss sich innerhalb von 75 cm hinter dem Austritt des Vorklassierers befinden.

9.3.3.4. Probenahmefilter

Zur Beprobung des verdünnten Abgases ist ein Filter zu verwenden, der während der Prüffolge die Anforderungen der Absätze 9.3.3.4.1. bis 9.3.3.4.4. erfüllt.

9.3.3.4.1. Spezifikation der Filter

Alle Filtertypen müssen für 0,3 µm DOP (Diäthylphthalat) einen Abscheidegrad von mindestens 99,7 % aufweisen. Die vom Hersteller des Probenahmefilters in die Produktspezifikationen aufgenommenen Messergebnisse sind zum Nachweis der Erfüllung dieser Anforderung zulässig. Als Filterwerkstoff sind geeignet:

- a) PTFE-überzogene Glasfaser oder
- b) PTFE-Membran.

Überschreitet die erwartete PM-Nettomasse auf dem Filter 400 µg, kann ein Filter mit einem anfänglichen Mindestabscheidegrad von 98 % verwendet werden.

9.3.3.4.2. Filtergröße

Die Nennfiltergröße muss 46,50 mm ± 0,6 mm im Durchmesser betragen.

9.3.3.4.3. Verdünnung und Temperaturregelung von PM-Proben

PM-Proben müssen bei einem CVS-System mindestens einmal vor den Übertragungsleitungen und bei einem PFD-System mindestens einmal danach verdünnt werden (siehe Absatz 9.3.3.2. über Übertragungsleitungen). Die Probentemperatur muss innerhalb einer Toleranz von (47 ± 5) °C geregelt werden, wobei dieser Wert an einer beliebigen Stelle innerhalb von 200 mm vor oder 200 mm nach dem PM-Speichermittel gemessen werden kann. Die PM-Probe soll vornehmlich unter den Verdünnungsvoraussetzungen gemäß Absatz 9.2.1. Buchstabe a erwärmt oder gekühlt werden.

9.3.3.4.4. Filteranströmgeschwindigkeit

Die Filteranströmgeschwindigkeit muss zwischen 0,90 und 1,00 m/s betragen; weniger als 5 % der aufgezeichneten Durchsätze dürfen außerhalb dieses Bereichs liegen. Überschreitet die PM-Gesamtmasse den Wert von 400 µg, darf die Filteranströmgeschwindigkeit herabgesetzt werden. Die Anströmgeschwindigkeit ist zu berechnen aus dem Volumendurchsatz der Probe bei dem vor dem Filter herrschenden Druck und der Filteranströmtemperatur, geteilt durch die exponierte Fläche des Filters. Der Druck im Auspuffrohr oder CVS-Tunnel wird für den Gegendruck verwendet, wenn der Druckabfall zwischen dem PM-Probenahmesystem und dem Filter weniger als 2 kPa beträgt.

9.3.3.4.5. Filterhalter

Zur Minimierung turbulenter Ablagerungen und zur Förderung der gleichmäßigen Ablagerung von PM auf einem Filter muss ein Filterhalter für den Übergang vom Innendurchmesser der Übertragungsleitung zum exponierten Durchmesser der Filterfrontfläche einen (von der Mitte) divergierenden Konuswinkel von 12,5° aufweisen. Für diesen Übergang ist rostfreier Stahl zu verwenden.

9.3.4. PM-Stabilisierungs- und Wägemgebung für die gravimetrische Analyse

9.3.4.1. Umgebung für die gravimetrische Analyse

In diesem Abschnitt werden die beiden zur Stabilisierung und Wägung von PM für die gravimetrische Analyse erforderlichen Umgebungen beschrieben: In der PM-Stabilisierungsumgebung werden die Filter vor der Wägung aufbewahrt, in der Wägemgebung befindet sich die Waage. Die beiden Umgebungen können sich in einem Raum befinden.

Sowohl die Stabilisierungs- als auch die Wägemgebung muss von Schmutzstoffen wie Staub, Aerosolen oder halbflüchtigen Stoffen, welche die PM-Proben verunreinigen könnten, freigehalten werden.

9.3.4.2. Sauberkeit

Die Sauberkeit der PM-Stabilisierungsumgebung ist mit Hilfe von Vergleichsfiltern gemäß Absatz 8.1.12.1.4. zu überprüfen.

9.3.4.3. Temperatur der Kammer

Die Temperatur der Kammer (oder des Raumes), in der (dem) die Partikelfilter konditioniert und gewogen werden, ist während der gesamten Dauer des Konditionierungs- und Wägevorgangs auf $22\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ zu halten. Die Luftfeuchtigkeit ist auf einem Taupunkt von $9,5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ und einer relativen Feuchtigkeit von $45 \pm 8\%$ zu halten. Wenn Stabilisierung und Wägung in getrennten Räumen erfolgen, muss die Temperatur der Stabilisierungsumgebung in einem Toleranzbereich von $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ gehalten werden.

9.3.4.4. Überprüfung der Umgebungsbedingungen

Bei der Verwendung von Messgeräten, die den Spezifikationen gemäß Absatz 9.4. entsprechen, sind die nachstehenden Umgebungsbedingungen zu überprüfen:

- a) Taupunkt und Umgebungstemperatur sind aufzuzeichnen. Diese Werte werden herangezogen um festzustellen, ob die Stabilisierungs- und die Wägemgebung mindestens während der 60 min vor der Wägung der Filter die in Absatz 9.3.4.3. genannten Toleranzen erfüllt haben;
- b) der Luftdruck in der Wägemgebung ist laufend aufzuzeichnen. Alternativ kann auch ein Barometer zur Messung des Luftdrucks außerhalb der Wägemgebung eingesetzt werden, sofern sichergestellt werden kann, dass sich der Luftdruck an der Waage immer im Bereich von $\pm 100\text{ Pa}$ des gemeinsamen Luftdrucks bewegt. Bei der Wägung muss die Möglichkeit bestehen, für jede einzelne PM-Probe den aktuellsten Luftdruck aufzuzeichnen. Dieser Wert dient dann zur Berechnung der PM-Auftriebskorrektur gemäß Absatz 8.1.12.2.

9.3.4.5. Aufstellung der Waage

Bei der Aufstellung der Waage ist Folgendes zu beachten:

- a) Aufstellung auf einer erschütterungsdämpfenden Plattform zur Abschirmung vor externen Geräuschen und Erschütterungen;
- b) Abschirmung vor Luftströmungen mit einem statische Elektrizität ableitenden geerdeten Windschutz.

9.3.4.6. Elektrostatische Aufladung

Die elektrostatische Aufladung in der Waagenumgebung muss durch die nachstehenden Maßnahmen auf ein Minimum reduziert werden:

- a) Elektrische Erdung der Waage;
- b) Verwendung von Pinzetten aus rostfreiem Stahl zum manuellen Hantieren mit PM-Proben;
- c) Erdung der Pinzetten mit einem Erdungsband oder durch Anlegen eines Erdungsarmbands seitens der Bedienperson, wobei diese Bänder das gleiche Erdpotential wie die Waage haben;
- d) Verwendung eines elektrisch geerdeten Elektrostatik-Neutralisators, der das gleiche Erdpotential wie die Waage hat, um PM-Proben gegen elektrostatische Aufladung zu schützen.

9.4. Messgeräte

9.4.1. Einführung

9.4.1.1. Umfang

Dieser Absatz beschäftigt sich mit den Messgeräten und den entsprechenden Systemanforderungen für Emissionsprüfungen. Dazu zählen Laborgeräte für die Messung von Motorparametern, Umgebungsbedingungen, Durchsatzparametern und Emissionskonzentrationen (von Rohabgas oder verdünntem Abgas).

9.4.1.2. Arten von Geräten

Alle in diesem Anhang genannten Messgeräte sind so einzusetzen, wie in diesem Anhang beschrieben (siehe Tabelle 8.2 für die Messgrößen dieser Geräte). Wird ein in diesem Anhang angeführtes Gerät anders eingesetzt als angegeben, oder wird an seiner Stelle ein anderes Gerät verwendet, finden die in Absatz 5.1.3. festgelegten Bestimmungen zur Gleichwertigkeit Anwendung. Ist für eine bestimmte Messung mehr als ein Gerät angeführt, wird auf Antrag eines von diesen von der Typgenehmigungsbehörde als Referenz festgelegt, anhand welcher zu zeigen ist, dass ein alternatives Verfahren mit dem genannten Verfahren gleichwertig ist.

9.4.1.3. Redundante Systeme

Nach Vorabgenehmigung durch die Typgenehmigungsbehörde können zur Berechnung der Prüfergebnisse einer Einzelprüfung für alle in diesem Absatz genannten Messgeräte die Daten mehrerer Geräte verwendet werden. Die Ergebnisse aller Messungen sind aufzuzeichnen und die Rohdaten müssen, wie in Absatz 5.3. dieses Anhangs festgehalten, gespeichert werden. Diese Anforderung gilt unabhängig davon, ob die Messungen tatsächlich für die Berechnungen verwendet werden.

9.4.2. Datenaufzeichnung und Steuerung

Das Prüfsystem muss zur Aktualisierung und Aufzeichnung von Daten sowie zur Steuerung von Systemen aufgrund der Rückmeldungen von Benutzern, Prüfstand, Probenahmesystem und Messgeräten in der Lage sein. Die eingesetzten Datenerfassungs- und Steuerungssysteme müssen zur Aufzeichnung der in Tabelle 9.2 angegebenen Mindestfrequenzen geeignet sein (diese Tabelle ist nicht auf Einzelprüfungen anwendbar).

Tabelle 9.2

Mindestfrequenzen für die Datenaufzeichnung und Steuerung

Anwendbarer Abschnitt des Prüfprotokolls	Messwert	Mindestbefehls- und Steuerungs-frequenz	Mindestaufzeichnungsfrequenz
7.6.	Drehzahl und Drehmoment während einer Schrittabbildung des Motors	1 Hz	1 Mittelwert pro Schritt
7.6.	Drehzahl und Drehmoment während einer kontinuierlichen Abbildung des Motors	5 Hz	1-Hz-Mittel
7.8.3.	Bezugswerte sowie Drehzahl- und Drehmomentmesswerte bei dynamischem Lastzyklus	5 Hz	1-Hz-Mittel
7.8.2.	Bezugswerte sowie Drehzahl- und Drehmomentmesswerte bei stationärem Lastzyklus und gestuftem Mehrphasenlastzyklus	1 Hz	1 Hz
7.3.	Kontinuierliche Konzentrationen von Analysatoren für Rohabgas	—	1 Hz
7.3.	Kontinuierliche Konzentrationen von Analysatoren für verdünntes Abgas	—	1 Hz
7.3.	Stichprobenkonzentrationen von Analysatoren für Rohabgas oder verdünntes Abgas	—	1 Mittelwert pro Prüfintervall
7.6. 8.2.1.	Durchsatz des verdünnten Abgases in einem CVS mit einem Wärmetauscher vor dem Durchsatzmessgerät	—	1 Hz
7.6. 8.2.1.	Durchsatz des verdünnten Abgases in einem CVS ohne Wärmetauscher vor dem Durchsatzmessgerät	5 Hz	1-Hz-Mittel
7.6. 8.2.1.	Ansaugluft- oder Abgasdurchsatz (für dynamische Rohabgas-Messungen)	—	1-Hz-Mittel
7.6. 8.2.1.	Verdünnungsluft, wenn diese aktiv gesteuert wird	5 Hz	1-Hz-Mittel
7.6. 8.2.1.	Probendurchsatz in einem CVS mit Wärmetauscher	1 Hz	1 Hz
7.6. 8.2.1.	Probendurchsatz in einem CVS ohne Wärmetauscher	5 Hz	1-Hz-Mittel

9.4.3. Leistungsspezifikationen für Messgeräte

9.4.3.1. Übersicht

Das Prüfsystem als Ganzes muss allen anwendbaren, in Absatz 8.1. genannt Kalibrierungen, Überprüfungen und Validierungskriterien für die Prüfung einschließlich den Anforderungen hinsichtlich der Linearitätsprüfung gemäß den Absätzen 8.1.4. und 8.2. entsprechen. Die Geräte müssen für alle bei der Prüfung verwendeten Bereiche den Spezifikationen laut Tabelle 9.2 entsprechen. Zudem sind Nachweise des Geräteherstellers, aus denen hervorgeht, dass die Spezifikationen gemäß Tabelle 9.2 eingehalten werden, aufzubewahren.

9.4.3.2. Anforderungen an Komponenten

Tabelle 9.3 enthält die Spezifikationen für Drehmoment-, Drehzahl- und Druckaufnehmer, Sensoren für Temperatur und Taupunkt sowie andere Einrichtungen. Das Gesamtsystem zur Messung der jeweiligen physikalischen und/oder chemischen Größen muss der Linearitätsprüfung gemäß Absatz 8.1.4. standhalten. Zur Messung gasförmiger Emissionen können Analysatoren mit Kompensierungsalgorithmen verwendet werden, bei denen es sich um Funktionen anderer gemessener gasförmiger Bestandteile und der Kraftstoffeigenschaften für die jeweilige Motorprüfung handelt. Ein Kompensierungsalgorithmus darf nur Unterschiede ausgleichen, ohne sich auf einen Anstieg auszuwirken (bei dem es sich nicht um eine systematische Messabweichung handelt).

Tabelle 9.3

Empfohlene Leistungsspezifikationen für Messgeräte

Messgerät	Symbol für die Messgröße	Komplette Anstiegszeit des Systems	Aktualisierungsfrequenz bei der Aufzeichnung	Genauigkeit (*)	Wiederholbarkeit (*)
Aufnehmer für die Motordrehzahl	n	1 s	1-Hz-Mittel	2,0 % des Mittelwerts oder 0,5 % des Maximalwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 0,25 % des Maximalwerts
Aufnehmer für das Motordrehmoment	T	1 s	1-Hz-Mittel	2,0 % des Mittelwerts oder 1,0 % des Maximalwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 0,5 % des Maximalwerts
Kraftstoffdurchsatzmessgerät (Kraftstoffzähler)		5 s (–)	1 Hz (–)	2,0 % des Mittelwerts oder 1,5 % des Maximalwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 0,75 % des Maximalwerts
Messgerät für den Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases (CVS) (mit Wärmetauscher vor dem Messgerät)		1 s (5 s)	1-Hz-Mittel (1 Hz)	2,0 % des Mittelwerts oder 1,5 % des Maximalwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 0,75 % des Maximalwerts
Durchsatzmessgeräte für Verdünnungsluft, Ansaugluft, Abgas und Probe		1 s	1-Hz-Mittel von 5-Hz-Proben	2,5 % des Mittelwerts oder 1,5 % des Maximalwerts	1,25 % des Mittelwerts oder 0,75 % des Maximalwerts
Analysator für die kontinuierliche Messung von Rohabgas	x	2,5 s	2 Hz	2,0 % des Mittelwerts oder 2,0 % des Messwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 1,0 % des Messwerts
Analysator für die kontinuierliche Messung von verdünntem Abgas	x	5 s	1 Hz	2,0 % des Mittelwerts oder 2,0 % des Messwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 1,0 % des Messwerts
Gasanalysator für die kontinuierliche Messung	x	5 s	1 Hz	2,0 % des Mittelwerts oder 2,0 % des Messwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 1,0 % des Messwerts
Gasanalysator für die Messung von Stichproben	x	–	–	2,0 % des Mittelwerts oder 2,0 % des Messwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 1,0 % des Messwerts
Gravimetrische PM-Waage	m _{PM}	–	–	Siehe 9.4.11.	0,5 µg
PM-Trägheitswaage	m _{PM}	5 s	1 Hz	2,0 % des Mittelwerts oder 2,0 % des Messwerts	1,0 % des Mittelwerts oder 1,0 % des Messwerts

(*) Genauigkeit und Wiederholbarkeit werden anhand der in Absatz 9.4.3. genannten erfassten Daten bestimmt und basieren auf absoluten Werten. „Mittelwert“ bezieht sich auf den am Emissionsgrenzwert erwarteten Gesamtmittelwert; „Maximalwert“ bezieht sich auf den während des Lastzyklus am Emissionsgrenzwert erwarteten Spitzenwert (nicht auf den Maximalwert des Messbereichs des Messgeräts); „Messwert“ bezieht sich auf den während des Lastzyklus tatsächlich gemessenen Mittelwert.

9.4.4. Messung von Motorparametern und Umgebungsbedingungen

9.4.4.1. Drehzahl- und Drehmomentsensoren

9.4.4.1.1. Anwendung

Messgeräte zur Messung der während des Motorbetriebs zugeführten und erbrachten Leistung müssen den in diesem Absatz festgelegten Spezifikationen entsprechen. Die Verwendung von Sensoren, Aufnehmern und Messgeräten, die die Spezifikationen gemäß Tabelle 9.3 erfüllen, wird empfohlen. Gesamtsysteme zur Messung der zugeführten und erbrachten Leistung müssen der Linearitätsprüfung nach Absatz 8.1.4. standhalten.

9.4.4.1.2. Arbeit der Kurbelwelle

Arbeit und Leistung sind aus den Messwerten der Drehzahl- und Drehmomentaufnehmer gemäß Absatz 9.4.4.1. zu berechnen. Gesamtsysteme zur Messung von Drehzahl und Drehmoment müssen laut den Absätzen 8.1.7 und 8.1.4. kalibriert und überprüft werden.

Ein durch die Trägheit von mit dem Schwungrad verbundenen beschleunigenden und verlangsamenen Komponenten wie Antriebswelle und Bremsscheibe des Prüfstands verursachtes Drehmoment ist bei Bedarf nach bestem fachlichen Ermessen zu kompensieren.

9.4.4.2. Druckwandler, Temperatursensoren und Taupunktsensoren

Gesamtsysteme zur Messung von Druck, Temperatur und Taupunkt sind gemäß Absatz 8.1.7. zu kalibrieren.

Druckwandler müssen sich in einer temperaturgeregelten Umgebung befinden oder Temperaturänderungen innerhalb ihres erwarteten Betriebsbereichs kompensieren. Die Materialien, aus denen der Wandler besteht, müssen für die zu messende Flüssigkeit geeignet sein.

9.4.5. Durchsatzbezogene Messungen

Bei allen Arten von Durchsatzmessgeräten (für Kraftstoff, Ansaugluft, Rohabgas, verdünntes Abgas, Proben) muss der Durchsatz nach Bedarf konditioniert werden, um Wellen, Wirbel, zirkulierende Ströme oder Pulsationen zu vermeiden, die die Genauigkeit oder Wiederholbarkeit des Messgeräts beeinträchtigen könnten. Bei manchen Messgeräten kann dies erreicht werden, indem ein ausreichend langes, gerades Rohr eingesetzt wird (wobei die Länge mindestens zehnmal dem Rohrdurchmesser entsprechen muss) oder indem eigens konzipierte Rohrkrümmungen, Begradigungsrippen, Blenden (oder pneumatische Pulsationsdämpfer für das Messgerät für den Kraftstoffdurchsatz) verwendet werden, um vor dem Messgerät ein gleichförmiges und berechenbares Geschwindigkeitsprofil zu erzielen.

9.4.5.1. Messgerät für den Kraftstoffdurchsatz

Ein Gesamtsystem zur Messung des Kraftstoffdurchsatzes ist gemäß Absatz 8.1.8.1. zu kalibrieren. Bei jeder Messung des Kraftstoffdurchsatzes ist eine etwaige Kraftstoffmenge zu berücksichtigen, die den Motor umgeht oder vom Motor zum Kraftstofftank zurückgeleitet wird.

9.4.5.2. Messgerät für den Ansaugluftdurchsatz

Ein Gesamtsystem zur Messung des Ansaugluftdurchsatzes ist gemäß Absatz 8.1.8.2. zu kalibrieren.

9.4.5.3. Messgerät für den Rohabgasdurchsatz

9.4.5.3.1. Anforderungen an Komponenten

Das Gesamtsystem zur Messung des Rohabgasdurchsatzes muss die Linearitätsanforderungen gemäß Absatz 8.1.4. erfüllen. Ein Rohabgas-Messgerät muss so konzipiert sein, dass es in der Lage ist, Veränderungen des thermodynamischen Zustands, des Flüssigkeitsgrades und der Zusammensetzung des Rohabgases angemessen zu kompensieren.

9.4.5.3.2. Ansprechzeit des Durchsatzmessgeräts

Zur Steuerung eines Teilstrom-Verdünnungssystems bei der Entnahme einer verhältnismäßigen Rohabgasprobe ist eine raschere Ansprechzeit des Durchsatzmessgeräts als in Tabelle 9.3 angegeben erforderlich. Die Ansprechzeit eines Durchsatzmessgeräts für onlinegesteuerte Teilstrom-Verdünnungssysteme muss den Spezifikationen gemäß Absatz 8.2.1.2. entsprechen.

9.4.5.3.3. Abgaskühlung

Die Kühlung des Abgases vor dem Durchsatzmessgerät ist mit folgenden Einschränkungen zulässig:

- Hinter der Kühlung dürfen keine PM-Proben entnommen werden;
- sinken Abgastemperaturen durch die Kühlung von über 202 °C auf unter 180 °C, dürfen hinter der Kühlung keine NMHC-Proben entnommen werden;
- verursacht die Kühlung eine Wasserkondensierung, dürfen hinter der Kühlung keine NO_x-Proben entnommen werden, es sei denn, der Kühler hält der Leistungsüberprüfung gemäß Absatz 8.1.11.4. stand;
- verursacht die Kühlung eine Wasserkondensierung, bevor der Durchsatz ein Messgerät erreicht, sind der Taupunkt T_{dew} und der Druck p_{total} am Eintritt des Durchsatzmessgeräts zu messen. Diese Werte sind für die Emissionsberechnungen gemäß den Anlagen A.7 und A.8 heranzuziehen.

9.4.5.4. Durchsatzmessgeräte für Verdünnungsluft und verdünntes Abgas

9.4.5.4.1. Anwendung

Der momentane Durchsatz des verdünnten Abgases oder der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases innerhalb eines Prüfintervalls ist mit Hilfe eines Durchsatzmessgeräts für verdünntes Abgas zu ermitteln. Der momentane Rohabgas-Durchsatz oder der Rohabgas-Gesamtdurchsatz innerhalb eines Prüfintervalls kann aus der Differenz zwischen den Messwerten eines Messgeräts für verdünntes Abgas und eines Messgeräts für die Verdünnungsluft berechnet werden.

9.4.5.4.2. Anforderungen an Komponenten

Das Gesamtsystem zur Messung des Durchsatzes des verdünnten Abgases muss laut den Absätzen 8.1.8.4. und 8.1.8.5. kalibriert und überprüft werden. Die folgenden Messgeräte können verwendet werden:

- Für das Constant Volume Sampling (CVS) des Gesamtdurchsatzes des verdünnten Abgases können ein Venturirohr mit kritischer Strömung (CFV), mehrere parallel angebrachte Venturirohre mit kritischer Strömung, eine Verdrängerpumpe (PDP), ein subsonisches Venturirohr (SSV) oder ein Ultraschalldurchsatzmessgerät eingesetzt werden. In Kombination mit einem vorgelagerten Wärmetauscher dienen ein CFV oder eine PDP auch als passive Durchsatzregler, indem sie die Temperatur des verdünnten Abgases in einem CVS-System konstant halten;
- für das Teilstrom-Verdünnungssystem (PFD) kann ein beliebiges Durchsatzmessgerät in Verbindung mit einem beliebigen aktiven Durchsatzregelsystem zur verhältnismäßigen Beprobung der Abgasbestandteile verwendet werden. Der Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases oder ein oder mehrere Probendurchsätze oder eine Kombination aus diesen Durchsatzreglern kann zur verhältnismäßigen Beprobung gesteuert werden.

Bei anderen Verdünnungssystemen können ein Laminardurchfluss-Element, ein Ultraschalldurchsatzmessgerät, ein subsonisches Venturirohr, ein Venturirohr mit kritischer Strömung oder mehrere parallel angeordnete Venturirohre mit kritischer Strömung, ein Verdrängungsmessgerät, ein thermischer Massendurchflussmesser, ein Mittelungs-Pitotrohr oder ein Hitzedrahtanemometer verwendet werden.

9.4.5.4.3. Abgaskühlung

Verdünntes Abgas vor einem Durchsatzmessgerät für verdünntes Abgas darf gekühlt werden, sofern die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

- Hinter der Kühlung dürfen keine PM-Proben entnommen werden;
- sinken Abgastemperaturen durch die Kühlung von über 202 °C auf unter 180 °C, dürfen hinter der Kühlung keine NMHC-Proben entnommen werden;
- verursacht die Kühlung eine Wasserkondensierung, dürfen hinter der Kühlung keine NO_x-Proben entnommen werden, es sei denn, der Kühler hält der Leistungsüberprüfung gemäß Absatz 8.1.11.4. stand;
- verursacht die Kühlung eine Wasserkondensierung, bevor der Durchsatz ein Messgerät erreicht, sind der Taupunkt T_{dew} und der Druck p_{total} am Eintritt des Durchsatzmessgeräts zu messen. Diese Werte sind für die Emissionsberechnungen gemäß den Anlagen A.7 und A.8 heranzuziehen.

9.4.5.5. Durchsatzmessgerät für die Stichprobenahme

Ein Probendurchsatzmessgerät dient zur Ermittlung des Probendurchsatzes oder des Gesamtdurchsatzes eines Systems für die Entnahme von Stichproben innerhalb eines Prüfintervalls. Die Differenz zwischen den Messwerten zweier Durchsatzmessgeräte kann zur Berechnung des Probendurchsatzes in einen Verdünnungstunnel herangezogen werden, z. B. für die PM-Messung mit einem Teilstrom-Verdünnungssystem oder einem Sekundärverdünnungssystem. Absatz 8.1.8.6.1. enthält Spezifikationen für die Messung des Differenzdurchsatzes bei der Entnahme einer verhältnismäßigen Rohabgasprobe, Absatz 8.1.8.6.2. beschäftigt sich mit der Kalibrierung für die Messung des Differenzdurchsatzes.

Das Gesamtsystem zur Messung des Probendurchsatzes ist gemäß Absatz 8.1.8. zu kalibrieren.

9.4.5.6. Gasteiler

Zur Vermischung von Kalibriergasen kann ein Gasteiler eingesetzt werden.

Der verwendete Gasteiler muss Gase entsprechend den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1. vermischen und dabei die während der Prüfung erwarteten Konzentrationen erzielen. Eingesetzt werden können Gasteiler für kritische Strömung, Kapillarrohre oder thermische Massendurchflussmesser. Nach Bedarf sind Viskositätskorrekturen vorzunehmen (wenn dies nicht durch die interne Software des Gasteilers erfolgt), um eine

ordnungsgemäße Gasteilung zu gewährleisten. Das Gasteilersystem muss der Linearitätsprüfung gemäß Absatz 8.1.4.5. standhalten. Optional kann die Mischvorrichtung mit einem Messgerät überprüft werden, das von seinem Prinzip her linear ist, z. B. unter Verwendung von NO-Gas mit einem CLD. Der Justierwert des Geräts ist mit direkt an das Gerät angeschlossenem Justiergas einzustellen. Die Mischvorrichtung ist bei den verwendeten Einstellungen zu überprüfen, und der Nennwert ist mit der gemessenen Konzentration zu vergleichen.

9.4.6. CO- und CO₂-Messungen

Zur Messung der CO- und CO₂-Konzentration in Rohabgas oder verdünntem Abgas bei der Stichprobenahme oder kontinuierlichen Probenahme wird ein nichtdispersiver Infrarotabsorptionsanalysator (NDIR) verwendet.

Das NDIR-basierte System muss gemäß Absatz 8.1.9.1. kalibriert und überprüft werden.

9.4.7. Messung von Kohlenwasserstoffen (HC)

9.4.7.1. Flammenionisationsdetektor

9.4.7.1.1. Anwendung

Zur Messung der Kohlenwasserstoffkonzentrationen in Rohabgas oder verdünntem Abgas bei der Stichprobenahme oder kontinuierlichen Probenahme wird ein beheizter Flammenionisationsdetektor (FID) verwendet. Die Bestimmung der Kohlenwasserstoffkonzentrationen muss auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins (C₁) erfolgen. Methan- und Nichtmethan-Kohlenwasserstoff-Werte sind gemäß Absatz 9.4.7.1.4. zu ermitteln. Die Temperatur aller Oberflächen beheizter FID-Analysatoren, die mit Emissionen in Kontakt gelangen, muss bei 191 ± 11 °C gehalten werden.

9.4.7.1.2. Anforderungen an Komponenten

Das FID-basierte System zur THC- oder CH₄-Messung muss allen Überprüfungen für Kohlenwasserstoffmessungen gemäß Absatz 8.1.10. standhalten.

9.4.7.1.3. FID-Brennstoff und -Brennerluft

FID-Brennstoff und -Brennerluft müssen den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.1. entsprechen. Der FID-Brennstoff und die Brennerluft dürfen sich vor der Einleitung in den FID-Analysator nicht vermischen, damit sichergestellt ist, dass der FID-Analysator mit einer Diffusionsflamme und nicht mit einer Vormischflamme arbeitet.

9.4.7.1.4. Methan

FID-Analysatoren dienen zur Messung sämtlicher Kohlenwasserstoffe (THC). Zur Bestimmung von Nichtmethan-Kohlenwasserstoffen (NMHC) wird die Methankonzentration (CH₄) entweder mit einem Nichtmethan-Cutter und einem FID-Analysator gemäß Absatz 9.4.7.2. oder mit einem Gaschromatografen gemäß Absatz 9.4.7.3. ermittelt. Für einen FID-Analysator zur Ermittlung der NMHC muss der Ansprechfaktor für CH₄, der Wert RF_{CH_4} , gemäß Absatz 8.1.10.1. ermittelt werden. NMHC-bezogene Berechnungen sind in den Anlagen A.7 und A.8 erläutert.

9.4.7.1.5. Methanannahme

Anstelle einer Methanmessung ist die Annahme zulässig, dass es sich bei 2 % sämtlicher gemessenen Kohlenwasserstoffe um Methan handelt, wie in den Anlagen A.7 und A.8 ausgeführt.

9.4.7.2. Nichtmethan-Cutter

9.4.7.2.1. Anwendung

Zur Messung von CH₄ mit einem FID-Analysator kann ein Nichtmethan-Cutter verwendet werden. Ein Nichtmethan-Cutter oxidiert alle Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe zu CO₂ und H₂O. Eingesetzt werden kann ein Nichtmethan-Cutter für Rohabgas oder verdünntes Abgas bei der Stichprobenahme oder kontinuierlichen Probenahme.

9.4.7.2.2. Systemleistung

Die Leistung des Nichtmethan-Cutters ist gemäß Absatz 8.1.10.3. zu ermitteln. Die Ergebnisse dienen zur Berechnung der NMHC-Emissionen gemäß den Anlagen A.7 und A.8.

9.4.7.2.3. Beschaffenheit

Zur Durchführung der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.10.3. ist für den Nichtmethan-Cutter eine Ummehungsmöglichkeit vorzusehen.

9.4.7.2.4. Optimierung

Ein Nichtmethan-Cutter kann zur Maximierung des CH₄-Durchlasses und der Oxidation aller anderen Kohlenwasserstoffe optimiert werden. Zur Leistungsoptimierung kann eine Probe befeuchtet und vor dem Nichtmethan-Cutter mit gereinigter Luft oder Sauerstoff (O₂) verdünnt werden. Jede Befeuchtung oder Verdünnung der Probe ist in den Emissionsberechnungen zu berücksichtigen.

9.4.7.3. Gaschromatograf

Anwendung: Zur Messung der CH₄-Konzentration von verdünntem Abgas für die Entnahme von Stichproben kann ein Gaschromatograf eingesetzt werden. Während zur Messung der CH₄-Konzentration auch ein Nichtmethan-Cutter gemäß Absatz 9.4.7.2. verwendet werden kann, ist zum Vergleich mit einem gemäß Absatz 5.1.3. vorgeschlagenen alternativen Messverfahren ein Referenzverfahren unter Einsatz eines Gaschromatografen anzuwenden.

9.4.8. NO_x-Messungen

Für NO_x-Messungen sind zwei Messgeräte spezifiziert, von denen jedes eingesetzt werden kann, sofern es die in den Absätzen 9.4.8.1. bzw. 9.4.8.2. genannten Kriterien erfüllt. Der Chemilumineszenzdetektor dient als Referenzverfahren zum Vergleich mit gemäß Absatz 5.1.3. dieses Anhangs vorgeschlagenen alternativen Messverfahren.

9.4.8.1. Chemilumineszenzdetektor

9.4.8.1.1. Anwendung

Ein mit einem NO₂-NO-Konverter gekoppelter Chemilumineszenzdetektor (CLD) dient zur Messung der NO_x-Konzentration in Rohabgas oder verdünntem Abgas bei der Stichprobenahme oder kontinuierlichen Probenahme.

9.4.8.1.2. Anforderungen an Komponenten

Das CLD-basierte System muss der Überprüfung der Querempfindlichkeit gemäß Absatz 8.1.11.1. standhalten. Verwendet werden kann ein beheizter oder unbeheizter CLD, der bei normalem Luftdruck oder Unterdruck betrieben werden kann.

9.4.8.1.3. NO₂-NO-Konverter

Ein interner oder externer NO₂-NO-Konverter, der der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.11.5. standhält, wird vor dem CLD angebracht, wobei für den Konverter zur Durchführung dieser Überprüfung eine Umgehungs-möglichkeit vorzusehen ist.

9.4.8.1.4. Feuchtigkeitseinflüsse

Alle CLD-Temperaturen müssen hinreichend hoch gehalten werden, um eine Wasserkondensierung zu vermeiden. Zum Abscheiden von Feuchtigkeit aus einer Probe vor einem CLD kann eine der nachstehenden Konfigurationen eingesetzt werden:

- a) Ein CLD wird nach einem Trockner oder Kühlapparat angeschlossen, der sich hinter einem NO₂-NO-Konverter befindet, welcher der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.11.5. standhält;
- b) ein CLD wird nach einem Trockner oder thermischen Kühlapparat angeschlossen, welcher der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.11.4. standhält.

9.4.8.1.5. Ansprechzeit

Zur Verbesserung der CLD-Ansprechzeit kann ein beheizter CLD verwendet werden.

9.4.8.2. Nichtdispersiver Ultraviolettanalysator

9.4.8.2.1. Anwendung

Zur Messung der NO_x-Konzentrationen in Rohabgas oder verdünntem Abgas bei der Stichprobenahme oder kontinuierlichen Probenahme wird ein nichtdispersiver Ultraviolettanalysator (NDUV) verwendet.

9.4.8.2.2. Anforderungen an Komponenten

Das NDUV-basierte System muss der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.11.3. standhalten.

9.4.8.2.3. NO₂-NO-Konverter

Ist der NDUV-Analysator nur zur Messung von NO in der Lage, muss vor dem NDUV-Analysator ein interner oder externer NO₂-NO-Konverter, welcher der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.11.5. standhält, positioniert werden. Zur Durchführung dieser Überprüfung ist für den Konverter eine Umgehungs-möglichkeit vorzusehen.

9.4.8.2.4. Feuchtigkeitseinflüsse

Die Temperatur des NDUV muss hinreichend hoch gehalten werden, um eine Wasserkondensierung zu vermeiden, es sei denn, dass eine der nachstehenden Konfigurationen verwendet wird:

- a) Ein NDUV wird nach einem Trockner oder Kühlapparat angeschlossen, der sich hinter einem NO₂-NO-Konverter befindet, welcher der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.11.5. standhält;
- b) ein NDUV wird nach einem Trockner oder thermischen Kühlapparat angeschlossen, welcher der Überprüfung gemäß Absatz 8.1.11.4. standhält.

9.4.9. O₂-Messungen

Zur Messung der O₂-Konzentration in Rohabgas oder verdünntem Abgas bei der Stichprobenahme oder kontinuierlichen Probenahme wird ein Analysator zur paramagnetischen oder magnetopneumatischen Erfassung verwendet.

9.4.10. Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses

Zur Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses in Rohabgas bei der kontinuierlichen Probenahme kann ein Zirkonanalysator (ZrO₂) verwendet werden. Zur Berechnung des Abgasdurchsatzes gemäß den Anlagen A.7 und A.8 können O₂-Messungen mit Ansaugluft oder Messungen des Kraftstoffdurchsatzes herangezogen werden.

9.4.11. PM-Messungen mit gravimetrischer Waage

Zum Wägen der in Probenahmefiltern abgeschiedenen Netto-PM wird eine Waage verwendet.

Die Mindestauflösung der Waage muss der in Tabelle 9.3 empfohlenen Wiederholbarkeit von 0,5 Mikrogramm entsprechen oder niedriger sein. Nutzt die Waage zur Routinejustierung und Linearitätsprüfung interne Kalibriergewichte, müssen diese Kalibriergewichte den Spezifikationen gemäß Absatz 9.5.2. entsprechen.

Die Waage ist am Aufstellungsort im Hinblick auf die optimale Einschwingzeit und Stabilität zu konfigurieren.

9.5. Analysegase und Massennormale

9.5.1. Analysegase

Analysegase müssen den in diesem Abschnitt festgelegten Spezifikationen für Genauigkeit und Reinheit entsprechen.

9.5.1.1. Spezifikationen für Gase

Die nachstehenden Gasspezifikationen sind zu berücksichtigen:

- a) Zur Nullung von Messgeräten und zur Vermischung mit Kalibriergasen sind gereinigte Gase zu verwenden. Die Verunreinigung der verwendeten Gase darf den höchsten der nachstehenden Werte im Gaszylinder oder am Austritt eines Nullgasgenerators nicht überschreiten:
 - i) Verunreinigung von 2 %, gemessen bezogen auf die mittlere beim Standardwert erwartete Konzentration. Wird beispielsweise eine CO-Konzentration von 100,0 µmol/mol erwartet, wäre die Verwendung eines Nullgases mit einer CO-Verunreinigung von 2,000 µmol/mol oder weniger zulässig;
 - ii) Verunreinigung gemäß Tabelle 9.4, anwendbar für Messungen von Rohabgas oder verdünntem Abgas;
 - iii) Verunreinigung gemäß Tabelle 9.5, anwendbar für Messungen von Rohabgas.

Tabelle 9.4

Verunreinigungsgrenzwerte, anwendbar für Messungen von Rohabgas oder verdünntem Abgas [µmol/mol = ppm (3.2.)]

Bestandteil	Gereinigte synthetische Luft ^(a)	Gereinigter N ₂ ^(a)
THC (C ₁ -Äquivalent)	≤ 0,05 µmol/mol	≤ 0,05 µmol/mol
CO	≤ 1 µmol/mol	≤ 1 µmol/mol
CO ₂	≤ 10 µmol/mol	≤ 10 µmol/mol
O ₂	0,205 bis 0,215 mol/mol	≤ 2 µmol/mol
NO _x	≤ 0,02 µmol/mol	≤ 0,02 µmol/mol

^(a) Diese Reinheitsgrade müssen nicht auf internationale und/oder nationale Normen rückführbar sein.

Tabelle 9.5

Verunreinigungsgrenzwerte, anwendbar für Messungen von Rohabgas [$\mu\text{mol/mol}$ = ppm (3.2.)]

Bestandteil	Gereinigte synthetische Luft ^(*)	Gereinigter N ₂ ^(*)
THC (C ₁ -Äquivalent)	$\leq 1 \mu\text{mol/mol}$	$\leq 1 \mu\text{mol/mol}$
CO	$\leq 1 \mu\text{mol/mol}$	$\leq 1 \mu\text{mol/mol}$
CO ₂	$\leq 400 \mu\text{mol/mol}$	$\leq 400 \mu\text{mol/mol}$
O ₂	0,18 bis 0,21 mol/mol	–
NO _x	$\leq 0,1 \mu\text{mol/mol}$	$\leq 0,1 \mu\text{mol/mol}$

(*) Diese Reinheitsgrade müssen nicht auf internationale und/oder nationale Normen rückführbar sein.

- b) Die nachstehenden Gase sind mit einem FID-Analysator zu verwenden:
- i) der verwendete FID-Brennstoff muss eine H₂-Konzentration von (0,39 bis 0,41) mol/mol (Rest He) aufweisen. Das Gemisch darf nicht mehr als 0,05 $\mu\text{mol/mol}$ THC enthalten;
 - ii) die verwendete FID-Brennerluft muss den Spezifikationen für gereinigte Luft in Buchstabe a dieses Absatzes entsprechen;
 - iii) FID-Nullgas. Flammenionisationsdetektoren sind mit gereinigtem Gas zu nullen, das den Spezifikationen gemäß Buchstabe a dieses Absatzes entspricht, allerdings darf das gereinigte Gas jede beliebige O₂-Konzentration aufweisen;
 - iv) FID-Propanjustiergas. Der THC-FID ist mit Justierkonzentrationen von Propangas (C₃H₈) zu justieren und zu kalibrieren. Die Kalibrierung muss auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins (C₁) erfolgen;
 - v) FID-Methanjustiergas. Wird ein CH₄-FID immer mit einem Nichtmethan-Cutter justiert und kalibriert, ist der FID mit Justierkonzentrationen von Methangas (CH₄) zu justieren und zu kalibrieren. Die Kalibrierung muss auf der Basis der Kohlenstoffzahl Eins (C₁) erfolgen;
- c) zu verwenden sind die nachstehenden Gasgemische, wobei die Gase innerhalb von $\pm 1,0 \%$ auf den wahren Wert der anerkannten internationalen und/oder nationalen Normen oder anderer anerkannter Gasnormen rückführbar sein müssen:
- i) CH₄, Rest gereinigte synthetische Luft und/oder gereinigter N₂ (je nach Sachlage);
 - ii) C₂H₆, Rest gereinigte synthetische Luft und/oder gereinigter N₂ (je nach Sachlage);
 - iii) C₃H₈, Rest gereinigte synthetische Luft und/oder gereinigter N₂ (je nach Sachlage);
 - iv) CO, Rest gereinigter N₂;
 - v) CO₂, Rest gereinigter N₂;
 - vi) NO, Rest gereinigter N₂;
 - vii) NO₂, Rest gereinigte synthetische Luft;
 - viii) O₂, Rest gereinigter N₂;
 - ix) C₃H₈, CO, CO₂, NO, Rest gereinigter N₂;
 - x) C₃H₈, CH₄, CO, CO₂, NO, Rest gereinigter N₂;
- d) Gase anderer Spezies als die in Buchstabe c dieses Absatzes genannten (wie Methanol in Luft, das zur Ermittlung von Ansprechfaktoren eingesetzt werden kann) können verwendet werden, sofern sie innerhalb von $\pm 3,0 \%$ auf den wahren Wert der anerkannten internationalen und/oder nationalen Normen rückführbar sind und den Stabilitätsanforderungen gemäß Absatz 9.5.1.2. entsprechen;

- e) eigene Kalibriegase können mit Hilfe eines Präzisionsmischers, z. B. eines Gasteilers, zur Verdünnung von Gasen mit gereinigtem N₂ oder gereinigter synthetischer Luft erzeugt werden. Entspricht der Gasteiler den Spezifikationen gemäß Absatz 9.4.5.6. und erfüllen die vermischten Gase die Vorgaben laut den Buchstaben a und c dieses Absatzes, kann davon ausgegangen werden, dass die erzeugten Gemische den Anforderungen des vorliegenden Absatzes entsprechen.

9.5.1.2. Konzentration und Verfallsdatum

Die Konzentration eines genormten Kalibriegases und sein vom Gaslieferanten angegebenes Verfallsdatum sind aufzuzeichnen.

- a) Genormte Kalibriegase dürfen nach Ablauf des Verfallsdatums nicht mehr verwendet werden, es sei denn, dies ist gemäß Buchstabe b dieses Absatzes zulässig;
- b) Kalibriegase dürfen nach Ablauf ihres Verfallsdatums umetikettiert und verwendet werden, wenn dies im Vorhinein von der Typgenehmigungsbehörde bewilligt wird.

9.5.1.3. Übertragung von Gasen

Gase sind über Komponenten von ihrer Quelle zu den Analysatoren zu leiten, die ausschließlich für die Kontrolle und Übertragung dieser Gase reserviert sind.

Die Haltbarkeitsdauer aller Kalibriegase ist zu beachten. Das vom Hersteller angegebene Verfallsdatum der Kalibriegase ist aufzuzeichnen.

9.5.2. Massennormale

Zu verwenden sind zertifizierte, mit einer Unsicherheit von 0,1 % auf anerkannte internationale und/oder nationale Normen rückführbare Kalibriegewichte für PM-Waagen. Kalibriegewichte können von jedem Kalibrierlabor zertifiziert werden, das die Rückführbarkeit auf anerkannte internationale und/oder nationale Normen gewährleisten kann. Es ist sicherzustellen, dass die Masse des leichtesten Kalibriegewichts maximal dem Zehnfachen der Masse eines unbenutzten PM-Probenahmemediums entspricht. Aus dem Kalibrierbericht muss auch die Dichte der Gewichte hervorgehen.

Anlage A.1

(Freigehalten)

Anlage A.2

Statistiken

A.2.1. Arithmetischer Mittelwert

Der arithmetische Mittelwert $\bar{y}$ ist wie folgt zu berechnen:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (\text{A.2-1})$$

A.2.2. Standardabweichung

Die Standardabweichung für eine erwartungstreue (z. B. $N-1$) Probe σ ist wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{(N-1)}} \quad (\text{A.2-2})$$

A.2.3. Quadratischer Mittelwert

Der quadratische Mittelwert rms_y ist wie folgt zu berechnen:

$$rms_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (\text{A.2-3})$$

A.2.4. t-Test

Anhand der nachstehenden Gleichungen und Tabellen ist zu berechnen, ob die Daten einem t-Test standhalten:

a) Für einen unabhängigen t-Test ist die t-Statistik und ihre Anzahl von Freiheitsgraden ν wie folgt zu berechnen:

$$t = \frac{|\bar{y}_{ref} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{ref}^2}{N_{ref}} + \frac{\sigma_y^2}{N}}} \quad (\text{A.2-4})$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{\sigma_{ref}^2}{N_{ref}} + \frac{\sigma_y^2}{N} \right)^2}{\frac{(\sigma_{ref}^2/N_{ref})^2}{N_{ref}-1} + \frac{(\sigma_y^2/N)^2}{N-1}} \quad (\text{A.2-5})$$

b) Für einen abhängigen t-Test ist die t-Statistik und ihre Anzahl von Freiheitsgraden ν wie folgt zu berechnen, wobei zu beachten ist, dass es sich bei ε_i um die Fehler (z. B. Differenzen) zwischen jedem Paar y_{refi} und y_i handelt;

$$t = \frac{|\bar{\varepsilon}| \cdot \sqrt{N}}{\sigma_{\varepsilon}} \quad \nu = N - 1 \quad (\text{A.2-6})$$

c) Tabelle A.2.1 in diesem Absatz dient zum Abgleich der Werte t und t_{crit} bezogen auf die Anzahl der Freiheitsgrade. Liegt der Wert t niedriger als der Wert t_{crit} , hat t dem t-Test standgehalten.

Tabelle A.2.1

Kritische t-Werte bezogen auf die Anzahl der Freiheitsgrade n

n	Konfidenz	
	90 %	95 %
1	6,314	12,706
2	2,920	4,303
3	2,353	3,182
4	2,132	2,776
5	2,015	2,571
6	1,943	2,447
7	1,895	2,365

n	Konfidenz	
	90 %	95 %
8	1,860	2,306
9	1,833	2,262
10	1,812	2,228
11	1,796	2,201
12	1,782	2,179
13	1,771	2,160
14	1,761	2,145
15	1,753	2,131
16	1,746	2,120
18	1,734	2,101
20	1,725	2,086
22	1,717	2,074
24	1,711	2,064
26	1,706	2,056
28	1,701	2,048
30	1,697	2,042
35	1,690	2,030
40	1,684	2,021
50	1,676	2,009
70	1,667	1,994
100	1,660	1,984
1000+	1,645	1,960

Nicht angeführte Werte sind durch lineare Interpolation zu bestimmen.

A.2.5. F-Test

Die F-Statistik ist wie folgt zu berechnen:

$$F_y = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ref}}^2} \quad (\text{A.2-7})$$

- Für einen F-Test mit einem Konfidenzniveau von 90 % dient Tabelle 2 in diesem Absatz zum Abgleich der Werte F und $F_{\text{crit}90}$ bezogen auf $(N-1)$ und $(N_{\text{ref}}-1)$. Liegt der Wert F niedriger als der Wert $F_{\text{crit}90}$, hat F dem F-Test mit einem Konfidenzniveau von 90 % standgehalten;
- Für einen F-Test mit einem Konfidenzniveau von 95 % dient Tabelle 3 in diesem Absatz zum Abgleich der Werte F und $F_{\text{crit}95}$ bezogen auf $(N-1)$ und $(N_{\text{ref}}-1)$. Liegt der Wert F niedriger als der Wert $F_{\text{crit}95}$, hat F dem F-Test mit einem Konfidenzniveau von 95 % standgehalten.

Tabelle A.2.2

Kritische F-Werte, $F_{\text{crit}90}$ bezogen auf $N-1$ und $N_{\text{ref}}-1$ mit einem Konfidenzniveau von 90 %

N-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	1 000+
$N_{\text{ref}}-1$																			
1	39,86	49,50	53,59	55,83	57,24	58,20	58,90	59,43	59,85	60,19	60,70	61,22	61,74	62,00	62,26	62,52	62,79	63,06	63,32
2	8,526	9,000	9,162	9,243	9,293	9,326	9,349	9,367	9,381	9,392	9,408	9,425	9,441	9,450	9,458	9,466	9,475	9,483	9,491
3	5,538	5,462	5,391	5,343	5,309	5,285	5,266	5,252	5,240	5,230	5,216	5,200	5,184	5,176	5,168	5,160	5,151	5,143	5,134

N-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	1 000+
4	4,545	4,325	4,191	4,107	4,051	4,010	3,979	3,955	3,936	3,920	3,896	3,870	3,844	3,831	3,817	3,804	3,790	3,775	3,761
5	4,060	3,780	3,619	3,520	3,453	3,405	3,368	3,339	3,316	3,297	3,268	3,238	3,207	3,191	3,174	3,157	3,140	3,123	3,105
6	3,776	3,463	3,289	3,181	3,108	3,055	3,014	2,983	2,958	2,937	2,905	2,871	2,836	2,818	2,800	2,781	2,762	2,742	2,722
7	3,589	3,257	3,074	2,961	2,883	2,827	2,785	2,752	2,725	2,703	2,668	2,632	2,595	2,575	2,555	2,535	2,514	2,493	2,471
8	3,458	3,113	2,924	2,806	2,726	2,668	2,624	2,589	2,561	2,538	2,502	2,464	2,425	2,404	2,383	2,361	2,339	2,316	2,293
9	3,360	3,006	2,813	2,693	2,611	2,551	2,505	2,469	2,440	2,416	2,379	2,340	2,298	2,277	2,255	2,232	2,208	2,184	2,159
10	3,285	2,924	2,728	2,605	2,522	2,461	2,414	2,377	2,347	2,323	2,284	2,244	2,201	2,178	2,155	2,132	2,107	2,082	2,055
11	3,225	2,860	2,660	2,536	2,451	2,389	2,342	2,304	2,274	2,248	2,209	2,167	2,123	2,100	2,076	2,052	2,026	2,000	1,972
12	3,177	2,807	2,606	2,480	2,394	2,331	2,283	2,245	2,214	2,188	2,147	2,105	2,060	2,036	2,011	1,986	1,960	1,932	1,904
13	3,136	2,763	2,560	2,434	2,347	2,283	2,234	2,195	2,164	2,138	2,097	2,053	2,007	1,983	1,958	1,931	1,904	1,876	1,846
14	3,102	2,726	2,522	2,395	2,307	2,243	2,193	2,154	2,122	2,095	2,054	2,010	1,962	1,938	1,912	1,885	1,857	1,828	1,797
15	3,073	2,695	2,490	2,361	2,273	2,208	2,158	2,119	2,086	2,059	2,017	1,972	1,924	1,899	1,873	1,845	1,817	1,787	1,755
16	3,048	2,668	2,462	2,333	2,244	2,178	2,128	2,088	2,055	2,028	1,985	1,940	1,891	1,866	1,839	1,811	1,782	1,751	1,718
17	3,026	2,645	2,437	2,308	2,218	2,152	2,102	2,061	2,028	2,001	1,958	1,912	1,862	1,836	1,809	1,781	1,751	1,719	1,686
18	3,007	2,624	2,416	2,286	2,196	2,130	2,079	2,038	2,005	1,977	1,933	1,887	1,837	1,810	1,783	1,754	1,723	1,691	1,657
19	2,990	2,606	2,397	2,266	2,176	2,109	2,058	2,017	1,984	1,956	1,912	1,865	1,814	1,787	1,759	1,730	1,699	1,666	1,631
20	2,975	2,589	2,380	2,249	2,158	2,091	2,040	1,999	1,965	1,937	1,892	1,845	1,794	1,767	1,738	1,708	1,677	1,643	1,607
21	2,961	2,575	2,365	2,233	2,142	2,075	2,023	1,982	1,948	1,920	1,875	1,827	1,776	1,748	1,719	1,689	1,657	1,623	1,586
20	2,949	2,561	2,351	2,219	2,128	2,061	2,008	1,967	1,933	1,904	1,859	1,811	1,759	1,731	1,702	1,671	1,639	1,604	1,567
23	2,937	2,549	2,339	2,207	2,115	2,047	1,995	1,953	1,919	1,890	1,845	1,796	1,744	1,716	1,686	1,655	1,622	1,587	1,549
24	2,927	2,538	2,327	2,195	2,103	2,035	1,983	1,941	1,906	1,877	1,832	1,783	1,730	1,702	1,672	1,641	1,607	1,571	1,533
25	2,918	2,528	2,317	2,184	2,092	2,024	1,971	1,929	1,895	1,866	1,820	1,771	1,718	1,689	1,659	1,627	1,593	1,557	1,518
26	2,909	2,519	2,307	2,174	2,082	2,014	1,961	1,919	1,884	1,855	1,809	1,760	1,706	1,677	1,647	1,615	1,581	1,544	1,504
27	2,901	2,511	2,299	2,165	2,073	2,005	1,952	1,909	1,874	1,845	1,799	1,749	1,695	1,666	1,636	1,603	1,569	1,531	1,491
28	2,894	2,503	2,291	2,157	2,064	1,996	1,943	1,900	1,865	1,836	1,790	1,740	1,685	1,656	1,625	1,593	1,558	1,520	1,478
29	2,887	2,495	2,283	2,149	2,057	1,988	1,935	1,892	1,857	1,827	1,781	1,731	1,676	1,647	1,616	1,583	1,547	1,509	1,467
30	2,881	2,489	2,276	2,142	2,049	1,980	1,927	1,884	1,849	1,819	1,773	1,722	1,667	1,638	1,606	1,573	1,538	1,499	1,456
40	2,835	2,440	2,226	2,091	1,997	1,927	1,873	1,829	1,793	1,763	1,715	1,662	1,605	1,574	1,541	1,506	1,467	1,425	1,377
60	2,791	2,393	2,177	2,041	1,946	1,875	1,819	1,775	1,738	1,707	1,657	1,603	1,543	1,511	1,476	1,437	1,395	1,348	1,291
120	2,748	2,347	2,130	1,992	1,896	1,824	1,767	1,722	1,684	1,652	1,601	1,545	1,482	1,447	1,409	1,368	1,320	1,265	1,193
1 000+	2,706	2,303	2,084	1,945	1,847	1,774	1,717	1,670	1,632	1,599	1,546	1,487	1,421	1,383	1,342	1,295	1,240	1,169	1,000

Tabelle A.2.3

Kritische F-Werte, $F_{\text{crit}95}$ bezogen auf N-1 und $N_{\text{ref}}-1$ mit einem Konfidenzniveau von 95 %

N-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	1 000+
$N_{\text{ref}}-1$																			
1	161,4	199,5	215,7	224,5	230,1	233,9	236,7	238,8	240,5	241,8	243,9	245,9	248,0	249,0	250,1	251,1	252,2	253,2	254,3

N-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	1 000+
2	18,51	19,00	19,16	19,24	19,29	19,33	19,35	19,37	19,38	19,39	19,41	19,42	19,44	19,45	19,46	19,47	19,47	19,48	19,49
3	10,12	9,552	9,277	9,117	9,014	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,745	8,703	8,660	8,639	8,617	8,594	8,572	8,549	8,526
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,912	5,858	5,803	5,774	5,746	5,717	5,688	5,658	5,628
5	6,608	5,786	5,410	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,773	4,735	4,678	4,619	4,558	4,527	4,496	4,464	4,431	4,399	4,365
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,000	3,938	3,874	3,842	3,808	3,774	3,740	3,705	3,669
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,575	3,511	3,445	3,411	3,376	3,340	3,304	3,267	3,230
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,688	3,581	3,501	3,438	3,388	3,347	3,284	3,218	3,150	3,115	3,079	3,043	3,005	2,967	2,928
9	5,117	4,257	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,073	3,006	2,937	2,901	2,864	2,826	2,787	2,748	2,707
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,136	3,072	3,020	2,978	2,913	2,845	2,774	2,737	2,700	2,661	2,621	2,580	2,538
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,788	2,719	2,646	2,609	2,571	2,531	2,490	2,448	2,405
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,687	2,617	2,544	2,506	2,466	2,426	2,384	2,341	2,296
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,604	2,533	2,459	2,420	2,380	2,339	2,297	2,252	2,206
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,534	2,463	2,388	2,349	2,308	2,266	2,223	2,178	2,131
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,791	2,707	2,641	2,588	2,544	2,475	2,403	2,328	2,288	2,247	2,204	2,160	2,114	2,066
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,425	2,352	2,276	2,235	2,194	2,151	2,106	2,059	2,010
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,381	2,308	2,230	2,190	2,148	2,104	2,058	2,011	1,960
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,342	2,269	2,191	2,150	2,107	2,063	2,017	1,968	1,917
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,308	2,234	2,156	2,114	2,071	2,026	1,980	1,930	1,878
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,278	2,203	2,124	2,083	2,039	1,994	1,946	1,896	1,843
21	4,325	3,467	3,073	2,840	2,685	2,573	2,488	2,421	2,366	2,321	2,250	2,176	2,096	2,054	2,010	1,965	1,917	1,866	1,812
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,226	2,151	2,071	2,028	1,984	1,938	1,889	1,838	1,783
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,204	2,128	2,048	2,005	1,961	1,914	1,865	1,813	1,757
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,183	2,108	2,027	1,984	1,939	1,892	1,842	1,790	1,733
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,237	2,165	2,089	2,008	1,964	1,919	1,872	1,822	1,768	1,711
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,266	2,220	2,148	2,072	1,990	1,946	1,901	1,853	1,803	1,749	1,691
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,132	2,056	1,974	1,930	1,884	1,836	1,785	1,731	1,672
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,118	2,041	1,959	1,915	1,869	1,820	1,769	1,714	1,654
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,105	2,028	1,945	1,901	1,854	1,806	1,754	1,698	1,638
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,092	2,015	1,932	1,887	1,841	1,792	1,740	1,684	1,622
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,450	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,004	1,925	1,839	1,793	1,744	1,693	1,637	1,577	1,509
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,917	1,836	1,748	1,700	1,649	1,594	1,534	1,467	1,389
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,911	1,834	1,751	1,659	1,608	1,554	1,495	1,429	1,352	1,254
1 000+	3,842	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,752	1,666	1,571	1,517	1,459	1,394	1,318	1,221	1,000

A.2.6. Steigung

Die Steigung der Regressionsgeraden a_{1y} ist nach der Fehlerquadratmethode wie folgt zu berechnen:

$$a_{1y} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \cdot (y_{\text{ref}i} - \bar{y}_{\text{ref}})}{\sum_{i=1}^N (y_{\text{ref}i} - \bar{y}_{\text{ref}})^2} \quad (\text{A.2-8})$$

A.2.7. Achsabschnitt

Der Achsabschnitt der Regressionsgeraden a_{0y} ist nach der Fehlerquadratmethode wie folgt zu berechnen:

$$a_{0y} = \bar{y} - (a_{1y} \cdot \bar{y}_{\text{ref}}) \quad (\text{A.2-9})$$

A.2.8. Standardfehler des Schätzwerts

Der Standardfehler des Schätzwerts SEE ist wie folgt zu berechnen:

$$SEE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{\text{ref}i})]^2}{N - 2}} \quad (\text{A.2-10})$$

A.2.9. Bestimmungskoeffizient

Der Bestimmungskoeffizient r^2 ist wie folgt zu berechnen:

$$r_y^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{\text{ref}i})]^2}{\sum_{i=1}^N [y_i - \bar{y}]^2} \quad (\text{A.2-11})$$

Anlage A.3

Internationale Schwereformel von 1980

Die Erdbeschleunigung a_g unterscheidet sich abhängig vom jeweiligen Ort. a_g ist für den entsprechenden Breitengrad wie folgt zu berechnen:

$$a_g = 9,7803267715 [1 + 5,2790414 \times 10^{-3} \sin^2 \vartheta + 2,32718 \times 10^{-5} \sin^4 \vartheta + 1,262 \times 10^{-7} \sin^6 \vartheta + 7 \times 10^{-10} \sin^8 \vartheta] \quad (\text{A.3-1})$$

Dabei gilt:

ϑ = Grad nördlicher oder südlicher Breite

Anlage A.4

Prüfung des Kohlenstoffdurchsatzes**A.4.1. Einführung**

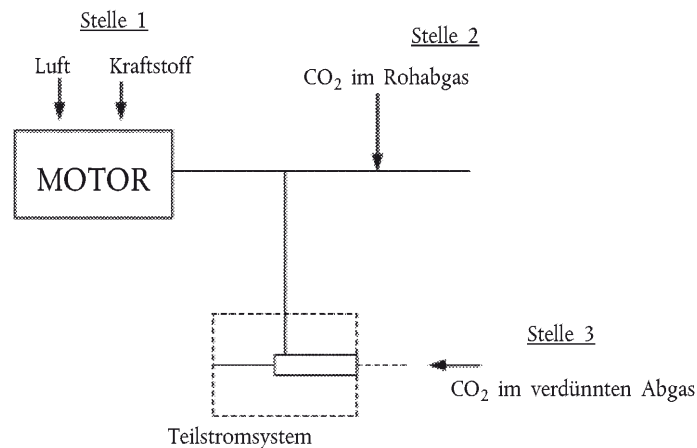
Bis auf einen winzigen Teil stammt der gesamte Kohlenstoff im Abgas aus dem Kraftstoff und bis auf einen minimalen Anteil ist er im Abgas als CO₂ feststellbar. Dies bildet die Grundlage für eine Überprüfung des Systems anhand von CO₂-Messungen.

Der Kohlenstoffdurchsatz in die Abgasmesssysteme hinein wird aufgrund des Kraftstoffdurchsatzes ermittelt. An mehreren Probenahmestellen innerhalb der Probenahmesysteme für Emissionen und Partikel wird der Kohlenstoffdurchsatz anhand der CO₂-Konzentrationen und der Gasdurchsätze an diesen Stellen bestimmt.

Demzufolge stellt der Motor eine bekannte Quelle eines Kohlenstoffdurchsatzes dar, und die Beobachtung dieses Kohlenstoffdurchsatzes im Auspuffrohr und am Austritt des Teilstrom-PM-Probenahmesystems ermöglicht die Überprüfung auf Leckdichtigkeit und Genauigkeit der Durchsatzmessung. Diese Prüfung hat den Vorteil, dass die Komponenten hinsichtlich Temperatur und Durchsatz unter tatsächlichen Motorprüfbedingungen arbeiten.

In der nachstehenden Abbildung A.4.1 sind die Probenahmestellen eingetragen, an denen die Kohlenstoffdurchsätze zu prüfen sind. Die spezifischen Gleichungen für die Kohlenstoffdurchsätze an jeder der Probenahmestellen werden im Folgenden angegeben.

Abbildung A.4.1

Messstellen für die Überprüfung des Kohlenstoffdurchsatzes**A.4.2. Kohlenstoffdurchsatz am Motoreintritt (Stelle 1)**

Der Kohlenstoff-Massendurchsatz in den Motor q_{mCf} [kg/s] für einen Kraftstoff CH_aO_e ist wie folgt zu berechnen:

$$q_{mCf} = \frac{12.011}{12.011 + a + 15.9994 \cdot e} \cdot q_{mf} \quad (\text{A.4-1})$$

Dabei gilt:

$$q_{mf} = \text{Kraftstoff-Massendurchsatz [kg/s]}$$

A.4.3. Kohlenstoffdurchsatz im Rohabgas (Stelle 2)

Der Kohlenstoff-Massendurchsatz im Auspuffrohr des Motors q_{mCe} [kg/s] wird aus der Konzentration des rohen CO₂ und dem Massendurchsatz des Abgases bestimmt:

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{\text{CO}_2,r} - c_{\text{CO}_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12.011}{M_e} \quad (\text{A.4-2})$$

Dabei gilt:

$c_{\text{CO}_2,r}$ = Konzentration des feuchten CO_2 im Rohabgas [%]

$c_{\text{CO}_2,a}$ = Konzentration des feuchten CO_2 in der Umgebungsluft [%]

q_{mew} = Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

M_e = Molmasse des Abgases [g/mol]

Wird die CO_2 -Konzentration für den trockenen Bezugzustand gemessen, so ist sie gemäß Absatz A.7.3.2. oder A.8.2.2. in den feuchten Bezugzustand umzurechnen.

A.4.4. Kohlenstoffdurchsatz im Verdünnungssystem (Stelle 3)

Bei einem Teilstrom-Verdünnungssystem ist auch das Teilungsverhältnis zu berücksichtigen. Der Kohlenstoffdurchsatz in einem äquivalenten Verdünnungssystem q_{mCp} [kg/s] (d. h. einem zu einem Vollstromsystem äquivalenten System, in dem der Gesamtdurchsatz verdünnt wird) wird aus der verdünnten CO_2 -Konzentration, dem Massendurchsatz des Abgases und dem Probendurchsatz bestimmt; mit Ausnahme des Verdünnungsfaktors q_{mdew}/q_{mp} entspricht die neue Gleichung der Gleichung (A.4-2).

$$q_{mCp} = \left(\frac{c_{\text{CO}_2,d} - c_{\text{CO}_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12,011}{M_e} \cdot \frac{q_{mdew}}{q_{mp}} \quad (\text{A.4-3})$$

Dabei gilt:

$c_{\text{CO}_2,d}$ = Konzentration des feuchten CO_2 im verdünnten Abgas am Austritt des Verdünnungstunnels [%]

$c_{\text{CO}_2,a}$ = Konzentration des feuchten CO_2 in der Umgebungsluft [%]

q_{mdew} = Durchsatz der verdünnten Probe im Teilstrom-Verdünnungssystem [kg/s]

q_{mew} = Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

q_{mp} = Probendurchsatz des Abgases in das Teilstrom-Verdünnungssystem [kg/s]

M_e = Molmasse des Abgases [g/mol]

Wird die CO_2 -Konzentration für den trockenen Bezugzustand gemessen, so ist sie gemäß Absatz A.7.3.2. oder A.8.2.2. dieses Anhangs in den feuchten Bezugzustand umzurechnen.

A.4.5. Berechnung der Molmasse des Abgases

Die Molmasse des Abgases ist gemäß Gleichung (A.8-15) in Absatz A.8.2.4.2. zu berechnen.

Alternativ kann mit folgenden Molmassen des Abgases gerechnet werden:

M_e (Diesel) = 28,9 g/mol

Anlage A.5

(Reserviert)

Anlage A.6

(Reserviert)

Anlage A.7

Molbasierte Emissionsberechnungen

A.7.0. Konvertierung von Symbolen

A.7.0.1. Allgemeine Symbole

Anlage A.7 ⁽¹⁾	Anlage A.8	Einheit	Messgröße
A		m^2	Fläche
A_t		m^2	Querschnitt der Venturieinschnürung
a_0	b, D_0	n. f. ⁽²⁾	y-Achsabschnitt der Regressionsgeraden, Achsenabschnitt der PDP-Kalibrierfunktion
a_1	m	n. f. ⁽²⁾	Steigung der Regressionsgeraden
β	r_D	m/m	Durchmesserverhältnis
C		—	Koeffizient
C_d	C_d	—	Durchflusskoeffizient
C_f		—	Durchsatzkoeffizient
d	d	m	Durchmesser
DR	r_d	—	Verdünnungsverhältnis ⁽²⁾
e	e	g/kWh	Bremsspezifische Basis
e_{gas}	e_{gas}	g/kWh	Spezifische Emission gasförmiger Bestandteile
e_{PM}	e_{PM}	g/kWh	Spezifische Emission von Partikeln
f		Hz	Frequenz
f_n	n	$\text{min}^{-1}, \text{s}^{-1}$	Drehfrequenz (Kurbelwelle)
γ		—	Spezifisches Wärmeverhältnis
K			Korrekturfaktor
K_s	X_0	s/rev	Korrekturfaktor für PDP-Verlust
k_{Dr}	k_{Dr}	—	Abwärtswirksamer Anpassungsfaktor
	k_h		Feuchtigkeitskorrekturfaktor für NO_x
k_r	k_r	—	Multiplikativer Regenerierungsfaktor
k_{Ur}	k_{Ur}	—	Aufwärtswirksamer Anpassungsfaktor
μ	μ	$\text{kg/(m}\cdot\text{s)}$	Dynamische Viskosität
M	M	g/mol	Molmasse ⁽³⁾
$M_{\text{gas}}^{(4)}$	M_{gas}	g/mol	Molmasse der gasförmigen Bestandteile
m	m	kg	Masse

Anlage A.7 ⁽¹⁾	Anlage A.8	Einheit	Messgröße
$\dot{m}$	q_m	kg/s	Massendurchsatz
ν		m ² /s	Kinematische Viskosität
N			Gesamtanzahl in der Reihe
n		mol	Stoffmenge
$\dot{n}$		mol/s	Stoffdurchsatz
P	P	kW	Leistung
p	p	kPa	Druck
p_{abs}	p_p	kPa	Absoluter Druck
$p_{\text{H}_2\text{O}}$	p_r	kPa	Wasserdampfdruck
PF	$1 - E$	%	Durchlassanteil (E = Umwandlungseffizienz)
$\dot{V}$	q_v	m ³ /s	Volumendurchsatz
ρ	ρ	kg/m ³	Massendichte
r		—	Druckverhältnis
R_a		µm	Durchschnittliche Rauheit der Oberfläche
$Re^\#$	Re	—	Reynolds-Zahl
$RH\%$	RH	%	Relative Luftfeuchtigkeit
σ	σ	—	Standardabweichung
S		K	Sutherland-Konstante
T	T_a	K	Absolute Temperatur
T	T	°C	Temperatur
T		N·m	Motordrehmoment
t	t	s	Zeit
Δt	Δt	s	Zeitintervall
V	V	m ³	Volumen
$\dot{V}$	q_v	m ³ /s	Volumendurchsatz
W	W	kWh	Arbeit
W_{act}	W_{act}	kWh	Tatsächliche Zyklusarbeit des Prüfzyklus
WF	WF	—	Wichtungsfaktor
w	w	g/g	Massenfraction

Anlage A.7 ⁽¹⁾	Anlage A.8	Einheit	Messgröße
X ⁽⁵⁾	c	mol/mol, Volumenprozent	Molfraktion der Stoffmenge (%) / Konzentration (auch in $\mu\text{mol/mol}$ = ppm)
$\bar{x}$		mol/mol	Nach Durchsatz gewichtete mittlere Konzentration
y		—	Allgemeine Variable
$\bar{y}$		—	Arithmetischer Mittelwert
Z		—	Kompressibilitätsfaktor

⁽¹⁾ Siehe tiefgestellte Indizes, z. B.: $\dot{m}_{\text{air}}$ für Trockenluft-Massendurchsatz oder $\dot{m}_{\text{fuel}}$ für Kraftstoff-Massendurchsatz.

⁽²⁾ Verdünnungsverhältnis r_d in Anlage A.8 und DR in Anlage A.7: unterschiedliche Symbole bei gleicher Bedeutung und identischen Gleichungen. Verdünnungsfaktor D in Anlage A.8 und $x_{\text{dil/exh}}$ in Anlage A.7: unterschiedliche Symbole bei gleicher physikalischer Bedeutung; Gleichung (A.7-47) bildet die Beziehung zwischen $x_{\text{dil/exh}}$ und DR ab.

⁽³⁾ Siehe Absatz A.7.1.1. dieses Abschnitts für die Werte, die für die Molmassen zu verwenden sind. Bei NO_x und HC sind in den Verordnungen effektive Molmassen auf der Grundlage einer angenommenen Spezierung anstelle einer tatsächlichen Spezierung angegeben.

⁽⁴⁾ Siehe Symbole und Abkürzungen für die chemischen Bestandteile.

⁽⁵⁾ Siehe spezifische Symbole in der Tabelle zum chemischen Gleichgewicht.

⁽⁶⁾ Die Molfraktionen für THC und NMHC werden als C1-Äquivalente ausgedrückt.

⁽⁷⁾ n. f. = noch festzulegen.

A.7.0.2. Tiefgestellte Indizes

Anlage A.7	Anlage A.8 ⁽¹⁾	Messgröße
abs		Absolute Größe
act	act	Tatsächliche Größe
air		Luft, trocken
atmos		Atmosphärisch
bkgnd		Hintergrund
C		Kohlenstoff
cal		Kalibrierte Größe
CFV		Venturirohr mit kritischer Strömung
cor		Korrigierte Größe
dil		Verdünnungsluft
dexh		Verdünntes Abgas
dry		Trockene Größe
exh		Rohabgas
exp		Erwartete Größe
eq		Äquivalente Größe
fuel		Kraftstoff
	i	Momentanmessung (z. B.: 1 Hz)
i		Einzelwert einer Reihe

Anlage A.7	Anlage A.8 ⁽¹⁾	Messgröße
idle		Zustand im Leerlauf
in		Eintrittsgröße
init		Ausgangsgröße, in der Regel vor einer Emissionsprüfung
max		Maximalwert (d. h. Spitzenwert)
meas		Gemessene Größe
min		Mindestwert
mix		Molmasse von Luft
out		Austrittsgröße
part		Teilgröße
PDP		Verdrängerpumpe
raw		Rohabgas
ref		Bezugsgröße
rev		Umdrehung
sat		Gesättigter Zustand
slip		PDP-Verlust
smpl		Probenahme
span		Justiergröße
SSV		Venturirohr mit subsonischer Strömung
std		Standardgröße
test		Prüfgröße
total		Gesamtgröße
uncor		Nicht korrigierte Größe
vac		Unterdruckgröße
weight		Kalibriergewicht
wet		Feuchte Größe
zero		Nullgröße

(¹) In Anlage A.8 wird die Bedeutung tiefgestellter Indizes durch die zugehörige Größe bestimmt; beispielsweise kann der tiefgestellte Index „d“ in „c_d“ = Konzentration in trockenem Bezugszustand“ für trocken stehen, in „p_d“ = Sättigungsdampfdruck der Verdünnungsluft“ oder „k_{w,d}“ = Korrekturfaktor für die Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand der Verdünnungsluft“ für Verdünnungsluft oder in „r_d“ für Verdünnungsverhältnis. Aus diesem Grund ist die Spalte für Anlage A.8 beinahe leer.

A.7.0.3. Symbole und Abkürzungen für die chemischen Bestandteile (auch als tiefgestellte Indizes verwendet)

Anlage A.7	Anlage A.8	Messgröße
Ar	Ar	Argon
C1	C1	C1-äquivalenter Kohlenwasserstoff
CH ₄	CH ₄	Methan
C ₂ H ₆	C ₂ H ₆	Ethan
C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	Propan
CO	CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	CO ₂	Kohlendioxid
DOP	DOP	Diethylphthalat
H		Atomarer Wasserstoff
H ₂		Molekularer Wasserstoff
HC	HC	Kohlenwasserstoff
H ₂ O	H ₂ O	Wasser
He		Helium
N		Atomarer Stickstoff
N ₂		Molekularer Stickstoff
NMHC	NMHC	Nichtmethan-Kohlenwasserstoff
NO _x	NO _x	Stickstoffoxide
NO	NO	Stickoxid
NO ₂	NO ₂	Stickstoffdioxid
O		Atomarer Sauerstoff
PM	PM	Partikelmaterie
S		Schwefel

A.7.0.4. Symbole und Abkürzungen für die Kraftstoffzusammensetzung

Anlage A.7 ⁽¹⁾	Anlage A.8 ⁽²⁾	Messgröße
w _C ⁽⁴⁾	w _C ⁽⁴⁾	Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenfraction [g/g] oder [Massenprozent]
w _H	w _H	Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenfraction [g/g] oder [Massenprozent]
w _N	w _N	Stickstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenfraction [g/g] oder [Massenprozent]

Anlage A.7 ⁽¹⁾	Anlage A.8 ⁽²⁾	Messgröße
w_O	w_O	Sauerstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenfraktion [g/g] oder [Massenprozent]
w_S	w_S	Schwefelgehalt des Kraftstoffs, Massenfraktion [g/g] oder [Massenprozent]
α	α	Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (H/C)
β	ε	Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (O/C) ⁽³⁾
γ	γ	Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis (S/C)
δ	δ	Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (N/C)

⁽¹⁾ Bezugnahme auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel $CH_aO_\beta S_\gamma N_\delta$.

⁽²⁾ Bezugnahme auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel $CH_aO_\varepsilon N_\delta S_\gamma$.

⁽³⁾ Besonderes Augenmerk ist auf die unterschiedlichen Bedeutungen des Symbols β in den beiden Anlagen zur Emissionsberechnung zu legen: In Anlage A.8 wird damit auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel $CH_aS_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ (d. h. der Formel $C_\beta H_a S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$, wobei $\beta = 1$, wenn von einem Kohlenstoffatom pro Molekül ausgegangen wird) Bezug genommen, während in Anlage A.7 bei $CH_aO_\beta S_\gamma N_\delta$ das Sauerstoff-Kohlenstoff-Verhältnis gemeint ist. Unter diesen Umständen entspricht β in Anlage A.7 ε in Anlage A.8.

⁽⁴⁾ Massenfraktion w in Verbindung mit dem tiefgestellten Symbol des chemischen Bestandteils.

A.7.0.5. In Anlage A.7 verwendete Symbole für das chemische Gleichgewicht

$x_{dil/exh}$	= Menge an Verdünnungsgas oder Luftüberschuss pro Mol Abgas
x_{H_2Oexh}	= Wassermenge im Abgas pro Mol Abgas
$x_{Ccombdry}$	= Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas
$x_{H_2Oexhdry}$	= Wassermenge im Abgas pro Trockenmol trockenes Abgas
$x_{prod/intdry}$	= Menge an trockenen stöchiometrischen Produkten pro Trockenmol Ansaugluft
$x_{dil/exhdry}$	= Menge an Verdünnungsgas und/oder Luftüberschuss pro Mol trockenes Abgas
$x_{int/exhdry}$	= Menge der zur Erzeugung tatsächlicher Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas
$x_{raw/exhdry}$	= Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas
$x_{O_2intdry}$	= Menge an O_2 in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft
$x_{CO_2intdry}$	= Menge an CO_2 in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft
$x_{H_2Ointdry}$	= Menge an H_2O in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft
x_{CO_2int}	= Menge an CO_2 in der Ansaugluft pro Mol Ansaugluft
x_{CO_2dil}	= Menge an CO_2 im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas
$x_{CO_2dildry}$	= Menge an CO_2 im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas
$x_{H_2Odildry}$	= Menge an H_2O im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas
x_{H_2Odil}	= Menge an H_2O im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas
$x_{[emission]meas}$	= Menge der gemessenen Emission in der Probe am jeweiligen Gasanalysator
$x_{[emission]dry}$	= Emissionsmenge pro Trockenmol der trockenen Probe
$x_{H_2O[emission]meas}$	= Wassermenge in der Probe am Ort der Emissionsbestimmung
x_{H_2Oint}	= Wassermenge in der Ansaugluft auf der Grundlage einer Feuchtigkeitsmessung der Ansaugluft

A.7.1. Grundlegende Parameter und Beziehungen

A.7.1.1. Trockenluft und chemische Spezies

In dieser Anlage werden für die Zusammensetzung der Trockenluft die folgenden Werte verwendet:

$$x_{\text{O2airdry}} = 0,209445 \text{ mol/mol}$$

$$x_{\text{CO2airdry}} = 0,000375 \text{ mol/mol}$$

In dieser Anlage werden die folgenden Molmassen oder effektiven Molmassen von chemischen Spezies verwendet:

$$M_{\text{air}} = 28,96559 \text{ g/mol (Trockenluft)}$$

$$M_{\text{Ar}} = 39,948 \text{ g/mol (Argon)}$$

$$M_{\text{C}} = 12,0107 \text{ g/mol (Kohlenstoff)}$$

$$M_{\text{CO}} = 28,0101 \text{ g/mol (Kohlenmonoxid)}$$

$$M_{\text{CO2}} = 44,0095 \text{ g/mol (Kohlendioxid)}$$

$$M_{\text{H}} = 1,00794 \text{ g/mol (atomarer Wasserstoff)}$$

$$M_{\text{H2}} = 2,01588 \text{ g/mol (molekularer Wasserstoff)}$$

$$M_{\text{H2O}} = 18,01528 \text{ g/mol (Wasser)}$$

$$M_{\text{He}} = 4,002602 \text{ g/mol (Helium)}$$

$$M_{\text{N}} = 14,0067 \text{ g/mol (atomarer Stickstoff)}$$

$$M_{\text{N2}} = 28,0134 \text{ g/mol (molekularer Stickstoff)}$$

$$M_{\text{NMHC}} = 13,875389 \text{ g/mol (Nichtmethan-Kohlenwasserstoff ^(a))}$$

$$M_{\text{NOx}} = 46,0055 \text{ g/mol (Stickstoffoxide ^(b))}$$

$$M_{\text{O}} = 15,9994 \text{ g/mol (atomarer Sauerstoff)}$$

$$M_{\text{O2}} = 31,9988 \text{ g/mol (molekularer Sauerstoff)}$$

$$M_{\text{C3H8}} = 44,09562 \text{ g/mol (Propan)}$$

$$M_{\text{S}} = 32,065 \text{ g/mol (Schwefel)}$$

$$M_{\text{THC}} = 13,875389 \text{ g/mol (sämtliche Kohlenwasserstoffe ^(a))}$$

^(a) Die effektiven Molmassen von THC und NMHC sind durch ein Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis α von 1,85 definiert;

^(b) Die effektive Molmasse von NO_x ist durch die Molmasse von Stickstoffdioxid (NO_2) definiert.

In dieser Anlage wird die folgende molare Gaskonstante R für ideale Gase verwendet:

$$R = 8,314472 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

In dieser Anlage werden die folgenden spezifischen Wärmeverhältnisse γ [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]/[$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] für Verdünnungsluft und verdünntes Abgas verwendet:

$$\gamma_{\text{air}} = 1,399 \text{ (spezifisches Wärmeverhältnis für Ansaugluft oder Verdünnungsluft)}$$

$$\gamma_{\text{dil}} = 1,399 \text{ (spezifisches Wärmeverhältnis für verdünntes Abgas)}$$

$$\gamma_{\text{dil}} = 1,385 \text{ (spezifisches Wärmeverhältnis für Rohabgas)}$$

A.7.1.2. Feuchte Luft

In diesem Abschnitt wird die Ermittlung der Wassermenge in einem idealen Gas beschrieben:

A.7.1.2.1. Dampfdruck von Wasser

Der Dampfdruck von Wasser $p_{\text{H}_2\text{O}}$ [kPa] für bestimmte Sättigungstemperaturbedingungen T_{sat} [K] ist wie folgt zu berechnen:

- a) Für Feuchtigkeitsmessungen bei Umgebungstemperaturen von 0 bis 100 °C oder bei Feuchtigkeitsmessungen über unterkühltem Wasser bei Umgebungstemperaturen von – 50 ° bis 0 °C:

$$\begin{aligned} \log_{10}(p_{\text{H}_2\text{O}}) = & 10,79574 \cdot \left(1 - \frac{273,16}{T_{\text{sat}}}\right) - 5,02800 \cdot \log_{10}\left(\frac{T_{\text{sat}}}{273,16}\right) + \\ & 1,50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - 10^{-8,2969 \cdot \left(\frac{T_{\text{sat}}}{273,16} - 1\right)}\right) + 0,42873 \cdot 10^{-3} \cdot \\ & \left(10^{4,76955 \cdot \left(1 - \frac{273,16}{T_{\text{sat}}}\right) - 1}\right) - 0,2138602 \end{aligned} \quad (\text{A.7-1})$$

Dabei gilt:

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ = Dampfdruck von Wasser bei Sättigungstemperaturbedingungen [kPa]

T_{sat} = Sättigungstemperatur von Wasser bei gemessenen Bedingungen [K]

- b) Bei Feuchtigkeitsmessungen über Eis bei Umgebungstemperaturen von (– 100 bis 0) °C:

$$\begin{aligned} \log_{10}(p_{\text{sat}}) = & -9,096853 \cdot \left(\frac{273,16}{T_{\text{sat}}} - 1\right) - 3,566506 \cdot \log_{10}\left(\frac{273,16}{T_{\text{sat}}}\right) + 0,876812 \cdot \\ & \left(1 - \frac{T_{\text{sat}}}{273,16}\right) - 0,2138602 \end{aligned} \quad (\text{A.7-2})$$

Dabei gilt:

T_{sat} = Sättigungstemperatur von Wasser bei gemessenen Bedingungen [K]

A.7.1.2.2. Taupunkt

Wird Feuchtigkeit als Taupunkt gemessen, wird die Wassermenge in einem idealen Gas $x_{\text{H}_2\text{O}}$ [mol/mol] wie folgt berechnet:

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{abs}}} \quad (\text{A.7-3})$$

Dabei gilt:

$x_{\text{H}_2\text{O}}$ = Wassermenge in einem idealen Gas [mol/mol]

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ = Dampfdruck von Wasser am gemessenen Taupunkt, $T_{\text{sat}}=T_{\text{dew}}$ [kPa]

p_{abs} = absoluter feuchter statischer Druck am Ort der Taupunktmessung [kPa]

A.7.1.2.3. Relative Feuchtigkeit

Wird Feuchtigkeit als relative Luftfeuchtigkeit RH% gemessen, wird die Wassermenge in einem idealen Gas $x_{\text{H}_2\text{O}}$ [mol/mol] wie folgt berechnet:

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{RH}\%}{100} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{abs}}} \quad (\text{A.7-4})$$

Dabei gilt:

RH% = relative Feuchtigkeit [%]

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ = Wasserdampfdruck bei 100 % relativer Feuchtigkeit am Ort der Messung der relativen Luftfeuchtigkeit, $T_{\text{sat}}=T_{\text{amb}}$ [kPa]

p_{abs} = absoluter feuchter statischer Druck am Ort der Messung der relativen Luftfeuchtigkeit [kPa]

A.7.1.3. Kraftstoffeigenschaften

Die allgemeine chemische Formel des Kraftstoffs lautet $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta\text{S}_\gamma\text{N}_\delta$, wobei α dem Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (H/C), β dem Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (O/C), γ dem Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis (S/C) und δ dem Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (N/C) entspricht. Auf der Grundlage dieser Formel kann die Kohlenstoffmassenfraction des Kraftstoffs w_C berechnet werden. Bei Dieseldieselkraftstoff kann die einfache Formel $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$ angewendet werden. Für die Kraftstoffzusammensetzung können folgende Standardwerte verwendet werden:

Tabelle A.7.1

Vorgabewerte für das Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis α , das Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis β und die Kohlenstoffmassenfraction des Kraftstoffs w_C für Dieseldieselkraftstoffe

Kraftstoff	Wasserstoff- und Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$	Kohlenstoffmassenkonzentration w_C [g/g]
Diesel	$\text{CH}_{1,85}\text{O}_0$	0,866

A.7.1.4. THC- und NMHC-Konzentration

A.7.1.4.1. THC-Bestimmung und Korrekturen für die anfängliche THC/ CH_4 -Verunreinigung

- a) Bei der Bestimmung von THC-Emissionen wird $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]}$ unter Verwendung der anfänglichen Konzentration der THC-Verunreinigung $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}}$ gemäß Absatz 7.3.1.2 folgendermaßen berechnet:

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} = x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{uncorr}} - x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}} \quad (\text{A.7-5})$$

Dabei gilt:

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} = \text{um Verunreinigung korrigierte THC-Konzentration [mol/mol]}$$

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{uncorr}} = \text{nicht korrigierte THC-Konzentration [mol/mol]}$$

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}} = \text{anfängliche Konzentration der THC-Verunreinigung [mol/mol]}$$

- b) Zur NMHC-Ermittlung gemäß Absatz A.7.1.4.2 wird $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]}$ anhand der Gleichung (A.7-5) um die anfängliche HC-Verunreinigung korrigiert. Die anfängliche Verunreinigung der CH_4 -Probe kann anhand der Gleichung (A.7-5) korrigiert werden, wobei die THC-Konzentrationen durch CH_4 ersetzt werden.

A.7.1.4.2. NMHC-Bestimmung

Zur Ermittlung der NMHC-Konzentration x_{NMHC} kann aus den folgenden Möglichkeiten gewählt werden:

- a) Wird CH_4 nicht gemessen, kann die NMHC-Konzentration folgendermaßen bestimmt werden:

Die hintergrundkorrigierte NMHC-Masse wird mit der hintergrundkorrigierten THC-Masse verglichen. Ist die hintergrundkorrigierte NMHC-Masse größer als die hintergrundkorrigierte THC-Masse multipliziert mit 0,98, wird für die hintergrundkorrigierte NMHC-Masse ein Wert angenommen, der der hintergrundkorrigierten THC-Masse multipliziert mit 0,98 entspricht. Entfällt die NMHC-Berechnung, wird für die hintergrundkorrigierte NMHC-Masse ein Wert angenommen, der der hintergrundkorrigierten THC-Masse multipliziert mit 0,98 entspricht;

- b) Für Nichtmethan-Cutter wird x_{NMHC} unter Verwendung der gemäß Absatz 8.1.10.3 ermittelten CH_4 - und C_2H_6 -Durchlassanteile (PF) des Nichtmethan-Cutters sowie der HC-Verunreinigung und der gemäß Absatz A.7.1.4.1 Buchstabe a ermittelten, vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechneten THC-Konzentration $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ berechnet:

- i) Für mit Hilfe einer NMC-Konfiguration gemäß Absatz 8.1.10.3.4.1 ermittelte Durchlassanteile ist die folgende Gleichung zu verwenden:

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} - x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]} \cdot RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}}{1 - RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]} \cdot RF_{\text{CH}_6[\text{THC-FID}]}} \quad (\text{A.7-6})$$

Dabei gilt:

$$x_{\text{NMHC}} = \text{NMHC-Konzentration}$$

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ = THC-Konzentration, korrigiert um HC-Verunreinigung und vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechnet, gemessen vom THC-FID während der Probenahme unter Umgehung des NMC

$x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}$ = THC-Konzentration, korrigiert um HC-Verunreinigung (optional) und vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechnet, gemessen vom NMC-FID während der Probenahme durch den NMC

$RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}$ = Ansprechfaktor des THC-FID auf CH_4 gemäß Absatz 8.1.10.1.4

$RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ = kombinierter Wert des Nichtmethan-Cutters für den Ansprechfaktor und den Durchlassanteil von Ethan gemäß Absatz 8.1.10.3.4.1

- ii) Für mit Hilfe einer NMC-Konfiguration gemäß Absatz 8.1.10.3.4.2. ermittelte Durchlassanteile ist die folgende Gleichung zu verwenden:

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} \cdot PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} - x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}}{PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} - PF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}} \quad (\text{A.7-7})$$

Dabei gilt:

x_{NMHC} = NMHC-Konzentration

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ = THC-Konzentration, korrigiert um HC-Verunreinigung und vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechnet, gemessen vom THC-FID während der Probenahme unter Umgehung des NMC

$PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$ = CH_4 -Durchlassanteil des Nichtmethan-Cutters gemäß Absatz 8.1.10.3.4.2

$x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}$ = THC-Konzentration, korrigiert um HC-Verunreinigung (optional) und vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechnet, gemessen vom NMC-FID während der Probenahme durch den NMC

$PF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ = Ethan-Durchlassanteil des Nichtmethan-Cutters gemäß Absatz 8.1.10.3.4.2

- iii) Für mit Hilfe einer NMC-Konfiguration gemäß Absatz 8.1.10.3.4.3 ermittelte Durchlassanteile ist die folgende Gleichung zu verwenden:

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} \cdot PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} - x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]} \cdot RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}}{PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} - RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]} \cdot RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}} \quad (\text{A.7-8})$$

Dabei gilt:

x_{NMHC} = NMHC-Konzentration

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ = THC-Konzentration, korrigiert um HC-Verunreinigung und vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechnet, gemessen vom THC-FID während der Probenahme unter Umgehung des NMC

$PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$ = CH_4 -Durchlassanteil des Nichtmethan-Cutters gemäß Absatz 8.1.10.3.4.3

$x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}$ = THC-Konzentration, korrigiert um HC-Verunreinigung (optional) und vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechnet, gemessen vom NMC-FID während der Probenahme durch den NMC

$RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ = kombinierter Wert des Nichtmethan-Cutters für den Ansprechfaktor und den Durchlassanteil von Ethan gemäß Absatz 8.1.10.3.4.3

$RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}$ = Ansprechfaktor des THC-FID auf CH_4 gemäß Absatz 8.1.10.1.4

- c) Für einen Gaschromatografen wird x_{NMHC} unter Verwendung des Ansprechfaktors des THC-Analysators (RF) für CH_4 gemäß Absatz 8.1.10.1.4 und der HC-Verunreinigung und der laut Buchstabe a oben ermittelten, vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechneten anfänglichen THC-Konzentration $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ berechnet:

$$x_{\text{NMHC}} = x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}} - R_{\text{FCH}_4[\text{THC-FID}]} \cdot x_{\text{CH}_4} \quad (\text{A.7-9})$$

Dabei gilt:

x_{NMHC} = NMHC-Konzentration

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}}$ = THC-Konzentration, korrigiert um HC-Verunreinigung und vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechnet, gemessen vom THC-FID

x_{CH_4} = CH₄-Konzentration, korrigiert um HC-Verunreinigung (optional) und vom trockenen in den feuchten Bezugszustand umgerechnet, gemessen vom FID des Gaschromatografen

$R_{\text{FCH}_4[\text{THC-FID}]}$ = Ansprechfaktor des THC-FID auf CH₄

A.7.1.4.3. NMHC-Näherungswert auf THC-Basis

Ein Näherungswert für NMHC-Emissionen (Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe) kann als 98 % der THC (sämtliche Kohlenwasserstoffe) angenommen werden.

A.7.1.5. Nach Durchsatz gewichtete mittlere Konzentration

In einigen Absätzen dieser Anlage kann die Berechnung einer nach Durchsatz gewichteten mittleren Konzentration erforderlich sein, um zu ermitteln, ob verschiedene Bestimmungen anwendbar sind. Bei einem nach Durchsatz gewichteten Mittel handelt es sich um den Mittelwert einer Größe nach ihrer Gewichtung proportional zu einem entsprechenden Durchsatz. Wird beispielsweise im Rohabgas eines Motors kontinuierlich eine Gaskonzentration gemessen, ist die nach Durchsatz gewichtete mittlere Konzentration die Summe der Produkte jeder aufgezeichneten Konzentration multipliziert mit ihrem jeweiligen Abgasmoldurchsatz, geteilt durch die Summe der aufgezeichneten Durchsatzwerte. Ein anderes Beispiel: Die Beutelkonzentration eines CVS-Systems ist identisch mit der nach Durchsatz gewichteten mittleren Konzentration, weil das CVS-System selbst die Beutelkonzentration nach Durchsatz gewichtet. Unter Umständen kann bereits eine bestimmte nach Durchsatz gewichtete mittlere Konzentration einer Emission auf der Grundlage früherer Prüfungen ähnlicher Motoren oder mit ähnlichen Geräten und Instrumenten erwartet werden.

A.7.2. Chemisches Gleichgewicht von Kraftstoff, Ansaugluft und Abgas

A.7.2.1. Allgemeines

Das chemische Gleichgewicht von Kraftstoff, Ansaugluft und Abgas kann zur Berechnung von Durchsätzen, der Wassermenge in den Durchsätzen und der Konzentration von feuchten Bestandteilen in den Durchsätzen verwendet werden. Ist ein Durchsatz – entweder von Kraftstoff, Ansaugluft oder Abgas – bekannt, können die anderen beiden Durchsätze anhand des chemischen Gleichgewichts bestimmt werden. Beispielsweise kann das chemische Gleichgewicht in Kombination mit Ansaugluft oder Kraftstoffdurchsatz zur Ermittlung des Rohabgasdurchsatzes herangezogen werden.

A.7.2.2. Verfahren, für die das chemische Gleichgewicht benötigt wird

Folgende Werte können mit Hilfe des chemischen Gleichgewichts ermittelt werden:

- Wassermenge $x_{\text{H}_2\text{Oex}}$ in Rohabgas oder verdünntem Abgas, wenn die Wassermenge zur Bereinigung der von einem Probenahmesystem abgeschiedenen Wassermenge nicht gemessen wird;
- Nach Durchsatz gewichtete mittlere Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas $x_{\text{dil/exh}}$, wenn der Verdünnungsluftdurchsatz zur Bereinigung von Hintergrundemissionen nicht gemessen wird. Es ist festzuhalten, dass beim Einsatz des chemischen Gleichgewichts für diesen Zweck davon ausgegangen wird, dass das Abgas stöchiometrisch ist, selbst wenn dies nicht der Fall ist.

A.7.2.3. Vorgehensweise im Zusammenhang mit dem chemischen Gleichgewicht

Für Berechnungen im Zusammenhang mit dem chemischen Gleichgewicht dient ein iteratives Gleichungssystem. Die Ausgangswerte für bis zu drei Messgrößen sind zu schätzen: die Wassermenge im gemessenen Durchsatz $x_{\text{H}_2\text{Oex}}$, die Verdünnungsluftfraktion im verdünnten Abgas (oder der Luftüberschuss im Rohabgas) $x_{\text{dil/exh}}$ und die Produktmenge auf C1-Basis pro Trockenmol des trockenen gemessenen Durchsatzes x_{Ccombdry} . Im chemischen Gleichgewicht dürfen zeitlich gewichtete Mittelwerte der Feuchtigkeit der Verbrennungsluft und der Feuchtigkeit der Verdünnungsluft verwendet werden, vorausgesetzt, die Feuchtigkeit der Verbrennungs- und der Verdünnungsluft bewegt sich während des Prüfintervalls innerhalb der Toleranz von $\pm 0,0025$ mol/mol des jeweiligen Mittelwerts. Für jede Emissionskonzentration x und Wassermenge $x_{\text{H}_2\text{Oex}}$ ist die Konzentration im vollkommen trockenen Bezugszustand x_{dry} und $x_{\text{H}_2\text{Oexdry}}$ zu ermitteln. Auch das Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis α , das Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis β und die Kohlenstoffmassenfraktion des Kraftstoffs w_c sind zu verwenden. Für den Prüfkraftstoff können α und β oder die Standardwerte gemäß Tabelle 7.1 verwendet werden.

Das chemische Gleichgewicht ist anhand der folgenden Schritte zu berechnen:

- a) Gemessene Konzentrationen wie $x_{\text{CO}_2\text{meas}}$, x_{NOmeas} und $x_{\text{H}_2\text{Oint}}$ sind in den trockenen Bezugszustand umzurechnen, indem sie durch eins abzüglich der während der jeweiligen Messung vorhandenen Wassermenge dividiert werden; zum Beispiel: $x_{\text{H}_2\text{OxCO}_2\text{meas}}$, $x_{\text{H}_2\text{OxNOmeas}}$ und $x_{\text{H}_2\text{Oint}}$. Ist die Wassermenge während einer Messung im feuchten Bezugszustand identisch mit der unbekannten Wassermenge im Abgasdurchsatz $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, muss dieser Wert iterativ im Gleichungssystem gelöst werden. Werden nur die Gesamt- NO_x , aber NO und NO_2 nicht getrennt gemessen, ist die Aufteilung der Gesamt- NO_x -Konzentration in NO und NO_2 für das chemische Gleichgewicht nach bestem fachlichen Ermessen zu schätzen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die NO_x -Molkonzentration x_{NOx} in 75 % NO und 25 % NO_2 unterteilt. Bei NO_2 -Speicher-Nachbehandlungssystemen kann davon ausgegangen werden, dass sich x_{NOx} in 25 % NO und 75 % NO_2 unterteilt. Zur Berechnung der Masse der NO_x -Emissionen ist die Molmasse von NO_2 für die effektive Molmasse aller NO_x -Spezies, ungeachtet der tatsächlichen NO_2 -Fraktion der NO_x , heranzuziehen;
- b) Die Gleichungen (A.7-10 bis A.7-26) in Buchstabe d dieses Absatzes sind zur iterativen Lösung für $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, x_{Ccombdry} und $x_{\text{dil/exh}}$ in ein Computerprogramm einzugeben. Ausgangswerte für $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, x_{Ccombdry} und $x_{\text{dil/exh}}$ sind nach bestem fachlichen Ermessen zu schätzen. Die Annahme einer anfänglichen Wassermenge, die etwa doppelt so hoch ist wie die Wassermenge in der Ansaug- oder Verdünnungsluft, wird empfohlen. Die Schätzung eines Ausgangswerts für x_{Ccombdry} als Summe der gemessenen CO_2 -, CO- und THC-Werte wird empfohlen. Die Schätzung eines Ausgangswerts x_{dil} zwischen 0,75 und 0,95 (0,75 < x_{dil} < 0,95), zum Beispiel 0,8, wird ebenfalls empfohlen. Die Werte im Gleichungssystem sind iterativ zu lösen, bis die zuletzt aktualisierten Schätzungen alle innerhalb von $\pm 1\%$ der jeweiligen zuletzt berechneten Werte liegen;
- c) Im Gleichungssystem gemäß Buchstabe c dieses Absatzes werden die nachstehenden Symbole und tiefgestellten Indizes verwendet, wobei die Einheit von x mol/mol ist:

Symbol	Beschreibung
$x_{\text{dil/exh}}$	Menge an Verdünnungsgas oder Luftüberschuss pro Mol Abgas
$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$	Menge an H_2O in Abgas pro Mol Abgas
x_{Ccombdry}	Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas
$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$	Wassermenge im Abgas pro Trockenmol trockenes Abgas
$x_{\text{prod/intdry}}$	Menge an trockenen stöchiometrischen Produkten pro Trockenmol Ansaugluft
$x_{\text{dil/exhdry}}$	Menge an Verdünnungsgas und/oder Luftüberschuss pro Mol trockenes Abgas
$x_{\text{int/exhdry}}$	Menge der zur Erzeugung tatsächlicher Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas
$x_{\text{raw/exhdry}}$	Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas
$x_{\text{O}_2\text{intdry}}$	Menge an O_2 in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft; $x_{\text{O}_2\text{intdry}} = 0,209445$ mol/mol kann angenommen werden
$x_{\text{CO}_2\text{intdry}}$	Menge an CO_2 in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft. $x_{\text{CO}_2\text{intdry}} = 375$ mmol/mol kann angenommen werden, doch die Messung der tatsächlichen Konzentration in der Ansaugluft wird empfohlen
$x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}$	Menge an H_2O in der Ansaugluft pro Mol trockene Ansaugluft
$x_{\text{CO}_2\text{int}}$	Menge an CO_2 in der Ansaugluft pro Mol Ansaugluft

Symbol	Beschreibung
$x_{\text{CO}_2\text{dil}}$	Menge an CO_2 im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas
$x_{\text{CO}_2\text{dildry}}$	Menge an CO_2 im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas. Dient Luft als Verdünnungsgas, kann $x_{\text{CO}_2\text{dildry}} = 375 \text{ mmol/mol}$ angenommen werden, doch die Messung der tatsächlichen Konzentration in der Ansaugluft wird empfohlen
$x_{\text{H}_2\text{O}\text{dildry}}$	Menge an H_2O im Verdünnungsgas pro Mol trockenes Verdünnungsgas
$x_{\text{H}_2\text{O}\text{dil}}$	Menge an H_2O im Verdünnungsgas pro Mol Verdünnungsgas
$x_{[\text{emission}]\text{meas}}$	Menge an gemessener Emission in der Probe am jeweiligen Gasanalysator
$x_{[\text{emission}]\text{dry}}$	Emissionsmenge pro Trockenmol der trockenen Probe
$x_{\text{H}_2\text{O}[\text{emission}]\text{meas}}$	Wassermenge in der Probe am Ort der Emissionsbestimmung. Diese Werte sind gemäß Absatz 9.3.2.3.1. zu messen oder zu schätzen
$x_{\text{H}_2\text{O}\text{int}}$	Wassermenge in der Ansaugluft auf der Grundlage einer Feuchtigkeitsmessung der Ansaugluft
α	Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs ($\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$), gewichtet nach molarem Verbrauch
β	Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis des verbrannten Kraftstoffgemischs ($\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$), gewichtet nach molarem Verbrauch

- d) Die nachstehenden Gleichungen sind zur iterativen Lösung von $x_{\text{dil/exh}}$, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ und x_{Ccombdry} anzuwenden:

$$x_{\text{dil/exh}} = 1 - \frac{x_{\text{raw/exhdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}} \quad (\text{A.7-10})$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexh}} = 1 - \frac{x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}} \quad (\text{A.7-11})$$

$$x_{\text{Ccombdry}} = x_{\text{CO}_2\text{dry}} + x_{\text{COdry}} + x_{\text{THCdry}} - x_{\text{CO}_2\text{dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} - x_{\text{CO}_2\text{int}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \quad (\text{A.7-12})$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}} = \frac{\alpha}{2} (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + x_{\text{H}_2\text{O}\text{dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} + x_{\text{H}_2\text{O}\text{int}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \quad (\text{A.7-13})$$

$$x_{\text{dil/exhdry}} = \frac{x_{\text{dil/exh}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}}} \quad (\text{A.7-14})$$

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{1}{2 \cdot x_{\text{O}_2\text{int}}} \left[\left(\frac{\alpha}{2} - \beta + 2 \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) - (x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}} - 2x_{\text{NO}_2\text{dry}}) \right] \quad (\text{A.7-15})$$

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\alpha}{2} + \beta \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + (2x_{\text{THCdry}} + x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}}) \right] + x_{\text{int/exhdry}} \quad (\text{A.7-16})$$

$$x_{\text{O}_2\text{int}} = \frac{0,209820 - x_{\text{CO}_2\text{intdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{O}\text{intdry}}} \quad (\text{A.7-17})$$

$$x_{\text{CO}_2\text{int}} = \frac{x_{\text{CO}_2\text{intdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{O}\text{intdry}}} \quad (\text{A.7-18})$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}\text{intdry}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{O}\text{int}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}\text{int}}} \quad (\text{A.7-19})$$

$$x_{\text{CO2dil}} = \frac{x_{\text{CO2dildry}}}{1 + x_{\text{H2Odildry}}} \quad (\text{A.7-20})$$

$$x_{\text{H2Odildry}} = \frac{x_{\text{H2Odil}}}{1 - x_{\text{H2Odil}}} \quad (\text{A.7-21})$$

$$x_{\text{COdry}} = \frac{x_{\text{COmeas}}}{1 - x_{\text{H2OCOmeas}}} \quad (\text{A.7-22})$$

$$x_{\text{CO2dry}} = \frac{x_{\text{CO2meas}}}{1 - x_{\text{H2OCO2meas}}} \quad (\text{A.7-23})$$

$$x_{\text{NOdry}} = \frac{x_{\text{NOmeas}}}{1 - x_{\text{H2ONOmeas}}} \quad (\text{A.7-24})$$

$$x_{\text{NO2dry}} = \frac{x_{\text{NO2meas}}}{1 - x_{\text{H2ONO2meas}}} \quad (\text{A.7-25})$$

$$x_{\text{THCdry}} = \frac{x_{\text{THCmeas}}}{1 - x_{\text{H2OTHCmeas}}} \quad (\text{A.7-26})$$

Am Ende der Ermittlung des chemischen Gleichgewichts wird der Moldurchsatz $\dot{n}_{\text{exh}}$ gemäß den Absätzen A.7.3.3 und A.7.4.3 ermittelt.

A.7.2.4. NO_x -Feuchtigkeitskorrektur

Alle NO_x -Konzentrationen, einschließlich Verdünnungsluft-Hintergrundkonzentrationen, sind mit Hilfe der folgenden Gleichung einer Korrektur um die Feuchtigkeit der Ansaugluft zu unterziehen:

$$x_{\text{NOxcor}} = x_{\text{NOxuncor}} \cdot (9,953 \cdot x_{\text{H2O}} + 0,832) \quad (\text{A.7-27})$$

Dabei gilt:

x_{NOxuncor} = nicht korrigierte NO_x -Molkonzentration im Abgas [$\mu\text{mol/mol}$]

x_{H2O} = Wassermenge in der Ansaugluft [mol/mol]

A.7.3. Emissionen von Rohabgas

A.7.3.1. Masse der gasförmigen Emissionen

Zur Berechnung der Gesamtmasse der gasförmigen Emission pro Prüfung m_{gas} [g/Prüfung] muss die Molkonzentration mit ihrem entsprechenden Moldurchsatz und der Molmasse des Abgases multipliziert werden; anschließend erfolgt die Integration über den Prüfzyklus:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot dt \quad (\text{A.7-28})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse der generischen gasförmigen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exh}}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

x_{gas} = momentane generische Molkonzentration des Gases, feucht [mol/mol]

t = Zeit [s]

Da die Gleichung (A.7-28) durch numerische Integration zu lösen ist, wird sie folgendermaßen umgewandelt:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot dt \Rightarrow m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (\text{A.7-29})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{m}_{\text{exhi}}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

x_{gasi} = momentane generische Molkonzentration des Gases, feucht [mol/mol]

f = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

Die allgemeine Gleichung kann nach Maßgabe des verwendeten Messsystems – also abhängig davon, ob Stichproben oder kontinuierliche Proben genommen werden und es sich um einen variablen oder kontinuierlichen Durchsatz handelt – angepasst werden.

- a) Bei der kontinuierlichen Probenahme im Regelfall mit variablem Durchsatz ist die Masse der gasförmigen Emission m_{gas} [g/Prüfung] anhand der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{m}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (\text{A.7-30})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{m}_{\text{exhi}}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

x_{gasi} = momentane Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

f = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

- b) Bei der kontinuierlichen Probenahme im Sonderfall mit konstantem Durchsatz ist die Masse der gasförmigen Emission m_{gas} [g/Prüfung] anhand der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \dot{m}_{\text{exh}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \Delta t \quad (\text{A.7-31})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{m}_{\text{exh}}$ = Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\bar{x}_{\text{gas}}$ = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

Δt = Dauer des Prüfintervalls

- c) Bei der Stichprobenahme kann die Gleichung (A.7-30) unabhängig davon, ob der Durchsatz variabel oder konstant ist, folgendermaßen vereinfacht werden:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{m}_{\text{exhi}} \quad (\text{A.7-32})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{m}_{\text{exhi}}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\bar{x}_{\text{gas}}$ = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

F = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

A.7.3.2. Umrechnung der Konzentration vom trockenen in den feuchten Bezugszustand

Die Parameter für diesen Absatz werden den Ergebnissen des gemäß Absatz A.7.2. berechneten chemischen Gleichgewichts entnommen. Zwischen der Molkonzentration des Gases im gemessenen Durchsatz x_{gasdry} und x_{gas} [mol/mol], ausgedrückt jeweils auf trockener und feuchter Basis, besteht die folgende Beziehung:

$$x_{\text{gasdry}} = \frac{x_{\text{gas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (\text{A.7-33})$$

$$x_{\text{gas}} = \frac{x_{\text{gasdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Odry}}} \quad (\text{A.7-34})$$

Dabei gilt:

$x_{\text{H}_2\text{O}}$ = Wassermolfraktion im gemessenen Durchsatz, feucht [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Odry}}$ = Wassermolfraktion im gemessenen Durchsatz, trocken [mol/mol]

Bei gasförmigen Emissionen wird für die generische Konzentration x [mol/mol] eine Korrektur für das abgeschiedene Wasser vorgenommen:

$$x = x_{\text{[emission]meas}} \left[\frac{(1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}})}{1 - x_{\text{H}_2\text{O[emission]meas}}} \right] \quad (\text{A.7-35})$$

Dabei gilt:

$x_{\text{[emission]meas}}$ = Molfraktion der Emission im gemessenen Durchsatz am Ort der Messung [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{O[emission]meas}}$ = Wassermenge im gemessenen Durchsatz bei der Konzentrationsmessung [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ = Wassermenge am Durchsatzmessgerät [mol/mol]

A.7.3.3. Moldurchsatz des Abgases

Der Durchsatz des Rohabgases kann direkt gemessen oder auf der Grundlage des chemischen Gleichgewichts gemäß Absatz A.7.2.3. berechnet werden. Die Ermittlung des Moldurchsatzes des Rohabgases erfolgt anhand des gemessenen Moldurchsatzes der Ansaugluft oder des Massendurchsatzes des Kraftstoffs. Der Moldurchsatz des Rohabgases kann aus den Emissionsproben $\dot{m}_{\text{exh}}$ auf der Grundlage des gemessenen Moldurchsatzes der Ansaugluft $\dot{m}_{\text{int}}$ oder des gemessenen Massendurchsatzes des Kraftstoffs $\dot{m}_{\text{fuel}}$ und den mit Hilfe des chemischen Gleichgewichts gemäß Absatz A.7.2.3. berechneten Werten ermittelt werden. Die Lösung für das chemische Gleichgewicht gemäß Absatz A.7.2.3. erfolgt mit derselben Frequenz, mit der $\dot{m}_{\text{int}}$ oder $\dot{m}_{\text{fuel}}$ aktualisiert und aufgezeichnet werden.

a) Kurbelgehäuse-Durchsatz. Der Rohabgasdurchsatz kann nur dann auf der Basis von $\dot{m}_{\text{int}}$ oder $\dot{m}_{\text{fuel}}$ berechnet werden, wenn zumindest einer der folgenden Sachverhalte auf den Emissionsdurchsatz des Kurbelgehäuses zutrifft:

- i) Der Prüfmotor verfügt über ein Produktions-Emissionsminderungssystem mit einem geschlossenen Kurbelgehäuse, das den Kurbelgehäuse-Durchsatz hinter dem Durchsatzmessgerät für die Ansaugluft zurück in die Ansaugluft leitet;
- ii) Während der Emissionsprüfung wird der Durchsatz des offenen Kurbelgehäuses gemäß Absatz 6.10. in das Abgas geleitet;
- iii) Emissionen und Durchsatz des offenen Kurbelgehäuses werden gemessen und zu den bremsbetriebsspezifischen Emissionen hinzugerechnet;
- iv) Mit Hilfe von Emissionsdaten oder einer technischen Analyse kann nachgewiesen werden, dass sich die Vernachlässigung des Durchsatzes der Emissionen des offenen Kurbelgehäuses nicht nachteilig auf die Einhaltung der geltenden Normen auswirkt;

b) Berechnung des Moldurchsatzes auf der Basis der Ansaugluft.

Auf der Grundlage von $\dot{m}_{\text{int}}$ ist der Moldurchsatz des Abgases $\dot{m}_{\text{exh}}$ [mol/s] wie folgt zu berechnen:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{n}_{\text{int}}}{\left[1 + \frac{(x_{\text{int/exhdry}} - x_{\text{raw/exhdry}})}{(1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})} \right]} \quad (\text{A.7-36})$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{\text{exh}}$ = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden [mol/s]

$\dot{n}_{\text{int}}$ = Moldurchsatz der Ansaugluft einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [mol/s]

$x_{\text{int/exhdry}}$ = Menge der zur Erzeugung der tatsächlichen Verbrennungsprodukte benötigten Ansaugluft pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]

$x_{\text{raw/exhdry}}$ = Menge an unverdünntem Abgas ohne Luftüberschuss pro Mol trockenes Rohabgas oder verdünntes Abgas [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$ = Wassermenge im Abgas pro Mol trockenes Abgas [mol/mol]

c) Berechnung des Moldurchsatzes auf der Basis des Massendurchsatzes des Kraftstoffs.

Auf der Grundlage von $\dot{m}_{\text{fuel}}$, $\dot{n}_{\text{exh}}$ ist der Moldurchsatz des Abgases [mol/s] wie folgt zu berechnen:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_{\text{C}} \cdot (1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})}{M_{\text{C}} \cdot x_{\text{Ccombdry}}} \quad (\text{A.7-37})$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{\text{exh}}$ = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden

$\dot{m}_{\text{fuel}}$ = Kraftstoffdurchsatz einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [g/s]

w_{C} = Kohlenstoffmassenfraktion des entsprechenden Kraftstoffs [g/g]

$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$ = Menge an H_2O pro Trockenmol des gemessenen Durchsatzes [mol/mol]

M_{C} = Molekülmasse von Kohlenstoff: 12,0107 g/mol

x_{Ccombdry} = Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas [mol/mol]

A.7.4. Emissionen von verdünntem Abgas

A.7.4.1. Berechnung der Emissionsmasse und Hintergrundkorrektur

Für die Berechnung der Masse der gasförmigen Emissionen m_{gas} [g/Prüfung] als Funktion der Durchsätze molarer Emissionen gelten die folgenden Gleichungen:

a) Kontinuierliche Probenahme, variabler Durchsatz

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (\text{siehe A.7-29})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exhi}}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

m_{gasi} = momentane generische Molkonzentration des Gases, feucht [mol/mol]

f = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

Kontinuierliche Probenahme, konstanter Durchsatz

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \dot{n}_{\text{exh}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \Delta t \quad (\text{siehe A.7-31})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse der generischen Emission [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exh}}$ = Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\bar{x}_{\text{gas}}$ = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

Δt = Dauer des Prüfintervalls

- b) Bei der Stichprobenahme ist unabhängig davon, ob der Durchsatz variabel oder konstant ist, die folgende Gleichung anzuwenden:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \quad (\text{siehe A.7-32})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse der generischen Emissionen [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exhi}}$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases, feucht [mol/s]

$\bar{x}_{\text{gas}}$ = mittlere Molfraktion der gasförmigen Emission, feucht [mol/mol]

f = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

- c) Bei verdünnten Abgasen werden die für die Masse der Schadstoffe berechneten Werte korrigiert, indem die Masse der durch die Verdünnungsluft bedingten Hintergrundemissionen abgezogen wird:

- i) Als erstes wird der Moldurchsatz der Verdünnungsluft $\dot{n}_{\text{airdil}}$ [mol/s] während des Prüfintervalls ermittelt. Dabei kann es sich um eine gemessene Größe oder um eine aus dem Durchsatz des verdünnten Abgases und der nach Durchsatz gewichteten mittleren Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas berechnete Größe $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$ handeln;
- ii) Der Gesamtdurchsatz der Verdünnungsluft n_{airdil} [mol] wird mit der mittleren Konzentration der Hintergrundemission multipliziert. Dabei kann es sich um ein nach Zeit oder nach Durchsatz gewichtetes Mittel (d. h. einen verhältnismäßig beprobten Hintergrund) handeln. Das Produkt aus n_{airdil} und der mittleren Konzentration einer Hintergrundemission bildet die Gesamtmenge einer Hintergrundemission;
- iii) Handelt es sich beim Ergebnis um eine molare Größe, wird diese durch Multiplikation mit der Molmasse der Emission M_{gas} [g/mol] in die Masse der Hintergrundemission m_{bkgnd} [g] umgerechnet;
- iv) Zur Korrektur um die Hintergrundemissionen wird die Gesamtmasse der Hintergrundemission von der Gesamtmasse abgezogen;
- v) Der Gesamtdurchsatz der Verdünnungsluft kann durch eine direkte Durchsatzmessung ermittelt werden. In diesem Fall kann die Gesamtmasse der Hintergrundemission anhand des Durchsatzes der Verdünnungsluft n_{airdil} berechnet werden. Die Masse der Hintergrundemission wird von der Gesamtmasse abgezogen. Das Ergebnis wird für bremspezifische Emissionsberechnungen verwendet;
- vi) Der Gesamtdurchsatz der Verdünnungsluft kann aus dem Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases und dem chemischen Gleichgewicht von Kraftstoff, Ansaugluft und Abgas gemäß Absatz A.7.2 ermittelt werden. In diesem Fall muss die Gesamtmasse der Hintergrundemission anhand des Gesamtdurchsatzes des verdünnten Abgases n_{dexh} berechnet werden. Dieses Ergebnis wird anschließend mit der nach Durchsatz gewichteten mittleren Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$ multipliziert.

Unter Berücksichtigung der beiden Fälle v und vi sind die zwei folgenden Gleichungen anzuwenden:

$$m_{\text{bkgnd}} = M_{\text{gas}} \cdot x_{\text{gasdil}} \cdot n_{\text{airdil}} \quad \text{oder} \quad m_{\text{bkgnd}} = M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{dil/exh}} \cdot \bar{x}_{\text{bkgnd}} \cdot n_{\text{dexh}} \quad (\text{A.7-38})$$

$$m_{\text{gascor}} = m_{\text{gas}} - m_{\text{bkgnd}} \quad (\text{A.7-39})$$

Dabei gilt:

m_{gas} = Gesamtmasse der gasförmigen Emission [g]

m_{bkgnd} = Gesamtmasse der Hintergrundemissionen [g]

m_{gascor} = Masse des in Bezug auf Hintergrundemissionen korrigierten Gases [g]

M_{gas} = Molmasse der generischen gasförmigen Emission [g/mol]

x_{gasdil} = Konzentration der gasförmigen Emission in der Verdünnungsluft [mol/mol]

n_{airdil} = Moldurchsatz der Verdünnungsluft [mol]

$\bar{x}_{\text{dil/exh}}$ = nach Durchsatz gewichtete mittlere Fraktion der Verdünnungsluft im verdünnten Abgas [mol/mol]

$\bar{x}_{\text{bkgnd}}$ = Gasfraktion der Hintergrundemission [mol/mol]

n_{dexh} = Gesamtdurchsatz des verdünnten Abgases [mol]

A.7.4.2. Umrechnung der Konzentration vom trockenen in den feuchten Bezugszustand

Für die Umrechnung der Konzentration verdünnter Proben vom trockenen in den feuchten Bezugszustand werden dieselben Beziehungen verwendet wie bei Rohabgasen (Absatz A.7.3.2.). Für Verdünnungsluft wird eine Feuchtigkeitsmessung zur Berechnung der Wasserdampffraktion $x_{\text{H}_2\text{O} \text{dildry}}$ [mol/mol] durchgeführt:

$$x_{\text{H}_2\text{O} \text{dildry}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{O} \text{dil}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O} \text{dil}}} \quad (\text{siehe A.7-21})$$

Dabei gilt:

$x_{\text{H}_2\text{O} \text{dil}}$ = Wassermolfraktion im Verdünnungsluftdurchsatz [mol/mol]

A.7.4.3. Moldurchsatz des Abgases

a) Berechnung mittels chemischem Gleichgewicht;

Der Moldurchsatz $\dot{n}_{\text{exh}}$ [mol/s] kann auf der Basis des Massendurchsatzes des Kraftstoffs $\dot{m}_{\text{fuel}}$ berechnet werden:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_{\text{C}} \cdot (1 + x_{\text{H}_2\text{O} \text{exhdry}})}{M_{\text{C}} \cdot x_{\text{C} \text{combdry}}} \quad (\text{siehe A.7-37})$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{\text{exh}}$ = Moldurchsatz des Rohabgases, dessen Emissionen gemessen werden

$\dot{m}_{\text{fuel}}$ = Kraftstoffdurchsatz einschließlich der Feuchtigkeit der Ansaugluft [g/s]

w_{C} = Kohlenstoffmassenfraktion des entsprechenden Kraftstoffs [g/g]

$x_{\text{H}_2\text{O} \text{exhdry}}$ = Menge an H₂O pro Trockenmol des gemessenen Durchsatzes [mol/mol]

M_{C} = Molekülmasse von Kohlenstoff: 12,0107 g/mol

$x_{\text{C} \text{combdry}}$ = Menge an Kohlenstoff aus Kraftstoff im Abgas pro Mol trockenes Abgas [mol/mol]

b) Messung

Der Moldurchsatz des Abgases kann mit Hilfe von drei Systemen gemessen werden:

- i) PDP-Moldurchsatz. Auf der Grundlage der Drehzahl, mit der die Verdrängerpumpe (PDP) bei einem Prüfintervall arbeitet, werden die anhand des Kalibrierungsverfahrens gemäß Anlage 1 dieses Anhangs berechnete entsprechende Steigung a_1 und der Achsabschnitt a_0 [-] zur Ermittlung des Moldurchsatzes $\dot{n}$ [mol/s] wie folgt herangezogen:

$$\dot{n} = f_{n,PDP} \cdot \frac{p_{in} \cdot V_{rev}}{R \cdot T_{in}} \quad (A.7-40)$$

Dabei gilt:

$$V_{rev} = \frac{a_1}{f_{n,PDP}} \cdot \sqrt{\frac{p_{out} - p_{in}}{p_{in}}} + a_0 \quad (A.7-41)$$

wobei:

a_1 = Kalibrierkoeffizient [m^3/s]

a_0 = Kalibrierkoeffizient [m^3/rev]

p_{in}, p_{out} = Eintritts-/Austrittsdruck [Pa]

R = molare Gaskonstante [J/(mol·K)]

T_{in} = Eintrittstemperatur [K]

V_{rev} = von der PDP gefördertes Volumen [m^3/rev]

$f_{n,PDP}$ = PDP-Drehzahl [min^{-1}]

- ii) SSV-Moldurchsatz. Auf der Basis der gemäß Anlage 1 dieses Anhangs ermittelten Gleichung für C_d bezogen auf $R_e^{\#}$ ist der Moldurchsatz des subsonischen Venturirohrs (SSV) während einer Emissionsprüfung $\dot{n}$ [mol/s] wie folgt zu berechnen:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (A.7-42)$$

Dabei gilt:

p_{in} = Eintrittsdruck [Pa]

A_t = Querschnitt der Venturieinschnürung [m^2]

R = molare Gaskonstante [J/(mol·K)]

T_{in} = Eintrittstemperatur [K]

Z = Kompressibilitätsfaktor

M_{mix} = Molmasse des verdünnten Abgases [kg/mol]

C_d = Durchflusskoeffizient des SSV [-]

C_f = Durchsatzkoeffizient des SSV [-]

- iii) CFV-Moldurchsatz. Zur Berechnung des Moldurchsatzes durch ein Venturirohr oder eine Kombination von Venturirohren sind der jeweilige mittlere Wert C_d sowie andere gemäß Anlage 1 dieses Anhangs ermittelte Konstanten zu verwenden. Der Moldurchsatz $\dot{n}$ [mol/s] während einer Emissionsprüfung ist wie folgt zu berechnen:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (A.7-43)$$

Dabei gilt:

p_{in} = Eintrittsdruck [Pa]

A_t = Querschnitt der Venturieinschnürung [m^2]

R = molare Gaskonstante [J/(mol·K)]

T_{in} = Eintrittstemperatur [K]

Z = Kompressibilitätsfaktor

M_{mix} = Molmasse des verdünnten Abgases [kg/mol]

C_d = Durchflusskoeffizient des CFV [-]

C_f = Durchsatzkoeffizient des CFV [-]

A.7.4.4. Partikelbestimmung

A.7.4.4.1. Probenahme

a) Probenahme aus einem variablen Durchsatz

Bei der Stichprobenahme aus einem variablen Abgasdurchsatz muss eine zum veränderlichen Abgasdurchsatz verhältnismäßige Probe entnommen werden. Der Durchsatz wird über ein Prüfintervall integriert, um den Gesamtdurchsatz zu ermitteln. Zur Berechnung der PM-Gesamtmasse m_{PM} [g] ist die mittlere PM-Konzentration $\bar{M}_{PM}$ (die bereits in Einheiten der Masse pro Mol der Probe angegeben ist) mit dem Gesamtdurchsatz zu multiplizieren:

$$m_{PM} = \bar{M}_{PM} \cdot \sum_{i=1}^N (\dot{m}_i \cdot \Delta t_i) \quad (\text{A.7-44})$$

Dabei gilt:

$\dot{m}_i$ = momentaner Moldurchsatz des Abgases [mol/s]

$\bar{M}_{PM}$ = mittlere PM-Konzentration [g/mol]

Δt_i = Intervall der Probenahme [s]

b) Probenahme aus einem konstanten Durchsatz

Bei der Stichprobenahme aus einem konstanten Abgasdurchsatz muss der mittlere Moldurchsatz, aus dem die Probe entnommen wird, ermittelt werden. Zur Berechnung der PM-Gesamtmasse m_{PM} [g] ist die mittlere PM-Konzentration mit dem Gesamtdurchsatz zu multiplizieren:

$$m_{PM} = \bar{M}_{PM} \cdot \dot{m} \cdot \Delta t \quad (\text{A.7-45})$$

Dabei gilt:

$\dot{m}$ = Moldurchsatz des Abgases [mol/s]

$\bar{M}_{PM}$ = mittlere PM-Konzentration [g/mol]

Δt = Dauer des Prüfintervalls [s]

Bei der Probenahme mit einem konstanten Verdünnungsverhältnis (DR) wird m_{PM} [g] anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$m_{PM} = m_{PMdil} \cdot DR \quad (\text{A.7-46})$$

Dabei gilt:

m_{PMdil} = PM-Masse in der Verdünnungsluft [g]

DR = Verdünnungsverhältnis [-], definiert als Verhältnis zwischen der Masse der Emission m und der Masse des verdünnten Abgases $m_{\text{dil/exh}}$ ($DR = m/m_{\text{dil/exh}}$).

Das Verdünnungsverhältnis DR kann als Funktion von $x_{\text{dil/exh}}$ ausgedrückt werden:

$$DR = \frac{1}{1 - x_{\text{dil/exh}}} \quad (\text{A.7-47})$$

A.7.4.4.2. Hintergrundkorrektur

Zur Hintergrundkorrektur der PM-Masse ist der in Absatz A.7.4.1 beschriebene Ansatz anzuwenden. Durch Multiplikation von $\overline{M}_{\text{PMbkgnd}}$ mit dem Gesamtdurchsatz der Verdünnungsluft wird die Hintergrund-Gesamtmasse der PM (m_{PMbkgnd} [g]) ermittelt. Durch Abziehen der Hintergrund-Gesamtmasse von der Gesamtmasse wird die hintergrundkorrigierte PM-Masse m_{PMcor} [g] ermittelt:

$$m_{\text{PMcor}} = m_{\text{PMuncor}} - \overline{M}_{\text{PMbkgnd}} \cdot n_{\text{airdil}} \quad (\text{A.7-48})$$

Dabei gilt:

m_{PMuncor} = nicht korrigierte PM-Masse [g]

$\overline{M}_{\text{PMbkgnd}}$ = mittlere PM-Konzentration in der Verdünnungsluft [g/mol]

n_{airdil} = Moldurchsatz der Verdünnungsluft [mol]

A.7.5. Zyklusarbeit und spezifische Emissionen

A.7.5.1. Gasförmige Emissionen

A.7.5.1.1. Dynamischer Lastzyklus und gestufter Mehrphasenlastzyklus

Für Rohabgas bzw. verdünntes Abgas wird auf die Absätze A.7.3.1. bzw. A.7.4.1. verwiesen. Die resultierenden Werte für die Leistung P_i [kW] werden über ein Prüfintervall integriert. Die Gesamtarbeit W_{act} [kWh] ist wie folgt zu berechnen:

$$W_{\text{act}} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3 \cdot 600} \cdot \frac{1}{10^3} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (\text{A.7-49})$$

Dabei gilt:

P_i = momentane Motorleistung [kW]

n_i = momentane Motordrehzahl [min^{-1}]

T_i = momentanes Motordrehmoment [N·m]

W_{act} = tatsächliche Zyklusarbeit [kWh]

f = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

Die spezifischen Emissionen e_{gas} [g/kWh] sind in Abhängigkeit von der Art des Prüfzyklus wie folgt zu berechnen.

$$e_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.7-50})$$

Dabei gilt:

m_{gas} = Gesamtmasse der Emission [g/Prüfung]

W_{act} = Zyklusarbeit [kWh]

Bei einem dynamischen Lastzyklus ist das endgültige Prüfergebnis e_{gas} [g/kWh] ein gewichteter Mittelwert aus Kaltstartprüfung und Warmstartprüfung laut der folgenden Gleichung:

$$e_{\text{gas}} = \frac{(0,1 \cdot m_{\text{cold}}) + (0,9 \cdot m_{\text{hot}})}{(0,1 \cdot W_{\text{actcold}}) + (0,9 \cdot W_{\text{acthot}})} \quad (\text{A.7-51})$$

Bei einer sporadischen (periodischen) Abgassystemregenerierung (Absatz 6.6.2.) sind die spezifischen Emissionen anhand des multiplikativen Anpassungsfaktors k_r (Gleichung (6-4)) oder der beiden getrennten Paare von additiven Anpassungsfaktoren k_{Ur} (Faktor zur Anpassung der Gleichung nach oben (6-5)) und k_{Dr} (Faktor zur Anpassung der Gleichung nach unten (6-6)) zu korrigieren.

A.7.5.1.2. Stationärer Einzelprüfungslastzyklus

Die spezifischen Emissionen e_{gas} [g/kWh] sind wie folgt zu berechnen:

$$e_{\text{gas}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (\dot{m}_{\text{gas},i} \cdot W_{Fi})}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (P_i \cdot W_{Fi})} \quad (\text{A.7-52})$$

Dabei gilt:

$\dot{m}_{\text{gas},i}$ = mittlerer Massendurchsatz der Emission für Prüfphase i [g/h]

P_i = Motorleistung für Prüfphase i [kW] mit $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$ (siehe Absätze 6.3. und 7.7.1.2)

W_{Fi} = Wichtungsfaktor für Prüfphase i [-]

A.7.5.2. Partikelemissionen

A.7.5.2.1. Dynamischer Lastzyklus und gestufter Mehrphasenlastzyklus

Die partikelspezifischen Emissionen sind anhand von Gleichung (A.7-50) zu berechnen, wobei e_{gas} [g/kWh] bzw. m_{gas} [g/Prüfung] durch e_{PM} [g/kWh] bzw. m_{PM} [g/Prüfung] ersetzt werden:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.7-53})$$

Dabei gilt:

m_{PM} = Gesamtmasse der Partikelemission, berechnet gemäß Absatz A.8.3.4. [g/Prüfung]

W_{act} = Zyklusarbeit [kWh]

Die Emissionen während des dynamischen Kombinationszyklus (d. h. kalte Phase und warme Phase) sind gemäß Absatz A.7.5.1 zu berechnen.

A.7.5.2.2. Stationärer Einzelprüfungslastzyklus

Die partikelspezifische Emission e_{PM} [g/kWh] ist wie folgt zu berechnen:

A.7.5.2.2.1. Für die Einfachfiltermethode

$$e_{\text{PM}} = \frac{\dot{m}_{\text{PM}}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot W_{Fi})} \quad (\text{A.7-54})$$

Dabei gilt:

P_i = Motorleistung für Prüfphase i [kW] mit $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$ (siehe Absätze 6.3 und 7.7.1.2)

W_{Fi} = Wichtungsfaktor für Prüfphase i [-]

$\dot{m}_{\text{PM}}$ = Partikelmassendurchsatz [g/h]

A.7.5.2.2.2. Für die Mehrfachfiltermethode

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^N (\dot{m}_{PMi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (A.7-55)$$

Dabei gilt:

P_i = Motorleistung für Prüfphase i [kW] mit $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$ (siehe Absätze 6.3. und 7.7.1.2.)

WF_i = Wichtungsfaktor für Prüfphase i [–]

$\dot{m}_{PMi}$ = Partikelmassendurchsatz in der Prüfphase i [g/h]

Bei der Einfachfiltermethode ist der effektive Wichtungsfaktor WF_{effi} für jede Prüfphase wie folgt zu berechnen:

$$WF_{effi} = \frac{m_{smpldexhi} \cdot \overline{\dot{m}_{eqdexhwet}}}{m_{smpldex} \cdot \dot{m}_{eqdexhweti}} \quad (A.7-56)$$

Dabei gilt:

$m_{smpldexhi}$ = Masse der verdünnten Abgasprobe, die die Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase i durchströmt [kg]

$m_{smpldexh}$ = Masse der verdünnten Abgasprobe, die die Partikel-Probenahmefilter durchströmt [kg]

$\dot{m}_{eqdexhweti}$ = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases in der Prüfphase i [kg/s]

$\overline{\dot{m}_{eqdexhweti}}$ = durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/s]

Der Wert der effektiven Wichtungsfaktoren darf von den Werten der in Anhang 5 aufgeführten Wichtungsfaktoren um höchstens $\pm 0,005$ (absoluter Wert) abweichen.

Anlage A.7.1

Kalibrierung des Durchsatzes des verdünnten Abgases (CVS)

Diese Anlage beschäftigt sich mit den Berechnungen zur Kalibrierung verschiedener Durchsatzmessgeräte. Absatz A.7.6.1 dieser Anlage enthält eine Beschreibung der Umrechnung der Messwerte des Bezugsdurchsatzmessgeräts zur Verwendung in den molbasierten Kalibriergleichungen. Die weiteren Absätze beschäftigen sich mit den Kalibrierungsberechnungen für bestimmte Arten von Durchsatzmessgeräten.

A.7.6.1. Umrechnung der Messungen von Bezugsmesseinrichtungen

Die Kalibriergleichungen in diesem Abschnitt nutzen den Moldurchsatz $\dot{n}_{\text{ref}}$ als Bezugsgröße. Misst die verwendete Bezugsmesseinrichtung den Durchsatz in einer anderen Messgröße, wie dem Standard-Volumendurchsatz $\dot{V}_{\text{stdref}}$, dem tatsächlichen Volumendurchsatz $\dot{V}_{\text{actref}}$ oder dem Massendurchsatz $\dot{m}_{\text{ref}}$, werden die Messwerte der Referenzmeseinrichtungen anhand der folgenden Gleichungen in einen Moldurchsatz umgerechnet, wobei zu beachten ist, dass sich die Werte für Volumendurchsatz, Massendurchsatz, Druck, Temperatur und Molmasse während einer Emissionsprüfung zwar ändern können, doch für jeden einzelnen Einstellwert während der Kalibrierung eines Durchsatzmessgeräts so konstant wie möglich gehalten werden sollten:

$$\dot{n}_{\text{ref}} = \frac{\dot{V}_{\text{stdref}} \cdot p_{\text{std}}}{T_{\text{std}} \cdot R} = \frac{\dot{V}_{\text{actref}} \cdot p_{\text{act}}}{T_{\text{act}} \cdot R} = \frac{\dot{m}_{\text{ref}}}{M_{\text{mix}}} \quad (\text{A.7-57})$$

Dabei gilt:

$\dot{n}_{\text{ref}}$ = Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

$\dot{V}_{\text{stdref}}$ = Bezugsvolumendurchsatz, korrigiert auf einen Standarddruck und eine Standardtemperatur [m³/s]

$\dot{V}_{\text{actref}}$ = Bezugsvolumendurchsatz beim tatsächlichen Druck und der tatsächlichen Temperatur [m³/s]

$\dot{m}_{\text{ref}}$ = Bezugsmassendurchsatz [g/s]

p_{std} = Standarddruck [Pa]

p_{act} = tatsächlicher Gasdruck [Pa]

T_{std} = Standardtemperatur [K]

T_{act} = tatsächliche Gastemperatur [K]

R = molare Gaskonstante [J/(mol · K)]

M_{mix} = Molmasse des Gases [g/mol]

A.7.6.2. PDP-Kalibrierungsberechnungen

Für jede Begrenzerposition sind die nachstehenden Werte aus den gemäß Absatz 8.1.8.4 ermittelten Mittelwerten wie folgt zu berechnen:

a) PDP-Volumendurchsatz je Umdrehung V_{rev} (m³/rev):

$$V_{\text{rev}} = \frac{\bar{\dot{n}}_{\text{ref}} \cdot R \cdot \bar{T}_{\text{in}}}{\bar{p}_{\text{in}} \cdot \bar{f}_{\text{nPDP}}} \quad (\text{A.7-58})$$

Dabei gilt:

$\bar{\dot{n}}_{\text{ref}}$ = Mittelwert des Bezugsmoldurchsatzes [mol/s]

R = molare Gaskonstante [J/(mol · K)]

$\bar{T}_{\text{in}}$ = mittlere Eintrittstemperatur [K]

$\bar{p}_{\text{in}}$ = mittlerer Eintrittsdruck [Pa]

$\bar{f}_{\text{nPDP}}$ = mittlere Drehzahl [min⁻¹]

b) Korrekturfaktor für PDP-Verlust K_s [s/rev]:

$$K_s = \frac{1}{\bar{f}_{\text{nPDP}}} \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}_{\text{out}} - \bar{p}_{\text{in}}}{\bar{p}_{\text{out}}}} \quad (\text{A.7-59})$$

Dabei gilt:

$\bar{\dot{V}}_{\text{ref}}$ = mittlerer Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

$\bar{T}_{\text{in}}$ = mittlere Eintrittstemperatur [K]

$\bar{p}_{\text{in}}$ = mittlerer Eintrittsdruck [Pa]

$\bar{p}_{\text{out}}$ = mittlerer Austrittsdruck [Pa]

$\bar{f}_{\text{nPDP}}$ = mittlere PDP-Drehzahl [min^{-1}]

R = molare Gaskonstante [$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$]

- c) Durch Berechnung der Steigung a_1 und des Achsabschnitts a_0 gemäß Anhang 4B Anlage A.2 ist eine Regressionsanalyse nach der Fehlerquadratmethode für den PDP-Volumendurchsatz je Umdrehung V_{rev} bezogen auf den Korrekturfaktor für den PDP-Verlust K_s durchzuführen;
- d) das Verfahren gemäß den Buchstaben a bis c dieses Absatzes ist für jede Drehzahl, mit der die PDP betrieben wird, zu wiederholen;
- e) die nachstehende Tabelle zeigt die Berechnungen für unterschiedliche Werte von $\bar{f}_{\text{nPDP}}$:

Tabelle A.7.2

Beispiel für PDP-Kalibrierdaten

$\bar{f}_{\text{nPDP}}$ [rev/min]	$\bar{f}_{\text{nPDP}}$ [min^{-1}]	a_1 [m^3/min]	a_1 [m^3/s]	a_0 [m^3/rev]
755,0	12,58	50,43	0,8405	0,056
987,6	16,46	49,86	0,831	- 0,013
1 254,5	20,9	48,54	0,809	0,028
1 401,3	23,355	47,30	0,7883	- 0,061

- f) Für jede Drehzahl, mit der die PDP betrieben wird, sind die entsprechende Steigung a_1 und der entsprechende Achsabschnitt a_0 zur Berechnung des Durchsatzes während der Emissionsprüfung gemäß Absatz A.7.4.3 Buchstabe b heranzuziehen.

A.7.6.3. Gleichungen und zulässige Annahmen für Venturirohre

In diesem Abschnitt werden die anwendbaren Gleichungen und zulässigen Annahmen zur Kalibrierung eines Venturirohrs und zur Berechnung des Durchsatzes mit Hilfe eines Venturirohrs beschrieben. Da die Funktion eines subsonischen Venturirohrs (SSV) und eines Venturirohrs mit kritischem Durchsatz (CFV) ähnlich ist, sind die auf sie anwendbaren Gleichungen praktisch identisch; die einzige Ausnahme bildet die Gleichung zur Beschreibung des Druckverhältnisses r (d. h. r_{SSV} bezogen auf r_{CFV}). Die anwendbaren Gleichungen gehen von einer eindimensionalen, isentropen, reibungsfreien, kompressiblen Strömung eines idealen Gases aus. In Absatz A.7.6.3 Buchstabe d werden andere zulässige Annahmen beschrieben. Ist die Annahme, dass es sich beim gemessenen Durchsatz um ein ideales Gas handelt, nicht zulässig, sehen die anwendbaren Gleichungen eine Korrektur erster Ordnung für das Verhalten eines realen Gases, nämlich den Kompressibilitätsfaktor Z , vor. Muss nach bestem fachlichen Ermessen ein anderer Wert als $Z = 1$ verwendet werden, kann eine geeignete Zustandsgleichung zur Ermittlung der Werte für Z als Funktion der gemessenen Drücke und Temperaturen angewendet werden, oder es können nach bestem fachlichen Ermessen einschlägige Kalibriergleichungen entwickelt werden. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Gleichung für den Durchsatzkoeffizienten C_f auf der Annahme für ideales Gas, dass der isentrope Exponent γ gleich dem spezifischen Wärmeverhältnis c_p/c_v ist, basiert. Muss nach bestem fachlichen Ermessen ein isentroper Exponent für reales Gas verwendet werden, kann entweder eine geeignete Zustandsgleichung zur Ermittlung der Werte für γ als Funktion der gemessenen Drücke und Temperaturen angewendet oder es können einschlägige Kalibriergleichungen entwickelt werden. Der Moldurchsatz $\dot{V}$ [mol/s] ist wie folgt zu berechnen:

$$\dot{V} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{\text{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\text{mix}} \cdot R \cdot T_{\text{in}}}} \quad (\text{A.7-60})$$

Dabei gilt:

C_d = gemäß Absatz A.7.6.3 Buchstabe a ermittelter Durchflusskoeffizient [-]

C_f = gemäß Absatz A.7.6.3. Buchstabe b ermittelter Durchsatzkoeffizient [-]

A_t = Querschnitt der Venturieinschnürung [m^2]

p_{in} = absoluter statischer Druck am Venturieintritt [Pa]

Z = Kompressibilitätsfaktor [-]

M_{mix} = Molmasse des Gasgemischs [kg/mol]

R = molare Gaskonstante J/(mol · K)

T_{in} = absolute Temperatur am Venturieintritt [K]

a) C_d wird mit Hilfe der gemäß Absatz 8.1.8.4 gesammelten Daten anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$C_d = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot \frac{\sqrt{Z \cdot M_{\text{mix}} \cdot R \cdot T_{\text{in}}}}{C_f \cdot A_t \cdot p_{\text{in}}} \quad (\text{A.7-61})$$

Dabei gilt:

$\dot{m}_{\text{ref}}$ = Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

Für die anderen Symbole siehe Gleichung (A.7-60);

b) C_f wird anhand eines der folgenden Verfahren berechnet:

- i) Ausschließlich bei CFV-Durchsatzmessgeräten wird $C_{f\text{CFV}}$ von der nachstehenden Tabelle auf der Grundlage der Werte für β (Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Venturieinschnürung und dem Durchmesser des Eintritts) und γ (spezifisches Wärmeverhältnis des Gasgemischs) abgeleitet, wobei Zwischenwerte durch lineare Interpolation zu bestimmen sind:

Tabelle A.7.3

$C_{f\text{CFV}}$ bezogen auf β und γ für CFV-Durchsatzmessgeräte

β	$C_{f\text{CFV}}$	
	$\gamma_{\text{exh}} = 1,385$	$\gamma_{\text{dexh}} = \gamma_{\text{air}} = 1,399$
0,000	0,6822	0,6846
0,400	0,6857	0,6881
0,500	0,6910	0,6934
0,550	0,6953	0,6977
0,600	0,7011	0,7036
0,625	0,7047	0,7072
0,650	0,7089	0,7114
0,675	0,7137	0,7163
0,700	0,7193	0,7219
0,720	0,7245	0,7271
0,740	0,7303	0,7329
0,760	0,7368	0,7395
0,770	0,7404	0,7431
0,780	0,7442	0,7470
0,790	0,7483	0,7511
0,800	0,7527	0,7555
0,810	0,7573	0,7602
0,820	0,7624	0,7652

C_{fCFV}		
β	$\gamma_{exh} = 1,385$	$\gamma_{dexh} = \gamma_{air} = 1,399$
0,830	0,7677	0,7707
0,840	0,7735	0,7765
0,850	0,7798	0,7828

- ii) Für jedes CFV- oder SSV-Durchsatzmessgerät kann C_f anhand der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$C_f = \left[\frac{2 \cdot \gamma \cdot \left(r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \cdot \gamma^{\frac{1}{2}}}{(\gamma - 1) \cdot \left(\beta^4 - r^{\frac{2}{\gamma}} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (A.7-62)$$

Dabei gilt:

γ = isentroper Exponent [-]. Bei einem idealen Gas handelt es sich dabei um das spezifische Wärmeverhältnis des Gasgemischs c_p/c_v

r = gemäß Buchstabe c Ziffer 3 dieses Abschnitts ermitteltes Druckverhältnis

β = Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Venturieinschnürung und dem Durchmesser des Eintritts

- c) Das Druckverhältnis r ist wie folgt zu berechnen:

- i) Ausschließlich für SSV-Systeme wird r_{SSV} anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$r_{SSV} = 1 - \frac{\Delta p_{SSV}}{p_{in}} \quad (A.7-63)$$

Dabei gilt:

Δp_{SSV} = statischer Differenzdruck; Venturieintritt abzüglich Venturieinschnürung [Pa]

- ii) Ausschließlich für CFV-Systeme wird r_{CFV} iterativ anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$r_{CFV}^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + \left(\frac{\gamma - 1}{2} \right) \cdot \beta^4 \cdot r_{CFV}^{\frac{2}{\gamma}} = \frac{\gamma + 1}{2} \quad (A.7-64)$$

- d) Hinsichtlich der anwendbaren Gleichungen dürfen die folgenden vereinfachenden Annahmen getroffen werden, oder es können nach bestem fachlichen Ermessen zu Prüfzwecken geeignetere Werte entwickelt werden:

- Für Emissionsprüfungen innerhalb des gesamten Bereichs von Rohabgas, verdünntem Abgas und Verdünnungsluft kann davon ausgegangen werden, dass sich das Gasgemisch wie ein ideales Gas verhält: $Z = 1$;
- innerhalb des gesamten Rohabgasbereichs kann ein konstantes spezifisches Wärmeverhältnis von $\gamma = 1,385$ angenommen werden;
- innerhalb des gesamten Bereichs von verdünntem Abgas und Luft (z. B. Kalibrierluft oder Verdünnungsluft) kann ein konstantes spezifisches Wärmeverhältnis von $\gamma = 1,399$ angenommen werden;
- innerhalb des gesamten Bereichs von verdünntem Abgas und Luft kann die Molmasse des Gemischs M_{mix} [g/mol] rein als Funktion der Wassermenge x_{H_2O} in der Verdünnungsluft oder Kalibrierluft, ermittelt gemäß Absatz A.7.1.2., betrachtet werden:

$$M_{mix} = M_{air} \cdot (1 - x_{H_2O}) + M_{H_2O} \cdot (x_{H_2O}) \quad (A.7-65)$$

Dabei gilt:

$$M_{air} = 28,96559 \text{ g/mol}$$

$$M_{H_2O} = 18,01528 \text{ g/mol}$$

$$x_{H_2O} = \text{Wassermenge in der Verdünnungs- oder Kalibrierluft [mol/mol]}$$

- v) Innerhalb des gesamten Bereichs von verdünntem Abgas und Luft kann für alle Kalibrier- und Prüfzwecke von einer konstanten Molmasse des Gemischs M_{mix} ausgegangen werden, sofern die angenommene Molmasse nicht mehr als $\pm 1\%$ von der geschätzten minimalen und maximalen Molmasse während der Kalibrierung und Prüfung abweicht. Diese Annahme kann getroffen werden, wenn eine ausreichende Kontrolle der Wassermenge in der Kalibrierluft und in der Verdünnungsluft gewährleistet ist oder wenn

genug Wasser aus der Kalibrierluft und der Verdünnungsluft abgeschieden wird. Die nachstehende Tabelle enthält Beispiele für zulässige Bereiche des Taupunkts der Verdünnungsluft bezogen auf den Taupunkt der Kalibrierluft.

Tabelle A.7.4

Beispiele für die Taupunkte von Verdünnungs- und Kalibrierluft, bei denen ein konstanter Wert für M_{mix} angenommen werden kann

Bei T_{dew} der Kalibrierluft (° C) gleich ...	Annahme der folgenden Konstante M_{mix} (g/mol)	für die nachstehenden Bereiche von T_{dew} (° C) während Emissionsprüfungen ^(a)
trocken	28,96559	trocken bis 18
0	28,89263	trocken bis 21
5	28,86148	trocken bis 22
10	28,81911	trocken bis 24
15	28,76224	trocken bis 26
20	28,68685	– 8 bis 28
25	28,58806	12 bis 31
30	28,46005	23 bis 34

^(a) Bereich gültig für alle Kalibrierungen und Emissionsprüfungen oberhalb des Luftdruckbereichs von (80 000 bis 103 325) kPa.

A.7.6.4. SSV-Kalibrierung

a) Molbasierter Ansatz. Zur Kalibrierung eines SSV-Durchsatzmessgeräts ist folgendermaßen vorzugehen:

- i) Für jeden Bezugsmoldurchsatz ist unter Verwendung des Durchmessers der Venturieinschnürung d_t die Reynolds-Zahl $Re^\#$ zu berechnen. Da zur Berechnung von $Re^\#$ die dynamische Viskosität μ benötigt wird, kann nach bestem fachlichen Ermessen ein spezifisches Viskositätsmodell zur Ermittlung von μ für das Kalibriergas (in der Regel Luft) herangezogen werden. Alternativ kann zur Annäherung an μ auch das Viskositätsmodell nach Sutherland mit drei Koeffizienten verwendet werden:

$$Re^\# = \frac{4 \cdot M_{\text{mix}} \cdot \dot{m}_{\text{ref}}}{\pi \cdot d_t \cdot \mu} \quad (\text{A.7-66})$$

Dabei gilt:

d_t = Durchmesser der SSV-Einschnürung [m]

M_{mix} = Molmasse des Gemischs [kg/mol]

$\dot{m}_{\text{ref}}$ = Bezugsmoldurchsatz [mol/s]

und unter Verwendung des Viskositätsmodells nach Sutherland mit drei Koeffizienten:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_{\text{in}}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_0 + S}{T_{\text{in}} + S} \right) \quad (\text{A.7-67})$$

Dabei gilt:

μ = dynamische Viskosität des Kalibriergases [kg/(m·s)]

μ_0 = Bezugsviskosität nach Sutherland [kg/(m·s)]

S = Sutherland-Konstante [K]

T_0 = Bezugstemperatur nach Sutherland [K]

T_{in} = absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

Tabelle A.7.5

Parameter des Viskositätsmodells nach Sutherland mit drei Koeffizienten

Gas ⁽⁴⁾	μ_0	T_0	S	Temperaturbereich innerhalb eines Fehlers von $\pm 2\%$	Druckgrenzwert
	kg/(m·s)	K	K	K	kPa
Luft	$1,716 \times 10^{-5}$	273	111	170 bis 1 900	$\leq 1\,800$
CO ₂	$1,370 \times 10^{-5}$	273	222	190 bis 1 700	$\leq 3\,600$
H ₂ O	$1,12 \times 10^{-5}$	350	1 064	360 bis 1 500	$\leq 10\,000$
O ₂	$1,919 \times 10^{-5}$	273	139	190 bis 2 000	$\leq 2\,500$
N ₂	$1,663 \times 10^{-5}$	273	107	100 bis 1 500	$\leq 1\,600$

⁽⁴⁾ es sind die aufgeführten, nur für reine Gase geltenden Tabellenwerte zu verwenden. Die Parameter dürfen zur Berechnung der Viskosität von Gasgemischen nicht kombiniert werden.

- ii) Eine Gleichung für C_d bezogen auf $Re^\#$ ist unter Verwendung von Wertepaaren für $(Re^\#, C_d)$ zu erstellen. C_d wird gemäß Gleichung (A.7-61) berechnet, wobei C_f Gleichung (A.7-62) entnommen wird, oder es kann stattdessen ein beliebiger mathematischer Ausdruck einschließlich einer Polynom- oder Potenzreihe verwendet werden. Bei der nachstehenden Gleichung handelt es sich um ein Beispiel für einen gängigen mathematischen Ausdruck, der dazu dient, C_d und $Re^\#$ miteinander in Beziehung zu setzen;

$$C_d = a_0 - a_1 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re^\#}} \quad (\text{A.7-68})$$

- iii) zur Ermittlung der Koeffizienten mit der besten Übereinstimmung und zur Berechnung der Regressionsstatistik der Gleichung, des Standardfehlers des Schätzwerts SEE und des Bestimmungskoeffizienten r^2 wird eine Regressionsanalyse nach der Fehlerquadratmethode gemäß Anhang 4B Anlage A.2 vorgenommen;
- iv) erfüllt die Gleichung die Kriterien $SEE < 0,5 \cdot \dot{m}_{\text{ref max}}$ (oder $\dot{m}_{\text{ref max}}$) und $r^2 \geq 0,995$, kann die Gleichung zur Ermittlung von C_d für Emissionsprüfungen gemäß Absatz A.7.4.3. Buchstabe b herangezogen werden;
- v) werden die Kriterien für SEE und r^2 nicht eingehalten, können zur Erfüllung der Regressionsstatistik nach bestem fachlichen Ermessen Messpunkte aus der Kalibrierung weggelassen werden. Zur Einhaltung der Kriterien müssen mindestens sieben Messpunkte aus der Kalibrierung verwendet werden;
- vi) können Ausreißer durch das Weglassen von Punkten nicht behoben werden, sind Abhilfemaßnahmen zu ergreifen. Beispielsweise ist ein anderer mathematischer Ausdruck für die Gleichung C_d bezogen auf $Re^\#$ zu wählen, das System ist auf Lecks zu prüfen oder der Kalibriervorgang muss wiederholt werden. Muss der Kalibriervorgang wiederholt werden, sind auf die Messungen engere Toleranzen anzuwenden und für die Stabilisierung der Durchsätze ist mehr Zeit vorzusehen;
- vii) wenn die Gleichung die Regressionskriterien erfüllt, kann sie ausschließlich zur Ermittlung von Durchsätzen verwendet werden, die sich innerhalb des Bereichs der Referenzdurchsätze befinden, die zur Einhaltung der Regressionskriterien der Gleichung C_d bezogen auf $Re^\#$ herangezogen werden.

A.7.6.5. CFV-Kalibrierung

- a) Molbasierter Ansatz. Einige CFV-Durchsatzmessgeräte bestehen aus einem einzelnen Venturirohr, während sich andere aus mehreren Venturirohren zusammensetzen, wobei unterschiedliche Kombinationen von Venturirohren eingesetzt werden, um verschiedene Durchsätze zu messen. Für aus mehreren Venturirohren bestehende CFV-Durchsatzmessgeräte kann entweder jedes Venturirohr einzeln kalibriert werden, um für jedes Venturirohr einen separaten Durchflusskoeffizienten C_d zu ermitteln, oder jede Kombination von Venturirohren kann gemeinsam kalibriert werden. Wird eine Kombination von Venturirohren kalibriert, dient die Summe der aktiven Fläche der Venturieinschnürungen als A_p , die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der aktiven Durchmesser der Venturieinschnürungen als d_i und das Verhältnis zwischen den Venturieinschnürungen und den Eintrittsdurchmessern als Verhältnis zwischen der Quadratwurzel aus der Summe der aktiven Durchmesser der Venturieinschnürungen (d_i) und dem Durchmesser des gemeinsamen Eingangs zu allen Venturirohren (D). Zur Ermittlung von C_d für ein einzelnes Venturirohr oder eine einzelne Kombination von Venturirohren ist folgendermaßen vorzugehen:

- i) Mit den bei jedem Einstellwert der Kalibrierung gesammelten Daten ist anhand der Gleichung (A.7-60) für jeden Punkt ein eigener Wert C_d zu berechnen;
- ii) die mittlere und die Standardabweichung aller C_d -Werte sind anhand der Gleichungen (A.2-1) und (A.2-2) zu berechnen;
- iii) ist die Standardabweichung aller C_d -Werte kleiner oder gleich 0,3 % des Mittelwerts von C_d , wird in Gleichung (A.7-43) der Mittelwert von C_d eingesetzt und die CFV-Werte dürfen nur bis zum niedrigsten während der Kalibrierung gemessenen Wert r verwendet werden;

$$r = 1 - (\Delta p/p_{in}) \quad (A.7-69)$$

- iv) überschreitet die Standardabweichung aller C_d -Werte 0,3 % des Mittelwerts von C_d , sind die C_d -Werte wegzulassen, die dem beim niedrigsten Wert r während der Kalibrierung gemessenen Datenpunkt entsprechen;
 - v) verbleiben weniger als sieben Datenpunkte, sind Abhilfemaßnahmen wie die Überprüfung der Kalibrierdaten oder die Wiederholung des Kalibriervorgangs zu ergreifen. Wird der Kalibriervorgang wiederholt, wird empfohlen, eine Leckprüfung durchzuführen, auf die Messungen engere Toleranzen anzuwenden und für die Stabilisierung der Durchsätze mehr Zeit vorzusehen;
 - vi) verbleiben sieben oder mehr C_d -Punkte, müssen die mittlere und die Standardabweichung der verbleibenden C_d -Werte neu berechnet werden;
 - vii) ist die Standardabweichung der verbleibenden C_d -Werte kleiner oder gleich 0,3 % des Mittelwerts der verbleibenden C_d -Werte, wird der Mittelwert von C_d in Gleichung (A.7-43) eingesetzt und die CFV-Werte dürfen nur bis zum niedrigsten zu den verbleibenden C_d -Werten gehörigen Wert r verwendet werden;
 - viii) überschreitet die Standardabweichung der verbleibenden C_d -Werte noch immer 0,3 % des Mittelwerts der verbleibenden C_d -Werte, sind die Schritte gemäß Buchstabe a Ziffern iv bis viii dieses Abschnitts zu wiederholen.
-

Anlage A.7.2

Driftkorrektur

A.7.7.1. Umfang und Häufigkeit

Mit Hilfe der Berechnungen gemäß dieser Anlage wird ermittelt, ob die Ergebnisse eines Prüfintervalls durch die Drift des Gasanalysators ungültig werden. Werden die Ergebnisse eines Prüfintervalls durch die Drift nicht ungültig, muss das Ansprechverhalten des Gasanalysators während des Prüfintervalls einer Driftkorrektur gemäß dieser Anlage unterzogen werden. Für alle nachfolgenden Emissionsberechnungen sind die driftkorrigierten Ergebnisse des Gasanalysators zu verwenden. Der zulässige Schwellenwert für die Drift des Gasanalysators über ein Prüfintervall ist in Absatz 8.2.2.2. angegeben.

A.7.7.2. Korrekturgrundsätze

Für die Berechnungen gemäß dieser Anlage wird das zu einem Zeitpunkt vor und nach einem Prüfintervall ermittelte Ansprechverhalten eines Gasanalysators auf Bezugswerte für Null- und Justierkonzentrationen von Analysegasen herangezogen. Die Berechnungen dienen zur Korrektur des während eines Prüfintervalls aufgezeichneten Ansprechverhaltens des Gasanalysators. Die Korrektur beruht auf dem mittleren Ansprechverhalten des Analysators auf Bezugsnull- und Justiergase sowie auf den Bezugskonzentrationen der Null- und Justiergase selbst. Zur Validierung und Korrektur der Drift ist folgendermaßen vorzugehen:

A.7.7.3. Driftvalidierung

Nach der Anwendung aller anderen Korrekturen – mit Ausnahme der Driftkorrektur – auf alle Gasanalysatorsignale werden bremspezifische Emissionen gemäß Anhang 4B Anlage A.7. Absatz A.7.5. berechnet. Anschließend wird die Drift aller Gasanalysatorsignale gemäß dieser Anlage korrigiert. Bremspezifische Emissionen sind unter Verwendung aller driftkorrigierten Gasanalysatorsignale neu zu berechnen. Die bremspezifischen Emissionsergebnisse sind vor und nach der Driftkorrektur gemäß Absatz 8.2.2.2. zu validieren und anzugeben.

A.7.7.4. Driftkorrektur

Alle Gasanalysatorsignale sind folgendermaßen zu korrigieren:

- Jede aufgezeichnete Konzentration x_i ist für die kontinuierliche Probenahme oder für die Stichprobenahme zu korrigieren ($\bar{x}$);
- Die Driftkorrektur erfolgt anhand der folgenden Gleichung:

$$x_{\text{idriftcor}} = x_{\text{refzero}} + (x_{\text{refspan}} - x_{\text{refzero}}) \cdot \frac{2x_i - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})}{(x_{\text{prespan}} + x_{\text{postspan}}) - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})} \cdot (A.7 - 70)$$

Dabei gilt:

$x_{\text{idriftcor}}$ = driftkorrigierte Konzentration [$\mu\text{mol/mol}$]

x_{refzero} = Bezugswert der Konzentration des Nullgases; in der Regel null, es sei denn, ein anderer Wert ist bekannt [$\mu\text{mol/mol}$]

x_{refspan} = Bezugswert der Konzentration des Justiergases [$\mu\text{mol/mol}$]

x_{prespan} = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration vor dem Prüfintervall [$\mu\text{mol/mol}$]

x_{postspan} = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration nach dem Prüfintervall [$\mu\text{mol/mol}$]

x_i od. $\bar{x}$ = während der Prüfung vor der Driftkorrektur aufgezeichnete, d. h. gemessene, Konzentration [$\mu\text{mol/mol}$]

x_{prezero} = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration vor dem Prüfintervall [$\mu\text{mol/mol}$]

x_{postzero} = Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration nach dem Prüfintervall [$\mu\text{mol/mol}$]

- In Bezug auf vor dem Prüfintervall gemessene Konzentrationen sind die jeweils aktuellsten vor dem Prüfintervall gemessenen Werte heranzuziehen. Bei manchen Prüfintervallen können die vor dem Prüfintervall gemessenen aktuellsten Null- oder Justiergaswerte vor einem oder mehreren vorangegangenen Prüfintervallen ermittelt worden sein;
- In Bezug auf nach dem Prüfintervall gemessene Konzentrationen sind die aktuellsten nach dem Prüfintervall gemessenen Werte heranzuziehen. Bei manchen Prüfintervallen können die nach dem Prüfintervall gemessenen aktuellsten Null- oder Justiergaswerte nach einem oder mehreren aufeinanderfolgenden Prüfintervallen ermittelt worden sein;

- e) wird das Ansprechverhalten des Analysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration x_{prespan} vor dem Prüfintervall nicht aufgezeichnet, ist x_{prespan} gleich dem Bezugswert der Konzentration des Justiergases zu setzen: $x_{\text{prespan}} = x_{\text{refspan}}$;
- f) wird das Ansprechverhalten des Analysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration x_{prezero} nicht aufgezeichnet, ist x_{prezero} gleich dem Bezugswert der Konzentration des Nullgases zu setzen: $x_{\text{prezero}} = x_{\text{refzero}}$;
- g) in der Regel beträgt der Bezugswert der Konzentration des Nullgases x_{refzero} null: $x_{\text{refzero}} = 0 \text{ } \mu\text{mol/mol}$. In manchen Fällen kann jedoch bekannt sein, dass x_{refzero} eine andere Konzentration als null aufweist. Wird beispielsweise ein CO_2 -Analysator mit Hilfe von Umgebungsluft genullt, kann die CO_2 -Standardkonzentration von Umgebungsluft, die $375 \text{ } \mu\text{mol/mol}$ entspricht, verwendet werden. In diesem Fall gilt: $x_{\text{refzero}} = 375 \text{ } \mu\text{mol/mol}$. Wird ein Analysator mit Hilfe eines Werts x_{refzero} genullt, der nicht null entspricht, muss der Analysator so eingestellt werden, dass die tatsächliche x_{refzero} -Konzentration ermittelt wird. Ist beispielsweise $x_{\text{refzero}} = 375 \text{ } \mu\text{mol/mol}$, muss der Analysator den Wert $375 \text{ } \mu\text{mol/mol}$ ausgeben, wenn das Nullgas in den Analysator geleitet wird.
-

Anlage A.8

Massenbasierte Emissionsberechnungen

A.8.0. Konvertierung von Symbolen

A.8.0.1. Allgemeine Symbole

Anlage A.8	Anlage A.7	Einheit	Messgröße
b, D_0	a_0	n. f. ⁽³⁾	y-Achsabschnitt der Regressionsgeraden
M	a_1	n. f. ⁽³⁾	Steigung der Regressionsgeraden
A/F_{st}		—	Stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis
C_d	C_d	—	Durchflusskoeffizient
C	x	ppm, Vol.-%	Konzentration ($\mu\text{mol/mol} = \text{ppm}$)
c_d	1	ppm, Vol.-%	Konzentration in trockenem Bezugszustand
c_w	1	ppm, Vol.-%	Konzentration in feuchtem Bezugszustand
c_b	1	ppm, Vol.-%	Hintergrundkonzentration
D	x_{dil}	—	Verdünnungsfaktor ⁽²⁾
D_0		m^3/rev	Achsabschnitt der PDP-Kalibrierfunktion
D	d	m	Durchmesser
d_V		m	Innendurchmesser an der Einschnürung des Venturirohrs
E	e	g/kWh	Spezifische Basis für den Bremsbetrieb
e_{gas}	e_{gas}	g/kWh	Spezifische Emission gasförmiger Bestandteile
e_{PM}	e_{PM}	g/kWh	Spezifische Emission von Partikeln
E	$1 - PF$	%	Umwandlungseffizienz (PF = Durchlassanteil)
F_s		—	Stöchiometrischer Faktor
f_c		—	Kohlenstofffaktor
H		g/kg	Absolute Luftfeuchtigkeit
K_V		$\left[\left(\sqrt{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s} \right) / \text{kg} \right]$	CFV-Kalibrierfunktion
k_f		m^3/kg Kraftstoff	Kraftstoffspezifischer Faktor
k_h		—	Feuchtigkeitskorrekturfaktor für NO_x bei Dieselmotoren
k_{Dr}	k_{Dr}	—	Abwärtswirksamer Anpassungsfaktor
k_r	k_r	—	Multiplikativer Regenerierungsfaktor

Anlage A.8	Anlage A.7	Einheit	Messgröße
k_{Ur}	k_{Ur}	—	Aufwärtswirksamer Anpassungsfaktor
$k_{w,a}$		—	Korrekturfaktor für die Umrechnung der Ansaugluft vom trockenen in den feuchten Bezugszustand
$k_{w,d}$		—	Korrekturfaktor für die Umrechnung der Verdünnungsluft vom trockenen in den feuchten Bezugszustand
$k_{w,e}$		—	Korrekturfaktor für die Umrechnung des verdünnten Abgases vom trockenen in den feuchten Bezugszustand
$k_{w,r}$		—	Korrekturfaktor für die Umrechnung des Rohabgases vom trockenen in den feuchten Bezugszustand
μ	μ	kg/(m·s)	Dynamische Viskosität
M	M	g/mol	Molmasse (³)
M_a	1	g/mol	Molmasse der Ansaugluft
M_e	1	g/mol	Molmasse des Abgases
M_{gas}	M_{gas}	g/mol	Molmasse der gasförmigen Bestandteile
M	m	kg	Masse
q_m	$\dot{m}$	kg/s	Massendurchsatz
m_d	1	kg	Masse der durch die Partikel-Probenahmefilter geleiteten Verdünnungsluftprobe
m_{ed}	1	kg	Gesamtmasse des verdünnten Abgases über einen Prüfzyklus
m_{edf}	1	kg	Masse des äquivalenten verdünnten Abgases über einen Prüfzyklus
m_{ew}	1	kg	Gesamtmasse des Abgases über einen Prüfzyklus
m_f	1	mg	Abgeschiedene Partikelprobenahmemasse
$m_{f,d}$	1	ag	Aus der Verdünnungsluft abgeschiedene Partikelprobenahmemasse
m_{gas}	m_{gas}	g	Masse der gasförmigen Emissionen über einen Prüfzyklus
m_{PM}	m_{PM}	g	Masse der Partikelemissionen über einen Prüfzyklus
m_{se}	1	kg	Masse der Abgasproben über einen Prüfzyklus
m_{sed}	1	kg	Masse des verdünnten Abgases, das den Verdünnungstunnel durchströmt

Anlage A.8	Anlage A.7	Einheit	Messgröße
m_{sep}	1	kg	Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt
m_{ssd}		kg	Masse der sekundären Verdünnungsluft
N	f_n	min^{-1}	Motordrehzahl
n_p		r/s	PDP-Pumpendrehzahl
P	P	kW	Leistung
P	p	kPa	Druck
p_a		kPa	Trockenluftdruck
p_b		kPa	Atmosphärischer Gesamtdruck
p_d		kPa	Sättigungsdampfdruck der Verdünnungsluft
p_p	p_{abs}	kPa	Absoluter Druck
p_r	$p_{\text{H}_2\text{O}}$	kPa	Wasserdampfdruck
p_s		kPa	Trockenluftdruck
$1 - E$	PF	%	Durchlassanteil
q_{mad}	$\dot{m}^{(1)}$	kg/s	Massendurchsatz der Ansaugluft, trocken
q_{maw}	$^{(1)}$	kg/s	Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht
q_{mCe}	$^{(1)}$	kg/s	Kohlenstoff-Massendurchsatz im Rohabgas
q_{mCf}	$^{(1)}$	kg/s	Kohlenstoff-Massendurchsatz in den Motor
q_{mCp}	$^{(1)}$	kg/s	Kohlenstoff-Massendurchsatz in das Teilstromverdünnungssystem
q_{mdew}	$^{(1)}$	kg/s	Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
q_{mdw}	$^{(1)}$	kg/s	Massendurchsatz der Verdünnungsluft, feucht
q_{medf}	$^{(1)}$	kg/s	Äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht
q_{mew}	$^{(1)}$	kg/s	Massendurchsatz des Abgases, feucht
q_{mex}	$^{(1)}$	kg/s	Massendurchsatz der aus dem Verdünnungstunnel entnommenen Probe

Anlage A.8	Anlage A.7	Einheit	Messgröße
q_{mf}	⁽¹⁾	kg/s	Kraftstoffmassendurchsatz
q_{mp}	⁽¹⁾	kg/s	Abgasprobenstrom in das Teilstromverdünnungssystem
q_V	$\dot{V}$	m ³ /s	Volumendurchsatz
q_{VCVS}	⁽¹⁾	m ³ /s	CVS-Volumendurchsatz
q_{Vs}	⁽¹⁾	dm ³ /min	Systemdurchsatz des Abgasanalytorsystems
q_{Vt}	⁽¹⁾	cm ³ /min	Durchsatz des Spürgases
ρ	ρ	kg/m ³	Massendichte
r_e		kg/m ³	Abgasdichte
r_d	DR	—	Verdünnungsverhältnis ⁽²⁾
RH		%	Relative Feuchtigkeit
r_D	β	m/m	Durchmesser Verhältnis (CVS-Systeme)
r_p		—	Druckverhältnis des SSV
Re	$Re^\#$	—	Reynolds-Zahl
σ	σ	—	Standardabweichung
T	T	°C	Temperatur
T_a		K	Absolute Temperatur
T	t	s	Zeit
Dt	Dt	s	Zeitintervall
U		—	Verhältnis zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und des Abgases
V	V	m ³	Volumen
q_V	$\dot{V}$	m ³ /s	Volumendurchsatz
V_0		m ³ /r	PDP-Volumendurchsatz je Umdrehung
W	W	kWh	Arbeit
W_{act}	W_{act}	kWh	Tatsächliche Zyklusarbeit des Prüfzyklus
WF	WF	—	Wichtungsfaktor

Anlage A.8	Anlage A.7	Einheit	Messgröße
W	w	g/g	Massenfraktion
X_0	K_s	s/rev	PDP-Kalibrierfunktion
$\bar{y}$	$\bar{y}$		Arithmetischer Mittelwert

(¹) Siehe tiefgestellte Indizes, z. B.: $\dot{m}_{\text{air}}$ für Trockenluft-Massendurchsatz, $\dot{m}_{\text{fuel}}$ für Kraftstoff-Massendurchsatz usw.

(²) Verdünnungsverhältnis r_d in Anlage A.8 und DR in Anlage A.7; unterschiedliche Symbole bei gleicher Bedeutung und identischen Gleichungen. Verdünnungsfaktor D in Anlage A.8 und x_{dil} in Anlage A.7; unterschiedliche Symbole bei gleicher physikalischer Bedeutung; Gleichung (A.7-47) bildet die Beziehung zwischen x_{dil} und DR ab.

(³) n. f. = noch festzulegen

A.8.0.2.

Tiefgestellte Indizes

Anlage A.8 (¹)	Anlage A.7	Messgröße
act	act	Tatsächliche Größe
I		Momentanmessung (z. B.: 1 Hz)
	i	Einzelwert einer Reihe

(¹) In Anlage A.8 wird die Bedeutung tiefgestellter Indizes durch die zugehörige Größe bestimmt; beispielsweise kann der tiefgestellte Index „d“ in „ c_d “ = Konzentration in trockenem Bezugszustand“ für „trocken“ stehen, in „ p_d “ = Sättigungsdampfdruck der Verdünnungsluft“ oder „ $k_{w,d}$ “ = Korrekturfaktor für die Umrechnung vom trockenen zum feuchten Bezugszustand der Verdünnungsluft“ für „Verdünnungsluft“ oder in „ r_d “ für „Verdünnungsverhältnis“.

A.8.0.3.

Symbole und Abkürzungen für die chemischen Bestandteile (auch als tiefgestellte Indizes verwendet)

Anlage A.8	Anlage A.7	Messgröße
Ar	Ar	Argon
C1	C1	C1-äquivalenter Kohlenwasserstoff
CH ₄	CH ₄	Methan
C ₂ H ₆	C ₂ H ₆	Ethan
C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	Propan
CO	CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	CO ₂	Kohlendioxid
DOP	DOP	Diethylphthalat
HC	HC	Kohlenwasserstoff
H ₂ O	H ₂ O	Wasser
NMHC	NMHC	Nichtmethan-Kohlenwasserstoff
NO _x	NO _x	Stickstoffoxide
NO	NO	Stickoxid
NO ₂	NO ₂	Stickstoffdioxid

Anlage A.8	Anlage A.7	Messgröße
PM	PM	Partikelmaterie
S	S	Schwefel

A.8.0.4. Symbole und Abkürzungen für die Kraftstoffzusammensetzung

Anlage A.8 ⁽¹⁾	Anlage A.7 ⁽²⁾	Messgröße
w_C ⁽⁴⁾	w_C ⁽⁴⁾	Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenfraktion [g/g] oder [Massenprozent]
w_H	w_H	Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenfraktion [g/g] oder [Massenprozent]
w_N	w_N	Stickstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenfraktion [g/g] oder [Massenprozent]
w_O	w_O	Sauerstoffgehalt des Kraftstoffs, Massenfraktion [g/g] oder [Massenprozent]
w_S	w_S	Schwefelgehalt des Kraftstoffs, Massenfraktion [g/g] oder [Massenprozent]
α	α	Wasserstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (H/C)
ε	β	Sauerstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (O/C) ⁽³⁾
γ	γ	Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis (S/C)
δ	δ	Stickstoff-Kohlenstoff-Atomverhältnis (N/C)

⁽¹⁾ Bezugnahme auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel $CH_aO_\varepsilon N_\delta S_\gamma$

⁽²⁾ Bezugnahme auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel $CH_aO_\beta S_\gamma N_\delta$.

⁽³⁾ Besonderes Augenmerk ist auf die unterschiedlichen Bedeutungen des Symbols β in den beiden Anlagen zur Emissionsberechnung zu legen: In Anlage A.8 wird damit auf einen Kraftstoff mit der chemischen Formel $CH_aS_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ (d. h. der Formel $C_\beta H_a S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$, wobei $\beta = 1$, wenn von einem Kohlenstoffatom pro Molekül ausgegangen wird) Bezug genommen, während in Anlage A.7 bei $CH_aO_\beta S_\gamma N_\delta$ das Sauerstoff-Kohlenstoff-Verhältnis gemeint ist. Unter diesen Umständen entspricht β in Anlage A.7 ε in Anlage A.8.

⁽⁴⁾ Massenfraktion w in Verbindung mit dem tiefgestellten Symbol des chemischen Bestandteils.

A.8.1. Grundlegende Parameter

A.8.1.1. Bestimmung der Methan- und Nichtmethan-HC-Konzentration

Die Berechnung von NMHC und CH_4 hängt vom angewendeten Kalibrierungsverfahren ab. Der FID zur Messung ohne NMC muss mit Propan kalibriert werden. Zur Kalibrierung des mit einem NMC in Reihe angeschlossenen FID sind die folgenden Verfahren zulässig:

- Kalibriergas – Propan; Propan umgeht NMC;
- Kalibriergas – Methan; Methan durchströmt NMC.

Die Konzentration von NMHC (c_{NMHC} [-]) und CH_4 (c_{CH_4} [-]) ist für Buchstabe a wie folgt zu berechnen:

$$c_{NMHC} = \frac{c_{HC(w/oNMC)} \cdot (1 - E_{CH_4}) - c_{HC(w/NMC)}}{E_{C_2H_6} - E_{CH_4}} \quad (A.8-1a)$$

$$c_{CH_4} = \frac{c_{HC(w/NMC)} - c_{HC(w/oNMC)} \cdot (1 - E_{C_2H_6})}{RF_{CH_4[THC-FID]} \cdot (E_{C_2H_6} - E_{CH_4})} \quad (A.8-2a)$$

Die Konzentration von NMHC und CH_4 ist für Buchstabe b wie folgt zu berechnen:

$$c_{NMHC} = \frac{c_{HC(w/oNMC)} \cdot (1 - E_{CH_4}) - c_{HC(w/NMC)} \cdot RF_{CH_4[THC-FID]} \cdot (1 - E_{CH_4})}{E_{C_2H_6} - E_{CH_4}} \quad (A.8-1b)$$

$$c_{CH_4} = \frac{c_{HC(w/NMC)} \cdot RF_{CH_4[THC-FID]} \cdot (1 - E_{CH_4}) - c_{HC(w/oNMC)} \cdot (1 - E_{C_2H_6})}{RF_{CH_4[THC-FID]} \cdot (E_{C_2H_6} - E_{CH_4})} \quad (A.8-2b)$$

Dabei gilt:

$$c_{HC(w/NMC)} = \text{HC-Konzentration bei Führung des Probengases durch den NMC [ppm]}$$

$c_{\text{HC(w/oNMC)}}$ = HC-Konzentration bei Führung des Probengases um den NMC herum [ppm]

$RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}$ = gemäß Absatz 8.1.10.1.4 ermittelter Methan-Ansprechfaktor [-]

E_{CH_4} = gemäß Absatz 8.1.10.3 ermittelter Methan-Wirkungsgrad [-]

$E_{\text{C}_2\text{H}_6}$ = gemäß Absatz 8.1.10.3 ermittelter Ethan-Wirkungsgrad [-]

Ist $RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} < 1,05$, kann der Wert in den Gleichungen A.8-1a, A.8-1b und A.8-2b entfallen.

Als Näherungswert für NMHC-Emissionen (Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe) können 98 % der THC (sämtliche Kohlenwasserstoffe) angenommen werden.

A.8.2. Emissionen von Rohabgas

A.8.2.1. Gasförmige Emissionen

A.8.2.1.1. Stationäre Prüfungen

Der Emissionswert einer gasförmigen Emission $q_{\text{mgas},i}$ für jede Prüfphase i der stationären Prüfung ist zu berechnen. Die Konzentration der gasförmigen Emission ist mit ihrem jeweiligen Durchsatz zu multiplizieren:

$$q_{\text{mgas},i} = k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot q_{\text{mew},i} \cdot c_{\text{gas},i} \cdot 3\,600 \quad (\text{A.8-3})$$

$q_{\text{mgas},i}$ = Emissionswert in der Prüfphase i der stationären Prüfung [g/h]

k = 1 für $c_{\text{gasr},w,i}$ in [ppm] und $k = 10\,000$ für $c_{\text{gasr},w,i}$ in [Volumenprozent]

k_h = NO_x -Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die NO_x -Emissionsberechnung (siehe Absatz A.8.2.2)

u_{gas} = abgasbestandteilspezifischer Faktor oder Verhältnis zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und des Abgases [-]; zu berechnen anhand von Gleichung (A.8-12) oder (A.8-13)

$q_{\text{mew},i}$ = Massendurchsatz des Abgases in der Prüfphase i , feucht [kg/s]

$c_{\text{gas},i}$ = Emissionskonzentration im Rohabgas in der Prüfphase i , feucht [ppm] oder [Volumenprozent]

A.8.2.1.2. Prüfungen mit dynamischem Zyklus und gestuften Mehrphasenzyklus

Die Gesamtmasse einer gasförmigen Emission m_{gas} [g/Prüfung] je Prüfung ist durch Multiplikation der zeitlich angeglichenen momentanen Konzentrationen und der Abgasdurchsätze und Integration über den Prüfzyklus anhand der nachstehenden Gleichung zu berechnen:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N (q_{\text{mew},i} \cdot c_{\text{gas},i}) \quad (\text{A.8-4})$$

Dabei gilt:

f = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

k_h = NO_x -Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die NO_x -Emissionsberechnung

k = 1 für $c_{\text{gasr},w,i}$ in [ppm] und $k = 10\,000$ für $c_{\text{gasr},w,i}$ in [Volumenprozent]

u_{gas} = abgasbestandteilspezifischer Faktor [-] (siehe Absatz A.8.2.4.)

N = Zahl der Messungen [-]

$q_{\text{mew},i}$ = momentaner Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

$c_{\text{gas},i}$ = momentane Emissionskonzentration im Rohabgas, feucht [ppm] oder [Volumenprozent]

In den nachstehenden Absätzen wird die Berechnung der benötigten Größen ($c_{\text{gas},i}$, u_{gas} und $q_{\text{mew},i}$) gezeigt.

A.8.2.2. Umrechnung der Konzentration vom trockenen in den feuchten Bezugszustand

Werden die Emissionen im feuchten Bezugszustand gemessen, ist die im trockenen Bezugszustand gemessene Konzentration c_d anhand der nachstehenden allgemeinen Gleichung in die Konzentration c_w im feuchten Bezugszustand umzurechnen:

$$c_w = k_w \cdot c_d \quad (\text{A.8-5})$$

Dabei gilt:

k_w = Faktor für die Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand [-]

c_d = Emissionskonzentration, trocken [ppm] oder [Volumenprozent]

Bei der vollständigen Verbrennung wird der Faktor für die Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand für Rohabgas als $k_{w,a}$ [-] bezeichnet und wie folgt berechnet:

$$k_{w,a} = \frac{\left(1 - \frac{1,2442 \cdot H_a + 111,19 \cdot w_H \cdot \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773,4 + 1,2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \cdot k_f \cdot 1\,000} \right)}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b} \right)} \quad (\text{A.8-6})$$

Dabei gilt:

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H₂O/kg trockener Luft]

$q_{mf,i}$ = momentaner Kraftstoffdurchsatz [kg/s]

$q_{mad,i}$ = momentaner Durchsatz der Ansaugluft [kg/s]

p_r = Wasserdruck nach dem Kühler [kPa]

p_b = barometrischer Gesamtdruck [kPa]

w_H = Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

k_f = zusätzliches Verbrennungsvolumen [m³/kg Kraft stoff]

wobei:

$$k_f = 0,055594 \cdot w_H + 0,0080021 \cdot w_N + 0,0070046 \cdot w_O \quad (\text{A.8-7})$$

Dabei gilt:

w_H = Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

w_N = Stickstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

w_O = Sauerstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

In der Gleichung (A.8-6) kann folgendes Verhältnis angenommen werden:

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b} \right)} = 1,008 \quad (\text{A.8-8})$$

Bei der unvollständigen Verbrennung (fette Kraftstoff-Luft-Gemische) und auch bei Emissionsprüfungen ohne direkte Messung des Luftdurchsatzes wird einer zweiten Methode zur Berechnung von $k_{w,a}$ der Vorzug gegeben:

$$k_{w,a} = \frac{\frac{1}{1 + a \cdot 0,005 \cdot (c_{CO_2} + c_{CO})} - k_{w1}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \quad (\text{A.8-9})$$

Dabei gilt:

c_{CO_2} = CO₂-Konzentration im Rohabgas, trocken [Volumenprozent]

c_{CO} = CO-Konzentration im Rohabgas, trocken [ppm]

p_r = Wasserdruck nach dem Kühler [kPa] (siehe Gleichung (A.8-9))

p_b = barometrischer Gesamtdruck [kPa] (siehe Gleichung (A.8-9))

a = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

k_{w1} = Feuchtigkeit der Ansaugluft [-]

$$k_{w1} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + 1,608 \cdot H_a} \quad (\text{A.8-10})$$

A.8.2.3. Korrektur der NO_x-Konzentration unter Berücksichtigung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Da die NO_x-Emission von den Bedingungen der Umgebungsluft abhängt, ist die NO_x-Konzentration unter Berücksichtigung von Temperatur und Feuchtigkeit der Umgebungsluft mit Hilfe des in der folgenden Gleichung angegebenen Faktors k_h [-] zu korrigieren. Dieser Faktor gilt für einen Feuchtigkeitsbereich von 0 bis 25 g H₂O/kg trockener Luft.

$$k_h = \frac{15,698 \cdot H_a}{1\,000} + 0,832 \quad (\text{A.8-11})$$

Dabei gilt:

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H₂O/kg trockener Luft]

A.8.2.4. Abgasbestandteilspezifischer Faktor u

A.8.2.4.1. Tabellenwerte

Durch die Anwendung einiger Vereinfachungen (Annahme über den Wert l und über die Bedingungen betreffend die Ansaugluft gemäß der nachstehenden Tabelle) auf die Gleichungen in Absatz A.8.2.4.2 können Werte für u_{gas} berechnet werden (siehe Absatz A.8.2.1). Die Werte für u_{gas} sind Tabelle A.8.1 zu entnehmen.

Tabelle A.8.1

u -Werte für das Rohabgas und Dichte der Abgasbestandteile (die u -Werte werden für die in ppm ausgedrückte Emissionskonzentration berechnet)

Gas		NO _x	CO	HC	CO ₂	O ₂	CH ₄
r _{gas} [kg/m³]		2,053	1,250	0,621	1,9636	1,4277	0,716
Kraftstoff	r _e [kg/m³]	Koeffizient u _{gas} bei λ = 2, trockener Luft, 273 K, 101,3 kPa					
Diesel	1,2939	0,001587	0,000966	0,000479	0,001518	0,001103	0,000553

A.8.2.4.2. Berechnete Werte

Der abgasbestandteilspezifische Faktor $u_{\text{gas},i}$ kann anhand des Verhältnisses zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und des Abgases oder alternativ durch das entsprechende Verhältnis der Molmassen ermittelt werden:

$$u_{\text{gas},i} = M_{\text{gas}} / (M_{e,i} \cdot 1\,000) \quad (\text{A.8-12})$$

oder

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{e,i} \cdot 1\,000) \quad (\text{A.8-13})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse des Abgasbestandteils [g/mol]

$M_{e,i}$ = momentane Molmasse des feuchten Rohabgases [g/mol]

r_{gas} = Dichte des Abgasbestandteils [kg/m³]

$r_{e,i}$ = momentane Dichte des feuchten Rohabgases [kg/m³]

Die Molmasse des Abgases $M_{e,i}$ ist für die allgemeine Kraftstoffzusammensetzung $\text{CH}_a\text{O}_e\text{N}_d\text{S}_g$ unter der Annahme vollständiger Verbrennung wie folgt abzuleiten:

$$M_{e,i} = \frac{1 + \frac{q_{\text{mf},i}}{q_{\text{maw},i}}}{\frac{q_{\text{mf},i}}{q_{\text{maw},i}} \cdot \frac{\frac{a}{4} + \frac{e}{2} + \frac{\delta}{2}}{12,001 + 1,00794 \cdot a + 15,9994 \cdot e + 14,0067 \cdot \delta + 32,0065 \cdot \gamma} + \frac{\frac{H_a \cdot 10^{-3}}{2 \times 1,00794 + 15,9994} + \frac{1}{M_a}}{1 + H_a \cdot 10^{-3}}} \quad (\text{A.8-14})$$

Dabei gilt:

$q_{\text{mf},i}$ = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs, feucht [kg/s]

$q_{\text{maw},i}$ = momentaner Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht [kg/s]

a = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

d = Stickstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

e = Sauerstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]

g = Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis [-]

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H₂O/kg trockener Luft]

M_a = Molekularmasse der trockenen Ansaugluft = 28,965 g/mol

Die momentane Dichte des Rohabgases $r_{e,i}$ [kg/m³] ist wie folgt abzuleiten:

$$\rho_{e,i} = \frac{1\,000 + H_a + 1\,000 \cdot (q_{\text{mf},i} / q_{\text{mad},i})}{773,4 + 1,2434 \cdot H_a + k_f \cdot 1\,000 \cdot (q_{\text{mf},i} / q_{\text{mad},i})} \quad (\text{A.8-15})$$

Dabei gilt:

$q_{mf,i}$ = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]

$q_{mad,i}$ = momentaner Massendurchsatz der trockenen Ansaugluft [kg/s]

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H₂O/kg trockener Luft]

k_f = zusätzliches Verbrennungsvolumen [m³/kg Kraftstoff] (siehe Gleichung A.8-7)

A.8.2.5. Massendurchsatz des Rohabgases

A.8.2.5.1. Verfahren zur Luft- und Kraftstoffmessung

Dieses Verfahren beinhaltet die Messung des Luftdurchsatzes und des Kraftstoffdurchsatzes mit geeigneten Durchsatzmessgeräten. Der momentane Abgasdurchsatz $q_{mew,i}$ [kg/s] ist wie folgt zu berechnen:

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \quad (\text{A.8-16})$$

Dabei gilt:

$q_{maw,i}$ = momentaner Massendurchsatz der Ansaugluft [kg/s]

$q_{mf,i}$ = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]

A.8.2.5.2. Verfahren zur Messung mit Spürgas

Hierbei wird die Konzentration eines Spürgases im Abgas gemessen. Der momentane Abgasdurchsatz $q_{mew,i}$ [kg/s] ist wie folgt zu berechnen:

$$q_{mew,i} = \frac{q_{Vt} \cdot \rho_e}{10^{-6} \cdot (c_{mix,i} - c_b)} \quad (\text{A.8-17})$$

Dabei gilt:

q_{Vt} = Durchsatz des Spürgases [m³/s]

$c_{mix,i}$ = momentane Konzentration des Spürgases nach der Vermischung [ppm]

ρ_e = Dichte des Rohabgases [kg/m³]

c_b = Hintergrundkonzentration des Spürgases in der Ansaugluft [ppm]

Die Hintergrundkonzentration des Spürgases c_b kann durch Bildung des Durchschnitts der unmittelbar vor und nach dem Prüflauf gemessenen Hintergrundkonzentration bestimmt werden. Die Hintergrundkonzentration kann vernachlässigt werden, wenn sie bei maximalem Abgasdurchsatz weniger als 1 % der Konzentration des Spürgases nach der Vermischung $c_{mix,i}$ beträgt.

A.8.2.5.3. Verfahren zur Messung von Luftdurchsatz und Luft-Kraftstoff-Verhältnis

Hierbei wird die Abgasmasse aus dem Luftdurchsatz und dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis errechnet. Der momentane Massendurchsatz des Abgases $q_{mew,i}$ [kg/s] ist wie folgt zu berechnen:

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{st} \cdot \lambda_i} \right) \quad (\text{A.8-18})$$

mit:

$$A/F_{st} = \frac{138,0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right)}{12,011 + 1,00794 \cdot \alpha + 15,9994 \cdot \varepsilon + 14,0067 \cdot \delta + 32,065 \cdot \gamma} \quad (\text{A.8-19})$$

$$\lambda_i = \frac{\left(100 - \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{2} - c_{HCw} \cdot 10^{-4} \right) + \left(\frac{\alpha}{4} \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot c_{CO2d}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2}}{1 + \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot c_{CO2d}}} \right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4})}{4,764 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4} + c_{HCw} \cdot 10^{-4})} \quad (\text{A.8-20})$$

Dabei gilt:

$q_{maw,i}$ = Massendurchsatz der Ansaugluft, feucht [kg/s]

A/F_{st} = stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis [-]

λ_i = momentaner Luftüberschussfaktor [-]

- c_{Cod} = CO-Konzentration im Rohabgas, trocken [ppm]
 c_{CO2d} = CO₂-Konzentration im Rohabgas, trocken [%]
 c_{HCw} = HC-Konzentration im Rohabgas, feucht [ppm C1]
 a = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]
 d = Stickstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]
 e = Sauerstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis [-]
 g = Schwefel-Kohlenstoff-Atomverhältnis [-]

A.8.2.5.4. Kohlenstoffbilanzmethode, einstufiges Verfahren

Die nachstehende einstufige Formel kann zur Berechnung des Massendurchsatzes des feuchten Abgases $q_{\text{mew},i}$ [kg/s] verwendet werden:

$$q_{\text{mew},i} = q_{\text{mf},i} \cdot \left[\frac{1,4 \cdot w_{\text{C}}^2}{(1,0828 \cdot w_{\text{C}} + k_{\text{fd}} \cdot f_{\text{c}}) f_{\text{c}}} \left(1 + \frac{H_{\text{a}}}{1\,000} \right) + 1 \right] \quad (\text{A.8-21})$$

wobei der Kohlenstofffaktor f_{c} [-] mithilfe der nachstehenden Gleichung ermittelt wird:

$$f_{\text{c}} = 0,5441 \cdot (c_{\text{CO2d}} - c_{\text{CO2d,a}}) + \frac{c_{\text{COd}}}{18\,522} + \frac{c_{\text{HCw}}}{17\,355} \quad (\text{A.8-22})$$

Dabei gilt:

- $q_{\text{mf},i}$ = momentaner Massendurchsatz des Kraftstoffs [kg/s]
 w_{C} = Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]
 H_{a} = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H₂O/kg trockener Luft]
 k_{fd} = zusätzliches Verbrennungsvolumen, trocken [m³/kg Kraftstoff]
 c_{CO2d} = Konzentration des trockenen CO₂ im Rohabgas [%]
 $c_{\text{CO2d,a}}$ = Konzentration des trockenen CO₂ in der Umgebungsluft [%]
 c_{Cod} = Konzentration des trockenen CO im Rohabgas [ppm]
 c_{HCw} = Konzentration des feuchten HC im Rohabgas [ppm]

wobei der Faktor k_{fd} [m³/kg Kraftstoff] im trockenen Bezugszustand berechnet wird, indem das im Zuge der Verbrennung gebildete Wasser von k_{f} abgezogen wird:

$$k_{\text{fd}} = k_{\text{f}} - 0,11118 \cdot w_{\text{H}} \quad (\text{A.8-23})$$

Dabei gilt:

- k_{f} = kraftstoffspezifischer Gleichungsfaktor (A.8-7) [m³/kg Kraftstoff]
 w_{H} = Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs [Massenprozent]

A.8.3. Verdünnte gasförmige Emissionen

A.8.3.1. Masse der gasförmigen Emissionen

A.8.3.1.1. Messung mit Vollstrom-Verdünnungssystem (CVS)

Der Abgasmassendurchsatz ist mit einem System zur Probenahme mit konstantem Volumen (CVS) zu messen, das mit einer Verdrängerpumpe (PDP), einem Venturirohr mit kritischer Strömung (CFV) oder einem subsonischen Venturirohr (SSV) ausgestattet ist.

Bei Systemen mit konstantem Massendurchsatz (d. h. mit Wärmetauscher) ist die Schadstoffmasse m_{gas} [g/Prüfung] anhand der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$m_{\text{gas}} = k_{\text{h}} \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot c_{\text{gas}} \cdot m_{\text{ed}} \quad (\text{A.8-24})$$

Dabei gilt:

- u_{gas} = Verhältnis zwischen der Dichte des Abgasbestandteils und der Dichte der Luft gemäß Tabelle A.8.2 oder berechnet anhand von Gleichung (A.8-35) [-]
 c_{gas} = mittlere hintergrundkorrigierte Konzentration des Abgasbestandteils, feucht [ppm] bzw. [Volumenprozent]
 k_{h} = NO_x-Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die NO_x-Emissionsberechnung

$k = 1$ für $c_{\text{gasr,w,i}}$ in [ppm], $k = 10\,000$ für $c_{\text{gasr,w,i}}$ in [Volumenprozent]

m_{ed} = Gesamtmasse des verdünnten Abgases über den Zyklus [kg/Prüfung]

Für Systeme mit Durchsatzkompensation (ohne Wärmetauscher) ist die Schadstoffmasse m_{gas} [g/Prüfung] durch Berechnung der momentanen Massenemissionen sowie Integration und Hintergrundkorrektur gemäß der nachstehenden Gleichung zu bestimmen:

$$m_{\text{gas}} = k_h \cdot k \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N [(m_{\text{ed,i}} \cdot c_e \cdot u_{\text{gas}})] - \left[\left(m_{\text{ed}} \cdot c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \cdot u_{\text{gas}} \right) \right] \right\} \quad (\text{A.8-25})$$

Dabei gilt:

c_e = Emissionskonzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm] oder [Volumenprozent]

c_d = Emissionskonzentration in der Verdünnungsluft, feucht [ppm] oder [Volumenprozent]

$m_{\text{ed,i}}$ = Masse des verdünnten Abgases während des Zeitintervalls i [kg]

m_{ed} = Gesamtmasse des verdünnten Abgases über den Zyklus [kg]

u_{gas} = Wert aus Tabelle A.8.2 [-]

D = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung (A.8-29) gemäß Absatz A.8.3.2.2.) [-]

k_h = NO_x -Korrekturfaktor [-], nur anzuwenden für die NO_x -Emissionsberechnung

$k = 1$ für c in [ppm], $k = 10\,000$ für c in [Volumenprozent]

Die Werte für die Konzentrationen c_{gas} , c_e und c_d können entweder in einer Stichprobe gemessen werden (in einem Beutel; nicht zulässig für NO_x und HC) oder durch Integration aus kontinuierlichen Messungen als Durchschnittswert ermittelt werden. Auch $m_{\text{ed,i}}$ muss durch Integration über den Prüfzyklus als Durchschnittswert ermittelt werden.

Die nachstehenden Gleichungen zeigen, wie die benötigten Größen (c_e , u_{gas} und m_{ed}) zu berechnen sind.

A.8.3.2. Umrechnung der Konzentration vom trockenen in den feuchten Bezugszustand

Alle Konzentrationen in Absatz A.8.3.2. sind gemäß Gleichung (A.8-5) ($c_w = k_w \cdot c_d$) umzurechnen.

A.8.3.2.1. Verdünntes Abgas

Alle im trockenen Bezugszustand gemessenen Konzentrationen sind mit Hilfe einer der beiden folgenden Gleichungen in den feuchten Bezugszustand umzurechnen:

$$k_{w,e} = \left[\left(1 - \frac{a \cdot c_{\text{CO2w}}}{200} \right) - k_{w2} \right] \cdot 1,008 \quad (\text{A.8-26})$$

oder

$$k_{w,e} = \left(\frac{(1 - k_{w2})}{1 + \frac{a \cdot c_{\text{CO2d}}}{200}} \right) \cdot 1,008 \quad (\text{A.8-27})$$

Dabei gilt:

$k_{w,e}$ = Faktor für die Umrechnung des verdünnten Abgases vom trockenen in den feuchten Bezugszustand [-]

a = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis des Kraftstoffs [-]

c_{CO2w} = CO_2 -Konzentration im verdünnten Abgas, feucht [Volumenprozent]

c_{CO2d} = CO_2 -Konzentration im verdünnten Abgas, trocken [Volumenprozent]

Der Korrekturfaktor k_{w2} für die Umrechnung vom trockenen in den feuchten Bezugszustand berücksichtigt den Wassergehalt sowohl der Ansaug- als auch der Verdünnungsluft:

$$k_{w2} = \frac{1,608 \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right]}{1\,000 + \left\{ 1,608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad (\text{A.8-28})$$

Dabei gilt:

H_a = Feuchtigkeit der Ansaugluft [g H_2O /kg trockener Luft]

H_d = Feuchtigkeit der Verdünnungsluft [g H_2O /kg trockener Luft]

D = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung (A.8-29) in Absatz A.8.3.2.2.) [-]

A.8.3.2.2. Verdünnungsfaktor

Der Verdünnungsfaktor D [-] (der für die Hintergrundkorrektur und die Berechnung von k_{w2} benötigt wird) ist wie folgt zu berechnen:

$$D = \frac{F_S}{c_{\text{CO}_2,e} + (c_{\text{HC},e} + c_{\text{CO},e}) \cdot 10^{-4}} \quad (\text{A.8-29})$$

Dabei gilt:

F_S = stöchiometrischer Faktor [-]

$c_{\text{CO}_2,e}$ = CO_2 -Konzentration im verdünnten Abgas, feucht [Volumenprozent]

$c_{\text{HC},e}$ = HC-Konzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm C1]

$c_{\text{CO},e}$ = CO-Konzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm]

Der stöchiometrische Faktor berechnet sich wie folgt:

$$F_S = 100 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3,76 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (\text{A.8-30})$$

Dabei gilt:

α = Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis des Kraftstoffs [-]

Ist die Kraftstoffzusammensetzung unbekannt, können alternativ folgende stöchiometrische Faktoren verwendet werden: F_S (Diesel) = 13,4

Wird eine direkte Messung des Abgasdurchsatzes durchgeführt, kann der Verdünnungsfaktor D [-] wie folgt berechnet werden:

$$D = \frac{q_{\text{VCVS}}}{q_{\text{Vew}}} \quad (\text{A.8-31})$$

Dabei gilt:

q_{VCVS} = Volumendurchsatz des verdünnten Abgases [m^3/s]

q_{Vew} = Volumendurchsatz des Rohabgases [m^3/s]

A.8.3.2.3. Verdünnungsluft

$$k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1,008 \quad (\text{A.8-32})$$

Dabei ist:

$$k_{w3} = \frac{1,608 \cdot H_d}{1\,000 + 1,608 + H_d} \quad (\text{A.8-33})$$

Dabei gilt:

H_d = Feuchtigkeit der Verdünnungsluft [g $\text{H}_2\text{O}/\text{kg}$ trockener Luft]

A.8.3.2.4. Bestimmung der hintergrundkorrigierten Konzentration

Um die Nettokonzentration der Schadstoffe zu bestimmen, sind die durchschnittlichen Hintergrundkonzentrationen der gasförmigen Schadstoffe in der Verdünnungsluft von den gemessenen Konzentrationen abzuziehen. Die Durchschnittswerte der Hintergrundkonzentrationen können mit Hilfe der Beutelmethode oder durch laufende Messungen mit Integration bestimmt werden. Folgende Formel ist zu verwenden:

$$c_{\text{gas}} = c_{\text{gas},e} - c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) \quad (\text{A.8-34})$$

Dabei gilt:

c_{gas} = Nettokonzentration des gasförmigen Schadstoffs [ppm] oder [Volumenprozent]

$c_{\text{gas},e}$ = Emissionskonzentration im verdünnten Abgas, feucht [ppm] oder [Volumenprozent]

c_d = Emissionskonzentration in der Verdünnungsluft, feucht [ppm] oder [Volumenprozent]

D = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung (A.8-29) in Absatz A.8.3.2.2.) [-]

A.8.3.3. Abgasbestandteilspezifischer Faktor u

Der abgasbestandteilspezifische Faktor u_{gas} verdünnter Gase kann entweder anhand der nachstehenden Gleichung berechnet oder Tabelle A.8.2 entnommen werden; in Tabelle A.8.2 wird davon ausgegangen, dass die Dichte des verdünnten Abgases der Dichte der Luft entspricht.

$$u = \frac{M_{\text{gas}}}{M_{\text{d,w}} \cdot 1\,000} = \frac{M_{\text{gas}}}{\left[M_{\text{da,w}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + M_{\text{r,w}} \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right] \cdot 1\,000} \quad (\text{A.8-35})$$

Dabei gilt:

M_{gas} = Molmasse des Abgasbestandteils [g/mol]

$M_{\text{d,w}}$ = Molmasse des verdünnten Abgases [g/mol]

$M_{\text{da,w}}$ = Molmasse der Verdünnungsluft [g/mol]

$M_{\text{r,w}}$ = Molmasse des Rohabgases [g/mol]

D = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung (A.8-29) in Absatz A.8.3.2.2.) [-]

Tabelle A.8.2

u-Werte für das verdünnte Abgas und Dichte der Abgasbestandteile (die u-Werte werden für die in ppm ausgedrückte Emissionskonzentration berechnet)

Gas	NO _x	CO	HC	CO ₂	O ₂	CH ₄
r_{gas} [kg/m ³]	2,053	1,250	0,621	1,9636	1,4277	0,716
Kraftstoff	r_e [kg/m ³]	Koeffizient u_{gas} bei $\lambda = 2$, trockener Luft, 273 K, 101,3 kPa				
Diesel	1,293	0,001588	0,000967	0,000480	0,001519	0,00110
		0,000553				

A.8.3.4. Berechnung des Massendurchsatzes des Abgases

A.8.3.4.1. PDP-CVS-System

Sofern die Temperatur des verdünnten Abgases m_{ed} während des Zyklus mithilfe eines Wärmetauschers konstant auf ± 6 K gehalten wird, ist der Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/Prüfung] über den Zyklus wie folgt zu berechnen:

$$m_{\text{ed}} = 1,293 \cdot V_0 \cdot n_p \cdot \frac{p_p}{101,325} \cdot \frac{273,15}{\bar{T}} \quad (\text{A.8-36})$$

Dabei gilt:

V_0 = unter Prüfbedingungen gefördertes Gasvolumen je Pumpenumdrehung [m³/rev]

n_p = Gesamtzahl der Pumpenumdrehungen je Prüfung [rev/Prüfung]

p_p = absoluter Druck am Pumpeneintritt [kPa]

$\bar{T}$ = mittlere Temperatur des verdünnten Abgases am Pumpeneintritt [K]

1,293 kg/m³ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

Wird ein System mit Durchsatzkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so ist die Masse des verdünnten Abgases $m_{\text{ed},i}$ [kg] während des Zeitintervalls wie folgt zu berechnen:

$$m_{\text{ed},i} = 1,293 \cdot V_0 \cdot n_{p,i} \cdot \frac{p_p}{101,325} \cdot \frac{273,15}{\bar{T}} \quad (\text{A.8-37})$$

Dabei gilt:

V_0 = unter Prüfbedingungen gefördertes Gasvolumen je Pumpenumdrehung [m³/rev]

p_p = absoluter Druck am Pumpeneintritt [kPa]

$n_{p,i}$ = Gesamtzahl der Pumpenumdrehungen je Zeitintervall i [rev/Dt]

$\bar{T}$ = mittlere Temperatur des verdünnten Abgases am Pumpeneintritt [K]

1,293 kg/m³ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

A.8.3.4.2. CFV-CVS-System

Sofern die Temperatur des verdünnten Abgases während des Zyklus mit Hilfe eines Wärmetauschers auf ± 11 K genau konstant gehalten wird, ist der Massendurchsatz über den Zyklus m_{ed} [g/Prüfung] wie folgt zu berechnen:

$$m_{\text{ed}} = \frac{1,293 \cdot t \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0,5}} \quad (\text{A.8-38})$$

Dabei gilt:

t = Zyklusdauer [s]

K_V = Kalibrierkoeffizient des Venturirohrs mit kritischer Strömung für Normalzustand $[(\sqrt{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s})/\text{kg}]$

p_p = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]

T = absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

$1,293 \text{ kg/m}^3$ = Luftdichte [] bei 273,15 K und 101,325 kPa

Wird ein System mit Durchsatzkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so ist die Masse des verdünnten Abgases $m_{\text{ed},i}$ [kg] während des Zeitintervalls wie folgt zu berechnen:

$$m_{\text{ed},i} = \frac{1,293 \cdot \Delta t_i \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0.5}} \quad (\text{A.8-39})$$

Dabei gilt:

Δt_i = Zeitintervall der Prüfung [s]

K_V = Kalibrierkoeffizient des Venturirohrs mit kritischer Strömung für Normalzustand $[(\sqrt{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s})/\text{kg}]$

p_p = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]

T = absolute Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

$1,293 \text{ kg/m}^3$ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

A.8.3.4.3. SSV-CVS-System

Sofern die Temperatur des verdünnten Abgases während des Zyklus mithilfe eines Wärmetauschers auf $\pm 11 \text{ K}$ genau konstant gehalten wird, ist die Masse des verdünnten Abgases über den Zyklus m_{ed} [kg/Prüfung] wie folgt zu berechnen:

$$m_{\text{ed}} = 1,293 \cdot q_{\text{VSSV}} \cdot \Delta t \quad (\text{A.8-40})$$

Dabei gilt:

$1,293 \text{ kg/m}^3$ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

Δt = Zyklusdauer [s]

q_{VSSV} = Luftdurchsatz im Normalzustand (101,325 kPa, 273,15 K) [m^3/s]

Dabei ist:

$$q_{\text{VSSV}} = \frac{A_0}{60} d_v^2 C_d p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T_{\text{in}}} \left(r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1,4286}} \right) \right]} \quad (\text{A.8-41})$$

Dabei gilt:

A_0 = Sammlung von Konstanten und Einheitenumrechnungen = $0,0056940 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{kPa}} \cdot \frac{1}{\text{mm}^2} \right]$

d_v = Durchmesser der SSV-Einschnürung [mm]

C_d = Durchflusskoeffizient des SSV [-]

p_p = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]

T_{in} = Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

r_p = Verhältnis zwischen den absoluten statischen Drücken an der Einschnürung und am Eintritt des SSV, $\left(1 - \frac{\Delta p}{p_a} \right)$ [-]

r_D = Verhältnis zwischen den Innendurchmessern an der Einschnürung und am Eintritt des SSV, $\frac{d}{D}$ [-]

Wird ein System mit Durchsatzkompensation (d. h. ohne Wärmetauscher) verwendet, so ist die Masse des verdünnten Abgases $m_{\text{ed},i}$ [kg] während des Zeitintervalls wie folgt zu berechnen:

$$m_{\text{ed},i} = 1,293 \cdot q_{\text{VSSV}} \cdot \Delta t_i \quad (\text{A.8-42})$$

Dabei gilt:

$1,293 \text{ kg/m}^3$ = Luftdichte bei 273,15 K und 101,325 kPa

Δt_i = Zeitintervall [s]

q_{VSSV} = Volumendurchsatz des SSV [m^3/s]

A.8.3.5. Berechnung der Partikelemission

A.8.3.5.1. Dynamischer Zyklus und gestufter Mehrphasenzyklus

Nach der Auftriebskorrektur der Partikel-Probenahmemasse ist gemäß Absatz 8.1.12.2.5 die Partikelmasse zu berechnen.

A.8.3.5.1.1. Teilstrom-Verdünnungssystem

Die Berechnungsmethode für ein Doppelverdünnungssystem ist in Absatz A.8.3.5.1.2. enthalten.

A.8.3.5.1.1.1. Berechnung auf der Grundlage des Probenahmeverhältnisses

Die Partikelemission über den Zyklus m_{PM} [g] ist anhand der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{r_s \cdot 1\,000} \quad (A.8-43)$$

Dabei gilt:

m_f = über den Zyklus abgeschiedene Partikel-Probenahmemasse [mg]

r_s = durchschnittliches Probenahmeverhältnis über den Prüfzyklus [-]

wobei:

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \cdot \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \quad (A.8-44)$$

Dabei gilt:

m_{se} = Probenmasse des Rohabgases über den Zyklus [kg]

m_{ew} = Gesamtmasse des Rohabgases über den Zyklus [kg]

m_{sep} = Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt [kg]

m_{sed} = Masse des verdünnten Abgases, das den Verdünnungstunnel durchströmt [kg]

Bei einem System mit Vollstromprobenahme sind m_{sep} und m_{sed} identisch.

A.8.3.5.1.1.2. Berechnung auf der Grundlage des Verdünnungsverhältnisses

Die Partikelemission über den Zyklus m_{PM} [g] ist anhand der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{edf}}{1\,000} \quad (A.8-45)$$

Dabei gilt:

m_f = über den Zyklus abgeschiedene Partikelmasse [mg]

m_{sep} = Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt [kg]

m_{edf} = Masse des äquivalenten verdünnten Abgases über den Zyklus [kg]

Die Gesamtmasse des äquivalenten verdünnten Abgases über den Zyklus m_{edf} [kg] ist wie folgt zu bestimmen:

$$m_{edf} = \frac{1}{f} \cdot \sum_{i=1}^N q_{medf,i} \quad (A.8-46)$$

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} \cdot r_{d,i} \quad (A.8-47)$$

$$r_{d,i} = \frac{q_{mdew,i}}{q_{mdew,i} - q_{mdw,i}} \quad (A.8-48)$$

Dabei gilt:

$q_{medf,i}$ = momentaner äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/s]

$q_{mew,i}$ = momentaner Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

$r_{d,i}$ = momentanes Verdünnungsverhältnis [-]

$q_{mdew,i}$ = momentaner Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht [kg/s]

$q_{mdw,i}$ = momentaner Massendurchsatz der Verdünnungsluft [kg/s]

f = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

A.8.3.5.1.2. Vollstrom-Verdünnungssystem

Die Massenemission ist wie folgt zu berechnen:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{ed}}{1\,000} \quad (\text{A.8-49})$$

Dabei gilt:

m_f = über den Zyklus abgeschiedene Partikelmasse [mg]

m_{sep} = Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt [kg]

m_{ed} = Masse des verdünnten Abgases über den Zyklus [kg]

wobei:

$$m_{sep} = m_{set} \cdot m_{ssd} \quad (\text{A.8-50})$$

Dabei gilt:

m_{set} = Masse des durch Partikelfilter geleiteten doppelt verdünnten Abgases [kg]

m_{ssd} = Masse der Sekundärverdünnungsluft [kg]

A.8.3.5.1.3. Hintergrundkorrektur

Die Hintergrundkorrektur für den Partikelmasse $m_{PM,c}$ [g] kann wie folgt vorgenommen werden:

$$m_{PM,c} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[\frac{m_b}{m_{sd}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{m_{ed}}{1\,000} \quad (\text{A.8-51})$$

Dabei gilt:

m_f = über den Zyklus abgeschiedene Partikelmasse [mg]

m_{sep} = Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt [kg]

m_{sd} = Masse der Verdünnungsluft, Probenahme mittels Probenentnehmer für Hintergrundpartikel [kg]

m_b = abgeschiedene Hintergrundpartikelmasse der Verdünnungsluft [mg]

m_{ed} = Masse des verdünnten Abgases über den Zyklus [kg]

D = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung (A.8-29) in Absatz A.8.3.2.2.) [-]

A.8.3.5.2. Berechnung für stationäre Prüfzyklen mit Einzelphasen

A.8.3.5.2.1. Verdünnungssystem

Alle Berechnungen müssen auf den Mittelwerten der einzelnen Prüfphasen i während der Probenahmedauer beruhen.

- a) Bei Teilstrom-Verdünnungssystemen ist der äquivalente Massendurchsatz des verdünnten Abgases mit Hilfe des in Abbildung 9.2 dargestellten Systems mit Durchsatzmessung zu ermitteln:

$$q_{medf} = q_{mew} \cdot r_d \quad (\text{A.8-52})$$

$$r_d = \frac{q_{mdew}}{q_{mdew} - q_{mdw}} \quad (\text{A.8-53})$$

Dabei gilt:

q_{medf} = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/s]

q_{mew} = Massendurchsatz des Abgases, feucht [kg/s]

r_d = Verdünnungsverhältnis [-]

q_{mdew} = Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht [kg/s]

q_{mdw} = Massendurchsatz der Verdünnungsluft [kg/s]

- b) Bei Vollstrom-Verdünnungssystemen wird q_{mdew} als q_{medf} verwendet.

A.8.3.5.2.2. Berechnung des Partikelmassendurchsatzes

Der Durchsatz der Partikelemission über den Zyklus q_{mPM} [g/h] ist wie folgt zu berechnen:

- a) Für die Einfachfiltermethode

$$q_{mPM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot q_{medf} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (\text{A.8-54})$$

$$\overline{q_{\text{medf}}} = \sum_{i=1}^N q_{\text{medfi}} \cdot WF_i \quad (\text{A.8-55})$$

$$m_{\text{sep}} = \sum_{i=1}^N m_{\text{sepi}} \quad (\text{A.8-56})$$

Dabei gilt:

q_{mPM} = Partikelmassendurchsatz [g/h]

m_f = über den Zyklus abgeschiedene Partikelmasse [mg]

$\overline{q_{\text{medf}}}$ = durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht [kg/s]

q_{medfi} = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht, in der Prüfphase i [kg/s]

WF_i = Wichtungsfaktor für Prüfphase i [-]

m_{sep} = Masse des verdünnten Abgases, das die Partikelabscheidefilter durchströmt [kg]

m_{sepi} = Masse der verdünnten Abgasprobe, welche den Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase i durchströmt [kg]

N = Zahl der Messungen [-]

b) Für die Mehrfachfiltermethode

$$q_{\text{mPMi}} = \frac{m_{fi}}{m_{\text{sepi}}} \cdot q_{\text{medfi}} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (\text{A.8-57})$$

Dabei gilt:

q_{mPMi} = Partikelmassendurchsatz in der Prüfphase i [g/h]

m_{fi} = in der Prüfphase i abgeschiedene Partikelmasse [mg]

q_{medfi} = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht, in der Prüfphase i [kg/s]

m_{sepi} = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase i durchströmt [kg]

Die PM-Masse wird über den Prüfzyklus durch Addition der in den einzelnen Prüfphasen i während der Probenahmedauer erfassten Durchschnittswerte bestimmt.

Die Hintergrundkorrektur für den Partikelmassendurchsatz q_{mPM} [g/h] oder q_{mPMi} [g/h] kann wie folgt vorgenommen werden:

a) Für die Einfachfiltermethode

$$q_{\text{mPM}} = \left\{ \frac{m_f}{m_{\text{sep}}} - \left[\frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) \cdot WF_i \right] \right\} \cdot \frac{3\,600}{\overline{q_{\text{medf}}} \cdot 1\,000} \quad (\text{A.8-58})$$

Dabei gilt:

q_{mPM} = Partikelmassendurchsatz [g/h]

m_f = abgeschiedene Partikelmasse [mg]

m_{sep} = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den Partikel-Probenahmefilter durchströmt [kg]

$m_{f,d}$ = abgeschiedene Partikelmasse der Verdünnungsluft [mg]

m_d = Masse der Verdünnungsluftprobe, die die Partikel-Probenahmefilter durchströmt [kg]

D_i = Verdünnungsfaktor in der Prüfphase i (siehe Gleichung (A.8-29) in Absatz A.8.3.2.2) [-]

WF_i = Wichtungsfaktor für Prüfphase i [-]

$\overline{q_{\text{medf}}}$ = durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht [kg/s]

b) Für die Mehrfachfiltermethode

$$q_{\text{mPMi}} = \left\{ \frac{m_{fi}}{m_{\text{sepi}}} - \left[\frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot q_{\text{medfi}} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (\text{A.8-59})$$

Dabei gilt:

q_{mPM} = Partikelmassendurchsatz [g/h]

m_{fi} = in der Prüfphase i abgeschiedene Partikelmasse [mg]

$m_{f,d}$ = abgeschiedene Partikelmasse der Verdünnungsluft [mg]

q_{medfi} = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht, in der Prüfphase i [kg/h]

m_{sepi} = Masse der verdünnten Abgasprobe, die den Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase i durchströmt [kg]

m_d = Masse der Verdünnungsluftprobe, die die Partikel-Probenahmefilter durchströmt [kg]

D = Verdünnungsfaktor (siehe Gleichung (A.8-29) in Absatz A.8.3.2.2) [-]

$\overline{q_{medf}}$ = durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases, feucht [kg/s]

Wird mehr als eine Messung durchgeführt, so ist $\overline{m_{f,d}}/\overline{m_d}$ durch zu ersetzen.

A.8.4. Zyklusarbeit und spezifische Emissionen

A.8.4.1. Gasförmige Emissionen

A.8.4.1.1. Dynamischer Zyklus und gestufter Mehrphasenzyklus

Für Rohabgas bzw. verdünntes Abgas wird auf die Absätze A.8.2.1 bzw. A.8.3.1 verwiesen. Die resultierenden Werte für die Leistung P [kW] werden über ein Prüfintervall integriert. Die Gesamtarbeit W_{act} [kWh] ist wie folgt zu berechnen:

$$W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (A.8-60)$$

Dabei gilt:

P_i = momentane Motorleistung [kW]

n_i = momentane Motordrehzahl [min⁻¹]

T_i = momentanes Motordrehmoment [Nm]

W_{act} = tatsächliche Zyklusarbeit [kWh]

f = Datenerfassungsfrequenz [Hz]

N = Zahl der Messungen [-]

Die spezifischen Emissionen e_{gas} [g/kWh] sind in Abhängigkeit von der Art des Prüfzyklus wie folgt zu berechnen.

$$e_{gas} = \frac{m_{gas}}{W_{act}} \quad (A.8-61)$$

Dabei gilt:

m_{gas} = Gesamtmasse der Emission [g/Prüfung]

W_{act} = Zyklusarbeit [kWh]

Bei einem dynamischen Zyklus ist das endgültige Prüfergebnis e_{gas} [g/kWh] ein gewichteter Durchschnittswert aus Kaltstartprüfung und Warmstartprüfung nach der folgenden Gleichung:

$$e_{gas} = \frac{(0,1 \cdot m_{cold}) + (0,9 \cdot m_{hot})}{(0,1 \cdot W_{act,cold}) + (0,9 \cdot W_{act,hot})} \quad (A.8-62)$$

Bei einer sporadischen (periodischen) Abgasregenerierung (Absatz 6.6.2) sind die spezifischen Emissionen anhand des multiplikativen Anpassungsfaktors k_r (Gleichung (6-4)) oder der beiden getrennten Paare von additiven Anpassungsfaktoren k_{Ur} (Faktor zur Anpassung der Gleichung nach oben (6-5)) und k_{Dr} (Faktor zur Anpassung der Gleichung nach unten (6-6)) zu korrigieren.

A.8.4.1.2. Stationärer Prüfzyklus mit Einzelphasen

Die spezifischen Emissionen e_{gas} [g/kWh] sind wie folgt zu berechnen:

$$e_{gas} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (q_{mgasi} \cdot W_{Fi})}{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (P_i \cdot W_{Fi})} \quad (A.8-63)$$

Dabei gilt:

$q_{mgas,i}$ = mittlerer Massendurchsatz der Emission für Prüfphase i [g/h]

P_i = Motorleistung für Prüfphase i [kW] mit $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$ (siehe Absätze 6.3 und 7.7.1.2)

W_{Fi} = Wichtungsfaktor für Prüfphase i [-]

A.8.4.2. Partikelemissionen

A.8.4.2.1. Dynamischer Zyklus und gestufter Mehrphasenzyklus

Die partikelspezifischen Emissionen sind anhand von Gleichung (A.8-61) zu berechnen, wobei e_{gas} [g/kWh] bzw. m_{gas} [g/Prüfung] durch e_{PM} [g/kWh] bzw. m_{PM} [g/Prüfung] ersetzt werden:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.8-64})$$

Dabei gilt:

m_{PM} = Gesamtmasse der Partikelemission, berechnet gemäß Absatz A.8.3.5. [g/Prüfung]

W_{act} = Zyklusarbeit [kWh]

Die Emissionen während des dynamischen Kombinationszyklus (d. h. kalte Phase und warme Phase) sind gemäß Absatz A.8.4.1 zu berechnen.

A.8.4.2.2. Stationärer Prüfzyklus Einzelphasen

Die partikelspezifische Emission e_{PM} [g/kWh] ist wie folgt zu berechnen:

a) Für die Einfachfiltermethode

$$e_{\text{PM}} = \frac{q_{\text{mPM}}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.8-65})$$

Dabei gilt:

P_i = Motorleistung für Prüfphase i [kW] mit $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$ (siehe Absätze 6.3. und 7.7.1.2.)

WF_i = Wichtungsfaktor für Prüfphase i [-]

q_{mPM} = Partikelmassendurchsatz [g/h]

b) Für die Mehrfachfiltermethode

$$e_{\text{PM}} = \frac{\sum_{i=1}^N (q_{\text{mPMi}} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.8-66})$$

Dabei gilt:

P_i = Motorleistung für Prüfphase i [kW] mit $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$ (siehe Absätze 6.3. und 7.7.1.2.)

WF_i = Wichtungsfaktor für Prüfphase i [-]

q_{mPMi} = Partikelmassendurchsatz in der Prüfphase i [g/h]

Bei der Einfachfiltermethode ist der effektive Wichtungsfaktor WF_{ei} für jede Prüfphase wie folgt zu berechnen:

$$WF_{\text{ei}} = \frac{m_{\text{sepi}} \cdot \overline{q_{\text{medf}}}}{m_{\text{sep}} \cdot q_{\text{medfi}}} \quad (\text{A.8-67})$$

Dabei gilt:

m_{sepi} = Masse der Probe des verdünnten Abgases, die die Partikel-Probenahmefilter in der Prüfphase i durchströmt [kg]

$\overline{q_{\text{medf}}}$ = durchschnittlicher äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases [kg/s]

q_{medfi} = äquivalenter Massendurchsatz des verdünnten Abgases in der Prüfphase i [kg/s]

m_{sep} = Masse der verdünnten Abgasprobe, die die Partikel-Probenahmefilter durchströmt [kg]

Der Wert der effektiven Wichtungsfaktoren darf von den Werten der in Anhang 5 aufgeführten Wichtungsfaktoren um höchstens $\pm 0,005$ (absoluter Wert) abweichen.

Anlage A.8.1

Kalibrierung des Durchsatzes des verdünnten Abgases (CVS)**A.8.5. Kalibrierung des CVS-Systems**

Das CVS-System ist mit einem Präzisionsdurchsatzmessgerät und einem Durchflussbegrenzer zu kalibrieren. Der Durchsatz durch das System wird bei verschiedenen Drosselungseinstellungen gemessen, ebenso werden die Regelparame-ter des Systems ermittelt und in Beziehung zum Durchsatz gesetzt.

Verschiedene Arten von Durchsatzmessgeräten können verwendet werden, z. B. ein kalibriertes Venturirohr, ein kalibrierter Laminardurchflussmesser oder ein kalibrierter Flügelraddurchflussmesser.

A.8.5.1. Verdrängerpumpe (PDP)

Sämtliche Parameter der Pumpe werden gleichzeitig mit den Parametern eines Kalibrierungs-Venturirohrs gemessen, das in Reihe an die Pumpe angeschlossen ist. Danach kann die Kurve des berechneten Durchsatzes (ausgedrückt in m³/s am Pumpeneintritt bei absolutem Druck und absoluter Temperatur) als Korrelationsfunktion aufgezeichnet werden, die dem Wert einer bestimmten Kombination von Pumpenparametern entspricht. Die lineare Gleichung, die das Verhältnis zwischen dem Pumpendurchsatz und der Korrelationsfunktion ausdrückt, wird sodann aufgestellt. Lässt sich die Pumpe des CVS-Systems mit mehreren Drehzahlen betreiben, so muss für jeden verwendeten Drehzahlbereich eine Kalibrierung vorgenommen werden.

Während der Kalibrierung ist eine gleichbleibende Temperatur zu gewährleisten.

Leckverluste an allen Anschlüssen und Röhren zwischen dem Kalibrierungs-Venturirohr und der CVS-Pumpe sind unter 0,3 % des niedrigsten Durchflusspunktes (höchste Drosselung und niedrigste PDP-Drehzahl) zu halten.

Der Luftdurchsatz (q_{VCVS}) ist bei jeder Drosselungseinstellung (mindestens sechs Drosselungseinstellungen) nach den Vorschriften des Herstellers aus den Messwerten des Durchsatzmessgeräts in Norm-m³/s zu ermitteln. Der Luftdurchsatz wird dann in den Pumpendurchsatz (V_0) in m³/rev bei absoluter Temperatur und absolutem Druck am Pumpeneintritt umgerechnet:

$$V_0 = \frac{q_{VCVS}}{n} \cdot \frac{T}{273,15} \cdot \frac{101,325}{p_p} \quad (\text{A.8-68})$$

Dabei gilt:

q_{VCVS} = Luftdurchsatz im Normalzustand (101,325 kPa, 273,15 K) [m³/s]

T = Temperatur am Pumpeneintritt [K]

p_p = absoluter Druck am Pumpeneintritt [kPa]

n = Pumpendrehzahl [min⁻¹]

Zur Korrektur der gegenseitigen Beeinflussung der Druckschwankungen an der Pumpe und der Verluste der Pumpe wird die Korrelationsfunktion (X_0) [s/rev] zwischen der Pumpendrehzahl, der Druckdifferenz zwischen Ein- und Austritt der Pumpe und dem absoluten Druck am Pumpenaus- tritt wie folgt berechnet:

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (\text{A.8-69})$$

Dabei gilt:

Δp_p = Druckdifferenz zwischen Pumpeneintritt und Pumpenaus- tritt [kPa]

p_p = absoluter Austrittsdruck am Pumpenaus- tritt [kPa]

n = Pumpendrehzahl [min⁻¹]

Mit Hilfe der Fehlerquadratmethode wird eine lineare Anpassung vorgenommen, um die nachstehende Kalibrier- gleichung zu erhalten:

$$V_0 = D_0 - m \cdot X_0 \quad (\text{A.8-70})$$

wobei D_0 [m³/rev] und m [m³/s], also Achsabschnitt bzw. Steigung, die Regressionsgerade beschreiben.

Verfügt ein CVS-System über mehrere Drehzahlen, müssen die für die verschiedenen Pumpendurchsatzbereiche erstellten Kalibrierkurven annähernd parallel verlaufen, und die Abschnittswerte (D_0) müssen größer werden, wenn der Durchsatzbereich der Pumpe kleiner wird.

Die mit Hilfe der Gleichung errechneten Werte dürfen nicht mehr als $\pm 0,5\%$ vom gemessenen Wert V_0 abweichen. Der Wert für m ist je nach Pumpe verschieden. Im Laufe der Zeit bewirkt der Partikelzustrom eine Abnahme der Verlustrate der Pumpe, die sich in niedrigeren Werten für m niederschlägt. Daher muss eine Kalibrierung bei Inbetriebnahme der Pumpe, nach umfangreichen Wartungstätigkeiten sowie dann erfolgen, wenn bei der Überprüfung des gesamten Systems eine Veränderung der Verlustrate festgestellt wird.

A.8.5.2. Venturirohr mit kritischer Strömung (CFV)

Die Kalibrierung des CFV beruht auf der Durchsatzgleichung für ein Venturirohr mit kritischer Strömung. Der Gasdurchsatz ist eine Funktion des Eintrittsdrucks und der Eintrittstemperatur am Venturirohr.

Zur Bestimmung des Bereichs der kritischen Strömung ist eine Kurve K_V in Abhängigkeit vom Druck am Eintritt des Venturirohrs aufzuzeichnen. Bei kritischer (gedrosselter) Strömung ist K_V relativ konstant. Bei abnehmendem Druck (d. h. bei zunehmendem Unterdruck) nimmt die Drosselung des Venturirohrs ebenso wie K_V ab, was darauf hindeutet, dass das CFV außerhalb des zulässigen Bereichs betrieben wird.

Der Luftdurchsatz (q_{VCVS}) ist bei jeder Drosselungseinstellung (mindestens acht Drosselungseinstellungen) nach den Vorschriften des Herstellers aus den Messwerten des Durchsatzmessgeräts in Norm- m^3/s zu ermitteln. Der Kalibrierkoeffizient K_V [$(\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s)/kg$] ist anhand der Kalibrierdaten für jede Drosselungseinstellung wie folgt zu berechnen:

$$K_V = \frac{q_{VCVS} \cdot \sqrt{T}}{p_p} \quad (A.8-71)$$

Dabei gilt:

q_{VSSV} = Luftdurchsatz im Normalzustand (101,325 kPa, 273,15 K) [m^3/s]

T = Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

p_p = absoluter Druck am Eintritt des Venturirohrs [kPa]

Für K_V sind der Durchschnittswert und die Standardabweichung zu berechnen. Die Standardabweichung darf $\pm 0,3\%$ des Mittelwerts von K_V nicht überschreiten.

A.8.5.3. Subsonisches Venturirohr (SSV)

Die Kalibrierung des SSV beruht auf der Durchsatzgleichung für ein Venturirohr mit subsonischer Strömung. Wie in Gleichung (A.8-41) dargestellt, ist der Gasdurchsatz eine Funktion des Drucks und der Temperatur an der Eintrittsstelle sowie des Druckabfalls zwischen SSV-Eintritt und -Einschnürung.

Der Luftdurchsatz (q_{VSSV}) ist bei jeder Drosselungseinstellung (mindestens 16 Drosselungseinstellungen) nach den Vorschriften des Herstellers aus den Messwerten des Durchsatzmessgeräts regulär in m^3/s zu ermitteln. Der Durchsatzkoeffizient ist anhand der Kalibrierdaten für jede Drosselungseinstellung wie folgt zu berechnen:

$$C_d = \frac{q_{VSSV}}{\frac{A_0}{60} \cdot d_v^2 \cdot p_p \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{T_{in,V}} (r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143}) \left(\frac{1}{1 - r_D^4 \cdot r_p^{1,4286}} \right) \right]}} \quad (A.8-72)$$

Dabei gilt:

A_0 = Sammlung von Konstanten und Einheitenumrechnungen = $0,0056940 \left[\frac{m^3}{min} \cdot \frac{K^{\frac{1}{2}}}{kPa} \cdot \frac{1}{mm^2} \right]$

q_{VSSV} = Luftdurchsatz im Normalzustand (101,325 kPa, 273,15 K) [m^3/s]

$T_{in,V}$ = Temperatur am Eintritt des Venturirohrs [K]

d_v = Durchmesser der SSV-Einschnürung [mm]

r_p = Verhältnis zwischen den absoluten statischen Drücken an der Einschnürung und am Eintritt des SSV = $1 - \Delta p/p_p$ [-]

r_D = Verhältnis zwischen den Innendurchmessern an der Einschnürung (d_v) und am Eintritt (D) des SSV [-]

Zur Bestimmung des Bereichs der subsonischen Strömung ist C_d über der Reynolds-Zahl Re an der SSV-Einschnürung aufzutragen. Re an der SSV-Einschnürung wird anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$Re = A_1 \cdot 60 \cdot \frac{q_{VSSV}}{d_v \cdot \mu} \quad (A.8-73)$$

wobei:

$$\mu = \frac{b \times T^{1,5}}{S + T} \quad (A.8-74)$$

Dabei gilt:

$$A_1 = \text{Sammlung von Konstanten und Einheitenrechnungen} = 27,43831 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{min}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]$$

$$q_{VSSV} = \text{Luftdurchsatz im Normalzustand (101,325 kPa, 273,15 K) [m}^3/\text{s]}$$

$$d_V = \text{Durchmesser der SSV-Einschnürung [mm]}$$

$$\mu = \text{absolute oder dynamische Viskosität des Gases [kg/(m} \cdot \text{s)]}$$

$$b = 1,458 \times 10^6 \text{ (empirische Konstante) [kg/(m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{0,5})]}$$

$$S = 110,4 \text{ (empirische Konstante) [K]}$$

Da q_{VSSV} selbst in die Re -Gleichung eingeht, müssen die Berechnungen mit einer anfänglichen Schätzung für q_{VSSV} oder C_d des Kalibrierungs-Venturirohrs beginnen und so lange wiederholt werden, bis q_{VSSV} konvergiert. Die Konvergenzmethode muss eine Genauigkeit von mindestens 0,1 % erreichen.

Für mindestens 16 Punkte des subsonischen Strömungsbereichs müssen die berechneten Werte, die sich aus der resultierenden Deckungsgleichung der Kalibrierkurve für C_d ergeben, innerhalb von $\pm 0,5$ % des Messwerts C_d für jeden Kalibrierpunkt liegen.

Anlage A.8.2

Driftkorrektur

A.8.6. Die Berechnungen in dieser Anlage werden durchgeführt, wie in Anhang 4B Anlage A.7.2 erläutert.

$$c_{\text{idriftcor}} = c_{\text{refzero}} + (c_{\text{refspan}} - c_{\text{refzero}}) \cdot \frac{2c_i - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})}{(c_{\text{prespan}} + c_{\text{postspan}}) - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})} \quad (\text{A.8-75})$$

Dabei gilt:

$$c_{\text{idriftcor}} = \text{driftkorrigierte Konzentration [ppm]}$$

$$c_{\text{refzero}} = \text{Bezugswert der Konzentration des Nullgases; in der Regel null, es sei denn, ein anderer Wert ist bekannt [ppm]}$$

$$c_{\text{refspan}} = \text{Bezugswert der Konzentration des Justiergases [ppm]}$$

$$c_{\text{prespan}} = \text{Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration vor dem Prüfintervall [ppm]}$$

$$c_{\text{postspan}} = \text{Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Justiergaskonzentration nach dem Prüfintervall [ppm]}$$

$$c_i \text{ od. } \bar{c} = \text{während der Prüfung vor der Driftkorrektur aufgezeichnete, d. h. gemessene, Konzentration [ppm]}$$

$$c_{\text{prezero}} = \text{Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration vor dem Prüfintervall [ppm]}$$

$$c_{\text{postzero}} = \text{Ansprechverhalten des Gasanalysators in Bezug auf die Nullgaskonzentration nach dem Prüfintervall [ppm]}$$

ANHANG 5

PRÜFZYKLEN

1. Prüfzyklen

1.1. Stationäre Prüfungen mit Einzelphasen

- a) Die Prüfung von Motoren mit veränderlicher Drehzahl auf dem Leistungsprüfstand ist nach dem folgenden 8-Phasen-Zyklus ⁽¹⁾ durchzuführen:

Nummer der Prüfphase	Motordrehzahl	Drehmoment [%]	Wichtungsfaktor
1	Nenn- (*) oder Bezugsdrehzahl (**)	100	0,15
2	Nenn- (*) oder Bezugsdrehzahl (**)	75	0,15
3	Nenn- (*) oder Bezugsdrehzahl (**)	50	0,15
4	Nenn- (*) oder Bezugsdrehzahl (**)	10	0,10
5	Zwischendrehzahl	100	0,10
6	Zwischendrehzahl	75	0,10
7	Zwischendrehzahl	50	0,10
8	Leerlaufdrehzahl	—	0,15

(*) Bei Motoren, die nach Anhang 4B geprüft werden, ist statt der Nenndrehzahl die in Anhang 4B Absatz 7.7.1.1 definierte Entnormierungsdrehzahl (n_{denorm}) zu verwenden. Auch bei der Ermittlung der Zwischendrehzahl ist in diesem Fall (n_{denorm}) anstatt der Nenndrehzahl zu verwenden.

(**) Die in Anhang 4A Absatz 4.3.1 definierte Bezugsdrehzahl gilt nur fakultativ für Motoren, die nach Anhang 4A geprüft werden.

- b) Die Prüfung von Motoren mit fester Drehzahl auf dem Leistungsprüfstand ist nach dem folgenden 5-Phasen-Zyklus ⁽²⁾ durchzuführen:

Nummer der Prüfphase	Motordrehzahl	Drehmoment [%]	Wichtungsfaktor
1	Nenndrehzahl	100	0,05
2	Nenndrehzahl	75	0,25
3	Nenndrehzahl	50	0,30
4	Nenndrehzahl	25	0,30
5	Nenndrehzahl	10	0,10

Die Lastzahlen sind Prozentwerte des Drehmoments entsprechend der Grundleistungsangabe ⁽³⁾, die definiert wird als die während einer Folge mit variabler Leistung verfügbare maximale Leistung, die während einer unbegrenzten Anzahl von Stunden pro Jahr gefahren werden kann, und zwar zwischen angegebenen Wartungsintervallen und unter den angegebenen Umgebungsbedingungen, wenn die Wartung gemäß den Vorschriften des Herstellers durchgeführt wird.

1.2. Stationäre gestufte Mehrphasenprüfungen

- a) Bei gestuften Mehrphasenprüfungen ist die Prüfung von Motoren mit veränderlicher Drehzahl nach dem folgenden 9-Phasen-Zyklus durchzuführen:

Prüfphase	Zeit in der Prüfphase [s]	Motordrehzahl ^(e) , ^(f)	Drehmoment (%) ^(b) , ^(c)
1a Stationär	126	Warmleerlaufdrehzahl	0
1b Übergang	20	Linearer Übergang ⁽²⁾	Linearer Übergang

⁽¹⁾ 1 Identisch mit dem Zyklus C1 gemäß Absatz 8.3. der Norm ISO 8178-4:2007 (korrigierte Fassung 2008).

⁽²⁾ 2 Identisch mit dem Zyklus D2 gemäß Absatz 8.4. der Norm ISO 8178-4:2007 (korrigierte Fassung 2008).

⁽³⁾ 3 Für eine bessere Illustration der Definition des Begriffs Grundleistung siehe Abbildung 2 der Norm ISO 8528-1: 2005.

Prüfphase	Zeit in der Prüfphase [s]	Motordrehzahl (^a), (^c)	Drehmoment (%) (^b), (^c)
2a Stationär	159	Zwischendrehzahl	100
2b Übergang	20	Zwischendrehzahl	Linearer Übergang
3a Stationär	160	Zwischendrehzahl	50
3b Übergang	20	Zwischendrehzahl	Linearer Übergang
4a Stationär	162	Zwischendrehzahl	75
4b Übergang	20	Linearer Übergang	Linearer Übergang
5a Stationär	246	Nenndrehzahl	100
5b Übergang	20	Nenndrehzahl	Linearer Übergang
6a Stationär	164	Nenndrehzahl	10
6b Übergang	20	Nenndrehzahl	Linearer Übergang
7a Stationär	248	Nenndrehzahl	75
7b Übergang	20	Nenndrehzahl	Linearer Übergang
8a Stationär	247	Nenndrehzahl	50
8b Übergang	20	Linearer Übergang	Linearer Übergang
9 Stationär	128	Warmleerlaufdrehzahl	0

(^a) Drehzahlbedingungen gemäß Fußnote der stationären Einzelpfprüfung.

(^b) Das Drehmoment in % bezieht sich auf das maximale Drehmoment bei der geregelten Motordrehzahl.

(^c) Wechsel von einer Phase in die nächste innerhalb einer 20-sekündigen Übergangsphase. Während der Übergangsphase erfolgt ein linearer Übergang von der Drehmomenteinstellung der aktuellen Prüfphase zur Drehmomenteinstellung der nächsten Prüfphase; gleichzeitig findet ein ebensolcher linearer Übergang der Motordrehzahl statt, wenn sich die Drehzahleinstellung ändert.

- b) Bei gestuften Mehrphasenprüfungen ist die Prüfung von Motoren mit fester Drehzahl nach dem folgenden 5-Phasen-Zyklus durchzuführen:

Prüfphase	Zeit in der Prüfphase [s]	Motordrehzahl	Drehmoment (%) (^a), (^b)
1a Stationär	53	Vom Motor geregelt	100
1b Übergang	20	Vom Motor geregelt	Linearer Übergang
2a Stationär	101	Vom Motor geregelt	10
2b Übergang	20	Vom Motor geregelt	Linearer Übergang
3a Stationär	277	Vom Motor geregelt	75
3b Übergang	20	Vom Motor geregelt	Linearer Übergang
4a Stationär	339	Vom Motor geregelt	25
4b Übergang	20	Vom Motor geregelt	Linearer Übergang
5 Stationär	350	Vom Motor geregelt	50

(^a) Das Drehmoment in Prozent bezieht sich auf das maximale Drehmoment während der Prüfung.

(^b) Wechsel von einer Phase in die nächste innerhalb einer 20-sekündigen Übergangsphase. Während der Übergangsphase erfolgt ein linearer Übergang von der Drehmomenteinstellung der aktuellen Prüfphase zur Drehmomenteinstellung der nächsten Prüfphase.

1.3. Dynamischer Fahrzyklus

- a) Für Motoren mit veränderlicher Drehzahl gilt der nachstehende, voll dynamische Ablaufplan (d. h. ein Ablaufplan mit veränderlicher Drehzahl und veränderlicher Last) für den Motorleistungsprüfstand:

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
1	0	0	35	9	21	69	25	56
2	0	0	36	17	20	70	64	26
3	0	0	37	33	42	71	60	31
4	0	0	38	57	46	72	63	20
5	0	0	39	44	33	73	62	24
6	0	0	40	31	0	74	64	8
7	0	0	41	22	27	75	58	44
8	0	0	42	33	43	76	65	10
9	0	0	43	80	49	77	65	12
10	0	0	44	105	47	78	68	23
11	0	0	45	98	70	79	69	30
12	0	0	46	104	36	80	71	30
13	0	0	47	104	65	81	74	15
14	0	0	48	96	71	82	71	23
15	0	0	49	101	62	83	73	20
16	0	0	50	102	51	84	73	21
17	0	0	51	102	50	85	73	19
18	0	0	52	102	46	86	70	33
19	0	0	53	102	41	87	70	34
20	0	0	54	102	31	88	65	47
21	0	0	55	89	2	89	66	47
22	0	0	56	82	0	90	64	53
23	0	0	57	47	1	91	65	45
24	1	3	58	23	1	92	66	38
25	1	3	59	1	3	93	67	49
26	1	3	60	1	8	94	69	39
27	1	3	61	1	3	95	69	39
28	1	3	62	1	5	96	66	42
29	1	3	63	1	6	97	71	29
30	1	6	64	1	4	98	75	29
31	1	6	65	1	4	99	72	23
32	2	1	66	0	6	100	74	22
33	4	13	67	1	4	101	75	24
34	7	18	68	9	21	102	73	30

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
103	74	24	140	104	44	177	19	10
104	77	6	141	103	44	178	1	18
105	76	12	142	104	33	179	0	16
106	74	39	143	102	27	180	1	3
107	72	30	144	103	26	181	1	4
108	75	22	145	79	53	182	1	5
109	78	64	146	51	37	183	1	6
110	102	34	147	24	23	184	1	5
111	103	28	148	13	33	185	1	3
112	103	28	149	19	55	186	1	4
113	103	19	150	45	30	187	1	4
114	103	32	151	34	7	188	1	6
115	104	25	152	14	4	189	8	18
116	103	38	153	8	16	190	20	51
117	103	39	154	15	6	191	49	19
118	103	34	155	39	47	192	41	13
119	102	44	156	39	4	193	31	16
120	103	38	157	35	26	194	28	21
121	102	43	158	27	38	195	21	17
122	103	34	159	43	40	196	31	21
123	102	41	160	14	23	197	21	8
124	103	44	161	10	10	198	0	14
125	103	37	162	15	33	199	0	12
126	103	27	163	35	72	200	3	8
127	104	13	164	60	39	201	3	22
128	104	30	165	55	31	202	12	20
129	104	19	166	47	30	203	14	20
130	103	28	167	16	7	204	16	17
131	104	40	168	0	6	205	20	18
132	104	32	169	0	8	206	27	34
133	101	63	170	0	8	207	32	33
134	102	54	171	0	2	208	41	31
135	102	52	172	2	17	209	43	31
136	102	51	173	10	28	210	37	33
137	103	40	174	28	31	211	26	18
138	104	34	175	33	30	212	18	29
139	102	36	176	36	0	213	14	51

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
214	13	11	251	48	18	288	71	60
215	12	9	252	54	51	289	92	65
216	15	33	253	88	90	290	82	63
217	20	25	254	103	84	291	61	47
218	25	17	255	103	85	292	52	37
219	31	29	256	102	84	293	24	0
220	36	66	257	58	66	294	20	7
221	66	40	258	64	97	295	39	48
222	50	13	259	56	80	296	39	54
223	16	24	260	51	67	297	63	58
224	26	50	261	52	96	298	53	31
225	64	23	262	63	62	299	51	24
226	81	20	263	71	6	300	48	40
227	83	11	264	33	16	301	39	0
228	79	23	265	47	45	302	35	18
229	76	31	266	43	56	303	36	16
230	68	24	267	42	27	304	29	17
231	59	33	268	42	64	305	28	21
232	59	3	269	75	74	306	31	15
233	25	7	270	68	96	307	31	10
234	21	10	271	86	61	308	43	19
235	20	19	272	66	0	309	49	63
236	4	10	273	37	0	310	78	61
237	5	7	274	45	37	311	78	46
238	4	5	275	68	96	312	66	65
239	4	6	276	80	97	313	78	97
240	4	6	277	92	96	314	84	63
241	4	5	278	90	97	315	57	26
242	7	5	279	82	96	316	36	22
243	16	28	280	94	81	317	20	34
244	28	25	281	90	85	318	19	8
245	52	53	282	96	65	319	9	10
246	50	8	283	70	96	320	5	5
247	26	40	284	55	95	321	7	11
248	48	29	285	70	96	322	15	15
249	54	39	286	79	96	323	12	9
250	60	42	287	81	71	324	13	27

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
325	15	28	362	34	53	399	77	93
326	16	28	363	65	83	400	79	67
327	16	31	364	80	44	401	46	65
328	15	20	365	77	46	402	69	98
329	17	0	366	76	50	403	80	97
330	20	34	367	45	52	404	74	97
331	21	25	368	61	98	405	75	98
332	20	0	369	61	69	406	56	61
333	23	25	370	63	49	407	42	0
334	30	58	371	32	0	408	36	32
335	63	96	372	10	8	409	34	43
336	83	60	373	17	7	410	68	83
337	61	0	374	16	13	411	102	48
338	26	0	375	11	6	412	62	0
339	29	44	376	9	5	413	41	39
340	68	97	377	9	12	414	71	86
341	80	97	378	12	46	415	91	52
342	88	97	379	15	30	416	89	55
343	99	88	380	26	28	417	89	56
344	102	86	381	13	9	418	88	58
345	100	82	382	16	21	419	78	69
346	74	79	383	24	4	420	98	39
347	57	79	384	36	43	421	64	61
348	76	97	385	65	85	422	90	34
349	84	97	386	78	66	423	88	38
350	86	97	387	63	39	424	97	62
351	81	98	388	32	34	425	100	53
352	83	83	389	46	55	426	81	58
353	65	96	390	47	42	427	74	51
354	93	72	391	42	39	428	76	57
355	63	60	392	27	0	429	76	72
356	72	49	393	14	5	430	85	72
357	56	27	394	14	14	431	84	60
358	29	0	395	24	54	432	83	72
359	18	13	396	60	90	433	83	72
360	25	11	397	53	66	434	86	72
361	28	24	398	70	48	435	89	72

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
436	86	72	473	78	73	510	83	73
437	87	72	474	76	73	511	85	73
438	88	72	475	79	73	512	84	73
439	88	71	476	82	73	513	85	73
440	87	72	477	86	73	514	86	73
441	85	71	478	88	72	515	85	73
442	88	72	479	92	71	516	85	73
443	88	72	480	97	54	517	85	72
444	84	72	481	73	43	518	85	73
445	83	73	482	36	64	519	83	73
446	77	73	483	63	31	520	79	73
447	74	73	484	78	1	521	78	73
448	76	72	485	69	27	522	81	73
449	46	77	486	67	28	523	82	72
450	78	62	487	72	9	524	94	56
451	79	35	488	71	9	525	66	48
452	82	38	489	78	36	526	35	71
453	81	41	490	81	56	527	51	44
454	79	37	491	75	53	528	60	23
455	78	35	492	60	45	529	64	10
456	78	38	493	50	37	530	63	14
457	78	46	494	66	41	531	70	37
458	75	49	495	51	61	532	76	45
459	73	50	496	68	47	533	78	18
460	79	58	497	29	42	534	76	51
461	79	71	498	24	73	535	75	33
462	83	44	499	64	71	536	81	17
463	53	48	500	90	71	537	76	45
464	40	48	501	100	61	538	76	30
465	51	75	502	94	73	539	80	14
466	75	72	503	84	73	540	71	18
467	89	67	504	79	73	541	71	14
468	93	60	505	75	72	542	71	11
469	89	73	506	78	73	543	65	2
470	86	73	507	80	73	544	31	26
471	81	73	508	81	73	545	24	72
472	78	73	509	81	73	546	64	70

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
547	77	62	584	89	68	621	65	73
548	80	68	585	99	61	622	68	73
549	83	53	586	77	29	623	65	49
550	83	50	587	81	72	624	81	0
551	83	50	588	89	69	625	37	25
552	85	43	589	49	56	626	24	69
553	86	45	590	79	70	627	68	71
554	89	35	591	104	59	628	70	71
555	82	61	592	103	54	629	76	70
556	87	50	593	102	56	630	71	72
557	85	55	594	102	56	631	73	69
558	89	49	595	103	61	632	76	70
559	87	70	596	102	64	633	77	72
560	91	39	597	103	60	634	77	72
561	72	3	598	93	72	635	77	72
562	43	25	599	86	73	636	77	70
563	30	60	600	76	73	637	76	71
564	40	45	601	59	49	638	76	71
565	37	32	602	46	22	639	77	71
566	37	32	603	40	65	640	77	71
567	43	70	604	72	31	641	78	70
568	70	54	605	72	27	642	77	70
569	77	47	606	67	44	643	77	71
570	79	66	607	68	37	644	79	72
571	85	53	608	67	42	645	78	70
572	83	57	609	68	50	646	80	70
573	86	52	610	77	43	647	82	71
574	85	51	611	58	4	648	84	71
575	70	39	612	22	37	649	83	71
576	50	5	613	57	69	650	83	73
577	38	36	614	68	38	651	81	70
578	30	71	615	73	2	652	80	71
579	75	53	616	40	14	653	78	71
580	84	40	617	42	38	654	76	70
581	85	42	618	64	69	655	76	70
582	86	49	619	64	74	656	76	71
583	86	57	620	67	73	657	79	71

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
658	78	71	695	101	69	732	103	30
659	81	70	696	100	69	733	103	44
660	83	72	697	102	71	734	102	40
661	84	71	698	102	71	735	103	43
662	86	71	699	102	69	736	103	41
663	87	71	700	102	71	737	102	46
664	92	72	701	102	68	738	103	39
665	91	72	702	100	69	739	102	41
666	90	71	703	102	70	740	103	41
667	90	71	704	102	68	741	102	38
668	91	71	705	102	70	742	103	39
669	90	70	706	102	72	743	102	46
670	90	72	707	102	68	744	104	46
671	91	71	708	102	69	745	103	49
672	90	71	709	100	68	746	102	45
673	90	71	710	102	71	747	103	42
674	92	72	711	101	64	748	103	46
675	93	69	712	102	69	749	103	38
676	90	70	713	102	69	750	102	48
677	93	72	714	101	69	751	103	35
678	91	70	715	102	64	752	102	48
679	89	71	716	102	69	753	103	49
680	91	71	717	102	68	754	102	48
681	90	71	718	102	70	755	102	46
682	90	71	719	102	69	756	103	47
683	92	71	720	102	70	757	102	49
684	91	71	721	102	70	758	102	42
685	93	71	722	102	62	759	102	52
686	93	68	723	104	38	760	102	57
687	98	68	724	104	15	761	102	55
688	98	67	725	102	24	762	102	61
689	100	69	726	102	45	763	102	61
690	99	68	727	102	47	764	102	58
691	100	71	728	104	40	765	103	58
692	99	68	729	101	52	766	102	59
693	100	69	730	103	32	767	102	54
694	102	72	731	102	50	768	102	63

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
769	102	61	806	105	94	843	80	26
770	103	55	807	105	100	844	80	26
771	102	60	808	105	98	845	81	25
772	102	72	809	105	95	846	80	21
773	103	56	810	105	96	847	81	20
774	102	55	811	105	92	848	83	21
775	102	67	812	104	97	849	83	15
776	103	56	813	100	85	850	83	12
777	84	42	814	94	74	851	83	9
778	48	7	815	87	62	852	83	8
779	48	6	816	81	50	853	83	7
780	48	6	817	81	46	854	83	6
781	48	7	818	80	39	855	83	6
782	48	6	819	80	32	856	83	6
783	48	7	820	81	28	857	83	6
784	67	21	821	80	26	858	83	6
785	105	59	822	80	23	859	76	5
786	105	96	823	80	23	860	49	8
787	105	74	824	80	20	861	51	7
788	105	66	825	81	19	862	51	20
789	105	62	826	80	18	863	78	52
790	105	66	827	81	17	864	80	38
791	89	41	828	80	20	865	81	33
792	52	5	829	81	24	866	83	29
793	48	5	830	81	21	867	83	22
794	48	7	831	80	26	868	83	16
795	48	5	832	80	24	869	83	12
796	48	6	833	80	23	870	83	9
797	48	4	834	80	22	871	83	8
798	52	6	835	81	21	872	83	7
799	51	5	836	81	24	873	83	6
800	51	6	837	81	24	874	83	6
801	51	6	838	81	22	875	83	6
802	52	5	839	81	22	876	83	6
803	52	5	840	81	21	877	83	6
804	57	44	841	81	31	878	59	4
805	98	90	842	81	27	879	50	5

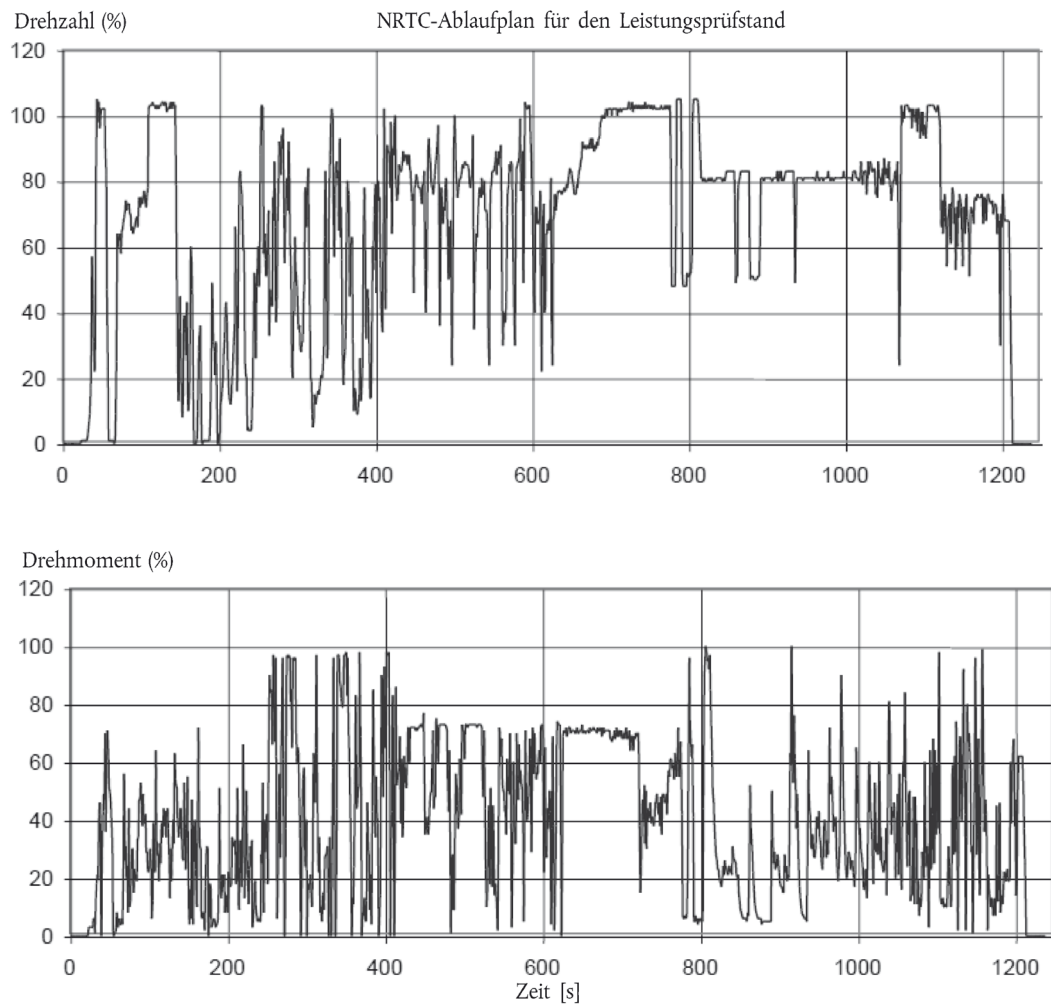
Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
880	51	5	917	81	73	954	81	26
881	51	5	918	83	53	955	81	23
882	51	5	919	80	76	956	81	27
883	50	5	920	81	61	957	81	38
884	50	5	921	80	50	958	81	40
885	50	5	922	81	37	959	81	39
886	50	5	923	82	49	960	81	27
887	50	5	924	83	37	961	81	33
888	51	5	925	83	25	962	80	28
889	51	5	926	83	17	963	81	34
890	51	5	927	83	13	964	83	72
891	63	50	928	83	10	965	81	49
892	81	34	929	83	8	966	81	51
893	81	25	930	83	7	967	80	55
894	81	29	931	83	7	968	81	48
895	81	23	932	83	6	969	81	36
896	80	24	933	83	6	970	81	39
897	81	24	934	83	6	971	81	38
898	81	28	935	71	5	972	80	41
899	81	27	936	49	24	973	81	30
900	81	22	937	69	64	974	81	23
901	81	19	938	81	50	975	81	19
902	81	17	939	81	43	976	81	25
903	81	17	940	81	42	977	81	29
904	81	17	941	81	31	978	83	47
905	81	15	942	81	30	979	81	90
906	80	15	943	81	35	980	81	75
907	80	28	944	81	28	981	80	60
908	81	22	945	81	27	982	81	48
909	81	24	946	80	27	983	81	41
910	81	19	947	81	31	984	81	30
911	81	21	948	81	41	985	80	24
912	81	20	949	81	41	986	81	20
913	83	26	950	81	37	987	81	21
914	80	63	951	81	43	988	81	29
915	80	59	952	81	34	989	81	29
916	83	100	953	81	31	990	81	27

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
991	81	23	1 028	79	51	1 065	79	49
992	81	25	1 029	86	26	1 066	83	50
993	81	26	1 030	82	34	1 067	86	12
994	81	22	1 031	84	25	1 068	64	14
995	81	20	1 032	86	23	1 069	24	14
996	81	17	1 033	85	22	1 070	49	21
997	81	23	1 034	83	26	1 071	77	48
998	83	65	1 035	83	25	1 072	103	11
999	81	54	1 036	83	37	1 073	98	48
1 000	81	50	1 037	84	14	1 074	101	34
1 001	81	41	1 038	83	39	1 075	99	39
1 002	81	35	1 039	76	70	1 076	103	11
1 003	81	37	1 040	78	81	1 077	103	19
1 004	81	29	1 041	75	71	1 078	103	7
1 005	81	28	1 042	86	47	1 079	103	13
1 006	81	24	1 043	83	35	1 080	103	10
1 007	81	19	1 044	81	43	1 081	102	13
1 008	81	16	1 045	81	41	1 082	101	29
1 009	80	16	1 046	79	46	1 083	102	25
1 010	83	23	1 047	80	44	1 084	102	20
1 011	83	17	1 048	84	20	1 085	96	60
1 012	83	13	1 049	79	31	1 086	99	38
1 013	83	27	1 050	87	29	1 087	102	24
1 014	81	58	1 051	82	49	1 088	100	31
1 015	81	60	1 052	84	21	1 089	100	28
1 016	81	46	1 053	82	56	1 090	98	3
1 017	80	41	1 054	81	30	1 091	102	26
1 018	80	36	1 055	85	21	1 092	95	64
1 019	81	26	1 056	86	16	1 093	102	23
1 020	86	18	1 057	79	52	1 094	102	25
1 021	82	35	1 058	78	60	1 095	98	42
1 022	79	53	1 059	74	55	1 096	93	68
1 023	82	30	1 060	78	84	1 097	101	25
1 024	83	29	1 061	80	54	1 098	95	64
1 025	83	32	1 062	80	35	1 099	101	35
1 026	83	28	1 063	82	24	1 100	94	59
1 027	76	60	1 064	83	43	1 101	97	37

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
1 102	97	60	1 139	67	80	1 176	67	45
1 103	93	98	1 140	70	67	1 177	75	13
1 104	98	53	1 141	53	70	1 178	75	12
1 105	103	13	1 142	72	65	1 179	73	21
1 106	103	11	1 143	60	57	1 180	68	46
1 107	103	11	1 144	74	29	1 181	74	8
1 108	103	13	1 145	69	31	1 182	76	11
1 109	103	10	1 146	76	1	1 183	76	14
1 110	103	10	1 147	74	22	1 184	74	11
1 111	103	11	1 148	72	52	1 185	74	18
1 112	103	10	1 149	62	96	1 186	73	22
1 113	103	10	1 150	54	72	1 187	74	20
1 114	102	18	1 151	72	28	1 188	74	19
1 115	102	31	1 152	72	35	1 189	70	22
1 116	101	24	1 153	64	68	1 190	71	23
1 117	102	19	1 154	74	27	1 191	73	19
1 118	103	10	1 155	76	14	1 192	73	19
1 119	102	12	1 156	69	38	1 193	72	20
1 120	99	56	1 157	66	59	1 194	64	60
1 121	96	59	1 158	64	99	1 195	70	39
1 122	74	28	1 159	51	86	1 196	66	56
1 123	66	62	1 160	70	53	1 197	68	64
1 124	74	29	1 161	72	36	1 198	30	68
1 125	64	74	1 162	71	47	1 199	70	38
1 126	69	40	1 163	70	42	1 200	66	47
1 127	76	2	1 164	67	34	1 201	76	14
1 128	72	29	1 165	74	2	1 202	74	18
1 129	66	65	1 166	75	21	1 203	69	46
1 130	54	69	1 167	74	15	1 204	68	62
1 131	69	56	1 168	75	13	1 205	68	62
1 132	69	40	1 169	76	10	1 206	68	62
1 133	73	54	1 170	75	13	1 207	68	62
1 134	63	92	1 171	75	10	1 208	68	62
1 135	61	67	1 172	75	7	1 209	68	62
1 136	72	42	1 173	75	13	1 210	54	50
1 137	78	2	1 174	76	8	1 211	41	37
1 138	76	34	1 175	76	7	1 212	27	25

Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %	Zeit s	Norm. Drehzahl %	Norm. Drehmo- ment %
1 213	14	12	1 222	0	0	1 231	0	0
1 214	0	0	1 223	0	0	1 232	0	0
1 215	0	0	1 224	0	0	1 233	0	0
1 216	0	0	1 225	0	0	1 234	0	0
1 217	0	0	1 226	0	0	1 235	0	0
1 218	0	0	1 227	0	0	1 236	0	0
1 219	0	0	1 228	0	0	1 237	0	0
1 220	0	0	1 229	0	0	1 238	0	0
1 221	0	0	1 230	0	0			

Der NRTC-Ablaufplans für den Leistungsprüfstand ist nachfolgend grafisch dargestellt.



ANHANG 6

Technische Daten des Bezugskraftstoffs für die Genehmigungsprüfungen und zur Überprüfung der Übereinstimmung der Produktion ⁽¹⁾

Tabelle 1

Für die Leistungsbereiche D bis G

	Grenzwerte und Einheiten ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Prüfverfahren
Cetanzahl ⁽⁴⁾	min. 45 ⁽⁷⁾ max. 50	ISO 5165
Dichte bei 15 °C	min. 835 kg/m ³ max. 845 kg/m ³ ⁽¹⁰⁾	ISO 3675, ASTM D4052
Siedeverlauf ⁽³⁾ 95 %-Punkt	max. 370 °C	ISO 3405
Viskosität bei 40 °C	min. 2,5 mm ² /s max. 3,5 mm ² /s	ISO 3104
Schwefelgehalt	min. 0,1 Masse-% ⁽⁹⁾ max. 0,2 Masse-% ⁽⁸⁾	ISO 8754, EN 24260
Flammpunkt	min. 55 °C	ISO 2719
CFPP	min. - max. +5 °C	EN 116
Kupferkorrosion	max. 1	ISO 2160
Conradsonzahl (10 % Destillationsrückstand)	max. 0,3 Masse-%	ISO 10370
Aschegehalt	max. 0,01 Masse-%	ASTM D482 ⁽¹¹⁾
Wassergehalt	max. 0,05 Masse-%	ASTM D95, D1744
Säurezahl (starke Säure)	min. 0,20 mg KOH/g	
Oxidationsbeständigkeit ⁽⁵⁾	max. 2,5 mg/100 ml	ASTM D2274
Additive ⁽⁶⁾		

⁽¹⁾ Ist der thermische Wirkungsgrad eines Motors oder Fahrzeugs zu berechnen, kann der Wärmewert des Kraftstoffs folgendermaßen ermittelt werden:

Unterer Heizwert (Wärmewert) (Netto) MJ/kg = $(46,423 - 8,792 d^2 + 3,170 d) \times (1 - (x + y + s)) + 9,420 s - 2,499 x$
Dabei ist:
d die Dichte bei 15 °C
x der Wasseranteil als Masse (%/100)
y der Ascheanteil als Masse (%/100)
s der Schwefelanteil als Masse (%/100)

⁽²⁾ Die in der Spezifikation angegebenen Werte sind „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen der Norm ASTM D3244 „Definition einer Grundlage bei Streitigkeiten über die Qualität von Erdölprodukten“ angewendet, und bei der Festlegung eines Mindestwerts wurde eine Mindestdifferenz von 2R über null berücksichtigt; bei der Festlegung eines Höchst- und Mindestwertes beträgt die Mindestdifferenz 4R (R = Reproduzierbarkeit). Unbeschadet dieser statistischen Zwecken dienenden Maßnahme sollte sich der Hersteller des Kraftstoffs trotzdem bemühen, dort, wo ein Höchstwert von 2R festgelegt ist, einen Nullwert, und dort, wo Ober- und Untergrenzen angegeben sind, einen Mittelwert zu erreichen. Bestehen Zweifel, ob ein Kraftstoff die vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt, gelten die Bestimmungen der Norm ASTM D3244.

⁽³⁾ Die genannten Zahlen geben die verdampften Mengen an (prozentualer zurückgewonnener Anteil plus prozentualer Verlustanteil).

⁽⁴⁾ Der Cetanzahlbereich entspricht nicht dem vorgeschriebenen Mindestbereich von 4R. Bei Streitigkeiten zwischen Kraftstofflieferanten und -verbrauchern dürfen zur Herbeiführung einer Lösung jedoch die Bestimmungen der Norm ASTM D3244 angewendet werden, sofern hinreichend vielen Wiederholungsmessungen zur Erzielung der erforderlichen Präzision der Vorzug vor Einzelbestimmungen gegeben wird.

⁽⁵⁾ Auch bei überprüfter Oxidationsbeständigkeit ist die Lagerbeständigkeit wahrscheinlich begrenzt. Es wird empfohlen, sich auf Herstellerempfehlungen hinsichtlich Lagerbedingungen und -beständigkeit zu stützen.

⁽¹⁾ Alle Eigenschaften und Grenzwerte des Kraftstoffs sind unter Berücksichtigung der Marktentwicklung laufend zu überprüfen.

(6) Für diesen Kraftstoff sollten nur natürliche Destillate und gecrackte Kohlenwasserstoffdestillate verwendet werden; eine Entschwefelung ist zulässig. Es dürfen jedoch keine metallischen Zusätze oder Zündverbesserer beigemischt werden.

(7) Niedrigere Werte sind zulässig; in diesem Fall muss jedoch die Cetanzahl des verwendeten Bezugskraftstoffs angegeben werden.

(8) Höhere Werte sind zulässig; in diesem Fall muss jedoch der Schwefelgehalt des verwendeten Bezugskraftstoffs angegeben werden.

(9) Laufend unter Berücksichtigung der Marktentwicklung zu überprüfen. Bei der Erstgenehmigung eines Motors auf Wunsch des Antragstellers ist ein nominaler Schwefelgehalt von 0,05 Massenprozent (mindestens 0,03 Massenprozent) zulässig; in diesem Fall wird der gemessene Partikelgehalt nach oben auf den Durchschnittswert korrigiert, der für den Kraftstoff-Schwefelgehalt (0,15 Massenprozent) gemäß der nachstehenden Gleichung nominell angegeben ist:

$$PT_{adj} = PT + [SFC \times 0,0917 \times (NSLF - FSF)]$$

Dabei gilt:

PT_{adj} = angepasster PT-Wert (g/kWh)

PT = gemessener, gewichteter spezifischer Emissionswert für Partikelemission (g/kWh)

SFC = gewichteter spezifischer Kraftstoffverbrauch (g/kWh) gemäß der nachstehenden Formel

NSLF = Durchschnitt der Nennspezifikation der Massenfraktion des Schwefelgehalts (d. h. 0,15 %/100)

FSF = Massenfraktion des Schwefelgehalts des Kraftstoffs (%/100)

Gleichung zur Berechnung des gewichteten spezifischen Kraftstoffverbrauchs:

$$SFC = \frac{\sum_{i=1}^n G_{FUEL,i} \times WF_i}{\sum_{i=1}^n P_i \times WF_i} \quad \text{where: } P_i = P_{m,i} + P_{AE,i}$$

Für die Zwecke der Beurteilung der Übereinstimmung der Produktion gemäß Absatz 7.4.2 sind die Anforderungen unter Verwendung von Bezugskraftstoff, der dem minimalen/maximalen Gehalt von 0,1/0,2 Massenprozent entspricht, zu erfüllen.

(10) Höhere Werte bis 855 kg/m³ sind zulässig; in diesem Fall muss jedoch die Dichte des verwendeten Bezugskraftstoffs angegeben werden. Für die Zwecke der Beurteilung der Übereinstimmung der Produktion gemäß Absatz 7.4.2 sind die Anforderungen unter Verwendung von Bezugskraftstoff, der dem minimalen/maximalen Gehalt von 835/845 kg/m³ entspricht, zu erfüllen.

(11) Vom Durchführungsdatum an durch EN/ISO 6245 zu ersetzen.

Tabelle 2

Für die Leistungsbereiche H bis K

Parameter	Einheit	Grenzwerte ⁽¹⁾		Prüfverfahren
		Minimum	Maximum	
Cetanzahl ⁽²⁾		52,0	54,0	EN-ISO 5165
Dichte bei 15 °C	kg/m ³	833	837	EN-ISO 3675
Siedeverlauf:				
50 %-Punkt	°C	245	—	EN-ISO 3405
95 %-Punkt	°C	345	350	EN-ISO 3405
— Siedeende	°C	—	370	EN-ISO 3405
Flammpunkt	°C	55	—	EN 22719
CFPP	°C	—	– 5	EN 116
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	2,5	3,5	EN-ISO 3104
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	Masse-%	3,0	6,0	IP 391
Schwefelgehalt ⁽³⁾	mg/kg	—	300	ASTM D 5453
Kupferkorrosion		—	Klasse 1	EN-ISO 2160
Conradsonzahl (10 % Destillationsrückstand)	Masse-%	—	0,2	EN-ISO 10370
Aschegehalt	Masse-%	—	0,01	EN-ISO 6245

Parameter	Einheit	Grenzwerte ⁽¹⁾		Prüfverfahren
		Minimum	Maximum	
Wassergehalt	Masse-%	—	0,05	EN-ISO 12937
Säurezahl (starke Säure)	mg KOH/g	—	0,02	ASTM D 974
Oxidationsbeständigkeit ⁽⁴⁾	mg/ml	—	0,025	EN-ISO 12205

⁽¹⁾ Die in der Spezifikation angegebenen Werte sind „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen der Norm ISO 4259 „Mineralölerzeugnisse – Bestimmung und Anwendung der Werte für die Präzision von Prüfverfahren“ angewendet, und bei der Festlegung eines Mindestwerts wurde eine Minstdifferenz von 2R über null berücksichtigt; bei der Festlegung eines Höchst- und Mindestwertes beträgt die Minstdifferenz 4R (R = Reproduzierbarkeit).

Unbeschadet dieser statistischen Zwecken dienenden Maßnahme sollte der Hersteller des Kraftstoffs dennoch anstreben, dort, wo ein Höchstwert von 2R festgelegt ist, den Wert Null zu erreichen, und dort, wo Ober- und Untergrenzen festgelegt sind, den Mittelwert zu erreichen. Falls Zweifel daran bestehen, ob ein Kraftstoff die Anforderungen erfüllt, gelten die Bestimmungen von ISO 4259.

⁽²⁾ Der Cetanzahlbereich entspricht nicht dem vorgeschriebenen Mindestbereich von 4R. Bei Streitigkeiten zwischen Kraftstofflieferanten und -verbrauchern dürfen zur Herbeiführung einer Lösung jedoch die Bestimmungen der Norm ISO 4259 angewendet werden, sofern hinreichend vielen Wiederholungsmessungen zur Erzielung der erforderlichen Präzision der Vorzug vor Einzelbestimmungen gegeben wird.

⁽³⁾ Es wird der tatsächliche Schwefelgehalt des Kraftstoffs, der für die Prüfung verwendet wird, festgehalten.

⁽⁴⁾ Auch bei überprüfter Oxidationsbeständigkeit ist die Lagerbeständigkeit wahrscheinlich begrenzt. Es wird empfohlen, sich auf Herstellerempfehlungen hinsichtlich Lagerbedingungen und -beständigkeit zu stützen.

Tabelle 3

Für die Leistungsbereiche L bis P und Q und R

Parameter	Einheit	Grenzwerte ⁽¹⁾		Prüfverfahren
		Minimum	Maximum	
Cetanzahl ⁽²⁾			54,0	EN-ISO 5165
Dichte bei 15 °C	kg/m ³	833	865	EN-ISO 3675
Siedeverlauf:				
50 %-Punkt	°C	245	—	EN-ISO 3405
95 %-Punkt	°C	345	350	EN-ISO 3405
— Siedende	°C	—	370	EN-ISO 3405
Flammpunkt	°C	55	—	EN 22719
CFPP	°C	—	– 5	EN 116
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s	2,3	3,3	EN-ISO 3104
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	Masse-%	3,0	6,0	IP 391
Schwefelgehalt ⁽³⁾	mg/kg	—	10	ASTM D 5453
Kupferkorrosion		—	Klasse 1	EN-ISO 2160
Conradsonzahl (10 % Destillationsrückstand)	Masse-%	—	0,2	EN-ISO 10370
Aschegehalt	Masse-%	—	0,01	EN-ISO 6245
Wassergehalt	Masse-%	—	0,02	EN-ISO 12937

Parameter	Einheit	Grenzwerte ⁽¹⁾		Prüfverfahren
		Minimum	Maximum	
Säurezahl (starke Säure)	mg KOH/g	—	0,02	ASTM D 974
Oxidationsbeständigkeit ⁽⁴⁾	mg/ml	—	0,025	EN-ISO 12205
Schmierfähigkeit (Durchmesser der Verschleißfläche nach HFRR bei 60 °C)	µm	—	400	CEC F-06-A-96
Fettsäuremethylester	unzulässig			

⁽¹⁾ Die in der Spezifikation angegebenen Werte sind „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen der Norm ISO 4259 „Mineralölerzeugnisse – Bestimmung und Anwendung der Werte für die Präzision von Prüfverfahren“ angewendet, und bei der Festlegung eines Mindestwerts wurde eine Minstdifferenz von 2R über null berücksichtigt; bei der Festlegung eines Höchst- und Mindestwertes beträgt die Minstdifferenz 4R (R = Reproduzierbarkeit).

Unabhängig von dieser aus statistischen Gründen getroffenen Festlegung sollte der Hersteller des Kraftstoffs dennoch anstreben, dort, wo ein Höchstwert von 2R festgelegt ist, den Wert Null zu erreichen, und dort, wo Ober- und Untergrenzen festgelegt sind, den Mittelwert zu erreichen. Falls Zweifel daran bestehen, ob ein Kraftstoff die Anforderungen erfüllt, gelten die Bestimmungen von ISO 4259.

⁽²⁾ Der Cetanzahlbereich entspricht nicht dem vorgeschriebenen Mindestbereich von 4R. Bei Streitigkeiten zwischen Kraftstofflieferanten und -verbrauchern dürfen zur Herbeiführung einer Lösung jedoch die Bestimmungen der Norm ISO 4259 angewendet werden, sofern hinreichend vielen Wiederholungsmessungen zur Erzielung der erforderlichen Präzision der Vorzug vor Einzelbestimmungen gegeben wird.

⁽³⁾ Der tatsächliche Schwefelgehalt des für die Prüfung Typ I verwendeten Kraftstoffs muss mitgeteilt werden.

⁽⁴⁾ Auch bei überprüfter Oxidationsbeständigkeit ist die Lagerbeständigkeit wahrscheinlich begrenzt. Es wird empfohlen, sich auf Herstellerempfehlungen hinsichtlich Lagerbedingungen und -beständigkeit zu stützen.

ANHANG 7

MONTAGE DER VORRICHTUNGEN UND HILFSEINRICHTUNGEN

Nummer	Vorrichtung und Hilfseinrichtung	Für Emissionsprüfung montiert
1	Ansaugsystem	
	Ansaugkrümmer	Ja
	Kurbelgehäuseentlüftung	Ja
	Luftdurchsatzmessgerät	Ja
	Luftfilter	Ja ^(a)
	Ansauggeräuschdämpfer	Ja ^(a)
	Einlassvorwärmvorrichtung des Ansaugkrümmers	Ja, Serienausrüstung. Ggf. möglichst günstig platzieren
2	Auspuffanlage	
	Abgasnachbehandlung	Ja
	Auspuffkrümmer	Ja
	Verbindungsrohre	Ja ^(b)
	Schalldämpfer	Ja ^(b)
	Auspuffendrohr	Ja ^(b)
	Abgasbremse	Nein ^(c)
	Einrichtung zur Aufladung	Ja
3	Kraftstoffpumpe	Ja ^(d)
4	Kraftstoffeinspritzung	
	Vorfilter	Ja
	Filter	Ja
	Pumpe	Ja
	Hochdruckleitung	Ja
	Einspritzdüse	Ja
	Elektronisches Steuergerät, Sensoren usw.	Ja
	Regler/Steuersystem	Ja
5	Automatischer Regelstangen-Volllastanschlag in Abhängigkeit von den atmosphärischen Bedingungen	Ja
	Flüssigkeitskühlung	
	Kühler	Nein
	Lüfter	Nein
	Lüfterabdeckung	Nein
	Wasserpumpe	Ja ^(e)
	Thermostat	Ja ^(f)
6	Luftkühlung	
	Abdeckung	Nein ^(g)
	Lüfter oder Gebläse	Nein ^(g)
	Einrichtung zur Temperaturregelung	Nein

Nummer	Vorrichtung und Hilfseinrichtung	Für Emissionsprüfung montiert
7	Elektrische Anlage Lichtmaschine	Ja ^(h)
8	Einrichtung zur Aufladung Verdichter, direkt durch den Motor und/oder durch die Abgase angetrieben Ladeluftkühler Kühlmittelpumpe oder Kühlgebläse (motorgetrieben) Kühlmittel-Durchsatzregler	Ja Ja ^(g) , ⁽ⁱ⁾ Nein ^(g) Ja
9	Hilfsgebläse am Prüfstand	Ja, falls notwendig
10	Einrichtung zur Abgasreinigung	Ja
11	Anlasssystem	Ja, oder Prüfstandausstattung ^(l)
12	Schmierölpumpe	Ja
13	Bestimmte Hilfseinrichtungen, deren Definition im Zusammenhang mit dem Betrieb der Maschine steht und die möglicherweise am Motor angebracht sind, sind für die Prüfung zu entfernen. Die nachstehende, nicht erschöpfende Liste enthält Beispiele hierzu: (i) Kompressor für Bremsanlagen (ii) Servolenkungscompressor (iii) Kompressor für die Federung (iv) Klimaanlage	Nein

^(a) Das gesamte Ansaugsystem ist wie für die beabsichtigte Verwendung vorgesehen einzubauen,

i) wenn eine erhebliche Auswirkung auf die Motorleistung zu befürchten ist,

ii) wenn der Hersteller darum ersucht.

In anderen Fällen kann ein gleichartiges System verwendet werden; es sollte jedoch sichergestellt werden, dass der Ansaugdruck nicht mehr als 100 Pa von dem vom Hersteller für einen sauberen Luftfilter angegebenen oberen Grenzwert abweicht.

^(b) Die gesamte Auspuffanlage ist wie für die beabsichtigte Verwendung vorgesehen einzubauen,

i) wenn eine erhebliche Auswirkung auf die Motorleistung zu befürchten ist,

ii) wenn der Hersteller darum ersucht.

In anderen Fällen kann eine gleichartige Anlage eingebaut werden, vorausgesetzt, der gemessene Druck weicht nicht mehr als 1 000 Pa von dem vom Hersteller angegebenen oberen Grenzwert ab.

^(c) Wenn der Motor über eine Auspuffbremse verfügt, ist deren Klappe in vollständig geöffneter Stellung zu fixieren.

^(d) Der Kraftstoff-Förderdruck darf erforderlichenfalls nachgestellt werden, um den bei dem betreffenden Verwendungszweck des Motors vorhandenen Druck zu reproduzieren (insbesondere, wenn ein System mit Kraftstoffrückführung verwendet wird).

^(e) Die Umwälzung der Kühlflüssigkeit darf ausschließlich durch die Wasserpumpe des Motors bewirkt werden. Die Kühlung der Flüssigkeit kann über einen externen Kreislauf erfolgen, wobei der Druckverlust des externen Kreislaufes und der Druck am Pumpeneintritt im Wesentlichen den Werten des Motorkühlsystems entsprechen.

^(f) Der Thermostat darf in vollständig geöffneter Stellung fixiert werden.

^(g) Wenn das Kühlgebläse oder der Lüfter für die Prüfung montiert ist, ist die aufgenommene Leistung zu den Ergebnissen zu addieren; ausgenommen sind Kühlgebläse bei luftgekühlten Motoren, die direkt an der Kurbelwelle angebracht sind. Die Gebläse- oder Lüfterleistung ist bei Drehzahlen, die den für die Prüfung verwendeten entsprechen, entweder durch Berechnung auf der Basis der charakteristischen Merkmale oder durch praktische Prüfungen zu ermitteln.

^(h) Mindestleistung der Lichtmaschine: Die elektrische Leistung der Lichtmaschine ist auf den Wert zu beschränken, der für die Versorgung der für den Betrieb des Motors unverzichtbaren Hilfseinrichtungen erforderlich ist. Muss eine Batterie angeschlossen werden, so hat diese vollständig geladen und in ordnungsgemäßen Zustand zu sein.

⁽ⁱ⁾ Ladeluftgekühlte Motoren sind mit Ladeluftkühlung zu prüfen, wobei es unerheblich ist, ob die Kühlung durch Flüssigkeit oder durch Luft erfolgt; auf Wunsch des Herstellers kann der Ladeluftkühler jedoch durch ein Kühlsystem auf dem Prüfstand ersetzt werden. In jedem Fall ist die Messung der Leistung bei jeder Drehzahl mit den vom Hersteller angegebenen Werten für den maximalen Druckabfall und den minimalen Temperaturabfall der Ladeluft im Bereich des Ladeluftkühlers auf dem Prüfstand durchzuführen.

^(l) Die Leistung für elektrische oder sonstige Anlasssysteme ist durch den Prüfstand bereitzustellen.

ANHANG 8

DAUERHALTBARKEITSANFORDERUNGEN

Dieser anhang gilt nur für selbstzündungsmotoren vom leistungsbereich h an aufwärts.

1. ÜBERPRÜFUNG DER DAUERHALTBARKEIT VON SELBSTZÜNDUNGSMOTOREN DER LEISTUNGSBEREICHE H BIS P

Dieser Anhang gilt nur für Selbstzündungsmotoren der Leistungsbereiche H bis P.

- 1.1. Die Hersteller legen für jeden regulierten Schadstoff einen Verschlechterungsfaktor (*DF*) für alle Motorenfamilien der Leistungsbereiche H bis P fest. Diese *DF* sind für die Typgenehmigung und Prüfung an der Fertigungsstraße anzuwenden, indem entweder a) der *DF* zum Ergebnis der Emissionsprüfung hinzuaddiert wird, sofern Absatz 1.2.1 anwendbar ist, oder b) das Ergebnis der Emissionsprüfung mit dem *DF* multipliziert wird, sofern Absatz 1.2.2 anwendbar ist.

- 1.1.1. Prüfungen zur Festlegung der *DF* sind wie folgt durchzuführen:

- 1.1.1.1. Der Hersteller muss nach einem Prüfplan Dauerhaltbarkeitsprüfungen durchführen, um Betriebsstunden zu akkumulieren, wobei der Prüfplan ist nach bestem fachlichen Ermessen auszuwählen ist, damit er in Bezug auf Merkmale der Verschlechterung der Emissionsminderungsleistung von Motoren im tatsächlichen Betrieb repräsentativ ist. Der Dauerhaltbarkeitsprüfzeitraum sollte in der Regel mindestens einem Viertel der Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode (EDP) entsprechen.

Die Betriebsakkumulation kann durchgeführt werden, indem der Motor auf einem Prüfstand läuft oder tatsächlich in Betrieb ist. Beschleunigte Dauerhaltbarkeitsprüfungen können durchgeführt werden, bei denen die Betriebsakkumulation bei einem höheren Belastungsgrad durchlaufen wird, als er in der Regel in diesem Bereich vorkommt. Der Beschleunigungsfaktor, der die Anzahl der Motorhaltbarkeitsprüfstunden zur entsprechenden Anzahl der EDP-Stunden ins Verhältnis setzt, wird vom Motorhersteller nach bestem fachlichen Ermessen festgelegt.

Während des Zeitraums der Dauerhaltbarkeitsprüfung dürfen emissionserhebliche Bauteile nur nach dem vom Hersteller empfohlenen regelmäßigen Wartungsplan gewartet oder ausgetauscht werden.

Der Prüfmotor, die Baugruppen oder Bauteile, die zur Bestimmung der Abgasemissions-*DF* für eine Motorenfamilie oder für Motorenfamilien mit vergleichbarer Emissionsminderungstechnologie verwendet werden, sind vom Motorhersteller nach bestem fachlichen Ermessen auszuwählen. Ausschlaggebend ist dabei, dass der Prüfmotor die Emissionsverschlechterungsmerkmale der Motorenfamilien repräsentieren sollte, bei deren Typgenehmigung die resultierenden *DF*-Werte bei der anwendet werden. Motoren mit unterschiedlicher Bohrung und unterschiedlichem Hub, unterschiedlicher Konfiguration, unterschiedlichen Luftaufbereitungssystemen und unterschiedlichen Kraftstoffsystemen können in Bezug auf die Emissionsverschlechterungsmerkmale als äquivalent eingestuft werden, sofern es hierfür eine hinreichende technische Grundlage gibt.

Die Werte der *DF* eines anderen Herstellers können angewandt werden, sofern es eine hinreichende Grundlage dafür gibt, in Bezug auf die Verschlechterung bei den Emissionen von technischer Äquivalenz auszugehen, und die Prüfungen nachweislich gemäß den vorgeschriebenen Anforderungen durchgeführt wurden.

Die Emissionsprüfung wird gemäß den Verfahren durchgeführt, die in dieser Richtlinie für eingefahrene Prüfmotoren, die noch keine Betriebsstundenakkumulationsprüfung durchlaufen haben, und für Prüfmotoren am Ende der Dauerhaltbarkeitsprüfung festgelegt sind. Emissionsprüfungen können auch in Abständen während des Dauerprüfungszeitraums durchgeführt und zur Bestimmung der Verschlechterungstendenz angewandt werden.

- 1.1.1.2. Bei den zur Bestimmung der Verschlechterung durchgeführten Betriebsakkumulierungsprüfungen oder Emissionsprüfungen muss kein Vertreter der Typgenehmigungsbehörde zugegen sein.

- 1.1.1.3. Bestimmung der *DF*-Werte durch Dauerhaltbarkeitsprüfungen

Ein additiver *DF* ist definiert als der Wert, der durch Subtraktion des zu Beginn der EDP bestimmten Wertes vom am Ende der EDP bestimmten Wert der Emissionsminderungsleistung ermittelt wird.

Ein multiplikativer *DF* ist definiert als der am Ende der EDP bestimmte Emissionswert geteilt durch den zu Beginn der EDP aufgezeichneten Emissionswert.

Für jeden in Rechtsvorschriften erfassten Schadstoff sind gesonderte Werte für den *DF* zu erstellen. Wird der *DF*-Wert gegenüber dem NO_x+HC-Standard bestimmt, so geschieht dies bei einem additiven *DF* basierend auf der Summe der Schadstoffe, unbeschadet der Tatsache, dass eine negative Verschlechterung bei einem Schadstoff die Verschlechterung eines anderen Faktors nicht ausgleichen kann. Bei einem multiplikativen NO_x+HC-*DF* sind bei der Berechnung der verschlechterten Emissionswerte anhand des Ergebnisses einer Emissionsprüfung gesonderte *DF* für NO_x und HC festzulegen und anzuwenden, bevor die resultierenden verschlechterten NO_x- und HC-Werte im Hinblick auf die Einhaltung des Standards kombiniert werden.

Wird die Prüfung nicht für die vollständige EDP durchgeführt, so werden die Emissionswerte am Ende der EDP durch Extrapolation der für den Prüfzeitraum festgestellten Emissionsverschlechterungstendenz auf die vollständige EDP bestimmt.

Wurden Ergebnisse von Emissionsprüfungen während der Dauerhaltbarkeitsprüfung regelmäßig aufgezeichnet, so sind bei der Bestimmung der Emissionswerte am Ende der EDP auf vorbildlichen Verfahren basierende Standardtechniken der statistischen Aufbereitung anzuwenden; die statistische Signifikanz kann bei der Bestimmung der endgültigen Emissionswerte geprüft werden.

Ergibt die Berechnung einen Wert unter 1,00 für einen multiplikativen DF oder unter 0,00 für einen additiven DF, so gilt der DF 1,0 bzw. 0,00.

- 1.1.1.4. Ein Hersteller kann mit Genehmigung der Typgenehmigungsbehörde DF-Werte verwenden, die anhand der Ergebnisse von Dauerhaltbarkeitsprüfungen bestimmt wurden, die zur Ermittlung von DF-Werten bei Selbstzündungsmotoren für schwere Nutzfahrzeuge durchgeführt wurden. Dies ist zulässig, wenn der Kfz-Prüfmotor und die Motorenfamilien für mobile Maschinen und Geräte, die die DF-Werte für die Typgenehmigungszwecke anwenden, technisch äquivalent sind. Die aus den Ergebnissen von Emissionsdauerhaltbarkeitsprüfungen von Kfz-Motoren abgeleiteten DF-Werte sind auf der Grundlage der in Absatz 2 definierten Werte der EDP zu berechnen.
- 1.1.1.5. Verwendet die Motorenfamilie anerkannte Technologien, so kann nach Genehmigung durch die Typgenehmigungsbehörde anstelle der Prüfung eine auf guter technischer Praxis basierende Analyse herangezogen werden, um einen DF für diese Motorenfamilie zu bestimmen.
- 1.2. Angaben zum DF in Anträgen auf Typgenehmigung
 - 1.2.1. Für jeden Schadstoff sind im Typgenehmigungsantrag für eine Motorenfamilie von Selbstzündungsmotoren ohne Nachbehandlungseinrichtung additive DF anzugeben.
 - 1.2.2. Für jeden Schadstoff sind im Typgenehmigungsantrag für eine Motorenfamilie von Selbstzündungsmotoren mit Nachbehandlungseinrichtung multiplikative DF anzugeben.
 - 1.2.3. Der Hersteller muss der Typgenehmigungsbehörde auf Anfrage Informationen zur Verfügung stellen, die die DF-Werte belegen. Dazu zählen in der Regel die Ergebnisse von Emissionsprüfungen, der Prüfplan für die Dauerprüfung, die Wartungsverfahren sowie gegebenenfalls unterstützende Angaben zum fachlichen Ermessen hinsichtlich der technischen Äquivalenz.
2. ÜBERPRÜFUNG DER DAUERHALTBARKEIT VON SELBSTZÜNDUNGSMOTOREN DER LEISTUNGSBEREICHE Q BIS R
 - 2.1. Allgemeine Bemerkungen
 - 2.1.1. Dieser Absatz gilt für Selbstzündungsmotoren der Leistungsbereiche Q bis R. Auf Antrag des Herstellers kann er alternativ zu den Vorschriften in Absatz 1 dieses Anhangs auch auf Selbstzündungsmotoren der Leistungsbereiche H bis P angewendet werden.
 - 2.1.2. In diesem Absatz werden die Verfahren für die Auswahl jener Motoren beschrieben, die in einem Betriebsakkumulationsprogramm zur Ermittlung der Verschlechterungsfaktoren im Rahmen des Typgenehmigungsverfahrens und der Bewertung der Übereinstimmung der Produktion bei Motoren der Stufe IV geprüft werden. Die Verschlechterungsfaktoren sind gemäß Absatz 2.4.7 auf die gemäß Anhang 4B dieser Regelung gemessenen Emissionen anzuwenden.
 - 2.1.3. Bei den zur Bestimmung der Verschlechterung durchgeführten Betriebsakkumulierungs- oder Emissionsprüfungen muss kein Vertreter der Typgenehmigungsbehörde zugegen sein.
 - 2.1.4. In diesem Absatz sind außerdem die emissionsrelevanten und nicht emissionsrelevanten Wartungsarbeiten aufgeführt, die an Motoren, welche einem Betriebsakkumulationsprogramm unterzogen werden, vorgenommen werden sollten oder dürfen. Diese Wartung muss der Wartung entsprechen, die an in Betrieb befindlichen Motoren vorgenommen und den Besitzern von neuen Motoren mitgeteilt wird.
 - 2.1.5. Auf Antrag des Herstellers kann die Typgenehmigungsbehörde die Verwendung von Verschlechterungsfaktoren, die mit anderen Verfahren als mit den in den Absätzen 2.4.1 bis 2.4.5 beschriebenen ermittelt wurden, erlauben. In diesem Fall muss der Hersteller zur Zufriedenheit der Typgenehmigungsbehörde nachweisen, dass diese alternativen Verfahren mindestens so streng sind wie die in den Absätzen 2.4.1 bis 2.4.5 beschriebenen.
 - 2.2. Freigelassen
 - 2.3. Auswahl der Motoren für die Festlegung von Verschlechterungsfaktoren für die Dauerhaltbarkeitsperiode
 - 2.3.1. Die Motoren für die Emissionsprüfung zur Bestimmung der Verschlechterungsfaktoren für die Dauerhaltbarkeitsperiode werden aus der nach Anhang 1B dieser Regelung festgelegten Motorenfamilie entnommen.

- 2.3.2. Motoren aus verschiedenen Motorenfamilien können nach der Art ihres Abgasnachbehandlungssystems zu weiteren Motorenfamilien zusammengefasst werden. Wenn der Hersteller Motoren, die sich hinsichtlich der Anordnung der Zylinder unterscheiden, jedoch hinsichtlich der technischen Merkmale und der Installation des Abgasnachbehandlungssystems ähneln, in einer Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie zusammenfassen möchte, muss er der Typgenehmigungsbehörde Daten vorlegen, aus denen hervorgeht, dass die Leistung dieser Motorsysteme im Hinblick auf die Emissionsreduzierung ähnlich ist.
- 2.3.3. Der Motorenhersteller wählt einen Motor aus, der für die Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie gemäß Absatz 2.3.2 repräsentativ ist; dieser Motor wird gemäß dem in Absatz 2.4.2 festgelegten Betriebsakkumulationsprogramm geprüft, wobei vor Beginn der Prüfungen die Typgenehmigungsbehörde über den gewählten Motor zu informieren ist.
- 2.3.3.1. Falls die Typgenehmigungsbehörde zu dem Schluss kommt, dass es günstiger ist, die schlechtesten Emissionswerte der Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie anhand eines anderen Motors zu bestimmen, so ist der Prüfmotor von der Typgenehmigungsbehörde und dem Hersteller gemeinsam auszuwählen.
- 2.4. Festlegung von Verschlechterungsfaktoren für die Dauerhaltbarkeitsperiode
- 2.4.1. Allgemeine Bemerkungen
- Die für eine Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie geltenden Verschlechterungsfaktoren werden von den ausgewählten Motoren auf Grundlage eines Betriebsakkumulationsprogramms abgeleitet, das die regelmäßige Prüfung auf gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel während der NRSC- und NRTC-Prüfungen umfasst.
- 2.4.2. Betriebsakkumulationsprogramm
- Betriebsakkumulationsprogramme kann der Hersteller entweder anhand einer im Betrieb befindlichen Maschine mit dem gewählten Motor oder anhand des Betriebs des gewählten Motors auf dem Prüfstand durchführen.
- 2.4.2.1. Betriebsakkulation im Betrieb und auf dem Prüfstand
- 2.4.2.1.1. Der Hersteller bestimmt nach bestem fachlichen Ermessen die Art und die Dauer des Betriebsakkumulationsprogramms und des Alterungszyklus für die Motoren.
- 2.4.2.1.2. Der Hersteller legt fest, wann während der NRTC-Prüfung mit Warmstart und der NRSC-Prüfung gasförmige und Partikelemissionen gemessen werden. Es muss mindestens drei Prüfpunkte geben, einen zu Beginn, einen etwa in der Mitte und einen am Ende des Betriebsakkumulationsprogramms.
- 2.4.2.1.3. Die Emissionswerte am Anfang und am Ende der Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode, die gemäß Absatz 2.4.5.2 errechnet werden, müssen den für die Motorenfamilie geltenden Grenzwerten entsprechen; einzelne Emissionsergebnisse der Prüfpunkte dürfen diese Grenzwerte jedoch überschreiten.
- 2.4.2.1.4. Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde braucht an jedem Prüfpunkt nur ein Prüfzyklus (entweder NRTC-Zyklus mit Warmstart oder NRSC-Zyklus) durchgeführt zu werden; der andere Prüfzyklus ist dann lediglich am Anfang und am Ende des Betriebsakkumulationsprogramms durchzuführen.
- 2.4.2.1.5. Bei Motoren mit fester Drehzahl ist nur der NRSC-Zyklus an jedem Prüfpunkt zu verwenden.
- 2.4.2.1.6. Die Betriebsakkumulationsprogramme können bei Motoren verschiedener Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilien unterschiedlich sein.
- 2.4.2.1.7. Die Betriebsakkumulationsprogramme können kürzer als die Dauerhaltbarkeitsperiode sein, aber sie dürfen nicht kürzer als mindestens ein Viertel der entsprechenden, in Absatz 3 dieses Anhangs angegebenen Dauerhaltbarkeitsperiode sein.
- 2.4.2.1.8. Eine Beschleunigte Alterung, bei der das Betriebsakkumulationsprogramm auf Grundlage des Kraftstoffverbrauchs eingestellt wird, ist zulässig. Die Einstellung muss auf dem Verhältnis zwischen dem typischen Kraftstoffverbrauch im Betrieb und dem Kraftstoffverbrauch im Alterungszyklus basieren, aber der Kraftstoffverbrauch im Alterungszyklus darf den typischen Kraftstoffverbrauch im Betrieb nicht um mehr als 30 % übersteigen.
- 2.4.2.1.9. Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde können andere Methoden zur beschleunigten Alterung verwendet werden.
- 2.4.2.1.10. Das Betriebsakkumulationsprogramm ist im Antrag auf Typgenehmigung ausführlich zu beschreiben und vor Aufnahme der Prüfungen der Typgenehmigungsbehörde mitzuteilen.
- 2.4.2.2. Falls die Typgenehmigungsbehörde zu dem Schluss kommt, dass zusätzliche Messungen zwischen den vom Hersteller bestimmten Prüfpunkten erforderlich sind, teilt sie dies dem Hersteller mit. Der Hersteller muss dann die Betriebsakkumulationsprogramme überarbeiten und von der Typgenehmigungsbehörde billigen lassen.

- 2.4.3. Motorprüfung
- 2.4.3.1. Stabilisierung des Motorsystems
- 2.4.3.1.1. Für jede Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie eingestufte Motorenfamilie ermittelt der Hersteller, nach wie vielen Betriebsstunden der Maschine oder des Motors sich das Betriebsverhalten des Abgasnachbehandlungssystems stabilisiert hat. Auf Verlangen der Typgenehmigungsbehörde muss der Hersteller ihr die diesem Wert zugrunde liegenden Daten und Analysen vorlegen. Wahlweise kann der Hersteller den Motor oder die Maschine zwischen 60 und 125 Stunden lang oder über die entsprechende Zeit im Alterungszyklus betreiben, um das Abgasnachbehandlungssystem zu stabilisieren.
- 2.4.3.1.2. Das Ende der Stabilisierungsphase gemäß Absatz 2.4.3.1.1 gilt als Beginn des Betriebsakkumulationsprogramms.
- 2.4.3.2. Betriebsakkumulationsprüfung
- 2.4.3.2.1. Nach der Stabilisierung wird der Motor gemäß dem vom Hersteller gewählten und in Absatz 2.3.2 beschriebenen Betriebsakkumulationsprogramm betrieben. Der Motor wird regelmäßig zu den vom Hersteller und gegebenenfalls von der Typgenehmigungsbehörde gemäß Absatz 2.4.2.2 im Betriebsakkumulationsprogramm festgelegten Zeitpunkten dem NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart und dem NRSC-Prüfzyklus auf gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel unterzogen.
- Der Hersteller kann die Schadstoffemissionen vor Anbringung eines Abgasnachbehandlungssystems getrennt von den Schadstoffemissionen nach Anbringung eines Abgasnachbehandlungssystems messen.
- Wurde nach Absatz 2.4.2.1.4 vereinbart, dass an jedem Prüfpunkt nur ein Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart oder NRSC) durchgeführt wird, muss der jeweils andere Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart oder NRSC) am Anfang und am Ende des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführt werden.
- Gemäß Absatz 2.4.2.1.5 ist für Motoren mit fester Drehzahl nur der NRSC-Zyklus an jedem Prüfpunkt zu verwenden.
- 2.4.3.2.2. Während des Betriebsakkumulationsprogramms sind gemäß Absatz 2.5 Wartungsarbeiten am Motor durchzuführen.
- 2.4.3.2.3. Während des Betriebsakkumulationsprogramms können außerplanmäßige Wartungsarbeiten am Motor oder an der Maschine vorgenommen werden, wenn beispielsweise das normale Diagnosesystem des Herstellers eine Störung erkannt hat, die dem Maschinenbediener einen Fehler angezeigt hätte.
- 2.4.4. Berichterstattung
- 2.4.4.1. Die Ergebnisse sämtlicher während des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführter Emissionsprüfungen (NRTC mit Warmstart und NRSC) sind der Typgenehmigungsbehörde vorzulegen. Erklärt der Hersteller eine Emissionsprüfung für ungültig, so muss er dies begründen. In einem solchen Fall ist innerhalb der nächsten 100 Stunden Betriebsakkumulation eine weitere Reihe von Emissionsprüfungen durchzuführen.
- 2.4.4.2. Der Hersteller hat alle Informationen über sämtliche während des Betriebsakkumulationsprogramms am Motor durchgeführten Emissionsprüfungen und Wartungsarbeiten aufzuzeichnen. Diese Informationen sind der Typgenehmigungsbehörde zusammen mit den Ergebnissen der im Rahmen des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführten Emissionsprüfungen zu übergeben.
- 2.4.5. Ermittlung der Verschlechterungsfaktoren
- 2.4.5.1. Für jeden im NRTC-Zyklus mit Warmstart und NRSC-Zyklus gemessenen Schadstoff und für jeden Prüfpunkt des Betriebsakkumulationsprogramms ist auf der Grundlage der Prüfergebnisse eine lineare „Best-fit“-Regressionsanalyse vorzunehmen. Für jeden Schadstoff sind die Ergebnisse auf so viele Dezimalstellen anzugeben wie der Schadstoffgrenzwert, der für die entsprechende Motorenfamilie gilt, sowie zusätzlich auf eine Dezimalstelle mehr.

Wurde gemäß Absatz 2.4.2.1.4 oder Absatz 2.4.2.1.5 für jeden Prüfpunkt nur ein Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart oder NRSC) durchgeführt, so ist die Regressionsanalyse nur anhand der Ergebnisse des an allen Prüfpunkten durchgeführten Prüfzyklus vorzunehmen.

Auf Antrag des Herstellers und mit vorheriger Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde ist eine nicht-lineare Regression zulässig.

- 2.4.5.2. Die Emissionswerte für jeden Schadstoff zu Beginn des Betriebsakkumulationsprogramms und am Ende der für den zu prüfenden Motor geltenden Dauerhaltbarkeitsperiode sind aus der Regressionsgleichung zu berechnen. Wenn das Betriebsakkumulationsprogramm kürzer ist als die Dauerhaltbarkeitsperiode, dann sind die Emissionswerte am Endpunkt der Dauerhaltbarkeitsperiode durch Extrapolation der Regressionsgleichung gemäß Absatz 2.4.5.1 zu bestimmen.

Werden Emissionswerte für Motorenfamilien verwendet, die zur selben Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie gehören, jedoch unterschiedliche Dauerhaltbarkeitsperioden aufweisen, dann sind für jede Dauerhaltbarkeitsperiode die Emissionswerte am Endpunkt der Dauerhaltbarkeitsperiode durch Extrapolation oder Interpolation der Regressionsgleichung gemäß Absatz 2.4.5.1 neu zu berechnen.

- 2.4.5.3. Der Verschlechterungsfaktor für jeden Schadstoff wird definiert als das Verhältnis der geltenden Emissionswerte am Ende der Dauerhaltbarkeitsperiode und am Anfang des Betriebsakkumulationsprogramms (multiplikativer Verschlechterungsfaktor).

Auf Antrag des Herstellers und mit vorheriger Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde kann ein additiver Verschlechterungsfaktor für jeden Schadstoff angewendet werden. Der additive Verschlechterungsfaktor ist die Differenz zwischen den berechneten Emissionswerten am Ende der Dauerhaltbarkeitsperiode und am Anfang des Betriebsakkumulationsprogramms.

Ein Beispiel zur Bestimmung von Verschlechterungsfaktoren unter Verwendung der linearen Regression ist in Abbildung 1 für NO_x -Emissionen angegeben.

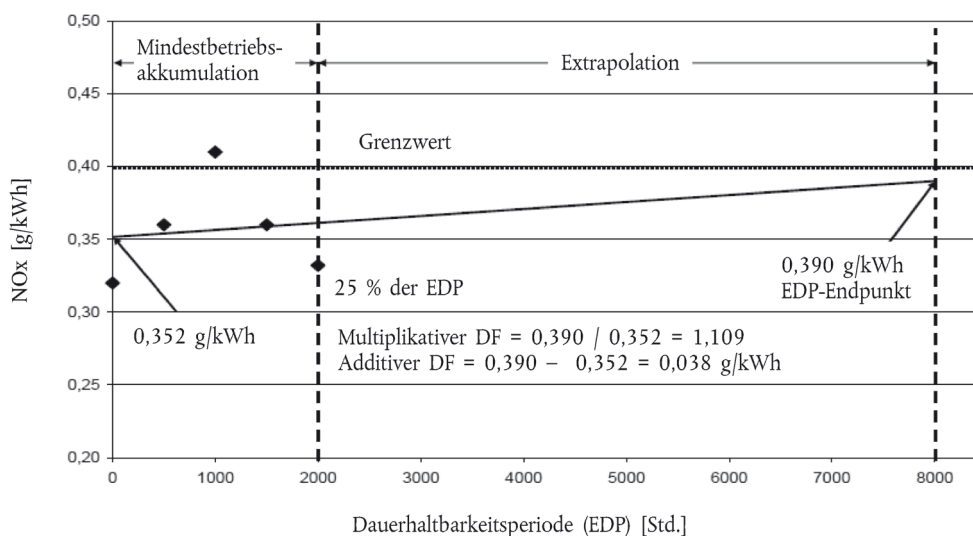
Die Vermischung von multiplikativen und additiven Verschlechterungsfaktoren innerhalb eines Schadstoffsatzes ist nicht zulässig.

Ergibt die Berechnung einen Wert unter 1,00 für einen multiplikativen Verschlechterungsfaktor oder unter 0,00 für einen additiven Verschlechterungsfaktor, so gilt der Verschlechterungsfaktor 1,0 bzw. 0,00.

Wurde nach Absatz 2.4.2.1.4 vereinbart, dass an jedem Prüfpunkt nur ein Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart oder NRSC) durchgeführt werden soll und der jeweils andere Prüfzyklus (NRTC mit Warmstart oder NRSC) lediglich am Anfang und am Ende des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführt wird, so ist der Verschlechterungsfaktor, der für den an jedem Prüfpunkt durchgeführten Prüfzyklus errechnet wurde, auch bei dem anderen Prüfzyklus anzuwenden.

Abbildung 1

Beispiel für die Bestimmung der Verschlechterungsfaktoren (DF)



- 2.4.6. Vorgegebene Verschlechterungsfaktoren

- 2.4.6.1. Als Alternative zur Ermittlung der Verschlechterungsfaktoren mittels eines Betriebsakkumulationsprogramms können Motorenhersteller folgende vorgegebene multiplikative Verschlechterungsfaktoren heranziehen:

Prüf-zyklus	CO	HC	NO _x	PM
NRTC	1,3	1,3	1,15	1,05
NRSC	1,3	1,3	1,15	1,05

Vorgegebene additive Verschlechterungsfaktoren werden nicht angegeben. Es ist nicht zulässig, vorgegebene multiplikative Verschlechterungsfaktoren in additive Verschlechterungsfaktoren umzuwandeln.

Werden vorgegebene Verschlechterungsfaktoren verwendet, muss der Hersteller der Typgenehmigungsbehörde einen eindeutigen Nachweis darüber vorlegen, dass bei den emissionsmindernden Bauteilen davon ausgegangen werden kann, dass die Dauerhaltbarkeit den vorgegebenen Faktoren entspricht. Dieser Nachweis kann auf einer Bauartanalyse, Prüfungen oder einer Kombination aus beidem beruhen.

2.4.7. Anwendung der Verschlechterungsfaktoren

2.4.7.1. Die Motoren müssen nach Anwendung der Verschlechterungsfaktoren auf die Prüfergebnisse, die gemäß Anhang 4B dieser Regelung (gewichtete Ergebnisse des Prüfzyklus für die spezifischen Emissionen von Partikeln und jedes einzelnen Gases) gemessen wurden, den jeweiligen Emissionsgrenzwerten für jeden Schadstoff entsprechen, die für die Motorenfamilie gelten. Abhängig von der Art des Verschlechterungsfaktors (DF) gelten die folgenden Bestimmungen:

a) Multiplikativ: (gewichtete Ergebnisse des Prüfzyklus für die spezifische Emission) $\times$ DF $\leq$ Emissionsgrenzwert

b) Additiv: (gewichtete Ergebnisse des Prüfzyklus für die spezifische Emission) + DF $\leq$ Emissionsgrenzwert

2.4.7.2. Bei einem multiplikativen NO_x + HC-Verschlechterungsfaktor sind bei der Berechnung der verschlechterten Emissionswerte anhand des Ergebnisses einer Emissionsprüfung gesonderte Verschlechterungsfaktoren für NO_x und HC festzulegen und anzuwenden, bevor die resultierenden verschlechterten NO_x- und HC-Werte im Hinblick auf den Nachweis der Einhaltung des Emissionsgrenzwerts kombiniert werden.

2.4.7.3. Der Hersteller kann die für eine Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie ermittelten Verschlechterungsfaktoren auf ein Motorsystem übertragen, das nicht zu derselben Abgasnachbehandlungssystem-Motorenfamilie gehört. In diesem Fall muss er gegenüber der Typgenehmigungsbehörde nachweisen, dass für das Motorsystem, für welches das Abgasnachbehandlungssystem ursprünglich geprüft wurde, und das Motorsystem, auf das die Verschlechterungsfaktoren übertragen werden, ähnliche technische Merkmale und Vorschriften für den Einbau in die Maschine gelten und dass die Emissionen dieses Motors oder Motorsystems ähnlich sind.

Werden Verschlechterungsfaktoren auf ein Motorsystem mit einer unterschiedlichen Dauerhaltbarkeitsperiode übertragen, dann sind die Verschlechterungsfaktoren für die geltende Dauerhaltbarkeitsperiode durch Extrapolation oder Interpolation der Regressionsgleichung gemäß Absatz 2.4.5.1 neu zu berechnen.

2.4.7.4. Für jeden Prüfzyklus werden die Verschlechterungsfaktoren für jeden Schadstoff in dem in Anhang 2 Anlage 1 enthaltenen Bericht für Prüfergebnisse eingetragen.

2.4.8. Überprüfung der Übereinstimmung der Produktion

2.4.8.1. Die Übereinstimmung der Produktion hinsichtlich der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte wird gemäß Absatz 7 dieser Regelung überprüft.

2.4.8.2. Anlässlich der Typgenehmigungsprüfung kann der Hersteller zugleich auch die Schadstoffemissionen vor Anbringung eines Abgasnachbehandlungssystems messen. Dabei kann der Hersteller für den Motor und für das Abgasnachbehandlungssystem separate informelle Verschlechterungsfaktoren ausarbeiten, die er als Hilfe für die Prüfung am Ende der Fertigungsstraße verwenden kann.

2.4.8.3. Für die Zwecke der Typgenehmigung werden nur die Verschlechterungsfaktoren in dem in Anhang 2 Anlage 1 enthaltenen Bericht für Prüfergebnisse eingetragen, die nach den Absätzen 2.4.5 oder 2.4.6 ermittelt wurden.

2.5. Wartung

Für die Zwecke des Betriebsakkumulationsprogramms sind die Wartungsarbeiten gemäß der Anleitung des Herstellers für Service und Wartung durchzuführen.

2.5.1. Emissionsrelevante planmäßige Wartungsarbeiten

2.5.1.1. Emissionsrelevante planmäßige Wartungsarbeiten bei Motorbetrieb für die Zwecke der Durchführung eines Betriebsakkumulationsprogramms müssen in gleichwertigen Intervallen stattfinden wie jene, die in den Wartungsanweisungen des Herstellers für die Besitzer von Maschinen oder Motoren anzugeben sind. Das Wartungsprogramm kann erforderlichenfalls während des gesamten Betriebsakkumulationsprogramms aktualisiert werden, sofern kein Wartungsvorgang aus dem Wartungsprogramm gestrichen wird, nachdem er am Prüfmotor durchgeführt wurde.

2.5.1.2. Der Motorenhersteller muss für die Betriebsakkumulationsprogramme Angaben zur Einstellung, Reinigung und (gegebenenfalls) Wartung sowie zum planmäßigen Austausch folgender Bestandteile machen:

- a) Filter und Kühler im Abgasrückführsystem,
- b) gegebenenfalls Kurbelgehäuse-Entlüftungsventil,
- c) Einspritzdüsen (nur die Reinigung ist zulässig),
- d) Einspritzdüsen,
- e) Turbolader,
- f) elektronisches Motorsteuergerät mit Sensoren und Aktuatoren,
- g) Partikelnachbehandlungssystem (einschließlich dazugehöriger Bauteile),
- h) NO_x-Nachbehandlungssystem (einschließlich dazugehöriger Bauteile),
- i) Abgasrückführsystem einschließlich aller dazugehörigen Regelventile und Röhren sowie
- j) alle anderen Abgasnachbehandlungssysteme.

2.5.1.3. Kritische emissionsrelevante planmäßige Wartungsarbeiten sind nur vorzunehmen, wenn sie zur Durchführung im Betrieb vorgesehen sind; die Vorschrift, dass diese Wartungsarbeiten durchzuführen sind, muss dem Besitzer der Maschine mitgeteilt werden.

2.5.2. Änderungen an der planmäßigen Wartung

2.5.2.1. Der Hersteller muss alle neuen planmäßigen Wartungsarbeiten, die er während des Betriebsakkumulationsprogramms durchführen und daher auch den Besitzern von Maschinen und Motoren empfehlen möchte, von der Typgenehmigungsbehörde genehmigen lassen. Dem Antrag müssen Daten beiliegen, die die neuen planmäßigen Wartungsarbeiten und die Wartungsabstände begründen.

2.5.3. Planmäßige nicht emissionsrelevante Wartungsarbeiten

2.5.3.1. Planmäßige nicht emissionsrelevante Wartungsarbeiten, die technisch gerechtfertigt sind (z. B. Ölwechsel, Ölfilterwechsel, Kraftstofffilterwechsel, Luftfilterwechsel, Wartung des Kühlsystems, LeerlaufEinstellung, Regler, Anzugsmoment der Schrauben, Ventilspiel, Einspritzdüsenspiel, Ventileinstellung, Einstellung der Spannung von Antriebsriemen usw.) können mit der geringsten vom Hersteller empfohlenen Wartungshäufigkeit an Motoren oder Maschinen im Rahmen des Betriebsakkumulationsprogramms durchgeführt werden (z. B. nicht in den Abständen, die für Betrieb unter erschwerten Bedingungen empfohlen werden).

2.5.4. Reparatur

2.5.4.1. Bauteile eines Motorsystems, das für die Prüfung im Rahmen eines Betriebsakkumulationsprogramms ausgewählt wurde, dürfen nur repariert werden, wenn eine Fehlfunktion der Bauteile oder des Motorsystems vorliegt. Reparaturen am Motor, am Emissionsminderungssystem oder an der Kraftstoffanlage sind nur in dem Umfang zulässig, der in Absatz 2.5.4.2 festgelegt ist.

- 2.5.4.2. Wenn der Motor selbst, das Emissionsminderungssystem oder das Kraftstoffsystem während des Betriebsakkumulationsprogramms eine Fehlfunktion aufweisen, so gilt die Betriebsakkumulation als ungültig und es muss eine neue Betriebsakkumulation mit einem neuen Motorsystem eingeleitet werden, es sei denn, die fehlerhaften Bauteile werden durch gleichwertige Bauteile mit einer ähnlichen Zahl von Betriebsstunden ersetzt.
3. DAUERHALTBARKEITSPERIODE FÜR MOTOREN DER LEISTUNGSBEREICHE H BIS R
- 3.1. Hersteller müssen die Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode in Tabelle 1 dieses Absatzes verwenden.

Tabelle 1

Dauerhaltbarkeitsperiode für Selbstzündungsmotoren der Leistungsbereiche H bis R (Stunden)

Kategorie (Leistungsbereich)	Dauerhaltbarkeits-periode (Stunden)
≤ 37 kW (Motoren mit fester Drehzahl)	3 000
≤ 37 kW (Motoren mit veränderlicher Drehzahl)	5 000
> 37 kW	8 000

ANHANG 9

**VORSCHRIFTEN ZUR GEWÄHRLEISTUNG DES ORDNUNGSGEMÄßEN ARBEITENS VON EINRICHTUNGEN
ZUR BEGRENZUNG DER NO_x-EMISSIONEN**

1. EINLEITUNG

Nachfolgend sind die Anforderungen beschrieben, durch die das ordnungsgemäße Arbeiten von Einrichtungen zur Begrenzung der NO_x-Emissionen gewährleistet wird. Dies beinhaltet auch Anforderungen für Motoren, die mit einem Reagens arbeiten, um Emissionen zu reduzieren.

2. GRUNDSÄTZLICHE ANFORDERUNGEN

Das Motorsystem muss mit einem Diagnosesystem für NO_x-Emissionen (NCD) ausgerüstet sein, das geeignet ist, die in diesem Anhang genannten Funktionsstörungen des NO_x-Emissionsminderungssystems (NCM) zu erkennen. Jedes in diesem Absatz erfasste Motorsystem muss so konstruiert, gefertigt und eingebaut sein, dass es diese Anforderungen während der normalen Motorlebensdauer unter normalen Betriebsbedingungen erfüllt. Dabei ist es akzeptabel, wenn bei Motoren, die über die Nutzlebensdauer gemäß Anhang 8 Absatz 3.1 dieser Regelung hinaus betrieben werden, die Leistung und Empfindlichkeit des Diagnosesystems für NO_x-Emissionen (NCD) gemindert ist, so dass die in diesem Anhang festgelegten Grenzwerte überschritten werden können, bevor das Warn- und/oder Aufforderungssystem aktiviert wird/werden.

2.1. Verlangte Informationen

2.1.1. Erfordert das Emissionsminderungssystem ein Reagens, so müssen die Eigenschaften dieses Reagens (Art, Konzentration in Lösung, Betriebstemperatur, Verweise auf internationale Normen für die Zusammensetzung und Qualität) vom Hersteller in Anhang 1A Anlage 1 Absatz 2.2.1.13 sowie Anhang 1A Anlage 3 Absatz 2.2.1.13 angegeben werden.

2.1.2. Der Typgenehmigungsbehörde sind zum Zeitpunkt des Antrags auf Typgenehmigung ausführliche schriftliche Angaben über die Funktions- und Betriebsmerkmale des Warnsystems für das Bedienpersonal gemäß Absatz 4 und des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal gemäß Absatz 5 zu übermitteln.

2.1.3. Der Hersteller muss Einbauunterlagen vorlegen, die bei Verwendung durch den Originalgerätehersteller gewährleisten, dass der Motor einschließlich des Emissionsminderungssystems, das Teil des genehmigten Motorentyps ist, nach Einbau in die Maschine so mit den notwendigen Maschinenteilen zusammenarbeitet, dass die Anforderungen dieses Anhangs eingehalten werden. Diese Unterlagen müssen die detaillierten technischen Anforderungen sowie die Vorschriften für das Motorsystem (Software, Hardware und Kommunikationssysteme) umfassen, die für den korrekten Einbau des Motorsystems in die Maschine erforderlich sind.

2.2. Betriebsbedingungen

2.2.1. Das Diagnosesystem für NO_x-Emissionen muss bei folgenden Bedingungen einsatzfähig sein:

a) Umgebungstemperaturen zwischen 266 K und 308 K (-7 °C und 35 °C);

b) allen Höhenlagen unter 1 600 m;

c) Motorkühlmitteltemperaturen über 343 K (70 °C).

Dieser Absatz gilt nicht für die Überwachung des Füllstands des Reagensbehälters, die unter allen Bedingungen, unter denen die Messung technisch durchführbar ist, vorzunehmen ist (z. B. bei allen Bedingungen, unter denen ein flüssiges Reagensmittel nicht gefroren ist).

2.3. Frostschutz des Reagens

2.3.1. Der Reagensbehälter und das Dosiersystem können beheizt oder nicht beheizt sein. Ein beheiztes System muss den Anforderungen in Absatz 2.3.2 entsprechen. Ein nicht beheiztes System muss den Anforderungen in Absatz 2.3.3 entsprechen.

2.3.1.1. Die Verwendung eines nicht beheizten Reagensbehälters und Dosiersystems ist in den schriftlichen Anweisungen an den Maschinenbesitzer anzugeben.

2.3.2. Reagensbehälter und Dosiersystem

2.3.2.1. Wenn das Reagens gefroren ist, muss es innerhalb von maximal 70 Minuten, nachdem der Motor bei einer Umgebungstemperatur von 266 K (-7 °C) angelassen wurde, zur Verwendung bereitstehen.

2.3.2.2. Auslegungskriterien für ein beheiztes System

Ein beheiztes System muss so ausgelegt sein, dass es bei der Prüfung gemäß dem festgelegten Verfahren die Leistungsanforderungen dieses Absatzes erfüllt.

2.3.2.2.1. Der Reagensbehälter und das Dosiersystem werden für 72 Stunden oder bis das Reagens fest geworden ist (je nachdem, was zuerst eintritt) bei 255 K (-18 °C) abgekühlt.

- 2.3.2.2.2. Nach der in Absatz 2.3.2.2.1 angegebenen Abkühlzeit ist die Maschine/der Motor anzulassen und bei einer Umgebungstemperatur von höchstens 266 K (-7 °C) folgendermaßen zu betreiben:
- a) 10 bis 20 Minuten im Leerlauf;
 - b) danach bis zu 50 Minuten bei maximal 40 Prozent der Last.
- 2.3.2.2.3. Am Ende des Prüfverfahrens gemäß Absatz 2.3.2.2.2 muss das Reagens-Dosiersystem voll funktionsfähig sein.
- 2.3.2.3. Die Beurteilung der Auslegungskriterien kann in einem Kälteprüfraum unter Verwendung einer vollständigen Maschine oder von Bauteilen, die repräsentativ für die an der Maschine zu installierenden Bauteile sind, oder ausgehend von Betriebsprüfungen durchgeführt werden.
- 2.3.3. Aktivierung des Warn- und Aufforderungssystems für das Bedienpersonal für ein nicht beheiztes System
- 2.3.3.1. Das in Absatz 4 beschriebene Warnsystem für das Bedienpersonal wird aktiviert, wenn bei einer Umgebungstemperatur von ≤ 266 K (-7 °C) keine Reagenszufuhr auftritt.
- 2.3.3.2. Das in Absatz 5.4 beschriebene starke Aufforderungssystem wird aktiviert, wenn bei einer Umgebungstemperatur von ≤ 266 K (-7 °C) nach maximal 70 Minuten nach Anlassen des Motors keine Reagenszufuhr auftritt.
- 2.4. Diagnoseanforderungen
- 2.4.1. Das Diagnosesystem für NO_x-Emissionen (NCD) muss geeignet sein, mithilfe von rechnergespeicherten Diagnosefehlercodes (DTC) die in diesem Anhang genannten Funktionsstörungen des NO_x-Emissionsminderungssystems (NCM) zu erkennen sowie diese Informationen nach außen zu übermitteln.
- 2.4.2. Anforderungen an die Aufzeichnung von Diagnosefehlercodes (DTC)
- 2.4.2.1. Das NCD-System muss für jede einzelne Funktionsstörung des NO_x-Emissionsminderungssystems (NCM) einen DTC aufzeichnen.
- 2.4.2.2. Das NCD muss innerhalb von 60 Minuten Motorbetriebszeit feststellen, ob eine erkennbare Funktionsstörung vorliegt. Ist das der Fall, so ist ein „bestätigter und aktiver DTC“ zu speichern, und das Warnsystem ist nach Absatz 4 zu aktivieren.
- 2.4.2.3. In Fällen, in denen mehr als 60 Minuten Betriebszeit erforderlich sind, damit die Überwachungseinrichtungen eine NCM ordnungsgemäß erkennen und bestätigen (z. B. bei Überwachungseinrichtungen, die mit statistischen Verfahren arbeiten oder den Verbrauch von Betriebsflüssigkeiten der Maschine erfassen), kann die Typgenehmigungsbehörde für die Überwachung einen längeren Zeitraum zulassen, wenn der Hersteller belegt (etwa durch technische Argumentation, Versuchsergebnisse oder eigene Erfahrung) dass ein längerer Zeitraum notwendig ist.
- 2.4.3. Anforderungen an das Löschen von Diagnosefehlercodes (DTC)
- a) DTC dürfen durch das NCD-System so lange nicht vom Speicher des Rechners gelöscht werden, bis die dem DTC zugrunde liegende Störung behoben wurde.
 - b) Das NCD-System kann alle DTC auf Veranlassung eines vom Motorenhersteller auf Anfrage zur Verfügung gestellten firmeneigenen Lesegeräts oder Wartungswerkzeugs oder unter Verwendung eines vom Motorenhersteller gelieferten Zugangsschlüssels löschen.
- 2.4.4. Ein NCD-System darf nicht so programmiert oder konzipiert sein, dass Teile davon oder das Gesamtsystem während der Lebensdauer der Maschine in Abhängigkeit vom Alter oder der Laufleistung des Motors deaktiviert werden, und in ihm darf kein Algorithmus und keine Strategie implementiert sein, der/die seine Wirksamkeit mit der Zeit herabsetzt.
- 2.4.5. Alle unprogrammierbaren Rechnercodes oder Betriebsparameter des NCD-Systems müssen gegen unbefugte Eingriffe gesichert sein.
- 2.4.6. NCD-Motorenfamilie
- Für die Zusammensetzung einer NCD-Motorenfamilie ist der Hersteller verantwortlich. Die Zusammensetzung einer NCD-Motorenfamilie wird vom Hersteller nach bestem fachlichen Ermessen und im Einvernehmen mit der Typgenehmigungsbehörde bestimmt.
- Motoren, die nicht derselben Motorenfamilie angehören, können dennoch derselben NCD-Motorenfamilie angehören.
- 2.4.6.1. Merkmale zur Bestimmung einer NCD-Motorenfamilie
- Eine NCD-Motorenfamilie lässt sich anhand einer Reihe grundlegender Konstruktionsmerkmale definieren, in denen die zu einer solchen Familie gehörenden Motorsysteme übereinstimmen müssen.
- Motorsysteme können ein und derselben NCD-Motorenfamilie zugeordnet werden, wenn sie in den nachfolgend aufgeführten grundlegenden Merkmalen übereinstimmen:
- a) emissionsmindernde Einrichtungen;
 - b) NCD-Überwachungsverfahren;

c) Kriterien für die NCD-Überwachung;

d) Merkmale der Überwachung (wie Überwachungshäufigkeit).

Die Übereinstimmung ist vom Hersteller durch technische Analyse oder mit anderen geeigneten Mitteln und im Einvernehmen mit der Typgenehmigungsbehörde nachzuweisen.

Der Hersteller kann die Genehmigung leichter Abweichungen in den Verfahren zur Überwachung/Diagnose des NCD-Systems beantragen, wenn diese durch unterschiedliche Motorkonfigurationen bedingt sind, die Verfahren seiner Ansicht nach aber ähnlich sind und sich nur unterscheiden, um besonderen Merkmalen der fraglichen Bauteile gerecht zu werden (z. B. Größe, Abgasdurchsatz usw.) oder wenn die Ähnlichkeiten nach bestem fachlichem Ermessen festgestellt wurden.

3. WARTUNGSANFORDERUNGEN

- 3.1. Der Hersteller muss allen Besitzern neuer Motoren oder neuer Maschinen schriftliche Anweisungen über das Emissionsminderungssystem und seine ordnungsgemäße Funktion zur Verfügung stellen oder zur Verfügung stellen lassen.

Aus diesen Anweisungen muss hervorgehen, dass das Warnsystem dem Bedienpersonal ein Problem angezeigt, wenn das Emissionsminderungssystem nicht ordnungsgemäß arbeitet, und dass bei Ignorieren dieser Warnung die Aktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal darin resultiert, dass die Maschine nicht in der Lage ist, ihre Aufgaben durchzuführen.

- 3.2. In den Anweisungen ist anzugeben, wie die Motoren ordnungsgemäß zu betreiben und zu warten sind, um ihre Emissionsminderungsleistung zu erhalten, und gegebenenfalls, ob und welche selbstverbrauchenden Reagenzien zu verwenden sind.
- 3.3. Die Anweisungen müssen deutlich und in einer für Laien verständlichen Sprache verfasst sein, wobei dieselben Begriffe verwendet werden müssen wie in der Betriebsanleitung für die mobile Maschine/das mobile Gerät oder den Motor.
- 3.4. In den Anweisungen ist anzugeben, ob ein selbstverbrauchendes Reagens vom Bedienpersonal zwischen den planmäßigen Wartungen nachgefüllt werden muss. In den Anweisungen muss ferner die erforderliche Reagensqualität angegeben sein. In ihnen muss auch beschrieben sein, wie der Reagensbehälter vom Bedienpersonal zu befüllen ist. Aus diesen Informationen muss ferner hervorgehen, mit welchem Reagensverbrauch beim jeweiligen Motorentyp zu rechnen ist und wie häufig das Reagens nachgefüllt werden muss.
- 3.5. In den Anweisungen ist darauf hinzuweisen, dass die Verwendung und Nachfüllung eines erforderlichen Reagens der vorgeschriebenen Spezifikation wesentlich ist, damit der Motor den Anforderungen für die Erteilung der Typgenehmigung für diesen Motorentyp entspricht.
- 3.6. In den Anweisungen ist zu erläutern, wie das Warnsystem für das Bedienpersonal und das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal funktionieren. Ferner sind die Folgen hinsichtlich der Leistung und der Störungsprotokolle zu erläutern, die entstehen, wenn das Warnsystem ignoriert, das Reagens nicht wieder aufgefüllt oder ein Problem nicht behoben wird.

4. WARNSYSTEM FÜR DAS BEDIENPERSONAL

- 4.1. Die Maschine muss über ein Warnsystem für das Bedienpersonal verfügen, welches das Bedienpersonal durch optische Signale darauf aufmerksam macht, dass der Reagensfüllstand niedrig ist, die Reagensqualität unzureichend ist, die Reagenszufuhr unterbrochen ist oder dass eine Fehlfunktion im Sinne von Absatz 9 erkannt wurde, die das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal aktiviert, wenn sie nicht rechtzeitig behoben wird. Das Warnsystem muss auch aktiv bleiben, nachdem das in Absatz 5 beschriebene Aufforderungssystem für das Bedienpersonal aktiviert wurde.
- 4.2. Der Warnhinweis muss sich von demjenigen unterscheiden, der für den Hinweis auf eine Funktionsstörung oder auf sonstige notwendige Wartungsarbeiten am Motor verwendet wird; es kann jedoch dasselbe Warnsystem verwendet werden.
- 4.3. Das Warnsystem für das Bedienpersonal kann aus einer oder mehreren Leuchten bestehen oder kurze Warnhinweise anzeigen, darunter solche, die deutlich auf Folgendes hinweisen:

a) die Zeit bis zur Aktivierung der schwachen und/oder starken Aufforderung;

b) den Umfang der schwachen und/oder starken Aufforderung, z. B. den Grad der Drehmomentreduzierung;

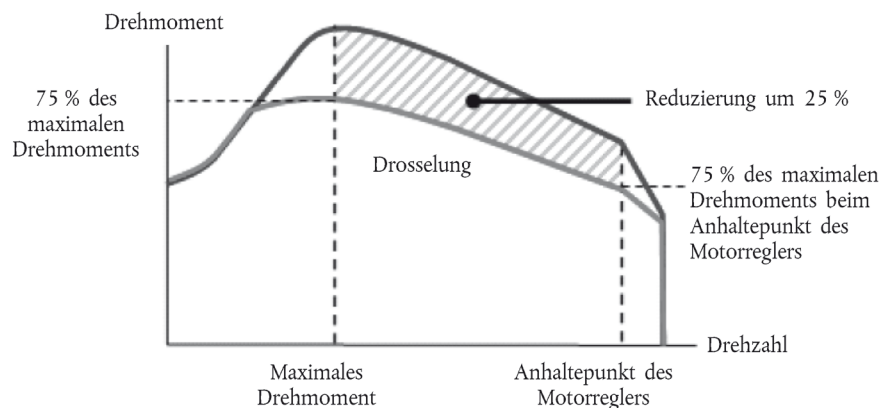
c) die Bedingungen, unter denen sich die Maschine wieder starten lässt.

Werden Meldungen angezeigt, so kann das System für die Anzeige dieser Meldungen dasselbe sein wie das für andere Wartungszwecke genutzte System.

- 4.4. Der Hersteller kann festlegen, dass das Warnsystem ein akustisches Signal abgeben soll, um das Bedienpersonal aufmerksam zu machen. Die Abschaltung von akustischen Signalen durch das Bedienpersonal ist zulässig.
- 4.5. Das Warnsystem für das Bedienpersonal wird gemäß den Absätzen 2.3.3.1, 6.2, 7.2, 8.4, bzw. 9.3 aktiviert.
- 4.6. Das Warnsystem für das Bedienpersonal muss sich deaktivieren, wenn die Voraussetzungen für seine Aktivierung nicht mehr gegeben sind. Das Warnsystem für das Bedienpersonal darf nur dann automatisch deaktiviert werden, wenn die Ursache seiner Aktivierung beseitigt wurde.

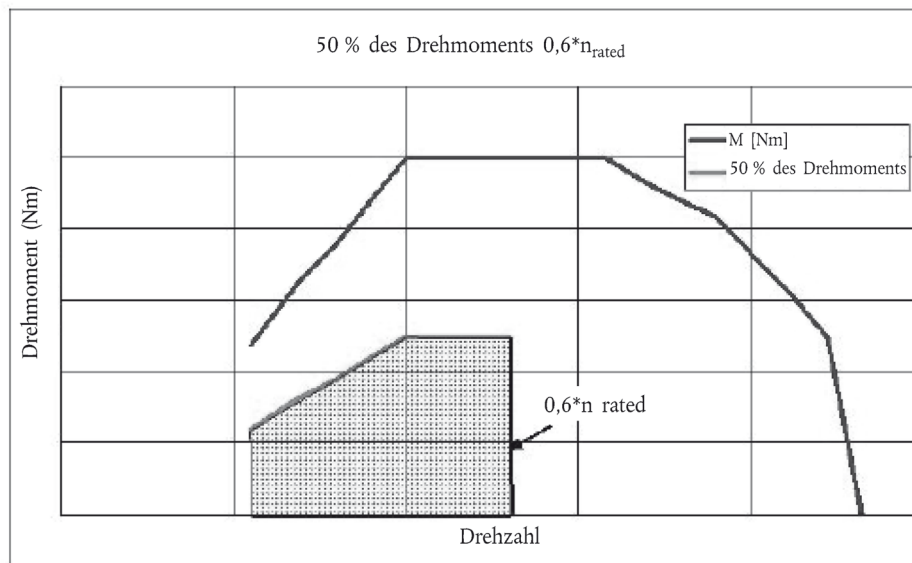
- 4.7. Das Warnsystem darf durch andere Warnsignale, die wichtige sicherheitsbezogene Hinweise anzeigen, vorübergehend unterbrochen werden.
- 4.8. Die Verfahren für die Aktivierung und Deaktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal sind in Anlage 2 dieses Anhangs ausführlich beschrieben.
- 4.9. Ein Hersteller, der einen Antrag auf Typgenehmigung nach dieser Regelung stellt, muss die Funktionsweise des Warnsystems für das Bedienpersonal gemäß Anlage 2 dieses Anhangs nachweisen.
5. AUFFORDERUNGSSYSTEM FÜR DAS BEDIENPERSONAL
- 5.1. Die Maschine muss über ein Aufforderungssystem für das Bedienpersonal verfügen, dem eines der folgenden Prinzipien zugrunde liegt:
- 5.1.1. ein zweistufiges Aufforderungssystem, welches mit einer schwachen Aufforderung (einer Leistungseinschränkung) beginnt, auf die eine starke Aufforderung (effektive Deaktivierung des Maschinenbetriebs) folgt;
- 5.1.2. ein einstufiges System der starken Aufforderung (effektive Deaktivierung des Maschinenbetriebs), welches unter den Bedingungen einer schwachen Aufforderung gemäß den Absätzen 6.3.1, 7.3.1, 8.4.1 und 9.4.1 aktiviert wird.
- 5.2. Mit vorheriger Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde kann der Motor mit einer Funktion ausgestattet werden, mit der im Falle eines von einer nationalen oder regionalen Regierung, deren Notdiensten oder Streitkräften festgestellten Notfalls das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal deaktiviert werden kann.
- 5.3. Schwache Aufforderung
- 5.3.1. Die schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn eine der in den Absätzen 6.3.1, 7.3.1, 8.4.1 und 9.4.1 genannten Bedingungen eingetreten ist.
- 5.3.2. Die schwache Aufforderung muss das verfügbare Höchstdrehmoment des Motordrehzahlbereichs allmählich um mindestens 25 % zwischen der Drehzahl bei maximalem Drehmoment und dem Anhaltepunkt des Motorreglers, wie in Abbildung 1 dargestellt, reduzieren. Die Drehmomentreduzierung muss mindestens 1 % pro Minute betragen.
- 5.3.3. Andere Möglichkeiten der Aufforderung dürfen angewendet werden, wenn gegenüber der Typgenehmigungsbehörde nachgewiesen wurde, dass die gleichen oder strengere Anforderungen erfüllt werden.

Abbildung 1

Schema der Drehmomentreduzierung der schwachen Aufforderung

- 5.4. Starke Aufforderung
- 5.4.1. Die starke Aufforderung muss sich aktivieren, wenn eine der in den Absätzen 2.3.3.2, 6.3.2, 7.3.2, 8.4.2 und 9.4.2 genannten Bedingungen eingetreten ist.
- 5.4.2. Die starke Aufforderung muss die Funktion der Maschine bis zu einem Niveau reduzieren, das sich so erschwerend auswirkt, dass das Bedienpersonal die in den Absätzen 6 bis 9 behandelten Probleme beheben muss. Die folgenden Strategien sind zulässig:
- 5.4.2.1. Das Drehmoment zwischen der Drehzahl bei maximalem Drehmoment und dem Anhaltepunkt des Motorreglers ist allmählich vom Drehmoment der schwachen Aufforderung in Abbildung 1 um mindestens 1 % pro Minute bis auf höchstens 50 % des Höchstdrehmoments zu reduzieren; die Motordrehzahl ist innerhalb des gleichen Zeitraums wie die Drehmomentreduzierung gemäß Abbildung 2 allmählich auf höchstens 60 % der Nenndrehzahl zu reduzieren.

Abbildung 2

Schema der Drehmomentreduzierung der starken Aufforderung

- 5.4.2.2. Andere Möglichkeiten der Aufforderung dürfen angewendet werden, wenn gegenüber der Typgenehmigungsbehörde nachgewiesen wurde, dass die gleichen oder strengere Anforderungen erfüllt werden.
- 5.5. Damit Sicherheitsaspekten Rechnung getragen und eine Selbstheilungsdiagnose ermöglicht wird, ist die Verwendung einer Funktion zur Übersteuerung des Aufforderungssystems, mit der die volle Motorleistung erreicht werden kann, zulässig, vorausgesetzt
- sie ist nicht länger als 30 Minuten aktiviert und
 - ihr Einsatz beschränkt sich in jedem Zeitraum, in dem das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal aktiviert ist, auf drei Aktivierungen.
- 5.6. Das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal muss sich deaktivieren, wenn die Voraussetzungen für seine Aktivierung nicht mehr gegeben sind. Das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal darf nur dann automatisch deaktiviert werden, wenn die Ursache seiner Aktivierung beseitigt wurde.
- 5.7. Die Verfahren zur Aktivierung und Deaktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal sind in Anlage 2 dieses Anhangs ausführlich beschrieben.
- 5.8. Ein Hersteller, der einen Antrag auf Typgenehmigung nach dieser Regelung stellt, muss die Funktion des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal gemäß Anlage 2 dieses Anhangs nachweisen.
6. VERFÜGBARKEIT DES REAGENS
- 6.1. Anzeige des Reagensfüllstands
- Die Maschine muss über eine Anzeige verfügen, die das Bedienpersonal deutlich über den Füllstand des Reagens in dessen Behälter informiert. Die minimal akzeptable Leistungsebene der Reagens-Füllstandsanzeige beinhaltet, dass sie kontinuierlich den Füllstand anzeigt, während sich das Warnsystem für das Bedienpersonal, auf das in Absatz 4 verwiesen wird, aktiviert. Die Reagens-Füllstandsanzeige kann in Form einer analogen oder digitalen Anzeige vorhanden sein und kann den Füllstand als Anteil des Fassungsvermögens des Behälters, die Menge des verbleibenden Reagens oder die geschätzte verbleibende Anzahl an Betriebsstunden anzeigen.
- 6.2. Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal
- 6.2.1. Das in Absatz 4 angegebene Warnsystem für das Bedienpersonal muss sich aktivieren, wenn der Füllstand des Reagens weniger als 10 % des Fassungsvermögens des Reagensbehälters beträgt, oder bei einem höheren vom Hersteller festgelegten Prozentsatz.
- 6.2.2. Der Warnhinweis und die Reagens-Füllstandsanzeige müssen dem Bedienpersonal unmissverständlich anzeigen, dass der Reagensfüllstand niedrig ist. Wenn das Warnsystem ein System zur Anzeige von Warnhinweisen beinhaltet, muss das optische Signal mit einem Warnhinweis anzeigen, dass der Reagensfüllstand niedrig ist (z. B. „niedriger Harnstoffpegel“, „niedriger AdBlue-Pegel“ oder „niedriger Reagenspegel“).
- 6.2.3. Das Warnsystem für das Bedienpersonal braucht zunächst nicht ununterbrochen aktiviert zu werden (z. B. muss ein Hinweis nicht ununterbrochen angezeigt werden), die Aktivierung muss sich jedoch bis zur

dauerhaften Aktivierung steigern, wenn sich der Füllstand des Reagens einem sehr niedrigen Prozentsatz des Fassungsvermögens des Reagensbehälters und dem Punkt nähert, an dem das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal aktiviert wird (z. B. die Frequenz, mit der eine Lampe aufleuchtet). Es muss sich bis auf ein vom Hersteller festgelegtes Niveau steigern, an dem das Bedienpersonal eine Meldung erhält, welche an dem Punkt, an dem sich das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal gemäß Absatz 6.3 aktiviert, hinreichend auffälliger ist, als an dem Punkt, an dem das Warnsystem sich zuerst aktiviert hat.

- 6.2.4. Die Dauerwarnung darf nicht einfach abgeschaltet werden oder unbeachtet bleiben können. Wenn das Warnsystem ein System zur Anzeige von Warnhinweisen beinhaltet, muss ein deutlicher Warnhinweis angezeigt werden (z. B. „Harnstoff nachfüllen“, „AdBlue nachfüllen“ oder „Reagens nachfüllen“). Die Dauerwarnung darf durch andere Warnsignale, die wichtige sicherheitsbezogene Hinweise anzeigen, vorübergehend unterbrochen werden.
- 6.2.5. Das Warnsystem für das Bedienpersonal darf sich erst dann abschalten lassen, wenn das Reagens bis zu einem Füllstand nachgefüllt worden ist, der nicht die Aktivierung des Warnsystems erfordert.
- 6.3. Aktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal
- 6.3.1. Die in Absatz 5.3 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn der Füllstand im Reagensbehälter unter 2,5 % von dessen nominalem Fassungsvermögen sinkt oder unter einen vom Hersteller festgelegten höheren Prozentsatz.
- 6.3.2. Die in Absatz 5.4 beschriebene starke Aufforderung muss sich aktivieren, wenn der Reagensbehälter leer ist (d. h. wenn das Dosiersystem nicht mehr in der Lage ist, Reagens aus dem Behälter zu beziehen) oder, nach Ermessen des Herstellers, bei einem Füllstand von unter 2,5 % seines nominalen Fassungsvermögens.
- 6.3.3. Mit Ausnahme des in Absatz 5.5 erlaubten Umfangs darf sich die schwache oder starke Aufforderung für das Bedienpersonal erst dann abschalten lassen, wenn das Reagens bis zu einem Füllstand nachgefüllt worden ist, der nicht die Aktivierung des Aufforderungssystems erfordert.
- 7. ÜBERWACHUNG DER REAGENSQUALITÄT
- 7.1. Der Motor oder die Maschine muss über eine Möglichkeit verfügen, um das Vorhandensein eines unzureichenden Reagens in einer Maschine zu ermitteln.
- 7.1.1. Der Hersteller muss eine minimal akzeptable Reagenskonzentration CD_{min} festlegen, die bedingt, dass die NO_x -Emissionen den Grenzwert von 0,9 g/kWh nicht überschreiten.
- 7.1.1.1. Der korrekte Wert von CD_{min} ist während der Typgenehmigung durch das in Anlage 3 dieses Anhangs festgelegte Verfahren nachzuweisen und in der erweiterten Dokumentation gemäß Absatz 5.3 dieser Regelung aufzuzeichnen.
- 7.1.2. Jede Reagenskonzentration unter CD_{min} ist zu ermitteln und gilt für die Zwecke von Absatz 7.1 als unzureichendes Reagens.
- 7.1.3. Ein bestimmter Zähler („der Zähler für Reagensqualität“) ist der Reagensqualität zuzuordnen. Der Zähler für Reagensqualität zählt die Motorbetriebsstunden, in denen ein unzureichendes Reagens verwendet wurde.
- 7.1.3.1. Wahlweise kann der Hersteller die Fehlfunktion der Reagensqualität mit einer oder mehreren der in den Absätzen 8 und 9 aufgeführten Fehlfunktionen auf einem einzelnen Zähler zusammenfassen.
- 7.1.4. Die Aktivierungs- und Deaktivierungskriterien und -mechanismen des Zählers für Reagensqualität sind in Anlage 2 dieses Anhangs ausführlich beschrieben.
- 7.2. Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal

Wenn das Überwachungssystem bestätigt, dass die Reagensqualität unzureichend ist, aktiviert sich das in Absatz 4 beschriebene Warnsystem für das Bedienpersonal. Wenn das Warnsystem ein System zur Anzeige von Warnhinweisen beinhaltet, muss ein Warnhinweis mit dem Grund der Warnung angezeigt werden (z. B. „falscher Harnstoff erkannt“, „falsches AdBlue erkannt“ oder „falsches Reagens erkannt“).
- 7.3. Aktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal
- 7.3.1. Die in Absatz 5.3 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn die Reagensqualität nicht innerhalb von 10 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Absatz 7.2 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal berichtet wurde.
- 7.3.2. Die in Absatz 5.4 beschriebene starke Aufforderung muss sich aktivieren, wenn die Reagensqualität nicht innerhalb von 20 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Absatz 7.2 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal berichtet wurde.
- 7.3.3. Die Zahl der Stunden vor der Aktivierung des Aufforderungssystems ist im Fall eines wiederholten Auftretens der Fehlfunktion gemäß den in Anlage 2 dieses Anhangs beschriebenen Mechanismen zu reduzieren.

8. ZUFUHR DES REAGENS
 - 8.1. Der Motor muss mit einer Einrichtung ausgestattet sein, die die Unterbrechung der Reagenszufuhr erfasst.
 - 8.2. Zähler für die Zufuhr des Reagens
 - 8.2.1. Für die Zufuhr des Reagens ist ein bestimmter Zähler vorzusehen (der „Zähler für die Zufuhr“). Der Zähler muss die Zahl der Motorbetriebsstunden zählen, während deren eine Unterbrechung der Zufuhr des Reagens auftritt. Dies ist nicht erforderlich, wenn die Unterbrechung vom elektronischen Motorsteuergerät veranlasst wird, weil die Emissionsminderungsleistung unter den momentanen Betriebsbedingungen der Maschine keine Reagenszufuhr erfordert.
 - 8.2.1.1. Wahlweise kann der Hersteller die Fehlfunktion der Reagenszufuhr mit einer oder mehreren der in den Absätzen 7 und 9 aufgeführten Fehlfunktionen auf einem einzelnen Zähler zusammenfassen.
 - 8.2.2. Die Aktivierungs- und Deaktivierungskriterien und -mechanismen des Zählers für die Reagenszufuhr sind in Anlage 2 dieses Anhangs beschrieben.
 - 8.3. Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal

Das in Absatz 4 beschriebene Warnsystem für das Bedienpersonal muss sich aktivieren, wenn die Zufuhr unterbrochen wird, was gemäß Nummer 8.2.1 den Zähler für die Reagenszufuhr aktiviert. Wenn das Warnsystem ein System zur Anzeige von Warnhinweisen beinhaltet, muss ein deutlicher Warnhinweis mit dem Grund der Warnung angezeigt werden (z. B. „Störung der Harnstoffzufuhr“, „Störung der AdBlue-Zufuhr“ oder „Störung der Reagenszufuhr“).
 - 8.4. Aktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal
 - 8.4.1. Die in Absatz 5.3 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn eine Unterbrechung der Reagenszufuhr nicht innerhalb von höchstens 10 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Absatz 8.3 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal behoben wurde.
 - 8.4.2. Die in Absatz 5.4 beschriebene starke Aufforderung muss sich aktivieren, wenn eine Unterbrechung der Reagenszufuhr nicht innerhalb von höchstens 20 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Absatz 8.3 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal behoben wurde.
 - 8.4.3. Die Zahl der Stunden vor der Aktivierung der Aufforderungssysteme ist im Fall eines wiederholten Auftretens der Fehlfunktion gemäß den in Anlage 2 dieses Anhangs beschriebenen Mechanismen zu reduzieren.
9. ÜBERWACHUNGSFEHLER, DIE AUF UNGEFUGTE EINGRIFFE ZURÜCKZUFÜHREN SEIN KÖNNTEN
 - 9.1. Zusätzlich zu dem Reagens-Füllstand im Behälter, der Reagensqualität und der Unterbrechung der Reagenszufuhr werden die folgenden Fehler überwacht, da sie auf unbefugte Eingriffe zurückzuführen sein könnten:
 - a) gestörtes AGR-Ventil;
 - b) Fehler des Diagnosesystems für NO_x-Emissionen (NCD) gemäß Absatz 9.2.1.
 - 9.2. Überwachungsanforderungen
 - 9.2.1. Das Diagnosesystem für NO_x-Emissionen (NCD) ist auf elektrische Störungen und auf die Entfernung oder Deaktivierung von Sonden hin zu überwachen, durch die die Diagnose weiterer Fehler nach den Absätzen 6 bis 8 unmöglich wird (Bauteilüberwachung).

Eine nicht erschöpfende Liste an Sonden, deren Deaktivierung die Diagnoseleistung beeinträchtigt, umfasst beispielsweise solche, die die NO_x-Konzentration direkt messen, Harnstoffsonden, Umgebungssonden und Sonden, die zur Überwachung von Reagenszufuhr, Reagensfüllstand oder Reagensverbrauch dienen.
 - 9.2.2. Zähler für das AGR-Ventil
 - 9.2.2.1. Einem AGR-Ventil, dessen Funktion gestört ist, ist ein bestimmter Zähler zuzuordnen. Der Zähler für das AGR-Ventil muss die Zahl der Motorbetriebsstunden zählen, wenn bestätigt wird, dass der dem gestörten AGR-Ventil entsprechende Diagnose-Fehlercode aktiviert ist.
 - 9.2.2.1.1. Wahlweise kann der Hersteller den Fehler „gestörtes AGR-Ventil“ mit einem oder mehreren der in den Absätzen 7, 8 und 9.2.3 aufgeführten Fehlfunktionen auf einem einzelnen Zähler zusammenfassen.
 - 9.2.2.2. Die Aktivierungs- und Deaktivierungskriterien und -mechanismen des Zählers für das AGR-Ventil sind in Anlage 2 dieses Anhangs ausführlich beschrieben.
 - 9.2.3. NCD-System-Zähler

- 9.2.3.1. Jedem der in Absatz 9.1 ii genannten Überwachungsfehler ist ein bestimmter Zähler zuzuordnen. Die NCD-System-Zähler müssen die Zahl der Motorbetriebsstunden zählen, wenn bestätigt wird, dass der Diagnose-Fehlercode, der einer Fehlfunktion des NCD-Systems zugeordnet ist, aktiviert ist. Die Zusammenfassung mehrerer Fehlfunktionen auf einen einzelnen Zähler ist zulässig.
- 9.2.3.1.1. Wahlweise kann der Hersteller die Fehlfunktion des NCD-Systems mit einer oder mehreren der in den Absätzen 7, 8 und 9.2.2 aufgeführten Fehlfunktionen auf einem einzelnen Zähler zusammenfassen.
- 9.2.3.2. Die Aktivierungs- und Deaktivierungskriterien und -mechanismen des/der Zähler(s) für das NCD-System sind in Anlage 2 dieses Anhangs ausführlich beschrieben.
- 9.3. Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal
- Das in Absatz 4 beschriebene Warnsystem für das Bedienpersonal muss sich aktivieren, wenn einer der in Absatz 9.1 genannten Fehler auftritt, und anzeigen, dass eine dringende Reparatur erforderlich ist. Wenn das Warnsystem ein System zur Anzeige von Warnhinweisen beinhaltet, muss ein deutlicher Warnhinweis mit dem Grund der Warnung angezeigt werden (z. B. „Zufuhrventil des Reagens abgetrennt“ oder „kritischer Emissionsfehler“).
- 9.4. Aktivierung des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal
- 9.4.1. Die in Absatz 5.3 beschriebene schwache Aufforderung muss sich aktivieren, wenn ein in Absatz 9.1 beschriebener Fehler nicht innerhalb von höchstens 36 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Absatz 9.3 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal behoben wurde.
- 9.4.2. Die in Absatz 5.4 beschriebene starke Aufforderung muss sich aktivieren, wenn ein in Absatz 9.1 beschriebener Fehler nicht innerhalb von höchstens 100 Motorbetriebsstunden nach der Aktivierung des in Absatz 9.3 beschriebenen Warnsystems für das Bedienpersonal behoben wurde.
- 9.4.3. Die Zahl der Stunden vor der Aktivierung des Aufforderungssystems ist im Fall eines wiederholten Auftretens der Fehlfunktion gemäß den in Anlage 2 dieses Anhangs beschriebenen Mechanismen zu reduzieren.
- 9.5. Alternativ zu den Vorschriften in Absatz 9.2 dürfen die Hersteller eine NO_x-Sonde verwenden, die sich im Abgas befindet. In diesem Fall gilt:
- a) der NO_x-Wert darf 0,9 g/kWh nicht überschreiten;
 - b) die Verwendung eines einzelnen Fehlers „hoher NO_x-Ausstoß — Ursache unbekannt“ ist zulässig;
 - c) Absatz 9.4.1 lautet „innerhalb von 10 Motorbetriebsstunden“;
 - d) Absatz 9.4.2 lautet „innerhalb von 20 Motorbetriebsstunden“.
-

Anlage 1

Nachweisanforderungen

1. ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

Die Übereinstimmung mit den Anforderungen dieses Anhangs ist im Laufe der Typgenehmigung durch das Erbringen der folgenden Nachweise gemäß Tabelle 1 und diesem Absatz zu belegen:

- a) Nachweis der Aktivierung des Warnsystems;
- b) Nachweis der Aktivierung der schwachen Aufforderung, falls zutreffend;
- c) Nachweis der Aktivierung der starken Aufforderung.

Tabelle 1

Veranschaulichung des Inhalts des Nachweisprozesses gemäß den Bestimmungen in den Absätzen 3 und 4.

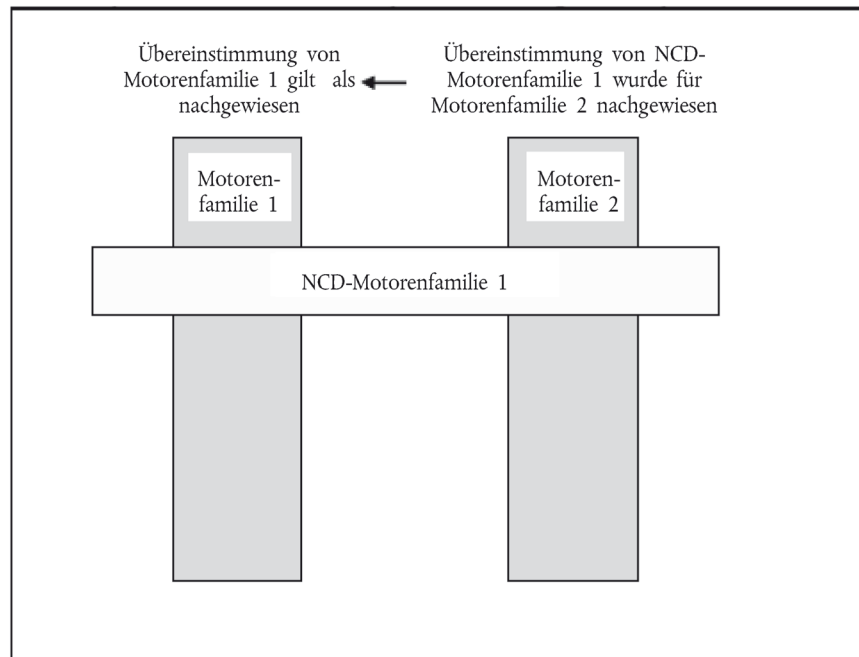
Mechanismus	Nachweiselemente
Aktivierung des Warnsystems gemäß Absatz 3 dieser Anlage	— 2 Aktivierungsprüfungen (einschließlich Reagensmangel) — Zusätzliche Nachweiselemente, je nach Fall
Aktivierung der schwachen Aufforderung gemäß Absatz 4 dieser Anlage	— 2 Aktivierungsprüfungen (einschließlich Reagensmangel) — Zusätzliche Nachweiselemente, je nach Fall — 1 Prüfung der Drehmomentreduzierung
Aktivierung der starken Aufforderung gemäß Absatz 4.6 dieser Anlage	— 2 Aktivierungsprüfungen (einschließlich Reagensmangel) — Zusätzliche Nachweiselemente, je nach Fall

2. MOTORENFAMILIEN UND NCD-MOTORENFAMILIEN

Die Übereinstimmung einer Motorenfamilie oder einer NCD-Motorenfamilie mit den Anforderungen dieser Anlage kann durch die Prüfung eines Motors der betrachteten Familie nachgewiesen werden, sofern der Hersteller gegenüber der Typgenehmigungsbehörde nachweist, dass die für die Übereinstimmung mit den Anforderungen dieses Anhangs erforderlichen Überwachungssysteme innerhalb der Familie ähnlich sind.

- 2.1. Der Nachweis, dass die Überwachungssysteme innerhalb der NCD-Familie ähnlich sind, kann durch Vorlage von Algorithmen, Funktionsanalysen usw. bei der Genehmigungsbehörde erbracht werden.
- 2.2. Der Prüfmotor wird vom Hersteller im Einvernehmen mit der Typgenehmigungsbehörde ausgewählt. Bei dem Prüfmotor kann es sich um den Stammmotor der betrachteten Familie handeln.
- 2.3. Im Fall von Motoren einer Motorenfamilie, die zu einer NCD-Motorenfamilie gehören, welche bereits gemäß Absatz 2.1 (Abbildung 3) typgenehmigt wurde, gilt die Übereinstimmung dieser Motorenfamilie als nachgewiesen, ohne dass zusätzliche Prüfungen erforderlich sind, sofern der Hersteller gegenüber der Genehmigungsbehörde nachweisen kann, dass die für die Übereinstimmung mit den Anforderungen dieses Anhangs erforderlichen Überwachungssysteme innerhalb der berücksichtigten Motorenfamilie und NCD-Motorenfamilie ähnlich sind.

Abbildung 3

Vorheriger Nachweis der Übereinstimmung einer NCD-Motorenfamilie**3. NACHWEIS DER AKTIVIERUNG DES WARNSYSTEMS**

3.1. Die Übereinstimmung der Aktivierung des Warnsystems ist durch zwei Prüfungen nachzuweisen: Mangel an Reagens und eine der in den Absätzen 7 bis 9 dieses Anhangs genannten Fehlerkategorien.

3.2. Auswahl der zu prüfenden Fehler

3.2.1. Für den Nachweis der Aktivierung des Warnsystems im Fall einer falschen Reagensqualität ist ein Reagens mit einer Verdünnung des Wirkstoffes zu wählen, die gleich oder größer ist, als die, die vom Hersteller gemäß den Anforderungen in Absatz 7 dieses Anhangs mitgeteilt wurde.

3.2.2. Für den Nachweis der Aktivierung des Warnsystems im Fall der in Absatz 9 dieses Anhangs festgelegten, möglicherweise auf unbefugte Eingriffe zurückgehenden Fehler ist die Auswahl gemäß den folgenden Anforderungen zu treffen:

3.2.2.1. Der Hersteller muss der Typgenehmigungsbehörde eine Liste der möglichen Fehler vorlegen.

3.2.2.2. Der bei der Prüfung zu berücksichtigende Fehler ist von der Genehmigungsbehörde aus der in Absatz 3.2.2.1 genannten Liste auszuwählen.

3.3. Nachweis

3.3.1. Für diesen Nachweis ist eine separate Prüfung für jeden in Absatz 3.1 berücksichtigten Fehler durchzuführen.

3.3.2. Während einer Prüfung darf kein anderer Fehler auftreten als derjenige, der Gegenstand der Prüfung ist.

3.3.3. Vor Beginn einer Prüfung sind alle Diagnose-Fehlercodes zu löschen.

3.3.4. Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde können die Fehler, die der Prüfung unterliegen, simuliert werden.

3.3.5. Erkennung von Fehlern außer dem Reagensmangel

Für andere Fehler als den des Reagensmangels ist die Erkennung des Fehlers, sobald er bedingt oder simuliert wurde, folgendermaßen durchzuführen:

3.3.5.1. Das NCD-System muss auf einen von der Typgenehmigungsbehörde ausgewählten und bedingten Fehler gemäß den Bestimmungen dieser Anlage reagieren. Der Nachweis gilt als erbracht, wenn die Aktivierung innerhalb von zwei aufeinanderfolgenden NCD-Prüfzyklen gemäß Absatz 3.3.7 erfolgt.

Ist in der Beschreibung einer Überwachungseinrichtung angegeben, dass für den Abschluss eines Überwachungsvorgangs mehr als zwei NCD-Prüfzyklen notwendig sind, so kann die Zahl der NCD-Prüfzyklen mit Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde auf drei NCD-Prüfzyklen erhöht werden.

Nach jedem NCD-Prüfzyklus kann der Motor abgestellt werden. Die Pause bis zum nächsten Anlassen ist so zu bemessen, dass nach dem Abstellen ablaufende Überwachungsvorgänge zum Abschluss kommen und die Voraussetzungen für einen neuen Überwachungsvorgang nach dem Wiederanlassen erfüllt sind.

- 3.3.5.2. Der Nachweis der Aktivierung des Warnsystems gilt als erbracht, wenn sich am Ende jeder Nachweisprüfung, die gemäß Absatz 3.2.1 durchgeführt wurde, das Warnsystem ordnungsgemäß aktiviert hat und der Diagnose-Fehlercode für den gewählten Fehler den Status „bestätigt und aktiv“ hat.

3.3.6. Feststellen eines Reagensmangels

Für den Nachweis der Aktivierung des Warnsystems im Fall eines Reagensmangels ist das Motorsystem nach Ermessen des Herstellers über einen oder mehrere NCD-Prüfzyklen zu betreiben.

- 3.3.6.1. Der Nachweis muss mit einem Füllstand des Reagensbehälters beginnen, auf den sich der Hersteller und die Typgenehmigungsbehörde geeinigt haben, der aber nicht weniger als 10 % des nominalen Fassungsvermögens des Behälters beträgt.

- 3.3.6.2. Das Warnsystem gilt als ordnungsgemäß funktionierend, wenn die folgenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- a) Das Warnsystem wurde aktiviert mit einer Verfügbarkeit des Reagensmittels von größer oder gleich 10 % des Fassungsvermögens des Reagensbehälters und
- b) das „Dauer-Warnsystem“ hat sich aktiviert bei einer Verfügbarkeit des Reagensmittels von größer oder gleich dem Wert, der vom Hersteller gemäß den Bestimmungen in Absatz 6 dieses Anhangs festgelegt wurde.

3.3.7. NCD-Prüfzyklus

- 3.3.7.1. Bei dem in diesem Absatz behandelten NCD-Prüfzyklus für den Nachweis der korrekten Funktionsweise des NCD-Systems handelt es sich um den NRTC-Warmstart-Zyklus.

- 3.3.7.2. Auf Antrag des Herstellers und mit Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde kann für eine bestimmte Überwachungseinrichtung ein alternativer NCD-Prüfzyklus (z. B. der NRSC-Zyklus) verwendet werden. Der Antrag muss Belege (technische Überlegungen, Simulations- und Prüfergebnisse usw.) dafür enthalten, dass:

- a) die Überwachungsvorgänge im alternativen Prüfzyklus denen im realen Fahrbetrieb entsprechen
- b) der geltende einschlägige NCD-Prüfzyklus nach Absatz 3.3.7.1 zur Prüfung der jeweiligen Überwachungsfunktionen weniger geeignet ist.

- 3.4. Der Nachweis der Aktivierung des Warnsystems gilt als erbracht, wenn sich am Ende jeder Nachweisprüfung, die gemäß Absatz 3.3 durchgeführt wurde, das Warnsystem ordnungsgemäß aktiviert hat.

4. NACHWEIS DER AKTIVIERUNG DES AUFFORDERUNGSSYSTEMS

- 4.1. Der Nachweis der Aktivierung des Aufforderungssystems ist anhand von Prüfungen auf einem Motorprüfstand zu erbringen.

- 4.1.1. Bauteile oder Teilsysteme, die nicht in das Motorsystem eingebaut sind, wie beispielsweise Umgebungstemperatursensoren, Füllstandssensoren sowie Warn- und Informationssysteme für das Bedienpersonal, die erforderlich sind, um die Nachweise zu erbringen, müssen zu diesem Zweck zur Zufriedenheit der Typgenehmigungsbehörde mit dem Motorsystem verbunden werden oder simuliert werden.

- 4.1.2. Der Hersteller kann sich vorbehaltlich der Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde dafür entscheiden, dass die Nachweisprüfungen an einer vollständigen Maschine oder einem vollständigen Gerät durchgeführt werden, entweder indem diese bzw. dieses auf einen passenden Prüfstand gestellt wird oder indem sie bzw. es auf einer Prüfstrecke unter kontrollierten Bedingungen betrieben wird.

- 4.2. Die Prüffolge soll die Aktivierung des Aufforderungssystems im Fall eines Reagensmangels und im Fall eines der Fehler, die in den Absätzen 7, 8 oder 9 dieses Anhangs beschrieben sind, nachweisen.

- 4.3. Für die Zwecke dieses Nachweises:
- a) muss die Typgenehmigungsbehörde neben dem Reagensmangel einen der in den Absätzen 7, 8 oder 9 dieses Anhangs beschriebenen Fehler auswählen, der zuvor bei dem Nachweis für die Aktivierung des Warnsystems verwendet wurde;
 - b) ist es zulässig, dass der Hersteller mit Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde die Prüfung beschleunigt durchführt, indem er das Erreichen einer bestimmten Zahl an Motorbetriebsstunden simuliert;
 - c) kann das Erreichen der Drehmomentreduzierung, die für eine schwache Aufforderung erforderlich ist, zu dem Zeitpunkt nachgewiesen werden, wenn der allgemeine Prozess zur Genehmigung der Motorleistung gemäß dieser Regelung durchgeführt wird. Eine separate Drehmomentmessung im Laufe des Nachweises für das Aufforderungssystem ist in diesem Fall nicht erforderlich;
 - d) ist die starke Aufforderung ist gemäß den Anforderungen in Absatz 4.6 dieser Anlage nachzuweisen.
- 4.4. Ferner muss der Hersteller den Betrieb des Aufforderungssystems unter denjenigen der in den Absätzen 7, 8 oder 9 dieses Anhangs beschriebenen Fehlerbedingungen nachweisen, die nicht für die Verwendung in Nachweisprüfungen ausgewählt wurden, die in den Absätzen 4.1 bis 4.3 beschrieben werden.
- Diese zusätzlichen Nachweise können erbracht werden, indem der Typgenehmigungsbehörde eine technische Fallstudie unter Verwendung von Belegen wie Algorithmen, Funktionsanalysen und dem Ergebnis von vorherigen Prüfungen vorgelegt wird.
- 4.4.1. Diese zusätzlichen Nachweise sollen zur Zufriedenheit der Typgenehmigungsbehörde insbesondere die Einbindung der korrekten Drehmomentreduzierungsmechanismen in das elektronische Motorsteuergerät belegen.
- 4.5. Nachweisprüfung der schwachen Aufforderung
- 4.5.1. Dieser Nachweis beginnt, wenn das Warnsystem, oder gegebenenfalls das „Dauer-Warnsystem“, aufgrund der Erkennung eines von der Typgenehmigungsbehörde gewählten Fehlers aktiviert wurde.
- 4.5.2. Wenn das System auf seine Reaktion im Fall eines Reagensmangels im Behälter geprüft wird, so ist das Motorsystem zu betreiben, bis die Verfügbarkeit des Reagens einen Wert von 2,5 % des nominalen Fassungsvermögens des Behälters oder den vom Hersteller gemäß Absatz 6.3.1 dieses Anhangs angegebenen Wert erreicht hat, bei dem sich die schwache Aufforderung aktivieren soll.
- 4.5.2.1. Der Hersteller kann mit Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde den kontinuierlichen Betrieb simulieren, indem er Reagens aus dem Tank entnimmt, entweder bei laufendem oder bei abgeschaltetem Motor.
- 4.5.3. Wenn das System auf seine Reaktion im Fall eines anderen Fehlers als Reagensmangel im Behälter geprüft wird, so ist das Motorsystem für die entsprechende Zahl an Motorbetriebsstunden gemäß Tabelle 3 in dieser Anlage zu betreiben, oder, auf Entscheidung des Herstellers hin, bis der entsprechende Zähler den Wert erreicht hat, bei dem sich die schwache Aufforderung aktiviert.
- 4.5.4. Der Nachweis der schwachen Aufforderung gilt als erbracht, wenn am Ende jeder gemäß den Absätzen 4.5.2 und 4.5.3 durchgeführten Nachweisprüfung der Hersteller gegenüber der Typgenehmigungsbehörde nachgewiesen hat, dass das elektronische Motorsteuergerät den Drehmomentreduzierungsmechanismus aktiviert hat.
- 4.6. Nachweisprüfung der starken Aufforderung
- 4.6.1. Dieser Nachweis beginnt bei einem Zustand, in dem die schwache Aufforderung vorher bereits aktiviert war, und kann als Fortsetzung der Prüfungen durchgeführt werden, die unternommen wurden, um die schwache Aufforderung nachzuweisen.
- 4.6.2. Wenn das System auf seine Reaktion im Fall eines Reagensmangels im Behälter geprüft wird, so ist das Motorsystem zu betreiben, bis entweder der Reagensbehälter leer ist oder der Füllstand unter 2,5 % des nominalen Fassungsvermögens des Behälters gesunken ist, bei dem gemäß den Angaben des Herstellers die Aktivierung der starken Aufforderung einsetzt.
- 4.6.2.1. Der Hersteller kann mit Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde den kontinuierlichen Betrieb simulieren, indem er Reagens aus dem Tank entnimmt, entweder bei laufendem oder bei abgeschaltetem Motor.
- 4.6.3. Wenn das System auf seine Reaktion im Fall eines anderen Fehlers als Reagensmangel im Behälter geprüft wird, so ist das Motorsystem für die entsprechende Zahl an Motorbetriebsstunden gemäß Tabelle 3 in dieser Anlage zu betreiben, oder, auf die Entscheidung des Herstellers hin, bis der entsprechende Zähler den Wert erreicht hat, bei dem sich die starke Aufforderung aktiviert.
- 4.6.4. Der Nachweis der starken Aufforderung gilt als erbracht, wenn am Ende jeder gemäß den Absätzen 4.6.2 und 4.6.3 durchgeführten Nachweisprüfung der Hersteller gegenüber der Typgenehmigungsbehörde nachgewiesen hat, dass der in diesem Anhang genannte Mechanismus zur Aktivierung der starken Aufforderung eingesetzt hat.

- 4.7. Vorbehaltlich der Zustimmung der Typgenehmigungsbehörde kann der Hersteller alternativ entscheiden, dass der Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Mechanismen zur Aktivierung der Aufforderung gemäß den Anforderungen in Absatz 5.4 an einer vollständigen Maschine durchgeführt wird, entweder indem die Maschine auf einen passenden Prüfstand gestellt wird oder indem sie auf einer Prüfstrecke unter kontrollierten Bedingungen betrieben wird.
- 4.7.1. Die Maschine ist zu betreiben, bis der dem gewählten Fehler zugeordnete Zähler die entsprechende Zahl an Betriebsstunden, die in Tabelle 3 dieser Anlage angegeben ist, erreicht hat, oder gegebenenfalls bis entweder der Reagensbehälter leer ist oder der Füllstand unter 2,5 % des nominalen Fassungsvermögens des Behälters gesunken ist, bei dem gemäß der Entscheidung des Herstellers die Aktivierung der starken Aufforderung einsetzt.
-

Anlage 2

Beschreibung der Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen des Warnsystems und des Aufforderungssystems für das Bedienpersonal

1. ZUR ERGÄNZUNG DER IN DIESEM ANHANG GENANNTEN ANFORDERUNGEN HINSICHTLICH DER AKTIVIERUNGS- UND DEAKTIVIERUNGSMECHANISMEN DES WARNSYSTEMS UND DES AUFFORDERUNGSSYSTEMS SIND NACHFOLGEND DIE TECHNISCHEN ANFORDERUNGEN FÜR EINE UMSETZUNG DIESER AKTIVIERUNGS- UND DEAKTIVIERUNGSMECHANISMEN FESTGELEGT.
2. AKTIVIERUNGS- UND DEAKTIVIERUNGSMECHANISMEN DES WARNSYSTEMS
- 2.1. Das Warnsystem für das Bedienpersonal muss sich aktivieren, wenn der Diagnose-Fehlercode, welcher einer NCM-Funktionsstörung zugeordnet ist, die die Aktivierung des Warnsystems bedingt, den in Tabelle 2 dieser Anlage definierten Status aufweist.

Tabelle 2

Aktivierung des Warnsystems für das Bedienpersonal

Art des Fehlers	Status des Diagnose-Fehlercodes für die Aktivierung des Warnsystems
Unzureichende Reagensqualität	Bestätigt und aktiv
Unterbrechung der Zufuhr	Bestätigt und aktiv
Gestörtes AGR-Ventil	Bestätigt und aktiv
Fehlfunktion des Überwachungssystems	Bestätigt und aktiv
Ggf. NO _x -Emissionsgrenzwert	Bestätigt und aktiv

- 2.2. Das Warnsystem für das Bedienpersonal muss sich deaktivieren, wenn das Diagnosesystem erkennt, dass der der Warnung entsprechende Fehler nicht mehr vorhanden ist oder wenn die Daten, einschließlich der Diagnose-Fehlercodes, welche den Fehlern entsprechen, die die Aktivierung des Warnsystems bedingen, durch ein Lesegerät gelöscht wurden.
 - 2.2.1. Vorschriften für die Löschung von „Informationen über die Minderung von NO_x-Emissionen“
 - 2.2.1.1. Löschen/Zurücksetzen von „Informationen über die Minderung von NO_x-Emissionen“ mit einem Lesegerät
- Folgende Daten können auf Befehl von einem Lesegerät aus dem Rechnerspeicher gelöscht oder auf den in dieser Anlage genannten Wert zurückgesetzt werden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3

Löschen/Zurücksetzen von „Informationen über die Minderung von NO_x-Emissionen“ mit einem Lesegerät

Information über die Minderung von NO _x -Emissionen	Löschbar	Zurücksetzbar
Alle Diagnose-Fehlercodes	X	
Stand des Zählers mit der höchsten Zahl von Motorbetriebsstunden		X
Zahl der Motorbetriebsstunden in dem/den NCD-Zähler(n)		X

- 2.2.1.2. Informationen über die Minderung von NO_x-Emissionen dürfen nicht durch das Abklemmen der Batterie(n) der Maschine gelöscht werden.
- 2.2.1.3. Das Löschen von „Informationen über die Minderung von NO_x-Emissionen“ darf nur bei „stehendem Motor“ möglich sein.
- 2.2.1.4. Wenn „Informationen über die Minderung von NO_x-Emissionen“, einschließlich Diagnose-Fehlercodes, gelöscht werden, dürfen die Zählerwerte nicht gelöscht werden, die diesen Fehlfunktionen zugeordnet sind und die in diesem Anhang als Zählerwerte definiert sind, die nicht gelöscht werden dürfen; sie sind stattdessen auf den in der einschlägigen Absatz dieses Anhangs genannten Wert zurückzusetzen.
3. AKTIVIERUNGS- UND DEAKTIVIERUNGSMECHANISMEN DES AUFFORDERUNGSSYSTEMS FÜR DAS BEDIENPERSONAL
- 3.1. Das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal muss sich aktivieren, wenn das Warnsystem aktiv ist und der Zähler, welcher für die Art von NCM-Funktionsstörung relevant ist, die die Aktivierung des Aufforderungssystems bedingt, den Wert in Tabelle 4 dieser Anlage erreicht.

- 3.2. Das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal muss sich deaktivieren, wenn das System keine Fehlfunktion, die die Aktivierung des Aufforderungssystems bedingt, mehr erkennt oder wenn die Daten, einschließlich der den NCM-Funktionsstörungen entsprechenden Diagnose-Fehlercodes, die die Aktivierung des Aufforderungssystems bedingen, durch ein Lesegerät oder ein Wartungswerkzeug gelöscht wurden.
- 3.3. Das Warnsystem für das Bedienpersonal und das Aufforderungssystem für das Bedienpersonal müssen nach der Bewertung der Reagensmenge im Reagensbehälter gemäß den Bestimmungen in Absatz 6 dieses Anhangs sofort aktiviert oder gegebenenfalls deaktiviert werden. In diesem Fall sind die Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen nicht vom Status eines zugeordneten Diagnose-Fehlercodes abhängig.
4. ZÄHLER-MECHANISMUS
- 4.1. Allgemeines
- 4.1.1. Zwecks Übereinstimmung mit den Anforderungen dieses Anhangs muss das System mindestens vier Zähler beinhalten, um die Zahl der Stunden zu erfassen, die der Motor gelaufen ist, während das System eine der folgenden Fehlfunktionen erkannt hat:
- a) unzureichende Reagensqualität;
 - b) Unterbrechung der Reagenszufuhr;
 - c) gestörtes AGR-Ventil;
 - d) Funktionsausfall des NCD-Systems gemäß Absatz 9.1 Buchstabe b dieses Anhangs.
- 4.1.1.1. Wahlweise kann der Hersteller einen einzelnen oder mehrere Zähler verwenden, um die in Absatz 4.1.1 aufgeführten Fehlfunktionen in Gruppen einzuordnen.
- 4.1.2. Jeder der Zähler muss die größte mit 2 Byte darstellbare Zahl mit einer Auflösung von 1 Stunde erfassen können und den erfassten Wert gespeichert halten, solange die Voraussetzungen für sein Zurücksetzen auf Null nicht erfüllt sind.
- 4.1.3. Der Hersteller kann einen einzelnen oder mehrere NCD-System-Zähler verwenden. Ein Einzelzähler kann die kumulierte Dauer von zwei oder mehreren unterschiedlichen, für diese Art von Zähler relevanten Funktionsstörungen speichern, von denen keine die vom Einzelzähler angezeigte Dauer erreicht hat.
- 4.1.3.1. Wenn der Hersteller entscheidet, mehrere NCD-System-Zähler für das Überwachungssystem zu verwenden, muss das System in der Lage sein, jeder Fehlfunktion, die gemäß diesem Anhang für diese Art von Zähler relevant ist, einen spezifischen Überwachungssystem-Zähler zuzuordnen.
- 4.2. Prinzip des Zähler-Mechanismus
- 4.2.1. Jeder Zähler muss wie folgt arbeiten:
- 4.2.1.1. Wenn er bei Null beginnt, muss der Zähler anfangen zu zählen, sobald eine dem Zähler entsprechende Fehlfunktion erkannt wird und der entsprechende Diagnose-Fehlercode den in Tabelle 2 festgelegten Status aufweist.
- 4.2.1.2. Im Fall von wiederholten Fehlern wird nach Wahl des Herstellers eine der folgenden Bestimmungen angewandt:
- a) Wenn ein einzelnes Überwacheungsereignis auftritt und die Fehlfunktion, die den Zähler ursprünglich aktiviert hat, nicht mehr erkannt wird oder wenn der Fehler durch ein Lesegerät oder ein Wartungswerkzeug gelöscht wurde, muss der Zähler anhalten und seinen momentanen Wert gespeichert halten. Hört der Zähler auf zu zählen, wenn die starke Aufforderung aktiv ist, muss er entweder bei dem in Tabelle 4 dieser Anlage definierten Wert oder bei einem Wert, der mindestens so groß ist wie der Zählerwert für die starke Aufforderung minus 30 Minuten eingefroren werden.
 - b) Der Zähler muss entweder bei dem in Tabelle 4 dieser Anlage definierten Wert oder bei einem Wert, der mindestens so groß ist wie der Zählerwert für die starke Aufforderung minus 30 Minuten eingefroren werden.
- 4.2.1.3. Im Fall eines einzelnen Überwachungssystem-Zählers muss dieser Zähler weiterzählen, wenn eine für diesen Zähler relevante NCM-Funktionsstörung erkannt wurde und deren entsprechender Diagnose-Fehlercode den Status "bestätigt und aktiv" aufweist. Der Zähler muss anhalten und einen der in Absatz 4.2.1.2 angegebenen Werte gespeichert halten, wenn keine NCM-Funktionsstörung, die die Aktivierung des Zählers bedingen würde, erkannt wird oder wenn alle dem Zähler entsprechenden Fehler durch ein Lesegerät oder ein Wartungswerkzeug gelöscht wurden.

Tabelle 4

Zähler und Aufforderungssystem

	Status des Diagnose-Fehlercodes für die erste Aktivierung des Zählers	Wert des Zählers für die schwache Aufforderung	Wert des Zählers für die starke Aufforderung	Eingefrorener Wert des Zählers
Zähler für Reagensqualität	Bestätigt und aktiv	≤ 10 Stunden	≤ 20 Stunden	≥ 90 % des Werts des Zählers für die starke Aufforderung

	Status des Diagnose-Fehlercodes für die erste Aktivierung des Zählers	Wert des Zählers für die schwache Aufforderung	Wert des Zählers für die starke Aufforderung	Eingefrorener Wert des Zählers
Zähler für die Zufuhr	Bestätigt und aktiv	≤ 10 Stunden	≤ 20 Stunden	$\geq 90\%$ des Werts des Zählers für die starke Aufforderung
Zähler für das AGR-Ventil	Bestätigt und aktiv	≤ 36 Stunden	≤ 100 Stunden	$\geq 95\%$ des Werts des Zählers für die starke Aufforderung
Zähler für das Überwachungssystem	Bestätigt und aktiv	≤ 36 Stunden	≤ 100 Stunden	$\geq 95\%$ des Werts des Zählers für die starke Aufforderung
Ggf. NO _x -Emissionsgrenzwert	Bestätigt und aktiv	≤ 10 Stunden	≤ 20 Stunden	$\geq 90\%$ des Werts des Zählers für die starke Aufforderung

4.2.1.4. Sobald er eingefroren ist, ist der Zähler auf Null zurückzusetzen, wenn die für diesen Zähler relevanten Überwachungsfunktionen mindestens einmal ihren Überwachungszyklus durchlaufen haben, ohne dass sie eine Fehlfunktion erkannt haben, und keine für diesen Zähler relevante Fehlfunktion in den 40 Motorbetriebsstunden seit letztemaligem Anhalten des Zählers (siehe Abbildung 4) erkannt wurde.

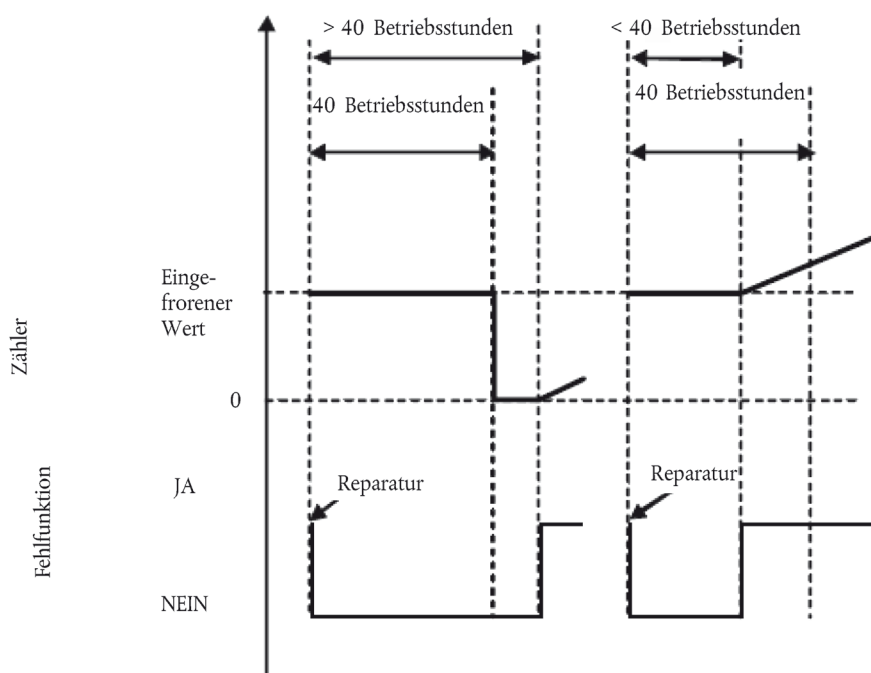
4.2.1.5. Der Zähler muss bei dem Wert erneut anfangen zu zählen, bei dem er angehalten wurde, falls eine für diesen Zähler relevante Fehlfunktion während des Zeitraums, in dem der Zähler eingefroren war (siehe Abbildung 4), erkannt wurde.

5. VERANSCHAULICHUNG DER AKTIVIERUNGS-, DEAKTIVIERUNGS- UND ZÄHLER-MECHANISMEN

5.1. Nachfolgend werden die Aktivierungs-, Deaktivierungs- und Zähler-Mechanismen für einige typische Fälle veranschaulicht. Die in den Absätzen 5.2, 5.3 und 5.4 dargestellten Abbildungen und Beschreibungen sind ausschließlich für den Zweck der Veranschaulichung in diesem Anhang bestimmt und sollten nicht als Beispiele für die Anforderungen dieser Regelung oder als definitive Erklärungen der beteiligten Prozesse genannt werden. Die Zählerstunden in den Abbildungen 6 und 7 beziehen sich auf die Höchstwerte für die starke Aufforderung in Tabelle 4. Aus Gründen der Vereinfachung wurde beispielsweise die Tatsache, dass das Warnsystem auch aktiv sein wird, wenn das Aufforderungssystem aktiv ist, nicht in den Veranschaulichungen erwähnt.

Abbildung 4

Erneute Aktivierung und Zurücksetzen auf Null eines Zählers nach einem Zeitraum, in dem sein Wert eingefroren war



- 5.2. Abbildung 5 veranschaulicht die Funktion der Aktivierungs- und Deaktivierungsmechanismen während der Überwachung der Verfügbarkeit des Reagensmittels in fünf Fällen:

Betriebsfall 1: Das Bedienpersonal betreibt die Maschine trotz der Warnung weiter, bis der Maschinenbetrieb deaktiviert wird.

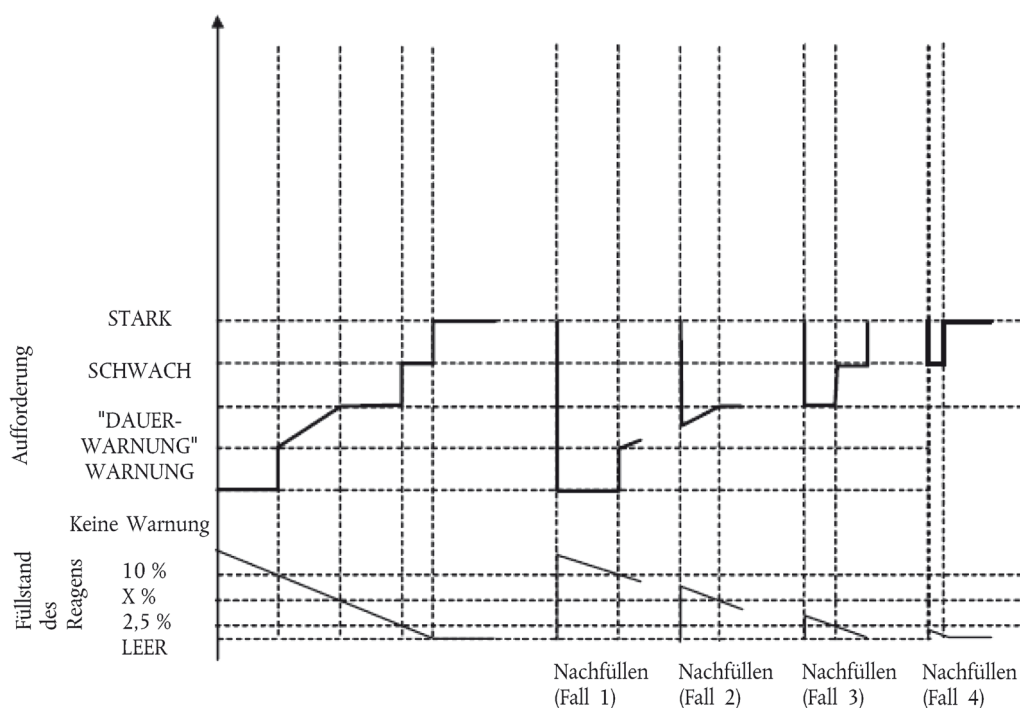
Nachfüllen, Fall 1 („ausreichendes“ Nachfüllen): Das Bedienpersonal füllt den Reagensbehälter auf, so dass ein Füllstand über der 10%-Schwelle erreicht wird. Warnungs- und Aufforderungssystem werden deaktiviert.

Nachfüllen, Fälle 2 und 3 („unzulängliches“ Nachfüllen): Das Warnsystem ist aktiviert. Die Stufe der Warnung hängt von der verfügbaren Reagensmenge ab.

Nachfüllen, Fall 4 („sehr unzulängliches“ Nachfüllen): Die schwache Aufforderung aktiviert sich sofort.

Abbildung 5

Verfügbarkeit des Reagens



- 5.3. Abbildung 6 veranschaulicht drei Fälle mit falscher Reagensqualität:

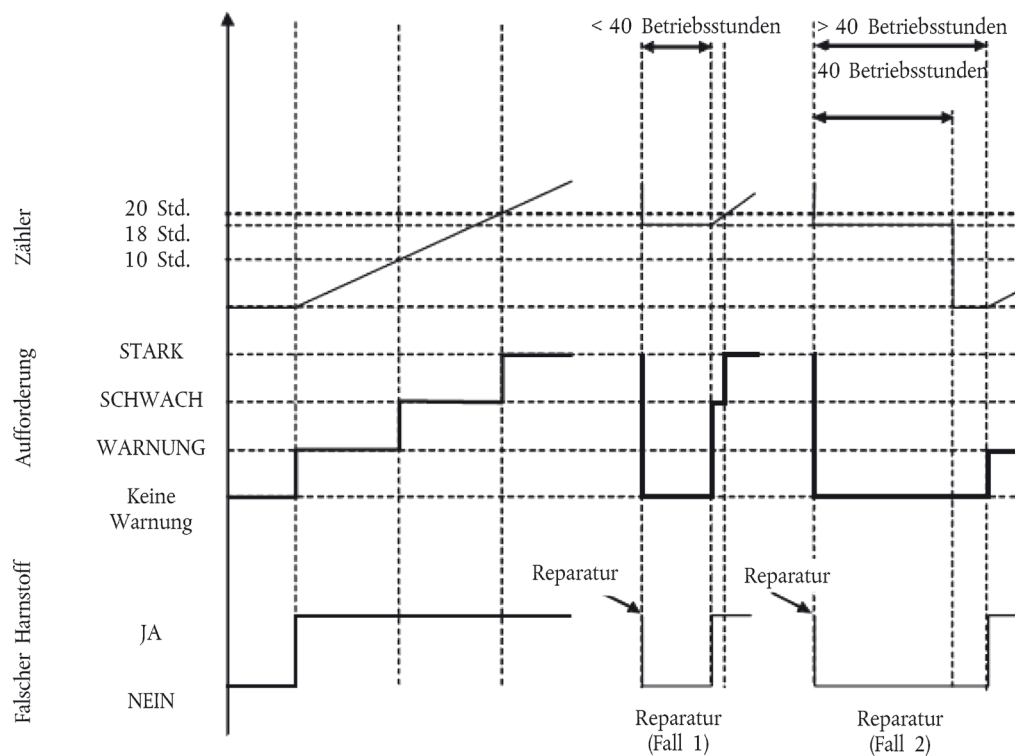
Betriebsfall 1: Das Bedienpersonal betreibt die Maschine trotz der Warnung weiter, bis der Maschinenbetrieb deaktiviert wird.

Reparaturfall 1 („schlechte“ oder „unlautere“ Reparatur): Nach der Deaktivierung der Maschine wechselt das Bedienpersonal das Reagens gegen ein Reagens mit höherer Reagensqualität aus, tauscht dieses Reagens aber nach kurzer Zeit wieder gegen ein Reagens mit niedrigerer Qualität aus. Das Aufforderungssystem aktiviert sich sofort erneut und der Maschinenbetrieb wird nach zwei Motorbetriebsstunden deaktiviert.

Reparaturfall 2 („gute“ Reparatur): Nach der Deaktivierung der Maschine berichtet das Bedienpersonal die Reagensqualität. Allerdings füllt es nach einiger Zeit wieder ein Reagens mit einer niedrigen Qualität nach. Das Warn- und Aufforderungssystem sowie die Zählprozesse beginnen wieder bei Null.

Abbildung 6

Nachfüllen eines Reagens mit niedriger Qualität



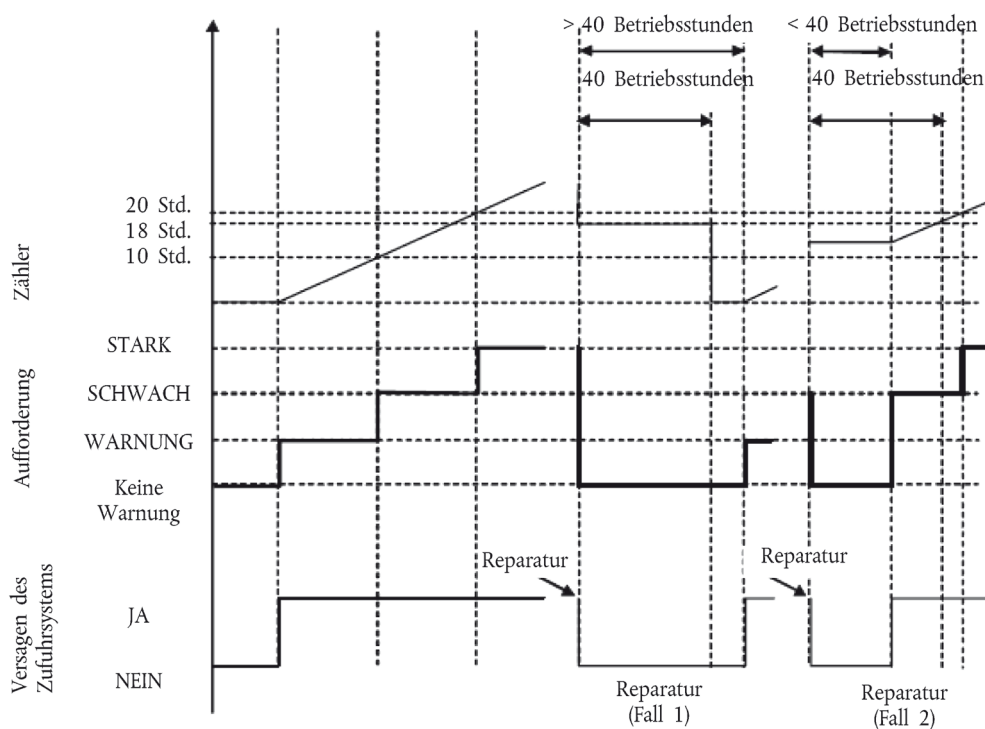
- 5.4. Abbildung 7 veranschaulicht drei Fälle von Fehlern beim Harnstoff-Zufuhr. Diese Abbildung veranschaulicht auch das Verfahren, das im Fall von den in Absatz 9 dieses Anhangs beschriebenen Überwachungsfehlern Anwendung findet.

Betriebsfall 1: Das Bedienpersonal betreibt die Maschine trotz der Warnung weiter, bis der Maschinenbetrieb deaktiviert wird.

Reparaturfall 1 („gute“ Reparatur): Nach der Deaktivierung der Maschine repariert das Bedienpersonal das Zufuhrsystem. Allerdings versagt das Zufuhrsystem nach einiger Zeit erneut. Das Warn- und Aufforderungssystem sowie die Zählprozesse beginnen wieder bei Null.

Reparaturfall 2 („schlechte“ Reparatur): Während des Zeitraums, in dem die schwache Aufforderung aktiv ist (Drehmomentreduzierung), repariert das Bedienpersonal das Zufuhrsystem. Allerdings versagt das Zufuhrsystem nach kurzer Zeit erneut. Die schwache Aufforderung aktiviert sich sofort erneut, und der Zähler fängt bei dem Wert wieder an zu zählen, den er vor der Reparatur angezeigt hat.

Abbildung 7

Fehler beim Reagens-Zufuhrsystem

Anlage 3

Nachweis der minimal akzeptablen Reagenskonzentration CD_{min}

1. Der Hersteller muss den korrekten Wert von CD_{min} während des Typgenehmigungsverfahrens nachweisen, indem er unter Verwendung eines Reagens mit der Konzentration CD_{min} den Warmstart-Teil des NRTC-Zyklus durchführt.
2. Die Prüfung muss auf den (die) entsprechenden NCD-Zyklus (NCD-Zyklen) oder auf den vom Hersteller festgelegten Vorkonditionierungszyklus folgen, der einem geschlossenen Regelkreissystem zur Minderung der NO_x -Emissionen ermöglicht, sich an die Reagensqualität mit der Konzentration CD_{min} anzupassen.
3. Die Schadstoffemissionen bei dieser Prüfung müssen unter den in Absatz 7.1.1 dieses Anhangs festgelegten NO_x -Grenzwerten liegen.

ANHANG 10

BESTIMMUNG VON CO₂-EMISSIONEN

Anlage 1

Bestimmung der CO₂-Emissionen für Motoren der Leistungsbereiche bis P

1. EINLEITUNG

- 1.1. Nachfolgend sind die Bestimmungen und Prüfverfahren für die Meldung von CO₂-Emissionen für alle Leistungsbereiche bis P beschrieben. Falls der Hersteller gemäß der Option in Absatz 5.2 dieser Regelung das Verfahren von Anhang 4B anwendet, gelten die Bestimmungen der Anlage 2 dieses Anhangs.

2. ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN

- 2.1. Die CO₂-Emissionen sind nach dem entsprechenden in Anhang 4A Absatz 1.1 beschriebenen Prüfzyklus gemäß Anhang 4A Absatz 3 (NRSC) oder Absatz 4 (NRTC mit Warmstart) dieser Regelung zu bestimmen. Für die Leistungsbereiche L bis P sind die Kohlendioxidemissionen nach dem NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart zu bestimmen.
- 2.2. Die Prüfergebnisse sind als spezifische, über den Prüfzyklus gemittelte Werte im Bremsbetrieb in der Einheit g/kWh zu übermitteln.
- 2.3. Führt der Hersteller den NRSC-Prüfzyklus als gestuften Mehrphasenzyklus durch, gelten entweder die in dieser Anlage enthaltenen Bestimmungen in Bezug auf den NRTC-Prüfzyklus oder jene von Anlage 2 dieses Anhangs.

3. BESTIMMUNG VON CO₂-EMISSIONEN

3.1. Messung im Rohabgas

Dieser Absatz findet Anwendung, wenn das CO₂ im Rohabgas gemessen wird.

3.1.1. Messung

Die CO₂-Emissionen im Rohabgas des zu prüfenden Motors sind mit einem nicht dispersiven Infrarotabsorptionsanalysator (NDIR) gemäß Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.4.3.2 (NRSC) oder Absatz 2.3.3.2 (NRTC) dieser Regelung zu messen.

Das Messsystem muss den Linearitätsanforderungen in Anhang 4A Anlage 2 Absatz 1.5 dieser Regelung entsprechen.

Das Messsystem muss den Vorschriften von Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.4.1 (NRSC) oder Absatz 2.3.1 (NRTC) dieser Regelung entsprechen.

3.1.2. Datenauswertung

Die emissionsrelevanten Daten müssen gemäß Anhang 4A Absatz 3.7.4 (NRSC) oder Absatz 4.5.7.2 (NRTC) dieser Regelung registriert und gespeichert werden.

3.1.3. Berechnung der auf den Zyklus gemittelten Emissionen

Wird im trockenen Bezugszustand gemessen, so sind die Werte gemäß Anhang 4A Anlage 3 Absatz 1.3.2 (NRSC) oder Absatz 2.1.2.2 (NRTC) dieser Regelung in Feuchtwerte umzurechnen.

Für die NRSC-Prüfung wird die CO₂-Masse (g/h) für jede einzelne Prüfphase durch Berechnung gemäß Anhang 4A Anlage 3 Absatz 1.3.4 dieser Regelung bestimmt. Die Abgasdurchsatzwerte sind gemäß Anhang 4A Anlage 1 Absätze 1.2.1 bis 1.2.5 dieser Regelung zu bestimmen.

Für die NRTC-Prüfung wird die CO₂-Masse (g/Prüfung) durch Berechnung gemäß Anhang 4A Anlage 3 Absatz 2.1.2.1 dieser Regelung bestimmt. Die Abgasdurchsatzwerte sind gemäß Anhang 4A Anlage 1 Absatz 2.2.3 dieser Regelung zu bestimmen.

3.2. Messung im verdünnten Gas

Dieser Absatz findet Anwendung, wenn das Kohlendioxid in den verdünnten Abgasen gemessen wird.

3.2.1. Messung

Die CO₂-Emissionen im verdünnten Abgas des zu prüfenden Motors sind mit einem nicht dispersiven Infrarot-absorptionsanalysator (NDIR) gemäß Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.4.3.2 (NRSC) oder Absatz 2.3.3.2 (NRTC) dieser Regelung zu messen. Die Abgase sind mit gefilterter Umgebungsluft, synthetischer Luft oder Stickstoff zu verdünnen. Die Durchsatzleistung des Vollstromsystems muss so groß sein, dass Wasserkondensation im Verdünnungs- und im Probenahmesystem vollständig verhindert wird.

Das Messsystem muss den Linearitätsanforderungen in Anhang 4A Anlage 2 Absatz 1.5 dieser Regelung entsprechen.

Das Messsystem muss den Vorschriften von Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.4.1 (NRSC) oder Absatz 2.3.1 (NRTC) dieser Regelung entsprechen.

3.2.2. Datenauswertung

Die emissionsrelevanten Daten müssen gemäß Anhang 4A Absatz 3.7.4 (NRSC) oder Absatz 4.5.7.2 (NRTC) dieser Regelung registriert und gespeichert werden.

3.2.3. Berechnung der auf den Zyklus gemittelten Emissionen

Wird im trockenen Bezugszustand gemessen, so sind die Werte gemäß Anhang 4A Anlage 3 Absatz 1.3.2 (NRSC) oder Absatz 2.1.2.2 (NRTC) dieser Regelung in Feuchtwerte umzurechnen.

Für die NRSC-Prüfung wird die CO₂-Masse (g/h) für jede einzelne Prüfphase durch Berechnung gemäß Anhang 4A Anlage 3 Absatz 1.3.4 dieser Regelung bestimmt. Die Durchsatzwerte des verdünnten Abgases sind gemäß Anhang 4A Anlage 1 Absatz 1.2.6 dieser Regelung zu bestimmen.

Für die NRTC-Prüfung wird die CO₂-Masse (g/Prüfung) durch Berechnung gemäß Anhang 4A Anlage 3 Absatz 2.2.3 dieser Regelung bestimmt. Der Durchsatzwert des verdünnten Abgases ist gemäß Anhang 4A Anlage 3 Absatz 2.2.1 dieser Regelung zu bestimmen.

Die Werte müssen gemäß Anhang 4A Anlage 3 Absatz 2.2.3.1.1 dieser Regelung hintergrundkorrigiert werden.

3.3. Berechnung der spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb

3.3.1. NRSC

Die spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb e_{CO_2} (g/kWh) sind folgendermaßen zu berechnen:

$$e_{\text{CO}_2} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\text{CO}_{2\text{mass},i} \times W_{F,i})}{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i \times W_{F,i})}$$

Hierbei gilt:

$$P_i = P_{m,i} + P_{AE,i}$$

und es bezeichnet

$\text{CO}_{2\text{mass},i}$ die CO₂-Masse der einzelnen Prüfphase (g/h)

$P_{m,i}$ die gemessene Leistung der einzelnen Prüfphase (kW)

$P_{AE,i}$ die Leistung der Hilfseinrichtungen in der einzelnen Prüfphase (kW)

$W_{F,i}$ den Wichtungsfaktor der einzelnen Prüfphase

3.3.2. NRTC

Die für die Berechnung der spezifischen CO₂-Emissionen im Bremsbetrieb erforderliche Zyklusarbeit ist gemäß Anhang 4A Absatz 4.6.2 dieser Regelung zu bestimmen.

Die spezifischen Emissionen im Bremsbetrieb e_{CO_2} (g/kWh) sind folgendermaßen zu berechnen:

$$e_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2, \text{hot}}}{W_{\text{act, hot}}}$$

Hierbei bedeuten

$m_{\text{CO}_2, \text{hot}}$ die CO₂-Emissionsmenge bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart (g)

$W_{\text{act, hot}}$ die tatsächliche Zyklusarbeit in der NRTC-Prüfung mit Warmstart (kWh)

Anlage 2

Bestimmung der CO₂-Emissionen für die Leistungsbereiche Q und R

1. EINLEITUNG

Es gelten die in dieser Anlage enthaltenen Bestimmungen und Prüfverfahren für die Meldung von CO₂-Emissionen für die Leistungsbereiche Q und R. Falls der Hersteller gemäß der Option in Absatz 5.2 dieser Regelung das Verfahren von Anhang 4B dieser Regelung anwendet, gelten für die Meldung von CO₂-Emissionen die in dieser Anlage 2 enthaltenen Bestimmungen und Prüfverfahren.

2. ALLGEMEINE VORSCHRIFTEN

- 2.1. Die CO₂-Emissionen sind nach dem in Anhang 4B Absatz 7.8.3 beschriebenen NRTC-Prüfzyklus mit Warmstart zu bestimmen.
- 2.2. Die Prüfergebnisse sind als spezifische, auf den Zyklus gemittelte Werte im Bremsbetrieb in der Einheit g/kWh zu übermitteln.

3. BESTIMMUNG VON CO₂-EMISSIONEN

3.1. Messung im Rohabgas

Dieser Absatz findet Anwendung, wenn das CO₂ im Rohabgas gemessen wird.

3.1.1. Messung

Die CO₂-Emissionen im Rohabgas des zu prüfenden Motors sind mit einem nicht dispersiven Infrarotabsorptionsanalysator (NDIR) gemäß Anhang 4B Absatz 9.4.6 dieser Regelung zu messen.

Das Messsystem muss den Linearitätsanforderungen von Anhang 4B Absatz 8.1.4 dieser Regelung entsprechen.

Das Messsystem muss den Vorschriften von Anhang 4B Absatz 8.1.9 dieser Regelung entsprechen.

3.1.2. Datenauswertung

Die emissionsrelevanten Daten müssen gemäß Anhang 4B Absatz 7.8.3.2 dieser Regelung registriert und gespeichert werden.

3.1.3. Berechnung der auf den Zyklus gemittelten Emissionen

Wird im trockenen Bezugszustand gemessen, so sind die momentanen Konzentrationswerte nach Anhang 4B Anlage 8 Absatz A.8.2.2 oder Anlage 7 Absatz A.7.3.2 dieser Regelung in den feuchten Bezugszustand umzurechnen, ehe sie für weitere Berechnungen verwendet werden.

Die CO₂-Masse (g/Prüfung) ist durch Multiplikation der zeitlich korrigierten momentanen CO₂-Konzentrationen mit dem Abgasdurchsatz und durch Integration über den Prüfzyklus gemäß den folgenden Vorschriften zu bestimmen: entweder

a) nach Anhang 4B Anlage 8 Absatz A.8.2.1.2 und Absatz A.8.2.5 dieser Regelung, wobei die u-Werte für CO₂ aus Tabelle A.8.1 verwendet werden, oder indem die u-Werte nach Anhang 4B Anlage 8 Absatz A.8.2.4.2 dieser Regelung berechnet werden; oder

b) nach Anhang 4B Anlage 7 Absatz A.7.3.1 und Absatz A.7.3.3 dieser Regelung.

3.2. Messung im verdünnten Gas

Dieser Abschnitt findet Anwendung, wenn das Kohlendioxid im verdünnten Abgas gemessen wird.

3.2.1. Messung

Die Kohlendioxidemissionen im verdünnten Abgas des zu prüfenden Motors sind mit einem nicht dispersiven Infrarotabsorptionsanalysator (NDIR) gemäß Anhang 4B Absatz 9.4.6 dieser Regelung zu messen. Die Abgase sind mit gefilterter Umgebungsluft, synthetischer Luft oder Stickstoff zu verdünnen. Die Durchsatzleistung des Vollstromsystems muss so groß sein, dass Wasserkondensation im Verdünnungs- und im Probenahmesystem vollständig verhindert wird.

Das Messsystem muss den Linearitätsanforderungen von Anhang 4B Absatz 8.1.4 dieser Regelung entsprechen.

Das Messsystem muss den Vorschriften von Anhang 4B Absatz 8.1.9 dieser Regelung entsprechen.

3.2.2. Datenauswertung

Die emissionsrelevanten Daten müssen gemäß Anhang 4B Absatz 7.8.3.2 dieser Regelung registriert und gespeichert werden.

3.2.3. Berechnung der auf den Zyklus gemittelten Emissionen

Wird im trockenen Bezugszustand gemessen, so sind die momentanen Konzentrationswerte nach Anhang 4B Anlage 8 Absatz A.8.3.2 oder Anlage 7 Absatz A.7.4.2 dieser Regelung in den feuchten Bezugszustand umzurechnen, ehe sie für weitere Berechnungen verwendet werden.

Die CO₂-Masse (g/Prüfung) ist durch Multiplikation der CO₂-Konzentrationen mit dem Durchsatz des verdünnten Abgases gemäß den folgenden Vorschriften zu bestimmen: entweder

a) nach Anhang 4B Anlage 8 Absatz A.8.3.1 und Absatz A.8.3.4 dieser Regelung, wobei die u-Werte für CO₂ aus Tabelle A.8.2 verwendet werden, oder indem die u-Werte nach Anhang 4B Anlage 8 Punkt A.8.3.3 dieser Regelung berechnet werden; oder

b) nach Anhang 4B Anlage 7 Punkt A.7.4.1 und Punkt A.7.4.3 dieser Regelung.

Die Werte müssen gemäß Anhang 4B Anlage 8 Punkt A.8.3.2.4 oder Anlage 8 Punkt A.7.4.1 dieser Regelung hintergrundkorrigiert werden.

3.3. Berechnung der bremspezifischen Emissionen

Die für die Berechnung der bremspezifischen CO₂-Emissionen erforderliche Zyklusarbeit ist gemäß Anhang 4B Absatz 7.8.3.4 dieser Regelung zu bestimmen.

Die bremspezifischen Emissionen e_{CO_2} (g/kWh) sind folgendermaßen zu berechnen:

$$e_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2, \text{hot}}}{W_{\text{act, hot}}}$$

Hierbei bedeuten

$m_{\text{CO}_2, \text{hot}}$ die CO₂-Emissionsmenge bei der NRTC-Prüfung mit Warmstart (g)

$W_{\text{act, hot}}$ die tatsächliche Zyklusarbeit in der NRTC-Prüfung mit Warmstart (kWh).
